

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»



Факультет комп'ютерних наук та технологій
Кафедра «Комп'ютерні системи та мережі»

РАСЕНКО ВІТАЛІЙ ФЕДОРОВИЧ
Група КНТз-514м

ІОТ-СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО ПОШУКУ
ПАРКОМІСЦЬ

АВТОРЕФЕРАТ

магістерської роботи на здобуття освітньо-кваліфікаційного
рівня «магістр» 123 «Комп'ютерна інженерія»
освітньої програми «Комп'ютерні системи та мережі»

2025 р.

Магістерська робота є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Запорізька політехніка», на кафедрі комп'ютерних систем та мереж

Керівник

кандидат технічних наук, доцент
ГРУШКО Світлана Сергіївна,
Національний університет «Запорізька
політехніка», доцент кафедри
комп'ютерних систем та мереж

**Офіційний
рецензент:**

РОМАНОВСЬКИЙ Олександр
Володимирович,
генеральний директор ТОВ «Науково-
виробниче підприємство
«ХАРТРОНІОКОМ»

Захист відбудеться "24" грудня 2025 р.

Секретар екзаменаційної комісії, доцент кафедри
комп'ютерних систем та мереж **Т.В. ГОЛУБ**

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах стрімкої урбанізації та зростання кількості автомобілів проблема ефективного управління паркувальним простором набуває критичного значення. Пошук вільного паркувального місця став одним із найбільш стресових факторів для водіїв у великих містах.

Статистичні дослідження свідчать, що водії витрачають у середньому 17 хвилин на пошук паркування, а в години пік цей показник сягає 25-30 хвилин. За рік це становить близько 106 годин на одного водія. Економічні втрати оцінюються у \$345 на паливо та \$1260 на час щорічно. До 30% міського трафіку складає саме пошук паркувальних місць, що призводить до додаткових викидів CO₂ — до 730 тисяч тонн на рік для великого міста.

При цьому 15-20% паркувальних місць залишаються невикористаними через відсутність інформації про їх доступність. Існуючі комерційні рішення (SFpark, Parkopedia, SpotHero) мають високу вартість впровадження — від \$500 до \$2000+ за одне паркомісце, що робить їх недоступними для більшості українських міст та приватних паркінгів.

Використання технологій Інтернету речей (IoT) у поєднанні з доступними апаратними компонентами створює можливості для розробки економічно ефективних систем управління паркуванням, адаптованих до умов українських міст.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи — розробка економічно ефективної IoT-системи управління паркувальними місцями з моніторингом стану в реальному часі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз існуючих рішень у сфері управління паркуванням та визначити їх переваги і недоліки;
2. Розробити архітектуру багаторівневої IoT-системи з урахуванням вимог масштабованості та надійності;
3. Обґрунтувати вибір апаратних компонентів та провести симуляцію в середовищі Proteus;
4. Реалізувати серверну частину системи з REST API та асинхронною обробкою завдань;

5. Спроекувати архітектуру мобільних додатків для працівників паркінгу та користувачів.

Об'єкт дослідження – процеси управління паркувальним простором в міській інфраструктурі з використанням інформаційних технологій.

Предмет дослідження – методи та засоби побудови IoT-системи моніторингу та управління паркувальними місцями.

Методи дослідження У роботі використано методи системного аналізу для дослідження предметної області, методи моделювання для симуляції апаратної частини, методи проєктування інформаційних систем для створення архітектури платформи, методи порівняльного аналізу для обґрунтування вибору технологій.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Запропоновано комплексний підхід до побудови IoT-системи паркування з використанням комбінації інфрачервоних та ультразвукових датчиків для підвищення точності детекції до 95%;

2. Розроблено трирівневу архітектуру обробки даних (Edge-Fog-Cloud) з розподілом обчислювального навантаження між Arduino, Raspberry Pi та хмарним сервером;

3. Обґрунтовано методику вибору конфігурації апаратного забезпечення залежно від типу паркувального простору.

Практичне значення отриманих результатів:

Розроблена система може бути впроваджена на паркінгах торговельних центрів, бізнес-центрів, навчальних закладів та муніципальних парковках. Орієнтовна вартість обладнання одного паркомісця становить \$30-50, що у 10-40 разів менше за комерційні аналоги. Модульна архітектура дозволяє поетапне масштабування від однієї зони до мережі паркінгів на рівні міста.

Апробація результатів магістерської роботи. Результати дослідження представлені на XVIII Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології і автоматизація» у вигляді тез доповіді «Аналіз методів проєктування iot-систем розумного паркування» (автори: В.Ф. Расенко, С.С. Грушко, К.І. Тіменко).

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи становить 88 сторінок, робота

містить 13 рисунків, 1 таблицю, 1 додаток. Перелік використаних джерел включає 45 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету та завдання роботи, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано наукову новизну та практичну значущість одержаних результатів.

У першому розділі проведено комплексний аналіз предметної області управління паркуванням та досліджено існуючі рішення.

Аналіз проблеми виявив значні економічні, екологічні та соціальні наслідки неефективного використання паркувального простору. Водії витрачають у середньому 17 хвилин на пошук місця, що призводить до щорічних втрат 106 годин та фінансових збитків понад \$1600 на одного водія.

Проведено порівняльний аналіз існуючих рішень. Традиційні паркомати забезпечують лише оплату без інформації про наявність місць. PGIS-системи надають статичну інформацію без оновлення в реальному часі. Системи Smart Parking (SFpark, Parkopedia, SpotHero, INRIX) забезпечують моніторинг у реальному часі, проте мають високу вартість впровадження. Автоматизовані багаторівневі паркінги максимально ефективні, але потребують значних капітальних інвестицій.

Досліджено технології IoT для систем паркування: чотирирівневу архітектуру (сенсорний, мережевий, обробки, прикладний рівні), технології LPWAN (LoRaWAN, NB-IoT), протоколи передачі даних (MQTT, CoAP, HTTP/REST) та моделі обчислень Edge-Fog-Cloud.

Обґрунтовано вибір комбінації інфрачервоних та ультразвукових датчиків як оптимального рішення за співвідношенням ціна/точність для умов українських паркінгів.

У другому розділі розроблено теоретичні основи побудови системи та математичні моделі.

Розглянуто застосування теорії масового обслуговування (модель M/M/c/N) для моделювання потоків автомобілів та оптимізації кількості паркомісць. Досліджено методи

прогнозування завантаженості на основі часових рядів ARIMA та алгоритмів машинного навчання (LSTM, Random Forest).

Розроблено архітектурні принципи системи на основі моделі Edge-Fog-Cloud з розподілом функцій: Edge-рівень (Arduino) виконує збір та первинну фільтрацію даних датчиків; Fog-рівень (Raspberry Pi) здійснює агрегацію, локальне кешування та передачу на сервер; Cloud-рівень (Django-сервер) забезпечує зберігання, аналітику та взаємодію з користувачами.

Описано методи обробки сенсорних даних: медіанна фільтрація для усунення викидів, фільтр низьких частот для згладжування, алгоритм Isolation Forest для детекції аномалій, голосування за даними кількох датчиків для підвищення надійності.

Визначено вимоги до безпеки системи: TLS/SSL шифрування каналів зв'язку, JWT-токени для автентифікації, захист від типових веб-атак (CSRF, XSS, SQL-ін'єкції).

У третьому розділі спроектовано архітектуру системи та проведено симуляцію апаратної частини.

Визначено функціональні вимоги до системи. Додаток працівника паркінгу має забезпечувати реєстрацію в'їзду/виїзду автомобілів, оновлення статусу паркомісць, перегляд бронювань та управління оплатою. Додаток користувача має надавати пошук вільних місць на карті, можливість бронювання, навігацію до обраного місця та історію оплат.

Розроблено структуру бази даних з таблицями: Users (користувачі), ParkingAreas (паркувальні зони), ParkingSlots (паркомісця), Reservations (бронювання), Transactions (транзакції). Обґрунтовано вибір SQLite як СУБД для початкового етапу впровадження з можливістю міграції на PostgreSQL при масштабуванні.

Специфіковано апаратні компоненти системи: інфрачервоні датчики перешкод GP2Y0A21 (діапазон 2-30 см), ультразвукові датчики HC-SR04 (діапазон 2 см — 4 м, точність 0.3 см), мікроконтролер Arduino UNO (ATmega328P, 16 МГц), одноплатний комп'ютер Raspberry Pi Model B+ (ARM, 512 МБ RAM).

Розроблено протокол обміну даними між Arduino та Raspberry Pi через UART (9600 бод) з форматом повідомлень:

<START>|<SENSOR_ID>|<STATUS>|<TIMESTAMP>|<CHECKSUM>|<END>.

Запропоновано три конфігурації апаратного забезпечення залежно від типу паркінгу: закритий паркінг з одним вїздом (тригерні датчики на вїзді); паркінг з окремими вїздом та виїздом; відкрита паркувальна зона (індивідуальний датчик на кожне місце).

Проведено симуляцію в середовищі Proteus Design Suite. Обґрунтовано вибір Proteus через найкращу підтримку мікроконтролерів Arduino, комплексну бібліотеку компонентів (HC-SR04, GP2Y0A21), можливість інтерактивної симуляції та покрокового налагодження. Змодельовано схему з Arduino Mega 2560, чотирма ультразвуковими датчиками, LED-індикацією та LCD-дисплеєм. Результати симуляції підтвердили коректність алгоритмів обробки та оптимальні параметри: затримка між вимірюваннями 50 мс, порогові значення напруги 1.5-3.0 В, швидкість UART 9600 бод.

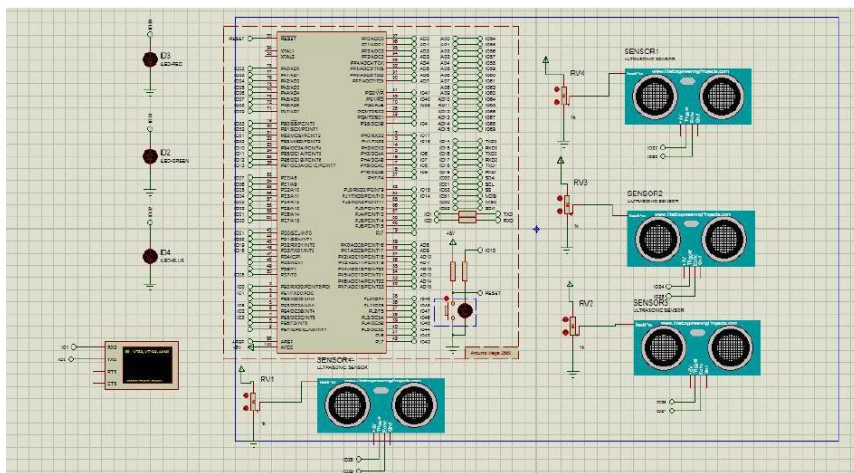


Рисунок 1 - Симуляція в Proteus

У четвертому розділі реалізовано програмну частину системи.

Серверну частину розроблено на базі Django 4.2 з використанням Django REST Framework для побудови API.

Реалізовано CRUD-операції для всіх сутностей системи, фільтрацію, пагінацію та сортування результатів. Автентифікація базується на JWT-токенах з підтримкою refresh-токенів для автоматичного оновлення сесій.

Для асинхронної обробки завдань інтегровано Celery з брокером повідомлень RabbitMQ та Redis для зберігання результатів та кешування. Реалізовано періодичні задачі через Celery Beat: перевірка закінчення бронювань (кожні 5 хвилин), формування щоденних звітів (о 23:59), очищення застарілих даних (щотижня), оновлення статистики (щогодини).

Спроектовано архітектуру мобільного додатку для працівників паркінгу на базі Kotlin/Android з патерном MVVM. Передбачено модуль розпізнавання номерних знаків через ML Kit, офлайн-режим роботи з локальним кешуванням у Room ORM, інтерфейс на Material Design 3 та Jetpack Compose.

Спроектовано архітектуру мобільного додатку для користувачів на базі React Native для кросплатформенності (Android/iOS). Архітектура включає: управління станом через Redux, інтеграцію з картографічними сервісами React Native Maps, підтримку платіжних систем (Stripe, LiqPay, Google Pay, Apple Pay), push-сповіщення через Firebase Cloud Messaging та Apple Push Notification Service.

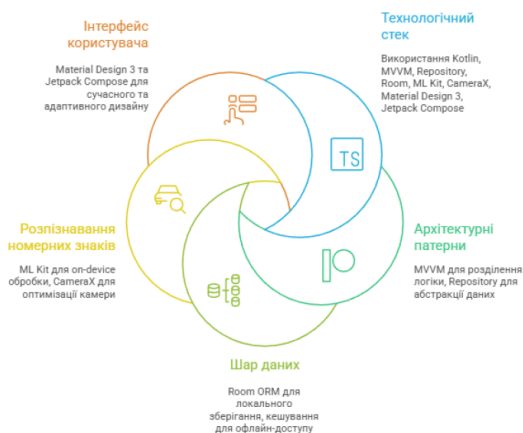


Рисунок 2 – Архітектура додатку для паркувального працівника

Розроблено архітектуру веб-панелі адміністратора на React 18 з TypeScript. Реалізовано модулі Dashboard, ParkingManagement, Analytics, UserManagement, Settings. Для візуалізації даних використано Chart.js та D3.js. Забезпечено оновлення в реальному часі через WebSocket з автоматичним перепідключенням.



Рисунок 3 - Комплексна архітектура додатку

ВИСНОВКИ

У результаті виконання магістерської роботи розроблено комплексну IoT-систему управління паркувальними місцями, яка поєднує доступні апаратні компоненти з сучасними веб-технологіями.

Основні результати роботи:

1. Проведено комплексний аналіз проблеми паркування в міських умовах, який виявив значні економічні втрати (понад \$1600 на водія щорічно), екологічні наслідки (30% міського трафіку — пошук паркування) та низьку ефективність використання існуючих місць (15-20% залишаються вільними).

2. Виконано порівняльний аналіз існуючих рішень, який показав, що комерційні системи Smart Parking коштують \$500-2000+ за місце, що робить їх недоступними для більшості українських паркінгів.

3. Розроблено чотирирівневу архітектуру IoT-системи: сенсорний рівень (IR + ультразвукові датчики), рівень мікроконтролерів (Arduino + Raspberry Pi), серверний рівень (Django REST API), рівень клієнтських додатків.

4. Обгрунтовано вибір комбінації інфрачервоних та ультразвукових датчиків, що забезпечує точність детекції 95% при вартості ~\$30-50 за паркомісце.

5. Проведено симуляцію апаратної частини в середовищі Proteus Design Suite, що підтвердило коректність розроблених алгоритмів обробки даних та протоколу обміну.

6. Реалізовано серверну частину на базі Django 4.2 з REST API, JWT-автентифікацією та асинхронною обробкою завдань через Celery/RabbitMQ.

7. Спроектовано архітектуру мобільних додатків: Kotlin/Android з MVVM та ML Kit для працівників, React Native з Redux для користувачів.

8. Розроблено три конфігурації апаратного забезпечення для різних типів паркінгів: закритий з одним в'їздом, з окремими в'їздом/виїздом, відкрита зона.

9. Визначено технічні вимоги до системи з показниками: час відгуку API менше 2 секунд, доступність 99.9%, підтримка до 10000 одночасних користувачів.