

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра інформаційних систем та технологій

«На правах рукопису»
УДК 004.03

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

" ___ " _____ 2022 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо–професійною програмою «Інформаційні управляючі
системи та технології»**

зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»

на тему: «Система регулювання дорожнього руху»

Виконав:

студент VI курсу, групи ІС–12мп
Моргун Едуард Анатолійович _____

Керівник:

д.т.н., професор
Жураковський Богдан Юрійович _____

Рецензент:

д.т.н., професор
Отрох Сергій Іванович _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент (–ка) _____

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформаційних системи та технології

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 126 «Інформаційні системи та технології»

Освітньо–професійна програма «Інформаційні управляючі системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

«__» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту
Моргуна Едуарда Анатолійовича

1. Тема дисертації «Система регулювання дорожнього руху», науковий керівник дисертації Жураковський Богдан Юрійович, доктор технічних наук, професор, затверджені наказом по університету від «09» 11 2022 р. №4115–с
2. Строк подання студентом дисертації 20.12.2022
3. Об'єкт дослідження процес оптимізації дорожнього руху.
4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо–професійною програмою) система регулювання дорожнього руху.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити огляд існуючих рішень, сформувані вимоги до системи та сценарії використання, графічний матеріал, розробка стартап–проекту.
6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу діаграма компонентів системи, блок–схема цикл роботи системи, модель роботи середовища, діаграма послідовності виклику надзвичайного випадку, палац пам'яті, блок–схема роботи спецтранспорту у системі
7. Дата видачі завдання 05.09.2022

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Ознайомлення з завданням	20.10.2022	
2	Аналіз предметної області	25.10.2022	
3	Аналіз існуючих рішень	30.10.2022	
4	Проектування системи	10.11.2022	
5	Розроблення стартап-проекту	21.11.2022	
6	Оформлення текстового матеріалу	29.11.2022	
7	Оформлення графічного матеріалу	08.12.2022	
8	Подача дисертації на перевірку	20.12.2022	

Студент

Едуард МОРГУН

Науковий керівник

Богдан ЖУРАКОВСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Робота складається із вступу та трьох розділів. Загальний обсяг роботи: 96 аркушів основного тексту, 31 ілюстрація, 31 таблиця. При підготовці використовувалася література з 61 джерела.

Актуальність.

Сучасні мегаполіси зіткнулись з проблемою щоденних заторів на дорогах. Через проблему з пересуванням жителів та гостей міст, витрачається надто багато часу та коштів, які могли би піти на розвиток економіки та добробуту.

Мета і завдання дослідження.

Метою дослідження є знаходження найкращих методів оптимізації дорожнього трафіку у великих містах.

Об'єкт дослідження – процес оптимізації дорожнього руху.

Предмет дослідження – система регулювання дорожнього руху.

Методи досліджень. Під час вирішення завдань було застосовано загальні методи наукового пізнання, такі як: вимірювання, порівняння та спостереження, індукція та дедукція. За допомогою вказаних наукових методів було досліджено існуючі рішення, та визначено підходи до оптимізації системи.

Особистий внесок здобувача. Магістерське дослідження

Практична цінність. Отримані результати можуть використовуватися у проектуванні та побудові систем розумного трафіку у рамках проектів розумного міста.

Ключові слова: дорожній трафік, система, світлофор, розумний трафік, інфраструктура.

ABSTRACT

The master's thesis consists of 96 pages, 31 figures, 31 tables, 61 references to the sources used.

Relevance.

Modern metropolises are faced with the problem of daily traffic jams. Due to the problem with the movement of residents and guests of cities, more money and resources are spent than could be spent on the development of the economy and welfare.

Purpose.

The purpose of this work is to find the best methods of optimizing road traffic in large cities.

The object of the study is the process of traffic optimization.

The subject of research is the traffic regulation system.

Research methods. General methods of scientific knowledge, such as: measurement, comparison and observation, induction and deduction, were used when solving problems. With the help of the specified scientific methods, existing solutions were investigated, and approaches to system optimization were determined.

Practical value. The obtained results can be used in the design and construction of smart traffic systems within the framework of smart city projects.

Keywords: road traffic, system, traffic light, intelligent traffic, infrastructure.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	10
1.1 Типи розумних світлофорів.....	10
1.1.1 Розумні світлофори для зменшення заторів	11
1.1.2 Розумні світлофори для екстрених машин	18
1.1.3 Розумні світлофори для пішоходів.....	20
1.2 Система управління дорожнім рухом у Мюнхені (Німеччина).....	21
1.2.1 Загальна інформація	22
1.2.2 Контроль сигналів світлофора з індуктивними детекторами.....	23
1.2.3 Підхід MOBiNET	24
1.2.4 Центр управління дорожнім рухом (Verkehrsrechnerzentrale, VRZ)....	25
1.2.5 Центр управління автомагістралями	26
1.2.6 Додатки BMW–ITS (для керування кільцевою дорогою).....	29
1.2.7 BMW для Мюнхена.....	31
1.2.8 Додаток Bayern–Info.....	32
1.2.9 Майбутні кооперативні системи – технологія комунікаційних автомобілів	34
1.3 Висновки до розділу	37
2 ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ.....	40
2.1 Функціональні вимоги.....	40
2.2 Нефункціональні вимоги	41
2.3 Ролі користувачів у системі.....	41
2.4 Опис сценаріїв використання	42
2.5 Висновки до розділу	47
3 ОПИС СИСТЕМИ	48
3.1 Компоненти системи	48
3.2 Принцип роботи.....	50
3.3 Висновки до розділу	52
4 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ	53
4.1 Технічні підстави впровадження системи.....	53
4.2 Розгортання системи	54

4.3	Алгоритми роботи системи	54
4.4	Структура бази даних	55
4.5	Переваги системи.....	56
4.5.1	Порівняння методів	57
4.5.2	Результати експерименту	60
4.5.3	Практичне порівняння	65
4.6	Висновки до розділу	67
5	СТАРТАП–ПРОЕКТ	69
5.1	Опис ідеї проекту.....	69
5.2	Технологічний аудит ідеї проекту	71
5.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап–проекту.....	72
5.4	Розроблення ринкової стратегії проекту	81
5.5	Розроблення маркетингової програми стартап–проекту	84
5.6	Висновки до розділу	87
	ВИСНОВКИ.....	89
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	90

ВСТУП

Збільшення транспортного потоку, особливо у великих містах, викликає проблему заторів. Окрім щільності руху, на затори впливає населення, економіка та інфраструктура. Незважаючи на те, що затори не є чимось незвичайним, пробки все одно спричиняють дуже великі економічні та соціальні втрати. Згідно з дослідженням, проведеним INRIX у 2018 році [1], у Стамбулі (Туреччина) втрати часу автомобілістів через затори досягли 210 та 157 годин відповідно. У Бостоні (Сполучені Штати) через затори було втрачено 164 години, причому збитки на одного водія досягли 2291 доларів США, а збитки місту досягли 4,1 мільярда доларів. Тільки в Індонезії в 2017 році [2] затори спричинили в середньому 56 годин втрати часу. Того ж року Джакарта стала 12-м найбільш завантаженим містом у світі, втративши 63 години через дорожній рух. На рисунку 1 показано вплив перевантаження з точки зору втрати часу. На рисунку 2 наведені економічні збитки від заторів.

Rank	City	Country	Continent	Peak Hours Spent in Congestion	Inrix Congestion Index	Average Congestion Rate
1	Los Angeles; CA	USA	North America	102	18.3	12%
11	Bangkok	Thailand	Asia	64	12.5	23%
12	Jakarta	Indonesia	Asia	63	13.4	20%
13	Washington; DC	USA	North America	63	10.8	11%
24	Rio de Janeiro	Brazil	South America	51	10.6	15%
25	Munich	Germany	Europe	51	9.1	16%

Рисунок 1 – Збитки у великих містах через затори

Urban Area	Hours Lost in Congestion (Rank 2018)	Year Over Year Change	Inner City Last-mile Travel Time (minutes)	Inner City Last-mile Speed (mph)	Cost of Congestion (per driver)	Cost of Congestion (per city)
Boston, MA	164 (1)	-10%	6	11	\$2,291	\$ 4.1B
Washington, DC	155 (2)	-3%	5	11	\$2,161	\$ 4.6B
Chicago, IL	138 (4)	4%	5	12	\$1,920	\$ 6.2B
London	227 (1)	1%	8	7	£ 1,680	£ 4.9B
Birmingham	134 (12)	-4%	5	12	£ 994	£ 388.7M
Glasgow	99 (16)	4%	5	13	£ 736	£ 320.4M

Рисунок 2 – Економічні втрати через затори

Крім часу та економічного впливу, затори негативно впливають на автомобілістів, які потрапили в дорожню пастку. З психологічної точки зору, [3]

стверджує, що затори можуть викликати стрес і агресивну поведінку. Відповідно до [4], кілька факторів викликають затори, такі як звуження доріг, щільність руху та світлофори. Метод фіксованого циклу, який все ще використовується на більшості світлофорів, на даний момент вважається неефективним, оскільки він збільшує щільність руху та затори, особливо на дорогах з великим потоком транспорту [5]. Тому потрібен механізм, щоб світлофори могли інтелектуально й адаптивно керувати розподілом часу сигналу відповідно до умов руху. Цей тип механізму породив новий термін «розумний світлофор».

Дослідження, пов'язані з розумними світлофорами, створили останні, які можуть адаптуватися до певних дорожніх ситуацій. Налаштування інтелектуального циклу світлофора можна згрупувати на основі щільності руху, сценаріїв для транспортних засобів екстреної допомоги та інтересів пішохода.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

Механізм керування дорожнім рухом вперше спробували застосувати в Толедо, штат Огайо, у 1908 році, використовуючи сигнали семафора з вежі в середині перехрестя, контрольованого поліцією всередині. Впровадження технології світлофорів почалося після того, як Генрі Форд представив модель Т в 1908 році, яка почала масово вироблятися в 1913 році [6]. У 1920 році Вільям Поттс створив перші чотиристоронні триколірні світлофори, додавши жовтий «обережний» вогонь, тоді як попередні світлофори включали лише два сигнальні вогні, червоний і зелений. Доповнення зроблено для підвищення безпеки процесу водіння. Ця конструкція світлофора стала стандартною в середині 1930-х років і була встановлена в Детройті, штат Мічиган [7]. Розвиток світлофорів тривав шляхом застосування нових технологій або комбінацій існуючих технологій. На рис 1.1 представлена класифікація розвитку світлофорної технології, яка існує на сьогодні.

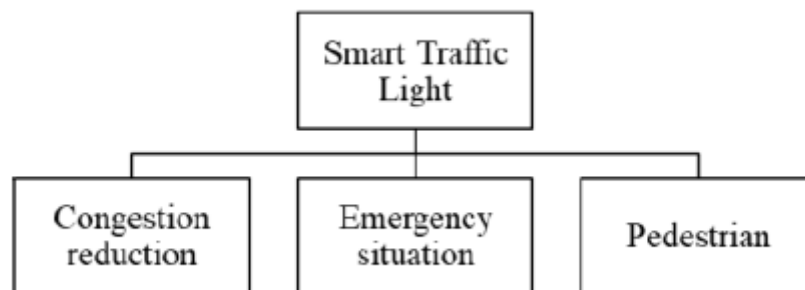


Рисунок 1.1 – Класифікація розумних світлофорів

1.1 Типи розумних світлофорів

Загалом, дослідження світлофорів більше зосереджуються на встановленні розкладу сигналів відповідно до головних мотивацій світлофорів. Виходячи з мотивації, розумні світлофори можна розділити на світлофори, які зменшують затори та надають пріоритет транспортним засобам у аварійних ситуаціях, або світлофори, розклад яких адаптується до наявності та кількості пішоходів.

Одні дослідження зосереджені на розкладі світлофорів для зменшення заторів. З такою ціллю світлофори визначають кількість або довжину черги транспортних засобів на одній смузі та порівнюють це значення з іншими смугами. Зелений сигнал світлофора буде працювати для смуг з більшою кількістю транспортних засобів або довшою чергою. Другі дослідження зосереджені на розкладі світлофорів для надзвичайних ситуацій. По суті, з такою ціллю світлофори виявляють транспортні засоби швидкої допомоги, що наближаються, і призначають зелене світло смузі, на якій знаходиться автомобіль швидкої допомоги, що наближається.

Цей механізм гарантує, що транспортні засоби швидкої допомоги завжди мають зелене світло щоразу, коли вони проїжджають через світлофор, щоб машини швидкої допомоги могли дістатися місця призначення якомога швидше. Ціллю третіх досліджень конструкції світлофора полягає в тому, щоб виявити пішоходів і дозволити їм першими переходити дорогу.

1.1.1 Розумні світлофори для зменшення заторів

У дослідженні Liang Qi, Mengchu Zhou та Wenjing Luan на основі мереж Петрі розроблено систему екстреного керування рухом на перехресті у разі аварії з відновленням тупикових ситуацій, запобіганням живим блокуванням і вирішенням конфліктів. [6] Мережі Петрі – це модель для моделювання та аналізу складних динамічних систем із дискретними подіями. У роботі Luis Cruz–Piris, Diego Rivera і Ivan Marsa–Maestre [7] визначено найкраще місце для встановлення сенсорних мереж у мережах руху. У цьому дослідженні розроблено три типи агентів, щоб можна було досягти мінімального часу в дорозі: агент керування світлофором, агент виявлення руху та агент керування світлофором на перехресті. У ще одному дослідженні використовується бездротова мережа датчиків (WSN), яка реалізована на перехресті, і ці датчики приймають рішення щодо руху транспорту, щоб мінімізувати час очікування та середню довжину черги. [8] Алгоритм, запропонований у цій системі, оптимізує планування світлофорів без

зміни порядку поточних циклів світла, щоб учасники дорожнього руху не були заплутані.

У роботі Wei Liu [9] створено систему, яка здатна розпізнавати світлофор на платформі смартфона. Запропонована система також здатна розпізнавати світлофорний цикл. У ще одній роботі Luis Cruz–Piris [10] пропонується система, що складається з трьох агентів, а саме агентів керування світлофорами (TLAgents), агентів виявлення заторів (TJamAgents) та агентів, які керують світлофорами на перехрестях (IntersectionAgents). Для регулювання зміни світлових сигналів на кожному світлофорі встановлений в TAgent. TJamAgent`и розміщуються транспортних засобах, а датчики, встановлені в кількох місцях, отримують інформацію про дорожній рух. IntersectionAgent – це система зв'язку світлофора на певному перехресті, яка отримує інформацію від найближчого TJamAgent і визначає цикл світлофора на основі цієї інформації. У роботі Zhiguang Cao [11] використовується технологія RFID для виявлення заторів. Цикл світлофора динамічно регулюється залежно від щільності руху, щоб мінімізувати затори за допомогою датчика Інтернету речей (IoT). У кожному транспортному засобі встановлено пасивну RFID–мітку, і датчик записує кількість транспортних засобів, що проїжджають до наступного датчика.

У праці Asif Ahmad та Rabia Arshad, оцінюються два алгоритми планування, а саме алгоритми найранішого кінцевого терміну (EDF) і алгоритми з фіксованим пріоритетом (FP). [12] В алгоритмі FP транспортні засоби згруповані в чотири класи. Першою обслуговується смуга з транспортним засобом з найвищим пріоритетом. В алгоритмі EDF транспортні засоби встановлюються в пріоритеті на основі кінцевих термінів до місця призначення. За допомогою цього алгоритму кількість зупинок, середні затримки та пріоритетний час руху транспортних засобів значно скорочуються. Алгоритм EDF забезпечує кращу продуктивність, ніж FP. У роботі Khushi [13] пропонується система керування дорожнім рухом на основі обробки зображень із використанням коду MATLAB, який змінює час сигналу світлофора з урахуванням щільності руху. Система спрямована на скорочення часу очікування на порожніх дорогах. Зображення в

кожній смузі отримується за допомогою веб-камери, а кількість транспортних засобів на дорозі та щільність руху обчислюються за допомогою відповідної функції MATLAB. Тривалість зеленого світла визначається виходячи з інтенсивності руху, причому для більш щільних доріг дається більший час.

Дослідження Wenjing Luan [14] зосереджене на розробці дворівневої стратегії на перехресті для запобігання заторів, спричинених ДТП. Перший рівень використовується, щоб зупинити рух автомобіля в певному напрямку, а другий рівень використовується для попередження, яке рекомендує не рухатися в певному напрямку. У [15] пропонується алгоритм штучної бджолиної колонії (ABC) для мінімізації середнього часу очікування (AWT) на перехресті на основі вхідного динамічного навантаження на транспорт. Цей алгоритм заснований на поведінці роя медоносних бджіл і може оптимізувати час очікування на 98,43% для тривалості моделювання 1800 секунд (30 хвилин). У [16] використовуються дані про затори з API Google для розробки адаптивних світлофорів, які можуть зменшити затори шляхом виявлення заторів від точки відправлення до найближчого світлофора. Одна з переваг цього методу полягає в тому, що він не потребує великих витрат на встановлення інфраструктури (наприклад, на встановлення сенсорних мереж). Інформація може бути доставлена із середньою затримкою 1,5 секунди (максимально 3 секунди). У [17] встановлюються світлофори так, щоб транспортні засоби не зупинялися, коли дорожній рух поганий, використовуючи LaNPro (розумний світлофорний модуль, спеціально розроблений для тихих вулиць/перехресть). У [18] пропонується схема планування двостороннього зв'язку між світлофором і транспортним засобом (TLVC), щоб зменшити споживання палива та викиди CO₂, гарантуючи, що великі транспортні засоби можуть безпосередньо перетинати світлофор без зупинки. Великогазовим транспортним засобам надається перевага при проїзді світлофора першими. Результати моделювання показують, що частота попадань на зелене світло для всіх транспортних засобів, особливо транспортних засобів з великими вантажами, значно зростає. У [19] пропонується динамічна стратегія маршрутизації, яка постійно надає автомобілістам оновлення часу в дорозі та

враховує адаптивне управління сигналом для ефективного маршрутизації в реальній транспортній мережі. Маршрутизація використовується для зменшення довжини черги та середнього часу очікування та збільшення середньої швидкості в мережі. У [20] використовується метод адаптивної нейрон-нечіткої системи логічного висновку (ANFIS) для обробки даних про щільність доріг і ширину доріг для визначення тривалості даного зеленого світла. Щільність доріг розраховується на основі відео, знятого системою та обробленого методом маркування підключених компонентів (CCL). Результати зображення CCL порівнюються зі станом зображення порожньої дороги (без транспортного засобу), щоб отримати відсоток щільності транспортного засобу. Дані про стан доріг (у вигляді відеоматеріалів) збираються та знімаються зображення доріг, коли немає транспортних засобів (чітка дорожня обстановка). Коли об'єкт на тестовому зображенні отримано, щільність дороги обчислюється шляхом порівняння з зображенням порожньої дороги, отриманим раніше. Дані про щільність доріг і ширину смуги є вхідними даними ANFIS для визначення тривалості даного зеленого світла. У [21] пропонується система з попередньою синхронізацією для врахування змін трафіку. Система визначає щільність руху за стандартним відхиленням гістограми інтенсивності зображення, що представляє зону виявлення транспортного засобу на смузі, і змінює час зеленого кольору кожного перехрестя. Система контролює потік транспортних засобів на основі планів синхронізації сигналів і визначає щільність руху, виявляючи всі об'єкти в зоні виявлення транспортних засобів на кожній смузі за допомогою чотирьох бездротових IP-камер, а потім змінюючи поточний зелений час смуги. Кожна камера знімає всю зону очікування автомобіля, але програма виявляє лише транспортні засоби в зоні виявлення транспортних засобів. Щільність трафіку визначається шляхом обчислення гістограми інтенсивності у всій цікавій області (ROI). Система обчислює стандартне відхилення гістограми. Якщо значення менше нижнього порогу, система робить висновок, що щільність трафіку низька, і зелений час скорочується. Якщо значення вище верхнього порогу, система робить висновок, що щільність трафіку висока, і зелений час подовжується.

У [22] будує два типи алгоритмів навчання підкріплення, а саме, глибокий градієнт політики (PG) і агенти на основі функції значення, які можуть передбачити найкращий можливий сигнал руху для транспортних перехресть. Адаптивний агент керування світлофором отримує знімок поточного графічного симулятора руху та генерує сигнал керування. Агенти на основі PG відображають свої спостереження безпосередньо в керуючому сигналі, тоді як агенти на основі функції значення спочатку оцінюють значення для всіх законних керуючих сигналів, а потім обирають оптимальну керуючу дію з найвищим значенням. У [23] моделюється контролер сигналів світлофора з використанням алгоритму переваг підкріплення навчання (A3C) з різними представленнями стану для визначення відмінностей у продуктивності. Досліджувані параметри включають щільність транспортних засобів, транспортний потік, черги, розташування та швидкість разом із поточною фазою руху, довжиною циклу та тривалістю червоного світла. У [24] представлено новий підхід, заснований на модифікованому циклічному алгоритмі планування на основі методів генетичного алгоритму, які оптимізують ефективність синхронізації сигнальних перехресть. Щоб оцінити функцію витрат і перевірити, чи досягнуто глобального оптимуму, ця методика використовує початкові шаблони синхронізації для створення нових потомків (з точки зору тривалості затримки). Модифікації, реалізовані в традиційному нормальному циклічному алгоритмі планування, засновані на логічних вентилях NOR. Коли на двох вертикально з'єднаних лініях немає руху транспортних засобів, замість того, щоб система дорожнього руху давала їм зелене світло, система дасть зелене світло іншій смузі, на якій є принаймні один транспортний засіб, який перетне перехрестя. Набір лічильників руху застосовується протягом 3 певних періодів, щоб фіксувати потік транспорту та затримки на кожній смузі перетину. Розрахунок триває 20 хвилин у кожному періоді. У роботі [25] пропонується автоматизована система, яка може виявляти транспортні засоби екстрених служб у інтенсивному русі на основі запису камер відеоспостереження за допомогою глибокої згорткової нейронної мережі для передачі цієї інформації на світлофори або для автоматичного керування іншими

транспортними засобами, щоб звільнити дороги (надаючи пріоритет транспортним засобам екстреної допомоги). Ця система знімає записи дороги з камер відеоспостереження та виявляє транспортні засоби екстрених служб. Знімки камерами відеоспостереження робляться щосекунди. На кожному зображенні виявляється кожен транспортний засіб на дорозі, і система класифікує транспортні засоби на автомобілі швидкої допомоги та звичайні транспортні засоби. У разі виявлення екстреної машини комп'ютер сповіщає ДАІ або автоматизовану систему, щоб вони звільнили дорогу. Алгоритм Yolo-V3 використовується для виявлення об'єктів, оскільки цей алгоритм швидкий і здатний обробляти 45 зображень за секунду за допомогою комп'ютера з хорошим процесором.

У дослідженні [26] виявляє червоне світло та попереджає транспортні засоби та пішоходів поблизу червоного світла за допомогою смартфона. Впроваджено систему пріоритету для світлофорів, яка оцінює кожен смугу на основі кількості та типу транспортних засобів, які знаходяться на цій смузі. У [27] пропонується система, що складається з довіреного органу (ТА), який регулює бази даних транспортних засобів і спілкується з транспортними засобами за допомогою мереж 3G/4G. Крім того, запроваджується система світлофорів, яка працює шляхом обміну інформацією (статус транспортного засобу) між транспортним засобом і контролером світлофора. За станом транспортного засобу світлофор визначає, який транспортний засіб має пріоритет. У [28] пропонується макроскопічне планування руху транспортного засобу (VMMP) для оптимізації маршруту та швидкості транспортного засобу з використанням трафіку даних і характеристик транспортного засобу з підключенням транспортного засобу (V2V, V2I, транспортний засіб до хмари). Алгоритм, який використовується для визначення маршрутів транспортних засобів, є генетичним алгоритмом. У [29] пропонується механізм зв'язку передачі даних, що включає три блоки: виявлення перевантаження, контроль даних і контроль перевантаження. Виявлення перевантаження використовується для вимірювання рівня каналу, який використовується для виявлення перевантаження. Контроль даних

використовується для збору та фільтрації повідомлень (щоб уникнути надмірності), а потім для групування повідомлень у 4 кластери. Контроль перевантаження використовується для визначення параметрів зв'язку (дальність передачі, швидкість). Заздалегідь визначені параметри зв'язку надсилаються світлофорами транспортним засобам, яким потрібно зупинитися на червоне світло, щоб зменшити кількість зіткнень і контролювати затори. У [30] використовується CCD камера, яка використовується для моніторингу руху в режимі реального часу, що наближається до кожного перехрестя, і для вимірювання інтенсивності руху в кожній смузі та черзі, передаючи параметри даних у режимі реального часу до системи управління світлофором, наприклад як довжина транспортного засобу та середній час очікування. Пристрій буде покадрово визначати відео та автоматично підбирати відповідний маршрут, стежити за проїздом транспорту та приймати рішення на основі дій транспорту. Щоб керувати світлофорами в одній точці, індикатор дорожнього руху в реальному часі пов'язаний зі світлофорами. Цю систему також можна використовувати як датчик для систем орієнтування дорожнього руху для міської мережі доріг, щоб надавати вхідні дані щодо орієнтування дорожнього руху та автоматично контролювати загальну дорожню ситуацію.

У [31] розроблено кращу та динамічну конструкцію управління світлофором з використанням методу нечіткої логіки Мамдані. Аналіз базується на довжині черги транспортних засобів у кожній смузі на перехресті, ширині кожної дороги, кількості транспортних засобів, що прямують до руху (перехрестя), та швидкості руху транспортного засобу. Тривалість періоду зеленого світла для кожної смуги можна оптимізувати на основі таких параметрів, як довжина черги на кожній смузі, кількість транспортних засобів, що входять до черги, швидкість транспортного засобу та ширина кожної смуги. Зі значень параметрів потім визначається значення μ для застосування на основі обчислення правила. Смуги з довгими чергами транспортних засобів матимуть довший період зеленого світла, ніж інші смуги з меншою кількістю транспортних засобів. У [32] пропонується стратегія перевірки на основі генетичних алгоритмів і автоматичної генерації для

різних сценаріїв трафіку. Деякі з параметрів, які використовуються для оцінки валідації, включають кількість транспортних засобів, які прибувають до місця призначення, викиди CO₂, NO_x і час у дорозі (може вибрати певні цикли для певних умов руху). У [33] оптимізується потік трафіку, пропонуючи два підходи: RITCO і VITCO. За допомогою RITCO датчик збирає інформацію про дорогу (кількість транспортних засобів у черзі), а потім повідомляє світлофору встановити цикл на основі інформації. Завдяки VITCO транспортні засоби обмінюються інформацією один з одним, щоб виявляти затори та повідомляти світлофорам про необхідність регулювання циклів. У [34] розроблено систему оптимізації світлофора в режимі реального часу для реагування на раптові зміни параметрів, щоб система дорожнього руху могла працювати ефективно. Система розраховує кількість транспортних засобів на смузі та визначає розклад світлофорів на основі цієї кількості. У [35] використовуються датчики та камери для збору даних про трафік. Ці дані потім аналізуються, а дані датчиків використовуються для надання інформації про дорожній рух. Якщо довжина черги перевищує 100 метрів, транспортні засоби, які наближаються до перехрестя, будуть сповіщені. Дані камери використовуються для перегляду даних транспортного засобу (номерний знак, тип автомобіля). У [36] пропонується заснований на історії алгоритм управління трафіком. Інформація про дорожній рух за попередній рік використовується для прогнозування поточного транспортного потоку. На основі цих прогнозів регулюється цикл для зеленого та червоного вогнів.

1.1.2 Розумні світлофори для екстрених машин

У [37] використовується RFID для виявлення викрадених транспортних засобів. Якщо викрадений автомобіль перетинає перехрестя, на пост міліції надходить SMS. Автомобілі екстреної допомоги відрізняються RFID-мітками та використовується концепція зелених хвиль (завжди горить зелене світло). Цей механізм не використовує камеру через проблеми з погодою (якщо погода погана,

якість зображення погіршується, обробка зображення ускладнюється). У [38] створюється інтегрована система, щоб кожен транспортний засіб міг спілкуватися. Кожен транспортний засіб надає інформацію (швидкість) для інших транспортних засобів. Тривалість зеленого світла розраховується виходячи з відстані транспортного засобу до перехрестя та розрахункового часу прибуття. Кількість транспортних засобів підраховують за допомогою камери, а аварійні розрізняють за допомогою датчиків. У [38] авторами розроблено механізм виявлення аварій, оповіщення та відстеження, щоб машина швидкої допомоги могла негайно проїхати через перехрестя якомога швидше. Система оснащена системою моніторингу здоров'я пацієнта (показників життєдіяльності). У [39] встановлюється схема управління трафіком на основі програмованого логічного контролера (ПЛК). Для виявлення транспортних засобів екстреної допомоги та запуску протоколів екстреної допомоги використовуються RFID-мітки. За нормальних робочих умов зберігається нормальна послідовність сигналів; при спрацьовуванні аварійного протоколу стан пристрою змінюється до того, як аварійний автомобіль доїде до перехрестя. Машина повертається до свого звичайного стану після закінчення аварійної ситуації. У [40] розроблено систему керування на основі програмно-визначеної мережі (SDN) та IoT для зміни циклу світлофора, коли виникає надзвичайна ситуація, за допомогою камер дорожнього руху. Контролер SDN зв'язується з хмарою, щоб зібрати дані про дорожній рух і організувати цикл світлофора на основі цих даних. У [41] використовується RFID для відстеження прибуття карет швидкої допомоги на певній відстані. Дані RFID обробляються мікроконтролером, який змінює світловий сигнал на зелений, коли швидка допомога проїжджає через світлофор. GPS, вбудований у мобільні пристрої водія швидкої допомоги, використовується для надсилання інформації з мобільних пристроїв у хмару. Мобільні пристрої використовуються для аутентифікації екстрених і не екстрених станів швидкої допомоги. У [42] пропонується система подання сигналу найближчому світлофору, коли наближається швидка допомога. Технологія RFID використовується в цьому дослідженні шляхом вбудовування RFID-міток у машини швидкої допомоги.

Водій швидкої допомоги активує мітку, якщо швидка допомога знаходиться в екстрених умовах, а потім мітку виявляє світлофор із зчитувачем RFID. Світлофор змінює колір на зелений, коли швидка допомога досягає певної відстані від світлофора, і горить зеленим світлом, поки швидка допомога не проїде світлофор.

У [43] використовується RFID для керування сигналами світлофора шляхом вимірювання щільності транспортних засобів. Пропонується технологія на основі RFID, яка може усунути затори в години скупчення людей і надати автомобілям екстреної допомоги захищені смуги. Основна мета цієї системи – ефективний контроль дорожнього руху та заохочення руху транспортних засобів екстрених служб. Транспортні засоби швидкої допомоги маркуються, коли на певній відстані виявляється сигнал RFID. Коли наближається автомобіль екстреної допомоги, сервер руху сповіщає Arduino на перехресті. Ця інформація, отримана Arduino, потім балансується сигналом RFID, отриманим від зчитувача RFID. Це підтверджує, чи перебуває автомобіль у аварійному стані. Поки не перевірено, шляхом перемикачів на зелене світло шлях для автомобіля швидкої допомоги звільняється. Якщо автомобіль екстреної допомоги отримує RFID-сигнал від Arduino, зелене світло вказує на його напрямок. Інформація про дорожній рух передається на сервер, щоб за допомогою веб-сторінок користувачі могли визначити умови руху.

1.1.3 Розумні світлофори для пішоходів

У [44] використовується підхід на основі нечіткості, застосовуючи три функції приналежності (низький, середній і високий) для кількості пішоходів (вхід) і фази світлофора (вихід). Критичний час (час перетину знову мало) і некритичний час визначаються правилом. Пішохідний перехід є пріоритетним, тому виділення часу на червоне світло для транспортних засобів збільшується, якщо збільшується кількість тих, хто переходить. У [45] оптимізовано світлофори, щоб повільні пішоходи (інваліди/люди похилого віку) могли безпечно переходити

дорогу, а затори зведені до мінімуму. Додатковий час на зелене світло виділяється пішоходам лише тоді, коли виявлено повільного пішоходу (з пристроєм IoT, встановленого на повільному пішоході). У [46] встановлюється модель для симуляції перехрестя, керованих сигналом, яка може бути використана для перевірки ефективності адаптивного керування в різних умовах руху, включаючи наявність або відсутність пішохідного руху на перехресті, використовуючи метод Монте–Карло. Різниця в швидкості зустрічного транспортного потоку і наявності або відсутності пішохідного руху визначається затримкою транспортного засобу, довжиною черги, циклами світлофора. Це дослідження створює числову модель, яка представляє продуктивність перехрестя з адаптивним керуванням для отримання середнього значення циклів світлофора, які можна використовувати, довжини черги та затримки транспортного засобу. У [47] пропонується система переходу дороги з використанням датчиків, відеоспостереження та освітлювальних приладів для відстеження пішоходів та їх освітлення, щоб допомогти автомобілістам легше уникати небезпечних ситуацій. Ця система складається з шести основних частин, а саме аналізатора відеоспостереження, який тісно співпрацює з системами відеоспостереження для відстеження пішоходів і запису переходів; детектори кордонів для виявлення пішоходів і транспортних засобів, що в'їжджають на певні території; освітлювальні прилади для освітлення переходів і видимості пішоходів здалеку та для освітлення систем відеоспостереження; блоки керування та диспетчерські центри для отримання останніх умов дорожнього руху та надсилання певних відеозаписів та роботи з алгоритмами; і центри екстреного реагування для систем звітності в центр управління в разі аварії.

1.2 Система управління дорожнім рухом у Мюнхені (Німеччина)

Поточне суттєве впровадження технології ITS у системі керування дорожнім рухом у Мюнхені дозволяє ефективно надавати покращені послуги з точки зору транспортного потоку, пропускної здатності та безпеки. Цей досвід

розкриває технічно розумні заходи, вжиті Мюнхенським центром управління дорожнім рухом (ТСС) у співпраці з усіма приватними та державними організаційними, економічними та соціальними джерелами, їх переваги та вплив цих заходів, завдяки чому ми можемо легко оцінити ефективність заходів, реалізованих щодо поточного трафіку. Поточні проблеми розширення застосування ITS також присутні. Крім того, є кілька майбутніх можливостей, які ретельно вивчаються системою управління дорожнім рухом Мюнхена для подальшого впровадження в міський транспорт. Ці заходи та їхні переваги розглядаються в світлі цілей, поставлених урядом щодо інтелектуального управління дорожнім рухом. Грунтуючись на розумінні того, що інтелектуальне керування дорожнім рухом є необхідністю, а не просто потребою, ми можемо знайти багато областей для подальших досліджень.

ITS об'єднують телекомунікації, електроніку та інформаційні технології – коротше кажучи, «телематику» – з транспортною технікою для планування, проектування, експлуатації, обслуговування та управління транспортними системами.

1.2.1 Загальна інформація

З величезним розвитком міської системи контролю дорожнього руху, Мюнхен займає третє місце в Німеччині. Тому інтелектуальна транспортна система є життєво важливою для ефективного та сталого управління існуючими та майбутніми транспортними системами Мюнхена. Столиця Мюнхен та її регіон дотримуються підходу спільного управління транспортом. Відділ дорожнього руху відповідає за світлофори, місцевий контроль дорожнього руху, організацію дорожнього руху та реєстрацію водіїв. Мюнхен має 1,35 мільйона населення на площі 370 квадратних кілометрів. У зовнішньому регіоні кільцевої дороги проживає 2,4 мільйона людей на площі 5500 квадратних кілометрів. У місті 2200 км доріг, а в області – 3800 км [48].

1.2.2 Контроль сигналів світлофора з індуктивними детекторами

Контроль сигналів світлофора, ймовірно, вважається найдавнішим додатком ITS, який використовується в міському середовищі Мюнхена. Хоча спочатку сигнали світлофора насправді не включали жодних інтелектуальних засобів, але з розвитком комп'ютерних наук контроль перехресть став більш специфічним питанням з 1980-х років [49]. Це більше, ніж просто інструмент, який зазвичай розділяє суперечливі рухи на окремому перехресті.

Сигнальна система в Мюнхені містить мікропроцесорні модулі, які забезпечують модальний штучний інтелектуальний контроль за допомогою збору даних із вбудованих індуктивних петель і детектора під дорожнім полотном. Наразі в Мюнхені на більшості міських перехресть встановлено 1106 номерів таких сигналізацій [50].

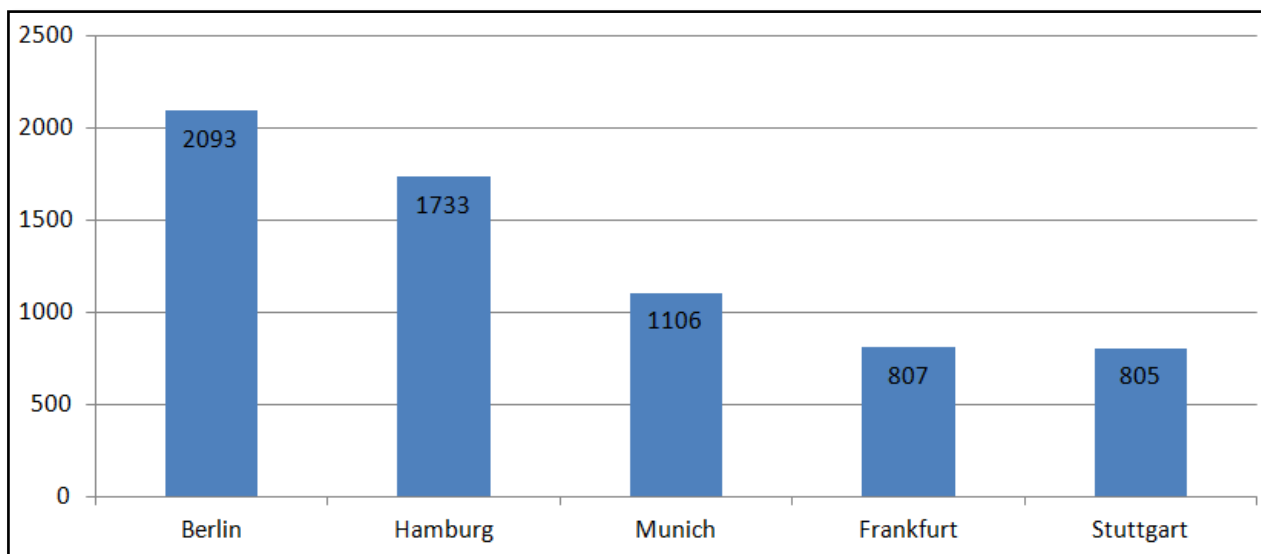


Рисунок 1.2 – Кількість пунктів управління світлофорами в різних містах Німеччини

Наслідками цього є розробка таких функцій, як пріоритезація громадського транспорту, у якому він розпізнає автобуси, трамваї тощо, щоб уникнути затримки зупинок на сигналах. Це також допомагає уникнути утворення

черг за автобусами та трамваями. Таким чином було оптимізовано пропускну спроможність на окремих рукавах перехресть [51].

1.2.3 Підхід MOBiNET

Мюнхен дотримується підходу MOBiNET (Інтернет мобільності), який є частиною передової транспортної телематики нового покоління. Це почалося у минулому десятилітті. Система фінансується Європейським співтовариством. Проект фокусується на управлінні мультимодальним транспортом, інноваційних транспортних технологіях і нових послугах мобільності. До складу MOBiNET входять мережа передачі даних та міські та обласні центри. Ця структура має на меті:

- оптимізація руху в магістральній мережі доріг;
- надання мультимодальних інформаційних послуг для перенесення попиту на громадський транспорт;
- застосування інноваційних концепцій для мобільного суспільства [48].

У таблиці 1.1 показано сегментні переваги стратегії ITS, яка використовується з підходом MOBiNET у Мюнхенській системі керування дорожнім рухом.

Таблиця 1.1 – Заходи та переваги підходу MOBiNET у системі управління дорожнім рухом у Мюнхені

Відрізок вимірювання	Переваги та вигоди
1. Інтермодальний вибір	Керовані паркувальні місця
	Поліпшення громадського транспорту
	Реорганізовано автобуси до станцій U–Bahn
	Надання більш прямих сполучень на U–Bahn

	Знаки альтернативного маршруту
	Забезпечення інформаційними вивісками
2. Динамічні знаки повідомлень (DMS)	Перевантаження в мережі для водіїв, щоб вибрати остаточний маршрут
	Знаки повідомлень із змінною швидкістю
3. Інформаційні послуги	Міська інформація (інформація про місто, події)
	Алгоритми найкоротшого маршруту
4. Інформація про громадський транспорт	Електронні розклади
	Інтеграція різних систем
	Інформація про паркування, включаючи вільні місця
	Інформація про відпочинок та дозвілля

1.2.4 Центр управління дорожнім рухом (Verkehrsrechnerzentrale, VRZ)

Мюнхенський центр управління дорожнім рухом, є частиною MOBiNET. Новий центр управління оснащений технікою інтелектуальної транспортної системи та розташований у штаб-квартирі поліції Мюнхена, де раніше було з'єднано транспортні сигнали. Встановлена більша кількість світлофорів, детекторів і камер для руху на дорогах і пішохідних зонах. На рис 1.3 показано оновлення Munich TCC з 2008 року до 2015 року.



Рисунок 1.3 – Модернізація Центру управління дорожнім рухом з 2008 по 2015 рік, Мюнхен

Переваги нового центр управління дорожнім рухом:

- співпраця між державою, містом, транспортом і залізницею;
- інформація щодо інформації перед поїздкою та на маршруті, альтернативи транспорту;
- оптимізація особистого вибору транспортного засобу.

Завдяки найновішій системі керування можна отримати доступ до інформації не лише про дороги, але навіть про тунелі. У мережі немає зображень із відеокамери для використання в соціальних мережах. Поліція Мюнхена в штаб-квартирі поліції може отримати доступ до цієї інформації для контролю над критичною ситуацією на дорозі. Вони чутливі до цього через проблеми безпеки та суспільного добробуту.

1.2.5 Центр управління автомагістралями

Оскільки місто вже просувається в галузі ITS, уже не дивно знати, що Мюнхен має власний окремий відділ для автомагістрального руху під керівництвом ТСС. Це зроблено для подальшого покращення транспортного потоку на автомагістралях, що починаються та проходять через Мюнхен та його регіон. Обсяг заходів ITS у сфері контролю за автомагістралями є досить

широким, тому вони коротко перераховані нижче та показані на: рис. 1.4, рис. 1.5, рис. 1.6, рис. 1.7.

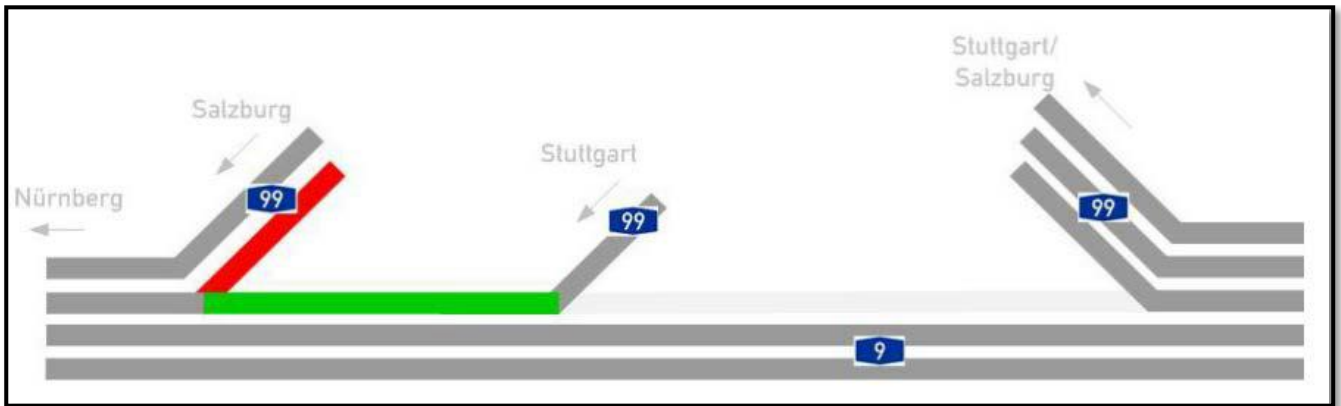


Рисунок 1.4 – Змінний розподіл смуг для системи контролю розв'язок, Мюнхен [52]

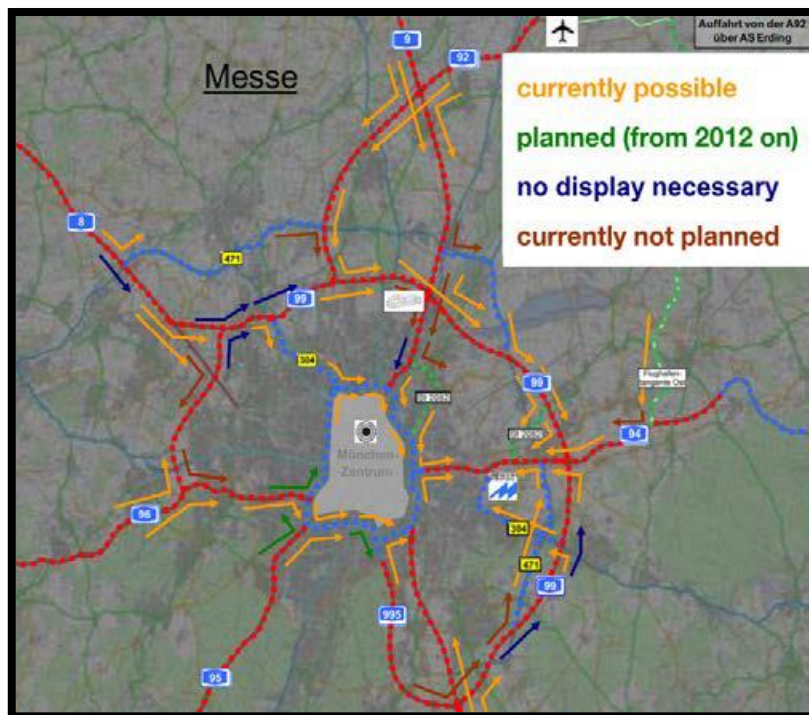


Рисунок 1.5 – Система управління мережею, Мюнхен

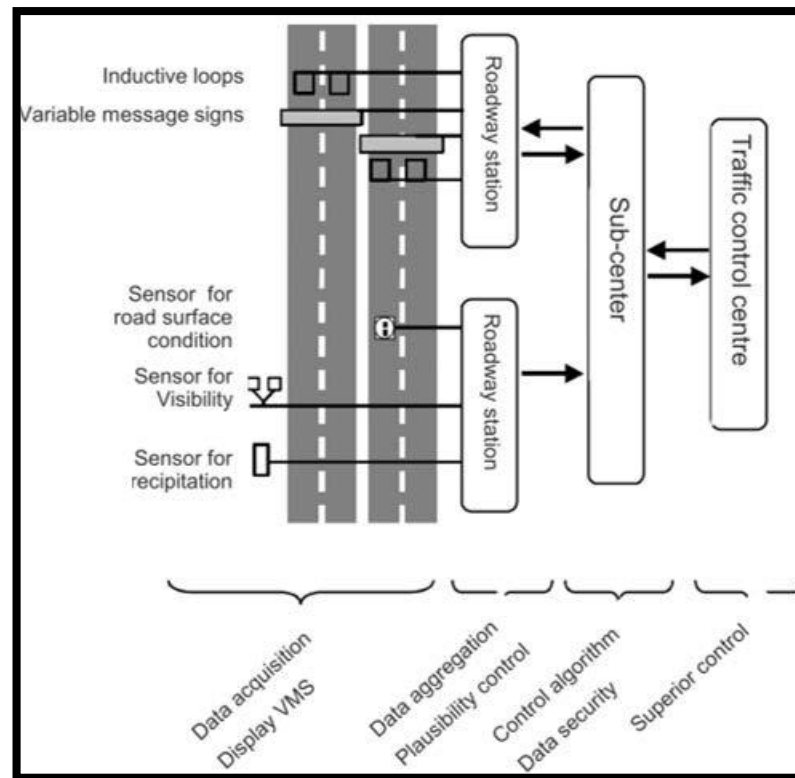


Рисунок 1.6 – Система управління секцією, Мюнхен

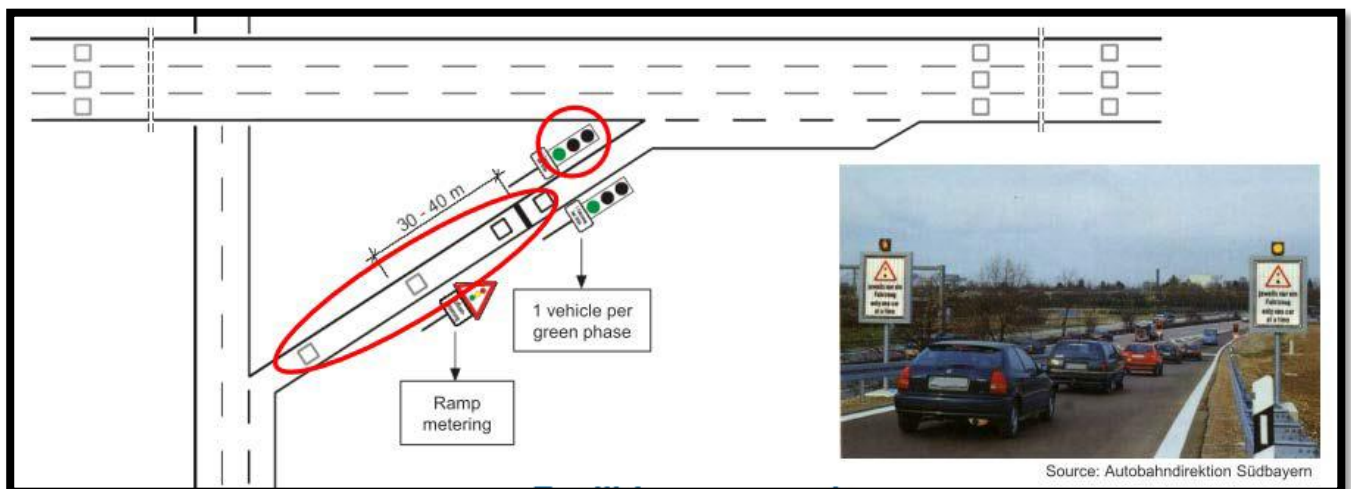


Рисунок 1.6 – Рампове вимірювання, система управління обміном, Мюнхен

Заходи та переваги:

- він використовує монітори дощу, монітори туману та детектори швидкості для безпечної та надійної їзди;
- контроль швидкості здійснюється за допомогою радара, встановленого на DMS;

- інше виявлення включає петлі, радар/ультразвук;
- система має 58 метеостанцій, 120 вимірювачів видимості (туману), 452 сенсорних петлі, 93 відеокамери [47];
- вимірювання рампи забезпечує дотримання обмежень швидкості та заохочує рух транспорту зливатися через різні швидкості на різних смугах;
- дані в системі зчитуються щохвилини;
- можна встановлювати ручні налаштування, наприклад екстрений виклик;
- електронні таблички можна змінювати вручну або автоматично;
- алгоритм DMS використовує змінну швидкість для кожної смуги, швидкість автомобілів та інтенсивність руху.

1.2.6 Додатки BMW–ITS (для керування кільцевою дорогою)

BMW є одним із провідних партнерів MOBINET. Він відповідає за оптимізацію магістральної дороги. Майже всі автостради в напрямку Мюнхена закінчуються на Середньому кільці. Це приблизно 30 км у довжину, переважно шосе з роздільними рівнями, з яких лише близько 25 перехресть мають сигнали. Обмеження швидкості 60 км на годину [47]. Він огинає центральний діловий район Мюнхена, тому має надзвичайне значення для руху транспорту в центрі міста.

Проблемні ситуації. Середня кільцева дорога має нерівномірний рівень насиченості, що призводить до частих вузьких місць і затримок, що зрештою спричиняє забруднення повітря та шумове забруднення та низький рівень безпеки. Це призводить до значного збільшення обсягу понад 157 000 автомобілів на день (середній щоденний трафік) у час пік [47].

Заходи що здійснюються. За допомогою технології ITS проблемні дані одночасно збираються, моделюються та калібруються в імітаційну модель для

розробки різних сценаріїв ITS. Потім найкращий сценарій інтегрується в проблемні ситуації, що має на меті покращити загальну продуктивність системи руху. Це досягається за рахунок:

- гармонізація транспортного потоку на кільцевій дорозі та її основних радіалах;
- збереження потужності системи протягом пікових періодів;
- подолання несприятливих наслідків заторів;
- моделювання, оцінка та ранжування різних сценаріїв ІТС для найкращого пакету адаптивних систем керування.

Результати найкращого комплексу містять наступні системи керування з різними просторовими впливами та перевагами для автомобілістів, як перелічено в таблиці 1.2 і показано на рис. 1.8.

Таблиця 1.2 – Заходи та переваги застосування BMW ITS для контролю кільцевої дороги, Мюнхен

Відрізок	Впливи	Переваги
1. Широкої прощі	Динамічний і збірний інформаційний знак (RING-INFO)	Кращий розподіл трафіку в мережі
2. Основний	Адаптивний контроль сигналу (BALANCE)	Інтермодальні та залежні від трафіку управління розв'язками
	Змінне призначення смуг	Оптимальне використання наявних потужностей
3. Локальний	Рампове вимірювання	Пандуси для оптимізації транспортного потоку в зонах переплетення

	Реальні умови руху	Попередження про ситуацію для водіїв
	Інформація про затори від в'їзду автомобіліста на кільцеву дорогу	Інформація для водіїв перед виїздом на кільцеву дорогу.

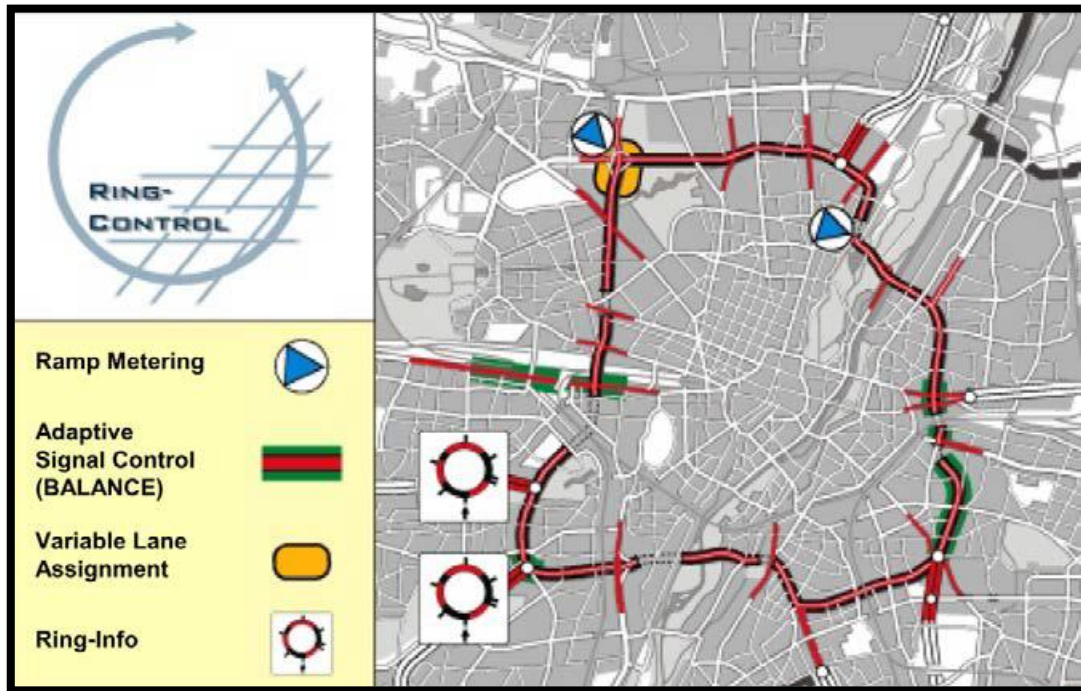


Рисунок 1.8 – Заходи ITS для контролю кільцевої дороги, Мюнхен

1.2.7 BMW для Мюнхена

Для щоденних пасажирів, за схемою «BMW i», BMW запустила екологічно чисті транспортні засоби, які можна орендувати на всіх незалежних станціях. Це перешкоджає використанню приватного транспорту та скорочує відстань у дорозі, а отже значно скорочує безперервний дорожній рух. Нині майже в усіх районах Мюнхена є близько 500 транспортних засобів [53]. Переваги:

- скорочені поїздки за допомогою схем «Drive Now» і «Park Now»;
- покращена мобільність;
- екологічно чисті транспортні засоби.

Навігаційний блок BMW використовує піктограми замість тексту для надання інформації водіям. Повідомлення генеруються шляхом отримання даних з центру інформації про дорожній рух та інших джерел. Потім дані пересилаються до центру обробки повідомлень у Баварському регіональному центрі, а потім до Німецької автомобільної асоціації для передачі в автомобіль [47]. У BMW також є система попередження маячками вздовж автомагістралей (включаючи Мюнхен), яка запалює червоні маячки вздовж дороги, коли попереду є аварія (попередження). BMW також інвестує в динамічний маршрут і очікує надходження від цього підприємства.

1.2.8 Додаток Bayern-Info

Крім додатку MVG, місто має розумний і портативний додаток для своїх людей. Bayern-Info – це онлайн інформаційна система в режимі реального часу для пасажирів і автомобілістів Баварського регіону. Центр керування дорожнім рухом надає прогнози руху та динамічну інформацію в реальному часі. Програма автоматично збирає дані про дорожній рух із детекторів, плавучих автомобілів, підрахунки трафіку та дані про погоду за допомогою попередньо запрограмованих алгоритмів. Іншу інформацію надають поліцейське управління, Німецька автомобільна асоціація, телебачення і радіо. Він має гнучкість для постачальників послуг, щоб додавати додаткові дані, щоб захистити політику справедливого використання.

Завдяки всій підтримці різних департаментів міста Мюнхена та землі Баварія, він має наступні переваги для клієнтів, які використовують програму:

- мобільний додаток можна встановити на мобільні телефони, КПК і планшети;
- персоналізована та індивідуальна інформація;
- затори, інциденти та затримки враховуються, і зміни можуть бути надіслані людям;

- містить електронні розклади залізничного та громадського транспорту та варіанти бронювання маршруту;
- доступні інтегровані та автоматизовані зв'язки між різними системами та режимами;
- інформація про паркування та проїзд показує, де, коли та кількість доступних місць для паркування;
- можна отримати доступ до зображень Live Camera;
- пошук маршруту для їзди на велосипеді та пішки можна знайти МИТТЄВО.

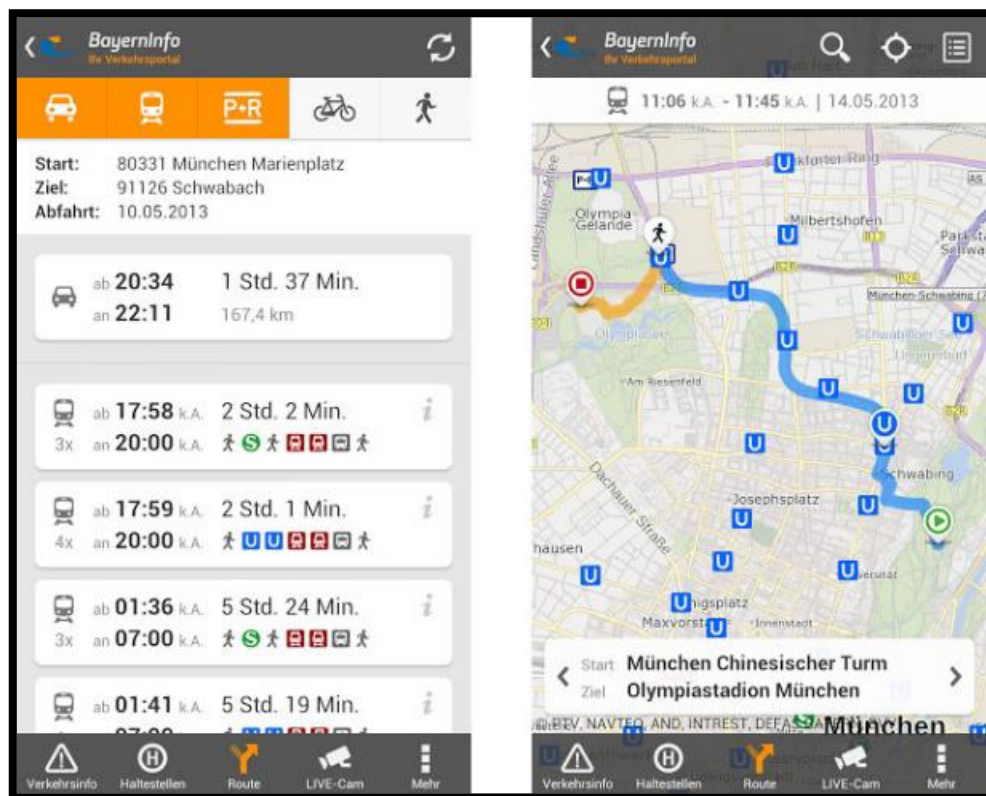


Рисунок 1.9 – Bayern Info App

1.2.9 Майбутні кооперативні системи – технологія комунікаційних автомобілів

Прямий зв'язок транспортних засобів один з одним, а також між транспортними засобами та інфраструктурою (включно з центрами управління дорожнім рухом) призводить до зменшення небезпечних ситуацій і кращої якості трафіку завдяки розширеному та швидшому обміну інформацією. Це засновано на технології Car-to-X (V2X). Робота над цим ведеться спільно з іншими проектами, такими як SimTD, у більшості великих міст Німеччини, включаючи Мюнхен у Мюнхенському технічному університеті [54].

Технологія car-to-x (V2X) тепер готова до виходу на ринок [55]. Перший запланований відрізок – це коридор між Роттердамом і Віднем через Франкфурт-на-Майні та Мюнхен.

Проект SimTD об'єднав усіх гігантів галузі для однієї реалізації однієї технології «Car-to-X» і був ініційований Асоціацією автомобільної промисловості (VDA). Німецькі компанії-виробники автомобілів, такі як Daimler, Opel, Ford, Audi, BMW, Volkswagen, і постачальники, такі як Bosch, Siemens і Continental, є головними учасниками проекту. Він також підтримується німецьким Telekom як глобальним постачальником телекомунікацій. Результати випробувань чітко показали підвищення безпеки, ефективності та комфорту на дорозі. [54].

У Мюнхені проводяться численні дослідження ITS – найпередовішої технології сучасної епохи в області систем управління дорожнім рухом. Їхній вплив і переваги помітні лише частково, і їх ще належить дослідити в більш широкому масштабі. Деякі з них наведено нижче.

- електричні вантажівки на дорогах Мюнхена;
- Audi Hotspot (наразі лише для міських автомобілів Audi A1, A6, A7 і A8). [8]

Після вивчення всіх заходів та їх відповідності досягненню мети ITS було виявлено різні переваги. Наприклад, DMS використовуються, щоб повідомляти автомобілістам, що відбувається попереду, і надавати інформацію про паркування (park-and-ride), коли знак не використовується для керування дорожнім рухом, як показано на рис. 1.10. Іншою перевагою є зменшення дорожньо-транспортних пригод, як показано на рис. 1.11.



Рисунок 1.10 – Мультимодальний DMS, Мюнхен

У світлі поточного розвитку сфери ІТС у Мюнхенському регіоні можна сказати, що в Мюнхені вже функціонує мультимодальна інтегрована система руху. Оскільки більшість переваг відповідає цілям ІТС Баварія, можна чітко проілюструвати, що вона працює ефективно досі, доки результати майбутніх можливостей практично не видно.

Політична підтримка ІТС дуже важлива, і саме тому місто Мюнхен вибилося в таблицю лідерів щодо застосування ІТС у власній системі управління дорожнім рухом. Одним із таких прикладів глибокої підтримки є потужна заява мера Мюнхена: «Ніхто не стверджував, що інтелектуальна транспортна технологія сама по собі вирішить проблеми, пов'язані зі збільшенням рівня

трафіку. Справедливо навпаки. Але вірити, що ми можемо обійтися без інтелектуальних систем управління трафіком, коли ми по шию завантажені трафіком і транспортні проблеми, це ілюзія!» [47].

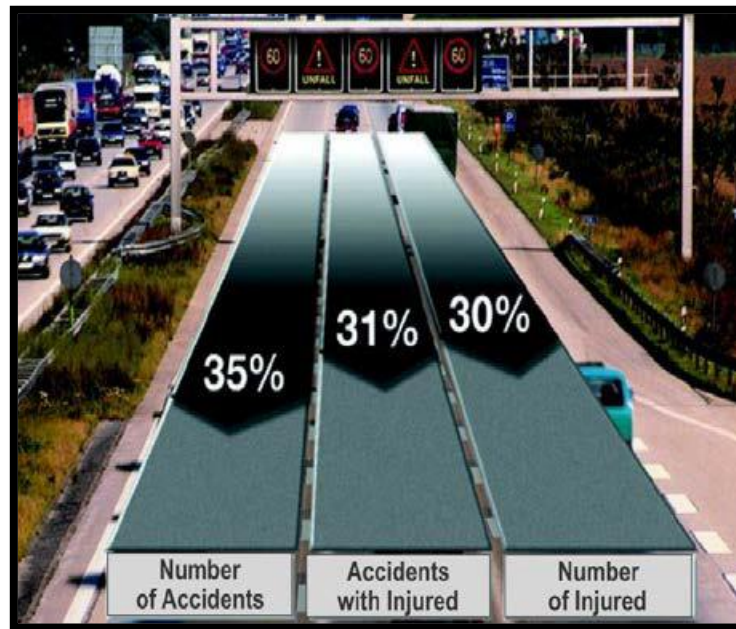


Рисунок 1.11 – Результати ITS у зменшенні дорожньо–транспортних пригод, Мюнхен

Дослідження показує, що технологія ITS відіграє важливу роль у покращенні TCS Мюнхена щодо транспортного потоку, часу в дорозі, інформації та безпеки, отже, досягаючи цілей ITS Bavaria.

Розглядаючи численні переваги та вплив, дослідження робить висновок, що впровадження всіх ITS технологій було не лише потребою міської системи керування дорожнім рухом, а й необхідністю нинішнього та наступного поколінь. Ось як місто стає стабільно розвинутим, коли воно враховує потреби наступного покоління, одночасно задовольняючи поточні потреби. Результати дослідження безпосередньо пов'язані з фокусом дослідження, і з переваг Мюнхена стає зрозумілим крок до повноцінного розумного міста. Отже, виявлено, що більшість заходів існує величезна взаємозалежність. Наприклад, у разі інтеграції двох видів транспорту, а саме: автобусні лінії метро та лінії поїздів U-Bahn, це можливо

лише за допомогою інтелектуальної системи світлофорів, завдяки якій сполучні станції функціонують відповідно до розкладу.

1.3 Висновки до розділу

Розробка технології розумних світлофорів включає кілька аспектів, включаючи процес виявлення транспортних засобів, як громадських, так і екстрених, процес виявлення пішоходів і алгоритм планування, який використовується для різних конкретних ситуацій. У процесі виявлення транспортних засобів або заторів використовуються такі технології, як камери, бездротові сенсорні мережі та RFID. Для виявлення пішоходів на переході часто використовується технологія камери. Технологія RFID зазвичай використовується для розрізнення типів транспортних засобів. У цьому випадку транспортні засоби екстреної допомоги ширше використовують RFID, щоб відрізнити їх від інших транспортних засобів. Коли світлофор виявляє наявність RFID в транспортному засобі екстреної допомоги, смуга екстреної допомоги має пріоритет на зелене світло, щоб автомобіль екстреної допомоги міг проїхати безпосередньо через переїзд, не зупиняючись. RFID обрано тому, що він має велику відстань, не потребує прямої видимості, стійкий до складних умов і може відстежувати об'єкти в режимі реального часу. Камери є альтернативною технологією для визначення щільності транспортних засобів і присутності пішоходів, оскільки вони можуть описувати умови дорожнього руху з високою точністю за результатами обробки зображень, хоча рівень точності прямо пропорційний якості отриманого зображення. З точки зору використання алгоритмів для планування світлофорів, загалом використовуються алгоритми штучного інтелекту та машинного навчання, такі як алгоритми нечіткої логіки, генетичні алгоритми та нейронні мережі. Кожен із цих алгоритмів має переваги та недоліки, як показано в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Порівняння алгоритмів, які використовуються для планування розумного світлофора.

	Алгоритм нечіткої логіки	Генетичний алгоритм	Нейронна мережа
Переваги	Використовує просту математику для систем, які є нелінійними, інтегрованими та складними; має високу точність.	Підтримує багатокритеріальну оптимізацію; підходить для дискретних проблем, безперервних проблем або обох.	Може вчитися на складних і нелінійних моделях відносин; не має обмежень на вхідні змінні.
Недоліки	Має дуже високі обчислювальні вимоги для високого ступеня точності; відповідь не в реальному часі; обмежене використання вхідних змінних.	Має дуже високі вимоги до обчислень; займає багато часу.	Вимагає значних обчислювальних ресурсів; немає спеціальних правил визначення використовуваної мережі.

Незважаючи на те, що розробка інтелектуального світлофора може забезпечити такі зручності, як скорочення часу в дорозі та зупинок на перехрестях, існує одна проблема, яка перешкоджає адаптації розумного світлофора, а саме витрати, необхідні для пристроїв керування сигналами, мереж зв'язку та періодичних оновлень регулюють системи, здатні адаптуватися до умов руху. Ця адаптивна система потребує періодичного дослідження трафіку та повторного калібрування. Для подальшого технологічного розвитку, як з точки зору промисловості, так і академічних досліджень, очікується, що розумні

світлофори зможуть працювати відповідно до мінливих умов дорожнього руху завдяки високошвидкісному зв'язку. Потрібна подальша розробка алгоритму, щоб мати можливість інтегрувати дані про місцезнаходження, швидкість і чергу, отримані від транспортних засобів, а також від інфраструктури датчиків і передавачів, щоб робити прогнози та стратегії для моніторингу, навчання та оптимального реагування на умови дорожнього руху. Очікується, що в наступні роки розумний світлофор стане інфраструктурою, здатною самостійно керувати трафіком, щоб можна було мінімізувати фактор людської помилки в цьому завданні.

2 ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ

Аналіз вимог – це технічний процес системної інженерії, який є ключовим мостом між визначенням вимог зацікавлених сторін і процесами проектування архітектури.

Процес аналізу вимог отримує набори логічних рішень, щоб покращити розуміння Технічних вимог системи та зв'язків між ними. Параметри продуктивності та обмеження призначаються цим логічним рішенням, розробляються потенційні функціональні архітектури та визначаються Похідні технічні вимоги, які пізніше стають основою для проектування системи.

Деякі вимоги явно не вказані в наборі вимог вищого рівня, але вони повинні бути задоволені, щоб забезпечити повне системне рішення. Типи цих вимог включають:

Похідна вимога – вимога, яка явно не вказана в наборі вимог до зацікавлених сторін, але потрібна для задоволення однієї або кількох із них. Багато з них розглядаються в рамках процесу визначення вимог зацікавлених сторін.

Похідна технічна вимога – така, що є результатом розподілу технічних вимог до логічних моделей або аналізу альтернативних рішень. Похідна технічна вимога – це вимога до «проектування» системи.

2.1 Функціональні вимоги

Функціональні вимоги – вимоги, що становлять увесь необхідний функціонал системи, що розробляється. Перелік вимог до системи має бути наступний:

- централізоване керування світлофорами;
- аналіз даних дорожнього трафіку у режимі реального часу;
- перехід на автономне управління у разі надзвичайної ситуації;
- взаємодія із спецтранспортом;

- навчання та адаптування на основі даних зі стану дорожнього трафіку.

2.2 Нефункціональні вимоги

Нефункціональні вимоги визначають якісні характеристики програмної системи. Ці вимоги являють собою набір стандартів, які використовуються для оцінки конкретної функції системи. Перелік нефункціональних вимог:

- якісне апаратне та програмне забезпечення для надійної та швидкісної обробки великої кількості даних;
- не затратне впровадження у вже готові системи;
- легке масштабування системи;
- надійна система кібербезпеки від стороннього вторгнення у систему;
- відповідність до стандартів ISO.

2.3 Ролі користувачів у системі

Ролі користувачів діляться на три основних типи: оператор системи управління дорожнім рухом (оператор), водій спецтранспорту, який за спеціальних умов матиме перевагу у проїзді певної ділянки дороги та учасник дорожнього руху, будь то пішохід або водій будь-якого іншого від спецтранспорту транспортного засобу.

Ролі користувачів:

- оператор – це працівник державної автомобільної інспекції, який може у ручному режимі контролювати роботу розумних світлофорів встановлених у окремо взятому населеному пункті;
- водій спецтранспорту – учасник дорожнього руху, які мають перевагу із увімкненим проблісковим маячком на спецтранспорті, такі як: поліцейська машина, машина швидкої допомоги, транспорт

служба пожежної безпеки та інші машини спеціальних служб, які мають право першочергового переїзду у разі вмикання відповідних засобів;

- учасник дорожнього руху – решта учасників дорожнього руху, котрі знаходяться у межах роботи детекторів учасників дорожнього руху у рамках системи.

2.4 Опис сценаріїв використання

Детальний опис сценаріїв використання наведений у таблицях 2.1 – 2.6. Для опису дій використовуються наступні позначення: Для опису дій користувача використовується літера К та номер його дії; для дій системи – літера С та номер дії. Кожному сценарію використання задано унікальний ідентифікатор.

Таблиця 2.1 – Опис сценарію використання «Авторизація оператора»

Назва сценарію	Авторизація оператора
Ідентифікатор	1
Спричиняє подію	Авторизує співробітника у системі
Короткий опис	Авторизація оператора за його ідентифікаційними даними
Частота	Кожного разу, коли будь-який користувач здійснить спробу авторизації
Актори	Оператор
Передумови	Можливість мати доступ до користуванням системи у рамках доступу оператора.
Вихідні умови	Авторизований користувач–оператор у системі
Опис дій	К1 – користувач–оператор здійснює необхідні заходи для ідентифікації у системі С1 – система здійснює перевірку за своєю системою

	захисту С2 – у разі вдалої перевірки дає доступ користувачу у рамках відведених повноважень С3 – у разі невдалої перевірки доступ буде заборонений
Очікувані умови	Авторизований користувач–оператор у системі

Таблиця 2.2 – Опис сценарію використання «Перехід системи у автономний режим»

Назва сценарію	Перехід системи у автономний режим
Ідентифікатор	2
Спричиняє подію	Переключає систему до автономного режиму
Короткий опис	Зміна режиму роботи у надзвичайних умовах на «автономний»
Частота	За надзвичайних умов, які унеможливають передачу даних між системою та пристроями керування дорожнього трафіку
Актори	Система
Передумови	Неможливість системи у регулюванні дорожнього трафіку у звичайний спосіб
Вихідні умови	Автономний режим роботи системи
Опис дій	С1 – початок переходу системи на автономний режим С2 – вмикання на усіх технічних засобах регулювання дорожнього трафіку режиму «за замовчуванням» С3 – завершення переходу системи на автономний режим
Очікувані умови	Система працююча у автономному режимі, усі засоби регулювання дорожнього руху в класичному, оптимальному режимі

Таблиця 2.3 – Опис сценарію використання «Зчитування інформації дорожнього руху»

Назва сценарію	Зчитування інформації дорожнього руху
Ідентифікатор	3
Спричиняє подію	Передача даних стану дорожнього руху до модуля обробки даних у системі
Короткий опис	Надання інформації про поточний стан на дорогах до системи для подальшого аналізу
Частота	Щомиті
Актори	Система
Передумови	Працююча у нормальному режиму система. Працюючі модулі зчитування інформації дорожнього трафіку
Вихідні умови	Передані дані до системи про поточний стан дорожнього трафіку
Опис дій	S1 – Зчитування інформації з модулів обробки даних дорожнього трафіку S2 – Передача даних до системи
Очікувані умови	Готова до передачі наступних даних система і відправка поточних даних до аналізу

Таблиця 2.4 – Опис сценарію використання «Аналіз стану дорожнього трафіку»

Назва сценарію	Аналіз стану дорожнього трафіку
Ідентифікатор	4
Спричиняє подію	Аналізує дані теперішнього стану дорожнього трафіку
Короткий опис	Аналіз отриманих даних поточного стану дорожнього трафіку
Частота	Щомиті
Актори	Система

Передумови	Актуальні дані поточного стану дорожнього трафіку
Вихідні умови	Скоригований дорожній трафік для його оптимального розвантаження
Опис дій	С1 – Аналіз даних поточного стану дорожнього трафіку С2 – Коригування сигналів світлофорів та інших пристроїв дорожнього руху, методом посилення вказівок наступної дії
Очікувані умови	Найоптимальніший стан усіх модулів керування дорожнім трафіком

Таблиця 2.5 – Опис сценарію використання «Знаходження оптимального шляху для спецтранспорту»

Назва сценарію	Знаходження оптимального шляху для спецтранспорту
Ідентифікатор	5
Спричиняє подію	Знаходить оптимальний шлях для спецтранспорту
Короткий опис	Система обраховує найоптимальніший шлях для спецтранспорту, котрий їде на виклик
Частота	Щоденно
Актори	Водій спецтранспорту
Передумови	Водій спецтранспорту котрий вмикає проблісковий маячок та іншу спецтехніку, котра дає перевагу у першочерговості проїзду
Вихідні умови	Складений оптимальний маршрут проїзду для спецтранспорту
Опис дій	К1 – Водій вмикає проблісковий маячок та/або іншу спецтехніку, котра дає перевагу у першочерговості проїзду С1 – Система отримує геолокацію водія та місця прибуття С2 – Система обраховує оптимальний шлях та робить «зелений коридор» для спецтранспорту С3 – Система надсилає маршрут до робочого обладнання

	водія
--	-------

Таблиця 2.6 – Опис сценарію використання «Ручне керування трафіком»

Назва сценарію	Ручне керування трафіком
Ідентифікатор	6
Спричиняє подію	В ручному режимі здійснює контроль над регулюванням світлофорами.
Короткий опис	Здійснення оператором контролю над окремими елементами управління дорожнім трафіком
Частота	Щоразу, коли оператор приймає рішення вручну змінити інструкцію окремого елемента управління дорожнім трафіком
Актори	Оператор
Передумови	Не найоптимальніший стан усіх модулів керування дорожнім трафіком
Вихідні умови	Передані вказівки на елементи управління дорожнім рухом
Опис дій	<p>O1 – Обирає кількість та тип інструкцій для елементів управління та затверджує їх</p> <p>S1 – Передача інструкцій на елементи управління дорожнім рухом</p>
Очікувані умови	Найоптимальніші, за думкою оператора, налаштування елементів управління дорожнім рухом, які нададуть найефективніший результат

2.5 Висновки до розділу

У цьому розділі було сформульовано загальні функціональні та нефункціональні вимоги до майбутньої системи. Вимоги що стосуються системи є ключовими характеристиками, що визначає її якість. У відповідності до усіх типів вимог, пропуск тієї чи іншої вимоги може поставити під загрозу цілісність і повноту системи. Функціональні і нефункціональні вимоги тісно пов'язані одним з одним багатьма взаємозв'язками.

Кожен проект досягає технічного успіху з вичерпного переліку вимог, зібраних як на початку, так і під час процесу розробки. Вимоги можуть бути розділені на дві широкі категорії: істотні і фундаментальні. Істотні вимоги впливають з функціональних вимог і, як видається, мають безпосереднє відношення до вирішення. Однак, так звані фундаментальні вимоги можуть не мати прямого зв'язку з рішенням, але вони мають першочергове значення для створення надійного середовища, у якому зберігаються істотні функціональні вимоги. Тому ці «нефункціональні вимоги» складають цілковиту структуру та інфраструктуру, які підтримують основу системи.

Інтерактивні сценарії повністю відповідають встановленим вимогам майбутньої системи. Чіткий аналіз вимог до системи вказує на те, що з самою системою мають взаємодіяти три ролі користувачів, причому, під час нормальної роботи системи людина буде виконувати дві ролі – оператора та водія спецтранспорту.

На основі даних сценаріїв є можливість розробити функціональні тести, задля перевірки, що програмне забезпечення коректно виконує описаний функціонал.

3 ОПИС СИСТЕМИ

Головна задача, яка повинна виконувати запропонована мною система – розвантаження дорожнього трафіку або заторів.

3.1 Компоненти системи

Для повноцінної роботи системи вона повинна мати всі необхідні елементи, а саме:

- центр управління системою;
- центр обробки даних;
- камери відеоспостереження;
- світлофори.

Центральне управління системою представляє собою великий дата-центр у котрому розташовується персонал, котрий буде керувати системою. Він буде відповідати за належний стан роботи системи, зв'язком між службами та компонентами системи.



Рисунок 3.1 – Макет центру управління системою

Центр обробки даних являється серверною, з великим об'ємом обчислювальних потужностей, подібно тому, який зображений на рис. 3.2. Великі потужності потрібні для щомиттєвого аналізу поточного стану на дорогах, обчислення оптимального маршруту, передачу даних на світлофори, прийманню даних з дорожніх камер, аналізу цих даних, а також навчання та адаптування нейронної мережі.



Рисунок 3.2 – Серверна великої компанії

Зв'язок з камерами є одною з критичних сторін роботи системи. Вони щосекунди передають поточну ситуацію на дорогах міста. Камери є «очима» системи, без яких система не може працювати у звичайному режимі і переключається до автономного режиму.

Зв'язок з світлофорами є ще одною з критичних сторін роботи системи. Це є «руками» системи, через які здійснюється процес керування трафіком. У разі відсутності сигналу від світлофорів до головного центру, то вони переходять до своїх стандартних налаштувань. Структурна схема системи зображена на рисунку 3.3. Діаграма компонентів системи зображена в додатку А.

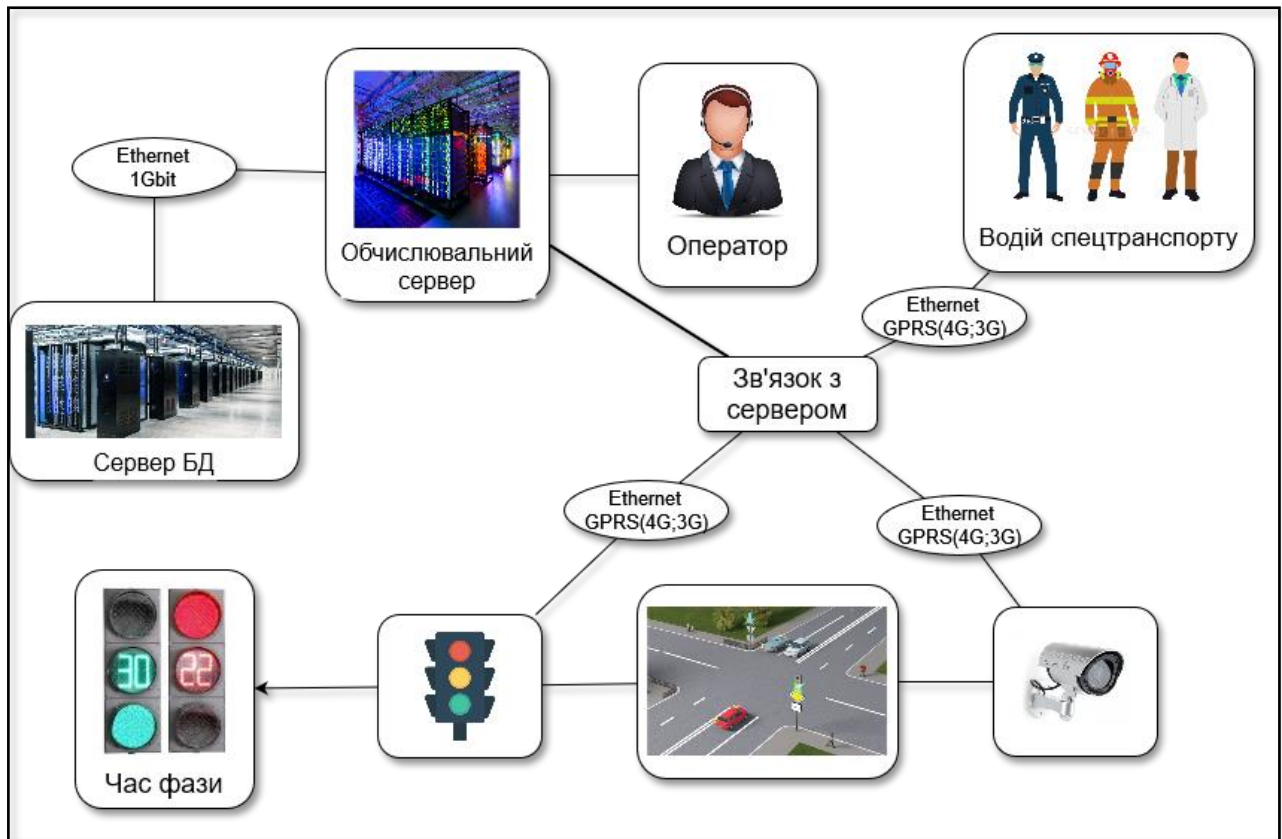


Рисунок 3.3 – Структурна схема системи

3.2 Принцип роботи

Об'єднання усіх компонентів системи дає змогу описати принцип роботи від початку до кінця. Принцип роботи полягає у повторювальних циклах керування світлофорами. Цикл починається перевірки доступності в отриманні даних з камер, котрі вказують на шлях до кожної частини перехрестя де встановлений світлофор. У разі позитивної відповіді та отримання даних поточного стану автомобільного трафіку наступною дією є аналіз отриманих даних, через який обраховується найоптимальніший сценарій для наступного сигналу світлофору. У разі успішної передачі інструкцій до світлофору починається наступний цикл роботи системи. Схема циклу стандартної роботи системи зображена в додатку Б.

У критичних та непередбачуваних ситуаціях оператор системи, може переключити режим роботи на автономний або/і в ручному режимі задавати

команди до груп світлофорів. У разі неможливості отримання інструкцій світлофорами, останні переходять до режиму роботи «за замовчуванням».

Обчислення найоптимальніших сценаріїв для перехресть здійснюється за роботи нейронної мережі на основі алгоритму навчання з підкріпленням. Найновітнішим алгоритмом для вирішення поставленої задачі є алгоритм Advantage Actor–Critic (A2C). Механізм Advantage Actor–Critic належить до сімейства алгоритмів навчання з підкріпленням (RL), спільно відомих як алгоритми Actor–Critic. Ці алгоритми пропонують метод роздвоєння процесів навчання та оцінки стратегій або дій та їх відносного впливу на навколишнє середовище. У цьому випадку використовуються два окремі процеси, які називаються процесами «актор» і «критик». Акторський метод відповідає за вибір конкретної стратегії. Потім метод критики оцінює наслідки цієї дії (обчислюючи щось схоже на Q–значення в підході DQN), вимірює жаль, пов’язаний з цією дією, і надсилає цей зворотній зв’язок процесу актора. Структура Q-network зображена у додатку В. Функція Advantage в A2C є модифікацією цієї акторсько–критичної архітектури, що використовує часове різницеве навчання (TDL). У TDL актор тепер намагається передбачити винагорода. Він припускає, що поточна винагорода також включає деяку знижену майбутню винагороду, яку вона може отримати, переходячи в певний наступний стан. Робота критика полягає в тому, щоб обчислити оцінку винагорода в наступному стані. Помилка, яка називається помилкою тимчасової різниці, тепер введена як параметр: це різниця між прогнозованим значенням усіх майбутніх винагород від поточного стану та поточним значенням стану, тобто додаткова винагорода, отримана в результаті отримання цього конкретного дії, ніж середня винагорода, яку можна було б отримати за інші дії. Це перевага стану. Тепер актор може навчатися, вимірюючи свою перевагу: якщо перевага більша за нуль, це означає, що дія, яка веде до цієї переваги, хороша для агента, і тому агент повинен продовжувати вибір цієї дії.

Найрозповсюдженішим методом у світі є метод кругового розкладу (Round Robin Scheduling). У цьому методі кожному агенту призначається фіксований проміжок часу, протягом якого його відповідна рука отримує зелений сигнал. Цей

квант залишається незмінним за будь-яких умов руху, включаючи порожні руки. Кожен квант складається з 30 часових кроків (timesteps) сигнального зеленого, за якими йдуть 3 часові кроки сигнального жовтого. Немає різниці між правоповоротним, прямим і ліворучним рухом. Round Robin (RR) досліджувався та порівнювався з іншими методами в статті [58], оскільки RR є найпоширенішим алгоритмом сигналізації дорожнього руху, який використовується на більшості транспортних розв'язок у всьому світі. Використання RR як базової лінії дає нам змогу ефективно оцінити відносне підвищення продуктивності, запропоноване іншими методами. На рисунку 3.4 зображено кругове планування для кванта часу t .

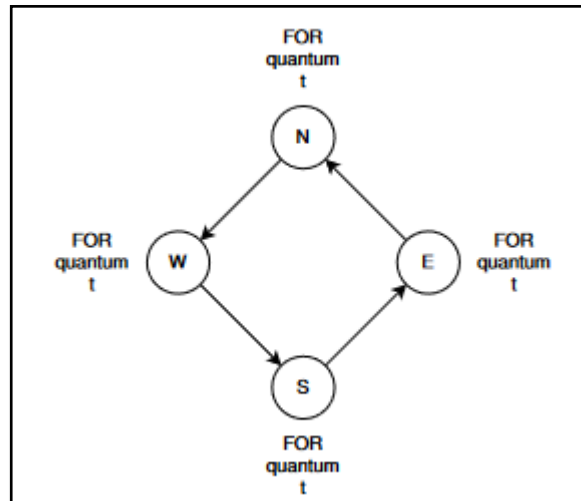


Рисунок 3.4 – Кругове планування для кванта часу t

3.3 Висновки до розділу

У цьому розділі було описано загальний стан системи, принцип її роботи, та головні аспекти. Визначено основоположні компоненти системи, та взаємодія між ними у головному циклі роботи.

4 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ

4.1 Техніки підстави впровадження системи

Головною технічною підставою впровадженням системи є їх відсутність на ринку України. Українські міста ще тільки на шляху цифрової трансформації у сфері розумного трафіку у рамках систем розумного міста. Основним центром для розроблення та впровадження системи є столиця. У 2021 році Київ посів третє місце у світовому рейтингу заторів, коли ще у 2019 посідав дванадцятє. [55]

У столиці вже є така система як «Безпечне місто», але вона не задовольняє усім вимогам мегаполісу. Основна функція безпеки полягає у фіксації порушень зі сторони водіїв, котрі підпадають під дію камер та радарів, що призводить до дотримування водіями правил дорожнього руху, а з іншої сторони поповнює державну казну за рахунок штрафів, котрі автоматично надсилаються водіям через систему МВС з подальшим блокуванням рахунків.

Запропонована система, у випадку з «Безпечним містом», повинна розширювати функціонал, використовуючи потужності теперішньої системи. Впровадження системи контролю за трафіком, можливе, через велику кількість встановлених дорожніх камер, котрі у режимі реального часу відслідковують машини, їх номерні знаки та швидкість. Додання модулів вимірювання щільності поточного трафіку на дорогах та передачі їх до центру обробки даних, маємо можливість бачити загальну картину на дорогах міста, що в свою чергу дає можливість контролювати процес пересування по дорогах міста, використовуючи світлофори, як головний регуляційний ресурс у цій справі. Використання передових алгоритмів обрахунку оптимального налаштування модулів керування дорожнім трафіком задля розвантаження доріг, відіграє головну роль у системі, завдяки чому маємо змогу зекономити велику кількість годин щороку для кожного громадянина міста.

Головною з ознак системи є відстеження стану полоси руху для громадського транспорту, так як перевезення громадян у час пік напряму впливає на економіку міста. Завдяки камерам можна отримувати інформацію про

автомобілі, котрі знаходяться на полосі для громадського транспорту, не з метою здійснення дозволеного маневру, штрафувати їх, що в подальшому призведе до вільного пересування громадського транспорту без затримок і користувачі громадським транспортом не будуть втрачати час на заторах.

Спираючись на проект плану відновлення України, а саме матеріалу робочої групи «Відновлення та розбудова інфраструктури», [56] є необхідність впровадження подібних систем під час розбудови інфраструктури о післявоєнний час, для створення нових технологічних міст, цифровізація котрих буде передовою у світі. Відбудова міст та будівництво нових районів буде вестись з новітніми практиками в урбаністиці. Враховуючи впровадження систем контролю за трафіком при процесі планування інфраструктури міст, на виході будемо мати місто з хорошим фундаментом для розширення з мінімальним виникненням проблем великих міст та мегаполісів.

4.2 Розгортання системи

Для розгортання системи потрібно підготувати велике приміщення під потреби критичної інфраструктури, тому воно повинно бути захищено від стороннього вторгнення, як з фізичного боку так і з кіберпростору, обладнано належними комунікаціями, системою резервного енергопостачання та іншими. Далі необхідно підлатувати приміщення для серверної. Далі отримуємо доступ до камер відеоспостереження та світлофорів. Коли основна робота щодо підготовці обладнання готове, час збирати дані для навчання нейронної мережі системи.

4.3 Алгоритми роботи системи

Як було вказано у попередньому розділі у запропонованій системі використовується нейрона мережа принципу навчання з підкріпленням. За основу пропонується взяти алгоритм Advantage Actor–Critic (A2C). Це оптимізація алгоритму Deep Q–Learning (DQN), яка працює так само добре, але при цьому

скорочує час, необхідний для обчислень/навчання, завдяки включенню паралелізму в Reinforcement Learning. [57]

Перші дані для навчання мережі будуть збиратись близько одного місяця. Кожної секунди інформація збирається камерами, спрямованими на транспортні засоби поблизу перехресть. Кожен запис у наборі даних складається з часу (time), ідентифікатора камери (id_camera) та інформації про транспортні засоби (cars_information). Потім передаємо ці дані реального трафіку в стимулятор дорожнього руху, де згодом проходить навчання та перевірку. Коли система буде запущена, робота системи буде складатись з офлайн та онлайн частин. На стадії офлайн ми встановлюємо фіксований графік роботи світлофора та пропускаємо трафік через систему для збору зразків даних. Після навчання із зразками, зареєстрованими на цьому етапі, модель буде розміщено в онлайн частині. На онлайн стадії, на кожному інтервалі часу, камери, що належать до світлофора будуть спостерігати за теперішнім станом та обирати можливі варіанти по зміні тривалості фаз світлофора. Після дій система отримує результати дії та оцінює їх ефективність, тобто присвоює нагороду. Після декількох ітерацій система оновлює журнали пам'яті мережі. [58] Модель онлайн–офлайн частин зображена в додатку Г.

4.4 Структура бази даних

База даних системи повинна містити інформацію про всіх співробітників котрі мають доступ, всю належну інформацію про камери, до яких світлофорів вони відносяться. Також має міститись інформація про кожен світлофор, котрий підпорядковується системі, та камери які вказують на ситуацію на перехресті, котре він регулює. Також безпосередньо у базі повинні зберігатись всі дані пов'язані зі статистикою роботи системи в усіх її галузях. Окреме місце відводиться для даних, котрі використовуються для навчання системи. Структура бази даних зображена на рисунку 4.1.

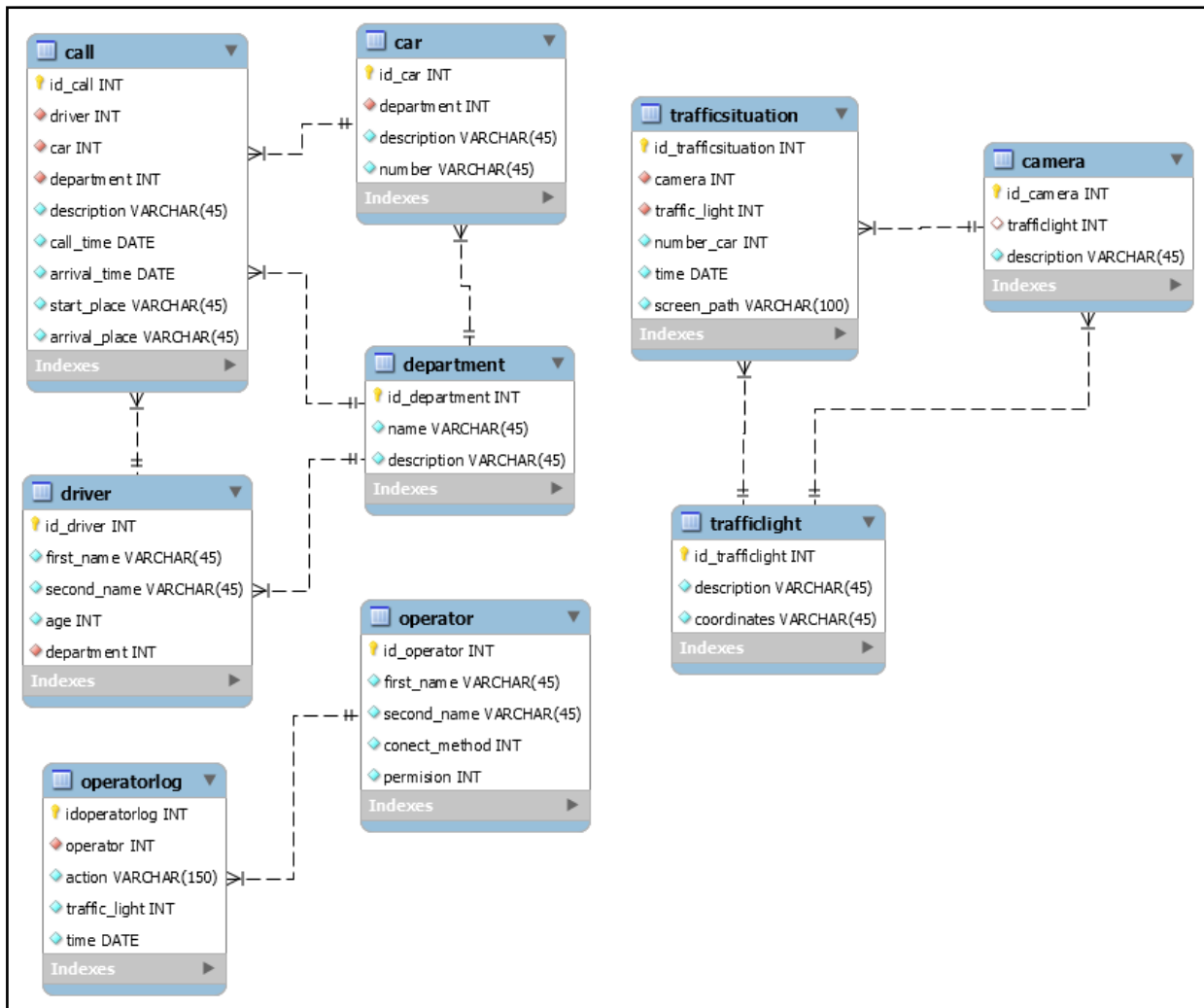


Рисунок 4.1 – Структура бази даних системи

4.5 Переваги системи

Переваги запропонованої системи над конкурентами такі, що система використовує для оптимізації дорожнього руху найновітніші технології розробки у цій сфері, котрі вже довели свою перевагу не тільки в експериментальних умовах, а і на реальних прикладах. Також, обраний метод швидко навчається, що дає змогу швидкого впровадження та практичного застосування. Окремою перевагою можна вважати легке впровадження з вже працюючими системами, такими як «Безпечне місто». Для цього потрібно тільки через API отримувати поточну картину доріг.

Одною з головних переваг системи – використання найкращого алгоритму обчислення фаз світлофора, яке було експериментально підтверджено.

4.5.1 Порівняння методів

Усі моделювання, залучені до проведення цього експерименту, було виконано за допомогою симулятора трафіку Eclipse Foundation Simulation of Urban Mobility (SUMO) [59]. Взаємодія зі сценаріями Python RL здійснювалася за допомогою інтерфейсу керування трафіком (Traffic Control Interface, TraCI), а дані генерувалися відповідно до внутрішніх дамнів даних SUMO.

Тут стан перетину визначає простір станів MDP із різними визначеннями відповідно до вибраного алгоритму. Простір дій полягає у виборі певного рукава перехрестя, щоб у будь-який час сигналізувати зеленим кольором. Функція винагороди відповідно змінюється від алгоритму до алгоритму. Перехрестя, яке використовується для експерименту, є чотиристороннім одно смуговим перехрестям з одним світлофорним регулятором посередині, як показано на рис. 4.2. Довжина дороги в кожному напрямку зафіксована на рівні 242,8 м. Представлення стану для перехрестя (середовище) вибирається відповідним чином на основі застосовуваного алгоритму синхронізації сигналу.

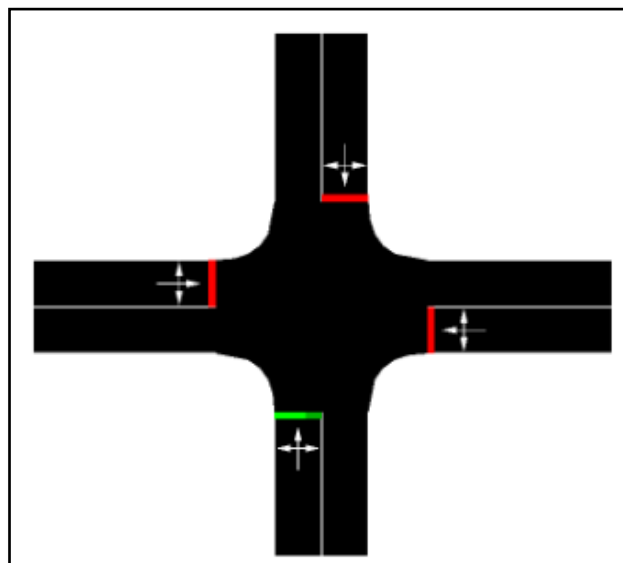


Рисунок 4.2 – Чотиристороннє одно смугове перехрестя (середовище)

Набір дій для множини (1) – це набір можливих дій, які агент може виконати з будь-якого заданого стану середовища. Для наших підходів RL набір дій (1) представляє можливі зелені фази, які агент – сигнал світлофора – може активувати.

$$A = \{S, E, N, W\} \quad (1)$$

Кожна дія множини (1), що належить A , представляє вхідну смугу (руку), для якої активована зелена фаза світлофора. Наприклад, дія E представляє агента, який активує зелену фазу для східної ($E2T$) смуги та дезактивує зелену фазу для решти трьох вхідних смуг – півночі ($N2T$), півдня ($S2T$) і заходу ($W2T$) котрі зображені на рисунку 4.3.

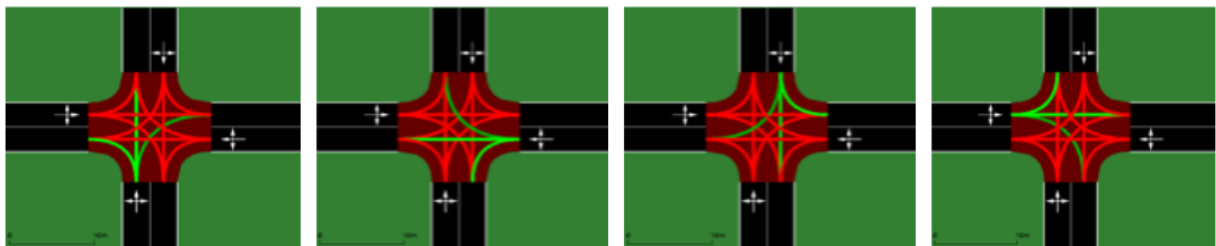


Рисунок 4.3 – Чотири дії зеленої фази (S, E, N, W)

Слід зазначити, що коли агент виконує дію на та вона відрізняється від попередньо виконаної дії a_{t-1} , необхідно виконати проміжну дію активації жовтої фази. Наприклад, якщо попередньо виконаною дією було E , а наступною дією є N , тоді потрібно виконати проміжну дію E_{yellow} , де активується жовта фаза для вхідної східної смуги ($E2T$).

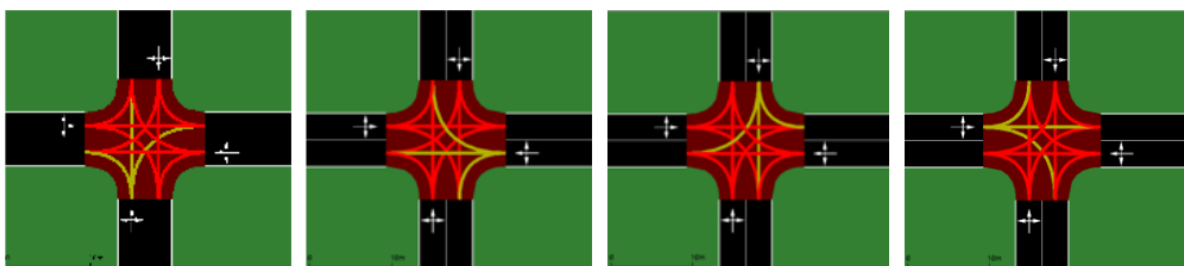


Рисунок 4.4 – Чотири дії проміжної жовтої фази

Файли маршрутів руху, які використовуються для тестування та навчання, генеруються з щільністю транспортних засобів на смугу, нанесеною відповідно до розподілу Вейбулла, щоб полегшити навантаження з часом. Для кожного алгоритму планування сигналу перевіряються три різні сценарії трафіку, причому умови трафіку в кожному випадку посилаються на певний номер сценарія (SCEN), як це зробили Vidali та ін. [60]. У першому випадку трафік рівномірно розподіляється між усіма рукавами (SCEN-1). У другому випадку щільність руху на рукавах N2T-S2T більша – 90% транспортних засобів рухається по рукавах N2T-S2T – (SCEN-2). Нарешті, більша щільність трафіку на рукавах E2T-W2T (SCEN-3). Підсумок наведений на рисунку 4.5.

У випадку нашого підходу керування зворотним зв'язком простір дії визначається як діапазон чисел від `min_time` до `max_time`. Тут порядок, у якому активуються зелені фази, фіксований, і лише час зеленого сигналу змінюється залежно від інтенсивності трафіку. У цьому підході проміжна дія жовтої фази виконується після кожної дії зеленої фази (іншими словами, 50% дій є діями жовтої фази).

Direction	Source	Destination	Probability in SCEN-1	Probability in SCEN-2	Probability in SCEN-3
Straight	North	South	0.1875	0.3375	0.0375
	South	North	0.1875	0.3375	0.0375
	East	West	0.1875	0.0375	0.3375
	West	East	0.1875	0.0375	0.3375
Turn (Left or Right)	North	East	0.03125	0.05625	0.00625
	North	West	0.03125	0.05625	0.00625
	South	West	0.03125	0.05625	0.00625
	South	East	0.03125	0.05625	0.00625
	East	North	0.03125	0.00625	0.05625
	East	South	0.03125	0.00625	0.05625
	West	South	0.03125	0.00625	0.05625
	West	North	0.03125	0.00625	0.05625

Рисунок 4.5 – Ймовірність руху для одного автомобіля

4.5.2 Результати експерименту

Порівнюються результати тестування різних агентів світлофора (Round Robin Scheduling, Feedback Control Mechanism (MONOPOLY), Deep Q-Learning, Advantage Actor-Critic) у трьох сценаріях дорожнього руху (SCEN-1, SCEN-2 і SCEN-3) за період часу в 5400 кроків. Основними параметрами, що цікавлять, є максимальна загальна довжина черги транспортних засобів, які очікують на всіх чотирьох в'їзних рукавах перехрестя, час, витрачений понад половину довжини черги, і подібність на графіках усіх сценаріїв дорожнього руху.

Агент призначений для роботи в трьох сценаріях трафіку, а загальна довжина черги показана на рис. 4.6 (довжина черги в порівнянні з часовим кроком). Пікова загальна довжина черги в SCEN-1 становить близько 88 транспортних засобів, тоді як для SCEN-2 і SCEN-3 пікова загальна довжина черги становить близько 57 транспортних засобів. Агент добре працює в рівномірних сценаріях трафіку (SCEN-1), і довжина черги перевищує половину лише в 33% випадків, але в неоднорідних сценаріях (SCEN-2 і SCEN-3) вона перевищує половину ~80% часу. Форми рівномірного і нерівномірного графіків не схожі.

MONOPOLY перевіряли на основі умов щільності трафіку SCEN-1, SCEN-2, та SCEN-3 із графіками на рис. 4.7 (довжина черги в залежності від кроку за часом). Ефективність MONOPOLY у сценаріях рівномірного трафіку (SCEN-1) демонструє схожість поведінки з RR. Однак за нерівномірної щільності трафіку агент працює значно краще, ніж агент RR. Час, витрачений із довжиною черги понад половину, становить 50%, оскільки час зеленого сигналу не витрачається без потреби на порожні смуги. Форми графіків у рівномірному та нерівномірному русі досить схожі. Пікова загальна довжина черги за рівномірного руху становить близько 89 транспортних засобів, а для нерівномірного руху – близько 53 автомобілів.

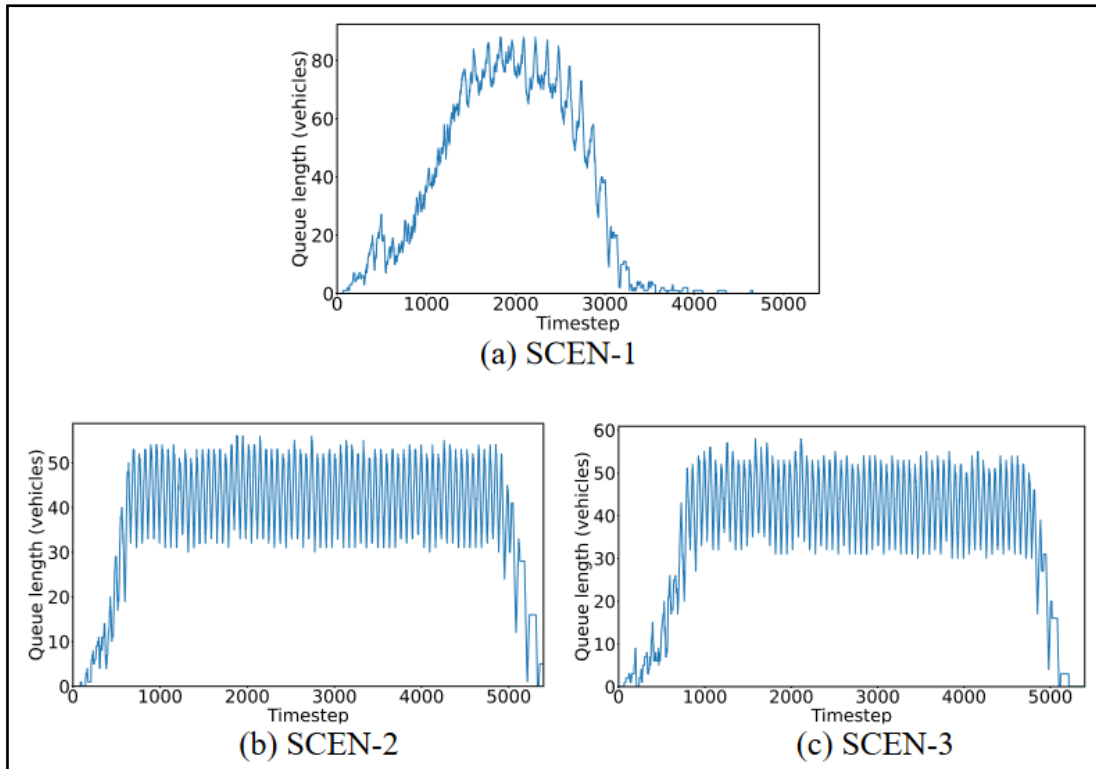


Рисунок 4.6 – Загальна довжина черги (вісь y) порівняно з часовим кроком (вісь x) за допомогою Round Robin (RR)

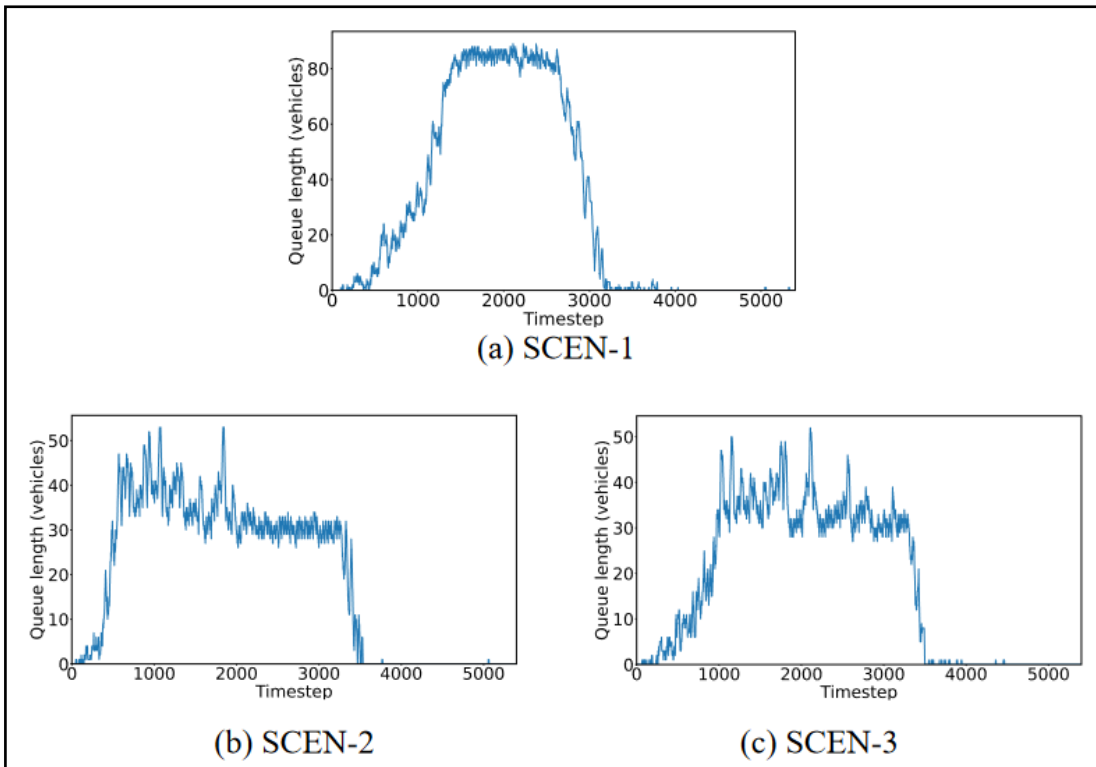


Рисунок 4.7 – Загальна довжина черги (вісь y) порівняно з часовим кроком (вісь x) за допомогою керування зворотним зв'язком

Істотним недоліком MONOPOLY є той факт, що за високого трафіку агенти діють егоїстично, при цьому кожен агент сигналізує зеленим протягом максимально допустимого часу, змушуючи механізм повертатися до RR.

Агент DQN перевірено на сценарії трафіку SCEN-1, SCEN-2 і SCEN-3, і відповідні довжини черг показано на рис. 4.8 (довжина черги в порівнянні з часовим кроком). Результати тестування агента DQN на єдиному агенті трафіку не показують значного покращення порівняно з RR і MONOPOLY. Однак його продуктивність при нерівномірній щільності трафіку значно покращується. Черги транспорту на всіх чотирьох рукавах перехрестя зрештою закінчуються або майже завершуються приблизно через 4000 кроків, і графіки всіх трьох сценаріїв руху мають досить однакову форму. Пікова загальна довжина черги при рівномірному русі становить близько 90 транспортних засобів, а при нерівномірному – близько 60 транспортних засобів.

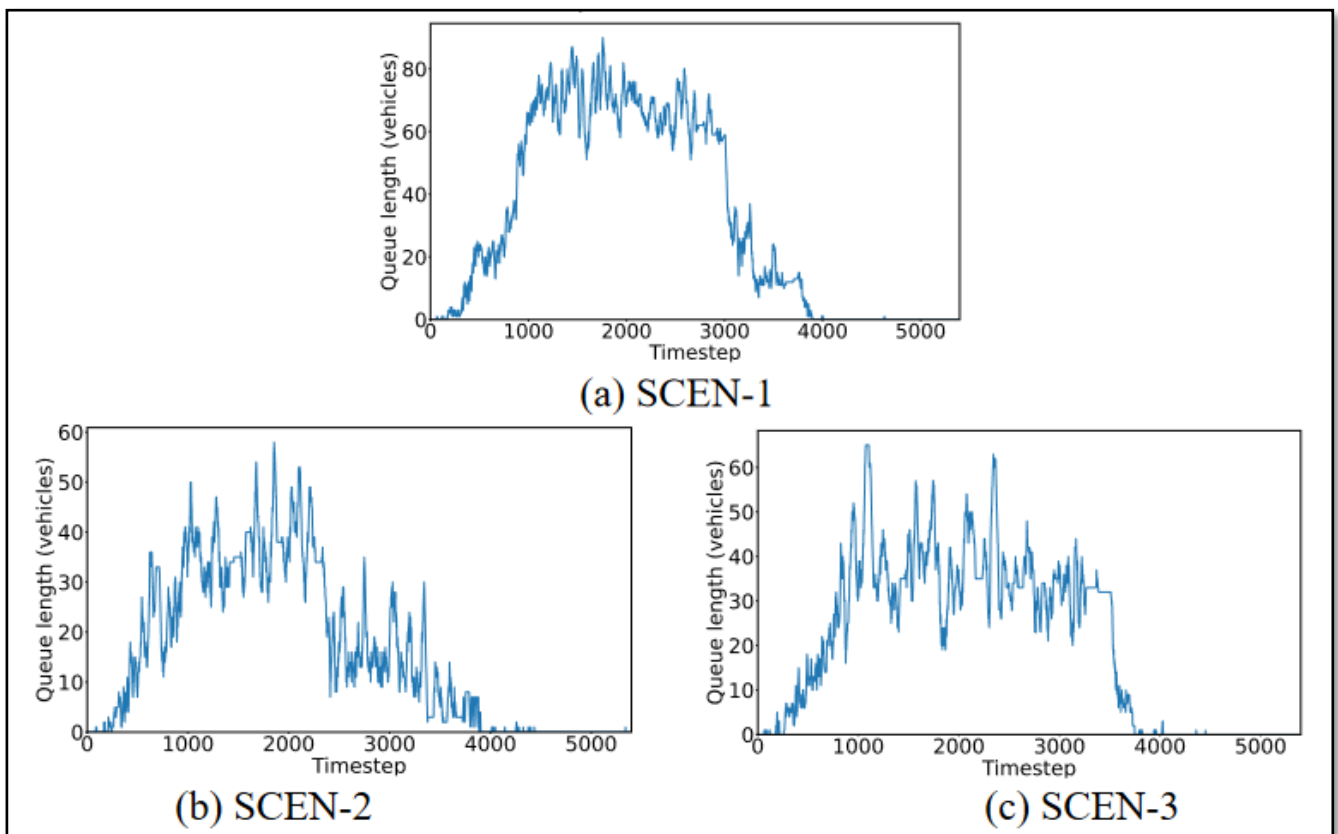


Рисунок 4.8 – Загальна довжина черги (вісь y) і часовий крок (вісь x) за допомогою DQN

Важливою перевагою агента DQN є симетрія його продуктивності в трьох сценаріях трафіку. Однорідні та нерівномірні ділянки майже нерозрізнені, приблизно 30–40% часу витрачається на довжину черги більше половини. Однак процес навчання займає багато часу, і оскільки мережі стають складнішими, очікується, що час навчання різко збільшиться.

Агент A2C перевірявся за тими ж трьома сценаріями трафіку. Графіки довжини черги в часі (рис. 4.9) виявились подібними до DQN у всіх трьох сценаріях, коли кількість процесів (робочих) було встановлено на 1, оскільки основним механізмом A2C є нейронна мережа багат шарового перцептрона (MLP). Хоча довжина черги була однаковою, час навчання був значно меншим, ніж DQN.

Підвищення продуктивності спостерігалось при збільшенні кількості процесів (N–CPU). Мірою продуктивності, обраною для порівняння, був загальний час очікування, а не довжина черги. Результати порівняння між різною кількістю процесів показані на рис. 4.10–4.12 (час очікування в порівнянні з часовим кроком і час очікування в порівнянні з кількістю процесів).

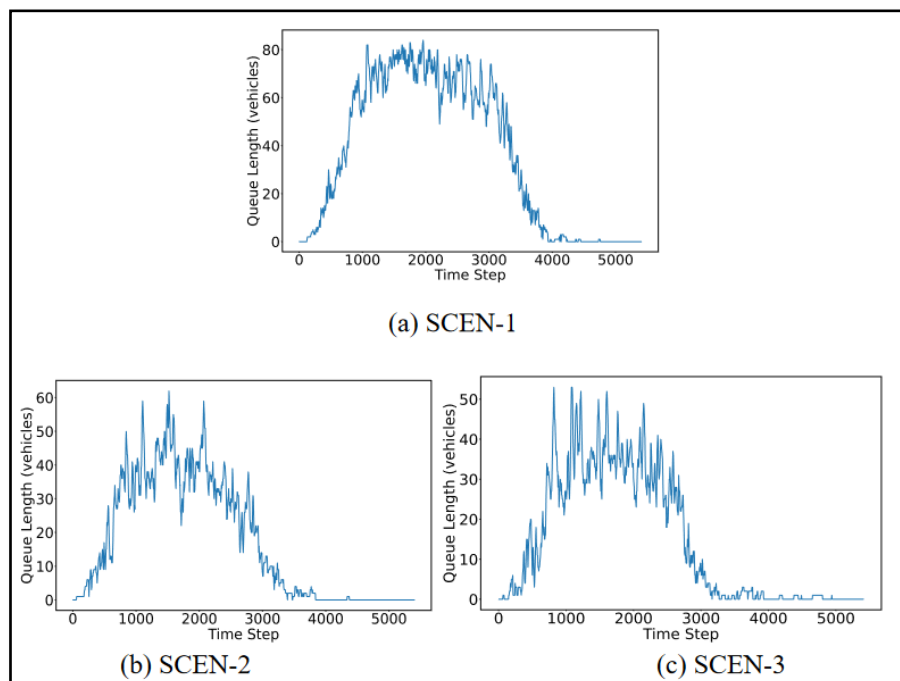


Рисунок 4.9 – Загальна довжина черги (вісь y) і часовий крок (вісь x) за допомогою A2C

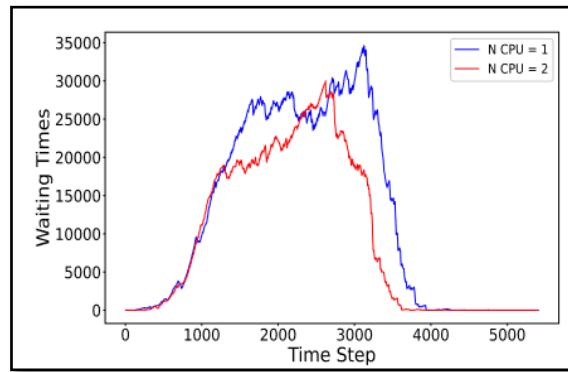


Рисунок 4.10 Порівняння N-CPU = 1 та N-CPU = 2

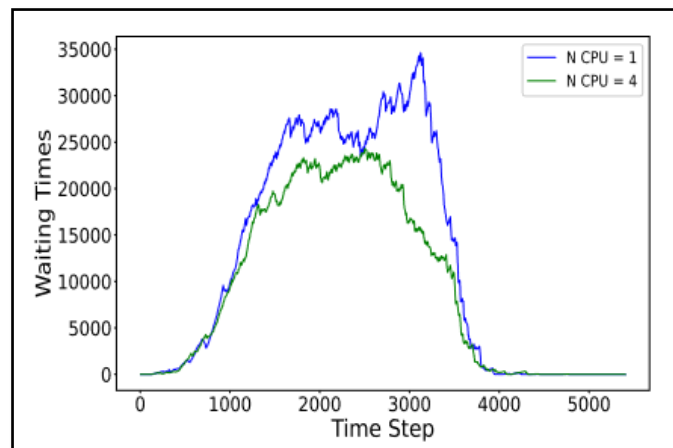


Рисунок 4.11 – Порівняння N-CPU = 1 та N-CPU = 4

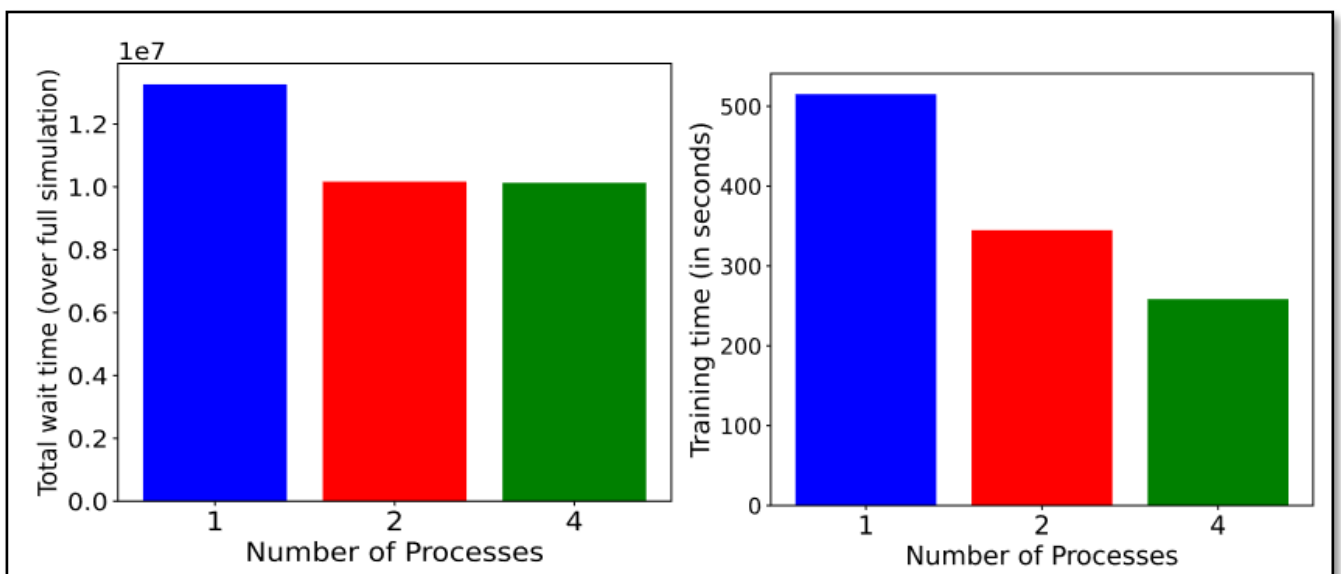


Рисунок 4.12 – Загальний час очікування порівняно з кількістю процесів та Час навчання проти кількості процесів. Рівняння на 1,2,4 процесорах

Основною перевагою A2C є покращення продуктивності (зменшення загального часу очікування), досягнуте меншим часом навчання, оскільки кількість процесів була збільшена. Це пов'язано з паралелізмом, який включено в A2C, як описано в [61].

Порівняння параметрів у результаті тестування різних агентів світлофора (RR, MONOPOLY, DQN, A2C) у трьох сценаріях дорожнього руху (SCEN-1, SCEN-2 та SCEN-3) наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Підведені підсумки

Алгоритм	Пікова довжина черги (транспортні засоби)			Частка часу, витраченого на понад половину довжини черги		
	SCEN-1	SCEN-2	SCEN-3	SCEN-1	SCEN-2	SCEN-3
RR	88	56	58	0.33	0.84	0.77
MONOPOLY	89	53	52	0.33	0.51	0.45
DQN	90	58	65	0.40	0.26	0.34
A2C	84	62	53	0.47	0.29	0.31

4.5.3 Практичне порівняння

Продуктивність агента A2C виявилася найбільш оптимальною та масштабованою, тому її перевірили на симуляції реального перехрестя (JP Nagar Sarakki Signal у Бангалорі, Карнатака, Індія. Координати: 12.906468, 77.573254). Мережа була отримана з OpenStreetMaps (OSM) і очищена в netedit, як показано на рис. 4.12. Дані трафіку були згенеровані відповідно до розподілу Weibull, згаданого раніше.

Довжину черги протягом часу спостерігали для агента RR (рис. 4.13) і агента A2C (рис. 4.14). Пікова довжина черги, сформована агентом A2C (35 транспортних засобів), становила приблизно половину піку, сформованого агентом RR (60 транспортних засобів).



Рисунок 4.12 – Перехрестя реального світу в OSM (ліворуч) і в Netedit (праворуч)

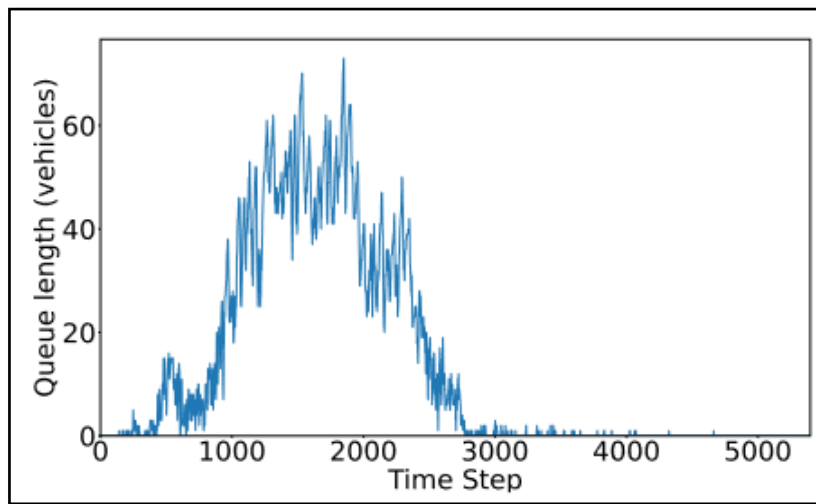


Рисунок 4.13 – Загальна довжина черги в порівнянні з часовим кроком RR

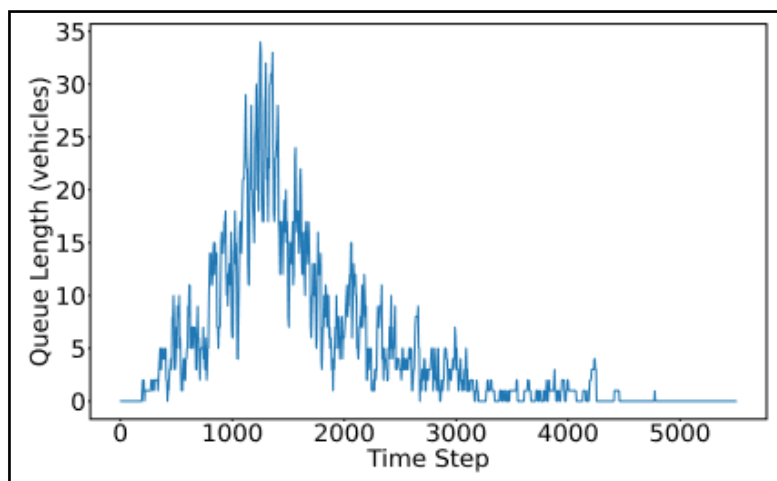


Рисунок 4.14 – Загальна довжина черги в порівнянні з часовим кроком A2C

Вище було представлено всебічне порівняльне дослідження деяких методів і алгоритмів, які можна використовувати для інтелектуального управління сигналами руху (ITSC). Хоча Round Robin (RR) є найпоширенішим, він неефективний для очищення трафіку, особливо в неоднорідних умовах руху. RR є перевагою, оскільки вона проста в обчисленнях і може використовуватися на перехрестях з низькою щільністю. Контроль зі зворотним зв'язком (MONOPOLY) забезпечує покращення умов неоднорідного трафіку, залишаючись при цьому обчислювально ефективним. Його можна вважати найефективнішим, дивлячись на компроміс між продуктивністю та обчисленням. Deep Q Networks (DQN) – це сучасний метод навчання з підкріпленням, який забезпечує вражаючу продуктивність, але вимагає інтенсивних обчислень. Advantage Actor–Critic (A2C) – це оптимізація DQN, яка працює так само добре, водночас скорочуючи час, необхідний для обчислень/навчання, завдяки включенню паралелізму в Reinforcement Learning. A2C та інші методи акторської критики найкраще застосовувати на перехрестях із високою щільністю, якщо продуктивність має першорядне значення та доступні обчислювальні ресурси.

4.6 Висновки до розділу

У даному розділі було освітлено фактичну реалізацію системи, на основі якого можна зробити технічне завдання, котре стосується приміщення, обладнання та вибір ПЗ, котре потрібно використати для створення системи. Обґрунтовано технічні підстави впровадження системи, на основі яких можна стверджувати, що реалізація системи є доцільною і необхідною.

Розглянуто експерименти на симуляції та з реального світу. Алгоритм A2C краще за своїх попередників на 45% (RR) та 18% (MONOPOLY) за часом проїзду транспорту по дорогах міста. Щодо алгоритму DQN, то за ефективністю розвантаження трафіку вони рівні, але нормалізація нагород у A2C відбувається за часом на 29% раніше. Це дає змогу швидше масштабуватись, втілювати робочу систему та вдосконалювати гнучкість системи після її впровадження.

Максимальна кількість транспорту на ділянках дороги майже незмінна від алгоритму до алгоритму в рамках експерименту, тому час реакції автомобілістів від початку руху на зелене світло світлофора брати до уваги немає сенсу.

За цими параметрами можна стверджувати про правильність підходу до вибору алгоритму роботи з трафіком.

5 СТАРТАП–ПРОЕКТ

Стартапом можна назвати бізнес ідею, яка має інноваційну та часто комерційну основу. Стартап, як форма мало–ризикового підприємництва набула високої популярності у світі за рахунок появи та розповсюдження Інтернету, як способу комунікації та знаходження ринків збуту, завдяки чому стало простіше знаходити клієнтів, інвесторів та ресурси для впровадження. Основу стартапів складають: свіжа ідея, зрозуміла подача та підхід, який допоможе вирішити актуальні на сьогоднішній день проблеми.

5.1 Опис ідеї проекту

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап–проекту

№	Зміст ідеї	Напрямки використання	Вигоди для користувача
1.	Контроль елементами керування дорожнім трафіком	1. Інтеграція системи контролю елементами дорожнього руху у рамках проекту старт–сіті	Зменшення часу проведення у заторах, та червоному сигналі світлофора
		2. Оптимізація шляху спецтранспорту та сповіщення усіх служб на місце	Найскоріше прибуття спеціалістів на місця надзвичайних подій

Основними технічно–економічними характеристиками ідеї є:

- якісна та доступна інтеграція з вже існуючими системами;
- можливість адаптації системи під потреби конкретного міста;
- використання вже придбаних потужностей;
- використання системи у системах хмарного сервісу;

- використання та навчання моделей машинного навчання;
- гнучкість та висока модульність системи.

Основними найближчими за функціональністю конкурентами є сервіси Telelink City та Rapid Flow. Для визначення сильних, нейтральних та слабких сторін системи, здійснено збір, аналіз інформації до значень, які торкаються техніко-економічних показників порівняно з ідеєю власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до переліку, котрий визначений вище. Таблиця 5.2 містить порівняння всіх зазначених систем. В цій таблиці стовпчик відповідає W – слабка сторона, N – за нейтральна та S – за сильна.

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Мій проект	Telelink City	Rapid Flow			
1.	Якісна та доступна інтеграція з вже існуючими системами	Має	Немає	Немає	–	–	+
2.	Можливість адаптації системи під потреби конкретного міста	Має	Має	Немає	–	+	–
3.	Використання вже придбаних потужностей	Має	Немає	Має	–	+	–
4.	Використання та навчання моделей машинного навчання	Має	Немає	Немає	–	–	+
5.	Використання системи	Має	Має	Немає	–	+	–

	у системах хмарного сервісу						
6.	Гнучкість та висока модульність системи	Має	Має	Немає	-	+	-

Отже, проект може бути успішним для реалізації на ринку, оскільки він має вузьку, але затребувану нішу систем з регулювання дорожнього трафіку.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

У рамках технічного аудиту ідеї проекту було проаналізовано технології реалізації, їх наявність та доступність, котрі описані в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технологій
1.	Якісна та доступна інтеграція з вже існуючими системами;	Azure Service Bus, Azure Functions, або інші	Наявна	Доступна
2.	Можливість адаптації системи під потреби конкретного міста	Azure Functions, інші	Наявна	Доступна
3.	Використання вже придбаних потужностей	Microsoft Azure, інші	Наявна	Доступна
4.	Використання системи як хмарного сервісу	Microsoft Azure, інші	Наявна	Доступна
5.	Використання та навчання моделей	Azure Virtual Machine, інші	Наявна	Доступна

	машинного навчання			
6.	Гнучкість та висока модульність системи	Azure Service Bus, Azure Functions, інші	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: є можливою.				

Згідно з проведеним дослідженням, перераховані вище технології є доступними для використання, моделювання та побудови системи, методи реалізації є доступними та більшість технологій є платними.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап–проекту

Наступним етапом запуску стартап–проекту є визначення ринкових можливостей та загроз. Ринкові можливості треба використовувати під час впровадження проекту до ринку, а ринкові ризики мають протилежну властивість – можуть перешкодити впровадження проекту на ринок. Для впровадження стартап–проекту до ринку, необхідно визначити теперішній стан ринку збиту, визначити його потенційні загрози, спланувати напрями майбутнього розвитку, нагальні потреби потенційних клієнтів та пропозицій теперішніх конкурентів. Інноваційна діяльність, порівняно з інакшими видами діяльності, у більшій мірі пов'язана з ризиком, як повної гарантії успішного результату практично немає. Як результат – інноваційні проекти у своїй більшості залежать від факторів невизначеності, так як вони є причиною виникнення ризиків. Потенційна характеристика сьогоденного ринку збиту зображена в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап–проекту

№	Показники ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	(розробник, оператори системи, водії спецтранспорту)

2.	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Понад 1000000
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4.	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Наявність замовлень зі сторони держави
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6.	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	145

Результатом дослідження є визначений результат, що середня норма рентабельності є задовільною, динаміка ринку є позитивною, в зв'язку з розвитком великого бізнесу та великий фінансовий потік у держструктурах, а ринок привабливий для входження.

Наступний крок – це необхідність виміряти характеристики потенційних клієнтів. Характеристика клієнтів описана в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап–проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Розвантаження транспортного потоку	Міська адміністрація, державна автоінспекція	Оператори будуть відслідковувати та реагувати на нужди водіїв спецтранспорту. Водії спецтранспорту будуть	Найбільш безперешкодне пересування по місту

			використовувати систему для ефективної роботи	
--	--	--	---	--

Аналіз потенційних груп клієнтів встановлює те, що основна частина клієнтів – це представники міських адміністрацій та державної автоінспекції. Тому важливим є зосередження на їх основних вимогах, а саме інтеграції з іншими системами у рамках проекту розумного міста. Після визначення вимог клієнтів необхідно перевірити кон'юнктуру ринку і врахувати фактори, що сприяють реалізації проекту на ринку, які вказані в таблиці 5.6, а також фактори, що перешкоджають цьому. Вони вказані в таблиці 5.7.

Таблиця 5.6 – Фактори можливостей стартап–проекту

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Висока ефективність продукту порівняно з заявленою ефективністю	Нові клієнти, розширення ринку	Масштабування та просування продукту на ринку
2.	Висока вартість закупівлі та використання готових рішень конкурентів	Нові клієнти, розширення ринку	Масштабування та просування продукту на ринку

Таблиця 5.7 – Фактори загроз стартап–проекту

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Розширення функціоналу систем конкурентів	Є сильна залежність від постачальників складових даної системи	Аналіз вимог користувачів та розширення функціоналу власної

			системи
2.	Поява нової системи–конкурента на ринку	Поява конкурентів	Аналіз вимог користувачів та розширення функціоналу власної системи
3.	Зміна цінової політики постачальника	Можлива нерентабельність у випадку підвищення цін на елементи та сертифікати системи	Адаптація цінової політики для клієнтів проекту
4.	Економічний спад	Відсутність нових клієнтів через те, що оптимізація бізнес процесів матиме низький пріоритет	Зсув пріоритетів на збереження клієнтської бази
5.	Мала кількість продажів	Прогнозовані продажі не виправдались	Пошук нових можливостей покращення продукту, збирання та дослідження відгуків користувачів

Встановленими основними факторами загрози, котрі пов’язані з розвитком та появою нових конкурентів, на що потрібно реагувати повторним аналізом вимог користувачів та адаптацією теперішньої системи під новітні вимоги. Встановлено, що інші загрози – вже є не критичними, бо ми саме на порозі закінчення економічного спаду, та вони мають низькі шанси на їх виникнення. Можливості до сприятливого ринкового впровадження призводять до зростання попиту і відповідно до популярності та проекту, що дає змогу масштабуватись.

Наступним крок – це аналіз існуючої конкуренції, котрий описаний в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив діяльності підприємства
Тип конкуренції: олігополія	Конкурентами є домінуючі в області компанії	Виготовлення продукту, що відрізняється нижчою ціною та більш конкретним призначенням
За рівнем конкурентної боротьби: світовий	Ринок охоплює всю планету	Забезпечення відповідності продукту стандартам різних країн
За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Конкуренти знаходяться в одній галузі (системи роботи з дорожнім трафіком)	Аналіз факторів, які впливають на успіх у даній галузі
Конкуренція за видами товарів: товарно-родова	Товари конкурентів виконують схожі функції, хоча основне призначення – інше.	Продукт має бути кращим у галузі
За характером конкурентних переваг: не цінова	Товар якісніше та більший мірі задовольняє вимоги клієнтів у порівнянні з конкурентами.	Вкладання ресурсів у підтримання вищої якості адаптацію продукту
За інтенсивністю: не марочна	Товар тільки виходить на ринок	Забезпечити успішний старт продукту на ринку

Завдяки ступеневому аналізу конкуренції на ринку, постає висновок, що дана галузь ринку є перспективним. Послуги конкурентів не задовольняють потреби користувачів у повній мірі, завдяки чому цей проект зможе закріпитись

на ринку. Детальний аналіз з умов конкуренції у передовій галузі описаний в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Компанії які спеціалізуються на керуванням трафіку та поставляють системи у повному обсязі з компонентами керуванням	Конкурентом може стати будь-який продукт, що буде задовольняти потребу в розумному трафіку	Наразі постачальниками виступають Telelink City та Rapid Flow	Великий транспортний бізнес, державні структури	Наявність на ринку конкурентів, але прямих аналогів замінників на даний момент не існує
Висновки	Інтенсивність потенціальної конкурентної боротьби доволі висока	Потенційні конкуренти можуть виникнути згодом	Існує сильна залежність від постачальників обладнання, проте вони не диктують умови роботи ринку.	Основними вимогами клієнтів є простота інтеграції та можливість комунікації з вже існуючими системами	Обмежень через товари-замінники немає

Аналіз за Майклом Портером визначив, що на даний час існують лише непрямі конкуренти поза межами ринку та існує мала можливість виникнення нових. Товарів–замінників не існує. Ситуація з приводу конкуренції на ринку є сприятливою, тому проект може мати успіх. Наступним кроком необхідно встановити ключові переважаючі сторони, котрі повинен мати проект, для того щоб бути конкурентоспроможним та мати поле для реалізації. Опис обґрунтування факторів конкурентоспроможності знаходиться в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування факторів
1.	Лояльна цінова політика	Вартість товару є нижчою за конкурентів
2.	Гнучкість та адаптивність	Система може адаптуватися під додаткові вимоги окремих користувачів
3.	Комплексний підхід	Поєднання усього функціоналу в одному місці покращує взаємодію користувача з системою
4.	Можливість розширення продукту	Продукт передбачає можливість розширення, що полягає у створенні інтеграцій для найбільш типових систем у сфері

Для того, щоб мати успіх в умовах сучасного ринку ситуації, були обрані основні фактори, за яких буде зафіксована перевага над конкурентами. Передовими серед факторів конкурентоспроможності є лояльна цінова політика, здатність підвибити ефективність процесів затребуваних клієнтом та можливість розширення продукту шляхом створення інтеграцій для вже функціонуючих

систем. Порівняння факторів конкурентоспроможності дає змогу визначити сильні та слабкі сторони стартап-проекту, котрі вказані в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін стартап-проекту

Фактор конкурентоспроможності	Бали 1–20	Рейтинг товарів–конкурентів порівняно з проектом						
		–3	–2	–1	0	1	2	3
Лояльна цінова політика	15	Rapid Flow	Tele-link City					
Здатність до підвищення ефективності процесів клієнта	15				Rapid Flow		Tele-link City	
Гнучкість та адаптивність	18	Rapid Flow	Tele-link City					
Комплексний підхід	14	Rapid Flow				Tele-link City		
Можливість розширення продукту	8	Rapid Flow			Tele-link City			

Порівняльний аналіз підсумовує, що за факторами конкурентоспроможності проект має переваги над теперішніми конкурентами і тому має імовірний успіх на ринку. Задля повноти аналізу, є необхідність провести SWOT-аналіз на основі ринкових можливостей, загроз, сильних та слабких сторін, які розміщені в таблиці 5.12. Переваги SWOT-аналізу полягають

у тому, що він дозволяє в потрібному обсязі та контексті розглянути поточне положення компанії, продукту або її послуги, і тому є найактуальнішим інструментом в управлінні ризиками і прийнятті управлінських рішень. Результати SWOT аналізу можливо використати для формування списку дій, які потрібно виконати для успішного впровадження проекту. Основна ідея полягає в аналізі сильних сторін проекту та з'ясування, як можна використовувати ці сильні сторони з цілю скористатися визначеними можливостями протидії загрозам.

Таблиця 5.12 – SWOT–аналіз стартап–проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> – функції, що відсутні у конкурентів; – найбільш повне задоволення вимог клієнтів; – висока ефективність впровадження проекту для конкретного клієнту; – актуальність проекту. 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> – не найсприятливіше ринкове середовище; – складність масштабного впровадження; – сильна залежність від постачальників; – вузька ніша.
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> – поява крупних клієнтів – інвесторів; – вихід на нові ринки або сегменти; – розширення ринку в наслідок зацікавленості в продукті; – розвиток технологій. 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> – проблеми з постачальниками; – поява нової системи–конкурента на ринку; – мала кількість продажів;

На основі SWOT–аналізу були розроблені альтернативи ринкової поведінки для просування проекту на ринок, котрі наведені в таблиці 5.13.

Таблиця 5.13 – Альтернативи ринкового впровадження

Альтернатива (орієнтовний	Ймовірність отримання	Строки реалізації
---------------------------	-----------------------	-------------------

комплекс заходів) ринкової поведінки	ресурсів	
Наступник	Значна	2–3 роки
Загарбник	Мала	Більше 3 років
Виклик лідеру	Мала	Більше 5 років

Для стартап-проекту були обрані три альтернативи ринкової поведінки. Використання комплексу заходів поведінки «Наступник» дозволить спеціалізуватися тільки на одній частині ринку, а вже потім поглиблювати свій вплив на сусідні частини. Поведінка «Виклик лідеру» має малу ймовірність на отримання ресурсів. Альтернативою останніх двох є «Загарбник», який орієнтований на захоплення ринку у конкурентів. У нашому випадку найкраще за строком реалізації та ймовірністю отримання ресурсів для впровадження підходить стратегія «Наступник».

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Для реалізації проекту на ринку, треба з'ясувати цільові групи потенційних клієнтів, та те наскільки вони зацікавлені та в яких сторонах проекту є інтерес, а також спосіб позиціонування товару, та необхідні об'єми продаж. Першим кроком – є визначення стратегії охоплення ринку та вибір цільових груп потенційних споживачів, що описана в таблиці 5.14.

Таблиця 5.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
Великий бізнес у	Високий	Середній	Низький	Низька

сфері розумного трафіку та державні служби				
Які цільові групи обрано: великий бізнес у сфері розумного трафіку та державні служби				

Наступним кроком є розробка стратегії поведінки на ринку, яка полягає у визначенні базової стратегії розвитку, котра наведена в таблиці 5.15.

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Наступник	Концентрація на потребах великого сегменту ринку	Надання клієнтам програмного продукту з унікальним функціоналом	Стратегія спеціалізації

Наступним етапом процесу розробки ринкової стратегії – вибір стратегії конкурентної поведінки, яка наведена в таблиці 5.16.

Таблиця 5.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Продукт є	В першу чергу	Компанія буде	Наступник

першопрохідцем у вузькому сегменті задоволення потреб багатьох клієнтів	проект має зайняти нішу у наданні послуг розумного трафіку у будь-якому місті	копіювати лише таку характеристику, як комплексний підхід до надання послуг	
---	---	---	--

Базовою стратегією конкурентної поведінки мною було обрано саме стратегію «Наступник». Ця стратегія полягає у виборі адаптивної поведінки, погоджуючи свої рішення з рішеннями, які були прийнятими конкурентами.

Наступним кроком є визначення стратегії позиціонування, котра наведена в таблиці 5.17.

Таблиця 5.17 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
Зручність інтеграції з іншими системами	Стратегія спеціалізації	Наступник	Інтеграція з іншими системами, ефективність бізнес-процесів, швидкість інтеграції

Таким чином на основі SWOT-аналізу визначається позиціонування продукту, вибору груп споживачів, визначення стратегії входження на ринок та переваг продукту, котрі будують конкурентоспроможність.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап–проекту

Для успішної реалізації проекту за встановленими термінам, необхідно чітко розробити стратегію маркетингової програми – системи, що використовує взаємопов'язані заходи, щодо визначення дій виробника з усіх нагальних питань маркетингової кампанії за заданий період часу.

Перш за все потрібно сформувавши маркетингову концепцію товару. Для цієї задачі було визначено ключові переваги концепції потенційного товару, котрі зазначені в таблиці 5.18.

Таблиця 5.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Інтеграція з іншими системою	Швидкість впровадження товару	Багато готових інтеграцій під типові системи в сфері ринку
Ефективність бізнес–процесів	Зменшується кількість ресурсів для взаємодії з іншими системами	Більша ефективність бізнес–процесів після впровадження нашої системи, ніж систем конкурентів
Швидкість інтеграції	Швидкість впровадження товару	Спеціалізоване програмне забезпечення під вже існуючі системи

Ключові переваги даної концепції полягає у можливості до зростання ефективності бізнес–процесів. Швидкість впровадження та гнучкість системи дає поле для конкуренції.

Подальшим кроком є розробка маркетингової моделі товару, яка складається з трьох рівнів, для описання ідей продукту, його особливостей у сфері процесу надання товару, та його фізичних складових, котра описана в таблиці 5.19.

Таблиця 5.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
	Опис базової потреби споживача, яку задовольняє товар (згідно концепції), її основної функціональної вигоди		
	Зменшення заторів на дорогах		
	Властивості/ характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/ Ор
	<p>Економічні: низька ціна на обслуговування;</p> <p>Надійності: додаток надійний;</p> <p>Технологічні: використання сучасних технологій;</p> <p>Ергономічні: додатком зручно користуватись на різних платформах;</p> <p>Екологічні: використання продукту дозволяє перенести документацію в електронний вигляд, а використання – економити паливо, що зменшує викиди в атмосферу;</p> <p>Безпеки: дані про користувача надійно захищені</p>		
	Марка: STLS		
	До продажу: продукт представлений клієнтам		
	Після продажу: підтримка продукту		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захищення			

інтелектуальної власності шляхом патентування

Сформована систему збуту описана в таблиці 9.20

Таблиця 5.20 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Покупка ліцензії на використання системи	Розгортання/впровадження системи,	Глибока	Сторонні посередники

Останній крок маркетингової програми – це розроблення маркетингових комунікацій, котра описана у таблиці 5.21.

Таблиця 5.21 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Серед клієнтів немає ще жодної системи розумного регулювання	Конференції, офіційні звернення	Оптимізація процесу регулювання трафіком у містах, чиї дороги	Донести користувачам інформацію про можливість зменшення	Оригінально сповістити споживачів про можливості нового

трафіку		потерпають від заторів	часу проведених у заторах та економію часу	інноваційного продукту
---------	--	------------------------	--	------------------------

Основними каналами комунікаціями для користувачів є конференції та офіційні звернення до компанії, тому використання цих каналів є необхідним для вдалого розповсюдження інформації про товар.

5.6 Висновки до розділу

У цьому розділі було описано сценарій успішного виходу на ринок з розроблюваної системи. Також було проведено аналіз самої ідеї та визначені головні характеристики, що дозволять вийти попереду конкурентів та закріпитися у лікуючих позиціях. Аналіз поточних конкурентів та конкурентоспроможність ідеї, аналіз можливих стратегій розвитку та маркетингу продукту дав позитивний результат майбутньої системі.

Також надано техніко–економічні характеристики ідеї, на підставі яких було представлено, наскільки проект буде унікальним серед своїх конкурентів. Основною конкурентною перевагою є можливість взаємодії з вже існуючими та функціонуючими системами.

Аналіз ринкових можливостей запуску проекту такий, що дає змогу увійти на ринок за умов знаходження клієнтів. Розглянуто характеристики потенційного ринку, визначено актуальний стан конкуренції у сфері розумного трафіку. За результатами проведеного аналізу було визначено, що проект не має прямих конкурентів на цьому сегменті ринку в Україні, отже, він має високу конкурентоспроможність.

Проаналізовано ринок на наявність потенційних клієнтів, рівень котрих у зацікавленості вкладення коштів у даний проект буде дуже високий. У відповідності до зазначеного сегменту ринку були обрані наступні стратегії:

стратегія розвитку – спеціалізації, стратегія конкурентної дії – наступних з імовірним продовженням вже до лідеру ринку.

За оцінкою всіх характеристик даного стартапу висновок – імплементація системи є доцільною.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській дисертації запропонована автоматизована система керування дорожнім трафіком. Система є масштабованою, економічною та функціонально інноваційною на сьогоднішній день і має можливість вийти на ринок.

В ході виконання роботи над проектом мною було проведено аналіз предметної області у сфері розумного трафіку та проаналізовано існуючі рішення систем керування дорожнім трафіком. Найбільш важливим недоліком існуючих рішень є неможливість використання та інтеграції з вже працюючими системами, а лише замовляти рішення в цілому.

Здійснено визначення та дослідження функціональних і нефункціональних вимог до системи, на основі котрих було визначено ролі користувачів і сформовані основні сценарії використання системи. Процеси для основних ролей таких як оператор та водій спецтранспорту у належному чині взаємодіють з системою.

Розглянуто технічні підстави впровадження та розробки системи саме в Україні. Система зможе бути спеціалізована під вже існуючі системи та їх потужності. У найближчому майбутні попит на подібні системи буде необхідністю, через проблеми заторих у великих містах, так і у рамках повоєнної розбудови країни та перетворення їх на передову країну світу. Швидкість навчання системи дає змогу інтегруватись на 30% швидше ніж існуючі аналоги, а сам алгоритм зможе покращити теперішній стан на дорогах великих міст, таким чином до 2 разів скоротивши час поїздки дорогами міста.

На основі розглянутої системи було проведено дослідження як інтегрувати системи на ринок. Найбільш зацікавленими сторонами є державні служби та великий бізнес у сфері дорожньої інфраструктури.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. T. Reed and J. Kidd, “INRIX Global Traffic Scorecard,” 2019. URL:
https://static.poder360.com.br/2019/02/INRIX_2018_Global_Traffic_Scorecard_Report_final_.pdf
2. G. Cookson, “INRIX Global Traffic Scorecard,” 2018. URL:
https://www.missionline.it/wp-content/uploads/2018/02/INRIX_2017_Traffic_Scorecard_Final.pdf
3. D. A. Hennessy and D. L. Wiesenthal, “Traffic Congestion, Driver Stress, and river Aggression,” *Aggresive Behav.*, vol. 25, pp. 409–423, 1999, DOI: 10.1002/(SICI)1098-2337(1999)25:6<409::AID-AB2>3.0.CO;2-0.
4. Jakarta Open Data, “Causes of Congestion in Jakarta in 2011,” 2015. URL:
<http://data.jakarta.go.id/dataset/d341296f-f5c3-4276-9cdb-b514d14673b9/resource/a4175fba-a0eb-4ced-9f66-8e225206a06f/download/Data-Penyebab-Kemacetan-di-Jakarta-Tahun-2011.csv>
5. O. Avatefipour, S. Member, F. Sadry, and S. Member, “Traffic Management System Using IoT Technology – A Comparative Review,” 2018 IEEE Int. Conf. Electro/Information Technol, 2018, pp. 1041–1047, DOI: 10.1109/EIT.2018.8500246.
6. L. Qi, M. Zhou, and W. Luan, “Emergency Traffic–Light Control System Design for Intersections Subject to Accidents,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 17, no. 1, pp. 1–14, 2016, DOI:10.1109/TITS.2015.2466073.
7. L. Cruz–piris, D. Rivera, S. Fernandez, and I. Marsa–maestre, “Optimized Sensor Network and Multi–Agent Decision Support for Smart Traffic Light Management,” *Sensors*, vol. 18, no. 2, pp. 435, 2018, DOI:10.3390/s18020435.
8. K. Zaatouri, M. H. Jeridi, and T. Ezzedine, “Adaptive Traffic Light Control System Based on WSN : Algorithm Optimization and Hardware Design,” in 26th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), pp. 1–6, 2018, DOI:10.23919/SOFTCOM.2018.8555802.

9. W. Liu et al., “Real-Time Traffic Light Recognition Based on Smartphone Platforms,” *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 27, no. 5, pp. 1118–1131, 2017, DOI:10.1109/TCSVT.2016.2515338..
10. L. Cruz-piris, D. Rivera, I. Marsa-maestre, E. De, and S. Fernandez, “Intelligent Traffic Light Management using Multi-Behavioral Agents,” in *Jornadas de Ingenieria Telematica*, pp. 27–29, 2017, DOI: 10.4995/JITEL2017.2017.7061.
11. A. Atta, S. Abbas, and M. A. Khan et al., “An adaptive Approach : Smart Traffic Congestion Control System,” *J. King Saud Univ. – Comput. Inf. Sci.*, 2018, DOI:10.1016/j.jksuci.2018.10.011.
12. A. Ahmad, R. Arshad, S. A. Mahmud, G. M. Khan, H. S. Al-raweshidy, and S. Member, “Earliest-Deadline-Based Scheduling to Reduce Urban Traffic Congestion,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 15, no. 4, pp. 1510–1526, 2014, DOI:10.1109/TITS.2014.2300693.
13. Khushi, “Smart Control of Traffic Light System using Image Processing,” in *International Conference on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication (CTCEEC)*, pp. 99–103, 2017, DOI:10.1109/CTCEEC.2017.8454966.
14. L. Qi, M. Zhou, and W. Luan, “A Two-level Traffic Light Control Strategy for Preventing Incident-Based Urban Traffic Congestion,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 19, no. 1, pp. 13–24, Jan. 2018, DOI:10.1109/TITS.2016.2625324.
15. R. F. Adebisi, K. A. Abubilal, M. B. Mu’azu, and B. H. Adebisi, “Development and Simulation of Adaptive Traffic Light Controller Using Artificial Bee Colony Algorithm,” *Int. J. Intell. Syst. Appl.*, vol. 8, pp. 68–74, 2018, DOI: 10.5815/ijisa.2018.08.06.
16. S. Mishra, D. Bhattacharya, and A. Gupta, “Congestion Adaptive Traffic Light Control and Notification Architecture Using Google Maps APIs,” *Data*, vol. 3, no. 4, 2018, DOI:10.3390/data3040067.

17. C. M. Silva, A. L. L. Aquino, and W. M. Jr, "Smart Traffic Light for Low Traffic Conditions A Solution for Improving the Drivers Safety," *Mob. Netw. Appl.*, vol. 20, pp. 285–293, 2015, DOI:10.1007/s11036-015-0571-x.
18. C. Suthaputchakun and Z. Sun, "A Novel Traffic Light Scheduling Based on TLVC and Vehicles' Priority for Reducing Fuel Consumption and Emission," in *IEEE Systems Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 1230–1238, June 2018, DOI: 10.1109/JSYST.2015.2500587.
19. H. Chai, H. M. Zhang, D. Ghosal, and C. Chuah, "Dynamic traffic routing in a network with adaptive signal control," *Transp. Res. Part C*, vol. 85, pp. 64–85, 2017, DOI:10.1016/j.trc.2017.08.017.
20. U. Andayani, D. Arisandi, B. Siregar, M. F. Syahputra, and M. A. Muchtar, "Simulation of Dynamic Traffic Light Setting Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Simulation of Dynamic Traffic Light Setting Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1235, 2019, DOI:10.1088/1742-6596/1235/1/012058.
21. F. Kurniawan, H. Sajati, and O. Dinaryanto, "Adaptive Traffic Controller Based On Pre-Timed System," *TELKOMNIKA*, vol. 14, no. 1, pp. 56–63, 2016, DOI:10.12928/TELKOMNIKA.v14i1.2798.
22. S. S. Mousavi, M. Schukat, and E. Howley, "Traffic light control using deep policy- gradient and value-function-based reinforcement learning," *IET Intell. Transp. Syst.*, vol. 11, pp. 417–423, 2017, DOI:10.1049/iet-its.2017.0153.
23. W. Genders and S. Razavi, "Evaluating reinforcement learning state representations for adaptive traffic signal control," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 130, pp. 26–33, 2018, DOI:10.1016/j.procs.2018.04.008.
24. N. M. Sadiq and S. A. Adepoju, "Adaptive Traffic Control System using Modified Round Robin and Genetic Algorithm," *i-manager's J. Digit. Signal Process.*, vol. 6, no. 2, pp. 17–24, 2018, DOI:10.26634/jdp.6.2.15592.
25. S. Roy and M. S. Rahman, "Emergency Vehicle Detection on Heavy Traffic Road from CCTV Footage Using Deep Convolutional Neural Network," 2019

- Int. Conf. Electr. Comput. Commun. Eng., pp. 1–6, 2019, DOI: 10.1109/ECACE.2019.8679295.
- 26.I. Santos–gonzález, P. Caballero–gil, A. Rivero–garcía, and C. Caballero–gil, “Priority and collision avoidance system for traffic lights,” *Ad Hoc Networks*, vol. 94, 2019, DOI:10.1016/j.adhoc.2019.101931.
- 27.M. Özkul, I. Capuni, and E. Domnori, “Context–Aware Intelligent Traffic Light Control through Secure Messaging,” *J. Adv. Transp.*, vol. 2018, 2018, DOI:10.1155/2018/4251701.
- 28.C. Miao, H. Liu, G. G. Zhu, and H. Chen, “Connectivity–based optimization of vehicle route and speed for improved fuel economy,” *Transp. Res. Part C*, vol. 91, no. April, pp. 353–368, 2018, DOI:10.1016/j.trc.2018.04.014.
- 29.N. Taherkhani, S. Pierre, and S. Member, “Centralized and Localized Data Congestion Control Strategy for Vehicular Ad Hoc Networks Using a Machine Learning Clustering Algorithm,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 17, no. 11, pp. 3275–3285, 2016, DOI:10.1109/TITS.2016.2546555.
- 30.X. Wen–juan and L. Jian–feng, “Application of Vision Sensing Technology in Urban Intelligent Traffic Control System,” 2018 4th Int. Conf. Comput. Technol. Appl, pp. 74–77, 2018, DOI:10.1109/CATA.2018.8398659.
- 31.D. Hartanti, R. N. Aziza, and P. C. Siswipraptini, “Optimization of smart traffic lights to prevent traffic congestion using fuzzy logic,” *TELKOMNIKA*, vol. 17, no. 1, pp. 320–327, 2019, DOI:10.12928/TELKOMNIKA.v17i1.10129.
- 32.J. Ferrer, J. García–nieto, E. Alba, and F. Chicano, “Intelligent Testing of Traffic Light Programs : Validation in Smart Mobility Scenarios,” *Math. Probl. Eng*, vol. 2016, 2016, DOI:10.1155/2016/3871046.
- 33.O. Younis, N. Moayeri, and S. Member, “Employing Cyber–Physical Systems : Dynamic Traffic Light Control at Road Intersections,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 4, no. 6, pp. 2286–2296, 2017, DOI:10.1109/JIOT.2017.2765243.
- 34.Y. Celik and A. T. Karadeniz, “Intelligent Systems and Applications in Engineering Urban Traffic Optimization with Real Time Intelligence Intersection

- Traffic Light System,” *Int. J. Intell. Syst. Appl. Eng.*, vol. 6, no. 3, pp. 214–219, 2018, DOI: 10.18201/ijisae.2018644780.
- 35.R. H. Goudar and H. N. Megha, “Next generation intelligent traffic management system and analysis for smart cities,” in *International Conference On Smart Technology for Smart Nation*, 2017, pp. 999–1003.
- 36.K. M. A. Yousef, A. Shatnawi, M. Latayfeh, K. M. Ahmad, A. Shatnawi, and M. Latayfeh, “Intelligent Traffic Light Scheduling Technique Using Calendar–Based History Information,” *Futur. Gener. Comput. Syst*, vol. 91, pp. 124–135, 2018, DOI: 10.1016/j.future.2018.08.037.
- 37.S. Kulkarni, “Intelligent Traffic Control System Implementation for Traffic Violation Control, Congestion Control and Stolen Vehicle Detection,” *Int. J. Recent Contrib. from Eng. Sci. IT*, vol. 5, no. 2, pp. 57–71, 2017, DOI: 10.3991/ijes.v5i2.7230.
- 38.K. Nellore and G. P. Hancke, “Traffic Management for Emergency Vehicle Priority Based on Visual Sensing,” *Sensors*, vol. 16, no. 11, 2016, DOI: 10.3390/s16111892.
- 39.S. Amir, M. S. Kamal, S. S. Khan, and K. M. A. Salam, “PLC Based Traffic Control System with Emergency Vehicle Detection and Management,” in *International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICICT)*, 2017, pp. 1467–1472, DOI: 10.1109/ICICICT1.2017.8342786.
- 40.A. Rego et al., “Software Defined Network–based Control System for an Efficient Traffic Management for Emergency Situations in Smart Cities,” *Futur. Gener. Comput. Syst*, vol. 88, pp. 243–253, 2018, DOI: 10.1016/j.future.2018.05.054.
- 41.B. J. Saradha, “Intelligent Traffic Signal Control System For Ambulance Using RFID And CLOUD,” *Int. Conf. Comput. Commun. Technol*, pp. 90–96, 2017, DOI: 10.1109/ICCCT2.2017.7972255.
- 42.S. Antonov, “Smart traffic control system for ambulance,” *Advanced Aspects of Theoretical Electrical Engineering, Sofia’2016*, pp. 95–98, 2017.

43. T. Naik, R. Roopalakshmi, D. R. N, P. Jain, and B. H. Sowmya, "RFID-Based Smart Traffic Control Framework for Emergency Vehicles," 2018 Second Int. Conf. Inven. Commun. Comput. Technol., pp. 398–401, 2018.
44. G. P. Id, T. C. Id, and A. Canale, "Smart Pedestrian Crossing Management at Traffic Light Junctions through a Fuzzy-Based Approach," *Futur. Internet*, vol. 10, no. 2, 2018, DOI: 10.3390/fi10020015.
45. H. J. Lee, R. Y. Kim and H. S. Son, "Evaluation of a Smart Traffic Light System with an IOT-based Connective Mechanism," *International Information Institute (Tokyo). Information*, vol. 20, no. 2, pp. 953–961, 2017. URL: <https://search.proquest.com/scholarly-journals/evaluation-smart-traffic-light-system-with-iot/docview/2032343134/se-2?accountid=17242>.
46. R. Andronov and E. Leverents, "Calculation of vehicle delay at signal-controlled intersections with adaptive traffic control algorithm," *MATEC Web Conf.*, vol. 143, 2018, DOI: 10.1051/mateconf/201714304008.
47. K. An, Y. J. Jeong, S. Lee, and D. Seo, "Smart Crossing System using IoT," in *IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 9–10, 2017.
48. US DoT, "Office of International Programs," 7 November 2014. URL: <http://international.fhwa.dot.gov/travelinfo/munich.cfm>.
49. Urban ITS Expert Group, "Guidelines for ITS Deployment in Urban Areas," *ITS Action Plan: Traffic Management Guidelines*, p. 8, 7 January 2013.
50. U.-P. D.-I. F. Busch, "Urban Traffic Control," in *Traffic Control Basics*, Munich, Chair of Traffic Engineering and Control, TUM, 2014, p. 24.
51. Urban ITS Expert Group, "Guidelines for ITS Deployment in Urban Areas," *ITS Action Plan: Traffic Management Guidelines*, p. 8, 7 January 2013.
52. U.-P. D.-I. F. Busch, "Motorway Control system," in *Traffic Control Basics*, Munich, Chair of Traffic Engineering and Control, TUM, 2015, pp. 28,29,33,36.
53. BMW Group, "Research and Development : Science Club," 26 June 2006. URL: http://www.bmwgroup.com/e/0_0_www_bmwgroup_com/forschung_entwicklun g/science_club/veroeffentlichte_artikel/2006/news200612.html.

- 54.S. Hoffmann, “Fahrzeuge informieren sich gegenseitig – Feldversuch mit 500 Testern,” Forschung: Vernetzte Autos machen Verkehr sicherer und effizienter, p. 1, 20 06 2013.
- 55.TUM, “Pojects – Current and Completed,” April 2013. URL: <https://www.vt.bgu.tum.de/en/research/projects/projekte/abgeschlossene-projekte/simtd-completed-2013/.232>
- 56.Олександр Колесніченко, “Київ посів третє місце у світі в рейтингу заторів” URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2022/02/9/682238/>
 Національна рада з відновлення України від наслідків війни, Проект Плану відновлення України, Матеріали робочої групи «Відновлення та розбудова інфраструктури», липень 2022, URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/restoration-and-development-of-infrastructure.pdf>
- 57.H. Chaudhuri, V. Masti, V. Veerendranath, S. Natarajan, “A Comparative Study of Algorithms for Intelligent Traffic Signal Control”, 2022, p. 7 - 9, DOI: 10.1007/978-981-16-7996-4_19
- 58.Hua Wei, Guanjie Zheng, Huaxiu Yao, Zhenhui Lim, “IntelliLight: A Reinforcement Learning Approach for Intelligent Traffic Light Control”, 2018, p. 2496-2505, DOI: 10.1145/3219819.3220096
- 59.Krajzewicz, D., Hertkorn, G., Rössel, C., Wagner, P.: SUMO (Simulation of Urban MObility)–an open–source traffic simulation. In: Proceedings of the 4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling, MESM20002 pp. 183–187 (2002)
- 60.Vidali, A., Crociani, L., Vizzari, G., Bandini, S.: A Deep Reinforcement Learning Approach to Adaptive Traffic Lights Management. In: WOA, pp. 42–50 (2019)
- 61.Mnih, V., Badia, A., Mirza, M., Graves, A., Lillicrap, T., Harley, T., Silver, D., Kavukcuoglu, K.: Asynchronous Methods for Deep Reinforcement Learning. International Conference on Machine Learning, PMLR (2016)