

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: “Дослідження smart системи керування рухом транспорту по вулиці Руській міста Тернополя”

Виконала: студентка 6 курсу, групи РРм-61

Спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Яцюк І.Є.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Химич Г.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Хвостівська Л.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Хвостівський М. О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

Дулець В. А.
(прізвище та ініціали)
« » 2021 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 172 "Телекомунікації" та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)
студенту Яцюк Ірині Євгенівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження smart систем
відеоспостереження на основі
міста Тернополь

Керівник роботи Хилуч Григорій Петрович, ст. викладач
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «30» жовтня 2021 року № 4/7-1019

2. Термін подання студентом завершеної роботи 6 грудня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи кількість відеокіamerate'в — 24
швидкість та резистивність лінії — 20 мсек.
телекомунікаційна мережа — ≤ 15 км, оптоволокну

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Розділ 1. Аналітична частина

Розділ 2. Основна частина.

Розділ 3. Науково-дослідна частина

Розділ 4. Охорона праці та безпека в
незвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 4. Фактори що впливають на функціональний етап керування комп'ютерів	Кленчик В.М., проректор	8.12.21р	

7. Дата видачі завдання 20 вересня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з тематичним завданням	20.09. — 29.09	
2.	Збір інформації	20.09. — 30.09	
3.	Аналіз інформації	— " —	
4.	Створення структури системи ліфтообслуговування на основі варті часу м. Луц. Руська м. Тернопіль	1.10 — 15.10	
5.	Розробка алгоритму контролю сигналів ліфтових пунктів ліфтообслуговування (TSC)	16.10 — 20.10	
6.	Розробка моделі оптимізації руху транспорту та німоходів на основі методу математичної оптимізації функції контролю та аналізу	20.10 — 1.11	
7.	Розробка системи самоорганізації на основі евристики реальному часу	2.11 — 10.11	
8.	Аналіз локальних алгоритмів та об'єднання їх у загальну систему	10.11 — 15.11	
9.	Підбір комплектуючих	15.11 — 2.12	
10.	Написання розпису з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	8.12 — 13.12	
11.	Підготувати роботу з оцінювання	1.12 — 10.12	
12.	Захист роботи	21.12.21	

Студент

(підпис)

Яцюк І.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Хиліч Т.П.

(прізвище та ініціали)

АННОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Дослідження smart системи керування рухом транспорту по вулиці Руській міста Тернополя» // Кваліфікаційна робота // Яцюк Ірина Євгенівна // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РРМ-61 // Тернопіль, 2021 // с. – 87, рис. - 23, табл. - 2, додат. - 2, бібліогр. - 69.

Ключові слова: SMART CITY, INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM, TRAFFIC SIGNAL CONTROL, TRAFFIC SIGNAL TIMING, ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНОГО РУХУ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ.

Кваліфікаційну роботу було присвячено аналізу та дослідженню «вільного» руху автотранспорту (без заторів) в умовах наявної пропускнуої спроможності дороги з максимальною інтенсивністю проїзду авто (вул. Руська від моста через залізничні колії до перехрестя з вул. Танцорова) з метою впровадження smart технологій на основі встановлення спеціалізованих відеокамер, регульованих на основі штучного інтелекту світлофорів та встановлення систем моніторингу якості повітря відповідно до європейських стандартів.

ANNOTATION

The theme of qualification work: "Research of smart traffic control system on Ruska Street in Ternopil" // Thesis // Yatsyuk Iryna Yevhenivna // Ternopil National Technical named Ivan Pulyuy University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group PPM-61, Ternopil, 2021.

Keywords: SMART CITY, INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM, TRAFFIC SIGNAL CONTROL, TRAFFIC SIGNAL TIMING, OPTIMIZATION OF TRANSPORT MOVEMENT, ARTIFICIAL INTELLIGENCE.

The thesis was devoted to the analysis and study of "free" traffic (without congestion) in terms of available capacity of the road with maximum traffic intensity (Ruska Street from the bridge over the railway tracks to the intersection with Tantsorov Street) to implement smart technologies based on the installation of specialized video cameras regulated based on artificial intelligence of traffic lights and installation of air quality monitoring systems by European standards.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	8
Вступ	10
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	12
1.1. Огляд останніх досліджень, проблеми та перспективи розвитку	12
1.2. Можливі підходи оптимізації TST	16
1.2.1. Підходи, засновані на штучному інтелекті	16
1.2.2. Підходи на основі метаевристики	17
1.2.3. Багатоцільові підходи	19
1.2.4. Підходи, засновані на дворівневому програмуванні	19
1.2.5. Різні підходи	20
1.3. Протокол національних транспортних комунікацій для інтелектуальної транспортної системи	21
1.3.1. Зв'язок від центру до польових пристроїв	21
1.3.2. Структура стандартів NTCIP	22
1.4. Висновки по розділу 1	25
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	26
2.1. Модель мережевого потоку	26
2.1.1. Динаміка руху на ділянках доріг у результаті рівняння безперервності	26
2.1.2. Закон Кірхгофа для динаміки руху в вузлах	27
2.2. Передбачення транспортних потоків	29
2.2.1. Процес обслуговування та час налаштування	30
2.2.2. Зелений час, необхідний для очищення черги	33
2.2.3. Час очікування в черзі	34
2.3. Звичайне та самоорганізоване світлофорне керування	35
2.3.1. Класичний підхід для управління та його обмеження	35
2.3.2. Евристика реального часу на основі самоорганізованої стратегії визначення пріоритетів	37
2.4. Стратегія оптимізації	39

2.5. Стратегія стабілізації.....	44
2.6. Висновки по розділу 2.....	45
РОЗДІЛ 3 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	46
3.1. Аналіз алгоритмів роботи системи. Створення власного алгоритму.....	46
3.2. Підбір комплектуючих 16 камер та відеореєстратора на основі типових технічних завдань	52
3.3. Огляд програмного забезпечення	58
3.4. Висновки по розділу 3.....	60
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	61
4.1. Класифікація безпеки життєдіяльності	61
4.2. Фактори що впливають на функціональний стан користувачів комп'ютерів	65
4.3. Висновки по розділу 4.....	69
ВИСНОВКИ	70
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71
ДОДАТКИ	79

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ABC – Artificial Bee Colony Algorithm

ACO – Ant Colony Optimization

AIMSUN – Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and non-urban Networks

ANFIS – Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

BCA – Bee Colony algorithm

CI – Computational Intelligence

CS – Cuckoo Search

CTM – Cell Transmission Model

CORSIM – CORridor SIMulation

Cycl. L – Cycle Length

DE – Differential Evolution

DGA – Decentralized GA

EA – Evolutionary Algorithm

EC – Evolutionary Computation

GA – Genetic Algorithm

GP – Genetic Programming

GUI – Graphical User Interface

HS – Harmony Search

IT2ANFIS – Interval Type-2 Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

ITS – Intelligent Transportation System

LS – Local Search algorithm

MA – Memetic Algorithm

MATSim – Multi-Agent Transport SIMulation

MILP – Mixed Integer Linear Programming

MODEA – Multi-Objective Differential Evolutionary Algorithm

MINLP – Mixed Integer Non Linear Programming

NTCIP – National Transportation Communications for ITS

NSGA – Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

Paramics – PARAllel MICROscopic Simulation

Phase Seq. – Phase Sequence

RL – Reinforcement Learning

SA – Simulated Annealing

SI – Swarm Intelligence

SPSA – Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation

SUMO – Simulation of Urban Mobility

SimOpt – SIMulation-based OPTimization

TSC – Traffic Signal Control

TST – Traffic Signal Timing

Transyt-7F – TRAffic Network StudY Tool, version 7F

UTOPIA – Urban Traffic Optimization by Integrated Automation

VISSIM – Verkehr In Städten -SIMulationsmodell

ВСТУП

Актуальність. Однією з найбільших проблем для міського управління є управління та пом'якшення заторів. Кількість транспортних засобів у міській мережі з кожним днем збільшується, що призводить до погіршення умов руху. У зв'язку з цим на перехрестях утворюються затори та довгі черги транспортних засобів, що призводить до того, що пасажери втрачають дорогоцінний час, особливо в години пік. Крім цього, затори також негативно впливають на здоров'я, навколишнє середовище та економіку держави.

Мета та задачі дослідження. Однією з основних цілей налаштування часу сигналу світлофора є безпечне та ефективне переміщення людей та транспортних засобів через перехрестя. Для досягнення цієї мети необхідний план розміщення камер та їх зону обслуговування для різних користувачів, які призначають смугу відчуження. План повинен мати можливість адаптуватися відповідно до коливань попиту. Багато параметрів часу сигналу впливають на продуктивність перехрестя. Ці параметри включають довжину циклу, зелений час, інтервал зміни, послідовність фаз тощо. Регулювання часу роботи світлофорів є одним із найшвидших та найекономніших способів скоротити затори на перехрестях та покращити транспортний потік на міських вулицях. Тому необхідно оновити синхронізацію системи керування світлофорами (TSC), щоб впоратися з переважаючими умовами міського руху.

Об'єктом дослідження є аналіз структур технології smart city для системи керування трафіком, а саме системи керування світлофорами за допомогою камер та сервера які працюють на основі штучного інтелекту.

Предметом дослідження є існуючі мережі камер які встановлені по вулиці Руській міста Тернополя, їх можливе використання для оптимізації та керування трафіком.

Методи дослідження. Розробка варіацій архітектури побудови системи керування трафіком за допомогою камер на основі штучного інтелекту.

Наукова новизна одержаних результатів. Отримані результати на основі досліджень та аналізу, які становлять наукову новизну в процесі виконання роботи, а саме:

- Порівняльний аналіз існуючих алгоритмів роботи систем контролю трафіком та його оптимізація.
- Підвищення ефективності місцевої економіки завдяки прискоренню роботи транспортних систем міста.
- Аналіз «інтелектуальних» систем відеонагляду з використанням відеоаналітики.
- Розробка нового методу та алгоритму реалізації «інтелектуальної» системи контролю трафіку на основі сервера та камер з використанням аналізу штучним інтелектом.

Практичне значення одержаних результатів. Створено алгоритм роботи системи керування рухом транспортних засобів та пішоходів для перехресть на вулиці Руській міста Тернополя. Систематизовано основні вимоги та можливий розвиток системи відеонагляду з використанням штучного інтелекту.

Публікації. Апробація та оприлюднення результатів досліджень відбулось на X Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій" 24-25 листопада 2021, збірник тез доповідей.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки, а саме вступу, 4-х розділів, висновків по кожному розділу, списку використаних джерел та додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальної записки – 87 арк. Формату А4 та додатків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Огляд останніх досліджень, проблеми та перспективи розвитку

Дослідники працювали над використанням численних підходів для оптимізації TST. Раніше було написано кілька якісних оглядів у проблемній області налаштувань TST або TSC [9, 10].

Є дві останні опубліковані оглядові роботи, опубліковані в 2015 році, що охоплюють різні методологічні галузі, які використовувалися до 2014 року в цій проблемній галузі [9] розглянув роботу, зосереджуючись виключно на стратегіях нечіткої логіки, тоді як [10] проливають світло на нечітку логіку, а також деякі важливі роботи Q-навчання та підходів нейронних мереж, що використовуються в області налаштування TSC [5, 11, 12] є інші оглядові документи, що охоплюють застосування часто використовуваних методологій на основі СІ для контролю потоків трафіку в мережах міського транспорту.

Але з точки зору технологічного прогресу період з січня 2015 року по січень 2020 року є величезним і суттєво важливим.

Таблиця 1.1

Параметри пошуку в огляді літератури

Проміжок часу	Джерела	Ключові пошукові слова
Січень 2015 - Січень 2020	Scopus Web of Science IEEE Xplore Google Scholars	Traffic Signal Timing Optimization, Traffic Congestion Optimization Traffic Signals Control Settings Microscopic Traffic SimOpt Dynamic Traffic Management System Signalized Urban Intersection

У таблиці 1.1 та таблиці 1.2 наведені параметри пошуку, використані в цьому дослідженні, та загальна кількість документів, які було використано.

Таблиця. 1.2

Кількість робіт, що охоплюють ключові слова огляду літератури за рік

	TST Optimization	Traffic Congestion Optimization	TSC Settings	Microscopic Traffic SimOpt	Dynamic Traffic Management System	Signalized Urban Intersection	Total
2015	78	98	87	35	67	63	428
2016	80	114	85	28	83	76	466
2017	104	182	98	34	123	70	611
2018	106	152	87	26	114	71	556
2019	112	160	56	38	76	27	469
Total	480	706	413	161	463	307	2530

Таблиця 1.2 також ілюструє той факт, що кілька досліджень з однією з ключових фраз, тобто оптимізацією TST, за останні роки значно зросли через безперервний розвиток технологій та збільшення кількості транспортних засобів у міському транспорті. До короткого списку були включені лише дослідження щодо TST та TSC, які або мають справу з одним із параметрів, або їх комбінацією. Ці параметри включають тривалість циклу сигналу світлофора, синхронізацію зеленої фази сигналу світлофора, зсув і послідовність фаз світлофора. Дослідження, пов'язані з під'єднаними транспортними засобами, пішоходами, калібруванням імітаційної моделі, а також макроскопічне та мезоскопічне моделювання руху, виключені з цього дослідження. Рисунок 1.1. ілюструє кількість публікацій, включених до цього дослідження після короткого списку.

Поле Advanced Traffic Management System (ATMS) є основним підполем у домені Intelligent Transportation System (ITS).

Подання ATMS – це точка зору зверху вниз, яка об'єднує технології, насамперед, для покращення потоку транспортних засобів і підвищення безпеки. Дані про дорожній рух у режимі реального часу з камер, датчиків швидкості тощо надходять до Центру керування транспортом (ТМС), де вони інтегруються та обробляються (наприклад, для виявлення інцидентів), і можуть призвести до дій (наприклад, маршрутизація руху, повідомлення DMS) з метою покращення транспортного потоку.

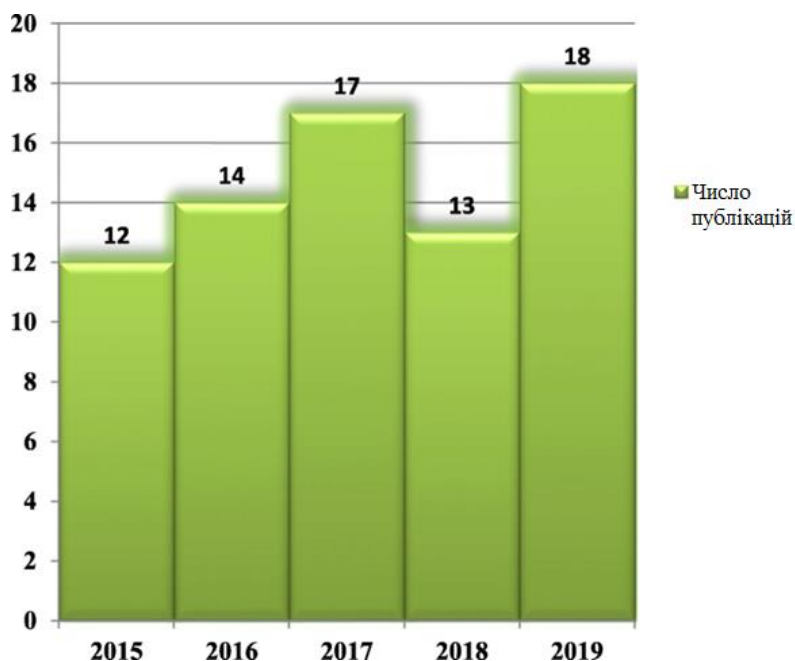


Рис. 1.1. Журнальні та конференційні роботи, включені до цього дослідження за роками

Національні ITS Архітектура визначає наступні основні цілі і показники для ІТС:

- Підвищити ефективність транспортної системи,
- Підвищити мобільність,
- Підвищити безпеку,
- Зменшити споживання палива та екологічні витрати,
- Підвищення економічної продуктивності,
- Створення середовища для ринку ІТС.

Інтелектуальна транспортна система (ІТС) є передовим напрямком розвитку , який прагне надати інноваційні послуги, пов'язані з різними видами транспорту і управління дорожнім рухом які дозволяють користувачам бути краще інформованими і зробити більш безпечним, більш скоординованих використання транспортних мереж .

Деякі з цих технологій включають виклик аварійних служб у разі аварії, використання камер для дотримання правил дорожнього руху або знаків, що позначають зміни обмеження швидкості залежно від умов.

Хоча ITS може ставитися до всіх видів транспорту, директива про Європейського Союзу 2010/40/ЄС, 7 липня 2010 року, визначила її як системи, в яких інформаційні та комунікаційні технології, які застосовуються в області автомобільного транспорту, включаючи інфраструктуру, транспортних засобів і користувачів, а також в управлінні рухом і мобільністю, а також для взаємодії з іншими видами транспорту.

ITS може підвищити ефективність і безпеку транспорту в ряді ситуацій, наприклад, оптимізація руху автомобільного транспорту, управління рухом, мобільність тощо. Технологія ITS використовується в усьому світі, щоб збільшити пропускну здатність доріг із завантаженістю та скоротити час у дорозі.



Рис. 1.2. Дисплейна стіна мережі керування трафіком ARH GDS. Графічний інтерфейс користувача ITS

Однією з форм виявлення транспортних засобів є вимірювання транспортного потоку та автоматичне виявлення інциденту за допомогою відеокамер. Оскільки системи відеоспостереження, такі як ті, що використовуються для автоматичного розпізнавання номерних знаків, не передбачають встановлення будь-яких компонентів безпосередньо на дорожньому покритті або на полотні, цей тип системи відомий як «ненав'язливий» метод виявлення дорожнього руху. Відео з камер подається в процесори, які аналізують зміни характеристик відеозображення під час

проїзду транспортних засобів. Камери зазвичай встановлюються на стовпах або споруди над або поруч з проїжджою частиною. Більшість систем виявлення відео вимагає певної початкової конфігурації, щоб «навчити» процесор базовому фоновому зображенню. Зазвичай це включає в себе введення відомих вимірювань, таких як відстань між смугами руху або висота камери над проїжджою частиною. Один процесор виявлення відео може одночасно виявляти трафік від однієї до восьми камер, залежно від марки та моделі. Типовий вихід із системи відеорозпізнавання – це швидкість руху транспортних засобів від смуги за смугою, підрахунок та показники зайнятості смуги. Деякі системи забезпечують додаткові вихідні сигнали, включаючи сигнали про розриви, проміжки руху, виявлення зупиненого транспортного засобу та сигналізацію руху транспортного засобу.

1.2. Можливі підходи оптимізації TST

Оптимізація TST є складною проблемою, але економічно ефективною для пом'якшення заторів і згладжування транспортного потоку. Ця проблема оптимізації широко розглядалася в контексті проектування стохастичної рівноважної мережі з різними підходами, такими як детерміновані та евристичні методи. Через наявність великої кількості локальних точок оптимуму в згорнутому просторі розв'язку задачі детерміновані підходи, такі як градієнтні методи, не є ефективними. З іншого боку, незважаючи на неопуклий характер проблеми, евристичні підходи, такі як генетичний алгоритм (GA), оптимізація рою частинок (PSO), досить успішні у дослідженні простору пошуку. Однак вони можуть витратити порівняно багато часу на пошук глобального оптимального рішення.

1.2.1. Підходи, засновані на штучному інтелекті

У роботах [22, 23, 24, 25, 26, 27, 28] використовується тип алгоритму штучного навчання для розв'язування задачі TST. Серед цих досліджень адаптовані алгоритми машинного навчання — нейронні мережі, адаптивна нейро-нечітка система висновку, Q-навчання, нечітка логіка та глибоке підкріплення. У цих дослідженнях

використовувалися різні цілі, включаючи мінімізацію середньої затримки [22, 27], загальний час у дорозі [24, 25], середню довжину черги [26], оптимізацію плану TST [23], а також максимізація швидкості потоку [28].

Арагі та ін. [22] вперше використав інший, натхненний природою алгоритм, який називається алгоритмом пошуку зозулі, щоб оптимально налаштувати параметри інтелектуального контролера. Інтелектуальними контролерами, реалізованими в цьому дослідженні, були нейронна мережа (NN) і адаптивна нейро-нечітка система висновку (ANFIS).

Система управління на основі нечіткої логіки, розроблена Jin та ін.[23] була здатна надавати світлофорні індикації під час роботи в режимі реального часу після отримання повідомлень від апаратного забезпечення контролера сигналів. Набір інструментів керування та оптимізації сигналів був інтегрований у програмне забезпечення, вбудоване в пристрій контролера.

У [24] Арагі та ін. оцінили продуктивність трьох мета-евристичних алгоритмів, якими були Simulated Annealing (SA), GA та CS, на складному контролері сигналів руху на основі розширеного інтервального типу 2 адаптивної нейро-нечіткої системи висновку (IT2ANFIS).

Мілетік та ін. [25] порівняли ефективність двох різних підходів, що використовуються в системах управління передчасним світлофором, за допомогою шести різних сценаріїв мікросимуляційних моделей з використанням даних у реальному часі. Перший метод, використаний для порівняння, керувався фіксованими значеннями для часу прибуття транспортного засобу та діапазонів довжини черги, тоді як другий був заснований на нечіткій логіці і тому був більш адаптивним.

Для усунення вузьких місць або збільшення пропускної здатності на сигналізованих перехрестях було використано різноманітні методи на основі штучного інтелекту [54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61].

Хіанг і Чен [54] запропонували нейронну мережу на основі зворотного поширення алгоритму Gray Qualitative Reinforcement Learning, щоб усунути вузькі місця та уникнути зменшення потоку трафіку та взаємозв'язків між функціями плану часу.

Бенхамза та ін. [55] використовував багатоагентну структуру для розробки адаптивної схеми TST для множинних перехресть. У розробленій схемі кожним перехрестям керував автономний агент.

Відхате та ін. [56] та Гендерс та ін. [57] моделював TSC за допомогою алгоритму RL на основі даних про трафік в реальному часі, тоді як Ліанг та ін. [58] запропонував глибоку модель RL, щоб визначити TST і контролювати довжину циклу сигналу світлофора на основі даних, зібраних за допомогою різних датчиків.

Озан та ін. [61] представив модифікований алгоритм RL, заснований на Q-Learning. Далі алгоритм було об'єднано з Transfyt-7F для пошуку оптимального TST узгодженої мережі. Запропонований підхід був кращим за інші алгоритми на основі RL через його здатність створювати підсередовище в кожній навчальній події. Подібність з точки зору розміру залишалася незмінною між новим і оригінальним середовищем, використовуючи найкраще рішення, отримане з попереднього навчального заходу.

Бемас та ін. [59]. Стратегія нейроеволюції була використана для покращення конфігурації зв'язку введеної NN, а SUMO було використано для широкого дослідження запропонованої моделі на основі мікросимуляції.

1.2.2. Підходи на основі метаевристики

Довідкові дослідження [29, 30, 31, 32, 33, 34] використовують метаевристичні методи для оптимізації разом із інструментом мікросимуляції. Серед реалізацій метаевристики в основному використовувалися методи на основі популяцій, де PSO, ACO та GA є найбільш часто використовуваними методами. На додаток до деяких загальних цілей, згаданих у попередньому підрозділі, Elgarej та інші. [32, 33] поставили іншу мету — знайти найкоротший ефективний зелений час.

Gökçe та ін. [29], Дабірі і Аббас [30], Пановські і Захарія [31], Чуо та ін. [35] використовували PSO для досягнення своїх цілей. Серед них [29] є єдиним дослідженням, яке було проведено для сигналізованої кільцевої розв'язки, яка містить 28 сигнальних головок, тоді як [30, 31] працювали над оптимізацією артеріальних

світлофорів з трьома перехрестями та проблемами, пов'язаними з управлінням транспортним потоком у міських районах відповідно.

Джинтамутта та ін. [33] запропонував кінцево-інтервальну модель для досягнення мети щодо TST. Для послаблення обчислювальної складності був використаний інший алгоритм, заснований на рою, алгоритм Bat.

Чуо та ін. [35] розробили систему TST з множинними перетинами. PSO з невеликим коригуванням було використано для узгодженості результатів.

1.2.3. Багатоцільові підходи

Нгуєн та ін. [36], Хатрі і Бумхіді [37], Чжен та ін. [38] є єдиними статтями, які використовують багатоцільовий підхід моделювання-оптимізації. Незважаючи на відповідний підхід, здається, що дослідження у впровадженні багатоцільового SimOpt для проблеми TST є незначним.

Нгуєн та ін. [36] інтегрував алгоритм локального пошуку (LS) з ітераціями NSGA-II таким чином, що вихідні дані LS стали батьками наступного покоління в їх дослідженні. Результати запропонованого NSGA-II-LS порівнювали з NSGA-II та багатоцільовими диференціальними еволюційними алгоритмами та виявили, що запропонований алгоритм був кращим, ніж два інших підходи, і хороші результати моделювання були досягнуті на ранній фазі процедури оптимізації.

Щоб збалансувати справедливість та ефективність транспортного потоку в міській мережі, Zheng та ін. [38] представив двооб'єктивний стохастичний підхід SimOpt. Два типи сурогатних моделей також використовувалися для відображення зв'язку між змінними рішення та цілями.

VISSIM була використана для моделювання мережі тематичних досліджень, і результати продемонстрували, що запропонована модель перевершувала три інші аналоги, включаючи NSGA-II.

1.2.4. Підходи, засновані на дворівневому програмуванні

Є лише два дослідження [39, 40], які використовували підхід дворівневого програмування, де налаштування сигналу визначаються задачами оптимізації

верхнього та нижнього рівнів. З цільовою функцією максимізації зваженої поїздки Гайбабаї та Бенекочал у [39] сформулювали програму для оптимізації TST та оптимального розподілу трафіку системи одночасно. Послабивши навантаження на мережу та обмеження щодо призначення трафіку, дослідження також запропонувало основу для розрахунку верхньої межі значення цільової функції.

Щоб отримати оптимальні налаштування TST, Li та ін. [40] розробив каркас таким чином, щоб налаштування сигналів світлофора визначалися верхнім рівнем.

Верхній рівень мав на меті мінімізувати середній час у дорозі водіїв, тоді як завдання досягнення рівноваги в мережі нижній рівень досягав за допомогою налаштувань, передбачених верхнім рівнем.

1.2.5. Різні підходи

Посилання [41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48] використовують метод математичної оптимізації поряд з мікромодельюванням. Використовувані методи варіюються від динамічного програмування до протитиску до оптимального контролю. Ці підходи, швидше за все, будуть корисними для проблем фази проектування, а не операційних, через труднощі, пов'язані з їх вирішенням у великих випадках за прийнятний проміжок часу.

На основі підходу динамічного програмування з конфігурацією NEMA, алгоритм керування сигналом у реальному часі був сформульований Ченом та ін. [41].

Дакіч та ін. [43] також запропонував два алгоритми керування сигналом, засновані на моделі протитиску, щоб максимізувати пропускну здатність через мережу міського транспорту. Ці дві моделі були ініціалізовані та змінені протитиску. Результати показали, що запропоновані алгоритми перевершували фіксований час і активували стратегії керування

Щоб впоратися з надійною проблемою TSC, Chen та ін. [45] представив підхід, у якому використовувалася інформація про розподіл вищого порядку, отримана зі стохастичного мікроскопічного симулятора. Задача TSC була заснована на лінійній комбінації очікування загального часу в дорозі та його стандартного відхилення.

Для підвищення обчислювальної ефективності алгоритму аналітичну апроксимацію змодельованих показників об'єднали з змодельованими даними. На думку авторів, такі підходи можуть бути використані для інформування про проектування та функціонування транспортної системи.

1.3. Протокол національних транспортних комунікацій для інтелектуальної транспортної системи

Національна Транспортні зв'язку для системи протоколу Intelligent Transportation (NTCIP) являє собою сімейство стандартів, розроблених для забезпечення сумісності і взаємозамінності між комп'ютерами і електронним устаткуванням управління рухом від різних виробників.

NTCIP існує вже понад 20 років, але все частіше використовується в ініціативах « розумного міста » та постачальниками технологій. Наприклад, пасажери, які хочуть знати, де наступний автобус прибуде на їхню зупинку, використовують програми, які використовують NTCIP, як-от ініціативи Siemens у Сіетлі та інших місцях. У майбутньому NTCIP використовуватиметься для двостороннього зв'язку між транспортними засобами та сигналами світлофора, наприклад, можливість для автобусів керувати світлофорами, як це робить SinWaves.

Протокол є продуктом спільної стандартизації проекту Об'єднаного комітету по NTCIP, який складається з шести представників: Національної асоціації виробників електроустаткування (NEMA), Американської асоціації державних автомобільних доріг, транспорту посадових осіб (AASHTO), і інституту інженерів транспорту (ITE). Спільний комітет у свою чергу сформував 14 технічних робочих груп для розробки та підтримки стандартів, ініціював або підготував понад 50 стандартів та інформаційних звітів.

1.3.1. Зв'язок від центру до польових пристроїв

NTCIP дозволив центру здійснювати зв'язок на місцях та командувати/контролювати обладнання від різних виробників, яке необхідно

специфікувати, закуповувати, розгортати та тестувати. Стандарти зв'язку NTCIP для польових пристроїв наведено нижче: (відповідний номер документа NTCIP вказано в дужках):

- Сигнали дорожнього руху (NTCIP 1202)
- Знаки динамічного повідомлення (NTCIP 1203)
- Сенсорні станції навколишнього середовища (NTCIP 1204)
- Камери закритого телебачення (NTCIP 1205)
- Станції підрахунку транспортних засобів (NTCIP 1206)
- Рамподи для автомагістралей (NTCIP 1207)
- Перемикачі відео (NTCIP 1208)
- Транспортні сенсорні системи (NTCIP 1209)
- Польові провідні станції для сигналів світлофора (NTCIP 1210)
- Пріоритет громадського транспорту на світлофорі (NTCIP 1211)
- Вуличні ліхтарі (NTCIP 1213)

1.3.2. Структура стандартів NTCIP

NTCIP Framework базується насамперед на відкритих стандартах Інтернет-інженерної робочої групи (IETF), World Wide Web Consortium (W3C) і ISO , а також стандартах словника даних NTCIP, специфічних для завдання зв'язку пристроїв ITS. Багатошаровий, або модульний, підхід до стандартів зв'язку використовується для представлення передачі даних між двома комп'ютерами або іншими електронними пристроями.

NTCIP відноситься до «рівнів» у NTCIP, а не до «шарів», щоб відрізнити ієрархічну архітектуру, застосовану від архітектури, визначеної еталонною моделлю взаємозв'язку відкритої системи (модель OSI) ISO та Інтернет-інженерної робочої групи (IETF). NTCIP має п'ять рівнів: інформаційний, прикладний, транспортний, підмережний і заводський.

На малюнку нижче показано структуру рівнів інформації, додатків, транспорту, підмережі NTCIP.

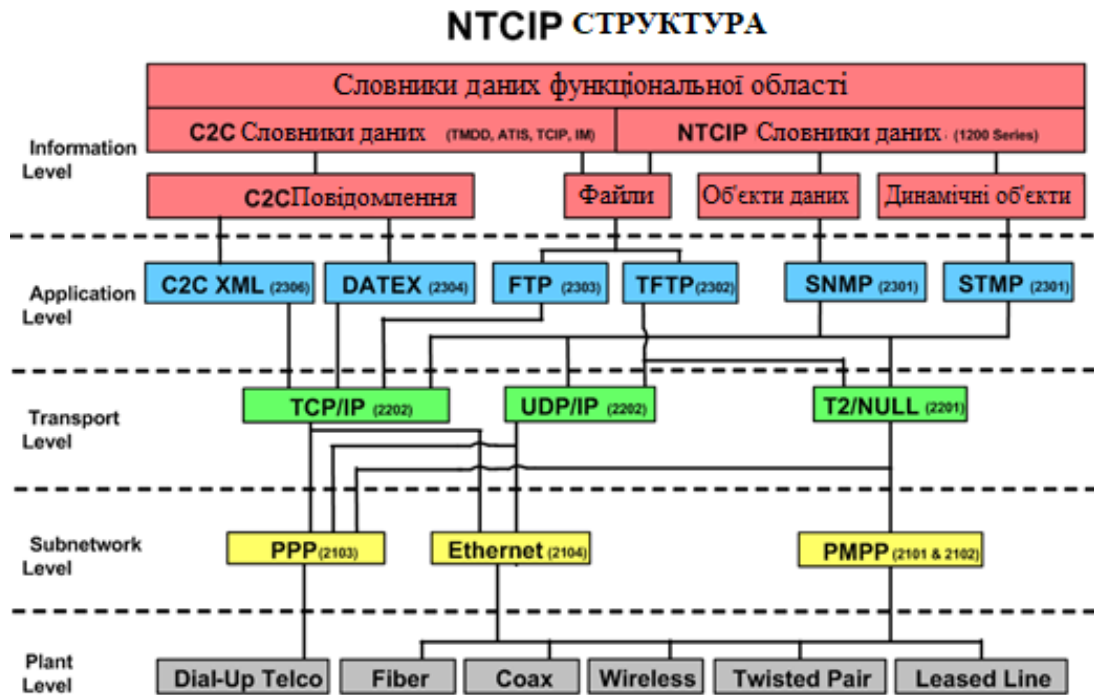


Рис. 1.3. Структура рівнів NTCIP

Щоб забезпечити працюючу систему, розробники повинні вибрати та вказати принаймні один протокол або профіль NTCIP на кожному рівні. Нижче наведено обговорення кожного рівня та стандартів NTCIP, які застосовуються на цьому рівні:

- Рівень інформації NTCIP — Інформаційні стандарти визначають значення даних і повідомлень і, як правило, розглядають інформацію про ІТС (а не інформацію про комунікаційну мережу). Це схоже на визначення словника та списку фраз у межах мови. Ці стандарти вище традиційної семишарової моделі OSI. Стандарти інформаційного рівня представляють функціональність системи, яка має бути впроваджена.
- Рівень застосування NTCIP — стандарти програми визначають правила та процедури обміну інформаційними даними. Правила можуть включати визначення правильної граматики та синтаксису окремого оператора, а також послідовність дозволених операторів. Це схоже на об'єднання слів і фраз, щоб сформувати речення або цілісну думку, а також визначення правил вітання один одного та обміну інформацією. Ці стандарти приблизно еквівалентні рівням сеансу, презентації та прикладної моделі моделі OSI.

- Транспортний рівень NTCIP — Транспортні стандарти визначають правила та процедури для обміну даними програми між точками «А» і «Х» у мережі, включаючи будь-яку необхідну маршрутизацію, розбирання/повторну збірку повідомлень та функції керування мережею. Що подібно до правил і процедур, які використовуються телефонною компанією для підключення двох віддалено розташованих телефонів. Стандарти транспортного рівня приблизно еквівалентні транспортному та мережевому рівням моделі OSI .

- Рівень підмережі NTCIP — стандарти підмережі визначають правила та процедури для обміну даними між двома «суміжними» пристроями через деякі комунікаційні засоби. Це еквівалентно правилам, які використовуються телефонною компанією для обміну даними через стільниковий канал, порівняно з правилами, які використовуються для обміну даними по мідній витій парі. Ці стандарти приблизно еквівалентні каналу передачі даних і фізичним рівням моделі OSI .

- Рівень заводу NTCIP — Рівень заводу показаний у структурі NTCIP лише як засіб надання точки відліку для тих, хто дізнається про NTCIP. Рівень заводу включає комунікаційну інфраструктуру, в якій мають використовуватися стандарти зв'язку NTCIP, і має безпосередній вплив на вибір відповідного рівня підмережі для використання в обраній комунікаційній інфраструктурі. Стандарти NTCIP не приписують жодного типу медіа іншим. У більшості випадків вибір засобів комунікації здійснюється на початку етапу проектування.

NTCIP Framework не виключає комбінацій, крім тих, які прямо вказані на схемі.

Зв'язок між центральним комп'ютером системи керування трафіком і динамічними знаками повідомлень здійснюється за допомогою об'єктів, визначених у цьому стандарті NTCIP 1203 - Визначення об'єктів для динамічних повідомлень (DMS). Ці об'єкти визначають інформацію, команди та відповіді, які повинні бути зрозумілі пристроям на обох кінцях каналу зв'язку. Цей стандарт визначає об'єкти в трьох основних сферах діяльності: керування конфігурацією DMS, контроль DMS та моніторинг її стану. Версія 2 цього стандарту була розроблена з використанням

встановленого процесу системної інженерії та включає концепцію операцій, функціональні вимоги, специфікації інтерфейсу та матрицю відстеження вимог.

1.4. Висновки по розділу 1

В даному розділі проведено аналіз підходів до моделювання на основі штучного інтелекту та підходів на основі штучного інтелекту для оптимізації систем TST і TSC, було надано уявлення та прогалини в дослідженнях і можливих напрямках розвитку майбутньої роботи дослідників, зацікавлених у цій галузі.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Модель мережевого потоку

Мережа міських доріг може складатися з ланок (ділянок доріг однорідної пропускної здатності) та вузлів (перехрестя, злиття та розходження), що визначають їх сполучення. Наступні розділи підсумовують рідинно-динамічну модель, що описує динаміку руху на складових дорожньої мережі.

2.1.1. Динаміка руху на ділянках доріг у результаті рівняння безперервності

Розглянемо однорідну ділянку дороги i з постійною, тобто незмінною в часі, довжиною L_i , обмеження швидкості V_i і потік насичення Q_i^{\max} .

Динаміка руху на ділянці дороги може бути характеризується швидкістю прибуття $Q_i^{\text{arr}}(t) \leq Q_i^{\max}$ і швидкість виїзду $Q_i^{\text{dep}}(t) \leq Q_i^{\max}$. Ці величини представляють кількість транспортних засобів за одиницю часу, які в'їжджають або виїжджають з ділянки дороги по всіх її смугах.

Потік транспорту по міській ділянці дороги (на відміну від ділянок автостради) достатньо добре представлена рідинно-динамічною моделлю руху Лайтхілла і Вітема. Вона описує просторово-часову динаміку фронтів заторів на основі рівняння безперервності для збереження транспортних засобів, а також співвідношення щільності потоку, відомого як «фундаментальна діаграма».

Якщо знехтувати сумарним ефектом обгону та наблизити фундаментальну діаграму трикутною формою, це означає дві відмінні характерні швидкості: тоді як збурення потоку вільного транспорту поширюються вниз за течією зі швидкістю V_i , у перевантаженому русі фронт затору вниз за течією та збурення поширюються вгору за течією з характерною швидкістю приблизно -15 км год^{-1} .

Ці фундаментальні співвідношення також дозволяють отримати явні вирази для руху вище за течією затор, де транспортні засоби гальмують і в'їжджають на перевантажену ділянку дороги, а також на відповідний час у дорозі.

Інтеграція по простору призводить до ефективної теоретичної моделі трафіку, заснованої на зв'язаних диференціальних рівняннях із затримкою.

Це можна підсумувати так: у вільному трафіку, в ідеалі — сукупне число $N_i^{\text{exp}}(t)$ транспортних засобів, які, як очікується, досягнуть нижнього кінця ділянки дороги i до часу t дається від:

$$N_i^{\text{exp}}(t) = \int_{-\infty}^t Q_i^{\text{arr}}(t' - L_i/V_i) dt', \quad (2.1)$$

де зсув часу L_i/V_i відповідає часу в дорозі для проходження посилення i у вільному русі.

Однак у разі заторів кількість транспортних засобів, які фактично покинули ділянку дороги на її нижньому кінці, визначається інтегралом від швидкості виїзду:

$$N_i^{\text{dep}}(t) = \int_{-\infty}^t Q_i^{\text{dep}}(t') dt' \leq N_i^{\text{exp}}(t). \quad (2.2)$$

Таким чином, різниця між $N_i^{\text{exp}}(t)$ і $N_i^{\text{dep}}(t)$ безпосередньо відповідає кількості затриманих транспортних засобів, яка буде називатися довжиною черги $n_i(t)$.

Отже, загальний час очікування $w_i(t)$ всіх транспортних засобів на ділянці дороги i до часу t збільшується зі швидкістю

$$dw_i/dt = n_i(t) = N_i^{\text{exp}}(t) - N_i^{\text{dep}}(t). \quad (2.3)$$

Важливо відзначити, що, незважаючи на те $n_i(t)$ прямо не враховує просторове розташування заторів на посиленні i , він повністю фіксує відповідні відносини приплив-відтік, час вирішення черги, а також пов'язаний час очікування.

2.1.2. Закон Кірхгофа для динаміки руху в вузлах

Кожен вузол дорожньої мережі з'єднує ряд вхідних ділянок доріг, позначених індексом i на ряд вихідних посилень, позначених як j . Закон Кірхгофа щодо

збереження потоків у вузлах вимагає, щоб потік прибув на вихідну лінію j дорівнює сумі дробів $\alpha_{ij}(t)$ потоків відправлення $Q_i^{\text{dep}}(t)$ з вхідних посилянь i , тобто

$$Q_j^{\text{arr}}(t) = \sum_i \alpha_{ij}(t) Q_i^{\text{dep}}(t) \quad \text{для усіх } j \text{ і } t \quad (2.4)$$

Поворотні дроби $\alpha_{ij}(t) \geq 0$ з $\sum_j \alpha_{ij} = 1$ нормовані та залежать від часу, оскільки вибір маршруту та подорожі можуть змінюватися протягом дня.

Включаючи обмежені потоки прибуття ($Q_j^{\text{arr}}(t) \leq Q_j^{\text{max}}$), це стає очевидно, що відсутність пропускної спроможності на нижній лінії зв'язку обмежує вихідний потік на верхніх лініях, що в кінцевому підсумку може спричинити ефект зворотного витікання.

Коли транспортний потік входить або перетинає інший, тобто на вузлах злиття або перетину, конкуруючі транспортні потоки мають тенденцію перешкоджати один одному, що часто призводить до неефективного використання пропускної спроможності.

Світлофори можуть служити для координації несумісних транспортних потоків і для підвищення загальної продуктивності. Для потоків транспорту, які обслуговуються зеленим світлом, далі припускаємо, що вихід із черги обмежений лише потоком насичення Q_i^{max} . Тобто, протягом усього цього відтоку не будуть перешкоджати інші потоки або витіки з ділянок доріг нижче за течією.

Загальним підходом до моделювання перемикавання світлофорів є регулювання відтоку вхідної ділянки дороги i з префактором «проникності» $\gamma_i(t)$, який чергується між i , що відповідають червоному та зеленому світлу світлофору відповідно.

Можна виділити три різні режими:

1. якщо світлофор горить червоним світлом, відтік дорівнює нулю;
2. коли світлофор перемикається на зелений, черга транспортних засобів розряджається з більш-менш постійною швидкістю, потік насичення Q_i^{max} ;
3. якщо світлофор залишається зеленим після того як черга розпадається, транспортні засоби залишають ланку i з однаковою швидкістю

$Q_i^{\text{exp}}(t) = Q_i^{\text{arr}}(t - L_i/V_i)$, на якій вони ввійшли в ланку, затримавшись на вільний час у дорозі L_i/V_i . Разом з рівнянням (2.3), отримується звичайне диференціальне рівняння для тимчасової еволюції довжини черги $n_i(t)$:

$$\frac{dn_i}{dt} = \begin{cases} Q_i^{\text{exp}}(t) & \text{if } \gamma_i(t) = 0 \\ Q_i^{\text{exp}}(t) - Q_i^{\text{max}} & \text{if } \gamma_i(t) = 1 \quad \text{and} \quad n_i(t) > 0 \\ 0 & \text{if } \gamma_i(t) = 1 \quad \text{and} \quad n_i(t) = 0. \end{cases} \quad (2.5)$$

Наведена вище модель дозволяє охарактеризувати процес черги на сигналізованій ділянці дороги як нелінійну гібридну динамічну систему, тобто система рівнянь, що містить як неперервні, так і дискретні змінні стану.

Перехід від режиму (2) до режиму (3), тобто перехід від перевантаженого транспорту до вільного є результатом конкретного потоку прибуття і не може безпосередньо керуватися світлофором. Таким чином, повне формулювання гібридної динамічної системи вимагає від нас передбачити момент часу, коли черга буде очищена. Це, а також втрати перемикання через час реакції та кінцеві прискорення будуть розглянуті в наступному розділі.

2.2. Передбачення транспортних потоків

Щоб гнучке управління світлофором було ефективним, важливо передбачити потоки транспортних засобів якомога краще(див. дод. А.3), можливо запропонували структуру для прогнозування впливу запуску, продовження або завершення процесів обслуговування на майбутні часи очікування.

Основні результати коротко підсумовані нижче і служать основою для виведення оптимальних правил перемикання.

Вже дуже маленькі мережі з дуже простими правилами комутації можуть створювати складну і потенційно хаотичну динаміку трафіку(див. дод. А.2). Більше того, проблеми координації між транспортними потоками та їх обслуговуванням можуть спричинити неефективне використання пропускної спроможності перехрестя і, таким чином, ефект зворотного витікання та пов'язану з цим динамічну

нестабільність (див. дод. А.1). Іноді це може бути досить несподіваним і означати, що правдоподібні спроби оптимізації можуть бути невдалими через нелінійні ефекти зворотного зв'язку. Деталі обговорюються у додатку.

2.2.1. Процес обслуговування та час налаштування

Безпечна робота світлофора вимагає, щоб перед перемиканням на зелений для транспортного потоку i , усі інші несумісні транспортні потоки зупинено і всі відповідні транспортні засоби вже покинули зону конфлікту.

Це буде враховано в нашій моделі шляхом введення часу налаштування: якщо деякий потік транспорту вибрано для обслуговування, його світлофор не перемикається на зелений до того, як мине відповідний час налаштування (або міжзелений) τ_i^0 .

Значення τ_i^0 має бути обрані j відповідно до міркувань безпеки і зазвичай полягає в діапазон від 3 до 8 сек. Варно звернути увагу, що τ_i^0 також включає період жовтого часу, який враховує затримки реакції та затримки кінцевим прискоренням. Тому час установки τ_i^0 відображає всі втрати часу, пов'язані з початком обслуговування транспортних засобів на ланці i .

Причина такої нестабільності криється в неефективному використанні сервісних потужностей у періоди часу від 20 до 45 с, від 70 до 130 с тощо. Протягом цього часу світлофори подовжують зелений час для вулиць 1 і 3, де вже розчищено черги транспортних засобів, тоді як інші вулиці, кажучи Кумаром і Сейдманом, «недоступні».

Як зображений на рис 2.3. (с), процес обслуговування можна розділити на три послідовні стани: налаштування, очищення черги та зелене продовження часу. Лише в двох останніх штатах світлофор горить зеленим.

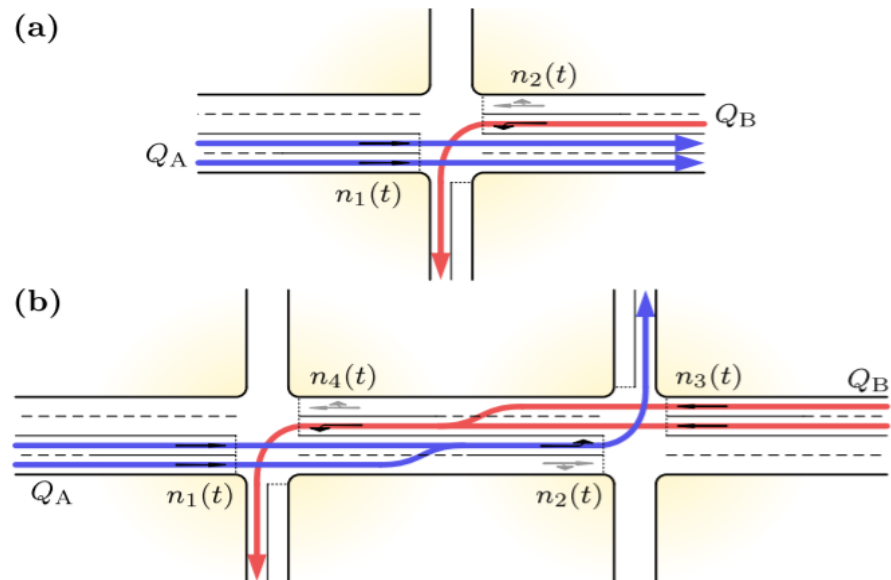


Рис. 2.1. (a) Ізольоване перехрестя з двома несумісними потоками трафіку А і В. У цьому випадку відповідна політика клірингу є як оптимальною, так і стабільною (див. додаток А.1). (b) Комбінація двох перехресть типу, показаного в (a), утворюючи неациклічну мережу доріг (див. додаток А.1).

Цікаво, що навіть коли кожне з перехресть веде себе стабільно ізольовано, дорожня мережа може діяти динамічно нестабільно за однакових умов припливу.

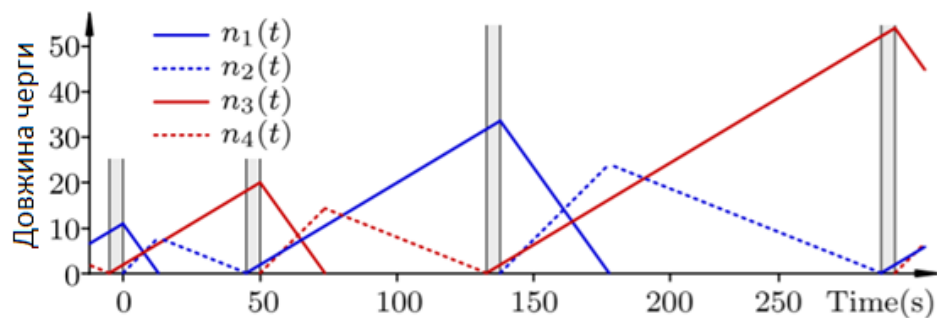


Рис. 2.2. Залежна від часу довжина черги для неациклічної мережі доріг показана на рис 4(b), припускаючи політику клірингу, яка веде себе оптимально на ізольованому перетині, показаному на рис 4(a). Довжини черги розходяться через динамічну нестабільність. (Пояснення політики клірингу див. у додатку А.1.)

Процес обслуговування починається досить рано, щоб обслуговувати взвод із п'яти машин у режимі зеленої хвилі, тобто без зупинки техніки. Точний час є

результатом короткогоочікування терміну на основі часового ряду $N_i^{\text{exp}}(t)$ і $N_i^{\text{dep}}(t)$ (тобто сукупна кількість транспортних засобів, які могли досягти стоп-лінії у вільному русі, порівняно з кількістю, які фактично покинули ділянку дороги, див. рівняння (2.1) і (2.2)).

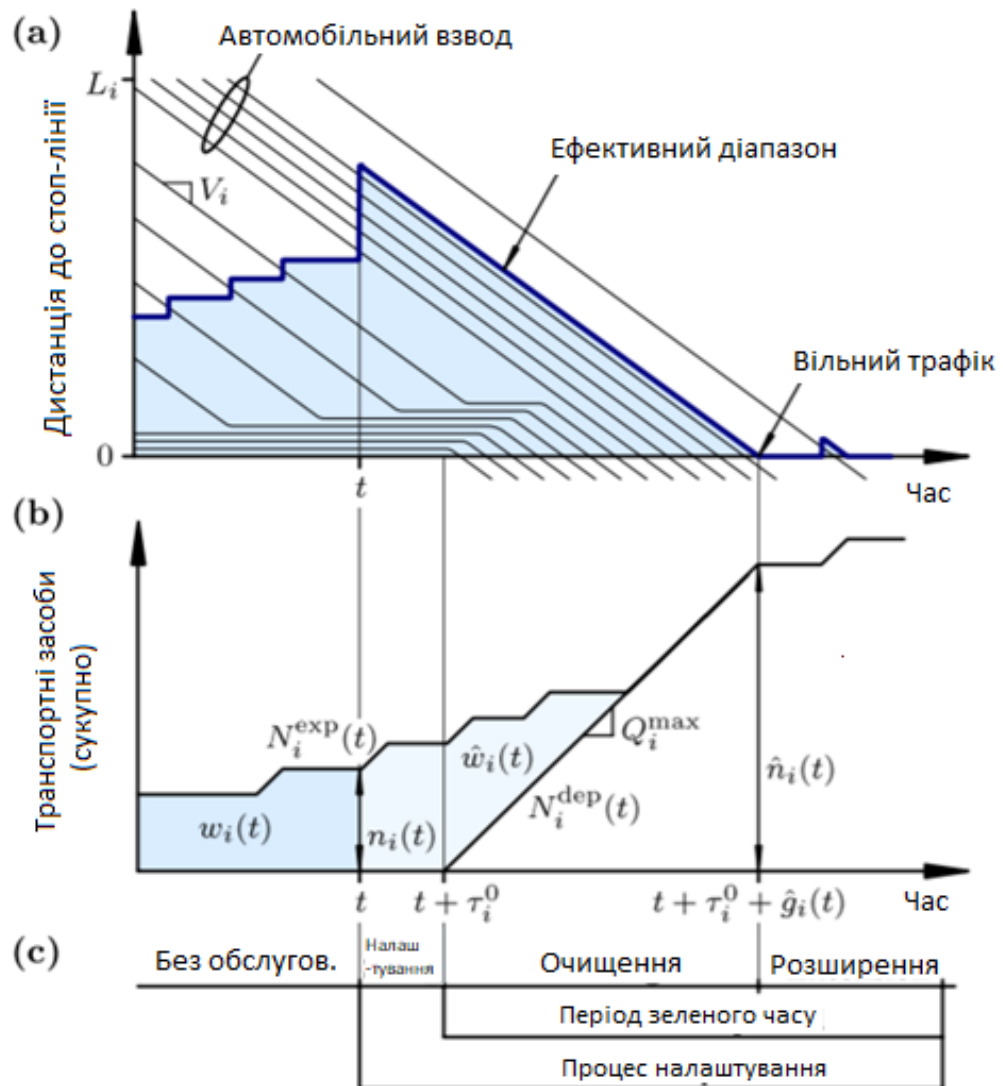


Рис. 2.3. (a) траєкторії та (b) сукупна кількість транспортних засобів на ділянці дороги i , і (c) різні стани процесу обслуговування.

Тоді як поточний час очікування $w_i(t)$ зростає із збільшенням кількості транспортних засобів $n_i(t)$ затримується (див. рівняння (2.3)), очікуваний час очікування в майбутньому $\hat{w}_i(t)$ зростає разом із очікуваною кількістю транспортних

засобів $\hat{n}_i(t)$ для обслуговування в наступному стані «очистки». Значення $\hat{n}_i(t)$, а також необхідний зелений час $\hat{g}_i(t)$ для очищення черги визначаються рівняннями (2.6) і (2.7). Обслуговування взводу здійснюється за принципом зеленої хвилі, якщо початок процесу обслуговування ініційовано стрибком, пов'язаним із взводом $\hat{n}_i(t)$ або, що більш показово, раптовим збільшенням ефективного діапазону.

2.2.2. Зелений час, необхідний для очищення черги

Для гнучкого управління світлофором принципово важливо передбачити кількість зеленого часу $\hat{g}_i(t)$ необхідний для очищення черги на ділянці дороги i , оскільки послуга починається або продовжується в поточний момент часу t .

Очевидно, $\hat{g}_i(t)$ залежить не тільки від поточної довжини черги $\hat{n}_i(t)$, а також від кількості приєднаних транспортних засобів до черги протягом часу налаштування $\tau_i(t)$ і під час очищення черги. На момент часу черга затриманих транспортних засобів повністю розвіялась $t + \tau_i(t) + \hat{g}_i(t)$, що визначається вимогою, щоб кількість транспортних засобів, які до цього моменту виїхали з ділянки дороги, дорівнювала кількості транспортних засобів, які досягли стоп-лінії. Це відповідає лівій і правій частині, відповідно, наступного рівняння:

$$N_i^{\text{dep}}(t) + \hat{g}_i(t) Q_i^{\text{max}} = N_i^{\text{exp}}(t + \tau_i(t) + \hat{g}_i(t)) \quad (2.6)$$

Значення $\hat{g}_i(t)$ має бути найбільшим можливим розв'язком рівняння (2.6), які можна легко отримати за допомогою стандартних методів бісекції.

Другий доданок в рівнянні (6) представляє кількість транспортних засобів, які, як очікується, покинуть ділянку дороги зі швидкістю потоку насичення Q_i^{max} , і позначається як $\hat{n}_i(t)$, тобто:

$$\hat{n}_i(t) = \hat{g}_i(t) Q_i^{\text{max}} \quad (2.7)$$

$\hat{n}_i(t)$ захоплює всі ці транспортні засоби:

- вже чекає в черзі,
- приєднання до черги під час налаштування або очищення,

- прибуття згодом відразу після очищення черги.

Особливо враховуються стрибки до більшого значення, коли групу можна було обслуговувати в режимі зеленої хвилі, тобто без зупинки. Величина стрибка дорівнює розміру групи. Перед тим, як група прибуде до стоп-лінії, формула резервує рівно стільки часу, скільки необхідно для виконання налаштування та очищення черги машин, що чекають. Таким чином, наведена вище модель очікування надає нам механізм, який створює зелені хвилі.

Щоб уявити основний принцип, рис. 2.3.(а) побудовує так званий ефективний діапазон очікування, який включає в себе $\hat{n}_i(t)$ транспортні засоби. Варто зауважити, що коли ефективний діапазон розширюється $(\tau_i(t) + \hat{g}_i(t))V_i$ метрів від стоп-лінії, всі транспортні засоби в межах цього діапазону досягнуть стоп-лінії раніше, тоді черга очищається в момент часу $t + \tau_i(t) + \hat{g}_i(t)$. Таким чином, ці транспортні засоби будуть обслуговуватися в стані «очистки» наступного процесу обслуговування.

2.2.3. Час очікування в черзі

Можливість вирішувати, продовжити процес обслуговування або почати інший, вигідніше з точки зору економії часу очікування. Тому наведена вище концепція очікування тепер буде використовуватися для прогнозування загального часу очікування $\hat{w}_i(t)$ всіх транспортних засобів на ділянці дороги i до кінця наступного стану «очистки» (див. рис 2.3.(b)).

Ми маємо:

$$\frac{d\hat{w}_i}{dt} = \begin{cases} \hat{n}_i(t) \\ 0 \end{cases} \quad (2.8)$$

якщо i не подається протягом усього процесу обслуговування

Тобто будь-яка затримка dt на початку обслуговування спричинить додаткову затримку dt для кожного з очікуваних транспортних засобів. Цікаво, $\hat{w}_i(t)$ більше не змінюється під час процесу обслуговування, оскільки відповідне значення вже передбачалося раніше. Однак він знову зміниться, як тільки процес обслуговування буде припинено. У той же момент часу очікуваний час очікування $\hat{w}_i(t)$ також

збільшиться на додаткову величину $\Delta\hat{w}_i(t)$ через те, що наступний зелений час не може початися до виконання нового налаштування, що займає певний період часу τ_i^0 . Цей додатковий час очікування налаштування дається за допомогою:

$$\Delta\hat{w}_i(t) = Q_i^{\max} \int_{\tau_i(t)}^{\tau_i^0} \hat{g}_i(t, \tau') d\tau' \quad (2.9)$$

де $\hat{g}_i(t, \tau)$ відповідає розв'язку рівняння (2.6), враховуючи час налаштування, що залишився τ' .

Наведені вище рівняння (2.8) і (2.9) дозволяють передбачити витрати на затримку або припинення процесу обслуговування з точки зору передбаченого майбутнього часу очікування. Щоб підкреслити особливу важливість цього результату, варто вказати на прямий зв'язок між $n_i(t)$ і $\hat{n}_i(t)$:

поки $n_i(t)$ – швидкість зростання поточного часу очікування $w_i(t)$ відповідно до рівняння (2.3);

$\hat{n}_i(t)$ – швидкість зростання передбаченого майбутнього часу очікування $\hat{w}_i(t)$ для транспортного потоку i що не обслуговується.

Ця фундаментальна схожість дозволяє нам легко переносити звичайні схеми керування, які спочатку були розроблені для роботи $\pi(t)$, до змінних нашої моделі очікування.

2.3. Звичайне та самоорганізоване світлофорне керування

2.3.1. Класичний підхід для управління та його обмеження

Відомо, що оптимальне керування комутованими мережевими потоками є NP-складною проблемою, що означає, що час, необхідний для пошуку оптимального рішення, зростає швидше, ніж поліноміально з розміром мережі (кількістю вузлів). Ця NP-складність має два основні наслідки:

- по-перше, керування світлофором для мереж доріг зазвичай оптимізовано в автономному режимі для певних стандартних ситуацій

(наприклад, ранкові або денні години пік, спортивні події, вечірній рух, вихідні тощо) і застосовуються за відповідних умов дорожнього руху.

- по-друге, сучасні підходи до управління переважно централізовані та засновані на застосуванні попередньо розрахованих періодичних розкладів, деякі параметри яких можна адаптивно коригувати.

Тобто координація досягається шляхом застосування загального часу циклу до всіх перетинів або кратних базової частоти. Ця частота зазвичай встановлюється найбільш серйозним вузьким місцем. З міркувань пропускної здатності (щоб мінімізувати неефективність через час перемикання) частота зменшується при великих обсягах трафіку, але вона обмежена максимально допустимим часом циклу. Крім часу циклу, порядок і відносна тривалість зелених фаз ("розділення") і часові зсуви між сусідніми світлофорами ("зміщення") оптимізовані для припущених граничних умов (приплив і відтік). Отримана програма зазвичай обслуговує кожен потік транспорту один раз протягом часу циклу і періодично повторюється.

Так звані «зелені хвилі» реалізуються відповідним коригуванням зелених фаз і часових зрушень. Зазвичай вони віддають перевагу односпрямованому основному потоку (наприклад, вхідний або вихідний трафік в години пік у «артеріях»).

Деякі очевидні недоліки цього класичного підходу до контролю:

- Щоб впоратися з змінами припливу, зелений час часто довший, ніж необхідно для обслуговування середньої кількості транспортних засобів, що прибувають (інакше час очікування може виникнути через кілька зупинок перед одним червоним світлом). Це викликає невиправдано довгий час очікування для несумісних напрямків потоку.

- На перехрестях з невеликим використанням час циклу, як правило, набагато довший, ніж потрібно (або цикл не скоординований з перетином, що становить основне вузьке місце). Більше того, світлофори, як правило, викликають затримки, яких можна уникнути під час слабого руху (наприклад, вночі).

- Координація через «зелені хвилі» застосовна лише до одного транспортного коридору та напрямку потоку, тоді як вони мають тенденцію перешкоджати протилежним потокам, що перетинаються та зливаються.

- Через значну різницю транспортних потоків і часток поворотів від однієї хвилини до іншої, графік світлофора оптимізовано для середньої ситуації, яка ніколи не зустрічається точно, хоча вона не є оптимальною для фактичної дорожньої ситуації.

2.3.2. Евристика реального часу на основі самоорганізованої стратегії визначення пріоритетів

Щоб подолати вищезгадані недоліки, ми пропонуємо виконати евристичну онлайн оптимізацію, яка гнучко адаптується до фактичної дорожньої ситуації на кожен час і місце. Якщо ця евристика досягає в середньому, скажімо, 95% продуктивності теоретично оптимального рішення, очікується, що вона перевершить попередньо визначене 100% найкраще рішення для середньої дорожньої ситуації, яка ніколи точно не виникає. Більше того, пошук єдиного 100% найкращого керування світлофором для даної ситуації, що залежить від часу, є чисельно настільки вимогливим, що потребує автономної оптимізації, тоді як рішення, що досягають, скажімо, 95% оптимальної продуктивності, можна визначити в реальному часі.

Як зазвичай є кілька альтернативних рішень з високою, але не оптимальною продуктивністю, також можна вибрати рішення, яке особливо добре пристосоване до місцевих умов руху.

Далі описана евристика для децентралізованого керування світлофором у режимі реального часу. Щоб досягти кращої продуктивності в порівнянні з простим циклічним контролем з фіксованим часом, запропонований самоорганізований підхід до визначення пріоритетів поєднує стратегію оптимізації зі стабілізуючим.

Ця концепція виходить за рамки адаптивного керування світлофором, заснованого на простому зворотному зв'язку між дорожньою ситуацією та системою контролю дорожнього руху.

Він має характерні риси самоорганізованих систем:

- Відкритість і автономія,
- Відсутність централізованого плану або ієрархічного контролю,
- Неперіодична динаміка через нелінійні взаємодії між різними пристроями

- Відсутність різниці між керуючими та керованими елементами (тут: світлофори керують транспортними засобами, і вони впливають на світлофор)

Спостережувані явища (такі як поява зелених хвиль та інші) спонтанно виникають у результаті взаємодій у системі, і очікується, що між різними режимами роботи відбуваються переривчасті переходи.

Це принципово відрізняється від класичної концепції «адаптивного керування», де чітко розмежовуються елементи керування та елементи підпорядкування, а параметри керування в кінцевому підсумку адаптуються до змін (наприклад, експоненціально усереднених) умов дорожнього руху.

Дана концепція контролю надихається спостереженням, що зустрічні потоки пішоходів у вузьких місцях демонструють самоорганізовані коливання їхнього напрямку проходження (див. рис. 2.4.), ніби пішоходами керували світлофори. У пішохідних потоках самоорганізовані коливання є результатом різниці тиску між натовпами/заторами, що чекають по обидва боки вузького місця.

Тиск зростає з того боку, де все більше пішоходам доводиться чекати, тоді як він знижується на стороні, де пішоходам вдається проїхати вузьке місце. Напрямок проходження змінюється, коли тиск з одного боку на достатню кількість перевищує тиск з іншого

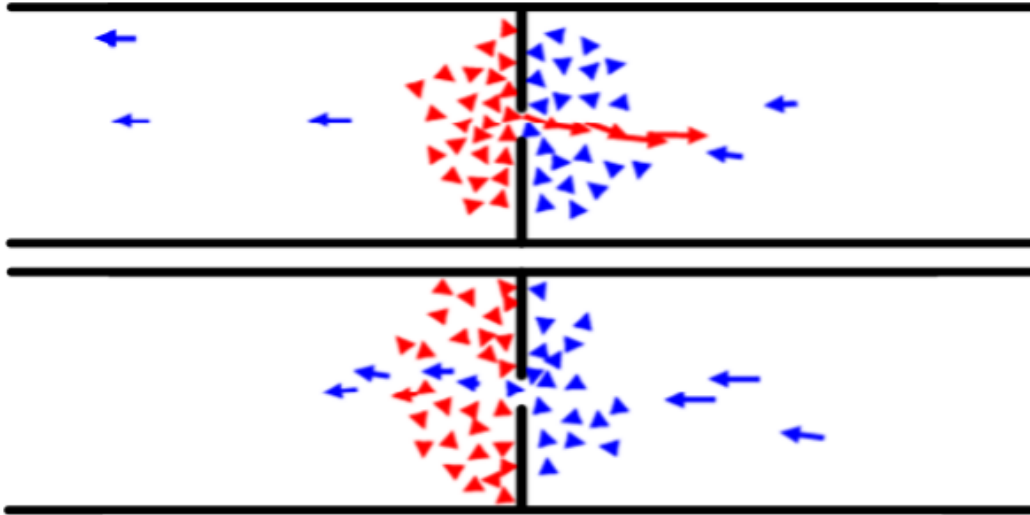


Рис. 2.4. Пішохідні потоки на вузькому горлечку поводяться майже так, ніби їх керують світлофори

Перехрестя також можна розглядати як вузькі місця, але з більш ніж двома потоками, які конкурують за доступну пропускну здатність. Тому можна перенести вищеописаний принцип самоорганізації на міський транспортний рух, хоча аналогія, безумовно, обмежена. Наприклад, ми знаходимо коливальний процес формування черги за вузьким місцем перехрестя, але на відміну від настирливих пішоходів із тертями взаємодіями, ми не спостерігаємо ефектів вигину та засмічення.

2.4. Стратегія оптимізації

У представленій моделі потоку мережевого трафіку ми визначаємо «тиск» за допомогою динамічних індексів пріоритету $\pi_i(t)$ таким чином, що світлофори перехрестя дають зелене світло транспортному потоку i з найвищим пріоритетом. Для математичного формулювання правила динамічного визначення пріоритетів збережемо аргумента у змінній рішення $\sigma(t)$ таким чином:

$$\sigma(t) = \arg \max_i \pi_i(t). \quad (2.10)$$

Планування на основі пріоритетів вивчалось в контексті теорії масового обслуговування. Було зазначено, що «не існує невиявлених правил послідовності

індексів пріоритетів для мінімізації загальних витрат на затримку». Проте розглянуті стратегії визначення пріоритетів були обмежені функціями поточної довжини черги, тобто до кількості транспортних засобів, що мають вже був зупинені. На відміну від цього, дана модель очікування дозволяє передбачити майбутнє прибуття та узагальнити ці стратегії на обслуговування взводів без будь-яких попередніх зупинок, тобто на манері «зеленої хвилі». Для простоти далі будемо вважати, що вибір маршруту є неадаптивним (тобто поворотні фракції $\alpha_{ij}(t)$ відомі), а також те, що всі транспортні потоки на перехрестях є конфліктними (тобто лише один транспортний потік може обслуговуватися одночасно).

Метою є вивести формулу для індексу пріоритету π_i таке, що правило перемікання (2.10) мінімізує загальний час очікування. Однак горизонт оптимізації обмежений тими транспортними засобами, майбутній час очікування яких безпосередньо залежить від поточного стану світлофора, тобто очікувані \hat{n}_i транспортні засоби, захоплені в межах ефективної дальності (див. рис 2.5 (а)). Транспортні засоби, що прибувають пізніше, залишаються поза увагою до тих пір, поки вони знаходяться за межами горизонту очікування, але вони враховуються динамічною повторною оптимізацією досить рано, щоб обслуговувати їх зеленою хвилею, якщо це можливо.

Роткопф і Сміт показав, що оптимальний порядок обслуговування транспортних потоків є унікальним і може бути визначений шляхом порівняння пріоритетів міжпарі конкуруючих транспортних потоків. Це дозволяє отримати оптимальну специфікацію індексу пріоритету π_i вивчаючи лише перетин двох конкуруючих транспортних потоків 1 і 2, як зображено на рис. 2.5.(б).

Для поточного моменту часу, припускаємо, що залишився час налаштування τ_1 і τ_2 , очікувана кількість транспортних засобів \hat{n}_1 і \hat{n}_2 , і необхідний зелений час \hat{g}_1 і \hat{g}_2 надати.

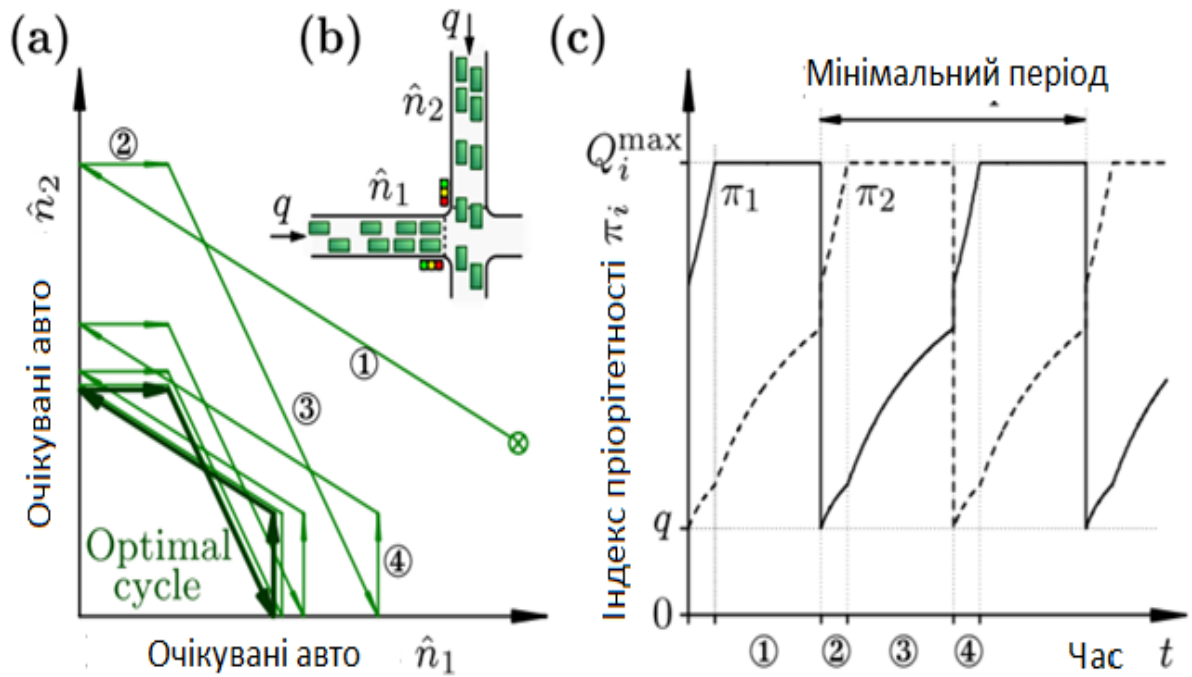


Рис. 2.5. (а) Збіжність траєкторій (\hat{n}_1, \hat{n}_2) до оптимального граничного циклу на перетині з двома однаковими транспортними потоками з постійною швидкістю припливу q , див. (b). (с) періодичні часові ряди пріоритетних індексів π_1 і π_2 пов'язаний з оптимальним циклом.

(① - означає розчищення вулиці 1, ② - облаштування вулиці 2, ③ - очищення вулиці 2 і ④ - облаштування вулиці 1).

Припускаємо, що спочатку для обслуговування вибирається транспортний потік 1, тобто $\sigma = 1$. У цьому сценарії контролер має два варіанти:

- (i) завершити обслуговування потоку 1 перед перемиканням на потік 2 або
- (ii) негайно перейти до потоку 2 за рахунок додаткової настройки для перемикання назад до потоку 1 пізніше.

Оптимальне контрольне рішення виводиться шляхом розрахунку загального збільшення очікуваного часу очікування для кожного варіанта. Дотримання першого варіанту вимагає продовження обслуговування потоку 1 для $\tau_1 + \hat{g}_1$ секунд. Відповідно до рівняння (2.8), очікуваний час очікування транспортного потоку 2 зростає зі швидкістю \hat{n}_2 , в той час як він залишається незмінним для транспортного потоку 1 в обслуговуванні. Оскільки він також не змінюється після очищення черги 1

і під час обслуговування потоку 2, загальне збільшення очікуваного часу очікування, пов'язаного з першим варіантом, буде:

$$(\tau_1 + \hat{g}_1) \hat{n}_2. \quad (2.11)$$

При виборі другого варіанту відповідно до рівняння (2.9) припинення обслуговування потоку трафіку 1 призводить до збільшення очікуваного часу очікування на величину $\Delta \hat{w}_1$, що відображає додатковий час очікування, пов'язаний із налаштуванням для перемикавання назад пізніше. Під час обслуговування транспортного потоку 2 для $\tau_2 + \hat{g}_2$ секунд, очікуваний час очікування зростає ще з швидкістю \hat{n}_1 . Загалом його загальне збільшення було б:

$$\Delta \hat{w}_1 + (\tau_2 + \hat{g}_2) \hat{n}_1. \quad (2.12)$$

Таким чином, оптимально продовжувати обслуговувати потік трафіку 1 порівняно з перемиканням на потік 2 якщо

$$(\tau_1 + \hat{g}_1) \hat{n}_2 < \Delta \hat{w}_1 + (\tau_2 + \hat{g}_2) \hat{n}_1. \quad (2.13)$$

Наведений вище критерій оптимальності дозволяє визначити індекси пріоритету π_1 і π_2 шляхом відокремлення відповідних змінних. Для цього перепишемо рівняння (2.13) у такий спосіб:

$$\pi_1 := \frac{\hat{n}_1}{\tau_1 + \hat{g}_1} > \frac{\hat{n}_2}{\Delta \hat{w}_1 / \hat{n}_1 + \tau_2 + \hat{g}_2} =: \pi_2. \quad (2.14)$$

Кожна сторона цієї нерівності визначає індекс пріоритету π_i . При цьому визначенні пріоритет π_1 для транспортного потоку 1 є функцією лише власних змінних. Цікаво, π_2 має таку ж залежність від власних змінних, але додатково залежить від $\Delta \hat{w}_1 / \hat{n}_1$. Перш ніж буде можливо вивести загальну формулу пріоритету π_i з будь-який транспортний потік i , потрібно спочатку уточнити роль цього додаткового терміна. Загалом, вираз $\Delta \hat{w}_\sigma / \hat{n}_\sigma$ відображає штраф за припинення поточного процесу обслуговування, де σ означає транспортний потік, що обслуговується. Як випливає з рівняння (2.9), значення $\Delta \hat{w}_\sigma / \hat{n}_\sigma$ коливається від 0 до τ_σ^0 і таким чином представляє додатковий час очікування $\Delta \hat{w}_\sigma$ завдяки додатковому налаштуванню для перемикавання назад, усередненому для всіх відповідних транспортних засобів \hat{n}_σ .

Оскільки штраф за перехід з σ до i стосується лише цих транспортних потоків $i \neq \sigma$ не відбувшись, ми можемо ввести загальний термін стягнення $\tau_{i,\sigma}^{\text{pen}}$ наступним чином:

$$\tau_{i,\sigma}^{\text{pen}} = \begin{cases} \Delta \hat{w}_\sigma / \hat{n}_\sigma & \text{if } i \neq \sigma \\ 0 & \text{if } i = \sigma. \end{cases} \quad (2.15)$$

За допомогою цього позначення можна ввести загальне визначення індексу пріоритету π_i як:

$$\pi_i = \frac{\hat{n}_i}{\tau_{i,\sigma}^{\text{pen}} + \tau_i + \hat{g}_i}. \quad (2.16)$$

Це повністю сумісно з критерієм оптимальності (2.14). Щоб індекс пріоритету π_i відноситься до очікуваної середньої швидкості обслуговування, тобто очікуваного числа \hat{n}_i транспортних засобів, які планується обслуговувати протягом періоду часу $\tau_i + \hat{g}_i$. На відміну від звичайних специфікацій пріоритету, отриманих від μ як правило, специфікація (2.16) є новим у двох фундаментальних аспектах: по-перше, його залежності від прогнозованих змінних \hat{n}_i і \hat{g}_i дозволяє передбачити майбутні прибуття.

По-друге, він враховує втрати перемикавання як першого, так і другого порядку, тобто час налаштування для перемикавання на інший потік трафіку, а також для перемикавання назад, представлений i і σ , відповідно.

Замість очищення існуючих черг найефективнішим способом, дана стратегія випереджального визначення пріоритетів спрямована на мінімізацію часу очікування. Це запобігає утворенню черг і автоматично з'являється зелені хвилі, коли це заощаджує загальний час очікування на перехресті.

Основний механізм пов'язаний з тим, що значення \hat{n}_i і \hat{g}_i стрибати до більшого значення, як тільки перша машина взводу виходить на горизонт динамічного очікування (див. розділ 2). Обслуговує взвод зелена хвиля чи ні, нарешті, залежить, звісно, від загальної транспортної ситуації на місцевому перехресті.

Хоча попередні міркування стосувалися черг транспортних засобів заданої довжини, те саме правило визначення пріоритетів показує швидко експоненційну конвергенцію до оптимального циклу світлофора також для безперервних припливів (див. рис 2.7). Однак локальна оптимізація кожного окремого перетину не

обов'язково має передбачати глобальну оптимальність для всієї мережі, оскільки не можна виключати динамічну нестабільність (див. додаток А.1). Таким чином, самоорганізоване світлофорне управління має бути розширене стратегією стабілізації.

2.5. Стратегія стабілізації

Ми називаємо управління світлофором «стабільним», якщо довжина черги завжди залишається кінцевою. Звичайно, стабільність вимагає, щоб попит на трафік не перевищував пропускну здатність перехрестя. Тим не менш, недалекоглядність стратегій локальної оптимізації може призвести до неефективного використання потужності, наприклад, через надто часте перемикання або занадто довгий зелений час. Для обговорення див. розділ 2 і додаток А.1.

Як наслідок, навіть коли попит на трафік далекий від критичного, існує ризик того, що черги транспортних засобів будуть зростати все довгими і в кінцевому підсумку блокувати транспортні потоки на перехрестях вище за течією. Щоб стабілізувати комутаційну мережу, можна запровадити локальні наглядові механізми. Функція таких механізмів полягає в тому, щоб спостерігати за поточним станом трафіку та призначати достатньо довгі зелені часи, перш ніж черги стануть занадто довгими.

Підтримка стабільності — це скоріше розподіл ресурсів (зелене призначення часу), а не проблема планування. Дана пропозиція полягає в тому, щоб доповнити правило визначення пріоритетів (2.16) за таким правилом стабілізації: визначається впорядкований набір пріоритетів Ω , що містить аргументи i з всіх тих транспортних потоків, які були відібрані наглядовим механізмом i , таким чином, мають бути обслуговуватися найближчим часом для підтримки стабільності.

Крім того, аргумент i переповненого посилання i приєднується множина Ω як тільки більше деякого критичного числа n_i^{crit} транспортних засобів очікує на обслуговування. Це видалено з набору після очищення черги, тобто $n_i = 0$, або після максимально дозведеного зеленого часу g_{max} було досягнуто. Елементи, що входять

до набору Ω , подаються за принципом «першим прийшов – першим обслужений». Поки Ω не порожній, стратегія управління завжди обслуговує потік трафіку, що відповідає першому елементу (голові) Ω . Якщо Ω порожній, світлофор дотримується правила пріоритетності (2.10).

2.6. Висновки по розділу 2

В цьому розділі зазначається, що основними аспектами побудови та роботи мережі є: створення моделі мережевого потоку, а саме визначення динаміки руху з допомогою рівняння безперервності та за допомогою рівняння Кірхгофа; передбачення транспортних потоків, враховуючи час обслуговування та налаштування, зелений час, час очікування в черзі. Також були наведені підходи для управління світлофорами та план оптимізації системи.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1. Аналіз алгоритмів роботи системи. Створення власного алгоритму.

У даній роботі проводились аналіз та дослідження «вільного» руху автотранспорту (без заторів) в умовах наявної пропускної спроможності дороги з максимальною інтенсивністю проїзду авто (вул. Руська від моста через залізничні колії до перехрестя з вул. Танцорова) з метою впровадження smart технологій на основі встановлення спеціалізованих відеокамер, регульованих на основі штучного інтелекту світлофорів та встановлення систем моніторингу якості повітря відповідно до європейських критеріїв, при розрахунку індексу якості повітря (дані концентрацій озону, діоксиду сірки, діоксиду азоту, зважених часток пилу діаметром менше 10 та 2,5 мкм. У відповідності з статистичними даними 90% забруднення повітря припадає на автотранспорт, з них 80% - це частка забруднення, яку здійснюють саме приватні автомобілі. При цьому лише один автомобіль викидає в атмосферу: чадного газу – 700 кг/рік, діоксиду азоту – 40 кг/рік, незгорілих вуглеводнів – 230 кг/рік.

Такий комплексний підхід має на меті не тільки мінімізацію заторів, а й напрям на екологізацію як приватного так і муніципального транспорту. Це веде до переходу на екологічні види палива та подальшого відмовляння від двигунів внутрішнього згоряння на користь електродвигунів.

Цей напрям базується на принципах Європейських директив та Європейської зеленої угоди (European Green Deal), яка має на меті досягнути нуля викидів парникових газів до 2050 року.

Крім цього для повноцінного розуміння алгоритму роботи всієї інтегрованої системи необхідно використати Методику розрахунку пропускної здатності дороги, де визначаємо орієнтовно пропускну спроможність (здатність) дороги (частина вулиці Руська від перехрестя вул.Танцорова-вул.Руська-вул. Над Ставом до перехрестя вул. Гоголя-вул. Руська-вул. Б.Хмельницького, початок мосту через залізничні колії) $\leq (180 - 300)$ авто/год. (4 смуги, по дві в кожную сторону, розділені

між собою, частина дороги 2 смуги, по одній в кожну сторону, розділені між собою) , рис. 3.1.



Рис. 3.1. Географічна карта вул. Руська.

Виділені місця на карті вказують на світлофори, які програмно, через певні періоди часу перемикаються, тим самим регулюють рух транспорту та пішоходів. Причому, час та період перемикання не змінюється протягом доби, не зважаючи на динамічну зміну інтенсивності руху вулицею у різні проміжки часу, гістограма. Це говорить про відсутність реакції системи на динамічні зміни.

На деяких участках (перехрестях) вулиці встановлені відеокамери марок ZetPro ZIP-262ER9-X10DU та Hikvision DS-2CD2020F-I, рис. 3.2. Таких відеокамер встановлено 5 шт., але вони практично не створюють інформативну цінність, зв'язану з слідкуванням та контролем за рухом автотранспорту та пішохідними потоками. Аналізуючи технічні характеристики таких відеокамер, які можна встановлювати на перехрестях для спостереження (моніторингу) та контролю за ситуацією на перехресті.

Виконавши загальний аналіз ситуації функціонування транспортної мережі на прикладі вул. Руська, створений оптимізований алгоритм роботи та створена архітектура телекомунікаційної мережі збору, моніторингу, та контролю за рухом автомобільного транспорту.



Рис. 3.2. Наявні камери

Інтенсивність заповнення дороги автотранспортом та проїзду змінюється протягом певних періодів, а саме: максимальна інтенсивність - 8-00 – 10-00 год, 12-30 – 14-00 год, 17-00 – 19-00 год. У другі періоди часових інтервалів інтенсивність руху транспорту зменшується, рис. 3.3.

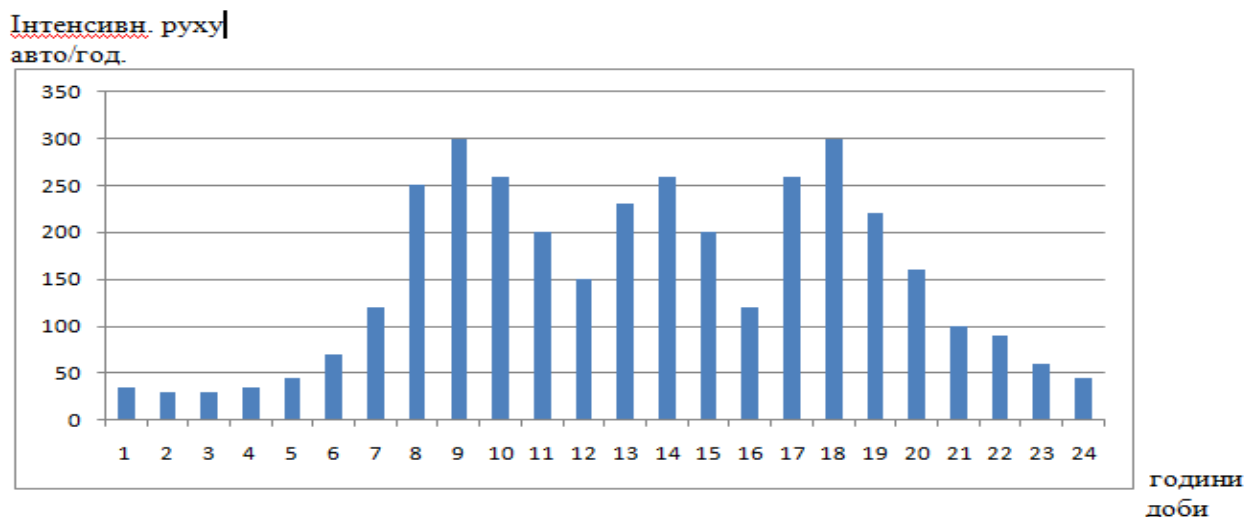


Рис. 3.3. Гістограма інтенсивності руху автотранспорту по вул. Руській протягом доби в робочі дні.

Аналізуючи гістограму інтенсивності руху автотранспорту по вул. Руській протягом доби в робочі дні тижня можна зробити висновок, що в період часу з 22-30

вечора до 6-00 ранку регулювання потоків автомобілів у прямому та зворотному напрямках можна виконувати на основі стандартної зміни перемикання світлофорів.

Для оптимального рішення із впровадження smart технологій на основі телекомунікаційних мереж запропоноване наступне рішення, рис. 3.4. Це рішення показане на прикладі перехрестя вул.Руська-вул.Гоголя-вул.Б.Хмельницького. На перехресті встановлені 4 відеокамери, які одночасно фіксують транспортні засоби та скупчення (наповнення) пішоходів на переходах. Також на перехресті встановлені світлофори та система моніторингу стану повітря та міні - метеорологічна станція.

У відповідності до рис. 3.1 на перехрестях вулиць планується розмістити 6 (шість) таких окремих блоків, які будуть надсилати інформацію на окрему головний модуль (hub module). Схематично такий фрагмент показаний на рис. 3.4.

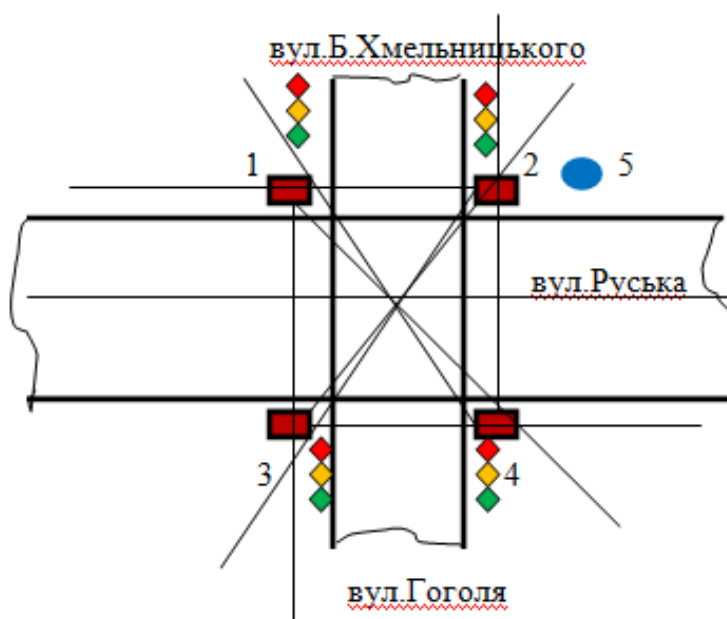


Рис. 3.4. Фрагмент перехрестя вул.Руська-вул.Гоголя-вул.Б.Хмельницького з встановленням телекомунікаційної інфраструктури.

Даний телекомунікаційних фрагмент на функціонує основі прийому – аналізу – прийняття рішення на основі штучного інтелекту – передачі команд для оптимізації руху транспортно - пішохідної мережі.

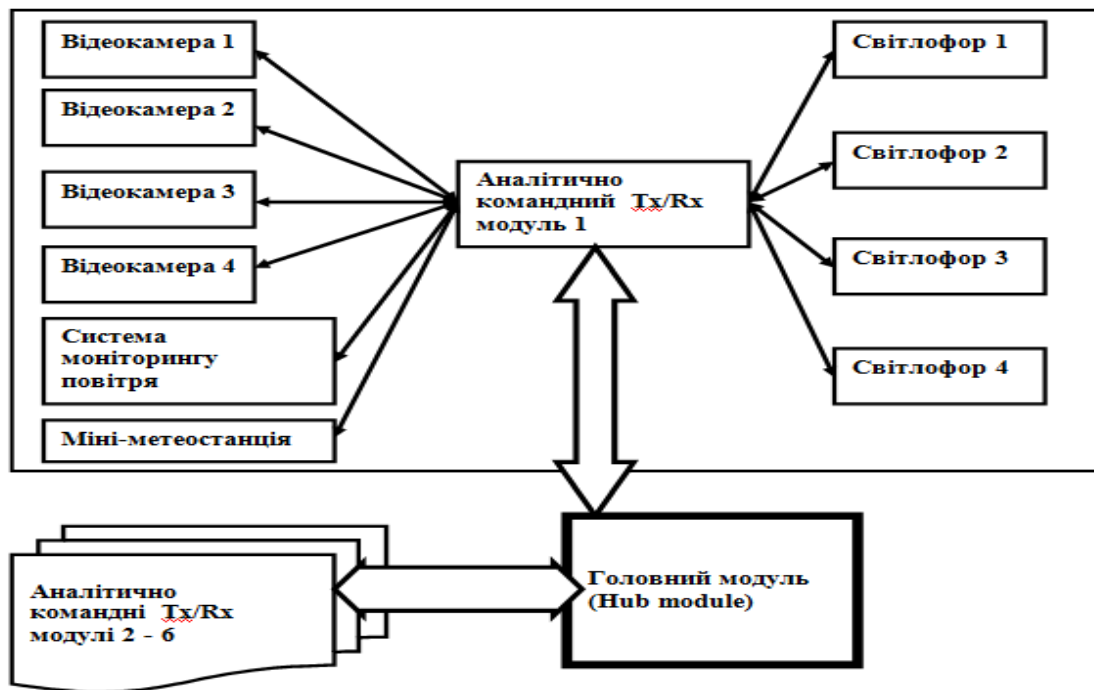


Рис. 3.5. Фрагмент телекомунікаційної мережі моніторингу, контролю та керування транспортно – пішохідним потоком перехрестя вулиці.

Зв'язок між відеокамерами, світлофорами, системою моніторингу повітря, міні – метеорологічною станцією та аналітично – командним модулем здійснюється на основі кабельної або оптоволоконної мереж. Зв'язок між аналітично – командними модулями та головним модулем здійснюється на основі оптоволоконної мережі з дублюванням системою бездротової мережі (420 – 450)МГц, або (860 – 890)МГц.

Для реалізації даного варіанту в оптимальному режимі, запропонований наступний алгоритм роботи системи. Одна із умов функціонування системи – пріоритетна перевага руху транспорту над пішохідними переходами. Перемикання світлофорів відбувається орієнтовно з інтервалом 930 – 40) сек. один відносно одного. Це дасть можливість мінімізувати скупчення авто біля кожного наступного світлофору. Стандартне перемикання світлофорів на кожному перехресті (20 – 25) сек. на неосновних вулицях та (25 – 35) сек. на вулиці Руській. При збільшенні (накопиченні) транспортних засобів на перехрестях, особливо на проїжджій частині вулиці Руської, то після аналізу ситуації система сама коригує перемикання світлофорів за спеціальним алгоритмом, збільшуючи час проїзду транспортних

засобів по вулиці Руській у прямому та зворотньому напрямках. Коли система приходить у нормальний стан, тоді алгоритм переключення світлофорів повертається до стандартного перемикання. Фрагмент алгоритму роботи системи керування рухом транспортних засобів та пішоходів показано на одному перехресті вул. Гоголя-вул.Русьа-вул. Б.Хмельницького, рис. 3.6.

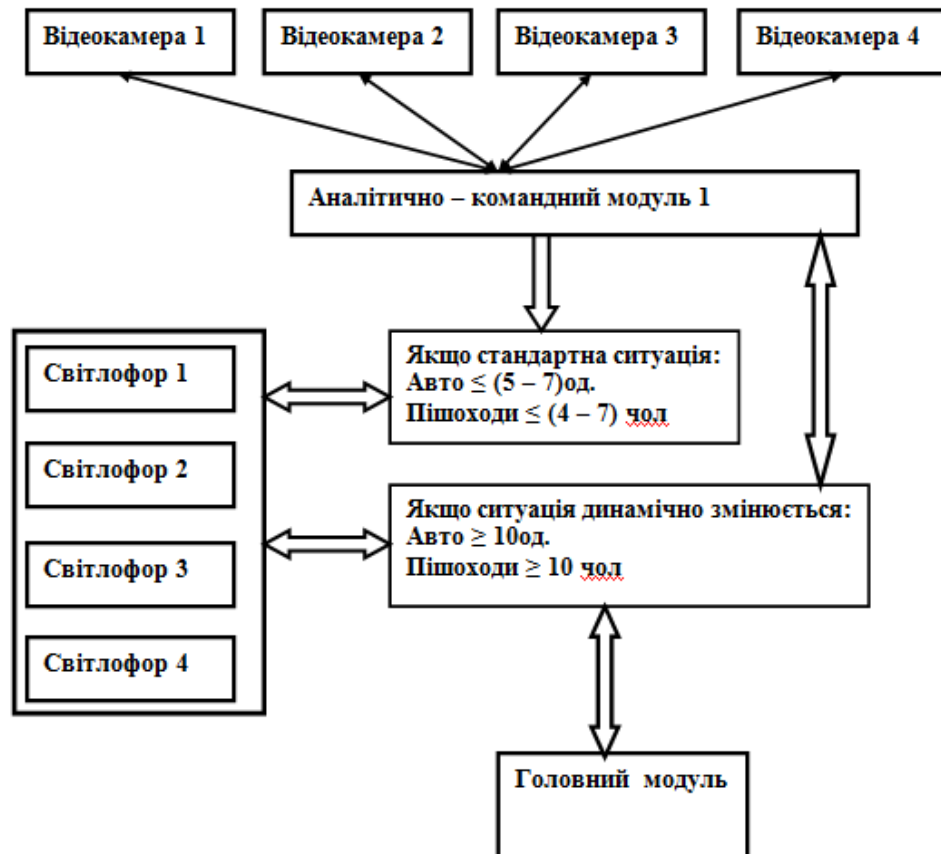


Рис. 3.6. Фрагмент алгоритму роботи системи керування рухом транспортних засобів та пішоходів

При стандартній ситуації система працює в штатному режимі (перемикання світлофорів для пішоходів – (20 – 30) сек., для транспортних засобів – (25 – 35) сек.

При динамічній зміні обстановки на перехресті, особливо в пікові часові інтервали, аналітично-командний модуль передає інформацію на головний модуль, де відбувається аналіз ситуації, порівняння з базовими варіантами і в залежності від кількості накопичених пішоходів та транспортних засобів передається команда зміни інтервалів перемикання світлофорів. Такі перемикання можуть відбуватись в кілька ітерацій з постійним аналізом обстановки як на основному перехресті, так і на всьому

проміжку дороги. Якщо ситуація стабілізується, то система перемикає світлофорів повертається в штатний режим.

Крім основної функції, яка заключається у оптимізації регулювання транспортно – пішохідним рухом перехресть вулиці Руська у критичні періоди часових інтервалів протягом доби, дана система має можливість ще:

- виконувати статистичну функцію з підрахунку кількості пішоходів та автомобілів за певні періоди часу;
- ідентифікувати обличчя пішоходів та водіїв автомобілів;
- фіксувати порушення правил проїзду автомобілем перехрестя;
- фіксувати порушення правил переходу пішоходами;
- фіксувати швидкість руху автомобіля;
- фіксувати номерні знаки автомобіля.

3.2. Підбір комплектуючих 16 камер та відеореєстратора на основі типових технічних завдань

Для вирішення даного завдання пропонується використати 16-ти каналну систему IP-камер (рис. 3.7.), яка включає в себе 16 мережевих IP-камер 2MP / 1080p із ІЧ-нічним баченням, 16-канальний відеореєстратор IP-камери 4К. 16-канальний мережевий відеореєстратор має вбудований 16-канальний PoE (живлення через Ethernet), що робить цю систему надзвичайно простою в установці. Для прикладу наведено обладнання компанії «Viewtron».

Вбудовані порти PoE на відеореєстраторі Viewtron NVR забезпечують просту установку. На задній панелі 16-канального NVR (стандартний RJ-45 Ethernet) є 16 мережевих портів PoE. Використовуючи готовий кабель CAT5, що входить до системи, підключається кожна камера до порту на NVR. NVR виявить камеру та додасть її в систему.



Рис. 3.7. 16-ти канална система

Опис 16-ти каналного відеореєстратора (NVR) з функціями AI:

- Тип: автономна вбудована операційна система Linux
- Відеовхід: 16 мережевих входів RJ-45 з PoE (живлення через Ethernet)
- Живлення через Ethernet: 16-канальний RJ-45, 802.3af, вихідна потужність ≤ 150 Вт
- Підтримувані IP-камери: Viewtron, всі марки IP-камер, сумісні з ONVIF
- Підтримувана роздільна здатність камери: 720p / 1mp, 1080p / 2mp, 3mp, 4mp, 5mp, 6mp, 8mp / 4K
- Підтримка аудіоспостереження: Так. 16-канальний звук з IP-камери
- Двостороннє аудіо: так. 1 вихід RCA для динаміків. 1 RCA вхід для мікрофона

- Роздільна здатність запису: 720p / 1mp, 1080p / 2mp, 3mp, 4mp, 5mp, 6mp, 8mp / 4K, 30fps на канал
- Режими запису: ручний, безперервний, за розкладом, детектор руху, будильник, розумні події
- Функції штучного інтелекту: розпізнавання облич, відповідність бази даних облич, LPR/розпізнавання номерних знаків . Примітка. Для функцій штучного інтелекту потрібні камери AI Viewtron . Для функції зчитування номерних знаків потрібна камера Viewtron LPR .
- Стиснення відео / Кодек: H.264, H.265
- Моніторні виходи: HDMI, VGA
- Дисплей HDMI: роздільна здатність 4K, 3840 x 2160
- Дисплей VGA: роздільна здатність 1080p, 1920 x 1080
- Порти тривоги: 8 входів, 4 виходи, також підтримує вхід сигналізації IP-камери
- Сповіщення про тривогу: електронна пошта, push-повідомлення для мобільних додатків, програмне забезпечення для настільних комп'ютерів
- Мобільні програми: iPhone, Android
- Програмне забезпечення VMS: програмне забезпечення для керування відео для ПК Mac і Windows
- Підтримка PTZ-камери: підтримка UTC (Up the Coax) для керування PTZ через відеокабель RG59
- Максимальний обсяг пам'яті: 4 відсіки для жорстких дисків по 12 ТБ кожен (всього 48 ТБ)
- Встановлена пам'ять: жорсткий диск 1 ТБ в комплекті

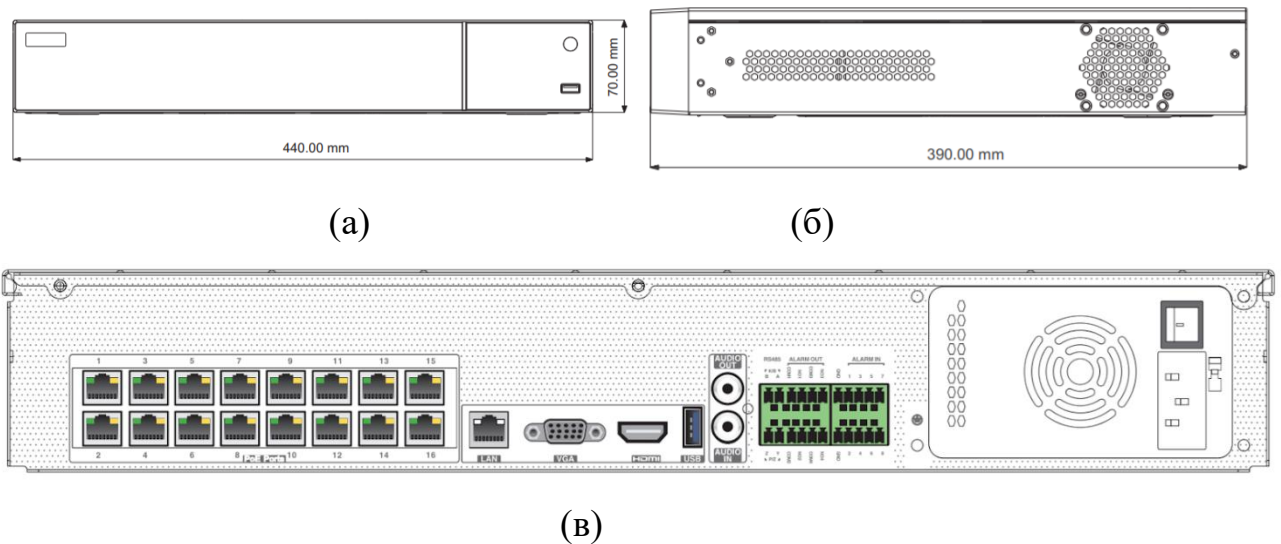


Рис. 3.8. Розміри (а) – спереду; (б) – збоку;
та (в) – реальна панель



Рис. 3.9. Схематичне зображення з'єднання відеореєстратора і камер системи

Додаткова інформація про порти на задній панелі NVR (починаючи зліва направо).

- Адаптер блоку живлення, який входить до комплекту NVR, підключається до цього порту. (позначено фіолетовим кольором)
- Праворуч від портів PoE є порт LAN. Якщо ви плануєте підключити свій NVR до мережі та/або Інтернету, ви будете використовувати цей порт для підключення до маршрутизатора або комутатора за допомогою кабелю Ethernet (CAT5e або CAT6).

- Відеореєстратори Viewtron мають виходи для монітора HDMI та VGA. Обидва ці виходи монітора можна використовувати одночасно (підтримка двох моніторів).
- Порт USB можна використовувати для миші, яка входить в комплект, або для підключення USB-накопичувача для резервного копіювання / експорту відео.
- Є один аудіовхідний порт для мікрофона аудіоспостереження. Є один аудіовихід для підключення зовнішніх динаміків.
- Датчики охоронної сигналізації можуть бути інтегровані в ці відеореєстратори за допомогою портів входу/виходу сигналізації.



Рис. 3.10. Схематичний опис портів на задній панелі NVR

В комплект даної системи входить IP-камера IP-A4BZ – це IP-камера з роздільною здатністю 4 мегапікселя з вбудованим ІЧ-інфрачервоним нічним баченням і моторизованим зум-об'єктивом 2,8–12 мм.

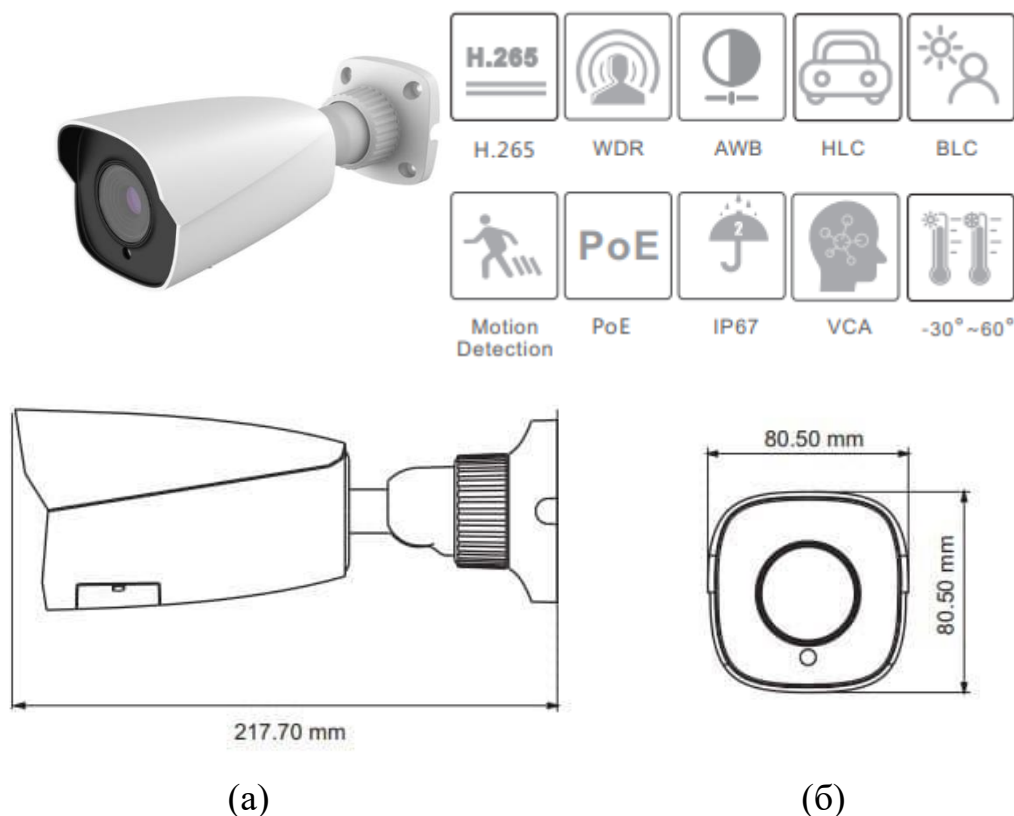


Рис. 3.11. Вигляд камери та розміри (а) - вид збоку; (б) - вид спереду

IP-A4BZ також є камерою безпеки зі штучним інтелектом із наступними розширеними функціями відеоаналітики:

- виявлення транспортних засобів ,
- камера підрахунку трафіку ,
- виявлення людей та виявлення людського обличчя.

Ця мережева IP-камера укладена в атмосферостійкий корпус із рейтингом IP67, тому її можна використовувати для внутрішнього та зовнішнього монтажу. Вбудовані інфрачервоні світлодіоди забезпечують інфрачервоне підсвічування на відстані до 37 м. Ця IP-камера чудово підходить для комерційного та домашнього встановлення .

Об'єктив з моторизованим зумом 2,8-12 мм забезпечує регульоване поле зору на 102° - 33,9°. Зум-об'єктив можна налаштувати з додатка iPhone та Android. Трьохосьове кріплення дозволяє встановлювати камеру на стелю або на стіну. Додаткова монтажна розподільна коробка дозволяє акуратно розмістити всі кабелі

камери. Ця IP-камера сумісна з протоколом ONVIF, тому її можна використовувати з будь-яким NVR, сумісним з ONVIF.

3.3. Огляд програмного забезпечення

Значно полегшує процес професійного проектування систем відеоспостереження програма VideoCAD.

VideoCAD – багатофункціональний зручний інструмент, призначений для професійного проектування систем відеоспостереження, моделювання відеообладнання та відеозображень.

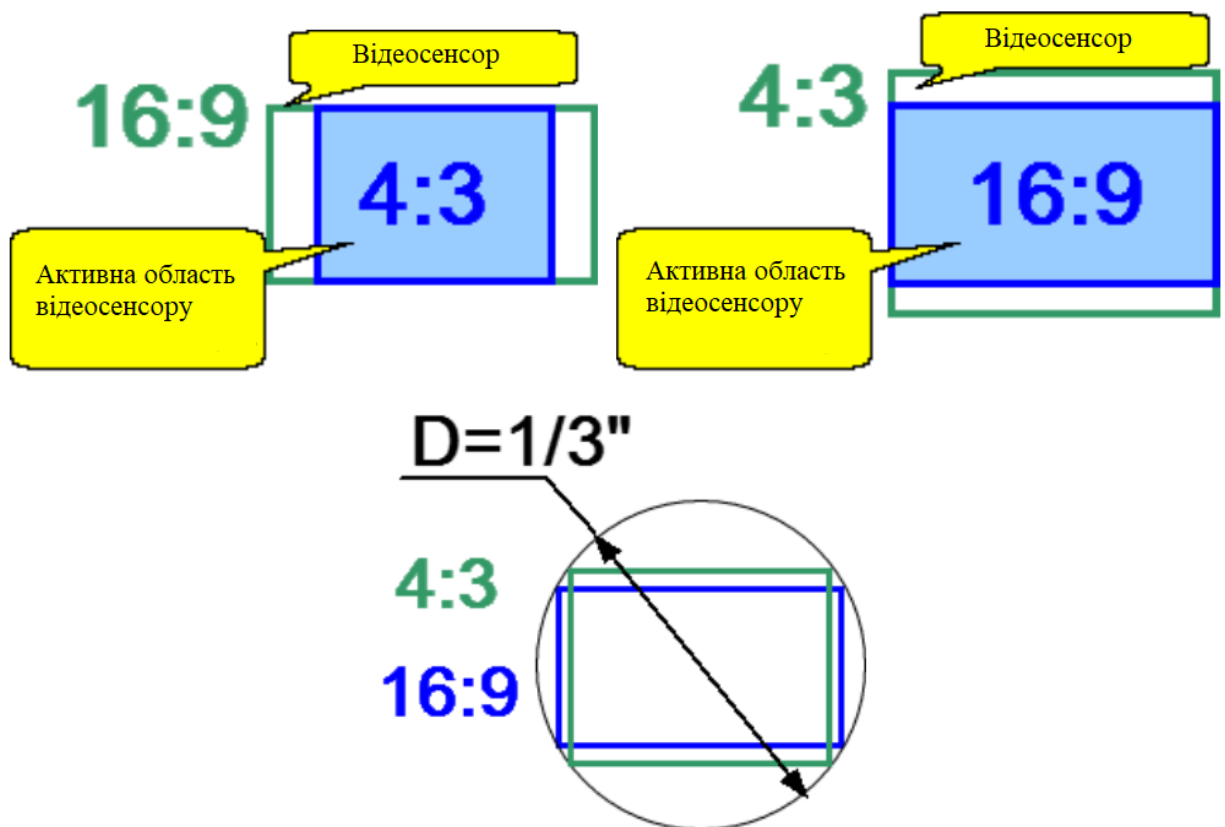


Рис. 3.12. Розрахунки розміру активної області відеосенсора в залежності від відношення сторін і відношення сторін вихідного кадру

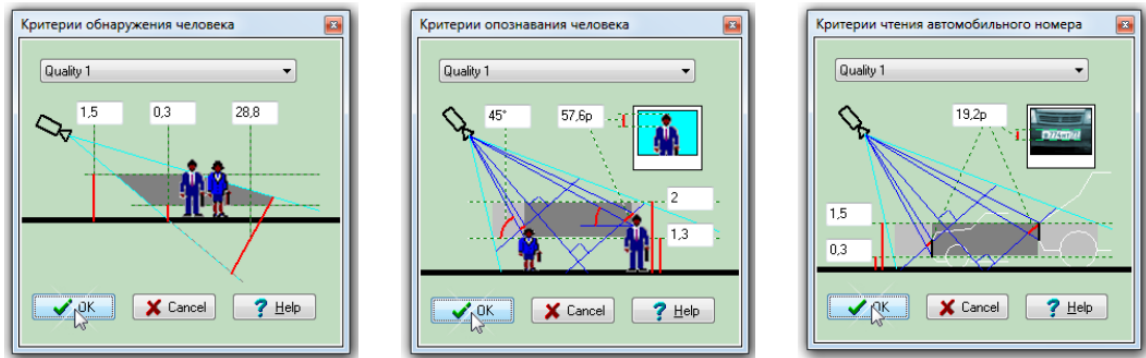


Рис. 3.13. Розрахунок розмірів проекції зон виявлення людини, ідентифікація особи та читання номерних знаків:

Завдяки даному програмному забезпеченню можливо навести приклад розміщення відеокамер та їх зони захоплення об'єктів. Приклад наведено нижче:

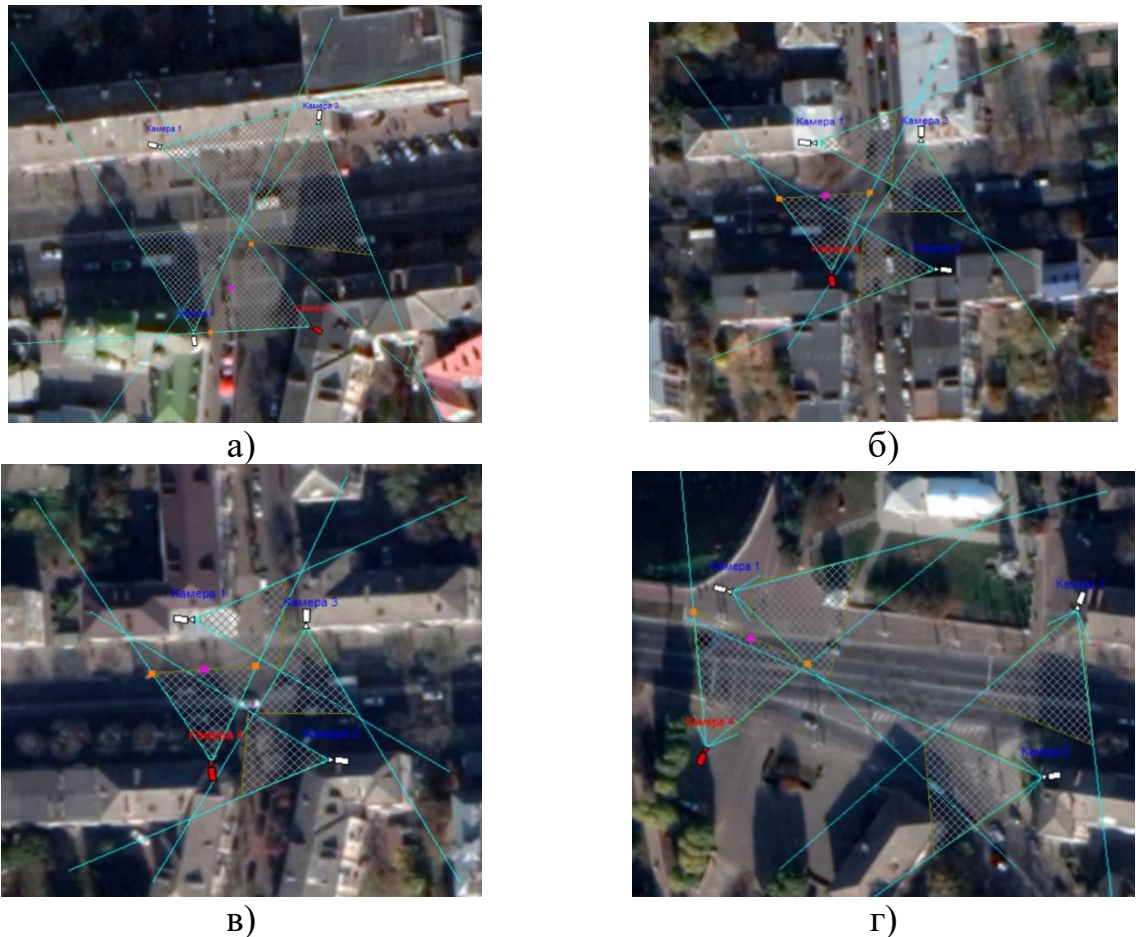


Рис. 3.14. Приклади розміщення відеокамер: а) перехрестя вулиць Руська та Патріарха Мстислава; б) перехрестя вулиць Руська, Старий ринок та Паращука; в) перехрестя вулиць Руська, Замкова та Шашкевича; г) перехрестя вулиць Руська та Танцорова.



Рис. 3.15. Умовні позначення: а) камера та її назва; б) ділянка огляду камери (штриховка)

3.4. Висновки по розділу 3

В даному розділі було розглянуто та запропоновано алгоритм роботи системи керування рухом транспортних засобів та пішоходів на основі використання сервера та відеокамер які використовують штучний інтелект на вулиці Руська міста Тернополя, що значно дозволить покращити пропускну здатність вулиці.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Класифікація безпеки життєдіяльності

Класифікація — ділення множини будь-яких об'єктів (елементів) на групи. Кожна група може, в свою чергу, бути поділена відповідно на підгрупи.

Правильна класифікація має відповідати таким умовам:

1. Складові множини не повинні мати сумісні елементи (не перетинатися).
2. За сумою складові множини повинні дати початкову множину класифікованих об'єктів.
3. Кожний елемент повинен входити в будь-який один клас.
4. Множини мають розподілятися за групами за однією ознакою.

Бажано, але необов'язково, щоб під час продовження поділу груп на нові підгрупи за основу бралася одна й та сама ознака. Ділення множини на складові можна виконувати різним способом.

Класифікація може мати за змістом штучний характер. В науці відбір системи класифікації диктується змістом і не може бути взятий за простою угодою з точки зору її зручності. Оскільки класифікація — це необхідний елемент у системі отримання уявлень, у практиці розвитку науки мають бути такі системи класифікацій, які відображають глибинні закономірності руху і розвитку об'єктивної дійсності. Класифікації є суттєвою частиною, результатом розвитку теоретичних систем, істинність яких перевіряє практика.

До основних класифікацій у безпеці життєдіяльності належать:

- класифікація водних об'єктів
- перелік фізико-географічних, режимних і морфологічних особливостей водних об'єктів (ГОСТ 17.1.1.02—76), що дозволяє їх поєднати в господарчо значущі об'єкти;

- класифікація водостоків — перелік величин, які відображують термін і період стоку, гідрологічний режим, розмір і водність водостоків (ГОСТ 17.1.1.02—76), що характеризує певні їх групи;

- класифікація шкідливих речовин (забруднювачів) — поділ шкідливих речовин (забруднювачів) за ступенем небезпеки, агрегатного стану, характеру впливу на людину, господарчими об'єктами та іншими ознаками;

- класифікація розкривних порід — перелік груп придатності розкривних порід; перелік груп показників хімічного і гра нулометричного складу розкривних порід (ГОСТ 17.5.1.1.03—78), що є в основі їх класифікації;

- класифікація забруднення — поділ забруднення за значенням для людства (за походженням чи джерелом виникнення, хімічним складом і властивостями, фізичними показниками, шкідливістю для людей, природних об'єктів, господарства, окремих його галузей та ін.);

- класифікація підземних вод — перелік горизонтів за режимними характеристиками, параметрами фільтрації (ГОСТ 17.1.1.02—76), що дозволяє об'єднати підземні води в господарчо значущі групи;

- класифікація природних ресурсів:

1) за джерелами і знаходженням;

2) за швидкістю вичерпання — швидке чи повільне вичерпання;

3) за можливістю самовідновлення і рекультивації — відновлювальні і невідновлювальні;

4) за темпами економічного відновлення;

5) за можливістю заміни одних ресурсів іншими; - класифікація всіх видів небезпек, які формуються в процесі виконання виробничого процесу, у вигляді небезпечних чинників встановлена ГОСТом 12.0.003—74 ССБТ.

Поділ здійснено за групами:

1. Небезпечні і шкідливі фізичні чинники: машини і механізми, що рухаються; будь-які вантажно-підйомні пристрої, а також вантажі, які пересуваються; незахищені елементи виробничого обладнання, що рухаються та обертаються; частини оброблюваного матеріалу та інструменту, що розлітаються

після руйнування та ін. Шкідливими для здоров'я фізичними чинниками є: підвищена чи знижена температура повітря робочої зони, підвищена вологість і швидкість руху повітря, підвищені рівні шуму, вібрацій, ультразвуку і будь-яких випромінювань — теплових, іонізуючих, інфрачервоних та ін., підвищена концентрація пилу і газу повітря робочої зони, ненормоване освітлення робочих місць, проходів і проїздів; підвищена яскравість світла і пульсація світлового потоку;

2. Хімічні небезпечні і шкідливі виробничі чинники за характером дії на організм людини розподіляються на такі групи: загальнотоксичні, подразнюючі, сенсibiliзуючі (що спричиняють алергічні захворювання), канцерогенні (що спричиняють розвиток пухлин), мутагенні (що діють на статеві клітини організму). До цієї групи входять численні пари і гази: пара бензолу, толуолу, оксид вуглецю, ангідрид сірки, оксид азоту, аерозолі свинцю та ін., ток сичний пил, що утворюється, наприклад при обробці різанням берилію, свинцевих бронз, латуней і деяких пластмас. Сюди також належать такі агресивні рідини (кислоти, луги), які можуть спричинити хімічні опіки шкіряного покриву під час дотику до них;

3. Біологічні небезпечні і шкідливі виробничі чинники: мікроорганізми (бактерії, віруси й інше), а також мікроорганізми (рослини і тварини), вплив яких викликає травми чи захворювання у працівників;

4. Психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі чинники: фізичні перевантаження (статичні і динамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове перевантаження, перевантаження аналізаторів слуху, зору та ін.);

- класифікація санітарна — перелік оптимальних і дозволених норм температури, відносної вологості і швидкості руху повітря у виробничих (житлових) приміщеннях (за сезонами року, за категорією робіт) відповідно до санітарно-гігієнічних вимог (ГОСТ 12.1.005—88), що складає основу санітарно-гігієнічного угруповання цих параметрів;

класифікація виробничих отрут здійснюється за:

1) хімічною структурою;

- 2) агрегатним станом;
- 3) ступенем токсичності і небезпечності;
- 4) характером і механізмом впливу на організм людини;

- класифікація хімічних речовин за гранично припустимою концентрацією (ГПК), LD50 при введенні у шлунок, нанесенні на шкіру, LD50 — при інгаляційному надходженні в організм. Ця класифікація використовується під час встановлення класів небезпечності нових хімічних речовин;

- класифікація виробничих отрут (загальна):

1) за характером впливу на організм людини: загальнотоксичні, подразнюючі, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні, що впливають на репродуктивну функцію;

2) за шляхом проникнення в організм людини: крізь легені, шкіру, травний канал;

3) за хімічними класами сполук: органічні, неорганічні, елементоорганічні та ін.;

4) за ступенем токсичності: надзвичайно токсичні, високотоксичні, помірно токсичні, малотоксичні;

5) за ступенем впливу на організм людини: речовини надзвичайно небезпечні, речовини високо небезпечні, речовини помірно небезпечні, речовини мало небезпечні;

- класифікація виробничих отрут (клініко-гігієнічна) - всі леткі промислові речовини поділяють на чотири великі групи:

1) перша група — задушливі речовини: а) прості задушливі, дія яких полягає у витисненні кисню із вдихуваного повітря (азот, водень, гелій); б) хімічно діючі, які порушують газообмін у крові і тканинах, хоча кисень доставляється вдихуванним повітрям у достатніх кількостях (оксид вуглецю, синильна кислота);

2) друга група — подразнюючі речовини, які спричиняють подразнення слизової оболонки дихальних шляхів або безпосередньо легенів, що сприяє розвиткові загальної реакції (оксиди сірки, азоту, хлор, хлороводень, фторо-

водень, аміак тощо); при гострому отруєнні ці речовини можуть призвести до набряку легенів;

3) третя група — леткі наркотичні і споріднені з ними речовини, які діють після надходження у кров; гостру дію ці речовини справляють на центральну нервову систему, викликаючи наркоз. Здебільшого всі класифікації в рамках дисципліни утворюються на основі певного небезпечного чинника. Такий підхід дає змогу прогнозувати стан і напрями встановлення безпеки, формувати відповідні рішення під час проектування й аналізу результатів контролю тощо.

4.2. Фактори, що впливають на функціональний стан користувачів комп'ютерів

Трудова діяльність користувачів комп'ютерів (ВДТ) відбувається у певному виробничому середовищі, яке впливає на їх функціональний стан. Найбільш значимі — фізичні фактори виробничого середовища, до яких належать електромагнітні хвилі різних частотних діапазонів, електростатичні поля, шум, параметри мікроклімату та ціла низка світлотехнічних показників. Вплив хімічних та, особливо, біологічних факторів виробничого середовища на користувачів комп'ютерів — значно менший.

Трудовий процес суттєво впливає на психофізіологічні можливості користувачів комп'ютерів, оскільки їх діяльність характеризується значними статичними фізичними навантаженнями; недостатньою руховою активністю; напруженнями сенсорного апарату, вищих нервових центрів, які забезпечують функції уваги, мислення, регуляції рухів. Окрім того, трудовий процес користувачів комп'ютерів відзначається значними інформаційними навантаженнями.

У професійних операторів частіше зустрічаються порушення органів зору, опорно-рухового апарату, центральної нервової, серцево-судинної, імунної та статеві систем, захворювання шкіри. Зафіксована значна кількість скарг операторського персоналу на загальне недомагання, передчасне стомлювання,

головний біль, порушення функцій органів зору, які здійснювали несприятливий психофізіологічний вплив на самопочуття та працездатність операторів.

Діяльність професіоналів можна поділити на три групи:

1. Діяльність, яка пов'язана з виконанням нескладних багаторазово повторюваних операцій, що не вимагають великого розумового напруження. Наприклад, робота операторів комп'ютерного набору, працівників довідкових служб.

2. Діяльність, яка пов'язана із здійсненням логічних операцій, що постійно повторюються. Це робота інженера-економіста, інженера-проектувальника, оператора автоматизованого виробництва.

3. Діяльність, коли в процесі роботи необхідно приймати рішення за відсутності заздалегідь відомого алгоритму. Наприклад, робота інженера-програміста, диспетчерів руху залізничного транспорту, аеропортів тощо.

У користувачів, які інтенсивно використовують комп'ютер в умовах значних розумових напружень досить часто (40—70%) виникають психологічні та поведінкові порушення (нервозність, роздратування, тривога, нерішучість, замкнутість тощо). Внаслідок цього серед операторів ВДТ, як зазначають фахівці Всесвітньої організації охорони здоров'я, частіше, ніж в інших групах працюючих, трапляються такі професійні захворювання, як передчасна стомлюваність, погіршення зору, м'язові і головні болі, психічні й нервові розлади, хвороби серцево-судинної системи, онкологічні захворювання та ін. Вважається, що стан організму операторів ВДТ визначається комплексним впливом факторів трудового процесу і середовища, значення яких є неоднаковим. На операторів з малим стажем роботи на ВДТ домінуючий вплив чинять фактори середовища, а на операторів зі стажем понад 5 років - фактори трудового процесу.

Комплекс порушень здоров'я, який може виникати у користувачів персональних комп'ютерів (ПК) має назву комп'ютерний зоровий синдром (КЗС). Діагноз ставлять, якщо людина, що працює за ПК протягом двох годин, висловлює хоча б дві з десяти скарг: головний біль, сльозотеча, різь, туман, двоїння, свербіж, важкість в очах, фотофобія, миготіння знаків на екрані, нудота.

У користувачів ПК дуже поширені кон'юнктивіти і блефарити, патогенетично пов'язані з КЗС. Синдром розвивається при умові, що робоче місце організовано неправильно – у користувача незручне крісло, відсутні пюпітри для паперів, підставки для ніг та кистей рук, не встановлена висота і нахил монітора відносно очей, відстань від очей до екрана. За таких умов тіло людини при роботі займає вимушене положення: спина статично напружена, шия витягнута, плечі жорстко фіксовані. Напружені м'язи погіршують кровотік у сонних артеріях, а недостатнє кровозабезпечення головного мозку веде до очманіння, появи головного болю. На фоні шийного остеохондрозу з'являється відчуття випирання очних яблук, туману в очах, мушок та райдужних кіл у полі зору. Розвитку КЗС сприяє поганий мікроклімат приміщення, значна загальна іонізація та мікробне забруднення, а також куріння.

Національною радою з наукових досліджень США для стану зорового дискомфорту був уведений термін "астенопія", який означає "будь-які суб'єктивні зорові симптоми чи емоційний дискомфорт, що є результатом зорової діяльності". Симптоми астенії були класифіковані на "очні" (біль, печія та різь в очах, почервоніння повік та очних яблук, ломота у надбрівній частині тощо) та "зорові" (пелена перед очима, мерехтіння, швидка втома під час зорової роботи та ін.).

Діяльність користувачів комп'ютерів характеризується тривалою багатогодинною (8 год. і більше) працею в одноманітному напруженому сидячому положенні, малою руховою активністю при значних локальних динамічних навантаженнях, що припадають лише на кисті рук. Такий характер роботи може призвести до появи низки хворобливих симптомів, що об'єднані загальною назвою — синдром довготривалих статичних навантажень (СДСН). Узагальнюючи статистичні дані можна зробити висновок про те, що СДСН може проявлятися втомою, скутістю, болем, судомою, онімінням та ін., локалізуватись у різних частинах тіла (ший, спина, руки, ноги та ін.) і виникати індивідуально з різною частотою (ніколи, рідко, епізодично, щоденно).

Робоче положення "сидячи" забезпечується статичною працею значної кількості м'язів, що дуже втомлює. При такому положенні тіла м'язи ніг, плечей,

ший та рук довгий час перебувають у скороченому стані. Оскільки м'язи не розслабляються, в них погіршується кровообіг.

Оператори по введенню даних частіше скаржились на біль у руках, шії та у верхній частині ніг, тоді як оператори діалогового режиму — на біль спини (частіше у поперековому відділі хребта) та плечового суглоба. Тривала робота за комп'ютером при неправильному, з фізіологічної точки зору, положенні тіла може викликати такі вади постави, як сутулість, викривлення хребта (сколіоз) та ін.

Таким чином перенапруження скелетно-м'язової системи, в основному, спричинено: нераціональною позою, яка ускладнюється відсутністю урахування ергономічних вимог до організації робочого місця; однотипними циклічними навантаженнями, що викликані роботою за клавіатурою або пристроєм типу "миша"; обмеженою загальною руховою активністю (гіподинамією).

Працездатність має відповідну протяжність у часі фазний характер зміни періодів. Виділяють чотири періоди працездатності: період втягування в роботу (I); період стійкої працездатності (II); період субкомпенсації (III); період втоми (IV).

Однією з особливостей праці операторів є виражена післядія — мимовільний напружений стан центральної нервової системи вже після фактичного припинення роботи. Мозок на якийсь час продовжує "працювати" в попередньому режимі та ритмі, хоча нова інформація вже не надходить. Це призводить до того, що частина часу відведеного для відпочинку не використовується за прямим призначенням. Тобто зрозуміло, що короткочасні перерви в цих умовах не ефективні. Час відпочинку повинен бути збільшений на той проміжок, протягом якого центральна нервова система подолає післядію і організм почне повноцінно відпочивати, відновлюючи свій вихідний доробочий стан.

Працездатність оператора залежить від цілої низки факторів, які можна умовно поділити на зовнішні і внутрішні.

До зовнішніх факторів належать: кількість та форма отриманої інформації, зручність робочого місця, санітарно гігієнічні умови, характер взаємовідносин в колективі, моральні та матеріальні стимули тощо.

До внутрішніх факторів належать: рівень підготовки, стаж роботи, тренуваність, стан здоров'я, емоційна стійкість, вік та ін. Значною мірою працездатність оператора залежить від правильного режиму (навантаження, ритму) роботи.

Нормативні документи, що регламентують охорону праці у приміщеннях, де розташовані робочі місця обладнані ЕОМ з ВДТ:

- ГН 3.3.5-8-6.6.1 2002 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напружено-сті трудового процесу»;

- ДСанПиН 3.3.2-007-98 «Гигиенические требования к организации работы с визуальными дисплейными терминалами электронно-вычислительных машин»;

- НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин».

4.3. Висновки по розділу 4

У четвертому розділі охорона праці розглянуті такі питання: класифікація безпеки життєдіяльності; фактори що впливають на функціонування стану користувачів комп'ютерів; розлади здоров'я користувачів, що формуються під впливом роботи за комп'ютером, зоровий дискомфорт, перенапруження скелетно-м'язової системи, та ін; працездатність операторів ВДТ; вимоги до приміщень, обладнаних ВДТ.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі був проведений аналіз структур технології smart city для системи керування трафіком, а саме системи керування світлофорами за допомогою камер та сервера які працюють на основі штучного інтелекту.

Виконавши загальний аналіз ситуації функціонування транспортної мережі на прикладі вул. Руська, створений оптимізований алгоритм роботи та створена архітектура телекомунікаційної мережі збору, моніторингу, та контролю за рухом автомобільного транспорту.

На основі впровадження систем такого типу та архітектурної конфігурації дасть можливість оптимізувати рух автомобільного транспорту вулицею Руська, зменшити затори на перехрестях, зменшити кількість шкідливих викидів (загазованості) у повітрі на перехрестях вулиць і покращення екологічної ситуації у місті Тернополі в цілому.

Такий комплексний підхід має на меті не тільки мінімізацію заторів, а й напрям на екологізацію як приватного так і муніципального транспорту. Це веде до переходу на екологічні види палива та подальшого відмовляння від двигунів внутрішнього згоряння на користь електродвигунів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Litman, T. A. (2003). *Transportation cost and benefit analysis: Techniques, estimates, and implications*. Victoria: Victoria Transport Policy Institute.
2. Fyhri, A., & Marit, G. (2010). Science of the Total environment noise, sleep, and poor health: Modeling the relationship between road traffic noise and cardiovascular problems. *Science of the Total Environment*, 408, 4935–4942. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.06.057>.
3. Agarwal, S., & Swami, B. L. (2011). Road traffic noise, annoyance, and community health survey - a case study for an Indian city. *Noise Health*, 13, 272–277. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.82959>.
4. Howell, W. C., & Fu, M. C. (2006). *Simulation optimization of traffic light signal timings via perturbation analysis* doctoral dissertation, University of Maryland.
5. Zhao, D., Dai, Y., & Zhang, Z. (2012). Computational intelligence in urban traffic signal control: A survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*, 42, 485–494. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2011.2161577>.
6. Tan, M. K., Chuo, H. S. E., Chin, R. K. Y., et al. (2017). Genetic algorithm-based signal optimizer for the oversaturated urban signalized intersection. In *2016 IEEE Int Conf Consum Electron ICCE-Asia 2016* 5–8. <https://doi.org/10.1109/ICCE-Asia.2016.7804762>.
7. Sabar, N. R., Kieu, L. M., Chung, E., et al. (2017). A memetic algorithm for real-world multi-intersection traffic signal optimisation problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 63, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.04.021>.
8. Akcelik, R. (1981). *Traffic signals: Capacity and timing analysis*, (vol. 123). Melbourne: Australian Road Research Board, ARR.
9. Koukol, M., I, L. Z., Marek, L., & I, P. T. (2015). Fuzzy logic in traffic engineering : A review on signal control. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2015/979160>.

10. Araghi, S., Khosravi, A., & Creighton, D. (2015). A review on computational intelligence methods for controlling traffic signal timing. *Expert Systems with Applications*, 42, 1538–1550. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.09.003>.
11. Yu, Q., Liu, J. G., Liu, P. H., et al. (2009). Dynamic optimization project study between the traffic organization and the traffic signal control of urban traffic. 2009 WRI World Congress Computer Science Information Engineering CSIE 2009, 3, 182–186. <https://doi.org/10.1109/CSIE.2009.63>.
12. Ng, K. M., Reaz, M. B. I., Ali, M. A. M., & Chang, T. G. (2013). A brief survey on advances of control and intelligent systems methods for traffic-responsive control of urban networks. *Teh Vjesn*, 3, 555–562.
13. Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopoulou, V., et al. (2003). Review of road traffic control strategies. *Proceedings of the IEEE*, 91, 2043–2067.
14. Ribeiro, I. M., & Simões, M. D. L. D. O. (2016). The fully actuated traffic control problem solved by global optimization and complementarity. *Engineering Optimization*, 48, 199–212. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2014.995644>.
15. Webster, F. V. (1958). Traffic signal setting. *Road Research Laboratory Technical Paper /UK/*, 39, 1–44.
16. Miller, A. J. (1963). Settings for fixed-cycle traffic signals. *The Journal of the Operational Research Society*, 14, 373–386. <https://doi.org/10.2307/3006800>.
17. Küçüköğlü, İ., Dewil, R., & Cattrysse, D. (2019). Hybrid simulated annealing and tabu search method for the electric travelling salesman problem with time windows and mixed charging rates. *Expert Systems with Applications*, 134, 279–303. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.037>.
18. Ratrou, N. T., & Rahman, S. M. (2009). A comparative analysis of currently used microscopic and macroscopic traffic simulation software. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 34, 121–133.
19. Salgado, D., Jolovic, D., Martin, P. T., & Aldrete, R. M. (2016). Traffic microsimulation models assessment—a case study of international land port of entry. *Procedia - Procedia Computer Science*, 83, 441–448. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.207>.

20. Deng, G. (2007). Simulation-based optimization doctoral dissertation, University of Wisconsin-Madison.
21. Carson, Y., & Maria, A. (1997). Simulation optimization: Methods and applications. In S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Winters, & B. L. Nelson (Eds.), *Proceedings of the 1997 winter simulation conference*, (pp. 118–126).
22. Araghi, S., Khosravi, A., & Creighton, D. (2015). Intelligent cuckoo search optimized traffic signal controllers for multi-intersection network. *Expert Systems with Applications*, 42, 4422–4431. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.063>.
23. Jin, J., Ma, X., & Kosonen, I. (2017). An intelligent control system for traffic lights with simulation-based evaluation. *Control Engineering Practice*, 58, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2016.09.009>.
24. Araghi, S., Khosravi, A., Creighton, D., & Nahavandi, S. (2017). Influence of meta-heuristic optimization on the performance of adaptive interval type2-fuzzy traffic signal controllers. *Expert Systems with Applications*, 71, 493–503. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.10.066>.
25. Miletic, M., Kapusta, B., & Ivanjko, E. (2018). Comparison of two approaches for preemptive traffic light control. In *Proc Elmar - Int Symp electron*, (pp. 57–62). <https://doi.org/10.23919/ELMAR.2018.8534608>.
26. Vogel, A., Oremovi, I., Simi, R., & Ivanjko, E. (2018). Improving traffic light control by means of fuzzy logic. In *In 2018 international symposium ELMAR*, (pp. 16–19).
27. Wei, H., Zheng, G., Yao, H., & Li, Z. (2018). Intellilight: A reinforcement learning approach for intelligent traffic light control. In *In proceedings of the 24th ACM SIGKDD international conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, (pp. 2496–2505).
28. Garg, D., Chli, M., & Vogiatzis, G. (2018). Deep reinforcement learning for autonomous traffic light control. In *2018 3rd IEEE international conference on intelligent transportation engineering, ICITE 2018*, (pp. 214–218). <https://doi.org/10.1109/ICITE.2018.8492537>.

29. Gökçe, M. A., Öner, E., & Işık, G. (2015). Traffic signal optimization with p swarm optimization for signalized roundabouts. *Simulation*, 91, 456–466. <https://doi.org/10.1177/0037549715581473>.
30. Dabiri, S., & Abbas, M. (2016). Arterial traffic signal optimization using p swarm optimization in an integrated VISSIM-MATLAB simulation environment. In *IEEE Conf Intell Transp Syst proceedings, ITSC*, (pp. 766–771). <https://doi.org/10.1109/ITSC.2016.7795641>.
31. Panovski, D., & Zaharia, T. (2016). Simulation-based vehicular traffic lights optimization. In *In 2016 12th international conference on signal-image Technology & Internet-Based Systems*, (pp. 258–265). <https://doi.org/10.1109/SITIS.2016.49>.
32. Elgarej, M., Khalifa, M., & Youssfi, M. (2016). Traffic lights optimization with distributed ant colony optimization based on multi-agent system. *International Conference Networked System*, 266–279. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60749-3_9.
33. Jintamuttha, K., Watanapa, B., & Charoenkitkarn, N. (2016). Dynamic traffic light timing optimization model using bat algorithm. In *In 2016 2nd international conference on control science and systems engineering (ICCSSE)*, (pp. 181–185). <https://doi.org/10.1109/CCSSE.2016.7784378>.
34. Ahmed, E. K. E., Khalifa, A. M. A., & Kheiri, A. (2018). Evolutionary computation for static traffic light cycle optimisation. *International Conference on Computer Control Electric Electron Engineering*, 2018, 1–6.
35. Chuo, H. S. E., Tan, M. K., Chong, A. C. H., et al. (2017). Evolvable traffic signal control for intersection congestion alleviation with enhanced p swarm optimisation. *Proc - 2017 IEEE. In 2nd Int Conf autom control Intell Syst I2CACIS 2017 2017-Decem*, (pp. 92–97). <https://doi.org/10.1109/I2CACIS.2017.8239039>.
36. Nguyen, P. T. M., Passow, B. N., & Yang, Y. (2016). Improving anytime behavior for traffic signal control optimization based on NSGA-II and local search. *Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks*, 4611–4618. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2016.7727804>.

37. Hatri, C. E. L., & Boumhidi, J. (2016). Q-learning based intelligent multi-objective p swarm optimization of light control for traffic urban congestion management. In In 2016 4th IEEE international colloquium on information science and technology (CiSt), (pp. 794–799). <https://doi.org/10.1109/CIST.2016.7804996>.
38. Zheng, L., Xu, C., Jin, P. J., & Ran, B. (2019). Network-wide signal timing stochastic simulation optimization with environmental concerns. *Applied Soft Computing - Journal*, 77, 678–687. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.01.046>.
39. Hajbabaie, A., & Benekohal, R. F. (2015). A program for simultaneous network signal timing optimization and traffic assignment. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16, 2573–2586. <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2413360>.
40. Li, Z., Shahidehpour, M., Bahramirad, S., & Khodaei, A. (2017). Optimizing traffic signal settings in smart cities. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8, 2382–2393. <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2526032>.
41. Chen, S., & Sun, D. J. (2016). An improved adaptive signal control method for isolated signalized intersection based on dynamic programming. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 8, 4–14.
42. Ahmed, F., & Hawas, Y. E. (2015). An integrated real-time traffic signal system for transit signal priority, incident detection and congestion management. *Transport Research Part C Emerging Technology*, 60, 52–76. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.08.004>.
43. Dakic, I., Raton, B., & Raton, B. (2015). Backpressure traffic control algorithms in field-like signal operations. In In 2015 IEEE 18th international conference on intelligent transportation systems, (pp. 137–142). <https://doi.org/10.1109/ITSC.2015.31>.
44. Pavleski, D., Koltovska-Nechoska, D., & Ivanjko, E. (2017). Evaluation of adaptive traffic control system UTOPIA using microscopic simulation. *Proc Elmar - International Symposium of Electron*, 17–20. <https://doi.org/10.23919/ELMAR.2017.8124425>.

45. Chen, X., Osorio, C., & Santos, B. F. (2017). Simulation-based travel time reliable signal control. *Transportation Science*, 1–22. <https://doi.org/10.1287/trsc.2017.0812>.
46. Baldi, S., Michailidis, I., Ntampasi, V., et al. (2019). A simulation-based traffic signal control for congested urban traffic networks. *Transportation Science*, 53, 6–20. <https://doi.org/10.1287/trsc.2017.0754>.
47. Shah, S., Mohiuddin, S., Gokce, M. A., et al. (2019). Analysis of various scenarios to mitigate congestion at a signalized roundabout using microsimulation. In *2019 innovations in intelligent systems and applications conference (ASYU)*, (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/ASYU48272.2019.8946339>.
48. Zheng, L., Xue, X., Xu, C., & Ran, B. (2019). A stochastic simulation-based optimization method for equitable and efficient network-wide signal timing under uncertainties. *Transport Research Part B Methodology*, 122, 287–308. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.03.001>.
49. Venayagamoorthy, G. K. (2009). A successful interdisciplinary course on computational intelligence. *EEE Computer Intelligence Magnet*, 4, 14–23. <https://doi.org/10.1109/MCI.2008.930983>.
50. Parpinelli, R. S., & Lopes, H. S. (2011). New inspirations in swarm intelligence: A survey. *International Journal of Bio-Inspired Computer*, 3, 1. <https://doi.org/10.1504/IJBIC.2011.038700>.
51. Eiben, A. E., & Smith, J. E. (2012). *Introduction to evolutionary computing genetic algorithms*, (2nd ed.,). Berlin: Springer Netherlands.
52. Montana, D. J., & Czerwinski, S. (1996). Evolving control laws for a network of traffic signals. In *Proceedings of the 1st annual conference on genetic programming*, (pp 333–338). ISBN:0-262- 61127-9.
53. Montana, D. J. (1995). Strongly typed genetic programming. *Evolutionary Computation*, 3, 199–230.
54. Xiang, J., & Chen, Z. (2015). Adaptive traffic signal control of bottleneck subzone based on grey qualitative reinforcement learning algorithm. In *international*

conference on pattern recognition applications and methods (ICPRAM), (pp. 295–301). <https://doi.org/10.5220/0005269302950301>.

55. Benhamza, K., & Seridi, H. (2015). Adaptive traffic signal control in multiple intersections network. *Journal of Intelligent Fuzzy Systems*, 28, 2557–2567. <https://doi.org/10.3233/IFS-151535>.

56. Vidhate, D. A., & Kulkarni, P. (2017). Cooperative multi-agent reinforcement learning models (CMRLM) for intelligent traffic control. In *Proc - 1st Int Conf Intell Syst Inf Manag ICISIM 2017 2017-Janua*, (pp. 325–331). <https://doi.org/10.1109/ICISIM.2017.8122193>.

57. Genders, W., & Razavi, S. (2018). Evaluating reinforcement learning state representations for adaptive traffic signal control. *Procedia Computer Science*, 130, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.008>.

58. Liang, X., Du, X., Member, S., & Wang, G. (2019). A deep reinforcement learning network for traffic light cycle control. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68, 1243–1253. <https://doi.org/10.1109/TVT.2018.2890726>.

59. Bernas, M., & Płaczek, B. (2019). A neuroevolutionary approach to controlling traffic signals based on data from sensor network. *Sensors*, 19, 1–24. <https://doi.org/10.3390/s19081776>.

60. Abdelgawad, H., Abdulhai, B., El-tantawy, S., et al. (2015). Assessment of self-learning adaptive traffic signal control on congested urban areas : Independent versus coordinated perspectives. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42, 353–366. <https://doi.org/10.1139/cjce-2014-0503>.

61. Ozan, C., Baskan, O., Haldenbilen, S., & Ceylan, H. (2015). A modified reinforcement learning algorithm for solving coordinated signalized networks. *Transport Research Part C Emerging Technology*, 54, 40–55. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.03.010>.

62. Li, Z., & Schonfeld, P. (2015). Hybrid simulated annealing and genetic algorithm for optimizing arterial signal timings under oversaturated traffic conditions. *Journal of Advanced Transportation*, 49, 153–170. <https://doi.org/10.1002/atr.1274>.

63. Gao, K., Zhang, Y., Sadollah, A., & Su, R. (2016). Optimizing urban traffic light scheduling problem using harmony search with ensemble of local search. *Applied Soft Computing - Journal*, 48, 359–372. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.07.029>.

64. Bie, Y., Cheng, S., & Liu, Z. (2017). Optimization of signal-timing parameters for the intersection with hook turns. *Transport*, 32, 233–241. <https://doi.org/10.3846/16484142.2017.1285813>.

65. Tan, M. K., Chuo, H. S. E., Chin, R. K. Y., et al. (2017). Optimization of traffic network signal timing using decentralized genetic algorithm. In *2017 IEEE 2nd international conference on automatic control and intelligent systems, I2CACIS 2017*, (pp. 62–67).

66. Jovanović, A., & Teodorović, D. (2017). Pre-timed control for an under-saturated and over-saturated isolated intersection: A bee Colony optimization approach. *Transportation Planning and Technology*, 40, 556–576. <https://doi.org/10.1080/03081060.2017.1314498>.

67. Tarek, Z., Al-rahmawy, M., & Tolba, A. (2018). Fog computing for optimized traffic control strategy. *Journal of Intelligent Fuzzy Systems*. <https://doi.org/10.3233/JIFS-18077>.

68. Manandhar, B., & Joshi, B. (2018). Adaptive traffic light control with statistical multiplexing technique and p swarm optimization in smart cities. *Proceedings on 2018 IEEE 3rd International Conference Comput Communication Security ICCCS, 2018*, 210–217. <https://doi.org/10.1109/CCCS.2018.8586845>.

69. Eduardo, P., De Almeida, M., Chung, E., et al. (2017). Active control for traffic lights in regions and corridors : An approach based on evolutionary computation based on evolutionary computation. *Transport Research Procedia*, 25, 1769–1780. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.140>.

ДОДАТКИ

Додаток А

Загальні проблеми координації мережевих потоків

А.1. Динамічні нестабільності

У теорії ігор відомо, що взаємодія егоїстичних агентів може призвести до неефективності, наприклад, до соціальних дилем. Тому децентралізована оптимізація потоку на кожному окремому перетині не обов'язково є оптимальною для мережі. Насправді, це не є успішною стратегією розробки алгоритму керування для одного перехрестя та управління мережею на основі таких локальних елементів керування перехрестями. Навіть якщо керування на кожному перетині мінімізує локальне збільшення часу подорожі, динамічне з'єднання сусідніх перетинів у мережі може призвести до неефективності через кореляції в динаміці потоку. Проблемою є або втрата часу обслуговування через часте перемикання світлофорів, або відсутність координації між ними, що може збільшити середній час очікування. Іншими словами, перехрестя можуть не впоратися з таким же обсягом руху, як вони могли б бути ізольованими, за умови, що прибуття транспортних засобів відбувається безперервно.

Неефективність зменшує пропускну здатність перехрестя і призводить до того, що черги стають все довгими. Пов'язаний з цим ефект зворотного витоку рано чи пізно блокує потік на перехрестях вище за течією. Це явище, яке називають динамічною нестабільністю, наприклад, було продемонстровано, що відбувається за наступних двох умов:

- (i) якщо мережа доріг неациклічна та
- (ii) якщо контроль руху проводить політику клірингу.

Далі обидва механізми будуть пояснені більш детально. Щодо (i). Потокова мережа є ациклічною, якщо можна ранжувати вузли таким чином, щоб усі потоки проходили через вузли від нижчого рангу до вищого. Однак дорожні мережі ніколи не можуть бути ациклічними. Це просто пов'язано з тим, що завжди існують шляхи,

що ведуть від одного перехрестя до будь-якого іншого і назад (не обов'язково по одному маршруту). Це унеможливорює таке рейтингування.

Критичним аспектом неациклічних мереж є те, що інформація поширюється у так званих петлях зворотного зв'язку. Це означає, що, якщо одне перехрестя посиляє взвод транспортних засобів до одного зі своїх сусідів, це впливає на момент часу, коли інший взвод повертається. Таким чином, прибуття на перехрестя не залежить від його минулої послідовності перемикань. Оскільки ці зв'язки існують не тільки між сусідніми перетинами, а й між усіма перетинами в мережі, Щодо (ii). Політики очищення продовжують обслуговувати вулицю, доки її черга не буде повністю очищена. Вони відрізняються лише правилами вибору наступної вулиці. У багатьох експериментах було показано, що такі політики є оптимальними на ізольованих перетинах, а також викликати динамічну нестабільність в неациклічних мережах.

Незважаючи на те, що кожне перехрестя окремо було б керовано оптимально, як тільки вони розміщені один біля одного в мережі, вони ведуть себе нестабільно. Ці факти вказують на важливість тестування децентралізованого керування світлофорами в неациклічних мережах. На жаль, багато нещодавно запропонованих підходів було випробувано або на ізольованих перехрестях, або в мережах лише з односпрямованими вулицями. Це може пояснити, чому більшість концепцій децентралізованого контролю практично не реалізовані. Однак наші аргументи, наведені вище, не означають, що дорожня мережа може ніколи успішно керуватися децентралізованим способом, тобто з незалежними алгоритмами керування на кожному перехресті. Як показано в цій статті, така стратегія насправді можлива, але вона вимагає використання нового механізму контролю.

А.2. Хаотична динаміка

Відомо, що мережі з комутаційним потоком демонструють хаотичну поведінку за певних умов. В принципі, очікується, що це також стосується мереж доріг, керованих світлофором. Як загальна ознака, хаотична поведінка динамічної системи характеризується експоненційною розбіжністю початково близьких траєкторій. Цю чутливість до малих збурень, яка є результатом внутрішньої нелінійності системи, часто називають «ефектом метелика». Це може відбуватися

навіть без будь-якої стохастичності в поведінці системи. Чейз та ін проілюстрував, що хаотична поведінка виникає навіть у дуже простих комутованих потокових системах. Наприклад, у випадку одного сервера, відповідального за обслуговування трьох або більше різних напрямків потоку, результуюча динаміка може бути хаотичною, якщо сервер заповнює один буфер до певного рівня, а потім перемикається на інший буфер (коммутається система прибуття). Але також протилежний випадок, коли сервер починає очищати буфер, як тільки його рівень заповнення перевищує критичний поріг, демонструє хаотичну поведінку (коммутається серверна система з обмеженими буферами). Останній випадок безпосередньо відповідає керованому світлофором перехресті з обмеженою довжиною черги на вхідних ланках. Загальний механізм, що призводить до такої поведінки, можна зрозуміти, вивчаючи різноманіття (гіперплощину), в якому розвиваються траєкторії відповідних довжин черги (відображають рівні заповнення буфера). Оскільки основні правила перемикання накладають певні межі на цю гіперплощину, траєкторії відчувають так зване «дивне відображення», якщо вони потрапляють на одну з цих меж. Це спостереження дозволяє нам описати такі системи в термінах «псевдобільярдної динаміки». Вивчаючи тимчасову еволюцію положень транспортних засобів, можна спостерігати хаос, навіть якщо задано послідовність перемикань світлофорів. Це показав Толедота і Нагатані для окремого транспортного засобу, який рухається крізь послідовність світлофорів, керованих фіксованим часом. Це спостереження не залежить від того, чи є відстані між світлофорами регулярними чи ні. Для того, щоб спостерігати хаос, до того ж, навіть немає взагалі потрібні світлофори. Ваставінота і проілюстрував це для випадку, коли транспортним засобам заважають знаки пропуску.

Наведені вище приклади свідчать про те, що хаотична поведінка є притаманною транспортному потоку в мережах дорожнього руху. У той час як потік трафіку статистично добре передбачуваний на сукупному рівні, він стає дуже непередбачуваним, як тільки ми хочемо описати його динаміку. Проте передбачуваність має велике значення для розробки системи управління світлофором, яка повинна бути здатною координувати транспортні потоки, зокрема,

реагувати на великі взводи, а також окремі транспортні засоби. Мета запропонованої нами стратегії очікування (див. розділ 3), отже, не для статистичного усереднення за складною нелінійною динамікою, а для того, щоб впоратися з нею за короткий час найбільш гнучким способом.

А.3. Обмежений часовий горизонт прогнозу

Непередбачуваний характер транспортного потоку робить особливо складним передбачити умови дорожнього руху протягом тривалого періоду часу. Навіть якщо ми припустимо, що вулиці будуть обладнані сповіщувачами, а перехрестя – для зв'язку один з одним, прогнозний часовий горизонт навряд чи може перевищувати подвійний час у дорозі. L_i/V_i вздовж сполучних ланок, наприклад 30–40 с для типової ділянки дороги с $L_i \approx 300$ м і $V_i \approx 50$ км/год–1. Тоді як модель представлена в розд 2 може добре передбачити за часові горизонти, менші за час подорожі L_i/V_i , більші горизонти, очевидно, повинні враховувати послідовність перемикань сусідніх перехресть. Якщо контрольне рішення перехрестя залежить від часового горизонту, більш ніж вдвічі перевищує час у дорозі, це означає, що результат контрольного рішення повинен бути вже відомий його сусідові. Такі види інформаційних циклів є ще одним ускладненням через неациклічний характер дорожніх мереж. Ці міркування показують, що проблема обмежених горизонтів прогнозу є спільною для всіх гнучких, реагуючих на транспортні засоби керування світлофорами, незалежно від того, чи реалізовані вони централізовано чи децентралізовано.

Таким чином, той факт, що взаємодії на великій відстані дуже складні і майже неможливо передбачити, зберігається для будь-якого контролю, доки він гнучко реагує на зміну умов дорожнього руху, а не просто нав'язує заздалегідь визначений шаблон транспортним потокам, таким як звичайний цикл. На основі контролю роблять. Іншим наслідком обмеженого часового горизонту прогнозу є те, що будь-яка оптимізація неминуче є недалекоглядною і, отже, повинна розглядатися як потенційне джерело неефективності та нестабільності. Однак цю проблему можна подолати, запровадивши відповідну стратегію стабілізації, як описано в розділі 2.

Копія тези конференції

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Білоруський національний технічний університет (Республіка Білорусь)
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник
тез доповідей
Том I

**X Міжнародної науково-практичної
конференції молодих учених та студентів**
24-25 листопада 2021 року



УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2021

Копія змісту

<i>Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції мазодих учених та студентів</i>		
<i>«АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» – Тернопіль 24-25 листопада 2021 року</i>		
32.	С.В. Тиш, В.В.Б. Кохан ФОРМУВАННЯ СУСПІЛЬНОЇ ДУМКИ В СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ НА ПРИКЛАДІ МЕРЕЖІ TWITTER	127
33.	Р. Трач, Ю. Балис, Р. Трезбач ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВІБРОКОНТРОЛЮ МЛИНА	129
34.	Г.І.Франчевська ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ ПЛОДУ НА ФОНІ МАТЕРІ ТА ШУМУ	131
35.	Г.П.Химич, В.В.Демчук ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ НАЗЕМНОГО ТА СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗА ТЕХНОЛОГІСІЮ 5G	133
36.	Г.П.Химич, І.С.Яцюк ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗУМНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІЗ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ ДЛЯ КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИМ ТА ПІШОХІДНИМ РУХОМ НА ВУЛ. РУСЬКА МІСТА ТЕРНОПОЛЯ	135
37.	О. К. Шкодзінський, М. М. Луцків, І-М. С. Смолій РОЗВИТОК ЗАСОБІВ ВЕРИФІКАЦІЇ ОСОБИ ТА ЇЇ ДІЙ ПРИ КОНТРОЛІ ЗНАНЬ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ	138
38.	М.І. Шоцький, В.В. Федина, С.В. Марченко ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕВИМИ ПРИСТРОЯМИ	140
39.	М.І. Шоцький, В.В. Федина ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗОНОВОЇ БЕЗПЕКИ У КОМП'ЮТЕРНІЙ МЕРЕЖІ	141
40.	А. В. Юхименко, О. В. Чебанюк МЕТОДИКА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ВИТОКУ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЧЕРЕЗ ГІРОСКОП У МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ НА ОС ANDROID	142
41.	В.В. Яцишин, О.О.Щербаків, М.Р.Лова АНАЛІЗ БАЗ ДАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ У ГАЛУЗІ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ	144
42.	В.В.Яцишин, В.В.Шуптарський, Д.А.Цісарук АЛГОРИТМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ У МАРКЕТИНГОВИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ	145
43.	В.В. Яцишин, Х.В. Яворська АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВІЗУАЛЬНИХ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ	146

Копія тексту тези

Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів
«АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» – Тернопіль 24-25 листопада 2021 року

УДК 621.397.74

Григорій Химич, Ірина Яцюк

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗУМНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІЗ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ ДЛЯ
КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИМ ТА ПІШХОДНИМ РУХОМ НА ВУЛ. РУСЬКА
МІСТА ТЕРНОПІЛЯ**

Yryhoriy Khymych, Iryna Yatsyuk

**INTRODUCTION OF SMART TECHNOLOGIES WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE
TO CONTROL CAR AND PEDESTRIAN TRAFFIC ON THE STREET RUSKA CITY OF
TERNOPIL**

Впродовж останніх трьох десятиліть, а особливо останніх кількох років спостерігається суттєве зростання транспортних засобів. Парк авто в нашій країні становить 10,5 млн. штук. У Тернопільській обл. – 308'838 од. Один із основних показників, який безпосередньо вказує на рівень завантаженості транспортних мереж (доріг) – коефіцієнт автомобілізації населення (Ka), – це кількість автомобілів на 1000 жителів регіону.

$$Ka = n/1000$$

де n – кількість автомобілів.

У таблиці 1 відображено коефіцієнт автомобілізації населення країн світу [1].

Таблиця 1

Місце	Назва країни	Авто на 1000 осіб	Рік досліджень
1	Сан-Маріно	1'263	2014
3	США	≥ 800	2016
71	Україна	257	2019

Коефіцієнт автомобілізації в Тернопільській обл. згідно даних AUTO-Consulting – 245 (257). Введемо ще один важливий коефіцієнт – рівень наповненості доріг, який корелюється з щільністю дорожньої мережі, протяжністю автомобільних доріг у відповідності до площі країни, кількість авто на 1 кв. км. Дані приведені в таблиці 2 [3].

Таблиця 2

Країна	Кількість легкових авто	Протяжність автомобільних доріг, км.	Кільк. легк. авто на 1 км дороги	Площа країни, км ²	Щільність дор. мережі, км/км ²	Кількість авто на 1 км ²
Україна	7 003 000	169 422	41,33	603 700	0,28	11,6
м. Тернопіль	60'000	450	133,3	71	6,34	845,1
Німеччина	46 247 000	644 441	71,76	357 022	1,81	129,5

Дані для розрахунку: кількість вулиць у м. Тернополі – 287, загальна протяжність – 450 км., кількість населення – орієнтовно 226'000 чол.

У відповідності до даних Тернопільської міської ради однією з головних проблем м. Тернополя залишається невідповідна пропускна здатність автошляхів до інтенсивності руху автомобільного транспорту. Найзавантаженішими вулицями міста є вулиці Богдана Хмельницького, Руська, Живова, Збаразька та інші [2].

У даній роботі проводились аналіз та дослідження «вільного» руху автотранспорту (без заторів) в умовах наявної пропускної спроможності дороги з максимальною інтенсивністю проїзду авто (вул. Руська від моста через залізничні колії до перехрестя з вул. Танцюрова).

Згідно Методики розрахунку пропускної здатності дороги визначений показник ≤ (180 – 300) авто/год., рис.1. Виділені місця на карті вказують на світлофори, які програмно,

Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів
 «АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» – Тернопіль 24-25 листопада 2021 року
 через певні періоди часу перемикаються, тим самим регулюють рух транспорту та пішоходів. Причому, час та період перемикання не змінюється протягом доби, не зважаючи на динамічну зміну інтенсивності руху вулицею у різні проміжки часу. Це говорить про відсутність реакції системи на динамічні зміни.



Рисунок 1. Географічна карта вул. Руська.

Для оптимального рішення запропонований наступний варіант, рис. 2.



Рисунок 2. Фрагмент перехрестя вул. Руська-вул.Гоголя-вул.Б.Хмельницького.

Схематично фрагмент перехрестя показаний на рис. 3. Зв'язок між внутрішнім фрагментом модуля здійснюється на основі кабельної, оптоволоконної мережі, а зовнішніми на основі оптоволоконної та бездротової мережі (420 – 450)МГц, або (860 – 890)МГц.

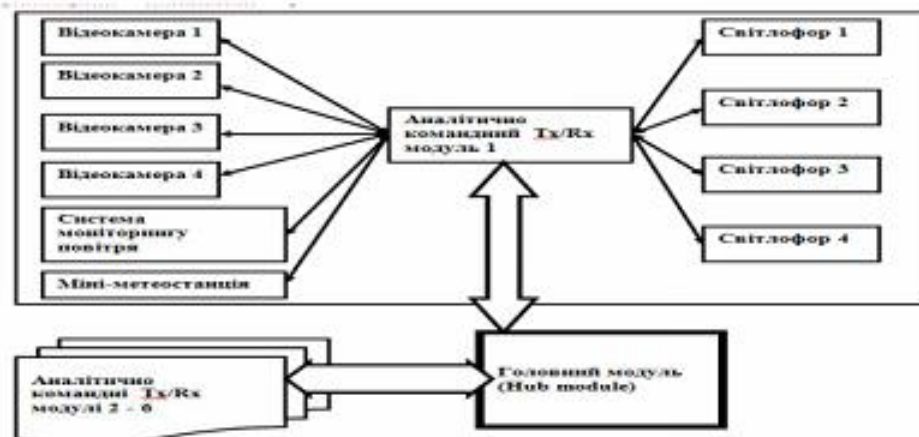


Рисунок 3. Фрагмент телекомунікаційної мережі.

Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів

«АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» – Тернопіль, 24-25 листопада 2021 року

Крім основної функції, система має можливість: виконувати статистичну функцію з підрахунку кількості пішоходів та авто, ідентифікувати обличчя пішоходів та водіїв автомобілів, фіксувати порушення правил проїзду автомобілем та переходу пішоходами.

На основі впровадження систем такого типу та архітектурної конфігурації буде можливим оптимізувати рух автомобільного транспорту вулицею Руська, зменшити затори на перехрестях, зменшити кількість шкідливих викидів у повітрі.

Література:

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/Список_країн_за_кількістю_автомобілів_на_1000_осіб#cite_note-21
2. <https://ternopilcity.gov.ua>
3. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index>