

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет Кафедра автоматизації та систем  
неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»

УДК 681.5

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ 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 керування гуманоїдним роботом під час руху по  
сходах та схилах»**

Виконав:

студент II курсу, групи ПК-21мп

Польща Єгор Андрійович \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

професор, д.п.н., к.т.н.

Протасов Анатолій Георгійович \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри економічної кібернетики:

професор, д.е.н.

Бояринова Катерина Олександрівна \_\_\_\_\_

Рецензент:

професор, д.т.н.  
\_\_\_\_\_

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

Київ – 2023 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

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Польща Єгору Андрійовичу**

1. Тема дисертації «Система керування гуманоїдним роботом під час руху по сходах та схилах», науковий керівник дисертації Протасов Анатолій Георгійович, д.п.н., к.т.н. професор кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю, затверджені наказом по університету від «09» листопада 2023 р. № 4110-с.
2. Термін подання студентом дисертації «17» січня 2024 року.
3. Об'єкт дослідження: алгоритми та технології для гуманоїдних роботів, які дозволять їм ефективно рухатися та балансувати на нерівних поверхнях та їх конкретна реалізація на роботі Darwin-Op.
4. Вихідні дані: результати досліджень на схилах з різним кутом нахилу та на сходах різної висоти.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Аналітичний огляд існуючих рішень для виявлення об'єктів та двоногого балансування робота; розрахунок кінематики Darwin-Op; реалізація алгоритму контролю зору

для робота Darwin-Op; налаштування середовища для проведення симуляцій та експериментів; створення різних сценаріїв для експериментів та проведення самих експериментів; виконання розділу “Розробка стартап проекту”

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Геометричні дані робота Darwin-Op.

Положення моторів Darwin-Op.

Зовнішні середовища для проведення симуляцій та експериментів.

7. Орієнтований перелік публікацій:

8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап проекту	Бояринова К. О., професор, д.е.н.		

1. Дата видачі завдання 1 вересня 2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналітичний огляд існуючих рішень для виявлення об’єктів та двоногого балансування робота	3 тижні	
2.	Реалізація алгоритму контролю зору для робота Darwin-Op	2 тиждень	
3.	Налаштування середовища для проведення симуляцій та експериментів	2 тиждень	
4.	Створення різних сценаріїв для експериментів та проведення самих експериментів	4 тиждень	
5.	Виконання розділу «Розробка стартап проекту»	3 тижні	
6.	Оформлення пояснювальної записки та презентації	3 тижні	

Студент

Стар ПОЛЬЩА

Науковий керівник

Анатолій ПРОТАСОВ

# Зміст

## Короткий опис

1. Вступ: _____	8
1.1 Вступ і обґрунтування роботи _____	8
1.2 Постановка проблеми _____	9
1.3 Мета _____	9
1.4 Рішення проблеми _____	10
2. Аналітичний огляд _____	11
2.1 Виявлення об'єктів _____	11
2.2 Двоноге балансування _____	14
2.3 Ремарки _____	14
2.4 Модель та кінематика Darwin-Op _____	15
2.5 Розміри Darwin-Op _____	18
2.6 Кінематика Darwin-Op _____	24
3. Запропонована методологія та реалізація _____	35
3.1 Припущення _____	35
3.2 Контроль зору _____	36
3.3 Планування ходьби _____	37
3.4 Симуляція _____	43
3.5 Модель Darwin-Op _____	44
3.6 Зовнішні середовища _____	45
3.7 Програмування _____	46
4. Розробка стартап проекту _____	53
4.1 Опис ідеї та технологічний аудит стартап проекту _____	53
4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту _____	59
4.3 Розроблення ринкової стратегії проекту _____	68
4.4 Розроблення маркетингової програми стартап проекту _____	72
4.5 Організація реалізації стартап проекту _____	75

5. Підсумок та подальші дослідження	78
5.1 Експерименти	78
5.2 Результат	80
Висновки	83
Подальші дослідження	84
Список використаної літератури	86

## Анотація

Дослідження та розвиток робототехніки з гуманоїдними роботами тривають з 1900-х років і фокусуються на двох основних викликах: механічному аспекті досягнення рухів, схожих на людські, та програмному аспекті емуляції людської поведінки. Ці виклики, часто вирішувані за допомогою досягнень у теорії керування, визначають дослідження балансу та рухливості на нерівній місцевості для гуманоїдного робота Darwin-Op. Хоча основний акцент був на теорії керування, однією з побічних цілей було використання керування зору для виявлення нерівних поверхонь, таких як східці чи схили, за допомогою визначення конкретного кольору. Це керування зору дозволяло розпізнавати об'єкти та застосовувати комп'ютерні методи бачення для вимірювання відстані та орієнтації від виявленого об'єкта. Незважаючи на його відносну вразливість, це керування зору забезпечувало достатню підтримку для роботи при підході до перешкод. Щодо аспекту теорії керування, робот успішно пересувався по сходах і схилах за допомогою планування траєкторії точки нульового моменту з використанням моделі візок-стіл для центру мас. Експерименти показали, що гладкі поверхні, такі як схили, давали кращі результати порівняно зі сходами через труднощі в досягненні правильної посадки на ступені при висотах, що перевищують щиколотку робота. Однак ці дослідження підтвердили можливість автономного руху по нерівних поверхнях.

## **Abstract**

Research and development in humanoid robotics have persisted since the 1900s, focusing on two core challenges: the mechanical aspect of achieving human-like movement and the software aspect of emulating human behavior. These challenges, often addressed through advancements in control theory, drive the exploration of achieving balance and mobility on uneven terrain for the Darwin-Op humanoid robot. While the primary emphasis was on control theory, an ancillary goal involved vision control for identifying non-flat surfaces like ramps or stairs, using specific color detection. This vision control facilitated object recognition and enabled the application of computer vision techniques to gauge distance and orientation from the detected object. Despite its relative fragility, this vision control provided adequate guidance for the robot to approach obstacles. For the control theory aspect, the robot successfully navigated stairs and ramps using zero moment point trajectory planning, employing a cart-table model for the center of mass. Experimentation revealed that smoother surfaces, such as ramps, yielded better results compared to stairs due to challenges in achieving proper step landings for heights exceeding the robot's ankle. Nevertheless, this research demonstrated the viability of autonomous movement on non-flat surfaces.

# 1. Вступ

## 1.1 Вступ і обґрунтування роботи

Перший гуманоїдний робот був створений у 1400-х роках Леонардо да Вінчі; це був обладнаний латами лицар, який міг виконувати прості рухи рук і відкривати щелепи. Проте розвиток гуманоїдних роботів швидко відбувся вже в 1900-х роках. Завдяки технологіям, впровадженим під час промислової революції, гуманоїдні роботи могли повністю користуватися комп'ютерами для імітації дій людей. Наприклад, у 1939 році був створений гуманоїд Електро, який міг рухатись на колесах, відтворювати записане мовлення, рухати головою та руками. Наступним великим досягненням в гуманоїдній робототехніці був Wabot-1, що був повномасштабним гуманоїдним роботом, здатним ходити на двох ногах та спілкуватися з людиною. Це відбулося у 1973 році. З того часу було зроблено багато проривів у дизайні та теорії управління гуманоїдами.

Подальший розвиток в теорії управління гуманоїдними роботами дозволив рухам роботів виглядати більш природними та плавними. Теорією управління, яка робить ходу сучасних гуманоїдів плавною є - планування ходьби. Планування ходьби - це в основному циклічний рух, щоб забезпечити пересування роботів на ногах [1]. Щоб зробити гуманоїдів більш схожими на людину, вони повинні бути здатні ходити в усіх умовах і на всіх рельєфах, таких як сходи чи схили. Хоча виклик створення двоногого робота, що ходить по схилах і сходах, вже було вирішено, мета цієї роботи - реалізувати такі можливості для гуманоїдного робота Darwin-Op.



## **1.2 Постановка проблеми**

Можливість балансувати та ходити по нерівному ґрунту - це щось, що ми, як люди, робимо інтуїтивно, а іноді - за командою. Наприклад, ми не активно думаємо про те, як підніматися чи спускатися по сходах, ми інстинктивно переносимо ноги на наступну точку, де вони повинні бути. Але якщо хтось говорить "Обережно", тоді ми активно думаємо про те, як ми рухаємось вгору або вниз, побачивши, де буде наш наступний крок, або, якщо зір втрачено, ми повільно рухаємось, щоб відчутти наступну точку опори.

Виклик для гуманоїдних роботів полягає в тому, що вони не мають вродженої здатності ходити сходами без відповідних інструкцій. При навчанні робота ходити, ми навчаємо його робити це на плоскій поверхні для спрощення завдання, але тепер цей обсяг повинен бути розширений на неплоскі поверхні. Проблему можна розбити на дві категорії:

1. Як розпізнати нерівну місцевість
2. Як ходити на нерівних поверхнях

Хоча перша категорія є дуже відкритою проблемою, є багато методів її вирішення, таких як розпізнавання за кольором чи розпізнавання за об'єктом. Основна точка фокусу цієї роботи буде на другій категорії та тому, як вона реалізується і вирішується для ходьби по поверхнях, таких як схили та сходи.

## **1.3 Мета**

Основною метою дисертації є розробка та вдосконалення алгоритмів та технологій для гуманоїдних роботів, які дозволять їм ефективно рухатися та балансувати на нерівних поверхнях, зокрема на схилах та сходах. Також однією із цілей є дослідження можливостей конкретного робота Darwin-Op та аналіз його лімітації.

## 1.4 Рішення проблеми

Пропоноване рішення базується на простому виявленні перешкод з використанням надійного менеджера ходьби для роботи з відомими нерівними поверхнями, такими як нахили та сходи. Результат виявлення перешкод подається до контролера, щоб знати, коли і де перешкода з'являється. Як тільки перешкоду виявлено, робот використовуватиме механізм стандартної ходьби, щоб досягти її, а потім перейде до впровадженого менеджера ходьби для подолання перешкоди.

Для запропонованого впровадженого менеджера ходьби буде використовуватися точка нульового моменту як спосіб збереження стійкості робота під час руху. Точка нульового моменту (ZMP) - це точка на землі, в якій сума горизонтальних інерційних та гравітаційних сил дорівнює 0 і є підмножиною проблеми оберненого маятника [2]; Обернений маятник - це маятник, у якого центр маси знаходиться вище точки підвісу. Використовуючи модель візка-стола, ми можемо припустити верхню частину тіла робота як "візок", розташований в центрі мас робота [3].

Центр мас описуватиме рух візка, а ZMP - позицію опорної ноги на землі. Ці два концепти можна поєднати для створення станів ходьби: стійка позиція, рух лівою ногою, завершення руху лівою ногою, рух правою ногою, завершення руху правою ногою і повернення до позиції готовності до ходьби.

## **2. Аналітичний огляд**

Цей розділ присвячений огляду досліджень, які підтримують тему дисертації. У літературному огляді будуть розглянуті різні техніки для самобалансування робота під час руху, виявлення ним перешкод та планування маршруту для руху.

### **2.1 Виявлення об'єктів**

Виявлення об'єктів - це техніка комп'ютерного зору, яка дозволяє визначати, що це за об'єкт і де він знаходиться на зображенні або відео. Виявлення об'єктів використовується в багатьох галузях робототехніки, таких як гуманоїдні роботи, безпілотні автомобілі та медичні роботи. Хоча існує багато рішень для вирішення проблеми виявлення об'єктів, у даній дисертації розглянуто лише 3 різні техніки. Цей розділ описує елементарний підхід, також він представляє інший більш сучасний підхід до проблеми. Підрозділ “Інерційний вимірювальний блок” описує нестандартний підхід, який не використовує комп'ютерний зір, а скоріше фізичний підхід.

### **Виявлення кольору**

Найпростіший спосіб знаходження об'єкта на зображенні - це присвоїти об'єкту унікальний колір, тож коли зображення має цей колір, припускається, що це потрібний об'єкт. Хоча цей метод є простим, він не є надійним, оскільки інші об'єкти можуть мати той самий колір. У статті [4] цей метод виявлення кольору був використаний для відстеження червоної кулі та слідування за нею. Щоб покращити цей метод виявлення кольору, було вирішено визначати об'єкт як червону кулю, або область червоного кольору або, по суті, велике збірне утворення червоних пікселів. Після цього розташування червоної кулі визначалося за допомогою тригонометрії між камерою та кулею.

## **Нейронні мережі**

Сучасний підхід до пошуку об'єктів полягає в використанні штучного інтелекту (AI). Регіонно-орієнтовані звичайні нейронні мережі або R-CNN - одна з найпоширеніших технік штучного інтелекту для завдань розпізнавання об'єктів. R-CNN - це група моделей машинного навчання, яка приймає на вхід зображення і видає набір обмежувальних рамок як вихід, де кожна рамка містить об'єкт і категорію цього об'єкта. З часом, після достатнього навчання, R-CNN може визначити, що це за об'єкт і де він знаходиться. У статті [5] автономний транспортний засіб відстежує свою ціль за допомогою моделі Yolo-v3. Yolo-v3 - це ще один тип R-CNN та модель одноетапного виявлення, відома своєю швидкістю та точністю. Використовуючи відомий набір даних для навчання моделі, транспортний засіб зміг відстежувати ціль та рухатися до неї, уникаючи перешкод.

## **Інерційний вимірювальний блок**

Нестандартний підхід до пошуку об'єкта використовує безінерційний вимірювальний пристрій (IMU). У статті [6] обговорюється ідея локалізації людини в приміщенні за допомогою IMU, який закріплюється на нозі. Шляхом поєднання алгоритму Pedestrian Dead Reckoning (PDR) та розширеного фільтра Калмана (ЕКФ). Використання PDR дозволяє зробити виявлення кроків більш надійним, а ЕКФ надає оцінки помилок з частотою оновлення IMU, яка становить 100 Гц.

Людину можна локалізувати на нахилі, спостерігаючи два параметри: кут нахилу ( $\psi$ ) IMU та підйом ( $\delta z$ ) між двома послідовними кроками, оскільки нахил може бути описаний загалом за допомогою його

схилу. Таким чином, застосовуючи ці концепції, нахил можна виявити за допомогою описаної функції 2.1:

$$\begin{cases} 1 & \psi(k) \cdot \delta z(k) < Th \\ 0 & \textit{Otherwise} \end{cases}$$

де  $k$  - це індекс виявленого кроку, а  $Th$  - порогове значення. У статті поріг був вибраний на рівні 9 градусів \* см, що означає, що будь-які нахили більше 2 градусів будуть вважатися нахилом. Єдине обмеження цього типу виявлення полягає в тому, що робот буде знати, що він на нахилі, але не буде знати це заздалегідь.

## **2.2 Двоноге балансування**

### **Динамічні та статичні системи**

Для системи рухливого робота ходьба визначається динамічно або статично в залежності від швидкості, з якою система має рухатися. Для повільних систем може використовуватися статична система, але у випадку, коли потрібно здійснювати обчислення на льоту або автономно, застосовується динамічна система. У статті [7] було проведено порівняння різних варіантів ходьби та їх впливу на довжину та рухи ноги. Виявлено, що стабільність системи залежить від часу виконання, а не від довжини ходу.

### **Формування ходьби**

Важливою частиною для рухливих роботів є те, як генеруються траєкторії. У випадку роботів з ногами у статті [2] розглядаються 3 методи формування рухів. Один з методів полягає в створенні реактивної системи, яка добре пристосована для потрібного руху, але не завжди інтуїтивна у використанні. Інший метод - планування окремих рухів для кожної ноги та стопи робота, що гарантує стабільність загального руху, але включає складні обмеження, такі як контакт з поверхнею та збереження кінетичної енергії. Останній і найпопулярніший метод - вказати набір можливих рухів для робота, що включає більш широкий спектр можливих варіантів ходьби, що можуть бути застосовані у різних ситуаціях і можуть бути відносно легко перемкнуті.

## **2.3 Ремарки**

Огляд літератури у цьому випадку, має обмежену спрямованість на виявлення об'єктів та двоноге утримання, можливо, обминаючи більш широкі погляди на проблему. Згадані статті, були вибрані через їх пряму відповідність підтримці конкретних цілей цієї дисертації. Проте, деякі з наданих оглядів охоплюють техніку, яка була потрібна для розробки запропонованого та майбутнього рішення у цій дисертації.

## 2.4 Модель та кінематика Darwin-Op

Цей розділ докладно описує гуманоїдного робота, на якому базується дисертація, зокрема охоплює всю необхідну інформацію для планування ходьби. У розділі 2.4 наводяться специфікації роботів та всі визначені довжини, необхідні для розділу 2.6. Розділ 2.6 розглядає, як виводяться обернена та пряма кінематика для цього робота.

### Модель Darwin-Op



Рис. 2.4.1: модель Darwin-Op

Darwin-Op, який показаний на рис. 2.4.1, є мініатюрним гуманоїдним роботом, розробленим компанією Robotis спільно з університетами Вірджинії, Пердью та Пенсильванії. "Darwin-Op" скорочено від "Dynamic Anthropomorphic Robot with Intelligence - Open Platform" (Динамічний Антропоморфний Робот з Інтелектом - Відкрита Платформа). Оновлена версія Darwin-Op2 має наступне:

- Повністю зібраний робот
- Кабель для зарядки та блок живлення
- Швидкий початковий посібник
- Навчальні інструменти
- Запасні частини

Причина вибору цього робота полягає в тому, що він доступний у лабораторії та присутній у програмному забезпеченні для симуляцій, про яке буде розповідь у Розділі 3.4. Робот є повністю програмованим та підходить для розробки навігації, SLAM, штучного інтелекту та взаємодії людина-робот.



## Характеристики обладнання

- Вбудований ПК;
  - Intel Atom N2600 @1.6 GHz dual core
  - 4GB DDR3 Ram
  - 32GB mSATA
- Контролер управління (CM-740):  
ARM CortexM3 STM32F103RE 72 МГц
- 20 модулів привода:
  - 6 DOF ноги x2
  - 3 DOF рука x2
  - шия 2 DOF
- Високошвидкісна шина Dynamixel 1 Мбіт/с
- Акумулятор 1800mAh LIPO
- 3-осьовий гіроскоп
- 3-осьовий акселерометр
- кнопка x3
- мікрофон виявлення x2

## 2.5 Розміри Darwin-Op

Цей розділ визначає різні довжини, необхідні для параметрів Денавіта-Гартенберга (DH), які обговорюються в Розділі 2.6. Параметр DH - це конвенція параметрів, що використовується для призначення опорних фреймів маніпулятора робота. Наступні таблиці будуть посилалися на рис. 2.5.1 для визначення довжини [8].

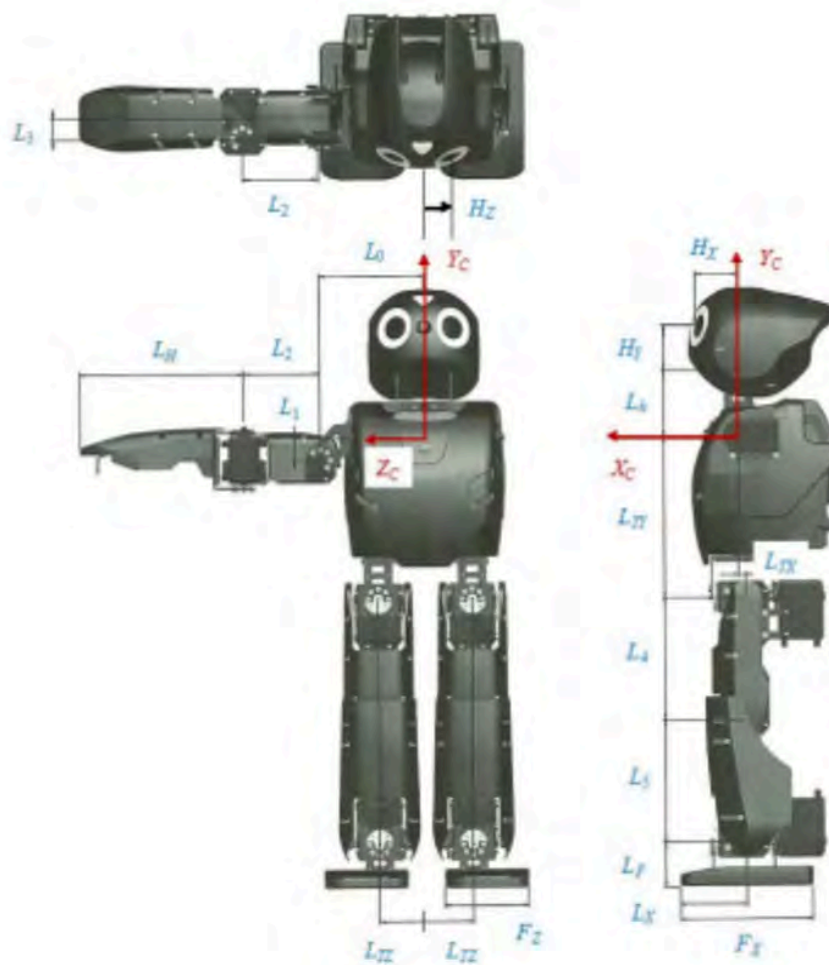


Рис 2.5.1: Визначення довжин Darwin-Op

Таблиця 2.5.1 Розміри голови

Довжина	Значення(мм)
$H_x$	32.2
$H_y$	34.4
$H_z$	22.5

Таблиця 2.5.2 Розміри тулуба

Довжина	Значення(мм)
$L_h$	50.5
$L_0$	82.0
$L_{TX}$	5.0
$L_{TY}$	122.2
$L_{TZ}$	37.0

Таблиця 2.5.3 Розміри рук

Довжина	Значення(мм)
$L_1$	16.0
$L_2$	60.0
$L_3$	16.0
$L_4$	129.0

Таблиця 2.5.4 Розміри ніг

Довжина	Значення(мм)
L <sub>4</sub>	93.0
L <sub>5</sub>	93.0
L <sub>F</sub>	33.5

Таблиця 2.5.5 Розміри стоп

Довжина	Значення(мм)
F <sub>X</sub>	104.0
F <sub>Y</sub>	15.0
F <sub>Z</sub>	66.0
L <sub>X</sub>	52.0
L <sub>Z</sub>	23.0

## Межі кутів з'єднання

Наступні таблиці відображають обмеження кутів обертання для параметрів Денавіта-Гартенберга та можуть бути знайдені за посиланням на положення моторів на рисунку 2.5.2 [8].



Рис 2.5.2: Положення моторів Darwin-Op

Таблиця 2.5.6: Обмеження головного з'єднання

Індекс з'єднання	Назва з'єднання	Вісь	$\Theta_{iMIN}$	$\Theta_{iMAX}$
19	Обертання ГОЛОВИ	$Z_1$	-150	150
20	Нахил голови	$Z_2$	-60	30

Таблиця 2.5.7: Обмеження з'єднання правої руки

Індекс з'єднання	Назва з'єднання	Вісь	$\Theta_{iMIN}$	$\Theta_{iMAX}$
1	Схил плеча	$Z_1$	-250	250
3	Обертання плеча	$Z_2$	-100	100
5	Лікоть	$Z_3$	0	160

Таблиця 2.5.8: Обмеження з'єднання лівої руки

Індекс з'єднання	Назва з'єднання	Вісь	$\Theta_{iMIN}$	$\Theta_{iMAX}$
2	Схил плеча	$Z_1$	-250	250
4	Обертання плеча	$Z_2$	-100	100
6	Лікоть	$Z_3$	0	160

Таблиця 2.5.9: Обмеження з'єднання правої ноги

Індекс з'єднання	Назва з'єднання	Вісь	$\Theta_{iMIN}$	$\Theta_{iMAX}$
7	Обертання стегна	$Z_1$	-150	45
11	Нахил стегна	$Z_2$	0	60
9	Схил стегна	$Z_3$	-100	30
13	Коліно	$Z_4$	0	130
17	Схил щиколотки	$Z_5$	-60	60
15	Обертання щиколотки	$Z_6$	-30	60

Таблиця 2.5.10: Обмеження з'єднання лівої ноги

Індекс з'єднання	Назва з'єднання	Вісь	$\Theta_{iMIN}$	$\Theta_{iMAX}$
2	Обертання стегна	$Z_1$	-45	150
12	Нахил стегна	$Z_2$	-60	0
10	Схил стегна	$Z_3$	-30	100
14	Коліно	$Z_4$	-130	0
18	Схил щиколотки	$Z_5$	-60	60
16	Обертання щиколотки	$Z_6$	-30	60

## 2.6 Кінематика Darwin-Op

Цей розділ встановлює кінематику, яка використовується для планування ходьби у Розділі 3. Розділ 2.6 охопить всі три послідовні ланки, які можуть рухатися (голова, рука, нога), але розділ 2.6 буде охоплювати кінематику, пов'язану лише з ногами.

### Параметри Денавіта-Гартенберга

Декартова система координат для всіх визначень Денавіта-Гартенберга встановлюється відносно осей  $x$  та  $z$  в позі з нульовим кутом. Параметри Денавіта-Гартенберга також використовують визначення довжини вимірювання та обмежень кутів нахилу, встановлених у Розділі 2.5.

Для параметрів Денавіта-Гартенберга, показаних нижче, всі кути виражені у градусах, а назви стовпців пояснюються так:

- $\alpha_{i-1}$  - кут між  $Z_i$  та  $Z_{i+1}$  по осі  $X_i$
- $a_{i-1}$  - дистанція між  $Z_i$  та  $Z_{i+1}$  по осі  $X_i$
- $d_i$  - дистанція між  $X_i$  та  $X_{i+1}$  по осі  $Z_i$
- $\theta_i$  - кут між  $X_i$  та  $X_{i+1}$  по осі  $Z_i$
- $i$  - з'єднання між ланками  $i-1$  та  $i$



## Параметри ДН голови

Голова має лише 2 ступені свободи (DOF), як показано на рисунку 2.6.1, отже, параметри Денавіта-Гартенберга можуть бути сформовані так, як показано у таблиці 2.6.1.

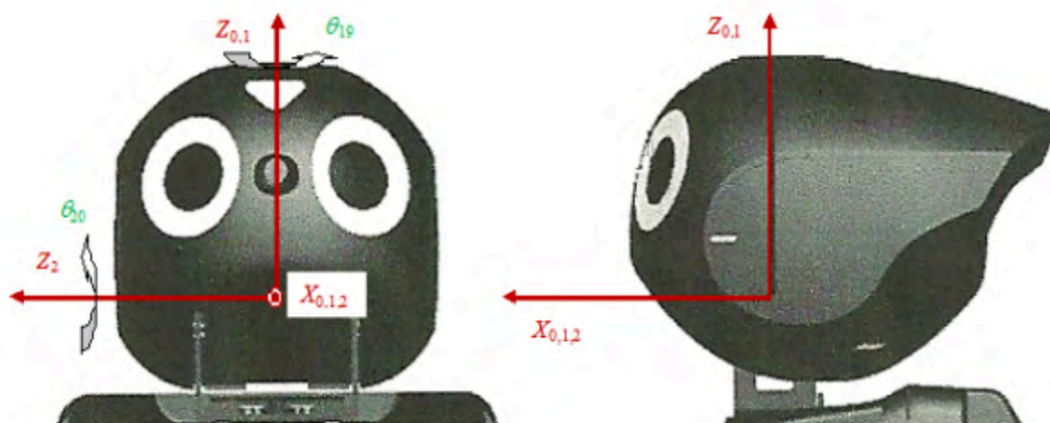


Рис 2.6.1 Координатні рамки голови

Таблиця 2.6.1 Параметри ДН голови

$i$	$\alpha_{i-1}$	$a_{i-1}$	$d_i$	$\theta_i$
1	0	0	0	$\theta_{19}$
2	90	0	0	$\theta_{20}$

## Параметри ДН руки

Рука має лише 3 ступені свободи (DOF), як показано на рисунку 2.6.2, отже, параметри Денавіта-Гартенберга можуть бути сформовані так, як показано у таблиці 2.6.2.

Таблиця 2.6.2 Параметри ДН руки

$i$	$\alpha_{i-1}$	$a_{i-1}$	$d_i$	$\theta_i$
1	0	0	0	$\theta_1$
2	-90	0	0	$\theta_3 - 90$
3	90	$L_2$	0	$\theta_5$

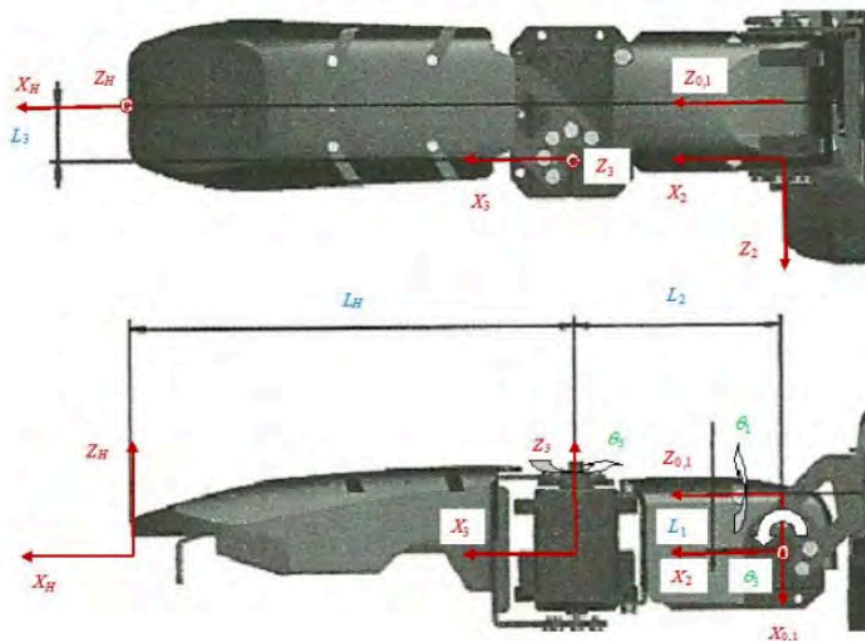


Рисунок 2.6.2 Координатні рамки руки

## Параметри ДН ноги

За рисунком 2.6.3 нога має лише 6 ступенів вільності (DOF), тому параметри Денавіта-Гартенберга можна скласти так, як показано у таблиці 2.6.3.

Таблиця 2.6.3 Параметри ДН ноги

$i$	$\alpha_{i-1}$	$a_{i-1}$	$d_i$	$\theta_i$
1	0	0	0	$\theta_7$
2	90	0	0	$\theta_{11} + 90$
3	90	0	0	$\theta_9$
4	0	$L_4$	0	$\theta_{13}$
5	0	$L_5$	0	$\theta_{17}$
6	-90	0	0	$\theta_{15}$

## Пряма кінематика

Пряма кінематика по суті полягає в розв'язанні проблеми, яка полягає у визначенні позиції кінцевого ефектора (це кінцевий елемент або точка робочого інструмента в рухомій системі.), у цьому випадку - кінцевої позиції ноги, на основі заданого набору кутів. Пряма кінематика вирішується шляхом призначення 4x4 однорідної трансформаційної матриці для рамки так, що:

$$\left[ T_i^{i-1} \right] = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & -d_i s\alpha_i - 1 \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & -c\alpha_{i-1} & d_i c\alpha_i - 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6.1)$$

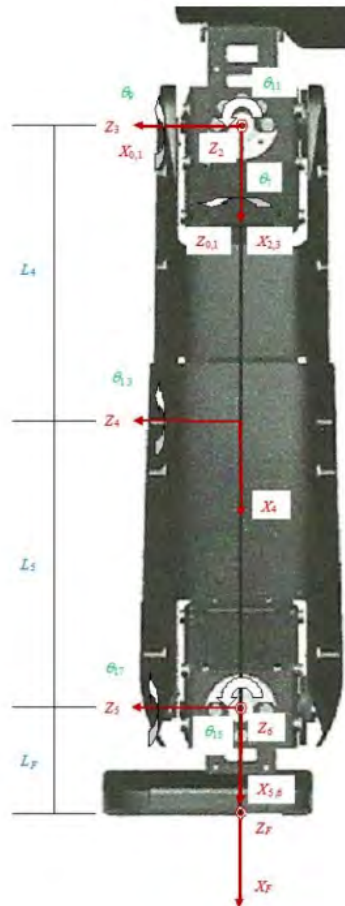


Рис. 2.6.3: Координатні рамки ноги

де  $c = \cos$ , а  $s = \sin$ . Частина матриці 2.6.1, а саме верхня ліва матриця  $3 \times 3$  описує матрицю обертання, а інша частина - верхня права  $3 \times 1$  описує матрицю позиції. Значення  $\theta_i$ ,  $\alpha_i$  та  $d_i$  отримуються безпосередньо з таблиці Денавіта-Гартенберга (ДН). Таким чином, слідуючи за таблицею ДН для ніг у Таблиці 2.6.3, ми можемо отримати 6 трансформаційних матриць:

$$\begin{bmatrix} T_1^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_7 & -s_7 & 0 & 0 \\ s_7 & c_7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6.2)$$

$$\begin{bmatrix} T_2^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -s_1 l & -c_1 l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ c_1 l & -s_1 l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6.3)$$

$$\begin{bmatrix} T_3^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_9 & -s_9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ s_9 & c_9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6.4)$$

$$\begin{bmatrix} T_4^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{13} & -s_{13} & 0 & L_4 \\ s_{13} & c_{13} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6.5)$$

$$\begin{bmatrix} T_5^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{17} & -s_{17} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ s_9 & c_9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6.6)$$

$$\begin{bmatrix} T_6^5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{15} & -s_{15} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s_{15} & -c_{15} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6.7)$$

отже, кінцевий ефектор може бути описаний так:

$$\begin{bmatrix} T_6^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_1^0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_2^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_4^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_5^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_6^5 \end{bmatrix} \quad (2.6.8)$$

$$\begin{bmatrix} T_6^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6.9)$$

де:

$$m_{11} = (s_7 s(\theta_9 + \theta_{13} + \theta_{17}) - c_7 s_{11} c(\theta_9 + \theta_{13} + \theta_{17})) c_{15} - c_7 c_{11} s_{15} \quad (2.6.10)$$

$$m_{21} = (-c_7 s(\theta_9 + \theta_{13} + \theta_{17}) - s_7 s_{11} c(\theta_9 + \theta_{13} + \theta_{17})) c_{15} - s_7 c_{11} s_{15} \quad (2.6.11)$$

$$m_{31} = -s_{11} s_{15} + c_{11} c_{15} c(\theta_9 + \theta_{13} + \theta_{17}) \quad (2.6.12)$$

$$m_{12} = -(s_7 s(\theta_9 + \theta_{13} + \theta_{17}) - c_7 s_{11} c(\theta_9 + \theta_{13} + \theta_{17})) c_{15} - c_7 c_{11} s_{15} \quad (2.6.13)$$

$$m_{22} = -(-c_7 s(\theta_9 + \theta_{13} + \theta_{17}) - s_7 s_{11} c(\theta_9 + \theta_{13} + \theta_{17})) - s_7 c_{11} c_{15} \quad (2.6.14)$$

$$m_{32} = -s_{11} c_{15} - c_{11} s_{15} c(\theta_9 + \theta_{13} + \theta_{17}) \quad (2.6.15)$$

$$m_{13} = s_7 c(\theta_9 + \theta_{13} + \theta_{17}) + c_7 s_{11} s(\theta_9 + \theta_{13} + \theta_{17}) \quad (2.6.16)$$

$$m_{23} = -c_7 c(\theta_9 + \theta_{13} + \theta_{17}) + s_7 s_{11} s(\theta_9 + \theta_{13} + \theta_{17}) \quad (2.6.17)$$

$$m_{33} = -c s(\theta_9 + \theta_{13} + \theta_{17}) \quad (2.6.18)$$

$$m_{14} = (L_4 s_9 + L_5 s(\theta_9 + \theta_{13})) s_7 - (L_4 c_9 + L_5 c(\theta_9 + \theta_{13})) c_7 s_{11} \quad (2.6.19)$$

$$m_{24} = -(L_4 s_9 + L_5 s(\theta_9 + \theta_{13})) c_7 - (L_4 c_9 + L_5 c(\theta_9 + \theta_{13})) s_7 s_{11} \quad (2.6.20)$$

$$m_{34} = (L_4 c_9 + L_5 c(\theta_9 + \theta_{13})) c_{11} \quad (2.6.21)$$

## Обернена кінематика

Обернена кінематика вирішує набір кутів, необхідних для досягнення заданої позиції кінцевого ефектора. Обернена кінематика складніша за пряму кінематику, оскільки є кілька нетривіальних рішень. У випадку ноги обернену кінематику можна вирішити, спочатку вирішивши кут коліна або  $\theta_{13}$  [13].

Перед вирішенням для  $\theta_{13}$  потрібно встановити деякі рівняння. Задано рівняння (3.8), тоді

$$\begin{bmatrix} T_1^0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} T_6^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_2^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_4^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_5^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_6^5 \end{bmatrix} \quad (2.6.22)$$

$$\begin{bmatrix} T_2^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1^0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} T_6^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_4^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_5^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_6^5 \end{bmatrix} \quad (2.6.23)$$

## Вирішення для $\theta_{13}$

Для вирішення  $\theta_{13}$  зроблено припущення, що коліно може згинатися вперед або назад, звідси  $\theta_{13}$  може бути як позитивним, так і негативним. Також зроблено припущення, що з'єднання 3, 4 і 5 утворюють просторовий трикутник на основі положень з'єднань. Це означає, що  $\theta_{13}$  можна вирішити за допомогою закону косинусів [13]:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab * \cos(C) \quad (2.6.24)$$

де  $a$  і  $b$  описують довжину з'єднань 4 і 5, а  $c^2$  - відстань між з'єднанням 5 і з'єднанням 3 в будь-який момент часу. Потім можна підставити це у рівняння (2.6.26), щоб отримати:

$$c^2 = L_4^2 + L_5^2 - 2L_4L_5 * \cos(\pi - \theta_{13}) \quad (2.6.25)$$



це можна перегрупувати для вирішення  $\theta_{13}$  наступним чином:

$$\theta_{13} = \pm \arccos\left(\frac{c^2 - L_4^2 + L_5^2}{2L_4L_5}\right) \quad (2.6.26)$$

### Вирішення для $\theta_7$

$\theta_7$  може бути вирішено за допомогою рівняння (2.6.23) на основі цих тверджень:

$$M_3 = \begin{bmatrix} T_2^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1^0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} T_6^0 \end{bmatrix} \quad (2.6.27)$$

$$N_3 = \begin{bmatrix} T_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_4^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_5^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_6^5 \end{bmatrix} \quad (2.6.28)$$

тоді можна отримати два можливих рішення для  $\theta_7$ , зробивши наступне:

$$M_3(2, 3) = N_3(2, 3) \quad (2.6.29)$$

$$M_3(2, 4) = N_3(2, 4) \quad (2.6.30)$$

### Вирішення для $\theta_{11}$

Аналогічно для вирішення  $\theta_{11}$  можна зробити твердження з рівняння (2.6.22), що:

$$M_2 = \begin{bmatrix} T_1^0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} T_6^0 \end{bmatrix} \quad (2.6.31)$$

$$N_2 = \begin{bmatrix} T_2^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_4^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_5^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_6^5 \end{bmatrix} \quad (2.6.32)$$

отже, встановивши цю систему рівнянь, отримано:

$$M_2(1, 4) = N_2(1, 4) \quad (2.6.33)$$

$$M_3(2, 2) = N_3(2, 2) \quad (2.6.34)$$

Через те, що  $L_5 \cos(\theta_9) + \theta_{13} + L_4 \cos(\theta_9)$  може бути позитивним або негативним, можуть бути два можливі рішення для  $\theta_{11}$

### **Вирішення для $\theta_{15}$**

$\theta_{15}$  можна вирішити, через два наступних рівняння:

$$M_3(2, 1) = N_3(2, 1) \quad (2.6.35)$$

$$M_3(2, 2) = N_3(2, 2) \quad (2.6.36)$$

### **Вирішення для $\theta_{19}$**

Оскільки  $\theta_7$  і  $\theta_{11}$  були вирішені раніше, то  $M_3(1, 4)$  та  $M_3(3, 4)$  - константи, що залишає  $\theta_9$  для можливого вирішення.

### **Вирішення для $\theta_{17}$**

$\theta_{17}$  можна вирішити, через два рівняння:

$$M_4(1, 3) = N_4(1, 3) \quad (2.6.37)$$

$$M_4(2, 3) = N_3(2, 3) \quad (2.6.38)$$

Оскільки є 8 можливих різних комбінацій кутів, через обмеження кутів обертання в суглобах робота Darwin-Op, можна точніше обмежити ці 8 різних рішень. Наприклад, для  $\theta_{13}$  діапазон лише від 0 до 130 градусів, що видаляє 50 градусів з можливих 180 градусів у області арккосинуса.

### **3. Запропонована методологія та її реалізація**

Раніше описану в Розділі 1.2, проблему автономної балансованої локомотії можна розглядати як визначення областей з непрямою поверхнею та способи подолання цих областей. У цьому розділі розглядається запропонована методологія та основні припущення, зроблені для дослідження. Розділ 2.1 розглядає способи визначення непрямих поверхонь за допомогою базових методів комп'ютерного зору. Розділ 3.3 обговорює, як подолати непрямі поверхні за допомогою планування траєкторії точки нульового моменту (ZMP) на моделі вигляду "візок-стіл".

#### **3.1 Припущення**

Оскільки весь дослідницький робот відбувається у віртуальному середовищі, припускаються такі загальні речі:

- Рівень шуму: 0-10%
- Усі об'єкти/підлога мають анти слизькі властивості, тобто відсутність ковзання
- Відсутність вітру, тобто відсутність опору повітря
- Відсутність зовнішніх об'єктів, що втручаються у роботу під час симуляції
- Середовище відоме роботу заздалегідь
- Об'єкти відомі заздалегідь
- Один об'єкт на одне середовище

## 3.2 Контроль зору

Тренування моделі нейронної мережі зазвичай забирає багато часу, оскільки чим довше триває тренування, тим краще точність моделі. Однак через обмеження часу на тренування моделі кращим методом було виявлення відомих об'єктів за допомогою кольорів, оскільки це було швидко та легко реалізовано. Щодо організації об'єктів, їх розподіл виглядає так:

1. Насип: Сірий
2. Сходи: Червоний
3. Ціль: Зелений
4. Старт: Жовтий

Після виявлення об'єкта застосовується базова тригонометрія для розрахунку відстані між роботом та об'єктом. Були внесені деякі покращення щодо ефективності роботи з необробленим зображенням, ці покращення будуть обговорені в Розділі 3.7.

### 3.3 Планування ходьби

Можливість ходити по неплоскій поверхні безпосередньо пов'язана зі стійкістю наших ходових рухів. Для планування ходи цю проблему можна спростити, використовуючи модель візка-столу та ZMP [3]. Модель візка-столу описує рух робота або "візка". ZMP описує положення опорної ноги на землі для забезпечення рівноваги.

#### Точка нульового моменту

Точка нульового моменту Zero Moment Point (ZMP) - це загальний метод визначення стійкості двоногого робота. ZMP - це точка на землі, в якій сумарні горизонтальні інерційні і гравітаційні сили дорівнюють 0 [9]. Цей процес розпочинається в рівнянні 3.3.1, де верхній індекс  $g_i$  - це сили гравітації плюс інерції,  $m$  - маса робота,  $g$  - сила тяжіння, а  $a_G$  - прискорення центру маси.

$$F^{g_i} = mg - ma_G \quad (3.3.1)$$

Для досягнення ZMP момент навколо точки повинен бути паралельним до нормального вектору  $n$  або направлений вздовж  $n$ , як показано в рівнянні 3.3.4. Момент навколо точки можна описати в рівнянні 3.3.2. На майбутнє, точка, що використовується для ZMP, буде позначена як  $Z$ , як показано в рівнянні 3.3.3.

$$M_p = PG * mg - PG * ma_G - H \quad (3.3.2)$$

$$M_z^{g_i} = ZG * mg - ZG * ma_G - H \quad (3.3.3)$$

$$M_z^{g_i} * n = 0 \quad (3.3.4)$$

Тоді, використовуючи рівняння Ньютона-Ойлера для глобального руху двоногого робота, рівняння 3.3.5, ми можемо прирівняти це до 0, щоб отримати те, що показано в рівняння 3.3.7, що можна переписати як рівняння 3.3.9.

$$F^c + mg = ma_G \quad (3.3.5)$$

$$M_p^c + PG * mg = H + PG * ma_G \quad (3.3.6)$$

$$F^c + mg - ma_G = 0 \quad (3.3.5)$$

$$M_p^c + PG * mg - H - PG * ma_G = 0 \quad (3.3.6)$$

$$F^c + F^{gi} = 0 \quad (3.3.9)$$

$$M_p^c + M_p^{gi} = 0 \quad (3.3.10)$$

Попередні рівняння показують, що робот динамічно збалансований, якщо сили контакту (O) і сили гравітації та інерції строго протилежні, як показано в рівнянні 3.3.11.

$$OZ = \frac{n \times M_O^{gi}}{F^{gi} \cdot n} \quad (3.3.11)$$

### Модель візок-стіл

Модель візка-стола передбачає, що верхня частина тіла гуманоїдного робота - це візок, розташований у центрі мас тіла робота, де маса - це загальна маса робота. "Стіл" моделі візка-стола - це опорна нога візка. Модель візка-стола передбачає два набори візка-стола: один для руху у корональній(фронтальній) площині, тоді як інший використовується у сагітальній(латеральній) площині. Корональна площина ділить тіло пополам спереду та ззаду, тоді як сагітальна площина ділить тіло пополам зліва направо.

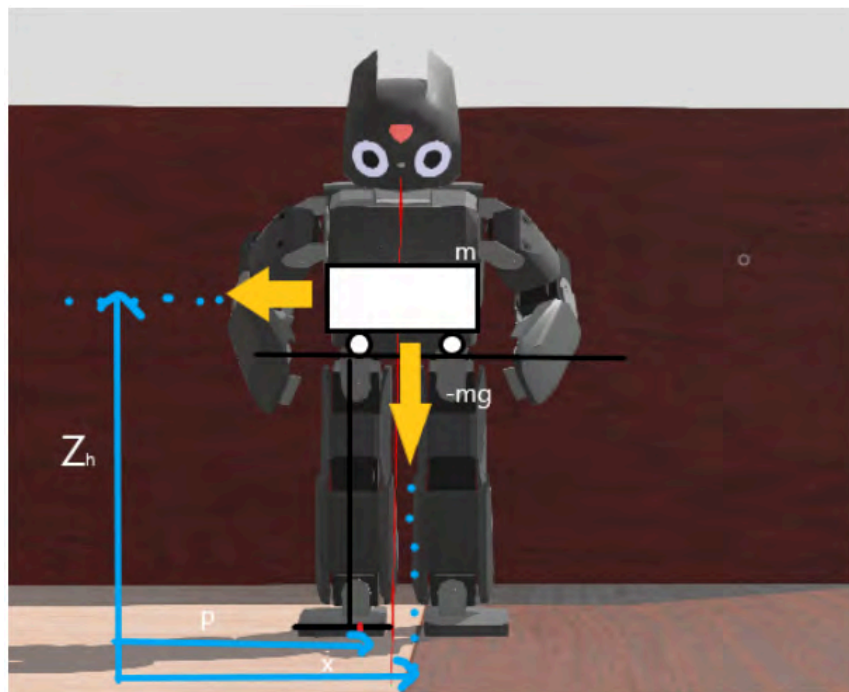


Рисунок 3.3.1: Корональний вид моделі візка-стола

Модель візка-стола представлена на рисунках 3.3.1 і 3.3.2 як вирівняна з корональною площиною робота, а положення візка визначено як  $x$  та  $Z_h$ . Червона точка представляє центр тиску (CoP), оскільки сила тяжіння  $g$  і прискорення візка створюють момент  $T_p$ ;  $T_p$  - це кількість обертального моменту навколо  $P$ , який можна знайти в (рівняння) 3.3.12; де  $x$  представляє корональну площину, а  $y$  - сагітальну площину.

$$T_x = Mg (x - P_x) - M\ddot{x}Z_h \quad (3.3.12)$$

$$T_y = Mg (y - P_y) - M\ddot{y}Z_h \quad (3.3.13)$$



Рисунок 3.3.2: Сагітальний вид моделі візок-стіл

Вважається, для того щоб робот був збалансованим, ZMP та CoP повинні бути ідентичними, що означає  $T_p = 0$ , отже, встановивши ліву частину (рівняння) 3.3.12 рівною 0, можна вирішити позицію ZMP, як бачимо в (рівняння) 3.3.16. Той самий концепт застосовується до сагітальної площини для отримання (рівняння) 3.3.17

$$0 = Mg (x - P_x) - M\ddot{x}Z_h \quad (3.3.14)$$

$$M\ddot{x}Z_h = Mg (x - P_x) \quad (3.3.15)$$

$$P_x = x - \frac{Z_h}{g}\ddot{x} \quad (3.3.16)$$



$$P_y = y - \frac{Z_h}{g} \ddot{y} \quad (3.3.17)$$

З встановленою позицією ZMP необхідно спланувати та визначити розташування ноги під час ходьби, щоб траєкторію ZMP можна було вивести на основі цих обмежень. Кутова траєкторія знаходиться за допомогою оберненої кінематики, яка обговорювалась у Розділі 3.

## Планування траєкторії

Планування траєкторії для робота можна виконати шляхом планування шляху, куди має йти нога. Це також вирішує, яким чином потрібно визначити рух ходи для того, щоб робот ходив належним чином. Це візуалізується на рисунку 3.3.3, ліва частина показує шлях ноги, а права частина - рух ходи. Оскільки сходи однорідні за висотою та довжиною кроку, ми можемо визначити цикл ходи так, щоб нога проходила тільки висоту  $H_s$  та відстань  $X_s$ ;  $H_s$  буде змінюватися з висотою кроку, а  $X_s$  - з довжиною кроку. Той самий концепт застосовується до нахилу, але єдина відмінність полягає у положенні ноги. Орієнтація буде дорівнювати куту нахилу.

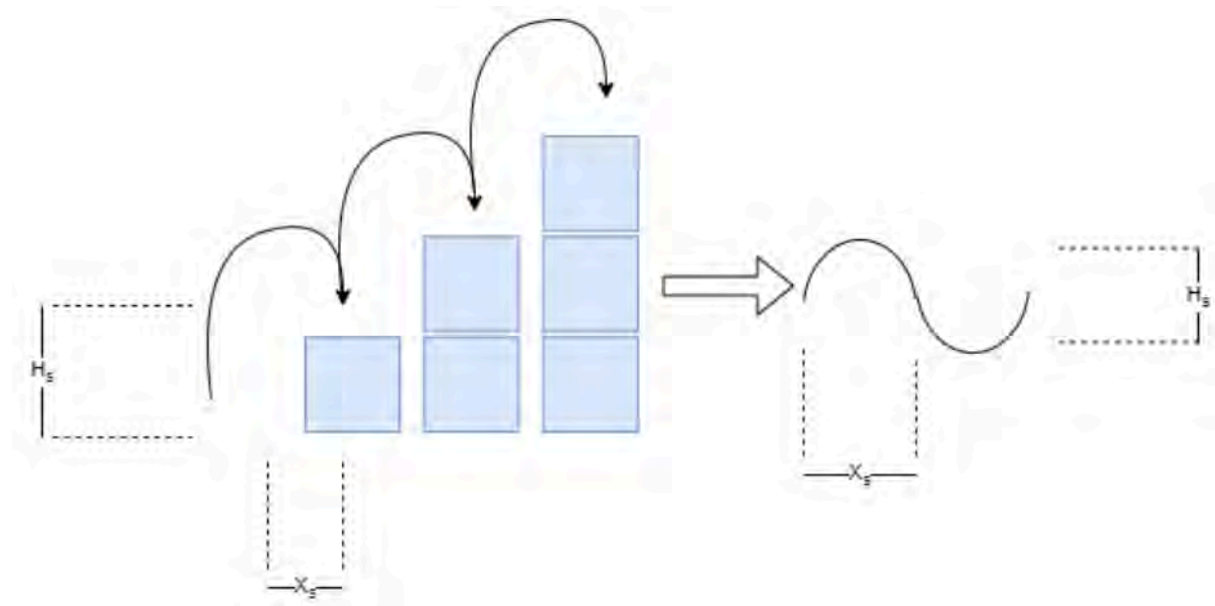


Рисунок 3.3.3: Планування траєкторії для сходів

### 3.4 Симуляція

Webots - це відкрите програмне забезпечення, розроблене спеціально для симуляції роботів і створене компанією Cyberbotics. Воно надає комплексне середовище для моделювання, програмування та симуляції роботів з потужним фізичним двигуном і графічним інтерфейсом [10]. Webots доступний на всіх платформах, і його основна перевага полягає в тому, що базова установка вже містить модель Darwin-Op та деякі прикладні програми для вивчення того, як її симулювати. Однак простота використання супроводжується деякими обмеженнями: будь-яку модель робота, яка постачається разом із встановленням, не можна модифікувати. Це буде обговорено в Розділі 3.5. Ще одним обмежуючим фактором є те, що якщо у користувача є завдання, яке вимагає великих обчислень або програма виконана неефективно, то користувач ризикує значним уповільненням симуляції або її аварійним завершенням.

### 3.5 Модель Darwin-Op

Зображення на рисунку 3.5.1 показує, як виглядає модель Darwin-Op у симуляції. Симульована версія має 6 модифікованих слотів (голова, тіло, ноги, руки). Кожен слот може обладнуватися вузлами, такими як ІМП, датчик сили та інші. Також у симульованій версії користувачам надається можливість змінювати деякі налаштування вбудованої моделі Darwin-Op, такі як "backlash", яке виявляє, чи зіткнувся робот з якимось об'єктом.

Однак обмеження цієї моделі полягає в неможливості змінити прикріплення руки для Darwin-Op. Для такої зміни користувачу доведеться побудувати нову модель Darwin-Op з новим прикріпленням руки замість можливості модифікувати модель безпосередньо. Це може бути пом'якшено шляхом створення моделі Darwin-Op в іншому місці і її імпортування в Webots як підтримуваний тип файлу.



Рисунок 3.5.1: Симуляція Darwin-Op

### 3.6 Зовнішні середовища

Для симуляції можна створити рисунок, додавши групу об'єктів і трансформуючи їх за необхідністю. Було створено 2 різних середовища:

- Сходи, що йдуть вгору і вниз, як показано на рисунку 3.6.1
- Схил, який йде вгору і вниз, як показано на рисунку 3.6.2

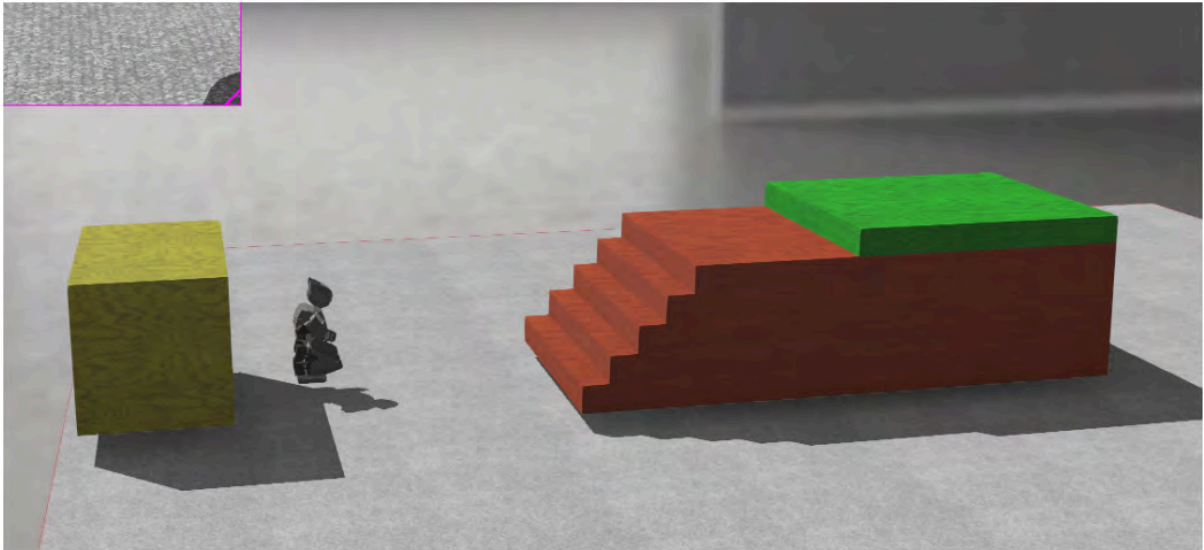


Рисунок 3.6.1 Середовище зі сходами

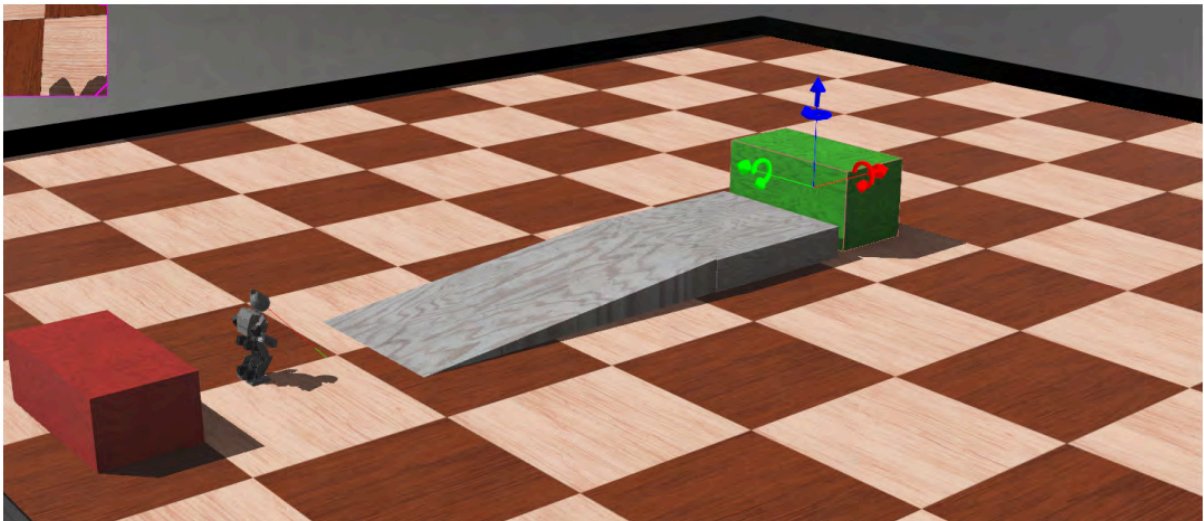


Рисунок 3.6.2 Середовище з нахилом

### **3.7 Програмування**

У програмній частині цієї дисертації використовувався Python 3.8, оскільки деякі пакети Python могли бути використані, наприклад, NumPy та OpenCV. NumPy скорочення від Numerical Python і є бібліотекою, корисною для розрахунків у області математики. NumPy також має можливість використовувати трансляцію, яка дозволяє виконувати операції з матрицями різних форм. OpenCV — це скорочення від Open Computer Vision і є бібліотекою, корисною для обробки зображень та використання поточних алгоритмів комп'ютерного зору.

#### **Блок-схема системи керування**

Рисунок 3.7.1 показує блок-схему системи управління та те, що відбувається під час запуску симуляції. Симуляція завантажує будь-яке попереднє знання про середовище для робота до початку основних циклів; попереднє знання про середовище також включає початкове положення робота. Далі симуляція переходить до основного циклу і шукає найближчий об'єкт у полі зору. Якщо встановлено, який це об'єкт, робот рухається до початку об'єкта. Потім він планує ходу, щоб вирішити, яким чином підійти до об'єкта. Після того, як робот підійшов до об'єкта, він рухається до цілі, а потім повертається до своєї початкової позиції.

#### **Код контролеру**

Цей розділ охоплює деякі деталі реалізації блок-схеми та аналізу алгоритмів для визначення часової складності симуляції. Визначення часової складності допомагає визначити, де саме симуляція використовує найбільше ресурсів, оскільки симуляція може виходити з ладу, якщо часова складність перевищує те, що вона може обробити.

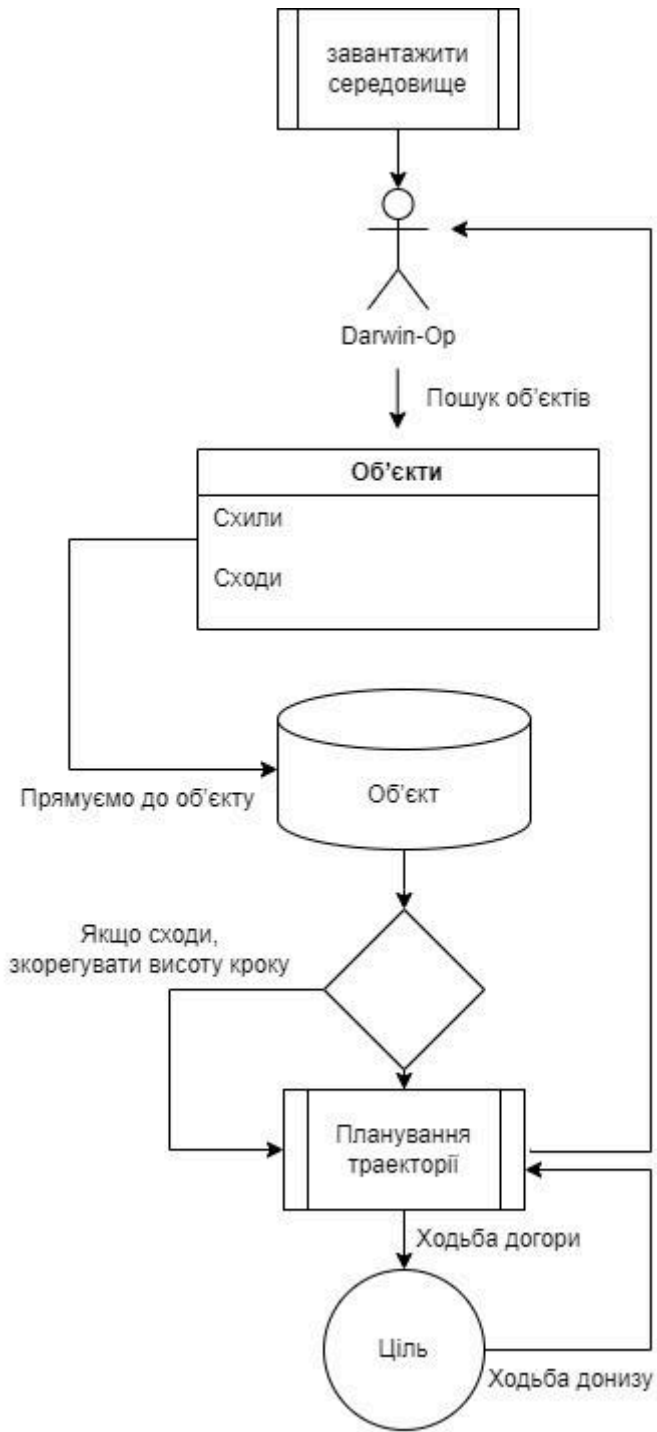


Рисунок 3.7.1: Блок-схема системи управління

## Виявлення кольору

Стандартний спосіб знаходження кольору на зображенні полягає в перевірці значення RGB (червоний, зелений, синій) пікселя попіксельно, як показано в Алгоритмі 3.7.2. Оскільки є два вкладені цикли `for`, це призводить до часової складності  $O(n^2)$ . Симуляція може обробляти цю часову складність перед основним циклом, але через те, що виявлення кольору відбувається всередині основного циклу, алгоритм виявлення кольору мусив бути оптимізований для швидкості.

```
Algorithm 1: Color Detection  
Input: Image  
Output: Arrays of RGB  
1 for  $x \in camera.getWidth()$  do  
2   for  $y \in camera.getHeight()$  do  
3     red = image[x][y][0]  
4     green = image[x][y][1]  
5     blue = image[x][y][2]  
6   end for  
7 end for  
8 return red, green, blue
```

Рисунок 3.7.2 : Алгоритм виявлення кольору

Оптимізація полягає в використанні необробленого зображення. Функція `camera.getImage()` повертає рядок, який потім можна інтерпретувати як буфер, використовуючи функцію `frombuffer` в `NumPy`. Функція `frombuffer` перетворює зображення в числовий формат та може бути перетворена у форму 3D-масиву. Використовуючи можливості трансляції `NumPy`, ми можемо відкинути останній стовпчик у зображенні, щоб отримати 3D-масив, який представляє ширину  $x$  висоту  $y$   $[R, G, B]$ . Цей 3D-масив можна використовувати `OpenCV`, який може конвертувати масив у відповідний формат `HSV` (відтінок, насиченість, значення) і перевіряти, чи є бажаний колір на зображенні. Наприклад, взявши зображення на рисунку 3.7.3, вдалося виявити коричневий колір, як



показано на рисунку 3.7.4. Цей процес можна побачити в фрагменті коду на рисунку 3.7.5.

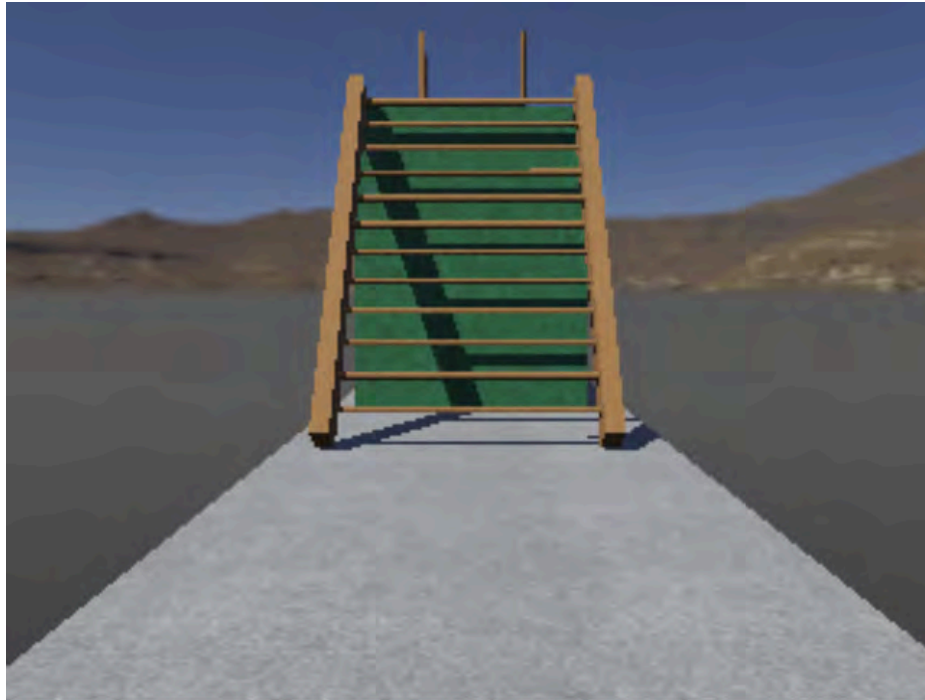


Рисунок 3.7.3: Зразок зображення, що використовується для розпізнавання кольору

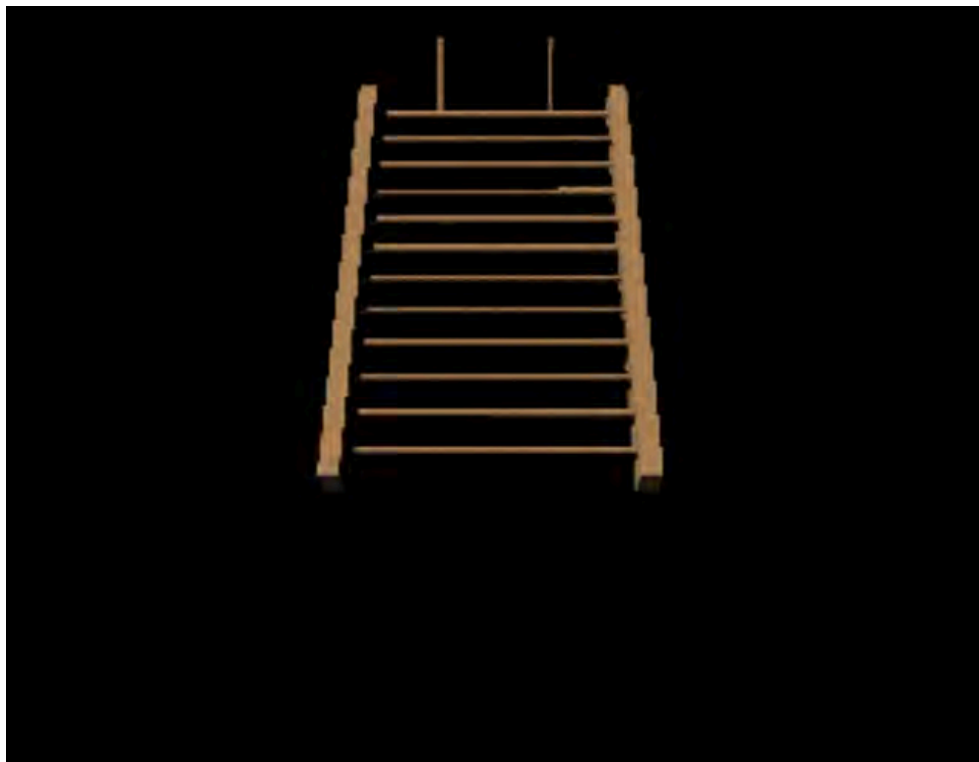


Рисунок 3.7.4: Сходи, визначені на зображенні

## Планування ходьби

Рисунок 3.7.6 показує просте розгортання того, що відбувається під час початкової фази планування ходьби. Початкова матриця перетворення,  $T_i$ , показує поточне положення робота, тоді як кінцева матриця перетворення,  $T_f$ , показує, куди повинен перейти робот. У кінцевій матриці перетворення орієнтація залишається такою ж, але змінюється положення в напрямку x та z.

```
#take the raw camera data and convert it using numpy
def get_image(camera):
    cameraData = camera.getImage()
    height = camera.getHeight()
    width = camera.getWidth()
    #returns [R, G, B, 255]
    image = np.frombuffer(cameraData, np.uint8).reshape((height, width, 4))
    #drops the last column since the last one is just 255 constant
    image = image[:, :, :-1]
    #cv2.imwrite('current_View.png', image)
    return image

#detection method for finding the ladder, currently only color is implemented
def ladder_detected(img):
    hsv = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    #hsv scale for brown
    lower_brown = np.array([10, 100, 20])
    upper_brown = np.array([20, 255, 200])
    mask = cv2.inRange(hsv, lower_brown, upper_brown)
    if len(mask[mask > 0]) != 0:
        return True
    return False
```

Рисунок 3.7.5: Фрагмент коду для виявлення кольору

Важливою моментом є те, що перехід від перешкоди до кінцевої позиції може бути нестабільним. У випадку схилю через те, що нога розташована під кутом, відмінним від кінцевої позиції, є ймовірність того, що робот впаде після досягнення кінцевої позиції. Одним із простих виправлень є створення простої функції "впав", яка допомагає роботу встати, якщо він впав після подолання схилю. Функція виявляє падіння, якщо робот перебуває довго у положенні звернутому донизу або догори. Падіння виявляється шляхом перевірки осі у акселерометра та порівняння з

відхиленням. Після того, як робот виявляє, що він впав, він піднімається за допомогою рухів, вже реалізованих менеджером рухів Darwin-Op. Оскільки ця функція викликається в середині основного циклу, робот постійно перевіряє, чи він впав. Вартість функції падіння -  $O(1)$ , оскільки вона не має циклів `for`, і всі функції виконуються за постійний час. Цей процес показано на рисунку 3.7.7.

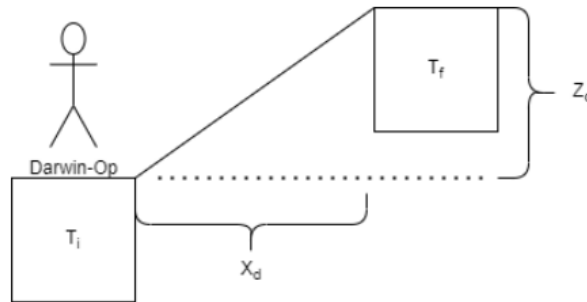


Рисунок 3.7.6: Діаграма планування траєкторії

```
def checkIfFallen():
    acc_tolerance = 60.0
    acc_step = 100 # Counter upper limit
    acc = accelerometer.getValues() # Obtain the corresponding value of three axes through acceleration sensor
    if acc[1] < 512.0 - acc_tolerance : # The value of y-axis will be smaller when face down
        face_up += 1
    else :
        face_up = 0
    if acc[1] > 512.0 + acc_tolerance : # The value of the y-axis will increase when you fall back to the ground
        face_down += 1
    else :
        face_down = 0
    if face_up > acc_step :
        MotionManager.playPage(10) # Perform a face down, floor up motion
        MotionManager.playPage(9) # Get ready to walk
        face_up = 0
    elif face_down > acc_step :
        MotionManager.playPage(11) # Perform a back down and up motion
        MotionManager.playPage(9) # Get ready to walk
        face_down = 0
```

Рисунок 3.7.7 Функція перевірки на падіння

Ще одна функція, яку довелося реалізувати, - це функція корекції шляху. Оскільки траєкторія є лише прогнозованою, існує можливість того, що робот відхилиться від заданого шляху. Функція корекції шляху просто перевіряє поточну матрицю перетворення робота та порівнює її з призначеною матрицею перетворення. Залежно від допустимої похибки

функція оновлює деякі параметри ходи, щоб повернути його на заданий шлях. Це, переважно, для виправлення будь-якого відхилення по осі  $y$ , оскільки віддалення від осей  $x$  та  $z$  означає, що швидкість не відповідає заданому шляху

### **Висновки до розділу 3**

У цьому розділі було висвітлено ключові аспекти процесу розробки та втілення системи. Методологія, заснована на певних припущеннях, виявилася важливим фундаментом для реалізації різноманітних компонентів.

Контроль зору та планування ходьби виявилися критичними аспектами у функціонуванні системи. Вони дозволяють отримувати та обробляти інформацію з навколишнього середовища для ефективного переміщення та взаємодії. Були проведені додаткові оптимізації роботи з необробленими даними що пришвидшило алгоритм контролю зору. Розроблений алгоритм є надійним, особливо в задалегідь заданих середовищах.

Вивчення зовнішніх умов виявилось ключовим для визначення реальних можливостей та обмежень системи. Програмування відіграє важливу роль у реалізації функціоналу, що забезпечує роботу системи в різних умовах.

Цей розділ дозволив детально проаналізувати та визначити основні аспекти процесу розробки та втілення системи з використанням контролю зору, планування ходьби, симуляції, вивчення зовнішніх середовищ та програмування, що має важливе значення для подальших етапів.

## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

У цьому розділі розглядається концепція пускового проекту системи керування гуманоїдним роботом під час руху по сходах та схилах.

Розглядається можливість виведення цього продукту на ринок і оцінюються його переваги та можливі ризики під час впровадження.

Основною ідеєю проекту стартапу є розробка автоматизованої системи, для робота Darwin-Op що може орієнтуватись в тривимірному просторі та є здатним долати перешкоди у вигляді сходів та схилів.

Мета – автоматизація процесу сортування на складах та доставки посилок за допомогою робота Darwin-Op.

### 4.1 Опис ідеї та технологічний аудит стартап проекту

Проект – система керування гуманоїдним роботом під час руху по сходах та схилах. Система використовує кольорові зображення та алгоритми для ідентифікації сходів та схилів, і вміє здійснювати рух через ці перешкоди. Мета проекту – є розробка та вдосконалення алгоритмів та технологій для гуманоїдних роботів, які дозволять їм ефективно рухатися та балансувати на нерівних поверхнях, зокрема на схилах та сходах. Також однією із цілей є дослідження можливостей конкретного робота Darwin-Op та аналіз його лімітацій.

Таблиця 4.1 Інформаційна карта стартап-проекту

Назва блоку	Характеристика
1	2
<b>Загальна характеристика стартап-проекту</b>	
Назва стартап проекту	Система керування гуманоїдним роботом під час руху по сходах та схилах

Проблематика, яку вирішує стартап проект	Вирішення проблеми неефективності та складнощів у доставці та сортуванні посилок на складах через обмеження руху гуманоїдних роботів по сходах та схилах. Цей проект пропонує автоматизовану систему, що оптимізує рух робота, забезпечуючи ефективну доставку та безпечно сортування вантажів.
Головні цілі та завдання проекту	Розробка та вдосконалення алгоритмів та технологій для гуманоїдних роботів, які дозволять їм ефективно рухатися та балансувати на нерівних поверхнях, зокрема на схилах та сходах
Головні цільові групи, на які спрямований проект	Головні цільові групи проекту: компанії та виробництва зі складами, організації доставки посилок.
<b>Автори та команда стартап проекту</b>	
Автори стартап проекту	Польща Єгор Андрійович
Команда стартап проекту	Польща Єгор Андрійович
<b>Опис продукту стартап проекту</b>	
Назва та коротка характеристика мінімального життєздатного продукту стартапу (MVP)	Назва MVP: "RoboWalker". Коротка характеристика: Автоматизована система для доставки посилок та сортування на складах яка здатна долати сходи та схили реалізована на роботі Darwin-Op
Сфера застосування та функціональне призначення продукту	Сфера застосування: пошта та служби доставки, виробництва. Функціональне призначення: система керування гуманоїдним роботом під час руху по сходах та схилах.
Опис унікальних властивостей продукту стартапу	Унікальні властивості: система керування гуманоїдним роботом під час руху по сходах та схилах для автоматизації процесу доставки та сортування продукції

1	2
Стадія розробки продукту стартапу	Стадія розробки: тестування та оптимізація.
Технічні характеристики	Технічні характеристики: робот Darwin-Op, кут нахилу схилів, висота сходинок, автоматизована система контролю.

Супровід продукту	Супровід продукту: постійна підтримка, оновлення програмного забезпечення, технічна допомога.
<b>Забезпечення стартап проекту</b>	
Необхідні ресурси	Необхідні ресурси: робот Darwin-Op, програмне забезпечення, команда експертів.
Потреба в інвестиціях	Потреба в інвестиціях: для виробництва та впровадження системи, маркетингу та досліджень
Інтелектуальна власність	Інтелектуальна власність: Заявлені патенти на технології керування гуманоїдним роботом та автоматизації системи.
<b>Результати стартап проекту</b>	
Термін реалізації стартап проекту	Термін реалізації стартап проекту: 12 місяців.
Плановані кількісні показники стартап проекту	Плановані кількісні показники стартап проекту: подолання схилів з кутом понад 18 градусів, подолання сходинок з кутом понад 2.7 сантиметри
Якісні показники стартап проекту	Якісні показники стартап проекту: надійність подолання перешкод, ефективна інтеграція з існуючими системами.
Загальні очікувані результати	Загальні очікувані результати: зменшення витрат компанії доставки за рахунок автоматизації процесу, ефективний спосіб доставки невеликих посилок на високі поверхи в разі відсутності електроенергії, автоматизація процесу сортування на виробництвах

Таблиця 4.2. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Система керування гуманоїдним роботом під час руху по сходах та схилах	1. Сортування на складах виробництва	Відсутність потреби в людях які виконують роботу сортування

	2.Автоматизація доставки посилок	Відсутність потреби в ліфті в разі нестачі електропостачання. Зменшення витрат на робочу силу
--	----------------------------------	---

У таблиці наведено огляд стартап проекту та потенційних ринкових сегментів, де можуть бути зацікавлені користувачі даної системи. Цей проект передбачає використання системи управління гуманоїдним роботом під час переміщення по сходах та нахилам, з подальшою інтеграцією її у процеси сортування на складах та доставки посилок.

Наступним етапом був проведений аналіз техніко-економічних переваг цієї концепції порівняно з пропозиціями конкурентів. Вивчалось конкурентне положення, відмінності, переваги та недоліки кожної конкурентної пропозиції. Результати дослідження представлені у Таблиці 4.2.

Таблиця 4.3. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	HolaRobots	Starship robot			
1.	Вартість	\$8500 - \$9500	\$12000 - \$15000	\$10000			+
2.	Автоматизація	+	+	+		+	
3.	Велика вмісткість	-	+	+	+		
4.	Вміння долати сходи	+	-	-			+
5.	Вміння долати схили	+	+	+		+	
6.	Емпатія до роботи гуманоїда	+	-	-			+



Отже, в таблиці було представлено детальний аналіз технічних і економічних характеристик кожної пропозиції, включаючи переваги і недоліки стартапу та його конкурентів. Результати показали, що ця система є більш доступною порівняно з аналогами на ринку. Вона має можливість пересуватися по сходах, чого немає у жодного з конкурентів, і вражає своєю емпатією завдяки зовнішності гуманоїдного робота.

Після цього був проведений аудит технологій, необхідних для втілення цієї ідеї проекту. Для оцінки реалізації цієї концепції були уважно проаналізовані компоненти, які відображені у Таблиці 4.3.

Таблиця 4.4. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Автоматизована система керування гуманоїдним роботом під час руху по сходах та схилах	Збір системи для продажу, по можливості використовуючи деталі, виготовлені власноруч	Є в наявності	Є в доступі
		Розробка програмного забезпечення своїми силами	Є в наявності	Є в доступі
		Залучення фріланс розробників для подальшої модернізації програмного забезпечення.	Є в наявності	Є в доступі
Обрана технологія реалізації ідеї проекту:				

Після аналізу таблиці стало зрозуміло, що вартість проекту може варіюватися в залежності від компонентів, які будуть використовуватися в системі. Якщо замовник бажає вищої якості, можна використовувати якісніші деталі (замовлені з-за кордону) та оптимізоване програмне забезпечення (створене фрілансерами). Або, якщо ціновий аспект є ключовим для замовника, можна розглянути можливість створення

деталей і програмного забезпечення власними силами для зниження витрат.

#### 4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Розглянемо можливості, які ринок може надати для успішної реалізації проекту, а також виявимо загрози, які можуть ускладнити його втілення. Це дозволить краще зрозуміти динаміку ринкового середовища та розробити оптимальні стратегії розвитку.

Оцінка ринкових можливостей включає аналіз попиту на подібні продукти чи послуги, визначення цільової аудиторії, огляд конкурентів та їхніх слабких сторін, а також виявлення ключових трендів, які можуть вплинути на ринок.

З іншого боку, аналіз ринкових загроз передбачає ідентифікацію факторів, що можуть негативно позначитися на успіху проекту. Це можуть бути зміни в законодавстві, сильна конкуренція, технологічні ризики чи економічні коливання.

Комплексний аналіз дозволить належним чином оцінити можливості для входу на ринок і розробити стратегії для зменшення ризиків та максимізації успіху проекту. Розглянемо аналіз попиту: наявність попиту, його обсяг та динаміка розвитку (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5. Попередня характеристика потенційного ринку  
стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	85000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Швидке зростання
4	Наявність обмежень для входу	Немає обмежень

5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	86%

Аналіз попиту підтверджує швидкий ріст ринку, що призводить до збільшення обсягів продажу. Також встановлено, що для успішної реалізації проекту не обов'язково отримувати специфічні стандартизації та сертифікації.

Наступним кроком є ідентифікація потенційних груп клієнтів, їхніх особливостей та формування списку вимог до товару для кожної з цих груп, що представлено у Таблиці 4.6.

Таблиця 4.6. 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	Автоматизована доставка товарів	Онлайн магазини, логістичні компанії	Попередня реєстрація графіку доставки, різні пріоритети у вигляді швидкості та точності	Ефективна та точна доставка, можливість слідкувати за статусом
2	Сортування товарів за замовленням	Великі роздрібні мережі, склади	Різні вимоги до швидкості та обсягів сортування, відмінності у впровадженні нових технологій	Ефективне сортування, можливість адаптуватися до змін у замовленнях
3	Доставка в унікальні області	Туристичні місця, важкодоступні регіони	Різні часові та географічні вимоги, специфічні потреби в безпеці та захисті товарів	Надійна та безпечна доставка, гнучкість у графіку та маршрутах

4	Ефективне управління запасами	Виробничі компанії, склади	Різні потреби у стабільності поставок та швидкості реагування на зміни, різні обсяги робочих процесів	Точне управління запасами, можливість швидко реагувати на попит
---	-------------------------------	----------------------------	---	---

Аналіз потенційних клієнтів стартап проекту "Автоматизована система керування гуманоїдним роботом під час руху по сходах та схилах" вказує на широкий спектр ринкових можливостей. Ця система може знайти застосування в різних галузях, зокрема в складському господарстві, виробництві та логістиці. Різноманітні вимоги споживачів, такі як точність керування, навігація по сходах та безпека під час руху, визначають ключові характеристики, які система повинна мати для задоволення потреб різних клієнтських груп.

Необхідно також взяти до уваги потенційні небезпеки, що можуть виникнути при використанні даної технології. Без урахування цих аспектів стає неможливим об'єктивно оцінювати перспективи введення на ринок та належним чином реагувати на можливі майбутні проблеми (Таблиця 4.7).

Таблиця 4.7. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Вплив непередбачених умов	Погіршення погодних умов, що може ускладнити роботу	Аналіз та прогнозування погодних умов; створення аварійних сценаріїв для реакції на негативні погодні умови.
2.	Технічні проблеми робота	Несправність чи відмова робота під час роботи	Регулярні технічні огляди та обслуговування; навчання персоналу для виявлення і усунення неполадок.
3.	Зміни в законодавстві	Зміни в вимогах щодо використання робота	Моніторинг законодавчих змін; співпраця з владними органами

			для адаптації технології до нових правил.
4.	Конкуренція на ринку	Поява нових конкурентів із подібними технологіями	Постійне удосконалення технічних характеристик; розробка маркетингових стратегій для відмінності від конкурентів.
5.	Вплив соціально-економічних умов	Зміни в соціально-економічному середовищі, що впливають на попит	Розробка стратегій адаптації до ринкових умов; розширення або зміна напрямків діяльності для відповіді на зміни у суспільстві.
6.	Несанкціоноване використання	Ризик витоку технічної інформації та недозволене використання технології	Заходи з інтелектуальної власності та захисту даних; контроль доступу до конфіденційної інформації.
7.	Фінансові труднощі клієнтів	Фінансові проблеми у сфері експлуатації системи	Пошук нових ринків збуту; розробка гнучкої системи ціноутворення для підтримки клієнтів у складних фінансових умовах.

Аналіз ризиків дозволяє ідентифікувати можливі негативні сценарії та розробляти стратегії для їх управління. Зокрема, проведення регулярних технічних оглядів та постійне вдосконалення технічних характеристик допомагають зменшити вплив можливих негативних факторів та забезпечити стійке функціонування системи для доставки посилок та сортування на складах ринку.

Аналіз можливостей визначає ключові перспективи та переваги, які проект може використати для успішного впровадження на ринку (таблиця 4.8).

Таблиця 4.8. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Ринковий попит	Зростання попиту на автоматизовані системи доставки та сортування посилок.	Розробка та реалізація нових стратегій маркетингу та розширення виробничих обсягів.

2.	Технологічний прогрес	Розробка нових технологій для покращення функціональності та ефективності системи керування гуманоїдним роботом.	Впровадження інновацій та модернізація технічних рішень для підвищення продуктивності.
3.	Законодавча підтримка	Підтримка владних структур та законодавчих ініціатив для покращення безпеки доставок.	Активна участь у впровадженні нових стандартів та відповідності законодавству.
4.	Співпраця з іншими галузями	Можливість співпраці з іншими галузями для розширення функціоналу системи доставки та сортування.	Укладання стратегічних партнерств для створення комплексних рішень у сфері логістики.

Таблиця 4.8 ідентифікує ключові можливості для системи автоматизованого управління гуманоїдним роботом для доставки та сортування. Реакція компанії включає в себе впровадження технологічних нововведень, розширення стратегій продажу та активну участь у встановленні стандартів безпеки, а також укладання стратегічних партнерств.

Таблиця 4.9 зосереджується на ступеневому аналізі конкурентного середовища на ринку. У ній відображено оцінку впливу ключових факторів, які визначають конкурентоспроможність учасників ринку.

Таблиця 4.9. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Зростання попиту на автоматизовані системи доставки та сортування	Зростання обсягів ринку та приваблення нових клієнтів	Розширення виробничих можливостей, маркетингові кампанії для приваблення клієнтів

Законодавчі обмеження та стандарти в галузі	Вимоги до дотримання стандартів та законодавства у сфері автоматизації	Співпраця з органами регулювання, вдосконалення виробничих процесів у відповідності до стандартів
Низька цінова конкуренція	Зменшення цін на ринку та конкуренція за ціновими показниками	Оптимізація виробництва, вдосконалення процесів для зниження витрат
Висока складність технологій у конкурентів	Створення більш складного та функціонального обладнання	Зосередження на дослідженнях та розробці нових технологій, що перевершують конкурентів
Зростання екологічних та етичних вимог споживачів	Збільшення уваги споживачів до екологічних та етичних аспектів продукції	Розробка та впровадження екологічно чистих технологій, підвищення стандартів виробництва

Збільшення попиту, складність технологій у конкурентів та вимоги законодавства визначають необхідність стратегічного розвитку, оптимізації та співпраці з регулюючими органами. Компанія має активно реагувати на зміни в екологічних та етичних стандартах, щоб забезпечити свою конкурентоспроможність на ринку. Після оцінки конкуренції, планується більш детальний аналіз умов та обставин, що визначають конкурентну боротьбу в цій галузі.

Таблиця 4.10. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Оцінка рівня конкуренції та домінування існуючих гравців на ринку.	Визначення можливостей для нових учасників на ринку та їх можливого впливу.	Аналіз важливих постачальників та визначення їх впливу на ціни та якість.	Визначення, наскільки залежність від окремих клієнтів може впливати на бізнес.	Оцінка можливостей конкурентів та можливих замінників на ринку.

Висновки:	Компанія "HolaRobots", Компанія "Starship robot"	Стартап "Relay Robotics"	Виробник роботів "Robot Advance", Постачальник сенсорів кольору "Nix Sensor"	Організації доставки посилок, виробничі компанії складами	з зі	Традиційна людська доставка, ручне сортування на виробництвах
-----------	--	--------------------------	--	---	---------	---

Аналіз конкурентного середовища для проекту "Автоматизована система керування гуманоїдним роботом під час руху по сходах та схилах для доставки посилок та сортування на складах" вказує на середню конкурентну інтенсивність. Розуміння переваг і недоліків, потенційних загроз і можливостей дозволяє ефективно управляти фірмовими процесами і забезпечувати конкурентоздатність на ринковій арені.

"Обґрунтування факторів конкурентоспроможності" надає вичерпний огляд ключових елементів, які визначають успішність нашого проекту в конкурентному середовищі. Цей аналіз допоможе зрозуміти, як вдосконалити фактори, що впливають на конкурентоспроможність та досягти стратегічних цілей.

Таблиця 4.11. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Вартість продукту	Ми пропонуємо конкурентоспроможні ціни при високому рівні якості та функціональності.
2	Технічна інноваційність	Наш проект використовує передові технології, що дозволяє нам бути помітними на фоні конкурентів.
3	Система підтримки клієнтів	Наша компанія пропонує ефективну та оперативну підтримку, забезпечуючи задоволення клієнтів на високому рівні.



4	Екологічність	Проект орієнтований на зменшення впливу на навколишнє середовище, що є перевагою в сучасному ринковому середовищі.
5	Гнучкість та адаптивність	Ми швидко реагуємо на зміни в ринкових умовах та можемо швидко вдосконалювати продукт відповідно до потреб клієнтів.

Таблиця 4.12. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патентів	18				+			
2	Велика кількість постачальників	14			+				
3	Висока якість	15		+					
4	Технічна підтримка	15			+				
5.	Ціна	16						+	

З аналізу таблиць 4.11 та 4.12 видно, що фактори конкурентоспроможності виявилися значущими та відзначаються великим позитивним внеском при низькій ціні та гнучкості використання. Основною перевагою та ключовим досягненням є висока якість продукту та надання технічної підтримки на протязі усього терміну його використання споживачем.

Таблиця 4.13. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Висока якість продукту.</li> <li>2. Ефективна технічна підтримка протягом усього терміну експлуатації.</li> <li>3. Інноваційні технології.</li> <li>4. Команда з досвідом та експертизою у галузі.</li> </ol>	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обмежений бюджет для маркетингу та реклами.</li> <li>2. Відсутність широкого розповсюдження бренду.</li> </ol>
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ріст попиту на ринку нових програмних рішень.</li> <li>2. Збільшення світового інтересу до екологічних технологій.</li> </ol>	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зростання конкуренції в галузі.</li> <li>2. Зміни в законодавстві, що можуть вплинути на ринковий доступ.</li> <li>3. Технічні труднощі при впровадженні нових функцій.</li> </ol>

3.Розширення продуктової лінійки для включення нових функцій. 4.Партнерство з ключовими гравцями ринку для спільного розвитку проектів.	4.Негативний вплив економічних факторів на покупкоспроможність
--	--

SWOT-аналіз стартапу підкреслив його сильні сторони - якість продукту та технічна підтримка, але його виклики включають обмежений бюджет на маркетинг та залежність від постачальників. Можливості для росту включають збільшення попиту на програмні рішення та можливість розширення лінійки продуктів. Загрози включають високу конкуренцію та негативний вплив змін у законодавстві. З урахуванням цього стартап має стратегічно використовувати свої сильні сторони для максимізації можливостей та протистояння загрозам та слабким аспектам.

Таблиця 4.14 аналізує альтернативи впровадження стартап-проекту на ринку.

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Розробка та впровадження інноваційної системи сортування посилок для гуманоїдного робота.	Висока	15 місяців
2	Співпраця з ключовими постачальниками для створення спеціалізованих систем доставки.	Висока	16 місяців
3	Введення пілотних проектів у співпраці з логістичними компаніями для впровадження системи доставки.	Середня	20 місяців

4	Розробка та розширення системи для різних галузей: торгівля, медицина, тощо.	Середня	32 місяців
---	--	---------	------------

Після уважного аналізу переваг, недоліків, можливостей та загроз стартап проекту стає очевидним, що стратегії з використання сильних сторін для зменшення впливу ризиків на ринку, отримання державного замовлення та залучення інвестицій для глобального розширення є найбільш перспективними. Ці альтернативи мають високу ймовірність успіху, а їхні строки впровадження відповідають оптимальним параметрам.

#### 4.3 Розроблення ринкової стратегії проекту

Спочатку, для розробки ринкової стратегії, необхідно визначити стратегію охоплення ринку, що включає опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.15. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Електронна комерція та інтернет-торгівля	Висока	Середній	Середня	Складна
2	Логістичні компанії та складські сервіси	Низька	Середній	Середня	Легка
3	Технологічні компанії та стартапи	Середня	Середній	Середня	Складна

4	Магазини з доставкою та поштової служби	Висока	Високий	Середня	Легка
5	Медичні установи та фармацевтичні компанії	Висока	Високий	Середня	Складна
Які цільові групи обрано: Під час аналізу потенційних груп споживачів були вибрані підприємства, де є доставка або сортування продукції.					

Розглянувши цільові групи, можна відзначити відмінності у готовності, попиті, рівні конкуренції та складності входу на ринок. Підприємства, що працюють у сфері логістики та складських послуг, показують середній попит та відносно низьку конкуренцію, що робить їх привабливими для впровадження даного проекту. Хоча технологічні компанії та стартапи мають високий попит, вони також стикаються з високим рівнем конкуренції та складності входу на ринок. Медичні установи та фармацевтичні компанії показують високий попит, але мають значну конкуренцію та складність входу.

У Таблиці 4.16 визначено варіант розвитку продукту, який передбачає підвищення його точності. Основною стратегією охоплення ринку вибрано диференційований маркетинг.

Таблиця 4.16. 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 продукту	Диференційований маркетинг	Покращена алгоритму пошуку найкоротшого шляху, технологічна передовість	Розширення функціональності

2	Розширення функціональності продукту	Цільовий маркетинг	Розширення можливостей, швидкості та ефективності робота	Диференціація за характеристиками
3	Вдосконалення системи безпеки	Загальний маркетинг	Підвищена надійність та захищеність від несанкціонованого доступу	Збільшення безпеки та надійності
4	Розширення географії ринкового впровадження	Загальний маркетинг	Покриття нових регіональних ринків	Розширення ринкового обсягу

Обрані варіанти розвитку проекту включають підвищення точності та функціональності продукту, покращення системи безпеки та розширення географії ринкової діяльності. Застосування різних стратегій маркетингу - диференційованого, цільового та загального - демонструє способи охоплення ринку. Кожна з цих альтернатив має свої конкурентні переваги, які сприяють визначенню основної стратегії розвитку, такої як розширення функціональності, відмінність та підвищення безпеки та надійності продукту.

Далі важливо визначити обрану стратегію конкурентної поведінки, яка відображена в таблиці 4.17.

Таблиця 4.17. 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	Ні	Диференційована

Результати аналізу базової стратегії конкурентної поведінки показують, що проект не є першопрохідцем на ринку, але спрямований на

залучення нових клієнтів. Він не намагається скопіювати основні риси конкурентів, а обрав стратегію диференційованої конкуренції. Цей підхід сприяє створенню унікальних пропозицій для цільової аудиторії та підвищує конкурентоздатність на ринку.

Основаючись на потребах споживачів у вибраному сегменті та стратегії розвитку та конкурентної поведінки, формується стратегія позиціонування. Ця стратегія визначає формування ринкової позиції, яку споживачі повинні асоціювати з проектом.

Таблиця 4.18. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувавши комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Підвищена точність та надійність доставки та сортування	Удосконалення функціональності	Висока точність руху, надійність	Точність, Надійність, Інтеграція з існуючими системами безпеки
2	Автоматизація та оптимізація процесу доставки	Розширення ринків та покращення ефективності	Висока автоматизація руху, оптимізація	Автоматизація, Надійність, Швидкість реакції
3	Ефективна технічна підтримка та навчання	Диференціація сервісу	Ефективна технічна підтримка, навчання користувачів, оновлення ПЗ	Технічна підтримка, Навчання, Системні оновлення
4	Адаптованість до різних умов роботи	Глобальне впровадження та готовність до різних умов	Адаптованість до різних умов роботи	Глобальна адаптованість, Готовність до різних умов, Ефективність в різних сферах
5	Високий рівень безпеки	Інновації	Захищеність даних, шифрування	Конфіденційність, Шифрування, Захищеність

та конфіденційно сті даних			
----------------------------------	--	--	--

Цей підрозділ допоміг у визначенні основної стратегії поведінки компанії на ринку, яка визначає її напрямок взаємодії з ринком.

#### 4.4 Розроблення маркетингової програми стартап проекту

Під час формування маркетингової програми перший етап включає в себе розробку концепції товару, яку споживач отримає. У таблиці 4.19 узагальнюються результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.19. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
	Рух по сходах та схилах для доставки посилок та сортування на складах	Автоматизована система керування гуманоїдним роботом	Вирішення проблеми неефективності та складнощів у доставці та сортуванні посилок на складах через обмеження руху гуманоїдних роботів по сходах та схилах. Цей проєкт пропонує автоматизовану систему, що оптимізує рух робота, забезпечуючи ефективну доставку та безпечне сортування вантажів.

Розглянувши ключові переваги концепції потенційного товару для проєкту "Автоматизована система керування гуманоїдним роботом", виявлено, що вона пропонує інноваційний підхід до безпечної та ефективної доставки вантажів на склади через автоматизований контроль за рухом робота по сходах і схилах. Використання цієї системи дозволяє оптимізувати процес доставки, зменшуючи ризики та витрати, та забезпечує швидку реакцію на змінні умови роботи.

Таблиця 4.20 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Система руху робота по сходах та схилах		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Гл/Е/Ор
	1. Спеціалізовані компоненти та сенсори для руху в різних умовах	1.Нм 2.М	1.Тл 2.Тх
	2. Різноманітність у використанні матеріалів та обладнання	3.М 4.М	3.Е 4.Вр
	3. Виробництво за індивідуальними замовленнями	5.М	5.ОР
	4. Частковий аутсорсинг деяких етапів виробництва		
	5. Контроль якості відповідно до встановлених стандартів		
	Якість: відповідає нормам ДСТУ 2226-93		
	Пакування: робот в герметично запакованій упаковці		
	Марка: RoboWalker 3000		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: надається можливість протестувати прилад до купівлі		
	Після продажу: в наявності є гарантія на прилад		



Таблиця 4.20 подає модель продукту для автоматизованої системи управління роботом з трьома рівнями: від початкової ідеї до готового продукту з підтримкою. Вона акцентує на ключових характеристиках, таких як надійність конструкції, відповідність стандартам якості та післяпродажне обслуговування, що визначають високу якість системи.

Далі, таблиця 4.21 зосереджується на визначенні оптимального діапазону цін, враховуючи конкурентні ціни та доходи потенційних покупців.

Таблиця 4.21. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	140 000 грн	180 000 грн	15 000 000 грн	90 000 – 180 000 грн

У таблиці проведено аналіз для визначення цінового діапазону для споживачів, враховуючи рівень цін на аналогічні товари, стратегії цін конкурентів і доходи цільової аудиторії.

Таблиця 4.22. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Продаж на маркетплейсі Закупівля оптом	Продаж різноманітної конфігурації продукту та подальше сервісне обслуговування	Висока	Продаж великим підприємствам оптом

Після проаналізування формування системи збуту виявлені ключові фактори: особливості закупівельної поведінки цільової аудиторії, функції збуту та глибина каналу збуту. Оптимальною стратегією виявлено продаж продукції через маркетплейс та оптові постачання для великих підприємств.

Таблиця 4.23. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Інтерес до нових технологій у сфері автоматизованої логістики та роботизації доставок.	Інформаційні портали про технології, спеціалізовані онлайн-спільноти, соціальні мережі для бізнесу.	Технологічно передова система керування роботом для безпечної та швидкої доставки в ускладнених умовах.	Виділення унікальних можливостей: безпека, точність руху, ефективна система сортування на складах.	Презентація рішення з фокусом на його безпеку, точність та швидкість виконання завдань доставки й сортування.

Під час розробки маркетингової програми для стартап-проекту було виявлено основні складові попиту споживачів, визначені цільові сегменти та розроблені ефективні стратегії позиціонування й комунікацій. Планується використання різноманітних комунікаційних каналів та акцентування на технологічних перевагах продукту для привернення уваги цільової аудиторії.

#### 4.5 Організація реалізації стартап проекту

Розділ присвячений детальному аналізу та стратегічному плануванню етапів впровадження системи управління гуманоїдним роботом для пересування по сходах та схилах з метою доставки посилок та їх сортування на складах. Тут розглядаються організаційні аспекти, стратегії впровадження, а також ідентифікуються ключові чинники, що впливають на успішну реалізацію проекту.

Таблиця 4.24 Календарний план реалізації проекту

№ п/п	Зміст етапу													Собівартість реалізації
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Підготовчі роботи	X	X	X										800\$
2	Аналіз вимог			X	X	X								900\$
3	Проектування системи		X	X	X									1100\$
4	Розробка програмного забезпечення			X	X	X	X							1400\$
5	Виготовлення апаратної частини				X	X	X	X						1700\$
6	Тестування та оптимізація						X	X	X					900\$
7	Впровадження системи							X	X					7500\$
8	Оцінка та аналіз результатів							X	X	X				350\$
9	Знаходження інвестицій						X	X	X	X				1250\$
10	Запуск реклами									X	X			1100\$
11	Коригування системи									X	X			250\$
12	Підготовка звіту та завершення проекту										X	X	X	600\$

План реалізації проекту "Автоматизована система керування гуманоїдним роботом для руху по сходах та схилах, що забезпечує доставку посилок та сортування на складах", включає в себе основні кроки впровадження та вказує приблизні терміни їх завершення. Починаючи з підготовчих етапів, проект переходить до аналізу вимог, проектування, розробки програмного та апаратного забезпечення, завершуючи впровадженням та навчанням персоналу. Зменшення собівартості вказує на ефективне управління витратами під час виконання проекту.

Бізнес-модель даного продукту є наступною:

RoboWalker - нова компанія спеціалізується на розробці технологій для автоматизованого керування гуманоїдним роботом під час його руху по сходах та схилах для доставки посилок та сортування на складах. Першим етапом є розробка та виготовлення спеціалізованої системи, яка дозволить роботу ефективно переміщатися та виконувати завдання у важкодоступних місцях.

Далі, компанія пропонує послуги підтримки та модернізації системи, включаючи консультації з налаштування та покращення функціоналу роботи. Також, можливі індивідуальні розробки функцій для конкретних потреб клієнтів, що допомагають роботу відповідати специфічним вимогам.

#### **Висновки до розділу 4**

Під час дослідження та створення таблиць для стартап проекту, який передбачає роботу гуманоїдного робота для пересування по сходах і схилах для доставки та сортування, ретельно враховані різноманітні аспекти, включаючи конкурентоспроможність, стратегії росту, маркетингові комунікації тощо. Аналіз показав сильні та слабкі сторони проекту, ідентифікував фактори конкурентоспроможності та спроектував стратегії позиціонування та рекламного спілкування. Особлива увага

приділена ціноутворенню та стратегії збуту для максимізації продукту на ринку. SWOT-аналіз дозволив оцінити переваги та недоліки проекту з урахуванням зовнішнього середовища. Альтернативи розвитку враховані з огляду на можливі ризики та можливості на ринку. Розуміння цільових груп і відповідних характеристик, а також вивчення ринку допомагають налаштувати маркетингові стратегії для ефективного виходу на ринок. Адаптація продукту до потреб цільових груп є важливим етапом для успішної комерціалізації. Вибір стратегій позиціонування та конкурентної поведінки ґрунтується на ретельному аналізі ринкових умов та конкуренції. Налаштування цінової політики та встановлення цін є ключовими кроками у формуванні бізнес-стратегії. Аналіз закупівельної поведінки клієнтів та оптимальна система збуту впливають на позиціонування продукту. Глибокий маркетинговий підхід допомагає максимізувати потенціал стартапу та змагатися на ринку інноваційних технологій.

## **5. Підсумок та подальші дослідження**

### **5.1 Експерименти**

Проведення досліджень для встановлення можливості автономного пересування робота по неплоских поверхнях передбачає проведення експериментів для перевірки продуктивності робота. У рамках дослідження були проведені експерименти, спостереження за продуктивністю яких здійснювались при зміні параметрів на перешкоді та на роботі. Нижче наведено параметри, що змінювались для аналізу продуктивності:

- Робот: Швидкість
- Східці: Кут нахилу
- Сходи: Висота кроку

Випробування досліджували, наскільки добре робот може подолати перешкоди на трьох різних швидкостях: повільна, нормальна, швидка. Різні швидкості визначалися часом, необхідним для виконання одного кроку. Нормальна швидкість вважається базовим випадком, повільна вдвічі довше за нормальну швидкість, а швидка - напівчасом від нормальної швидкості. Розділ 5.2 детально розглядає результати кожного випробування. Для кожного експерименту виконувалось 10 спроб, поступово збільшуючи параметр експерименту. Спроба вважалася успішною, якщо робот зміг піднятися та спуститися по перешкоді без падінь.

## **Експеримент на схилі**

Метою експерименту зі схилом було визначити, до якого нахилу робот може справлятися без зовнішньої підтримки. Згідно з державними будівельними нормами України для будування пандусів для людей з обмеженими можливостями, максимальний кут нахилу схилу повинен бути 18 градусів[11]. Тому перший експеримент починається з кута 2 градусів, а потім збільшується на 4 градуси кожний експеримент, з додатковим експериментом на 30 градусів, що вважається крутим для людей.

## **Експеримент на сходах**

Метою експерименту зі сходами було визначити, яку висоту сходинки робот може подолати без зовнішньої підтримки. Згідно зі стандартами будівельних норм України, висота ступеня сходів в житлових будинках повинна бути не менше 10.16 сантиметрів і не більше 19.685 сантиметрів; Цей діапазон відноситься до висоти щиколотки людини. Оскільки нижня частина ноги Darwin-Op складає лише 9.29 сантиметри, а висота щиколотки - 3.35 сантиметри, це означає, що робот може подолати максимальну висоту сходинки в 9.29 сантиметри. Мінімальна висота ступеня сходу для житлових будинків перевищує максимальну, яку може подолати робот, тому симульовані сходи були зменшені, щоб мати мінімальну висоту ступеня 1.27 сантиметра і максимальну 3.81 сантиметри. Перший етап починається з висоти ступеня 1.27 сантиметри, а потім збільшується на 0.77 сантиметри кожен експеримент.

## 5.2 Результати

Після проведення експериментів результати можна побачити нижче. Для базового пояснення результатів, "пройшов" означає, що робот пройшов всі спроби. "не пройшов" вказує на те, що він не пройшов жодної спроби, а "x/10" вказує на кількість пройдених спроб з 10.

### Результати на схилі

З результатів, наведених у Таблиці 5.2.1, можна зазначити, що немає проблем з підйомом на схилі під кутом 14 градусів. На позначці 18 градусів були деякі невдачі на швидких швидкостях через ковзання. Для амбіційної цілі в 30 градусів не вдалося пройти на жодній швидкості через те, що стопа не могла належним чином утриматися на схилі і зісковзнула.

Кут(в градусах)	Повільно	Помірно	Швидко
2	Пройшов	Пройшов	Пройшов
6	Пройшов	Пройшов	Пройшов
10	Пройшов	Пройшов	Пройшов
14	Пройшов	Пройшов	Пройшов
18	Пройшов	Пройшов	7/10
30	Не пройшов	Не пройшов	Не пройшов

Таблиця 5.2.1 Експерименти на схилах



## Результати на сходах

З результатів, представлених у Таблиці 5.2.2, видно, що будь-яка висота сходинки, яка була нижче висоти щиколотки робота, мала кілька успішних спроб. Невдачі на менших висотах сходинок часто відбувалися через неправильне розташування ноги. Для висоти сходинки більше 1,1 в основному спостерігалися невдачі через те, що похід не мав достатньо високого кроку. Оскільки крок не був достатньо великим, нога або вдарялася у край сходинки, або зовсім не доходила. Підвищення висоти сходинки часто призводило до нестійкості робота, а спроба збільшити довжину кроку часто призводила до того, що робот самостійно йшов назад.

Висота кроку (в сантиметрах)	Повільно	Помірно	Швидко
1.27	4/10	4/10	4/10
1.78	5/10	5/10	5/10
2.29	3/10	3/10	1/10
2.79	2/10	2/10	1/10
3.3	Не пройшов	Не пройшов	Не пройшов
3.81	Не пройшов	Не пройшов	Не пройшов

Таблиця 5.2.2 Експерименти на сходах

## Ремарки

Під час виконання цієї дисертації проведення експерименту допомогло виявити слабкі місця в системі та показати, де можливі покращення. Виконання цього експерименту також допомогло визначити, що вважатиметься невдачею. Як вказано в Розділі 3.7, перехід з схилу на плоску поверхню може призвести до падіння робота; Проблема переходу в основному виникає через проблеми з вирівнюванням висоти схилу та блоку, з'єданого з схилом. Хоча робот падає - це не вважається невдачею, оскільки робот не падає під час перетину схилу, це не вважається невдачею.

Крім проблем з вирівнюванням, було помічено, що кут нахилу верхньої частини тіла впливає на ходьбу. Це зрозуміло, оскільки робот підданий впливу гравітації, що означає, що поза верхньої частини тіла може змінити центр маси. Для вирішення цієї проблеми кут верхньої частини тіла потрібно було змінювати перед підйомом або спуском.

Ще одне, на що варто звернути увагу, - це різниця між схилом і сходами - це гладкість поверхні. На схилі немає нічого, на що можна було б наступити, оскільки вся поверхня гладка, але сходи можна вважати зубчастим схилом. Оскільки на сходах є краї, крок на край може спричинити значні проблеми для подальшого перетину наступної сходинки. Це означає, що правильне розміщення стопи було критичним, як це було помічено в результатах експерименту зі сходами та схилом.

## ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації під назвою "Система керування гуманоїдним роботом під час руху по сходах та схилах" обговорювалася запропонована методологія та впровадження для досягнення автономного переміщення по нерівних поверхнях за допомогою гуманоїдного робота Darwin-Op. Метою дисертації було вирішення проблеми автономного збалансованого переміщення на неплоских поверхнях.

Методологія передбачала використання технік комп'ютерного зору для виявлення та розпізнавання об'єктів, зокрема для ідентифікації неплоских поверхонь, таких як сходи і схили. Система керування з використанням комп'ютерного зору дозволяла роботу підходити до перешкод, надаючи напрямок на основі виявлення кольору.

Щодо аспекту теорії керування, у дисертації використовувався концепт планування траєкторії точки нульового моменту (ZMP) за допомогою моделі візок-стіл для центру мас робота. Цей підхід дозволяв роботу успішно орієнтуватися по сходам та нахилам за допомогою планування траєкторії, яка забезпечувала збалансованість.

Результати дослідження показали, що робот Darwin-Op здатний автономно рухатися по нерівних поверхнях. Однак було зауважено, що більш гладкі поверхні, наприклад, схили, дали кращі результати порівняно зі сходами, оскільки робот стикався з викликами при досягненні правильних опорних точок для вищих ступенів.

Загалом, дисертація продемонструвала можливість автономного переміщення по нерівних поверхнях за допомогою гуманоїдного робота Darwin-Op, поєднуючи техніки комп'ютерного зору та теорії керування.

## **Подальші дослідження**

Хоча для цього дослідження є багато можливостей, таких як тестування на фізичному роботі, цей розділ висвітлює деякі з основних напрямків дослідження, які могли бути проведені за більш довгий час.

### **Вдосконалення ходьби**

Як показано у Розділі 5.2, жоден із випробувань не мав 100% успішності. Для підвищення рівня успішності метод сходження по сходам можна покращити до більш реактивного підходу. Замість планування траєкторії наперед, траєкторія буде плануватися під час сходження робота по сходах. Робот може використовувати логіку комп'ютерного зору для виявлення прямих країв сходів, створення з них прямокутника і використання цього як керуючої точки для наступного кроку.

Щодо сходження по схилу, єдине покращення тут - покращення переходу від схилу до рівної поверхні і навпаки. Деякі покращення можна зробити, переконавшись, що середовище не змінюється під час виконання.

### **Виявлення об'єктів**

Поточний алгоритм виявлення об'єктів недостатньо надійний, оскільки перешкода може мати той самий колір, що й інший випадковий об'єкт. Надійність можна збільшити за допомогою використання технік машинного навчання для виявлення та класифікації об'єктів; використання машинного навчання також дозволить роботу точніше оцінювати положення об'єкта.

## **Підйом та спуск по драбинам**

Під час початкового дослідження для цієї дисертації метою було автономне підйом по набору сходів за допомогою гакових захватів, властивих Darwin-Op [12]; Однак фокус дисертації довелося змінити через поточні обмеження програмного забезпечення для симуляції. Запропонована методика автономного підйому по набору сходів розділена на два кроки. Перший полягає в ідентифікації сходів та підступенів за допомогою функції фільтрації кольорів, як описано у Розділі 2, або за допомогою локалізації підступенів за даними хмари точок [13]. Другий крок полягає у підйомі по сходах шляхом обчислення траєкторії всього тіла для кожного підступеня [14] до захоплення останнього підступеня.

## Список використаної літератури

1. Кулаков Д.Б. Розробка і дослідження виконавчого механізму з електрогідравлічними приводами для системи управління рухом двоногого крокуючого робота – Редакція журналу Інженерія та сталий розвиток, 2009, – с. 25
2. Основи робототехніки = Fundamentals of robotics: навч. посіб. / Н. В. Морзе, Л. О. Варченко-Троценко, М. А. Гладун ; Київ. ун-т ім. Бориса Грінченка. 2016
3. Ткач М.М., Гуменний Д.О., Якуніна Н.О. Динамічна модель антропоморфного крокуючого апарата врахуванням моментів та сил взаємодії з опорною поверхнею – КПІ ім. Ігоря Сікорського. –Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2012
4. Хусаїнов Р.Р. Система управління рухом двоногих кроку робота. – Казанський національний дослідницький технічний університет імені А. Н. Туполева, 2018 – 150 с.
5. Вьюгин В. В. Математичні основи теорії машинного навчання і прогнозування / В. В. Вьюгин. – М.: 2013. – 387 с.
6. Антоніо Р Хіменез, Фернандо Секо. Розрахунок пішохода з прикріпленим до ноги інерційно вимірювальним блоком і виявленням схилів. Конференція IEEE Sensors 2011, 2011.
7. Мануель Крістосто і Антоні Коїмбра. Розгляд динамічної та статичної стійкості двоногого робота - 2005, – с. 48
8. Роберт Л. Вільямс. Кінематика гуманоїдного робота Darwin-op - 32-а конференція «Комп'ютери та інформація в техніці». 2012
9. Філіп Сардаїн. Сили, що діють на двоногого робота. центр тиску - точка нульового моменту - 2004 , – с. 59
10. Cyberbotics. WeBots: robot simulator. <https://cyberbotics.com/> 1998
11. Кабінет Міністрів України <https://www.kmu.gov.ua/> - державні будівельні норми України для будування пандусів

12. Інянг Ха, Юсуке Тамура, Хазіме Асама. Розробка відкритої платформи гуманоїдного робота darwin-op “Розширена робототехніка”. - 2012. – с. 223
13. Нечаєв В. Геометрія скелета, біомеханіка ходьби, кінематичні ланцюги. Математична морфологія: електронний математичний і медикобіологічної журнал - 2000. – с. 19
14. Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семьонов С.Е. [Електронний ресурс] / Управління рухом двоногого крокуючого робота по програмній траєкторії – 2018. – с. 36
15. Масао Каназава. Міцна вертикальна драбина для підйому та переходу між драбиною та подіум для гуманоїдних роботів. 2015, – с.51
16. Куц, Ю. В. Спеціальні розділи математики. Курс лекцій [Електронний ресурс] / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. –Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 180 с.
17. Статистичні методи визначення залежностей між випадковими величинами: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 115 с.
18. Комп'ютерне проектування електронних схем. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник / Р. М. Галаган ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 21,33 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 419 с.