

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

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Система паркування "розумного міста" засобами Інтернету речей

Виконав: студент IV курсу, групи СНс-42

спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Попович О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дмитроца Л.П.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Марценко С.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Гащин Н.Б.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

АНОТАЦІЯ

Система паркування "розумного міста" засобами Інтернету речей // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Попович Олександр Володимирович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СНс-42 // Тернопіль, 2024 // С. 56, рис. – 20, табл. – 1, кресл. – 15, додат. – 0, бібліогр. – 35.

Ключові слова: LoRa, LoRaWAN, Parking management, Smart parking, Smart city, TTN.

Кваліфікаційна робота присвячена створенню системи паркування «розумного міста» засобами Інтернету речей. В першому розділі кваліфікаційної роботи висвітлено актуальність розробки системи паркування «розумного міста» та проаналізовано публікацій в галузі систем паркування «розумних міст».

В другому розділі кваліфікаційної роботи сформована архітектура системи паркування «розумного міста». Описано вибір компонентів системи паркування «розумного міста». Змодельована конструкція датчиків системи паркування «розумного міста». Сформована практична модель «розумного» датчика паркування. Описано тестування та розширення функціональності. Розглянуто порядок функціонування системи паркування «розумного міста». Описано процеси функціонування сенсорного вузла та системи паркування «розумного міста» загалом.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано процес перевірки системи паркування «розумного міста». Проаналізовано підключення LoRa/LoRaWAN системи паркування «розумного міста». Розглянуто LoRa SNR та аналіз RSSI системи паркування «розумного міста».

ANNOTATION

The "Smart City" Parking System Using the Internet of Things // Qualification work of the educational level "Bachelor" // Popovych Oleksandr Volodymyrovych // Ternopil Ivan Pulyu National Technical University, Computer and Information Systems and Software Engineering Faculty, Computer Sciences Department, group SNs-42 // Ternopil, 2024 // P. 56, fig. - 20, tabl. - 1, chair. - 15, annexes. – 0, references - 35.

Keywords: parking sensors, Internet of Things, urban infrastructure, smart city, sensor nodes, parking system, LoRa, LoRaWAN.

The qualification work is devoted to the creation of a "smart city" parking system using the Internet of Things. In the first section of the qualification work, the relevance of the development of the "smart city" parking system is highlighted and publications in the field of "smart city" parking systems are analyzed.

In the second section of the qualification work, the architecture of the "smart city" parking system is formed. The selection of components of the "smart city" parking system is described. Simulated construction of sensors of the "smart city" parking system. A practical model of a "smart" parking sensor has been developed. Testing and extending the functionality is described. The functioning of the "smart city" parking system is considered. The processes of functioning of the sensor node and the "smart city" parking system in general are described.

The third section of the qualification work describes the process of checking the "smart city" parking system. The LoRa/LoRaWAN connection of the "smart city" parking system is analyzed. LoRa SNR and RSSI analysis of a smart city parking system are reviewed.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

IoT (англ. Internet of Things) – Інтернет речей.

GUI (англ. Graphical User Interface) – графічний інтерфейс користувача.

LPWAN (англ. Low Power Wide-Area Network) – мережа з низьким енергоспоживанням дальнього радіусу дії.

LoRaWAN (англ. Long Range Wide-Area Network) – мережевий протокол, побудований на основі технології LoRa.

SPS (англ. Smart Parking System) – «розумні» системи паркування.

SPMS (англ. Smart City Parking Management System) – система управління парковкою «розумного міста».

SNR (англ. Signal-to-Noise Ratio) – міра, що застосовується в науці та інженерії для визначення наскільки сильно сигнал спотворений шумом.

WSN (англ. Wireless Sensor Network) – бездротові сенсорні мережі.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ СИСТЕМ ПАРКУВАННЯ	
«РОЗУМНИХ МІСТ»	10
1.1 Актуальність розробки системи паркування «розумного міста»	10
1.2 Аналіз публікацій в галузі систем паркування «розумних міст»	16
1.3 Висновок до першого розділу	19
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПАРКУВАННЯ	
«РОЗУМНОГО МІСТА»	20
2.1 Архітектура системи паркування «розумного міста»	20
2.2 Вибір компонентів системи паркування «розумного міста»	22
2.3 Конструкція давачів системи паркування «розумного міста»	23
2.4 Практична модель «розумного» давача паркування	25
2.5 Тестування та розширення функціональності	26
2.6 Порядок функціонування системи паркування «розумного міста»	28
2.7 Функціонування сенсорного вузла системи паркування «розумного	
міста»	30
2.8 Функціонування системи паркування «розумного міста» та збір	
даних	31
2.9 Висновок до другого розділу	35
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ	
ПАРКУВАННЯ «РОЗУМНОГО МІСТА»	36
3.1 Перевірка системи паркування «розумного міста»	36
3.2 Аналіз підключення LoRa/LoRaWAN системи паркування	
«розумного міста»	39
3.3 LoRa SNR та аналіз RSSI системи паркування «розумного міста» ...	43
3.4 Висновок до третього розділу	47
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	48
4.1 Питання щодо безпеки життєдіяльності	
Помилка! Закладку не визначено.	

4.2 Питання з основ охорони праці ... Помилка! Закладку не визначено.	
4.3 Висновок до четвертого розділу	51
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ.....	53
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність теми. Оскільки Інтернет речей (IoT) розвивається, він прокладає шлях до життєво важливих застосунків для «розумних міст», яскравим прикладом яких є система управління парковкою «розумного міста». Актуальність розробки системи паркування «розумного міста» засобами Інтернету речей обумовлена низкою сучасних викликів та потреб цифрової трансформації міського середовища [1]. У сучасних містах, де зростає кількість автомобілів, питання паркування стає дедалі більш актуальним. Традиційні методи паркування не завжди можуть ефективно вирішити проблеми, пов'язані з обмеженими паркувальними місцями, заторами та викидами забруднюючих речовин.

Використання технологій Інтернету речей (IoT) для створення системи паркування у «розумному місті» відкриває нові можливості для покращення міської інфраструктури [2]. Інтелектуальні системи паркування, засновані на IoT, можуть автоматично відстежувати наявність вільних паркувальних місць, надавати в режимі реального часу інформацію водіям, оптимізувати використання паркувального простору та знижувати рівень заторів.

Забезпечення ефективного паркування сприяє покращенню якості життя мешканців міста, знижує рівень стресу серед водіїв та сприяє збереженню навколишнього середовища. Крім того, впровадження таких систем стимулює розвиток інноваційних технологій і може стати важливим кроком до створення інтегрованих розумних міських екосистем.

Таким чином, дослідження та розробка системи паркування «розумного міста» засобами Інтернету речей є актуальними завданнями, що відповідає сучасним тенденціям розвитку міської інфраструктури та сприяють підвищенню якості життя в містах.

Мета і задачі дослідження. Мета даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» полягає в у створенні ефективної, безпечної та інноваційної системи паркування, що сприятиме підвищенню якості життя у

«розумних містах», зниженню заторів та покращенню загальної екологічної ситуації. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- Проаналізувати предметну область систем паркування у контексті «розумних міст», зібрати та узагальнити наявні публікації з даної тематики.
- Розробити архітектуру системи паркування «розумного міста».
- Вибрати необхідні компоненти, сконструювати давачі та створити модель «розумного» давача паркування.

Практичне значення одержаних результатів. У кваліфікаційній роботі розроблено систему паркування для «розумного міста» з використанням технологій Інтернету речей (IoT). Описано процес тестування системи, що включало перевірку функціональності сенсорних вузлів та аналіз підключення за допомогою протоколів LoRa/LoRaWAN. Отримані результати підтвердили ефективність системи паркування «розумного міста» у зниженні часу пошуку паркувального місця та підвищенні загальної ефективності міського паркування.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ СИСТЕМ ПАРКУВАННЯ «РОЗУМНИХ МІСТ»

1.1 Актуальність розробки системи паркування «розумного міста»

Доступність паркувальних місць майже в кожному приміському районі завжди обмежена, а пошуки вільного паркувального місця займають багато часу та призводять до заторів, забруднення повітря, зайвих витрат палива та незадоволення водіїв [3]. Крім того, розвиток «розумних міст» призводить до значних складнощів дорожнього руху. При цьому пошук місць для паркування може спричинити до тридцяти відсотків заторів усередині міста [4]. Навпаки, деякі стоянки мають низький рівень використання та вільні більшу частину часу, але водії не доїжджають до таких стоянок через відсутність інформації в режимі реального часу [5]. Таким чином, наявність місць для паркування стала широко поширеною проблемою міської забудови, і впродовж останнього періоду часу зросла обізнаність людей про важливість місць для паркування. Відповідно, необхідно використовувати систему керування паркуванням «розумного міста», яка в режимі реального часу збирає інформацію про паркувальні місця по всьому «розумному місту» та робить їх доступними для громадськості [6]. Таким чином, ця система зможе допомогти:

- скерувати водіїв до доступних паркувальних місць;
- заощадити їхній час;
- покращити використання паркувальних місць;
- зменшити витрати на управління паркуванням і зменшити затори [7].

Враховуючи зазначені питання, «розумні» системи паркування (SPS) затребувані в середовищі «розумних міст» [8]. Міська система паркування містить шлагбауми, контролює доступність і автоматизує локальні системи паркування. Таким чином, система паркування «розумного міста» допомагає вирішити задачі:

- контролю незаконного паркування;

- заторів;
- втрати часу на пошук місця для паркування;
- оптимізації місткості паркування [9].

Давачі для виявлення транспортних засобів зазвичай розміщують на паркувальних місцях, щоб оновлювати поточний статус паркування та даючи водіям можливість зручно визначити вільне місце для паркування [10]. Деякі системи також використовують контроль доступу, квитки або жетони до платіжного механізму, щоб дати змогу транспортному засобу зручно в'їжджати. Найважливіше те, що розробка системи керування паркуванням відіграє важливу роль у інноваційній технології «розумних» систем паркування на громадських чи приватних паркувальних майданчиках. Щоб завжди пропонувати найкраще керування процесами паркування, система «розумного міста» повинна постійно вдосконалюватися [11]. Щороку необхідно додавати нові функції для успішного керування паркуванням «розумного міста». Причиною є вплив парадигми Інтернету речей (IoT) на автоматизацію та покращення повсякденного життя за допомогою нових технологій [11].

IoT використовує різні системи та протоколи для підключення декількох мереж пристроїв і давачів до Інтернету [12]. IoT передбачає розширення підключення до Інтернету за межі стандартних пристроїв для підключення повсякденних побутових предметів, що підлягають дистанційному моніторингу та контролю через Інтернет. IoT залежить від застосунків смартфонів для оновлення даних на центральному сервері [11]. Таким чином, IoT покращує масштабованість мережі, безпеку даних [11], надійність передачі даних і пропонує функції аналізу в режимі реального часу та обробники подій [11]. IoT аналізує історичні тенденції даних, попередження та сповіщення; крім того, він збирає дані про пристрій і перетворює їх на корисну інформацію [13]. Впровадження застосунків Інтернету речей та «розумної» інфраструктури вплинуло на можливості паркування. Відповідно до [14], оператори паркування повинні приділяти особливу увагу:

- клієнтському досвіду;

- технологіям;
- аналітиці даних;
- управлінню розташуванням;
- ефективним системам ціноутворення;
- управлінню попитом;
- надійному управлінню витратами.

Концепція системи паркування на основі Інтернету речей використовує датчик для моніторингу наявності паркувальних місць і графічний інтерфейс користувача (GUI), щоб перевірити статус паркувального місця та забронювати його [15]. У науковій та популярній літературі запропоновано обширний перелік систем паркування «розумних міст» на основі IoT, а деякі з них реалізовано в пілотних проектах «Smart City» для покращення міського життя з урахуванням ряду соціальних, фінансових та екологічних аспектів. Однак більшість із них мають обмеження:

- можливостей обробки мікроконтролерів;
- чутливості методів виявлення;
- інтерфейсу системи.

Переважає більшість реалізованих систем «розумного» моніторингу паркування керуються локально та не мають інформації в режимі реального часу для водія про те, де знайти місце для паркування [16]. Більшість з них зазвичай використовують або в дротові мережі, або в технології зв'язку малого радіусу дії:

- Bluetooth;
- ZigBee;
- Wi-Fi;
- RFID.

Однак технології не є надійними в більшості сценаріїв внутрішнього та зовнішнього паркування та мають багато складнощів через:

- перешкоди;
- споживанням енергії;

– обмежені ресурси.

Еволюція «розумного» паркування мала багато мотивацій, і серед них – використання технологій дальнього радіусу дії, зокрема, глобальної мережі великого радіусу дії (LoRaWAN) [17]. Таким чином, у кваліфакаційній роботі освітнього рівня «бакалавр» пропонується впровадити LoRaWAN у систему паркування «розумного міста».

LoRa – це запатентована технологія бездротового зв'язку IoT. LoRaWAN – протокол глобальної мережі з низьким енергоспоживанням (LPWAN) із відкритою специфікацією, яка підтримує технологію LoRa. Топологія мереж LoRaWAN – це «зірка зірок» зі шлюзом, який передає дані з вузлів LoRa на сервер IoT [18]. Канал бездротового зв'язку між вузлами та шлюзом проходить через фізичний рівень LoRa, тоді як шлюзи та сервер IoT з'єднані через рівень MAC LoRaWAN та магістральну мережу на основі IP. Технологію LoRa можна легко підключити до традиційної інфраструктури, щоб увімкнути недорогі застосунки Інтернету речей із низькою швидкістю передачі даних і працювати від акумулятора [19]. Технологія LoRa підтримує безпечний двосторонній зв'язок для програм IoT, які масштабуються для підключення мільйонів потенційних пристроїв. Протокол LoRaWAN був розроблений з автентифікацією та шифруванням, вбудованими в саму специфікацію для безпеки. Пристрої з одним шлюзом LoRa можуть працювати з тисячами кінцевих пристроїв або вузлів. У порівнянні з іншими IoT протоколами зв'язку, LoRaWAN є малопотужною мережею дальнього радіусу дії та має безпечну передачу даних, що дає можливість системі працювати впродовж тривалого періоду часу та керувати будь-яким пристроєм на значній відстані. Цю технологію можна застосовувати на великих площах паркінгів.

Звичайні системи паркування не змогли забезпечити надійну інформацію в режимі реального часу. Ненадійність даних і низька надійність процесів передачі даних через часті збої зв'язку спричиняють труднощі зі збором даних із несправних давачів, що призводить до неправильного зв'язку з сервером керування та кінцевими користувачами. Крім того, висока вартість доступних

на ринку «розумних» датчиків, вартість впровадження та обслуговування, складність систем і споживання енергії є суттєвими проблемами традиційних систем міського паркування. Тому обмеження слід враховувати в будь-яких запропонованих рішеннях. Крім того, слід розробити більш ефективні, надійні, міцні, економічно вигідні, не потребуючі в обслуговуванні та прості в розгортанні «розумні» паркувальні блоки з підтримкою Інтернету речей для доступу до інформації та даних у режимі реального часу водіями та керівництвом. Використання LPWAN, таких як LoRa, NB-IoT і SigFox, все ще знаходиться на ранніх стадіях у застосунках для «розумного» паркування [20]. Таким чином, розробка «розумних» датчиків для моніторингу та керування паркуванням у реальному часі базується на одній із найпередовіших бездротових технологій, які користуються великим попитом.

Загалом, більшість «розумних» систем паркування містить сенсорний блок, контролер і датчик з комунікаційним інтерфейсом, джерелом живлення та сервером керування [11]. Блок датчиків на місці зазвичай розгортається на місцях паркування для виявлення присутності транспортного засобу на розглянутому місці паркування. У деяких системах бездротові сенсорні мережі (WSN) використовуються для керування паркуванням і сповіщення кінцевих користувачів про наявність паркувальних місць через графічний інтерфейс мобільного застосунку. Більшість досліджень з управління паркуванням мали обмеження, пов'язані з технологіями зв'язку та використанням Інтернету речей. Хоча деякі системи застосовували концепцію WSN для моніторингу паркування, оновлення даних у режимі реального часу в Інтернеті ще не підтримується. Отже, більшість існуючих працюють локально з обмеженою територією. Декілька досліджень застосовували концепцію IoT для систем керування паркуванням, але мали проблеми, пов'язані з:

- дальністю підключення;
- можливостями обробки мікроконтролерів;
- точністю вимірювання;
- споживанням енергії;

– вартістю.

Кваліфікаційна робота освітнього рівня «бакалавр» спрямована на розробку системи керування паркуванням «розумного міста» на основі IoT за допомогою технологій LPWAN. «Розумні» сенсорні вузли, що використовують комунікаційний інтерфейс LoRa з вбудованим мікроконтролером, повинні бути розроблені та розгорнуті на паркінгах для оновлення статусу паркувальних місць у режимі реального часу на платформі Інтернету речей, яка контролюватиметься адміністрацією, щоб надати водіям можливість знаходити вільні місця. за допомогою смартфонів оперативно та ефективно [11].
Комунікаційний протокол LoRa вибрано, тому що він:

- підтримує широкий діапазон підключення до мережі;
- споживає малу кількість енергії;
- використовує низьку швидкість передачі даних;
- не потребує ліцензування суб-частот.

Очікується, що система паркування на основі Інтернету речей зменшить трафік у місті, особливо у місцях паломництва, покращить використання паркувальних місць і обізнаність людей про наявність паркувальних місць [11].

У кваліфікаційній роботі освітнього рівня «бакалавр» зосередимося на створенні вдосконалених вузлів дистанційного зондування з використанням технології LoRa, що складається з подвійних давачів – ультразвукового та магнітного. Така конструкція забезпечує ефективну передачу інформації в режимі реального часу та розширений діапазон підключення до мережі в межах цільової області. Ефективні давачі будуть оперативно оновлювати дані на хмарній IoT-платформі, надаючи доступ у режимі реального часу водіям та керуючим паркуванням. Шлюз LoRa буде використовуватися для одночасного збору даних з декількох давачів і подальшої передачі в Інтернет. Інформаційна панель з графічним інтерфейсом Інтернету речей призначена для полегшення процесів збору даних про паркування в режимі реального часу для водіїв і керівного персоналу.

Для досягнення поставлених цілей потрібно розробити систему паркування (SPS) «розумного міста» на базі LoRaWAN, здатну передавати дані давачів користувачам на відстані до десяти кілометрів. Користувачі повинні мати можливість контролювати дані про місця для паркування з графічного інтерфейсу «AllThingsTalk Glance» – у будь-який час і в будь-якому місці.

1.2 Аналіз публікацій в галузі систем паркування «розумних міст»

Удосконалення системи паркування «розумного міста» привернуло увагу академічних та промислових секторів завдяки їхнім фінансовим, екологічним і візуальним ефектам. З'явилася низка програмно-алгоритмічних рішень для паркування, зокрема, «SmartParking», «PlacePod» і «Sittraffic Scala» [11], що пропонують функції:

- онлайн-бронювання;
- обробки платні;
- динамічних карт паркування.

Тим не менш, їх основними обмеженнями є висока ціна та малий потенціал розробки для публічних розробників, оскільки вони не є відкритим кодом. Численні наукові огляди досліджували, класифікували та вивчали технічні компоненти «розумних» систем паркування [21].

Перелік пов'язаних статей стосується різних тем, таких як застосування та досвід користувача [22], ціноутворення та угоди [23], а також прогнозування доступності та розподілу [24]. Для класифікації цих систем можна використовувати декілька критеріїв, наприклад середовище паркування, пропоновані послуги або основні методи вимірювання. Системи паркування можна аналізувати та групувати на основі основних методів вимірювання, бездротових, мобільних систем та систем на основі камер. Цей розділ зосереджуватиметься лише на найбільш відповідних рішеннях для «розумного» паркування. У цих рішеннях застосовуються бездротові системи на основі

давачів, які використовують LoRa як мережеву інфраструктуру системи, що забезпечує широке покриття та низьке енергоспоживання.

Дослідження [25] продемонстрували перевірку реалізації концепції системи паркування «розумного міста» з використанням інфраструктури LoRa. Впроваджені системи продемонстрували енергоефективність, надійність і масштабованість для моніторингу та керування паркуванням у великих містах. У [26], система онлайн-бронювання була інтегрована з автостоянками в «Universitas Hasanuddin». Подібним чином система паркування «розумного міста» на основі LoRa була розроблена у [27]. Вона містить сенсорні модулі, серверний модуль, застосунок для резервування та платіжну платформу третьої сторони. Якість, безпека та надійність зв'язку LoRa не оцінювалися на реальних паркінгах зі складною міською обстановкою.

У [28] дослідники представили рішення для «розумного» паркування, яке інтегрувало «розумні» давачі паркування Libelium, LoRaWAN і кластер Kubernetes з MQTT і MongoDB. Ця комбінація покращила доступність, масштабованість і портативність системи паркування «розумного міста», усунувши вузькі місця обміну інформацією. Система зберігала всі повідомлення на сервері обміну повідомленнями для подальшої обробки в разі збою основного сервера збору даних. Ще одне «розумне» рішення для паркування з алгоритмом ціноутворення для максимізації прибутку запропоновано в [29], де ціна динамічно регулювалася, щоб збалансувати попит і пропозицію місць для паркування, забезпечуючи мінімальну плату за паркування. Це рішення використовувало різні давачі для виявлення транспортних засобів і збору контекстних і навколишніх даних, використовуючи периферійні та хмарні обчислення для зменшення навантаження на мережу та кількості шлюзів.

Інші дослідження були спрямовані на підвищення сумісності рішень для паркування. Система в [30] реалізувала орієнтовану архітектуру шлюзу Інтернету речей [31], що забезпечує взаємодію в режимі реального часу між

підтримуваними сенсорними пристроями та приводами через шлюз LoRa за допомогою мережі LoRa.

Більшість систем паркування «розумних міст» складається з [11]:

- сенсорного блоку;
- контролера;
- давача;
- комунікаційних інтерфейсів;
- блока живлення;
- сервера керування.

Блоки зондування на місці зазвичай розгортають на паркувальних місцях для виявлення присутності транспортного засобу. Деякі системи використовують бездротові сенсорні мережі (WSN) для керування паркуванням і сповіщення користувачів про наявність місць для паркування через графічний інтерфейс мобільного застосунка.

Обширна група досліджень з управління паркуванням зіткнулися з обмеженнями, пов'язаними з технологіями зв'язку та використанням Інтернету речей [11]. Хоча деякі системи застосовували концепцію WSN для моніторингу паркування, оновлення даних в Інтернеті в режимі реального часу не підтримувалося, і більшість існуючих систем паркування «розумних міст» працювали локально в межах обмеженої території.

Ряд досліджень застосовували концепцію IoT для систем керування паркуванням, але зіткнулися з проблемами, пов'язаними з дальністю підключення, можливостями обробки мікроконтролерів, точністю вимірювання, споживанням енергії та вартістю [11].

У кваліфікаційній роботі освітнього рівня «бакалавр» зосередимось на розробці інтелектуальних сенсорних вузлів на основі технології LoRa, що складаються з двох давачів – ультразвукового та магнітного для забезпечення ефективної передачі інформації в режимі реального часу та розширеного підключення до мережі. «Розумніші» та ефективніші давачі повинні оновлювати інформацію на хмарній платформі IoT, доступ до якої будуть мати

водії та керуючі паркуванням у режимі реального часу. Шлюз LoRa збиратиме дані з декількох датчиків одночасно та надсилатиме їх до Інтернету, а інформаційна панель та графічний інтерфейс Інтернету речей забезпечить доступ до даних про паркування в режимі реального часу для водіїв та менеджерів «розумного міста».

1.3 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи висвітлено актуальність розробки системи паркування «розумного міста» та проаналізовано публікацій в галузі систем паркування «розумних міст».

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПАРКУВАННЯ «РОЗУМНОГО МІСТА»

2.1 Архітектура системи паркування «розумного міста»

На рисунку 2.1 подано архітектуру системи паркування «розумного міста», де мікроконтролер Arduino UNO в системі [11] збирає дані з магнітних та ультразвукових датчиків.

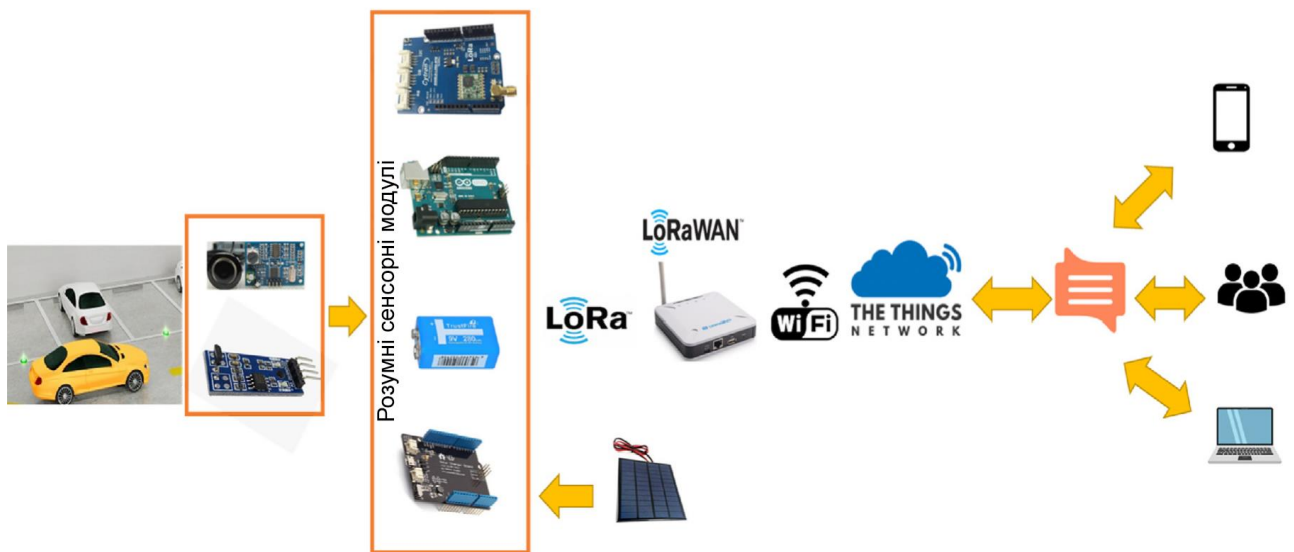


Рисунок 2.1 – Узагальнена інформаційно-технологічна архітектура системи паркування «розумного міста» [11]

Мікроконтролер може збирати дані та надсилати їх на сервер IoT за допомогою підключеного модуля LoRa. Вузол живиться за допомогою акумуляторної батареї, яка заряджається за допомогою панелі сонячних батарей через екран сонячного зарядного пристрою. TTN – це захищений сервер LoRaWAN IoT з відкритим кодом, який вибрано для отримання корисних даних від шлюзу LoRaWAN. Передача даних від «розумного» датчика присутності буде перевірена в TTN, а потім інтегрована в «AllThingsTalk Maker» [11]. Користувачі можуть дистанційно контролювати доступну інформацію про послуги паркування за допомогою пристроїв, підключених до Інтернету.

Обидва датчики почнуть одночасно збирати дані про місце для паркування, щоб забезпечити точність даних. Як тільки автомобіль займає стоянку (див. рисунок 2.2), IoT-пристрій негайно надсилає інформацію на сервер TTN через шлюз LoRaWAN [11].

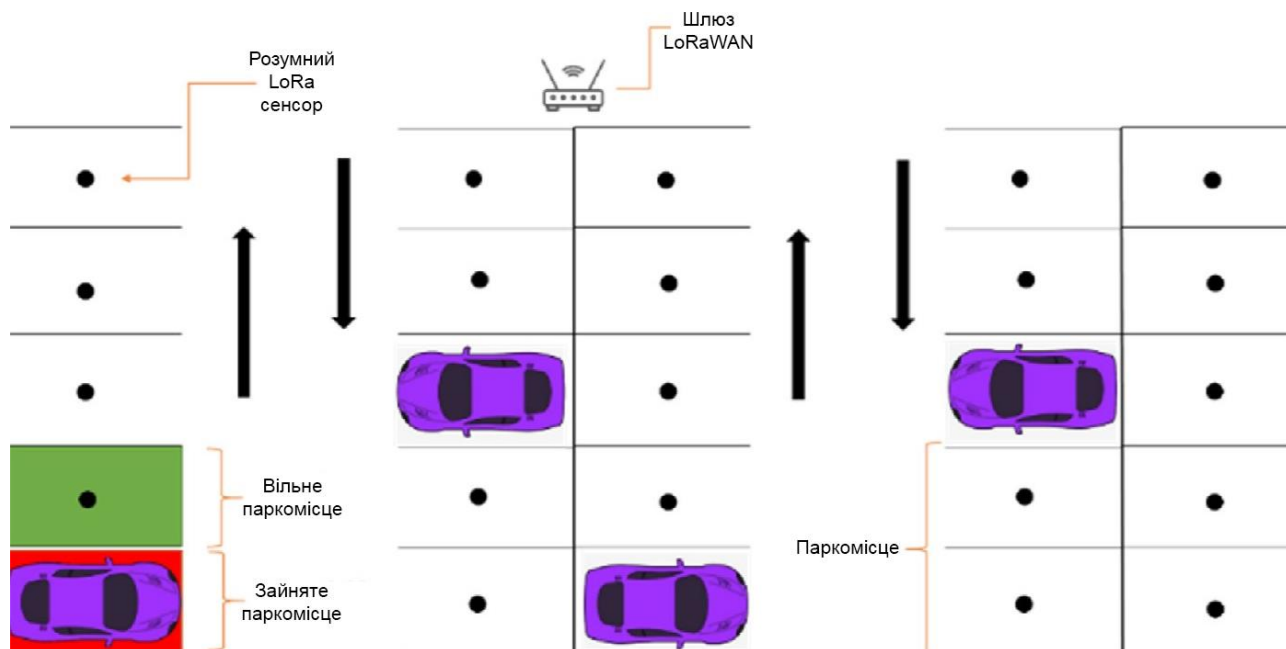


Рисунок 2.2 – План «розумного» паркінгу [11]

Консоль TTN збирає всі повідомлення зі шлюзу, фільтрує повторювану інформацію, а потім пересилає цю інформацію на інтеграційну платформу «AllThingsTalk Maker» [11]. Одразу загоряється червоний світлодіод, якщо автомобіль знаходиться в радіусі 50 см. В іншому випадку зелений світлодіод горітиме безперервно, доки наступний автомобіль не ініціює датчик. Червоний світлодіод змінить колір на зелений, якщо автомобіль залишив місце паркування. Вся інформація буде синхронізуватися з графічним інтерфейсом користувача, і водії можуть зручно знаходити вільні та зайняті місця для паркування в режимі реального часу.

Тривалість паркування для кожного автомобіля можна оцінити за допомогою таймера ультразвукового датчика з моменту загорання червоного світлодіода до повторного загорання зеленого [11]. Цей час можна використати для оцінки вартості паркування. Таким чином, водії знайдуть більш зручний

спосіб моніторингу статусу паркування, та позитивний досвід використання інноваційних інформаційних та комунікаційних технологій і краще управління часом від постачальника послуг «розумного» автоматизованого паркування.

2.2 Вибір компонентів системи паркування «розумного міста»

Вибір компонентів, необхідних для системи паркування «розумного міста», був зроблений після аналізу подібних досліджень, проектів і специфікацій даних. Для забезпечення максимальної функціональності, сумісності та ефективності, що зумовило вибір апаратного та програмного забезпечення.

Апаратні компоненти були обрані на основі їх унікальних особливостей і здатності виконувати функції, необхідні системі паркування «розумного міста». Arduino Uno Rev3 обрано через його гнучкість, простоту та сильну підтримку спільноти, що робить його чудовою основою для «розумного» сенсорного вузла [11]. LoRa-RFM Shield був обраний через його чудову здатність зв'язку на великій відстані, що має вирішальне значення для передачі даних у SPMS. Solar Charger Shield v2.2 і Solar Panel були включені, щоб забезпечити стійке, автономне джерело живлення, необхідне для автономної роботи системи паркування «розумного міста».

Триохкоординатна панель цифрового компаса QMC5993L була використана через точність виявлення транспортних засобів, а водонепроникний ультразвуковий модуль JSN-SR04T був обраний через його ефективність в умовах зовнішнього розміщення і довговічність у різних погодних умовах [11]. Перезаряджувану батарею 3,7В LiPo обрано через її високу щільність енергії та можливість перезарядження, що ідеально доповнює установку сонячної енергії.

Для компонентів програмного забезпечення обрано програмне забезпечення Fritzing та Proteus Stimulation через їхню корисність у електронному проектуванні та моделюванні схем відповідно [11]. Програмне

забезпечення Arduino IDE було обрано з завдяки його сумісності з обраним мікроконтролером. Сервер Things Network (TTN) був обраний через його широке використання та сумісність з LoRaWAN, а «AllThingsTalk Maker» і Glance були обрані через їхні зручні інтерфейси, що дають можливість ефективно відображати дані та взаємодіяти [11].

2.3 Конструкція датчиків системи паркування «розумного міста»

На рисунку 2.3 показано віртуальну схему, розроблену за допомогою програмного забезпечення Fritzing [11].

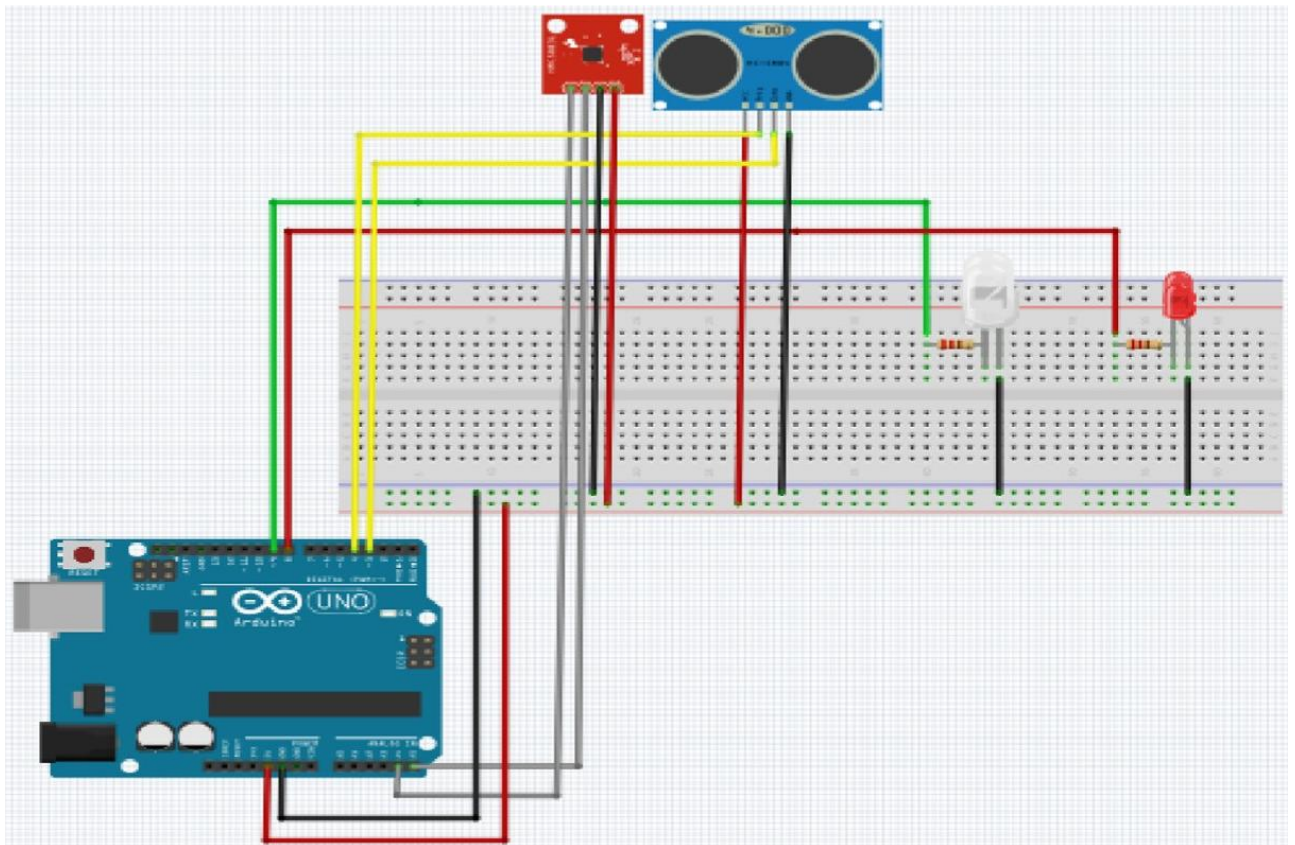


Рисунок 2.3 – Модель IoT-датчиків паркування на макетній платі [11]

Сенсорний вузол оснащений триохвилинною платою цифрового компаса, яка діє як магнітометр для виявлення присутності металу автомобіля, і водонепроникним ультразвуковим датчиком для визначення відстані та часу,

який автомобіль потратив на паркування [11]. Коли датчик зберуть необхідні дані, один із світлодіодних індикаторів загориться, задовольняючи умови, визначені автоматично.

На рисунку 2.4 показано модель ультразвукового датчика, який замінює водонепроникний ультразвуковий датчик через обмежену бібліотеку Proteus.

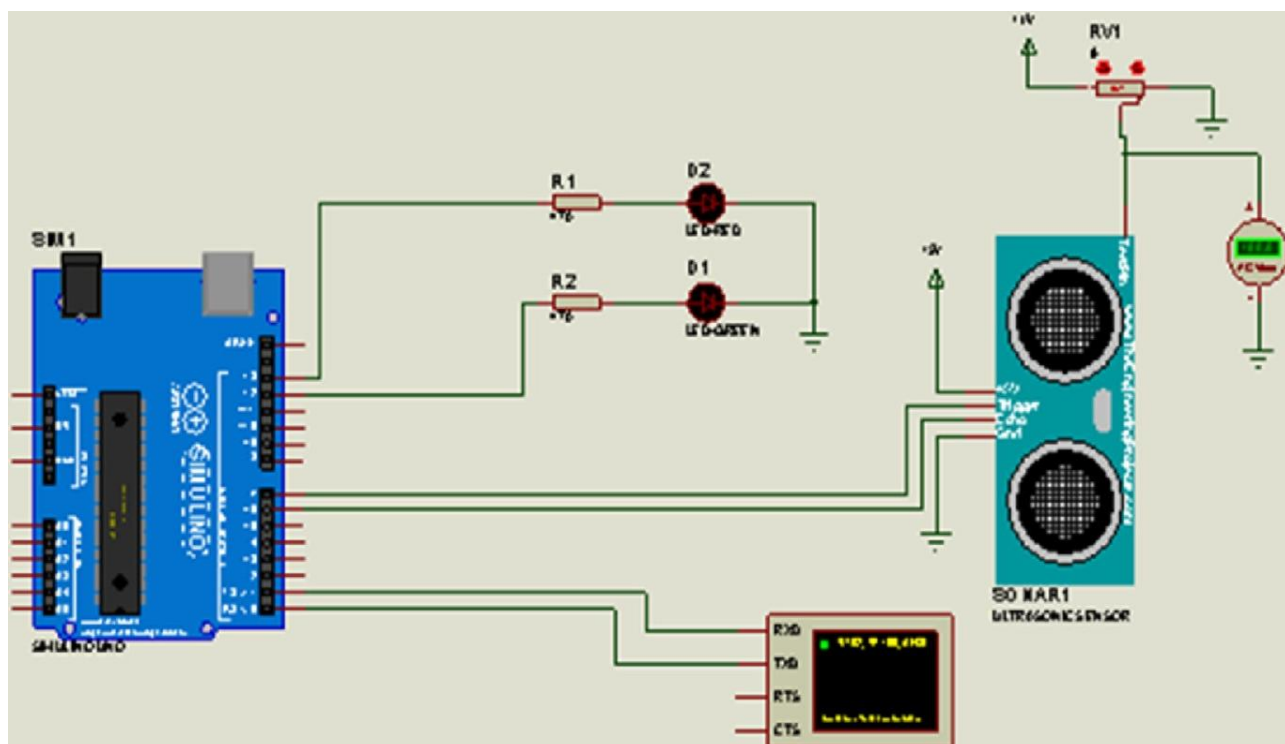


Рисунок 2.4 – Proteus-модель ультразвукового датчика паркування [11]

В [11] змодельовано коди лише для водонепроникного ультразвукового датчика. Відстань зафіксована на двадцять сантиметрів у кодуванні для включення червоного світлодіода. В іншому випадку засвітиться зелений світлодіод, який вказує на те, що місце ще не зайнято. Після завершення моделювання підключаємо компоненти системи до Arduino, який програмується через програмне забезпечення Arduino IDE. Спочатку код реалізовувався лише за допомогою віртуальної симуляції з використанням різних компонентів зі схожими властивостями. Оскільки не можливо повною мірою використовувати програмне забезпечення Proteus, тривісну компасну плату перевірено фізично за допомогою послідовного монітора Arduino UNO.

2.4 Практична модель «розумного» давача паркування

Для виготовлення корпусу «розумного» сенсорного вузла використано 3D-друк. Програмне забезпечення для створення ескізів під назвою Solidwork використовується для отримання реального вигляду корпусу [11]. На рисунку 2.5 показаний зовнішній вигляд «розумного» IoT-вузла паркування після пайки всіх компонентів.

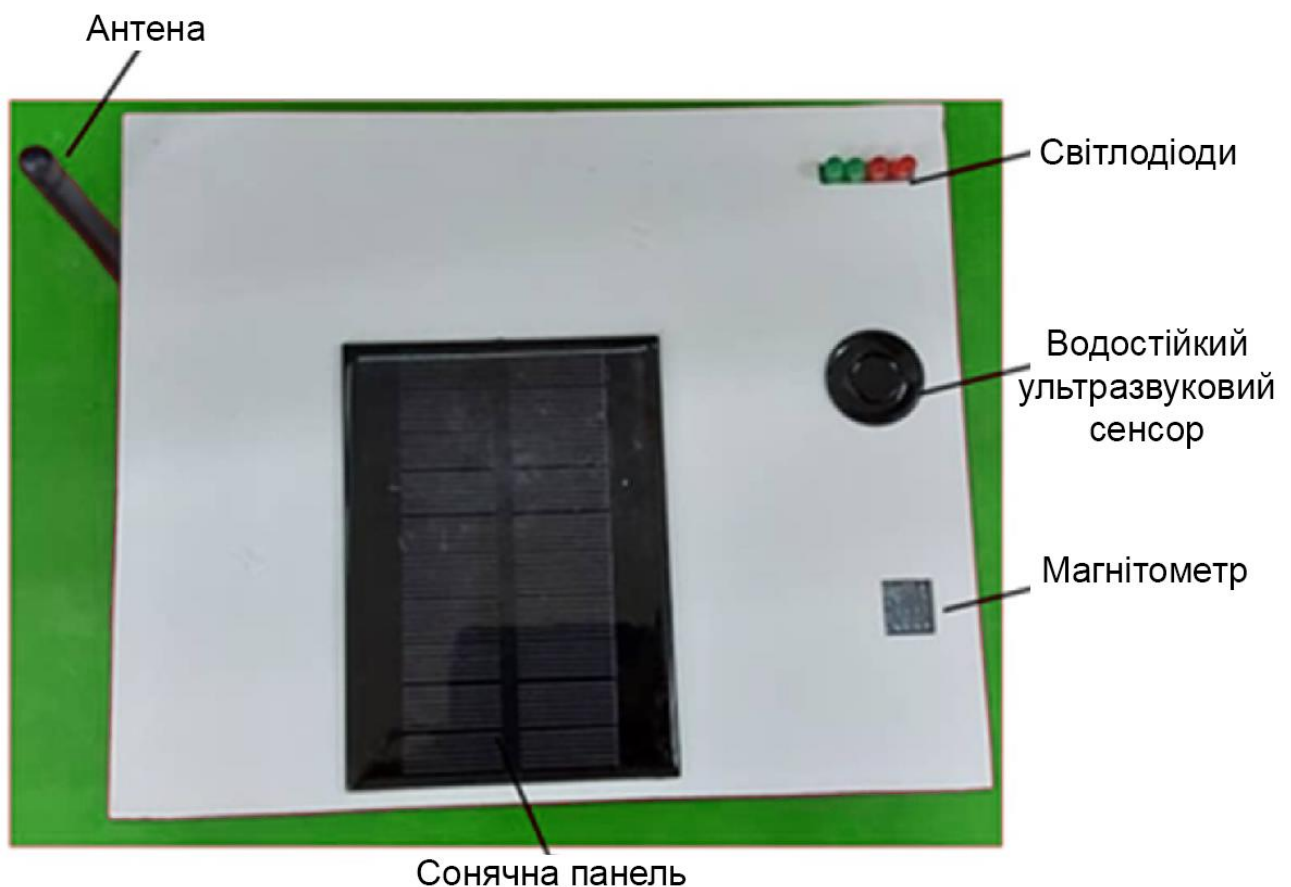


Рисунок 2.5 – Зовнішній вид IoT-вузла паркування [11]

Сонячна панель розміщена зверху, щоб полегшити процес зарядки акумулятора, поглинаючи сонячне світло. Антена екрану LoRa розміщена з лівого боку корпусу, щоб уникнути переривання сигналу [11]. Ультразвуковий давач і магнітометр розміщені у верхній частині корпусу, а на магнітометр нанесено прозорий шар, щоб зробити його більш водонепроникним.

Після впровадження IoT-SPMS-LoRaWAN об'єднано всі датчики з мікроконтролером і екраном LoRa в один «розумний» сенсорний блок [11] для розміщення на місці паркування.

2.5 Тестування та розширення функціональності

Перед початком реального розміщення «розумного» сенсорного вузла в місцях для паркування необхідно виміряти вхідні та вихідні дані системи в LAB і переконатися, що вимірювання є задовільними. Після компіляції бібліотек кодування датчиків, приводів та інтерфейсів в Arduino Uno, функціональність сенсорного блоку та можливості зв'язку спочатку були локально протестовані за допомогою послідовного монітора, а потім перевірені на платформі IoT [11].

Перевірка коду повторюється до отримання бажаного результату. Конфігурація сенсорного вузла на платформі TTN як програми або пристрою також була виконана для генерації унікального ідентифікатора для отримання даних від «розумного» датчика [11] (див. рисунок 2.6).

Application ID `smart_parking_ump`

Device ID `sdp3`

Activation Method `ABP`

Device EUI `<> 00 AD 09 0F 31 B3 5A FB`

Application EUI `<> 70 B3 D5 7E D0 03 90 69`

Device Address `<> 26 04 19 C4`

Network Session Key `<> F1 CE EE 58 81 E7 81 91 BB 21 7C 0F 07 FA CD 16`

App Session Key `<> 7F C3 B8 50 9F 28 FB BD FE E0 A5 80 70 19 61 F1`

Status ● 3 days ago

Frames up 0 [reset frame counters](#)

Frames down 0

Рисунок 2.6 – Огляд пристрою TTN Server [11]

Після того, як пристрій правильно налаштовано та підключено до шлюзу LoRaWAN і сервера TTN, дані можна буде завантажити на сервер IoT, щойно пристрій увімкнеться. Шлюз отримує дані та відображає їх на сервері TTN (див. рисунок 2.7) [11].

time	counter	port		payload	
18:11:19		1		A1 64 4C 45 44 73 66 56 61 63 61 6E 74	
18:11:14	0	1	retry	09 C4 3C B0	DistanceUltra: 25 Zaxis: 155.36
18:11:15		1		A1 64 4C 45 44 73 66 56 61 63 61 6E 74	
18:11:10	0	1	retry	09 C4 3C B0	DistanceUltra: 25 Zaxis: 155.36
18:11:11		1		A1 64 4C 45 44 73 66 56 61 63 61 6E 74	
18:11:07	0	1	retry	00 00 38 C8	DistanceUltra: 0 Zaxis: 145.36
18:11:07		1		A1 64 4C 45 44 73 66 56 61 63 61 6E 74	
18:11:03	0	1	retry	00 00 40 98	DistanceUltra: 0 Zaxis: 165.36
18:11:04		1		A1 64 4C 45 44 73 66 56 61 63 61 6E 74	
18:10:59	0	1	retry	00 00 3E A4	DistanceUltra: 0 Zaxis: 160.36
18:11:00		1		A1 64 4C 45 44 73 66 56 61 63 61 6E 74	
18:10:56	0	1	retry	09 C4 3A BC	DistanceUltra: 25 Zaxis: 150.36
18:10:56		1		A1 64 4C 45 44 73 66 56 61 63 61 6E 74	

Рисунок 2.7 – Отримані дані на платформі TTN [11]

Корисне навантаження відображається в зручному для читання вигляді та перекладаються за допомогою функції декодера відповідно для відображення отриманих показів давачів. Наступним кроком є інтеграція даних у зручний інтерфейс. Створено АТТ Maker і пов'язано зі шлюзом. Знову ж таки, використовуючи ту саму інформацію в TTN та шлюзі і підключити та інтегрувати АТТ (див. рисунок 2.8) [11].

Інформація EUI пристрою береться з сервера TTN. Потім АТТ Maker зв'язується зі шлюзом шляхом вставки ідентифікатора шлюзу в АТТ Maker.



Рисунок 2.8 – Отримані дані на платформі ATTT Maker [11]

Ім'я шлюзу та його статус, який зараз обслуговує землю або пристрій, підключено до ATTT Maker. Доцільно провести тести за різних умов, наприклад надворі, у вітряні та дощові дні.

2.6 Порядок функціонування системи паркування «розумного міста»

Розроблені «розумні» датчики розміщені на стоянках. Вузли включені, і сонячна панель буде заряджати батарею, коли місце паркування порожнє. Якщо автомобіль стоїть на стоянці, вузол живиться від акумуляторної батареї. Магнітометри та ультразвукові датчики виявлятимуть присутність транспортних засобів над датчиком. Дані, зібрані датчиками, будуть оброблені в Arduino для надсилання як корисного навантаження за допомогою екрану LoRa на шлюз LoRaWAN і завантаження в TTN [11].

Коли користувач хоче отримати доступ до системи паркування «розумного міста», мобільний телефон або ноутбук користувача повинен підключитися до Інтернету, щоб переглядати інформацію про стоянку в режимі реального часу через ATT Glance. Шлюз, розміщений на парковці, також повинен бути підключений до Інтернету, щоб приймати та надсилати дані на сервер мережі. «Розумний» паркувальний вузол почне надсилати дані, виявлені водонепроникним ультразвуковим давачем і магнітометром, до TTN через шлюз. На рисунку 2.9 показані детальні кроки функціонування IoT-SPMS-LoRaWAN.

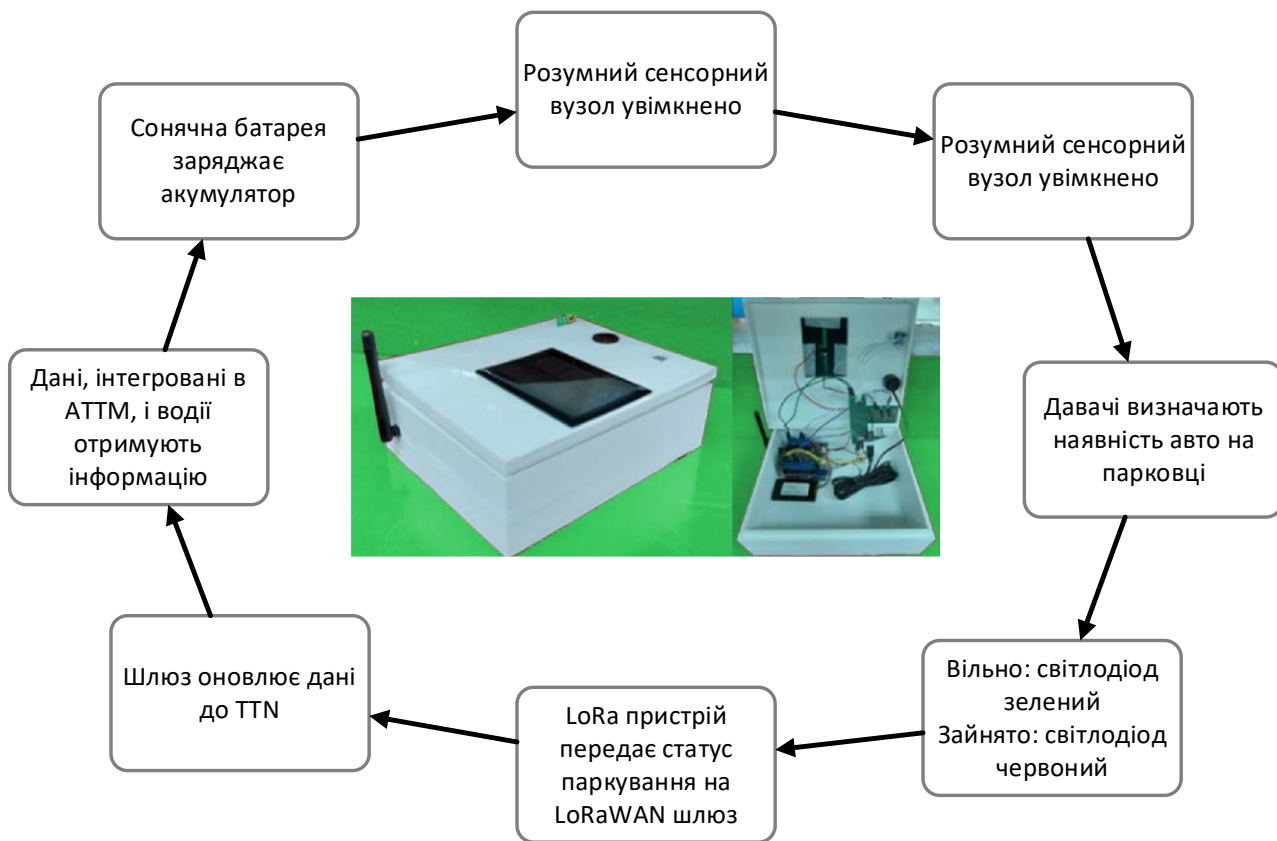


Рисунок 2.9 – Порядок роботи системи паркування «розумного міста» [11]

Якщо відстань до водонепроникного ультразвукового давача становить менше сорока сантиметрів, а значення осі z, яке є напруженістю магнітного поля, перевищує 225, то червоний світлодіод засвітиться сигналізуючи про зайнятість паркомісця. Якщо ні, то загориться зелений світлодіод, що означає, що паркувальний майданчик вільний [11]. Водії можуть досліджувати цю

інформацію через графічний інтерфейс АТТМ за допомогою пристроїв, підключених до Інтернету.

2.7 Функціонування сенсорного вузла системи паркування «розумного міста»

У практичній реалізації розробленого сенсорного вузла весь розроблений код завантажено в Arduino Uno, підключили до LoRaWAN за допомогою екрану LoRa та подавши живлення в систему за допомогою акумуляторної батареї та сонячної панелі, підключеної до екрану сонячних променів [11]. Усі модулі були складені один на одного та розміщені всередині корпусу вузла. Знизу розташування буде таким:

- Arduino Uno;
- модуль LoRa;
- сонячний модуль.

Магнітометр і водонепроникний ультразвуковий давач були припаяні до РСВ 1, тоді як світлодіоди та резистори були припаяні до РСВ 2. Використано LiPo акумуляторну батарею 3,7 В та сонячну панель 5 В. Потім усі компоненти були з'єднані відповідно до контактів і портів, визначених у ескізі Arduino Uno. Щоб забезпечити ефективну передачу даних від давачів до приймача шлюзу, антена розміщена поза корпусом. Для підключення до Інтернет-шлюзу LoRaWAN використовувався хот-спот, який розміщений в офісі. Звідси всі дані можна побачити на веб-сайті сервера TTN, який отримує дані кожні 5 с, коли пристрій підключено до шлюзу [11]. Кількість пакетів, що передаються, можна зменшити та запланувати на основі потреби зменшити споживання електроенергії.

Отримані дані від впровадженого водонепроникного ультразвукового давача та магнітометра оновлюються на сервері TTN. Після того, як дані були інтегровані в АТТ Maker, інформацію можна переглядати в більш зручному для читання вигляді за допомогою АТТ Glance GUI, який доступний лише для

мобільної версії АТТ Maker. Веб-версія АТТ надає можливість редагувати правила, які використовуються для керування віртуальним актуатором, що вказує на статус заповненості-вільності паркінгу [11]. Веб-версія АТТ Maker повинна бути спочатку пов'язана з вузлом зондування, який налаштовано в застосунку платформи TTN, як зазначено раніше. Коли шлюз підключено до пристрою, сервер TTN і АТТ Maker збиратимуть дані та відповідно відобразатимуть статус паркування в АТТ Glance.

2.8 Функціонування системи паркування «розумного міста» та збір даних

Доцільно провести серію експериментів для отримання даних як від магнітометра, так і від водонепроникного ультразвукового датчика. Дані були життєво важливі для перевірки точності системи та калібрування виходів датчиків. При цьому використовувались три різні умови для позиціонування сенсорного блоку, що дало змогу спостерігати за змінами в зібраних даних і встановити порогові значення [11]. На рисунках 2.10-2.12 зображено прототип, розміщений на вільних та зайнятих місцях для паркування, ілюструючи три сценарії тестування.

Кожен сценарій був розроблений для забезпечення безперебійної чутливості та сигналу LoRaWAN під час тестування. У першому сценарії розглянуто два підвипадки на вільній стоянці: один із сусідніми транспортними засобами, а інший без (див. рис. 2.10) [11].

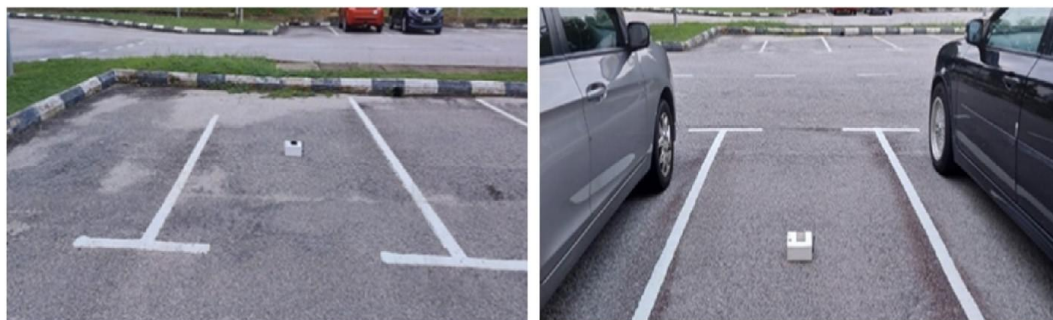


Рисунок 2.10 – Перший сценарій збору даних [11]

В другому сценарії протестовано пристрій з транспортним засобом, який займає стоянку. При цьому доцільно розмістили пристрій у трьох різних положеннях на відносно цільової ділянки (див. рис. 2.11) [11].



Рисунок 2.11 – Другий сценарії збору даних [11]

Хоча потужність сигналу була помітно кращою в передньому та задньому положеннях, вибрано середнє положення через його збалансовану точність даних для автомобілів різних довжин. Крім того, давачі були найефективнішими при виявленні відстані та металевих предметів із цього положення [11]. Слід відзначити, що показники, отримані з передньої та задньої частини автомобіля, іноді були нечіткими, що потенційно могло спотворити оцінку продуктивності.

У фінальному сценарії запишемо дані магнітометра та водонепроникного ультразвукового давача, поки стоянка була зайнята (див. рис. 2.12) [11].



Рисунок 2.12 – Третій сценарії збору даних [11]

При цьому було розміщено прототип під різними транспортними засобами. Дані збиралися кожні десять хвилин для подальшого аналізу та порівняння, що давало можливість оцінювати продуктивність системи паркування «розумного міста» в різних ситуаціях.

Крім того, цінність поєднання магнітного датчика з ультразвуковим датчиком підтверджується під час тестування чутливого блоку поблизу неметалевих об'єктів. Незважаючи на те, що пластиковий об'єкт задовольняє порогові критерії відстані, будучи розміщеним близько до датчика, магнітна сила не досягла визначеного порогового значення [11]. Відповідно, зареєстрований статус паркування залишався «вільним», а зелений світлодіод продовжував світитися, підтверджуючи відсутність автомобіля. Показники датчиків спостерігалися та реєструвалися як з сервера TTN, так і з АТТ Maker. Це доцільно відтворити в усіх сценаріях і з кожним типом автомобіля, щоб оцінити ефективність передачі даних.

На рисунку 2.13 подано графік магнітної сили, отриманий від магнітометра по осі Z у різних сценаріях [11]. Кількість вільних транспортних засобів на стоянці була значно меншою, ніж кількість зайнятих транспортних засобів на стоянці [11].

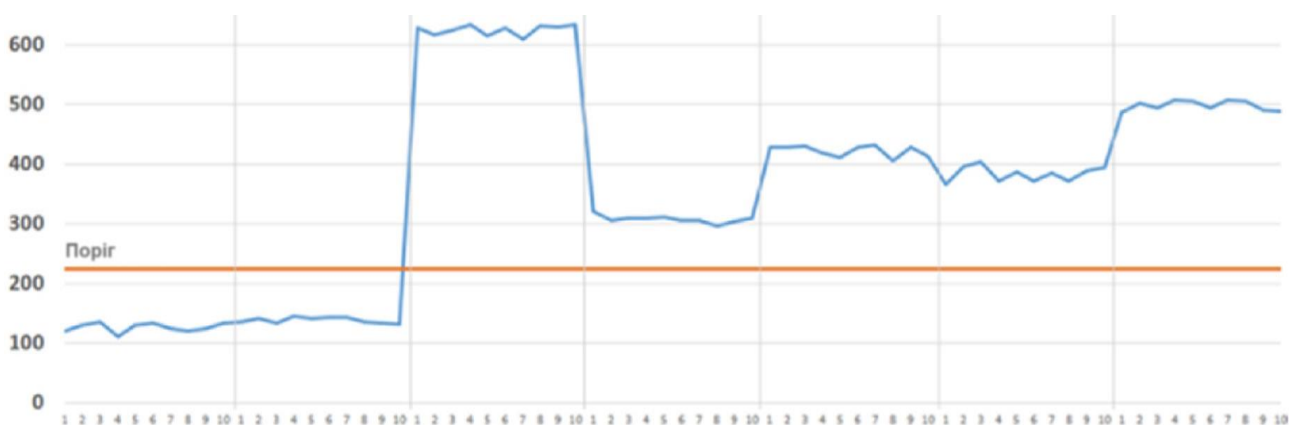


Рисунок 2.13 – Зміна показників магнітометра залежно від наявності автомобіля на паркомісці [11]

Порівнюючи значення магнітометра по осі z для обох умов вільної стоянки, на магнітну силу не вплинув транспортний засіб біля обраної стоянки. Враховуючи те, що вісь спрямована лише вгору, навколишні об'єкти не завадять процесу збору даних [11].

На рисунку 2.14 подані дані, отримані від водонепроникного ультразвукового давача в різних умовах цільової стоянки.

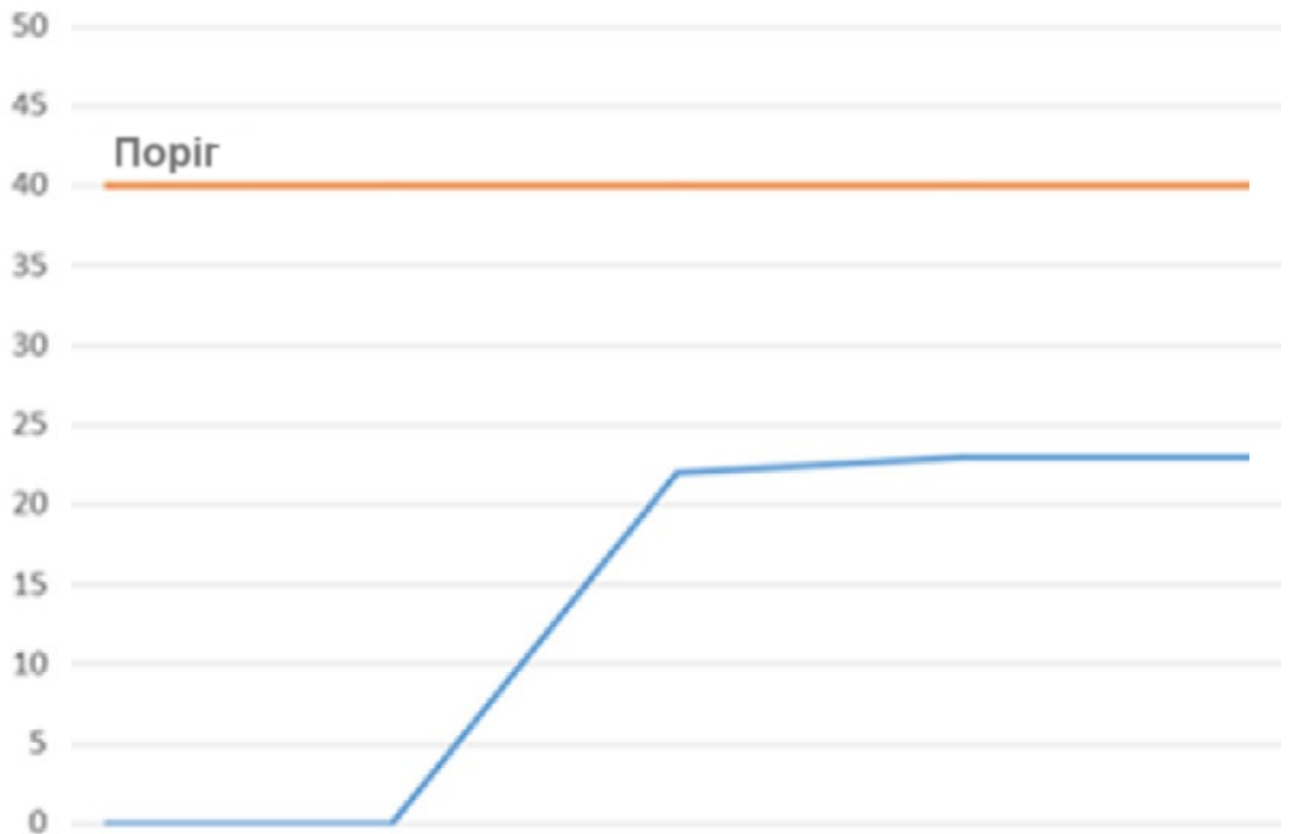


Рисунок 2.14 – Зміна ультразвукових показань відстані залежно від наявності автомобіля [11]

Перед початком експерименту поріг для водонепроникного ультразвукового давача доцільно встановити рівним сорок сантиметрів у системному кодї, необхідний для оптимальної функціональності прототипу . Графік підтверджує відповідність попередньо визначеного системного порогу для транспортного засобу, оскільки відстань, зібрана від різних транспортних засобів, зменшилась до двадцяти двох сантиметрів [11].

2.9 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи сформована архітектура системи паркування «розумного міста». Описано вибір компонентів системи паркування «розумного міста». Змодельована конструкція датчиків системи паркування «розумного міста». Сформована практична модель «розумного» датчика паркування. Описано тестування та розширення функціональності. Розглянуто порядок функціонування системи паркування «розумного міста». Описано процеси функціонування сенсорного вузла та системи паркування «розумного міста» загалом.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ПАРКУВАННЯ «РОЗУМНОГО МІСТА»

Ефективність системи паркування «розумного міста» перевірено за допомогою низки розроблених сценаріїв, що дало множину цікавих результатів. У цьому розділі проведемо аналіз результатів, отриманих завдяки різноманітним системним експериментам [11]. Етап оцінювання охоплює три окремі випадки, які сукупно оцінюють надійність і універсальність системи.

Початковий приклад перевіряє здатність системи оперативно оновлювати інформацію про доступність паркувальних місць, перевіряючи її здатність до оновлень у реальному часі. У другому випадку досліджується надійність комунікаційного інтерфейсу LoRa, що забезпечує його надійність за різних обставин. Нарешті, оцінюємо стійкість системи, підтверджуючи її потенціал для довгострокової експлуатації. Заглиблюючись у експериментальні результати, сподіваємося сформулювати повне уявлення про продуктивність і потенціал системи паркування «розумного міста».

3.1 Перевірка системи паркування «розумного міста»

Цей параграф зосереджений на перевірці точності даних, зібраних проєктованою системою паркування «розумного міста». Як показано на рисунку 3.1, «розумний» вузол паркування розташований у центрі автостоянки, готовий виявляти та повідомляти про статуси вільних і зайнятих паркувальних місць [11]. Дані, зібрані датчиками, згодом оновлюються в Інтернеті через шлюз LoRaWAN, що робить їх доступними як через сервер TTN, так і через ATG Glance. ATG Maker синхронізується з сервером TTN, забезпечуючи безперебійний процес синхронізації даних на етапі розробки програмного забезпечення.

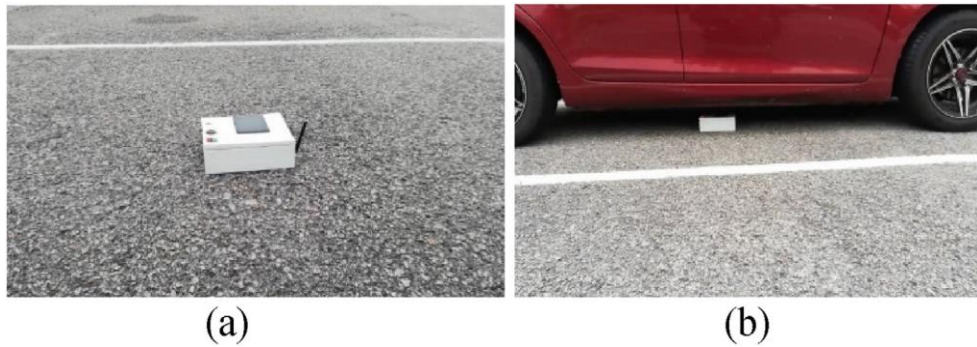


Рисунок 3.1 – Перевірка системи паркування «розумного міста»:
(a) вільний, (b) зайнятий [11]

Цей процес вимагає введення:

- інформації цільового сервера TTN;
- інформації щодо EUI пристрою;
- ідентифікатора програми;
- адресу пристрою;
- ключа мережевого сеансу;
- ключ сеансу програми.

Значення, отримані датчиком, подані в легко засвоюваному форматі завдяки правилам, встановленим у ATTT Maker, які керують запитом [11]. Потім цю об'єднану інформацію можна легко отримати та переглядати на мобільних пристроях. На рисунку 3.2 зображено інтерфейс користувача ATTT Maker під час сценарію [11], коли місце для паркування вільне.



Рисунок 3.2 – GUI ATTT Maker системи паркування «розумного міста» коли паркомісце вільне

Статус вільного паркування вказується, коли водонепроникний ультразвуковий давач виявляє відстані, що перевищує сорок сантиметрів, а магнітометр реєструє напруженість магнітного поля менше 225 Тл. У таких випадках зелений світлодіодний індикатор вузла «розумного» паркування повинен постійно бути ввімкненим. Показники давача відображаються у вигляді тире на інтерфейсі, що означає, що визначена відстань перевищує максимальний діапазон.

Навпаки, коли давач виявляє транспортний засіб у межах свого діапазону, активатор системи, індикуюється червоним світлодіодом, загоряється, вказуючи, що місце для паркування зайняте. Розроблений сенсорний блок містить як фізичний, так і віртуальний світлодіод, які віддзеркалюють статус один одного. На рисунку 3.3 показано інтерфейс АТТ Maker, який відображає статус «зайнятої» парковки разом із відповідною червоною позначкою [11].



Рисунок 3.3 – GUI АТТ Maker системи паркування «розумного міста» коли паркомісце зайняте [11]

Крім того система паркування «розумного міста» надсилає сповіщення на мобільний пристрій користувача, сповіщаючи його про поточний статус паркування. Будь-яка виявлена зміна в статусі паркування спонукає АТТ Maker виконати запрограмовані правила, які потім запускають сповіщення в

мобільний застосунок водія або ATT Glance, що відображається на його мобільному телефоні.

3.2 Аналіз підключення LoRa/LoRaWAN системи паркування «розумного міста»

Кваліфікаційна робота освітнього рівня «бакалавр» містить комплексну оцінку зв'язку та надійності передачі даних між сенсорними вузлами та шлюзом LoRaWAN при формуванні системи паркування «розумного міста». Щоб оцінити надійність системи паркування «розумного міста» цей тест доцільно провести за різних умов, зокрема в різний час доби та погодні сценарії. У конкретному сценарії потрібно розмістити один сенсорний вузол у трьох різних місцях, кожне на відстані десяти метрів одне від одного та приблизно 1 км від шлюзу LoRaWAN (див. рисунок 3.4). Це налаштування розроблено, щоб імітувати поведінку сенсорних вузлів, розташованих у різних місцях на одній парковці.



Рисунок 3.4 – Схема розміщення вузлів для тестування підключення.

Оцінка проводилася в різних погодних умовах, включаючи сильний вітер і невеликий дощ, як вдень, так і вночі [11]. Кожні десять хвилин вимірювали індикатор потужності отриманого сигналу (RSSI) і відношення сигнал/шум (SNR), щоб оцінити якість переданого сигналу на різній відстані від шлюзу.

Було розраховано час в ефірі (ToA), який відноситься до тривалості, необхідної шлюзу для отримання пакета, надісланого сенсорним вузлом, на основі робочого циклу LoRa. Робочий цикл – період, впродовж якого система активна або працює – виражається у відсотках, що дорівнює 1% для LoRa.

Результати показали, що сигнал підтримував постійний 5-секундний інтервал або час витримки для передачі нового сигналу на частоті з ToA 50,5 мс. Це залишатиметься постійним впродовж експерименту, незважаючи на зміни частоти, з діапазоном частот між 922 і 923 МГц.

З точки зору потужності сигналу, пристрій зафіксував 71,75 дБ втрати вільного простору [11]. Втрати на шляху або втрата енергії під час проходження відстані від передавача до приймача зменшуються зі збільшенням відстані в мережі LoRaWAN. На це зменшення впливає декілька факторів, таких як відбиття хвиль і заломлення від об'єктів.

Щоб досягти оптимальної ефективності радіосигналу, антену шлюзу потрібно розташувати поза приміщенням на значній висоті, мінімізуючи перешкоди в зоні Френеля. Конфігурація антен як для шлюзу, так і для кінцевих вузлів повинна бути налаштована відповідно до їх географічної частоти.

Під час 6-годинної оцінки підключення забезпечимо оптимальне розташування антени, орієнтовану вгору та з мінімальними перешкодами на лінії прямої видимості між передавачем (Tx) і приймачем (Rx) [11]. Важливо зазначити, що будь-які перешкоди в першій зоні Френеля можуть негативно вплинути на потужність отриманого сигналу та діапазон з'єднання.

Система паркування «розумного міста» продемонструвала надійну продуктивність, а акумулятор надійно живив пристрій впродовж усього 6-годинного тесту. Розрахуємо втрати на шляху для кожного з трьох вузлів,

зафіксувавши втрати 51,75 дБ, 57,77 дБ і 61,29 дБ відповідно. Розрахунки враховували відстань від шлюзу до кожного місця з урахуванням середньої частоти 922,5 МГц. Висновки [11] підтверджують, що втрата сигналу збільшується зі збільшенням відстані між вузлом і шлюзом, підкреслюючи важливість близькості для підтримки міцного зв'язку в системі паркування «розумного міста».

Експерименти проведено в трьох різних локаціях з десятиметровим проміжком між ними. Це дало набір навчальних даних. Значення RSSI та SNR були задокументовані впродовж шести годин, під час яких система паркування «розумного міста» тестувалася в нічних умовах із зарядженою батареєю, що демонструє її стійкість [11].

На рисунку 3.5 подано графічне зображення RSSI зібраних даних з дев'ятнадцятої години вечора до до першої години ночі.

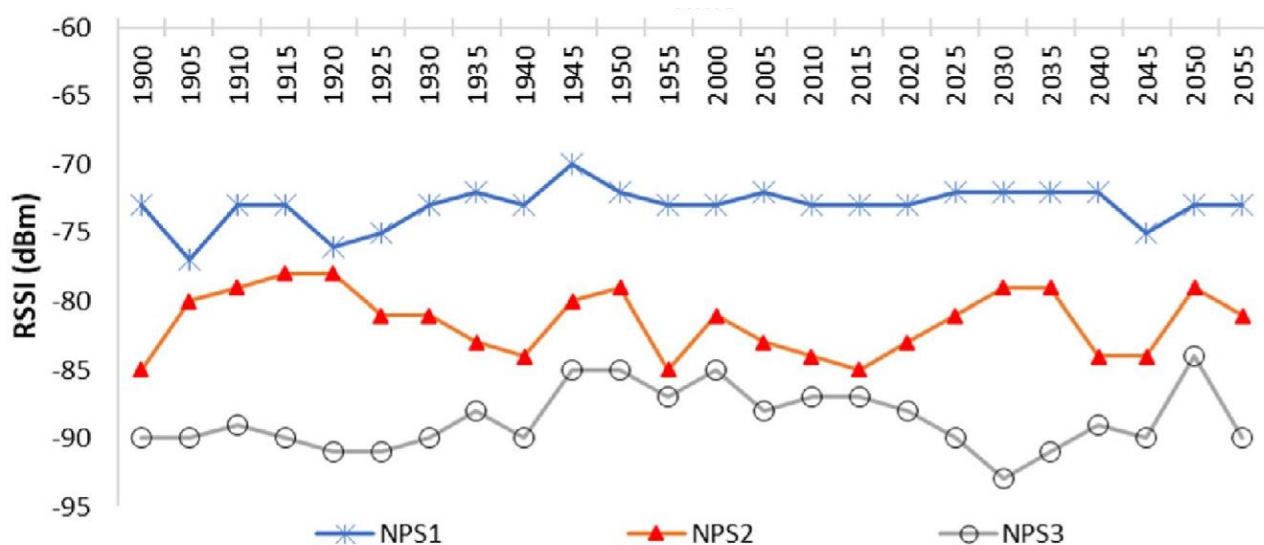


Рисунок 3.5 – RSSI з'єднання вузлів і шлюзу в залежності від часу для різних локацій «розумного міста» [11]

У цьому шестигодинному вікні часова шкала з дев'ятнадцятої години вечора до до першої години ночі є репрезентативною для даних з першої локації – 10 м, 21:00 до 23:00 відповідає другій локації – 20 м, а 23:00 до 1:00 відноситься до третьої локації – 30 м. Графік ілюструє чітку тенденцію: зі

збільшенням відстані значення RSSI демонструють поступове зниження [11]. Ця тенденція вказує на незначну втрату потужності сигналу зі збільшенням відстані від шлюзу. Однак важливо відзначити, що, незважаючи на це зниження, потужність сигналу залишається в допустимих межах для програми, забезпечуючи надійну передачу даних.

Значення SNR (див. рисунок 3.6) характеризують ще один аспект продуктивності системи паркування «розумного міста».

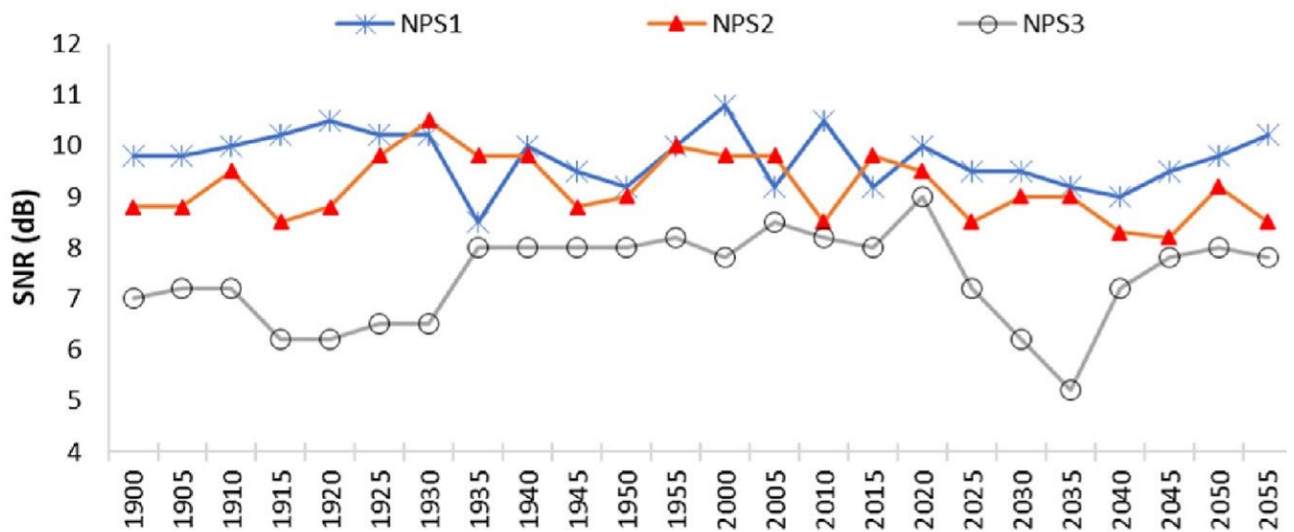


Рисунок 3.6 – SNR з'єднання вузлів і шлюзу в залежності від часу для різних локацій «розумного міста» [11]

Незважаючи на невеликі варіації, SNR залишається відносно постійним у всіх трьох локаціях. Ця узгодженість вказує на те, що система паркування «розумного міста» підтримує сигнал хорошої якості, незалежно від відстані від шлюзу. Крім того, дані магнітометра показують, що, незважаючи на зміни відстані та супутніх значень RSSI та SNR, на них не впливають зміни сигналу. Його показники постійно залишаються нижче порогу 225 Тл, що підтверджує відсутність транспортних засобів на парковці в усіх локаціях. Перевірку точності результатів можна здійснити шляхом перехресного посилення на дані з послідовного порту Arduino IDE, сервера TTN та інтерфейсу AllThingsTalk Maker. Цей крок гарантує надійність даних перед поданням.

Загальний аналіз точок даних демонструє систематичну кореляцію між значеннями відстані та RSSI та надійною роботою магнітометра при змінній потужності сигналу. Детальніший аналіз результатів [11] забезпечує глибше розуміння продуктивності та надійності системи, обґрунтовуючи претензію щодо ефективної системи паркування «розумного міста» на основі Інтернету речей.

Незалежно від погодних умов система паркування «розумного міста» повинна бути стійкою до змін факторів навколишнього середовища, демонструючи свій потенціал для роботи за різних погодних умов. Ця стійкість є важливою для його реального розгортання на відкритих паркувальних майданчиках, де система може зіткнутися з різними погодними умовами. Хоча кваліфікаційна робота освітнього рівня «бакалавр» не описує тестування в екстремальних погодних умовах, таких як сильний сніг або проливний дощ, надійність системи паркування «розумного міста» в м'яких погодних умовах [11] свідчить про те, що вона, ймовірно, добре працюватиме в суворіших умовах. Проте визнаємо важливість цього занепокоєння та зробимо висновок про доцільність розширеного тестування для подальшої перевірки надійності системи паркування «розумного міста».

3.3 LoRa SNR та аналіз RSSI системи паркування «розумного міста»

Доцільно провести експерименти для вивчення впливу статусу паркування та близькості шлюзу на індикацію потужності отриманого сигналу (RSSI), співвідношення сигнал/шум (SNR) і показники датчиків. Доцільно провести серію вимірювань, коли транспортний засіб періодично стояв на стоянці, і відповідні RSSI, SNR і дані датчиків реєструвалися та аналізувалися [11]. Важливо, що тест проходив без будь-яких перерв між восьмою годиною ранку та чотирнадцятою годиною погожого дня, що дасть можливість працювати безпосередньо від сонячних панелей.

RSSI використовувався для оцінки продуктивності шлюзу LoRaWAN щодо отримання сигналів від датчиків системи паркування «розумного міста». Тим часом вимірювання SNR дасть можливість зрозуміти співвідношення між отриманим сигналом потужності та рівнем фонового шуму. З нижньою межею - «120 дБм» менше значення RSSI вказує на слабший сигнал, тоді як значення, ближче до «-30 дБм», означають сильніший сигнал. SNR зазвичай знаходиться в діапазоні від «-20 дБ» до «20 дБ», а значення, ближчі до «10 дБ», означають менше спотворення сигналу [11]. Дані для RSSI, SNR і значення датчика записувалися з десятихвилинними інтервалами. У таблиці 3.1 детально подано зареєстровані показники вузла датчика на сервері TTN і ATT Maker із графіком на часовій шкалі, що відображає статус паркування.

Таблиця 3.1 – Результати спостереження розумного датчика паркування [11]

Позначка часу	RSSI	SNR	Magnetometer	Ultrasonic Sensor
0800	-76	9	112	0
0810	-82	8.8	100	0
0820	-79	9.5	100	0
0830	-79	9.8	95	0
0840	-81	8.8	107	0
0850	-79	8.2	105	0
0900	-93	2.8	382	23
0910	-91	4.8	392	23
0920	-91	5.5	373	23
0930	-89	7	392	23
0940	-87	8.2	387	23
0950	-91	6.8	377	23
1000	-95	5	387	23
1010	-95	4.5	385	23
1020	-93	6	387	23
1030	-93	6.2	392	23
1040	-93	5.5	380	23
1050	-94	5	392	23
1100	-94	6.2	390	23
1110	-94	6.8	407	23
1120	-95	5	395	23
1130	-95	4.5	392	23
1140	-94	6.2	380	23
1150	-93	6.2	392	23

Продовження таблиці 3.1

Позначка часу	RSSI	SNR	Magnetometer	Ultrasonic Sensor
1200	-85	8.8	161	0
1210	-85	9.8	132	0
1220	-90	7.8	148	0
1230	-75	9.5	324	23
1240	-74	10.20	326	23
1250	-73	9.2	337	22
0100	-72	8.5	340	22
0110	-76	9.2	326	22
0120	-73	9.2	335	22
0130	-43	10	129	0
0140	-43	10.2	126	0
0150	-45	9.5	134	0
0200	-49	10	131	0

Спочатку паркувальний майданчик було залишено вільним на одну годину, щоб оцінити сигнал розгорнутих давачів і підключення LoRaWAN, що дало середній RSSI «-79,3 дБм». З дев'ятої години ранку до дванадцятої години дня припаркований автомобіль спричинив падіння RSSI в середньому до «-92,78 дБм». Після того, як транспортний засіб від'їхав, рівень сигналу зріс у середньому до «-86,67 дБм» впродовж наступних тридцяти хвилин [11]. Ця картина зберігалася впродовж усього періоду тестування, підтверджуючи, що транспортні засоби на стоянці послабили RSSI LoRaWAN. Однак, що цікаво, коливання сигналу практично не вплинули на показники давача, і пристрій продовжував точно передавати дані.

Аналіз SNR також показав стабільне середнє значення приблизно «9 дБ» впродовж першої години, коли місце для паркування було вільним. Прибуття транспортного засобу спричинило помітне падіння значень SNR до середнього «4,75 дБ». Однак SNR відновився до середнього значення «8,8 дБ» впродовж наступного півгодинного періоду, коли автостоянка була звільнена [11].

Нарешті, водонепроникний ультразвуковий давач забезпечив ключові показники для різних умов. Коли стоянка була незайнятою, давач зареєстрував нуль сантиметрів – це вказує на те, що транспортний засіб не виявлено в діапазоні сорока сантиметрів. Після прибуття автомобіля давач зафіксував його

присутність на відстані двадцяти трьох сантиметрівм. Крім того, показники магнітометра чітко змінювалися залежно від того, була стоянка порожньою чи зайнятою [11]. Впродовж усього експерименту як ультразвуковий давач, так і магнітометр забезпечували стабільні показники, підтверджуючи ефективність запропонованої системи паркування «розумного міста».

Інноваційні «розумні» давачі паркування на основі комунікаційної технології LoRa/LoRaWAN призначені для задоволення високого попиту на послуги «розумного» паркування, який зростає одночасно зі збільшенням кількості паркувальних місць, які займають велику територію. Завдяки своїй точності та сумісності тривимірний магнітний давач і ультразвуковий давач були використані для виявлення зайнятості паркувальних місць автостоянки [11]. Крім того, технологія зв'язку LoRa/LoRaWAN була обрана в запропонованій системі паркування «розумного міста» IoTSPMS-LoRaWAN завдяки:

- незалежній інфраструктурі;
- безліцензійній смузі частот;
- низькому енергоспоживанню;
- значній відстані покриття.

Зібрані дані передаються в режимі реального часу від «розумного» сенсорного вузла за допомогою екрану LoRa до сервера TTN IoT через шлюз LoRaWAN. Інформацію про стан паркування можна відстежувати в режимі реального часу за допомогою графічного інтерфейсу користувача ATTM IoT за допомогою смартфонів та інших пристроїв, підключених до Інтернету [11]. «Розумний» сенсорний вузол живиться за допомогою акумуляторної батареї, яка прикріплена до сонячної панелі для заряджання акумулятора через сонячний зарядний пристрій, коли транспортний засіб не знаходиться над давачем, таким чином зберігаючи безперервну роботу вузлів. Запропонована в [11] система паркування «розумного міста» може бути була розгорнута та перевірена на реальній автостоянці як єдиний вузол з одним шлюзом. Для оцінки продуктивності системи доцільно розглядалися різні параметри,

включаючи відстань до шлюзу та статус зайнятості паркування. При цьому доцільно оцінити множину показників продуктивності, пов'язаних із сигналом LoRa, наприклад, SNR і RSSI. Впровадження системи паркування IoT-SPMS-LoRaWAN на паркувальних локаціях «розумних міст», особливо в місцях скупчення людей, допоможе:

- зменшити транспортні затори;
- покращить якість життя;
- призведе до чистішого довкілля.

Систему паркування «розумного міста» можна розширити, щоб збирати дані про тривалість перебування припаркованого автомобіля для формування і автоматичної оплати рахунків програми електронних грошей та будь-якого онлайн-банкінгу, попередньо пов'язаного з системою [11]. У майбутніх дослідженнях доцільно запровадити множину вузлів спостереження в багатопарковній локації для оцінки масштабованості мережі та подальшої оцінки продуктивності мережі LoRa.

3.4 Висновок до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано процес перевірки системи паркування «розумного міста». Проаналізовано підключення LoRa/LoRaWAN системи паркування «розумного міста». Розглянуто LoRa SNR та аналіз RSSI системи паркування «розумного міста».

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Долікарська допомога при контузіях

У даній кваліфікаційній роботі доцільно розглянути питання долікарської допомоги при контузіях, оскільки аварійні ситуації в міському середовищі, зокрема на паркувальних майданчиках, можуть призводити до травмувань. Розуміння принципів надання першої допомоги сприяє підвищенню безпеки та зменшенню наслідків для потерпілих. Інтеграція таких знань у систему «розумного міста» допомагає розробити більш ефективні алгоритми реагування на надзвичайні ситуації. Це також підвищує обізнаність громадян та працівників про правильні дії в екстрених випадках, що є важливим елементом загальної безпеки міста.

Контузія може з'явитися від ударної хвилі від вибуху, або удару людини об воду чи землю. Контузія може супроводжуватися наступними травмами: забій головного мозку, розрив барабанної перетинки, легень або інших внутрішніх органів [32]. Залежно від ступеня тяжкості виділяють три ступеня контузії:

- Легка – заїкання, тремтіння або поколювання кінцівок, погіршення слуху.
- Середньої тяжкості – погіршення зору, відсутність реакції зіниць на світло, повна глухота, частковий параліч кінцівок.
- Важка – втрата свідомості, переривчасте дихання, судоми чи мимовільні рухи кінцівками, може спостерігатися кровотеча з рота і вух.

Легка контузія зазвичай проходить без негативних наслідків для організму. Середня і важка – ні, тому якщо постраждалу особу вдалося врятувати, на неї чекає тривалий період реабілітації. У будь-якому випадку потрібно викликати швидку допомогу.

Перед приїздом швидкої допомоги потрібно зробити наступні дії [33]:

- Перш за все, покинути небезпечну зону, якщо удар спричинено вибухом.
- Розстебнути одяг жертви, що може стискати дихальні шляхи або ж обмежувати рухливість.
- Бажано повернути постраждалу особу набік, аби запобігти можливому потраплянню блювотних мас в дихальні шляхи.
- Очистити носову та ротову порожнини жертви від води, пилу, піску чи осколків вибуху.
- Якщо жертва не дихає або має проблеми з цим, варто зробити штучне дихання. Непрямий масаж серця в такому разі протипоказаний – внутрішні органи можуть бути пошкоджені, тому ритмічні натискання в область грудної клітини можуть лише погіршити стан постраждалого.

4.2 Проведення інструктажів з охорони праці

Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» присв'ячена розробці системи паркування «розумного міста» засобами Інтернету речей. Оскільки впровадження і експлуатація таких систем безпосередньо пов'язані з безпекою працівників, то доцільно розглянути питання проведення інструктажів з охорони праці. Інструктажі з охорони праці допомагають забезпечити, що всі співробітники знають і дотримуються правил безпеки, особливо під час роботи з високотехнологічним обладнанням та програмним забезпеченням, що мінімізує ризик нещасних випадків і аварій. Крім того, розгляд цього питання сприяє підвищенню загальної культури безпеки на підприємствах, що є важливим аспектом при впровадженні нових технологій у міській інфраструктурі.

Під час прийому на роботу та регулярно, працівники зобов'язані проходити інструктажі з охорони праці на підприємстві. Ці інструктажі включають питання надання першої медичної допомоги постраждалим у випадку нещасних випадків, а також правила поведінки та дій у разі аварійних

ситуацій, пожеж і стихійних лих. За характером і часом проведення інструктажі з охорони праці (далі – інструктажі) поділяються на [34]:

- вступний;
- первинний;
- повторний;
- позаплановий;
- цільовий.

Вступний інструктаж проводиться:

- з усіма працівниками, які приймаються на постійну або тимчасову роботу, незалежно від їх освіти, стажу роботи та посади;
- з працівниками інших організацій, які прибули на підприємство і беруть безпосередню участь у виробничому процесі або виконують інші роботи для підприємства;
- з учнями та студентами, які прибули на підприємство для проходження трудового або професійного навчання;
- з екскурсантами у разі екскурсії на підприємство.

Початковий інструктаж здійснюється фахівцем з охорони праці або іншим кваліфікованим працівником, який за наказом підприємства пройшов відповідне навчання і перевірку знань з питань охорони праці, згідно з вимогами Типового положення. Цей інструктаж проводиться у спеціально обладнаному кабінеті охорони праці або іншому відповідному приміщенні, з використанням сучасних навчальних засобів та наочних матеріалів, за програмою, розробленою службою охорони праці з урахуванням специфіки виробництва. Програму і тривалість інструктажу затверджує керівник підприємства. Відомості про проведення початкового інструктажу заносяться до журналу реєстрації, який зберігається у службі охорони праці або у відповідального за інструктаж працівника, а також зазначаються в наказі про прийняття працівника на роботу.

Первинний інструктаж проводиться до початку роботи безпосередньо на робочому місці з працівником [35]:

- новоприйнятим (постійно чи тимчасово) на підприємство або до фізичної особи, яка використовує найману працю;
- який переводиться з одного структурного підрозділу підприємства до іншого;
- який виконуватиме нову для нього роботу;
- відрядженим працівником іншого підприємства, який бере безпосередню участь у виробничому процесі на підприємстві.

Первинний інструктаж проводиться з учнями, курсантами, слухачами та студентами навчальних закладів:

- до початку трудового або професійного навчання;
- перед виконанням кожного навчального завдання, пов'язаного з використанням різних механізмів, інструментів, матеріалів тощо.

Первинний інструктаж на робочому місці проводиться індивідуально або з групою осіб одного фаху за діючими на підприємстві інструкціями з охорони праці відповідно до виконуваних робіт. Повторний інструктаж на робочому місці індивідуально з окремим працівником або групою працівників, які виконують однотипні роботи, за обсягом і змістом переліку питань.

4.3 Висновок до четвертого розділу

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи описана долікарська допомога при контузії. Розглянуто питання проведення інструктажів з охорони праці.

ВИСНОВКИ

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр»:

- Висвітлено актуальність розробки системи паркування «розумного міста».
- Проаналізовано публікацій в галузі систем паркування «розумних міст».

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- В другому розділі кваліфікаційної роботи сформована архітектура системи паркування «розумного міста».
- Описано вибір компонентів системи паркування «розумного міста».
- Змодельована конструкція датчиків системи паркування «розумного міста».
- Сформована практична модель «розумного» датчика паркування.
- Описано тестування та розширення функціональності.
- Розглянуто порядок функціонування системи паркування «розумного міста».
- Описано процеси функціонування сенсорного вузла.
- Описано процес функціонування системи паркування «розумного міста» загалом.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи:

- Описано процес перевірки системи паркування «розумного міста».
- Проаналізовано підключення LoRa/LoRaWAN системи паркування «розумного міста».
- Розглянуто LoRa SNR та аналіз RSSI системи паркування «розумного міста».

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» описана долікарська допомога при контузії. Розглянуто питання проведення інструктажів з охорони праці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 Strutynska I., Kozbur H., Dmytrotsa L., Sorokivska O., Melnyk L. Influence of Digital Technology on Roadmap Development for Digital Business Transformation. *Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2019 : materials of the 9th International Conference (Ceske Budejovice, Czech Republic, 5–7 June 2019)*. Ceske Budejovice : Ternopil National Economic University and University of South Bohemia, 2019. P. 333–337.
- 2 Palka, Oleh, and Lesia Dmytrotsa. "System Analysis Methodology for Determining the City Smartness." ITTAP. 2023.
- 3 C.G. Hoehne, M.V. Chester, A.M. Fraser, D.A. King, Valley of the sun-drenched parking space: the growth, extent, and implications of parking infrastructure in Phoenix, *Cities* 89 (2019) 186–198.
- 4 R. Ke, Y. Zhuang, Z. Pu, Y. Wang, A smart, efficient, and reliable parking surveillance system with edge artificial intelligence on IoT devices, *IEEE Trans. Intell. Transport. Syst.* 22 (8) (2020) 4962–4974.
- 5 J. Parmar, P. Das, S.M. Dave, Study on demand and characteristics of parking system in urban areas: a review, *J. Traffic Transport. Eng.* 7(1)(2020) 111–124.
- 6 S.Z. Shahraki, A. Hosseini, D. Sauri, F. Hussaini, Fringe more than context: perceived quality of life in informal settlements in a developing country: the case of Kabul, Afghanistan, *Sustain. Cities Soc.* 63 (2020) 102494.
- 7 W.A. Jabbar, C.W. Wei, N.A.A.M. Azmi, N.A. Haironnazli, An IoT Raspberry Pibased parking management system for smart campus, *Internet of Things* 14 (2021) 100387.
- 8 Dubynyak, Taras, et al. "Methods and Means of Automatic Statistical Assessment of Information Measuring Systems." *Proceedings of the 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2023*. CEUR (CEUR-WS. org), 2023.
- 9 G. Jelen, V. Podobnik, J. Babic, Contextual prediction of parking spot availability: a step towards sustainable parking, *J. Clean. Prod.* (2021) 127684.

10 N. Jindaprakai, S. Nuchitprasitchai, Intelligent parking system using multiple sensor detection, in: 2019 Research, Invention, and Innovation Congress (RI2C), IEEE, 2019, pp. 1-4.

11 Jabbar, Waheb A., Lu Yi Tiew, and Nadiah Y. Ali Shah. "Internet of things enabled parking management system using long range wide area network for smart city." *Internet of Things and Cyber-Physical Systems* 4 (2024): 82-98.

12 W.K. Saad, Y. Hashim, W.A. Jabbar, Design and implementation of portable smart wireless pedestrian crossing control system, *IEEE Access* 8 (2020) 106109-106120.

13 M.I. Zakaria, W.A. Jabbar, N. Sulaiman, Development of a smart sensing unit for LoRaWAN-based IoT flood monitoring and warning system in catchment areas, *Internet of Things and Cyber-Physical Systems* 3 (2023) 249-261.

14 P. Willingmann, S. Turbek, R. Goldsberry, *The Future of Parking - Can Providers Find a Space in the New Mobility Ecosystem?* Deloitte Insights, 2018.

15 F. Al-Turjman, A. Malekloo, Smart parking in IoT-enabled cities: a survey, *Sustain. Cities Soc.* 49 (2019) 101608.

16 F. Bock, S. Di Martino, A. Origlia, Smart parking: using a crowd of taxis to sense onstreet parking space availability, *IEEE Trans. Intell. Transport. Syst.* 21 (2) (2019) 496-508.

17 L.D. Rodic, T. Perkovic, M. Skiljo, P . Solic, Privacy leakage of LoRaWAN smart parking occupancy sensors, *Future Generat. Comput. Syst.* 138 (2023) 142-159.

18 W.A. Jabbar, S. Annathurai, T.A.A. Rahim, M.F.M. Fauzi, Smart energy meter based on a long-range wide-area network for a stand-alone photovoltaic system, *Expert Syst. Appl.* 197 (2022) 116703.

19 W.A. Jabbar, T. Subramaniam, A.E. Ong, M.I. Shu'Ib, W. Wu, M.A. de Oliveira, LoRaWAN-based IoT system implementation for long-range outdoor air quality monitoring, *Internet of Things* 19 (2022) 100540.

20 P. Misra, A. Vasan, B. Krishnan, V. Raghavan, A. Sivasubramaniam, The future of smart parking systems with parking 4.0, *GetMobile: Mobile Comput. Commun.* 23 (1) (2019) 10–15.

21 C. Biyik, et al., Smart parking systems: reviewing the literature, architecture and ways forward, *Smart Cities* 4 (2) (2021) 623–642.

22 A. Karare, R. Channe, L. Paliwal, R. Gupta, Advanced real-time automated smart parking system for smart cities, in: *Data Driven Approach towards Disruptive Technologies: Proceedings of MIDAS 2020*, Springer Singapore, 2021, pp. 205–215.

23 N. Buldakov, T. Khalilev, S. Distefano, M. Mazzara, An open source solution for smart contract-based parking management, *Open Source Systems* 582 (2020) 55.

24 A. Bandyopadhyay, S. Misra, D. Nath, V. Sarkar, Automatic smart parking one-sided free slot booking using internet of things (IoT), in: *Advances in Medical Physics and Healthcare Engineering*, Springer, 2021, pp. 463–472.

25 K.K. Angelov, Development and implementation of a demonstration model of smart parking with LoRa-based communication module, in: *2020 XI National Conference with International Participation (ELECTRONICA)*, IEEE, 2020, pp. 1–4.

26 M. Anshar, R. Sadjad, M. Hanan, R. Prayudha, M. Abry, Design and implementation monitoring and booking systems for smart parking at engineering faculty campus, in: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 2020 012036 vol. 875, no. 1.

27 J. Shi, L. Jin, J. Li, Z. Fang, A smart parking system based on NB-IoT and third-party payment platform, in: *2017 17th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, IEEE, 2017, pp. 1–5.

28 J.J. Barriga, et al., A smart parking solution architecture based on LoRaWAN and Kubernetes, *Appl. Sci.* 10 (13) (2020) 4674.

29 V.K. Sarker, T.N. Gia, I. Ben Dhaou, T. Westerlund, Smart parking system with dynamic pricing, edge-cloud computing and lora, *Sensors* 20 (17) (2020) 4669.

30 C. Sewagudde, *The Design and Implementation of a Smart-Parking System for Helsinki Area*, 2016.

31 S.K. Datta, C. Bonnet, N. Nikaiein, An IoT gateway centric architecture to provide novel M2M services, in: 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), IEEE, 2014, pp. 514-519.

32 Редакція Т. Контузія - симптоми та перша допомога. ТСН.ua. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/kontuziya-simptomi-ta-persha-dopomoga-2022373.html>.

33 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

34 Види та порядок проведення інструктажів з охорони праці. http://vinfpo.org.ua/index.php?option=com_k2&view=item&id=71:%D0%B2%D0%B8%D0%B4%D0%B8-%D1%82%D0%B0-%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%BE%D0%BA-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D1%96%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D0%B0%D0%B6%D1%96%D0%B2-%D0%B7-%D0%BE%D1%85%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8-%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96&Itemid=14.

35 Сумський, Н. А. У. "ОБҐРУНТУВАННЯ ПОРЯДКУ ПРОВЕДЕННЯ ІНСТРУКТАЖІВ ДЛЯ ПРАЦІВНИКІВ." СТУДЕНТСЬКОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ, ПРИСВЯЧЕНОЇ МІЖНАРОДНОМУ ДНЮ СТУДЕНТА: 300.