

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет комп'ютерних наук і технологій

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка IoT-системи визначення наповнення сміттєвих баків

Виконав: студент(ка) 4 курсу, групи КНТ-510

Спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

«Комп'ютерна інженерія»

КОЗЛИК С.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник ГРУШКО С.С.

(прізвище та ініціали)

Рецензент ЄФИМЕНКО М.В.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Комп'ютерних наук і технологій
Кафедра «Комп'ютерні системи та мережі»
Ступінь вищої освіти бакалаврський
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Комп'ютерна інженерія
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри КУДЕРМЕТОВ Р.К.
« » 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

КОЗЛИКА Станіслава Станіславовича

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка IoT-системи визначення наповнення сміттєвих баків

керівник проєкту (роботи) к. т. н., доцент, ГРУШКО Світлана Сергіївна

(науковий ступінь, вчене звання, ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “01” квітня 2024 року № 105

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 20 травня 2024 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) стандартні сміттєві баки для міста, можливість онлайн відстеження їх наповнення

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Технічний огляд;

2) Вибір апаратного забезпечення;

3) Хмарні IoT платформи;

4) Розробка системи.

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

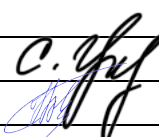
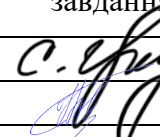
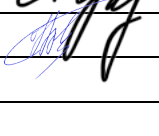
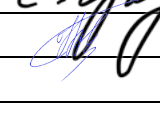
Порівняння розумних сміттєвих баків

Порівняльна характеристика мікроконтролерів;

Апаратна реалізація проєкту;

Налаштування роботи системи.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРІЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-4	ГРУШКО С. С., к.т.н., доцент		
нормоконтроль	ЩЕРБАК Н.В., ст. викл.		

7. Дата видачі завдання 01.03.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз технічного завдання. Огляд сучасних рішень	01.03.2024 р.	
2	Розробка структури системи	15.03.2024 р.	
3	Розробка алгоритму роботи системи	20.03.2024 р.	
4	Реалізація проєкту	01.04.2024 р.	
5	Дослідження роботи системи	10.04.2024 р.	
6	Оформлення отриманих результатів у ПЗ	15.04.2024 р.	
7	Оформлення графічного матеріалу	01.05.2024 р.	
8	Оформлення допоміжного матеріалу	20.05.2024 р.	

Студент (ка)


 (підпис)
Станіслав КОЗЛИК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)


 (підпис)
Світлана ГРУШКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 64 сторінки, 15 рисунків, 1 таблиця, 26 джерел

ІОТ, ДАТЧИК, МОДЕМ, СМІТТЄВИЙ КОНТЕЙНЕР

Об'єкт розробки – система визначення наповнення сміттєвих баків.

Предмет розробки - IoT-система визначення наповнення сміттєвих баків.

Метою дипломного проєкту є створення економічно ефективної та легко масштабованої системи моніторингу сміттєвих баків, яка дозволить оптимізувати процеси збору та вивезення сміття, зменшити витрати на обслуговування та сприяти кращому управлінню ресурсами в сфері поводження з відходами.

В проєкті розглядаються сучасні системи визначення наповнення сміттєвих баків, принципи роботи IoT-систем, технології збирання та передачі даних в IoT.

В другому розділі проведено огляд і вибір апаратного забезпечення, потрібного для реалізації системи.

Третій розділ присвячено огляду хмарних платформ, а в четвертому описується безпосередньо розробка системи.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Технічний огляд.....	8
1.1 Огляд існуючих систем визначення наповнення сміттєвих баків.....	8
1.1.1 Класифікація	8
1.1.2 Традиційні методи вимірювання	8
1.1.3 Використання віддалених датчиків.....	12
1.1.4 Датчики рівня наповнення	13
1.2 Принципи роботи IoT-систем.....	14
1.3 Технології збирання та передачі даних в IoT	16
1.3.1 Бездротові мережі.....	16
1.3.2 Дротові мережі	18
1.3.3 Бездротові протоколи	19
1.3.4 Мережі передачі даних через мобільних операторів.....	24
1.4 Приклади систем визначення наповнення сміттєвих баків, що вже існують ...	25
2 Вибір апаратного забезпечення.....	32
2.1 Вибір мікроконтролера	32
2.1.1 Raspberry Pi	32
2.1.2 ESP8266 та ESP32.....	33
2.1.3 PIC Microcontrollers.....	34
2.1.4 Arduino.....	34
2.1.5 Arduino Uno.....	35
2.2 Вибір сенсора	36
2.2.1 JSN-SR04T.....	36

	6
2.2.2 Maxbotix LV-MaxSonar-EZ.....	37
2.2.3 DYP-ME007Y	38
2.2.4 SRF04	39
2.2.5 HC-SR04	40
3 ХМАРНІ ІОТ ПЛАТФОРМИ	41
3.1 Загальний опис хмарних платформ	41
3.2 Amazon Web Services IoT Core	42
3.3 Microsoft Azure IoT Hub	44
3.4 Google Cloud IoT Core	45
3.5 IBM Watson IoT Platform.....	46
3.6 ThingWorx від PTC	47
3.7 Particle Cloud	48
3.8 Losant Enterprise IoT Platform	49
3.9 Bolt IoT Bolt Cloud.....	50
4 Розробка системи	52
4.1 Принцип роботи	52
4.2 Апаратне забезпечення	52
4.3 Програмне забезпечення.....	55
4.4 Налаштування підключення до Bolt Cloud.....	57
4.5 Оцінка ефективності розробленої системи.....	59
Висновки	60
Перелік джерел посилання	62

ВСТУП

Актуальність теми, пов'язаної з розробкою IoT-системи для визначення наповнення сміттєвих баків, на сучасному етапі розвитку суспільства та технологій не може бути недооціненою. Зростання населення, інтенсивний розвиток міських територій та збільшення обсягів виробництва відходів породжують серйозні проблеми в управлінні відходами. Традиційні методи контролю за наповненням сміттєвих контейнерів, такі як регулярні інспекції або плановий графік вивезення сміття, часто виявляються неефективними і вимагають значних витрат ресурсів.

Застосування технологій Інтернету речей (IoT) у цій сфері відкриває безліч можливостей для вирішення цих проблем. Завдяки вбудованим датчикам та системам зв'язку, IoT-система може забезпечити відстеження рівня наповнення сміттєвих контейнерів в реальному часі. Це дозволяє забезпечити оптимальне планування маршрутів збирання сміття, раціональне використання робочих ресурсів та зниження витрат. Окрім того, така система дозволяє уникнути переповнення контейнерів, що може призвести до неприємних запахів, забруднення навколишнього середовища та пошкодження інфраструктури.

Потенціал впровадження IoT-технологій у сфері управління відходами також полягає в покращенні якості життя мешканців міст. Зменшення частоти перевезення сміття та відсутність переповнених контейнерів сприяє створенню більш чистого та здорового середовища для проживання. Крім того, оптимізація процесів збору сміття сприяє зниженню викидів від автотранспорту, що позитивно впливає на якість атмосферного повітря та загальний екологічний стан міста.

Таким чином, розробка та впровадження IoT-системи для визначення наповнення сміттєвих баків має величезний потенціал для вирішення актуальних проблем управління відходами та покращення якості життя мешканців міських територій.

1 ТЕХНІЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Огляд існуючих систем визначення наповнення сміттєвих баків

1.1.1 Класифікація

Ефективне управління твердими відходами є важливим питанням для міських районів у всьому світі. Своєчасний збір сміття допомагає підтримувати чистоту міського середовища та запобігати накопиченню відходів. Одним із способів оптимізації процесу збирання сміття є використання систем визначення наповнення сміттєвих баків. Ці системи дозволяють відстежувати рівень наповнення баків та надавати цю інформацію компаніям з вивезення сміття, щоб вони могли ефективно планувати маршрути збору.

Існуючі системи визначення наповнення сміттєвих баків можуть бути класифіковані наступним чином.

Традиційні методи вимірювання:

- ручне вимірювання;
- використання вагових датчиків.

Використання віддалених датчиків:

- звукові датчики;
- візуальні датчики.

Використання IoT-технологій - датчики рівня наповнення.

1.1.2 Традиційні методи вимірювання

Ручне вимірювання є одним із найпоширеніших традиційних методів визначення наповнення сміттєвих баків. Зазвичай цей метод передбачає проведення регулярних інспекцій, під час яких працівники відділу санітарії та комунальної гігієни відвідують місця розташування сміттєвих контейнерів для оцінки їхнього рівня наповнення. Оцінка зазвичай здійснюється шляхом візуального спостереження або за допомогою пристроїв для вимірювання об'єму сміття.

Однак цей метод має свої обмеження та недоліки. По-перше, він піддається суб'єктивному сприйняттю працівників, що може призвести до неточних результатів. Відсутність об'єктивної метрики оцінки рівня наповнення може призвести до неоднаковості у визначенні потреби у вивезенні сміття. Крім того, ручне вимірювання вимагає значних затрат на людські ресурси та час, оскільки необхідно регулярно перевіряти кожен контейнер на території міста або населеного пункту.

Таким чином, хоча ручне вимірювання може бути доступним і простим у використанні методом, воно має вагомий недолік у вигляді низької точності та залежності від суб'єктивних факторів. У зв'язку з цим виникає потреба в розвитку та впровадженні більш ефективних та автоматизованих методів визначення наповнення смітєвих баків, які можуть забезпечити надійний та об'єктивний моніторинг стану смітєвих систем міст.

Використання вагових датчиків є одним із методів визначення наповнення смітєвих баків, який відрізняється від ручного вимірювання тим, що він базується на автоматизованому зборі даних. Зазвичай такі датчики встановлюються всередині смітєвого контейнера та здатні вимірювати його вагу. Коли вага досягає певного попередньо визначеного порогу, система сповіщає про необхідність вивезення сміття. Цей метод може здати належну увагу на просторові обмеження, оскільки він не вимагає додаткового простору навколо контейнера для встановлення додаткових сенсорів.

Проте використання вагових датчиків також має свої обмеження та недоліки. По-перше, цей метод може бути витратним у впровадженні та обслуговуванні, оскільки вимагає установки додаткового обладнання всередині кожного смітєвого контейнера. Крім того, датчики можуть піддаватися зносу або пошкодженню внаслідок навантаження сміття, що може призвести до недоліків у зборі даних та вимагати регулярного обслуговування або заміни обладнання.

Однак, найбільшою проблемою цього методу є те, що вага сміття не завжди відображає його фактичний рівень наповнення, оскільки вона може залежати від типу сміття та його компактності. Деякі види відходів можуть мати високу

щільність та займати менше місця, ніж інші, що може призвести до того, що контейнер буде повний, хоча його вага може бути невеликою.

Отже, використання вагових датчиків має як переваги, так і недоліки, і його ефективність може залежати від конкретних умов використання та потреб користувача.

Іншим традиційним методом визначення наповнення є використання ультразвукових датчиків. Ці датчики встановлюються на верхній частині сміттевого контейнера і використовують ультразвукові хвилі для вимірювання відстані до поверхні сміття. На основі заздалегідь визначених розмірів контейнера система може обчислити рівень його наповнення.

Ультразвукові датчики мають кілька переваг у порівнянні з ручним вимірюванням та використанням вагових датчиків. По-перше, вони забезпечують неінвазивний та безконтактний спосіб моніторингу. По-друге, такі системи можуть надавати більш точні дані про рівень наповнення, ніж візуальні оцінки людей або дані про вагу. Однак ультразвукові датчики також мають недоліки, включаючи вразливість до перешкод, таких як дим або пил, а також можливість неправильного зчитування через нерівномірне розподілення сміття всередині контейнера.

Інфрачервоні датчики є ще одним варіантом для визначення рівня наповнення смітєвих баків. Вони працюють за схожим принципом, що й ультразвукові, але використовують інфрачервоні промені замість ультразвукових хвиль. Інфрачервоні промені відбиваються від поверхні сміття, а датчик вимірює час, за який вони повертаються. Ця інформація потім використовується для обчислення рівня наповнення.

Інфрачервоні датчики можуть забезпечити високу точність вимірювань і меншу схильність до перешкод у порівнянні з ультразвуковими системами. Проте вони також мають деякі недоліки, такі як вища вартість впровадження та підвищена чутливість до забруднення або запилення.

Незважаючи на ці традиційні методи, все більшого поширення набувають більш сучасні та інноваційні підходи до моніторингу наповнення смітєвих баків, такі як використання камер комп'ютерного зору та інтелектуальних алгоритмів

обробки зображень. Ці нові методи можуть забезпечити більш точні, надійні та масштабовані рішення для відстеження та оптимізації процесів збору та вивезення сміття.

Крім використання ультразвукових та інфрачервоних датчиків, візуальне спостереження за допомогою камер є ще одним підходом до визначення наповнення сміттєвих баків. Цей метод передбачає встановлення відеокamer поблизу контейнерів для отримання зображень або відео їх внутрішнього стану. Камери можуть бути обладнані технологіями комп'ютерного зору та алгоритмами машинного навчання для аналізу отриманих зображень та автоматичного визначення рівнів наповнення. Такі системи здатні розпізнавати межі контейнера, поверхню сміття та оцінювати його об'єм. Одна з головних переваг використання камер візуального спостереження полягає в тому, що вони можуть забезпечити більш всебічну та точну оцінку стану контейнера, ніж інші методи. Наприклад, камера може виявляти нерівномірний розподіл сміття або присутність великогабаритних предметів, що може бути складним для вимірювання датчиками.

Крім того, камери можуть бути інтегровані з хмарними обчислювальними системами та аналітичними платформами для централізованого моніторингу та управління даними з кількох місць розташування сміттєвих контейнерів. Проте впровадження таких систем може бути дорогим та вимагати значних обчислювальних ресурсів для обробки зображень у реальному часі.

Інший підхід до визначення наповнення сміттєвих баків – використання датчиків заповнення простору. Ці датчики зазвичай являють собою ультразвукові, інфрачервоні або лазерні пристрої, які монтуються всередині контейнера. Вони випромінюють сигнали та визначають відстань до поверхні сміття, вимірюючи час, необхідний для відбиття сигналу та його повернення.

Датчики заповнення простору можуть забезпечити точні вимірювання рівня наповнення, оскільки вони не залежать від типу або щільності сміття. Однак їх впровадження може бути складним через необхідність встановлення обладнання безпосередньо всередині контейнерів. Крім того, ці датчики можуть бути схильними до забруднення або пошкоджень сміттям.

Незалежно від конкретного методу, успішне впровадження систем визначення рівня наповнення сміттєвих баків часто вимагає інтеграції кількох технологій для підвищення точності та надійності даних. Наприклад, поєднання камер візуального спостереження та датчиків заповнення простору може забезпечити всебічний моніторинг як видимого рівня сміття, так і фактичного заповнення об'єму.

1.1.3 Використання віддалених датчиків

Звукові датчики представляють собою один із методів визначення наповнення сміттєвих баків, який ґрунтується на аналізі звукових сигналів, що виникають при киданні відходів у контейнер. Цей метод передбачає встановлення датчиків або мікрофонів неподалік від сміттєвих контейнерів, які реєструють звукові коливання, спричинені викиданням сміття.

Використання звукових датчиків може мати свої переваги, оскільки воно не вимагає фізичного встановлення сенсорів всередині контейнера, що може спростити процес впровадження. Більше того, цей метод може бути ефективним у визначенні моменту, коли сміттєвий контейнер став повним, забезпечуючи можливість своєчасного вивезення відходів та уникнення переповнення.

Проте, використання звукових датчиків також має свої обмеження та недоліки. По-перше, цей метод може бути менш точним у порівнянні з іншими методами, такими як використання вагових датчиків чи візуальних систем. Звукові датчики можуть реєструвати не тільки звуки, породжені сміттям, але і інші джерела шуму, що може призвести до неточностей у визначенні рівня наповнення.

Більше того, звукові датчики можуть бути вразливими до погодних умов та інших факторів зовнішнього середовища, таких як шум від проїзду автотранспорту чи інші акустичні перешкоди. Це може призвести до помилкового спрацьовування датчиків та недоліків у їхній роботі.

Візуальні датчики є одним зі способів визначення наповнення сміттєвих баків, який ґрунтується на аналізі зображень або відео, отриманих з камер, встановлених поруч з сміттєвими контейнерами. Цей метод передбачає

використання алгоритмів комп'ютерного зору для визначення рівня наповнення, оцінки об'єму сміття та видачі відповідних сигналів про необхідність вивезення.

Використання візуальних датчиків має свої переваги. Вони здатні забезпечити більш об'єктивні результати порівняно з іншими методами, оскільки аналізують реальні зображення сміттєвих контейнерів, а не лише звукові чи вагові сигнали. Крім того, використання камер може дозволити отримувати високоякісні зображення та вести відеозапис, що може бути корисним для аналізу стану сміттєвих систем та виявлення паттернів використання.

Проте використання візуальних датчиків також має свої обмеження та недоліки. По-перше, цей метод може бути витратним у впровадженні та обслуговуванні, оскільки вимагає встановлення та обслуговування камер. Крім того, аналіз великої кількості зображень може вимагати значних обчислювальних ресурсів та складних алгоритмів обробки даних. Більше того, ефективність використання візуальних датчиків може бути обмеженою погодними умовами, освітленням або наявністю перешкод у навколишньому середовищі, що може ускладнити аналіз зображень та призвести до помилкових результатів.

1.1.4 Датчики рівня наповнення

Датчики рівня наповнення є ключовим компонентом IoT-системи для визначення ступеня заповнення сміттєвих контейнерів. Ці датчики встановлюються всередині сміттєвих баків та здатні надсилати дані про їхній стан через бездротове підключення до центральної системи керування. Основна принципова робота полягає у виявленні зміни рівня сміття в контейнері, яка може бути визначена за допомогою різних типів сенсорів, таких як ультразвукові, оптичні, акустичні або капацитивні датчики.

Використання датчиків рівня наповнення має кілька переваг. По-перше, вони забезпечують точні дані про стан сміттєвих контейнерів у реальному часі, що дозволяє оптимізувати графік вивезення сміття та ефективно розподіляти ресурси. Крім того, цей метод не потребує втручання людини, що зменшує витрати на робочу силу та уникнення помилок, пов'язаних із суб'єктивністю оцінки ступеня наповнення. Проте, використання датчиків рівня наповнення також може мати свої

обмеження. Наприклад, деякі типи сенсорів можуть бути вразливі до впливу навколишніх умов, таких як вологість, температура або тип сміття, що може призвести до неточностей у вимірюваннях. Крім того, необхідно враховувати можливість перешкод, таких як накопичений сніг або інші предмети, які можуть перешкоджати правильному функціонуванню датчиків.

Таким чином, використання датчиків рівня наповнення є перспективним рішенням для покращення управління відходами, проте вимагає уважного врахування їхніх переваг та обмежень при виборі оптимальної системи для конкретного використання.

1.2 Принципи роботи IoT-систем

Інтернет речей (IoT) є сучасною технологічною парадигмою, яка об'єднує фізичні об'єкти, датчики, мережі та обчислювальні ресурси для забезпечення автоматизованого обміну даними та взаємодії між об'єктами. Принципи роботи IoT-систем визначають їхню функціональність, надійність та ефективність.

Основні принципи роботи IoT-систем включають:

- збір даних - IoT-системи збирають дані з різних джерел, таких як датчики, пристрої, додатки та облікові записи користувачів. Дані можуть бути числовими, текстовими, аудіо- або відеозаписами;
- передача даних - дані передаються через мережі, такі як Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee або мобільний зв'язок. Протоколи передачі даних, такі як MQTT, CoAP або HTTP, забезпечують надійну комунікацію;
- обробка даних - обчислювальні ресурси IoT-систем обробляють зібрані дані. Це може включати аналіз, фільтрацію, агрегацію та взаємодію з іншими системами;

- прийняття рішень - на основі оброблених даних IoT-системи приймають рішення. Це може бути автоматичне керування пристроями, сповіщення користувачів або взаємодія з іншими системами;
- безпека та конфіденційність - IoT-системи повинні забезпечувати захист від несанкціонованого доступу, аутентифікацію та шифрування даних. Конфіденційність особистих даних користувачів також є важливою.

Принципи роботи IoT-систем для визначення наповнення сміттєвих баків базуються на використанні сучасних технологій збирання та обробки даних. Ці системи інтегрують в себе різноманітні сенсори, мікроконтролери та засоби бездротового зв'язку, що дозволяють збирати дані про рівень наповнення контейнерів та передавати їх на центральний сервер для подальшої обробки.

Один із основних принципів роботи таких систем - це збір даних в реальному часі. Сенсори, розташовані всередині сміттєвих контейнерів, неперервно моніторять рівень наповнення та відправляють ці дані на центральну платформу через бездротові мережі зв'язку, такі як LoRa, NB-IoT або WiFi. Це дозволяє операторам міст чи підприємствам збирати актуальну інформацію про стан сміттєвих систем та приймати рішення щодо їхнього управління в реальному часі.

Крім того, ще одним принципом є використання аналітики даних для оптимізації управління сміттєвими потоками. Зібрані дані про рівень наповнення сміттєвих контейнерів піддаються аналізу та обробці за допомогою різних алгоритмів і штучного інтелекту. Це дозволяє виявляти тенденції нагромадження відходів, передбачати потреби у вивезенні сміття та розробляти оптимальні графіки роботи для міських служб чи підприємств з утилізації відходів.

Ще одним важливим принципом є відкритість та інтегрованість системи. IoT-системи для моніторингу сміттєвих контейнерів мають бути легко інтегровані з існуючими міськими інфраструктурними системами та іншими платформами управління відходами. Крім того, важливою є можливість розширення та модифікації системи в майбутньому відповідно до змін потреб користувачів та технологічних можливостей.

Такі принципи дозволяють створювати ефективні та інтелектуальні системи управління сміттєвими потоками, які сприяють покращенню якості життя у містах та зменшенню негативного впливу людської діяльності на довкілля.

1.3 Технології збирання та передачі даних в IoT

1.3.1 Бездротові мережі

Бездротові мережі відіграють ключову роль у сучасних системах Інтернету речей, включаючи системи визначення наповнення сміттєвих баків. Ці мережі дозволяють передавати дані без необхідності фізичних з'єднань між пристроями, що робить їх ідеальними для моніторингу віддалених об'єктів, таких як сміттєві контейнери.

Одним із ключових протоколів бездротових мереж є WiFi (IEEE 802.11), який забезпечує швидку передачу даних у великому радіусі дії. Цей протокол використовується для підключення сміттєвих контейнерів до мережі Інтернету, що дозволяє передавати дані про їхній рівень наповнення на центральний сервер для подальшої обробки та аналізу. Одним із ключових протоколів бездротових мереж є WiFi (IEEE 802.11), який забезпечує швидку передачу даних у великому радіусі дії. Цей протокол використовується для підключення сміттєвих контейнерів до мережі Інтернету, що дозволяє передавати дані про їхній рівень наповнення на центральний сервер для подальшої обробки та аналізу.

Ще однією технологією бездротових мереж є LoRa (Long Range), яка призначена для використання у віддалених та важкодоступних місцях. LoRa дозволяє передавати дані на великі відстані з високою ефективністю та мінімальними витратами енергії, що робить її ідеальним вибором для систем моніторингу сміттєвих контейнерів, які можуть розташовуватися на значних відстанях від центрального сервера. LoRa є бездротовою технологією зв'язку з низькою швидкістю передачі даних, але вражаючим радіусом дії та низьким

енергоспоживанням. Вона використовує вільний діапазон радіочастот і може забезпечити передачу невеликих обсягів даних на відстані до кількох кілометрів в умовах міської забудови або десятків кілометрів на відкритій місцевості.

Для розгортання LoRa-мережі використовується архітектура зірки, де кожен кінцевий пристрій (наприклад, датчик у сміттєвому баку) підключається безпосередньо до одного або кількох шлюзів. Шлюзи, в свою чергу, з'єднані з центральним сервером через стандартні IP-мережі, такі як Інтернет або приватні мережі операторів.

Ключовими перевагами LoRa для систем моніторингу наповнення баків є:

- низьке енергоспоживання, що дозволяє датчикам працювати від батарей протягом кількох років;
- великий радіус дії, що забезпечує покриття всієї території міста чи населеного пункту;
- відносно низька вартість розгортання та обслуговування мережі;
- стійкість до перешкод та можливість проникнення сигналу крізь перешкоди.

Проте, LoRa має і деякі обмеження, такі як низька швидкість передачі даних (до 50 кбіт/с) та можливі проблеми з якістю зв'язку в умовах великої кількості пристроїв або інтенсивного радіочастотного випромінювання.

Незважаючи на ці недоліки, LoRa є одним з найпопулярніших рішень для впровадження IoT-систем моніторингу в містах, включаючи системи відстеження наповнення сміттєвих баків. Її використання дозволяє створювати ефективні та енергоощадні мережі, здатні забезпечити належний рівень контролю над станом міської інфраструктури.

Крім того, протокол NB-IoT (Narrowband IoT) також широко використовується для підключення пристроїв IoT до мобільних мереж. NB-IoT дозволяє підключати велику кількість пристроїв до мобільних операторів і забезпечує стабільний зв'язок з низькою потребою в енергії. NB-IoT є стандартом бездротового зв'язку з низькою швидкістю передачі даних, розробленим спеціально для IoT-пристроїв. Він працює в вузькосмуговому діапазоні

ліцензованих частот мобільних операторів і може забезпечити покриття на великих територіях.

Основними перевагами NB-IoT для систем моніторингу сміттєвих баків є:

- низьке енергоспоживання, що дозволяє пристроям працювати від батарей протягом тривалого часу;
- проникна здатність сигналу, що забезпечує зв'язок навіть у важкодоступних місцях або всередині будівель;
- масштабованість та можливість підключення великої кількості пристроїв до однієї мережі.

Висока безпека та захист даних завдяки використанню ліцензованих частот.

Однак NB-IoT також має деякі обмеження, такі як низька швидкість передачі даних (типово до 200 кбіт/с) та необхідність сумісності з існуючими мобільними мережами операторів. Системи моніторингу сміттєвих баків часто інтегрують NB-IoT разом з іншими технологіями бездротового зв'язку, такими як LoRa або WiFi, щоб забезпечити найкращу комбінацію переваг, включаючи широке покриття, енергоефективність та швидкість передачі даних.

Наприклад, NB-IoT може використовуватися для регулярної передачі даних про рівень наповнення від датчиків у віддалених контейнерах, в той час як WiFi або LoRa забезпечують зв'язок з контейнерами у центральних районах міста.

Комбінування різних технологій зв'язку дозволяє створювати гнучкі та високопродуктивні IoT-системи для ефективного моніторингу та управління сміттєвими потоками у містах.

1.3.2 Дротові мережі

Дротові мережі є ще одним важливим засобом збирання та передачі даних в системах Інтернету речей (IoT). Ці мережі використовують провідне з'єднання для передачі інформації між пристроями, що забезпечує стабільну та надійну комунікацію навіть у навантажених або шумних середовищах.

Одним з найпоширеніших протоколів в дротових мережах є Ethernet. Цей стандарт використовує кабельне підключення для передачі даних між пристроями у мережі, що забезпечує високу швидкість передачі та стабільність зв'язку. Ethernet

часто використовується в системах моніторингу сміттєвих контейнерів, особливо в місцях з великою кількістю контейнерів або вимогами до високої пропускної здатності.

Ще одним протоколом, що використовується в дротових мережах, є Powerline Communication (PLC). Ця технологія дозволяє передавати дані через електричні кабелі, що вже прокладені в будівлях чи на території. Вона забезпечує простоту встановлення та може бути особливо корисною у випадках, коли існують обмеження на використання бездротових технологій або в місцях з великою концентрацією металевих або бетонних структур, які можуть перешкоджати бездротовим сигналам.

1.3.3 Бездротові протоколи

Бездротові протоколи є ключовим елементом в інфраструктурі систем Інтернету речей, зокрема у визначенні рівня наповнення сміттєвих баків. Ці протоколи дозволяють пристроям обмінюватися даними без потреби фізичного підключення через провідні канали зв'язку.

Одним із найпоширеніших бездротових протоколів є Bluetooth, який використовується для взаємодії між пристроями на коротких відстанях. Bluetooth забезпечує надійний зв'язок з малою споживаною енергією, що робить його ідеальним вибором для пристроїв IoT, які знаходяться неподалік один від одного. Bluetooth - це універсальний стандарт бездротового зв'язку з низькою потужністю, що дозволяє обмінюватися даними між двома або більше пристроями на короткій відстані. Він працює у вільному діапазоні радіочастот 2,4 ГГц та забезпечує надійну передачу даних зі швидкістю до 3 Мбіт/с. Технологія Bluetooth базується на радіочастотній специфікації, розробленій групою компаній, що сформували Спеціальну групу з питань інтересів Bluetooth (Bluetooth Special Interest Group, SIG). SIG відповідає за розвиток, випуск специфікацій та ліцензування стандарту Bluetooth для виробників.

Ключовою перевагою Bluetooth є низьке енергоспоживання, що дозволяє підключеним пристроям працювати від батарей протягом тривалого періоду часу.

Це робить його ідеальним рішенням для портативних пристроїв, таких як смартфони, навушники, фітнес-трекери та інші носимі гаджети.

Механізм зв'язку Bluetooth використовує топологію "майстер-слуга", де один пристрій виступає в ролі майстра, а інші - слуг. Майстер керує з'єднанням та обміном даними між підлеглими пристроями. Ця архітектура дозволяє створювати невеликі персональні мережі, відомі як "піконети". Протокол Bluetooth забезпечує різні профілі для різних типів додатків та пристроїв. Профілі визначають правила взаємодії між пристроями для конкретних сценаріїв використання. Наприклад, профілі включають передачу аудіо, обмін файлами, підключення до Інтернету та багато іншого.

Сучасні версії Bluetooth, такі як Bluetooth Low Energy (BLE) або Bluetooth 5, пропонують покращену енергоефективність, більшу швидкість передачі даних та збільшений радіус дії. Це дозволяє використовувати Bluetooth у нових сферах, таких як Інтернет речей (IoT) та промислові додатки.

Однією з головних переваг Bluetooth є його широка поширеність та сумісність з великою кількістю пристроїв різних виробників. Це робить його стандартним рішенням для бездротового зв'язку на короткі відстані в багатьох галузях, включаючи споживчу електроніку, автомобільну промисловість, медицину та інші. Незважаючи на переваги, Bluetooth має певні обмеження, такі як відносно невеликий радіус дії (зазвичай до 100 метрів) та потенційну вразливість до радіочастотних перешкод. Крім того, питання безпеки та конфіденційності даних є важливими для деяких додатків, що використовують Bluetooth.

Для вирішення цих проблем постійно розробляються нові покращення та розширення стандарту Bluetooth. Наприклад, використання адаптивного частотного стрибання допомагає уникнути перешкод, а шифрування даних забезпечує безпеку передачі інформації. Загалом, Bluetooth є надійною та широко вживаною технологією бездротового зв'язку, яка відіграє важливу роль у забезпеченні зв'язку між численними пристроями в сучасному світі. Його постійний розвиток та вдосконалення дозволяє задовольнити зростаючі потреби в бездротовій передачі даних на короткі відстані.

Інший бездротовий протокол, Zigbee, спеціально розроблений для низькоенергетичних пристроїв, які потребують довготривалої роботи в мережі. Zigbee забезпечує надійний та стабільний зв'язок між пристроями, що дозволяє їм спільно працювати в мережі та передавати дані з високою ефективністю. ZigBee - це стандарт бездротової передачі даних, розроблений для забезпечення надійного зв'язку з низьким енергоспоживанням між різноманітними пристроями в мережах Інтернету речей (IoT). Він базується на специфікації IEEE 802.15.4 для малопотужних бездротових персональних мереж (LR-WPAN).

Ключовою особливістю ZigBee є його здатність створювати самоорганізовані мережі з вузлами, що діють як ретранслятори сигналу. Це забезпечує високу надійність, розширену зону покриття та можливість обходу перешкод або несправних вузлів. Топологія мережі може бути зіркоподібною, деревоподібною або сітчастою. На відміну від інших бездротових технологій, ZigBee оптимізований для додатків з низькою швидкістю передачі даних, але з високою енергоефективністю. Максимальна швидкість передачі становить 250 кбіт/с, що достатньо для більшості сценаріїв використання в IoT, таких як моніторинг, автоматизація будівель та промислових процесів.

ZigBee працює у вільному діапазоні радіочастот 2,4 ГГц з використанням методу прямого розширення спектра (DSSS) для підвищення стійкості до радіочастотних перешкод. Завдяки низькому енергоспоживанню пристрої ZigBee можуть працювати від батарей протягом кількох років. Стандарт ZigBee визначає різні типи пристроїв у мережі, такі як координатори, маршрутизатори та кінцеві пристрої. Координатори відповідають за формування та керування мережею, маршрутизатори забезпечують передачу даних, а кінцеві пристрої є джерелами або приймачами даних. Для забезпечення безпеки ZigBee використовує шифрування даних за допомогою алгоритму AES-128 та механізми аутентифікації на різних рівнях мережі. Це гарантує конфіденційність, цілісність даних та захист від несанкціонованого доступу.

Однією з переваг ZigBee є його широке використання в різноманітних галузях, таких як промисловість, енергетика, медицина, домашня автоматизація та

інші. Завдяки відкритому стандарту та сумісності з різними виробниками, ZigBee забезпечує інтероперабельність між пристроями різних вендорів.

ZigBee Alliance - це організація, що відповідає за розвиток, сертифікацію та просування стандарту ZigBee. Вона об'єднує виробників, розробників та користувачів ZigBee для забезпечення сумісності, безпеки та інтероперабельності пристроїв. Незважаючи на свої переваги, ZigBee має певні обмеження, такі як низька швидкість передачі даних та складність налаштування та керування великими мережами. Крім того, існують інші конкуруючі стандарти бездротових мереж, такі як Bluetooth Low Energy (BLE) або Thread, які також використовуються в IoT-додатках. Загалом, ZigBee є надійною та енергоефективною технологією бездротового зв'язку, яка добре підходить для застосування в різноманітних сферах Інтернету речей. Постійний розвиток стандарту та підтримка галузевих лідерів забезпечують його подальше вдосконалення та широке поширення.

Безперечно, протокол NB-IoT (Narrowband IoT) є ще одним значним бездротовим рішенням для IoT-систем. Він дозволяє підключати велику кількість пристроїв до мобільних мереж з великою ефективністю, забезпечуючи стабільний зв'язок та низьку витрату енергії. Це робить його чудовим вибором для систем визначення наповнення сміттєвих баків, оскільки вони можуть бути розташовані в різних місцях та потребують довготривалої роботи без заміни акумуляторів. NB-IoT (Narrowband Internet of Things) є новітнім стандартом бездротового зв'язку з низькою швидкістю передачі даних, розробленим спеціально для пристроїв Інтернету речей (IoT). Він базується на технології стільникового зв'язку LTE та був стандартизований організацією 3GPP у Релізі 13.

Основною метою NB-IoT є забезпечення широкого покриття, низького енергоспоживання та масштабованості для підключення великої кількості IoT-пристроїв до мобільних мереж операторів. Це дозволяє створювати ефективні рішення для моніторингу, відстеження активів, інтелектуальних лічильників та інших додатків IoT. На відміну від традиційних стільникових мереж, NB-IoT використовує вузькосмуговий діапазон частот у вже існуючих операторських діапазонах, таких як 700 МГц, 800 МГц або 1800 МГц. Це дозволяє мінімізувати

перешкоди та забезпечити кращу проникність сигналу в умовах міської забудови та всередині приміщень.

Одна з ключових переваг NB-IoT - це надзвичайно низьке енергоспоживання пристроїв. Завдяки оптимізованим протоколам та режимам економії енергії, пристрої NB-IoT можуть працювати від батарей протягом десяти і більше років, що значно скорочує витрати на обслуговування та заміну батарей.

NB-IoT підтримує різні режими роботи, включаючи режими економії енергії та сну, що дозволяє пристроям передавати дані лише при необхідності, зберігаючи заряд батареї. Це робить NB-IoT ідеальним рішенням для додатків, де пристрої розміщуються у важкодоступних місцях або де необхідний тривалий термін служби батареї. Стандарт NB-IoT забезпечує покриття на великих територіях, включаючи сільські та віддалені райони. Завдяки вузькосмуговому сигналу та високій чутливості приймача, NB-IoT може забезпечити зв'язок на відстанях до десятків кілометрів від базової станції. З точки зору безпеки, NB-IoT пропонує ті ж методи шифрування та автентифікації, що й традиційні стільникові мережі LTE. Це гарантує конфіденційність та цілісність даних, захист від несанкціонованого доступу та відповідність галузевим стандартам безпеки.

Незважаючи на низьку швидкість передачі даних (до 200 кбіт/с у висхідному каналі), NB-IoT цілком достатній для більшості IoT-додатків, які не потребують високих швидкостей, але вимагають надійного зв'язку та тривалого часу автономної роботи. Розгортання NB-IoT можливе як шляхом оновлення існуючих стільникових мереж операторів, так і за допомогою створення нових мереж NB-IoT. Це забезпечує гнучкість та масштабованість рішень для різних сценаріїв використання.

Загалом, NB-IoT є перспективною технологією для Інтернету речей, яка пропонує унікальну комбінацію переваг, включаючи низьке енергоспоживання, широке покриття, безпеку та доступність завдяки використанню ліцензованих діапазонів частот операторів.

1.3.4 Мережі передачі даних через мобільних операторів

Мережі передачі даних через мобільних операторів є важливим складовим елементом інфраструктури систем Інтернету речей. Ці мережі використовують мобільні телефонні мережі для передачі даних між пристроями IoT та центральними серверами. Вони забезпечують глобальний охоплення та стабільний зв'язок навіть у віддалених або важкодоступних місцях, що робить їх дуже привабливим варіантом для впровадження систем моніторингу сміттєвих контейнерів.

Одним із найбільш поширених протоколів у мережах мобільних операторів є 3G/4G/5G. Ці стандарти забезпечують високу швидкість передачі даних та стабільний зв'язок, що дозволяє використовувати їх для передачі великого обсягу даних, наприклад, інформації про рівень наповнення сміттєвих контейнерів у реальному часі. Вони також забезпечують покриття великих територій, що робить їх ідеальними для впровадження систем моніторингу відходів у міських або сільських районах.

Іншим важливим аспектом мобільних мереж є їх підтримка малими витратами енергії. Це особливо важливо для пристроїв IoT, таких як датчики наповнення сміттєвих контейнерів, які можуть працювати на батареях протягом тривалого часу. Мобільні мережі надають можливість ефективного використання енергії для передачі даних, що робить їх привабливим вибором для IoT-пристроїв у сфері відходів.

Додатково, мобільні оператори надають різноманітні тарифні плани та пакети послуг, які можуть бути оптимізовані під конкретні потреби систем визначення наповнення сміттєвих баків. Це включає в себе можливість вибору планів з різними обсягами передачі даних, швидкістю зв'язку та гнучкими умовами оплати. Такий підхід дозволяє підприємствам та міським службам ефективно використовувати мобільний зв'язок для моніторингу сміттєвих систем, забезпечуючи оптимальне співвідношення витрат і можливостей.

Крім того, мобільні оператори часто надають послуги інтеграції та управління мережами IoT. Це включає в себе підтримку розгортання та

налаштування пристроїв, моніторинг стану мережі та надання технічної підтримки. Такий підхід спрощує впровадження систем моніторингу сміттєвих контейнерів і зменшує трудомісткість у підтримці та експлуатації.

Не останнім аспектом є стандартизація та сумісність мереж мобільних операторів з існуючими протоколами та інфраструктурою IoT. Це дозволяє інтегрувати системи визначення наповнення сміттєвих баків у вже існуючі інформаційні системи та платформи управління відходами, що сприяє оптимізації роботи та забезпечує сумісність із сучасними технологічними стандартами.

Отже, мобільні оператори можуть виступати не лише як постачальники послуг з передачі даних, але й як ключові партнери у реалізації систем моніторингу сміттєвих контейнерів через надання комплексних рішень з підтримки, інтеграції та управління мережами IoT.

1.4 Приклади систем визначення наповнення сміттєвих баків, що вже існують

Bigbelly Solar Bins є інноваційним рішенням для збору та моніторингу твердих побутових відходів у громадських місцях. Ці компактні сміттєві контейнери оснащені вбудованою сонячною батареєю, яка забезпечує автономне живлення всіх електронних компонентів системи (рис. 1.1).

Основною перевагою Bigbelly Solar Bins є наявність вбудованого компактора, який використовує електричну енергію, що генерується сонячними панелями, для періодичного стискання сміття всередині контейнера. Це дозволяє значно збільшити місткість кожного контейнера та зменшити необхідність частого вивезення відходів. Крім компактора, Bigbelly Solar Bins містять вбудовану систему моніторингу, яка відстежує рівень наповнення контейнера, час останнього спорожнення та інші важливі дані. Ця інформація передається через бездротову

мережу на центральну станцію моніторингу для аналізу та планування оптимальних маршрутів збору відходів.

Система моніторингу Bigbelly Solar Bins базується на технології Інтернету речей (IoT) та використовує різні бездротові протоколи, такі як 3G, 4G або LoRaWAN, для передачі даних. Це забезпечує надійний зв'язок та можливість інтеграції з існуючими системами управління відходами. Одним із ключових переваг Bigbelly Solar Bins є їх енергоефективність. Завдяки використанню сонячної енергії та оптимізованої електроніки, ці контейнери можуть працювати без зовнішніх джерел живлення протягом тривалого часу, зменшуючи вплив на навколишнє середовище та витрати на експлуатацію. Bigbelly Solar Bins розроблені з урахуванням принципів сталого розвитку та кругової економіки. Вони виготовлені з міцних і довговічних матеріалів, що забезпечує тривалий термін служби та можливість повторного використання компонентів після завершення експлуатації.

Завдяки своїм унікальним функціям, Bigbelly Solar Bins широко використовуються в парках, на вулицях, у торгових центрах та інших громадських місцях по всьому світу. Вони допомагають підвищити ефективність збору та утилізації відходів, зменшити витрати на обслуговування та покращити санітарний стан міських територій. Bigbelly Solar Bins є частиною ширшої концепції "розумних міст", де різні технології, такі як IoT, сонячна енергія та аналітика даних, об'єднуються для створення більш екологічно стійких та ефективних рішень для міської інфраструктури. Компанія Bigbelly, яка розробила ці інноваційні сміттєві контейнери, постійно працює над вдосконаленням своїх продуктів і розширенням їх функціональності. Зокрема, розробляються нові датчики, алгоритми прогнозування наповнення та інтеграція з додатковими системами міської інфраструктури. Незважаючи на переваги, впровадження Bigbelly Solar Bins може бути пов'язане з певними викликами, такими як висока початкова вартість обладнання, необхідність навчання персоналу та інтеграції з існуючими системами управління відходами. Однак довгостроковий позитивний вплив на екологію та

економічну ефективність робить ці інноваційні контейнери привабливим рішенням для багатьох міст у всьому світі.

Enevo. Enevo використовує вбудовані акселерометри та датчики ультразвуку для визначення рівня наповнення сміттєвих контейнерів. Їх система збирає дані та передає їх на хмарний сервер для аналізу та генерації рекомендацій з оптимізації маршрутів збирання сміття (рис. 1.2). Enevo є провідною технологічною компанією, що спеціалізується на розробці інноваційних рішень для оптимізації процесів збору та перевезення твердих побутових відходів. Компанія пропонує комплексну платформу на базі Інтернету речей та аналітики даних, яка дозволяє муніципалітетам, підприємствам та операторам з поводження з відходами підвищити ефективність та скоротити витрати.

Ключовим компонентом рішень Enevo є інтелектуальні сенсорні пристрої, які встановлюються на сміттєві контейнери та баки. Ці пристрої оснащені різноманітними датчиками, включаючи ультразвукові, вагові та інші, які відстежують рівень наповнення контейнерів у реальному часі.

Зібрані дані про наповнення передаються через бездротові мережі, такі як LoRaWAN або мобільний зв'язок, на хмарну платформу Enevo. Ця платформа використовує передові алгоритми аналітики даних та машинного навчання для обробки отриманої інформації та формування оптимальних маршрутів збору відходів. Завдяки інтелектуальній маршрутизації та прогнозуванню потреб у вивезенні сміття, рішення Enevo дозволяють значно скоротити кількість необхідних поїздок транспортних засобів для збирання відходів. Це сприяє зменшенню викидів парникових газів, зниженню витрат на паливо та обслуговування техніки.

Платформа Enevo також забезпечує всебічну аналітику та візуалізацію даних про потоки відходів, що дозволяє клієнтам отримувати цінну інформацію для прийняття рішень та вдосконалення своїх операцій з поводження з відходами. Одним з ключових аспектів рішень Enevo є їх гнучкість та масштабованість. Платформа може інтегруватися з існуючими системами управління відходами, а

також легко розширюватися для охоплення більшої кількості контейнерів та регіонів.

Для забезпечення надійності та безпеки, Enevo використовує захищені протоколи передачі даних, шифрування та інші заходи безпеки. Компанія також дотримується міжнародних стандартів та нормативних вимог у сфері захисту даних та конфіденційності. Enevo активно співпрацює з муніципалітетами, комунальними підприємствами та приватними операторами з поводження з відходами у багатьох країнах світу. Компанія постійно розширює свою присутність на глобальному ринку та адаптує свої рішення до специфічних потреб клієнтів.

Крім безпосередніх переваг у вигляді скорочення витрат та підвищення ефективності, рішення Enevo також сприяють сталому розвитку міст та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Це відповідає глобальним тенденціям до створення "розумних міст" та переходу до циркулярної економіки. Завдяки інноваційним технологіям, орієнтованості на клієнта та прихильності до принципів сталого розвитку, Enevo стала одним з лідерів на ринку інтелектуальних рішень для управління відходами. Компанія продовжує активно розвиватися та пропонувати нові інструменти для оптимізації процесів збору та переробки відходів у міських та промислових середовищах.



Рисунок 1.1- Bigbelly Solar Bins



Рисунок 1.2 – Enevo

SmartBin. SmartBin використовує датчики рівня наповнення, а також температурні та вологості датчики, щоб надати інформацію про стан сміттєвих контейнерів. Ці дані можуть бути відстежені через мобільний додаток або веб-портал, дозволяючи операторам ефективно керувати сміттєвими потоками (рис. 1.3).

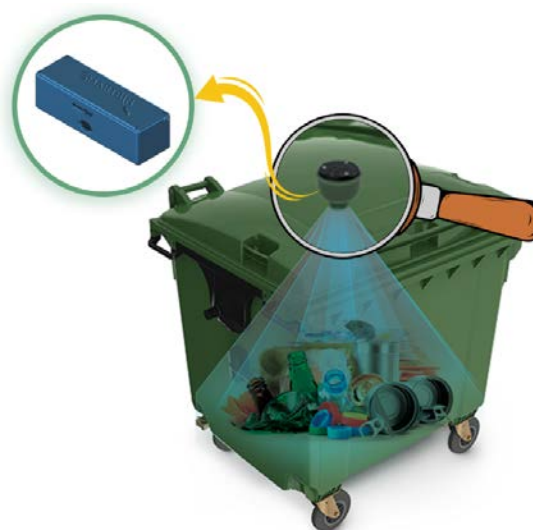


Рисунок 1.3 – SmartBin

SmartBin - це інноваційний пристрій, що впроваджується в міських середовищах для оптимізації збору відходів. Цей пристрій поєднує в собі технології інтернету речей, сенсорний аналіз та бездротові комунікаційні можливості для ефективного управління відходами. Система SmartBin має вбудовані сенсори, які визначають рівень заповнення контейнера для сміття. Ці дані передаються у

реальному часі до центральної системи управління, що дозволяє ефективно планувати маршрути збору сміття та уникнути переповнення контейнерів.

Однією з ключових переваг SmartBin є можливість оптимізації маршрутів збору сміття. Завдяки збору даних про рівень заповнення контейнерів у реальному часі, можна ефективно розподіляти ресурси і зменшувати час, потрібний для збору відходів. Цей інтелектуальний підхід до управління відходами також допомагає зменшити витрати на транспорт і паливо, що веде до економічних вигод для міської інфраструктури.

SmartBin може бути інтегрований у вже існуючі системи управління відходами або впроваджений як самостійний модуль. Його гнучка архітектура робить його відмінним рішенням для різних міських середовищ. Використання SmartBin також сприяє покращенню екологічної стійкості міста, оскільки зменшує кількість сміття, яке непотрібно переробляти, а також зменшує викиди CO₂, пов'язані з транспортуванням відходів. Система SmartBin може бути доповнена додатками для смартфонів, які дозволяють мешканцям міста відстежувати рівень заповнення контейнерів та отримувати сповіщення про найближчі пункти збору сміття.

Оскільки SmartBin збирає дані в реальному часі, оператори міських служб можуть швидко реагувати на зміни в обсягах відходів та адаптувати свої стратегії збору відповідно до потреб. Впровадження системи SmartBin сприяє покращенню якості життя мешканців міста, зменшує вплив неправильної утилізації сміття на навколишнє середовище та сприяє створенню більш чистого і здорового міського середовища. Узагальнюючи, SmartBin - це інтелектуальна та ефективна система управління відходами, яка сприяє оптимізації процесів збору сміття, зменшенню витрат та покращенню якості середовища у міських районах.

WasteManagement. Компанія Waste Management використовує систему під назвою FleetLink, яка включає в себе GPS-трекінг та датчики рівня наповнення для оптимізації маршрутів збирання сміття та зменшення часу та витрат на транспортування відходів (рис. 1.4). FleetLink представляє собою інноваційну систему управління транспортними засобами, розроблену для оптимізації

ефективності та безпеки вантажних перевезень. Ця система поєднує в собі передові технології GPS, телематики та датчиків для моніторингу та аналізу даних з транспортних засобів у реальному часі. Однією з ключових особливостей FleetLink є можливість відстеження місцезнаходження, швидкості та стану транспортних засобів в реальному часі. Це дозволяє операторам флоту ефективно планувати маршрути, уникати заторів та забезпечувати вчасну доставку вантажів.

Система FleetLink також обладнана аналітичними інструментами, які дозволяють здійснювати глибокий аналіз даних про транспортний флот. Це допомагає виявляти тенденції, вдосконалювати стратегії управління та зменшувати витрати. Однією з переваг FleetLink є можливість інтеграції з іншими системами управління транспортом та логістикою. Це забезпечує більшу гнучкість та функціональність для користувачів, а також полегшує обмін даними між різними платформами.

FleetLink використовує передові алгоритми машинного навчання для прогнозування попиту, оптимізації маршрутів та вдосконалення стратегій управління флотом. Це дозволяє операторам швидко реагувати на зміни в умовах ринку та мінімізувати ризики. Система FleetLink має інтуїтивний інтерфейс користувача, що спрощує процес взаємодії з системою та дозволяє операторам ефективно керувати транспортним флотом навіть без спеціалізованої підготовки.

Використання FleetLink допомагає підвищити продуктивність та ефективність вантажних перевезень, зменшити час доставки та оптимізувати використання ресурсів транспортного флоту.

Система також забезпечує підвищення рівня безпеки на дорогах, оскільки оператори можуть відстежувати та контролювати поведінку водіїв, а також вчасно реагувати на екстрени ситуації. FleetLink є важливим інструментом для компаній, що займаються вантажними перевезеннями, та допомагає їм збільшувати конкурентоспроможність на ринку. Узагальнюючи, FleetLink - це передова система управління транспортним флотом, яка поєднує в собі передові технології з аналітичними інструментами для оптимізації ефективності, безпеки та економії вантажних перевезень.



Рисунок 1.4 – FleetLink

Ці приклади вказують на широкий спектр технологій та рішень, які вже застосовуються в системах визначення наповнення сміттєвих баків і допомагають оптимізувати процеси управління відходами.

2 ВИБІР АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1 Вибір мікроконтролера

2.1.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi - це серія одноплатних комп'ютерів, розроблених Фондом Raspberry Pi (Raspberry Pi Foundation) з метою сприяти навчанню комп'ютерних наук та електроніки в школах та країнах з низьким рівнем розвитку (Raspberry Pi Foundation). Raspberry Pi має різні моделі з різними характеристиками та призначенням.

Серія Raspberry Pi включає такі моделі, як Raspberry Pi Zero, Raspberry Pi 1 Model A/B, Raspberry Pi 2 Model B, Raspberry Pi 3 Model A/B/B+, Raspberry Pi 4 Model A/B (Raspberry Pi Foundation). Кожна модель має власні технічні характеристики та функціональні можливості.

Наприклад, Raspberry Pi 4 Model B - це потужний одноплатний комп'ютер з 1,5 ГБ/2 ГБ/4 ГБ/8 ГБ оперативної пам'яті, чотирма ядрами ARM Cortex-A72 з тактовою частотою 1,5 ГГц, вбудованим Wi-Fi та Bluetooth, підтримкою 4K відео, двома портами HDMI, Ethernet-портом та USB-портами (Raspberry Pi Foundation).

Raspberry Pi використовується для широкого спектру завдань, включаючи навчання програмуванню, створення проєктів Інтернету речей (IoT), створення домашніх медіацентрів, розробки пристроїв зв'язку та автоматизації, реалізації проєктів машинного навчання та багато інших (Raspberry Pi Foundation).

Вартість Raspberry Pi залежить від моделі та комплектації. Наприклад, Raspberry Pi 4 Model B з 2 ГБ оперативної пам'яті коштує приблизно 35 доларів США, тоді як Raspberry Pi Zero можна придбати за приблизно 5 доларів США (Raspberry Pi Foundation). Це робить Raspberry Pi доступним та економічно вигідним для широкого кола користувачів та розробників.

2.1.2 ESP8266 та ESP32

ESP8266 та ESP32 - це платформи для розробки Інтернету речей (IoT), розроблені компанією Espressif Systems. Ці мікроконтролери мають різні моделі з різними характеристиками та призначенням.

ESP8266 включає такі моделі, як ESP-01, ESP-12E, ESP-12F, ESP-12S (Espressif Systems). Ці мікроконтролери мають вбудований Wi-Fi модуль та потужний процесор, що робить їх ідеальними для розробки простих пристроїв Інтернету речей, сенсорних мереж, смарт-домашніх пристроїв та багато іншого.

ESP32 - це наступне покоління мікроконтролерів від Espressif Systems, яке має ще більші можливості та функціональність. Включаються такі моделі, як ESP32-WROOM-32, ESP32-WROOM-32D, ESP32-WROOM-32U, ESP32-SOLO-1 (Espressif Systems). ESP32 має вбудований Wi-Fi та Bluetooth модулі, підтримку двоядерного процесора та велику кількість введення/виведення, що робить його ідеальним для розробки різноманітних проєктів IoT, включаючи пристрої зі штучним інтелектом та системи автоматизації.

ESP8266 та ESP32 використовуються для широкого спектру завдань, включаючи створення мережевих пристроїв, контролю над домашніми

пристроями, розробки мобільних додатків, віддаленого керування та моніторингу, реалізації проектів Інтернету речей та багато іншого.

Вартість ESP8266 та ESP32 залежить від моделі та комплектації. Наприклад, модуль ESP8266 ESP-01 можна придбати за приблизно 2-3 долари США, тоді як більш потужні моделі ESP32 можуть коштувати від 5 до 20 доларів США в залежності від конфігурації та функціональності.

2.1.3 PIC Microcontrollers

PIC Microcontrollers - це серія мікроконтролерів, розроблених компанією Microchip Technology. Ці мікроконтролери мають різні моделі з різними характеристиками та призначенням.

Серія PIC мікроконтролерів включає такі моделі, як PIC10, PIC12, PIC16, PIC18, PIC24, PIC32 та інші (Microchip Technology). Кожна модель має власні технічні характеристики та функціональні можливості.

Наприклад, PIC16F877A - це один з популярних мікроконтролерів серії PIC16, який має 8-бітний процесор з тактовою частотою до 20 МГц, 256 байт RAM, 368 байт EEPROM та розширений набір введення/виведення (Microchip Technology). Цей мікроконтролер часто використовується для автоматизації, контролю та моніторингу в різних галузях, включаючи електроніку, автоматизацію промислових процесів, медичні пристрої та інші.

PIC мікроконтролери використовуються для широкого спектру завдань, включаючи керування промисловими процесами, створення пристроїв Інтернету речей (IoT), реалізації систем автоматизації та контролю, розробки електронних приладів, систем безпеки та багато іншого.

Вартість PIC мікроконтролерів залежить від моделі та комплектації. Наприклад, мікроконтролер PIC16F877A може коштувати приблизно від 2 до 5 доларів США в залежності від постачальника та регіону (Microchip Technology).

2.1.4 Arduino

Arduino - це відкрита платформа для розробки електронних пристроїв, що базується на легко програмованому мікроконтролері та має широке застосування в різних галузях.

Серія Arduino включає різні моделі з різними характеристиками та функціональністю. Деякі популярні моделі включають Arduino Uno, Arduino Nano, Arduino Mega, Arduino Due, Arduino Leonardo та багато інших (Arduino).

Наприклад, Arduino Uno - це один з найпопулярніших та широко використовуваних мікроконтролерів Arduino. Він має 8-бітний мікроконтролер ATmega328P з тактовою частотою 16 МГц, 32 КБ флеш-пам'яті для програм та 2 КБ оперативної пам'яті (Arduino). Arduino Uno є ідеальним вибором для початківців та розробників, які шукають простий у використанні мікроконтролер для створення різноманітних електронних проектів.

Arduino використовується для різних завдань, включаючи розробку пристроїв Інтернету речей, автоматизацію домашніх пристроїв, створення роботів, контролю над сенсорами та виконання різних електронних проектів.

Вартість Arduino залежить від моделі та комплектації. Наприклад, Arduino Uno можна придбати за приблизно 20-25 доларів США в залежності від постачальника та регіону (Arduino).

2.1.5 Arduino Uno

Arduino Uno - це один з найпопулярніших та широко використовуваних мікроконтролерів в серії Arduino. Він є ідеальним вибором для початківців та досвідчених розробників, які шукають простий у використанні мікроконтролер для створення різноманітних електронних проектів.

Arduino Uno використовується для різних електронних проектів, включаючи:

- розробка пристроїв Інтернету речей (IoT);
- автоматизація домашніх пристроїв;
- створення роботів та дронів;
- контроль над сенсорами та актуаторами;
- реалізація систем моніторингу та управління.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики

Мікроконтролер	ATmega328P
Тактова частота	16 МГц
Флеш-пам'ять для програм	32 КБ
Оперативна пам'ять	2 КБ
Вхідні/вихідні порти (GPIO)	14 цифрових входів/виходів, 6 аналогових входів
Інтерфейси зв'язку	USB, UART, SPI, I2C
Живлення	5 Вольт з USB або від зовнішнього джерела
Розміри	68.6 мм x 53.4 мм

2.2 Вибір сенсора

2.2.1 JSN-SR04T

JSN-SR04T є ультразвуковим датчиком відстані, розробленим для точного вимірювання відстані між сенсором та об'єктом (JSN-SR04T). Цей датчик має робочу частоту 40 кГц і здатний вимірювати відстань до 4,5 метрів з точністю до кількох міліметрів.

Датчик JSN-SR04T має простий у використанні інтерфейс, що дозволяє легко інтегрувати його в різноманітні проекти (JSN-SR04T). Він працює на напрузі 5 В та вимагає мало енергії для функціонування.

Однією з особливостей JSN-SR04T є його невеликі розміри, що дозволяють легко вбудовувати його у будь-які пристрої (JSN-SR04T). Розмір датчика становить 45 мм × 20 мм × 15 мм, що робить його компактним для використання в різних проектах.

JSN-SR04T оснащений високочутливими елементами, які дозволяють отримувати точні вимірювання в різних умовах (JSN-SR04T). Він має широкий кут огляду, що дозволяє виявляти об'єкти з великої відстані.

Датчик JSN-SR04T володіє високою швидкістю реакції, що робить його ідеальним для вимірювання відстані у реальному часі (JSN-SR04T). Він здатний оперативно реагувати на зміни відстані до об'єктів та надсилати дані в контрольну систему.



Рисунок 2.1 - Датчик JSN-SR04T

Завдяки своїм технічним характеристикам та надійності, JSN-SR04T широко використовується у різних галузях, включаючи автоматизацію, медицину, безпеку та інші (JSN-SR04T). Він дозволяє створювати ефективні та надійні системи контролю та моніторингу.

2.2.2 Maxbotix LV-MaxSonar-EZ

Maxbotix LV-MaxSonar-EZ - це високоякісний ультразвуковий датчик відстані, розроблений для точного вимірювання відстані до об'єктів у реальному часі (Maxbotix). Цей датчик володіє великою точністю та стабільністю вимірювань, що робить його ідеальним для різноманітних застосувань.

LV-MaxSonar-EZ може вимірювати відстань до об'єктів на відстані від 20 см до 500 см з точністю до ± 1 см (Maxbotix). Цей широкий діапазон вимірювання робить його універсальним для використання в різних проектах.

Датчик володіє високою чутливістю та швидкістю вимірювань, що дозволяє оперативно отримувати дані про відстань до об'єктів (Maxbotix). Він здатний працювати в реальному часі та надсилати дані швидко і надійно.

LV-MaxSonar-EZ має вбудований фільтр для позбавлення вимірювань від перешкод та додаткових сигналів (Maxbotix). Це забезпечує стабільність вимірювань навіть у шумних або заповнених об'єктами середовищах.



Рисунок 2.2 – Датчик LV-MaxSonar-EZ

Датчик працює на низькій напрузі (2,5–5,5 В) та споживає низьку потужність, що дозволяє економити енергію та забезпечує тривалий термін служби батареї (Maxbotix). Це робить його ідеальним вибором для вбудованих систем та пристроїв з обмеженими джерелами живлення.

Завдяки своїм технічним характеристикам та надійності, Maxbotix LV-MaxSonar-EZ заслужив популярність серед інженерів та розробників у всьому світі (Maxbotix). Він використовується у різних галузях, включаючи робототехніку, автоматизацію, вимірювальні системи та інші.

2.2.3 DYP-ME007Y

DYP-ME007Y - це ультразвуковий датчик відстані, призначений для точного вимірювання відстані між сенсором та об'єктом (DYP-ME007Y). Цей датчик має високу точність та швидкість вимірювань, що робить його важливим компонентом у багатьох технічних рішеннях.

DYP-ME007Y може вимірювати відстань до об'єктів на відстані від 20 см до 700 см з точністю до кількох міліметрів (DYP-ME007Y). Цей широкий діапазон вимірювання робить його універсальним для використання в різних сценаріях.

Датчик володіє високою чутливістю та швидкістю вимірювань, що дозволяє оперативно отримувати дані про відстань до об'єктів (DYP-ME007Y). Він здатний працювати в реальному часі та надсилати дані швидко та надійно.



Рисунок 2.3 – Датчик DYP-ME007Y

DYP-ME007Y має компактні розміри та простий у встановленні інтерфейс (DYP-ME007Y). Це дозволяє легко інтегрувати його в різноманітні проекти та використовувати для вимірювання відстані у реальному часі.

Датчик оснащений вбудованим фільтром, що дозволяє позбавити вимірювання від спотворень та додаткових сигналів (DYP-ME007Y). Це забезпечує стабільність вимірювань навіть у шумних або заповнених об'єктами середовищах.

DYP-ME007Y працює на низькій напрузі (2,5–5,5 V) та вимагає мало енергії для функціонування (DYP-ME007Y). Це робить його економічним у використанні та дозволяє тривалий термін служби батареї.

Завдяки своїм технічним характеристикам та надійності, DYP-ME007Y широко використовується у різних галузях, включаючи автоматизацію, робототехніку, медицину та інші (DYP-ME007Y). Він дозволяє створювати ефективні та надійні системи контролю та моніторингу.

2.2.4 SRF04

SRF04 - це компактний та високоякісний ультразвуковий датчик відстані, розроблений для точного вимірювання відстані між датчиком та об'єктом (SRF04). Цей датчик володіє великою точністю та швидкістю вимірювань, що робить його ідеальним для різноманітних застосувань у робототехніці, автоматизації та інших галузях.

SRF04 може вимірювати відстань до об'єктів на відстані від 3 см до 3 метрів з точністю до кількох міліметрів (SRF04). Цей широкий діапазон вимірювання робить його універсальним для використання в різних сценаріях.

Датчик SRF04 має невеликі розміри та низьку вагу, що дозволяє легко вбудовувати його в різні пристрої (SRF04). Розмір датчика становить всього лише 43 мм × 20 мм × 17 мм, що робить його компактним та зручним у використанні.

Датчик володіє високою чутливістю та швидкістю вимірювань, що дозволяє оперативно отримувати дані про відстань до об'єктів (SRF04). Він здатний працювати в реальному часі та надсилати дані швидко та надійно.

SRF04 оснащений вбудованим фільтром для позбавлення вимірювань від перешкод та додаткових сигналів (SRF04). Це забезпечує стабільність вимірювань навіть у шумних або заповнених об'єктами середовищах.

Датчик працює на низькій напрузі (5 В) та вимагає мало енергії для функціонування, що дозволяє економити електроенергію (SRF04). Це робить його економічним та ефективним для використання у вбудованих системах та пристроях.

Завдяки своїм технічним характеристикам та надійності, SRF04 широко використовується у різних галузях, включаючи робототехніку, автоматизацію, медицину та інші (SRF04). Він дозволяє створювати ефективні та надійні системи контролю та моніторингу.

2.2.5 HC-SR04

HC-SR04 - це ультразвуковий датчик відстані, розроблений для точного вимірювання відстані між датчиком та об'єктом (HC-SR04). Цей датчик володіє високою точністю та швидкістю вимірювань, що робить його незамінним компонентом у багатьох проектах.

HC-SR04 може вимірювати відстань до об'єктів на відстані від 2 см до 4 метрів з точністю до кількох міліметрів (HC-SR04). Цей широкий діапазон вимірювання робить його універсальним для використання у різних сценаріях.

Датчик HC-SR04 має простий у використанні інтерфейс, що дозволяє легко інтегрувати його в різноманітні проекти (HC-SR04). Він працює на напрузі 5 В і вимагає мало енергії для функціонування.



Рисунок 2.4 – Датчик HC-SR04

HC-SR04 оснащений високочутливими елементами, які дозволяють отримувати точні вимірювання в різних умовах (HC-SR04). Він має широкий кут огляду, що дозволяє виявляти об'єкти з великої відстані.

Датчик володіє високою швидкістю реакції, що робить його ідеальним для вимірювання відстані у реальному часі (HC-SR04). Він здатний оперативно реагувати на зміни відстані до об'єктів та надсилати дані в контрольну систему.

Завдяки своїм технічним характеристикам та надійності, HC-SR04 широко використовується у різних галузях, включаючи робототехніку, автоматизацію, вимірювальні системи та інші (HC-SR04). Він дозволяє створювати ефективні та надійні системи контролю та моніторингу.

3 ХМАРНІ ІОТ ПЛАТФОРМИ

3.1 Загальний опис хмарних платформ

Хмарні платформи для Інтернету речей стали невід'ємною частиною розвитку екосистеми Інтернету речей, забезпечуючи безпечну інфраструктуру, зберігання та обробку даних, а також аналітичні можливості для величезної

кількості підключених пристроїв [11]. Ці платформи дозволяють збирати, передавати та зберігати дані з різноманітних датчиків, пристроїв та систем, а також надають інструменти для аналізу цих даних з метою отримання цінних бізнес-інсайтів [12].

Основні компоненти хмарної платформи IoT включають:

- шлюз пристроїв для безпечного підключення та керування пристроями [13];
- система зберігання даних для збереження величезних обсягів даних, що надходять з пристроїв;
- аналітичні інструменти та можливості машинного навчання для обробки та аналізу даних [14];
- інтеграція з іншими хмарними сервісами та корпоративними системами [15];
- візуалізація даних та інструменти для створення звітів та панелей моніторингу.

Провідні постачальники хмарних платформ IoT, такі як Amazon Web Services, Microsoft Azure, Google Cloud та IBM Watson, пропонують комплексні рішення з різними функціями та можливостями інтеграції, що дозволяє компаніям розгортати та масштабувати свої IoT-рішення [16].

3.2 Amazon Web Services IoT Core

Amazon Web Services (AWS) IoT Core є однією з провідних хмарних платформ для Інтернету речей (IoT), яка забезпечує безпечне підключення та керування пристроями, збір даних, аналітику та інтеграцію з іншими хмарними сервісами AWS [17]. Ця платформа була розроблена для полегшення розгортання, керування та моніторингу мільярдів пристроїв IoT та пов'язаних з ними даних у масштабі хмари.

AWS IoT Core надає можливості для реєстрації та безпечного з'єднання пристроїв з хмарою за допомогою різних протоколів зв'язку, таких як MQTT, WebSockets або HTTP (Ngu et al., 2016). Безпека забезпечується шляхом використання X.509 сертифікатів або токенів автентифікації для ідентифікації пристроїв та шифрування трафіку даних. Після підключення пристрої можуть надсилати дані до хмари, а AWS IoT Core забезпечує збір, зберігання та обробку цих даних в інших сервісах AWS, таких як Amazon S3, Amazon Kinesis або Amazon DynamoDB.

Одна з ключових переваг AWS IoT Core полягає в можливості моніторингу стану пристроїв та віддаленого керування ними [18]. Платформа дозволяє відстежувати стан підключених пристроїв, встановлювати правила для автоматизації дій на основі отриманих даних та безпечно оновлювати програмне забезпечення на пристроях.

AWS IoT Core також забезпечує потужні можливості аналітики даних та машинного навчання. За допомогою сервісів AWS, таких як Amazon Machine Learning та AWS Lambda, можна обробляти та аналізувати величезні обсяги даних, що надходять з пристроїв IoT, виявляти закономірності та тенденції, створювати прогнози та приймати обґрунтовані рішення на основі отриманих інсайтів.

Крім того, AWS IoT Core легко інтегрується з іншими сервісами AWS, такими як AWS IoT Greengrass, який дозволяє розгортати додатки на граничних пристроях, працюючи у тісному зв'язку з хмарою. Це забезпечує гнучкість та масштабованість, необхідну для впровадження складних IoT-рішень в різних галузях, таких як промислове виробництво, розумні будинки, транспорт, сільське господарство та охорона здоров'я.

AWS IoT Core пропонує високий рівень безпеки, надійності та масштабованості, що робить її привабливою платформою для реалізації IoT-проектів як для малих і середніх підприємств, так і для великих корпорацій. Хмарна природа платформи забезпечує гнучкість, простоту розгортання та можливість швидкого масштабування за потреби.

3.3 Microsoft Azure IoT Hub

Microsoft Azure IoT Hub є повноцінною хмарною платформою для керування пристроями Інтернету речей (IoT) та забезпечення надійної двосторонньої комунікації між пристроями та хмарою [19]. Ця платформа була розроблена для полегшення підключення, моніторингу та керування мільярдами пристроїв IoT у масштабах підприємства.

Azure IoT Hub надає безпечне з'єднання для пристроїв з використанням різних протоколів зв'язку, таких як MQTT, AMQP та HTTP [2]. Для автентифікації пристроїв використовуються ключі доступу або сертифікати X.509. Платформа забезпечує надійну та безпечну передачу даних з пристроїв до хмари та назад за допомогою транспортного рівня захисту (TLS).

Одна з ключових переваг Azure IoT Hub - можливість надійного зберігання та обробки величезних обсягів даних, отриманих з пристроїв IoT. Платформа інтегрується з іншими сервісами Azure, такими як Azure Blob Storage, Azure Data Lake Storage, Azure Stream Analytics та Azure Machine Learning, для аналізу та обробки даних в реальному часі. Це дозволяє отримувати цінні бізнес-інсайти, виявляти аномалії та тренди, а також приймати швидкі та обґрунтовані рішення.

Azure IoT Hub також забезпечує централізоване керування пристроями, що дозволяє віддалено відстежувати стан, оновлювати програмне забезпечення та конфігурувати пристрої [20]. Платформа підтримує двосторонню комунікацію, що означає, що хмарні служби можуть надсилати команди та повідомлення пристроям, а також отримувати підтвердження їх виконання.

Крім того, Azure IoT Hub інтегрується з Azure IoT Edge, що дозволяє розгортати та керувати робочими навантаженнями на граничних пристроях [19]. Це забезпечує більшу гнучкість, оптимізацію трафіку даних та можливість обробки даних поблизу джерела їх створення.

Azure IoT Hub пропонує високий рівень безпеки, надійності та масштабованості, що робить її привабливою платформою для реалізації IoT-проектів як для малих і середніх підприємств, так і для великих корпорацій в різних галузях, таких як виробництво, енергетика, транспорт, роздрібна торгівля та охорона здоров'я [20].

3.4 Google Cloud IoT Core

Google Cloud IoT Core є повноцінною хмарною платформою для керування пристроями Інтернету речей (IoT) та забезпечення безпечного з'єднання й обміну даними між пристроями та хмарою [21]. Ця платформа була розроблена з акцентом на аналітику даних, машинне навчання та інтеграцію з іншими хмарними сервісами Google Cloud.

Google Cloud IoT Core забезпечує безпечне підключення пристроїв IoT до хмари за допомогою протоколів зв'язку MQTT та HTTP. Для автентифікації пристроїв використовуються ключі доступу або сертифікати X.509. Платформа гарантує конфіденційність і цілісність даних під час передачі за допомогою транспортного рівня захисту (TLS) [22].

Одна з ключових особливостей Google Cloud IoT Core - потужна інтеграція з іншими сервісами Google Cloud, такими як Google Cloud Dataflow, Google Cloud Pub/Sub, Google BigQuery та Google Cloud Machine Learning Engine. Це дозволяє отримувати цінні бізнес-інсайти, виявляти аномалії та тренди, а також приймати швидкі та обґрунтовані рішення за допомогою аналітики даних та машинного навчання. Google Cloud IoT Core забезпечує централізоване керування пристроями, що дозволяє віддалено відстежувати стан, оновлювати програмне забезпечення та конфігурувати пристрої [22]. Платформа підтримує двосторонню комунікацію, що означає, що хмарні служби можуть надсилати команди та повідомлення пристроям, а також отримувати підтвердження їх виконання.

Крім того, Google Cloud IoT Core інтегрується з Google Cloud IoT Edge, що дозволяє розгортати та керувати робочими навантаженнями на граничних пристроях. Це забезпечує оптимізацію трафіку даних та можливість обробки даних поблизу джерела їх створення.

Google Cloud IoT Core пропонує високий рівень безпеки, надійності та масштабованості, що робить її привабливою платформою для реалізації IoT-проектів як для малих і середніх підприємств, так і для великих корпорацій в різних галузях, таких як виробництво, енергетика, транспорт, роздрібна торгівля та охорона здоров'я.

3.5 IBM Watson IoT Platform

IBM Watson IoT Platform є комплексним рішенням для Інтернету речей, що охоплює весь життєвий цикл IoT, від підключення пристроїв до аналітики та керування [23]. Ця платформа поєднує можливості збору даних, аналітики, візуалізації та машинного навчання для забезпечення більш ефективного прийняття рішень на основі даних з пристроїв IoT.

Watson IoT Platform забезпечує безпечне підключення та керування пристроями, використовуючи протоколи зв'язку, такі як MQTT, HTTP та WebSockets. Для автентифікації пристроїв використовуються унікальні ідентифікатори та ключі доступу, що гарантує конфіденційність і цілісність даних під час передачі. Після підключення пристроїв платформа збирає та зберігає дані у високопродуктивному сховищі даних, що дозволяє зберігати мільярди точок даних. Ці дані можуть бути візуалізовані та проаналізовані за допомогою вбудованих інструментів аналітики та панелей моніторингу.

Одна з найбільших переваг Watson IoT Platform - її тісна інтеграція з технологіями штучного інтелекту та машинного навчання від IBM Watson. Це дозволяє застосовувати передові алгоритми та моделі для виявлення шаблонів,

прогнозування та прийняття обґрунтованих рішень на основі даних, отриманих з пристроїв IoT.

Watson IoT Platform також надає можливості для віддаленого керування та моніторингу пристроїв, включаючи оновлення програмного забезпечення, зміну конфігурацій та відстеження стану пристроїв. Платформа підтримує двосторонню комунікацію, що дозволяє надсилати команди та повідомлення пристроям і отримувати підтвердження їх виконання. Також, Watson IoT Platform інтегрується з іншими хмарними сервісами IBM, такими як IBM Cloud Pak for Data та IBM Cloud Pak for Integration, що забезпечує гнучкість та масштабованість при розгортанні складних IoT-рішень.

Watson IoT Platform широко використовується в різних галузях, таких як виробництво, енергетика, транспорт, роздрібна торгівля та охорона здоров'я, завдяки своїм потужним аналітичним можливостям та інтеграції зі штучним інтелектом.

3.6 ThingWorx від PTC

ThingWorx є промисловою платформою Інтернету речей (IoT) від компанії PTC, спеціально розробленою для швидкого розгортання, масштабування та управління IoT-рішеннями [24]. Ця платформа об'єднує можливості збору даних з пристроїв, аналітики, візуалізації, машинного навчання та інтеграції з іншими корпоративними системами.

ThingWorx забезпечує безпечне підключення та керування різноманітними типами пристроїв IoT, включаючи датчики, контролери, пристрої стеження та мобільні пристрої. Для підключення використовуються стандартні протоколи зв'язку, такі як MQTT, HTTP та WebSockets, а для автентифікації застосовуються ключі доступу та сертифікати X.509 [22].

Після підключення пристроїв платформа збирає дані в масштабованій хмарній архітектурі, готовій обробляти величезні обсяги даних з мільярдів пристроїв. Зібрані дані можна візуалізувати та аналізувати за допомогою вбудованих інструментів аналітики та панелей моніторингу.

Одна з ключових особливостей ThingWorx - її потужні можливості машинного навчання та аналітики даних. Платформа дозволяє застосовувати різноманітні алгоритми та моделі машинного навчання для виявлення закономірностей, прогнозування та прийняття обґрунтованих рішень на основі даних, отриманих з пристроїв IoT. ThingWorx також забезпечує гнучку інтеграцію з існуючими корпоративними системами та додатками, такими як ERP, CRM, MES та SCADA. Це дозволяє безперешкодно обмінюватися даними та процесами між IoT-рішеннями та іншими бізнес-системами. Крім того, ThingWorx пропонує функції віддаленого керування та моніторингу підключених пристроїв, включаючи оновлення програмного забезпечення, зміну конфігурацій та відстеження стану пристроїв у режимі реального часу.

ThingWorx широко застосовується в різних промислових галузях, таких як виробництво, енергетика, транспорт, роздрібна торгівля та охорона здоров'я, завдяки своїм потужним можливостям збору даних, аналітики, машинного навчання та інтеграції з корпоративними системами [22].

3.7 Particle Cloud

Particle Cloud є хмарною платформою для IoT, зосередженою на прототипуванні, розробці та керуванні IoT-пристроями [25]. Ця платформа була створена для спрощення процесу побудови та розгортання IoT-додатків, надаючи інструменти та послуги для безпечного підключення пристроїв, збору даних, аналітики та віддаленого керування.

Particle Cloud забезпечує безпечне підключення IoT-пристроїв, використовуючи власний мережевий протокол Particle Device Cloud, який базується на MQTT і працює через надійні вбудовані брандмауери та проксі-сервери [2]. Для автентифікації пристроїв використовуються унікальні ідентифікатори пристроїв (Device ID) та ключі доступу, гарантуючи конфіденційність і цілісність даних під час передачі. Після підключення пристроїв платформа збирає та зберігає їхні дані у хмарному сховищі даних з можливістю масштабування для обробки величезних обсягів даних [4]. Ці дані можна візуалізувати та аналізувати за допомогою вбудованих інструментів аналітики та панелей моніторингу.

Однією з ключових переваг Particle Cloud є її зручність у використанні та швидкість розгортання IoT-рішень. Платформа пропонує веб-інтерфейс та інструменти для налаштування пристроїв, коду та взаємодії з даними, які значно скорочують час розробки. Particle Cloud також забезпечує можливості віддаленого керування та моніторингу пристроїв, включаючи оновлення програмного забезпечення, зміну конфігурацій та відстеження стану пристроїв [6]. Платформа підтримує двосторонню комунікацію, що дозволяє надсилати команди та повідомлення пристроям і отримувати підтвердження їх виконання.

Крім того, Particle Cloud інтегрується з різноманітними хмарними сервісами та платформами, такими як Amazon Web Services, Microsoft Azure, Google Cloud Platform та інші, забезпечуючи гнучкість та масштабованість при розгортанні складних IoT-рішень. Particle Cloud широко використовується в різних галузях для прототипування та розробки IoT-додатків, таких як розумні будинки, промислові системи моніторингу, системи відстеження активів та багато іншого.

3.8 Losant Enterprise IoT Platform

Losant - це потужна корпоративна хмарна платформа Інтернету речей, яка дозволяє компаніям швидко розробляти, впроваджувати та масштабувати рішення для підключених пристроїв [26]. Платформа забезпечує безпечне з'єднання та керування даними з мільйонів пристроїв, а також надає функції візуалізації та аналітики для отримання цінних бізнес-інсайтів.

Основні можливості Losant включають:

- візуальний конструктор додатків без коду для створення робочих процесів;
- потужна обробка потокових даних у реальному часі;
- масштабована архітектура для підтримки великих обсягів даних;
- забезпечення безпеки на всіх рівнях, включаючи автентифікацію, шифрування та спільні осередки даних;
- гнучка інтеграція з сторонніми хмарними сервісами та корпоративними системами;
- візуалізація даних за допомогою налаштовуваних інформаційних панелей;
- аналітика та машинне навчання для виявлення прихованих патернів і автоматизованих дій.

3.9 Bolt IoT Bolt Cloud

Bolt IoT Bolt Cloud є всеосяжною хмарною платформою Інтернету речей, яка забезпечує безпечне підключення, керування та моніторинг розподілених мереж пристроїв [27]. Платформа надає повний набір інструментів та функцій, необхідних для успішного впровадження та масштабування рішень IoT у різних галузях.

Платформа Bolt Cloud побудована на масштабованій та надійній хмарній архітектурі, яка забезпечує високу доступність та захист даних. Вона складається з декількох компонентів.

Хмарний шлюз забезпечує безпечне з'єднання між пристроями та хмарою, використовуючи захищені протоколи передачі даних, такі як MQTT over TLS та HTTPS.

Платформа керування пристроями дозволяє віддалено керувати підключеними пристроями, оновлювати їх прошивку та налаштування безпечним способом за допомогою бездротових оновлень (OTA).

Потокова обробка даних забезпечує потужну обробку поточкових даних у реальному часі, дозволяючи отримувати, зберігати та аналізувати великі обсяги даних від підключених пристроїв.

Візуалізація даних надає інтерактивні панелі та інструменти для візуалізації даних пристроїв, що полегшує розуміння та моніторинг їх стану та показників.

Автоматизація та обробка правил дозволяє визначати складні правила та тригери для автоматизації робочих процесів на основі даних пристроїв.

Аналітика та машинне навчання забезпечує потужні інструменти для аналізу даних, виявлення прихованих патернів та тренування моделей машинного навчання для оптимізації процесів.

Основні технічні характеристики:

- підтримка широкого спектру пристроїв IoT з різними апаратними платформами та операційними системами;
- протоколи передачі даних: MQTT, MQTT over TLS, HTTPS, CoAP;
- шифрування на транспортному рівні за допомогою TLS 1.2 та сучасних криптографічних алгоритмів, таких як AES-256;
- підтримка стандартних схем аутентифікації, таких як унікальні ідентифікатори пристроїв, користувацькі облікові дані та сертифікати x.509;

- вбудовані інтеграції з популярними хмарними сервісами, такими як Amazon Web Services, Microsoft Azure, Google Cloud Platform, а також відкритий REST API для створення власних інтеграцій;
- підтримка бібліотек для основних мов програмування, включаючи Python, C, C++, Node.js та ін.;
- архітектура, здатна масштабуватися для підтримки мільйонів підключених пристроїв та великих обсягів даних;
- інструменти для відстеження стану пристроїв, моніторингу трафіку даних та журналювання подій.

4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ

4.1 Принцип роботи

Система моніторингу рівня заповнення сміттєвих баків складається з ультразвукового датчика HC-SR04, який встановлений у верхній частині сміттєвого бака. Датчик вимірює відстань від поверхні сміття до верхньої частини бака. На основі отриманих даних визначається рівень заповнення контейнера. Зібрані дані передаються на хмарну платформу Bolt IoT Bolt Cloud через модуль WiFi Bolt v2 для відстеження та моніторингу в реальному часі. Користувачі можуть встановити порогові значення рівня заповнення відповідно до розміру сміттєвого бака. Апаратне забезпечення.

4.2 Апаратне забезпечення

Для реалізації проекту (рис. 4.3, 4.4) використовуються наступні компоненти:

- модуль Bolt WiFi v2 (рис. 4.1). Забезпечує підключення до Інтернету та передачу даних до хмарної платформи;
- ультразвуковий датчик HC-SR04. Вимірює відстань до вмісту сміття у сміттєвому баку;
- Arduino Uno (рис. 4.2). Мікроконтролер, який обробляє отримані дані та передає їх до модуля Bolt WiFi;
- з'єднувальні проводи. Використовуються для підключення компонентів до Arduino Uno.

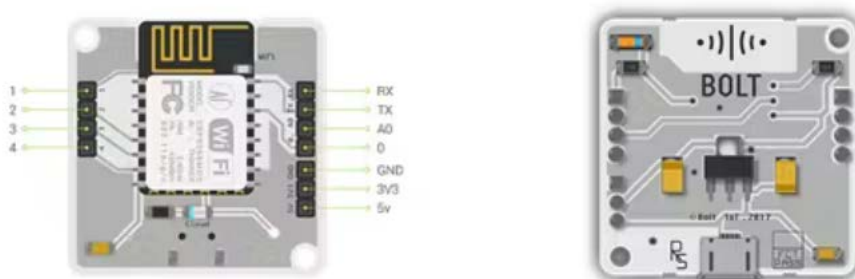


Рисунок 4.1 - Модуль Bolt WiFi v2



Рисунок 4.2 - Arduino Uno

Загальна схема проєкту моніторингу сміття подана на рис. 4.3.

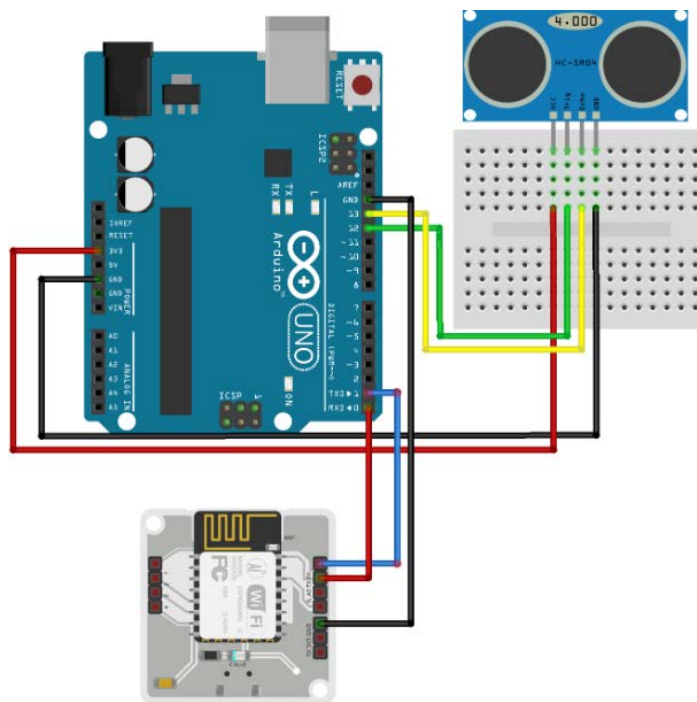


Рисунок 4.3 - Система моніторингу сміття

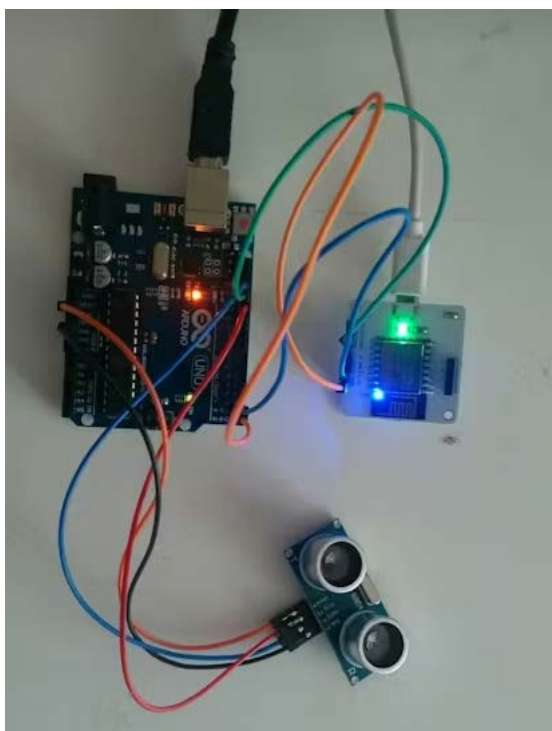


Рисунок 4.4 – Збірка проєкту

4.3 Програмне забезпечення

Для розробки програмного забезпечення використовуються такі інструменти:

- Bolt IoT Cloud - хмарна платформа для зберігання, аналізу та візуалізації даних;
- Arduino IDE - середовище розробки для написання програмного коду для мікроконтролера Arduino Uno;
- Twilio - платформа для надсилання SMS-повідомлень про стан системи.

Інтегроване середовище розробки Arduino (Arduino IDE) є крос-платформним програмним забезпеченням, написаним мовою програмування Java. Воно призначене для завантаження та програмування плат Arduino різних модифікацій.

Лістинг 4.1 – Код Arduino

```

/*
 * Ultrasonic Simple
 * Виводить відстань, зчитану ультразвуковим датчиком в
сантиметрах. Підтримуються ультразвукові датчики на чотири піни
 * (наприклад, HC-SR04) та три піни (наприклад, PING)) та
датчики від Seeed Studio).
 *
 * Схема підключення:
 * * Модуль HC-SR04 (чотири піни) або PING)) (і інші з трьома
піни), підключений до цифрових пінів наступним чином:
 * -----
 * | HC-SR04 | Arduino |      | 3 піни | Arduino |
 * -----
 * | Vcc     | 5V      |      | Vcc     | 5V      |
 * | Trig    | 12      | АБО | SIG     | 13      |
 * | Echo    | 13      |      | Gnd     | GND      |
 * | Gnd     | GND     |      | -----
 * -----
 *
 *
 * За замовчуванням, відстань, яка повертається методом
distanceRead(), вимірюється у сантиметрах.

// Підключення бібліотеки для роботи з ультразвуковим датчиком

```

```

#include <Ultrasonic.h>

// Створення об'єкту класу Ultrasonic з параметрами пінів
тригера та ехо (12 та 13 відповідно)
Ultrasonic ultrasonic(12, 13);

// Функція налаштування, яка викликається один раз при запуску
пристрою
void setup() {
    // Початок комунікації з швидкістю 9600 бод
    Serial.begin(9600);
}

// Головна функція, що викликається безперервно після setup()
void loop() {
    // Виведення відстані, зчитаної ультразвуковим датчиком, у
монітор порту зв'язку
    Serial.println(ultrasonic.distanceRead());
    // Затримка на 1000 мілісекунд (1 секунду)
    delay(1000);
}

```

Для налаштування програмного забезпечення необхідно отримати ідентифікатор пристрою Bolt та ключ API, які дозволять встановити з'єднання між платою Arduino Uno та хмарною платформою Bolt Cloud (ліст. 2).

Лістинг 4.2 – Встановлення з'єднання між платою Arduino Uno та хмарною платформою Bolt Cloud

```

from boltiot import Bolt, Sms # Імпорт класів Sms та Bolt з
бібліотеки boltiot
import json # Імпорт модуля json для роботи з форматом JSON
import time # Імпорт модуля time для роботи зі затримкою

garbage_full_limit = 5 # Ліміт, коли сміттевий бак вважається
повним (відстань між пристроєм та сміттям у см)

# API-ключ Bolt Cloud
API_KEY = "ваш API-ключ Bolt Cloud"
# Ідентифікатор вашого пристрою
DEVICE_ID = "ідентифікатор вашого пристрою"

# Облікові дані, необхідні для відправки SMS
SID = 'ваш Twilio SID'
AUTH_TOKEN = 'ваш Twilio токен автентифікації'
FROM_NUMBER = 'Номер, згенерований Twilio. Ви можете знайти його
на своєму панелі у Twilio'

```

```
TO_NUMBER = 'Ваш номер. Переконайтеся, що ви додаєте код країни на початку'
```

```
# Створення об'єкту для доступу до Bolt
mybolt = Bolt(API_KEY, DEVICE_ID)
# Створення об'єкту для відправки SMS
sms = Sms(SID, AUTH_TOKEN, TO_NUMBER, FROM_NUMBER)
# Запит на отримання даних через серійний порт від Arduino
response = mybolt.serialRead('10')
print(response)

while True:
    response = mybolt.serialRead('10') # Отримання значення з
Arduino
    data = json.loads(response)
    garbage_value = data['value'].rstrip() # Отримання значення
рівня сміття
    print("Рівень сміття:", garbage_value)
    if int(garbage_value) < garbage_full_limit: # Перевірка, чи
рівень сміття нижче ліміту
        response = sms.send_sms('Привіт! Я повний')
        time.sleep(200) # Затримка на 200 секунд
```

4.4 Налаштування підключення до Bolt Cloud

Для налаштування підключення до Bolt Cloud необхідно:

- увійти до облікового запису на платформі Bolt Cloud, використовуючи відповідні облікові дані (рис. 4.5);

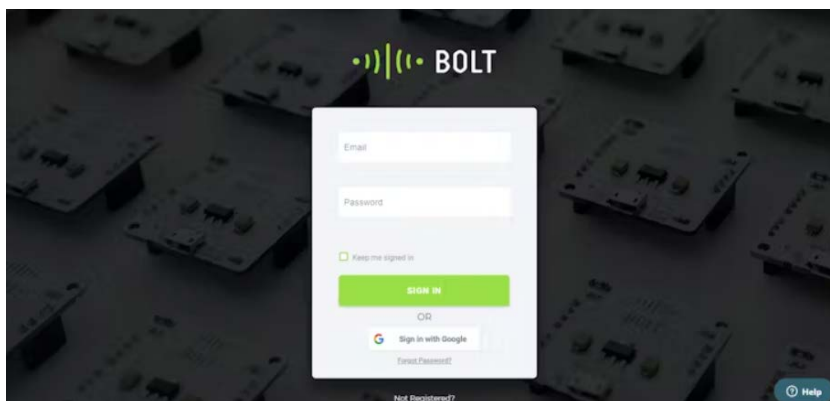


Рисунок 4.5 – Вхід до облікового запису Bolt Cloud

- після успішної автентифікації в системі Bolt Cloud, необхідно перейти до відповідного розділу або сторінки для управління пристроями (рис. 4.6);

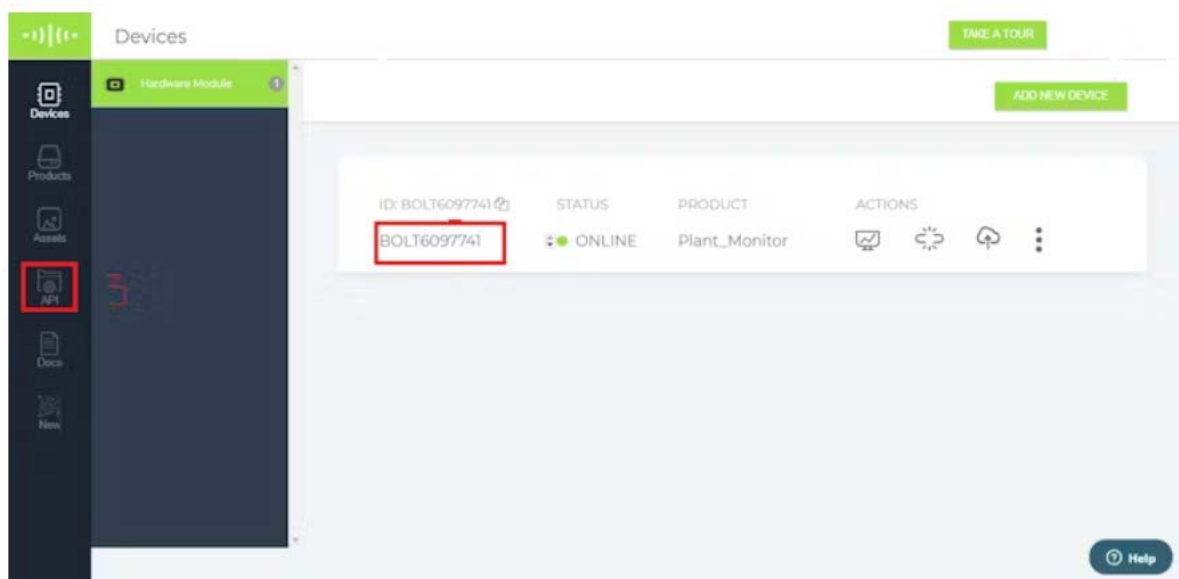


Рисунок 4.6 – Сторінка керування пристроями

- перевірити активний обліковий запис користувача на платформі Bolt Cloud. Отримати ідентифікатор пристрою (Bolt Device ID) та ключ API (API Key). Перейти до розділу для отримання ключа API (API Key) (рис. 4.7);



Рисунок 4.7 – Отримання ідентифікатору пристрою

- скопіювати значення ключа API для подальшого використання під час налаштування зв'язку між платою Arduino Uno та хмарною платформою Bolt Cloud;
- для забезпечення зв'язку між платою Arduino Uno та хмарною платформою Bolt Cloud, отриманий на попередньому кроці ключ API необхідно інтегрувати в код програми. На даному етапі не передбачається написання повного коду програми. Ключ API використовуватиметься виключно для отримання доступу до даних з хмарної платформи Bolt Cloud;
- для реалізації функції надсилання SMS-повідомлень необхідно створити обліковий запис у відповідному сервісі.

4.5 Оцінка ефективності розробленої системи

Проаналізувавши роботу системи можна виділити її переваги і недоліки.

До переваг можна віднести:

- простоту схемотехнічного рішення;
- високий рівень надійності ультразвукового датчика HC-SR04, що забезпечує точний моніторинг рівня заповнення сміттєвих контейнерів;
- низьке енергоспоживання системи;
- сприяння оптимізації планування маршрутів вивезення твердих побутових відходів;
- запобігання переповненню сміттєвих контейнерів.

Але система має і свої недоліки, до яких відносяться:

- неможливість виявлення рідких відходів;
- обмеження щодо визначення лише верхнього рівня твердих відходів у контейнері.

Зібрані дані про рівень наповнення сміттєвих баків можуть бути використані для оптимізації маршрутів вивозу сміття. Це дозволить зменшити кількість поїздок сміттєвозів та ефективніше використовувати ресурси.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження було успішно розроблено та проаналізовано систему моніторингу рівня заповнення сміттєвих баків, яка базується на використанні сучасних технологій Інтернету речей. Ключовим елементом системи є ультразвуковий датчик HC-SR04, встановлений у верхній частині сміттевого бака, який забезпечує високоточне вимірювання відстані від поверхні сміття до верхньої частини контейнера, що дозволяє прецизійно визначати рівень його заповнення.

Обґрунтований вибір апаратного забезпечення, зокрема модуля Bolt WiFi v2 для передачі даних, ультразвукового датчика HC-SR04 для вимірювання відстані та мікроконтролера Arduino Uno для обробки інформації, демонструє раціональний підхід до проектування. Простота схемотехнічного рішення у поєднанні з високою надійністю компонентів забезпечує стабільну роботу системи при низькому енергоспоживанні, що є суттєвою перевагою для автономних пристроїв.

Інтеграція з хмарною платформою Bolt IoT Bolt Cloud є ключовим фактором у забезпеченні функціоналу моніторингу в реальному часі. Ця взаємодія дозволяє ефективно передавати, зберігати та аналізувати дані про рівень заповнення сміттєвих баків, надаючи користувачам можливість оперативного доступу до інформації та гнучкого налаштування порогових значень відповідно до параметрів контейнерів.

Розроблене програмне забезпечення, що функціонує в середовищі Arduino IDE та використовує платформу Twilio для SMS-нотифікацій, забезпечує ефективну обробку та передачу даних. Такий підхід дозволяє не лише збирати інформацію, але й своєчасно інформувати відповідальних осіб про критичні стани заповнення сміттєвих баків, що сприяє оперативному реагуванню на ситуацію.

Проведена оцінка ефективності системи виявила її значні переваги, серед яких: висока точність моніторингу, енергоефективність та потенціал для оптимізації логістичних процесів вивезення твердих побутових відходів. Водночас,

ідентифіковано й певні обмеження, такі як неможливість детектування рідких відходів та визначення лише верхнього рівня твердих відходів у контейнері. Ці аспекти окреслюють напрямки для подальшого вдосконалення системи.

Впровадження розробленої системи має значний потенціал для підвищення ефективності управління відходами. Своєчасне попередження переповнення сміттєвих контейнерів та можливість оптимізації маршрутів вивезення сміття дозволять зменшити кількість непотрібних поїздок сміттєвозів. Це, в свою чергу, сприятиме більш раціональному використанню ресурсів, що матиме позитивний вплив на екологічну ситуацію та економічну ефективність процесів поводження з відходами.

У перспективі рекомендується розширити функціональні можливості системи, зокрема, для виявлення рідких відходів та більш точного визначення об'ємного заповнення контейнерів. Такі вдосконалення підвищать універсальність та ефективність системи в різноманітних умовах експлуатації, що зробить її більш адаптивною до потреб сучасного міста.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Richardson M., Wallace S. Getting Started with Raspberry Pi. Make: Projects. 2013. URL: <https://makezine.com/projects/getting-started-with-raspberry-pi/> (дата звернення: 04.05.2024).
2. Maksimović M., Vujović V., Davidović N., Milošević V., Perišić B. Raspberry Pi as Internet of Things hardware: Performances and Constraints. Design Issues. 2014. Vol. 3. URL: <http://atriainnovations.com/docs/PerisicRPI.pdf> (дата звернення: 04.05.2024).
3. Banzi M., Shiloh M. Getting Started with Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform. Maker Media, Inc., 2014. 262 p.
4. Petkov P. The IoT Garbage Solution: Internet of Things for Efficient Municipal Solid Waste Management. Journal of Computer Sciences. 2020. № 6. P. 130–136.
5. Чайковська Є. Є. Інтернет речей: огляд перспектив і проблем впровадження. Вісник Одеського національного університету імені І.І. Мечникова. 2016. Т. 21. Вип. 2. С. 188–194.
6. Патика В. П., Висоцька В. О. Інтернет речей: передумови виникнення, переваги та загрози використання. Радіoeлектроніка, інформатика, управління. 2018. № 1. С. 117–124.
7. Муртазов А. К., Луценко О. В. Системи автоматичного контролю рівня заповнення контейнерів для твердих побутових відходів. Вісник інженерної академії України. 2017. № 1. С. 72–77.
8. Яцків Я. С. Проблеми та перспективи розвитку Інтернету речей. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2019. Том 30(69), № 3. С. 164–171.
9. Смирнов С.А. Інтернет речей як основа цифрової економіки. Економіка та управління підприємством. 2019. № 7(2). С. 36–41.

10. Kumar N.M., Pragathi K.P. A Comparative Study on Ultrasonic Sensor for Distance Measurement. *International Journal of Soft Computing and Engineering*. 2019. Vol. 9, Issue 2. P. 603-606.
11. Mineraud J., Mazhelis O., Su X., Tarkoma S. A gap analysis of Internet-of-Things platforms. *Computer Communications*. 2016. Vol. 89. P. 5-16.
12. Сидоров М. О., Луцький М. Г. Хмарні платформи для побудови Інтернету речей. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 3(49). С. 124-131.
13. Zao J. K., Gan T. T., You C. K., Chung S. J., Wang Y. T., Rodríguez J., Huang Y. M. *Pervasive and mobile Computing*. Springer, 2014.
14. Chiang M., Zhang T. Fog and IoT: An overview of research opportunities. *IEEE Internet of Things Journal*. 2016. Vol. 3, No. 6. P. 854-864.
15. Xu L. D., He W., Li S. Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on industrial informatics*. 2014. Vol. 10, No. 4. P. 2233-2243.
16. Doukas C., Maglogiannis I. Bringing IoT and cloud computing towards pervasive healthcare. 2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing. 2012. P. 922-926.
17. AWS. AWS IoT Core [Електронний ресурс]. 2023. <https://aws.amazon.com/iot-core/>
18. Mineraud J., Mazhelis O., Su X., Tarkoma S. A gap analysis of Internet-of-Things platforms. *Computer Communications*. 2016. Т. 89. С. 5-16.
19. Microsoft. Azure IoT Hub Documentation [Електронний ресурс]. 2023. <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-hub/> (дата звернення 06.05.2024)
20. Microsoft. What is Azure IoT Edge? [Електронний ресурс]. 2023. <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-edge/about-iot-edge> (дата звернення 06.05.2024)
21. Google Cloud. Google Cloud IoT Core Documentation [Електронний ресурс]. 2023. <https://cloud.google.com/iot-core/docs> (дата звернення 06.05.2024)

22. Козлов Д., Казанцев К., Казанцев А., Бушуев В. Технологія захисту бездротового трафіку пристроїв Інтернету речей. Computer Science, Computer Engineering & Education. 2019. Т. 16, № 1. С. 12-26.

23. IBM. IBM Watson IoT Platform Documentation [Електронний ресурс]. 2023. <https://www.ibm.com/docs/en/watson-iot-platform> (дата звернення 06.05.2024)

24. PTC. ThingWorx Industrial Innovation Platform [Електронний ресурс]. 2023. <https://www.ptc.com/en/products/thingworx> (дата звернення 06.05.2024)

25. Particle. Particle Cloud [Електронний ресурс]. 2023. <https://www.particle.io/products/cloud> (дата звернення 06.05.2024)

26. Losant Enterprise IoT Platform [Електронний ресурс]. – <https://www.losant.com/> (дата звернення 06.05.2024)

Порівняння розумних сміттєвих баків

Характеристика	Bigbelly Solar Bins	Enevo	SmartBin	FleetLink
Тип системи	Розумні сміттєві баки з компактором	Сенсорна система для звичайних баків	Розумні сміттєві баки	Система моніторингу для різних контейнерів
Джерело енергії	Сонячні панелі	Батареї	Батареї	Батареї або провідне живлення
Компактор	Так, до 5 разів збільшує місткість	Ні	Ні	Ні
Типи відходів	Змішані, перероблювані	Будь-які	Змішані, перероблювані	Різні типи (сміття, рідкі відходи, тощо)
Моніторинг заповненості	Так	Так	Так	Так
Зв'язок	GPRS, 3G/4G	GPRS, 3G/4G, NB-IoT	GPRS, 3G/4G	GPRS, 3G/4G, супутниковий
Оптимізація маршрутів	Так	Так	Так	Так
Аналітика даних	Так	Так, детальна	Так	Так, для різних типів контейнерів
ІоТ платформа	CLEAN Management Console	Enevo ONe	SmartBin Live	FleetLink
Прогнозування	Так	Так, на основі AI	Так	Так
Сповіщення	Email, SMS, через консоль	Email, SMS, через платформу	Email, SMS, через платформу	Email, SMS, через платформу
Цільовий ринок	Міські простори, кампуси	Міста, оператори відходів	Міста, бізнес	Оператори відходів, промисловість
Особливості	Саможивлення, компактування	Адаптивність до різних баків	Потужна аналітика	Універсальність для різних контейнерів

					13.02070849.51007 ПЛ1							
					Розробка ІоТ-системи визначення наповнення сміттєвих баків Порівняння розумних сміттєвих баків							
										Лист.	Маса	Масшт.
										Лист 1	Листів 1	
Зам.	Лист.	№ докум.	Нідп.	Дата								
Розроб.		Козлик С.С.										
Перев.		Грушко С.С.										
Т.контр.												
Н.контр.		Щербак Н.В.										
Затв.		Кудерметов Р.К.										

Порівняльна характеристика мікроконтролерів

Характеристика	Raspberry Pi (4B)	ESP8266	ESP32	PIC (16F877A)	Arduino (платформа)	Arduino Uno
Тип	Одноплатний комп'ютер	Wi-Fi SoC	Wi-Fi/BT SoC	Мікроконтролер	Платформа мікроконтролерів	Мікроконтролерна плата
Процесор	1.5 GHz Quad-Core ARM Cortex-A72	80 MHz Tensilica L106	Dual-Core 240 MHz Tensilica Xtensa LX6	20 MHz RISC	Різні AVR, ARM	16 MHz ATmega328P
ОЗП	1-8 GB LPDDR4	160 KB	520 KB	368 bytes	Залежить від моделі	2 KB SRAM
Флеш-пам'ять	Залежить від SD карти	До 4 MB	До 16 MB	До 8 KB	Залежить від моделі	32 KB
GPIO	40 пінів	17 пінів	38 пінів	33 піни	Залежить від моделі	14 digital, 6 analog
Wi-Fi	802.11ac (2.4/5 GHz)	802.11 b/g/n (2.4 GHz)	802.11 b/g/n (2.4 GHz)	Через модуль	Через модуль	Через модуль
Bluetooth	BT 5.0, BLE	Hi	BT 4.2, BLE	Hi	Через модуль	Через модуль
USB	2 x USB 3.0, 2 x USB 2.0	Hi	Hi	Hi	Залежить від моделі	1 x USB-B
Ethernet	Gigabit Ethernet	Hi	Так (в деяких моделях)	Через модуль	Через модуль	Через модуль
ОС	Linux (Raspbian, Ubuntu, etc.)	RTOS або без ОС	FreeRTOS або без ОС	Без ОС	Без ОС	Без ОС
Мова програмування	Python, C++, Java, etc.	C++, Lua, MicroPython	C++, MicroPython	C, Assembly	C++, Processing	C++
IDE	Visual Studio, PyCharm, etc.	Arduino IDE, PlatformIO	Arduino IDE, ESP-IDF	MPLAB X IDE	Arduino IDE	Arduino IDE
Ціна (прибл.)	\$35-75	\$2-5	\$3-10	\$5-10	\$10-50	\$20-25
Споживання енергії	3-15W	0.5-1W	0.5-1.5W	< 0.1W	Залежить від моделі	< 0.1W
Розміри	88 x 58 x 19.5 mm	24.8 x 14.3 x 3 mm	25.5 x 18 x 3 mm	35 x 18 mm	Залежить від моделі	68.6 x 53.4 mm
Застосування	ІоТ шлюзи, ПК, медіа-сервери	ІоТ пристрої, Wi-Fi модулі	ІоТ, носимі пристрої	Промислова автоматизація	Прототипування, освіта	Навчання, прості проекти
Особливості	Повноцінний ПК, HDMI	Дешевий Wi-Fi	Wi-Fi + BT, багато GPIO	Надійність, низьке споживання	Простота, сумісність	Популярність, підтримка

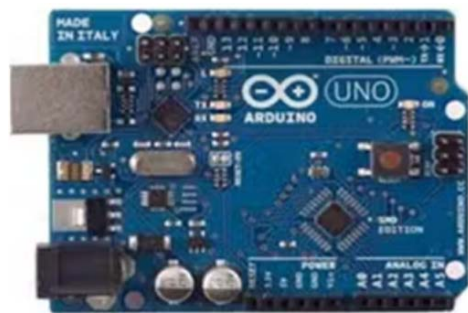
					13.02070849.51007 ПЛ2							
					Розробка ІоТ-системи визначення наповнення сміттєвих баків Порівняльна характеристика мікроконтролерів							
										Лист.	Маса	Масшт.
										Лист 1	Листів 1	
Зам.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата								
Розроб.		Козлик С.С.										
Перев.		Грушко С.С.										
Т.контр.												
Н.контр.		Щербак Н.В.										
Затв.		Кудерметов Р.К.										

НУ «Запорізька політехніка»
КНТ-510

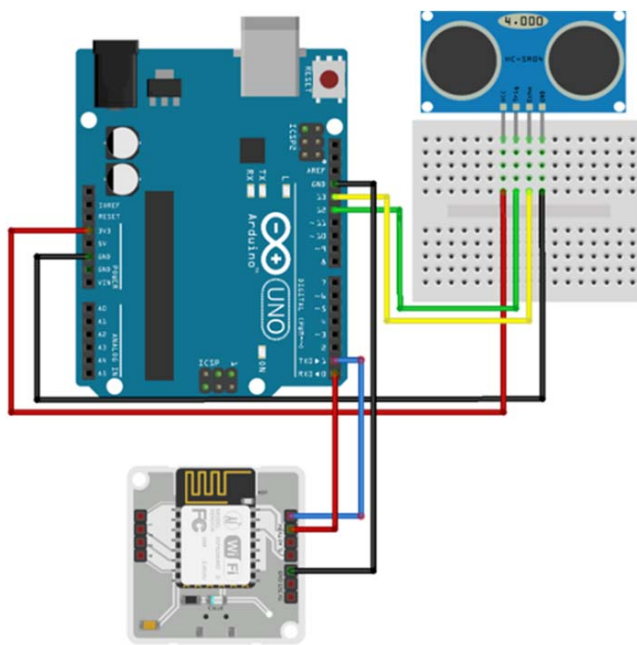
Апаратна реалізація проєкту



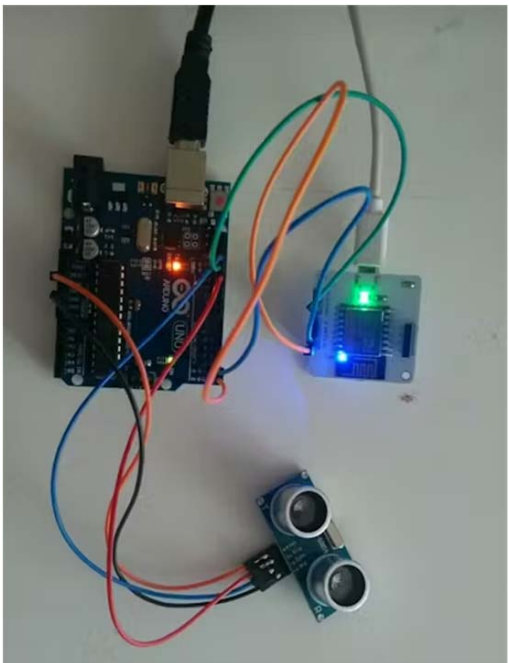
Модуль Bolt WiFi v2



Arduino Uno



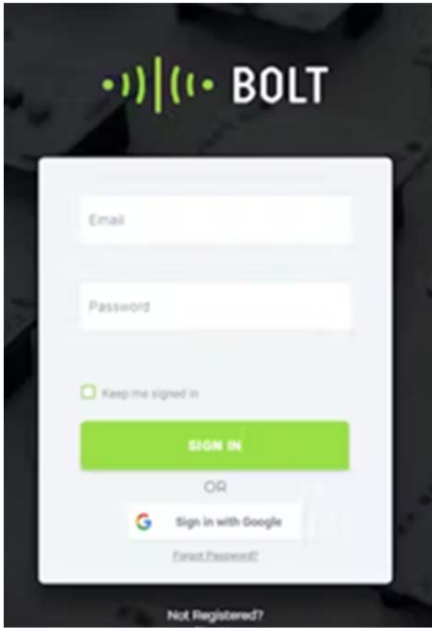
Система моніторингу сміття



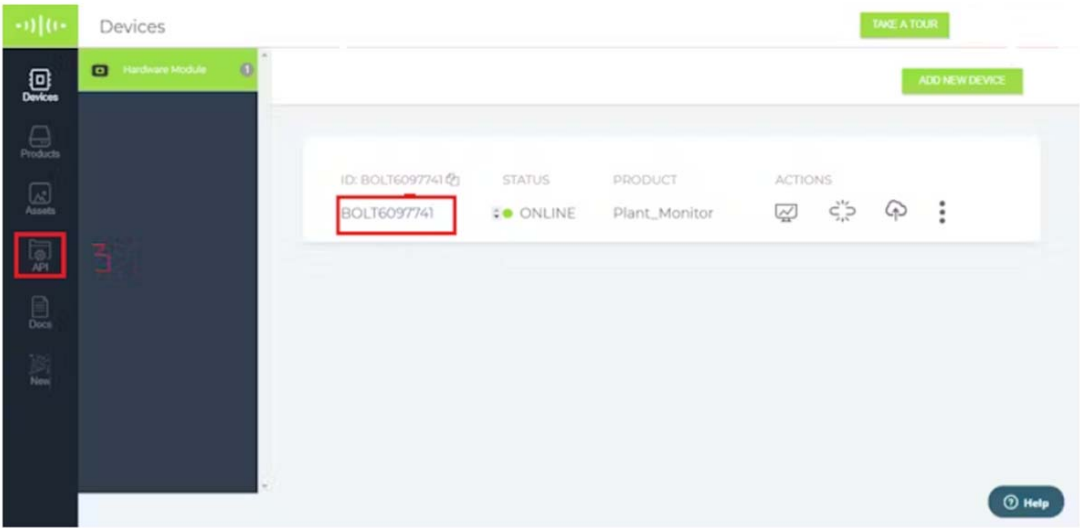
Збірка проєкту

					13.02070849.51007 ПЛЗ					
					Розробка IoT-системи визначення наповнення сміттєвих баків Апаратна реалізація проєкту	Лист.		Маса		Масшт.
Зам.	Лист.	№ докум.	Нідп.	Дата						
Розроб.		Козлик С.С.	Коз							
Перев.		Грушко С.С.	С.Гр							
Т.контр.										
						Лист 1		Листів 1		
Н.контр.		Щербак Н.В.	Щ			НУ «Запорізька політехніка»				
Затв.		Кудерметов Р.К.	Куд			КНТ-510				

Налаштування роботи системи



Вхід до облікового запису Bolt Cloud



Сторінка керування пристроями



Отримання ідентифікатору пристрою

					13.02070849.51007 ПЛ4											
					Розробка IoT-системи визначення наповнення сміттєвих баків Налаштування роботи системи						Лист.		Маса		Масшт.	
Зам.	Лист.	№ докум.	Нідп.	Дата												
Розроб.		Козлик С.С.	Коз													
Перев.		Грушко С.С.	С.Грушко													
Т.контр.																
Н.контр.		Щербак Н.В.	Щербак		НУ «Запорізька політехніка» КНТ-510											
Затв.		Кудерметов Р.К.	Р.К. Кудерметов													