

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації
та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Розроблення системи автоматизації розумного паркування
(тема)

Виконав:
здобувач 4 року навчання,
групи АКТСІ-21-1
Сергій ЗАПОРОЖЧЕНКО
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 151 Автоматизація та
комп'ютерно інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Системна інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Микола СТАРОДУБЦЕВ
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри _____ Ігор НЕВЛЮДОВ
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Я, Запорожченко Сергій Олександрович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

16 червня 2025 р.

Handwritten signature of Serhii Zaporozhchenko in black ink, consisting of stylized cursive letters.

Сергій ЗАПОРОЖЧЕНКО

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Системна інженерія
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 20 25 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

здобувачеві Запорожченку Сергію Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи автоматизації розумного паркування
Затверджена наказом університету від 19 05 2025 р. № 391 Ст
2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 24 06 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Дані про існуючі технології автоматизованої системи розумного паркування; дані про різні види систем керування паркінгами та їх технічні характеристики; середовища розробки Visual Studio, Wokwi, Tinkercad; мова програмування C++.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Огляд і аналіз існуючих методів, засобів та технологій автоматизації систем розумного паркування; Розроблення структурної схеми та алгоритму роботи системи автоматизації розумного паркування; Вибір технічних компонентів системи; Оцінка стійкості системи; Розроблення автоматизованої системи розумного паркування.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Графічний матеріал у вигляді презентації формату pptx в форматі А4 10 с.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання до кваліфікаційної роботи	28.04.2025	виконано
2	Написання вступу	30.04-05.05.2025	виконано
3	Огляд і аналіз існуючих методів, засобів та технологій автоматизації складських приміщень	06.05-10.05.2025	виконано
4	Розроблення структурної схеми та алгоритму роботи системи автоматизації транспортування товару на складі	11.05-18.05.2025	виконано
5	Розроблення системи автоматизації транспортування товару на складі	19.05-01.06.2025	виконано
6	Охорона праці	01.06-02.06.2025	виконано
7	Висновки	02.06-03.06.2025	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	03.06-07.06.2025	виконано

Дата видачі завдання 28 квітня 2025 р.

Здобувач _____ Сергій ЗАПОРОЖЧЕНКО
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ доц.Микола СТАРОДУБЦЕВ
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 52 с., 12 рис., 5 дод., 18 джерел.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПАРКУВАННЯ, КОНТРОЛЕР ESP32,
ВІРТУАЛЬНИЙ МАКЕТ, FLASK, РОЗУМНА СИСТЕМА.

Об'єкт розробки – процес контролю кількості вільних паркомісць на території обмеженого простору.

Предмет розробки – автоматизована система розумного паркування на основі віртуального макету, що використовує спрощену архітектуру з двома сенсорами.

Мета роботи полягає у розробці та верифікації спрощеної, бюджетної моделі системи розумного паркування, що забезпечує облік транспорту за допомогою двох датчиків руху, із подальшим відображенням даних у веб-інтерфейсі.

У ході кваліфікаційного проєкту було проаналізовано сучасні системи автоматизації паркування, визначено основні проблеми та технічні вимоги. Було розроблено загальну концепцію системи, архітектуру з двома вхідними датчиками та одним світлодіодним індикатором, алгоритм роботи, схему підключення, технічні обґрунтування вибору обладнання.

Також створено програмне забезпечення для ESP32, веб-сервер на Flask, базу даних для зберігання лічильника, HTML-інтерфейс адміністратора, а також повноцінний віртуальний макет у Wokwi.

Результатом роботи стала працездатна система обліку паркомісць, яку можна адаптувати під реальні умови. Вона демонструє базову логіку розумного паркування з мінімальною кількістю сенсорів і високим рівнем наочності.

THE ABSTRACT

Explanatory note: 52 p., 12 fig., 5 add., 18 sources.

AUTOMATION, PARKING, ESP32 CONTROLLER, VIRTUAL LAYOUT, FLASK, SMART SYSTEM.

The object of development is the process of monitoring free parks in a limited space.

The subject of development is an automated smart parking system based on a virtual layout, using a simplified architecture with two sensors.

The purpose of the work is to develop and verify a simplified, budget model of a smart parking system that provides transport accounting using two motion sensors, with subsequent display of data in the web interface.

During the diploma project, modern parking automation systems were analyzed, the main problems and technical requirements were identified. The general concept of the system, architecture with two input sensors and one LED indicator, operating algorithm, connection diagram, technical justification for the choice of equipment were developed.

Also created software for ESP32, web server on Flask, database for storing the lycium, HTML-administrator interface, as well as a full-fledged virtual layout in Wokwi.

The result of the work was a functional parking accounting system that can be adapted to real conditions. It demonstrates the basic logic of smart parking with a minimum number of sensors and a high level of visibility.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	9
1 Огляд і аналіз існуючих рішень.....	12
1.1 Огляд і класифікація систем паркінгу.....	12
1.2 Проблеми автомобільних парковок.....	13
1.3 Аналіз існуючих систем керування паркінгом.....	14
1.3.1 Система керування паркінгом «Dahua».....	14
1.3.2 Система керування паркінгом AFAPARK.....	16
1.3.3 Автоматизована парковка FidPark.....	18
2 Проектування автоматизованої системи розумного паркування.....	23
2.1 Загальна концепція системи.....	23
2.3 Алгоритм роботи системи.....	26
2.4 Технічні засоби: вибір датчиків, контролерів, мереж.....	28
2.5 Безпека, масштабованість та надійність системи.....	29
3 Реалізація автоматизованої системи розумного паркування.....	31
3.1 Принцип роботи автоматизованої системи паркування.....	31
3.2 Архітектура та компоненти системи.....	32
3.3 Вибір обладнання та технічних компонентів системи.....	33
3.5 Результати реалізації.....	37
4 Монтаж, налагодження та тестування системи.....	40
4.1 Монтаж обладнання.....	40
4.2 Налагодження програмного забезпечення та запуск у тестовому режимі....	41
4.3 Тестування точності підрахунку та обміну даними.....	43
4.4 Узагальнення результатів тестування.....	44
5 Охорона праці та безпека життєдіяльності при впровадженні системи.....	46
5.1 Загальні питання охорони праці.....	46

	8
5.2 Безпека життєдіяльності.....	47
5.3 Екологічна безпека.....	48
Висновки.....	51
Перелік використаних джерел.....	53
Додаток А.....	56
Додаток Б.....	58
Додаток В.....	60
Додаток Г.....	62
Додаток Д.....	64
Додаток Е.....	68

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АС – автоматизована система

БД – база даних

ВМ – віртуальний макет

ПК – персональний комп'ютер

ПЗ – програмне забезпечення

API – application programming interface (інтерфейс прикладного програмування)

ESP32 – мікроконтролер із підтримкою Wi-Fi та Bluetooth

GPIO – general purpose input/output (універсальні порти введення/виведення)

HTML – hypertext markup language (мова розмітки гіпертексту)

HTTP – hypertext transfer protocol (протокол передавання гіпертексту)

IP – Internet Protocol (протокол Інтернету)

JS – JavaScript (мова програмування для веб-інтерфейсів)

LED – light-emitting diode (світлодіод)

UART – universal asynchronous receiver-transmitter (універсальний асинхронний приймач-передавач)

UI – user interface (користувацький інтерфейс)

Wi-Fi – wireless fidelity (бездротова технологія передачі даних)

ВСТУП

У сучасних умовах стрімкої урбанізації та зростання кількості автотранспорту особливої актуальності набуває проблема ефективної організації паркувального простору в містах. Щодня у великих населених пунктах фіксується значна кількість випадків порушення правил паркування, заторів, а також витрат пального внаслідок тривалого пошуку вільного місця. За підрахунками аналітиків, у середньому водій витрачає від 5 до 15 хвилин на пошук місця для паркування, що призводить до додаткового навантаження на інфраструктуру та погіршення екологічної ситуації. Тому впровадження автоматизованих систем обліку паркомісць є одним із ключових напрямів цифрової трансформації міського середовища, що забезпечує комфорт водіїв, зменшення заторів та ефективне використання ресурсів.

Для реалізації таких рішень особливе значення має можливість створення віртуальних моделей, які дозволяють протестувати логіку роботи системи, визначити оптимальні алгоритми функціонування, виявити потенційні недоліки та удосконалити програмне забезпечення ще до впровадження в реальному середовищі. В даній роботі розглянуто розробку автоматизованої системи паркування, яка базується лише на двох датчиках – на в'їзді та виїзді, що дозволяє визначити кількість вільних місць без необхідності встановлення обладнання на кожне паркомісце. Такий підхід значно знижує витрати на впровадження та обслуговування, зберігаючи при цьому точність обліку.

Мета роботи полягає у розробці та верифікації спрощеної, бюджетної моделі системи розумного паркування, що забезпечує облік транспорту за допомогою двох датчиків руху, із подальшим відображенням даних у веб-інтерфейсі.

Об'єкт розробки – процес контролю кількості вільних паркомісць на території обмеженого простору.

Предмет розробки – автоматизована система розумного паркування на основі віртуального макету, що використовує спрощену архітектуру з двома сенсорами.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз існуючих систем керування паркуванням та визначити їх недоліки;
- розробити загальну концепцію та блок-схему роботи системи;
- обрати апаратні та програмні засоби, що відповідають вимогам простоти, надійності та доступності;
- створити віртуальну модель роботи системи в середовищі Wokwi або аналогічному емуляторі;
- розробити веб-застосунок для візуалізації інформації про заповненість паркінгу в режимі реального часу;
- забезпечити можливість масштабування та інтеграції з фізичним обладнанням у майбутньому;
- оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [1], а також з методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Системна інженерія» [2].

Також отримані результати відповідають переліку Цілей сталого розвитку, зокрема Цілі 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура» (9.4).

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Огляд і класифікація систем паркінгу

Автомобільна парковка – це місце для стоянки автомобілів на проїзній частині дороги, вулиці або прилеглої території.

Паркування – важлива частина житлових, офісних, адміністративних комплексів і торгово-розважальних центрів. Сьогодні практично в кожному будівельному об'єкті вирішується питання розміщення транспортних засобів відвідувачів.

Автоматизована паркувальна система (АПС) – це система, яка складається з програмного забезпечення та спеціалізованого обладнання. АПС дозволяє автомобілям паркуватися на парковці та автоматично стягує оплату за послуги паркування, не вимагаючи допомоги людини. Стійки в'їзду та виїзду, шлагбауми, які дозволяють транспорту пройти на територію, автоматичні або ручні каси для оплати, системи визначення номерів, які включають відеокамери та плати за відеозахват.

Інтелектуальна система паркування (IoT Parking) складається з програмного забезпечення та спеціалізованого обладнання. допомагає транспортним засобам паркуватися на парковці, автоматично паркуючи автомобілі, тобто без участі водія розраховує оплату за час перебування автомобіля на парковці, коли добігає кінця часу перебування на парковці. Стійки в'їзду та виїзду, шлагбауми, які дозволяють транспорту залишатися на території; автоматична каса: інтернет-банкінги, термінали, електронні гаманці т.д.; модулі безпроводного зв'язку: маяки BLE для локального позиціонування або інші подібні системи; Wi-Fi, Bluetooth, 4G/5G модулі; дачі: дачі руху, дачі освітлення, дачі зайнятості місць; контролери управління.

Специфіка таких паркінгів полягає в постійному переміщенні авто транспорту без участі водія, що і диктує основні вимоги до транспортних засобів:

- наявність безпілотного керування в авто;
- наявність паркувальних систем (Park Assist);
- наявність різних датчиків по типу (лідари, парктроніки, т.і.);
- можливість прийому-передачі даних від авто до системи.

1.2 Проблеми автомобільних парковок

У Києві, який за кількістю автомобілів наздогнав найбільші міста Європи, не вистачає паркувальних місць. Влада створює перехоплюючі паркінги, щоб рятувати місто від транспортної катастрофи. Одне з них розташоване поруч із метро «Видубичі».

Перехоплюючий паркінг – це автостоянка, яка з'єднана з громадським транспортом, що дозволяє людям із приміської зони та іншим подорожувати в центр міста, полишивши свої автомобілі та пересівши на автобус, маршрутне таксі, трамвай, метро тощо на решту подорожі. Автомобіль залишається на стоянці протягом дня, а потім його забирають власники, коли вони повернуться. Перехоплюючі стоянки зазвичай розташовані в передмісті або в під'їзних зонах до центру великих міст.

Не перший рік місто переповнене пробками, і для водіїв іноді стає важко знайти парковку. З самого початку Київ не розрахований на велику кількість машин. У 2015 році на 1000 Киян припадало 213 автівок, а у 2017 році 257. Зараз цей показник доходить до 300, і за прогнозами «А+С Україна» до 2025 року він досягне 375 автомобілів на 1000 жителів.

На сьогоднішній день найскладнішим завданням для автовласника є паркування свого автомобіля. При великому скупченні автомобілів зазвичай дуже складно знайти вільне паркувальне місце. Крім того, стан парковки постійно змінюється, і зайняті місця можуть звільнитися в будь-який момент. Але не тільки знаходити вільне місце складно, майже кожен водій, особливо малодосвідчений, стикається з проблемою паркування. Іноді важко відразу визначити, чи достатньо вільного місця.

1.3 Аналіз існуючих систем керування паркінгом

1.3.1 Система керування паркінгом «Dahua»

Система управління паркуванням Dahua [3] розроблена для багаторівневих паркінгів, де водії часто змушені їздити колами, щоб знайти місце. Система інформування про вільні місця на парковці надає водіїв поточний супровід, направляючи їх за рівнями, зонами та смугами. Система підтримує будь-який чотириколісний транспортний засіб.

Система вирішує такі проблеми: проблеми з пошуком вільних місць на парковці; ілюзорна завантаженість паркінгу, коли є вільні місця; і аварії та затори, пов'язані з хаотичною парковкою.

Система інформування про вільні місця на парковці працює наступним чином. Над кожним паркомісцем є світлодіодний індикатор і датчик, призначений для визначення наявності під ним транспортного засобу. Через структуровану кабельну систему (СКС) щомитий датчик знаходить транспортний засіб і передає статус центру управління. На цифрових табло, які також називають екранами навігації, ПК обробляють і оновлюють дані, що дозволяє водіям бачити вільні місця в реальному часі.

Цифрові табло показують шляхи для руху за допомогою динамічних стрілок, коли водій повинен вибрати напрямок руху (рівень, зону або ряд). Після цього необхідно просто дотримуватися інструкцій, щоб знайти найкраще вільне паркувальне місце в найкоротші терміни.

- автоматизована система керування;
- обґрунтована вартість системи;
- постійна, стійка робота;
- мінімальний час для пошуку парковки;
- відеоспостереження високої якості.

До впровадження системи інформування про вільні місця на парковці проєктувальники повинні були створити місця для проїзду в кінці кожного ряду, щоб запобігти пробкам під час пікових годин паркування. З появою системи управління такі вільні проїзди не потрібні. Це дозволяє збільшити прибутки на паркінгу за рахунок збільшення кількості паркомісць.

Зразок того, як система управління паркуванням дозволила значно збільшити кількість паркомісць на кожному рівні, показано на рисунку 1.3. Це призвело до значного збільшення кількості паркомісць при одночасному зниженні витрат на будівництво будівлі.

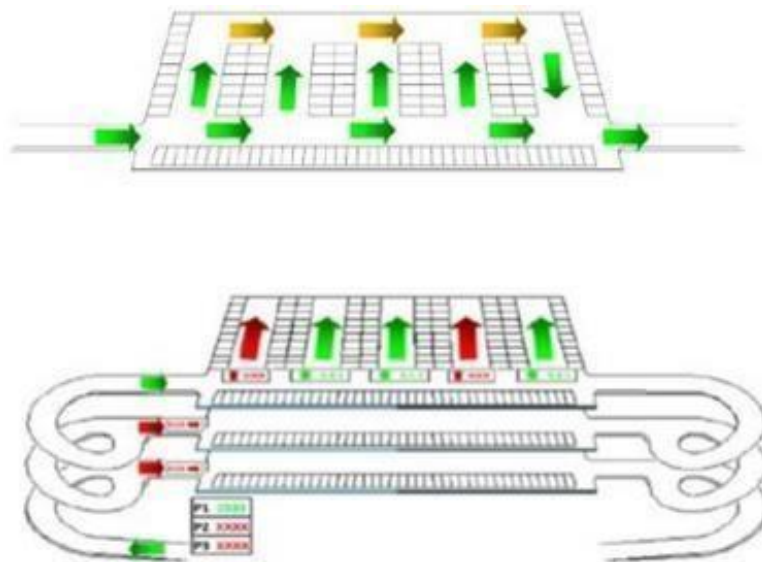


Рисунок 1.1 – Зразок розташування паркомісць

Автомобілі часто залишаються на стоянці довше дозволеного терміну. Якщо ви знаєте, де вони припарковані, ви можете знайти їх реєстраційний номер. Клієнт, який стверджує, що втратив свій паркувальний квиток і стверджує, що заїхав годину назад, може бути викрито в такому випадку.

1.3.2 Система керування паркінгом AFAPARK

Динамічні та розумні інформаційні табло з відео та аудіо-інформацією дозволяють автомобілістам вільно рухатися по парковці. Ці табло також можуть швидко визначати та вказувати вільні паркувальні місця. Починаючи з входу на парковку та закінчуючи стоянкою, користувачі можуть переміщатися в зручному середовищі.



Рисунок 1.2 – Система керування паркінгом AFAPARK [4]

На вході до паркінгу динамічний дисплей показує загальну кількість вільних місць для паркування та інформує водія про наявність місць.

Динамічні покажчики напрямку в середині парковки показують, на якому рівні і в якій зоні є вільні паркувальні місця, щоб допомогти людям краще рухатися. У кожній зоні є динамічні покажчики, які показують, де є вільні місця.

Миготлива сигналізація зеленого кольору чітко показує місце вільного місця після того, як водій вибрав маршрут. Датчик, який зазвичай знаходиться в центрі парко-місця або зверху стелі, визначає присутність автомобіля під час парковки і відразу ж змінює колір із зеленого на червоний.

Дисплеї починаються з алеї та віднімають будь-яке вільне місце в цьому місці. На додаток до функції датчика може бути вбудований звуковий гучномовець. Цей пристрій може автоматично генерувати звукове повідомлення, щоб визначити, чи є автомобіль поруч. Це повідомлення допомагає власнику автомобіля запам'ятати номер парко-місця швидко. Після цього звукового

повідомлення ваш відділ маркетингу може отримати додаткові інформаційні або рекламні повідомлення, адаптовані за допомогою спеціальної вбудованої програми. Таке ж звукове повідомлення можна використовувати для спеціалізованих місць для паркування, таких як сімейні, інвалідні, для електромобілів і т. д.

Як доповнення до сигналізації може бути вбудований звуковий гучномовець, який створює приємну атмосферу на паркінгу, регулярно включаючи музику. Гучномовець може одночасно поширювати повідомлення про те, як евакуюватися з пожежі.

AFAPARK постійно розробляє та вдосконалює свою продукцію, щоб адаптуватися до різних архітектурних обмежень парковок і оптимізувати витрати на впровадження системи.

Ви можете побачити світлові табло вздовж проїзду, коли входите на паркінг, щоб дізнатися про наявність вільних місць або відсутність. Яскрава світлова сигналізація показує всі вільні паркувальні місця, коли ви входите в район. Це дозволяє вам швидко і зручно паркуватися. Незалежно від того, куди він рухається, сигналізатор добре помітний. Система озвучування паркувального місця повідомляє пасажирів про місцезнаходження після зупинки автомобіля, щоб допомогти знайти машину або повідомити про те, що це місце призначене для інвалідів. Наступним чином керівництво паркінгу бачить роботу системи.

Крім того, що забезпечує комфорт для клієнтів, візуально-звукова система управління паркінгом та управління рухом AFAPARK допомагає адміністраторам ефективно керувати паркінгом і економити гроші завдяки графічній і статичній інформації. Коли відбувається аварія, адміністрація може оголосити про евакуацію. Крім того, можна використовувати AFAPARK як джерело додаткового доходу, демонструючи рекламу.

Використання системи даних збільшує рентабельність.

Система організації, управління та управління паркінгом AFAPARK має багато переваг з економічної точки зору. Якщо зменшити кількість переміщень по паркінгу, ви зможете оптимізувати рух. Система AFAPARK допоможе вам легко

побачити, де знаходяться паркувальні місця. Крім того, час, що витрачається на парковку, в середньому скорочується на шість хвилин.

Навіть при найвищому заповненні більшість паркінгів не займають більше 2% паркувальної площі. AFAPARK гарантує повне використання площі паркінгу, оскільки його візуалізація дає водіям найновішу інформацію про стан паркінгу, а система направляє їх на найближче вільне місце.

Нижче наведено деякі моменти, які демонструють екологічну цінність даної систем.

Система AFAPARK скорочує час переїзду та дозволяє машинам прямувати безпосередньо на вільні місця. Істотно знижуються витрати на паливо та забруднення повітря, а користувачі та працівники паркінгу отримують більш чисте середовище. Забрудненість зменшується до двадцяти відсотків. Це значне зниження. Вже на етапі проектування помітні фінансові переваги системи управління паркінгом AFAPARK.

Система AFAPARK включає:

- гарантовану повну зайнятість стоянок;
- зниження інвестиційних витрат на будівництво автостоянки на 10%;
- скорочення часу паркування на 2 хвилини замість 8 хвилин завдяки візуальній і звуковій наводці на парковочне місце;
- полегшення руху по території автостоянки;
- зниження ризику втрати автомобіля та підвищення безпеки;
- ідентифікація місць для інвалідів або інших цілей (хвилинна стоянка, місця для VIP тощо).

1.3.3 Автоматизована парковка FidPark

FidPark-CAR [5] має на меті автоматизувати як платні, так і службові парковки. Водії можуть оплачувати стоянку різними способами, включаючи передоплату, депозити, квитки на заходи та різні абонементи. ФідПарк-програма дозволяє змінювати параметри автостоянки.

Необмежена кількість користувачів, необмежена тривалість паркування автомобілів, необмежена кількість постійних клієнтів, необмежена кількість тарифних планів, тижневі зміни тарифів, захист від вірусів і злому програмного забезпечення, відповідність фіскальному законодавству та зручна інтеграція з зовнішніми WEB-платіжними системами.

У версії FidPark-ANPR з автоматичним розпізнаванням номерів (Automatic Number Plate Recognition) спеціальні відеокамери розпізнають номери автомобілів. Цей номер можна використовувати або разом із іншими засобами ідентифікації, такими як RFID, штрих-код і т. д., або замість них. ANPR полегшує використання системи водіями та розширює можливості FidPark і FidPark +. Наприклад, тепер ви можете автоматично оплачувати кожен парковку банківською карткою.

Функцію ANPR можна використовувати як додаткову опцію. Приклад роботи цієї функції зображений на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Приклад роботи функції ANPR

Якщо FidPark використовує ANPR як додаткову опцію, він отримує такі можливості:

- якщо клієнт заплатив за паркування з одноразовим штрих-кодовим талоном, система FidPark може випустити машину без необхідності сканувати цей талон на виїзді (за винятком рідкісних випадків помилкового розпізнавання номера);

- адміністратор може легко визначити дату/час заїзду машини з конкретним номером і відповідною вартістю парковки, що вирішує проблем
- порівняння номерів на в'їзді та виїзді запобігає виїзду автомобіля за чужою перепусткою;
- на багатозонних парковках ANPR камери між зонами дозволяють контролювати фактичне перебування автомобіля в кожній зоні без додаткових терміналів і бар'єрів;
- клієнти не повинні платити в касі або в касовому автоматі, оскільки платежі, пов'язані з номером їхнього автомобіля, автоматично списуються з їхніх карток або мобільних рахунків, що звільняє їх від необхідності використовувати талони зі штрих-кодом;
- клієнти можуть забронювати місце на стоянці, використовуючи свій смартфон, замість того, щоб використовувати талон зі штрих-кодом.

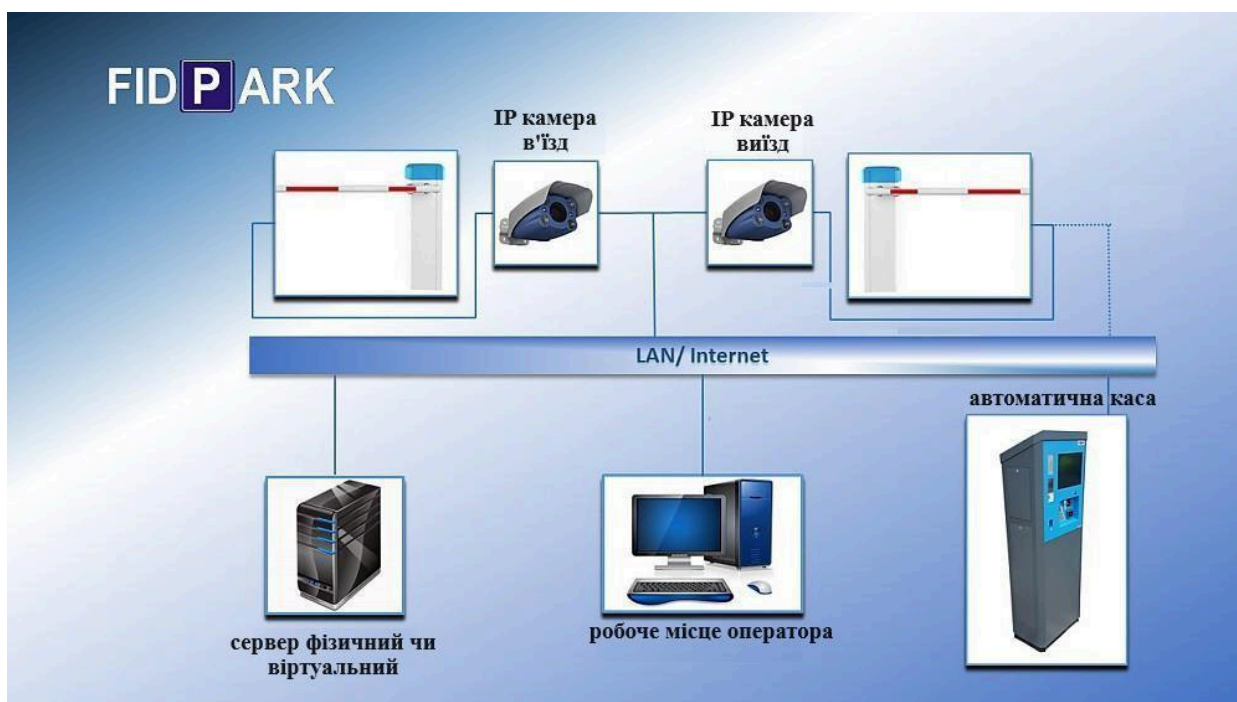


Рисунок 1.4 – Приклад роботи функції ANPR для постійних клієнтів [6]

У міру зниження цін на відеокамери FidPark стає все більш популярним як найзручніша технологія ідентифікації для службових автостоянок із ANPR. Можливості FidPark-ANPR включають наступне: усунення необхідності для всіх

клієнтів використовувати талони, картки та інші форми; зниження витрат на підтримку та технічне обслуговування системи шляхом усунення паперових талонів зі штрих-кодом для разових клієнтів; усунення зловживань, пов'язаних із багаторазовим використанням одного пропуску (antipassback).

Версія системи FidPark-ANPR для платних стоянок була спеціально розроблена, щоб покращити обслуговування клієнтів у всіх операціях, навіть у випадку, якщо один або кілька символів номерного знаку були розпізнані помилково. З іншого боку, пошук номера може зайняти багато часу та викликати стрес у клієнта, особливо для незнайомих людей з сенсорними екранами. Клієнту достатньо ввести декілька цифр номерного знаку в автоматичній касі, щоб вибрати зі списку свою машину для оплати стоянки. Програма касира також виконує таку ж процедуру.

Система може ідентифікувати клієнтів різними способами. Такі технології ідентифікації клієнтів підтримуються FidPark:

- безконтактні маркування (картки, браслети тощо) з відстанню зчитування до 10 см (125 кГц, 13,56 МГц, ISO / IEC 14443a / b);
- безконтактні мітки (картки, брелоки) з відстанню зчитування до 1 м (ISO/IEC 15693);
- безконтактні мітки (UHF) з відстанню зчитування до 10 метрів;
- NFC-картки або мобільні телефони з відстанню зчитування до 2-3 см;
- 2D штрих-коди на екрані або разових талонах;
- державний номер автомобіля;
- номер або IMEI мобільного телефону (смартфона);
- відбитки пальців.

Конкретний вибір пристроїв і технологій залежить від типу об'єкта та вимог клієнта. Дозволено використовувати різні способи ідентифікації одного клієнта, наприклад браслет і картку.

База даних FidPark містить лише інформацію про клієнтів і події, що гарантує низьку вартість при високій захищеності даних про клієнтів. Кожен

термінал має процесори, які гарантують високу відмовостійкість. використання мобільних додатків для пошуку водія.

Система FidPark-Phone використовує мобільний телефон для ідентифікації водія. Водій повинен зателефонувати на певний номер, який зазвичай видно на стрілі шлагбаума, коли він входить. Дзвінок є безкоштовним.

Шлагбаум відкривається, якщо власник номера телефону має право на вхід. Якщо ні, на телефон через кілька секунд надходить SMS із зазначенням причини відмови.

FidPark-Phone найкраще працює на службових автостоянках, де можна в'їжджати лише за попереднім погодженням клієнтів або відвідувачів. При цьому функції FidPark, такі як групові пропуски, тайм-зони та захист від багаторазового в'їзду, зберігаються.

Можна використовувати будь-який веб-браузер, щоб керувати системою. Користувачі (орендарі) автостоянки можуть самостійно змінювати список номерів телефонів водіїв, які мають право в'їзду на автостоянку, а також реєструвати «своїх» відвідувачів, вводячи номери мобільних телефонів і час початку візиту (в'їзду на стоянку). Це можна зробити в межах визначених їм квот (кількість місць і час). Крім того, враховуючи тривалість стоянки, система може нарахувати вартість стоянки та віднести цю суму на рахунок користувача стоянки. FidPark-Phone можна використовувати як альтернативу системі FidPark-LPR з розпізнаванням номерів на платних автостоянках.

2 ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО ПАРКУВАННЯ

2.1 Загальна концепція системи

Автоматизована система розумного паркування має на меті мінімізувати кількість вільних місць на стоянці. Її основною метою є використання лише двох сенсорів: один на в'їзді до парковки, а інший на виїзді. Це дозволяє уникнути встановлення окремих датчиків на кожному паркомісці, що значно знижує витрати на обладнання та полегшує монтаж і підтримку.

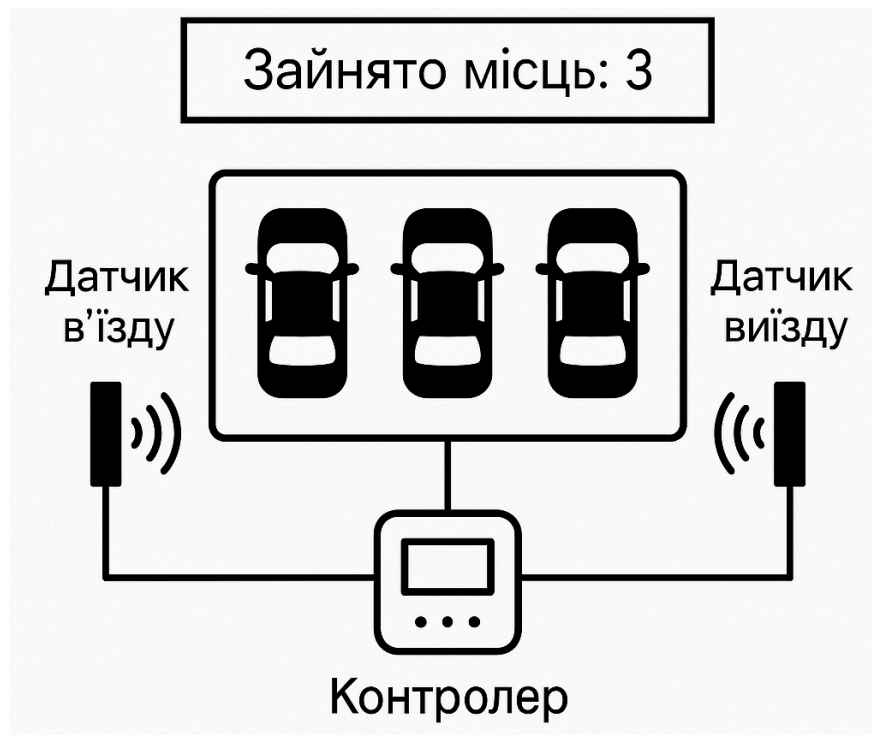


Рисунок 2.1 – Загальна концепція обліку паркомісць

Основним принципом роботи системи є облік. Кожен в'їзд автомобіля реєструється відповідним датчиком, що збільшує лічильник зайнятих місць, а кожен виїзд зменшує його. Таким чином, кількість автомобілів на парковці підтримується в режимі реального часу. Дані оновлюються в централізованій базі даних, а адміністратори та користувачі можуть побачити це на веб-інтерфейсі.

Щоб запобігти перенавантаженню стоянки, система автоматично блокує нові в'їзди через шлагбаум або відповідне повідомлення, коли кількість зайнятих місць досягає максимального дозволеного значення.

Основною перевагою цього рішення є те, що воно універсально. Система може бути встановлена як на невеликих приватних паркінгах, так і на більш великих комерційних або комунальних паркінгах. Складність структури гарантує високу надійність, а наявність лише двох точок контролю полегшує виявлення та усунення можливих несправностей.

2.2 Архітектура та компоненти системи

Архітектура автоматизованої системи розумного паркування базується на обліку транспортних засобів за допомогою двох точок контролю (в'їзд/виїзд), але при цьому вона є надійною та гнучкою до масштабування. Він складається з апаратних і програмних компонентів, які працюють разом через мережеву інфраструктуру.

До апаратної частини входять два сенсори присутності. Ці датчики, зазвичай інфрачервоні або ультразвукові, мають здатність розпізнавати автомобілі або інші об'єкти, що наближаються. Один із цих датчиків розташований безпосередньо на вході до парковки, а інший – на виїзді. Їх основною метою є фіксація моменту проїзду транспортного засобу. Плата ESP32 обробляє дані обох сенсорів і передає їх мікроконтролеру. Вона має достатню обчислювальну потужність для попередньої обробки сигналів і має вбудований модуль Wi-Fi, що дозволяє передавати дані на центральний сервер без потреби в додаткових мережевих модулях.

Мікрокомп'ютер Raspberry Pi [7] є центральним обчислювальним вузлом. Він обробляє події в'їзду та виїзду, коригує лічильник зайнятих місць, записує цю інформацію в базу даних і обслуговує веб-інтерфейс. Крім того, він приймає дані від ESP32. На Raspberry Pi також є розгорнутий веб-сервер, який можна

використовувати з будь-якого веб-браузера, щоб отримати доступ до інформації про заповненість паркінгу в режимі реального часу.

Програмна частина складається з серверного додатка, який працює на мові Python з використанням мікрофреймворку Flask, і клієнтського інтерфейсу, який використовує HTML, CSS та JavaScript. Бази типу SQLite є легкою та швидкою, і вона ідеально підходить для систем, які мають невеликий обсяг одночасних запитів.



Рисунок 2.2 – Структурна архітектура системи

Джерела живлення (адаптери або PowerBank), з'єднувальні кабелі, захисні кожухи для електроніки, модулі стабілізації напруги та, за потреби, маршрутизатори або підсилювачі сигналу Wi-Fi є додатковими компонентами системи.

Оскільки архітектура системи базується на відкритих протоколах, стандартизованих компонентах і модульному підході до проєктування, вона легко інтегрується з додатковим обладнанням, як-от автоматичний шлагбаум, система

розпізнавання номерних знаків або система відеоспостереження, якщо необхідно розширити її можливості.

Таким чином, запропонована архітектура поєднує в собі простоту, функціональність і можливість масштабування, що дозволяє ефективно контролювати використання паркувального простору навіть із мінімальною кількістю обладнання.

2.3 Алгоритм роботи системи

Алгоритм системи розумного паркування з двома сенсорами базується на реєстрації в'їзду або виїзду автомобіля. Він реалізується за допомогою взаємодії датчиків присутності, центрального сервера (Raspberry Pi) та мікроконтролера ESP32 [8].

Усі компоненти переходять у режим очікування подій, коли система запускається. У нормальному режимі контролер постійно перевіряє обидва сенсори на вході та виїзді. Коли один із датчиків визначає, що об'єкт знаходиться в зоні дії, сигнал передається до контролера. Система реєструє подію типу «в'їзд» і збільшує лічильник зайнятих місць на одиницю, якщо це в'їзний датчик і поточна кількість автомобілів на парковці менша за максимально допустиму кількість місць.

Якщо подія зафіксована виїзним сенсором, система реєструє її як «вихід», а значення лічильника зменшується. Контролер передає серверу актуальну інформацію після кожної події. У свою чергу сервер оновлює записи в базі даних відповідно до цього, а потім створює відповідь, яку можна відобразити в інтерфейсі адміністратора або користувача.

Крім того, алгоритм передбачає перевищення граничних умов. Якщо кількість автомобілів більша за кількість паркомісць, система автоматично надсилає сигнал до пристрою, який обмежує доступ, як-от електрошлагбаум, щоб заблокувати новий в'їзд. Аналогічно, система повідомляє про помилку, якщо

значення лічильника нижче нуля. Таким чином забезпечується захист від помилкових спрацювань або повторних фіксацій подій.

Всі події записуються в журналі системи, також відомому як лог-файл. Це дозволяє відстежувати історію роботи, час подій і можливі збої. Журнал подій і керування параметрами системи доступні адміністратору, тоді як користувачі можуть переглядати лише інформацію про наявність вільних місць.

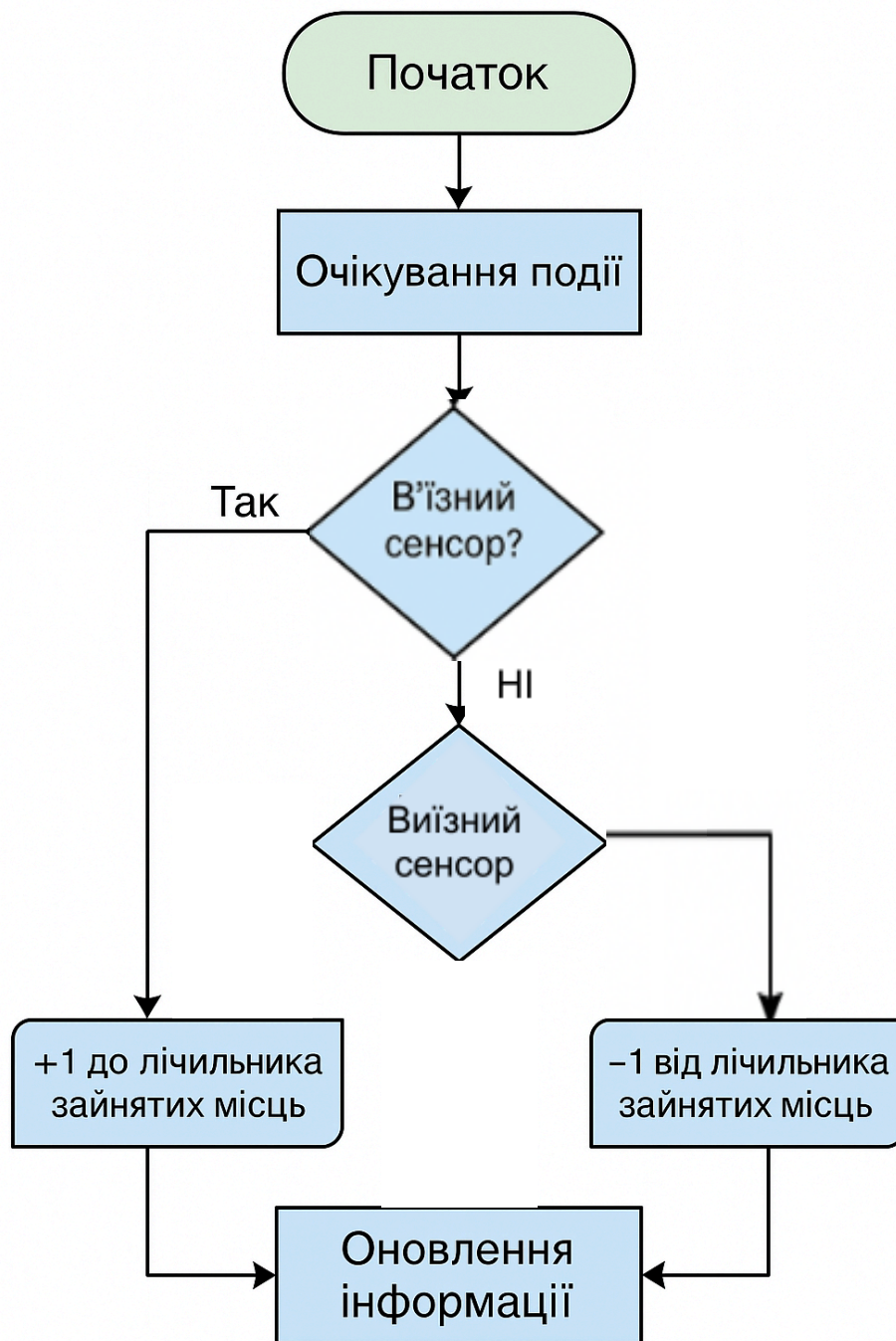


Рисунок 2.3 – Алгоритм обліку в'їзду та виїзду автомобілів

Спрощена логіка алгоритму гарантує стабільність, швидку реакцію системи та мінімальну затримку передачі даних. Це разом із локальним зберіганням даних на сервері дозволяє використовувати систему навіть коли немає інтернету, синхронізуючи дані автоматично після відновлення.

2.4 Технічні засоби: вибір датчиків, контролерів, мереж

Для відновлення системи автоматизованого паркування, яка базується на фіксації подій в'їзду та виїзду за допомогою двох сенсорів, необхідно ретельно підібрати технічні засоби, які гарантують стабільність роботи, простоту інтеграції, ефективність енергії та можливість розширення.

В цій системі основними пристроями є сенсори присутності транспортних засобів. Для цього найчастіше використовують інфрачервоні датчики руху або ультразвукові датчики типу HC-SR04 [9]. Вони можуть точно визначити, чи знаходиться об'єкт у зоні виявлення. Два датчики розташовані на проїзді: один на в'їзді, інший на виїзді. Ці сенсорні датчики хороші тим, що вони недорогі, споживають мало енергії та підключаються легко.

Мікроконтролер ESP32 керує логікою виявлення подій. Він обраний завдяки високій продуктивності, вбудованому Wi-Fi модулю та великій спільноті розробників. Контролер підключається до сенсорів, обробляє сигнали, визначає події «в'їзд» і «виїзд» і передає відповідні команди на центральний сервер через бездротову мережу.

Raspberry Pi, повноцінний мікрокомп'ютер моделей 3 або 4, використовується як сервер. Він підтримує операційну систему Linux, яка зазвичай є операційною системою Raspberry Pi, і дозволяє розгорнути локальний веб-сервер. Він підтримує обробку запитів, створення веб-інтерфейсів, обробку REST API та зберігання баз даних (наприклад, SQLite).

SQLite є найкращим вибором для зберігання даних, оскільки це вбудована реляційна база даних, яка не потребує розгортання серверної системи (на відміну

від MySQL або PostgreSQL) і ідеально підходить як для автономних, так і для вбудованих рішень.

У веб-інтерфейсі використовується HTML, CSS і JavaScript. Мова програмування Python разом із бібліотекою Flask використовується для побудови логіки серверної частини. Це дозволяє створювати простий REST API та підтримує роботу з базами даних, шаблонізаторами та мережевими модулями.

Крім основних елементів, система включає також:

- модулі живлення (адаптери 5 В або 12 В);
- перехідники, стабілізатори напруги;
- модулі захисту ліній живлення;

засоби кріплення, корпуси для захисту сенсорів та електроніки від погодних умов;

- (опціонально) маршрутизатор або ретранслятор Wi-Fi для підвищення надійності з'єднання.

Популярність цих технічних засобів пояснюється їх низькою ціною, відкритими технічними специфікаціями, підтримкою розробницьких спільнот і можливістю масштабування системи без заміни основної архітектури.

2.5 Безпека, масштабованість та надійність системи

Автоматизована система розумного паркування, яка ґрунтується на підрахунку транспортних засобів за допомогою двох сенсорів, потребує безпеки, масштабованості та надійності, щоб працювати ефективно та довго. Ці характеристики визначають, наскільки система буде захищена від зовнішніх загроз, наскільки вона здатна адаптуватися в майбутньому та наскільки вона стійка до збоїв.

В сфері інформаційної безпеки система розроблена з огляду на основні принципи захисту даних. Для доступу до панелі адміністратора потрібні авторизація з логіном і паролем, щоб запобігти несанкціонованому доступу до журналів і конфігурацій. Контролер і сервер використовують захищені протоколи для обміну даними, наприклад HTTP з додатковим шифруванням або MQTT [10] з

TLS. Це запобігає перехопленню або зміні трафіку з боку третіх осіб. Крім того, було введено обмеження прав доступу. Користувачі можуть бачити лише кількість вільних місць, тоді як адміністратор може отримати доступ до всієї функціональності.

Система має модульну архітектуру, що дозволяє легко розширювати функціональність без повного перепроектування. Наприклад, можна просто додати додаткові сенсори та контролери, які інтегруються у вже існуючу структуру, якщо паркомісце розширюється або є кілька в'їздів і виїздів. Логіка сервера та база даних дозволяють працювати з кількома джерелами подій, що дозволяє масштабувати систему без втрати цілісності даних. Аналогічно, інтерфейс легко змінюється під нові налаштування, якщо необхідні додаткові функції, такі як бронювання місць, аналітика та сповіщення.

Система пропонує низку технічних рішень, щоб запобігти збоям. Наприклад, контролер може тимчасово кешувати події у внутрішній пам'яті та синхронізувати їх після відновлення зв'язку з сервером у випадку втрати зв'язку. Усі сенсори та електронні компоненти були розроблені, щоб гарантувати, що вони будуть надійні в різних погодних умовах, незалежно від того, чи будуть вони працювати на відкритому повітрі чи в неізолюваних приміщеннях. Крім того, використання батарей або резервних джерел живлення у важливих вузлах забезпечує автономність у разі перебоїв з електроживленням.

Для фізичної безпеки передбачено наявність обмежувачів у шлагбаумах або індикаторах, герметичні корпуси сенсорів, захист контактів від корозії та використання негорючих матеріалів для електропроводки. Системний підхід до підтримки безвідмовної роботи включає протокол регулярного технічного обслуговування, який включає перевірку справності датчиків, оновлення програмного забезпечення та тестування на помилки.

У цілому ці заходи захищають систему від потенційних загроз, забезпечують її стабільне функціонування та готовність до майбутніх змін, а також відповідають сучасним вимогам міських цифрових послуг.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО ПАРКУВАННЯ

3.1 Принцип роботи автоматизованої системи паркування

Існує лише два датчики руху на в'їзді та на виїзді з паркінгу, щоб зробити систему автоматизованого паркування менш складною. Такий метод оптимізує облік автомобілів на парковці, значно знижуючи витрати на обладнання та спрощуючи обслуговування системи.

Система працює за допомогою підрахунку кількості автомобілів, які входять і виходять з паркінгу. При фіксації автомобіля датчиком на в'їзді система перевіряє, чи є місце для паркування. Лічильник паркомісць збільшується на одиницю, якщо залишається місце. Коли всі місця заповнені, система видає повідомлення про відсутність місць і забороняє в'їзд.



Рисунок 3.1 – Макет парковки з двома датчиками руху

Коли автомобіль проїжджає повз датчик на виїзді, лічильник зменшується на одиницю, а кількість вільних місць збільшується відповідно. Таким чином, система завжди знає, скільки автомобілів знаходиться на паркінгу та скільки вільних місць.

Загальна кількість паркомісць визначена заздалегідь і не змінюється. Відповідно до подій, які фіксують датчики, кількість зайнятих місць змінюється динамічно. Вільні місця можна знайти шляхом простого арифметичного віднімання: від загальної кількості віднімається поточний персонал.

Водій може бачити поточну кількість вільних місць на табло або веб-інтерфейсі. Крім того, система може записувати події в лог-файл для аналізу. Завдяки цьому методу рішення є ефективним, простим і масштабованим, що дозволяє впроваджувати систему навіть у невеликих паркувальних зонах.

3.2 Архітектура та компоненти системи

Автоматизована система розумного паркування, що пропонується, має спрощену конструкцію, але вона все ще ефективна. Основною метою такої системи є постійний підрахунок кількості автомобілів, які перебувають на парковці, а також моніторинг кількості вільних паркомісць. Для цього використовуються лише два датчики руху: один на в'їзді до паркінгу, а другий на виїзді.

До складу системи входять наступні ключові компоненти:

- датчики руху або присутності – це пристрої, які встановлюються в певних місцях і здатні визначати, коли транспортний засіб проходить. Інфрачервоні, лазерні або ультразвукові датчики можуть бути використані залежно від типу інфраструктури. При кожному спрацюванні вони передають цифровий сигнал на контролер;
- мікроконтролер, як-от Arduino Uno [11] або ESP32. Використовуючи сигнали датчиків, він виконує математичні операції, збільшуючи або зменшуючи

лічильник відповідно до напрямку руху. Контролер також відповідає за передачу та вивід даних на зовнішні пристрої або на сервер;

- це може бути одноплатний комп'ютер, як Raspberry Pi, як центральний обчислювальний модуль. Він обробляє сигнали датчиків, якщо він інтегрований у контролер, або отримує дані з мікроконтролера. Raspberry Pi забезпечує створення інтерфейсу користувача, роботу веб-сервера, зберігання даних і доступ до бази даних;

- вивід інформації – система може мати дисплей або світлодіодне табло, яке відображає кількість вільних місць у режимі реального часу. Дані публікуються в веб-інтерфейсі, який користувачі можуть побачити через браузер;

- мікроконтролер може передавати інформацію між хмарним середовищем або сервером за допомогою мережевого модуля або Wi-Fi-інтерфейсу. У проекті можна використовувати модулі ESP8266, ESP32 або зовнішній маршрутизатор Wi-Fi;

- блок живлення забезпечує живлення для всіх компонентів системи. Для забезпечення живлення 5 В або 3,3 В понижуючі стабілізовані модулі можуть бути підключені до стандартної електромережі.

Планується, щоб система могла працювати автономно або з Інтернетом. У локальному режимі вся інформація відображається на екрані біля входу. У разі інтеграції з мережею оператор або користувач можуть дистанційно отримати доступ до статистики паркування.

Така архітектура не тільки робить монтаж і обслуговування простими, але й дає достатню гнучкість для подальшої модернізації, наприклад, додавання камер, платного доступу та розпізнавання номерних знаків.

3.3 Вибір обладнання та технічних компонентів системи

Для створення автоматизованої системи підрахування транспортних засобів на паркінгу були обрані дешеві та надійні компоненти, які гарантують стабільне функціонування при низьких витратах. Під час вибору обладнання враховувалися

такі аспекти, як вартість, енергоефективність, простота програмування, доступність на ринку та сумісність з іншими модулями.

3.3.1 Інфрачервоні датчики руху типу IR-перешкод використовуються для виявлення транспортного засобу. Ці датчики реагують на об'єкти, що перетинають світловий промінь. У разі потреби більшої точності або роботи в складних погодних умовах можуть використовуватись лазерні або ультразвукові датчики, але ці пристрої дорожчі. У цьому проєкті достатньо двох IR-датчиків: один на вході, другий на виході. Датчики такого типу коштують приблизно 100–150 грн.



Рисунок 3.2 – Інфрачервоний датчики руху типу IR-перешкод

3.3.2 Для роботи з логікою обліку та обробки сигналів датчиків використовуйте Arduino Uno або ESP32. Arduino є простою платформою для початківців, яку підтримує спільнота та легко програмувати. Оскільки ESP32 має вбудований Wi-Fi-модуль, він краще підходить для передачі даних до веб-сервера через мережу Wi-Fi. Arduino Uno коштує приблизно 400 грн, а ESP32 – 300–500 грн.

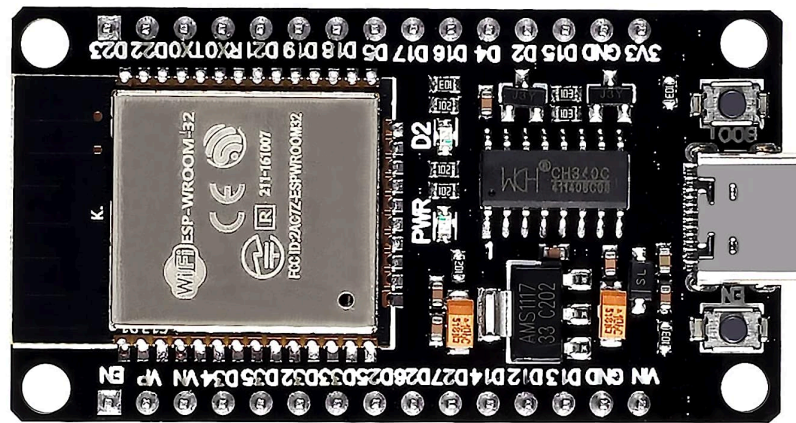


Рисунок 3.3 – Плата ESP32

3.3.3 Центральний обчислювальний вузол. Raspberry Pi 3 B / 4 B використовується для зберігання історії, запуску веб-серверу та інтерфейсу користувача. Цей комп'ютер з однією платою має достатню обчислювальну потужність, інтерфейси USB і HDMI, а також підтримку операційної системи Linux. Ви можете використовувати його як для локальної роботи, так і для підключення до хмари. У середньому від 2500 грн до 3000 грн.

3.3.4 Мережеві компоненти. Для передачі даних між мікроконтролером і Raspberry Pi можна використовувати пряме з'єднання USB або бездротове з'єднання Wi-Fi. При використанні ESP32 вбудований модуль забезпечує безпосереднє підключення до мережі. Можна використовувати додатковий Wi-Fi-модуль ESP8266 з Arduino.

3.3.5 Вивід інформації. Для зручності користувачів простий LCD-екран або LED-табло показує поточну кількість вільного місця. Крім того, є можливість перегляду даних через веб-інтерфейс на смартфоні або планшеті. Можна використовувати інформаційну панель, підключену до Raspberry Pi, щоб замінити екран, якщо це необхідно.

3.3.6 Блок живлення. Усі компоненти працюють від джерела постійного струму з напругою 5 В або 3,3 В. Живлення подається або від змінного струму

адаптера (220 В → 5 В через стабілізатор), або від акумуляторної батареї з захистом. Щоб гарантувати безперебійну роботу, краще використовувати стабілізований блок живлення.

Зазначене обладнання дозволяє створити систему, яка є стійкою, енергоефективною та економічною для малих і середніх парковок. Воно забезпечує достатню точність обліку транспортних засобів, легко масштабується та сумісне з відкритими протоколами.

3.4 Алгоритм роботи системи

Запропонована система розумного паркування використовує облік транспортних засобів, що заїжджають і виїжджають із території. Простий, але надійний принцип лічильника є основою. Система постійно спостерігає за подіями біля в'їзного та виїзного датчиків і змінює кількість зайнятих місць відповідно.

Робота системи відбувається за наступною послідовністю.

Ініціалізація системи. Система починає ініціювати всі компоненти після увімкнення живлення. Це включає ініціалізацію мікроконтролера, датчиків, підключення до сервера, якщо використовується, і встановлення перших значень змінних. Значення лічильника зайнятих місць (occupied) встановлюється на 0, а загальна кількість місць (total_slots) задається вручну. Наприклад, можна поставити значення 20 для цього.

Очікування сигналу з датчика на в'їзді. Вхідний датчик постійно перевіряється системою. Якщо виявиться ріх, перевіряється, чи кількість зайнятих місць менша за загальні місця. Якщо це так, людина може увійти, і значення зайнятого збільшиться на 1. Якщо це не так, система повідомляє «Паркінг зайнятий» і блокує вхід.

Очікування сигналу з датчика на виїзді. Аналогічно система постійно відстежує датчик на виїзді. Значення зайняте зменшується на один, якщо транспортний засіб виїхав (але не може бути меншим за 0, це регулюється логікою перевірки).

Оновлення інформації про стан паркінгу. Після кожної події (в'їзду чи виїзду) система оновлює кількість вільних місць ($free_slots = total_slots - \text{зайняті}$). Можна передавати ці дані на табло біля входу або показати їх у веб-інтерфейсі.

Захист від помилок. Реконструйовано механізми для запобігання помилкам подвійного спрацювання датчика. Наприклад, система може ігнорувати нові сигнали протягом певного часу (наприклад, 2 секунди) після фіксації події. Це запобігає помилковим рахуванням під час руху в межах одного датчика.

Логування подій (опціонально). Адміністратори можуть створити лог-файл, у якому зберігаються всі події, включаючи дату, час, тип події (в'їзд/виїзд), нове значення, яке було зайняте. Це дозволяє аналізувати використання паркінгу в різні години доби.

Таким чином, система працює без необхідності ускладнення обладнання, забезпечує реальний облік зайнятих місць і може масштабуватись. Вся логіка реалізується у програмному коді мікроконтролера, що робить її адаптивною під різні типи датчиків та конфігурацій паркування.

3.5 Результати реалізації

Використовуючи запропоновану спрощену систему автоматизованого обліку паркомісць, було створено ефективну модель, яка забезпечує основні функції розумного паркування при низьких витратах на обладнання. Замість того, щоб встановлювати датчики на кожному паркомісці, система використовує лише два датчики, на в'їзді та виїзді, для підрахунку кількості автомобілів.

Для прикладу було замість датчиків руху було використано, кнопки це показано на рисунку 3.3.

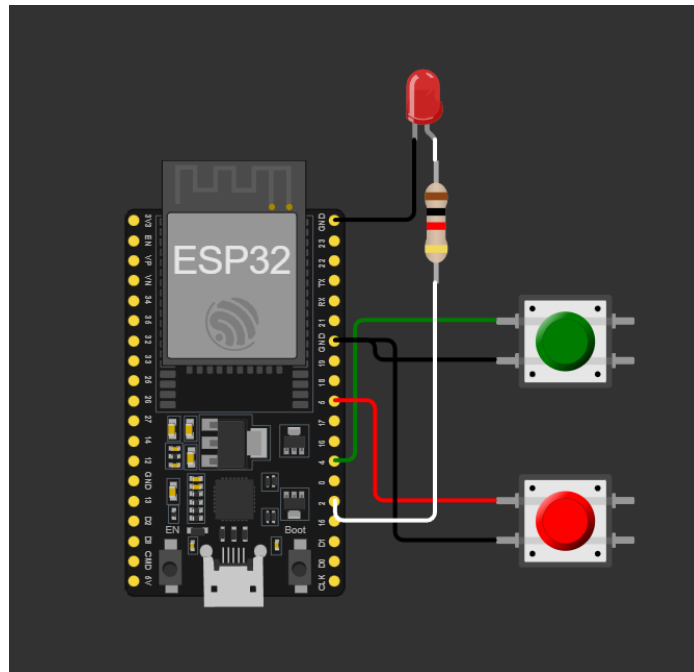


Рисунок 3.4 – Лабораторна реалізація системи у Wokwi

Тестова реалізація складалася з таких елементів:

- дві кнопки (замість датчиків руху);
- мікроконтролер ESP32, який має вбудований модуль Wi-Fi;
- LED лампа, яка загоряється коли всі місця були зайняті;
- базовий веб-інтерфейс, який показує стан паркінгу;
- живлення від блоку живлення 5 В.

У лабораторних умовах була змонтована система була, яка нагадувала реальний паркінг. Модель містила п'ять паркомісць. Кожен прохід повз вхідний або вихідний датчик супроводжувався виведенням відповідного повідомлення на дисплей і оновленням веб-інтерфейсу. При досягненні повного заповнення паркінгу система перекрила доступ.

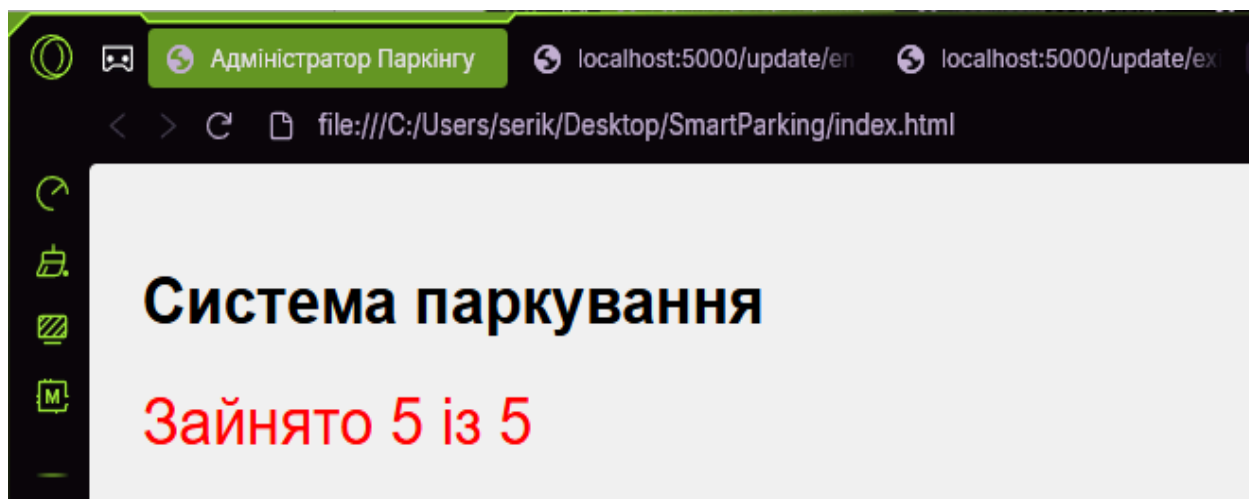


Рисунок 3.5 – Інтерфейс адміністратора

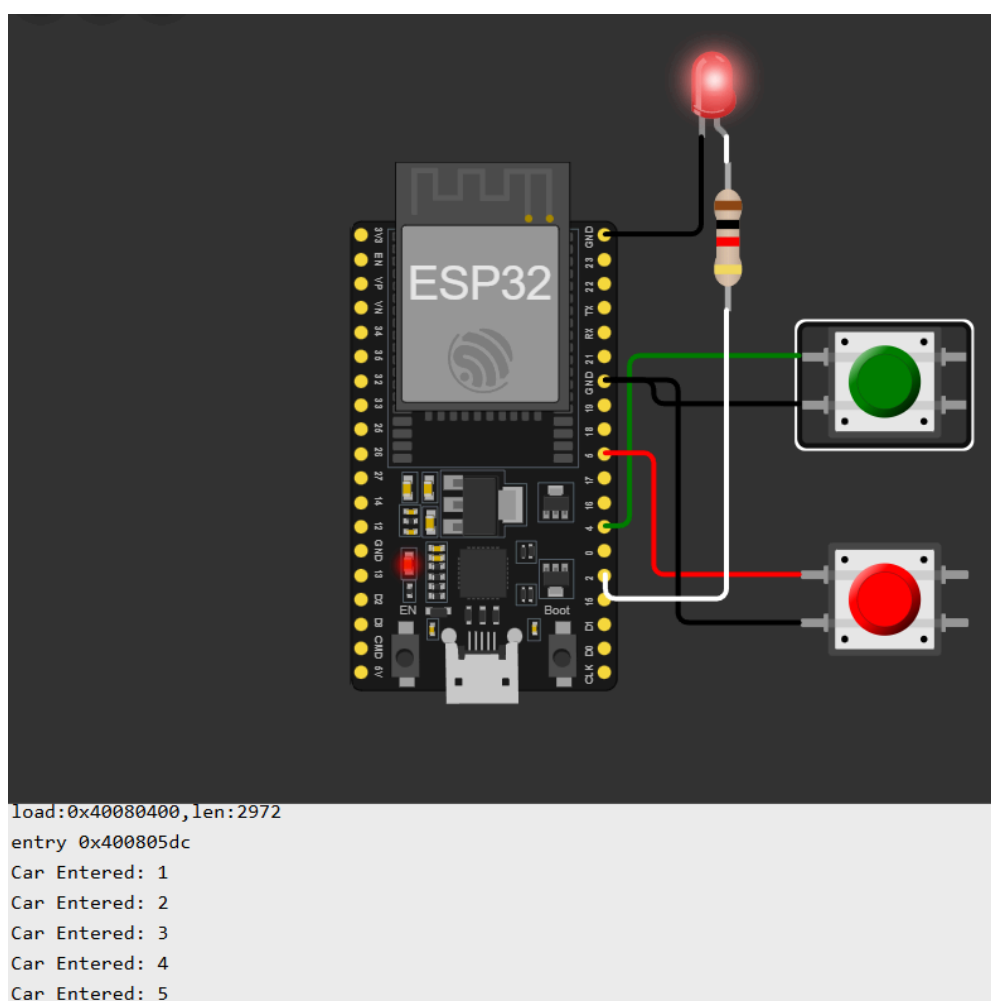


Рисунок 3.6 – Коли на парковці немає місць

У процесі тестування підтверджено такі результати:

- коректність обліку: система точно підрахувала потоки навіть при інтенсивному потоці без подвійного врахування чи пропусків;
- швидкодія: оновлення статусу займало менше 1 секунди від моменту фіксації автомобіля;
- простота інтеграції: систему можна легко інтегрувати з будь-якими зовнішніми рішеннями завдяки використанню відкритих апаратних платформ (Arduino/ESP) та простих протоколів (HTTP, MQTT);
- можливість масштабування: завдяки логіці підрахунку достатньо просто задати нове значення змінної `total_slots`.

Таким чином, прототип показав, наскільки він ефективний і чи можна його використовувати в реальному світі. У майбутньому система може отримати додаткові функції, такі як розпізнавання номерів, онлайн-оплата, аналітика завантаженості та інші функції. Однак навіть у базовій конфігурації система продовжує виконувати своє основне завдання – облік паркомісць.

4 МОНТАЖ, НАЛАГОДЖЕННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ

4.1 Монтаж обладнання

Перш ніж розпочати монтаж обладнання для системи автоматизованого обліку паркомісць, необхідно визначити найкращі місця для встановлення датчиків, електронних компонентів і допоміжних елементів. Оскільки система базується на підрахунку транспортних засобів на в'їзді та виїзді, датчики повинні бути розташовані правильно на цих ділянках.

1. Встановлення датчиків руху.

Ультразвукові або інфрачервоні датчики розміщуються на висоті від 40 см до 60 см від рівня дороги. Один розташований безпосередньо на смузї в'їзду, а інший розташований на смузї виїзду. Поле зору датчика повинно бути перпендикулярно до напрямку руху транспортних засобів, а кут огляду повинен бути достатнім, щоб надійно фіксувати об'єкти розміром від мотоцикла до легкового авто.

Датчики закріплюються на корпусах або спеціальних стійках, захищених від атмосферних впливів, а дроти прокладаються в гофрованих кабель-каналах.

2. Монтаж контролера.

Поруч із точкою підключення датчиків мікроконтролер ESP32 або Arduino розміщується у захищеній монтажній шафі. Він виконує підрахунок у режимі реального часу, отримуючи сигнал від двох датчиків.

Контролер підключається до дисплея або Wi-Fi-модуля після підключення до джерела живлення через стабілізатор, наприклад 5 В/2 А. Щоб підключитися до мережі, ESP32 використовує бездротову мережу.

3. Установлення Raspberry Pi (центрального вузла).

Raspberry Pi встановлюється в окремому місці, яке може бути охоронною будкою або контейнером для сервісу. У цьому місці він може мати доступ до

мережі, електроживлення та монітора. Саме на ньому працюють веб-сервер, база даних і інтерфейс адміністратора.

Підключення з ESP32 відбувається по Wi-Fi або через MQTT/HTTP-запити. Уся система може працювати як в локальній мережі, так і з доступом до Інтернету.

4. Вивід інформації.

Невеликий LCD або LED дисплей біля входу показує інформацію про кількість вільного місця. Він безпосередньо підключений до контролера або Raspberry Pi.

Raspberry Pi також має веб-інтерфейс, який можна підключити до локальної мережі за IP-адресою. Завдяки цьому користувач або адміністратор може бачити поточний стан паркінгу.

5. Живлення та безпека.

Усі елементи живляться від 220 В, якщо використовувати понижуючі адаптери 5 В або 3,3 В. Для захисту також передбачені автомати та запобіжники. Кабелі прокладено відповідно до стандартів електробезпеки та кожен з'єднання герметизовано.

4.2 Налагодження програмного забезпечення та запуск у тестовому режимі

Після завершення монтажу всіх компонентів системи наступним кроком є налагодження програмного забезпечення, яке гарантує правильну логіку обліку транспортних засобів, обмін даними між модулями та надання користувачам поточної інформації.

1. Програмне забезпечення для ESP32 або Arduino-контролера.

На цьому етапі на контролер завантажується прошивка. Ця прошивка обробляє сигнали в'їзду та виїзду з двох датчиків, робить підрахунок кількості транспортних засобів на паркінгу та передає ці дані на центральний сервер або веб-інтерфейс.

Основні функції коду:

- обробка сигналів або регулярне опитування датчиків;
- інкрементація або декремація змінної, яка зайнята;

- перевірка на переповнення або від’ємні значення;
- передача інформації на Raspberry Pi за допомогою запиту HTTP або MQTT;
- показання кількості вільного місця на локальному дисплеї.

Після компіляції код завантажується на контролер через Arduino IDE або інший сумісний інструмент.

2. Підключення та налаштування веб-сервера (Flask на Raspberry Pi).

Raspberry Pi виступає у ролі міні-сервера, що:

- приймає дані з контролера (через HTTP або Wi-Fi-з’єднання);
- зберігає стан паркінгу у локальній базі даних (SQLite);
- відображає статус паркінгу у веб-браузері.

Налагодження включає:

- встановлення Python та бібліотек Flask, SQLite3;
- запуск локального веб-сервера;
- перевірка коректної роботи маршрутів: update, status, login, logout.

Для зручності адміністраторів створено простий веб-інтерфейс з таблицею, де відображається:

- кількість зайнятих та вільних місць;
- історія змін (журнал подій);
- кнопки керування (для тестування, резервування тощо).

3. Тестовий запуск системи.

Після завантаження прошивки на контролер та запуску веб-сервера проводиться тестування:

- перевірка реакції системи на виявлення автомобіля датчиком в’їзду (чи інкрементується occupied);
- перевірка правильності зменшення значення при спрацюванні виїзного датчика;
- контроль граничних ситуацій (нуль місць, переповнення, помилкові сигнали);

- перевірка відповідності значень, що виводяться на табло, фактичному стану паркінгу.

Також перевіряється доступ до веб-інтерфейсу з локальної мережі – для цього вводиться IP-адреса Raspberry Pi у браузері.

4. Відлагодження та захист.

У разі виявлення помилок (наприклад, подвійне спрацювання датчика або затримка передачі даних), у код вносяться зміни:

- додається затримка (debounce);
- логіка спрацювання змінюється на контроль переходу з "LOW" в "HIGH";
- перевіряється стабільність Wi-Fi.

Після виправлення всіх зауважень система вважається готовою до експлуатації.

4.3 Тестування точності підрахунку та обміну даними

Після завершення налаштування програмного забезпечення та монтажу пристроїв система була запущена в тестовому режимі для перевірки швидкодії, точності та стабільності. Основна мета тестування полягала в тому, щоб знайти потенційні помилки в підрахунку кількості транспортних засобів на території паркінгу. Крім того, мета полягала в тому, щоб переконатися, що обмін даними між контролером і сервером був правильним.

Об'єкти, що імітували автомобілі, проходили через вхідні та вихідні зони для моделювання стандартних умов експлуатації під час тестування. Для цього використовувалися предмети з розміром і відбивною здатністю, подібними до кузова легкового автомобіля. Вхідний датчик фіксував об'єкт при кожному «в'їзді», а контролер збільшував лічильник зайнятих місць. Аналогічно, коли датчик виходить, його значення зменшується. Цей процес дозволив перевірити правильність обліку місць під час звичайної роботи.

Щоб перевірити роботу системи в умовах, наближених до реального руху автомобілів, було проведено низку проходів з різними інтервалами часу та

траєкторіями. Увага була приділена перевірці випадків, коли об'єкт залишається в полі зору датчика протягом тривалого періоду часу або рухається надто швидко. У таких ситуаціях перевірялося, чи не було подвійного обліку або втрати події. Крім того, були оцінені часи реакції системи на зміну стану; у середньому передача інформації та оновлення сервера займали менше однієї секунди.

Крім обліку, було перевірено компонент, який відповідає за обмін даними. За допомогою HTTP-запитів або протоколів MQTT контролер ESP32 успішно відправляв оновлення на сервер. Дані про кількість вільних місць були передані швидко. Веб-інтерфейс автоматично оновлювався після кожної події, показуючи правильне значення вільних і зайнятих місць. Крім того, тестування підтвердило, що веб-сервер на Raspberry Pi працює без збоїв і зависань.

У процесі перевірки також перевіряли обробку граничних станів, наприклад, коли кількість зайнятих місць була максимально дозволеною. У цьому конкретному випадку система заблокувала в'їзд, а на табло з'явилося повідомлення про відсутність місця. Усі ці сценарії працювали за допомогою закладеної логіки, яка дозволяла зробити висновок про правильність алгоритму, який був реалізований.

Система продемонструвала високу точність і надійність під час тестування. Не було зафіксовано жодного випадку помилкового підрахунку або втрати даних за результатами понад п'ятдесяти змодельованих подій (в'їзд і виїзд). Це свідчить про те, що система може бути впроваджена в реальні умови з мінімальними доопрацюваннями.

4.4 Узагальнення результатів тестування

Після завершення усього циклу монтажу, налаштування та тестування автоматизованої системи обліку паркомісць на основі двох датчиків було проведено аналіз результатів, щоб визначити, наскільки система відповідала поставленим завданням. Основною метою тестування було підтвердження працездатності розробленого апаратно-програмного комплексу, виявлення

потенційних недоліків у логіці обліку та перевірка надійності комунікації між складовими системи.

Результати показали, що система ефективно виконує свою основну функцію – підрахунок в'їздів і виїздів транспортних засобів, щоб визначити кількість вільних місць на паркінгу. Усі основні етапи обробки інформації, такі як реєстрація подій датчиками, обчислення в контролері, передача даних на сервер і виведення даних у веб-інтерфейсі, виконувалися швидко та без втрат даних.

Навіть у випадку частого спрацювання датчиків, яке нагадувало інтенсивний рух транспорту, програмне забезпечення працювало без проблем. Алгоритми покращили точність підрахунку, враховуючи аномальні ситуації, такі як подвійне спрацювання або зупинка об'єкта в зоні детекції. Програмна фільтрація та короткочасна затримка підвищили надійність системи та запобігли хибним спрацюванням.

Процес передачі даних між контролером і сервером відбувався без проблем. У базі даних коректно зберігалися значення і в інтерфейсі користувача вони своєчасно відображалися. Конфліктні ситуації можуть виникнути через неправильне або застаріле відображення стану паркінгу, тому це особливо важливо для забезпечення довіри користувачів до системи.

Веб-інтерфейс був красивим і простим як для адміністратора, так і для звичайного користувача. Історія подій і можливість переглядати кількість вільних місць у режимі реального часу значно підвищують практичну цінність рішення. Зокрема, у майбутньому такий інтерфейс можна легко змінити через віддалений доступ через Інтернет або через мобільний додаток.

Узагальнюючи результати тестування, можна сказати, що система була надзвичайно ефективною та повністю виконала свої обов'язки. Незважаючи на те, що він має просту конструкцію з двома датчиками, обраний метод дозволяє створити ефективну автоматизовану систему обліку паркомісць без необхідності встановлювати обладнання на кожному місці. Це дозволяє запропоновану систему впроваджувати на об'єктах з великою кількістю паркомісць або в умовах обмеженого бюджету.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ СИСТЕМИ

5.1 Загальні питання охорони праці

У процесі впровадження автоматизованої системи розумного паркування виконуються роботи, пов'язані з електромонтажем, встановленням електронного обладнання, прокладанням мережевих кабелів і налаштуванням контролерів. Важливо дотримуватися правил охорони праці, передбачених чинним законодавством України та внутрішніми інструкціями підприємства, оскільки ці процеси можуть становити небезпеку для працівників[12]

Допускаються до роботи лише особи, які пройшли спеціальне навчання, мають відповідну кваліфікацію, пройшли інструктаж з техніки безпеки та мають посвідчення про допуск до роботи з електроустановками. Працівники повинні знати правила поводження з інструментами та технічними засобами, електробезпеку та пожежну безпеку.

Особливу увагу слід звернути на наступні аспекти охорони праці[12].

Усі монтажні роботи повинні бути завершені лише після знеструмлення обладнання. Під напругою не можна працювати без спеціального дозволу та контролю. Кожен компонент системи повинен бути надійно заземлений. Перед першим увімкненням заземлення потрібно перевірити на цілісність. Використання справного, сертифікованого обладнання з відповідними технічними характеристиками значно знижує ймовірність аварій. На робочому місці повинно бути достатнє освітлення, вентиляція, відсутність вологи та зайвих предметів. При роботі з електричними приладами необхідно використовувати засоби індивідуального захисту, такі як інструменти з відокремленими ручками, гумові килимки, діелектричні рукавички та інші засоби захисту. У важкодоступних або на висоті місцях слід використовувати драбини, платформи та страхувальні пояси.

Також важливо своєчасно проводити перевірки технічного стану обладнання, не перевантажувати працівників і дотримуватися графіків відпочинку.

Таким чином, впровадження системи розумного паркування дозволяє знизити виробничі ризики, запобігти нещасним випадкам і створити безпечні робочі місця для всіх працівників проекту.

5.2 Безпека життєдіяльності

Після впровадження автоматизованої системи розумного паркування безпека життєдіяльності користувачів і обслуговуючого персоналу повинна бути пріоритетною. Система має працювати не лише ефективно, але й безпечно для людей, коли вони її використовують щодня.

Пожежна безпека.

Пожежна безпека є життєво важливою під час роботи автоматизованої системи розумного паркування, оскільки електронне обладнання, таке як Raspberry Pi, контролери та датчики, працює від електромережі та може стати джерелом займання в разі несправності. Щоб запобігти таким ситуаціям, кожен елемент системи повинен бути сертифікований відповідно до стандартів пожежної безпеки. Електропроводка повинна складатися з матеріалів, які не можуть горіти, і на кожній лінії живлення повинні бути захисні автомати. У місцях, де розташоване обладнання, обов'язково мають бути встановлені вогнегасники, будь то порошкові або вуглекислотні. Крім того, персонал, який відповідає за обслуговування системи, повинен пройти інструктаж з дій у разі пожежі.

Електробезпека.

Електробезпека є життєво важливою для захисту людей і збереження працездатності обладнання. Усі компоненти системи повинні бути міцно заземлені. Якщо це можливо, слід використовувати обладнання з низьковольтним живленням (наприклад, 5 В або 12 В). Суворо заборонено торкатися оголених проводів або елементів під напругою. Усі роботи з підключення та обслуговування слід виконувати лише після відключення живлення.

Інформаційна безпека.

Система розумного паркування, яка використовує інтернет-з'єднання та зберігає інформацію про транспортні засоби, потребує захисту інформації. Вхід до системи має бути захищений логіном і паролем, щоб гарантувати захист даних. Усі пристрої повинні передавати дані за допомогою захищених протоколів, таких як HTTPS або MQTT, з шифруванням, щоб запобігти крадіжці чи підміні даних. Крім того, журнали подій, конфігураційні параметри системи та адміністративний інтерфейс повинні бути доступні лише авторизованим адміністраторам, які пройшли відповідне навчання.

Фізична безпека користувачів.

Фізична безпека користувачів є важливою. Щоб запобігти травмуванню водіїв або пішоходів під час відкривання чи закривання механізмів, усі автоматизовані елементи системи, зокрема шлагбауми, повинні бути оснащені обмежувачами сили, фотоелементами або датчиками присутності. Паркувальні місця повинні бути чітко розташовані, а місця, де встановлено електрообладнання, повинні бути належно огорожені або позначені попереджувальними знаками, щоб уникнути випадкового контакту з технікою.

Відеоспостереження та контроль доступу.

Для забезпечення безпеки користувачів доцільно впровадити систему відеоспостереження з архівуванням записів і систему контролю доступу на територію за допомогою карток RFID або розпізнавання номерних знаків.

5.3 Екологічна безпека

Автоматизовані системи розумного паркування впливають не лише на фінансові витрати та розподіл транспорту, але й на навколишнє середовище. Таким чином, при впровадженні та експлуатації необхідно враховувати екологічну безпеку.

Вплив на навколишнє середовище є однією з основних переваг автоматизованої системи розумного паркування. Зокрема, встановлення такої системи зменшує шкідливі викиди в атмосферу. Підвищений рівень вихлопних

газів, який виникає через тривале очікування або пошук вільного паркомісця, є однією з основних екологічних проблем міста. Система автоматичного паркування та навігації дозволяє скоротити час перебування автомобіля в русі без необхідності. Це зменшує витрати на паливо, викиди CO₂ та інші шкідливі речовини. Крім того, оскільки транспорт не затримується в очікуванні та не створює додаткових заторів, рівень шуму в міських районах знижується.

Рациональне використання простору є другим важливим екологічним фактором. Щоб зменшити нерівномірне навантаження на інфраструктуру та зменшити потребу в будівництві нових паркінгів, кожен паркінг використовується краще завдяки правильному управлінню та контролю заповнюваності. Це, у свою чергу, зменшує тиск на місто, залишає більше зелених зон і запобігає ущільненню забудови.

Крім того, система націлена на використання енергоефективних компонентів. Усі інфраструктурні пристрої мають низьке споживання електроенергії. Наприклад, лампи розжарювання споживають більше енергії, ніж світлодіодні індикатори. Контролери Arduino та Raspberry Pi вибрані завдяки широкому асортименту функцій і високій енергоефективності. Під час простою система живлення може перейти у сплячий режим, що також економить електроенергію. Крім того, передбачається інтеграція альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі для живлення датчиків у відкритих зонах або інформаційних табло.

Останнім і найважливішим моментом є екологічно відповідальне обслуговування та утилізація. У разі модернізації чи заміни обладнання обов'язково дотримуватися правил утилізації електроніки. Усі зношені або несправні частини, такі як мікросхеми, плати, кабелі та корпуси, передаються до спеціалізованих пунктів збору, де вони переробляються або зберігаються в безпечному місці. Це дозволяє зменшити негативний вплив на навколишнє середовище технологічного оновлення системи.

Таким чином, система розумного паркування не тільки вирішує логістичні та транспортні проблеми, але й є сучасним екологічно свідомим рішенням для міської інфраструктури.

ВИСНОВКИ

У процесі кваліфікаційної роботи було досліджено, розроблено та протестовано автоматизовану систему розумного паркування. Система базується на простій, але ефективній архітектурі, і два датчики встановлюються на в'їзді та виїзді паркінгу для обліку транспортних засобів. Такий метод дозволив значно зменшити витрати на реалізацію, при цьому зберігши функціональність і точність системи.

У теоретичному розділі проекту розглядаються існуючі рішення автоматизованого паркування, класифікуються різні типи систем і розглядаються проблеми перевантаження паркінгів у міських умовах. Враховуючи приклади комерційних паркувальних систем, таких як Dahua, AFAPARK і FidPark, ми могли визначити найкращу архітектуру та функціональність для свого проекту.

Було розроблено практичну систему, повністю функціональну, яка складається з контролера ESP32, центрального вузла Raspberry Pi та двох ультразвукових датчиків. Програма дозволяє вести облік в'їздів і виїздів, створювати базу даних зі станом паркомісць і надавати веб-браузерний інтерфейс для адміністративного доступу. Крім того, було розроблено прототип веб-інтерфейсу, який може відображати кількість вільних місць у режимі реального часу.

Точність обліку, стабільна робота програмного забезпечення та безпомилкова комунікація між модулями були підтверджені результатами тестування. Система швидко відображала поточні дані на паркінгу. Розроблена система має багато переваг, включаючи простоту, модульність і можливість швидкого масштабування.

Екологічне обґрунтування показало, що скорочення часу, необхідного для пошуку місця для паркування, зменшує шкідливі викиди в повітря, особливо в великих містах.

Таким чином, мета кваліфікаційної роботи була досягнута: розробка та впровадження автоматизованої системи обліку вільних паркомісць, яка

використовує мінімальний набір сенсорів. Результати можуть бути використані для подальших досліджень, створення систем моніторингу та впровадження невеликих або тимчасових паркінгів у реальному світі.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3008:2015. Документація. Звіти у сфері науково-технічної діяльності. Структура і правила оформлення. – [Чинний від 01.01.2016].
2. Навчальний посібник з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» освітньої програми «Системна інженерія» [Електронний ресурс] : навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарева, О. М. Цимбал, А. І. Бронніков ; М-во освіти і науки України, ХНУРЕ. Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2023. 218 с. ISBN 978-617-8332-16-7; DOI: 10.30837/978-617-8332-16-7 / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 55 с.
3. Dahua Technology. Smart Parking System Overview [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.dahuasecurity.com>
4. Afapark – Smart Parking Solutions [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.afapark.com>
5. FidPark – Автоматизовані парковки [Електронний ресурс]. – URL: <https://fidpark.com/>
6. Система контролю та оплати стоянок FIDPARK
URL: <https://fidpark.com/content/en/295/License-Plate-Recognition-LPR-ANPR-.html>
(дата звернення 08.05.2024).
7. Raspberrypi.org – Офіційний сайт Raspberry Pi Foundation. – [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.raspberrypi.org>
8. ESP32 – посібник з мікроконтролерів – URL: <https://ua.ariat-tech.com/blog/ESP32-Microcontroller-Guide.html>

9. Miniboard. Ультразвуковий датчик відстані HC-SR04.
URL: <https://miniboard.com.ua/sensors/68-ultrazvukovoj-datchik-rasstoyaniya-hc-sr04.html> (дата звернення 25.05.2024).
10. MQTT Essentials – HiveMQ [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.hivemq.com/mqtt-essentials/>
11. Arduino.cc – Офіційний сайт платформи Arduino. – [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.arduino.cc>
12. Методичні вказівки до лаб. робіт з дисципліни «Основи охорони праці» для студентів усіх напрямів та форм навчання. / Упоряд.: Т.Є. Стиценко, В.А. Айвазов, О.В. Мамонтов. – Харків: ХНУРЕ, 2018.– 120 с.
13. Закон України «Про дорожній рух» від 30.06.1993 № 3353-ХІІ [Електронний ресурс]. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12>
14. Шевченко В. І., Мельник А. О. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. – К.: Ліра-К, 2019. – 248 с.
15. Коваленко Д. С. Інтелектуальні транспортні системи. – Харків: ХНАДУ, 2020. – 176 с.
16. Arduino Documentation [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>
17. Raspberry Pi Documentation [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.raspberrypi.com/documentation/>
18. Сайт Prom.ua: аналітика ринку паркувальних систем в Україні [Електронний ресурс]. – URL: <https://prom.ua>
19. MQTT.org – The MQTT Protocol. – [Електронний ресурс]. –URL: <https://mqtt.org/>
20. Мосійчук І.М., Буряк Ю.С. Інтернет речей (IoT): архітектура, протоколи, безпека. – Київ: КНУ, 2020. – 152 с.
21. Ємельянов О.О., Юрчук О.О. Мікроконтролери Arduino: навчальний посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 134 с.
22. Kaur, R., & Kaur, M. (2017). Smart Parking System Using Internet of Things (IoT). International Journal of Computer Applications, 172(4), 40–43.