

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

(повне найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**УЛЬТРАЗВУКОВА СИГНАЛІЗАЦІЯ НА БАЗІ
МІКРОКОНТРОЛЕРА ARDUINO UNO**

**ULTRASONIC ALARM BASED ON ARDUINO UNO
MICROCONTROLLER**

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи КІс-21
Збирун Андрій Петрович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Гринюк Сергій Васильович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
« 10 » червня 2025 р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Лавренчук Світлана Василівна

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 12 Інформаційні технології

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. Тарас ТЕРЛЕЦЬКИЙ

« 10 » 01 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Збируну Андрію Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Ультразвукова сигналізація на базі мікроконтролера Arduino Uno

Керівник роботи к.т.н., доц. Гринюк Сергій Васильович

затвержені наказом закладу вищої освіти від «04» січня 2025 року № 11/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 10.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи джерелом розробки є науково-технічна література та публікації в періодичних виданнях з даного питання, опубліковані зарубіжні та вітчизняні роботи в даній області та різні інтернет-ресурси технічного спрямування.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ

Побудова ультразвукової сигналізації на базі плати Arduino Uno

Аналіз існуючих систем сигналізації

Розробка ультразвукової сигналізації на базі Arduino Uno

Тестування власного рішення

Висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Існуючі рішення сигналізації з датчиками

Загальна схема

Схема підключення датчиків

Схема готового продукту

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Аналіз існуючих систем сигналізації</i>	<i>Гринюк С.В., доцент</i>		
<i>Розробка ультразвукової сигналізації на базі Arduino Uno</i>	<i>Гринюк С.В., доцент</i>		
<i>Тестування власного рішення</i>	<i>Гринюк С.В., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Багнюк Н.В., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Лавренчук С.В., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>		_____%	
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Міскевич О.І., ст. викладач</i>		

7. Дата видачі завдання 10.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми, аналіз предметної області та наявних рішень</i>	до 08.02.2025 р.	Виконано
2.	<i>Аналіз існуючих систем сигналізації та розробка ультразвукової сигналізації на базі Arduino Uno</i>	до 06.03.2025 р.	Виконано
3.	<i>Тестування власного рішення</i>	до 02.04.2025 р.	Виконано
4.	<i>Висновки та пропозиції</i>	до 08.04.2025 р.	Виконано
5.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	до 18.04.2025 р.	Виконано
6.	<i>Формування додатків</i>	до 03.05.2025 р.	Виконано
7.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	до 12.05.2025 р.	Виконано
8.	<i>Представлення остаточного варіанту кваліфікаційної роботи керівникові</i>	до 15.05.2025 р.	Виконано
9.	<i>Нормоконтроль</i>	до 30.05.2025 р.	Виконано
10.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	до 03.06.2025 р.	Виконано
11.	<i>Здача кваліфікаційної роботи та всіх супровідних документів на кафедрі</i>	до 10.06.2025 р.	Виконано

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Збирун А.П.

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Гринюк С.В.

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Збирун А.П. Ультразвукова сигналізація на базі мікроконтролера Arduino Uno. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку використаних джерел, додатків.

Перший розділ присвячено аналізу існуючих охоронних систем сигналізації, зокрема охоплює сучасні підходи до побудови систем безпеки, принципи роботи ультразвукових датчиків, а також порівняльний аналіз різних типів датчиків, що використовуються в таких системах.

В другому розділі зосереджено увагу на безпосередній розробці ультразвукової сигналізації на основі мікроконтролера Arduino Uno. Виконано вибір відповідних апаратних компонентів, наведено принципову електричну схему системи та описано алгоритм її функціонування. Такий підхід дозволяє сформуванню структуроване та логічне бачення апаратної й програмної реалізації розробленої сигналізації.

Третій розділ присвячено тестуванню запропонованої системи сигналізації, включаючи використання середовища Arduino IDE для програмування, написання скетчу, обробку вхідних даних з ультразвукового сенсора та реалізацію логіки керування сигналізацією. Крім того, розглядається процес фізичного збирання пристрою, перевірки його працездатності та налагодження функціональних компонентів з метою забезпечення стабільної та ефективної роботи охоронної системи.

Ключові слова: система сигналізації, ультразвуковий датчик, Arduino Uno, безпека, охоронна система, мікроконтролер, сенсор, Arduino IDE.

ANNOTATION

Zbyrun A. Ultrasonic alarm based on Arduino Uno microcontroller. Manuscript. Bachelor's qualification work of the EP «Computer Engineering» specialty 123 Computer Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions, a list of sources used, and appendices.

The first chapter is dedicated to the analysis of existing alarm security systems, specifically covering modern approaches to building security systems, the principles of operation of ultrasonic sensors, as well as a comparative analysis of different types of sensors used in such systems.

The second chapter focuses on the direct development of ultrasonic alarm based on the Arduino Uno microcontroller. The selection of appropriate hardware components is made, a schematic electrical diagram of the system is provided, and the algorithm of its operation is described. Such an approach allows for a structured and logical vision of the hardware and software implementation of the developed alarm system.

The third chapter is dedicated to testing the proposed alarm system, including the use of the Arduino IDE environment for programming, writing sketches, processing input data from the ultrasonic sensor, and implementing the control logic of the alarm. Additionally, the process of physically assembling the device, checking its functionality, and troubleshooting the functional components to ensure the stable and effective operation of the security system is discussed.

Keywords: alarm system, ultrasonic sensor, Arduino Uno, security, security system, microcontroller, sensor, Arduino IDE.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ СИГНАЛІЗАЦІЇ	6
1.1 Огляд сучасних охоронних систем	6
1.2 Принципи роботи ультразвукових датчиків у систем безпеки	14
1.3 Порівняння сигналізацій на основі різних типів датчиків.....	18
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ НА БАЗІ ARDUINO UNO	22
2.1 Вибір компонентів системи	22
2.2 Принципова схема сигналізації	30
2.3 Опис алгоритму роботи системи	33
РОЗДІЛ 3 ТЕСТУВАННЯ ВЛАСНОГО РІШЕННЯ СИГНАЛІЗАЦІЇ	36
3.1 Огляд середовища програмування Arduino IDE	36
3.2 Написання скетчу для роботи сигналізації	38
3.3 Обробка даних з ультразвукового датчика та управління сигналізацією..	43
3.4 Збірка пристрою та налагодження	46
ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТКИ.....	60

ВСТУП

Зростання населення, урбанізація та економічний розвиток спричинили підвищену потребу в ефективних системах безпеки. Людський фактор у спостереженні за об'єктами нерідко призводить до помилок, зловживань і навіть крадіжок, що ставить під сумнів надійність традиційних охоронних рішень. У зв'язку з цим виникає потреба в автоматизованих системах виявлення руху, які дозволяють здійснювати запис і дистанційний моніторинг. Такі рішення дозволяють зменшити вплив людського фактора, підвищити надійність та забезпечити зручний контроль. Ультразвукові датчики, камери та веб-інтерфейси є основними складовими подібних систем, що робить їх розробку актуальною задачею.

Метою роботи є розробка ультразвукової сигналізації на базі мікроконтролера Arduino Uno з можливістю відслідковування показників відстані через веб-сайт та передачею зображень з камери до Телеграм-чату.

Об'єкт дослідження – розробка власного рішення сигналізації на базі Arduino Uno.

Предмет дослідження – дослідження методів розробки ультразвукових сигналізацій.

Завдання, які необхідно виконати:

- проаналізувати існуючі системи сигналізації, що базуються на мікроконтролерах;
- спроектувати ультразвукову сигналізацію на основі мікроконтролера Arduino Uno;
- реалізувати алгоритм обробки даних з ультразвукових сенсорів;
- розробити механізм надсилання сповіщень користувачеві через Телеграм за допомогою HTTP-запитів для оперативного отримання зображень;
- створити веб-сервер на Arduino, який забезпечує моніторинг відстаней, зафіксованих датчиками;

– виготовити та протестувати працездатну систему, здатну ефективно функціонувати як автономний охоронний пристрій або бути інтегрованою в комплексну систему безпеки.

Апробація: практична значимість основних результатів дослідження підтверджена на Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Програмне та апаратне забезпечення в інформаційних технологіях» (6 травня 2025 р., м. Луцьк).

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ СИГНАЛІЗАЦІЇ

1.1 Огляд сучасних охоронних систем

Система домашньої безпеки – це мережа підключеного обладнання – датчиків, моніторів, камер – які спільно працюють для захисту вашого будинку. Усі пристрої системи створені для того, щоб повідомляти вам про проблему – пожежу, повінь, злом – тож ви можете вирішити цю проблему самостійно або звернувшись до служби екстреної допомоги [1].

Інший спосіб визначення системи домашньої безпеки полягає в розмові про її різні компоненти. Найпоширеніше обладнання включає:

- датчики під'їзду;
- датчики руху;
- камери спостереження;
- відео дзвінки;
- розумні детектори диму.

На рисунку 1.1 зображено бездротовий магнітний сенсор Vivint, призначений для виявлення відкриття або закриття дверей і вікон, який миттєво сповіщає систему охоронної сигналізації про зміну стану.



Рисунок 1.1 – Датчик дверей і вікон Vivint [2]

Датчики дверей і вікон, що є невід’ємною частиною систем домашньої безпеки, виконують основну функцію захисту оселі, активуючи звуковий сигнал у разі відкриття дверей або вікон за умови увімкненої сигналізації, що не лише відлякує потенційних зловмисників, але й своєчасно попереджає власника будинку про будь-яке порушення безпеки [2]. Колись датчики входу доводилося прикручувати до дверей і вікон, і ви все ще можете знайти це з деякими встановленими системами безпеки. Системи «зроби сам» набувають все більшої популярності, і вони зазвичай пропонують легку установку за допомогою клею або липучки, яку можна зробити самостійно, без інструментів.

Детектор руху Cove (рис. 1.2) є бездротовим інфрачервоним сенсором, що призначений для виявлення руху в приміщеннях, який інтегрується з охоронною системою Cove та забезпечує надійний захист без хибних спрацювань.



Рисунок 1.2 – Детектор руху Cove [2]

Датчики для під’їзду існують з 19 століття, і з тих пір вони не зазнали значного розвитку. Немає потреби винаходити колесо, якщо воно працює, і навіть сьогодні датчики під’їзду ефективні. Тим не менш, старі системи використовували датчики під’їзду, підключені до блока керування в підвалі, тоді як більшість сучасних датчиків зараз бездротові. Це означає, що вони можуть

надсилати сигнали тривоги, не проводячи та не свердлячи нічого, що полегшує установку своїми руками [3].

Датчики руху, як зрозуміло з їхньої назви, призначені для постійного виявлення руху, зокрема підозрілих або незвичних переміщень, які можуть вказувати на загрозу. При виявленні руху вони активують мобільні сповіщення, сирени, а в разі використання професійної служби моніторингу – викликають екстрені служби, забезпечуючи додатковий рівень захисту до датчиків входу [4].

Існує багато різних типів датчиків руху, але найчастіше для домашньої безпеки використовуються пасивні інфрачервоні датчики (PIR). Це тому, що вони найбільш стійкі до помилкових тривог. Датчики руху PIR спрацьовують лише тоді, коли об'єкт, що рухається, випромінює тепло тіла, наприклад люди та домашні тварини. Потім ви можете налаштувати чутливість – нижча чутливість означає, що об'єкт, що рухається, потребуватиме більшої температури тіла, щоб спрацював датчик. По суті, так ви отримуєте датчики руху, стійкі до домашніх тварин [5].

Датчики руху PIR виявляють рух за допомогою інфрачервоного виявлення тепла, але для того, щоб це було ефективним, датчик має бути розміщено ефективно. Вони мають бути щонайменше 1,5 метри над землею, а об'єкт у зоні, яку він контролює, має рухатися через поле, а не до нього. Це означає, що його краще розташувати в кутку кімнати, а не в кінці коридору. На щастя, датчики руху бездротові та живляться від батареї, тому ви можете вільно розміщувати їх там, де вони можуть бути найбільш ефективними [6].

Як і датчики входу, детектори руху можуть підключатися до широкого спектра іншого охоронного обладнання та розумних пристроїв. Наприклад, детектор руху можна підключити до прожектора, щоб рух ініціював його ввімкнення. Насправді багато камер безпеки зараз мають вбудовані датчики руху PIR, тому що вони більш надійні, коли йдеться про активацію камер для запису подій руху.

Деякі камери безпеки використовують інший тип виявлення руху, який називається комп'ютерним баченням (CV). Вони виявляють рух, дивлячись на

мінливі пікселі. Вони поєднують це з алгоритмом виявлення людини та іноді розпізнаванням обличчя, щоб виявляти лише рух людини. Проте, на нашу думку, найнадійнішими камерами з датчиками руху є ті, які використовують датчик руху PIR у поєднанні з виявленням людини. Ми не можемо заперечувати, що сповіщення про те, хто знаходиться біля наших дверей за допомогою розпізнавання обличчя, є чудовою функцією.

На рисунку 1.3 зображено високоякісний пристрій відеоспостереження, що забезпечує чітке зображення у форматі 2К або 4К, має функції повороту та нахилу, кольорове нічне бачення, локальне збереження записів без необхідності підписки на хмарні сервіси, а також підтримує інтеграцію з розумними домашніми системами для ефективного моніторингу безпеки.



Рисунок 1.3 – Камера Lorex [2]

Датчики входу та руху повідомляють вам, якщо хтось порушує ваш периметр. Однак якщо ви хочете бачити, що відбувається у вашому домі та навколо нього, вам потрібні камери відеоспостереження. Деякі камери записують безперервно. Інші підключаються до датчиків руху та вмикаються щоразу, коли вони спрацьовують. Деякі камери надсилають записи до професійних центрів моніторингу. Інші надсилають вам кадри. І хоча деякі надають лише зображення в реальному часі, інші записують те, що вони бачать, щоб ви могли переглянути,

що сталося постфактум. Варто зазначити, що для стримування злочинця інколи достатньо лише наявності камери [7].

Сучасні камери пропонують безперервний запис або запис, активований рухом. У будь-якому випадку вони можуть надсилати сповіщення в реальному часі або записувати відео для відтворення. Таким чином ви дізнаєтесь, чи це хлопець, який роздає піцу у ваших дверей, чи пірат підкрадається, щоб вихопити пакунки. Вони мають різноманітні функції, від повороту та нахилу до розпізнавання обличчя. Ви повинні очікувати як мінімум якості зображення HD, мобільного доступу, включаючи можливості потокової трансляції, і двостороннього голосового зв'язку. Якщо ви хочете уникнути помилкових тривог, вам потрібні такі розширені функції, як виявлення людей і можливість налаштувати користувацькі зони виявлення [8].

Багато камер інтегруються з існуючими платформами домашньої автоматизації, такими як Nest, HomeKit тощо. Ви можете налаштувати свої камери за різними правилами, наприклад налаштувати їх на запис, коли ваші діти повертаються зі школи.

На рисунку 1.4 зображено відеокамеру на вхід, яка інтегрована з системою домашньої автоматизації та автоматично активується для запису в момент відкриття вхідних дверей або у визначений час, забезпечуючи додатковий рівень безпеки та контролю за подіями у вашому домі.



Рисунок 1.4 – Відеокамера на вхід [2]

Спеціалізована форма камер безпеки, як відеодзвінки зазвичай встановлюються біля входних дверей. Там вони служать першою лінією захисту, допомагаючи захистити ваш дім від грабіжників. Більшість сучасних дверних дзвінків дають змогу не лише бачити гостя на вашому порозі, а й спілкуватися з ним. Це означає, що ви можете вітати друзів і відвідувачів незалежно від того, перебуваєте ви вдома чи відпочиваєте на пляжі з кимось на іншому кінці світу. Вони особливо чудові для того, щоб переконати потенційних злодіїв, що ви вдома, навіть коли вас немає [9].

Відеодзвінки для дверей легко встановлюються самостійно, замінюючи звичайний дверний дзвінок. Вони оснащені компактною камерою, яка записує відео або робить фото. У базовій версії ви можете переглядати зображення через мобільний додаток, щоб стежити за тим, що відбувається у вашому домі та навколо нього. Деякі моделі дозволяють записувати відео, яке можна передати поліції. І, звісно, пристрій виконує функцію звичайного дверного дзвінка [10].

Сучасні камери дверних дзвінків дозволяють керувати та переглядати відео через мобільний додаток, а також забезпечують HD-якість зображення, хмарне зберігання, нічне бачення і двосторонній аудіозв'язок.

Подібно до домашніх камер безпеки, деякі дверні відеокамери можна інтегрувати в екосистеми домашньої автоматизації для більш зручного керування [11]. Домашня автоматизація оптимізує повсякденні завдання, щоб зробити наше життя простішим і ефективнішим. Системи безпеки з елементами керування розумним будинком дозволяють дистанційно керувати системою за допомогою розумної платформи. Серед інших переваг це дає вам голосове керування системою. Крім того, ви можете підключити свою систему безпеки до інших інтелектуальних пристроїв, таких як освітлення, термостати, гаражні двері та навіть кавоварка, щоб ваша безпека була інтегрована у решту вашого життя [12].

Системи автоматизації розумного будинку дозволяють керувати пристроями за допомогою мобільних команд (через смартфон або планшет), голосових команд (наприклад, через віртуальних помічників, таких як Google Assistant чи Apple Siri) або комбінації обох методів. Користувач задає правила, за

якими розумний будинок автоматично виконує певні дії залежно від умов, подій чи команд.

Системи розумного будинку підтримують широкий спектр функцій – від базових команд, таких як увімкнення лампи для читання, до складних рішень, як от системи спостереження на основі штучного інтелекту. Користувач може налаштувати рівень автоматизації відповідно до своїх потреб, обираючи потрібні пристрої та сценарії для забезпечення комфорту, безпеки чи енергоефективності.

Багато платформ можуть підтримувати буквально сотні розумних пристроїв. Це означає, що користувачі можуть налаштовувати свої системи на свій смак. Більшість концентраторів працюють із пристроями, які використовують Z-Wave, Zigbee, IFTTT тощо. Багато з них також працюють з голосовими помічниками, такими як Alexa та Google Assistant, щоб забезпечити голосове керування без використання рук.

Розумні сповіщувачі CO/диму Vivint (рис. 1.5) автоматично виявляють дим або чадний газ у приміщенні та надсилають миттєві сповіщення на смартфон користувача, одночасно активуючи систему безпеки для швидкого реагування.



Рисунок 1.5 – Розумні сповіщувачі диму Vivint [2]

Чадний газ може бути не менш небезпечним, ніж пожежа, тому ніколи не буде поганою ідеєю встановити детектор чадного газу, щоб убезпечити вашу родину. Як і інше обладнання для домашньої безпеки, ці пристрої видають сигнал тривоги та надсилають сповіщення в режимі реального часу на ваш мобільний пристрій, тому ви будете захищені незалежно від того, перебуваєте ви вдома чи не вдома.

Детектори чадного газу, подібно до розумних детекторів диму, поставляються попередньо налаштованими та готовими до використання одразу після розпакування. Для їхньої активації достатньо підключити пристрій до живлення або вставити батареї та виконати прості інструкції з налаштування через спеціальний мобільний додаток-супутник, який зазвичай має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. При виявленні чадного газу – небезпечної речовини, що не має запаху чи кольору, – пристрій миттєво надсилає сповіщення на смартфон, а також може активувати звукову сирену для попередження всіх, хто перебуває в приміщенні. Багато сучасних моделей є комбінованими, тобто здатні одночасно виявляти як чадний газ, так і дим, забезпечуючи комплексний захист від потенційних загроз.

Одним із ключових аспектів роботи детекторів чадного газу та іншого обладнання безпеки є тривалий термін служби батареї, що забезпечує надійне функціонування пристрою навіть у разі відключення електроенергії або тривалого використання без заміни елементів живлення. Сучасні моделі часто оснащені енергоефективними технологіями, які дозволяють батареї працювати протягом кількох років, а деякі пристрої надсилають сповіщення про низький заряд через мобільний додаток, щоб користувач міг вчасно замінити батарею.

Розумні детектори чадного газу (CO) легко інтегруються із системами домашньої автоматизації, дозволяючи керувати всіма підключеними пристроями через єдину зручну інформаційну панель у мобільному додатку. Така інтеграція забезпечує централізований доступ до сповіщень, налаштувань і стану детекторів, а також можливість їхньої взаємодії з іншими розумними

пристроями, наприклад, для автоматичного вмикання вентиляції чи надсилання сигналу екстреним службам у разі виявлення небезпеки [13].

1.2 Принципи роботи ультразвукових датчиків у систем безпеки

Ультразвукові датчики – це пристрої, які перетворюють ультразвукові сигнали на інші форми енергії, зазвичай електричні сигнали. Ультразвук являє собою механічні хвилі з частотою вібрації вище 20 кГц, що перевищує межу людського слуху. Він характеризується високою частотою, короткою довжиною хвилі та низькою дифракцією, що забезпечує високу спрямованість і можливість поширення у вигляді вузьких променів. Ультразвукові хвилі ефективно проникають через рідини та тверді тіла, особливо через непрозорі для світла матеріали, що робить їх незамінними для багатьох застосувань. При взаємодії з домішками, межами розділу чи рухомими об'єктами ультразвук формує відбиття (ехо) або створює ефект Доплера, що дозволяє виявляти об'єкти та вимірювати їхній рух. Завдяки цим властивостям ультразвукові датчики широко застосовуються в промисловості, оборонних технологіях, біомедицині, автомобільній індустрії та інших сферах.

Датчик – це пристрій виявлення, який може сприймати інформацію, що вимірюється, і може перетворювати отриману інформацію в електричні сигнали або іншу інформацію відповідно до певних правил. Виведення інформації у формі вимагається для задоволення вимог передачі інформації, обробки, зберігання, відображення, запису та контролю. Це основна ланка для реалізації автоматичного виявлення та автоматичного керування.

Ультразвукові зонди в основному складаються з п'єзоелектричних пластин, які можуть передавати та приймати ультразвукові хвилі. Серцевиною ультразвукового датчика є п'єзоелектричний чіп у пластиковій або металевій оболонці. Для виготовлення пластини може бути багато видів матеріалів. Основними матеріалами ультразвукових датчиків є п'єзоелектричний кристал

(електрострикція) і сплав нікель-залізо-алюміній (магнітострикція). Електрострикційні матеріали включають цирконат титанат свинцю (PZT) тощо.

Ультразвуковий датчик, заснований на п'єзоелектричному кристалі, є реверсивним пристроєм. Він здатний перетворювати електричну енергію на механічні коливання для генерації ультразвукових хвиль (режим передавача) або, навпаки, перетворювати отримані ультразвукові хвилі на електричну енергію (режим приймача). Деякі ультразвукові датчики можуть працювати як у режимі передачі, так і в режимі прийому. Датчик зазвичай складається з таких компонентів:

- передавач (генератор ультразвукових хвиль);
- приймач (детектор ультразвукових хвиль);
- блок керування;
- джерело живлення.

Передавач включає п'єзоелектричний керамічний вібратор і перетворювач. Керамічний вібратор генерує механічні коливання під дією електричного сигналу, а перетворювач спрямовує ці коливання у вигляді ультразвукових хвиль у повітря.

Приймач також містить п'єзоелектричний керамічний вібратор і підсилювальні схеми. Він вловлює ультразвукові хвилі, які викликають механічні коливання вібратора. Ці коливання перетворюються на електричний сигнал, який підсилюється і використовується для аналізу отриманих даних.

Блок керування відповідає за регулювання частоти імпульсів, робочого циклу, модуляції сигналу, а також за обчислення відстані до об'єкта на основі часу проходження ультразвукової хвилі від передавача до приймача. Контрольна частина в основному контролює частоту ланцюга імпульсів, робочий цикл, розріджену модуляцію та підрахунок, а також відстань виявлення, яку надсилає передавач.

Ультразвук – це різновид механічних коливань у пружному середовищі, які мають дві форми: поперечні коливання і поздовжні коливання. Поздовжні коливання в основному використовуються в промислових цілях. Ультразвукові

хвилі можуть поширюватися в газах, рідинах і твердих тілах, і їх швидкість поширення різна. Крім того, він також має явища заломлення та відбиття, а також ослаблення під час поширення [14].

Закони розповсюдження ультразвукових хвиль у середовищі відбивання, заломлення, дифракції і розсіювання істотно не відрізняються від законів чутних звукових хвиль. Порівняно зі звуковими хвилями, які можна почути, ультразвукові хвилі мають багато специфічних характеристик: характеристики розповсюдження – дифракційна здатність ультразвукових хвиль дуже низька. Він може поширюватися прямолінійно в однорідному середовищі [15].

Чим коротша довжина хвилі ультразвуку, тим помітніша ця характеристика. Коли звук поширюється в повітрі, він штовхає частинки в повітрі, коли вони вібрують вперед і назад, виконуючи роботу над частинками. За однакової інтенсивності, чим вища частота звукової хвилі, тим більша її потужність. Через високу частоту ультразвукових хвиль їх потужність дуже велика в порівнянні зі звичайними звуковими хвилями [16].

Коли ультразвукові хвилі поширюються в рідині, через сильну вібрацію частинок рідини в рідині утворюються невеликі порожнини. Ці маленькі порожнини швидко розширюються та закриваються, спричиняючи сильні зіткнення між частинками рідини, що призводить до тиску від тисяч до десятків тисяч атмосфер.

Ця бурхлива взаємодія між частинками призведе до раптового підвищення температури рідини, так що дві рідини, які не змішуються, емульгують, прискорюють розчинення розчинених речовин і сприяють активізації хімічних реакцій. Різноманітні ефекти, викликані дією ультразвукових хвиль на рідину, називають ультразвуковою кавітацією.

На рисунку 1.6 зображено моделі ультразвукових датчиків, які використовуються в системах безпеки для виявлення руху або визначення відстані до об'єкта за допомогою високочастотних звукових хвиль.



Рисунок 1.6 – Моделі датчиків [17]

Коли ультразвукова хвиля поширюється, спрямованість сильна, і енергію легко сконцентрувати. Ультразвук може поширюватися в різних середовищах і передаватися на досить велику відстань. Взаємодія між ультразвуком і середовищем передачі звуку помірне, що дозволяє легко передавати інформацію про стан середовища передачі звуку, зокрема для діагностики або визначення характеристик середовища.

У попередніх промислових революціях сенсорна технологія завжди відігравала важливу роль як піонер. Це ключова технологія, яка проходить через різні технології та сфери застосування.

З удосконаленням сенсорної технології сенсор перетвориться з суто функції судження на функцію навчання та, зрештою, на творчість. Дивлячись у майбутнє в новому столітті, як новий тип дуже важливого та корисного інструменту, ультразвуковий датчик матиме багато можливостей для розвитку в усіх аспектах, і він розвиватиметься в напрямку більш високого позиціонування та високої точності. У задоволенні соціальних потреб, що постійно розвиваються, датчики з новим виглядом відіграватимуть більшу роль.

1.3 Порівняння сигналізацій на основі різних типів датчиків

Іонізаційні сповіщувачі диму широко використовуються в промислових, комерційних і торговельних будівлях, але їхнє розміщення потребує ретельного планування для забезпечення максимальної ефективності. Оптимальними місцями для встановлення є:

- стелі великих приміщень;
- сходові клітки та коридори;
- подалі від вентиляційних отворів.

Іонізаційні сповіщувачі диму функціонують завдяки іонізаційній камері, яка складається з двох заряджених металевих пластин, між якими містяться іонізовані молекули повітря. Ці молекули забезпечують безперервний потік електричного струму між пластинами. Коли частинки диму потрапляють у камеру, вони порушують іонізацію, що призводить до зниження рівня напруги. Якщо напруга падає нижче встановленого порогу, спрацьовує звукова тривога. Іонізаційні сповіщувачі є економічними, ефективними та здатними виявляти пожежу на ранніх стадіях, ще до того, як дим стане густим, що робить їх цінним інструментом для забезпечення безпеки.

Променеві сповіщувачі використовують інфрачервону технологію для виявлення диму у великих відкритих приміщеннях, таких як склади, аудиторії чи фабрики. Система складається з трансивера, який проектує інфрачервоний промінь, та рефлектора, розташованого на протилежному боці приміщення. Якщо частинки диму переривають промінь, сигнал послаблюється, що викликає спрацювання тривоги. Променеві сповіщувачі особливо ефективні там, де традиційні димові сповіщувачі не забезпечують достатнього покриття.

Оптичні променеві сповіщувачі диму ефективно виявляють великі частки, що утворюються під час тління або повільного горіння, наприклад, при пожежах в офісах чи коморах із великою кількістю паперу. Вони особливо підходять для великих приміщень, де інші типи димових сповіщувачів можуть бути менш

ефективними. Рекомендованими місця для встановлення є приміщення з високими стелями, великі відкриті простори та важкодоступні зони.

Для ефективної роботи детектор з оптичним променем повинен мати чітку лінію видимості без перешкод і відповідну відстань між детектором і рефлектором (якщо детектор відбитого типу). Конкретна відстань залежить від моделі, тому перед установкою детектора необхідно ознайомитись з інструкціями виробника. Також слід уникати встановлення детекторів оптичного променя поблизу джерел сильного світла, які можуть заважати роботі детектора.

Оптичні чи фотоелектричні детектори працюють, використовуючи лазер малої потужності або промінь білого світла разом із лінзою детектування. Один із підходів полягає в тому, щоб увімкнути тривогу, коли дим стане достатньо густим, щоб заблокувати промінь. Однак цей підхід зазвичай не є достатньо чутливим. Тому більшість пристроїв замість цього функціонують, виявляючи світло, яке заломлюється під прямим кутом до основного променя через наявність частинок диму.

Теплові сигналізатори або теплові сповіщувачі зазвичай розгортаються в середовищах, де зазвичай присутні пил, дим, пара або дим, і тому можуть викликати помилкові сигнали тривоги з датчиками диму. Теплові сповіщувачі ідеально підходять для таких середовищ, як комерційні кухні та підприємства з виробництва харчових продуктів, де дим або нормальний рівень тепла можуть викликати помилкові тривоги.

Ці сповіщувачі відстежують швидкість підвищення температури та вмикають тривогу при перевищенні заданого порогу. Це гарантує, що лише значне підвищення температури, яке вказує на пожежу, запускає систему, зменшуючи ймовірність помилкових тривог. Ці сигналізації забезпечують хороший рівень протипожежного захисту в таких сферах застосування:

- комерційні кухні та зони приготування їжі;
- котельні та комерційні пральні;
- гаражі та майстерні;
- місця з високим рівнем пилу.

Для ефективної роботи теплові сигналізатори слід розміщувати подалі від вікон, вентиляторів або вентиляційних отворів, де протяги можуть затримати виявлення тепла, і більшість сповіщувачів не підходять для встановлення в неопалюваних приміщеннях або приміщеннях, де температура може опускатися нижче точки замерзання, оскільки це може вплинути на роботу та точність пристрою.

Теплові сповіщувачі реагують на зміни температури, а не на рівні диму, і можуть спрацьовувати, коли температури перевищують фіксований поріг, або реагують на раптове збільшення швидкості зміни температури. Кожна сигналізація охоплює лише невелику територію, тому для охоплення більших просторів може знадобитися кілька.

Комбіновані оптичні сигналізатори диму та тепла. Чудові комбіновані пристрої безпеки для виявлення повільних, тліючих пожеж і швидкого підвищення температури. Вони поєднують переваги двох типів детекторів: оптичного виявлення диму та теплового реагування на зростання температури.

Детектори диму є найбільш визнаним типом системи виявлення пожежі, вони необхідні для раннього виявлення пожежі. Вони діляться на три основні категорії:

Іонізаційні сповіщувачі диму: ці сповіщувачі особливо ефективні для виявлення пожеж, що швидко спалахують. Однак вони можуть не забезпечити належного попередження про тліючі пожежі, які розвиваються повільніше.

Фотоелектричні детектори диму: ці сповіщувачі використовують джерело світла та датчик у камері. Коли всередину потрапляє дим, він розсіює світло на датчик, викликаючи сигналізацію. Вони краще реагують на тліючі пожежі, ніж іонізаційні детектори.

Димові сповіщувачі з подвійним датчиком: для оптимального захисту сповіщувачі з подвійним датчиком поєднують іонізаційні та фотоелектричні технології, завдяки чому вони здатні виявляти як інтенсивну, так і тліючу пожежу.

Для забезпечення максимальної безпеки комбіновані сигналізації слід розміщувати в центральних зонах приміщення, у приміщеннях із великою

кількістю електрообладнання, таких як диспетчерські, конференц-зали, серверні та офіси, для швидкого виявлення електричних пожеж, що супроводжуються димом і теплом, а також у коридорах, які слугують основними шляхами евакуації, щоб зменшити ризики під час евакуаційних заходів.

PIR-датчики широко використовуються в охоронних системах будинків, офісів, складів і банків, а також для автоматичного вмикання світла в коридорах, під'їздах, гаражах тощо. Найбільш ефективними місцями для їх встановлення є:

- куточки кімнат (для охоплення максимальної площі);
- над дверними прорізами або вікнами;
- подалі від джерел тепла (обігрівачів, батарей, прямих сонячних променів).

PIR-датчики реагують на інфрачервоне випромінювання, яке природно випромінюють живі об'єкти, зокрема люди та тварини. У середині датчика є піросенсор, який фіксує зміну теплової енергії в зоні контролю. Якщо в полі зору сенсора з'являється тіло з температурою, відмінною від фону, – сигнал фіксується, і запускається тривога або інша запрограмована дія.

Мікрохвильові датчики часто використовуються у великих приміщеннях, на виробництві, в офісах із перегородками, у банках, складах, або в поєднанні з іншими датчиками (наприклад, PIR) для точнішого виявлення руху. Ефективні місця встановлення:

- приміщення з великою кількістю перешкод (стіни, меблі);
- зони, де PIR може давати хибні спрацювання (наприклад, через теплові коливання);
- підвісні стелі або технічні ніші.

Мікрохвильові датчики працюють за принципом ефекту Доплера. Вони випромінюють високочастотні електромагнітні хвилі та вловлюють їхнє відбиття від об'єктів. Якщо об'єкт рухається – змінюється частота відбитої хвилі. Ця зміна реєструється як рух, що активує сигнал тривоги. Мікрохвильові сенсори дуже чутливі, здатні виявляти рух через стіни чи скло, тому їх потрібно точно налаштовувати, щоб уникати помилкових спрацювань.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ НА БАЗІ ARDUINO UNO

2.1 Вибір компонентів системи

Arduino Uno – це мікроконтролерна плата з відкритим вихідним кодом на базі мікроконтролера Microchip ATmega328P, розроблена компанією Arduino [18]. Плата оснащена наборами цифрових та аналогових пінів, які можуть бути підключені до різних плат розширення (щитів) та інших схем. Плата має 14 цифрових виводів вводу/виводу (шість з яких здатні виводити ШІМ), 6 аналогових виводів вводу/виводу, а також спеціальні виводи для програмування, які можна підключати до різних плат розширення та інших схем.

Він може живитися через USB-кабель, що забезпечує зручне підключення до комп'ютера або іншого джерела живлення з напругою 5 В. Альтернативно, плата може працювати від зовнішньої батареї з напругою 9 В, підключеної через спеціальний роз'єм, або від інших джерел живлення з діапазоном напруги від 7 до 20 В. Хороший приклад мікроконтролера Arduino Uno показаний на рисунку 2.1.

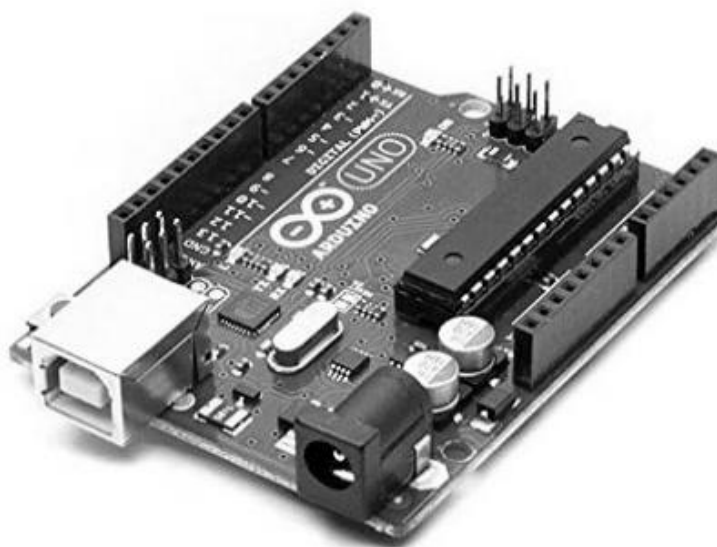


Рисунок 2.1 – Плата Arduino Uno [19]

Слово «Uno» в перекладі з італійської означає «один» і було обрано для позначення початкового випуску програмного забезпечення Arduino. Плата Uno є першою в серії плат Arduino на базі USB. Вона та версія 1.0 Arduino IDE були еталонними версіями Arduino, які зараз еволюціонували до новіших версій.

ATmega328 на платі поставляється з попередньо запрограмованим завантажувачем, який дозволяє завантажувати новий код до неї без використання зовнішнього апаратного програматора. Хоча Uno спілкується за оригінальним протоколом STK500, він відрізняється від усіх попередніх плат тим, що не використовує мікросхему FTDI USB-послідовного драйвера. Замість цього використовується Atmega16U2 (Atmega8U2 до версії R2), запрограмована як перетворювач USB в послідовний інтерфейс.

Мікроконтролер Arduino Uno є повним набором, що містить пам'ять і послідовні порти вводу/виводу, які використовуються для взаємодії з іншими пристроями, такими як РК-дисплей, світлодіоди, зумер та багато інших [19]. Після того, як програма створена на комп'ютері, вона переноситься на мікросхему Arduino за допомогою USB-кабелю. До нього підключається схема, яка буде взаємодіяти з мікроконтролером [20]. Arduino Uno в схемі керує всіма функціями підключених пристроїв і змушує їх працювати відповідно до програми

Він підтримує широкий спектр апаратних модулів і шилдів, які дозволяють додавати нові функції без значних змін у базовій конструкції. Наприклад, крім Sensor Shield V5, використаної в роботі, існують шилди для Ethernet, GSM, GPS, або навіть сенсорні екрани, що можуть розширити функціонал сигналізації, додавши, наприклад, віддалений доступ через мобільні мережі чи локальний дисплей для відображення статусу системи.

Arduino Uno R4 Wi-Fi (рис. 2.2), який вирізняється серед інших версій Arduino завдяки вбудованому модулю Wi-Fi, базованому на чіпі ESP32-S3. Цей модуль забезпечує стабільне бездротове з'єднання, що є важливим для нормальної роботи веб-сервера, який відображає дані з ультразвукових датчиків у реальному часі, а також для інтеграції з модулем ESP32-CAM, що відповідає за

фотофіксацію та передачу зображень через Телеграм. На відміну від класичної версії Arduino Uno, яка не має вбудованого Wi-Fi і потребує додаткових модулів, таких як ESP8266 або Ethernet Shield, Arduino Uno R4 Wi-Fi пропонує компактне та енергоефективне рішення, що зменшує складність апаратної частини та знижує загальну собівартість системи [21].

Крім того, порівняно з іншими платами, наприклад, Arduino Mega чи Nano, версія R4 Wi-Fi має значно вищу обчислювальну потужність завдяки 32-бітному процесору ARM Cortex-M4 і обсяг пам'яті для обробки даних із шести ультразвукових датчиків, керування сервоприводом і підтримки веб-інтерфейсу, що робить її оптимальним вибором для даного проєкту.

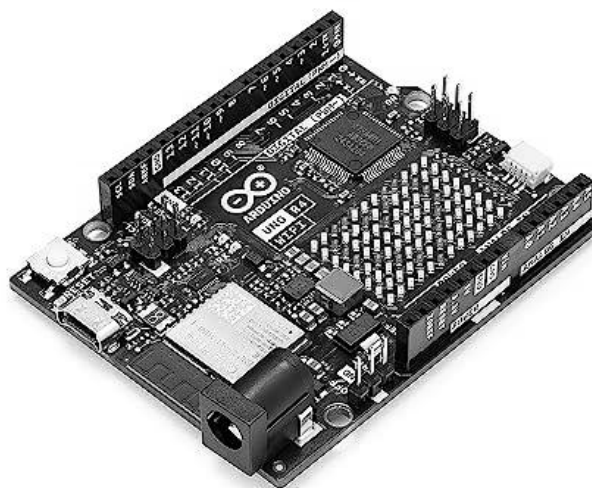


Рисунок 2.2 – Плата Arduino Uno R4 Wi-Fi [21]

Ультразвуковий датчик HC-SR04, як показано на рисунку 2.3, використовує СОНАР для визначення відстані до об'єкта, як це роблять кажани. Він забезпечує чудове безконтактне визначення дальності з високою точністю і стабільними показаннями в зручному для використання корпусі від 2 см до 400 см. На роботу приладу не впливає сонячне світло або чорний матеріал, хоча акустично м'які матеріали, такі як тканина, важко виявити. Він поставляється в комплекті з ультразвуковим модулем передавача і приймача.



Рисунок 2.3 – Ультразвуковий датчик для генерації ультразвукових хвиль при виявленні руху [22]

Ультразвуковий датчик використовує відбиття звуку для отримання часу між відправленою та отриманою хвилею. Зазвичай він посилає хвилю на передавальний термінал і приймає відбиті хвилі. Отриманий час використовується разом з нормальною швидкістю звуку в повітрі для визначення відстані між датчиком і перешкодою. Ультразвуковий датчик є оптимальним варіантом для визначення відстані до об'єкта [22].

На відміну від інфрачервоних (IR) датчиків, які покладаються на відбиття світла і можуть бути чутливими до рівня освітлення або кольору поверхні об'єкта, ультразвуковий метод не залежить від оптичних властивостей. Він ефективно функціонує в умовах повної темряви, яскравого світла або при змінах освітлення (наприклад, увімкнення або вимкнення ламп у приміщенні). У контексті сигналізації це критично, оскільки система може нормально працювати в будь-який час доби без втрати точності.

Сервопривід SG90 (рис. 2.4) – це невеликий доступний серводвигун, який зазвичай використовується в робототехніці, проєктах DIY та освітніх програмах [23]. Він легкий і недорогий з пластиковими шестернями для застосувань, де потрібен мінімальний крутний момент. Існують також сервоприводи, такі як MG90S, які є більш міцними з металевими шестернями для підвищення міцності та довговічності.



Рисунок 2.4 – Сервопривід SG90 [23]

Сервопривід SG90, що застосовується в ультразвуковій сигналізації, керується сигналом широтно-імпульсної модуляції, де тривалість імпульсу визначає кут повороту вала в межах від 0 до 180 градусів. Цей механізм дозволяє точно позиціонувати камеру ESP32-CAM для фотофіксації об'єктів, виявлених ультразвуковими датчиками.

ESP32-CAM (рис. 2.5) – це дуже компактний модуль камери, оснащений чіпом ESP32-S, який коштує приблизно 10 доларів. Окрім камери OV2640 і кількох GPIO для підключення периферійних пристроїв, він також має слот для картки microSD, який може бути корисним для зберігання зображень, зроблених камерою[24].

ESP32-CAM можна широко використовувати в різних додатках IoT, придатних для домашніх інтелектуальних пристроїв, промислового бездротового керування, бездротового моніторингу, бездротової ідентифікації QR, сигналів бездротової системи позиціонування та інших додатків IoT. Це ідеальне рішення для додатків IoT.

Модуль підтримує як Wi-Fi, так і Bluetooth, що дозволяє забезпечити гнучкий зв'язок у різних умовах. Крім того, завдяки вбудованій камері та можливості обробки зображень, ESP32-CAM ідеально підходить для створення систем відеоспостереження, розпізнавання облич або віддаленого моніторингу.

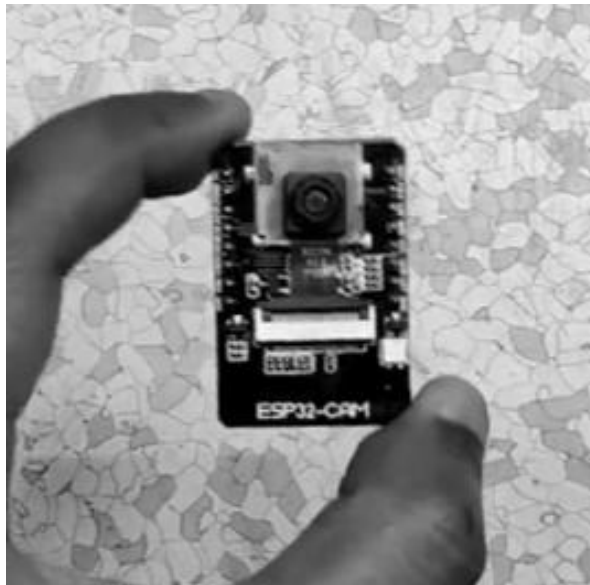


Рисунок 2.5 – Модуль EPS32-CAM [24]

Плата розширення Arduino Sensor Shield V5 (рис. 2.6) є важливим компонентом для розширення функціональності плати Arduino Uno. Її основна мета – значно спростити та пришвидшити процес розробки проєктів завдяки зручному розташуванню пінів, що дозволяє легко підключати різні сенсори та виконавчі пристрої [25].

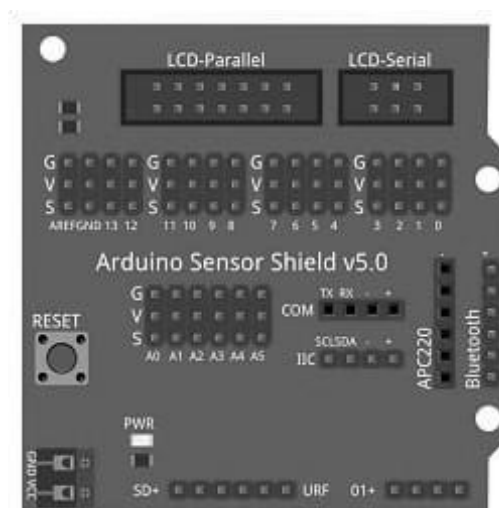


Рисунок 2.6 – Плата розширення Arduino [25]

Окрім цього, плата розширення надає значно більшу кількість пінів для підключення периферійних модулів, що дає можливість створювати системи

різної складності – від простих сенсорних систем до більш комплексних автоматизованих рішень. Вона також забезпечує зручність у роботі з аналоговими та цифровими пристроями, що робить її ідеальним вибором для проєктів у галузі робототехніки, IoT і автоматизації.

Модуль з динаміком KY-006 (рис. 2.7) сумісний з Arduino. Це не пищалка, а динамік, для якого потрібно не просто подати напругу живлення, щоб він запищав, а потрібно подати послідовність імпульсів з необхідною частотою звуку, що випромінюється. Такі модулі зазвичай працюють у діапазоні частот від 1,5 кГц до 2,5 кГц, що дозволяє генерувати різноманітні тони залежно від вхідного сигналу, наприклад, за допомогою ШІМ (PWM) або затримок. Для керування звуком використовуються цифрові піни Arduino.

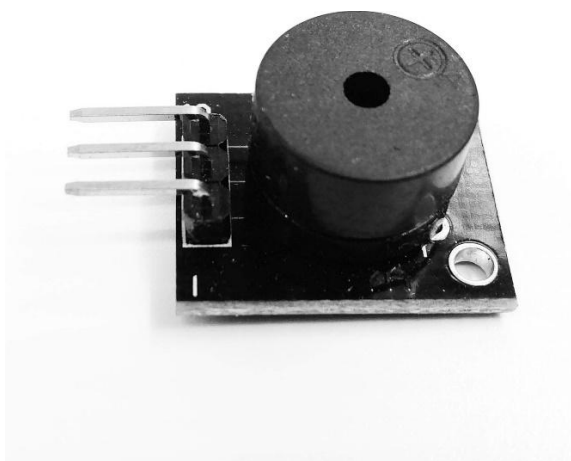


Рисунок 2.7 – Модуль з динаміком KY-006 [26]

Плати Arduino бувають різних форм і розмірів, кожна зі своїми унікальними функціями та можливостями. До найпопулярніших плат належать Uno, Mega, Nano, Mega 2560 Pro, Pro Mini тощо, кожна з яких має свій унікальний набір специфікацій, що підходить для різних програм.

Більшість плат Arduino мають схожі інтерфейси та використовують спільне середовище програмування, що забезпечує хорошу взаємозамінність. Це дозволяє легко переносити код між різними моделями відповідно до вимог конкретного проєкту. Крім того, спільнота Arduino активно підтримує

розробників, надаючи безліч бібліотек та прикладів, що значно спрощує процес програмування.

Для наочності, порівняння характеристик основних моделей плат Arduino представлено в таблиці 2.1, що дозволяє детальніше ознайомитися з різницями в їхніх можливостях і специфікаціях.

Таблиця 2.1 – Порівняння мікроконтролерів

Плата	Процесор	Цифрові контакти введення/виведення	Аналогові входи
Arduino Uno	ATmega328P	14	6
Arduino Mega	ATmega2560	54	16
Arduino Nano	ATmega328P	20	8

Плати Arduino можна використовувати в різноманітних програмах, таких як робототехніка, домашня автоматизація та пристрої IoT. Їх також можна комбінувати з іншими електронними компонентами, такими як датчики та двигуни, для створення складних систем і проєктів.

Загалом Arduino – це універсальна та доступна платформа, яка пропонує надійне середовище розробки для розробників усіх рівнів. Його природа з відкритим кодом і сильна підтримка спільноти роблять його чудовим вибором для широкого кола проєктів.

Arduino підтримує величезну кількість бібліотек та прикладів, що значно полегшує процес розробки навіть для початківців. Однак, для більш складних і специфічних застосувань, таких як промислові або високопродуктивні системи, можуть бути необхідні інші мікроконтролери, які мають вищу потужність, більше пінів або кращу підтримку реального часу.

Для таких випадків можуть бути використані платформи, як ESP32 чи Raspberry Pi, які надають додаткові можливості, зокрема більш швидку обробку даних.

Вибір між Arduino та іншими варіантами мікроконтролерів залежить від вимог конкретного проєкту та бажаної продуктивності системи. Важливо враховувати особливості кожної платформи та її можливості. В таблиці 2.2 наведено основні характеристики альтернативних мікроконтролерів.

Таблиця 2.2 – Порівняння інших мікроконтролерів

Мікроконтролер	Особливості	Додатки
Raspberry Pi	більше обчислювальної потужності, вбудований Wi-Fi і Bluetooth, виділений графічний процесор	медіацентри, домашня автоматизація, ігри, робототехніка
ESP32	вбудований Wi-Fi і Bluetooth, низьке енергоспоживання, двоядерний процесор	Інтернет речей (IoT), домашня автоматизація, переносні пристрої, робототехніка
BeagleBone Black	більше контактів вводу/виводу, вбудований Ethernet, вихід HDMI, спеціальні PRU для обробки в реальному часі	промислова автоматизація, робототехніка, реєстрація даних, мультимедійні програми

Кожен із цих мікроконтролерів має свої унікальні функції та рекомендовані додатки. Важливо врахувати вимоги вашого проєкту та вибрати мікроконтролер, який найкраще відповідає вашим потребам.

Якщо ви новачок у роботі з мікроконтролерами, Arduino – чудове місце для початка через його зручність для початківців і величезні ресурси онлайн-спільноти. Однак, якщо ви більш досвідчений або маєте конкретні вимоги до проєкту, можливо, варто вивчити ці інші варіанти мікроконтролерів.

2.2 Принципова схема сигналізації

Схема проєкту на основі Arduino Uno наведена на рисунку 2.8. Як було зазначено раніше, мікроконтролер AVR ATmega328 (IC1) є серцем схеми. Він супроводжується іншими компонентами, такими як ультразвукові модулі HC-SR04, п'єзозумер (PZ1), камера ESP32-CAM тощо.

Ультразвукові модулі з'єднуються з мікроконтролером шляхом з'єднання контактів тригера та відлуння з цифровими пінами Arduino через Sensor Shield V5. Модуль HC-SR04 використовується для визначення відстані до перешкоди і використовує для цього ехолот. Він забезпечує точне виявлення дальності в діапазоні від 2 до 400 см. Той факт, що він забезпечує точні та стабільні показання, робить його більш придатним для використання.

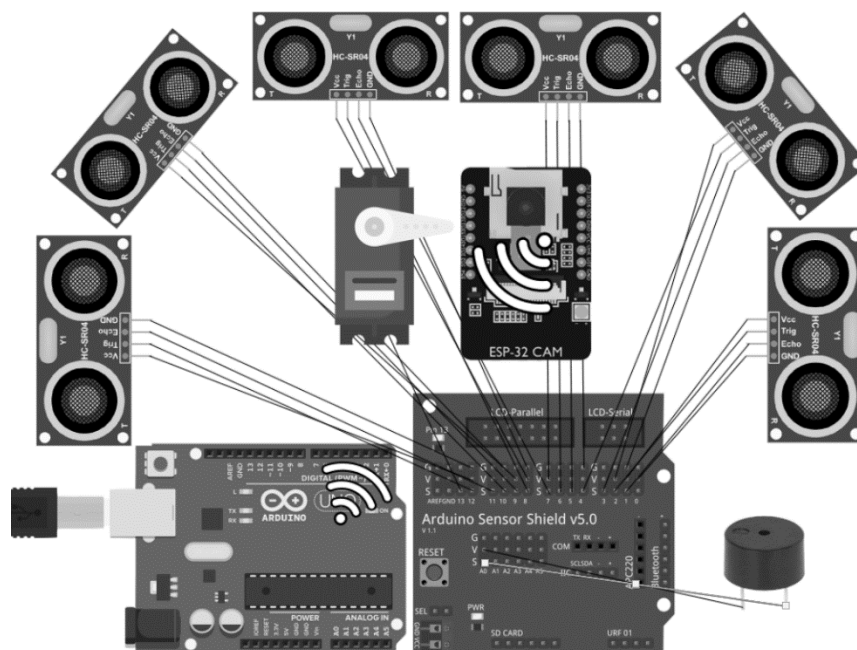


Рисунок 2.8 – Схема сигналізації

Коли модуль отримує «високий» імпульс протягом періоду понад 10 мкс, лише тоді можна розрахувати відстань. Це перевіряє наявність перешкоди і запускає модуль, щоб надіслати вісім циклів ультразвукового вибуху на 40 кГц, а потім пристрій чекає, доки не буде отримано відбитий ультразвуковий сигнал. Як тільки це станеться, луна-контакт модуля встановлюється на високий рівень. Період очікування відбитого імпульсу повністю залежить від відстані, на якій знаходиться перешкода.

П'єзозумер в разі виявлення руху, подає звуковий сигнал, який сигналізує про потенційну загрозу. Активізація звукового сигналу відбувається при отриманні відповідного сигналу від ультразвукових модулів.

Сервопривід, який використовується в системі сигналізації, є ключовим компонентом для реалізації повороту камери ESP32-CAM під потрібним кутом. Рух активується при спрацюванні одного з ультразвукових модулів HC-SR04. Завдяки цьому камера може бути спрямована на джерело руху.

Камера ESP32-CAM, інтегрована в систему сигналізації, виконує функцію фіксації та передачі зображень у Телеграм застосунок по безпроводному зв'язку за допомогою технологію Wi-Fi. Вона оснащена модулем OV2640 з роздільною

здатністю до 2 мегапікселів, що забезпечує якісне зображення для ідентифікації об'єктів.

ESP32-CAM підтримує протоколи Wi-Fi 802.11 b/g/n, що дозволяє передавати дані на швидкості до 150 Мбіт/с у діапазоні 2,4 ГГц, забезпечуючи стабільне з'єднання на відстані до 20-30 метрів у приміщенні.

Камера може працювати в режимі точки доступу (AP) або підключатися до існуючої мережі (STA), що робить її універсальною для різних сценаріїв використання. Для передачі зображень використовуються HTTP або FTP-протоколи, що дозволяє інтегрувати її наприклад з веб-сервером.

Лістинг 2.1 ілюструє підключення елементів до плати Arduino та містить базову ініціалізацію системи сигналізації.

Лістинг 2.1 – Ініціалізація компонентів

```
const int trigPins[] = {2, 4, 6, 8,10, 12};
const int echoPins[] = {1, 3, 5, 7,9, 11};
const int servoPin = 13;
const int numSensors = 6;
const int sound = A0;
long distances[numSensors];
// IP-адреса ESP32-CAM
const char* esp32camIP = "192.168.43.173";
```

кінець лістингу 2.1

Масиви `trigPins` та `echoPins` визначають цифрові піни плати Arduino, які відповідають за керування ультразвуковими датчиками HC-SR04. Кожен датчик використовує пару пінів: один для ініціації вимірювання шляхом генерації імпульсів, а інший – для отримання сигналів відбитих хвиль.

Змінна `servoPin` відповідає за пін, який керує сервоприводом, завдяки чому камера автоматично повертається у напрямку виявленого руху. Для звукового сповіщення використовується аналоговий пін, що активує п'єзозумер.

Масив `distances` зберігає результати вимірювань відстаней, отримані від датчиків, що дозволяє системі аналізувати стан навколишнього середовища в

режимі реального часу. IP-адреса модуля ESP32-CAM, яка встановлюється динамічно, забезпечує бездротовий зв'язок для передачі зображень.

Кількість датчиків обрана з урахуванням необхідності охоплення ключових зон, що підвищує ефективність виявлення руху. Підключення реалізовано через спеціальний шилд, який спрощує комутацію та мінімізує технічні помилки.

2.3 Опис алгоритму роботи системи

Система працює наступним чином: коли один із ультразвукових датчиків HC-SR04 фіксує рух, тобто об'єкт з'являється на встановленій відстані, вона автоматично активується. Ультразвукові датчики функціонують за принципом ехолокації: вони генерують імпульс на частоті 40 кГц, який відбивається від об'єкта і повертається до датчика. Час, за який імпульс повертається, вимірюється, а відстань розраховується за формулою

Серводвигун, на якому закріплена камера, повертається на заданий кут відповідно до того, який саме датчик зафіксував рух. Це дозволяє спрямувати камеру точно в напрямку потенційної загрози для отримання чіткого зображення об'єкта.

Комунікація між Arduino Uno R4 Wi-Fi та ESP32-CAM здійснюється через Wi-Fi за допомогою HTTP-запитів, де Arduino виступає як веб-сервер, а камера як клієнт, який надсилає зображення.

Сервопривід керується через бібліотеку Servo.h, яка генерує ШІМ-сигнали на піні для точного позиціонування камери

Після спрацьовування датчика камера робить фото виявленого об'єкта. Це зображення через HTTP-запити надсилається в особисте повідомлення користувача в месенджері Телеграм, що забезпечує миттєве сповіщення про підозрілу активність. Таким чином, власник системи безпеки може оперативно отримати візуальну інформацію про обстановку в зоні спостереження.

Окрім цього, система містить веб-сервер, реалізований на Arduino Uno R4 Wi-Fi. Він дозволяє користувачеві в реальному часі переглядати дані з усіх

ультразвукових датчиків. Веб-інтерфейс відображає відстань до об'єктів у вигляді інтерактивної панелі, де кожен датчик має свій окремий блок. Колір блоків змінюється в залежності від зафіксованої відстані: зелений колір означає, що зона чиста, жовтий сигналізує про об'єкт на середній відстані, а червоний вказує на критичне наближення до датчика (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Оновлення показників відстані на сайті

Для зручності система реалізована так, що інформація оновлюється динамічно кожні 500 мс, завдяки чому користувач отримує актуальні показники без потреби перезавантаження сторінки. Також, при натисканні на певний блок, можна вручну змінити положення камери, направляючи її у вибраний сектор.

Таким чином, ця система не тільки контролює навколишній простір, але й надає можливість переглядати всі показники в режимі реального часу, а також автоматично повідомляє про небезпечні ситуації, надсилаючи фото виявленого об'єкта через Телеграм. Нижче наведено графічну ілюстрацію алгоритму, яка відображає послідовність дій системи при виявленні руху (рис. 2.10).

На етапі ініціалізації мікроконтролер налаштовує цифрові піни для шести ультразвукових датчиків HC-SR04 (TRIG і ECHO), сервоприводу SG90 і зумера, а також встановлює Wi-Fi-з'єднання.

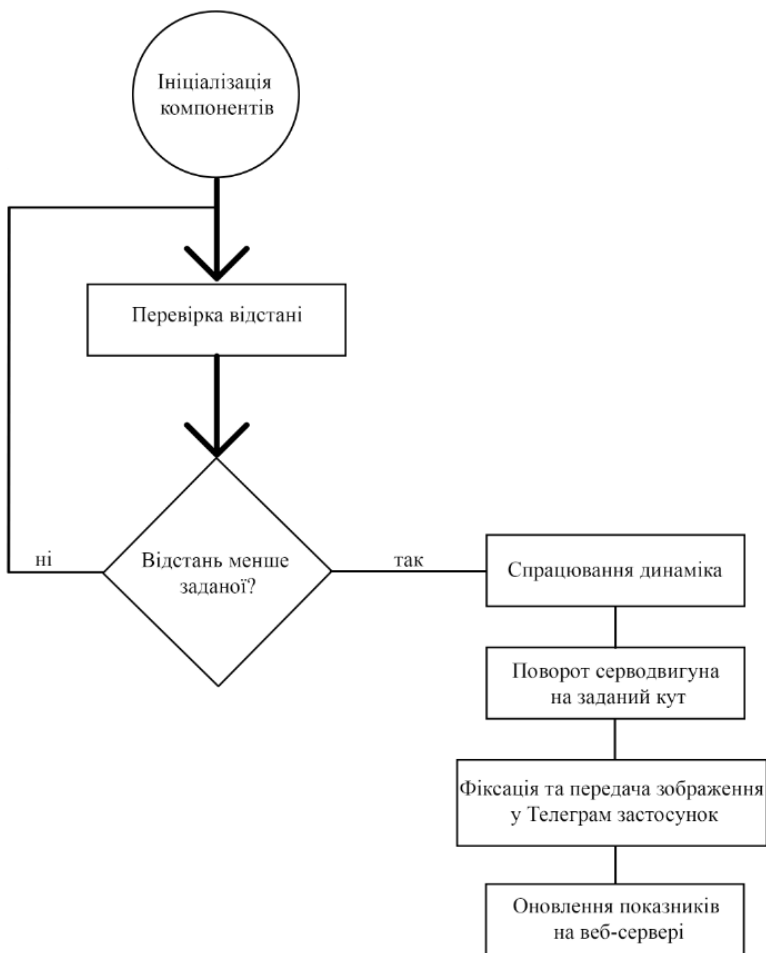


Рисунок 2.10 – Алгоритм роботи системи

У головному циклі система виконує послідовне зчитування відстаней із датчиків та обчислює відстань на основі часу повернення ультразвукової хвилі. Якщо відстань стає критичною, активується сервопривід для повороту камери ESP32-CAM на відповідний кут увімкнення зумера і надсилання HTTP-запиту для зйомки фото. Паралельно веб-сервер оновлює HTML-сторінку з даними відстаней у форматі JSON.

РОЗДІЛ 3

ТЕСТУВАННЯ ВЛАСНОГО РІШЕННЯ СИГНАЛІЗАЦІЇ

3.1 Огляд середовища програмування Arduino IDE

Програма для обладнання Arduino може бути написана на будь-якій мові програмування з компіляторами, які створюють двійковий машинний код для цільового процесора. Atmel надає середовище розробки для своїх 8-розрядних мікроконтролерів AVR і 32-розрядних ARM Cortex-M: AVR Studio (старіший) і Atmel Studio (новіший).

Інтегроване середовище розробки Arduino (IDE) – це крос-платформна програма (для Microsoft Windows, macOS і Linux), яка базується на IDE обробки, написаній на Java [27]. Він використовує Wiring API як стиль програмування та HAL. Він містить редактор коду з такими функціями, як вирізання та вставлення тексту, пошук і заміна тексту, автоматичний відступ, зіставлення фігурних дужок і підсвічування синтаксису, а також забезпечує прості механізми компіляції та завантаження програм на плату Arduino одним клацанням миші. Він також містить область повідомлень, текстову консоль, панель інструментів із кнопками для загальних функцій та ієрархію робочих меню. Вихідний код для IDE випущений під GNU General Public License, версія 2 (рис. 3.1).



```

Blink
  the correct LED pin independent of which board is used.
  If you want to know what pin the on-board LED is connected to on your Arduino
  model, check the Technical Specs of your board at:
  https://www.arduino.cc/en/Main/Products
  modified 8 May 2014
  by Scott Fitzgerald
  modified 2 Sep 2016
  by Arturo Guadalupi
  modified 8 Sep 2016
  by Colby Newman
  This example code is in the public domain.
  https://www.arduino.cc/en/Tutorial/BuiltInExamples/Blink
  */
  // the setup function runs once when you press reset or power the board
  void setup() {
    // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
    pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
  }
  // the loop function runs over and over again forever
  void loop() {
    digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
    delay(1000); // wait for a second
    digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
    delay(1000); // wait for a second
  }
  
```

Рисунок 3.1 – Інтерфейс Arduino IDE [27]

Arduino IDE підтримує мови C і C++ за допомогою спеціальних правил структурування коду. Arduino IDE постачає бібліотеку програмного забезпечення з проєкту Wiring, яка забезпечує багато загальних процедур введення та виведення. Написаний користувачем код потребує лише двох основних функцій, для запуску ескізу та основного циклу програми, які компілюються та зв'язуються за допомогою заглушки програми main у виконувану циклічну виконавчу програму з ланцюжком інструментів GNU, також включену в дистрибутив IDE [28].

Arduino IDE використовує програму avrdude для перетворення виконуваного коду в текстовий файл у шістнадцятковому кодуванні, який завантажується в плату Arduino програмою-завантажувачем у мікропрограмі плати. Традиційно Arduino IDE використовувався для програмування офіційних плат Arduino на основі мікроконтролерів Atmel AVR, але з часом, коли популярність Arduino зростає та з'явилися компілятори з відкритим вихідним кодом, багато інших платформ від PIC, STM32, TI MSP430, ESP32 можна кодувати за допомогою Arduino IDE.

Крім того, Arduino IDE 2.0 підтримує інтеграцію з хмарними платформами, такими як Arduino Cloud, що дозволяє користувачам зберігати свої ескізи, ділитися ними з командою або запускати проєкти віддалено через інтернет-з'єднання. Ця версія також включає розширену підтримку для роботи з мікроконтролерами, які використовують архітектури ARM Cortex-M і RISC-V, розширюючи можливості розробки для сучасних платформ, таких як Arduino Nano RP2040 Connect.

Для підвищення продуктивності IDE 2.0 оптимізована для роботи з великими проєктами, пропонуючи функцію попередньої компіляції залежностей, що скорочує час зборки коду. Крім того, середовище підтримує імпорт проєктів із попередніх версій IDE через автоматичну конвертацію файлів, зберігаючи сумісність із існуючими бібліотеками та конфігураціями.

Для користувачів, які працюють із IoT-рішеннями, додано підтримку протоколів MQTT і HTTPS, що спрощує інтеграцію з розумними пристроями та

серверами. Ці вдосконалення роблять Arduino IDE 2.0 потужним інструментом для професійної розробки, зберігаючи при цьому доступність для початківців.

Попередня альфа-версія нової IDE Arduino була випущена 18 жовтня 2019 року як Arduino Pro IDE. Попередня бета-версія була випущена 1 березня 2021 року під назвою IDE 2.0. 14 вересня 2022 року Arduino IDE 2.0 було офіційно випущено як стабільну.

Для плати стороннього виробника також можливе налагодження в Arduino IDE 2.0, якщо така плата підтримує GDB, OPENOCD і має зонд налагодження. Спільнота внесла внесок у налагодження плат Arduino на основі ATmega328P або CH32 RiscV тощо

3.2 Написання скетчу для роботи сигналізації

Система все ще використовує Arduino CLI (інтерфейс командного рядка), але вдосконалення включають більш професійне середовище розробки та підтримку автозавершення. Інтерфейс програми базується на IDE Eclipse Theia з відкритим кодом. Його основні нові функції:

- сучасне, повнофункціональне середовище розробки;
- новий менеджер бібліотеки;
- провідник проєкту;
- базове автозаповнення та перевірка синтаксису;
- послідовний монітор із графічним плотером;
- 64-розрядний випуск;
- можливість налагодження.

Для реалізації функції сповіщень через Телеграм було створено бота за допомогою сервісу BotFather, офіційного інструменту Телеграм для створення та управління ботами [29].

Процес розпочався з відкриття месенджера Телеграм та пошуку бота BotFather у рядку пошуку. Після запуску BotFather було виконано команду start, яка активувала інтерактивне меню для взаємодії з сервісом. Далі було введено

команду `newbot`, що ініціювала створення нового бота. Після успішного створення BotFather автоматично згенерував унікальний токен доступу – рядок символів, який використовується для автентифікації бота при взаємодії з API Телеграм. Цей токен було скопійовано та збережено в коді програми як константа `BOTtoken` у скетчі для ESP32-CAM, що забезпечило ініціалізацію об'єкта `UniversalTelegramBot` для надсилання повідомлень і фотографій (рис. 3.2).

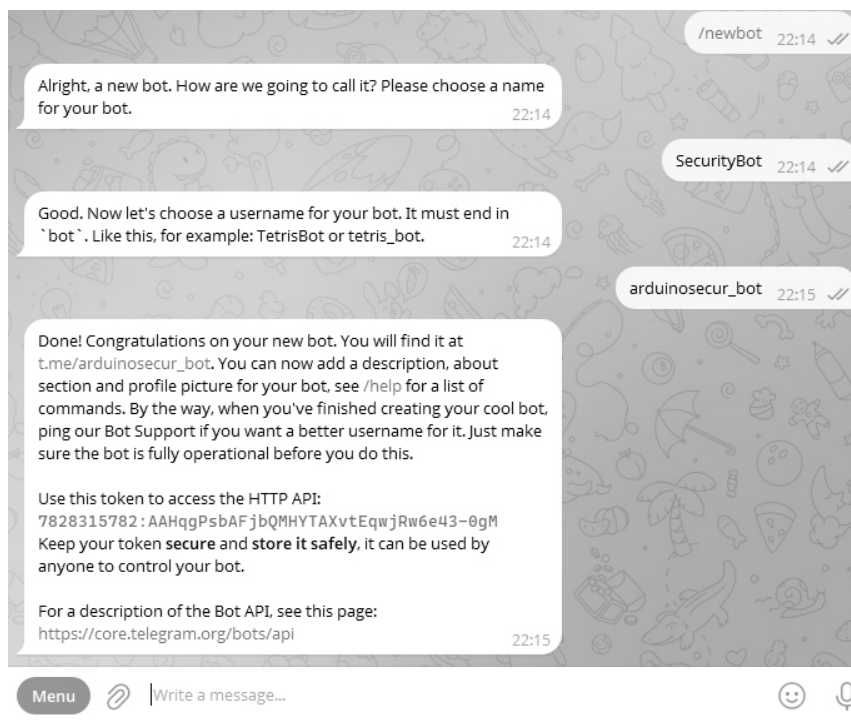


Рисунок 3.2 – Створення бота

Крім того, для зручності користувача було налаштовано базові команди бота такі як `start` – для ініціалізації бота та відображення привітального повідомлення, `auto` – для вмикання або вимикання автоматичного режиму підсвітки камери, та `get` – для миттєвого запиту фотографії з камери ESP32-CAM.

Отриманий токен і налаштовані команди стали основою для програмної інтеграції бота в систему сигналізації, дозволяючи надсилати сповіщення про виявлення руху та фотографії до визначеного Телеграм-чату в реальному часі.

Однією з важливих функцій Arduino IDE 2.0 є функція налагодження. Це дозволяє користувачам виконувати один крок, вставляти точки зупину або переглядати пам'ять. Нова Arduino IDE 2.0 значно покращує досвід розробника

завдяки інструментам налагодження, які особливо корисні під час створення складної логіки обробки запитів веб-сервера або взаємодії з зовнішніми модулями. Для налагодження потрібен цільовий чіп із портом налагодження та датчиком налагодження. Офіційну плату Arduino Zero можна налагодити з коробки. Для інших офіційних плат Arduino SAMD21 потрібен окремий SEGGER J-Link або Atmel-ICE.

Код працює з Arduino Uno R4 Wi-Fi та використовує бібліотеки WiFiS3.h для з'єднання з Wi-Fi та Servo.h для керування сервоприводом. Він підключається до мережі Wi-Fi з вказаними SSID та паролем, після чого запускає веб-сервер на порту 80. Додавання необхідних бібліотек показано на скріншоті нижче (рис. 3.3).

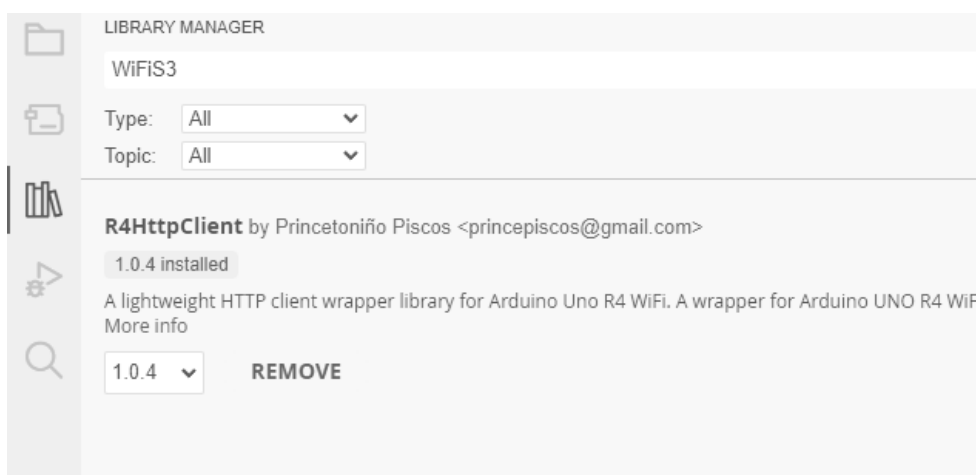


Рисунок 3.3 – Встановлення бібліотек

До плати підключені шість ультразвукових датчиків, які вимірюють відстань до об'єктів, та серводвигун, який може змінювати свій кут нахилу відповідно до отриманих даних. Код налаштовує пін-коди для тригерів (TRIG) і приймачів (ECHO) ультразвукових датчиків, а також задає сервопривід на початковий кут у 90 градусів. Архітектура скетчу дозволяє легко масштабувати систему – наприклад, додати більше датчиків або інтегрувати інші типи виконавчих пристроїв (реле, LED-сигналізацію тощо) без значних змін у логіці.

При старті програма підключається до Wi-Fi та виводить IP-адресу пристрою в серійну консоль. Веб-сервер обробляє запити від клієнтів. Якщо користувач відкриває сторінку, сервер формує HTML-документ із сіткою блоків, кожен з яких представляє один із датчиків. Колір блоку змінюється залежно від вимірної відстані: червоний при малій відстані, жовтий при середній і зелений при великій. Дані оновлюються кожні 500 мс за допомогою fetch-запитів, які звертаються до сервера по маршруту `getDistances`, що повертає JSON-об'єкт з актуальними значеннями.

Для вимірювання відстані в системі сигналізації використовується функція `measureDistance`, яка працює з ультразвуковими датчиками HC-SR04 і приймає два параметри: `trigPin` для надсилання сигналу та `echoPin` для прийому відбитого сигналу. Функція генерує короткий імпульс через пін тригера, активуючи датчик для створення ультразвукової хвилі, після чого вимірює час повернення цієї хвилі за допомогою вбудованої функції `pulseIn`, яка фіксує тривалість сигналу на пині відлуння. Отриманий час конвертується у відстань у сантиметрах, враховуючи швидкість звуку та шлях хвилі в обидва боки.

Функція повертає значення відстані у форматі типу `long`, яке система використовує для виявлення об'єктів на заданій відстані наприклад 20 см або ближче, що є критичним порогом для активації подальших дій, таких як поворот камери ESP32-CAM у напрямку руху та надсилання фотографії через Телеграм-бот.

Головна логіка веб-сервера знаходиться у функції `handleClientRequest`. Функція `handleClientRequest` забезпечує обробку HTTP-запитів від клієнта через `WiFiClient`, створюючи веб-сервер на базі Arduino Uno R4 Wi-Fi для інтерактивного відображення даних і керування системою сигналізації. Вона генерує динамічну HTML-сторінку з сіткою блоків де відображаються актуальні відстані від ультразвукових датчиків HC-SR04, оновлюючи їх кольори (червоний, жовтий, зелений) і значення кожні півсекунди, а також дозволяє користувачу вручну спрямовувати камеру, змінюючи кут сервоприводу через інтерактивні елементи.

Для забезпечення даних сторінка взаємодіє з сервером, отримуючи інформацію про відстані та відповідні кольори в форматі JSON, який формується на основі вимірювань датчиків і логіки визначення кольорів. Окрім цього, функція обробляє запити для зміни положення сервоприводу, витягуючи вказаний кут із URL і застосовуючи його через бібліотеку Servo.h, при цьому підтверджуючи виконання операції. Після завершення обробки кожного запиту з'єднання з клієнтом припиняється, забезпечуючи стабільну роботу системи.

Функція `sendHTTPRequest` реалізує відправлення HTTP-запиту від Arduino Uno R4 Wi-Fi до ESP32-CAM для ініціювання зйомки фотографії в системі сигналізації. Спочатку вона перевіряє, чи встановлено з'єднання з ESP32-CAM за вказаною IP-адресою на порту 80, якщо з'єднання відсутнє, функція намагається його встановити, виводячи повідомлення про успіх або невдачу в Serial. При успішному підключенні відправляється GET-запит на ендпоінт `capture` з указаною адресою хоста та параметром `keep-alive` для підтримки з'єднання, після чого завершується порожнім рядком.

Далі функція очищає вхідний буфер, зчитуючи всі доступні дані від клієнта, щоб уникнути конфліктів при наступних запитах. На завершення в Serial виводиться підтвердження відправлення запиту, забезпечуючи відстеження процесу в системі.

Передача зображення з ESP32-CAM до застосунку Телеграм реалізується через захищене інтернет-з'єднання з використанням протоколу HTTPS. Після захоплення кадру камерою зображення зберігається у вигляді JPEG-файлу в буфері оперативної пам'яті. Далі мікроконтролер формує HTTP POST-запит до API сервера Телеграм, в якому передає фото як файл разом із параметром `chat_id`, що ідентифікує одержувача повідомлення. Запит надсилається через зашифроване з'єднання з використанням TLS-сертифіката, що забезпечує конфіденційність і цілісність переданих даних. У разі успішної передачі Телеграм надсилає підтвердження, яке обробляється на пристрої, а у разі помилки користувач отримує відповідне повідомлення.

У головному циклі програми loop на Arduino Uno R4 Wi-Fi система сигналізації перевіряє наявність підключеного клієнта до веб-сервера, і при його наявності обробляє запит через `handleClientRequest`, виводячи повідомлення про підключення та відключення в `Serial`. Далі оновлюються дані з ультразвукових датчиків HC-SR04 за допомогою `updateSensor`, після чого відстані від шести датчиків виводяться в `Serial` для моніторингу. Якщо будь-який із датчиків фіксує об'єкт на заданій відстані, система надсилає HTTP-запит до ESP32-CAM через `sendHttpRequest` для зйомки фото, повертає сервопривід із камерою на відповідний кут залежно від датчика, активує звуковий сигнал на 700 мс і вимикає його, забезпечуючи миттєву реакцію на рух.

3.3 Обробка даних з ультразвукового датчика та управління сигналізацією

Інтелектуальні системи, засновані на вбудованих пристроях, були в центрі уваги в інтелектуальних міських середовищах. Використання дешевих і ефективних мікроконтролерів з високими можливостями підключення дозволяє інтегрувати пристрої практично в усі типи міських елементів. Ці взаємопов'язані елементи дали початок концепції Інтернету речей (IoT) [30]. Наявність великої кількості розподілених пристроїв передбачає наявність великого обсягу даних для керування отриманням інформації для прийняття деяких рішень. Цей розподілений ланцюг, що складається з етапів: сенсор, рішення, дія, спрямований на оптимізацію продуктивності системи та надання оптимальних послуг [31]. Ця оптимізація породила концепцію розподіленого інтелекту, зазвичай заснованого на розподілених знаннях.

Серед сфер застосування розподіленого інтелекту вбудовані системи для створення охоронних рішень є одними з найбільш перспективних. Такі системи можуть застосовуватися для моніторингу приміщень, виявлення несанкціонованого доступу або автоматизації процесів безпеки [32].

Використання вбудованих систем із розподіленим інтелектом для реалізації складних функцій, таких як автоматичне виявлення руху, обробка даних із датчиків або координація виконавчих механізмів, є важливим завданням. Для ефективного управління охоронними системами необхідні пристрої, здатні до виявлення, аналізу, прогнозування або реагування на події в реальному часі. Поза межами окремих інтелектуальних пристроїв виникає концепція спільного інтелекту на межі (edge computing), що базується на взаємодії між сусідніми вузлами керування для підвищення точності та швидкості реагування.

Існує багато методів виявлення присутності об'єктів у приміщенні, наприклад, за допомогою ультразвукових датчиків, інфрачервоних сенсорів або камер. Найефективніші рішення часто використовують складні пристрої, такі як камери високої роздільної здатності або спеціалізовані сенсори, тоді як для економічних систем пропонуються доступніші альтернативи, наприклад, ультразвукові датчики HC-SR04, які застосовуються в даній роботі.

В якості альтернативи попереднім системам були запропоновані дешеві рішення. Використання простих датчиків означає, що інформація, яка надається складними датчиками, такими як камери, повинна надходити через інтелект.

Щоб реалізувати інтелект у вбудованих пристроях використовується базовий елемент, відомий як «вузол керування» (CN). Вузол керування – це модуль, який забезпечує зчитування даних із датчиків, керування виконавчими механізмами або виконання обох функцій залежно від поставленого завдання.

Ядром вузла керування є мікроконтролер із вбудованими можливостями зв'язку, який виконує первинну обробку даних, отриманих від датчиків. У нашому випадку таким вузлом є плата Arduino, яка забезпечує обчислювальні та комунікаційні можливості для створення інтелектуальної розподіленої системи сигналізації.

Якщо вузли керування передають необроблені дані в мережу, це може створювати значне навантаження на систему зв'язку, що призводить до таких проблем, як затримки передачі або змінне тремтіння (jitter). Підвищене комунікаційне навантаження вимагає від CN обробки більшої кількості вхідних і

вихідних повідомлень, що може обмежувати обчислювальні ресурси мікроконтролера, особливо в системах із обмеженими можливостями, таких як Arduino Uno. У нашій системі ця проблема вирішується шляхом локальної обробки даних на самому вузлі керування, що зменшує обсяг переданих повідомлень. Наприклад, дані з ультразвукових датчиків обробляються безпосередньо на платі Arduino, а до мережі передаються лише ключові результати, такі як виявлення об'єкта на відстані менше заданої чи команда для активації камери. Для оцінки ефективності системи необхідно визначити час реакції вузла керування, який залежить від швидкості обробки даних датчиків, виконання логіки керування (наприклад, повороту сервоприводу чи активації зумера) та обробки мережевих запитів.

Інтелектуальні системи, засновані на вбудованих пристроях, відіграють ключову роль у створенні інтелектуальних міських середовищ, де дешеві та ефективні мікроконтролери з розширеними можливостями зв'язку дозволяють інтегрувати пристрої в різноманітні елементи інфраструктури.

Як було зазначено раніше, ці взаємопов'язані елементи формують основу концепції Інтернету речей (IoT), забезпечуючи обробку великих обсягів даних для прийняття рішень у реальному часі.

У контексті даної роботи ультразвукова сигналізація на базі Arduino Uno R4 Wi-Fi є прикладом інтелектуальної вбудованої системи, яка реалізує принципи розподіленого інтелекту в рамках концепції Інтернету речей (IoT). Система забезпечує обробку даних із шести ультразвукових датчиків HC-SR04, керування виконавчими механізмами, такими як сервопривід, пасивний зумер і камера, а також передачу сповіщень користувачу через Телеграм та відображення даних на веб-інтерфейсі. Ця інтеграція дозволяє створити ефективне рішення для моніторингу та охорони приміщень, яке може функціонувати як автономно, так і в складі комплексної системи безпеки.

Обробка даних із ультразвукових датчиків HC-SR04 у системі сигналізації базується на принципі ехолокації. Процес починається з генерації короткого імпульсу через пін TRIG, який активує датчик для надсилання ультразвукової

хвилі частотою 40 кГц. Після надсилання імпульсу датчик переходить у режим очікування відбитого сигналу, вимірюючи час між моментом надсилання та повернення хвилі через пін ЕСНО за допомогою вбудованої функції `pulseIn` бібліотеки Arduino.

Розподілений інтелект у даній системі реалізується через концепцію вузла керування (CN), де Arduino Uno R4 Wi-Fi виступає ядром, що обробляє дані від датчиків і координує дії виконавчих механізмів. Кожен датчик HC-SR04 формує локальні дані про відстань, які обробляються мікроконтролером для прийняття рішень, таких як активація зумера, поворот сервоприводу з камерою в напрямку виявленого об'єкта чи надсилання сповіщення через Телеграм. Логіка роботи системи побудована таким чином, що кожен датчик відповідає за певний сектор спостереження, а їх спільна робота дозволяє покрити ширшу зону та підвищити точність виявлення.

Такий підхід до обробки даних і управління виконавчими механізмами демонструє переваги розподіленого інтелекту: локальна обробка даних на кожному вузлі керування зменшує навантаження на мережу, а координація між датчиками та виконавчими пристроями забезпечує швидке реагування на події. Система є масштабовною, що дозволяє додавати нові датчики чи інтегрувати її з іншими IoT-пристроями, наприклад, для управління освітленням або виклику екстрених служб. Розроблене рішення може бути використано як автономна охоронна система або як частина більш складної інфраструктури розумного будинку чи міста, відповідаючи сучасним вимогам до безпеки та автоматизації.

3.4 Збірка пристрою та налагодження

Збірка пристрою та налагодження починається з підготовки всіх необхідних компонентів: мікроконтролера Arduino Uno R4 Wi-Fi, шести ультразвукових датчиків HC-SR04, сервоприводу SG90, пасивного зумера KY-006 та модуля ESP32-CAM.

Живлення для Arduino подається через адаптер живлення 5 В із струмом не менше 1 А, щоб забезпечити стабільну роботу всіх підключених компонентів, включаючи Wi-Fi-модуль, який споживає значну кількість енергії під час передачі даних. Як альтернатива, для автономної роботи можна використовувати батарею типу 18650 із модулем стабілізації напруги TP4056, що забезпечує захист від перевантаження і дозволяє працювати системі до 6-8 годин без підключення до мережі.

Спочатку підключаються ультразвукові датчики до відповідних пінів Arduino через плату розширення Sensor Shield V5, що значно спрощує монтаж і зменшує ризик помилок у підключенні. Кожен датчик HC-SR04 має пару пінів TRIG (для надсилання сигналу) та ECHO (для прийому відбитого сигналу), які під'єднуються до цифрових пінів Arduino (з 1 по 12, як зазначено в коді). Для живлення датчиків використовуються піни 5V і GND на платі Arduino, при цьому важливо забезпечити правильну полярність, щоб уникнути пошкодження компонентів.

Сервопривід SG90 підключається до 13 піну, який підтримує ШІМ-сигнали для точного керування кутом повороту, а його початкове положення встановлюється на 90 градусів за допомогою бібліотеки Servo.h для забезпечення центральної орієнтації камери при старті системи.

Зумер KY-006 підключається до піну 14, а ESP32-CAM живиться окремо через стабілізоване джерело 3,3 В.

Після фізичного складання проводиться початкове тестування: перевіряється коректність підключення кожного компонента шляхом запуску тестових скетчів для ультразвукових датчиків, сервоприводу та зумера, а також налагоджується з'єднання через Wi-Fi з ESP32-CAM для передачі зображень. У процесі тестування використовується серійний монітор Arduino IDE для виведення діагностичних даних, що дозволяє виявити та усунути потенційні помилки в роботі компонентів. Система розроблена з урахуванням можливості масштабування, що дозволяє додавати додаткові датчики або інтегрувати її з іншими IoT-пристроями (рис. 3.4).

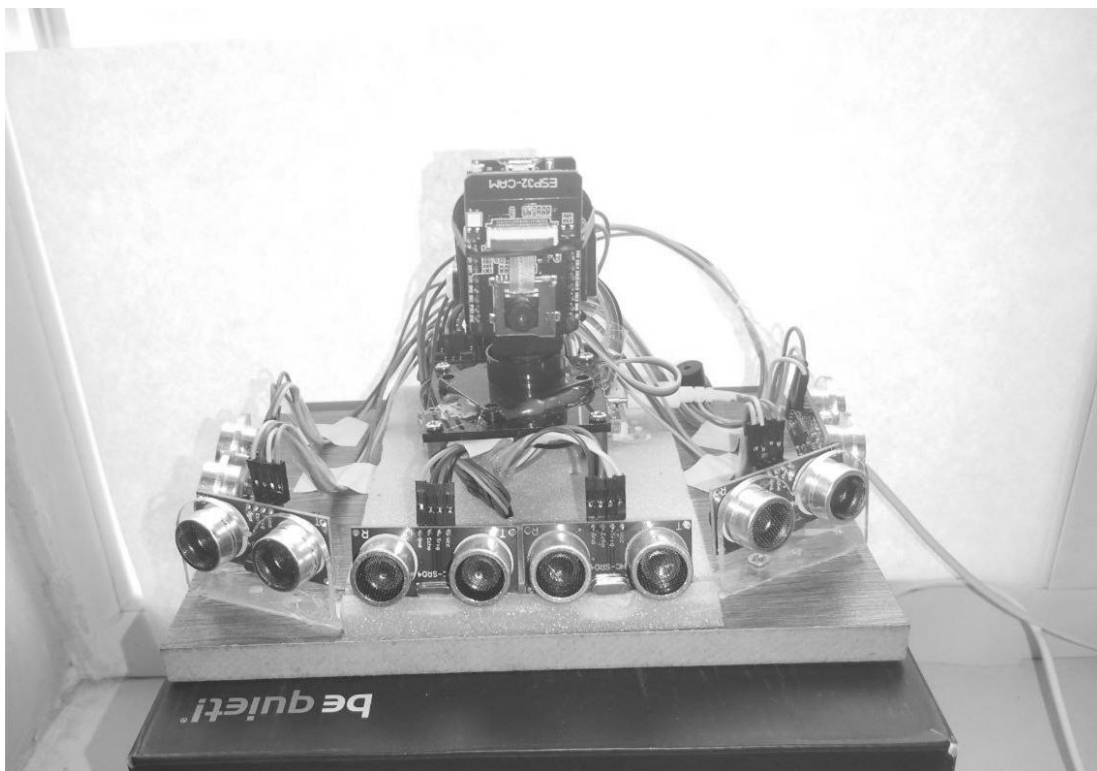


Рисунок 3.4 – Розроблений пристрій

Після підключення пристрою до Wi-Fi мережі, використовуючи задані SSID та пароль, виконується ініціалізація Wi-Fi-модуля Arduino Uno R4 Wi-Fi через бібліотеку WiFiS3.h, яка забезпечує бездротове з'єднання в режимі клієнта (STA). Процес підключення включає кілька етапів: спочатку мікроконтролер сканує доступні мережі, обирає вказану SSID, надсилає запит автентифікації з паролем і встановлює захищене з'єднання за протоколом WPA2-PSK, що гарантує захист даних від несанкціонованого доступу.

Після успішного встановлення з'єднання Arduino отримує локальну IP-адресу від роутера через протокол DHCP, яка автоматично виводиться в серійну консоль за допомогою функції Serial.println для подальшого доступу до веб-інтерфейсу через будь-який браузер (рис. 3.5). Уся комунікація між користувачем і мікроконтролером здійснюється через HTTP-протокол, однак за бажанням систему можна адаптувати для використання більш захищених протоколів, таких як HTTPS або MQTT, що відкриває широкі можливості для інтеграції з платформами хмарного моніторингу, розумного дому або централізованими системами безпеки.

```

21:01:16.626 -> 192.168.43.175
21:01:16.626 -> Web server started
21:01:17.078 -> Distances:
21:01:17.078 -> Sensor 1: 33 cm
21:01:17.078 -> Sensor 2: 35 cm
21:01:17.078 -> Sensor 3: 993 cm
21:01:17.078 -> Sensor 4: 13 cm
21:01:17.078 -> Sensor 5: 991 cm
21:01:17.078 -> Sensor 6: 50 cm

```

Рисунок 3.5 – Вивід IP-адресу в консоль

Запускається веб-сервер на порту 80, реалізований за допомогою бібліотеки WiFiServer, який налаштовується для прослуховування вхідних HTTP-запитів від клієнтів. Сервер обробляє запити, генеруючи динамічний HTML-контент із сіткою блоків, що відображають дані відстаней від ультразвукових датчиків, з кольоровою індикацією (червоний, жовтий, зелений), яка створена за допомогою CSS-стилів, які динамічно змінюються на основі даних із датчиків, що передаються у форматі JSON. Також користувачеві доступно вручну змінювати положення камери через сервопривід, просто натискаючи на відповідні блоки в веб-інтерфейсі, де кожен блок відповідає певному сектору спостереження (рис. 3.6).

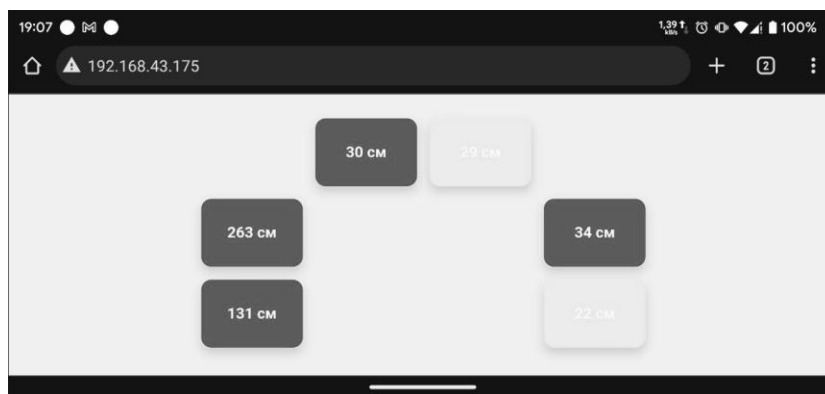


Рисунок 3.6 – Інтерактивне відображення відстані на сайті

Система передбачає з'єднання з модулем ESP32-CAM через Wi-Fi, що забезпечує бездротовий захват і передачу зображень з камери. для візуального

моніторингу зони спостереження. При запуску Телеграм-бот надсилає користувачу вітальне повідомлення, де перелічені доступні команди: команда «auto» дозволяє вмикати або вимикати автоматичні функції, такі як підсвітка, а команда «get» дає змогу миттєво запросити знімок із камери (рис. 3.7).

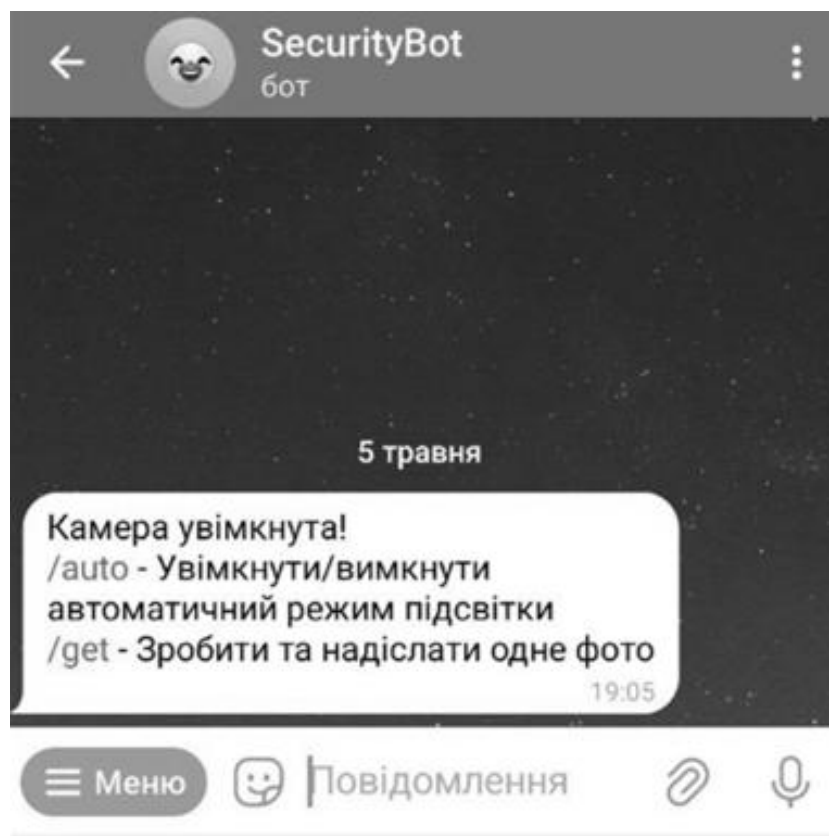


Рисунок 3.7 – Стартове повідомлення

Камера активується при виявленні руху ультразвуковими датчиками HC-SR04, після чого робить фото з роздільною здатністю 800 на 600 пікселів (SVGA) і автоматично надсилає отримане зображення до Телеграм-бота у форматі JPEG для оперативного сповіщення користувача (рис. 3.8). Далі, у разі спрацювання сигналізації, камера продовжує надсилати знімки щоразу, коли датчики фіксують рух у зоні дії, забезпечуючи безперервний моніторинг і своєчасне інформування про потенційні загрози.

Усі отримані зображення можуть також автоматично зберігатися на microSD-картці або у хмарному сховищі (за наявності відповідного

налаштування), що дає змогу здійснювати архівування даних для подальшого аналізу або передавання до відповідних служб безпеки.

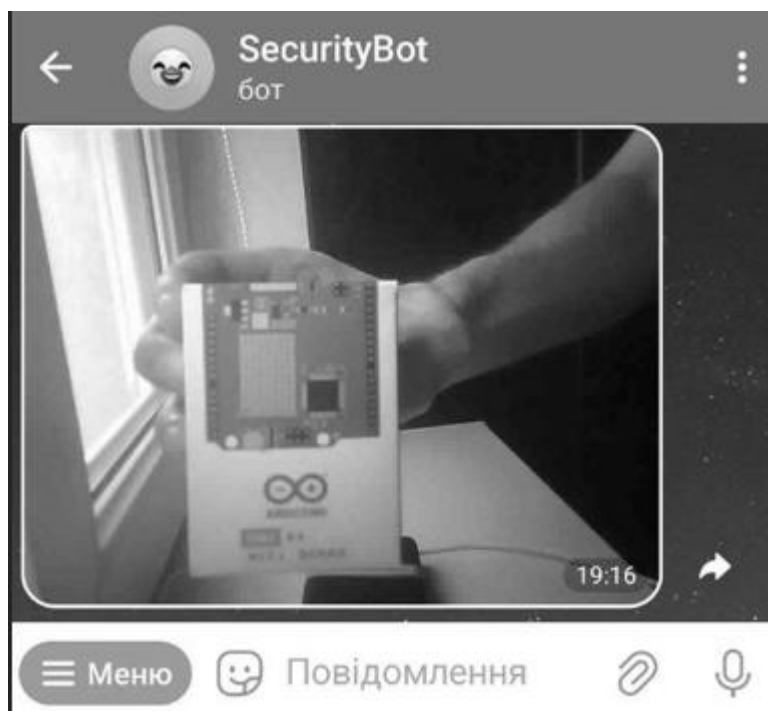
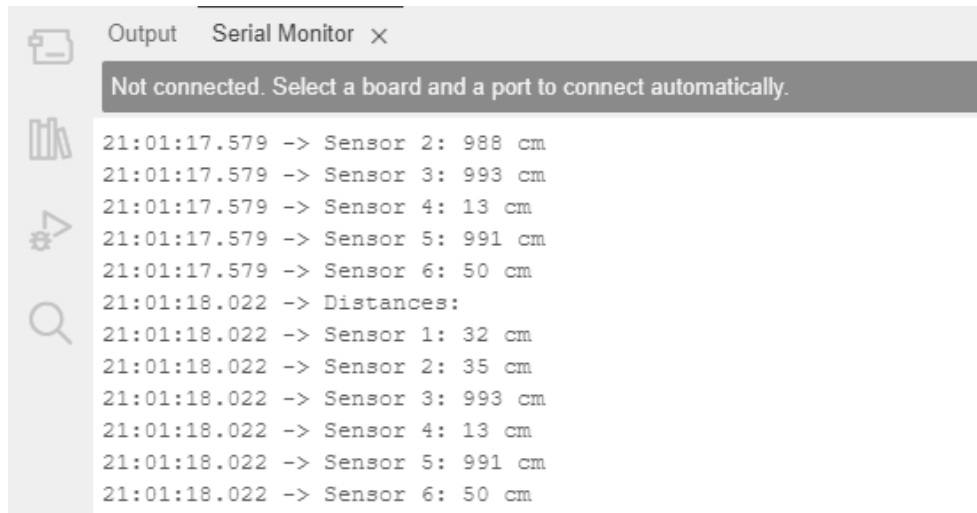


Рисунок 3.8 – Відправка фото в Телеграм

Якщо пристрій не підключений до мережі, мікроконтролер Arduino автоматично повторює спроби встановити з'єднання з Wi-Fi кожні 5 секунд, доки з'єднання не буде успішно встановлено. Цей процес супроводжується виведенням детальної інформації в серійну консоль, де відображаються поточний статус підключення, а також адреса отриманої IP-адреси для подальшого доступу до веб-інтерфейсу. Для забезпечення надійності з'єднання система використовує протокол WPA2-PSK, що гарантує захист від несанкціонованого доступу

Крім того, усі дані про стан ультразвукових датчиків HC-SR04, таких як відстані до об'єктів чи помилки вимірювань, а також інформація про виконані дії записуються в консоль через функцію для зручної діагностики, аналізу проблем і налагодження системи в реальному часі (рис. 3.9). Для підвищення надійності системи передбачено механізм автоматичного перезавантаження у разі тривалої відсутності з'єднання, що мінімізує простой. Додатково, логування даних

дозволяє зберігати історію подій для подальшого аналізу, наприклад, для виявлення патернів руху в зоні спостереження.



```
Output Serial Monitor x
Not connected. Select a board and a port to connect automatically.
21:01:17.579 -> Sensor 2: 988 cm
21:01:17.579 -> Sensor 3: 993 cm
21:01:17.579 -> Sensor 4: 13 cm
21:01:17.579 -> Sensor 5: 991 cm
21:01:17.579 -> Sensor 6: 50 cm
21:01:18.022 -> Distances:
21:01:18.022 -> Sensor 1: 32 cm
21:01:18.022 -> Sensor 2: 35 cm
21:01:18.022 -> Sensor 3: 993 cm
21:01:18.022 -> Sensor 4: 13 cm
21:01:18.022 -> Sensor 5: 991 cm
21:01:18.022 -> Sensor 6: 50 cm
```

Рисунок 3.9 – Вивід даних із серійного монітора про відстані від ультразвукових датчиків

Кожне повідомлення містить часову позначку, що дозволяє точно визначити момент зчитування інформації, ідентифікатор конкретного датчика та значення відстані у сантиметрах. У разі якщо об'єкт не виявлено або виникає помилка зчитування, наприклад, через відсутність відбитого сигналу, фіксуються великі значення, що дозволяє оперативно виявити некоректну роботу датчика.

ВИСНОВКИ

За результатами проведеного дослідження варто зробити відповідні висновки.

Здійснено аналіз існуючих систем сигналізації, що працюють на базі мікроконтролерів. Було розглянуто їхні основні функціональні можливості, переваги та недоліки, що дозволило визначити оптимальний підхід для реалізації власної системи.

Виконано проектування ультразвукової сигналізації, яка базується на мікроконтролері Arduino Uno. Було розроблено схему підключення ультразвукових датчиків, сервоприводу та камери, а також визначено алгоритм їхньої роботи.

Спроектовано та реалізовано систему обробки даних з ультразвукових датчиків, яка реагує на виявлений рух на заданій відстані (наприклад, 20 см). У відповідь камера, встановлена на сервоприводі, автоматично повертається у напрямку об'єкта та здійснює фотофіксацію.

Розроблено механізм відправки сповіщень через Телеграм, який працює на основі HTTP-запитів. Це дозволяє користувачеві оперативно отримувати фотофіксацію виявленого об'єкта безпосередньо на смартфон.

Реалізовано веб-сервер на Arduino Uno, який відображає поточні показники з датчиків, зокрема виміряні відстані. Це забезпечує зручний доступ до інформації про стан системи у реальному часі.

Отримано працездатну ультразвукову сигналізацію, яка може бути використана для охорони приміщень та територій. Вона забезпечує швидке реагування на рух, автоматичну фотофіксацію та віддалене оповіщення власника.

На основі проведеного тестування можемо зробити висновок, що запропонована система є ефективною для виявлення руху та передавання інформації користувачу. Розроблену систему можна використовувати як окремі пристрій або інтегрувати в більш складні системи безпеки.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Home security. *Wikipedia*. URL: <https://surl.li/oqcomi> (дата звернення: 10.02.2025).
2. Home Security Systems: Your Options for 2025. *SafeHome*. URL: <https://surl.lt/qttnzi> (дата звернення 11.02.2025).
3. Що таке система безпеки та як вона працює? *Dnestr Security*. URL: <https://surl.li/sorztd> (дата звернення: 12.02.2025).
4. What is PIR Sensor? 2024 Ultimate Guide on How it Work and Key Considerations for Optimal Performance. *Roombanker*. URL: <https://surl.li/txhgkf> (дата звернення: 13.02.2025).
5. Why motion detectors react to animals and how to avoid it. *Ajax*. URL: <https://surl.li/lvefbv> (дата звернення: 15.02.2025).
6. What is a PIR Motion Sensor and How Does it Work? *Rayzeek*. URL: <https://surl.li/gttlga> (дата звернення: 16.02.2025).
7. Типи датчиків руху та принципи їхньої роботи. *Rayzeek*. URL: <https://surl.lu/mcxrlc> (дата звернення: 16.02.2025).
8. Security camera pros and cons: an in-depth look. *Ajax*. URL: <https://surl.li/olbjyb> (дата звернення: 20.02.2025).
9. The Best Video Doorbell Cameras. *Wired*. URL: <https://surl.lu/upuybv> (дата звернення: 1.03.2025).
10. What can a Smart Video Doorbell Do Now (and in the Future)? *Xailient*. URL: <https://surl.lu/cyvalq> (дата звернення: 5.03.2025).
11. Smart Doorbells and Home Security: How They Work Together. *Allstarelectric*. URL: <https://surl.li/wbftxe> (дата звернення: 10.03.2025).
12. Best Smart Home Security Systems of 2025. *Security*. URL: <https://surl.li/mlilij> (дата звернення: 20.03.2025).
13. Innovative Solutions for Carbon Monoxide Detection: The Future of Home Safety Tech. *X-sense*. URL: <https://surl.lu/pylnsz> (дата звернення: 28.03.2025).

14. Understanding Ultrasonic Sensor. *Medium*. URL: <https://surl.lu/ekjjxe> (дата звернення: 29.03.2025).
15. Physics and Technical Facts for the Beginner. *Sonoguide*. URL: <https://surl.lt/rennse> (дата звернення: 30.03.2025).
16. Ultrasound Physics and Instrumentation. *Nih*. URL: <https://surl.li/ytfqhg> (дата звернення: 01.04.2025).
17. Principles, characteristics and uses of ultrasonic sensors. *Rikasensor*. URL: <https://surl.li/уcolob> (дата звернення: 07.04.2025).
18. What is Arduino UNO? Arduino UNO Pinout & Program. *Designspark*. URL: <https://surl.li/geuikr> (дата звернення: 10.04.2025).
19. What is Arduino Uno? *Robu*. URL: <https://surl.li/yjwgvq> (дата звернення: 11.04.2025).
20. How to Get Code/ Program back from Arduino. *Hackster*. URL: <https://surl.li/kbodgc> (дата звернення: 15.04.2025).
21. How to Program Different Microcontrollers on Arduino UNO R4. *Espboards*. URL: <https://surl.li/tqfltw> (дата звернення: 18.04.2025).
22. Using the HC-SR04 Ultrasonic Sensor to Detect Objects. *Arduinointro*. URL: <https://surl.li/bntxyc> (дата звернення: 20.04.2025).
23. [Arduino Guide] Getting Start with SG90 9G Micro Servo Motor. *Medium*. URL: <https://surl.lu/iicrme> (дата звернення: 23.04.2025).
24. ESP32 CAM WEB Server and Getting Started Guide. *Hackster*. URL: <https://surli.cc/ithfku> (дата звернення: 24.04.2025).
25. Using Arduino UNO and Sensor Shield V5.0 to control servomotors. *Robotique*. URL: <https://surli.cc/cucifj> (дата звернення: 25.04.2025).
26. ESP32 KY-006 Passive Buzzer Module. *Espboards*. URL: <https://surl.lu/gaynbj> (дата звернення: 28.04.2025).
27. Beginners Guide to Arduino IDE and Arduino Programming. *Circuitdigest*. URL: <https://surl.li/ysdiqa> (дата звернення: 08.04.2025).
28. How To Program Arduino With C++. *Learncplusplus*. URL: <https://surli.cc/dzccua> (дата звернення: 29.04.2025).

29. Як створити Telegram-бота? *Chatbullet*. URL: <https://surl.li/unaxzb> (дата звернення: 06.05.2025).

30. What is the Internet of Things (IoT)? *Mckinsey*. URL: <https://surl.lu/hutesm> (дата звернення: 11.05.2025).

31. Making Decisions from Live Sensor Data. *Towards*. URL: <https://surl.lu/kkseyk> (дата звернення: 12.05.2025).

32. Distributed intelligence modernising the grid. *Energy*. URL: <https://surl.li/yrgtgb> (дата звернення: 15.05.2025).