

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Приладобудівний факультет  
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістра  
за освітньо-професійною програмою  
«Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»  
зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»  
на тему: «Система орієнтації мобільного роботу»**

Виконав:  
студент II курсу, групи ПМ-21мп  
Альошин Дмитро Андрійович \_\_\_\_\_

Науковий керівник:  
Доцент, кандидат технічних наук  
Богдан Галина Анатоліївна \_\_\_\_\_

Консультант з розробка стартап-проектів:  
Завідувач кафедри економічної кібернетики,  
Доктор економічних наук, професор  
Бояринова Катерина Олександрівна \_\_\_\_\_

Рецензент:  
Доцент, кандидат технічних наук,  
Козир Олег Васильович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Приладобудівний факультет  
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)  
Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту  
Альошину Дмитру Андрійовичу**

1. Тема дисертації «Система орієнтації мобільного роботу» науковий керівник дисертації доцент, кандидат технічних наук кафедри АСНК Богдан Галина Анатоліївна, затверджені наказом по університету від «08» 11 2023 р. № 5188-с

2. Термін подання студентом дисертації

---

3. Об'єкт дослідження: процес контролю стану навколишнього середовища

4. Вихідні дані: предмет дослідження – програмно-апаратні методи та засоби створення систем віддаленого моніторингу та збору даних.

5. Перелік завдань, які потрібно зробити: розглянути існуючі вимоги до параметрів систем орієнтації мобільного роботу; проаналізувати існуючі аналоги; розробити структурну схему автоматизованої системи; здійснити підбір елементної бази; розробити алгоритми обробки.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 5 плакатів

7. Орієнтовний перелік публікацій:

## 8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проектів	Завідувач кафедри економічної кібернетики, Доктор економічних наук, професор Бояринова Катерина Олександрівна		

9. \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_ видачі \_\_\_\_\_ завдання \_\_\_\_\_

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Формулювання завдання магістерської дисертації	15.09.2023	Виконано
2	Аналітичний огляд існуючих систем	25.09.2023	Виконано
3	Розроблення структурної схеми системи	10.10.2023	Виконано
4	Вибір елементної бази	20.10.2023	Виконано
5	Розробка алгоритмів обробки	10.11.2023	Виконано
6	Розробка 3Д моделі	20.11.2023	Виконано
7	Розробка стартап-проекту	03.12.2023	Виконано
8	Формулювання висновків та оформлення пояснювальної записки та презентації	25.12.2023	Виконано

Студент

Дмитро АЛЬОШИН

Науковий керівник

Галина БОГДАН

## РЕФЕРАТ

### **Актуальність теми.**

Останнім часом у світі можна спостерігати тенденцію заміни людської праці на машинну що спричинило бурхливий розвиток робототехніки. Робототехнічні системи є основою автоматизації автотранспорту, авіатранспорту, сучасної промисловості та інших галузях діяльності людей. У наші дні неабиякого розповсюдження здобули роботи пилососи.

Однією з основних задач сучасних мобільних роботів постає проблема орієнтації пристроїв у замкнутому просторі який з часом зазнає деяких змін. Саме тому актуальною задачею залишається розробка алгоритмів побудови карти приміщення та пристосування до постійних її змін.

### **Мета і завдання дослідження.**

Метою роботи є розробка автоматизованої системи орієнтації мобільного робота для переміщення в приміщенні з перешкодами.

Для досягнення поставленої мети роботи потрібно вирішити ряд завдань:

- провести огляд наукової літератури по темі наукового дослідження, розглянути існуючі розробки в сфері орієнтації мобільних роботів;
- розробити структурну та функціональну схему;
- зробити підбір елементної бази;
- спроектувати структурну схему алгоритму роботи програмної частини апаратного блоку системи;
- провести моделювання;

**Об'єкт дослідження** – процес керування системи орієнтації мобільного роботу.

**Предмет дослідження** – програмно-апаратні методи та засоби створення систем системи орієнтації мобільного роботу.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених задач проведено аналіз інформації про існуючі розробки в сфері орієнтації мобільних роботів, ознайомлення з теоретичним матеріалом, проведення порівняльного аналізу компонентів системи, програмування, налагодження та практичне тестування розробленої системи.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Результатом розробки є система орієнтації мобільного роботу. Новизна створеної система полягає в підвищенні точності орієнтації.

**Практичне значення отриманих результатів** роботи полягає в тому що отримана система дозволяє мобільному роботу ефективно долати перешкоди на своєму шляху.

**Публікації.** За використанням отриманих в кваліфікаційній роботі магістра було опубліковано 1 тези доповіді

**Структура роботи.** Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки та графічних матеріалів. Пояснювальна записка містить вступ, 4 розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. Обсяг роботи: пояснювальна записка – 83 аркушів формату А4, графічна частина – 5 аркушів формату А1.

**Ключові слова**

Система орієнтації, мобільний робот, сенсори.

## ABSTRACT

### **Actuality of theme.**

Nowadays we can observe a tendency to replace human labor with machine work, which has caused the rapid development of robotics. Robotic systems are the basis of automation of motor vehicles, air transport, modern industry and other areas of human activity. Currently, vacuum cleaners have become quite popular.

One of the main tasks of modern mobile robots is the problem of orientation of devices in a closed space that goes through some changes over time. That is why the development of algorithms for building a room map and adaptation to its constant changes remains an urgent task.

### **The purpose and tasks of the research.**

The aim of the work is to develop an automated system of orientation of a mobile robot for movement in a room with obstacles.

To achieve the set goal of the work, a number of tasks must be solved:

- conduct a review of scientific literature on the topic of scientific research, consider existing developments in the field of orientation of mobile robots;
- develop a structural and functional scheme;
- make a selection of elemental mixture;;
- to design a structural diagram of the algorithm of the software part of the hardware unit of the system;
- carry out modeling;

**The object of the research** is the process of managing the mobile work orientation system.

**The subject of the research** is software and hardware methods and means of creating mobile work orientation systems.

**Research methods.** In order to solve the tasks, an analysis of information on existing developments in the field of orientation of mobile robots, familiarization with theoretical material, comparative analysis of system components,

programming, debugging and practical testing of the developed system was carried out.

**Scientific novelty of the obtained results.** The result of the development is a mobile robot orientation system. The novelty of the created system consists in increasing the accuracy of orientation.

**The practical significance of the obtained work results** is that the obtained system allows mobile workers to effectively overcome obstacles on their way.

**Publications.** Using the results obtained in the master's qualification work, -----

**Structure of work.** The master's qualification work consists of an explanatory note and graphic materials. The explanatory note contains an introduction, 4 chapters, conclusions, a list of used sources and appendices. Scope of work: explanatory note – 83 sheets of A4 format, graphic part – 5 sheets of A1 format.

**Keywords**

Orientation system, mobile robot, sensors.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	4
ABSTRACT .....	6
ВСТУП .....	10
РОЗДІЛ I. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	13
1.1 Застосування СЛ на мобільних роботах .....	13
1.2. Огляд пристрою Mi Robot .....	16
1.3. Метод одночасної локалізації та побудови карти.....	20
1.4 Постановка задачі.....	23
Висновки до I розділу .....	24
РОЗДІЛ II. ОГЛЯД АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ .....	25
2.1 Мікрокомп'ютери та мікроконтролери .....	25
2.2 Датчики відстані.....	27
2.3. Датчик орієнтації.....	33
2.4 Оптичний сенсор .....	35
Висновки до II розділу.....	37
РОЗДІЛ III РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЛОКАЦІЇ МОБІЛЬНОГО РОБОТА .....	38
3.1 Функціональна схема.....	39
3.2 Структурна схема .....	41
3.3 Кінематична схема .....	42
3.4 Математичний опис моделі.....	43
3.5 Розробка програмного забезпечення та алгоритмів .....	45
3.6 Програма для мікроконтролера .....	46



3.8 Технічні характеристики та властивості системи.....	51
Висновки до III розділу .....	52
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «Універсальна роботизована мобільна платформа» .....	53
Висновки до IV розділу .....	76
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79
ДОДАТКИ.....	81

## ВСТУП

Серед усіх галузей машинобудування які мають жорстке детерміноване середовище та процеси окремо можна виділити значний розвиток робототехніки. Одночасно з розвитком сенсорних засобів та систем управління почався розвиток робототехнічних систем і для немашинобудівних галузей. Такі системи насамперед необхідні в галузях машинобудування та галузях діяльності людини, де за її присутності чи участі є ймовірність того, виникне загроза для життя чи здоров'я. Також існує велика кількість ситуацій в яких використання робототехнічних систем дає змогу уникнути великих витрат коштів та часу на підготовчих роботах, наприклад, у будівельній галузі. Окрім цього робототехніка широко застосовується у галузях життєдіяльності у яких виникає необхідність заміни людської праці машинною.

Робототехнічні системи є основою автоматизації автотранспорту, авіатранспорту, сучасної промисловості та інших галузях діяльності людей. Вже значний проміжок часу промислові роботи використовуються в авіабудуванні, суднобудуванні та масі інших різних підприємств. Вони так само використовуються при виконанні різних процедур, таких як виготовлення та складання деталей, зварювання будь-яких металевих елементів, а також в обслуговуванні різних приладів та інвентарі.

Також робототехнічні засоби знайшли застосування і у медичній практиці що дає змогу виявити та діагностувати різноманітні захворювання а також проводити хірургічні операції високої складності з великою точністю або в обмеженому просторі. Серед усього різноманіття робіт також існують варто також звернути увагу на робіт широкого застосування які знайшли застосування у людському побуті і наразі не зупиняються розробки подібних пристроїв і вивід їх на світовий ринок.

На даний момент найперспективнішим напрямком розвитку робототехніки вважається розробка автономних мобільних роботизованих

систем. Специфіка подібних роботів полягає в тому що їх управління не повністю або зовсім не залежить від оператора а спирається на аналіз показань датчиків на основі яких приймається рішення про подальші дії. Найбільш розповсюдженими роботами широкого застосування у наші дні являються робот пиросос та робот газонокосильник які вже зараз досить непогано справляються з поставленими перед ними задачами. В найближчому майбутньому очікується поява доступного по ціні повнофункціонального обслуговуючого робота на світовому ринку який згодом стане для всіх звичним предметом в побуті. Вже сьогодні у всьому світі значною мірою збагачуються області досліджень та застосування мобільних роботів – мехатронних систем, в основі яких лежать підсумкові досягнення механіки, мікропроцесорної техніки, контрольно – вимірювальних систем, інформатики та теорії управління.

Роботам необхідно бути мобільними для благополучної реалізації широкого спектра завдань, а також для того, щоб мати здатність інтерпретувати, створювати план та самостійно реалізовувати отримане ним завдання, користуючись бортовою обчислювальною системою. Ключовою здатністю цих пристроїв є те що вони здатні приходити до заданої мети незалежно від того наскільки знайоме середовище в якому вони знаходяться, уникати зіткнення з предметами які змінюють своє положення та стаціонарними перешкодами які формують оточення робота. На основі вже побудованих моделей та алгоритмів покращено способи управління мобільними роботами. Такі роботи мають здатність адаптуватися до змін у своєму оточенні, реагують на непередбачені ситуації та повторюють свої дії, спираючись на попередній досвід. Саме через це системи управління мобільного робота включають в себе використання елементів штучного інтелекту.

Колісні роботи застосовуються для перевірки приміщень або для транспортування великої кількості різноманітних предметів в

неструктурованому, а тому, часто небезпечному для людського життя просторі. Якщо роздивлятися цього робота як предмет керування то він представлятиме собою нелінійну багатоканальну динамічну систему.

Незважаючи на цілий ряд досліджень, здійснених у галузі управління мобільними колісними роботами, універсального підходу до синтезу систем автоматичного управління досі не було розроблено що в свою чергу вказує на актуальність проблеми та необхідність продовжувати дослідження у галузі мобільних роботів, це і визначає спрямованість даного дипломного проекту.

## РОЗДІЛ І. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

На сьогоднішній день існує величезна різноманітність мобільних роботів, і перед усіма стоїть завдання орієнтування у середовищі яке його оточує. Якщо робот не знатиме де він знаходиться і в яку сторону дивиться, то ймовірність досягти мети може звестися до нуля. У цьому розділі я розгляну на прикладі різних існуючих роботів, за рахунок чого вони мають змогу орієнтуватися і приймати рішення щодо того які подальші дії необхідно здійснити щоб досягти заданої мети.

### 1.1 Застосування СЛ на мобільних роботах

Розглянемо широко відомі роботи-пилососи основною задачею яких є прибирання людських домівок. Цей робот повинен визначати наявність перешкод і різних інших кордонів, наприклад сходів, щоб запобігти падінню з них.

Наразі існує декілька популярних архітектур системи орієнтації робота пилососа які в яких можна виділити свої переваги та недоліки. Вони відрізняються ефективністю, швидкістю пристосування, легкістю використання та вартістю реалізації.

Пилососи обладнані системою навігації по алгоритмам отримують інформацію про своє оточення за допомогою інфрачервоних та тактильних сенсорів, які зазвичай встановлюються у передній частині приладу. При наявності перешкоди на своєму шляху робот здатен виявити їх сенсорами та змінити напрямок руху. Рух пристрою в такому випадку здійснюється за набором алгоритмів та дій які дозволяють роботу здійснювати прибирання приміщення секціями спочатку рухаючись по спіралі доки не прибере близько двох квадратних метрів після чого він переміститься на наступний квадрат. У разі виявлення роботом перешкоди запускається інший алгоритм що дозволяє оминати перешкоду і так далі до кінця прибирання. Повернення робота з

подібною конструкцією до зарядної станції проходить з використанням ІЧ датчика за допомогою якого робот здатен знайти її не зберігаючи в пам'яті її положення. Перевагами навігації по алгоритмам являються адаптивність до умов та типів поверхні, здатність до оптимізації траєкторії руху, висока стабільність роботи та дешевизна. До недоліків цієї системи можна віднести труднощі у непередбачуваних або змінних умовах та низька ефективність при роботі на великих площах.

Принцип дії гіроскопічної системи навігації подібний до навігації по алгоритмам. Її відмінність від попередньої полягає у використанні гіроскопів, за допомогою яких робот пілосос визначає своє положення в просторі і коригує траєкторію руху в разі відхилення від маршруту. Алгоритм руху відрізняється тим що робот рухаючись зигзагами запам'ятовує де він вже був що дозволяє йому прибрати всю площу приміщення. З переваг даної системи можна виділити здатність адаптуватися до змін середовища, можливість коригувати траєкторії у непередбачуваних ситуаціях та збереження орієнтації у просторі. До недоліків можна віднести вищу вартість кінцевого продукту через використання гіроскопів та збільшене використання заряду батареї гіроскопами через що зменшується ефективність прибирання на великих площах або площах з великою кількістю перешкод а також малий час роботи на одному заряді.

Система навігації з оптичним гіроскопом застосовує оптичний гіроскоп (Visual Simultaneous Localization and Mapping). Цю технологію використовують для навігації мобільних пристроїв у реальному часі. Оптичні сенсори та камери разом з алгоритмом обробки дозволяють отримувати візуальну інформацію про оточення та будувати карти зображення в то час як акселерометри та гіроскопи відповідають за визначення положення пристрою у просторі. З переваг даної конфігурації є висока точність визначення місцеположення пристрою у просторі та побудова карт приміщення і визначення координат положення робота. Недоліками є велике споживання

енергії, залежність від освітлення та висока вартість порівняно з іншими типами сенсорів.

Найбільш сучасні моделі, такі як Xiaomi Mi Robot Vacuum Cleaner, представлений малюнку 1, використовують лазерну навігацію за допомогою лідара (Light detection and Ranging) та контактного датчика що встановлюється на передній частині корпуса робота. Основні виміри робить лідар що випромінює лазерні промені в різних напрямках та його детектор який реєструє час за який відбиті промені повертаються до пристрою що дає змогу точно визначити відстань до перешкоди після чого будується точна 3Д карта оточуючого простору. Контактний датчик відчувачи дотик подає сигнал про те що потрібно скорегувати траєкторію руху.



Рисунок 1- Робот-пилосос Xiaomi Mi Robot Vacuum Cleaner

Перевагами використання лідара є висока точність вимірювання відстаней до об'єктів та створення карт оточення, більша ефективність при використанні на великих площах та те що пристрої можуть працювати у різних умовах освітлення та погоди. З недоліків даної системи навігації можна виділити значну собівартість та малий час роботи між перезарядженнями.

## 1.2. Огляд пристрою Mi Robot

Огляд мобільного робота, зображеного на рисунку 1 почнемо з огляду паспортних даних. Виділимо усі датчики, що робот використовує для орієнтації в оточуючому просторі а також розглянемо аспекти пов'язані із системою локації. У таблиці 1 наведені всі технічні характеристики пристрою

Таблиця 1

Технічні характеристики Mi Robot

Параметр	Визначення
Кінематична система	Два колеса, один опорний поворотний ролик
Датчики перешкод	Скануючий лазерний далекомір інфрачервоного діапазону (лідар), механічний передній/ бічний бампер, фронтальний ультразвуковий датчик, ІЧ-датчики перепаду висоти, бічний ІЧ-датчик Датчики орієнтації Лідар, одометр, гіроскоп, акселерометр, електронний компас
Датчики орієнтації	Лідар, одометр, гіроскоп, акселерометр, електронний компас
Особливості	Створення карти та вибір оптимального маршруту прибирання, магнітний обмежувач руху



В основі системи орієнтації робота лежить лазерний далекомір інфрачервоного діапазону лідар. Його встановлюють у вежі у верхній частині робота разом із фотоприймачем. Зазвичай їх можна роздивитися через горизонтальні отвори у вище згаданій башті. Лідар оснащений поворотним механізмом що обертаючись у горизонтальній площині дозволяє отримувати дані про відстань до оточуючих об'єктів та перешкод з оглядом у 360 градусів. Швидкість поворотної площадки становить 5 разів на секунду. Також виробником зазначено частоту сканування 1800 сканувань на секунду. Максимальна відстань на якій лідар здатен працювати становить 6 метрів, точність вимірів становитиме до двох відсотків що змушує робот під'їжджати до перешкоди майже впритул для ефективного її виявлення.

Дистанційне виявлення об'єктів та визначення їх геометрії дає роботу можливість скласти карту приміщення та визначати свої власні координати на ній а також місцезнаходження ключових об'єктів таких як базова (зарядна) станція. Крім цього пристрій завжди «знає» де він вже прибрав і де ще потрібно прибрати, кордони приміщення а також де в периметрі території ще можуть знаходитися недосліджені ділянки. Постійна зміна положення предметів, меблів або люди які часом можуть проходити повз або навіть ходити навколо робота не становлять серйозних проблем через алгоритм ігнорування та пристосування до непостійних перешкод. Також важливо пам'ятати що лазерний далекомір здатен працювати лише в одній площині на заданій висоті від підлоги що впливає в те що він не здатен виявити перешкоду яка знаходиться вище або нижче цієї площини. У випадку якщо на шляху робота є перешкода яка знаходиться нижче площини сканування лідара її виявлення здійснюється механічним бампером та ультразвуковим датчиком які встановлюються на передній частині робота. Перешкоди які знаходяться вище теоретично можуть становити загрозу через те що корпус башти лідара вищий за площину його дії але зазвичай робот проїжджає під перешкодою.

Завдяки тому що осі ведучих коліс розташовуються на одному діаметрі (350 мм) робот має здатність здійснювати повний розворот на 360 градусів на одному місці і завдяки цьому пристрій пристрій має гарну маневреність. З легкістю долати перешкоди невеликої висоти або глибини, такі як килими або міжкімнатні пороги, пилососу дозволяють ведучі колеса діаметром 70 мм а також досить великий хід шарнірів у точці центрів коліс який сягає майже 30 мм. Максимальна висота перешкоди, яку здатен подолати пилосос сягає до 18 мм що приблизно дорівнює відстані від підлоги до нижньої грані чутливого бампера. Перешкоди які потенційно неможливо подолати робот не буде намагатися проїхати, що допомагає запобігати затягання на перешкодах нижче площини дії лідара. Колеса оснащені покриттями виробленими із нековзкого губоподібного матеріалу, їх можна побачити на рисунку 2.

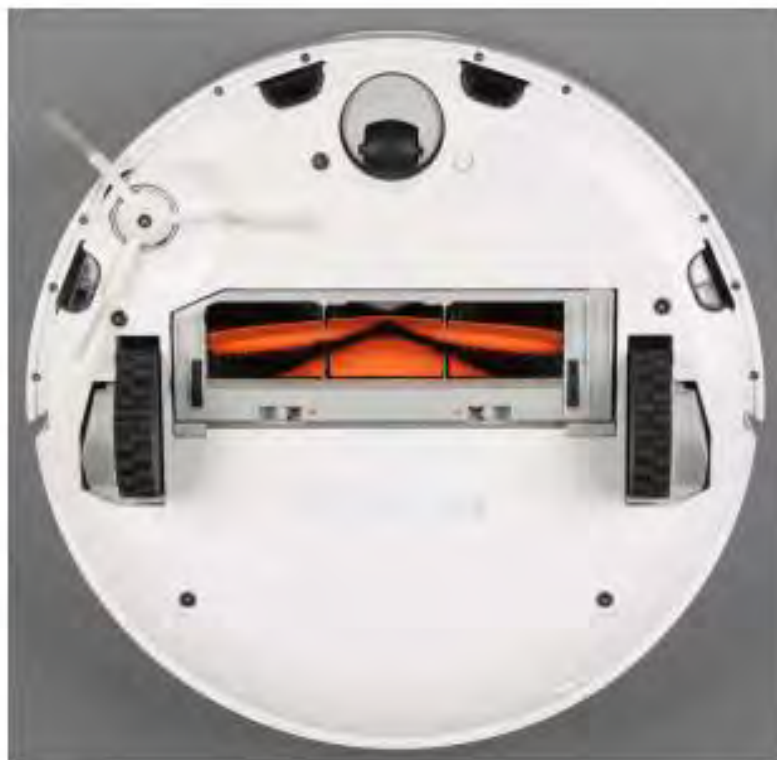


Рисунок 2 - Робот Mi Robot вид знизу

Одним з недоліків роботів з ІЧ системою навігації як вище було розглянуто є велике споживання енергії тому коли робот покидає базову зарядну станцію буде прибирати або доки не прибере всю площу або доки заряд акумулятора не впаде до 20 відсотків. Далі пилосос вернеться на станцію і після зарядки продовжить прибирання з того місця де завершив.

На рисунку 3 зображена карта місцевості така, просканована ІЧ-датчиком робота. Місцезнаходження пристрою та зарядної бази позначені на карті зеленими крапками. Білими лініями позначена траєкторія переміщення та маршрут за яким рухатиметься пилосос. Для того щоб пристрій найбільш ефективно справився із своїм завданням, а саме прибиранням приміщення, його маршрут будується змісподібно. Рух здійснюється з перекриттям 30 відсотків що означає що робот при повертанні і переміщенні у протилежну сторону по лінії зміщується на 30% в сторону попередньої, таким чином, щоб прибирання проводилось з заходом на вже прибрану частину і мінімізувалася площа пропусків.



Рисунок 3 – Карта місцевості

Коли на шляху пілососа спереду трапляється перешкода, він за кілька сантиметрів до неї знижує швидкість руху але все одно продовжує наближення поки не доторкнеться механічними датчиками. У разі якщо датчики не спрацьовують система розуміє що перешкода достатньо легка щоб її зсунути, це наприклад може бути фіранка, робот її зсуває на кілька сантиметрів але після цього все одно повертає в іншу сторону. Рухаючись вздовж перешкоди яка добре відбиває ІЧ промені пілосос тримається майже в притул, але не торкається її. Коли перешкода має погану відбивальну здатність, пілосос періодично торкається її бічною частиною чутливого бампера.

### **1.3. Метод одночасної локалізації та побудови карти**

Для визначення власного місцезнаходження мобільний робот користується апріорно наявною картою приміщення або опирається на свої спостереження. Тоді як при ідеальних умовах можна завантажити до пам'яті пристрою заздалегідь створену карту місцевості на практиці це не завжди вдається. Виникає задача одночасно навчити робота будувати карту навколишнього середовища та визначати своє місцезнаходження на цій карті, будуючи маршрут переміщення.

Область знань, що описує методи розв'язання даного завдання, отримала назву SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) [1]. В наш час існує досить значна кількість алгоритмів, що використовують апаратні в поєднанні з програмними можливостями. Варто зазначити, що SLAM це не якийсь конкретний алгоритм, а набір методів і технік, які дозволяють вирішувати задачу про визначення місцезнаходження робота та побудови карти місцевості. Пропоную розглянути кілька основних підходів.

Робота будь-якого з методів SLAM передбачає, що є можливість вимірювати відстань до об'єктів зовнішнього світу, а також оцінювати своє зміщення щодо попереднього розташування. Реалізація SLAM з апаратної точки зору здійснюється з використанням різного роду систем одометрії та

визначення відстані. Також як інші вимірювальні пристрої використовуються лідари, які здатні будувати двовимірну або тривимірну картину оточення за допомогою ІЧ-випромінювання. Альтернативою далекомірами можуть виступати відеокамери. Для визначення відстані необхідно 2 камери або можна використовувати одну 3Д камеру. При використанні камер виникають певні похибки вимірювань і складнощі, наприклад, залежність точності від якості освітлення, а також проблема аналізу відео потоку, що для вбудованих систем є складним завданням. Не зважаючи на це доцільним є використання синтезованих підходів, які поєднують використання далекомірів ІЧ спектру і відеокамер для уточнення результатів вимірів.

Оцінка зміни положення робота в просторі зазвичай використовуються датчики кута повороту моторів, які повертають ведучі колеса але доцільне й використання візуальної одометрії.

Зі сторони алгоритмів обробки, у SLAM можна виділити 3 основних підходи:

- розширений фільтр Калмана;
- фільтр частинок;
- SLAM, що базується на графах.

Алгоритмів які можуть застосовуватися для розв'язання задач SLAM існує набагато більше але приведені вище є найпопулярнішими. Більшість алгоритмів SLAM засновані на доволі простій ідеї. Знаходячись у деякому положенні, пілосос починає сканувати навколишній простір та виявляти об'єкти оточення. Після того як перші заміри завершуються робот змінює своє положення, рухаючись у бік інших досі невідомих об'єктів і так повторюється до тих пір доки всі перешкоди у приміщенні не будуть знайдені. Далі коли всі відстані виміряні і збережені до пам'яті пілосос повертається на вихідну позицію. Зазвичай через похибки одометрії робот повернеться у місце відмінне від того де знаходився на початку. Далі починається друге коло, під час якого робляться додаткові заміри і в результаті похибка скорочується.

На даний момент найбільш широкого застосування здобули методи, засновані на фільтрі Калмана та на фільтрі частинок, При чому варто зазначити що другий метод поступово витісняє перший. Вважається що основним недоліком розширеного фільтра Калмана є його квадратична обчислювальна складність від кількості об'єктів на карті в той час як фільтр частинок, а зокрема DP-SLAM, має логарифмічну складність. Це означає що фільтр частинок залежить від кількості осередків на карті та числа цих частинок.

Вирішення задачі SLAM викликає 2 головні проблеми:

- Проблема збіжності безпосередньо пов'язана з точністю обчислень. Усі датчики та системи одометрії мають певну модель помилки яку частіше за все не представляється можливим визначити. Саме через це використовуються різноманітні спрощення в результаті яких виникають неточності у побудові карти.
- Проблема обчислювальної складності алгоритмів на даний момент частково вирішена. Існують алгоритми які асимптично вирішують дане завдання за логарифмічний час. Але попри це, структурна складність навколишнього простору така, що навіть при такій складності обчислень не завжди вдається вирішувати завдання в прийнятний час. Це особливо стосується літаючих роботів, що мають велику швидкість руху.

Додатковою проблемою є те, що завдання SLAM найчастіше постає перед мобільними роботами, для яких питання споживання електроенергії є першорядним, отже з метою енергозбереження розробники мобільних роботів змушені обмежувати обчислювальні потужності використовуваних апаратних платформ.

Виходить, що незважаючи на те, що очі робота (вірніше його сенсори), часто, дозволяють бачити йому в темряві, робот не завжди може впоратися об'ємом та якістю одержуваної інформації.

#### **1.4 Постановка задачі**

У магістерській дисертації необхідно розробити систему локації мобільного робота, яка знаходитиме перешкоди та будуватиме карту місцевості. Для досягнення ухваленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- зробити аналіз наявних датчиків для локації роботів;
- підібрати необхідні датчики для локації;
- розробити структурну схему кінцевого пристрою.

## **Висновки до I розділу**

У даному розділі було розглянуто усі популярні архітектури систем навігації, що використовуються у роботах пилососах, проаналізовано переваги та недоліки кожної із наведених систем навігації завдяки чому стало зрозуміло що при різних умовах використання буде доцільно використовувати різні варіанти системи. Також на прикладі одного робота пилососа, представленого на світовому ринку, проведено аналіз існуючого пристрою, його систему локації та наведено технічні характеристики робота. Крім того було проведено огляд методу одночасної локалізації та побудови карти і алгоритмів SLAM.

В результаті роботи, проведеної в розділі 1 була сформована постановка задачі даної магістерської дисертації.



## РОЗДІЛ II. ОГЛЯД АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ

Перед тим як розпочати розробку будь-якого пристрою, необхідно ознайомитися з апаратними засобами, які може запропонувати ринок. Це стосується як різних датчиків і модулів, так і контролерів, які повинні будуть обробляти інформацію, одержувану від сенсорів.

### 2.1 Мікрокомп'ютери та мікроконтролери

У наш час на світовому ринку представлено досить велике різноманіття пристроїв обробки інформації. Розглянемо один з найпопулярніших.

Raspberry Pi - одноплатний комп'ютер, рисунок 4, що володіє малими розмірами, спочатку розроблений як бюджетна система для навчання в інформатиці. Розробляється Raspberry Pi Foundation.



Рисунок 4 - Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 2 B+

Якщо роздивлятися Raspberry Pi 2 зовні то це невелика плата, розміром трохи більше банківської картки. Комп'ютер оснащений чотири ядерним процесором ARM Cortex-A7 частота якого становить 900 МГц. На платі розпаяний гігабайт оперативної пам'яті, частину якої можна виділити для роботи відеоядра.

Основними перевагами Raspberry Pi 2 та подібних комп'ютерів є:

- Наявність портів GPIO. Це піни які не мають спеціального призначення. Як правило ці порти залишаються невикористаними, резервними. Ідея наявності подібних пінів полягає в тому, що іноді системному інтегратору побудови повної системи може знадобитися кілька додаткових ліній цифрового управління. Це залежить від використання різних чіпів інтегратора. Усі представлені піни можуть працювати як на введення так і на висновок. Також за деякими пінами закріплені певний функціонал, такий як інтерфейси UART, ІІС, SPI.
- Поєднання 32 КБ ISP flash пам'яті та можливості зчитування під час запису.
- 1024Б EEPROM.
- 2КБ SRAM.
- 23 універсальних входи/ виходи.
- 32 універсальних регістри.
- 3 гнучких лічильники/ таймери з режимом порівняння.
- Внутрішні та зовнішні переривання.
- Програмований USART.
- 2-провідний послідовний інтерфейс.
- 6- канальний 10-бітний АЦП
- Робота у діапазоні напруги від 1.8 до 5.5 В.

На рисунку 5 представлена схема 8-бітного мікроконтролера на базі Atmel picoPower AVR RISC.

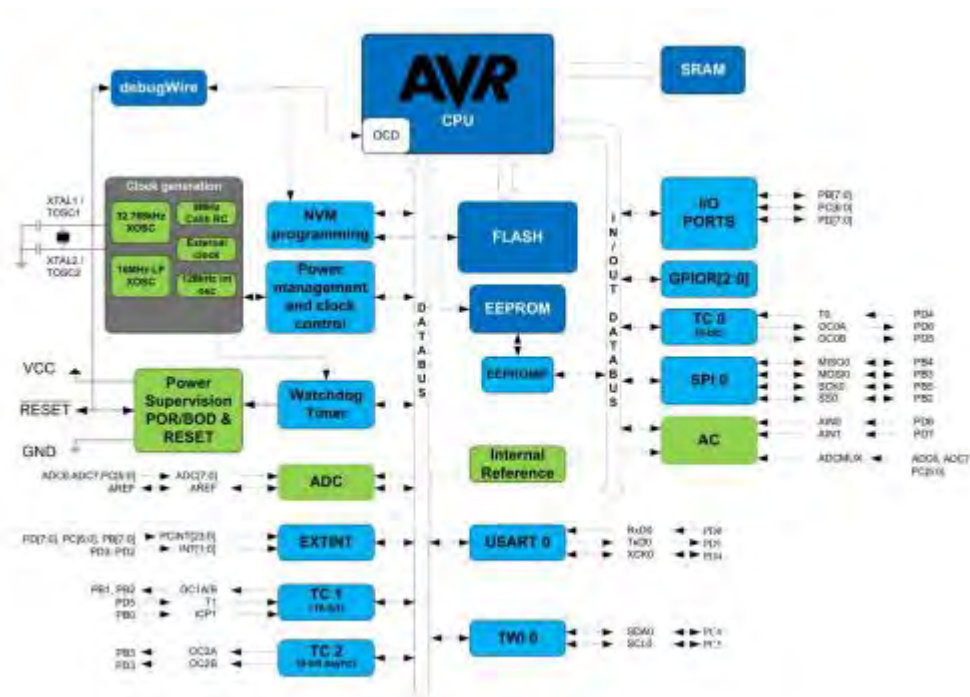


Рисунок 5 - Блок-схема мікроконтролера

Мікроконтролери ATmega підтримують повний набір програмних та апаратних засобів для проектування. Деякими з них є: Сі-компілятори, макроасемблери, програмні відладники/симулятори, програматори та оціночні набори.

## 2.2 Датчики відстані

Основним завданням датчиків є вимірювання відстані до об'єкта не вступаючи з ним в контакт фізично. Дистанція ефективної роботи та виявлення перешкод залежить від типу датчика, метода передачі та прийому випромінення а також налаштування.

У багатьох галузях промисловості використовуються фотоелектричні датчики відстані. Для сканування окремих поверхонь, окремих або груп предметів доцільно використовувати оптичні електронні далекоміри. Також на основі таких датчиків створюють електронні тахометри. Датчики з дискретним вихідним сигналом використовують для підрахунку, виявлення,

позиціонування та рішення інших подібних задач. Пристрої з аналоговим виходом встановлюють у далекоміри, оптичні локатори. Велика кількість датчиків, об'єднаних одним вузлом обробки сигналу вважається примітивною моделлю з технічної точки зору. Прикладом подібної системи є парктронік в автомобілях[3].



Рисунок 6 - Приклад парктроніка, що використовує датчики відстані

Оптичний датчик реєструє зміну світлового потоку в контрольованій зоні, викликане рухомими деталями механізмів, а також відсутністю, появою об'єктів. Або навпаки датчик знаходиться на рухомому об'єкті та визначає своє становище щодо навколишнього простору. Найпростіший випадок застосування це встановлення факту наявності поблизу датчика предмета без уточнення дистанції до нього. Оптичний датчик використовується в простих проектах автоматики в тому числі з використанням мікроконтролерів. Наприклад, для рухомих роботів або в системах безпеки для виявлення руху. У пристрій входять два напівпровідникові фотоприлади світлодіод і фотодіод або фототранзистор. Випромінювання світлодіода відбивається від перешкоди і сприймається фотоприймачем.

Наведені приклади оптичних датчиків відстані відносяться до класу дифузних датчиків. Ця назва класу виникла через поширення, відображення

по безлічі напрямків – дифузії з випромінювання поверхнею перешкоди, представлено на малюнку 7.



Рисунок 7 - Дифузне відображення

Принцип дії полягає у визначенні освітленості фотодіода ІЧ з променем, відбитим від предмета. Електроніка посилює струм фоточутливого елемента, перетворюючи його у вихідний сигнал. Якщо ІЧ випромінювання не повертається, стан виходу не зміниться. Такі датчики є недороге та легко встановлюване рішення. Оскільки вони працюють з відбитим світлом, то виникає похибка вимірювання відстані при відображенні від предметів різних кольорів з різних матеріалів. Висока точність можлива лише на відносно коротких відстанях. Цього недоліку позбавлено датчик GP2Y0A21YK0F. У датчику GP2Y0A21YK0F використовується принцип триангуляції, а не вимірювання рівня освітленості фотоприймача. Тому його використовують для вимірювання відстані.

У параметрі дальності датчиків вказується дистанція до відображення білої матової площини. Залежно від характеру поверхні об'єкта, що виявляється, застосовуються коригувальні коефіцієнти відстані: папір білий матовий 1, тканина бавовняна 0.6, Сірий по лівінілхлорид 0.57, легко пофарбоване дерево 0.73, дерево необроблене 0.4, білий пластик 0.7, чорний

пластик 0.22, чорна гума 0.2–0.15, матовий алюміній 1.2, нержавіюча полірована сталь 2.3.

Властивості різних матеріалів по-різному відобразити ІЧ випромінювання використовується в безконтактних цифрових тахометрах. Достатньо приклеїти на деталь, що обертається, клаптик яскраво білого паперу, навести промінь датчика і тахометр майже готовий. Для зменшення впливу шумів обробним мікроконтролером проводиться кілька вимірів відстані до об'єкта. Результати вимірів запам'ятовуються та усереднюються, тим самим підвищується точність вимірів. Для усереднення вимірювань застосовуються різні алгоритми, але платою за підвищення точності буде зниження швидкодії. Пошук оптимального алгоритму усереднення є на сьогодні дуже актуальним завданням.



Рисунок 8 - Датчик HC-SR04

Ультразвуковий датчик відстані HC-SR04, який можна побачити на рисунку 8 є найпоширенішим і загалом єдиним подібним датчиком, представленим на ринку. Він випромінює УЗ хвилі за допомогою яких визначає відстань до об'єкта. Даний безконтактний датчик здатен

забезпечувати високу точність і стабільність вимірів. Діапазон вимірів HC-SR04 становить 2-500 см. Точність та ефективність вимірювань датчиків не залежить від якості або інтенсивності освітлення а також електромагнітні шуми. Далекомір комплектується трансмітером і ресивером.

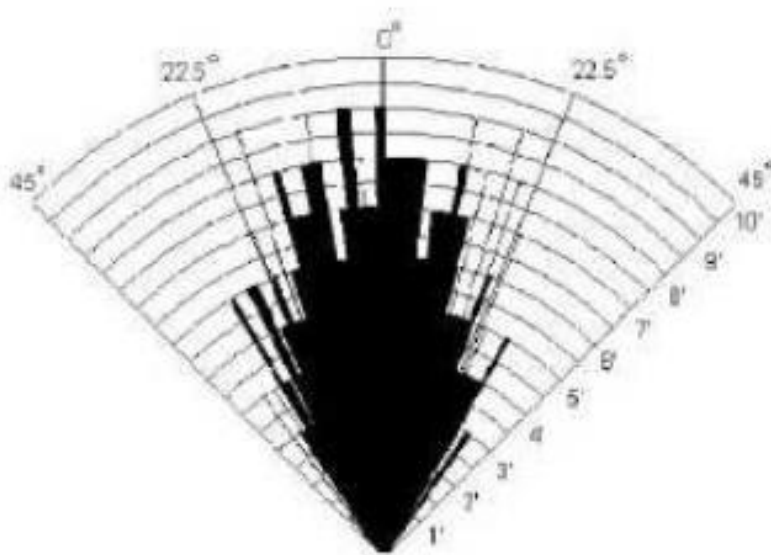


Рисунок 9 - Діаграма спрямованості

Роз'єм сенсора - 4 звичайних піна (2.54), що дозволяє просто встромити його в безпайкову плату, припаяти до макетної плати або використовувати для підключення звичайні провідники (типу мама). Діаграма спрямованості розбіжності пучка представлена рисунку 9.

Сенсор випромінює короткий ультразвуковий імпульс (у момент часу 0), який відбивається від об'єкта і приймається сенсором. Відстань розраховується виходячи з часу до отримання луни та швидкості звуку в повітрі.

Ось деякі характеристики датчика HC-SR04:

- Робоча напруга – 5В;

- Споживча потужність – 2 мА що дозволяє його використання з батарейними джерелами живлення;
- Частота роботи – 40 кГц;
- Максимальна відстань вимірювання – від 2 см до 4 см;

У ролі датчика торкання можна використовувати будь-який кінцевий вимикач, наприклад зображений на малюнку 10. Дане рішення має маленькі габарити та цифровий вихідний сигнал, високий або низький рівень. У цьому кінці вимикача присутні три контакти: загальний, нормально закритий і нормально відкритий. Таким чином, коли важіль вимикача знаходиться у верхньому положенні, то контакти загальний і нормально закритий - з'єднані, а загальний нормально відкритий - роз'єднані, і навпаки, якщо важіль вимикача знаходиться в нижньому положенні, нормально закрита пара контактів роз'єднується, а пара нормально відкритих контактів з'єднується.



Рисунок 10 - Кінцевий вимикач

Однак, кінцевий вимикач незручно використовувати в ролі датчика наявності поверхні (або датчика підлоги). Для таких цілей підійде Оптичний датчик із цифровим вихідним сигналом GP2Y0D805, зображений на рисунку 11.





Рисунок 11 - Датчик дальності

GP2Y0D805, GP2Y0D810 та GP2Y0D815 - найменші та найшвидші датчики компанії Sharp. Завдяки невеликій платі, на якій крім них встановлені всі необхідні компоненти, ви можете відразу приступати до роботи з цими сенсорними модулями. З частотою майже 400 Гц і максимальною вимірюваною відстанню 5 см (GP2Y0D805), 10 см (GP2Y0D810) або 15 см (GP2Y0D815), цей датчик є привабливою альтернативою оптопарі з меншою вимірюваною відстанню, а також аналоговим датчиком Sharp GP2Y0A21YK0F з більшою вимірюваною відстанню, але при цьому повільнішою. Вихідна напруга  $V_o$  знаходяться на постійному високому рівні, і падає до низького під час виявлення об'єкта.

### **2.3. Датчик орієнтації**

Для того щоб МР міг орієнтуватися в просторі, а саме розуміти, в який бік рухатися, йому необхідно знати азимут, на який потрібно повернутися під час руху запланованою траєкторією. Для вирішення даного завдання необхідний компас. Однак для точності і достовірності одержуваних даних необхідно на борту мати гіроскоп і акселерометр. Пов'язаний це з фізичними властивостями датчиків, які виготовляють за технологією CMOS MEMS[1].

Використовуючи разом три типи датчиків, можна досягти максимальної точності і достовірності даних, одержуваних з подібних модулів.

Найбільш поширеним датчиком орієнтації є модуль MPU 9250. На рисунку 12 показаний зовнішній вигляд пристрою.



Рисунок 12 - Модуль MPU-9250

Корпус мікросхеми поєднує два кристали. Один кристал має на собі три осьові гіроскоп та сенсор. На іншому кристалі розміщений три осьовий магнітометр Asahi Kasei Microdevices. Отримані заміри сенсорів проходять оцифровку 16- бітним АЦП після чого дані обробляються за допомогою алгоритмів Motion Fusion сигнальним процесором DMP (Digital Motion Processor). Після цього інформація передається зовнішньому мікроконтролеру по шині I2C/SPI.

Технічні характеристики модуля MPU-9250:

- Живлення – 2,4В – 3,6В
- Інтерфейси передачі даних: I2C (Inter-Integrated Circuit) та SPI (Serial Peripheral Interface);
- Гіроскоп з діапазоном вимірювання  $\pm 250$ ,  $\pm 500$ ,  $\pm 1000$  або  $\pm 2000$  градусів за секунду;
- Акселерометр з діапазоном вимірювання  $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ ,  $\pm 8g$  або  $\pm 16g$ ;
- Магнітометр з діапазоном вимірювання  $\pm 4800$  мікроTesla ( $\mu T$ ) або  $\pm 49$  гаусів;
- Датчик температури здатен фіксувати від  $-40^{\circ}C$  до  $+85^{\circ}C$ ;

## 2.4 Оптичний сенсор

На рис. 13 представлено зовнішній вигляд модуля камери оптичного сенсору



Рисунок 13 - Модуль камери

Даний модуль, рисунок 13, має 5-мегапіксельний датчик OmniVision OV5647. На платі зі зворотного боку розміщується контролер сенсора та вся потрібна розв'язка. Також на платі є роз'єм під шлейф CSI (Camera Serial Interface) Завдяки спеціалізованій бібліотеці для технічного зору «openCV», яку розробила компанія IBM, відбуватиметься обробка отриманого зображення, для виділення меж об'єктів, таким чином, основний фон зображення буде чорним, а межі (ребра) об'єктів будуть білими, і якщо ми знатимемо відстань до цих кордонів, то система управління зможе створювати карту місцевості, відстань вимірюватиметься далекоміром.

Технічні характеристики модуля камери:

- Роздільна здатність – 5 Мп;
- Формат зображення: YUV та JPEG;
- Розмір пікселя 1/4 дюйма;

- Кут огляду об'єктива 72.4°;
- Швидкість затвору від 1 мікросекунди до кількох секунд;
- Інтерфейс підключення MIPI CSI-2;
- Живлення 2,5 В - 3,0 В;
- Підтримка відео зі швидкістю до 1080р.

## **Висновки до II розділу**

У другому розділі було проведено огляд датчиків та сенсорів, а також мікрокомп'ютер, які доцільно використовувати при побудові системи орієнтації та навігації робота пилососа. Розглянуто мікрокомп'ютер Raspberry Pi 2, датчики відстані та орієнтації, оптичний сенсор а також описано їх принципи роботи і наведено технічні характеристики. Завдяки цьому можна починати роботу над розробкою системи орієнтації власної моделі пристрою.

## РОЗДІЛ ІІІ РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЛОКАЦІЇ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Вибір електричних та електронних компонентів під час розробки системи локації – важливий крок, який надалі вплине на можливості та обмеження у розробці алгоритмів управління. Набір елементів системи локації повинен задовольняти умови завдання. Візьмемо за основу кінематичну схему робота, представленого в 1 главі, зображеного на малюнку 1. Але для більшої стійкості додамо ще одне вільно підпорне колесо, що обертається, отримаємо кінематичну схему, зображену на малюнку 14.

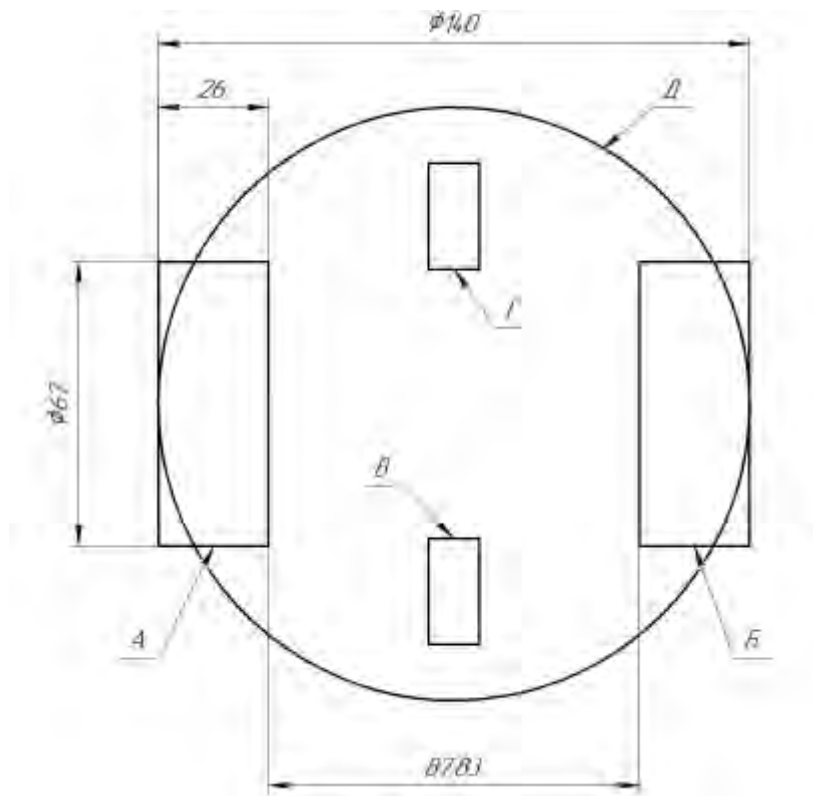


Рисунок 14 – кінематична схема об'єкта управління

Розшифруємо умовні позначення схеми:

- А і Б – ведучі колеса;
- В і Г – допоміжні колеса вільного обертання;
- Д – корпус робота на якому закріплюються всі елементи;

Із доступного обладнання, яке було розглянуто в попередньому розділі будуть використані: УЗ- далекомір, датчик орієнтації, оптичний сенсор, мікрокомп'ютер, мікроконтролер а також датчик глобальної навігації. Кожен датчик/ модуль має свій певний інтерфейс підключення як в сенсі фізичних контактів так і певний інтерфейс обміну інформацією.

Розглянемо інтерфейс I2C за допомогою якого буде здійснюватися обмін інформацією між компонентами системи. Дані передаються по двом дротам: даних та тактів. Такти генеруються так званим мастером, раб лише отримує інформацію. Максимальна можлива кількість пристроїв одночасно підключених дводротовою шиною становить 127. Майстер ініціює обмін. Для цього він починає генерувати тактові імпульси і посилає їх лінією SCL по 9 штук. Одночасно на лінії SDA він зазначає адресу пристроїв з якими необхідно встановити зв'язок, що тактується першими 7 імпульсами. Наступні два визначають код операції, яка буде виконуватися (зчитування або запис), наступний 1 біт це підтвердження що запит був прийнятий. За стандартом напруга становить +5В або +3,3 В. Основний режим роботи – 100 КБіт/с.

За допомогою інтерфейсу UART буде здійснюватися зв'язок між мікроконтролером та модулем глобальної навігації.

### **3.1 Функціональна схема**

Розберемо принцип роботи системи локації, зображеної рисунку 15. Основний комп'ютер, відправляє пристрою локації два типи команди: виконання та читання. Команду на виконання, щоб відхилити сервоприводи на потрібні кути. Команду на читання, наприклад, отримати дані з далекоміра або дані із модуля глобального позиціонування. Під час роботи всієї системи модуль глобальної навігації відсилає щохвилини пакет даних. Також частоту надсилання даних можна збільшити до 10 Гц. Контролер системи локації приймає ці дані та розміщує прийняті дані в оперативній пам'яті. Коли

надходить запит із командою по шині I2C, контролер зчитує дані з осередків оперативної пам'яті та відправляє ці дані мікрокомп'ютеру.

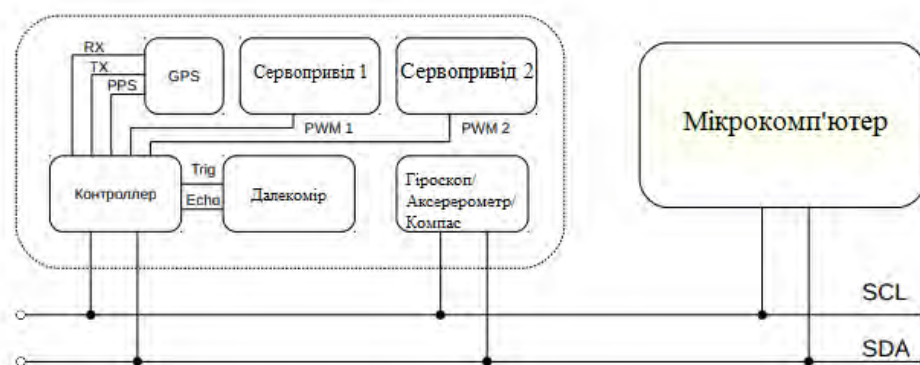


Рисунок 15 - Функціональна схема системи локації

Коли приходить команда на вимірювання відстані, контролер її обробляє, розуміє, що йому потрібно виміряти відстань, і встановлює високий рівень на лінії Trig тривалістю 10 мкс, потім включає таймер і очікує високого рівня на лінії Echo. Після отримання сигналу на лінії Echo, таймер зупиняється. Перетворюючи різницю в часі між двома отриманими сигналами від далекоміра, отримаємо відстань до об'єкта, що вимірюється.

Для реалізації елементів керування пристроєм локації використовуються 2 сервоприводи. Таким чином роботу не потрібно буде повертатися самому, для дослідження навколишнього середовища, що займатиме менше часу. Сервоприводи керуються широтно-імпульсною модуляцією, тобто період імпульсу повинен становити 2 мс, контролер сервоприводу вимірює шпаруватість сигналу та вираховує завдання для мотора, що відхиляє важіль сервоприводу.

У зв'язку з особливостями використовуваного інтерфейсу мікросхемою гіроскопа, до нього можна буде звертатися не через контролер пристрою локації, а на пряму. Дані з компаса необхідні як для роботи, так і для системи



локації, тому що дані два елементи управління можуть працювати асинхронно, наприклад, робот може рухатися по запланованій траєкторії і одночасно сканувати навколишнє оточення.

### 3.2 Структурна схема

Розглянемо структурну схему робота, яка представлена на рисунку 16.

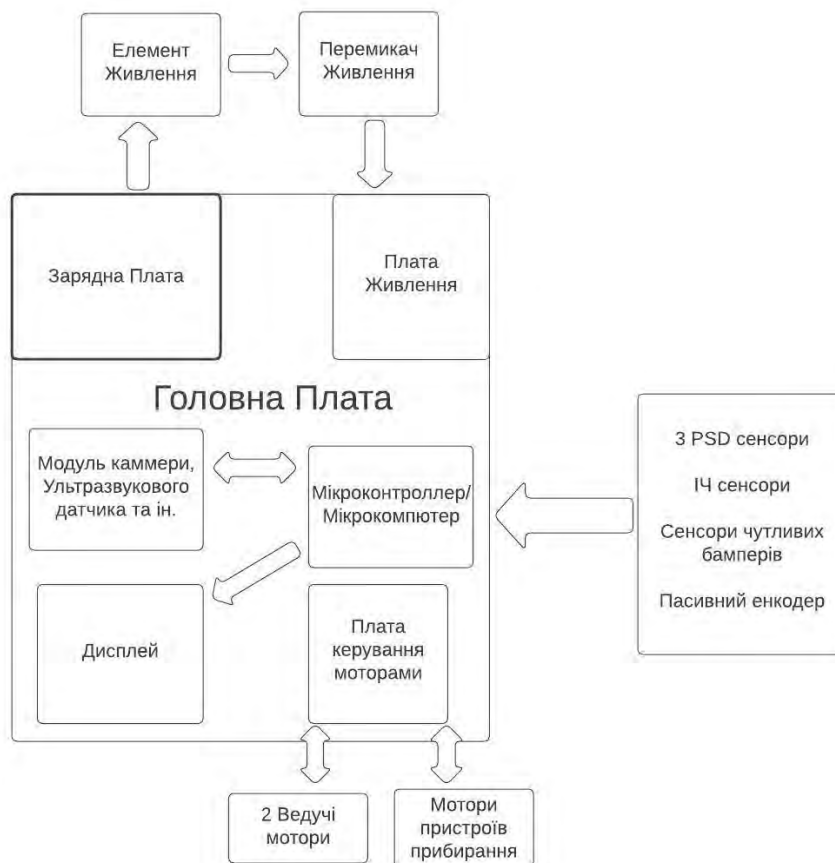


Рисунок 16 – Структурна схема робота пилососа

Є головна материнська плата з модулем камери, дисплеєм а також модулем управління електромоторами відних коліс та моторами системи прибирання.

Зовнішній зарядний пристрій використовується для заряджання літій-іонного акумулятора. Для годинника і таймера використовується додаткова батарейка – таблетка на материнській платі. Три датчики перепаду висоти знаходяться

на дні корпусу пристрою. Passive Encoder – датчик, який знаходиться біля передньої частини вісі колеса визначає пройдений шлях. УЗ датчики найчастіше встановлюються зверху корпусу.

### 3.3 Кінематична схема

Розробимо кінематичну схему системи локації. Перед усім потрібно визначити осі координат, нехай вісь  $Z$  буде пролягати по вертикалі тоді осі  $X$  та  $Y$  лежатимуть у горизонтальній площині. Сервоприводи, які будуть використовуватися для руху мають кут між крайніми положеннями  $180^{\circ}$  а отже максимальне відхилення від центрального положення становитиме  $90^{\circ}$ .

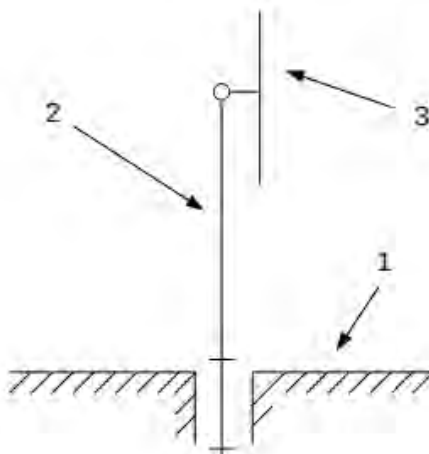


Рисунок 17 – Кінематична схема СЛ

На рисунку 17 представлена кінематична схема системи локації робота. Основа 1 представляє собою дах корпусу пристрою, на якому буде нерухомо закріплено механізм. Рухомі частини 2 і 3 будуть приводитися до руху сервоприводами, здійснюючи обертальні рухи навколо точок з'єднання. Елемент 3 буде служити місцем кріплення камери та далекоміра. Завдяки цій схемі конструкція матиме змогу обертатися навколо осі  $Z$  а також здійснювати нахили у горизонтальній площині.

### 3.4 Математичний опис моделі

Для оптимізації управління елементами системи локації необхідно описати даний пристрій з математичної точки зору. Математичний опис узагальнює опис алгоритмів та методів керування пристроєм та представляє собою нескладні диференційні рівняння, рішення яких можна за потреби реалізувати на мікропроцесорному або аналоговому обчислювальному пристрої. Спочатку опишемо більш прості задачі а потім перейдемо до складніших.

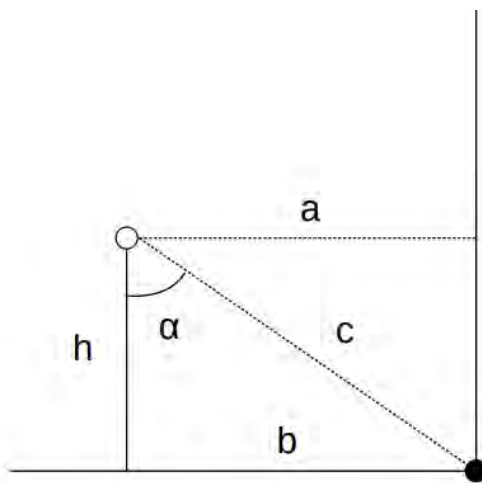


Рисунок 18 – Випадок коли робот знаходиться біля стіни

На рисунку 18 ми бачимо що пристрій знаходиться біля стіни але щоб перевірити те що це стіна або яка небудь перешкода необхідно заміряти відстань до об'єкта (a) та до точки дотику його до підлоги (b) і порівняти їх. У випадку коли ці дві величин рівні можна судити що це стіна або подібна перешкода. Для обчислення довжини b можна скористатися простим тригонометричним виразом:  $b = \sin(a) \times c$ .

Далі роздивимося випадок коли робот знаходиться біля прірви (рисунок 19). Таким самим чином обчислюємо відстань b і у випадку коли воно не дорівнює a маємо підозру що це вертикальна перешкода.

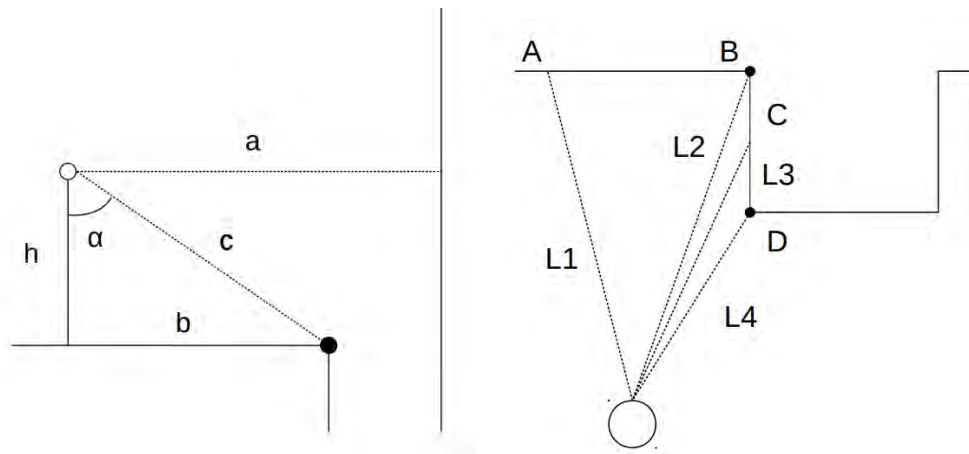


Рисунок 19 – Випадок коли робот знаходиться біля прірви  
вид збоку (зліва) та зверху (справа)

Далі роздивимося малюнок 20 на якому зображено два кадри з камери. На правому кадрі зображено дві площини, кут монітора і дроти. Ліве зображення – праве зображення після обробки алгоритмом визначення границь. Для цього використовується алгоритм Джона Ф. Канни.



Рисунок 20 – Визначення границь об'єктів

Даний алгоритм використовує 4 етапи обробки зображень: подавлення шумів, пошук градієнта інтенсивності, неперервне подавлення та кінцеве значення гістерезису.

Подавлення шумів – пошук границь об'єктів першим кроком якого є подавлення зайвих шумів за допомогою фільтра Гауса.

Пошук градієнта інтенсивності – фільтрація згладженого зображення оператором Собеля в горизонтальному та вертикальному напрямку для отримання першої похідної по горизонталі  $G_x$  і вертикалі  $G_y$ . З цих похідних ми можемо знайти градієнт та його напрямок наступним чином:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2},$$
$$\theta = \tan^{-1} (G_y / G_x),$$

де  $G$  – градієнт;  $\theta$  – напрямок градієнта. Напрямок градієнта завжди перпендикулярно до кордонів. Він округлений до одного з чотирьох кутів, що представляють вертикальне, горизонтальне та два діагональні напрямки.

Після отримання величини та напрямку градієнта виконується повне сканування зображення для видалення будь-яких небажаних пікселів, які можуть не формувати край. Для цього кожен піксель перевіряється, якщо він є локальним максимумом у своїй околиці у напрямку градієнта.

На етапі порогового значення градієнта визначається які границі дійсно належать об'єктові. Для цього розглядаються два значення: Min та Max. Усі грані, що вищі за Max вважаються однозначно частинами предмета а усі що нижче Min точно йому не належать. Усі що посередині класифікуються і ті, що мають контакт з вже знайденими гранями відносять до об'єкта а ті що ні відкидаються.

### **3.5 Розробка програмного забезпечення та алгоритмів**

Розробка програмного, як інженерна дисципліна належить до ряду програмної інженерії. ПЗ являється однією з найважливіших складових системи локації, яка відповідає за функціонування та супровід програмних процесів. Нижче на рисунку 21 зображено блок схему основної програми системи локації мобільного робота.

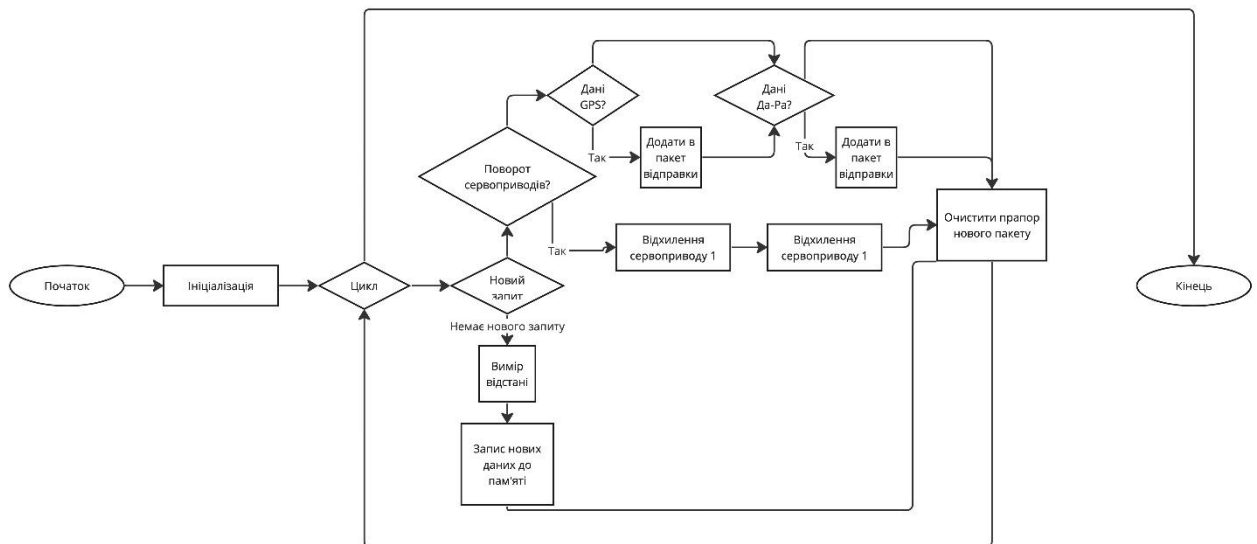


Рисунок 21 – Блок-схема основної програми СЛ

### 3.6 Програма для мікроконтролера

Так само як усі інші інженерні дисципліни, розробка ПЗ потребує великої кількості ресурсів для забезпечення високої якості, точності та надійності виконання процесів.

Процес розробки починається із виконання блок-схеми. Блок-схема – це поширений тип схем (графічних моделей), що описують алгоритми або процеси, в яких окремі кроки зображуються у вигляді блоків різної форми, з'єднаних між собою лініями, що вказують напрямок послідовності.

Програма буде складатися з двох частин, перша з яких буде знаходитись на мікроконтролері СЛ, інша буде частиною основної програми пристрою.

Мікроконтролер буде збирати інформацію з усіх датчиків, обробляти та зберігати її у власній оперативній пам'яті і ділитиметься нею тільки після запиту від основного мікрокомп'ютера. Тому блок схема програми буде виглядати як зображено на рисунку 21.

Через особливості мікроконтролерів фірми atmel, передавання інформації буде здійснюватися через переривання.

Переривання – це сигнал від програмного або апаратного забезпечення, який сповіщає процесор про те що відбулася певна подія, яка потребує переривання поточного коду. Процесор припиняє поточну діяльність та зберігає прогрес, після чого він починає виконувати функцію, що називається програма обробки переривання, яка реагує на подію та обробляє запит. Після цього продовжується виконання попередньої (перерваної) програми. 25

Виходячи з властивостей мікроконтролера, побудуємо блок-схеми переривання для інтерфейсів зв'язку UART та I2C (зображено на рисунках 22 і 23).



Рисунок 22 – Блок-схема переривання UART

Розглянемо блок-схему зображену на рисунку 21. Після подання живлення на мікроконтролер починається попередня ініціалізація, під час якої створюються всі необхідні змінні в оперативній пам'яті. Прикладами таких змінних є масиви для зберігання інформації, отриманої від МГП, команд для прийому пакету від мікрокомп'ютера а також налаштування портів вводу/виводу, а саме визначення режиму роботи.

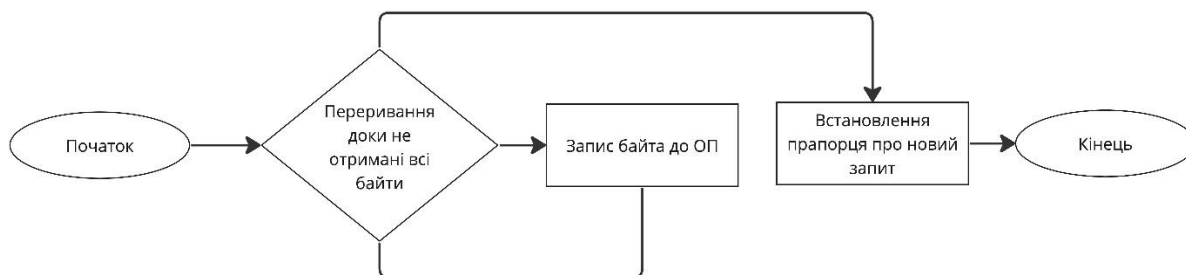


Рисунок 23 – Блок-схема переривання I2C

Після завершення налаштувань, програма починає виконуватися у циклі. У циклі в першу чергу перевіряється чи є запит від головного контролера. Якщо запиту немає, починається вимір відстаней та запис їх до оперативної пам'яті. Також під час виконання головної програми може відбутися переривання для прийому даних від МГП як зображено на рисунку 22. В цьому випадку ці дані також записуються до ОП після чого продовжується виконання основної програми з того ж місця де вона зупинилася.

У випадку, коли через I2C приходить хоча б один байт інформації, так само як з UART відбувається переривання. Воно продовжується до тих пір поки всі байти не будуть отримані і записані до ОП після чого продовжує виконуватись головна програма.

На рисунку 24 зображена блок-схема роботи переривання у випадку коли дані передаються через інтерфейс I2C.

Коли основна програма проходить гілкою, після перевірки на наявність нового пакета, проходить перевірка байта команди, якщо цей байт адресовано для зміни кута сервоприводів, то сервомашина змінює кут відхилення важеля. В іншому випадку відбувається перевірка, які дані підготувати для відправки: дані далекоміра або дані GPS.





Рисунок 24 – Блок-схема переривання I2C під час передачі

### 3.7 Програма для мікрокомп'ютера

Вище було зазначено, що друга частина програми буде знаходитися на мікрокомп'ютері. Це зумовлено тим, що 8-бітний мікроконтролер має недостатню потужність для роботи з потоковим зображенням і тим більше для його обробки без зайвих затримок в реальному часі.

На рисунку 25 зображено блок-схему програми, яка виконуватиметься коли при виконанні основної програми вона піде гілкою оновлення місцезнаходження.

Передусім запускається функція захвату зображення для того щоб розуміти до якого об'єкта потрібно виміряти відстань. Зображення зберігається до ОП, після чого воно переводиться із кольорового в чорно біле і в такому вигляді проходить через алгоритм Канні для виявлення контурів об'єкта. Далі викликається функція обробки цих контурів, визначається наявність горизонталей та їх кількість. У разі виявлення горизонталей запускається функція яка посилає сервоприводам команду на поворот після чого отримується нове значення відстані і приймається рішення про те чи пристрій знаходиться перед стіною чи обривом. Далі, після визначення горизонталей починається визначення вертикалей. Після знаходження горизонталей відправляється команда до сервоприводів щоб вони

повернулися так що об'єктив оптичного сенсора був направлений на них. Далі значення відстані, які надходять від сенсора зберігаються до оперативної пам'яті.

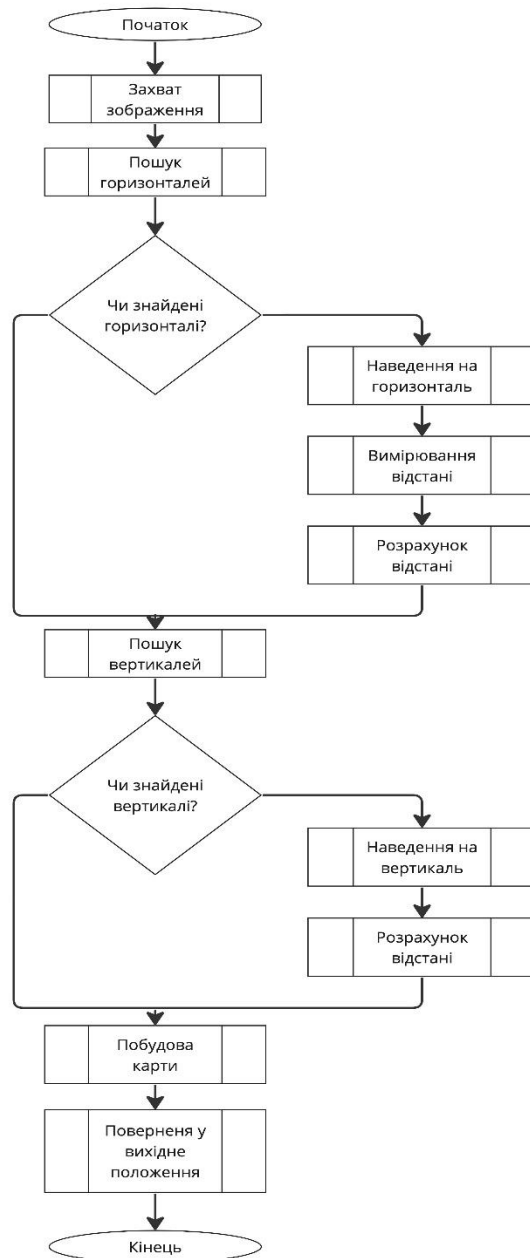


Рисунок 25 – Блок-схема обробки інформації з оптичного сенсора з використанням інших сенсорів

Після того як всі заміри були проведені і оброблені рухомі часини системи локації повертаються у початкове положення. Збережена інформація буде використовуватись для подальшої побудови карти місцевості і покращення орієнтації мобільного пристрою в оточуючому середовищі.

### **3.8 Технічні характеристики та властивості системи**

Нижче наведені основні можливості системи локації:

- Вимірювання відстані до об'єкта;
- Визначення кута відхилення мобільної платформи;
- Визначення прискорення мобільної платформи;
- Визначення глобального кута відхилення мобільної платформи.

Також варто зазначити що подібну систему можна використовувати для побудови 3Д та 2Д карт місцевості а також для визначення образів та геометрії об'єктів.

Технічні характеристики датчиків системи локації виміряні експериментальним шляхом:

- Точність далекоміра:  $\pm 1$  см при дальності 50см;
- Точність визначення кута гіроскопа:  $\pm 2^\circ$  при відхиленні  $90^\circ$  між крайніми положеннями;

### **Висновки до III розділу**

У третьому розділі було проведено підбір електричних компонентів для подальшого використання у побудові власної моделі мобільного робота. Розроблені кінематична а також функціональна схеми. Також було розглянуто доступні інтерфейси передачі інформації. Далі була розроблена структурна схема, де описано взаємодію між різними модулями системи локації і розроблена кінематична схема підвісу камери далекоміра. Проведено математичний опис моделі що дозволило простими формулами описати всі важливі процеси для більш простого утілення їх мовою програмування. В результаті було розроблено програмне забезпечення, яке складається з програми для мікроконтролера системи локації та головного мікрокомп'ютера. У кінці розділу наведено основні можливості розробленої СЛ та технічні характеристики.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «Універсальна роботизована мобільна платформа»

У даному розділі розглядається спосіб впровадження проекту «Універсальна роботизована мобільна платформа» на ринковий рівень. Аналіз було здійснено за допомогою алгоритму [].

#### 4.1. Опис та технологічний аудит ідеї проекту

Автоматизована система заснована на використанні алгоритмів обробки інформації з датчиків відстані та побудови карти оточення.

Мета проекту – заміна людської праці машинною у нестабільному або небезпечному для людського здоров'я.

У таблиці 4.1 наведена загальна інформація про стартап-проект, а у таблиці 4.2 – основні ідеї продукту.

Таблиця 4.1. Інформаційна карта стартап-проекту

Назва блоку	Характеристика
1	2
Загальна характеристика стартап-проекту	
Назва стартап-проекту	Універсальна роботизована мобільна платформа.
Проблематика, яку вирішує стартап-проект	Заміна людської праці машинною у нестабільному або небезпечному для людського здоров'я.
Головні цілі та завдання проекту	Головна ціль проекту – створення мобільної платформи для виконання завдань у несприятливих умовах. Основні завдання – розробка системи локації мобільного робота у замкнутому просторі.

Головні цільові групи, на які спрямований проєкт	Проєкт спрямований головним чином усі сфери людської діяльності як самостійний або допоміжний інструмент для виконання завдань без участі людини.
Автори та команда стартап-проєкту	
Автори стартап-проєкту	Альошин Дмитро Андрійович
Команда стартап-проєкту	Альошин Дмитро Андрійович – автор проєкту, розробник.
Опис продукту стартап-проєкту	
Назва та коротка характеристика мінімального життєздатного продукту стартапу (MVP)	Мінімальний життєздатний продукт (MVP) стартапу – автоматизована система локації і орієнтації для мобільної платформи.
Сфера застосування та функціональне призначення продукту	<p>Промислова сфера: продукт здатен проводити різного роду роботи у небезпечному для людського життя середовищі або там де економічно вигідно використання машинної праці замість людської.</p> <p>Побутова сфера: продукт може використовуватися у якості платформи для побудови робота помічника у побуті, наприклад робот пилосос або газонокосильник.</p> <p>Функціональне призначення – використання для побудови різного роду мобільних роботів .</p>
Опис унікальних властивостей продукту стартапу	Дана система володіє високою точністю, швидкістю, доступністю, автоматизованістю. Створений алгоритм навігації та побудови карти незнайомої місцевості, що використовує дані отримані з датчиків а також доступність, а, отже, здатність користуватися у простих умовах, не маючи складного обладнання.

Таблиця 4.2. Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розроблення системи локації для використання на мобільних платформах	1. Побутова сфера	Покращення якості життя через спрощення виконання повсякденних побутових завдань
	2. Промислова сфера	Проведення робіт без участі людини у небезпечному середовищі або де це дасть змогу отримати економічну вигоду

Стартап-проєкт може значно спросити роботу співробітникам промислових установ, адже система володіє такими характеристиками як: простота, автоматизованість і точність. Також завдяки можливості вдосконалювати алгоритм і використовувати різні сенсори, проєкт є ефективним для використання у навчальних цілях.

Для якісної оцінки проєкту пропонується розглянути у таблиці 4.3 сильні, слабкі і нейтральні чинники у порівнянні з конкурентами.

Таблиця 5.3. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту.

№ п/п	Технічно-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	Xiaomi	Samsung	Boston Dynamics			

1.	Вартість програмного забезпечення	30000	20000 0	150000	165000			+
2.	Швидкість реагування	+	-	-	+			+
3.	Точність навігації	+	+	-	+			+
4.	Простота використання	+	-	-	-			+
5.	Автоматизація	+	+	+	+		+	
6.	Перспективність	+	+	-	+			+

Запропонований проєкт переважає існуючі за багатьма критеріями, що робить його досить конкурентоздатним у порівнянні з іншими. Особливо відрізняється вартість ПО, що теж є величезною перевагою.

Отже, запропонований стартап-проєкт здатний скласти серйозну конкуренцію готовим продуктам, але, незважаючи на це перспективним завданням є подальше покращення системи для ще більшої конкурентоспроможності.

У таблиці 4.4 наведено здійсненність проєкту з боку технологічності.

Таблиця 4.4. Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№п/п	Ідея проєкту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Виявлення перешкод та відстані до них	Ультразвуковий датчик відстані	Наявна	Так



2	Виділення об'єктів	Алгоритм Джона Ф. Канни	Наявна	Так
3	Обробка УЗ зображень	Алгоритм Собеля	Наявна	Так
4	Програмне забезпечення	C++	У розробці	Так

Проаналізувавши здійсненність проекту, можна сказати, що він є технологічно передовим, але потребує доопрацювання, адже ідея створення Програмного забезпечення досі не втілена у життя. Проте, на даний момент, навіть без реалізації одного задуму, стартап-проект вже готовий до використання і є конкурентом на ринку.

#### 4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Пропонується провести аналіз ринкових можливостей і занести у таблицю 5.5 для розуміння потреб користувачів і розуміння нашої цільової аудиторії. Це дозволить підігнати запропонований продукт для достойного конкурентоспроможного представлення на ринку.

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Побудова карти місцевості	Промислові підприємства, заводи, території небезпечні для	Різниця у зручності методу	Точність, ефективність

		здоров'я людини, людські домівки		
2.	Автоматизованість	Промислові підприємства, заводи, території небезпечні для здоров'я людини, людські домівки	Простота системи, надійність, вимоги до обчислювальних систем	Ефективність, надійність, простота використання, автономність
3.	Дослідження машинного навчання	Вчені, дослідники, програмісти, розробники	Різниця у зацікавленості людей до продукту, його унікальність, перспективність	Перспективність, ефективність, точність

Згідно з таблицею існує ряд ризиків, які пов'язані з відмінностями різних груп людей. Проаналізувавши отримані дані, можна зробити висновок, що для людей, працюючих у промисловій сфері, запропонований продукт буде цікавим, адже володіє всіма вимогами. Більш складною цільовою групою є люди-науковці, адже даний проєкт може не виявити їх зацікавленість. Але даний ризик не буде суттєвим у разі доопрацювання системи.

Важливим завданням є огляд можливих загроз і дій компанії на них, таблиця 4.6, і аналіз можливостей, таблиця 4.7.

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
------	--------	---------------	--------------------------

1.	Конкуренція	Виникнення нових кращих продуктів	Доопрацювання власного продукту шляхом покращення характеристик роботи
2.	Зміна потреб користувачів	Необхідність зміни продукту	Додавання нових функцій, алгоритмів
3.	Репутація виробника	Недовіра покупців	Залучення реклами, PR
4.	Фінансова обмеженість	Фінансування не покриває усі витрати	Пошук нових інвесторів, економія на певних витратах
5.	Технологічні виклики	Поломка продукту чи певних його функцій	Модифікація продукту для створення стійкого до завад. Удосконалення технічних характеристик

У наведеній таблиці видно, що існують певні фактори загроз, але на них всіх можна певним чином реагувати і проводити дії, щоб зводити їх на нуль.

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Технологічність	Поява нових технологій орієнтації	Покращення системи згідно з новими технологіями
2.	Розширення ринку	Поява нових платформ для продажу ПО	Вкладання у рекламу для успішного продажу
3.	Партнерські угоди	Знаходження нових інвесторів	Створення плану для успішної співпраці

4.	Підвищення попиту	Впровадження машинних технологій у більшість сфер життя	Розробка маркетингової стратегії для поширення продукту і збільшення зацікавленості
5.	Індивідуалізація	Виникнення попиту на унікальні цікаві продукти	Модифікація системи, впровадження нових функцій, параметрів для покращення індивідуальності продукту

Отже, впроваджуючи нові технології, розширюючи ринок, укладаючи стратегічні партнерства та модифікуючи продукт до індивідуальних потреб, компанія може підвищити свою конкурентоспроможність і привернути більше клієнтів. Аналіз конкуренції на ринку, проведений на різних рівнях глибини і ширини, відображає ступінь конкурентної боротьби між учасниками. Цей аналіз надає можливість оцінити сильні та слабкі сторони конкурентів, розглянути їхні стратегії та визначити можливості, сприяючи кращому управлінню та розвитку бізнесу.

Для оцінки ринку необхідно провести аналіз конкуренції, таблиця 4.8 і 4.9.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції – непрямі конкуренти	Підприємства та організації, які розв'язують аналогічні завдання, але	Підвищення ефективності технологій продукту, довершення характеристик, збільшення реклами про доцільність і зручність використання штучних НМ

	застосовують відмінні технології	
Рівень конкурентної боротьби міжнародний	Наявність компаній, що створили схожі продукти для застосування у інших умовах	Впровадження маркетингового плану для поширення ідеї необхідності використання нашого продукту
Галузева ознака промисловість	Застосування різних систем для виконання задачі	Підвищення точності побудови карти для заохочення використання у промисловій сфері
Конкуренція за видами товарів різноманітність функціоналу	Існування інших продуктів з різним функціоналом	Покращення продукту, впровадження передових новітніх технологій для підвищення якості роботи
Характер конкурентних переваг технологічні переваги	Переваги використання інших алгоритмів керування у порівнянні з іншими методами	Безперервне покращення системи шляхом удосконалення власних алгоритмів
Інтенсивність інноваційність	Розвиток інновацій	Проведення досліджень і аналізів для появи унікального інноваційного продукту

Для того, щоб продукт залишався конкурентоспроможним, необхідно постійно аналізувати ринок і його потреби, а також вміти швидко реагувати на це певними діями. Особливості конкурентного середовища у галузі розробки алгоритмів характеризуються технологічними показниками, інноваційністю

та має міжнародний характер. Саме тому важливим завданням є постійне покращення системи і її технічних характеристик.

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	-	Дослідження можливості входження в ринок	Налагодження співпраці з компаніями, що володіють передовими новітніми технологіями	Необхідність в існуванні автоматизованої системи локації мобільного робота, що володіє високою точністю	На сьогоднішній день відсутність товарів-замінників
Висновки		Для нових учасників на ринку існують можливості, але їх обмежують значні витрати та необхідність проведення	На даний момент немає необхідності у співпраці, адже наш продукт володіє найновішими технологіями	Головною необхідністю клієнта є надійність системи	Поки що не існує ефективних схожих продуктів

		обширних досліджень			
--	--	---------------------	--	--	--

Аналіз за моделлю М. Портера вказує на те, що у сфері продукту - автоматизованої системи локації мобільних роботів - конкуренція майже відсутня через наявність схожих технологій. Хоча для нових учасників існують можливості на ринку, високі витрати на дослідження та розробку становлять бар'єри для входження. Заміни для продукту наразі відсутні, і споживачі вимагають високої якості та надійності.

Після ретельного аналізу галузі та особливостей нашого продукту, виділяються ключові фактори конкурентоспроможності, таблиця 5.10. Ці фактори базуються на інноваціях у технологіях, високій якості продукту та його унікальності. Додатковими чинниками є гнучкість використання та пристосування до потреб різних секторів, що сприяє підвищенню нашої конкурентоспроможності на ринку.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Технологічна інновація	Завдяки використанню власних алгоритмів керування продукт володіє інноваційними характеристиками
2.	Точність та ефективність	Система має високу точність побудови карти
3.	Гнучкість та універсальність	Алгоритми володіють адаптивністю, що дає можливість використовувати створені алгоритми у різних умовах

4.	Надійність та безпека	Продукт забезпечений надійним захистом від завад і здатен працювати в екстремальних умовах
5.	Витрати та ефективність використання	Ефективне використання енергії та оптимізація ресурсів є ключовими аспектами для забезпечення доступності продукту

Для оцінки конкурентоспроможності пропонується розглянути слабкі і сильні характеристики у таблиці 4.11.

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20
1.	Технологічна інновація	20
2.	Точність та ефективність	18
3.	Попит	20
4.	Гнучкість та універсальність	17
5.	Надійність та безпека	19
6.	Витрати та ефективність використання	17

SWOT-аналіз, таблиця 4.12, є зручним інструментом для оцінки сильних та слабких сторін, можливостей та загроз нашого стартапу. Проведення SWOT-аналізу стартап-проекту дозволяє визначити ключові аспекти нашої ідеї в контексті ринкових умов та можливостей. Мета його проведення – максимально використовувати потенціал та працювати над виправленням недоліків для досягнення стратегічних цілей.



Таблиця 4.12. SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Технологічна інновація 2. Гнучкість і універсальність 3. Попит 4. Надійність та безпека	Слабкі сторони: 1. Точність та ефективність Гнучкість і універсальність 2. Витрати та ефективність використання
Можливості: 1. Довершення енергозбереження 2. Популяризація використання машинних технологій	Загрози: 1. Поява конкурентоздатних продуктів

Проаналізувавши таблицю, можна виокремити необхідність просування продукту як надійної автоматизованої системи. Також важливим є відслідковування ринку для спостереження за конкурентами та виявлення альтернатив ринкового впровадження проекту, що міститься у таблиці 4.13.

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	Середньострокова
2.	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	Середньострокова

3.	Стратегія виходу з ринку	Низька	Довгострокова
----	--------------------------	--------	---------------

Вибір стратегії компенсації слабких сторін стартапу за допомогою наявних ринкових можливостей може бути обґрунтований бажанням швидкого покращення конкурентоспроможності стартапу. Ця стратегія дозволяє використовувати наявні ринкові можливості для компенсації обмежень та прискорює розвиток проекту.

Необхідним завданням є ретельний аналіз цих ринкових можливостей та їх інтеграція в бізнес-стратегію стартапу для максимізації їх впливу на подальший розвиток продукту.

### 4.3. Розроблення ринкової стратегії розвитку

Розроблення ринкової стратегії, першим кроком, передбачає визначення стратегії охоплення ринку, що включає опис цільових груп потенційних споживачів у таблиці 4.14.

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№п/п	Опис цільової потенційних клієнтів	профілю групи	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Заводи, логістичні центри, людські вчені	склади, центри, домівки,	Висока	Високий	Середня	Низька
2.	Вчені, бізнесмени, розробники	дослідники,	Середня	Високий	Середня	Висока

Проаналізувавши цільові групи і можливості знаходження потенційних клієнтів, було обрано рішення, що найперспективніше працювати з медичними установами.

Наступним завданням є формулювання базової стратегії розвитку у таблиці 4.15.

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Підвищення точності системи	Диференційований і маркетинг	Висока точність	Модифікація алгоритмів системи для збільшення точності
2.	Вихід на міжнародний ринок	Загальний маркетинг	Інноваційність, унікальність продукту	Аналіз і охоплення ринку
3.	Розширення функціональності продукту	Цільовий маркетинг	Багатофункціональність продукту	Розширення функціональності продукту, можливість діагностувати різні хвороби

Розглянуті варіанти розвитку проекту включають підвищення точності продукту, розширення його функціоналу та впровадження на міжнародному ринку. Використання стратегій диференційованого, цільового та загального маркетингу відображає методи охоплення ринку. Кожна з альтернатив має

унікальні конкурентоспроможні позиції, які визначають базову стратегію розвитку, таку як розширення функціональності та підвищення якості роботи продукту.

Далі потрібно визначити обрану стратегію конкурентної поведінки, що відображено у таблиці 4.16.

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
	Ні	Шукати нових споживачів і забирати існуючих у конкурентів	Не буде	Диференційована

Виявлені результати визначення базової стратегії конкурентної поведінки свідчать про те, що проект не є новатором на ринку, але спрямований на привертання нових споживачів. Він не планує копіювати основні характеристики конкурентного товару, а обрав стратегію диференційованої конкуренції. Такий підхід може сприяти створенню унікальних пропозицій для цільових споживачів та підвищити конкурентоспроможність на ринку.

На основі вимог споживачів у вибраному сегменті до постачальника та продукту, а також враховуючи стратегію розвитку і конкурентну поведінку, формується стратегія позиціонування. Ця стратегія, що визначена у таблиці 4.17,

визначає створення ринкової позиції, яку споживачі повинні ідентифікувати з проектом.

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

№п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Висока ефективність і точність навігації	Удосконалення продукту	Наявність високої точності	Точність, надійність, інноваційність

Отже, завдяки проведенню аналізу даного розділу, стало можливим зрозуміти цільову аудиторію і її вимоги, а також визначити стратегію стартап-проекту.

#### 4.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

У процесі розробки маркетингової програми першим етапом є розробка маркетингової концепції товару, який здобуде споживач. У таблиці 4.18 узагальнюються результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
------	---------	----------------------------	--

Навігація мобільного робота	Автоматизованість системи, її швидкість, точність та ефективність	Існуюча – використання алгоритмів обробки інформації
-----------------------------	---	--

Розглянувши ключові переваги товару, можна сказати, що він є дуже перспективним і конкурентоздатним завдяки наявним перевагам.

Важливим завданням є занотувати рівні товару у таблицю 4.19.

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Автоматизована система локації мобільного робота на основі створених алгоритмів		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Висока точність навігації	Нематеріальні (Нм)	1. Тх
	2. Адаптивність системи		2. Тх
3. Функціональність	3. Ор		
	Пакування: програмне забезпечення записане диск і зберігається в інтернет сховищі		
III. Товар із підкріпленням	Відсутнє до продажу		
	Гарантія роботи, оновлення ПО, сервісна допомога		
Товар може бути захищений патентуванням			

Модель товару охоплює не лише його технічні параметри, а також послуги, які супроводжують його використання, створюючи для споживача повноцінний продукт, таблиця 4.20.

Таблиця 4.20. Формування системи збуту

№п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Цільові клієнти – бізнеси, дослідники, власники складів і заводів. Для них головною ціллю є точне виконання поставленої задачі.	Налагоджені ринкові відносини з споживачами. Створення маркетингової стратегії для поширення товару на ринку.	Прямий	Найоптимальнішим варіантом є пряме відношення клієнтів і виробника

Надійним варіантом для нас є використання прямого каналу збуту до споживача, що дозволяє ефективно взаємодіяти з ними та зменшувати витрати на маркетингові заходи.

Для створення конкурентоспроможного продукту необхідно визначити і проаналізувати маркетингову стратегію комунікацій у таблиці 4.21.

Таблиця 4.21. Концепція маркетингових комунікацій

№п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
------	--	---	---	--	--------------------------------------

		цільові клієнти			
	Цільові клієнти – люди, що працюють у промисловій сфері. Головною ціллю для них є полегшення виконання заїдань, провадження інноваційних технологій для полегшення роботи працівникам і зменшення помилок, шляхом часткового виключення людського фактору	Форуми, конференції, інтернет ресурси, книжки, статті	Різні особливості	Привернення уваги до потенційних клієнтів. Виділення переваг нашого продукту для зацікавленості. Залучення нових трендів соціальних мереж для популяризація і поширення ідеї стартапу.	Інновації – майбутнє людського життя

Отже, розроблення маркетингової стратегії є необхідно важливою задачею для знаходження потенційних клієнтів та популяризації використання машинного навчання у різних сферах життя.

#### 4.5. Планування реалізації стартап-проекту



Цей розділ присвячений докладному аналізу та розробці плану етапів впровадження автоматизованої системи для виявлення новоутворень на УЗ зображеннях, використовуючи згорткові нейронні мережі. У цьому розділі розглядаються організаційні аспекти, стратегії впровадження, а також визначаються критичні фактори, які впливатимуть на успішну реалізацію проекту.

№п/п	Зміст етапу													Собівартість реалізації
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1.	Підготовчі роботи	✓	✓											300\$
2.	Аналіз вимог		✓	✓										200\$
3.	Проектування системи			✓	✓									1200\$
4.	Розробка програмного забезпечення				✓	✓	✓	✓						4600\$
5.	Впровадження системи							✓	✓					400\$
6.	Оцінка та аналіз результатів								✓					400\$
7.	Знаходження інвестицій								✓	✓				5000\$
8.	Запуск реклами									✓	✓			10000\$
9.	Доопрацювання системи										✓	✓		6000\$
10.	Оформлення звіту												✓	200\$

завершення проєкту																			
-----------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Зображений календарний план включає 10 етапів, які починається з підготовчих робіт, та завершуються створенням готового проєкту і його звіту. Загальна собівартість системи і допоміжних етапів становить 28300\$, що є не малою сумою, але все одно дешевше наявних аналогів.

Бізнес-модель продукту, автоматизованої системи для виявлення новоутворень на медичних зображеннях за допомогою нейронних мереж, може бути організована наступним чином:

- Розробка та вдосконалення алгоритмів: ключовим етапом є постійна розробка та вдосконалення алгоритмів для точної навігації пристрою у навколишньому середовищі;
- Ліцензійна модель: пропонування ліцензій для використання продукту власниками бізнесів, складами та людьми у власних домівках.
- Субсидіарні угоди та партнерства: укладання угод із промисловими установами для постачання та інтеграції продукту в їхні системи.
- Система підписки: запровадження системи підписки для індивідуальних підприємців та фахівців, які можуть використовувати систему у своїх інтересах.
- Навчання та консультації: надання послуг навчання та консультацій для підприємців, які використовують систему, щоб максимізувати ефективність та точність діагностики.
- Хмарові сервіси: запровадження хмарових сервісів для зберігання та обробки карт місцевостей, що дозволить користувачам з легкістю використовувати пристрій у декількох локаціях.
- Оновлення та технічна підтримка: надання регулярних оновлень ПО для забезпечення безперервної роботи та технічної підтримки для користувачів.

- Дані та аналітика: збір даних для подальшого аналізу та дослідження, що може використовуватися для вдосконалення системи.

Отже, ця бізнес-модель зорієнтована на поєднання ліцензійної моделі та субсидіарних угод для максимізації охоплення різних промислових установ та фахівців. Також, система підписки та навчання дозволяють забезпечити доступ до продукту для різних клієнтських груп.

## Висновки до IV розділу

У четвертому розділі було детально розглянуто перспективу впровадження універсальної роботизованої широкого призначення. Було проведено аналіз світового ринку що проказало що реалізація даного проєкту є надзвичайно актуальною в контексті розвитку промисловості та зростання ефективності і безпеки виробничих процесів.

Універсальна роботизована платформа має стратегічне значення для забезпечення безпеки та ефективності виробництва та побуту, що визначається оптимальними показниками точності і надійності. Розроблений календарний план підтверджує, що загальні витрати на реалізацію проєкту оцінюються на рівні приблизно 28,300 доларів.

Процес реалізації передбачає створення надійної та високоточної системи локації, а також включає розробку концепції, створення конструкції та супровідну документацію, розробку програмного забезпечення, випробування, привласнення інвестицій, запуск виробництва та впровадження на ринок.

Загальний висновок підкреслює актуальність впровадження універсальних роботизованих платформ в промисловій сфері та людському побуті. Цей інноваційний підхід сприяє не тільки підвищенню надійності та ефективності виробничих процесів, але і відкриває нові можливості для подальшого розвитку сучасних інформаційних технологій. Отже, запровадження стартапу сприятиме ефективній та стабільній роботі великої кількості установ, що є ключовим фактором у аиробничому середовищі.

## ВИСНОВКИ

1. Було проведено аналітичний огляд в ході якого було розглянуто найпопулярніші архітектури систем локації, що застосовуються на сучасних мобільних роботах, виділено переваги та недоліки кожної з них. Завдяки цьому сформовано висновок про те що для різних умов використання доцільно використовувати різні варіації системи і тема розробки нової, більш якісної та універсальної, залишається актуальною. Також було розглянуто одну з існуючих на світовому ринку модель робота пилососа що дало змогу провести аналіз існуючих моделей. Оглянуто метод одночасної локалізації та побудови карти і алгоритмів SLAM. З огляду на вище сказане було запропоновано створити власну систему локації для мобільних роботів.
2. Розглянуто доступні апаратні засоби, серед яких датчики, сенсори та мікрокомпютер які доцільно використовувати при розробці системи орієнтації і навігації роботів. Наведено технічні характеристики та розглянуто принципи роботи оптичного сенсора, датчиків відстані та орієнтації а також обраного мікрокомпютера що дало змогу почати розробку власної моделі системи локації.
3. У третьому розділі проведено підбір компонентів системи локації. Розроблені кінематична і функціональна схеми пристрою. Проведено опис доступних інтерфейсів передачі даних між модулями та розроблено структурну схему, де описано взаємодію компонентів системи між собою. Також було розроблено кінематичну схему підвісу камери далекоміра який дозволяє робити заміри під різними кутами нахилу сенсора. Описано математичну модель системи локації і в результаті розроблено програмне забезпечення, що включає в себе програму для мікроконтроллера системи локації і програму для головного мікрокомпютера.

4. Створено бізнес-модель стартап-проєкту «Універсальна роботизована мобільна платформа». Розглянуто перспективи впровадження продукту на ринковий рівень. Визначені стратегії розвитку, маркетингу, виокремлені всі переваги, ризики і недоліки. Завдяки детальному аналізу стало можливим втілення розробленого продукту у життя.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. MPU-9250 [Електронний ресурс] : Компел <https://www.compel.ua/infosheet/INSENSE/MPU-9250>
2. Як роботи орієнтуються у просторі. (Введення в SLAM) [Електронний ресурс] : Робототехнічні нотатки <http://robotics.osll.ua/2014/12/slam.html>
3. Оптичні датчики відстані [Електронний ресурс] [https://electromicro.eng/arduino\\_proekty/opticheskie\\_datchiki\\_rasstoyaniya\\_arduino](https://electromicro.eng/arduino_proekty/opticheskie_datchiki_rasstoyaniya_arduino)
4. Робот [Електронний ресурс]: Вікіпедія вільна енциклопедія <https://ua.wikipedia.org/wiki/Робот>
5. Робототехніка [Електронний ресурс]: Вікіпедія вільна енциклопедія <https://ua.wikipedia.org/wiki/Робототехніка>
6. Boston Dynamics [Електронний ресурс] : Вікіпедія вільна енциклопедія [https://ru.wikipedia.org/wiki/Boston\\_Dynamics](https://ru.wikipedia.org/wiki/Boston_Dynamics)
7. 7KUKA Roboter [Електронний ресурс] : Вікіпедія вільна енциклопедія [https://ua.wikipedia.org/wiki/KUKA\\_Roboter](https://ua.wikipedia.org/wiki/KUKA_Roboter)
8. АВВ [Електронний ресурс]: Вікіпедія вільна енциклопедія <https://ua.wikipedia.org/wiki/АВВ>
9. Класифікація мобільних роботів [Електронний ресурс] : Хел пікс.Орг - Інтернет помічник <http://helpiks.org/6-11883.html>
10. Побутові роботи [Електронний ресурс] : RoboTrends <http://robotrends.ua/robopedia/uborka-i-roboty>
11. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю [Електронний ресурс]: підручник / Р. М. Галаган; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 5,12 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с. Гриф надано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 3 від 11.03.2019 р.)
12. Цапенко В.К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю / В.К. Цапенко, Ю.В. Куц. – Київ: НТУУ «КПІ», 2009. – 431 с.

13. Богдан Г.А., Глущенко М.О. Загальні тенденції побудови автоматизованих систем моніторингу якості повітря на промислових підприємствах Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2023. – Том. 34 (73), №4. – С. 12-17. DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/03>
14. Богдан Г.А., Глущенко М.О. Оптичний датчик чадного газу. X Міжнародна науково-технічна конференція «ДАТЧИКИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ – 2023», присвячена пам'яті професора Шарапова В.М., 12 - 14 вересня 2023 року, м. Черкаси, Україна : збірник праць. – Черкаси, 2023. – С. 52–53
15. Богдан Г.А., Глущенко М.О. Система попередження пожеж. XXII Міжнародна науково-технічна конференція "Приладобудування: стан і перспективи", 16-17 травня 2023р., м. Київ, Україна : збірник тез доповідей. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – С. 234–236.
16. Антонюк В.С. Методологія наукових досліджень: [Текст] : навч. посіб./ В.С. Антонюк, Л.Г. Полонський, В.І. Аверченков, Ю.А. Малахов. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 276 с.
17. Комп'ютерне моделювання процесів та систем. Чисельні методи [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / С. П. Вислоух, О. В. Волошко, Г. С. Тимчик, М. В. Філіппова ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл 37,37 МБайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 228 с. – Назва з екрана.
18. Д.А. Альошин. Огляд систем орієнтації мобільного робота / Д.А. Альошин, Г.А. Богдан // XIX Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 20-21 грудня 2023 р., м. Київ, Україна : збірник праць конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – С. 254–256.



## ДОДАТКИ

Додаток А

Список наукових праць Альошин Дмитро Андрійович

№	Найменування праць	Назва видавництва, журналу (номер, рік) або номер авторського свідоцтва, номер диплома на винахід	Кількість друкованих аркушів або сторінок разом	Прізвища співавторів праць
1	Огляд систем орієнтації мобільного робота	XIX Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень в приладобудуванні» 2023р.	3	Богдан Г.А.