

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МАРІУПОЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕКОНОМІКО-ПРАВОВИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

До захисту допустити:
Завідувач кафедри

_____ Мартинюк Г.В.
(підпис) (ПІБ завідувача кафедри)
« ___ » _____ 20__ р.

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ
МІСЬКОЮ ІНФРАСТРУКТУРОЮ»**

Кваліфікаційна робота
здобувача вищої освіти першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньо-професійної програми
« _____ Комп'ютерні науки _____ »
(назва освітньо-професійної програми)

Тесленко Дмитро Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти)

Науковий керівник:

Мнацаканян М.С., к.т.н.

(прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання)

Рецензент:

Лукашенко В.В., к.т.н., доцент

(прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання, місце роботи)

Кваліфікаційна робота захищена
з оцінкою _____

Секретар ЕК _____

« ___ » _____ 20__ р.

**МАРІУПОЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕКОНОМІКО-ПРАВОВИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Рівень вищої освіти Бакалавр
Шифр та назва спеціальності 122 Комп'ютерні науки
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерні науки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри к.т.н., доцент,
(науковий ступінь, вчене звання)

Мартинюк Г.В.
(підпис) (ПІБ завідувача кафедри)

«__» _____ 20__р.

ПЛАН ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Тесленко Дмитра Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи « Дослідження інтелектуальних систем управління міською інфраструктурою»

керівник роботи Мнацаканян М.С., к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Маріупольського державного університету від «__» __ 20__ р. №__

2. Строк подання здобувачем роботи 30.05.2023

3. Вихідні дані до роботи (мета, об'єкт, предмет) Мета: вивчення основних принципів та методів створення цифрових двійників, а також моделювання концепції цифрового двійника Маріуполя та аналіз застосування цієї концепції в контексті управління міськими ресурсами та розвитку інфраструктури; об'єкт: інтерактивна модель інфраструктури міста Маріуполь; предмет: моделювання концепції цифрового двійника міста Маріуполь, що передбачає створення точної копії міста у віртуальному середовищі.

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

Розділ 1. Аналіз сутності поняття «Цифровий двійник»: типи, архітектура, функції, цілі та задачі

Розділ 2. Побудова концепції роботи цифрового двійника великих міст в сучасних умовах

Розділ 3. Розробка алгоритму побудови і функціонування цифрового двійника міста Маріуполь

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання 01.03.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз процесу становлення штучного інтелекту, як складової сучасного існування людства	21.03.2023	
2	Дослідження застосування IoT у промисловості та управлінні	04.04.2023	
3	Розробка та перевірка на адекватність адаптивних систем керування світлофорами	01.05.2023	
4	Оформлення кваліфікаційної бакалаврської роботи	15.05.2023	
5	Розробка графічного матеріалу для презентації роботи	19.05.2023	

Здобувач

_____ Тесленко Д.О.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник роботи

_____ Мнакацян М.С.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ СТАНОВЛЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ, ЯК СКЛАДОВОЇ СУЧАСНОГО ІСНУВАННЯ ЛЮДСТВА.....	7
1.1. Аналіз передумов розвитку “Internet of things”.....	7
1.2. Аналіз поняття та принципів роботи “Internet of things”.....	10
1.3. ІоТ та ПоТ: ключові відмінності двох технологій.....	12
1.4. Статистика та тенденції "ІОТ".....	17
РОЗДІЛ 2. ЗАСТОСУВАННЯ ІОТ У ПРОМИСЛОВОСТІ ТА УПРАВЛІННІ.....	23
2.1. Дослідження застосування Internet of things в промисловості.....	23
2.2. Дослідження застосування Internet of things в транспортній сфері.....	25
2.3. Дослідження застосування Internet of things в інших сферах сучасного господарства.....	27
2.4. Дослідження концепції та алгоритмів роботи «розумних міст».....	39
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ПЕРЕВІРКА НА АДЕКВАТНІСТЬ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ СВІТЛОФОРАМИ.....	44
3.1. Концепція роботи супутникових систем smart city.....	44
3.2 Інтелектуальні транспортні системи засновані на ATSC Framework.....	46
3.3. Впровадження та оцінка системи керування дорожніми сигналами в режимі реального часу на основі інтелектуальної 3D model.....	51
3.4. Розрахунок затримки транспортного засобу.....	55
3.5. Алгоритми керування дорожнім сигналом.....	56
3.6. Результати та обговорення.....	62
3.7. Вплив інтелектуальних систем управління міською інфраструктурою на економіку та екологію.....	69
3.7.1.Економічний ефект.....	69
3.7.2.Екологічний ефект.....	71
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	76

ВСТУП

Сучасне місто – це складний еко системний комплекс, який потребує постійного управління та підтримки. Інтелектуальні системи управління міською інфраструктурою – це інноваційні технології, які допомагають керувати міським середовищем, забезпечуючи ефективнішу роботу інфраструктури та підвищуючи якість міського життя.

Такі системи можуть включати різні технології, такі як сенсори, аналітику даних, штучний інтелект, блокчейн та інші. Їх застосування дозволяє покращити екологічну, соціальну та економічну стійкість міста, знизити витрати на управління інфраструктурою та підвищити якість міського життя для мешканців та відвідувачів.

У цьому контексті важливим стає розуміння роботи інтелектуальних систем управління та можливих ефектів від їх використання, щоб приймати обґрунтовані та ефективні рішення у розвитку сучасного міста.

Актуальність теми дослідження полягає у інноваційному та системному підході до управління всіма аспектами міського життя. Тема інтелектуальних систем управління міською інфраструктурою є дуже актуальною у нашому сучасному житті у міру того, як наше населення росте і міста стають дедалі більш складними.

В умовах зростаючої екологічної загрози, ресурсної нестабільності та соціальних проблем важливим стає використання інтелектуальних систем з метою покращення якості життя городян та зменшення негативних екологічних впливів.

Крім того, застосування інтелектуальних систем управління міською інфраструктурою може призвести до нових інноваційних можливостей та створення нових бізнес-моделей, що дозволить розвивати міста економічно та соціально.

Таким чином, тема інтелектуальних систем управління міською інфраструктурою є вкрай актуальною та затребуваною у нашому сучасному

житті, що потребує постійного розвитку та вдосконалення технологій у цій галузі.

Основною метою роботи є оцінка ефективності застосування інтелектуальних систем управління міською інфраструктурою в промисловості та управлінні, виявлення можливих проблем та обмежень, які можуть ускладнювати їх використання та розвиток, а також економічний та екологічний вплив.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати наступні **задачі**:

1. Провести аналіз процесу становлення штучного інтелекту, як складової сучасного існування людства
2. Визначити ефективність застосування IoT у промисловості та управлінні
3. Розробити комплексну платформу інтелектуальної системи для управління адаптивних світлофорів.
4. Провести тематичне дослідження з використанням мікроскопічного моделювання дорожнього руху в SUMO для розробки цифрової копії сигналізації в міській місцевості.

Апробація результатів виконаної роботи була проведена в рамках Декади студентської науки Маріупольського державного університету.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ СТАНОВЛЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ, ЯК СКЛАДОВОЇ СУЧАСНОГО ІСНУВАННЯ ЛЮДСТВА

1.1 Аналіз передумов розвитку штучного інтелекту (Internet of things)

Поява Internet of things було передбачено відомим фізиком Миколою Тесла ще 1926 року. У його поданні саме радіо мало стати «великим мозком», до якого зможуть підключатися різні пристрої. Це сталося, але не так швидко. І якщо вірити історії, то трапилося досить випадково. Джон Ромки – один із творців протоколу TCP/IP, спробував підключити тостер Sunbeam Deluxe Automatic Radiant Control до інтернету через мережу TCP/IP. Підключення спрацювало і він зміг керувати ним через просту інформаційну базу SNMP MIB. На той момент була доступна лише одна функція – це включення та вимкнення. Так 1990 року з'явилася перша інтернет річ.

Порівняно з цим, зараз ми маємо значно більший контроль над приладами, якими користуємося, а багато з цих приладів працюють в автономному режимі. Люди все рідше запитують, а чи все вимкнено, коли виходять з дому. Це започаткувало появу «розумних» будинків, «розумних» міст. Через десяток років, технологія отримала назву і почала вбудовуватися в багато сфер нашого життя.

Важливою віхою формування поняття Internet of things став виступ вченого Білла Джоя на Міжнародному економічному форумі в Давосі 1999 року. Там один із засновників Sun Microsystems представив свою концепцію "Шість вебів". Джой виділив шість видів інтернету, чотири з яких були користувальницькими.

Наприклад, один із них – «інтернет тут і зараз» завжди забезпечував би пристрій, який ви постійно носите з собою, доступом до мережі, де б ви не знаходилися (очевидний прообраз 4G, LTE) або «дивний інтернет», в який ви

могли б потрапити за допомогою голосу, віддаючи команди своєму авто або тому чи іншому голосовому помічнику. Серед цих типів інтернету вчений виділив два, які не мають прямого відношення до людини – «B2B» та «D2D». Згідно Джою, B2B-з'єднання (business-to-business) не мало інтерфейсу користувача і існувало б для зв'язку між бізнес-машинами в корпораціях. Другий тип D2D (device-to-device) – поєднував би пристрої з різних сфер, допомагаючи автоматизації та технічному вдосконаленню міст, будинків, промисловості та сприяв би підвищенню рівня «інтелектуальності» гаджетів.

У другій половині дев'яностих британець Кевін Ештон працював на компанію Procter and Gamble і оптимізував виробництво. Він зазначив, що оптимізація безпосередньо залежить від швидкості передачі та обробки даних. Коли збором та обробкою даних займаються люди, то на це можуть піти дні. Використання радіочастотної ідентифікації (RFID) дозволило прискорити процес передачі безпосередньо між пристроями. Саме тоді в нього й з'явилася ідея — а що, якщо речі збиратимуть, оброблятимуть та передаватимуть дані без участі людини? Як би це називалося? "Internet of things", подумав Ештон, і виявився провидцем.

У новому десятилітті концепція Internet of things, що підсумовувала всілякі технології взаємодії пристроїв – від RFID-міток і connected car до промислової автоматизації та розумних міст, стрімко почала набирати популярності. RFID мітка

Так, журнал Scientific American опублікував статтю, де йшлося про те, як Internet of things може змінити повсякденне життя - розумна побутова техніка, лічильники та ін. А багато великих компаній включили розробки в області IoT у сферу своєї діяльності. Одна за одною почали з'являтися заходи (конференції, круглі столи, форуми), присвячені Internet of things. До кінця 2000-х років кількість пристроїв, підключених до мережі, перевищила чисельність населення Землі, що ознаменувало остаточну перемогу і життєздатність концепції.

Потрібно було майже десятиліття для того, щоб словосполучення «Internet of things» увійшло у повсякденне життя. Разом із штучним інтелектом IoT став передовим напрямком розвитку інформаційних технологій. Так, у 2008 році IPSO Alliance створила спілку компаній, які підтримали розробку технологій, пов'язаних з Internet of things. Це стало сигналом для великих корпорацій.

Влітку 2010 року стало відомо, що сервіс Google Street View окрім показу панорамних фотографій вміє збирати дані про Wi-Fi мережі, що використовуються. Експерти заговорили про розробки нового протоколу передачі даних, який дозволить обмінюватися даними між пристроями. У тому ж році Китай заявив, що планує включити Internet of things до списку пріоритетних напрямків досліджень на п'ять років. Стало зрозуміло, що збором, обробкою та зберіганням даних зацікавилися як великі корпорації, а й уряду. У 2011 році компанія Gartner, що займається дослідженням ринку, включила IoT в свій лист найбільш перспективних технологій, що розвиваються.

Internet of things завойовував світ. У 2012 році найбільша європейська інтернет-конференція LeWeb була присвячена цій темі, а такі журнали як Forbes, Fast Company та Wired почали активно використовувати термін Internet of Things. Весь світ заговорив про Internet of things, а компанії розпочали гонку технологій. 2013 року IDC опублікувало дослідження, в якому спрогнозувало зростання ринку IoT до 2020 року до 8.9 трильйонів доларів.

У січні 2014 року Google купує за 3.2 мільйони доларів компанію Nest, яка займалася розробкою пристроїв "розумного дому" та створенням систем управління будинками. Вважається, що саме тоді ринок повністю визнав — за Інтернетом найближче майбутнє. У тому ж році найбільша американська технологічна виставка Consumer Electronics Show відбулася у Лас-Вегасі під вивіскою Internet of Things. Так розпочалася епоха IoT.

1.2. Аналіз поняття та принципів роботи “Internet of things”

У найзагальнішому сенсі Internet of things — це не справжня всесвітня мережа, а концепція мережі з тих «речей», тобто фізичних та віртуальних об'єктів, пов'язаних з інтернетом та зовнішнім світом. Вони здатні передавати один одному отримані дані, щоб виконувати їх основні різні дії. Наприклад, «розумний» лічильник, який самостійно надсилає дані про споживання електроенергії та «розумний» автомобіль, який зчитує інформацію про ситуацію на дорозі з Мережі та з датчиків в інших авто, (поки що) ніяк не пов'язані між собою, але обидва є частиною Internet of things. Загальні фактори — це наявність програмного забезпечення для управління, датчиків для вимірювання будь-яких параметрів і постійне підключення до інтернету.

При цьому розвитком концепції займаються далеко не лише виробники розумної техніки. Для нормального функціонування Internet of things потрібна злагоджена робота безлічі компонентів, включаючи системи зв'язку, датчики, програмне забезпечення та технологічні платформи, які об'єднують пристрої та дозволяють їм «бачити» та «розуміти» один одного. Система Internet of things включає датчики і пристрої, взаємодія яких здійснюється через хмарне з'єднання. Як тільки дані потрапляють у хмару, здійснюється їх обробка програмними засобами та приймається рішення про необхідність виконання певних дій, наприклад, налаштування датчиків та пристроїв без необхідності введення даних користувачем або надсилання повідомлень.

Повна система Internet of things складається із чотирьох окремих компонентів (рис.1.1): датчики пристроїв, засоби підключення, інструменти обробки даних та інтерфейс користувача. Надалі розглянемо кожен із них.

Датчики пристроїв. Датчики пристроїв збирають дані у певному середовищі. Пристрій може мати кілька датчиків, наприклад смартфон оснащений GPS, камерою, акселерометром та іншими датчиками. Датчики збирають дані з довкілля на вирішення певних завдань.

Засоби підключення. Після збору даних пристрій повинен надіслати їх

у хмару. Це робиться це по-різному: через Wi-Fi або Bluetooth, через супутниковий зв'язок, через енергоефективні мережі далекого радіусу дії (LPWAN) або при підключенні безпосередньо до інтернету через Ethernet. Варіант підключення залежить від сфери застосування конкретного пристрою Internet of things.

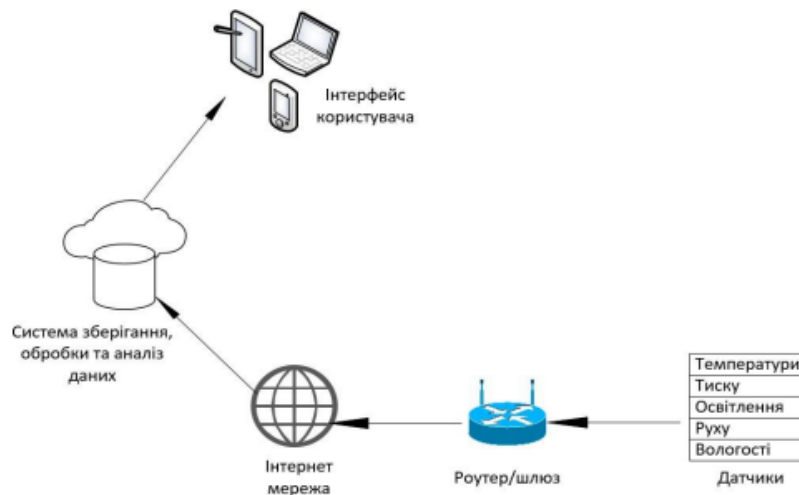


Рисунок 1.1. Компоненти Internet of things

Інструменти обробки даних. Як тільки дані потрапляють у хмару, здійснюється їх програмне оброблення з метою подальшого рішення про виконання певних дій. Ці дії можуть включати надсилання попереджень або автоматичне налаштування датчиків пристрою без участі користувача. Однак іноді потрібне введення даних з боку користувача. В цьому випадку потрібен інтерфейс користувача.

Користувальницький інтерфейс. Інтерфейс дозволяє здійснити введення даних з боку користувача або перевірити працездатність системи. Всі дії користувача передаються через систему: від інтерфейсу користувача в хмару, а потім до датчиків пристроїв для внесення змін.

Протоколи підключення та мережевої взаємодії, що використовуються веб-пристроями, різняться залежно від сфери застосування пристрою Internet

of things. Для спрощення та прискорення процесів збору даних під час роботи Internet of things все частіше використовується штучний інтелект та машинне навчання.

1.3. IoT та IIoT: ключові відмінності двох технологій

На сьогодні спеціалісти виділяють два основні види Internet of things:

- створений для людей;
- створений для бізнесу.

Споживчий IoT (скорочення від Internet of Things, тобто «Internet of things») та індустріальний IIoT (скорочення від Industrial Internet of Things, тобто «Промисловий Internet of things») – це різні терміни, незважаючи на деяку спільність у плані аббревіатур та високорівневих концепцій. Самі ж концепції мають паралельне розвиток, що обходиться без певних запозичень схем друг в друга. Відразу вкажемо на єдину спільність двох технологій: вони пропонують універсальні стандартизовані протоколи, які дозволяють пристроям, випущеним різними компаніями, вільно взаємодіяти один з одним, обмінюватися інформацією та приймати її основі різні рішення.

У процесі аналізу мною були виявлені фундаментальні відмінності між IoT та IIoT:

- **Мета виникнення.** Internet of things (IoT) з'явився для того, щоб покращити комфортність життя людей. Він націлений на побут, відкриваючи безмежні можливості щодо економії та безпеки. Промисловий Internet of things (IIoT), як і випливає з його назви, націлений на виробничі вигоди та дозволяє збільшити рентабельність бізнесу.

- **Історія розвитку.** IoT – це планомірний розвиток технології «smart home» (розумний будинок), тоді як IIoT – це покращення існуючих виробничих телеметричних та телематичних систем.

- **Вартість поломки.** У випадку IoT можна говорити про низьку вартість виходу систем з ладу. Якщо опалення не було включено до приходу людини

додому, вона може включити її самостійно, практично нічого при цьому не втративши. Те саме стосується і розумних функцій безпеки: зазвичай для них є дублюючі базові пристрої. У випадку з ПоТ вихід з ладу механізмів або поломка частини мережі вестиме до серйозних проблем, і виробництво зазнає значних збитків або повністю зупиниться.

- **Вартість рішення.** Рішення, побудовані на базі IoT, низькі за вартістю. Зазвичай таких рішень характерна наявність малої кількості датчиків. Клієнти купують IoT-пристрої в основному завдяки їхній впізнаваності, іміджу та новизні. ПоТ-рішення мають високу вартість, що обумовлено насамперед великою кількістю пристроїв, необхідних для встановлення на виробництві. Крім того, ПоТ-пристрої є дорогими, оскільки до них виставляються високі вимоги щодо надійності, безпеки та ефективності роботи в різних (часто агресивних) умовах. Рішення на користь застосування ПоТ на виробництві робиться на основі економічної ефективності такого етапу.

- **Швидкість застосування.** У випадку з IoT впровадження відбувається дуже швидко, оскільки всі розумні пристрої та деталі купуються у процесі заміни існуючої техніки чи ремонтних робіт. Для ПоТ впровадження є повільним, так як часто воно вимагає повного оновлення виробничої інфраструктури. Для застосування ПоТ характерний поетапний підхід. Пропоновані рішення повинні враховувати можливу масштабованість, модернізацію та сумісність із деякими ділянками старої інфраструктури.

- **Вартість обслуговування.** Обслуговування IoT пристроїв має низьку вартість. Достатньо лише замінити техніку, що вийшла з ладу, що жодним чином не впливає на користувальницькі очікування. Обслуговування ПоТ-пристроїв виявляється дорогим, оскільки застосовувані рішення є комплексними, зробити їх заміну дуже складно, а вихід деталей з ладу веде до припинення або повної зупинки виробництва.

- **Алгоритмічна складність.** У IoT-пристроях застосовуються прості алгоритми, що дозволяють автоматизувати рутинні дії: приготування чаю,

включення світла тощо. У ПоТ-пристроях використовуються складні багаторівневі алгоритми, що базуються на сучасному математичному апараті. Застосування нейронних мереж у ПоТ дозволяє управляти ризиками, будувати прогнози ефективності виробництва, моделювати будь-яку ділянку виробничого ланцюга тощо.

- **Обробка інформації.** У ІоТ-пристроях вся інформація обробляється в режимі реального часу, проте допустимі деякі затримки в наданні даних, аж до десятків секунд. У ПоТ-пристроях подібні затримки неприпустимі: інформація надається в режимі реального часу з максимальною затримкою, що не перевищує десятки мілісекунд.

- **Обсяги трафіку.** Зазвичай ІоТ-пристрої генерують трафік, що не перевищує пару Мб на день. ПоТ-пристрої можуть генерувати великі обсяги трафіку до Пб (петабайт) на день.

- **Робочі місця.** У випадку з ІоТ-пристроями робочі місця не скорочуються: «розумний» чайник не призведе до того, що буде звільнено домробітницю. Крім того, ІоТ-пристрої не ведуть до створення нових вакансій. А ось ПоТ-пристрої за рахунок скорочення рутинних дій, що вимагають ручних операцій, ведуть до того, що старі робочі місця закриваються і з'являються вакансії для висококваліфікованих фахівців, які здатні проектувати та обслуговувати розумні промислові системи, а також аналізувати інформацію, що надходить.

- **Безпека даних.** Якщо розглядати ІоТ-пристрою, є високий ризик перехоплення конфіденційних даних, що може призвести, наприклад, до крадіжки грошей з банківських рахунків. Зламування ІоТ-пристроїв небезпечно тим, що він відкриває дорогу для несанкціонованого проникнення зловмисників у житлові приміщення. У випадку з ПоТ-пристроями будь-яке впровадження в інфраструктуру підприємства може спровокувати справжню катастрофу, тому турбота про безпеку в даному випадку є критично важливою.

Як впливає з представленого порівняння, IoT та PoT – це дві абсолютно різні технології, які охоплюють свою аудиторію та націлені на вирішення різних завдань. Першочергове завдання IoT – досягти персонального комфорту для кожної людини. Далі слідує вже контроль над витратами, що дає можливість мінімізувати зайві витрати. Для IoT характерне лише побутове застосування. Яскравий приклад IoT-технологій – це системи «Розумний дім». На базі IoT можуть функціонувати не тільки опалювальні системи або системи освітлення, але й електронні замки дверей, системи спостереження, механізми автоматичного поливу прилеглої території і т.д. За допомогою IoT можна оптимізувати споживану електроенергію, впровадивши автоматизацію в роботу лічильників. Для цього всі лічильники об'єднуються в одну загальну мережу, де вже ведеться облік витрат, аналіз споживання енергії, води, газу і т.д. Власник житла зможе провести ефективну економію за рахунок впровадження пристроїв, що вимикають світло в той час, коли він не потрібний, або перекидає подачу води, коли це не потрібно, тощо. Будь-які побутові витрати можуть бути взяті під жорсткий контроль.

Промисловий Internet of things (PoT) несе в собі іншу цінність: він дозволяє досягти максимальної енергоефективності виробничих ліній. Технологія PoT відповідає завданням індустрії, і навіть її вузькоспрямованим сферам. Наприклад, PoT часто застосовується в державних системах освітлення. За основу функціонування PoT береться взаємодія датчиків. Вони стежать за роботою виробничих пристроїв та механізмів, що відіграє важливу роль у таких сферах, як нафтовидобуток, видобуток корисних копалин, міське освітлення тощо. Наприклад, ліхтарі, що висвітлюють міські вулиці, можуть вмикатися та вимикатися автоматично, орієнтуючись на датчики руху.

За допомогою впровадження PoT на виробництві досягається мета створення цифрової копії пропонованої продукції. Це допомагає знизити загальний відсоток шлюбу, встановити фундаментальні чинники, пов'язані з його появою, збільшити ефективність всіх процесів та технологій у

виробництві за рахунок проведення детального моніторингу кожного етапу у ланцюжку створення продукту. Внаслідок цього виробнича лінія стає більш оптимізованою.

Щоб побудувати ефективне виробництво, потрібно зібрати всю інформацію, що надходить з датчиків, і проаналізувати її, оптимізувавши роботу кожного компонента системи. Раніше працівник верстата повинен був самостійно знімати показання з розрізнених датчиків та формувати на їх основі загальну картину виробничого процесу. Звичайно, такий підхід був неефективним та трудомістким. За допомогою ІоТ можна включити всі датчики в одну єдину мережу, яка дозволить в режимі реального часу збирати та аналізувати інформацію, що надходить з різних виробничих ліній. Внаслідок такого підходу кількість шлюбу сильно скоротиться, що допоможе підвищити ефективність виробництва.

ІоТ генерує великі обсяги інформації, і це дозволяє отримати об'єктивну оцінку того, наскільки ефективно працюють різні лінії виробництва. Завдяки ІоТ збільшується обсяг даних, їх актуальність, а також швидкість їх подання та обробки. На зміну розрізненим верстатам приходить централізована виробнича лінія, яка дає можливість контролювати будь-яку ділянку, а також вплив виробництва на зовнішнє середовище.

Перевагою ІоТ є те, що технологія дозволяє відстежувати стан екології поруч із виробництвом. Сучасні вимоги до виробництва включають контроль над станом навколишнього середовища, а тому компанії прагнуть дотриматися існуючих стандартів в галузі екології. Пристрої ІоТ допомагають вивчити склад атмосфери, рівень забрудненості середовища, показники вологості та ін.

Резюмуючи вищезгадане, відзначимо, що ключова суть між двома технологіями полягає в тому, що ІоТ застосовують у повсякденному житті, а ІоТ – на виробництві. Технології відрізняються схожою назвою та загальними принципами роботи, але застосовуються вони для вирішення різних завдань.

Їх розвиток йде паралельно, але вони не перетинаються, і навряд чи будуть перетинатися надалі.

Технології IoT та PoT в останні роки перебувають на підйомі. До них прикута велика увага з боку різних сфер. За допомогою цих технологій створюються різнопланові програми для людей, бізнесу та промисловості. Компанії повинні розуміти, яким чином за допомогою IoT та PoT можна досягти економічного ефекту, і чи можна швидко масштабувати та переносити результати, отримані в одній індустрії, на інші сфери.

Успіх, якого змогли досягти такі великі компанії, як Netflix і Amazon, багато в чому ґрунтувався на застосуванні технології великих даних (Big Data), проте інші корпорації не змогли ефективно застосувати її у своїх бізнес-моделях. У цьому плані PoT пропонує більш високу гнучкість, пов'язану з впровадженням технології у виробництво, ніж Big Data. Однак при цьому дуже важливо заздалегідь створити відповідні бізнес-моделі та провести їх ретельний аналіз. Тільки в такому випадку можна уникнути популярних помилок, пов'язаних зі створенням бізнесу на базі PoT.

1.4. Статистика та тенденції "ІОТ".

Залишатися актуальним може бути складно, оскільки інтернет-користувачі створюють до 2.5 квінтільйонів байт даних на день. Щотижня здається, що випускається новий гаджет, пристрій або пристрій, що носить, що може швидко стати непосильним для багатьох людей.

Internet of things (IoT) допомагає нам осмислити всі дані у нашому житті, забезпечуючи автоматизацію, коли це необхідно. Оскільки пристрої з підтримкою IoT можуть підключатися до більшої мережі, вони можуть виконувати широкий спектр функцій. Однак це створює абсолютно новий набір проблем: захист цих даних. Якщо з'єднання IoT не захищене належним чином, це може призвести до катастрофічних наслідків.

Ми розглянемо останні тенденції, проаналізуємо прогнозні цифри та

дамо визначення пристроям IoT.

1. Епідемія COVID-19 впливає світовий ринок IoT. Очікується, що вартість на 2020 рік становитиме 742 мільярди доларів. (IDC)

Сектор Internet of things (IoT) з моменту свого створення знаходиться на захоплюючому шляху. У 2017 році ринковий виторг сектора склав 100 мільярдів доларів, і, якщо оцінки вірні, ця цифра зросте приблизно до 1.6 трлн доларів до 2025 року.

Проте, згідно з даними про зростання Internet of things, середньорічний темп зростання у 2020 році становитиме 8.2 відсотка, що становить приблизно половину від 14.9 відсотка, що прогнозується на кінець 2019 року. Прогнозується, що в 2021 році все повернеться на круги своя, з середньорічним темпом зростання в 11.3 відсотка від 2020 до 2024 року.

2. Близько 30% ринкової вартості зараз посідає апаратне забезпечення. (МакКінзі Діджітал)

Найбільш помітні зміни в цьому бізнесі, що швидко розвивається, будуть пов'язані з новим програмним забезпеченням, що забезпечує підключення пристроїв IoT.

Хоча статистика показує, що глобальна ринкова вартість технології IoT знижується, апаратне забезпечення, як і раніше, становить 30% від загальної вартості.

3. 127 пристроїв вперше підключаються до Інтернету за секунду. (МакКінзі Діджітал)

Споживачі зараз більш пов'язані, ніж будь-коли. Справді, статистика розумного будинку показує, що є багато причин оптимізму щодо майбутнього IoT.

Можливо, ви запитували себе: «Скільки існує IoT-пристроїв?» Нагадаємо, що у 2019 році кожен секунду до інтернету підключається близько 127 нових гаджетів. Як ви можете припустити, розвиненіші країни світу, які

мають повсюдне підключення до Інтернету, лідирують у цій чудовій статистиці.

4. Прогнозується, що у 2023 році кількість стільникових IoT-з'єднань досягне 3.5 мільярдів. (Форбс)

Очікується, що кількість стільникових пристроїв IoT значно зросте в результаті інтеграції II, машинного навчання та обробки даних у реальному часі, що надаються рішеннями IoT. Згідно з поточною статистикою пристроїв Internet of things, до 3.5 року загальна кількість пристроїв перевищить 2023 мільярди, при цьому лідирує Азія.

Справді, дослідники прогнозують, що до 2023 року лише у Північно-Східній Азії буде понад 2.2 мільярди пристроїв.

5. За оцінками, у 2022 році розумні фабрики в Північній Америці коштуватимуть понад 500 мільярдів доларів. (Джерела: Forbes та Statista)

Багато експертів передбачають, що ринок IoT у Північній Америці ще довго зростатиме завдяки розвитку розумного виробництва. Очікується, що вони змінять виробничий процес та значно підвищать продуктивність.

Статистичні дані про пристрої IoT у Сполучених Штатах наголошують на перспективності «розумних» заводів. Ці цифри свідчать, що найбільша економіка світу знову перебуває в авангарді цієї галузі. Двома секторами, що лідирують у цьому напрямку, є побутова електроніка та транспорт. Очікується, що до 1 року глобальні витрати на IoT досягнуть 2022 трлн доларів.

6. До 2025 року компанії можуть інвестувати в IoT до 15 трлн доларів. (гігабіт)

Багато фірм вже усвідомили величезний потенціал пристроїв Internet of things підвищення ефективності своєї діяльності. За даними IoT, багато виробників одягу, постачальники медичних послуг та муніципалітети вже вирішили інвестувати в цю технологію.

7. Очікується, що у 2021 році ринок промислового IoT коштуватиме 123.89 мільярда доларів. (i-SCOOP)

Враховуючи, як Internet of things трансформує не лише підприємства, а й цілі галузі та навіть країни, не дивно, що промислова експансія IoT призведе до збільшення кількості IoT-пристроїв у 2021 році.

Якщо статистика зростання IoT є вірною, цей бізнес, безсумнівно, підірве основи світового промислового виробництва. Пристрої Internet of things, наприклад, можуть змінити спосіб обміну даними між важкою технікою та пристроями моніторингу, що призведе до значного підвищення ефективності.

8. До 2025 року обсяг даних, створюваних пристроями IoT, досягне 73.1 ZB (зеттабайт). (IDC)

Згідно зі статистикою великих даних IoT, зі зростанням впровадження пристрою генеруватиме експоненційно більше даних у всьому світі в найближчі роки. До 2025 року ці цифри зростуть до 73.1 ЗБ, що на 422% вище, ніж 17.3 року, коли було 2019 ЗБ. Для порівняння: зеттабайт складає 1021 байт, що еквівалентно одному мільярду терабайт (ТБ) або трильйон гігабайт (ГБ).

9. У 2019 році 86% медичних організацій так чи інакше використали технологію IoT. (компаратех, i-SCOOP)

У сфері охорони здоров'я ринок IoT зростає особливо приємними темпами. Це має сенс; віддалений моніторинг та телемоніторинг можуть значно покращити якість та швидкість медичних послуг.

IoT також корисний для розробки апаратного та програмного забезпечення для моніторингу, яке може допомогти людям краще стежити за своїм здоров'ям. Оскільки технологія ще молода, медичні дані IoT ще не виявляли ці переваги.

10. Очікується, що 2022 року глобальна індустрія охорони здоров'я Інтернету промов (IoT) коштуватиме 158.1 мільярда доларів. (Делойт, Огляд ринку)

Згідно з останніми статистичними даними про пристрої IoT для охорони здоров'я, середньорічний темп зростання IoT у сфері охорони здоров'я, як очікується, становитиме 28.6% у 2021 році. Наразі галузь оцінюється майже на третину більше, ніж у 2015 році, коли вона коштувала 14,28 мільярда доларів. Зростання попиту, ширше використання хмарних платформ та збільшення кількості мобільних додатків визначають ці статистичні дані та вимірювання IoT.

11. У 2020 році, за даними Forbes, у лікарнях, клініках та медичних закладах використовуватиметься 646 мільйонів пристроїв IoT. (Форбс)

Незважаючи на те, що ці цифри медичних пристроїв IoT здаються позитивними, і галузь здравоохранення, безсумнівно, виграє від поширення технології IoT, обсяг даних, що збираються щодня, може створити проблему.

Обсяг медичних даних у середньому підвищується кожні 73 дні у секторі IoT. В результаті впровадження заходів безпеки IoT та пошук адекватних рішень для зберігання даних стануть головним пріоритетом у найближчому майбутньому.

12. За прогнозами Grand View Research, до 534.3 року світова індустрія охорони здоров'я IoT досягне 2025 млрд. доларів. (Дослідження Гранд Вью)

Прогнозується, що бізнес IoT у сфері охорони здоров'я зростатиме в середньому на 19.9% протягом наступних п'яти років, при цьому ринок IoT швидко зростає на тлі зростання потреби в моніторингу даних в режимі реального часу.

13 Привабливість була першою установою кваліфікованої медичної допомоги, яка у липні 2017 року використовувала пристрій віддаленого моніторингу EarlySense, який відстежує показники життєдіяльності пацієнтів. (Від Allure Group)

Ранні інвестиції в Internet of things виявились прибутковими. Allure, заснування для людей похилого віку в Брукліні, було одним з перших, хто впровадив EarlySense, систему, яка використовує датчики, поміщені під

матраци та подушки, для вимірювання основних показників життєдіяльності та рухів.

ІоТ клініки в статистиці охорони здоров'я через шість місяців показав фантастичні результати. Падіння пацієнтів скоротилися на 45 відсотків, пролежні – на 60 відсотків, а епізоди синього коду – на 80 відсотків.

Відродження ідей десятирічної давності, таких як штучний інтелект, змінило на краще традиційні промислові умовності. Це викликало цифрову революцію, яка раніше вважалася науковою фантастикою такими авторами, як Жюль Верн та Артур Конан Дойль.

РОЗДІЛ 2

ЗАСТОСУВАННЯ ІОТ У ПРОМИСЛОВОСТІ ТА УПРАВЛІННІ

2.1. Дослідження застосування Internet of things в промисловості

Internet of Things (IoT) - це мережа датчиків, пристроїв та програмного забезпечення, які спільно працюють, щоб обмінюватися даними та доставляти їх високоефективним способом. Воно може бути використане в промисловості для управління операціями та покращення продуктивності. Нижче наведено деякі галузі промисловості, де IoT може бути використано (рис.2.1):

1.Виробничі лінії. IoT може керувати виробничими лініями шляхом автоматизації їхньої роботи, що збільшує ефективність та скорочує помилки.

2.Моніторинг обладнання. IoT може допомогти у моніторингу стану обладнання та визначенні напрямків для профілактичного обслуговування та заміни.

3.Оптимізація логістики. IoT може бути використаний для розробки більш ефективних систем управління запасами та доставки продуктів.

4.Управління процесом виробництва. IoT може керувати процесом виробництва, включаючи моніторинг, вимірювання, аналіз та контроль у реальному часі.

5.Моніторинг робочої сили в. IoT може допомогти підприємствам контролювати та керувати робочою силою, включаючи моніторинг робочого часу та ефективності.

6.Управління енергоспоживанням. IoT може допомогти підприємствам контролювати та керувати своїм енергоспоживанням, що призводить до зниження витрат та зменшення вуглецевого сліду.

Використання IoT у промисловості може покращити виробничі процеси, підвищити ефективність та зменшити витрати.

Одне із застосувань IoT у промисловості - це створення пов'язаних пристроїв для збирання даних та аналізу інформації. Це дозволяє оптимізувати

виробничі процеси та підвищити якість продукції.

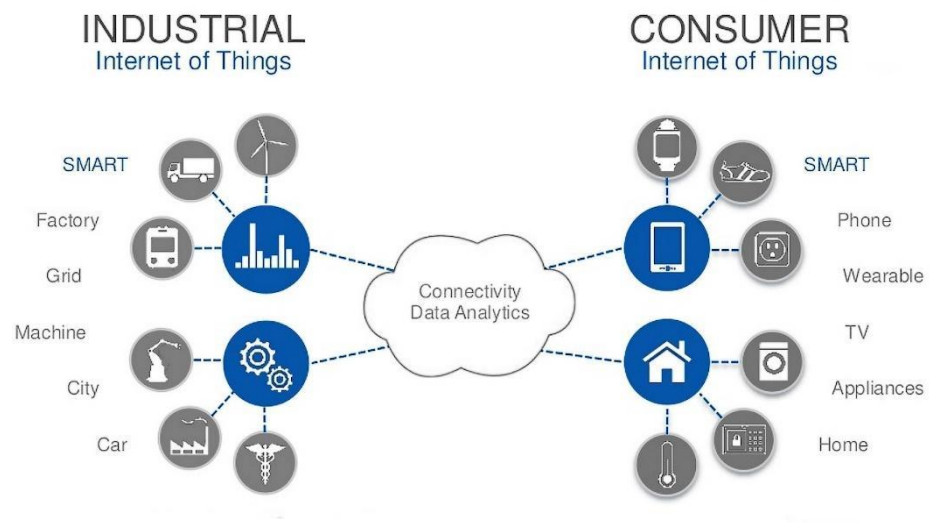


Рисунок 2.1 – Завтосування IoT в сучасному економічному просторі

Наприклад, IoT пристрої можуть використовуватися для моніторингу обладнання на виробничих лініях, визначення потенційних несправностей та сповіщення операторів про необхідність обслуговування. Це може допомогти значно скоротити час простою та знизити кількість дефектних виробів.

IoT також може бути використаний для управління енергоспоживанням на підприємстві. Системи автоматизації та управління опаленням, вентиляцією та кондиціонуванням, а також освітлення можуть бути пов'язані в єдину мережу та керуватися з централізованої панелі управління. Це дозволяє оптимізувати використання ресурсів та знизити витрати на енергію.

Крім того, IoT може бути використаний для створення "розумних" фабрик, які повністю автоматизовані і можуть працювати без участі людини. Датчики та пристрої, пов'язані з інтернетом, забезпечують безперервну передачу даних до центральної системи управління, що дозволяє своєчасно визначати несправності та проводити профілактику обладнання.

Таким чином, IoT у промисловості - це не просто модний тренд, а й ефективний інструмент для оптимізації виробничих процесів, підвищення якості продукції та мінімізації витрат.

2.2. Дослідження застосування Internet of things в транспортній сфері

IoT (інтернет речей) використовується в транспорті та логістиці для підвищення ефективності, оптимізації процесів та покращення безпеки. У цьому розділі ми розглянемо докладніше, як IoT використовується у транспортній та логістичній областях (рис.2.2).

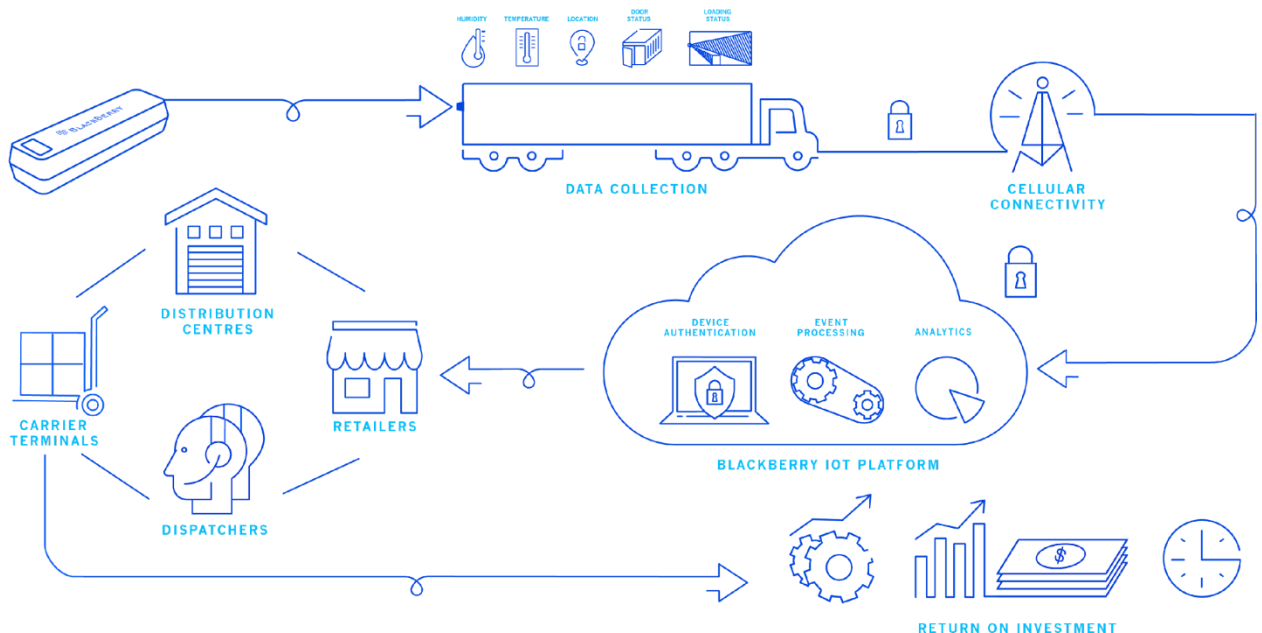


Рисунок 2.2. Застосування IoT у логістиці

До областей провадження IoT у транспортній сфері відносяться:

-Відстеження вантажів та транспорту

Використання IoT-датчиків та GPS-маяків на вантажних машинах, контейнерах, товарних поїздах та інших транспортних засобах дозволяє відстежувати та моніторити їх переміщення. Це забезпечує можливість контролювати розташування вантажів та транспорту, а також забезпечує захист від крадіжок та втрат вантажу.

-Оптимізація маршрутів та доставки

IoT дозволяє оптимізувати маршрути доставки та зменшувати час у дорозі. Аналіз даних дозволяє в режимі реального часу перенаправляти вантажі на оптимальний маршрут, уникаючи заторів, аварійних ситуацій та інших перешкод на шляху.

-Зменшення витрат на паливо

Моніторинг витрат палива та поведінки водіїв дозволяє компаніям ефективно керувати витратами на паливо. Автоматичне визначення найкоротшого маршруту доставки за оперативними даними про щільність трафіку, погодні умови та експлуатаційні характеристики транспортних засобів може дозволити знизити витрату палива на 20%.

-Запобігання нештатним ситуаціям

IoT-датчики на транспортних засобах можуть визначати можливі несправності, повідомляючи на ранній стадії необхідність проведення технічного обслуговування, щоб запобігти аварійній ситуації. Це дозволяє покращити безпеку на дорогах і знизити витрати на ремонт у разі несправностей, які можуть призвести до серйозних пошкоджень.

-Управління складом

IoT-датчики, смарт-мітки та інші пристрої дозволяють не лише відстежувати переміщення вантажів, а й керувати складом. Так, наприклад, роботизовані склади, що базуються на IoT-технологіях, дозволяють автоматично керувати інвентаризацією, переміщувати вантажі на складі, прискорювати та полегшувати процес відбору та постачання товару.

-Поліпшення безпеки

IoT-пристрої дозволяють покращити безпеку на дорогах та у транспорті. Наприклад, системи попередження про зіткнення можуть сигналізувати водію про наявність інших транспортних засобів або перешкод на шляху, завдяки чому знижується ризик аварій. Також системи моніторингу водіїв можуть стежити за їхньою поведінкою на дорогах та запобігати порушенням правил дорожнього руху.

-Оптимізація ланцюжка поставок

IoT-технології можуть використовуватися для оптимізації ланцюжка постачання, включаючи логістику та управління запасами. IoT-пристрої дозволяють збирати дані про інвентар, замовлення та постачання, а також надавати оперативну інформацію про статус замовлень та наявність товарів на складах. Це може допомогти компаніям скоротити час та витрати на логістичні операції та покращити управління запасами.

В цілому, IoT у транспорті та логістиці дозволяє покращити ефективність бізнесу, скоротити витрати на виробництво та логістику, підвищити якість продукції та покращити безпеку на дорогах. Це допомагає компаніям зберігати конкурентні переваги та залишатися у лідерах своєї галузі.

2.3. Дослідження застосування Internet of things в інших сферах сучасного господарства

1. Екологія та охорона природи

IoT – це технологія, яка дозволяє пристроям та об'єктам взаємодіяти між собою через Інтернет. Ця технологія також може використовуватися для екологічних та стійких цілей, таких як покращення управління енергоспоживанням, зниження викидів парникових газів, моніторинг здоров'я рослинності та тварин в екосистемах тощо (рис. 2.3).

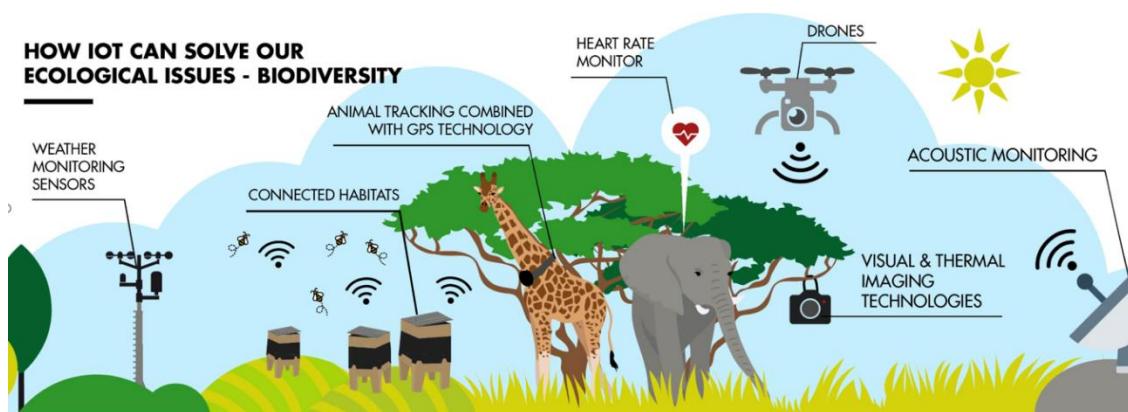


Рисунок 2.3 – Застосування IoT у дикій природі

Одним із численних прикладів IoT в екології є використання сенсорів, які можуть вимірювати різні показники навколишнього середовища, такі як якість повітря, рівень шуму, температуру та вологість ґрунту, а також заряджати процесори від сонячних батарей. Ці пристрої можуть допомогти визначити та аналізувати показники навколишнього середовища у реальному часі.

IoT також може бути використаний для збору та аналізу даних, пов'язаних із споживанням енергії. Системи розумного будинку можуть керувати світлом, опаленням, охолодженням та пристроями, використовуючи аналітику даних для оптимізації енергоспоживання. Розумні рубильники можуть відстежувати енергоспоживання та відключати живлення в приміщеннях, що не використовуються. Такі пристрої можуть заощадити енергію, а також зробити споживання ефективнішим, що призведе до зниження викидів парникових газів.

Хоча IoT може мати позитивний внесок у екологічну сферу, є й небезпека. Наприклад, сенсори, які встановлюються в екосистемах і на тваринах, можуть призвести до їхнього занепокоєння і навіть травм. Витік даних та вразливості кібербезпеки також можуть становити небезпеку для екосистем, а також для здоров'я та конфіденційності людей.

Тому важливо збалансувати використання IoT в екології та охороні природи. Необхідно забезпечити надійний захист даних та застосовувати ці технології відповідно до законодавства, яке захищає природу та екосистеми.

Крім того, важливо проводити навчання та підвищення поінформованості серед населення про те, як IoT може допомогти охороні природи та екосистем. Програми навчання та просвітницької роботи можуть сприяти більш ефективному та безпечному використанню IoT серед усіх груп населення.

Загалом IoT може бути потужним інструментом для ефективної охорони природи та екосистем. Але для досягнення цієї мети необхідне використання

цих технологій з урахуванням екологічних та стійких принципів, щоб упоратися з викликами, що стоять перед природою та людством.

Можливості IoT можуть застосовуватись і в інших галузях, пов'язаних з охороною природи. Наприклад, у сільському господарстві та лісовому господарстві, де IoT може збір даних про стан ґрунту та рослинності, допомогти у прогнозі погоди та управлінні водними ресурсами. Технології IoT можуть запобігти переускладненню рослинності та тварин у лісах, що допоможе зберегти природні екосистеми.

Використання IoT також може підвищити ефективність робіт з біорізноманіття. Датчики можуть використовуватися для моніторингу чисельності тварин, які потребують охорони, а також для відстеження та запобігання незаконному видобутку та торгівлі дикими тваринами.

В цілому, IoT має великий потенціал для охорони природи та пом'якшення впливу людської діяльності на навколишнє середовище. Але, як і в будь-якій іншій галузі, при використанні цієї технології необхідно враховувати фактори екологічності та стійкості для того, щоб використовувати її максимально ефективно та мінімізувати негативний вплив на природу та довкілля.

2. Сільське господарство

IoT може сильно змінити сільське господарство, зробивши його більш продуктивним, стійким, економічно ефективним та екологічно безпечним. Рішення IoT включають використання сенсорної технології, бездротових мереж та хмарних обчислень для збору та обробки даних для управління виробництвом та покращення прогнозування (рис.2.4).

Однією з багатьох можливостей, що надаються IoT у сільському господарстві, є моніторинг стану ґрунту та рослинності. За допомогою датчиків рівня вологості ґрунту, температури, поживності та інших факторів можна дізнатися, які щеплення потрібні ґрунту або які добрива необхідні

підвищення якості врожаю. Бездротові сенсори можуть автоматично керувати системами зрошення назовні управління ресурсами води.

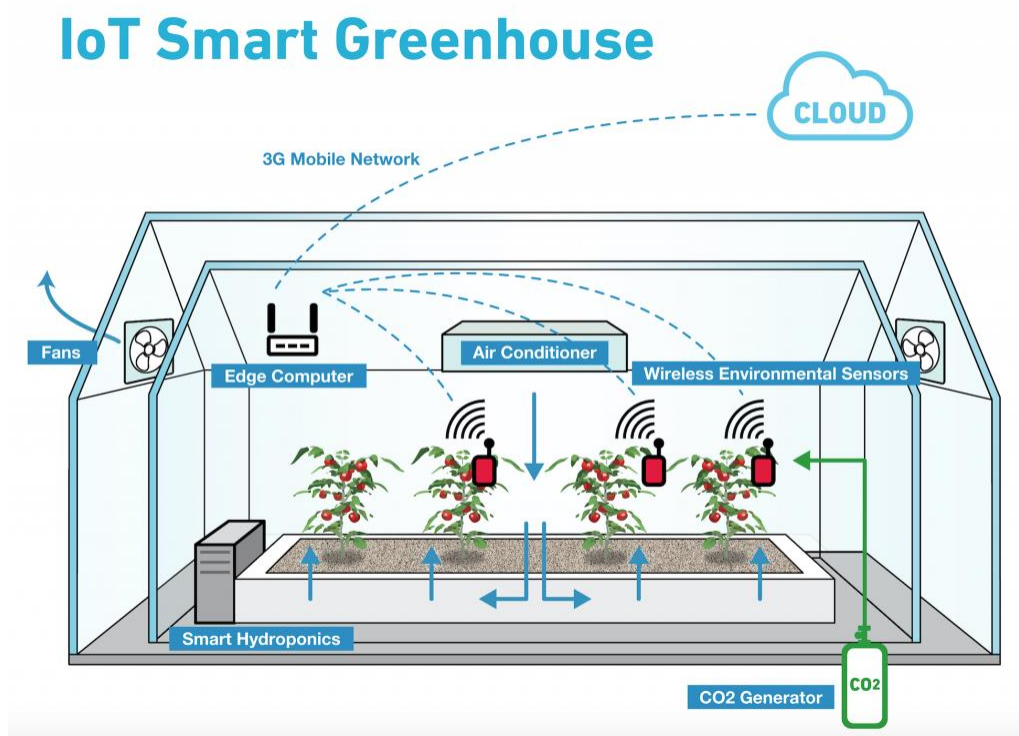


Рисунок 2.4. Застосування IoT у сільському господарстві

Іншою важливою сферою використання IoT у сільському господарстві є тваринництво. Датчики можуть відстежувати стан тварин та допомогти запобігти захворюванням. Пристрої для віддаленого моніторингу та управління забезпечують швидке реагування на зміни у тваринницькій продукції.

Крім того, IoT може використовуватися для управління екіпіруванням та машинами, підвищуючи ефективність та загальну продуктивність у сільському господарстві. Датчики, встановлені на тракторах, що обробляють машини та іншу техніку, можуть повідомляти про зміни в роботі, запобігаючи несправності та знижуючи витрати на ремонт.

Загалом IoT має великий потенціал для оптимізації сільського господарства, усунення нерівності у розподілі продуктів харчування та

зниження навантаження на довкілля. Але важливо, щоб технології були доступні та використовувалися справедливо

3. Будівельна індустрія

Інтернет речей (IoT) може сильно змінити будівельний сектор, зробивши його більш ефективним, безпечним та економічно вигідним. Рішення IoT можуть включати використання сенсорної технології, бездротових мереж і хмарних обчислень для збору і обробки даних для управління проектами і поліпшення прогнозування.

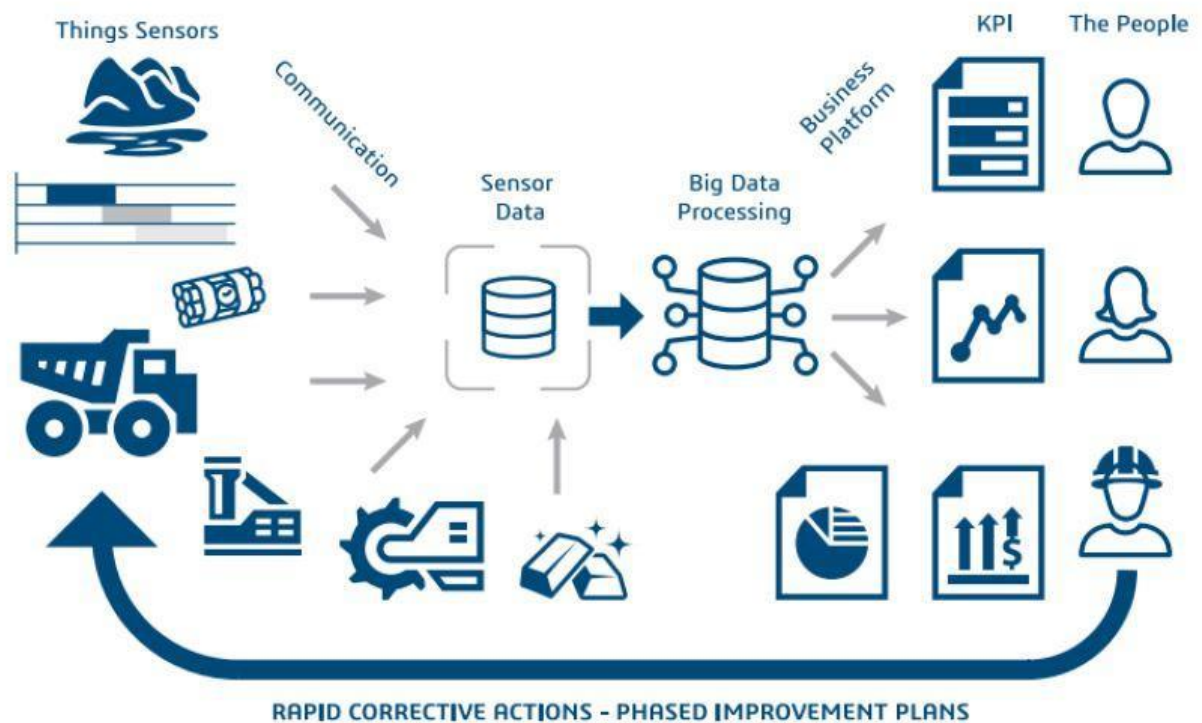


Рисунок 2.4. Застосування IoT

Однією з можливостей, що надаються IoT у будівельній галузі, є моніторинг умов будівництва та навколишнього середовища. За допомогою датчиків температури, освітленості, вологості, пилу та інших факторів можна відстежувати умови на будівельному майданчику. Ця інформація може бути використана для прийняття рішень щодо безпеки, контролю над завданнями та оптимізації виробничих процесів.

Другим важливим застосуванням IoT у будівельній галузі є управління енергоспоживанням та освітленням з моменту проектування та закінчуючи експлуатацією будівлі. Датчики можуть відстежувати рівень освітлення та температуру всередині будівлі, а також використані енергоресурси, що допомагає знизити витрати на електроенергію та скоротити вплив на довкілля.

Крім того, різні пристрої IoT, такі як дрони та роботи, можуть використовуватися для інспекції та технічного обслуговування будівель та споруд. Це дозволяє виявити можливі проблеми завчасно та вжити заходів щодо їх усунення до того, як вони викличуть серйозні наслідки.

Приклади рішень IoT у будівельній галузі включають:

1. Панелі керування освітленням, які використовують датчики руху та освітленості для регулювання яскравості та зниження енергоспоживання

2. Системи моніторингу та управління навколишнім середовищем, які використовують датчики для відстеження рівня шуму, вібрацій та пилу на будівельному майданчику.

3. Розумні будівлі, які можуть автоматично керувати комфортом та безпекою будівель, такими як системи опалення, кондиціонування повітря, освітлення та доступу.

4. Системи технічного обслуговування будівель, які використовують дрони та роботи для інспекції та проведення технічного обслуговування.

5. Системи управління виробничими процесами підвищення ефективності і зниження витрат.

6. Системи моніторингу стану будівель, які використовують датчики та аналітику даних для забезпечення більш точного прогнозування ремонту та обслуговування.

Наприклад, компанія Triax Technologies розробила систему моніторингу будівельного майданчика, що використовує розпізнавання особи та датчики, щоб відстежувати переміщення робітників на будівництві, визначити точки перетину між різними групами робітників та запобігти можливим

небезпечним ситуаціям. Цей підхід може істотно підвищити безпеку на будівництві.

Ще один приклад - компанія John Deere розробила систему розумної техніки, яка включає GPS-навігацію, технології штучного інтелекту та моделювання даних, що дозволяє виробникам сільськогосподарської техніки підвищувати продуктивність та ефективність, зменшувати витрати на обслуговування та підвищувати якість продуктів.

В цілому, IoT у будівельній галузі може покращити управління проектами, підвищити безпеку та економічну ефективність, а також допомогти знизити вплив на довкілля.

Звичайно, існують деякі виклики, пов'язані з використанням IoT в будівельній галузі. Наприклад, встановлення достатньої кількості датчиків для повного охоплення будівлі або будівництва може бути дорогим. Також деякі експерти вважають, що існує певна загроза кібербезпеці, оскільки велика кількість пристроїв IoT можуть бути піддані кібератакам.

Однак, незважаючи на виклики, експерти вважають, що IoT продовжуватиме змінювати будівельну галузь, підвищуючи її ефективність та безпеку. Використання IoT технологій у будівництві допоможе підприємствам більш точно управляти проектами, а також підвищити економічну ефективність та мінімізувати вплив на довкілля.

4. Телекомунікація та зв'язок

Телекомунікаційні оператори відіграють важливу роль у створенні та підтримці мереж IoT. Провідні компанії телекомунікацій інвестують у розробку та розширення мережевої інфраструктури, що дозволяє покращити якість та швидкість передачі даних.

Крім того, телекомунікаційні оператори надають послуги зв'язку для пристроїв IoT, такі як SIM-картки та модулі, що забезпечують безпечне та надійне підключення до мережі. Також вони надають послуги управління

даними, що допомагає клієнтам IoT збирати та аналізувати дані, що генеруються пристроями.

Однією з головних переваг IoT є можливість віддаленого моніторингу та керування пристроями, що дозволяє компаніям скорочувати витрати на обслуговування та ремонт обладнання. Телекомунікаційні оператори відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки пристроїв IoT, перевіряючи та оновлюючи програмне забезпечення та прошивки, а також виявляючи та запобігаючи кібератакам та іншим загрозам.

Інтернет речей та телекомунікації нерозривно пов'язані, і в майбутньому вони продовжуватимуть взаємодіяти, щоб забезпечити надійне та ефективне функціонування безлічі пристроїв IoT.

Бездротові технології, такі як Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, LoRaWAN та NB-IoT також є ключовими компонентами мереж IoT. Ці технології забезпечують бездротове підключення пристроїв до Інтернету та надають високу пропускну здатність, надійність та безпеку передачі даних.

Крім того, розвиток 5G-мереж обіцяє значно покращити продуктивність мереж IoT, забезпечуючи більшу швидкість передачі даних та меншу затримку. Це уможливить ширше використання IoT-пристроїв у різних галузях.

Однак, розвиток IoT також ставить перед операторами зв'язку низку викликів та проблем, таких як необхідність забезпечення безпеки мереж та пристроїв IoT, збільшення кількості даних, які необхідно обробляти та зберігати, та підвищення вимог до швидкості та пропускнуої спроможності мереж.

Незважаючи на це, телекомунікаційні оператори продовжують активно інвестувати в IoT і розробляти нові технології та послуги, щоб задовольнити потреби ринку IoT, що росте.

В цілому, IoT створює нові можливості та виклики в галузі телекомунікацій та зв'язку. Він розширює область впровадження технологій

зв'язку, надаючи ширший діапазон послуг та товарів, які можуть допомогти покращити ефективність, продуктивність та безпеку в різних галузях.

Телекомунікаційні оператори, які пристосуються до нових вимог ринку та розвиватимуть нові рішення, зможуть зайняти лідируючі позиції на ринку та отримати значну частку ринку IoT. У той же час компанії, які не будуть готові до змін, можуть втратити своїх клієнтів і позиції на ринку.

Однак важливішим є те, що спільний розвиток IoT та телекомунікаційних технологій допомагає покращити якість життя людей та зробити наш світ більш ефективним та безпечним.

5. Харчова промисловість

Використання IoT у харчовій промисловості дозволяє автоматизувати процеси, підвищити ефективність виробництва, знизити витрати та покращити якість продукції.

Ось кілька прикладів використання IoT у харчовій промисловості:

1. Моніторинг умов зберігання продуктів

IoT-сенсори можуть бути встановлені для моніторингу температури, вологості та інших факторів, які можуть позначитися на якості продуктів. Це дозволяє попереджати про небезпечні ситуації в реальному часі та вживати заходів щодо збереження якості товарів.

2. Відстеження процесу виробництва

IoT-датчики у поєднанні із програмним забезпеченням можуть використовуватися для відстеження кількох параметрів у реальному часі. Наприклад, температуру смаження та інші фактори можуть бути відстежені під час виробництва, що дозволить операторам налаштувати процес для досягнення максимальної ефективності без шкоди для якості продукту.

3. Управління інвентаризацією

IoT-технології можуть знизити витрати на інвентаризацію та контроль складських запасів, наприклад, шляхом використання систем RFID. Рішення, засновані на IoT, можуть надати автоматичну інформацію про рівні запасів,

невеликі кількості і сигналізувати про необхідність додаткових закупівель, що дозволяє знизити ймовірність недопостачання та надлишкових запасів.

4. Моніторинг якості продукції

IoT технології можуть бути використані для аналізу якості продукції в реальному часі. Наприклад, певні характеристики продукту, такі як вміст солі, можуть бути виміряні та відправлені на сервер для аналізу. Якщо продукт не відповідає заданим параметрам, система IoT може автоматично налаштувати процес виробництва, щоб коригувати якість продукту.

5. Надійність постачання

IoT-технології можуть допомогти підвищити надійність постачання. Наприклад, технологія IoT може бути використана для відстеження часу доставки та продуктів на місці доставки, щоб переконатися, що товари були доставлені вчасно та в хорошому стані.

6. Створення інноваційних продуктів

За допомогою IoT-технологій можна створювати інноваційні продукти, що базуються на аналізі даних споживачів. Наприклад, дані, зібрані від покупців про покупки та переваги, можуть бути використані для розробки нових товарів та оптимізації існуючих.

7. Автоматизація процесів

IoT-технології можуть допомогти автоматизувати багато процесів у харчовій промисловості, такі як управління інвентаризацією, моніторинг якості продукції, відстеження процесу виробництва та моніторинг умов зберігання продуктів.

8. Поліпшення безпеки продукції

Використання IoT-технологій у харчовій промисловості може грати важливу роль у забезпеченні безпеки продукції. Наприклад, система IoT може відстежувати температуру та інші умови зберігання та перевезення продуктів, щоб запобігти потенційному ризику їх псування або зараження бактеріями.

Також IoT технології можуть використовуватися для відстеження шляхів стерилізації та дезінфекції упаковки продукції.

9. Оптимізація управління виробництвом

IoT-технології можуть грати вирішальну роль оптимізації управління виробництвом. Системи збору, аналізу та передачі можуть використовуватися підвищення ефективності операційних процесів, зниження витрат за складування і з рухом товарних запасів.

10. Поліпшення стійкості до екологічних ризиків

IoT-технології можуть допомогти компаніям у харчовій промисловості покращити стійкість до кліматичних змін та екологічних ризиків. Наприклад, системи IoT можуть допомогти знизити рівень відходів та споживання енергії та води, а також оптимізувати використання ресурсів.

Використання IoT-технологій у харчовій промисловості може сприяти підвищенню якості продукції, зростанню прибутку та довірі споживачів. Однак впровадження IoT-рішень може бути складним і вимагатим особливої уваги до безпеки, якості переданих даних та економічних показників.

6. Медицина

IoT (Internet of Things) у медицині - це використання пристроїв та технологій, що об'єднуються у мережу для взаємодії з пацієнтами та медичним персоналом. Такі пристрої включають датчики, монітори життєвих показників, медичні прилади, розумні технології для домашнього догляду та інші.

Застосування IoT у медицині має кілька цілей:

1. Моніторинг життєвих показників: IoT-пристрої можуть безперервно відстежувати такі параметри, як пульс, кров'яний тиск, рівень кисню в крові, цукор у крові та інші та передавати інформацію до системи моніторингу здоров'я.

2. Діагностика та лікування: IoT-технології дозволяють в реальному часі аналізувати дані, зібрані з медичних пристроїв, та використовувати їх для

надання точної діагностики та лікування.

3.Управління здоров'ям: IoT-пристрої можуть використовуватися для навчання пацієнтів правильному управлінню своїм здоров'ям, наприклад, налаштування сумісних дієт і регулярності медичних процедур.

Приклади застосування IoT в медицині включають:

- Датчики, наприклад, пристрої для моніторингу рівня цукру в крові та інсулінових насосів для людей з діабетом.
- Моніторинг тиску, серцевого ритму та інших життєво важливих показників.
- Розумні домашні системи, які можуть надсилати сигнали тривоги, якщо пацієнт раптово падає або потребує медичної допомоги.
- Телемедицина, де пацієнт та лікар можуть спілкуватися в режимі реального часу, використовуючи веб-камери, монітори життєвих показників та інші пристрої IoT.

В цілому, IoT-технології надають медичній галузі нові можливості для покращення якості охорони здоров'я та управління здоров'ям пацієнтів. Наприклад, використання IoT дозволяє на ранній стадії виявляти захворювання та проблеми зі здоров'ям, а також скорочувати час, що витрачається на діагностику та лікування. Завдяки цьому пацієнти можуть отримувати більш ефективне лікування та своєчасну медичну допомогу, що може підвищити якість та тривалість їхнього життя.

Однак використання IoT у медицині також пов'язане з деякими ризиками та проблемами, такими як захист персональної інформації пацієнтів, недостатній захист від кібератак та неправильно налаштовані пристрої, які можуть давати неточну або небезпечну інформацію. Тому необхідно розробити відповідні протоколи та стандарти для безпеки та захисту даних, а також навчати персонал медичних закладів використання цих технологій.

Загалом використання IoT в медицині представляє потенційно величезний прорив у галузі охорони здоров'я і може допомогти підвищити

якість життя мільйонам людей по всьому світу. Однак, щоб це сталося, необхідно правильно вирішувати проблеми безпеки та навчання персоналу, який використовує ці технології.

2.4. Дослідження концепції та алгоритмів роботи «розумних міст»

Розумне місто (Smart city) – це місто, яке використовує технології IoT для покращення життя для своїх громадян (рис.2.5).

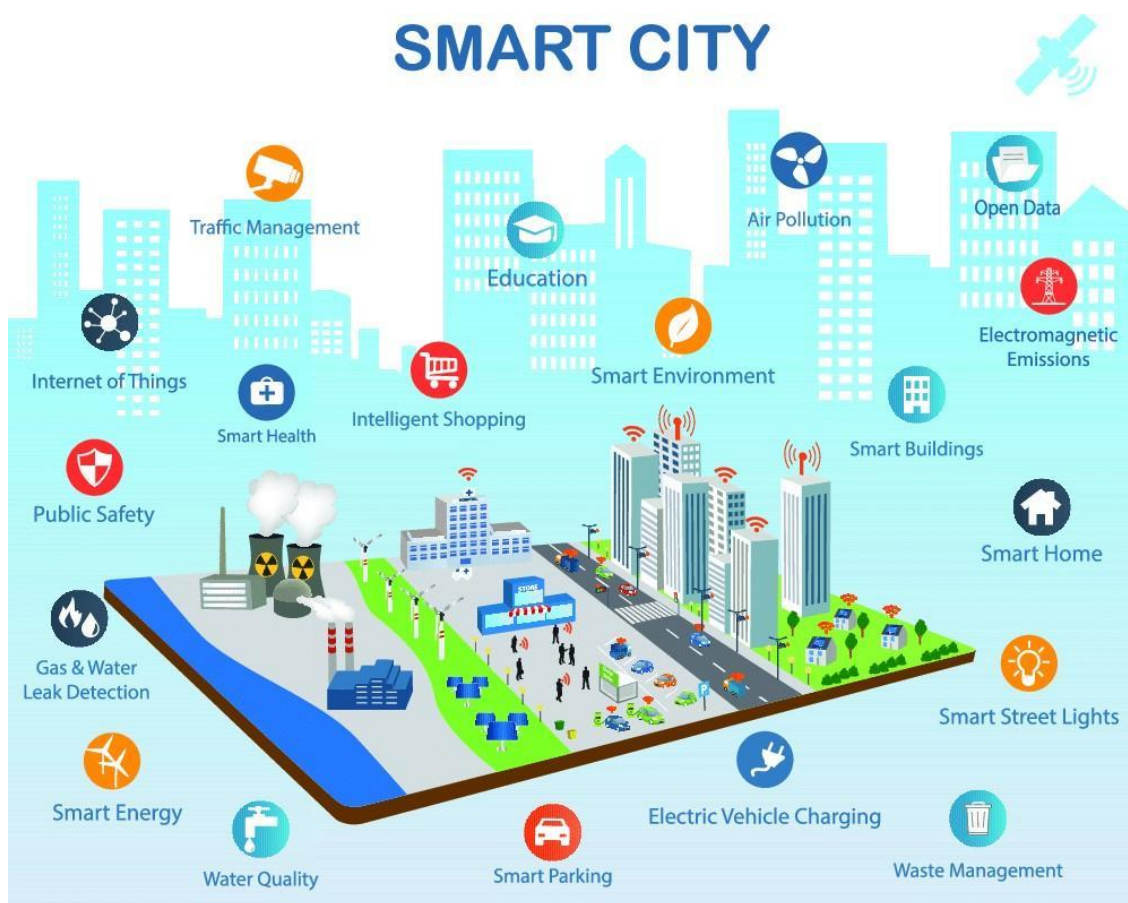


Рисунок 2.5. Концепція роботи Smart city

IoT в розумному місті охоплює всі аспекти життя в місті, починаючи від управління транспортом та енергоспоживанням до управління міською інфраструктурою, таке як сміття, водопостачання, газ та ін.

Різні пристрої, такі як датчики, камери, лічильники і т.д., моніторять міські системи та збирають дані про продуктивність, навантаження та

використання. Ця інформація потім передається у центральний вузол, де вона обробляється та аналізується, забезпечуючи управління та прийняття рішень на основі даних.

У розумному місті IoT також використовується для підвищення рівня безпеки та зручності життя громадян. Наприклад, системи безпеки, такі як камери відеоспостереження та сенсори звуку, використовуються для виявлення злочинів та потенційних загроз. Крім того, пристрої IoT можуть використовуватися для полегшення руху транспорту, керування освітленням та температурою в будинках, а також для швидшого реагування на питання громадян.

Одним із прикладів застосування IoT у розумному місті є керування транспортом. Системи моніторингу та керування транспортним потоком на основі IoT можуть оптимізувати рух транспорту на дорогах, зменшуючи пробки та збільшуючи швидкість пересування. Наприклад, у розумному місті можуть бути встановлені датчики, які зчитуватимуть інформацію про трафік і автоматично регулюватимуть світлофори відповідно до обсягу транспорту на дорогах.

Ще одне застосування IoT в розумному місті - це використання датчиків для збору інформації про використання ресурсів, наприклад, електрики та води, їх розподіл та використання. Ці дані можуть бути передані до системи розумного будинку для оптимізації споживання енергії та води.

Розумне місто може використовувати IoT для моніторингу та управління системою громадського транспорту, інформування громадян про розклад та зміни маршрутів, а також для управління паркувальними місцями, сміттям та іншими міськими службами.

Крім того, IoT у розумному місті може використовуватись для підвищення рівня безпеки громадян. За допомогою камери відеоспостереження та датчиків можна виявити та запобігти кримінальним діям, а сповіщення про події зможе бути автоматичним.

IoT у розумному місті може знижувати витрати на експлуатацію та обслуговування міської інфраструктури, т.к. він може управляти в режимі реального часу даними про використання ресурсів, співробітникам міських служб не доведеться заново перевіряти ці дані.

Впровадження IoT у розумне місто також може змінити сферу праці та створити нові робочі місця, пов'язані з технічною підтримкою, аналізом даних, проектуванням тощо. Однак, це може також призвести до автоматизації ряду процесів та скорочення кількості ручних працівників.

У майбутньому, IoT у розумних містах розвиватиметься і ставатиме все більш складною та інтегрованою системою, яка буде здатна вирішувати такі проблеми, як екологічні кризи, зміна клімату, демографічні зміни та інші виклики сучасного світу.

Зараз у світі вже існує кілька розумних міст, які використовують IoT-технології для оптимізації життя мешканців та покращення якості міської інфраструктури. Наприклад, у Лос-Анджелесі встановлено датчики для моніторингу рівня води в річках та океані, а також для попередження про повінь та інші природні катастрофи.

У Копенгагені, використовуючи IoT, розробляється «розумний» міський транспорт, який регулюватиме світлофори, керуватиме та автоматично визначатиме маршрути громадського транспорту.

Ще одним прикладом є Харків, де на основі IoT розроблено систему управління транспортом, яка дозволяє відстежити розклад та рух автобусів у режимі реального часу, збирати статистику використання маршрутів та аналізувати пробки на дорогах.

Однак, щоб створити повноцінне розумне місто, необхідно скоординувати зусилля та взаємодію між державою, приватним сектором та громадськістю. Крім того, необхідні інноваційні рішення для вирішення особливих місцевих умов та потреб конкретного міста.

В цілому, IoT-технології вже застосовуються в розумних містах по всьому світу, і їхній потенціал для вдосконалення життя жителів міст величезний. Однак, необхідно враховувати інтереси громадян та шукати рішення для мінімізації можливих ризиків, пов'язаних із використанням нових технологій.

Для успішної реалізації IoT у розумних містах необхідно створити чіткі правові та нормативні бази, які враховували б особливості роботи та використання IoT, а також визначали б відповідальність і права всіх сторін, включених у використання IoT.

Крім того, істотну роль у створенні розумних міст відіграють потужні IT-інфраструктури, оскільки це система визначення та управління в реальному часі, в якій дані з усіх секторів міста мають бути взяті до уваги.

Іншою важливою складовою в реалізації IoT у розумних містах є захист даних та забезпечення безпеки. Збираючи та передаючи дані, пов'язані з життям та діяльністю людей у місті, IoT збільшує ризик хакерських атак та порушення конфіденційності персональних даних. Тому важливо забезпечити безпеку даних на всіх рівнях: від захисту пристроїв та додатків до вжиття заходів щодо виявлення та запобігання кібератакам.

Також, при розробці систем IoT необхідно передбачити заходи захисту від технічних відмов та переривань енергопостачання, а також підходи для забезпечення надійності та доступності мережі у критичних ситуаціях.

Важливим фактором є і громадська думка, оскільки IoT передбачає збирання великої кількості даних про життя та діяльність людей, і деякі люди можуть побоюватися, що це може залишити слід у їхньому житті. Тому важливо проводити інформаційну кампанію та діалог із суспільством, щоб роз'яснити переваги та ризики IoT, а також зібрати відгуки та побажання мешканців міста.

Крім того, при розробці IoT-систем для розумних міст необхідно враховувати економічні чинники. Вкладення в IoT та супутні технології також

можуть виявитися досить високими, тому важливо оцінювати економічну ефективність проекту та вигоду для мешканців та бізнесу міста.

Для успішної реалізації IoT у розумних містах також необхідно враховувати культурні та соціальні чинники. Наприклад, у різних культурних середовищах може бути різні уявлення про те, які дані є особистими та які можуть використовуватись у міських системах. Також важливо враховувати потреби та звички мешканців міста, щоб розробити IoT-системи, які будуть найбільш корисними для їхнього повсякденного життя.

Нарешті, варто враховувати екологічні чинники, оскільки впровадження IoT може призвести до збільшення споживання енергії та ресурсів. процесів управління міською інфраструктурою

В цілому, впровадження IoT у розумні міста має величезний потенціал для покращення якості життя мешканців, підвищення ефективності міського господарства та розвитку бізнесу.

Однак при цьому необхідно враховувати різні фактори, включаючи правові, технічні, економічні, культурні та екологічні, щоб забезпечити безпеку та надійність систем IoT та створити розумні міста, які справді покращуватимуть життя мешканців.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТА ПЕРЕВІРКА НА АДЕКВАТНІСТЬ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ СВІТЛОФОРАМИ

3.1. Концепція роботи супутникових систем smart city.

Дорожні перехрестя є найважливішою частиною будь-якого сегмента дороги, і світлофори відіграють найважливішу функцію підтримки безперервного потоку транспорту через них. Однак у міських транспортних мережах часто виникають вузькі місця, при цьому значна частина загального часу в дорозі витрачається на очікування на перехрестях. Саме тут системи керування світлофорами можуть відіграти значну роль у підвищенні пропускної спроможності перехресть та безпеки. Системи керування світлофорами працюють таким чином, щоб звести до мінімуму час затримки, щоб збільшити пропускну спроможність перехресть та підвищити безпеку. Для забезпечення необмеженого, зручного та безпечного пересування людей та транспортних засобів існує безліч систем керування світлофорами. Методи фіксованого часу були першими методами управління дорожніми сигналами, в яких відповідний фазовий час для дорожніх сигналів визначається на основі циклу та тривалості фази. Однак підхід Вебстера є одним із методів, які використовуються в даний час у багатьох містах для визначення ідеального циклу та фазових періодів. Методи з фіксованим часом можуть виявитися неефективними при обробці непередбачених подій у транспортному потоці, таких як аварії або ремонт доріг, і можуть призвести до тривалих затримок або довгих черг.

Дослідники звернулися до моделей систем управління адаптивних світлофорів через мінливість параметрів дорожнього руху та нелінійність цих коливань. Системи керування адаптивних світлофорів – це системи керування дорожнім рухом, які коригують сигнали світлофора в залежності від дорожніх умов. У системах управління адаптивних світлофорів постійно відстежуються

параметри дорожнього руху (довжина черги, кількість автомобілів, що наближаються до перехрестя, швидкість транспортного засобу тощо). Зворотний зв'язок із середовищем дорожнього руху використовується для зміни політик або функцій керування дорожнім рухом. За останні десятиліття для систем управління адаптивних світлофорів було розроблено кілька типів моделей машинного навчання. Всі ці моделі оптимізації схильні до помилок через недостатність і спотворення даних, відсутність даних у реальному часі, складних і динамічних умов дорожнього руху, а також через те, що методи оптимізації вимагають великих обчислювальних витрат і часу. Крім того, вони можуть не вкластися в критичний для безпеки термін розробки плану (Рис 3.1).

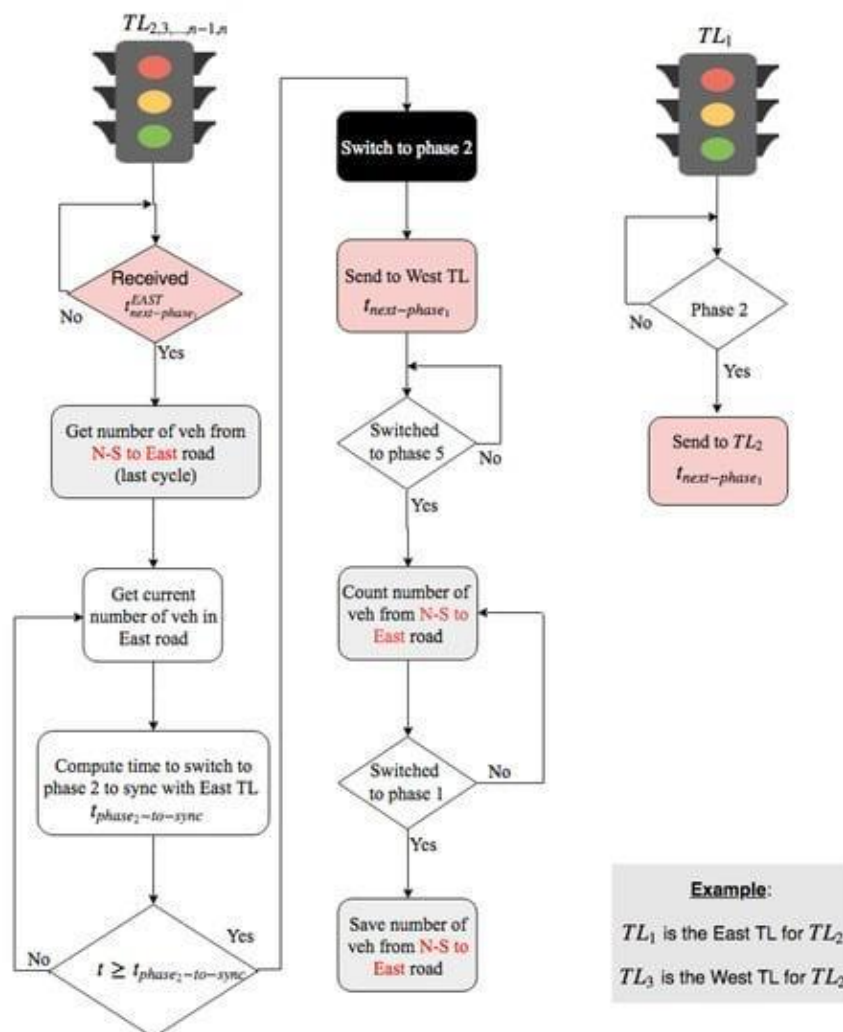


Рисунок 3.1. Алгоритм роботи «розумних світлофорів»

Додавання збору інформації в режимі реального часу поряд з передовою аналітикою та поширенням алгоритмів машинного та глибокого навчання до існуючих інтелектуальних транспортних систем, ймовірно, принесе користь майбутньому транспорту.

Використання інтелектуальних систем з такою структурою може додатково допомогти у завчасному прогнозуванні можливих проблем із дорожнім рухом, практична здійсненність якого була підтверджена. Крім того, також був задокументований потенціал використання автономних транспортних засобів як найважливіший компонент інтелектуальної мобільності.

Поняття інтелектуальних систем все ще розвивається. Очевидно, що технологія інтелектуальних систем стала важливою галуззю досліджень у галузі транспорту. Більшість досліджень присвячено розробці інтелектуальних систем для різних додатків, пов'язаних з транспортом, включаючи допомогу при керуванні, підвищення безпеки та послуги мобільності.

3.2 Інтелектуальні транспортні системи засновані на ATSC Framework

На рис. 3.2 показана перша у своєму роді комплексна платформа систем управління адаптивних світлофорів на основі інтелектуальних систем, що складається з трьох рівнів: Фізичний світ; Комунікаційний шлюз; та Модуль інтелектуальних систем. У цьому дослідженні передбачається, що світлофори, придорожня інфраструктура та транспортні засоби підключені до рівня інтелектуальних систем в режимі реального часу за допомогою комунікаційного шлюзу, дані про дорожню мережу доступні через державні та федеральні транспортні агенції і вже завантажені на сервер інтелектуальних систем та регулярно оновлюються, та нарешті пішоходи відстежуються за допомогою придорожніх датчиків.

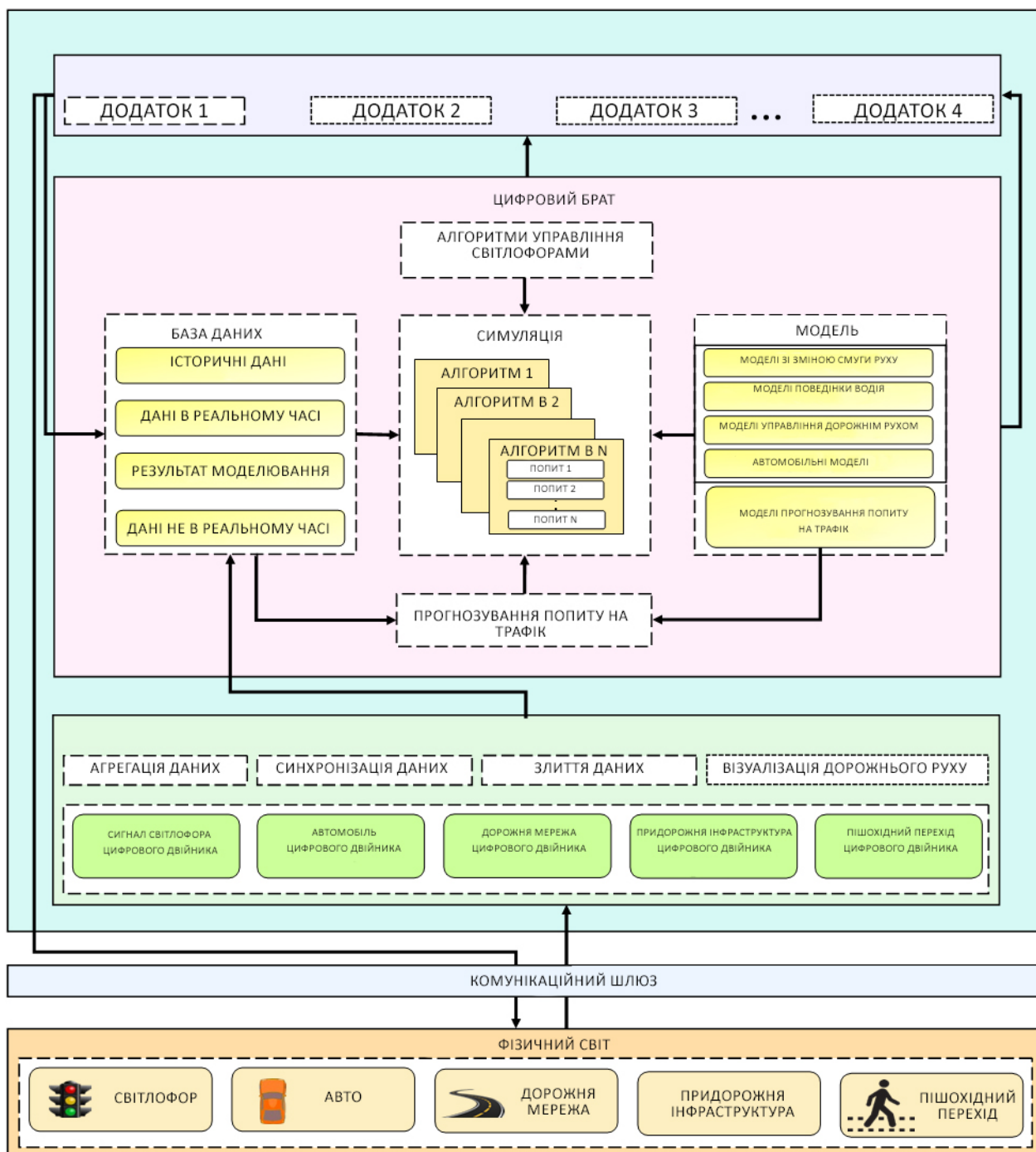


Рисунок 3.2. Ілюстрація фреймворку ATSC на основі цифрового двійника.

Фізичний світ інтелектуальних систем транспортного засобу - це реальне середовище, в якому працюють світлофори, транспортні засоби, дорожні мережі, придорожня інфраструктура та пішоходи. Фізичний світ включає як статичні, і динамічні елементи. Статичні елементи включають

дорожню мережу, світлофори та придорожню інфраструктуру, таку як вуличні ліхтарі, знаки та дорожня розмітка. Динамічні елементи включають транспортні засоби, пішоходів та інших учасників дорожнього руху. Фізичний світ постійно змінюється і еволюціонує, і інтелектуальні системи можуть бути здатні точно вловлювати і репрезентувати ці зміни як реального часу. Отже, розташування та стан цих елементів повинні оновлюватися в режимі реального часу у 3D model проекту.

Сприйняття та приведення в дію – це основні функції фізичного світу. У представленій структурі фізичний світ складається із світлофорів, транспортних засобів, дорожньої мережі, придорожньої інфраструктури та пішоходів. Світлофори належать до типу адаптивних, які використовують дані про дорожній рух у режимі реального часу та складні алгоритми для динамічного налаштування часу подачі сигналів світлофора на перехрестях. У представленій структурі передбачається, що це транспортні засоби оснащені датчиками позиціонування (тобто. GNSS) і інерційними датчиками (спідометр, акселерометр, гіроскоп) і підключені до 3D model, тобто. вони можуть обмінюватися даними з придорожньою інфраструктурою та 3D model та оснащені програмами для вимірювання та передачі свого розташування, стан (наприклад, швидкість, прискорення, курс), інформація про час очікування в режимі реального часу за допомогою 3D model та IoT. Транспортні засоби можуть бути автономними або традиційними/з ручним керуванням. Також передбачається, що пішоходи безпосередньо не пов'язані із 3D model. Датчики, такі як камера, лідар, радар, встановлені в придорожній інфраструктурі, використовуються для виявлення та фіксації розташування, швидкості та напрямку руху пішоходів. Комунікаційний шлюз - це найважливіший елемент системи 3D model та IoT, який забезпечує обмін даними між фізичним світом та рівнем 3D model. Він підтримує потокову передачу даних у режимі реального часу та не в режимі реального часу між різними джерелами, включаючи придорожню інфраструктуру та транспортні

засоби. Шлюз може використовувати дротові та бездротові протоколи зв'язку, такі як Ethernet, Wi-Fi та стільникові мережі, залежно від конкретних вимог програми та доступної інфраструктури. Критичні вимоги до додатків безпеки в системі 3D model та IoT включають вищу швидкість передачі даних та меншу затримку, оскільки втрата пакетів може становити значний ризик.

3D model складається з додатків digital shadow, digital sibling та ATSC.

Digital shadow – це цифрова копія фізичних елементів, таких як транспортний засіб, пішохід, сигнал світлофора, дорожня мережа та інфраструктура. Він створюється та підтримується шляхом збирання та інтеграції даних з різних джерел, включаючи різні датчики та інші джерела даних, підключені до транспортної системи. Дані з датчиків агрегуються, синхронізуються та об'єднуються для створення більш точного та всебічного подання транспортної системи у 3D model. Це дозволяє точно моделювати поведінку та переміщення фізичних об'єктів.

Digital sibling складається з чотирьох основних компонентів: бази даних, моделі, алгоритмів керування дорожніми сигналами, прогнозування попиту на трафік та моделювання. Дані в реальному часі, не в реальному часі та історичні дані з data shadow зберігаються у базі даних разом із результатами моделювання. Моделі, необхідних моделювання дорожнього руху, тобто. моделі зміни смуги руху, моделі поведінки водія і т.д., а також моделі майбутніх потреб у дорожньому русі містять розділ моделей. Модуль прогнозування попиту на трафік прогнозує попит на основі попиту на трафік у реальному часі з бази даних та моделі прогнозування з модуля моделі. Алгоритми керування світлофорами використовуються для паралельного виконання симуляцій, щоб вибрати найкращий алгоритм керування для оптимізації транспортного потоку. Інформація, модель та алгоритми передаються в систему моделювання, а вихідні дані моделювання потім передаються до додатків ATSC .

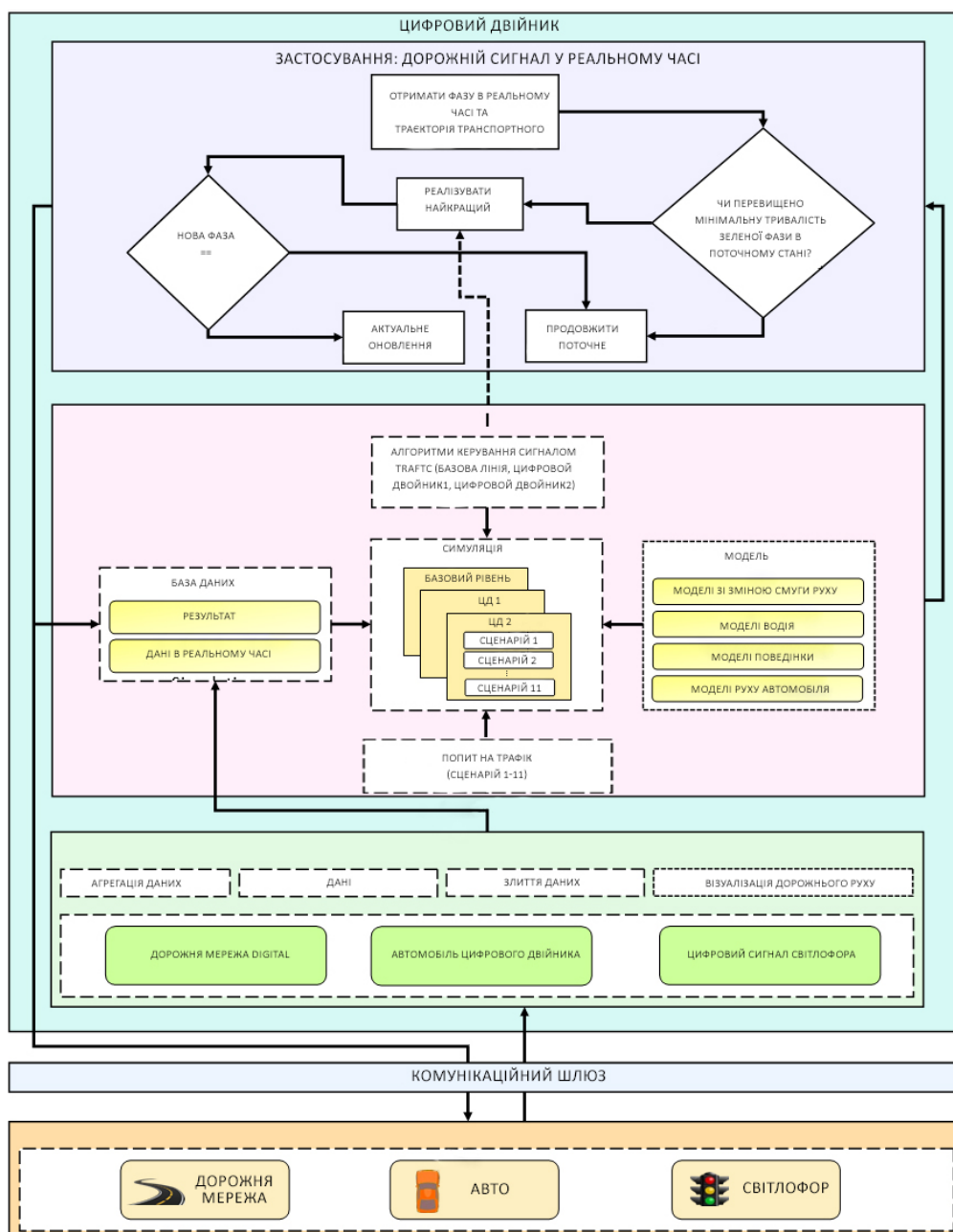


Рисунок 3.3. Ілюстрація структури ATSC на основі затримки.

3D model може підтримувати кілька додатків ATSC для збільшення транспортного потоку та мінімізації заторів. Оптимізація сигналу в реальному часі – одна з таких програм, яка змінює час подачі сигналу світлофора на основі даних про трафік у реальному часі, тим самим скорочуючи час очікування та збільшуючи потік трафіку.

Predictive signal control — це ще одна програма, яка прогнозує майбутні схеми руху та його обсяг за допомогою алгоритмів машинного навчання, тим

самим заздалегідь оптимізуючі час подачі сигналів світлофора, щоб мінімізувати затори та скоротити час у дорозі. Підтримуючи ці програми, інтелектуальна 3D model може покращити транспортний потік та допомогти в управлінні інцидентами.

3.3. Впровадження та оцінка системи керування дорожніми сигналами в режимі реального часу на основі інтелектуальної 3D model

У цьому підрозділі наведено тематичне дослідження, яке є доказом концепції платформи систем адаптивних управлінь світлофором на основі інтелектуальної 3D model для програм управління дорожніми сигналами в режимі реального часу.

Для імітації реального транспортного потоку використовується симуляція міської мобільності (SUMO). SUMO діє як платформа моделювання, що охоплює фізичний світ, який включає дорожню мережу, транспортні засоби та світлофори. У цьому прикладі і фізичний світ, і інтелектуальної 3D model об'єктів фізичного світу - в цифровій тині є одними й тими самими об'єктами. У SUMO спрощено агрегування, синхронізація та візуалізація даних. У цифровому модулі фреймворку база даних містить дані про стан транспортних засобів і дорожнього руху в режимі реального часу, а також результати моделювання, тобто. показники перетину. Щоб імітувати різні LOS, створюються одинадцять запитів на трафік і зберігаються у модулі запиту на трафік. На малюнку 3.4 показана густина транспортних засобів для всіх одинадцяти сценаріїв протягом періоду моделювання з використанням базового алгоритму case. Примітно, що щільність транспортних засобів поступово збільшується від сценарію 1 до сценарію 11, які можна розділити на три групи залежно від рівня попиту: нижчий попит (сценарії 1, 2, 3), помірний попит (сценарії 4, 5, 6, 7) та високий попит (сценарії 8, 9, 10, 11). Важливо відзначити, що початкова щільність транспортних засобів однакова

у всіх випадках алгоритму, включаючи базову, інтелектуальної 3D model 1 і інтелектуальної 3D model 2.

У цьому дослідженні розділ "Моделі" включає всі необхідні моделі для моделювання транспортного потоку і вже вбудований в платформу SUMO. Управління дорожнім сигналом здійснюється з використанням трьох алгоритмів: базової лінії, заснованої на щільності транспортних засобів, інтелектуальної 3D model 1 і інтелектуальної 3D model 2, заснованих на затримці, які зберігаються в модулі алгоритмів керування дорожнім сигналом. Модуль моделювання виконує паралельне моделювання для всіх одинадцяти сценаріїв кожного варіанта алгоритму керування дорожнім рухом. У цьому дослідженні прикладний модуль не реалізований. Продуктивність всіх алгоритмів керування дорожнім сигналом, включаючи базовий, інтелектуальної 3D model 1 та інтелектуальної 3D model 2, тестується у всіх сценаріях, і результати представлені в наступному розділі. Наприклад, сценарій 3 представляє дані в реальному часі, отримані з фізичного світу, в той час як початковий попит у всіх інших сценаріях - це прогнозований попит на трафік, що базується на попиті на трафік у реальному часі. Паралельне моделювання виконується всім сценарії, крім сценарію 3 всім трьох алгоритмів, і продуктивність алгоритмів всім сценаріїв зберігається у майбутньому. Якщо на позначці часу t сценарію 3 попит збігається з початковим попитом сценарію 5, то для управління трафіком використовується найбільш ефективний алгоритм для сценарію 5. Однак у дослідженні не розглядається, як часто оновлюватиметься алгоритм управління світлофорами.

Середовище моделювання: на рис. 3.5(a) показаний графічний інтерфейс користувача SUMO, що деталізує геометрію вузлів і ребер. Вузол являє собою перехрестя, а ребро відноситься до сегмента проїжджої частини, що з'єднує два вузли. Спеціальні кишені для лівого повороту використовують на перехресті для руху при лівому повороті. Взаємозв'язки можливих

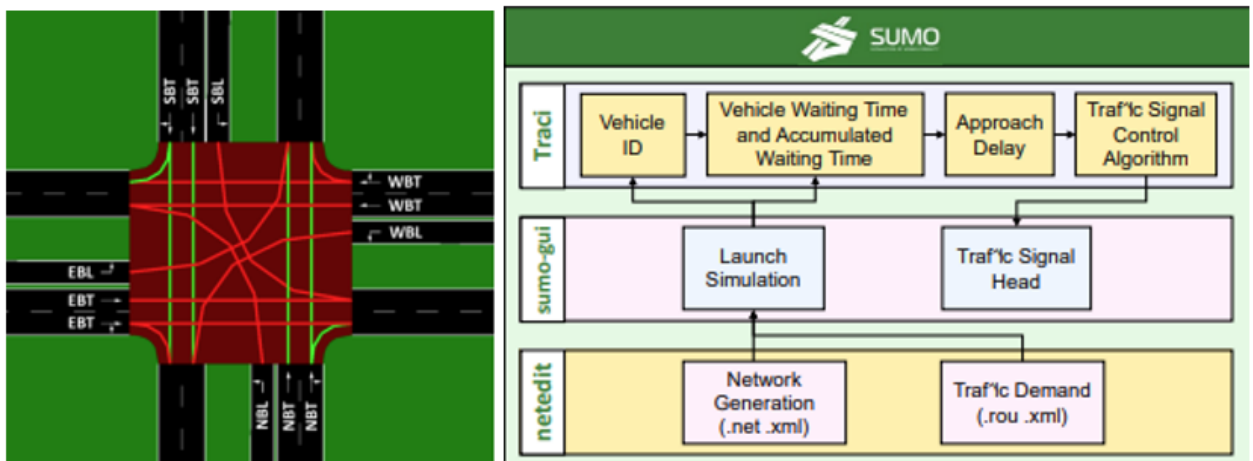
напрямів, які може вибрати транспортний засіб на перехресті, показані на рис.3.5(а). З'єднання однакові для всіх перехресть дорожньої мережі. На рис.3.5(б) представлені різні компоненти середовища моделювання SUMO. Модуль NETEDIT використовується визначення потреби у трафіку.



Рисунок 3.4. Сценарії попиту трафік (базовий рівень).

Декілька потоків створюються шляхом вибору периферійних ребер як джерело і призначення для кожного потоку. Модуль NETEDIT за замовчуванням використовує найкоротший мінімальний шлях між вихідним та кінцевим ребрами для створення потоку та може проходити через будь-які ребра у мережі. Для моделювання використовуються типи транспортних

засобів за промовчанням. Моделювання не включає жодної людини або пішоходів. Різні вимоги до трафіку створюються шляхом зміни кількості транспортних засобів на годину (vph) в атрибутах потоку. Traci використовується для збору даних на рівні транспортного засобу (ідентифікатор транспортного засобу, час очікування тощо). Потім ці дані використовуються як вхідні дані для алгоритму, і рішення про дорожні сигнали передаються назад у моделювання. Тривалість моделювання дорожнього руху встановлена рівною 3600 секунд, включаючи по 600 секунд періоду прогріву та охолодження. Результати, про які повідомляється далі, відносяться до 2400 секунд фактичного періоду моделювання. Управління світлофорами здійснюється на основі алгоритмів управління базовими сигналами, інтелектуальної 3D model 1 та інтелектуальної 3D model 2.



(a)

(b)

Рисунок 3.5. Моделювання середовища цифрового двійника з використанням SUMO (a) З'єднання на стиках; та (b) середовище моделювання. Примітка: EBT = Наскрізний рух на схід, EBL = Лівосторонній рух на схід, WBT = Наскрізний рух на захід, WBL = Лівосторонній рух на захід, NBT = Наскрізний рух на північ, NBL = Лівосторонній рух на північ, SBT = Наскрізний рух на південь, SBL = Лівосторонній рух на південь.

3.4. Розрахунок затримки транспортного засобу

Для вимірювання затримки транспортного засобу використовується функція Traci `getwaitingtime`. Відповідно до цієї функції час очікування визначається як тривалість у секундах, яку транспортний засіб проводить на швидкості нижче $0,1$ м/с ($0,22$ миль/год) після того, як він востаннє рухався швидше, ніж $0,1$ м/с [46]. Таким чином, вважається, що транспортний засіб затримується, якщо його швидкість становить $0,1$ м/с або нижче. Однак ця функція має обмеження, що полягає в тому, що вона ініціалізує затримку до нуля, коли швидкість транспортного засобу знову перевищує $0,1$ м/с. Для отримання сукупної затримки для транспортного засобу використовується функція Traci `get Accumulated Waiting Time`. Ця функція виводить загальний час, протягом якого швидкість транспортного засобу не перевищує $0,1$ м/с. Затримка транспортного засобу та накопичена затримка показано на рис.3.6. Графік залежності швидкості від часу моделювання (рис. 3.6) показує зміну швидкості транспортного засобу на перехресті під час моделювання.

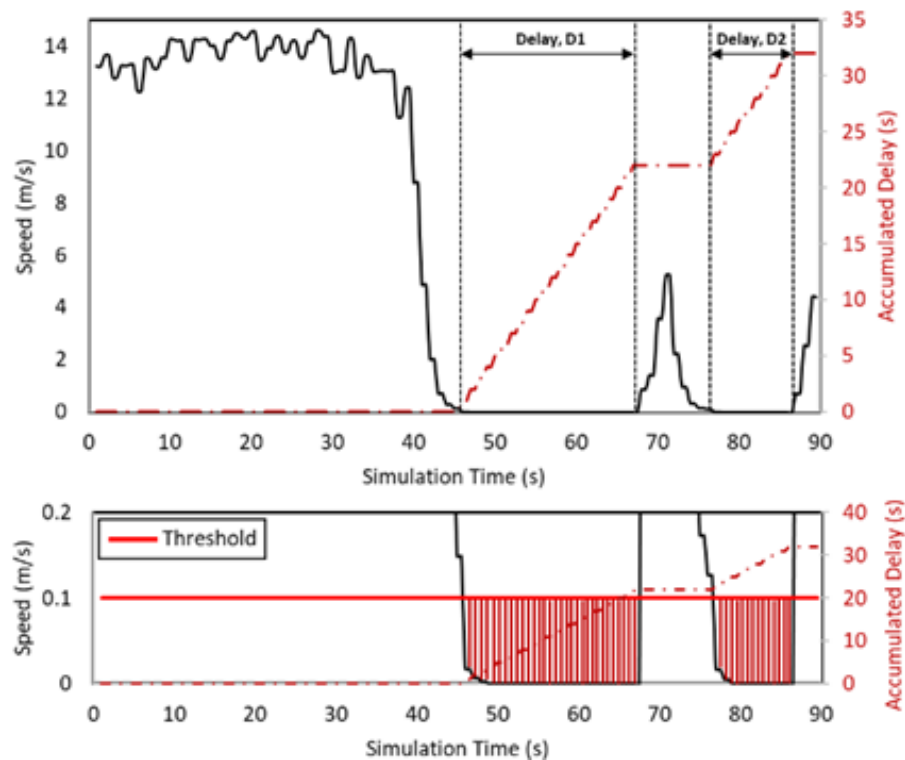


Рисунок 3.6. Визначення затримки

Основна вісь у представляє швидкість транспортних засобів у метрах за секунду, тоді як додаткова вісь у відображає накопичену затримку за секунди. Ось x є час моделювання в секундах. Графік демонструє, що під час моделювання є два випадки затримки, D1 та D2. Накопичена затримка – це сума обох затримок. Накопичена затримка далі використовується для розрахунку затримки наближення і передається алгоритми управління світлофорами, які пояснюються в наступних розділах.

3.5. Алгоритми керування дорожнім сигналом

Псевдокод алгоритмів управління дорожнім сигналом Baseline, 3D model 1 і 3D model 2 представлений нижче. У всіх алгоритмах рішення про зміну фази руху оцінюється кожні п'ять секунд. Зміна фази виправдана, якщо пропонується чи встановлена фаза відрізняється від поточної фази. При необхідності зміна фази відбувається через жовту фазу тривалістю дві секунди та повністю червоний зазор тривалістю одну секунду. На рис. 3.7. показані фази сигналу та відповідні їм стану.

Phase	State							
	NBT	NBL	EBT	EBL	SBT	SBL	WBT	WBL
0	G	R	R	R	G	R	R	R
1	Y	R	R	R	Y	R	R	R
2	R	R	G	R	R	R	G	R
3	R	R	Y	R	R	R	Y	R
4	R	R	R	G	R	R	R	G
5	R	R	R	Y	R	R	R	Y
6	R	G	R	R	R	G	R	R
7	R	Y	R	R	R	Y	R	R
8	R	R	R	R	R	R	R	R
	R	R	R	R	R	R	R	R

Рисунок 3.7. Фаза та стан сигналу

Наприклад, якщо поточна фаза дорівнює 0, а пропонується стан дорівнює 6, фаза спочатку зміниться на 1 (жовта фаза) протягом двох секунд, потім на 8 (червона фаза) протягом однієї секунди, і, нарешті, буде виконана пропонується фаза 6. Зміна фази не потрібна, якщо при заході на посадку в даний момент світиться зелений колір і продовжує залишатися максимальним через 5 секунд. У базовому алгоритмі підходу із найбільшою щільністю транспортних засобів присвоюється зелена фаза. Щільність транспортних засобів визначається як кількість транспортних засобів на смугу руху з розрахунку на милю. В алгоритмах 3D model 1 і 3D model 2 зелена фаза присвоюється підходу з максимальною затримкою заходу на посадку. Однак визначення затримки заходу на посадку відрізняється для 3D model 1 і 3D model 2. У 3D model 1 затримка наближення - це середнє значення затримки наближення транспортного засобу, а затримка наближення транспортного засобу визначається як затримка, з якою стикається транспортний засіб на даному конкретному перехресті. Наприклад, на рис.3.8 для 3D model 1 показані затримки транспортних засобів на підходах, пов'язаних з цільовим перехрестям, який показаний жовтим кружком А.

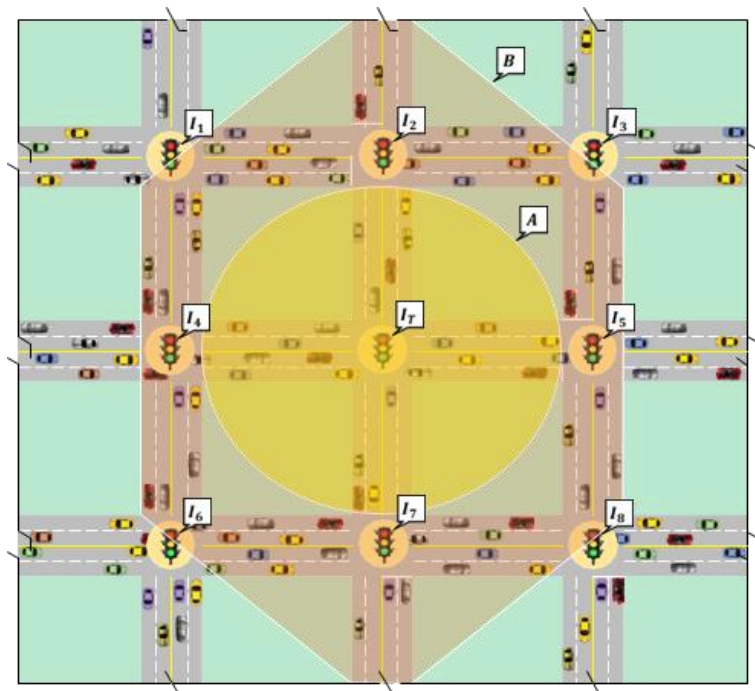


Рисунок 3.8. Цільові та пов'язані перехрестя

Для розрахунку затримки наближення транспортного засобу використовується накопичена затримка транспортного засобу. Накопичена затримка реєструється на початку та в кінці заходу на посадку, пов'язаного з цільовим перетином. Мінімальне значення накопиченої затримки - це затримка, перенесена транспортним засобом з попереднього заходу на посадку, а максимальне значення - це остання затримка, з якою зіткнувся транспортний засіб. Різниця між мінімальною та максимальною накопиченою затримкою – це затримка, яка відбулася при поточному підході. Для 3D model 2 затримка наближення транспортного засобу включає затримку, перенесену транспортним засобом з попереднього заходу на посадку, поряд із затримкою, що відбулася при поточному заході на посадку, тобто. затримки транспортних засобів на підходах усередині помаранчевого полігону В. Визначення затримки заходу на посадку таке ж, як і для 3D model 1. Затримка заходу посадки, D_{app} розраховується з використанням наступного рівняння.

$$D_{app} = \frac{\sum D_{veh}}{n} \quad (1)$$

де D_{veh} – затримка наближення транспортного засобу, а n – кількість транспортних засобів.

Затримка зближення для 3D model 1, D_{veh_DT1} обчислюється з використанням наступного рівняння.

$$D_{veh_DT1} = D_{veh}(t_{out}) - D_{veh}(t_{in}) \quad (2)$$

де $D_{veh}(t_{out})$ - затримка, зафіксована в транспортному засобі в момент виходу на цільовий захід, і $D_{veh}(t_{in})$ - замин.

Затримка зближення для 3D model 1, D_{veh_DT2} обчислюється з використанням наступного рівняння.

$$Dveh_DT2 = Dveh(tout) - Dveh(tiin) + Dveh(IT-1) \quad (3)$$

где $Dveh(IT-1)$ - задержка, перенесенная транспортным средством с предыдущего захода на посадку.

Базовий рівень алгоритму. Цикл оновлення основної фази для контролера світлофора перехрестя на основі базової лінії

Ідентифікатор цільового перехрестя, Veh_ID - Список ідентифікаторів транспортних засобів на цільовому перехресті, Veh_density - Список щільності транспортних засобів кожного підходу, пов'язаного з цільовим підходом

```

1 If green_time < =5
2 return
3 end if
4 max_rho = max(Veh_density)
5 if (max_rho equals Veh_density (NBT) or max_rho equals
Veh_density (SBT)) then
6 set phase = 0
7 else if (max_rho equals Veh_density (WBT) або max_rho equals
Veh_density (EBT)) then
8 set phase = 2
9 else if (max_rho equals Veh_density (WBL) or max_rho equals
Veh_density (EBL)) then
10 set phase = 4
11 else if (max_rho equals Veh_density (NBL) or max_rho equals
Veh_density (SBL)) then
12 set phase = 6
13 else
14 signal status = out of order
15 set flashing yellow signal
16 end if

```

Алгоритм 3D model 1. Цикл оновлення основної фази для контролера світлофора перехрестя на основі 3D model 1

Ідентифікатор цільового перехрестя, Veh_ID - Список ідентифікаторів транспортних засобів на цільовому перехресті, Veh_delay - Список інформації про затримку транспортних засобів, що відповідає ідентифікатору транспортного засобу, Approach_ID - Список підходів, пов'язаних з цільовим перехрестям

```

1 If green_time <= 5
2 return
3 end if
4 для кожної групи в Approach_IDi do
5 for each v in Veh_IDi do
6 Veh_approach_delayi = max(Veh_delay(v)) - min(Veh_delay(v))
7 end for
8 ap_delayi =  $\sum(\text{Veh\_approach\_delay}) / \text{length}(\text{Veh\_ID})$ 
9 end for
10 max_avg_delay = max(ap_delay)
11 if (max_avg_delay equals ap_delay(NBT) або max_avg_delay
equals ap_delay(SBT)) then
12 set phase = 0
13 else if (max_avg_delay equals ap_delay(WBT) або max_avg_delay
equals ap_delay(EBT)) then
14 set phase = 2
15 else if (max_avg_delay equals ap_delay(WBL) або max_avg_delay
equals ap_delay(EBL)) then
16 set phase = 4
17 else if (max_avg_delay equals ap_delay(NBL) або max_avg_delay
equals ap_delay(SBL)) then
18 set phase = 6

```

```

19 else
20 signal status = out of order
21 set flashing yellow signal
22 end if

```

Алгоритм 3D model 2. Контур оновлення основної фази для контролера світлофора перехрестя на базі 3D model 2

Введення: ідентифікатор цільового перехрестя, Veh_ID — список ідентифікаторів транспортних засобів на цільовому перехресті, Veh_delay — список інформації про затримку транспортних засобів, що відповідають кожному ідентифікатору транспортного засобу, Approach_ID — список підходів, пов'язаних з цільовим перехрестем коштів, відповідних кожному ідентифікатору транспортного засобу, випробуваному під час останнього заходу на посадку

```

1 If green_time < =5
2 return
3 end if
4 для кожної групи в Approach_IDi do
5 for each v in Veh_IDi do
6 Veh_approach_delayi = max(Veh_delay(v)) - min(Veh_delay(v)) +
Last_approach_veh_delay
7 end for
8 ap_delayi =  $\sum(\text{Veh\_approach\_delay}) / \text{length}(\text{Veh\_ID})$ 
9 end for
10 max_avg_delay = max(ap_delay)
11 if (max_avg_delay equals ap_delay(NBT) або max_avg_delay
equals ap_delay(SBT)) then
12 set phase = 0

```

```

13 else if (max_avg_delay equals ap_delay(WBT) або max_avg_delay
equals ap_delay(EBT)) then
14 set phase = 2
15 else if (max_avg_delay equals ap_delay(WBL) або max_avg_delay
equals ap_delay(EBL)) then
16 set phase = 4
17 else if (max_avg_delay equals ap_delay(NBL) або max_avg_delay
equals ap_delay(SBL)) then
18 set phase = 6
19 else
20 signal status = out of order
21 set flashing yellow signal
22 end if

```

3.6. Результати та обговорення

У цьому дослідженні оцінюється продуктивність алгоритмів 3D model 1 і 3D model 2, а також базового завдання, використовуючи середню затримку та рівень обслуговування (LOS) як оціночні показники. Тут затримка визначається тривалістю за секунди, яку автомобіль проводить на швидкості нижче

0,1 м/с (0,22 милі на годину) під час проходження підходу, пов'язаного з цільовим перехрестям. Усі три алгоритми є удосконаленими алгоритмами керування дорожніми сигналами (ATSC). Розподіл затримки кожного руху аналізується з погляду частоти, щоб порівняти ефективність різних стратегій управління сигналом. Асиметрія частотних розподілів затримок порівнюється визначення переваги однієї стратегії з інших. Крім того, втрати розраховуються для всього перетину, щоб порівняти продуктивність ATSC на основі 3D model (3D model 1 і 3D model 2) з продуктивністю базової ATSC.

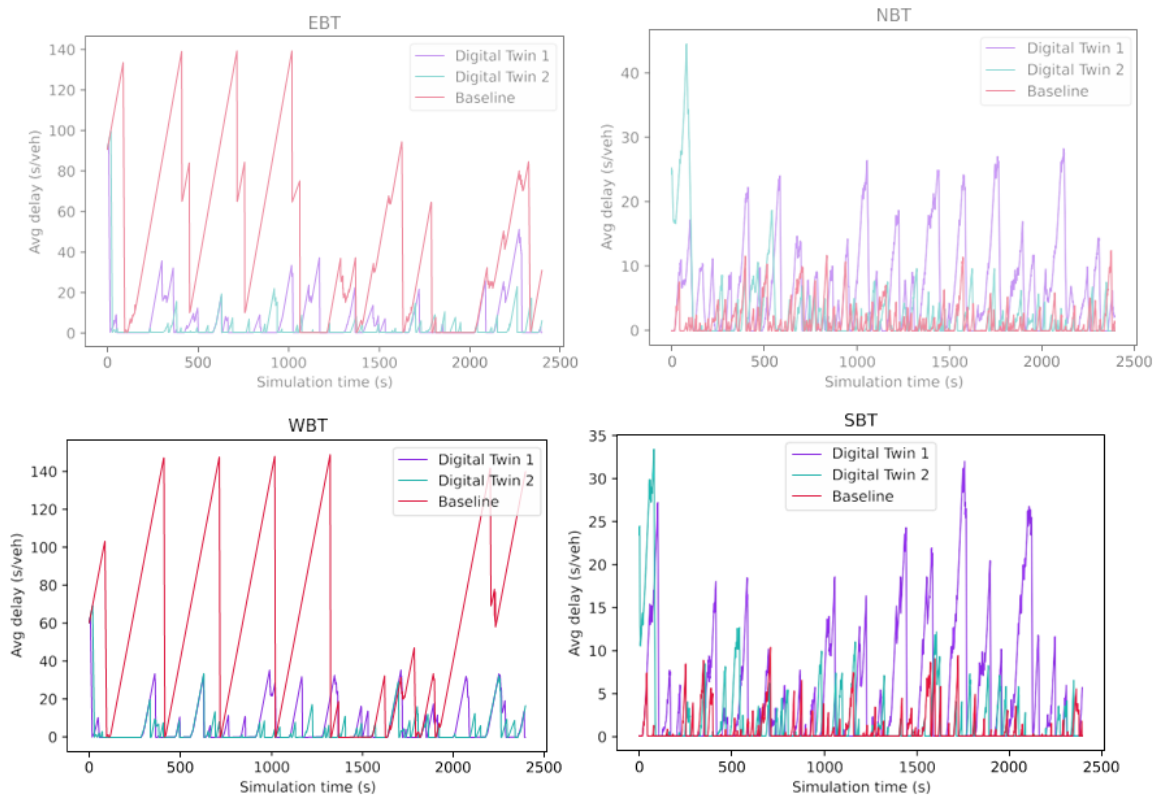


Рисунок 3.9. Цільове перетин, виділене за допомогою середньої затримки руху.

На рис.3.9 показана середня затримка на цільовому перетині для різних наскрізних переміщень сценарії 3, який був обраний випадковим чином. Результати показують, що базовий ATSC перевершує ATSC 3D model 1 і 3D model 2 для рухів NBT і SBT, але погано працює для рухів EBT і WBT. Зокрема, середнє значення середньої затримки для переміщень NBT, SBT, EBT та WBT для всього моделювання становить 1,57 с, 0,73 с, 48,47 і 59,54 відповідно для базової лінії. Навпаки, для 3D model 1 середнє значення середньої затримки для тих же рухів становить 6,53 с, 4,8 с, 6,12 с і 6,25 с відповідно, а для Ц3D model 2 середнє значення середньої затримки для тих же рухів становить 2,87 с, 1,88 с, 2,55 с та 3,82 с, відповідно. Хоча базова лінія перевершує показники 3D model 1 і 3D model 2 для переміщень NBT і SBT, це призводить до значно більш високої середньої затримки для переміщень EBT і WBT. Навпаки, алгоритми 3D model 2 розподіляють попит збалансованим

чином і обслуговують всі наскрізні переміщення оптимізованим чином, що призводить до зниження загальної середньої затримки. Крім того, 3D model 2 ATSC значно скорочує час очікування на цільовому перехресті для сценарію 3. Ці результати підкреслюють, що включення інформації про мету та переміщення вгору за течією може зменшити середню затримку при перетині.

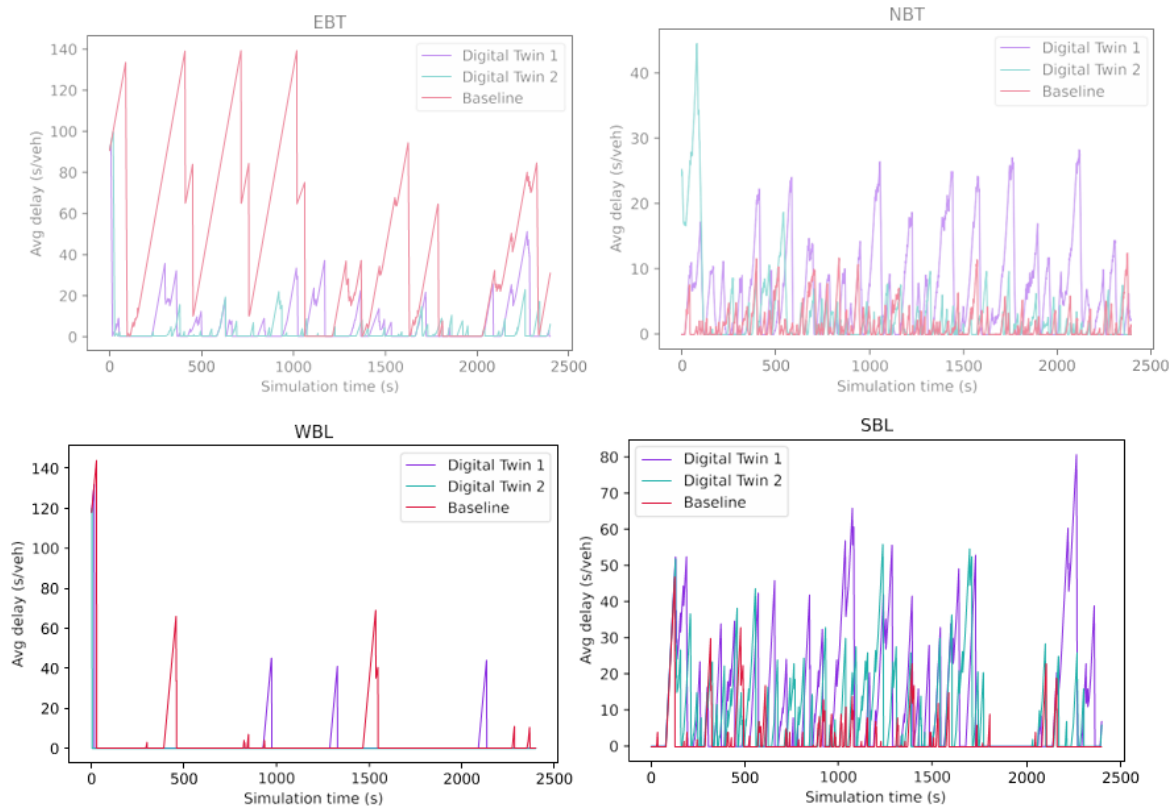


Рисунок 3.10 Середня затримка лівого повороту на цільовому перехресті.

На рис.3.10 показані середні значення затримки для поворотів наліво на цільовому перехресті в сценарії 3. Базовий алгоритм ATSC має середню затримку 2,92 с, 2,025 с, 10,78 с і 3,71 с для рухів NBL, SBL, EBL і WBL відповідно. Навпаки, алгоритм 3D model 1 має середню затримку 13,21 с, 12,48 с, 11,68 с і 2 с для тих же рухів, у той час як алгоритм 3D model 2 має середню затримку 4,68 с, 8,26 с, 4,61 с та 0,148 с відповідно. Алгоритм 3D model 2 краще працює для переміщень EBL і WBL, тоді як базовий алгоритм

найкраще працює для переміщень NBL і SBL через більш високу щільність транспортних засобів у цих переміщеннях. На закінчення, алгоритм 3D model 2 перевершує інші алгоритми для руху з лівим поворотом на цільовому перехресті в сценарії 3. На рис.3.11 представлено порівняння загальної затримки транспортного засобу при всіх підходах до цільового перехрестя для базових, 3D model 1 і 3D model 2 ATSCS для сценарію 3. Загальна затримка - це затримка, з якою стикається транспортний засіб при перетині цільового. На малюнку показано, що для 3D model 1 і 3D model 2 менше транспортних засобів з меншими затримками і більше транспортних засобів з більшими затримками в порівнянні з базовими показниками для переміщень EBT, WBT, EBL і WBL.

Однак розподіли для рухів NBT, SBT, NBL та SBL SBL вказують на протилежні результати. При використанні цих підходів кількість транспортних засобів з більшою затримкою, мабуть, значно збільшується у випадку 3D model 1 і 3D model 2 у порівнянні з вихідним рівнем.

На рис.3.12 показані втрати цільового перетину для алгоритмів Baseline, 3D model 1 і 3D model 2. Втрати кожного заходу посадки і перетину визначаються з допомогою контрольної затримки. Затримка управління вимірює загальну затримку, яку відчуває транспортний засіб під час руху ділянкою дороги, який впливає сигнал світлофора. Затримка включає час, витрачений на уповільнення, час, витрачений на зупинку, і затримку, що виникла при прискоренні для досягнення робочої швидкості.

Оскільки затримка керування є більш надійним показником затримки користувача в порівнянні з іншими затримками, вона була використана Посібником з пропускної спроможності автомобільних доріг (HCM) для розрахунку втрат. Функція часу очікування SUMO за замовчуванням визначається як тривалість (у секундах), яку транспортний засіб проводить на швидкості нижче 0,1 м/с (0,22 миль на годину) після того, як він останній раз рухався швидше 0,1 м/с с.

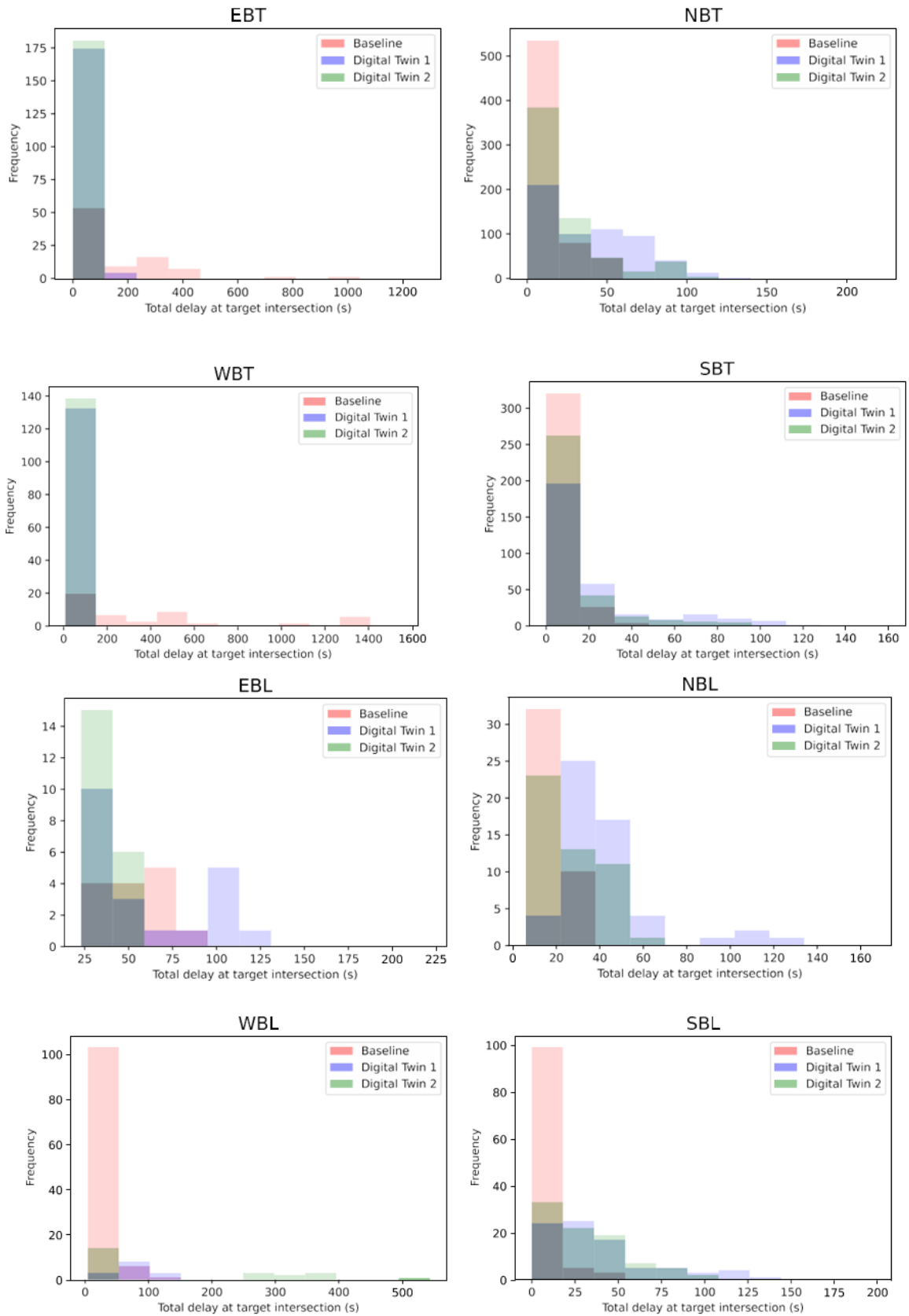


Рисунок 3.11. Розподіл сумарної затримки транспортних засобів на цільовому перехресті.

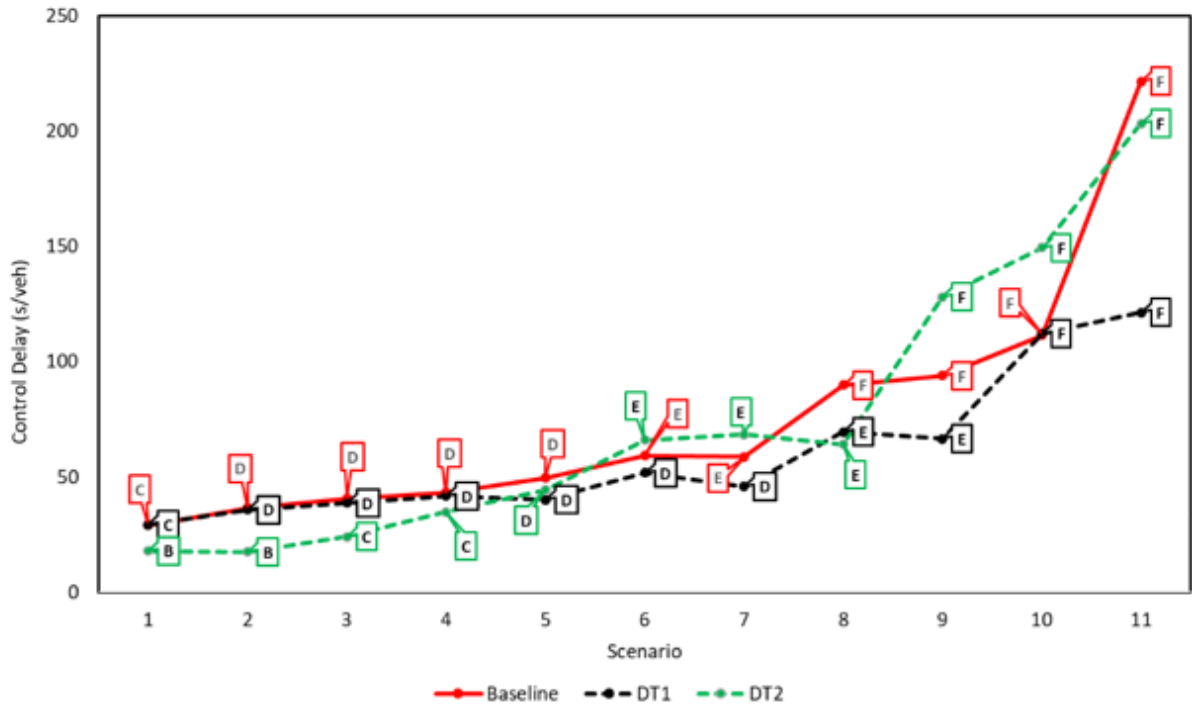


Рисунок 3.12. Цільовий перетин LOS

Отже, функція очікування SUMO за умовчанням не може бути використана для обчислення затримки керування, оскільки функція часу очікування може забезпечити тільки зупинену затримку, і немає способу розрахувати затримку прискорення та уповільнення.

Отже, затримка сегмента використовується як альтернатива для обчислення затримки управління, яка, як було встановлено, є надійним предиктором. Затримка сегмента вимірюється в секундах кожного транспортного засобу і визначається як різниця між загальним часом руху транспортного засобу в сегменті і часом вільного ходу для цього сегмента.

Сюди входить будь-яка затримка, з якою стикається транспортний засіб через зниження швидкості або повну зупинку, викликану сигналами світлофора або іншими факторами в межах сегмента.

Отже, щоб визначити затримку сегмента для кожного транспортного засобу при під'їзді між двома послідовними перехрестями, час, витрачений кожним транспортним засобом на цей захід, віднімається від часу руху у

вільному потоці. Наступне рівняння використовується для обчислення затримки сегмента, D_{stij} ; для i -го транспортного засобу та j -го заходу на посадку;

$$D_{stij} = (t_o - t_i) - \frac{L}{v_{fff}} \quad (4)$$

где, t_o , время нахождения i -го транспортного средства на j -м заходе на посадку; t_i , время выхода i -го транспортного средства на j -й заход на посадку; L , продолжительность j -го захода на посадку; v_{ffff} , скорость свободного потока.

З рис.3.12 видно, що при нижчих вимогах (тобто сценарії 1,2,3) 3D model 2 працює краще, ніж базовий рівень і 3D model 1. Хоча 3D model 1 і базовий рівень виконують однакові функції з погляду втрат, затримка управління 3D model 1 на 63-133% менше, ніж затримка управління базовим рівнем. При помірних вимогах (тобто сценаріях 4,5,6) 3D model 2 починає працювати погано в міру збільшення попиту від сценаріїв 4 до 6. Сценарій 5 діє як перехід продуктивності для 3D model 1 і 3D model 2. У сценарії 4 3D model 1 працює краще, ніж 3D model 2, а в сценарії 5 і 3D model 1, і 3D model 2 працюють однаково, і після цього 3D model 1 починає працювати краще.

Для всіх сценаріїв або 3D model 1, або 3D model 2 працюють краще, ніж базовий рівень. 3D model 1 дозволяє скоротити затримку управління на 39-60%, а 3D model 2 - на 21-70% порівняно з вихідним рівнем.

Оскільки основною метою підходів ATSC на основі 3D model є зменшення затримки управління цільовим перетином, ґрунтуючись на поданих результатах, очевидно, що алгоритми 3D model 1 і 3D model 2 можуть значно скоротити.

3.7. Вплив інтелектуальних систем управління міською інфраструктурою на економіку та екологію

3.7.1.Економічний ефект

Інтелектуальні системи управління міською інфраструктурою (наприклад, системи управління транспортом, освітленням, водопостачанням, опаленням, кліматом тощо) можуть значно підвищити ефективність та економічність функціонування інфраструктури міст. Деякі можливі економічні ефекти, які можна отримати завдяки використанню таких систем, включають:

Зниження витрат на енергоспоживання та скорочення витрат на обслуговування інфраструктури. Інтелектуальні системи можуть оптимізувати використання ресурсів, переводячи їх у "економічний режим", у якому споживання енергії та використання інших ресурсів зменшуються до мінімуму, не утискуючи при цьому необхідний рівень комфорту.

Поліпшення якості життя та зручності для городян. Завдяки таким системам реалізується швидке та точне керування інфраструктурними ресурсами, що дозволяє в реальному часі реагувати на зміни потреб користувачів та забезпечувати їм максимальний рівень комфорту.

Зниження ймовірності виникнення аварійних ситуацій. Інтелектуальні системи мають можливість моніторити стан інфраструктури та оперативно реагувати на будь-які позаштатні ситуації, що дозволяє знизити ризики виникнення аварійних ситуацій та підвищити рівень безпеки.

Зниження витрат за транспортну інфраструктуру. Інтелектуальні системи управління транспортною інфраструктурою (наприклад, оптимізація маршрутів, облік потоків транспорту) можуть істотно вплинути на скорочення витрат на утримання транспортної інфраструктури за рахунок її раціональнішого використання.

Збільшення економічної ефективності технологій. Інтелектуальні системи управління можуть підтримувати роботу інфраструктурних об'єктів найефективнішим чином, що забезпечує можливість швидше окуплення інвестицій у технології управління та інфраструктурні системи.

Поліпшення управління муніципальними ресурсами. Інтелектуальні системи управління міською інфраструктурою можуть збирати велику кількість даних про споживання ресурсів, що дозволяє краще розуміти потреби міста та ефективніше розставляти пріоритети у використанні ресурсів.

Підвищення конкурентоспроможності міста. Міста, оснащені інтелектуальними системами управління, набувають перевагу над іншими містами в конкурентній боротьбі за ресурси та інвестиції. Такі міста краще адаптовані до викликів та вимог сучасного суспільства та можуть ефективніше використовувати свої ресурси, що робить їх більш привабливими для мешканців та бізнесу.

Зниження навантаження на екологію міста. Інтелектуальні системи управління дозволяють раціональніше використовувати ресурси та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, оскільки вони можуть регулювати та скорочувати використання необхідних ресурсів, наприклад, електроенергії та палива.

Підвищення рівня цифрової зрілості міста. Впровадження інтелектуальних систем управління міською інфраструктурою сприяє розвитку цифровізації в містах, що може мати позитивний ефект на розвиток економіки та підвищення рівня життя.

Створення нових можливостей розвитку бізнесу. Інтелектуальні системи управління міською інфраструктурою можуть створювати нові можливості для бізнесу та залучати інвестиції, наприклад, у сферу «розумного» міського транспорту чи енергетичних систем.

Таким чином, інтелектуальні системи управління міською інфраструктурою можуть значно підвищити економічну ефективність інфраструктурних проектів, забезпечуючи зниження витрат, покращення якості життя та економічної ефективності.

3.7.2. Екологічний ефект

Інтелектуальні системи управління міською інфраструктурою можуть призвести до зниження негативного впливу міського середовища на навколишню природу, що є важливим екологічним ефектом. Деякі приклади впливу інтелектуальних систем на екологію міста:

1. Ефективне використання ресурсів. Системи управління міською інфраструктурою можуть спостерігати та аналізувати дані про споживання ресурсів, таких як електроенергія, вода, паливо, та забезпечувати їх оптимальне використання, що мінімізує негативний вплив на навколишнє середовище.

2. Скорочення відходів та сміття. Інтелектуальні системи управління можуть підтримувати оптимальну роботу системи утилізації сміття: наприклад, скорочувати часові інтервали вивезення сміття через збирання інформації про кількість і характер сміття, що зменшує заповнення сміттєвих контейнерів і скорочує обсяг відходів, що викидаються.

3. Оцінка якості повітря та індексів екологічної стійкості міста. Інтелектуальні системи управління можуть дозволити цілодобовий моніторинг якості повітря та біорізноманіття у місті, дозволяючи вживати заходів для покращення екологічної ситуації у реальному часі.

4. Поліпшення громадського транспорту та розвиток велосипедної інфраструктури. Інтелектуальні системи управління міським транспортом можуть надавати інформацію про відкриті паркування для велосипедів, наявність веломаршрутів та місць для велопрокату. Громадський транспорт може використовувати маршрути та розклад на основі аналізу даних із джерел,

таких як GPS та сенсори. Таким чином, підтримку таких систем можна використовувати для скорочення кількості автомобілів на дорогах та, отже, зниження викидів шкідливих речовин.

5. Економія енергії у будинках. Інтелектуальні системи управління будинками та управління енергоспоживанням можуть використовувати сенсори та інші технології для оптимізації інфраструктури будівлі та мінімізації зайвого споживання енергії.

6. Оптимізація керування водними ресурсами. Системи управління водними ресурсами можуть використовувати дані про споживання води для оптимального утримання та використання водних систем міста, таких як резервуари, насосні станції та ін.

7. Прогнозування та запобігання екологічним ризикам. Інтелектуальні системи управління можуть ґрунтуватися на оцінці ризиків та діяти проактивно щодо проблем, таких як аварії, забруднення навколишнього середовища тощо.

8. Зниження обсягу відходів та ефективне управління відходами. Інтелектуальні системи управління можуть допомогти в управлінні відходами, вирішивши проблеми зменшення обсягів відходів з використанням даних та аналітики. Такі системи можуть допомогти оптимізувати збирання та обробку відходів, використовувати матеріали повторно та переробляти відходи для покращення ефективності використання ресурсів.

9. Оптимізація виробництва та транспортування продуктів. Інтелектуальні системи управління можуть використовуватися для моніторингу та оптимізації виробничих процесів та транспортування продуктів. Такі системи можуть використовуватися для покращення ефективності, скорочення часу дороги, зменшення викидів та незначного зниження витрат.

10. Інтелектуальні системи управління допомагають містам у розробці більш ефективних та екологічно стійких стратегій розвитку. Ефекти від

використання такої системи надають позитивний вплив на економіку міста та життя його мешканців, забезпечуючи активний підхід до захисту природи та навколишнього середовища в цілому.

ВИСНОВКИ

Дослідження інтелектуальних систем управління міською інфраструктурою свідчить про високий потенціал даних систем у підвищенні ефективності міської інфраструктури, зниження витрат та покращення якості життя городян. Однак для успішного впровадження інтелектуалізованих систем управління міською інфраструктурою необхідно закласти правильну стратегію та спробувати збалансувати економічні, соціальні та технологічні фактори.

Технологічні ризики при впровадженні інтелектуальних систем управління міською інфраструктурою можуть бути пов'язані зі складністю технічної інтеграції, а також із проблемами конфіденційності та захисту даних.

Необхідність постійного вдосконалення інтелектуальних систем управління міською інфраструктурою, шляхом впровадження нових алгоритмів та технологій, має бути визнана та враховано під час планування та реалізації відповідних проєктів.

Перспективами для подальшого розвитку інтелектуальних систем управління міською інфраструктурою є оптимізація можливостей системи запобігання кризовим ситуаціям, у тому числі катастрофічних, а також удосконалення засобів вироблення найбільш ефективних рішень на основі збору, аналізу, моделювання та розрахунку даних.

Необхідно враховувати потенційні негативні наслідки впровадження інтелектуальних систем управління міською інфраструктурою, такі як можливість порушення конфіденційності та посилення контролю за мешканцями міста.

Переваги інтелектуалізованих систем управління міською інфраструктурою можуть бути масштабними та довгостроковими, тому є сенс розглядати інвестиції в такі системи, як важливу складову у загальному розвитку міста.

Інтелектуальні системи управління міською інфраструктурою повинні бути доступними та взаємодіючими між собою для забезпечення цілісності та ефективності управління міською інфраструктурою, а також забезпечення прозорості та доступності інформації про роботу системи.

Основними перевагами інтелектуальних систем управління міською інфраструктурою є підвищення продуктивності, зниження ризиків та витрат, покращення якості життя городян, створення більш просунутої та стійкої міської інфраструктури. При цьому необхідно враховувати особливості конкретних міст та індивідуальні потреби населення.

У цьому дослідженні представлена перша в своєму роді комплексна платформа *intelligent 3d model* для систем управління адаптивних світлофорів. Крім того, для зменшення затримок на перехрестях та покращення користувальницького досвіду розроблено перевірену концепцію систем на базі *intelligent 3d model*. На відміну від традиційної системи з даними траєкторії, в цьому дослідженні використовується інформація про затримку транспортних засобів, що наближаються, до аналізованого перехрестя поряд із затримкою, накопиченою на перехресті безпосередньо перед ним, і розроблені два алгоритми для низьких і високих вимог. Новизна пропонованого підходу полягає в тому, що він може розподіляти затримку по всій сигналізованій мережі, щоб забезпечити кращий досвід поїздок в умовах перевантаженого дорожнього руху, та масштабується для загальноміської мережі. Проведено тематичне дослідження з використанням мікроскопічного моделювання дорожнього руху в SUMO для розробки цифрової копії сигналізації в міській місцевості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інтернет речей що це таке і як працює, суть, технології і приклади.
URL: <https://termin.in.ua/internet-rechey-iot/> (дата звернення: 21.03.2023)
2. Internet of Things: вступ і огляд можливостей URL:
<https://evergreens.com.ua/ua/articles/the-internet-of-things.html> (дата звернення: 21.03.2023)
3. МОКОSmart застосовує LoRaWAN і Bluetooth для використання IoT медичної промисловості URL: <https://www.mokosmart.com/uk/iot-medical-industry/> (дата звернення: 21.03.2023)
4. Як технології IoT і інструменти телематики вирішують нагальні проблеми підприємств легкої промисловості URL:
<https://transcontrol.com.ua/zapytannia-vidpovidi/276-yak-tekhnologii-iot-i-instrumenty-telematyky-vyrishuiut-nahalni-problemy-pidpriemstv-lehkoi-promyslovosti.html> (дата звернення: 21.03.2023)
5. IoT та сектор нафти: від big data до великих грошей URL:
<https://iotji.io/iot-ta-sector-nafty-vid-big-data-do-velykyh-hroshey/> (дата звернення: 21.03.2023)
6. Моніторинг температури IoT в енергетиці
URL: <https://www.dusuniot.com/uk/blog/iot-temperature-monitoring-in-energy-industry/> (дата звернення: 21.03.2023)
7. Iot в Україні URL: <https://iotukraine.com/ru/> (дата звернення: 21.03.2023)
8. Extending Secure Data Connectivity across existing Industrial Control Systems into the Cloud URL: https://moxa-europe.com/lp/whitepaper-microsoft/?gclid=CjwKCAjwvpCkBhB4EiwAujULMoZtLXV7BTVJ-uEl-UfW-AzyuwkIaEx64bWA4dR8snBRph4XmDK-RRoCVv8QAvD_BwE
9. Компанія IoT Ukraine URL: <https://kpi.ua/ru/taxonomy/term/2723> (дата звернення: 22.03.2023)

10. Інтернет речей вже в Україні. Хто запрацює на роботах? URL: <https://www.epravda.com.ua/rus/publications/2015/08/13/554178/> (дата звернення: 22.03.2023)
11. Smart products. More value: How product managers succeed with IoT URL: https://www.softwareag.com/en_corporate/resources/iot/guide/iot-product-manager-guide.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=iot_smart-products&utm_region=hq&utm_subcampaign=stg-1&utm_content=stg-1_guide_smart-prod-more-value-manag-success-iot&gclid=CjwKCAjwvpCkBhB4EiwAujULMniaWAbWHffTa3AyFh13NBz6HtX7FMVXUaDWHZ71oD_7nRO53JrGhoCkNIQAvD_BwE (дата звернення: (28.03.2023)
12. IoT devices URL: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/IoT-device> (дата звернення: (28.03.2023)
13. When Machines Talk URL: https://crosser.io/solutions/industry-40/iot-edge-stream-analytics/?gclid=CjwKCAjwvpCkBhB4EiwAujULMhppyYJRxrAZIjOSw1TwZOuumbPpHnZOwb3PWsZI4qs6uj_zucx26ARoCIR0QAvD_BwE (дата звернення: (28.03.2023)
14. LoRa Alliance URL: https://lora-alliance.org/?utm_source=Google+Paid+Ads&utm_medium=Search+Ads&utm_id=UK&gclid=CjwKCAjwvpCkBhB4EiwAujULMnUDvflyCx-xnK8NG9iV14adcHT0BthGmueRjC7yme5GgidgZLXBLBoCL28QAvD_BwE (дата звернення: 04.04.2023)
15. 13 COOL EXAMPLES OF INTERNET OF THINGS APPLICATIONS AND HOW TO DEVELOP ONE URL: <https://easternpeak.com/blog/6-cool-examples-of-internet-of-things-applications-and-how-to-develop-one/> (дата звернення: 04.04.2023)

16. Internet of Things (IoT) Examples by Industry in 2023 URL: <https://dgtlinfra.com/internet-of-things-iot-examples/> (дата звернення: 04.04.2023)
17. Debunking 6 Industrial IoT (IIoT) myths
URL: https://www.softwareag.com/en_corporate/resources/iot/ebook/iiot-myths.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=iot_smart-products&utm_region=hq&utm_subcampaign=stg-1&utm_content=stg-1_ebook_debunking-iot-myths&gclid=CjwKCAjwvpCkBhB4EiwAujULMrU7Mgvmm6w32qMD7aF2Gn2dL0FSL9IUuuD7X0pedI4FPcfiQfnCThoCvG0QAvD_BwE (дата звернення: 04.04.2023)
18. Netmore – A dedicated IoT operator URL: https://netmoregroup.com/iot-network/?gclid=CjwKCAjwvpCkBhB4EiwAujULMp9OergICB8FXFMUXf1SJDNQQO1XYdV3KoqiGCqX9WNcthbMY_jfsRoCyZwQAvD_BwE (дата звернення: 04.04.2023)
19. Internet of Things (IoT) testing URL: https://www.rohde-schwarz.com/uk/solutions/test-and-measurement/wireless-communication/iot-m2m/iot-m2m-overview_230314.html?mid=10902&midx=generic-iot-test_generic-iot-combinations_search_text-ad_r-eu_&kw=iot%20devices (дата звернення: 04.04.2023)
20. 85 Top IoT Devices URL: <https://www.datamation.com/mobile/85-top-iot-devices/> (дата звернення: 04.04.2023)