

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)  
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки  
(повна назва)

**АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Система дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів –  
апаратна частина

(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. КТРСм-19-1  
Коротенко І. В.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність  
151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології

освітньої програми Комп'ютеризовані та  
робототехнічні системи

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна  
(повна назва освітньої програми)

Керівник професор Цимбал О. М.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту  
зав. кафедри

Невлюдов І.Ш.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

2020

## Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Комп'ютеризовані та робототехнічні системи (код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

## ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові \_\_\_\_\_ Коротенку Івану Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів – апаратна частина

затверджена наказом по університету від 02.11. 2020 р. № 1509 Ст.

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 15.12. 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

3.1 Габаритні розміри макету 187 мм x 100 мм x 75 мм.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

4.1 Аналіз теплових властивостей об'єктів засобами дистанційного контролю

4.2 Проектування системи дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів

4.3 Розробка апаратного забезпечення для дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів

4.4 Висновки та перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційні матеріали, представлені у форматі презентації PowerPoint (\*.ppt) – 19 с. формату А4

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

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз теплових властивостей об'єктів засобами дистанційного контролю	23.09.2020 – 30.09.2020	виконано
2	Проектування системи дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів	30.09.2020 – 15.10.2020	виконано
3	Розробка апаратного забезпечення для дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів	15.10.2020 – 03.11.2020	виконано
4	Оформлення пояснювальної записки	03.11.2020 – 12.12.2020	виконано
5	Подання роботи до експертної комісії	15.12.2020	виконано
6			
7			
8			

Дата видачі завдання 02.11.2020

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Коротенко І. В.

( прізвище, ініціали)

професор Цимбал О. М.

(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 102 с., 33 рис., 7 табл., 15 джерел.

МОБІЛЬНИЙ РОБОТ, МОБІЛЬНА ПЛАТФОРМА, RASPBERRY PI,  
СТРУКТУРНА СХЕМА, ПЛАТА КЕРУВАННЯ, БЛОК ЖИВЛЕННЯ, АНАЛІЗ  
ТЕРМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ, ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Метою дослідження є вдосконалення системи неруйнуючого контролю теплових властивостей технічних об'єктів на базі одноплатних контролерів.

Об'єкт дослідження – процес неруйнуючого контролю теплових властивостей технічних об'єктів.

Предмет дослідження – методи дистанційного аналізу теплових властивостей в технологічних та промислових об'єктах.

Методи дослідження та апаратура, що використовувались в роботі – вимірювання напруги вольтметром та вимірювання часу секундоміром.

Можливі сфери застосування – медицина, виробничі процеси з екстремальними температурами, дата-центри та інші.

В атестаційній роботі магістра проведено аналіз вимог технічного завдання, аналіз сучасних аналогів систем дистанційного вимірювання температури програм. Розроблено структурну та функціональну платформи мобільної роботизованої платформи, а також обрано елементну базу для її реалізації. В текстовому редакторі Visual Studio Code мовою C розроблено програму для реалізації функцій пересування робота. В текстовому редакторі Visual Studio Code мовою Java розроблено програму для дистанційного керування мобільною платформою та отримання і відображення оброблених даних з термічної камери.

## ABSTRACT

Explanatory note: 102 pp., 33 fig., 7 tabl., 15 sources.

MOBILE ROBOT, MOBILE PLATFORM, RASPBERRY PI, STRUCTURAL DIAGRAM, CONTROL BOARD, POWER SUPPLY, ANALYSIS OF THERMAL PROPERTIES, TEMPERATURE MEASUREMENT

The purpose of the study is to improve the system of non-destructive testing of thermal properties of technical facilities based on single-board controllers.

The object of research is the process of non-destructive testing of thermal properties of technical objects.

The subject of research – methods of remote analysis of thermal properties in technological and industrial facilities.

Research methods and equipment used in the work – voltage measurement with a voltmeter and time measurement with a stopwatch.

Possible areas of application are medicine, production processes with extreme temperatures, data centers and others.

In this paper the analysis of requirements of the technical task, the analysis of modern analogues of systems of remote measurement of temperature of programs is carried out. The structural and functional platform of the mobile robotic platform is developed, and also the element base for its realization is chosen. In the text editor Visual Studio Code in C developed a program to implement the functions of moving the robot. In the text editor Visual Studio Code using Java programming language developed a program for remote control of the mobile platform and receiving and displaying processed data from a thermal camera.

## ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	7
Вступ.....	8
1 Аналіз теплових властивостей об'єктів засобами дистанційного контролю.....	10
1.1 Аналіз сфер застосування тепловізійних систем.....	10
1.2 Аналіз аналогів систем дистанційного контролю теплових властивостей об'єктів.....	12
1.3 Фізичні принципи дистанційного вимірювання температури об'єктів....	15
1.4 Висновки до першого розділу.....	21
2 Теоретичні передумови розробки системи дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів.....	23
2.1 Вибір мікроконтролера для системи дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів.....	23
2.2 Особливості програмування мікрокомп'ютерів Raspberry Pi.....	29
2.3 Вибір необхідних бібліотек.....	32
2.4 Розгляд технологій передачі даних.....	33
2.5 Висновки до другого розділу.....	38
3 Розробка апаратного забезпечення для дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів.....	40
3.1 Вибір камери для системи дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів.....	40
3.2 Розробка мобільної роботизованої платформи.....	43
3.3 Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення для керування мобільною платформою.....	52
3.4 Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення для комутації камери з мобільною платформою та дистанційного керування нею.....	64

3.5 Тестування апаратного забезпечення системи дистанційного аналізу теплових властивостей об'єктів.....	67
3.6 Питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.....	69
3.7 Висновки до третього розділу.....	71
Висновки.....	72
Перелік джерел посилання.....	73
Додаток А Код програми керування.....	75
Додаток Б Демонстраційні матеріали.....	83
Додаток В Відомість атестаційної роботи.....	102

## **СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ**

ІЧ – інфрачервоний;

МР – мобільний робот;

API – application programming interface;

GPIO – general purpose input/output;

NoIR – no infrared.



## ВСТУП

Дистанційне вимірювання температури та аналіз теплових властивостей об'єктів є перспективною галуззю в сучасному світі. Існує велика кількість різноманітних приладів для дистанційного вимірювання температури та ІЧ (інфрачервоних) камер. Проте більшість таких приладів мають ряд недоліків, основним із яких є висока ціна. Саме тому тема дипломної роботи є актуальною.

Розроблена система дає змогу дистанційно вимірювати та аналізувати теплові властивості технічних або інших об'єктів та навіть живих істот.

Є багато галузей виробничої діяльності де важлива температура об'єкта який знаходиться в експлуатації або є продуктом для якого критична температура при виробництві. Це може бути, наприклад, завод металургії у якому потрібно слідкувати за чаном з розплавленим металом, будівництво теплових мереж у будинку або сервер, що вийде з ладу при перегріванні, причинивши тим самим високі збитки або втрату цінної інформації. Окремо можна виділити підприємства та дослідницькі центри, що виставляють високий рівень вимог до робочого середовища, де людям потрібна велика кількість часу щоб зайти до робочої зони та вийти з неї, а система, подібна до розробленої у цьому дипломному проекті, може перебувати там постійно і задіяна за необхідністю.

На сьогоднішній день мобільна робототехніка використовується у різних аспектах людського життя, а мобільні роботи (МР) значно облегшують життя людини, виконуючи працю значно швидше, точніше, безпечніше та дешевше за людину. Область застосування МР досить широка: моніторинг важкодоступних або небезпечних зон промислових будівель, оперативне втручання МР в приховані процеси, проведення вибухотехнічних робіт (пошук, витяг, транспортування і знешкодження або знищення вибухонебезпечних предметів і боєприпасів), використання в промисловості, побутовому житті тощо.

Використання МР зменшують ступінь участі людини при проведенні робіт у небезпечних умовах завдяки можливістю дистанційного керування.

В наслідок цього розробка конструкції мобільної роботизованої платформи є актуальною задачею.

Метою дослідження є вдосконалення системи неруйнуючого контролю теплових властивостей технічних об'єктів на базі одноплатних контролерів.

Об'єкт дослідження – процес неруйнуючого контролю теплових властивостей технічних об'єктів.

Предмет дослідження – методи дистанційного аналізу теплових властивостей в технологічних та промислових об'єктах.

Завданням є розробка вдосконаленої системи неруйнуючого контролю теплових властивостей технічних об'єктів на базі одноплатних контролерів.

Для виконання поставленої мети потрібно вирішити ряд задач, таких як:

- вибрати цільову платформу, на базі якої буде виконана система;
- вибрати та встановити необхідне програмне забезпечення;
- ознайомитись з рішеннями для дистанційної фіксації температури та визначити з них те, що є найбільш доцільним для виконання роботи;
- засвоїти принципи створення систем комп'ютерного зору;
- ознайомитись з особливостями програмування на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi;
- провести низку експериментальних досліджень, за результатами яких можна буде зробити висновок щодо ефективності та доцільності розробленої системи;
- проаналізувати отримані дані;
- зробити висновки щодо результатів проведеної роботи;
- оформити атестаційну роботу відповідно до вимог ДСТУ 3008:2015 [1], навчального посібника з дипломного проектування [2], методичних вказівок до випускної кваліфікаційної роботи рівня «Магістр» [3] та положення про протидію академічному плагіату [4].

# 1 АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТІВ ЗАСОБАМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ

## 1.1 Аналіз сфер застосування тепловізійних систем

Інфрачервона термографія є прикладом науки про інфрачервоне зображення. Термографічні камери зазвичай виявляють випромінювання в довгому інфрачервоному діапазоні електромагнітного спектра (приблизно від 9000 *нм* до 14000 *нм* або від 9 *мкм* до 14 *мкм*) і створюють зображення цього випромінювання, які називаються термограмами. Оскільки інфрачервоне випромінювання випромінюється усіма об'єктами з температурою вище абсолютного нуля згідно із законом випромінювання чорного тіла, термографія дає змогу бачити навколишнє середовище з видимим освітленням або без нього. Кількість випромінювання, яке випромінює об'єкт, зростає зі збільшенням температури; отже, термографія дозволяє побачити коливання температури. При перегляді через тепловізійну камеру теплі предмети добре виділяються на більш прохолодному фоні; люди та інші теплокровні тварини стають легко помітними проти навколишнього середовища, вдень чи вночі. Як результат, термографія особливо корисна для військових та інших користувачів камер спостереження.

Термографія може застосовуватись в таких сферах діяльності:

- моніторинг умов;
- медична візуалізація [5];
- нічне бачення;
- наукові дослідження;
- управління процесами;
- неруйнуючий контроль;
- спостереження в області забезпечення безпеки, правоохоронної діяльності та захисту;
- хімічна візуалізація.

Спочатку розроблені для військового використання під час Корейської війни, термографічні камери повільно мігрували в інші галузі, такі різноманітні, як медицина та археологія. Зовсім недавно зниження цін сприяло застосуванню технології інфрачервоного перегляду. Удосконалена оптика та складні програмні інтерфейси продовжують підвищувати універсальність ІЧ-камер.

Термографічні камери можуть бути використані в наступних сферах:

а) будівельна інспекція:

- 1) діагностика несправностей та усунення несправностей;
- 2) енергоаудит будівельної ізоляції та виявлення витоків холодоагенту;
- 3) огляд даху;
- 4) виявлення вологи в стінах і дахах;
- 5) аналіз конструкції кладки стін.

б) правоохоронні органи та боротьба з тероризмом:

- 1) карантинний моніторинг відвідувачів тієї чи іншої країни;
- 2) виявлення та отримання військових та поліцейських цілей;
- 3) контрзаходи технічного нагляду;
- 4) приціл теплової зброї;
- 5) пошуково-рятувальні роботи;
- 6) протипожежні операції.

в) термографія (медична);

г) моніторинг виробничого процесу:

- 1) контроль якості у виробничих середовищах;
- 2) прогнозне технічне обслуговування (раннє попередження про відмову) механічного та електричного обладнання.

г) астрономія;

д) автомобільне нічне бачення;

е) аудит звукоізоляції для зменшення звуку;

є) хімічна візуалізація;

ж) моніторинг центру обробки даних;

- з) діагностика та обслуговування електророзподільного обладнання, таких як трансформаторні двори та розподільні щити;
- и) неруйнівний контроль;
- і) дослідження та розробка нових продуктів;
- ї) виявлення забруднення стоків;
- й) розташування заражень шкідниками;
- к) повітряна археологія;
- л) детектор полум'я;
- м) метеорологія (теплові зображення із погодних супутників використовуються для визначення температури та висоти хмар та концентрації водяної пари залежно від довжини хвилі);
- н) автономна навігація;
- о) хакінг (теплова атака – підхід, який використовує сліди тепла, що залишаються після взаємодії з інтерфейсами, такими як сенсорні екрани або клавіатури, для розкриття вводу користувача);
- п) нічні фотографії дикої природи.

## 1.2 Аналіз аналогів систем дистанційного контролю теплових властивостей об'єктів

В термографії зазвичай використовуються інфрачервоні камери. Термографічна камера (також її називають інфрачервоною або тепловізійною камерою або тепловізором) – це пристрій, який створює зображення за допомогою інфрачервоного випромінювання, подібно до звичайної камери, яка формує зображення за допомогою видимого світла. Замість діапазону від 400 *нм* до 700 *нм* камери видимого світла, інфрачервоні камери чутливі до довжин хвиль від приблизно 1000 *нм* (1 *мкм*) до приблизно 14000 *нм* (14 *мкм*).

Порівняння зображень з ІЧ-камери та звичайної камери наведено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Порівняння зображень з ІЧ-камери та звичайної камери

Деякі фізіологічні зміни у людей та інших теплокровних тварин також можна контролювати за допомогою тепловізійних зображень під час клінічної діагностики. Тому термографія широко використовується в медицині.

Серед термографічних приладів, що використовуються в медицині можна навести такі приклади:

- інтегрована система вимірювання температури зап'ястя CW180;
- термінал вимірювання температури і розпізнавання облич ОЕТ-213Н-BTS1;
- стаціонарний тепловізор TIC600 [6];
- Siemens Siveillance Thermal Shield [7];
- безконтактний сканер температури TS-50 (рисунок 1.2);
- система виявлення високої температури FLC 1;
- безконтактний інфрачервоний термометр пірометр UIT TT40 (рисунок 1.3) [8];

– протиепідемічна біометрична система контролю доступу від ZKTeco (рисунок 1.4) [9].



Рисунок 1.2 – Безконтактний сканер температури TS-50



Рисунок 1.3 – Безконтактний інфрачервоний термометр пірометр UIT TT40



Рисунок 1.4 – Протиепідемічна біометрична система контролю доступу від ZKTeco

### 1.3 Фізичні принципи дистанційного вимірювання температури об'єктів

Енергія, яку отримує або втрачає тіло в процесі теплообміну з навколишнім середовищем, називається кількістю теплоти або просто теплотою. Теплота – це одна з основних термодинамічних величин в класичній феноменологічній термодинаміки. Кількість теплоти входить в стандартні математичні формулювання першого і другого законів термодинаміки. Для зміни внутрішньої енергії системи за допомогою теплообміну також необхідно зробити роботу. На мікроскопічному рівні ця робота здійснюється силами, що діють між молекулами на кордоні контакту більш нагрітого тіла з менш нагрітим. Фактично при теплообміні енергія передається за допомогою електромагнітної взаємодії при зіткненнях молекул. Тому з точки зору молекулярно-кінетичної теорії відмінність між роботою і теплотою проявляється тільки в тому, що вчинення механічної роботи вимагає впорядкованого руху молекул на макроскопічних масштабах, а передача енергії від більш нагрітого тіла менш нагрітого цього не вимагає.



Енергія може також передаватися випромінюванням від одного тіла до іншого і без їх безпосереднього контакту.

Температура – це фізична величина, яка виражає гаряче і холодне. Саме прояв теплової енергії, присутньої у всій речовині, є джерелом виникнення тепла, потоку енергії, коли тіло контактує з іншим, який холодніше.

Температура вимірюється термометром. Термометри відкалібровані за різними температурними шкалами, що історично використовували різні контрольні точки та термометричні речовини для визначення. Найпоширеніші шкали - це шкала Цельсія (раніше називалася градусами Цельсія, позначена  $^{\circ}\text{C}$ ), шкала Фаренгейта (позначена  $^{\circ}\text{F}$ ) і шкала Кельвіна (позначена  $K$ ), остання з яких переважно використовується в наукових цілях згідно з конвенціями Міжнародна система одиниць (SI).

Найнижча теоретична температура є абсолютним нулем, при якому з тіла більше не можна виділити теплової енергії. Експериментально до нього можна підійти лише дуже близько, але не досягти, що визнано в третьому законі термодинаміки.

Вимірювання температури використовується у всіх галузях природознавства, включаючи фізику, хімію, науки про Землю, астрономію, медицину, біологію, екологію та географію, а також більшість аспектів повсякденного життя.

Інфрачервона енергія – це лише одна частина електромагнітного спектра, яка охоплює випромінювання від гамма-променів, рентгенівських променів, ультрафіолету, тонкої області видимого світла, інфрачервоних, терагерцових хвиль, мікрохвиль та радіохвиль. Всі вони пов'язані та диференційовані за довжиною хвилі (довжини хвилі). Усі об'єкти випромінюють певну кількість випромінювання чорного тіла в залежності від їх температури [10].

Діапазон довжини хвиль, який є значущим для безконтактного виміру температури, становить приблизно від 0,5  $\mu\text{м}$  до 20  $\mu\text{м}$ . У цьому діапазоні випромінювання за своєю природою позначається як теплове випромінювання або інфрачервоне випромінювання.

Інтенсивність інфрачервоного випромінювання наряду з температурою також залежить від матеріалу і властивостей поверхонь об'єкта вимірювання. Кожен матеріал має певну здатність випускати інфрачервоне випромінювання. Здатність випромінювання характеризується постійною матеріалу, так званим "коефіцієнтом випромінювання". Ця здатність перераховується на ідеальний випромінювач або "Чорний випромінювач".

Коефіцієнт випромінювання ідеального випромінювача = 1. Коефіцієнт випромінювання реального випромінювача  $< 1$  [11].

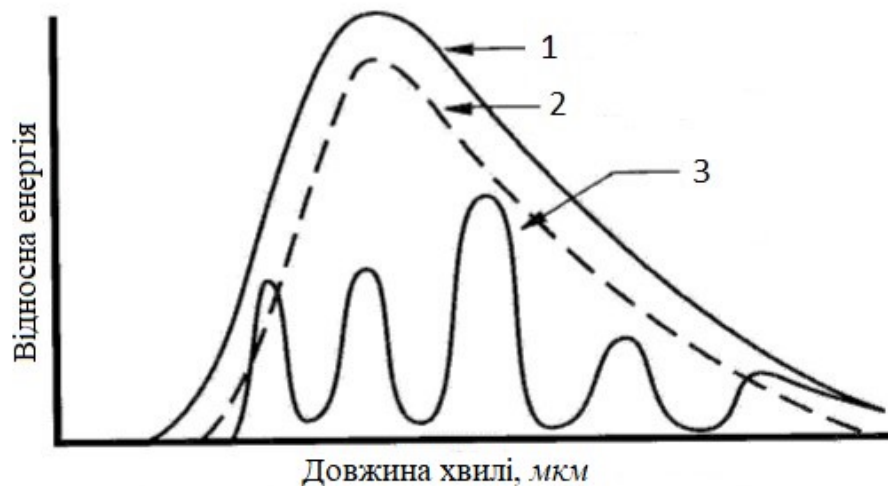
Коефіцієнтом випромінювання розраховується за формулою (1.1):

$$\varepsilon = \frac{\Phi_R}{\Phi_S}, \quad (1.1)$$

де  $\Phi_R$  – інфрачервоне випромінювання реального випромінювача;

$\Phi_S$  – інфрачервоне випромінювання чорного випромінювача.

Порівняння коефіцієнтів випромінювання різних матеріалів наведено на рисунку 1.5.



1 – для чорного тіла, 2– для сірого тіла, 3 – для інших тіл

Рисунок 1.5 – Порівняння коефіцієнтів випромінювання різних матеріалів

На коефіцієнт випромінювання впливають наступні фактори:

- довжина хвилі;
- матеріал;
- температура.

Закон випромінювання Планка, формула (1.2) показує основну кореляцію для безконтактних вимірювань температури: він описує спектральне питоме випромінювання  $M_{\lambda S}$  чорного тіла в напівпростір в залежності від його температури  $T$  і довжини хвилі  $\lambda$  [10].

$$M_{\lambda S} = \frac{2\pi\hbar c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\hbar c / \lambda k T} - 1} = \frac{C_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{C_2 / \lambda T} - 1}, \quad (1.2)$$

де  $M_{\lambda S}$  – спектральне питоме випромінювання;

$c$  – швидкість світла;

$\hbar$  – стала Планка;

$k$  – стала Больцмана;

$C_1$  – константа, що дорівнює  $3,74 \times 10^{-16} \text{ м}^2$ ;

$C_2$  – константа, що дорівнює  $1,44 \times 10^{-2} \text{ м}$ .

Чим вище температура об'єкта, тим більше інфрачервоного випромінювання випромінюється як випромінювання чорного тіла. Спеціальна камера може виявити це випромінювання подібно до звичайної камери, що виявляє видиме світло. ІЧ камера працює навіть у повній темряві, оскільки рівень навколишнього освітлення не має значення. Це робить її корисною для рятувальних робіт у заповнених димом будинках та під землею.

Основна відмінність оптичних камер полягає в тому, що фокусуючі лінзи не можуть бути виготовлені зі скла, оскільки скло блокує довгохвильове інфрачервоне світло. Зазвичай спектральний діапазон теплового випромінювання становить від 7 мкм до 14 мкм. Необхідно використовувати спеціальні матеріали, такі як германій, фторид кальцію, кристалічний кремній або нещодавно розроблений спеціальний тип халькогенідних окулярів. За

винятком фтористого кальцію, всі ці матеріали досить тверді і мають високий показник заломлення (для германію  $n = 4$ ), що призводить до дуже високого відбиття Френеля від непокритих поверхонь (до понад 30 %). З цієї причини більшість лінз для теплових камер мають антибликове покриття. Вища вартість цих спеціальних лінз – одна з причин, чому термографічні камери дорожчі [12].

Тепловізійні камери покладаються на комбінацію датчиків і схем, щоб створити корисне зображення, яке можна чітко побачити на екрані.

Спочатку об'єктів тепловізійної камери спрямовується на об'єкт або область. Об'єкти камери фокусує інфрачервоне світло, яке випромінюють усі об'єкти, що перебувають у точці зору об'єктива. Потім сфокусоване світло сканується за допомогою масиву інфрачервоних детекторів.

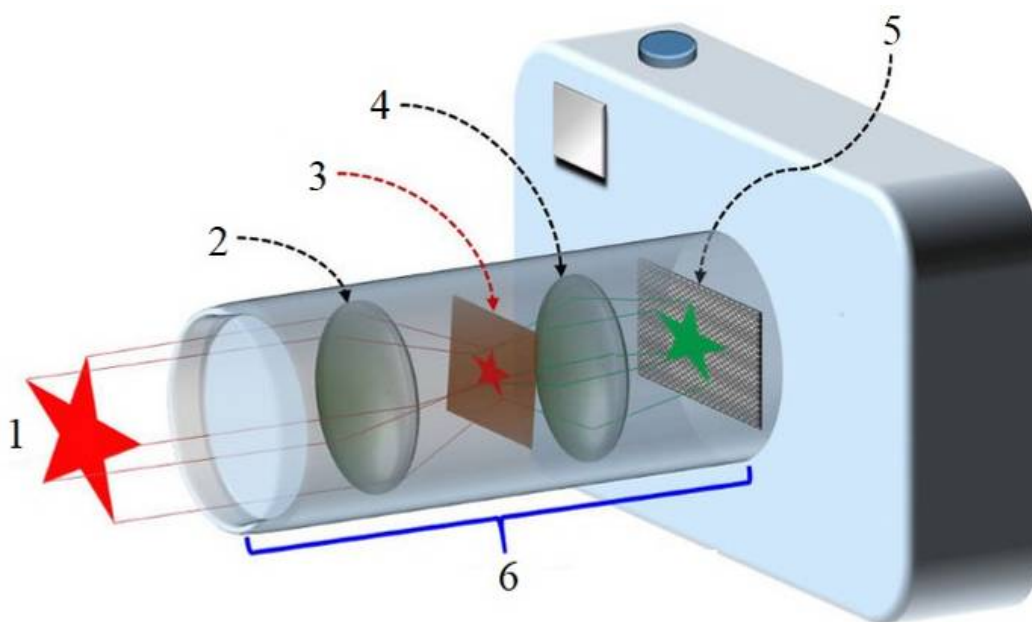
Потім елементи детектора створюють детальну і точну температурну схему, яка відома як термограма приблизно за одну тридцять секунд. Інформація про температуру збирається з декількох тисяч точок у полі зору детектора.

Після цього термограма, створена елементами детектора, перетворюється в електричні імпульси. Імпульси надсилаються на друковану плату зі спеціалізованою мікросхемою, яка перетворює інформацію з елементів детектора в дані, що потрібні для виведення зображення на дисплей.

В кінці, блок обробки сигналів надсилає перекладену інфрачервону інформацію на дисплей, створюючи зображення різних кольорів залежно від інтенсивності (нагрівання) інфрачервоного випромінювання [13].

Схема ІЧ камери наведена на рисунку 1.6.

Пірометр – прилад для безконтактного вимірювання температури тіл. Принцип дії заснований на вимірюванні потужності теплового випромінювання об'єкта переважно в діапазонах інфрачервоного випромінювання і видимого світла.



1 – вхідне ІЧ зображення, 2 – фокусуюча лінза, 3 – ІЧ чутливий дисплей, 4 – фокусуюча лінза видимого випромінювання, 5 – сенсор, 6 – комплекс перетворення ІЧ-променів у видимі

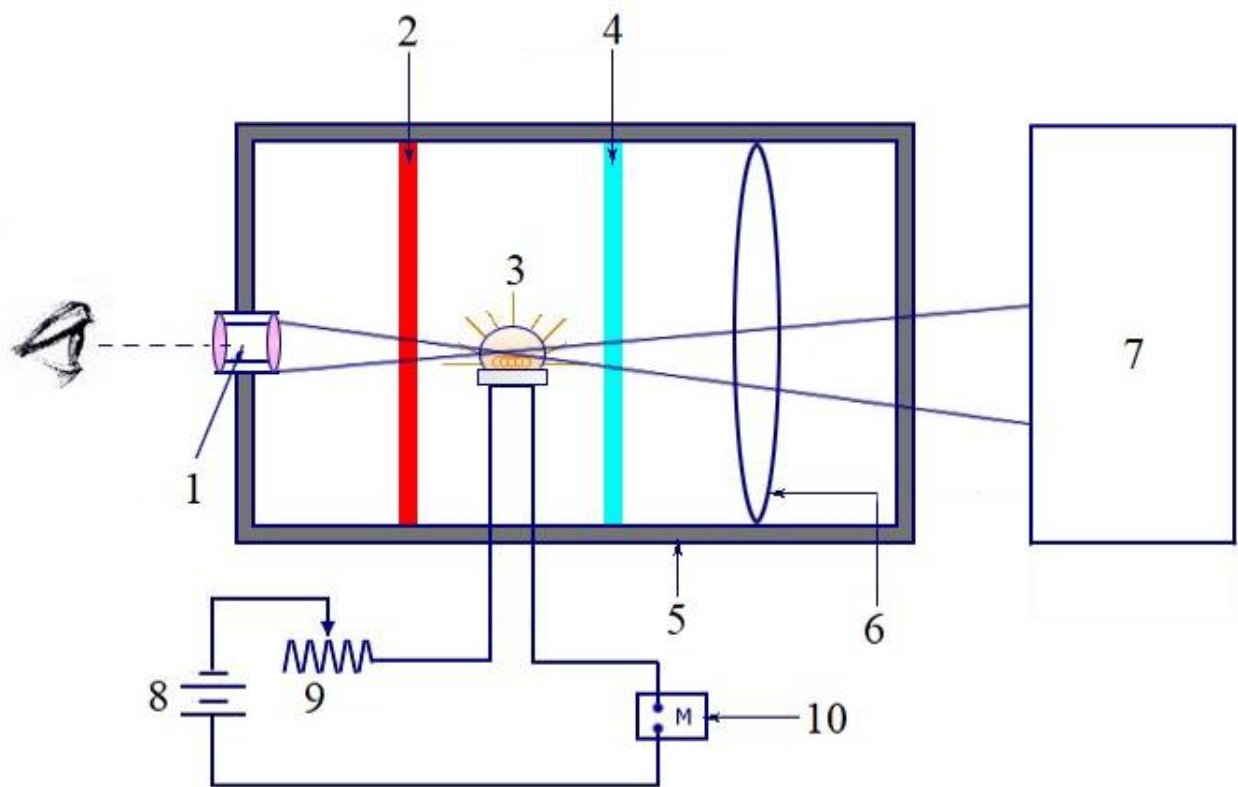
Рисунок 1.6 – Схема ІЧ камери

Принципи вибору пірометрів. Принципово можна вибирати між пірометрами з оптикою з фіксованим фокусуванням з попередньо встановленою фокусною відстанню та фокусованою оптикою з фокусною відстанню (інтервалом вимірювання), що може бути змінена. У пірометрів з оптикою з фіксованим фокусуванням, які часто працюють в інтервалі вимірювання фокусної відстані, при інших відстанях об'єктів відображає нечітко. Наслідком цього є те, що точний розмір вимірювальної плями визначається невірно.

Дані розміру вимірювальної плями на характеристиці вимірювального поля свідчать, що відносно вимірювальної плями, наприклад, 90 % енергії випромінювання фіксується пірометром. Для 95 % енергії випромінювання все ж необхідно мінімум удвічі більша вимірювальна пляма. Тому пірометри з оптикою з фіксованою фокусуванням радше підходять для великих об'єктів

вимірювання. Для малих об'єктів вимірювання або при великих інтервалах виміру перевага віддається пірометрами з фокусованою оптикою [11].

Схема пірометра наведена на рисунку 1.7.



1 – оглядова лінза, 2 – червоний фільтр, 3 – лампа контролюючої температури, 4 – поглинаючий екран, 5 – зовнішня трубка, 6 – лінза об'єктиву, 7 – джерело температури, 8 – батарея, 9 – реостат, 10 – мультиметр

Рисунок 1.7 – Схематичне зображення оптичного пірометра

#### 1.4 Висновки до першого розділу

В першому розділі даної роботи було розглянуто сфери застосування систем дистанційного вимірювання температури такі як:

- будівництво;
- правоохоронна діяльність;

- медицина;
- наука;
- метеорологія;
- виробнича діяльність;
- тощо.

Були розглянуті аналогічні системи, зокрема наведена велика кількість аналогів, що використовуються в медицині.

Було наведено фізичні принципи, що лежать в основі теплових властивостей та їх вимірювання.

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ТЕПЛОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

### 2.1 Вибір мікроконтролера для системи дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів

Arduino – це компанія, що займається розробкою апаратного та програмного забезпечення з відкритим кодом, спільнота проектів та користувачів, яка розробляє та виготовляє одноплатні мікроконтролери та набори мікроконтролерів для побудови цифрових пристроїв.

Arduino UNO (рисунок 2.1) – це готова платформа на базі мікроконтролера ATmega328P, яка має повну документацію та схеми у вільному доступі. Також усі плати Arduino мають безкоштовну середу розробки Arduino IDE та безліч готових бібліотек для роботи як із самою платформою, а також для багатьох модулів, які сумісні з платами Arduino.

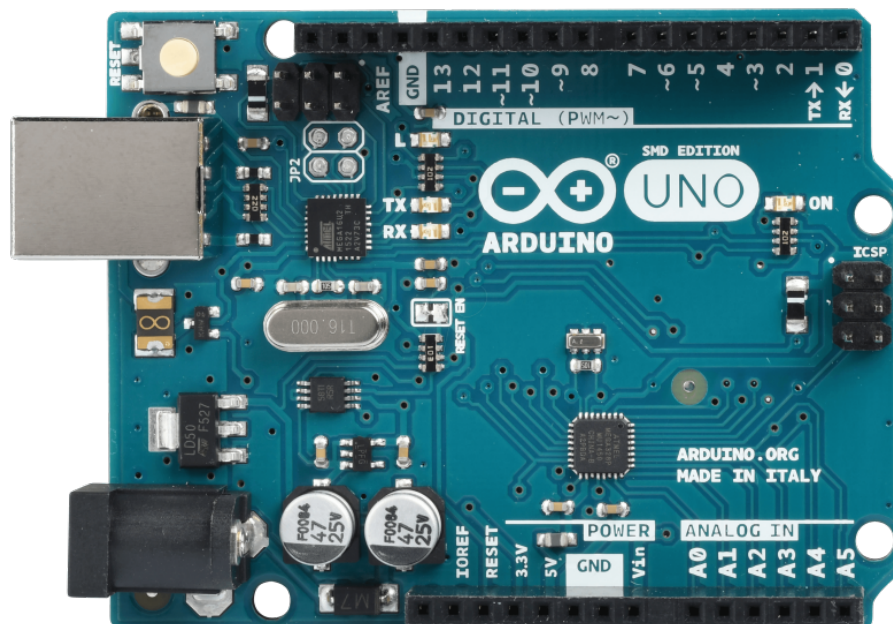


Рисунок 2.1 – Arduino UNO

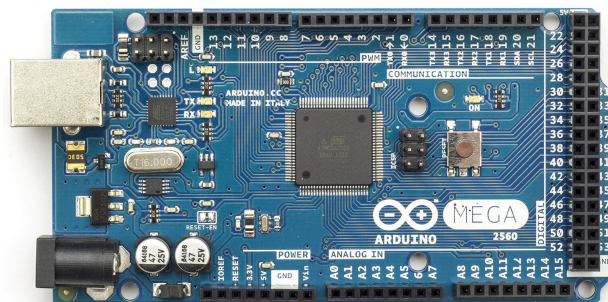


Основні характеристики Arduino UNO наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики Arduino UNO

№	Характеристика	Значення
1	Мікроконтролер	АТmega328Р – 8-бітний мікроконтролер сімейства AVR
2	Робоча напруга	5 В
3	Рекомендована вхідна напруга	від 7 В до 12 В
4	Обмеження вхідної напруги	від 6 В до 20 В
5	Аналогові входи	6 (А0 - А5)
6	Цифрові контакти вводу/виводу	14 (з яких 6 забезпечують вихід ШІМ)
7	Флеш-пам'ять	32 Кб (0,5 Кб використовується для завантажувача)
8	Частота	16 МГц

Arduino Mega 2560 (рисунок 2.2) – плата керування, на базі мікроконтролера Atmega2560. Вона поставляється з більшою кількістю пам'яті і контактів вводу/виводу в порівнянні з іншими платами, доступними на ринку.



## Рисунок 2.2 – Arduino Mega

На платі встановлено 54 цифрових контактів вводу/виводу і 16 аналогових контактів, що робить цей пристрій унікальним і відрізняє від інших. Основні характеристики Arduino Mega наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики Arduino Mega

№	Характеристика	Значення
1	Мікроконтролер	AVR ATmega 2560 (8bit)
2	Робоча напруга	5 В
3	Рекомендована вхідна напруга	від 7 В до 12 В
4	Обмеження вхідної напруги	від 6 В до 20 В
5	Цифрові контакти вводу/виводу	54
6	Аналогові контакти вводу/виводу	16
7	Флеш-пам'ять	128 Кб
8	Частота	16 МГц

Знаючи основні характеристики цих плат необхідно провести їх порівняння (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Порівняння технічних характеристик плат керування

№	Назва	Кількість цифрових виходів	Кількість аналогових виходів	Інтерфейси	Розмір, см
1	Arduino UNO	14	6	SPI, UART	6,9 × 5,3
2	Arduino Mega	16	54	SPI, UART	10,16 × 5,3
3	Arduino DUE	54	12	SPI, UART	10,16 × 5,3
4	Arduino Nano	13	8	SPI, UART	1,85 × 4,3

Raspberry Pi – це серія невеликих одноплатних комп'ютерів, розроблених у Великобританії Raspberry Pi Foundation. На початку проект Raspberry Pi схилявся до популяризації викладання базової інформатики в школах та країнах, що розвиваються. Пізніше оригінальна модель стала набагато популярнішою, ніж передбачалося, продаючись за межі цільового ринку для таких видів використання, як робототехніка. Зараз він широко використовується в багатьох областях, наприклад, для моніторингу погоди, через низьку вартість та високу портативність [14].

Випущено кілька поколінь Raspberry Pi. Усі моделі оснащені системою Broadcom на мікросхемі із вбудованим ARM-сумісним центральним процесором та вбудованим графічним процесором.

Перше покоління (Raspberry Pi Model B) було випущено в лютому 2012 року, а потім простіша і дешевша модель A. У 2014 році Фонд випустив плату з вдосконаленим дизайном, Raspberry Pi Model B +. Ці плати мають розмір приблизно кредитної картки і представляють стандартний основний фактор форми. Покращені моделі A + і B + були випущені через рік. У квітні 2014 року для вбудованих програм був випущений "Обчислювальний модуль".

Raspberry Pi 2 (рисунок 2.3), який має чотириядерний процесор ARM Cortex-A7 900 МГц та 1 Гб оперативної пам'яті, був випущений у лютому 2015 року.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд мікрокомп'ютера Raspberry Pi 2B

Raspberry Pi Zero (рисунок 2.4) з меншим розміром та зменшеною кількістю портів введення/виводу був випущений в листопаді 2015 року ціною в 5 доларів США. 28 лютого 2017 року була запущена Raspberry Pi Zero W, версія Zero з можливостями Wi-Fi та Bluetooth, за 10 доларів США. 12 січня 2018 року було запущено Raspberry Pi Zero WH, версію Zero W з попередньо спаяними контактами GPIO.

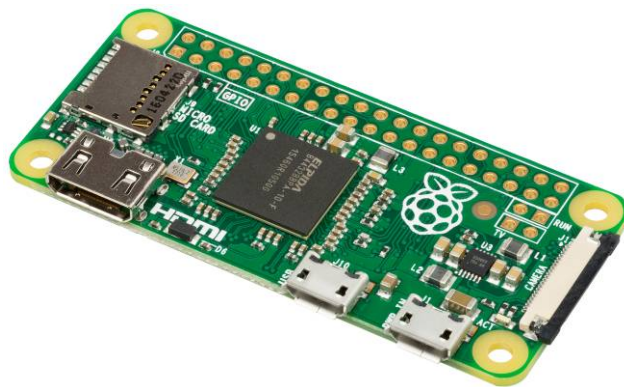


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд мікрокомп'ютера Raspberry Pi Zero

Raspberry Pi 3 Model B була випущена в лютому 2016 року з 64-розрядним чотирьохядерним процесором 1,2 ГГц, вбудованими 802.11n Wi-Fi, Bluetooth та USB-можливостями завантаження. У день Pi 2018 була запущена модель Raspberry Pi 3 Model B + (рисунок 2.5) з більш швидким процесором 1,4 ГГц і втричі швидшим гігабітним Ethernet (пропускна здатність обмежена приблизно 300 Мбіт/с за допомогою внутрішнього з'єднання USB 2.0) або подвійним 2,4 ГГц, діапазон Wi-Fi 802.11ac (100 Мбіт/с). Інші функції – Power over Ethernet (PoE) (з додатковим PoE HAT), завантаження через USB та мережеве завантаження (SD-карта більше не обов'язкова).

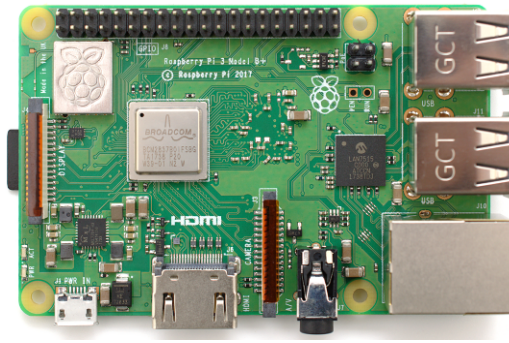


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд мікрокомп'ютера Raspberry Pi 3B+

Raspberry Pi 4 Model B (рисунок 2.6) була випущена в червні 2019 року з 64-розрядним чотирьохядерним процесором ARM Cortex-A72 1,5 ГГц, вбудованим Wi-Fi 802.11ac, Bluetooth 5, повноцінним гігабітним Ethernet (пропускна здатність не обмежена), двома портами USB 2.0, два порти USB 3.0 та підтримка подвійного монітора через пару портів micro HDMI (HDMI Type D) для роздільної здатності до 4K. Pi 4 також живиться через порт USB-C, що забезпечує додаткове живлення периферійних пристроїв, розташованих нижче за потоком, при використанні з відповідним блоком живлення.

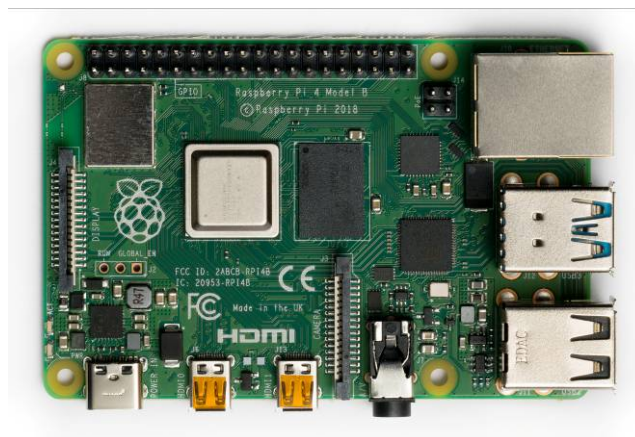


Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд мікрокомп'ютера Raspberry Pi 4 B

Основні характеристики Raspberry Pi моделі 4 B наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики Raspberry Pi 4 B

Набір інструкцій	CPU	RAM	Порти USB	Інтернет
ARMv8-A (64/32-bit)	4× Cortex-A53 1,4 ГГц	2 Гб	2x USB 2.0, 2x USB 3.0	Ethernet(до 1 Гб), WiFi 802.11 2,4 Гц

Для виконання роботи був обраний мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4 B, оскільки він є достатньо потужним як для аналізу зображення, так і для керування мобільною роботизованою платформою.

## 2.2 Особливості програмування мікрокомп'ютерів RaspBerryPI

Фонд Raspberry Pi надає для завантаження ОС Raspberry Pi (попередня назва Raspbian), дистрибутив Linux на базі Debian, а також сторонні ОС. Він просуває Python і Scratch як основні мови програмування, підтримуючи багато інших мов. Прошивка за замовчуванням – із закритим кодом, також доступна неофіційна з відкритим кодом. Багато інших операційних систем також можуть працювати на Raspberry Pi. Сторонні операційні системи, доступні на офіційному веб-сайті, включають Ubuntu MATE, Windows 10 IoT Core, ОС RISC, спеціалізовані дистрибутиви для медіа-центру Kodi та інші.

Центральний процесор мікрокомп'ютера Raspberry Pi побудований за архітектурою ARM. ARM – це сімейство архітектур скорочених обчислювальних наборів (RISC) для комп'ютерних процесорів. Процесори, що мають архітектуру RISC, зазвичай потребують менше транзисторів, ніж ті, що мають складну архітектуру обчислювальних наборів команд (CISC) (наприклад, процесори x86, які містяться в більшості персональних комп'ютерів), що покращує вартість, енергоспоживання та тепловіддачу. Ці характеристики

бажані для легких, портативних пристроїв, що живляться від батареї – включаючи смартфони, ноутбуки та планшетні комп'ютери та інші вбудовані системи, але певною мірою також корисні для серверів та персональних комп'ютерів. Для суперкомп'ютерів, які споживають велику кількість електроенергії, ARM теж є енергоефективним рішенням.

Найчастіше на мікрокомп'ютери Raspberry Pi в якості ОС встановлюється один з дистрибутивів Linux. Для компіляції програм на мові програмування C/C++ використовується компілятор GCC (GNU Compiler Collection). Також є можливість крос-компіляції (компіляції на іншій машині), якщо вказати в опціях компілятора архітектуру ARM в якості цільової архітектури.

Вихідний код може бути написаний на Raspberry Pi або іншому комп'ютері в будь-якому текстовому редакторі, або в середовищі розробки, що підтримує потрібну мову програмування.

Операційна система Raspbian дозволяє використання більшості мов програмування. Далі наведено порівняння найпопулярніших мов програмування на Raspberry Pi.

Мова Python. Python – інтерпретована мова програмування високого рівня та загального призначення. Філософія дизайну Python підкреслює читабельність коду завдяки помітному використанню табуляції та пробілів. Його мовні конструкції та об'єктно-орієнтований підхід мають на меті допомогти програмістам писати чіткий логічний код для малих та великих проектів.

Python є мовою з динамічною типізацією та збиранням сміття. Він підтримує кілька парадигм програмування, включаючи структуроване (зокрема, процедурне), об'єктно-орієнтоване та функціональне програмування. Python має обширну стандартну бібліотеку.

Мова C. C – це процедурна мова комп'ютерного програмування загального призначення, що підтримує структуроване програмування, лексичну область змінних та рекурсію із системою статичного типу. За задумом C пропонує конструкції, які ефективно відображають типові машинні інструкції. Він знайшов тривале використання в додатках, кодованих раніше мовою

асемблера. Такі додатки включають операційні системи та різне прикладне програмне забезпечення для комп'ютерних архітектур, які варіюються від суперкомп'ютерів до вбудованих систем. Спадкоємець мови програмування B, C був спочатку розроблений в Bell Labs Деннісом Річі між 1972 і 1973 роками для створення службових програм, що працюють на Unix. Він був застосований для повторної реалізації ядра операційної системи Unix. Протягом 1980-х років C поступово набрав популярності. Він став однією з найбільш широко використовуваних мов програмування, із компіляторами C від різних постачальників, доступних для більшості існуючих архітектур комп'ютерів та операційних систем. C стандартизовано ANSI з 1989 р. (ANSI C) та Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO). Станом на вересень 2020 року C є найпопулярнішою мовою програмування. C є імперативною процедурною мовою. Він був розроблений для компіляції для забезпечення низькорівневого доступу до пам'яті та мовних конструкцій, які ефективно відповідають машинним інструкціям, і все це з мінімальною підтримкою під час виконання. Незважаючи на свої низькорівневі можливості, мова була розроблена для заохочення міжплатформеного програмування. Програма C, що відповідає стандартам, написана з урахуванням переносимості, може бути скомпільована для широкого кола комп'ютерних платформ та операційних систем з невеликим зміною вихідного коду.

Java – це об'єктно-орієнтована мова програмування на основі класів, яка розроблена для забезпечення якомога меншої залежності від реалізації. Це мова програмування загального призначення, призначена для того, щоб розробники програм могли писати один раз, запускати їх де завгодно, що означає, що скомпільований код Java може працювати на всіх платформах, що підтримують Java, без необхідності перекомпіляції. Програми Java зазвичай компілюються в байт-код, який може працювати на будь-якій віртуальній машині Java (JVM), незалежно від базової архітектури комп'ютера. Синтаксис Java подібний до C та C ++, але має менше засобів низького рівня, ніж будь-який з них. Час виконання Java забезпечує динамічні можливості, які, як правило, недоступні в



традиційних компільованих мовах. Станом на 2019 рік Java була однією з найпопулярніших мов програмування, що використовується згідно з GitHub, особливо для веб-додатків клієнт-сервер, із 9 мільйонами розробників, про які повідомляється. Java була розроблена Джеймсом Гослінгом у Sun Microsystems (яка згодом була придбана Oracle) і випущена в 1995 році як основний компонент Java-платформи Sun Microsystems.

## 2.3 Вибір необхідних бібліотек

Існує декілька способів керувати портами вводу/виводу загального призначення (GPIO) Raspberry Pi. Зробити це можна за допомогою мови асемблера, або бібліотек WiringPi та pigpio для мов програмування C та Python.

WiringPi – це бібліотека доступу до портів GPIO, написана мовою C для пристроїв BCM2835, BCM2836 та BCM2837 SoC, що використовуються у всіх версіях Raspberry Pi. Вихідний код не є загальнодоступним, але може бути доступним для тих, хто бажає комерційної підтримки.

Вона розроблена, щоб бути знайомим людям, які користувались системою підключення Arduino і призначена для використання досвідченими програмістами на C/C++. Це не інструмент для початківців.

WiringPi включає утиліту командного рядка gpio, яку можна використовувати для програмування та налаштування портів GPIO.

Бібліотека pigpio написана мовою програмування C.

Демон Pigiopropонує інтерфейс сокета та конвеєра до базової бібліотеки C.

Бібліотека C та модуль Python дозволяють керувати GPIO за допомогою демона pigpio.

Існує підтримка третьої сторони для ряду інших мов.

Для розробки програми дистанційного керування мобільною платформою була обрана мова програмування Java. Інтерфейс користувача був створений за

допомогою бібліотеки Java Swing, передача даних була реалізована з використанням стандартних бібліотек (класів) мови Java.

Swing – це набір віджетів графічного інтерфейсу користувача для Java. Це частина Oracle Java Foundation Classes – API для забезпечення графічного інтерфейсу користувача для програм Java.

Swing був розроблений, щоб забезпечити більш складний набір компонентів графічного інтерфейсу, ніж попередній набір абстрактних вікон AWT. Swing забезпечує зовнішній вигляд, який імітує зовнішній вигляд декількох платформ. Він має більш потужні та гнучкі компоненти, ніж AWT.

На додаток до знайомих компонентів, таких як кнопки, прапорці та мітки, Swing надає кілька вдосконалених компонентів, таких як панель з вкладками, панелі прокрутки, дерева, таблиці та списки.

На відміну від компонентів AWT, компоненти Swing не реалізовані специфічним кодом платформи. Натомість вони написані повністю на Java і тому не залежать від платформи.

## 2.4 Розгляд технологій передачі даних

Для реалізації передачі керуючих команд для мобільної роботизованої платформи та отримання даних з камери було використано наступні технології:

- сокети;
- протокол TCP;
- протокол UDP;
- технологія ssh.

Мережевий сокет – це програмна структура всередині мережевого вузла комп'ютерної мережі, яка служить кінцевою точкою для надсилання та отримання даних по мережі. Структура та властивості сокета визначаються інтерфейсом прикладного програмування для мережевої архітектури. Сокети створюються лише протягом життя процесу програми, що працює у вузлі.

Через стандартизацію протоколів TCP/IP при розробці Інтернету, термін мережевий сокет найчастіше використовується в контексті Інтернет-набору, і тому його також називають Інтернет-сокетом. У цьому контексті сокет зовні ідентифікується для інших хостів за адресою сокета, що є тріадою транспортного протоколу, IP-адресою та номером порту.

Термін сокет також використовується для кінцевої точки програмного забезпечення внутрішнього вузла міжпроцесорного зв'язку, який часто використовує той же API, що і мережевий сокет.

Інтерфейс прикладного програмування для стека мережевого протоколу створює дескриптор для кожного сокета, створеного додатком, який зазвичай називають дескриптором сокета. У Unix-подібних операційних системах цей дескриптор є типом дескриптора файлу. Він зберігається в процесі подання заявки для використання з кожною операцією читання та запису на каналі зв'язку.

На момент створення з API мережевий сокет прив'язаний до комбінації типу мережевого протоколу, який буде використовуватися для передач, мережевої адреси хоста та номера порту. Порти – це нумеровані ресурси, які представляють інший тип програмної структури вузла. Вони використовуються як типи послуг, і після створення процесу слугують зовнішнім (з мережі) адресним компонентом розташування, щоб інші хости могли встановлювати з'єднання.

Мережеві сокети можуть бути призначені для постійних з'єднань для зв'язку між двома вузлами, або вони можуть брати участь у зв'язку без зв'язку та багатоадресній передачі.

Протокол управління передачею (TCP) є одним з основних протоколів набору протоколів Інтернету. Він виник у початковій реалізації мережі, в якій він доповнював Інтернет-протокол (IP). Тому весь пакет зазвичай називають TCP/IP. TCP забезпечує надійну, упорядковану та перевірену помилками передачу потоку октетів (байтів) між програмами, що працюють на хостах, що спілкуються через IP-мережу. Основні інтернет-програми, такі як Всесвітня

павутина, електронна пошта, віддалене адміністрування та передача файлів, покладаються на TCP, який є частиною транспортного рівня пакета TCP/IP. SSL/TLS часто працює поверх TCP.

TCP орієнтований на з'єднання, і зв'язок між клієнтом та сервером встановлюється перед тим, як дані можуть бути надіслані. Сервер повинен прослуховувати (пасивно відкрито) запити на підключення від клієнтів до встановлення з'єднання. Трестороннє рукостискання (активне відкрите), ретрансляція та виявлення помилок додають надійності, але продовжують затримку. Програми, які не потребують надійної служби потоку даних, можуть використовувати протокол UDP (User Datagram Protocol), який надає службу дейтаграм без підключення, яка надає пріоритет часу перед надійністю. TCP використовує запобігання перевантаженню мережі. Однак у TCP є вразливі місця, включаючи відмову в обслуговуванні, викрадення з'єднання, вето TCP та атаку на скидання.

Незважаючи на те, що TCP є складним протоколом, його основна робота істотно не змінилася з моменту першої специфікації. TCP все ще переважно використовується для Інтернету, тобто для протоколу HTTP, а пізніше HTTP/2, хоча не використовується останнім стандартом HTTP/3.

Протокол TCP забезпечує послугу зв'язку на проміжному рівні між прикладною програмою та Інтернет-протоколом. Він забезпечує зв'язок між хостами на транспортному рівні моделі Інтернету. Програмі не потрібно знати конкретних механізмів надсилання даних за посиланням на інший хост, таких як необхідна фрагментація IP для розміщення максимального блоку передачі середовища передачі. На транспортному рівні TCP обробляє всі деталі рукостискання та передачі та представляє абстракцію мережевого підключення до програми, як правило, через інтерфейс мережевого сокета.

На нижчих рівнях стеку протоколів через перевантаженість мережі, балансування навантаження трафіку або непередбачувану поведінку мережі IP-пакети можуть бути втрачені, продубльовані або доставлені з ладу. TCP виявляє ці проблеми, вимагає повторної передачі втрачених даних, переставляє

дані, що не працюють, і навіть допомагає мінімізувати мережевий затор, щоб зменшити кількість інших проблем. Якщо дані все ще залишаються недоотриманими, джерело повідомляється про цю помилку. Після того, як приймач TCP повторно зібрав послідовність спочатку переданих октетів, він передає їх приймаючій програмі. Таким чином, TCP абстрагує спілкування програми від основних деталей мережі.

TCP широко використовується багатьма Інтернет-програмами, зокрема Всесвітньою павутиною (WWW), електронною поштою, протоколом передачі файлів, захищеною оболонкою, одноранговим обміном файлами та потоковими медіа.

TCP оптимізований для точної доставки, а не для своєчасної доставки, і може спричиняти відносно великі затримки (порядком секунд) під час очікування непрацюючих повідомлень або повторної передачі втрачених повідомлень. Тому він не особливо підходить для додатків у режимі реального часу, таких як передача голосу через IP. Для таких додатків зазвичай рекомендуються протоколи, такі як Транспортний протокол реального часу (RTP), що працює за протоколом User Datagram Protocol (UDP).

TCP – це надійна служба доставки потоку, яка гарантує, що всі отримані байти будуть однаковими та в тому ж порядку, що і відправлені. Оскільки передача пакетів багатьма мережами не є надійною, TCP досягає цього, використовуючи техніку, відому як позитивне підтвердження при повторній передачі. Це вимагає від одержувача відповіді повідомленням про підтвердження, коли він отримує дані. Відправник веде запис кожного відправленого пакету та підтримує таймер з моменту відправлення пакета. Відправник повторно передає пакет, якщо таймер закінчується до отримання підтвердження. Таймер потрібен на випадок, якщо пакет загубиться або пошкодиться.

Поки IP обробляє фактичну доставку даних, TCP відстежує сегменти – окремі блоки передачі даних, на які поділено повідомлення для ефективної маршрутизації через мережу. Наприклад, коли файл HTML надсилається з веб-

сервера, програмний рівень TCP цього сервера ділить файл на сегменти та пересилає їх окремо на рівень Інтернету в мережевому стеці. Програмне забезпечення рівня Інтернету інкапсулює кожен сегмент TCP в IP-пакет, додаючи заголовок, який включає (серед інших даних) IP-адресу призначення. Коли клієнтська програма на цільовому комп'ютері їх отримує, програмне забезпечення TCP на транспортному рівні повторно збирає сегменти та забезпечує їх правильне впорядкування та без помилок, оскільки воно передає вміст файлу до програми-одержувача.

У комп'ютерних мережах протокол UDP (User Datagram Protocol) є одним з основних членів набору протоколів Інтернету. Протокол був розроблений Девідом П. Рідом у 1980 році та офіційно визначений у RFC 768. За допомогою UDP комп'ютерні програми можуть надсилати повідомлення, в даному випадку називаються дейтаграмами, іншим хостам мережі Інтернет-протоколу (IP). Попередні зв'язки не потрібні для встановлення каналів зв'язку або шляхів передачі даних.

UDP використовує просту модель зв'язку без підключення з мінімумом механізмів протоколів. UDP забезпечує контрольні суми для цілісності даних та номери портів для адресації різних функцій у джерела та місця призначення дейтаграми. Він не має діалогів про рукоштовування, і таким чином піддає програму користувача будь-якій ненадійності базової мережі; немає гарантії доставки, замовлення або захисту від дублікатів. Якщо на рівні мережевого інтерфейсу потрібні засоби виправлення помилок, програма може використовувати Протокол управління передачею (TCP) або Протокол передачі потокового управління (SCTP), які призначені для цієї мети.

UDP підходить для цілей, де перевірка та виправлення помилок або не потрібні, або виконуються в додатку; UDP дозволяє уникнути накладних витрат на таку обробку у стеці протоколів. Часостійкі програми часто використовують UDP, оскільки скидання пакетів переважніше, ніж очікування на затримку пакетів через повторну передачу, що може не бути можливим у системі реального часу.

SSH або Secure Shell – це криптографічний мережевий протокол для надійної роботи мережевих служб через незахищену мережу. Типові програми включають віддалений командний рядок, вхід та віддалене виконання команд, але будь-яку мережеву службу можна захистити за допомогою SSH.

SSH забезпечує захищений канал через незахищену мережу, використовуючи архітектуру клієнт-сервер, підключаючи клієнтську програму SSH до сервера SSH. Специфікація протоколу розрізняє дві основні версії, які називаються SSH-1 та SSH-2. Стандартний порт TCP для SSH – 22. SSH, як правило, використовується для доступу до Unix-подібних операційних систем, але він також може використовуватися в Microsoft Windows. Windows 10 використовує OpenSSH як стандартний клієнт SSH та сервер SSH.

Незважаючи на поширену помилкову думку, SSH не є реалізацією Telnet з криптографією, що надається рівнем захищених сокетів (SSL).

SSH був розроблений як заміна Telnet та незахищених протоколів віддаленої оболонки, таких як Berkeley rsh та пов'язані з ними протоколи rlogin та rhexec. Ці протоколи надсилають інформацію, зокрема паролі, у відкритому тексті, роблячи їх сприйнятливими до перехоплення та розкриття за допомогою аналізу пакетів. Шифрування, що використовується SSH, призначене для забезпечення конфіденційності та цілісності даних в незахищеній мережі, такій як Інтернет.

## 2.5 Висновки до другого розділу

В другому розділі роботи було здійснено огляд та вибір компонентів апаратної частини системи дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів. Спираючись на отриману інформацію для реалізації проекту було обрано мікрокомп'ютер Raspberry Pi Model 4B. Були розглянуті особливості його програмування.

Здійснено вибір програмних бібліотек, що дозволяють виконувати наступні задачі:

- реалізація руху мобільної платформи;
- дистанційне керування мобільною платформою та обмін даними між нею та керуючим комп'ютером;

- реалізація інтерфейсу користувача.

Були описані наступні технології, що використовуються в роботі:

- сокети;
- протокол TCP;
- протокол UDP;
- технологія ssh.



### 3 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ТЕПЛОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

#### 3.1 Вибір камери для системи дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів

Технічні характеристики теплової камери Adafruit MLX90640 (зовнішній вигляд камери зображено на рисунку 3.1). Цей датчик містить масив ІЧ-термодатчиків розміром 24 x 32. При підключенні до мікроконтролера (або Raspberry Pi) він повертає масив із 768 індивідуальних показань інфрачервоної температури через I2C. Ця камера схожа за характеристиками на дорогі спеціалізовані камери, але в порівнянні з ними є досить компактною (розмір камери у порівнянні з монетою зображено на рисунку 3.2) та простою в інтеграції.

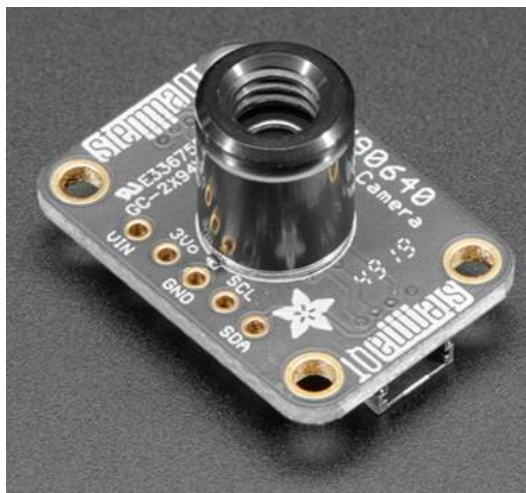


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд камери Adafruit MLX90640

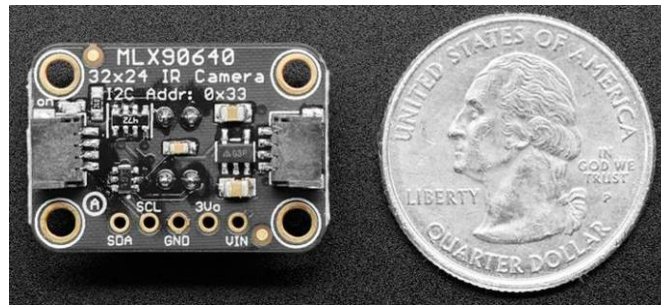


Рисунок 3.2 – Розмір камери Adafruit MLX90640 у порівнянні з монетою

Є дві версії цієї камери: одна із ширшим полем зору  $110^\circ \times 70^\circ$ , а друга з вузьким полем зору  $55^\circ \times 35^\circ$  (рисунок 3.3).

Камера вимірює температури від  $-40^\circ\text{C}$  до  $300^\circ\text{C}$  з точністю до  $\pm 2^\circ\text{C}$  (в діапазоні від  $0^\circ\text{C}$  до  $100^\circ\text{C}$ ). З максимальною частотою кадрів  $16\text{ Гц}$  (теоретична межа –  $32\text{ Гц}$ , але цього практично не можливо досягти), вона ідеально підходить для створення власного детектора людини або міні-теплової камери. Виробник постачає код для використання цього датчика на Arduino або подібних плат (датчик спілкується через I2C) або на Raspberry Pi за допомогою мови програмування Python. Якщо використовується Arduino-подібна плата, потрібен процесор з принаймні  $20\text{ КБ}$  оперативної пам'яті (наприклад чіпсет SAMD21 або SAMD51). На Raspberry Pi навіть можна виконати обробку інтерполяції за допомогою бібліотеки SciPy Python і отримати досить точні результати.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд камери Adafruit MLX90640 з вузьким полем зору

Виробник також постачає приклади коду та здійснює підтримку бібліотек програмного забезпечення, тому користувач може розробити простий проект за допомогою лише кількох рядків коду Arduino або Python.

Дана камера була б оптимальною для виконання дипломного проекту, проте вона не продається на території України.

Технічні характеристики камери Raspberry Pi NoIR Camera V2. Raspberry Pi NoIR (no infrared) Camera Module v2 це високоякісний 8 мегапіксельний датчик зображення Sony IMX219 з фіксованим фокусом, спроектований спеціально для плати Raspberry Pi. Датчик підтримує зображення з роздільною здатністю 3280 x 2464 пікселів, а так само відео 1080p30, 720p60 і 640x480p60/90. Він підключається до плати завдяки невеликим роз'ємам на верхній частині плати і використовує особливий CSI інтерфейс, спроектований спеціально для роботи з камерами. Сам датчик невеликий, всього 25 мм x 23 мм x 9 мм. Його вага становить близько 3 г, що ідеально підходить для мобільних або інших невеликих додатків, де важлива вага і розмір. Для підключення до плати Raspberry Pi використовується короткий стрічковий кабель.

Особливості камери NoIR Camera Module v2:

- 8 мегапіксельна камера здатна робити ІК-фотографії з роздільною здатністю в 3280 x 2464 пікселів;
- запис відео з роздільною здатністю 1080p30, 720p60 і 640x480p90;
- все програмне забезпечення підтримується в останній версії Raspbian Operating System;

Типові області застосування даної камери: ІК-фотографія, фотографія при слабкому освітленні, моніторинг росту рослин, кабельна камера відеоспостереження.

Зовнішній вигляд камери NoIR Camera V2 зображено на рисунку 3.4.

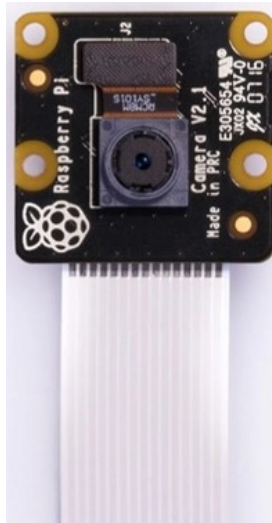


Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд камери Raspberry Pi NoIR Camera V2

Камера NoIR Camera V2 має чіткість зображення 8 МП, її основною особливістю є те, що вона не має ІЧ фільтру, що дозволяє їй фіксувати ІЧ випромінення [14]. Недоліком такої камери перед термокамерами є те, що неможливо безпосередньо встановити температуру об'єктів. Проте перевагою є нижча ціна та більша чіткість зображення.

### 3.2 Розробка мобільної роботизованої платформи

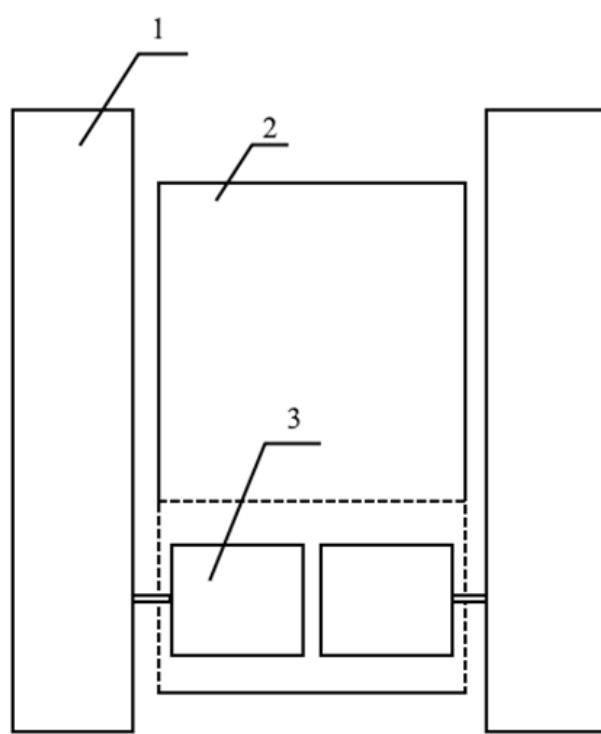
Мобільний робот – робот, здатний самостійно рухатися. Мобільна робототехніка зазвичай розглядається як підрозділ робототехніки та інформаційної інженерії [15].

Мобільні роботи мають можливість переміщатися в своєму оточенні і не фіксуються в одному фізичному місці. Мобільні роботи можуть бути «автономними» (автономний мобільний робот), що означає, що вони здатні переміщатись неконтрольованим середовищем без необхідності використання фізичних або електромеханічних пристроїв керування. Альтернативно, мобільні роботи можуть покладатися на пристрої керування, які дозволяють їм пересуватися за заздалегідь визначеним маршрутом навігації у відносно

контрольованому просторі. На відміну від цього, промислові роботи, як правило, більш-менш стаціонарні, складаються з з'єднаного плеча (багатосмугового маніпулятора) і захоплюючого вузла (або кінцевого ефектора), прикріпленого до нерухомої поверхні.

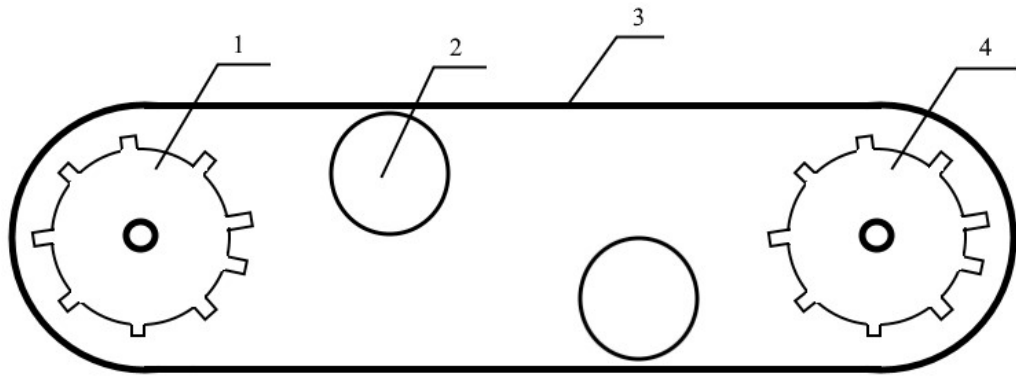
Компонентами мобільного робота є контролер, програмне забезпечення для управління, датчики і виконавчі механізми. Контролер, як правило, є мікропроцесором, вбудованим мікроконтролером або персональним комп'ютером (ПК). Програмне забезпечення для керування мобільним зв'язком може бути мовою асемблера або мовами високого рівня, такими як C, C ++, Pascal, Fortran або спеціальним програмним забезпеченням реального часу. Датчики використовують в залежності від вимог до робота.

Схематичний вигляд гусеничної платформи зображено на рисунках 3.5 та 3.6.



1 – гусенична ланка; 2 – платформа; 3 – двигун

Рисунок 3.5 – Загальний вигляд гусеничного шасі



1 – опорне колесо; 2 – допоміжне колесо; 3 – гусенична стрічка; 4 —  
направляюче колесо

Рисунок 3.6 – Узагальнена схема гусеничного ланки

Перед тим, як розроблювати конструкцію МР, необхідно збудувати структурну схему та визначити вимоги від МР.

Перелік вимог від МР:

- мобільність;
- можливість дистанційного керування;
- шасі.

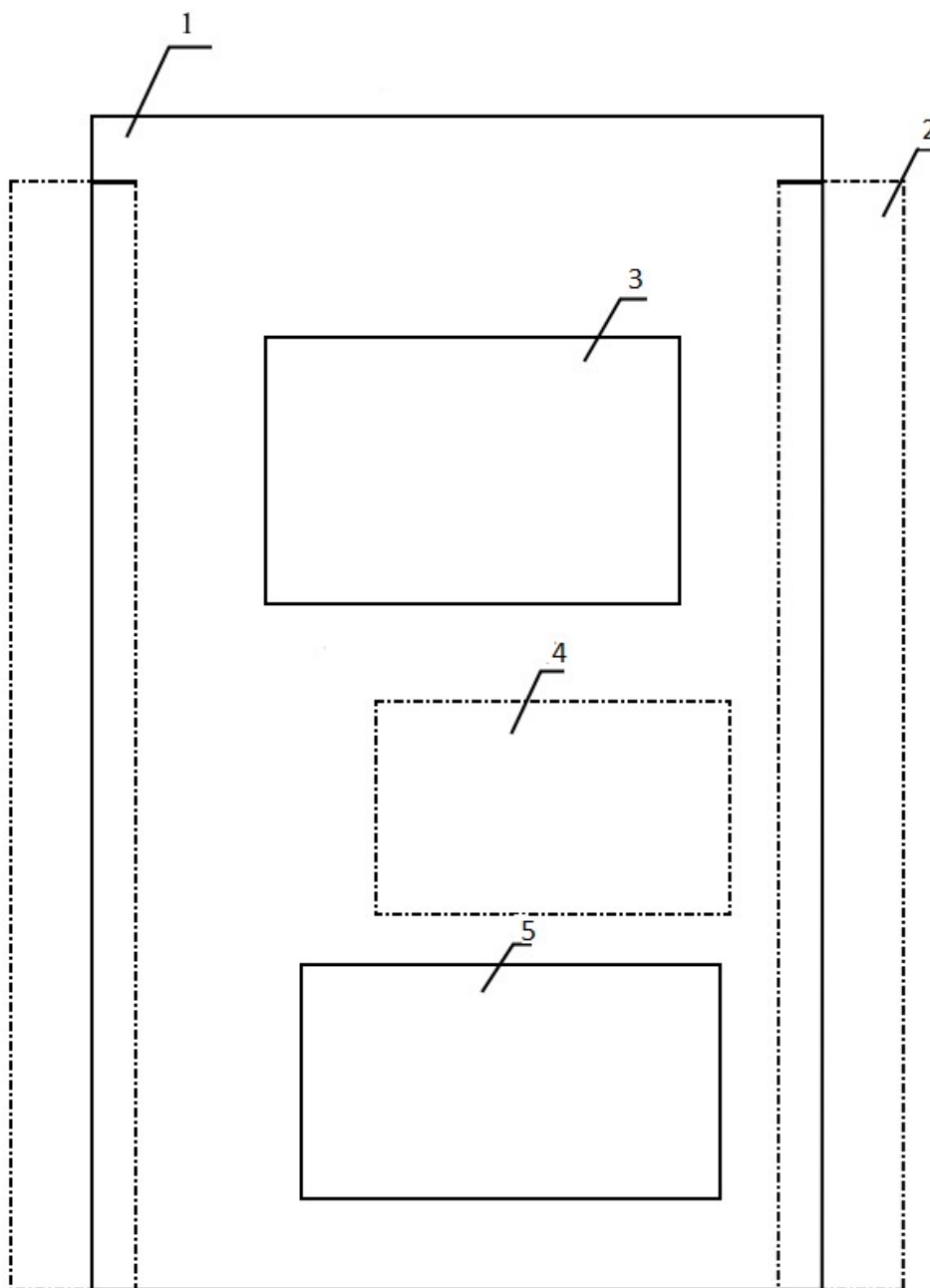
Так, як робот мобільний, йому необхідно незалежне джерело живлення, тобто акумуляторний блок.

Але мобільності та трансляції відео потоку недостатньо, тому що робот повинен мати можливість переміщатися у просторі та дистанційно керуватися, тобто необхідно шасі, плати для керування та модуль для передачі сигналу. Для кращої прохідності обрано гусеничне шасі.

Отже підведемо підсумок необхідного обладнання для функціонування роботи. Для його реалізації необхідно:

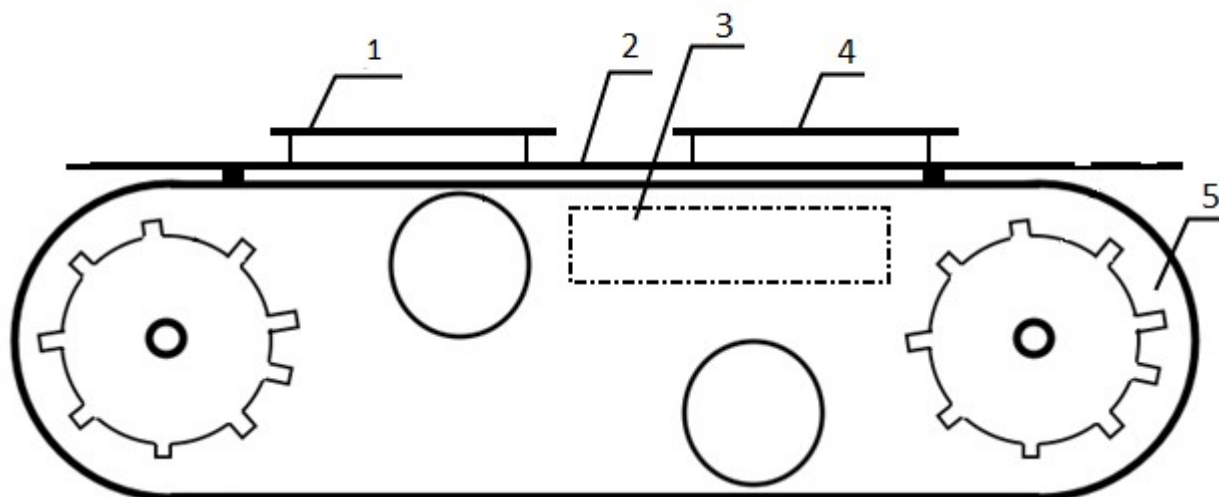
- шасі з двигунами;
- плата керування;
- кабель USB type A – USB type B;
- акумуляторний блок.

Маючи перелік необхідний модулів та плат, ми можемо навести структурну схему мобільного робота. Структурна схема наведена на рисунках 3.7 та 3.8.



1 – платформа; 2 – гусеничне шасі; 3 – плата керування; 4 –  
акумуляторний блок; 5 – драйвер двигуна

Рисунок 3.7 – Структурна схема МР, вид зверху



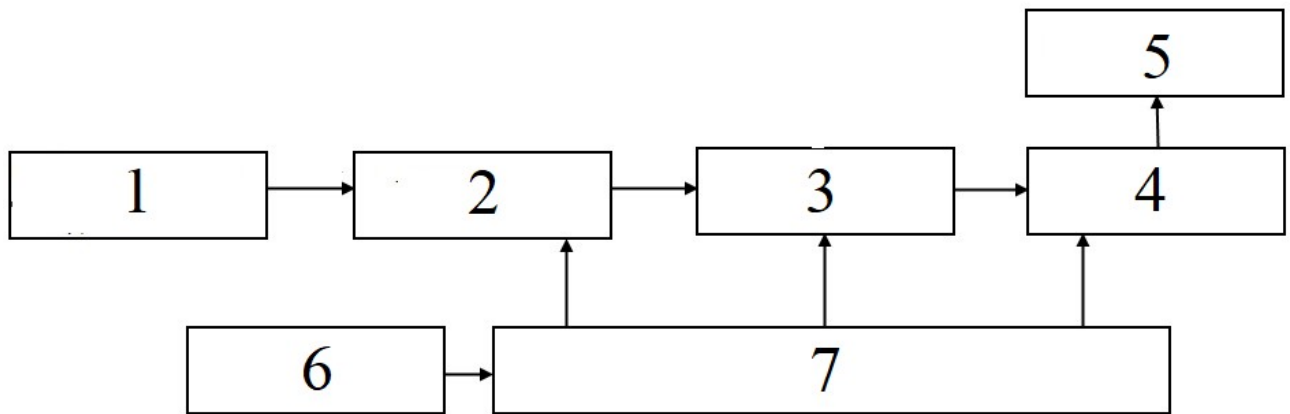
1 – плата керування; 2 – платформа; 3 – акумуляторний блок; 4 – драйвер двигунів; 5 – гусеничне шасі

Рисунок 3.8 – Структурна схема МР, вид збоку

Розробивши приблизну структурну схему МР ми вже маємо уяву про те, як він має виглядати, але ще потрібно мати уявлення про принцип роботи МР описавши зв'язок кожного елемента між собою. Функціональна схема наведена на рисунку 3.9.

Виходячи з функціональної схеми, яка приведена вище ми бачимо що у МР має бути не тільки акумуляторний блок, але і блок живлення. Це пояснюється тим, що кожен з модулів має свою робочу напругу, перевищення якої може вивести з ладу модулі та плати, а якщо напруга буде нижче необхідної, елементи можуть працювати не коректно, або і зовсім не працювати. Тому необхідно розробити блок живлення враховуючи робочу напругу кожного з елементів.





1 – комп’ютер з програмою для дистанційного керування; 2 – Wifi модуль; 3 – плата керування; 4 – драйвер двигунів постійного струму; 5 – двигуни постійного струму; 6 – акумуляторний блок; 7 – блок живлення

Рисунок 3.9 – Функціональна схема МР

Також можна побачити те, що плата керування не може керувати двигунами напряму. Це пояснюється тим, що двигуни постійного струму не мають керуючого обладнання, яке здатне керувати швидкістю та напрямом руху тих самих двигунів, з цього випливає те, що вони мають тільки 2 виходу для струму і не мають виходу для передачі та обробки сигналу. Тому потрібен додатковий модуль, який буде оброблювати сигнали з плати керування та запускати двигуни із заданою швидкістю та напрямком руху. На додаток до цього, плата керування не здатна подати необхідну напругу на двигуни.

Обравши плату керування, необхідно обрати модуль для керування двигунами постійного струму, які будуть приводити в рух всю конструкцію. Можливі варіанти приведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики плат драйверів двигунів постійного струму

№	Назва	Максимальний струм, $A$	Максимальна напруга двигунів, $B$	Керування оборотами	Керування напрямком руху
1	L298N	2	36	Присутнє	Присутнє
2	L293D	1,2	36	Присутнє	Присутнє
3	HG7881	0,8	12	Відсутнє	Присутнє

Дуже важливо, щоб драйвер міг керувати швидкістю та напрямом руху. З усіх варіантів не підходить лише HG7881, тому що він може лише керувати напрямком руху. Отже лишаються тільки L298N та L293D, та їх технічні характеристики майже не відрізняються, але L298N може витримати силу струму 2  $A$  на відміну від L293D, який може лише 1,2  $A$ . Різниця в ціні не велика, лише 2,6 гривень, отже вибір за драйвером L298N [16]. Також цей елемент є дуже поширеним серед багатьох проектів, в яких є двигуни постійного струму. Драйвер L298N приведено на рисунку 3.10.

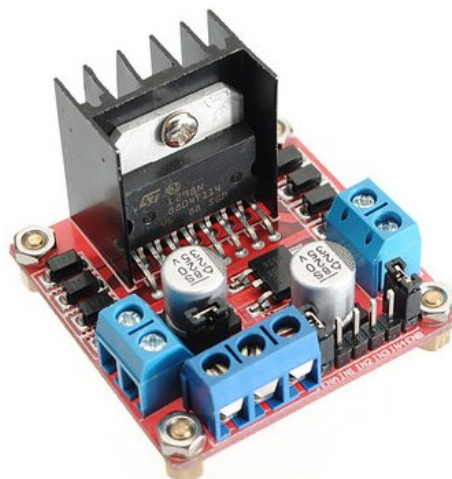


Рисунок 3.10 – Драйвер двигунів постійного струму L298N

Підключення електронних компонентів є важливою частиною, якою не можна нехтувати. Цьому важливо приділити велику увагу та ретельно продумати всю схему підключення. В драйвері двигуна є як цифрові так і аналогові входи, цифрові входи відповідають за керування швидкістю двигунів. Тому виходів з плати буде сім – два для керування швидкістю двигунів, чотири для задання їх напрямку і вихід  $5\text{ В}$  для додаткового живлення двигунів. Принципова схема підключення елементів МР наведено на рисунку 3.11.

Але підключення компонентів між собою не достатньо. Необхідно також підключити живлення компонентів через блок живлення та додати вимикач. Блок живлення складається з чотирьох батарейок АА.

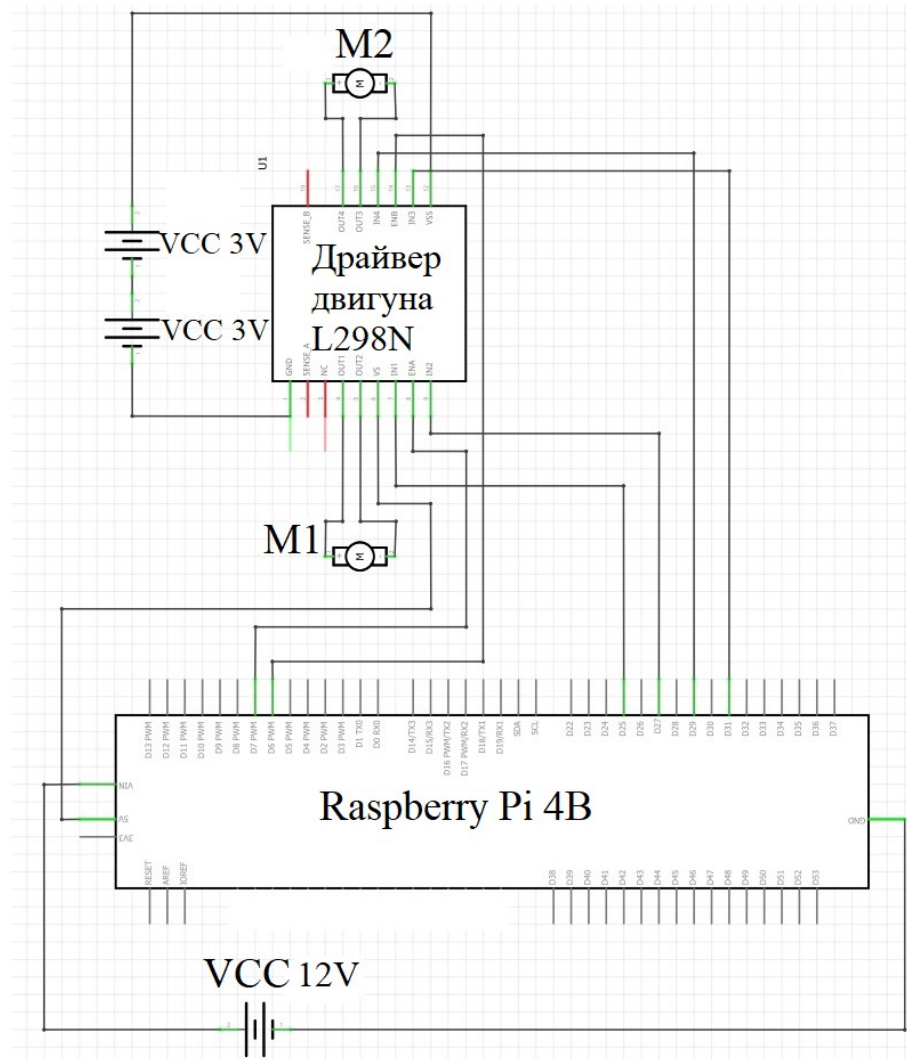


Рисунок 3.11 – Принципова схема підключення компонентів МР

Вигляд зібраної роботизованої платформи з встановленою платою Raspberry Pi, камерою Raspberry Pi NoIR Camera V2 та драйвером двигуна L298N зображено на рисунках 3.12 – 3.14.

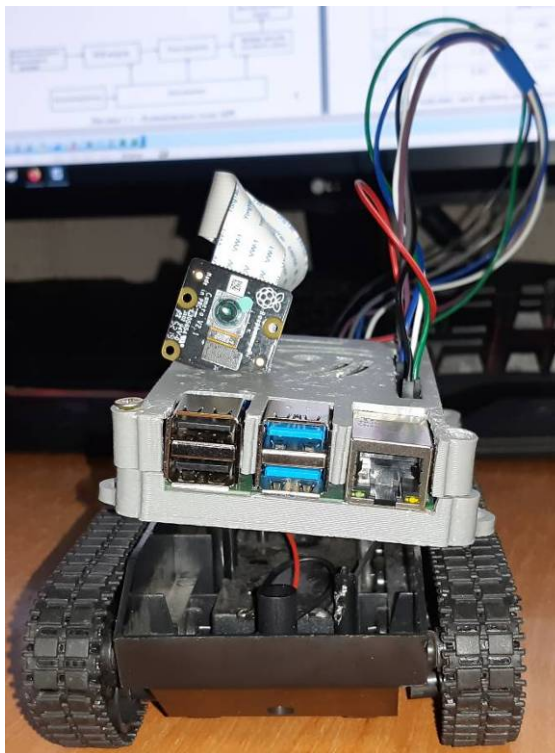


Рисунок 3.12 – Вигляд зібраної роботизованої платформи, вид зпереду

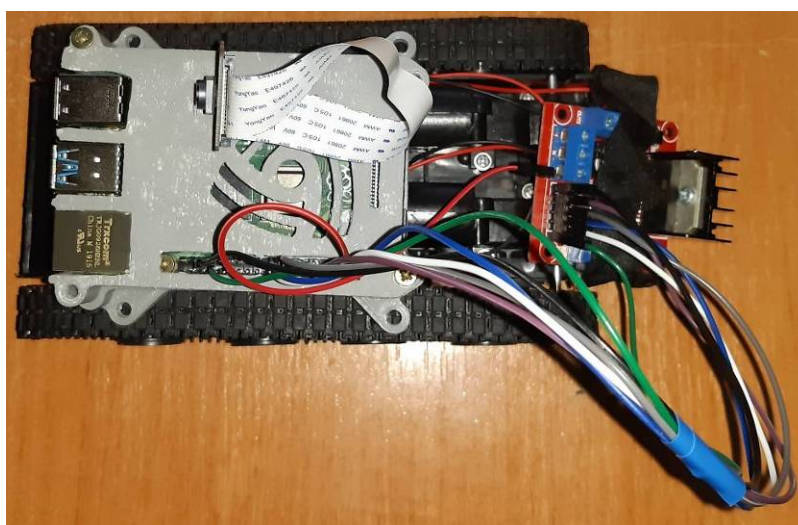


Рисунок 3.13 – Вигляд зібраної роботизованої платформи, вид зверху

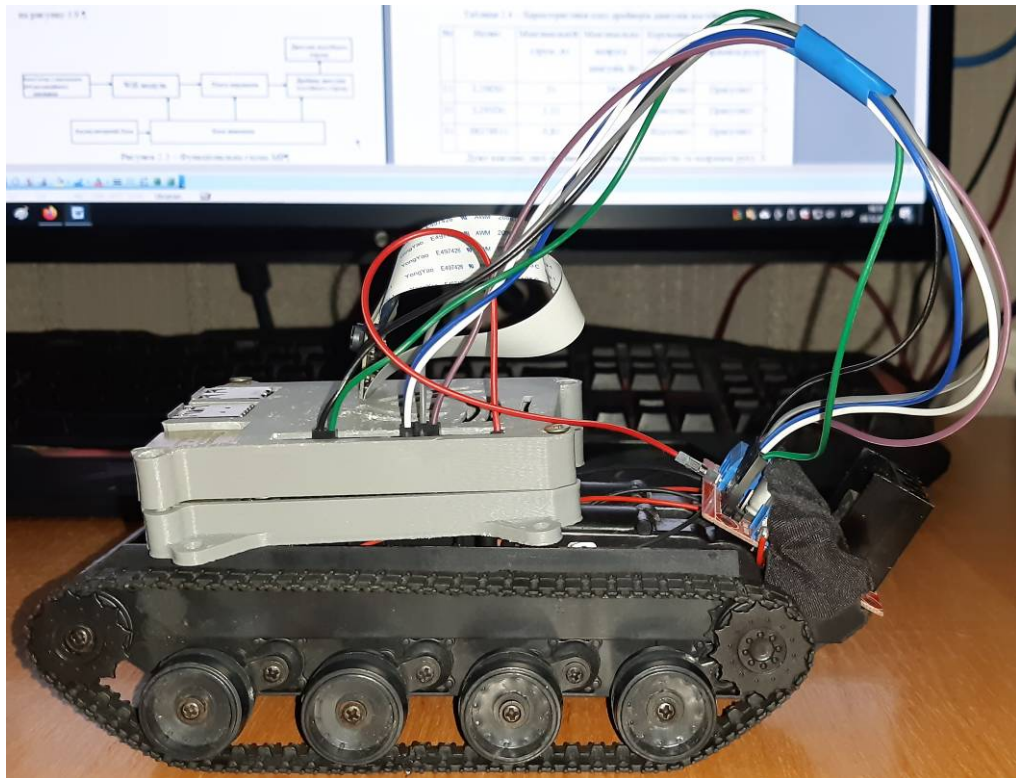


Рисунок 3.14 – Вигляд зібраної роботизованої платформи, вид збоку

### 3.3 Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення для керування мобільною платформою

На даний момент існує велика кількість способів керування мобільними роботами. Кожен із принципів керування має ті чи інші переваги та недоліки у порівнянні з іншими.

Дані, для керування роботом можна передавати у декілька різних способів:

- управління по кабелю;
- управління через Ethernet;
- радіоуправління;
- управління по Bluetooth;
- управління з Wi-Fi.

Найпростіший спосіб управління роботом – це ручний контролер, фізично підключений до нього за допомогою кабелю. Перемикачі, ручки, важелі, джойстики та кнопки на цьому контролері дозволяють користувачеві управляти роботом без необхідності включати складну електроніку.

Основними недоліками є те, що трос може заплутатися, зачепитися за щось, або обірватися. Відстань, на яке можна відправити робота, обмежена довжиною троса. Перетягування довгого троса додає тертя і може сповільнити або навіть зупинити рух робота.

Для управління через Ethernet використовується роз'єм Ethernet RJ45. Для управління потрібно Ethernet з'єднання. Робот фізично підключений до маршрутизатора. Отже його можна контролювати через Інтернет. Також це можливо (хоча і не дуже практично) для мобільних роботів.

Перевагами є те, що робота можна контролювати через інтернет з будь-якої точки світу. Робот не обмежений за часом роботи, так як він може використовувати Power over Ethernet. PoE. Це технологія, яка дозволяє передавати віддаленого пристрою електричну енергію разом з даними через стандартну виту пару по мережі Ethernet. Використання інтернет-протоколу (IP) може спростити і покращити схему зв'язку. Переваги ті ж, що і при прямому дротовому комп'ютерному управлінні.

Недоліком є більш складне програмування і ті ж недоліки, що і при управлінні по кабелю.

Для управління за допомогою радіочастот потрібно передавач і приймач з невеликими мікроконтролерами для відправки, прийому та інтерпретації даних, що передаються по радіочастоті. У коробці приймача є друкована плата (друкована плата), яка містить приймальний блок і невеликий контролер сервомотора. Для радіозв'язку потрібно передавач, узгоджений/пов'язаний з приймачем. Можливе використання передавача, який може відправляти і приймати дані між двома фізично різними середовищами систем зв'язку.

Радіоуправління не вимагає прямої видимості і може бути здійснено на великій відстані. Стандартні радіочастотні пристрої можуть забезпечувати



передачу даних між пристроями на відстані до декількох кілометрів. У той час як більш професійні радіочастотні пристрої можуть забезпечувати управління роботом практично на будь-якій відстані.

Багато конструкторів роботів вважають за краще виготовляти напівавтономних роботів з радіоуправлінням. [17] Це дозволяє роботу бути максимально автономним, забезпечувати зворотний зв'язок з користувачем. І може давати користувачеві деякий контроль над деякими його функціями в разі потреби. Перевагами є можливість управляти роботом на значних відстанях, може просто налаштовуватися. Недоліками є дуже низька швидкість передачі даних (тільки прості команди). Додатково потрібно звертати увагу на частоти.

Bluetooth є радіосигналом і передається за певними протоколами для відправки та отримання даних. Звичайний діапазон Bluetooth часто обмежений приблизно 10 м. Хоча він має ту перевагу, що дозволяє користувачам управляти своїм роботом через пристрої з підтримкою Bluetooth. Це в першу чергу стільникові телефони, КПК і ноутбуки (хоча для створення інтерфейсу може знадобитися налаштування програмування). Так само, як і радіоуправління, Bluetooth пропонує двосторонній зв'язок.

Переваги: може бути керований з будь-якого пристрою з підтримкою Bluetooth. Але, як правило, потрібне додаткове програмування. Це смартфони, ноутбуки і т.д. Більш високі швидкості передачі даних можуть бути всеспрямованими. Отже, не потрібна пряма видимість і сигнал може трохи проходити через стіни.

Недоліки. Повинен працювати в парі. Відстань зазвичай становить близько 10 м (без перешкод).

Управління по Wi-Fi часто є додатковою опцією для роботів. Здатність управляти роботом по бездротовій мережі через Інтернет представляє деякі істотні переваги (і деякі недоліки) для бездротового управління. Щоб налаштувати управління роботом по Wi-Fi потрібен бездротовий маршрутизатор, підключений до Інтернету, і блок Wi-Fi на самому роботі. Для роботи можна використовувати пристрій, який підтримує TCP/IP протокол.

Перевагою є можливість управляти роботом з будь-якої точки світу. Для цього потрібно щоб він знаходився в межах діапазону бездротового маршрутизатора. Можлива висока швидкість передачі даних.

Недоліком те, що є необхідним додаткове програмування. Максимальна відстань зазвичай визначається вибором бездротового маршрутизатора.

Інша бездротова технологія, яка була спочатку розроблена для зв'язку людини і людини – стільниковий телефон, тепер використовується для керування роботами. Оскільки частоти стільникового телефону регулюються, включення стільникового модуля на робота зазвичай вимагає додаткового програмування. Також не потрібно розуміння системи мережі і правил.

Система керування мобільним роботом складається з двох програм: програми керування мобільним роботом та програми, що реалізовує дистанційне керування. Схема розробленої системи керування зображена на рисунку 3.15.

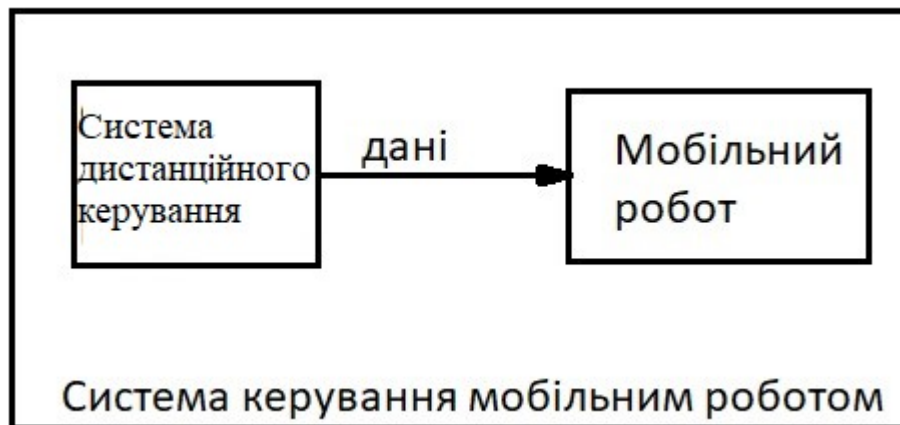


Рисунок 3.15 – Схема системи керування роботом

Необхідно також розробити схему всього робота разом із системою керування. Розроблена схема показана на рисунку 3.16.



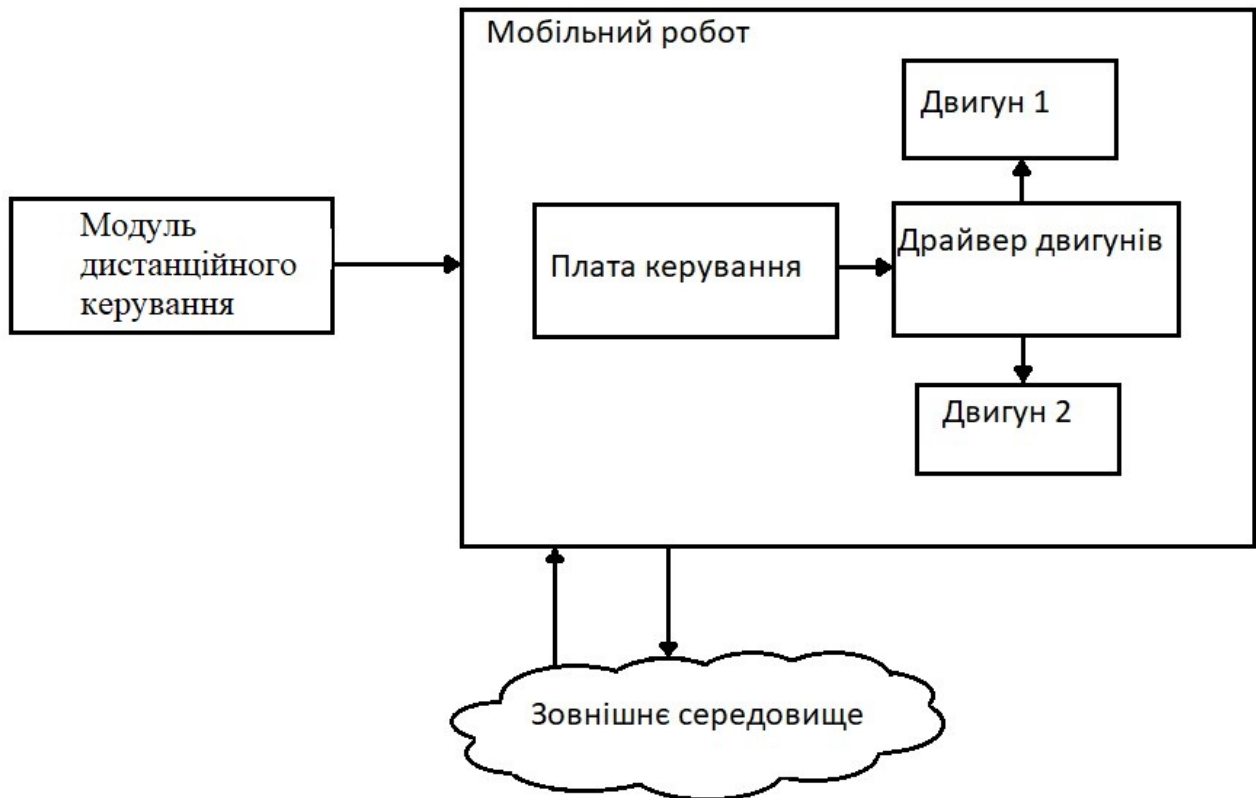


Рисунок 3.16 – Схема мобільного робота з системою дистанційного керування

Перед розробкою програми, необхідно розробити алгоритм та блок-схему, яка допоможе при розробці. Спочатку потрібно вирішити що потрібен робити робот, виходячи з модулів, які у ньому встановлені. МР має 2 двигуна постійного току, якими необхідно керувати. Тобто необхідно розробити демонстраційну програму, яка виконає усі функції.

Необхідно зробити:

- отримання команди з комп'ютера;
- рух МР вперед;
- рух МР назад;
- поворот МР праворуч з використанням однієї гусениці;
- поворот МР ліворуч з використанням однієї гусениці.

Наступним кроком буде описати кожен з блоків загальної блок-схеми демонстраційної програми МР. Блок налаштування портів є дуже важливий, адже в ньому даються вказівки, які порти необхідно використовувати а також в

якому режимі роботи. В ньому описані налаштування драйвера двигуна постійного струму, крокових двигунів. Більш потрібного описання цього блоку не потребується. Необхідно розробити блок-схему блоку руху вперед та назад. Блок-схеми руху приведено на рисунку 3.17.

Розробивши блоксхему алгоритму руху МР вперед та назад необхідно розробити блок-схему повороту роботу з використанням однієї гусениці. Блок-схема алгоритму приведено на рисунку 3.18. У наведених блок-схемах відсутній будь-який цикл і вони є досить простими.

Алгоритми переміщення МР є досить простими, тому що основною задачею для якої вони розроблювались – це оцінити роботоспроможність системи дистанційного керування МР.



Рисунок 3.17 – Блок–схема алгоритму руху МР вперед та назад



Рисунок 3.18 – Блок-схема алгоритму повороту МР з використанням однієї гусениці

Маючи всі необхідні блок-схеми алгоритмів, можна приступити до розробки демонстраційної програми МР. Розробка ведеться у середі Visual Studio Code.

Для початку потрібно підключити бібліотеки об'явити змінні, які будуть містити в собі номери цифрових портів, до яких підключено драйвер двигунів постійного струму. Це спростить процес розробки програми:

```

#include <pigpio.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
  
```

```
// Motor 1 - Right motor
#define M1_B 17 /* Physical pin 11 */
#define M1_A 27 /* Physical pin 13 */
#define M1_PWM 13 /* Physical pin 33 */

/* Motor 2 - Left motor*/
#define M2_B 22 /* Physical pin 15 */
#define M2_A 23 /* Physical pin 16 */
#define M2_PWM 12 /* Physical pin 32 */

#define HIGH 1
#define LOW 0
```

Зробивши це, необхідно налаштувати порти на вивід інформації на драйвер крокових двигунів. Робиться це у блоці `void setupRobot ()`. Блок `setupRobot ()` це перша функція яка виконується у написаній програмі. Вона виконується лише один раз:

```
void stopRobot() {
    gpioWrite(M1_A, HIGH);
    gpioWrite(M1_B, HIGH);
    gpioWrite(M2_A, HIGH);
    gpioWrite(M2_B, HIGH);
    gpioPWM(M1_PWM, 0);
    gpioPWM(M2_PWM, 0);
}
```

Наступна функція відповідає за обробку та виконання прийнятої команди. Ця функція є нескінченним циклом, який виконує певні інструкції. Одразу створимо посилання на ще не існуючі функції, але які будуть описані далі:

```
int main(int argc, char *argv[]){
    /* Create sockets */
    const int port = 8080;
```

```

int server_socket;
server_socket = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
/* Specify address for the socket */
struct sockaddr_in server_address, client_address;
server_address.sin_family = AF_INET;
server_address.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
server_address.sin_port = htons(port);
if (bind (server_socket, (struct sockaddr *) &server_address,
sizeof(server_address)) == -1){
    perror ("Binding error!");
    close (server_socket);
    exit (1);
}
if (listen(server_socket, 1) == -1){
    perror("Listening error!");
    close(server_socket);
    exit(1);
}
int client_socket;
socklen_t sin_len = sizeof(client_address);
char request_buffer[1]; // buffer for working with client's requests
// Prepare robot
setupRobot();
while(1){
    /* Getting size of cliens address */
    client_socket = accept(server_socket, (struct sockaddr *) &client_address,
&sin_len);
    if(client_socket == -1){
        perror("Connection failed\n");
        continue;
    }
}

```

```

}
/* Recieve command from client */
memset(request_buffer,0,1); // zeroing out the buffer
read(client_socket,request_buffer,1);
/* Perform movement with robot */
switch (request_buffer[0]) {
    case 1:
        go_forward(255);
        break;
    case 2:
        turn_right(255);
        break;
    case 3:
        go_back(255);
        break;
    case 4:
        turn_left(255);
        break;
    case 5:
        stopRobot();
        break;
    case 6:
        printf("Recived shutdown request. Quitting...");
        shutdownRobot();
        printf("Closing server socket...\n");
        close(server_socket);
        exit(0);
        break;
    default:
        printf("Error: Unrecognized command: %d\n",request_buffer[0]);

```

```

        break;
    }
    close(client_socket);
}
printf("Closing server socket...\n");
close(server_socket);
return 0;
}

```

Функція `turn_left()` відповідає поворот ліворуч МР за допомогою однієї гусениці.

Функція `turn_right ()` поворот праворуч МР за допомогою однієї гусениці.

Функція `go_forward()` відповідає за рух МР вперед.

Функція `go_back()` відповідає за рух МР назад.

Функція `stopRobot()` відповідає за зупинку двигунів.

Функція `shutdownRobot()` перериває виконання програми керування.

Функція `turn_left()`:

```

void turn_left(unsigned short PWM) {
    gpioWrite(M1_A, HIGH);
    gpioWrite(M1_B, LOW);
    gpioWrite(M2_A, LOW);
    gpioWrite(M2_B, HIGH);
    gpioPWM(M1_PWM, PWM);
}

```

Функція `turn_right()`:

```

void turn_right(unsigned short PWM) {
    gpioWrite(M1_A, LOW);
    gpioWrite(M1_B, HIGH);
    gpioWrite(M2_A, LOW);
    gpioWrite(M2_B, HIGH);
    gpioPWM(M2_PWM, PWM);
}

```

```
}
```

Опис функції go\_forward():

```
void go_forward(unsigned short PWM) {
    gpioWrite(M1_A, HIGH);
    gpioWrite(M1_B, LOW);
    gpioWrite(M2_A, LOW);
    gpioWrite(M2_B, HIGH);
    gpioPWM(M1_PWM, PWM);
    gpioPWM(M2_PWM, PWM);
}
```

Опис функції go\_back():

```
void go_back(unsigned short PWM) {
    gpioWrite(M1_A, LOW);
    gpioWrite(M1_B, HIGH);
    gpioWrite(M2_A, HIGH);
    gpioWrite(M2_B, LOW);
    gpioPWM(M1_PWM, PWM);
    gpioPWM(M2_PWM, PWM);
}
```

Опис функції stopRobot ():

```
void stopRobot() {
    gpioWrite(M1_A, HIGH);
    gpioWrite(M1_B, HIGH);
    gpioWrite(M2_A, HIGH);
    gpioWrite(M2_B, HIGH);
    gpioPWM(M1_PWM, 0);
    gpioPWM(M2_PWM, 0);
}
```

Опис функції shutdownRobot ():



```
void shutdownRobot(){
    stopRobot();
    gpioTerminate();
}
```

### 3.4 Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення для комутації камери з мобільною платформою та дистанційного керування нею

Зображення з камери отримується за допомогою програми, написаної мовою Python, з використанням бібліотеки OpenCV.

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) – це бібліотека програмного забезпечення для комп'ютерного зору та машинного навчання. OpenCV був побудований для забезпечення загальної інфраструктури програм для комп'ютерного зору та прискорення використання машинного зору в комерційних продуктах.

Бібліотека має понад 2500 оптимізованих алгоритмів, що включає в себе повний набір як класичних, так і найсучасніших алгоритмів комп'ютерного зору та машинного навчання. Ці алгоритми можна використовувати для виявлення та розпізнавання облич, ідентифікації об'єктів, класифікації людських дій у відео, відстеження рухів камери, відстеження рухомих об'єктів, вилучення 3D-моделей об'єктів, створення 3D-хмар точок зі стереокамер, зшивання зображень для отримання високої роздільної здатності зображення цілої сцени, знайти подібні зображення з бази даних зображень, видалити червоні очі із зображень, зроблених за допомогою спалаху, стежити за рухами очей, розпізнавати декорації та встановлювати маркери, щоб накласти їх на доповнену реальність тощо.

OpenCV має понад 47 тисяч користувачів спільноти та має кількість завантажень, що перевищує 18 мільйонів. Бібліотека широко використовується у компаніях, дослідницьких групах та державних органах. Поряд із такими відомими компаніями, як Google, Yahoo, Microsoft, Intel, IBM,

Sony, Honda, Toyota, які використовують бібліотеку, існує безліч стартапів, таких як Applied Minds, VideoSurf та Zeitera, які широко використовують OpenCV.

Вона має інтерфейси C ++, Python, Java та MATLAB та підтримує Windows, Linux, Android та Mac OS.

Програма дистанційного керування мобільною роботизованою платформою, розроблена за допомогою мови Java з використанням стандартних бібліотек, зокрема бібліотеки Java Swing, за допомогою якої був розроблений інтерфейс користувача. Ця програма встановлюється на комп'ютер користувача, на відміну від програми контролю камери та двигунів, що встановлюється на мікрокомп'ютері Raspberry Pi, що входить до складу роботизованої платформи.

Інтерфейс користувача зображено на рисунку 3.19.

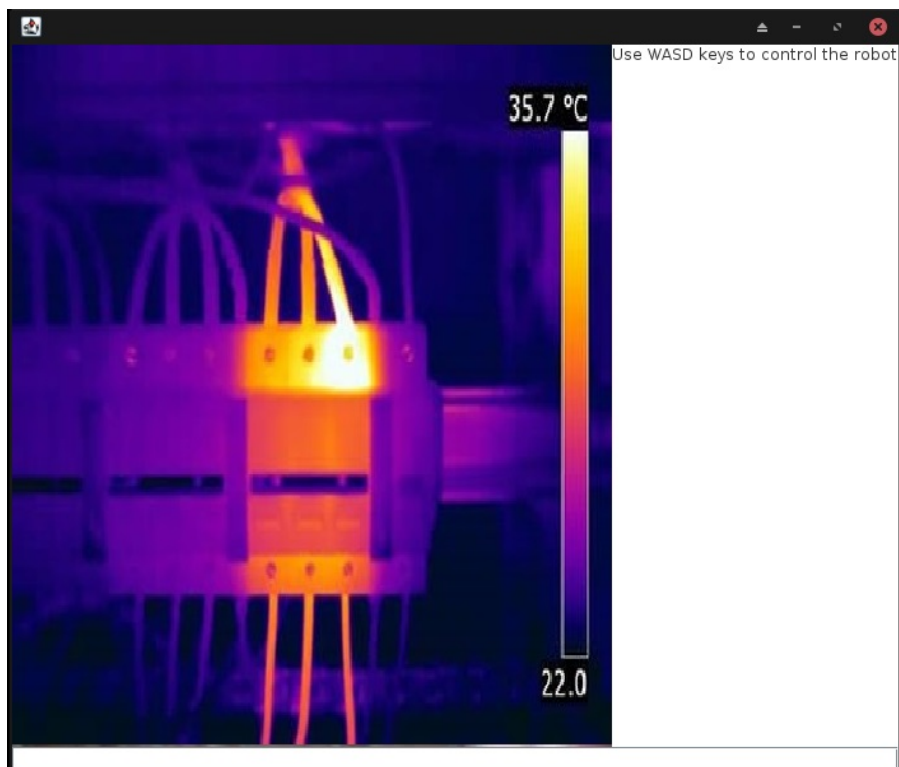


Рисунок 3.19 – Інтерфейс користувача програми керування мобільною роботизованою платформою

Керування мобільною роботизованою платформою здійснюється за допомогою клавіш WASD. Зліва на панелі користувача, розташоване отримане зображення, зправа розташоване поле в якому відображено порядок виконання команд (приклад інформації, що відображається в даному полі наведено на рисунку 3.20). В текстовому полі знизу відображається клавіша, що натиснута в даний момент.

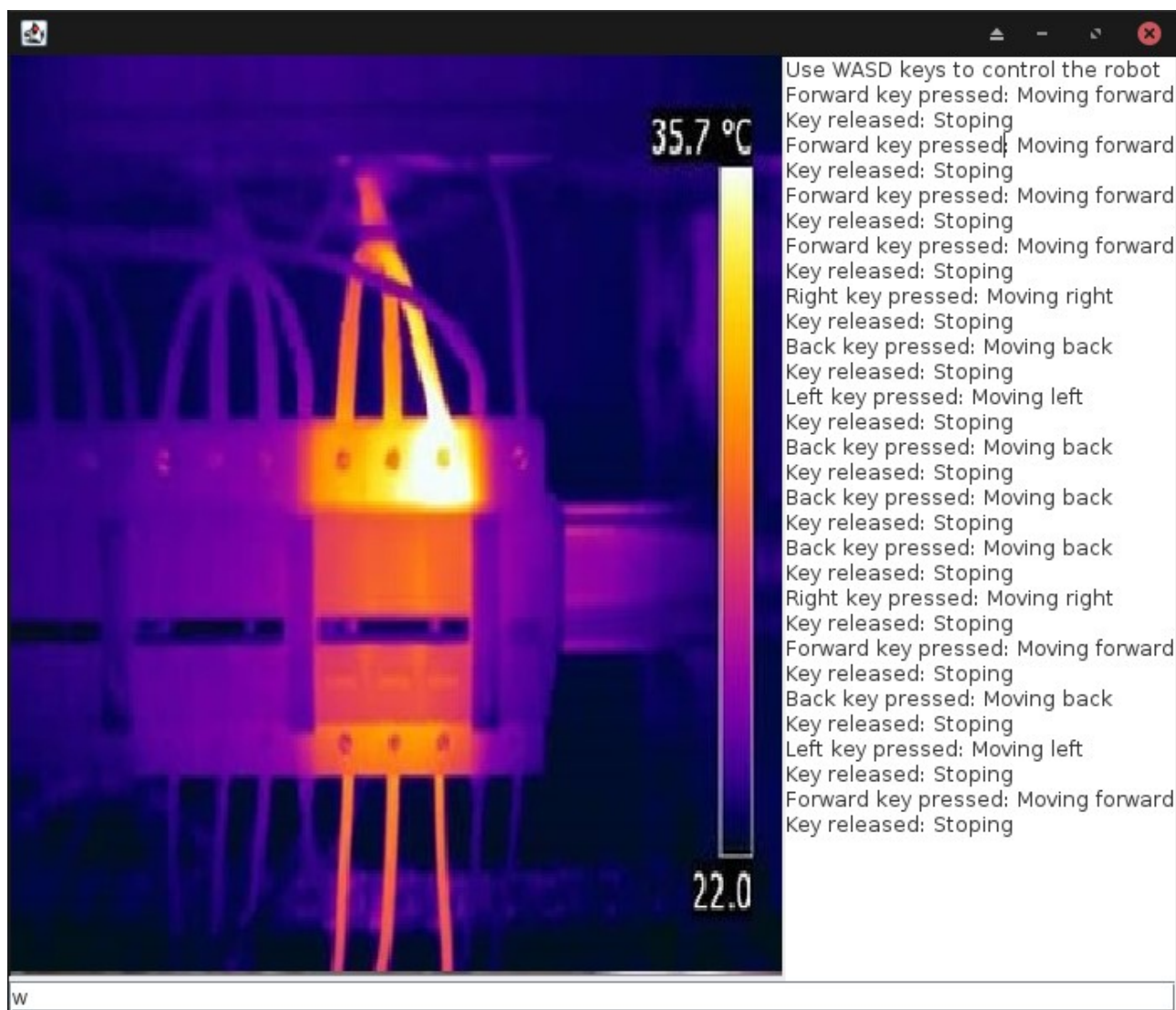


Рисунок 3.20 – Приклад інформації, що відображається в полі команд

### 3.5 Тестування апаратного забезпечення системи дистанційного аналізу теплових властивостей об'єктів

Перед початком тестування апаратного забезпечення системи дистанційного аналізу теплових властивостей об'єктів необхідно під'єднати живлення до мікрокомп'ютера Raspberry Pi, ввімкнути живлення драйвера двигунів на мобільній платформі. Після цього слід під'єднатись до Raspberry Pi по ssh, що може бути зроблено наступною командою в командному рядку Unix-сумісної системи: `ssh pi@192.168.0.10`. 192.168.0.10 – IP-адреса Raspberry Pi в локальній мережі, pi – ім'я облікового запису користувача.

Далі необхідно запустити програму обробки запитів керування мобільною платформою та програму обробки даних з камери.

Останнім кроком є запуск клієнтської програми на комп'ютері з якого буде здійснюватись керування.

Було протестовано швидкість обробки та передавання керуючих команд на мобільну платформу. Результат даного тесту наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Час обробки та передавання керуючих команд на МР

№	Команда	Час обробки, <i>мс</i>	Час передавання, <i>мс</i>
1	«go_forward»	1,10	2,23
2	«go_back»	1,36	2,11
3	«turn_left»	1,89	2,13
4	«turn_right»	1,76	3,09

Також було досліджено швидкість обробки зображення та його передачі на керуючий комп'ютер за допомогою технології ssh (результати наведено в таблиці 3.3).

Таблиця 3.3 – Час швидкість обробки зображення та його передачі на керуючий комп'ютер

№ експерименту	Час обробки, <i>мс</i>	Час передавання, <i>с</i>
1	3,21	5,18
2	3,06	6,02
3	2,17	5,13
4	2,01	5,19
5	3,23	6,00
6	2,86	5,65
7	2,94	4,98
8	3,06	5,76
9	2,34	5,01
10	2,65	6,02

Як можна бачити з таблиці 3.3 на обробку зображення витрачається зовсім небагато часу, настільки мало, що це є непомітним для людини. Однак передавання зображення на керуючий комп'ютер є дуже повільним ~5-6 секунд, що призводить до «смикання» та уривчатості відео. Такий результат є незадовільним, можливим розв'язанням цієї проблеми є використання протоколу UDP, для передавання обробленого відео.

В результаті тестування розробленого апаратного та програмного забезпечення було виявлено декілька недоліків. В результаті роботи над помилками вдалося виправити всі знайдені неточності і розроблена система задовільно виконує свої функції.

Було також розроблено план можливих покращень даних програм. Таких як використання Bluetooth або Wi-fi передавача та приймача, використання інших протоколів передачі даних.

### 3.6 Питання охорони праці та безпеки життєдіяльності

Згідно ДСН 3.3.6-042-99 робота в лабораторії з ПК по категорії робіт відноситься до легких (категорія Ia – легкі фізичні роботи з енерговитратами до 139 *Вт* або 120 *ккал/ч*). Робота ведеться сидячи, не вимагає систематичного фізичного напруження і переміщення важких предметів.

У робочій зоні приміщення згідно з ДСН 3.3.6.042-99 повинні бути встановлені оптимальні значення параметрів мікроклімату. Для категорії робіт Ia в приміщенні повинні підтримуватися наступні параметри мікроклімату:

- температура повітря від 22 °C до 24 °C в теплий період і від 23 °C до 25 °C в холодний період;
- відносна вологість повинна бути в межах від 40 % до 60 %;
- швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,1 *м/с*.

Для підтримки потрібної температури повітря в лабораторії рекомендується встановити кондиціонер.

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 в лабораторії застосовується суміщений тип освітлення, рекомендована освітленість від загального рівномірного штучного освітлення при роботі з монітором становить від 300 *лк* до 500 *лк* при використанні газорозрядних ламп білого кольору. Коефіцієнт природного освітлення – 1,5 %. Рівень загального штучного освітлення приміщення можна перевірити за допомогою методу питомої потужності по формулі (3.1) [12]:

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \quad (3.1)$$

де  $W$  – питома потужність, *Вт/м²*;

$S$  – площа приміщення, *м²*;

$W_{\Sigma}$  – загальна потужність освітлювальної установки *Вт*, яка розраховується за формулою (3.2) [12]:

$$W_{\Sigma} = W_{cv} n_{cv}, \quad (3.2)$$

де  $W_{cv}$  – потужність одного світильника;

$n_{cv}$  – кількість світильників в приміщенні.

Розрахунок загальної потужності освітлювальної установки при  $n_{cv} = 6$  світильників,  $W_{cv} = 80 \text{ Вт}$  визначається за формулою (3.3):

$$W_{\Sigma} = 80 \times 6 = 480 \text{ Вт}. \quad (3.3)$$

Рівень загального штучного освітлення приміщення при  $W_{\Sigma} = 480 \text{ Вт}$  визначається за формулою (3.4):

$$W = \frac{480}{24} = 20 \text{ Вт} / \text{м}^2. \quad (3.4)$$

Взаємозв'язок питомої потужності ( $W$ ) і освітленості ( $E$ ) для приміщення площею  $24 \text{ м}^2$  наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Взаємний зв'язок питомої потужності і освітленості

Площа приміщення $S, \text{м}^2$	Споживана потужність при освітленості $E, \text{лк}$						
	200	300	400	450	500	550	600
від 17 до 25	12,2	16,3	24	32	49	65	81

Згідно таблиці 3.4 питомій потужності  $20 \text{ Вт} / \text{м}^2$  відповідає освітленість  $350 \text{ лк}$ , що задовольняє вимогам ДБН В.2.5.-28-2006. Обрана кількість світильників (6 штук) задовольняє вимоги освітленості приміщення площею  $24 \text{ м}^2$ .

Згідно ДСН 3.36.037-99 необхідно забезпечити рівень шуму в лабораторії не більше 50 дБ. Забезпечення необхідного рівня шуму досягається використанням звукопоглинальних матеріалів.

### 3.7 Висновки до третього розділу

В третьому розділі було проведено наступні етапи:

- здійснений вибір ІЧ-чутливої камери (обрано камеру Raspberry Pi NoIR CameraV2);
- розглядено необхідні компоненти мобільної платформи;
- розроблена структурна схема мобільного робота;
- розроблена функціональна схема мобільного робота;
- здійснено порівняння характеристик плат драйверів двигунів постійного струму, на основі якого обрано драйвер двигуна L298N;
- розглянута бібліотека OpenCV, що використовується для отримання та обробки зображення з камери;
- розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для керування мобільною платформою;
- описана структура програми, що реалізує функції руху мобільної платформи;
- протестована робота програми дистанційного керування та програми реалізації руху робота;
- проведено тестування всієї системи, на основі якого зроблено висновки щодо шляхів можливого покращення системи;
- розглянуто питання охорони праці.



## ВИСНОВКИ

Дистанційне вимірювання температури та аналіз теплових властивостей об'єктів є перспективною галуззю в сучасному світі. Існує велика кількість різноманітних приладів для дистанційного вимірювання температури та ІЧ (інфрачервоних) камер. Проте більшість таких приладів мають ряд недоліків, основним із яких є висока ціна. Науковою складовою є вдосконалення метода неруйнуючого контролю теплових властивостей технічних об'єктів, що дозволяє підвищити економічну ефективність.

Розроблена система дає змогу дистанційно вимірювати та аналізувати теплові властивості технічних або інших об'єктів та навіть живих істот. Є такі подальші шляхи вдосконалення системи: встановлення кращої ІЧ-камери та покращення керуючої програми з використанням нейромереж.

В першому розділі проведено аналіз сучасних аналогів систем дистанційного вимірювання температури, аналіз даної галузі в цілому. Також розглянуто фізичні принципи дистанційного вимірювання температури об'єктів.

В другому розділі проведено проектування системи дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів. Для цього складено структурну та функціональну схему на базі яких обґрунтування вибору електронних компонентів. Підібрані елементи конструкції мобільної платформи дозволили здійснити збірку макету.

В третьому розділі розроблено апаратне забезпечення для дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів. Для цього розроблено алгоритм роботи мобільної платформи та описано підключення компонентів плати керування. Виходячи з алгоритму роботи розроблено керуючу програму.

Розглянуто питання охорони праці.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення [Текст]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.
2. Невлюдов, І.Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст]: навч. посіб. / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. – К.: Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. – 320 с.
3. Методичні вказівки з «Розробки й оформлення магістерської атестаційної роботи» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітні програми: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» [Текст] / Упоряд. І.Ш. Невлюдов, В.В. Косенко, В.В. Євсєєв. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 55 с.
4. Положення про протидію академічному плагіату в ХНУРЕ [Електронний ресурс] / Режим доступу: [www/ URL: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main\\_Docs\\_NURE/Polozhennya-pro-protidiyu-akademichnomu-plagiatu-v-HNURE----290-vid-28.04.2017.pdf](http://www.nure.ua) – 29.08.2020р. – Заголовок з екрану.
5. Жорина, Л.В. Методы неинвазивного измерения внутренней температуры тела [Текст] // Вестник ТГУ. – 2017. – Т.22, №2. – С. 1–7.
6. UNV Heat-Tracker – Каталог [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://catalog.rci-c.com/ru/catalog/bezopasnost/teplovyzory/unv-heat-tracker/> – 30.09.2020р. – Заголовок з екрану.
7. Рішення для мінімізації ризику зараження людей у приміщеннях [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://press.siemens.com/ua/uk/presreliz/rishennya-siemens-dlya-vimiryuvannya-temperaturi-tila-minimizue-rizik-zarazhennya-lyudey> – 30.09.2020р. – Заголовок з екрану.

8. Безконтактні інфрачервоні термосканери та термометри [Електрон ресурс] – Режим доступу: <https://ukrintech.com.ua/ua/bezkontaktni-termometry/> – 30.09.2020р. – Заголовок з екрану.
9. Противоэпидемическая биометрическая система контроля доступа от ZKTeco [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zkteco.systems/beskontaktnye-reshenija-kontrolja-dostupa-ot-zkteco-v-period-karantina> – 30.09.2020р. – Заголовок з екрану.
10. Herrmann, K. Basic principles of non-contact temperature measurement [Text]. – Berlin: Axel Springer SE, 2008. – 22 с.
11. Физические основы бесконтактного измерения температуры [Текст] / Siemens. – 2015. – 41 с.
12. Berg, A. Detection and Tracking in Thermal Infrared Imagery [Text] – Linköping, Sweden: LiU-Tryck, 2016. – 81 с.
13. How Thermal Imaging Cameras Work [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.thermalcameras.guide/how-thermal-imaging-cameras-work/> – 30.09.2020р. – Заголовок з екрану.
14. Raspberry Pi [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.raspberrypi.org/> – 30.09.2020р. – Заголовок з екрану
15. Information Engineering Main/Home Page [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.robots.ox.ac.uk> – 30.09.2020р. – Заголовок з екрану.
16. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень в автоматизованому виробництві: Підручник / І.Ш. Невлюдов. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019 р. – 448 с.
17. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник Кривий Ріг: КК НАУ, 2017 р. – 444 с.