

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

Освітній рівень

Метод навігації мобільного робота із технологією прийняття рішень

Назва теми

КВРАКІТР.2023208.02.10 ПЗ

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

Шифр, назва

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка»

Назва

Виконав:

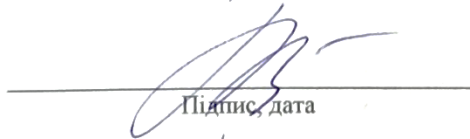
студент ІІ курсу, група АКІТРм-23-2

  
Підпис

Олександр ПЕРОВ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник

  
Підпис, дата

Галина РАДЕЛЬЧУК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
зав. кафедри АКІТтаР

  
Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 15 » грудня 2024 р.

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКИТтаР

Валерій МАРТИНЮК 

01 вересня 2024р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Перову Олександр Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Метод навігації мобільного робота із технологією прийняття рішень

Керівник роботи Радельчук Галина Іванівна, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26.08.2024 р. №60



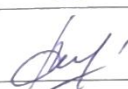

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.12.2024р.

3 Вихідні дані до роботи Аналіз існуючих методів та алгоритмів забезпечення автономного руху мобільних роботів. Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Вступ. Визначення області досліджень. Дослідження навігації мобільних роботів, що є автономними. Розробка алгоритму знаходження траєкторії. Імітаційне моделювання. Висновки

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)  
презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКИТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКИТтаР		

7 Дата видачі завдання 01 вересня 2024р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	10.09.2024р.	Виконано
2	Огляд літературних джерел та патентних даних	25.09.2024р.	Виконано
3	Огляд існуючих методів та алгоритмів забезпечення автономного руху мобільних роботів	15.10.2024р.	Виконано
4	Алгоритмічне проектування	30.10.2024р.	Виконано
5	Розробка програмного забезпечення	10.11.2024р.	Виконано
6	Висновки	15.11.2024р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	20.11.2024р.	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	1.12.2024р.	Виконано

Студент

  
Підпис

Олександр ПЕРОВ

Ім'я, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

Галина РАДЕЛЬЧУК

Ім'я, прізвище

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод навігації мобільного робота із технологією прийняття рішень».

Автор роботи: Перов Олександр Сергійович.

Керівник роботи: Радельчук Галина Іванівна, к.т.н., доцент

Пояснювальна записка: 85 с., 22 рис., 2 табл., 1 дод., 80 джерел.

Графічна частина: 13 презентаційних слайдів.

Ключові слова: РОБОТ, АЛГОРИТМ, ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, ОПТИМІЗАЦІЯ, УПРАВЛІННЯ.

**Мета роботи:** розробити методи та алгоритми забезпечення автономного руху мобільних роботів.

Розглянуто задачу оцінки зовнішнього середовища в результаті використання інформації технічних візуальних систем. Розглянуто та впроваджено різні методи побудови систем керування та позиціонування, щоб забезпечити рух робота по заданій траєкторії та уникнення перешкод.

У роботі досліджено різні навігаційні системи та алгоритми подолання перешкод мобільних роботів, а також реалізовано два різних алгоритми керування мобільними роботами: інтелектуальний (невідомі перешкоди) та оптимізація на основі інтелектуальних даних.

На основі цього дослідження розроблено програмний продукт для керування мобільними роботами за допомогою JAVA.

  
Підпис студента

02.12.2024  
Дата

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	8
1.1 Класифікація роботів .....	8
1.2 Роботи, що є мобільними .....	10
1.3 Необхідні знання для рішень у навігаційних задачах .....	13
1.3.1 Картографування .....	14
1.3.2 Визначення локалізації.....	15
1.3.3 Одночасне визначення локалізації та картографування.....	16
1.3.4 Знаходження мапи .....	17
1.4 Автоматизовані системи з нечітким логічним аналізом .....	18
1.5 Висновки до першого розділу .....	19
2 ДОСЛІДЖЕННЯ НАВІГАЦІЇ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ, ЩО Є АВТОНОМНИМИ .....	20
2.1 Огляд систем навігації .....	20
2.2 Застосування декодерів.....	29
2.3 Інерційні системи навігації.....	30
2.4 Візуальна одометрія .....	32
2.5 Стеження за переміщенням за допомогою глобальних систем навігації..	33
2.6 Порівняння підходів навігації .....	44
2.7 Висновки до другого розділу.....	46
3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ЗНАХОДЖЕННЯ ТРАЄКТОРІЇ .....	47
3.1 Математичні засади алгоритмів пошуку.....	47
3.2 Загальна поняття про алгоритми знаходження траєкторії.....	49
3.3 Застосування евристичної функції у алгоритмах пошуку .....	52
3.4 Порівняльний аналіз алгоритмів знаходження траєкторії .....	52
3.5 Обґрунтування обрання алгоритму і суть оптимізації.....	62
3.6 Висновки до третього розділу .....	62

4 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ .....	64
4.1 Опис можливостей програми.....	64
4.2 Аналіз результатів алгоритму, що є оптимізованимА* .....	72
4.3 Висновки до четвертого розділу.....	74
ВИСНОВКИ .....	75
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	77
ДОДАТОК А Стаття у фаховому журналі.....	86

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) – одночасна локалізація та картографування;

GPS (Global Positioning System) – супутникова система навігації;

NPL (Natural Language Processing)– Обробка природної мови;

2D (Two-Dimensional) – двовимірний простір;

3D (Three-Dimensional) – тривимірний простір;

ГЛОНАСС – глобальна навігаційна супутникова система;

СКС – Стохастична контекстно-вільна граматики.

## ВСТУП

**Актуальність роботи** Робот — це машина, призначена для зміни навколишнього середовища. Має здібності людини або тварини. Термін «робот» також означає певний рівень автономії щодо самостійної роботи. Автоматизовані роботи набули величезного значення зі збільшенням застосування автоматизації рутинних дій у промисловій автоматизації та управлінні складами, а також у певних сферах, які можуть бути небезпечними для людини, наприклад космічні дослідження, військові операції та пошуково-рятувальні роботи. .

Мобільні роботи здатні пересуватися в 2D або 3D просторі. Поки що немає рішення щодо того, чи будуть сертифіковані роботи зосереджені на мобільних роботах, які рухаються у дво- чи тривимірному просторі. Навігація робить мобільного робота — процес визначення його поточного положення в просторі та переміщення до визначеної точки. Самохідні мобільні роботи знаходять застосування на складах для транспортування вантажів, для повсякденної діяльності, наприклад пирососу, а також для перевезення пасажирів у транспортних засобах. Дослідження небезпечного або незвіданого космічного простору, а також виконання пошуково-рятувальних місій. Хоча вони встановлюються в різних галузях з різними вимогами, усі вони залежать від автономної навігації.

Більшість комерційно доступних сьогодні мобільних роботів доступні як апаратне, так і програмне забезпечення. Апаратні частини пристрою включають датчики та виконавчі механізми. Датчики – це пристрої, які виявляють і оцифровують різні показання в навколишньому середовищі, наприклад світло чи тепло. Вони зчитують дані, особливо інформацію, отриману від датчиків роботів, щоб створювати команди, які дозволять роботу виконувати свої функції в сигналі, призначеному для завдання. Причин для поділу рішень на апаратне та програмне забезпечення багато. Це дозволяє виробникам роботів виготовляти стандартних роботів без необхідності розробляти спеціальні програми, а також надає користувачам можливість використовувати запрограмовані алгоритми прийняття рішень.

Одним із невід'ємних компонентів прийняття рішень є планування, обґрунтування, навчання та робототехніка. Встановлює курс дій для майбутніх цілей організації. Обґрунтування перевіряє, наскільки даний набір відомих фактів може підтвердити тезу. Дізнайтеся з минулого досвіду, як можливо підвищити якість рішень. Використання штучного інтелекту в робототехніці призведе до підвищення ефективності роботи роботів на основі їх досвіду.

У ході розвитку наук, таких як автоматизація та штучний інтелект, якщо в сучасних датчиках роботів вони отримують інформацію через дані в таких ефективних системах, які здатні приймати незалежні рішення та зводити до мінімуму помилки, тоді виконання поставлених завдань добре.

Одним із найскладніших є автоматичне керування траєкторією робота за наявності перешкод. Найважливішим фактором тут є наявність необхідних датчиків або підсистем робота, які б дозволяли однозначно визначати наявність, тип і відстань до перешкод, а також формувати точні та своєчасні дії щодо зміни траєкторії руху та подальшого руху.

**Метою роботи** є розгляд існуючих методів і алгоритмів автономного пересування мобільних роботів. Розглянемо задачу оцінки зовнішнього середовища в результаті використання інформації технічних візуальних систем. Обговоримо побудову систем керування та визначення позиції різними методами та реалізуємо їх для забезпечення об'їзду робота по заданій траєкторії.

**Об'єкт дослідження** – процеси забезпечення навігації підсистеми мобільного робота для автономності його функціонування.

**Предмет дослідження** – алгоритми керування рухом робота що базуються на сімействі методів прийняття рішень щодо траєкторії, з необхідністю коригування рухів навіть для уникнення перешкод, у разі відсутності інформації про об'єкти.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати існуючі методи та алгоритми забезпечення автономного руху мобільних роботів;

- проаналізувати методи оцінки зовнішнього середовища з використанням інформації систем технічного зору;

- вивчити фактори, які впливають на конструкцію систем управління та позиціонування, щоб гарантувати, що робот може рухатися, уникаючи перешкод;

– розробити алгоритми керування роботами на основі систем прийняття рішень та виконувати необхідні розрахунки, вимірювання та коригування вибраних алгоритмів керування;

– розробити алгоритми картографування з неповною інформацією про навколишні об'єкти;

– реалізувати алгоритм знаходження найкоротшого траєкторії, модифікація алгоритму;

– проаналізувати реалізацію розроблених алгоритмів.

**Наукова новизна:** полягає у розробці методу навігації мобільного робота із застосуванням технології прийняття рішень, що покращує функціональні можливості мобільного робота.

# 1 ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Класифікація роботів

Предметом дослідження робототехніки є створення та використання роботів та інших робототехнічних засобів різного призначення.

Робот — це автомат загального призначення, призначений для виконання механічних рухів, які виконують роботу, як це робить людина під час ручної праці або допоміжних операцій або пересування. З моменту створення першого робота — і до сьогодні — усі роботи фактично моделювалися на основі фізичних здібностей людини. Бажання замінити людину від напруженої роботи було ідеєю, яка заклала основу створення роботів, потім першими примхами зробити це (у Середньовіччі) і, нарешті, це бажання породило сучасну робототехніку [3].

Найпоширенішими та широко використовуваними роботами є роботи-маніпулятори та мобільні роботи.

Маніпулятивний робот - це стаціонарна або мобільна машина з виконавчим пристроєм (маніпулятором) з різним ступенем переміщення і пристроєм управління, який виконує функції руху і функції управління під час роботи. Маніпуляційна праця набула поширення переважно в машинобудівній промисловості.

Мобільний робот – це машина з мобільним шасі та автоматично керованими приводами. Такі роботи доступні в крокуючому, гусеничному і колісному варіантах (є також системи пересування плаваючих і літаючих роботів). На рис. 1.1 представлена максимально проста функціональна схема робота.

Рішення має систему виконання - маніпуляції (один або кілька маніпуляторів), рухи робота при його русі, сенсорні системи, які забезпечують роботу інформацією про зовнішнє середовище, і пристрої управління.



Рисунок 1.1 – Повна функціональна схема роботизованої системи

Система руху складається з механічної частини та приводної частини. Механічна система маніпулятора, як правило, являє собою кінематичний ланцюг, який складається з ланок, які мають поступальний або кутовий рух, кінець якого, як правило, є інструментом, який використовується з певною метою.

Роботизована машина — це машина з попередньо запрограмованою або керованою користувачем поведінкою; він може бути стаціонарним або мобільним і використовується як у детермінованих, так і в неописуваних середовищах і процесах. Роботи включають як Цілком автономні системи (які Цілком контролюються машиною), так і інтерактивні системи (які частково контролюються оператором). Це дозволяє розглядати не тільки механічні системи, які оснащені маніпуляторами, а й великий клас роботизованих пристроїв, які є мобільними та мають взаємодію.

Робототехніка є похідною від кібернетики та механіки, ці науки вносять нові підходи до розвитку цих галузей. Для кібернетики це в першу чергу стосується інтелектуального керування роботами, задіяні необхідні механічні компоненти та механізми, наприклад маніпулятори.

Сьогодні, незважаючи на значні досягнення в технологіях і знаннях, які

відбулися з моменту створення перших роботів, роботам ще потрібно пройти довгий траєкторія, перш ніж їх можливо буде вважати порівнянними з людьми за рівнем інтелекту. Проте вже існує безліч роботів, робототехнічних систем і комплексів, які призначені для виконання різноманітних завдань. Одним із найважливіших атрибутів роботів сьогодні є їх універсальність.

Універсальність роботів дозволяє їм брати участь у задуманих діях і мають певний рівень інтелекту. Це дає багато можливостей роботам бути як основним технічним компонентом, так і допоміжним компонентом, який замінює людську працю в обслуговуванні цього обладнання.

Універсальність роботів дозволяє людям автоматизувати будь-яку процедуру, а швидкість, з якою їх можливо перепрограмувати для участі в нових процедурах у міру створення нових продуктів або інших виробничих змін, дозволяє людям брати участь у нових виробничих процесах сьогодні.

Промислові роботи (складні роботи) — це універсальні та універсальні інструменти, необхідні для автоматизації сучасного виробництва та часто змінюваних продуктів, які воно виробляє.

## 1.2 Роботи, що є мобільними

У цьому розділі описано основні компоненти мобільних роботів і класифіковано різні типи мобільних систем на основі їхніх апаратних атрибутів, призначених завдань і методів прийняття рішень. Мобільні роботи використовують різноманітні датчики та виконавчі механізми. Датчики можливо класифікувати як активні або пасивні. Енергія споживається активними датчиками. Випромінювання, яке вони створюють, призначене для досліджуваної цілі. Потім датчик розпізнає та обчислює випромінювання, яке відбивається від цілі. Основна перевага активних датчиків полягає в тому, що їх чутливість знижується під впливом зовнішніх факторів, таких як час і сезон. Ці датчики виробляють світлові або звукові хвилі, які використовуються для оцінки відстані робота від найближчої перешкоди. У робототехніці датчики

відстані використовуються для розпізнавання перешкод, документування навколишнього середовища та уникнення взаємодії.

Пасивні датчики виявляють природні сигнали в навколишньому середовищі. Датчики руху та зору є найпопулярнішими пасивними датчиками. Датчики руху в основному використовуються для визначення положення робота. Вони оцінюють різні аспекти руху робота. Інерційні датчики руху вимірюють сили інерції, яких відчуває рухомий об'єкт; датчики на колесах оцінюють обертання кожного колеса. Датчики на основі зору оцінюють навколишнє середовище на ознаки радіації. Зазвичай вони використовуються для навігації, але їх також можливо використовувати для вимірювання відстані. Інші пасивні та активні датчики також гібридизовані. Kinect — це гібридний сенсор, гібридизований зі світлодіодом. Kinect використовує камери, які не мають руху для спостереження за візуальним вмістом, і інфрачервону технологію, яка є пасивною для вимірювання глибини об'єктів. Датчики Kinect часто використовуються для визначення положення та ідентифікації орієнтирів.



Рисунок 1.2 – Основні типи приводів роботів, що є мобільними: а) мото-колеса; б) робо-ноги.

Колеса та ноги є основними двигунами, які використовують мобільні

роботи. На рисунку 1.2 робот-тварина справа має ноги, кожна з яких приводиться в рух двигуном. Інші роботи використовують колеса з електричним приводом. Будь-який звичайний транспортний засіб, наприклад автомобіль або вантажівка, також можливо вважати колісним автоматом. Колісні роботи більш популярні серед мобільних роботів через їх легкість. Роботи на колесах мають менше рухомих частин, ніж роботи на ногах, що полегшує відстеження процесу. Роботизовані ноги часто мають кілька силових систем, якими складно керувати усіма одночасно.

Залежно від кількості роботів мобільні роботи можуть мати один або кілька роторів. Єдине джерело роботи не вимагає поділу праці чи колективного договору. Багатозадачні системи мають можливість виконувати завдання послідовно з іншими завданнями, що зменшує кількість часу, необхідного для виконання завдання. Крім того, вони більш надійні, оскільки збій апаратного чи програмного забезпечення не обов'язково призводить до збою усієї місії. Мультироботні системи класифікуються залежно від того, делегуються завдання одній особі чи кільком особам. Також їх можливо класифікувати за способом прийняття рішень: на центральному сервері або кожна машина самостійно регулює свої дії.

Обізнаність робота щодо сприйняття поділяється на локальну обізнаність і глобальну обізнаність. Локальні датчики отримують інформацію за допомогою вбудованих датчиків (таких як камери, датчики відстані). Глобальні датчики взаємодіють із зовнішніми датчиками, такими як GPS або камери, які записують рух робота, фактично не торкаючись його.

Завдання навігації класифікуються як один із двох типів розпізнавання або націлювання. Визнання було присвячено спостереженню за територією, не вживаючи жодних дій. Передбачається, що цільове завдання має конкретну мету, яку робот повинен досягти. У багатоцільовій навігації набір цілей може бути заздалегідь визначений і призначений для завдання перед виконанням, або набір цілей може бути невідомим і призначений для завдання, коли воно знаходить нові цілі.

Середовища роботів можливо класифікувати як структуровані та неструктуровані. Структуровані середовища, такі як офіси чи складські приміщення, мають певні геометричні візерунки (наприклад, кімнати, коридори), які полегшують потік інформації та спрощують складність структури. У неструктурованому середовищі ці очікування не досягаються, і необхідний більш індивідуальний підхід до прийняття рішень. Середовище також можливо класифікувати як статичне або динамічне. Клімат, який не розвивається під час виконання завдання, називається статичним кліматом. Якщо під час виконання завдання властивості середовища змінюються, середовище називається динамічним.

### 1.3 Необхідні знання для рішень у навігаційних задачах

Ця частина описує компоненти знань, необхідні для подорожі. Картографування створює діаграму оточення. Позиціонування робота залежить від положення та орієнтації пристрою в середовищі існування.

Набуття знань має вирішальне значення для автономного прийняття рішень щодо навігації. Знання, необхідні для автономної навігації, можливо класифікувати на екологічні знання, екологічні знання про положення та орієнтацію робота, екологічні знання про ефективні параметри робота та мету його дій. Це розуміння завжди доступне за допомогою датчиків. Це розуміння непряме і не потребує зберігання в пам'яті. Інший метод — взяти знання один раз і зберегти їх для подальших цілей.

Реактивні системи використовують лише безперервні дані датчиків і не мають внутрішнього сховища інформації. Реактивні системи на основі правил є швидкими та можуть швидко реагувати на зміни в навколишньому середовищі. Вони також можуть бути неоптимальними, тому що приймають рішення лише на основі умов у певний момент часу та можуть ігнорувати майбутні наслідки.

Системи пам'яті потребують внутрішнього зберігання даних. Це розуміння або заздалегідь визначене, або походить від сенсорного введення.

Системи, які мають простий процес обробки цієї інформації, використовуватимуть свої знання, щоб передбачити майбутній стан робота та виконувати дії, які приведуть до мети робота. Ці підходи ефективні лише в тому випадку, якщо зовнішнє середовище відображає внутрішнє уявлення робота. Багато методів є гібридними, вони постійно отримують знання від датчиків і зберігають іншу інформацію. Незалежно від того, чи зберігаються знання, кожна навігаційна система повинна мати можливість отримувати та застосовувати знання про навколишнє середовище до робота, його позицію та орієнтацію, його параметри та мету його дій.

### 1.3.1 Картографування

Карта — це візуальне зображення простору, яке корисне для навігації. Карти заходів призначені для запису геометричних властивостей середовища; топологічні карти призначені для запису зв'язків між різними територіями.

Існує два важливі підходи до побудови метричної карти: перший використовує геометричні фігури, а другий використовує імовірнісну сітку, яка називається сіткою зайнятості. Обслуговуюча робота на фабриці чи заводі використовує ці методи для створення карт навколишнього середовища. По-перше, ви повинні спостерігати, чи є рухомі бар'єри; коли ви створите точну карту, робот зможе почати навігацію. З метричними картами існують дві основні проблеми: зібрана інформація не забезпечує точність орієнтації робота відносно інших об'єктів у просторі, це може бути пов'язано з несправністю датчиків або змінами навколишнього середовища. Цей підхід ефективний лише в середовищах із правильною конфігурацією.

Employment Grid намагається вирішити ці проблеми, створивши сітку імовірнісної карти, яка імітує випадковість. Цей підхід центрує карту на кількох сітках, кожна з яких зберігає оцінку ймовірності наявності перешкоди. Це полегшує використання таких методів, як байєсівська оцінка, яка спочатку використовує інформацію про зайнятість клітини, яка потім модифікується в

міру отримання додаткових доказів за допомогою сенсорних вимірювань.

Топологічні методи виводять інформацію про зв'язки між різними областями на карті. В одному методі роботизований транспортний засіб використовує датчики для розпізнавання перешкод і слідування за ними. Компас, встановлений на роботі, може визначити напрямок перешкод. Коли робот-транспортний засіб намагається уникнути перешкоди, він створює мережу інформації про орієнтири та використовує її як засіб навігаційного орієнтування. Інший метод полягає в тому, що робот випадковим чином перетинає навколишнє середовище, знаходячи місця з унікальними атрибутами на основі сенсорних даних. Наприклад, роботизована камера може точно визначити середину камери, використовуючи в якості вимірювання «рівну відстань до сусідніх перешкод». Коли робот-транспортний засіб досягає визначеного місця, він використовує стратегію випадкового вибору та застосування, наприклад «слідувати за центральною лінією проходу» або «слідувати за краєм». Якщо зустрічається нове, раніше невідоме місце розташування, то два місця, які можна вважати унікальними, інтерпретуються як частина системи стратегій управління.

Гібридні методи використовують як топографічні, так і метричні дані для подорожей. Метричні дані зберігаються як матриця ймовірностей. Якість планування дій залежить від специфіки сітки та призначення роботизованого процесу. Пов'язування топологій з метричними даними підвищує ефективність процесу планування.

### 1.3.2 Визначення локалізації

Здатність позиціонувати є фундаментальною для навігаційних здібностей. Існує два різновиди локалізації: перший - це відстеження положення відносно початкового положення робота, це називається глобальною локалізацією, і другий - визначення його глобальних координат.

Щоб стежити за позицією, ви можете використовувати передбачувану

позицію робота відносно вихідної позиції. Рух робота можливо оцінити за допомогою одометра, який вимірює швидкість датчиків колеса для інерційного вимірювання, або акселерометра, який вимірює сили, які відчуває робот під час його руху. Імовірнісні підходи можуть підвищити продуктивність позиціонування. Один із методів полягає в тому, щоб зробити висновок про ймовірність наступного розташування, яке займе робот, на основі вимірювань датчиків і їх попереднього розташування.

Два найпоширеніші підходи до глобального позиціонування – орієнтири та показання датчиків. Орієнтири характеризуються відмінними ознаками середовища. Роботизований транспортний засіб розпізнає та зберігає орієнтири, зазначені на карті. Коли нові орієнтири ідентичні збереженим орієнтирам, робототехнічна система визначиться. Підходи на основі орієнтирів поширені в роботах, які використовують технологію зору. Роботи здатні використовувати великі нерухомі об'єкти середовища як орієнтири. Функція, яка масштабує речі, не змінюється під час читання із зображення чи його обертання, однак вона змінюється під час роботи з інформацією, яка вже присутня на зображенні.

### 1.3.3 Одночасне визначення локалізації та картографування

SLAM – це процес одночасного визначення місцезнаходження та картографування (або планування) середовища, цей процес створює карту оточення та одночасно визначає положення роботизованого пристрою на карті. Це досягається шляхом розпізнавання нових орієнтирів і виявлення відомих орієнтирів, коли машина перетинає середовище існування. Під час подорожі одометр обчислює нову адресу. Екологічні орієнтири вибираються з урахуванням нового місця розташування. Робот намагається пов'язати ці нові орієнтири з раніше розпізнаними орієнтирами. Нові орієнтири використовуються для більш точного розрахунку положення робота.

Кarti зазвичай використовуються для просторового графічного представлення положення робота, рельєфу або навігації. Кarti

використовуються для оцінки фактичного положення шляхом запису інформації, отриманої в результаті сприйняття нової інформації, порівнюючи її з поточним набором уявлень про навколишні орієнтири. Оскільки точність і якість датчиків просторової обізнаності знижуються, карти сприяють більшому оцінюванню поточного просторового розташування. Здебільшого карта відображає стан простору, зафіксований під час будівництва. Щоб карта використовувалася в будь-якому процесі, стан конструкції на момент використання не повинен бути однаковим [13].

Технічний процес визначення поточного положення та створення карти є складним, оскільки рівень точності залученого обладнання дуже низький під час розрахунку поточного положення. SLAM означає одночасну навігацію та картографування; тобто це злиття двох окремих процесів в єдиний безперервний обчислювальний цикл. Вихід одного процесу одночасно стає входом для іншого процесу.

#### 1.3.4 Знаходження мапи

Структура карти місцевості залежить від робочого середовища робота. Для кращого вибору реалізації завдань у SLAM введено умовну класифікацію операційного середовища:

- є багато характерних орієнтирів (наприклад, поля з окремими кущами);
- відсутність очевидних орієнтирів (наприклад, орієнтирами можуть служити коридори, кути кімнат);

Якщо в досліджуваному середовищі неможливо знайти орієнтир, його доцільно описати у вигляді масиву, де елементи, що відображають стан перешкоди, мають значення 1, а усі інші елементи мають значення 0. Топографічні карти використовуються для проведення робіт із сертифікації.

При наявності великої кількості орієнтирів на досліджуваній території карта являє собою масив оцінок їх розташування.

Розмірність масиву оцінок позиції можливо виразити як:

$$S = R * M, \quad (1.1)$$

де  $S$  – розмірність масиву;

$R$  – розмірність простору;

$M$  – кількість орієнтирів.

Найпростішим способом зберігання структури такої карти є використання картографічної бази даних, яка відображає стан пам'ятки, її унікальні властивості та взаємозв'язки.

#### 1.4 Автоматизовані системи з нечітким логічним аналізом

Найбільш особливою характеристикою людського інтелекту є здатність приймати рішення, використовуючи неповну або нечітку інформацію. Адже завдання, які постають у різних галузях знань, часто надто складні, щоб їх розв'язувати за допомогою точних моделей і алгоритмів.

Математики зазвичай використовують термін «набір» для опису набору об'єктів, які мають спільний атрибут. І навпаки, припустимо, що усі елементи або є частиною певного набору, або не належать до нього. Крім того, припустимо, що елемент  $x$  або є частиною, або не належить до певного набору практичних завдань, пов'язаних із прикладними дослідженнями та загальною практикою. Цей принцип класифікації елементів недостатній для математичного опису складних явищ і процесів. Наприклад, такі лінгвістичні терміни, як «приблизно» і «трохи більше», які часто зустрічаються в повсякденному мовленні та технічній діяльності, неможливо описати чи проаналізувати таким чином. з використанням мови теорії множин і формальної логіки [14].

Для адекватного опису властивостей об'єктів і явищ мовою теорії множин необхідна концепція лінгвістичних змінних, значення яких виводяться з природної мови. Наприклад, якщо фактична температура, яка є температурою у

вітальні  $X$ , описується як типова для домашнього поняття «нормальний» (між  $19-21^{\circ}\text{C}$ ), «Прохолодний» ( $17-19^{\circ}\text{C}$ ), і т. д. Якщо значення, про які йде мова, мають однакову температуру, тоді набір цих значень вважається мовною змінною  $X_1$ . У цьому випадку набір значень для мовної змінної  $X_1$  називається гарячим, а вихідна змінна  $X$  називається базовою змінною.

Перетворення з абсолютного значення основної змінної.

При розробці нечітких контролерів використовуються різні твердження - це описи мови, які є істинними або хибними. Нечітка логіка досліджує логічну поведінку висловлювань, які містять лінгвістичні змінні та нечіткі набори. Крім того, логічні операції в нечіткій логіці використовуються для отримання одного більш складного оператора з кількох простих початкових операторів. Однак у булевій математиці істинність чи хибність твердження зазвичай виражається його числовим значенням 1 (істина) або 0 (хибність), однак у нечіткій логіці кожне твердження (примітивне чи похідне від логічних міркувань) представлено за допомогою його числове значення 1 (вірно) і 0 (хибно). Значення виражені у всьому діапазоні від 0 до 1.

### 1.5 Висновки до першого розділу

Після класифікації може бути здійснено конкретний опис об'єкта дослідження. Цей розділ оцінює автономну поведінку робота в задалегідь розробленому середовищі з раніше невідомою метою. Робот повинен виконати розвідувальну місію, досліджуючи місцевість, щоб знайти найкоротший траєкторія до бажаної мети. Шість датчиків ближнього радіусу дії та один датчик дальнього радіусу дії використовуються для розпізнавання перешкод поблизу.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ НАВІГАЦІЇ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ, ЩО Є АВТОНОМНИМИ

### 2.1 Огляд систем навігації

Однією з вроджених властивостей людської природи є прагнення розуміти й освоювати навколишній світ, досліджувати невідомі території й досліджувати незбагненні явища. Мандрівники намагаються знищити білі ділянки на карті земної кулі. З цієї області походить наука про навігацію. Слово «навігація» походить від латинського «navigatio», що означає плисти, плисти.

Багато століть тому слово «навігація» поєднувало ці три визначення. Протягом 20-го століття розвиток науки і техніки, а також поява нових транспортних засобів, таких як літаки та космічні кораблі, призвели до розширення визначення цього слова. Зараз, загалом, навігація – це дія керування об'єктом і переміщення його у визначеному просторі певним рухом.

Навігація має такі розділи:

- автомобільна навігація – технологія, яка за допомогою візуальних і голосових підказок розраховує найкращий маршрут руху транспортного засобу в дорозі та далі по маршруту. Використовуйте GPS/інерційну навігацію, автомобільні навігаційні карти та оперативну інформацію про пробки;

- небесна навігація - метод визначення координат кораблів і літальних апаратів за допомогою радіо- або оптичного випромінювання небесних тіл;

- біологічна навігація – здатність тварин обирати напрямок руху під час регулярних сезонних міграцій;

- аеронавігація - прикладна наука про точне та безпечне керування літальним апаратом у повітрі; на ранніх стадіях розвитку вона була відома як "аеронавтика" (дисципліна, яка навчала визначати напрямок польоту літака чи дирижабля без використання карт);

- інерціальна навігація - метод визначення параметрів і координат руху об'єкта без необхідності зовнішніх орієнтирів або сигналів;

- інформаційна навігація – процес ведення користувачів через логічно пов'язані дані;

- космічна навігація - управління рухом космічного корабля; включає підкатегорію - астроінерціальна навігація - спосіб навігації космічного корабля, який поєднує в собі інерціальні навігаційні системи та засоби небесної навігації;

- морське судноплавство — основна частина судноплавства;

- радіонавігація – Теоретичні питання та практична методика пілотування суден та літальних апаратів з використанням радіотехнічних засобів та обладнання;

- супутникова навігація – практичне використання засобів GPS/ГЛОНАСС для визначення положення та напрямку руху;

- підземна навігація - практичне застосування різноманітних вимірювальних засобів для визначення місця розташування та напрямку руху підземних тунельних комплексів.

Залежно від принципового підходу до структурної організації веб-сайту (каталогу товарів/послуг) і способу переміщення користувача між сторінками (товарів/послуг) зазвичай виділяють декілька типів навігації (методи побудови класифікаторів), серед яких: обговорюються нижче.

Лінійна навігація – навігація, яка послідовно переходить від однієї сторінки до іншої (або до певної сторінки). Цей метод навігації зазвичай використовується для перегляду серії фотографій або документів/описів одного типу. Лінійну навігацію можливо застосувати до будь-якого каталогу з лінійною структурою (по суті списку).

Ієрархічна навігація наразі є найпоширенішим типом навігації на веб-сайтах. Цей вид навігації об'єднує багато документів (розділів змісту) в ієрархію, що дозволяє ефективно переміщатися від однієї сторінки сайту до іншої. Аналогією використання ієрархічної навігації є система папок в операційній системі. Унікальність ієрархічних каталогів (класифікаторів) полягає в тому, що кожен розділ такого каталогу має лише одного батька, тобто

траєкторія навігації для кожного окремого розділу завжди унікальний.

Фасетна навігація — сучасний метод навігації, заснований на технології доступу до інформації. Вона називається «Система класифікації аспектів». По суті, це багатовимірна навігація мережевою структурою, де кожен вузол (фасет) є фільтром за певним виміром (атрибутом), що міститься в каталозі інформаційних об'єктів.

На відміну від ієрархічного підходу в навігації по фасетам, немає єдиного визначеного траєкторії до конкретного фасету, і завдяки багатовимірності класифікатора самі фасети можливо використовувати одночасно.

Сучасний термін «навігація» є дуже всеосяжним поняттям, яке включає не лише засоби організації руху між сторінками (об'єктами каталогу), але також тип і представлення елементів інтерфейсу користувача, які забезпечують цю зміну елементи сторінки. Однак найчастіше ми говоримо про суміжні поняття, наприклад, коли йдеться про навігацію сайтом, зазвичай мають на увазі саме меню, за допомогою якого користувач може завантажувати потрібні веб-сторінки у вікно браузера.

Форма представлення типу навігації, вміст меню та поведінка під час завантаження сторінки створюють вторинну класифікацію типу навігації, яка може відображати найрізноманітніші характеристики інтерфейсу навігації. Ось кілька прикладів:

Контекстна навігація – враховуйте поточний контекст (відображуваний вміст сайту), щоб створити інтерфейс навігації. При використанні дистрибутива цього типу користувач отримує список зв'язків з іншими частинами (документація, вантаж тощо), які будь-яким чином пов'язані з поточною (вибраною). Така навігація характерна, наприклад, стрічки новин з'єднують однакові новини та матеріали в одне ціле. У цьому випадку для кожної новини буде створено окремий список посилань, який формується за певним принципом. Сам принцип задається власником сайту (каталогу) відповідно до логіки, яку він намагається донести до користувача. У вкладенні трейдінг МАЙДАН це може бути: навігація по супутнім товарам (від мобільних

телефонів до аксесуарів, від пральних машин до прального порошку, послуги від ноутбука до налаштувань та інсталяційного програмного забезпечення тощо), аналогічний список товарів (ціни, способи використання). тощо).

Адаптивна навігація стосується інструментів, які змінюють посилання та навігацію на сайті в реальному часі на основі поведінки користувача та особистих налаштувань. Сучасні веб-сайти підтримують розширені інструменти персоналізації, засновані на автоматизованому аналізі поведінки багатьох користувачів. Виділивши типові шаблони і зробивши їх доступними для інших користувачів, ви зможете передбачити їхні наміри, прискорити і зробити знаходження необхідної інформації більш зручним.

### Візуальна навігація

Гуляючи по місту, можливо часто зустріти різні інформаційні та рекламні покажчики, за допомогою яких можливо знайти те чи інше місце. Крім того, такі інформаційні покажчики варто використовувати і в громадських місцях, таких як торгові та бізнес-центри. Візуальна навігація необхідна, щоб орієнтуватися в торговому центрі або дістатися потрібного офісу компанії.

Елементи навігації – це не тільки інформаційні таблички, але й чудовий спосіб реклами. Правильно виконана та правильно розміщена вивіска всередині закладу може значно підвищити лояльність відвідувачів та повідомити їх, наприклад, про щойно відкрите місце.

Крім того, візуальна навігація також є частиною дизайну інтер'єру. Використовуючи різні кольори та матеріали при виготовленні предметів, можливо додати інтер'єру цікавий та незабутній вигляд.

Звичайно, рекламні вивіски повинні виконувати свою основну функцію – вказувати точне місце розташування того чи іншого закладу. Щоб зробити грамотний з усіх боків індикатор або систему візуальної навігації, необхідно звернутися до фахівців. Вони зможуть підібрати найкращі варіанти дизайну, виготовлення та компонування, виходячи із завдання та наявного бюджету.

### Види навігаційних знаків:

Вивіски та таблички на стіні. Найпоширеніший спосіб публікації

інформації. Дошки можуть виготовлятися з різних матеріалів, від дешевого пластику до металевих і скляних панелей.

Креативним варіантом настінної навігації є нанесення дизайну навігації безпосередньо на стіну, як правило, за допомогою фарби або плівки.

Підвісні конструкції (мобільні агрегати). Вони можуть бути плоскими або об'ємними. Їх часто використовують при оформленні торгових центрів і супермаркетів, тому що вони не заважають потоку людей і добре помітні для людей, що проходять повз.

Конструкція підлоги (стеля) стоїть самостійно. Вони часто використовуються не тільки для розміщення покажчиків, а й для зберігання змінної інформації, оскільки їх легко встановити та видалити. Такі конструкції часто містять інформацію, яка містить багато деталей, які потребують уважного вивчення відвідувачем. Наприклад, плани приміщень, описи, рекламні плакати тощо.

У сучасному виробництві покажчиків активно використовуються модульні системи від різних виробників. Така система дозволяє швидко, якісно та в єдиному стилі оформити приміщення. Якщо таке рішення не підходить, індикатор виготовляється за індивідуальними проектами.

Навігаційна система — це складна електронно-технічна система, що складається з комплексу наземного та космічного обладнання, призначеного для визначення місцезнаходження (географічних координат і висоти) і часу цілі, а також параметрів руху (швидкості та напрямку руху тощо). ). Земля, вода і повітря..]

Тип навігаційної системи:

- аеронавігаційні системи - це навігаційні системи, які використовуються для аеронавігації;
- car navigation system - це система навігації для автомобілів;
- морська навігаційна система - навігаційна система, яка використовується для навігації.

Незалежно від сфери застосування, усі навігаційні системи повинні

відповідати основним вимогам:

- цілісність;
- безперервність роботи;
- визначати точність швидкості руху об'єкта, координати часу та положення;
- наявність організації, місця та часу.

В авіаційній промисловості використовуються різні навігаційні системи в залежності від призначення та напрямку використання літака.

Перш за все, навігаційна система використовується в цивільній авіації, яка вимагає від навігаційної системи забезпечення безпеки та надійності, а також економії повітряного руху. Крім того, авіаційні навігаційні системи повинні бути глобальними та уніфікованими на усіх етапах польоту, щоб зменшити кількість обладнання на борту та на наземній станції.

При цьому вони також повинні вміти чітко визначати маршрут руху, а також відстань до пункту призначення та відхилення від заданого маршруту.

До основних завдань аеронавігації відносяться:

1. Визначення елементів навігації літака. При цьому визначаються його координати, висота (абсолютна і відносна), швидкість польоту, маршрут руху і багато інших параметрів.

2. Контролюйте траєкторія і за необхідності вносьте виправлення.

3. Побудуйте оптимальний маршрут до місця призначення. У цьому випадку головне завдання навігаційної системи – допомогти користувачам дістатися до місця призначення за найкоротший час і з найменшою витратою палива.

4. Вчасно коригуйте маршрут під час польоту. У разі несправності літака або несприятливих метеорологічних явищ на маршруті може знадобитися змінити завдання польоту, щоб наблизитися до літака або навпаки, щоб уникнути зіткнення з ним.

Для визначення навігаційної системи літака використовуються різні технічні засоби. Геотехнічними засобами можливо визначити абсолютну і

відносну висоту польоту, положення літака і траєкторію його руху. Вони представлені різними технічними засобами: висотомірами, оптичними прицілами, різними компасами тощо. г. Радіобладнання дозволяє використовувати радіосигнали для вимірювання різних параметрів електромагнітного поля для визначення траєкторійної швидкості літака, справжньої висоти польоту та положення.

Перші персональні автомобільні навігаційні системи з'явилися наприкінці 1980-х років. Вони використовували супутникові сигнали та перші цифрові карти такого роду. Завдяки хорошим характеристикам супутникова навігаційна система NavStar (США), тобто GPS, займає лідируючі позиції в цій галузі.

Комерційний успіх GPS-навігаторів сприяв появі суміжних галузей - виробництва електронних карт і цивільного навігаційного обладнання для навігації.

Автомобільні навігатори - це компактні пристрої, по суті спрощені КПК з сенсорними екранами, призначені для роботи зі спеціальними навігаційними програмами. Автопілот підключається до бортової мережі автомобіля, але може працювати і в автономному режимі (близько 3-4 годин), оскільки має вбудований акумулятор.

Навігаційна система визначає координати автомобіля та відображає його місцезнаходження на електронній карті. Тому навігаційна система враховує усі нюанси та характеристики дороги, щоб сформувати оптимальний маршрут руху. Деякі версії автомобільних навігаторів мають вбудовані GPRS-модеми, які можуть враховувати погодні умови, інформацію про технічне обслуговування та затори на маршруті. d. Під час руху на екрані з'являються об'єкти інфраструктури та карти маршрутів. У той же час голосова навігація сповіщає водія про майбутні операції.

Існує два типи автопілотів: фіксовані та інтегровані. Стаціонарні системи можуть включати системи навігації на базі бортового комп'ютера автомобіля, які зазвичай зустрічаються в автомобілях високого класу.

Інтегрована навігаційна система являє собою бортовий комп'ютер і

мультимедійний центр з функціями навігації.

Портативні автомобільні навігатори також можливо розділити за технічними параметрами і ціновими категоріями. До технічних характеристик, що відрізняють різні категорії навігаторів, відносяться розмір екрану, наявність додаткового програмного забезпечення, кількість інтерфейсів. Однак відрізняються вони не за якістю навігації, а більше за кількістю вбудованих функцій і зручністю.

Експерти кажуть, що постійне вдосконалення міських електронних карт моєї країни, вдосконалення технічних функцій навігаційного обладнання та постійне зниження цін є причиною подальшого зростання ринку автомобільних навігаційних систем.

Морські навігаційні системи — це супутникові навігаційні системи, що використовуються для навігації. Ці системи мають високу стійкість до стирання та води, індикатори відхилення від маршруту, потужні процесори та великі монітори. Навігаційна система підтримує стандарт NMEA, який повідомляє дані про глибину, температуру, швидкість, прискорення тощо. Деякі системи дозволяють перенаправляти усі вхідні повідомлення з вашого мобільного телефону на морську систему через «вільні руки» завдяки стандартним повідомленням NMEA. Незважаючи на складність автоматичного планування маршруту, сьогодні існують системи автоматичної оптимізації маршруту, які автоматично прокладають безпечний маршрут без втручання користувача (капітана або штурмана), якщо задана безпечна глибина не дотримується (оскільки, наприклад, через мілину або над сушею).

Автомобільні навігатори - це компактні пристрої, по суті спрощені кишенькові персональні комп'ютери (ПК) з сенсорними екранами, призначені для роботи зі спеціальними навігаційними програмами. Автопілот підключається до бортової мережі автомобіля, але оскільки він має вбудований акумулятор, він може працювати і в автономному режимі (приблизно 3-4 години).

Використання електронних навігаційних систем на автомобілях

вимірюється не днями, а годинами. Відомі легкові автомобілі оснащені пристроями, орієнтованими на використання GPS-приймачів і засобів супутникового зв'язку: перший - для визначення положення автомобіля, другий - для сповіщення моніторингових служб, у тому числі ДАІ.

Глобальні навігаційні системи поки що надто дорогі для міського та міського транспорту, як пасажирського, так і вантажного (вартість обладнання сягає 12-15 тис. грн за поїздки).

Дані про проходження маршрутів (наприклад, автобусів) записуються в пам'ять і передаються на комп'ютер диспетчера, оснащений електронними топографічними картами. Передача інформації відбувається періодично або автоматично при дзвінку диспетчера. Таким чином, диспетчери не тільки завжди знають, де знаходяться транспортні засоби, але можуть швидко реагувати, коли виникають непередбачені проблеми (пробки, поломки, ДТП тощо).

Пристрої супутникової навігації використовуються для маршрутів на великі відстані. Для передачі інформації про місцезнаходження машини використовують УКХ радіозв'язок, стільниковий зв'язок або супутниковий радіотелефон залежно від обстановки та матеріальних можливостей. Якщо немає потреби постійно перебувати в контакті з транспортним засобом на трасі, простіше і дешевше було б використовувати автономні навігаційні реєстратори.

Одним із поширених типів робіт є мобільні роботи, які здатні пересуватися в космосі без сторонньої допомоги, найпомітнішим прикладом є марсохід Curiosity. Сьогодні мобільні автономні роботи використовуються дуже часто. Найбільшою перешкодою для усіх існуючих незалежних мобільних робіт є відсутність навігації. Успіх місії в космосі залежить від бортової системи роботизованого транспортного засобу, яка повинна володіти здатністю створювати оптимальну траєкторію, керувати параметрами руху (задавати напрямок і швидкість), інтерпретувати інформацію про навколишній світ. правильно і завжди стежити за своїм положенням. Робот повинен визначати власні координати та вибирати напрямок руху на основі бортових індикаторів

датчиків, у результаті чого системи штучного інтелекту, призначені для автономних машин, орієнтовані на підтримку постійного циклу огляду датчиків і прийняття рішення про як змінити маршрут. Кілька таких циклів можуть бути задіяні – один слідуватиме основним маршрутом, а інший уникатиме перешкод.

Існує три основні підходи до навігації:

- глобальне - визначення положення пристрою під час подорожі в далеких походах;

- локальний - визначення координат відносно початкової точки. Цей метод зазвичай використовується розробниками автономних літальних апаратів і роботів, які беруть участь в діях на вже існуючій території;

- персональний – положення в просторі, яке зараз займає робот, і спосіб його зв'язку з найближчими орієнтирами або об'єктами.

Чим більший пристрій, тим важливіше воно для глобальних подорожей, а не для особистих подорожей. З меншими роботами все навпаки.

Навігатори можуть бути простими і складними. Пасивний компонент отримує інформацію про своє місцезнаходження та індикатори руху від зовнішніх джерел; активний компонент сам визначає позицію, яку займає. Усі глобальні навігаційні схеми пасивні, а локальні навігаційні схеми можуть бути обох типів, а персональні завжди активні.

Давайте обговоримо кілька основних методів, які використовуються для навігації та оцінки руху об'єктів.

## 2.2 Застосування декодерів

Загальна стратегія реалізації одометра полягає у використанні декодерів (датчиків кута повороту) – пристроїв, які перетворюють кут повороту об'єкта в електричні сигнали, які дозволяють визначити кут повороту об'єкта. На рис. 1.2 показано механізм роботи декодера.

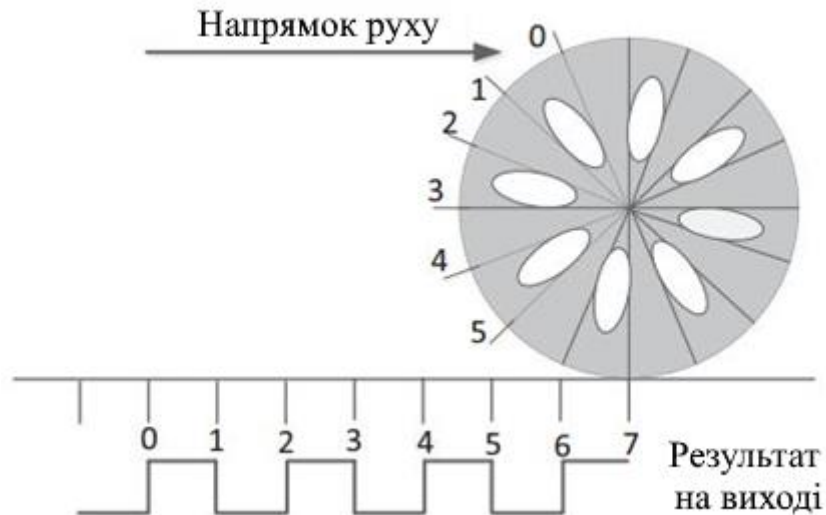


Рисунок 2.1 – Схема роботи декодера

Різні типи декодерів дозволяють відстежувати не тільки кут, але і напрямок, в якому обертається об'єкт. В результаті, знаючи діаметр коліс і використовуючи інформацію з декодерів, ви можете легко розрахувати відстань, яку проїхало колесо.

Цей підхід, безсумнівно, привабливий своєю простотою реалізації, мінімальними вимогами до обчислювальних ресурсів і бюджетністю, але він має ряд істотних недоліків:

- неможливість врахувати пробуксовку коліс;
- низька точність через помилки вимірювання в колесах і низьку роздільну здатність декодерів.
- вимагає високої частоти обробки сигналу, щоб спостерігати навіть невеликі відмінності в обертанні коліс.
- складність застосування цього методу для літаючих, плаваючих і крокуючих апаратів [17].

### 2.3 Інерційні системи навігації

Інерційні пристрої, які містять акселерометр або гіроскоп, можуть бути використані для вирішення проблеми визначення місця розташування. Гіроскоп

здатний демонструвати зміну кутів тіла відносно початкової системи, акселерометр демонструє прискорення тіла у усіх трьох вимірах. В результаті ці пристрої дозволяють розраховувати пройдену відстань.

Використовувати механічні гіроскопи на мобільних пристроях непрактично через їх великий об'єм. У цьому контексті використовуються мініатюрні гіроскопи, які виготовляються у складі мікроелектромеханічних систем. Ці датчики дотримуються різних принципів для визначення обертання та демонстрації кутової швидкості замість ступеня обертання. Тут необхідно зробити інтегрування або, в дискретному випадку (як правило, сигнал присутній в дискретній формі), просте додавання. Очевидно, що оцінка обертання навколо осі є приблизною і залежить від частоти дискретизації сигналу.

Крім того, гіроскопи мають властивість «нульового дрейфу», що означає, що їх обертання змінюватиметься, навіть коли вони перебувають у нерухомому положенні. Обсяг дрейфу в першу чергу виходить із застосування гіроскопа. Чим менший обсяг, тим більша похибка. У результаті точаться дискусії щодо компромісу між розміром і точністю.

По-третє, інтеграція та обробка даних від датчика вимагає великого обчислювального навантаження, це правда, тому що додаткова потужність повинна бути спрямована на завдання.

Переходимо до оцінки пройденого траєкторії. Наявність акселерометрів дозволяє вимірювати лінійні прискорення, яких відчуває система. Чисельне інтегрування прискорення призводить до швидкості, а потім до переміщення. У результаті можливо оцінити напрямки системи в будь-який момент часу. Проте є й негативні моменти [18].

Інтеграція призводить до збільшення похибки. Можливо зробити висновок, що акселерометр чутливий до високочастотних і високоамплітудних помилок, для усунення цього необхідно використовувати різні фільтри (такі як фільтр Калмана, фільтр «альфа-бета» та інші). Ці фільтри важко реалізувати і потребують вибору або розрахунку коефіцієнтів, а також вони є

ресурсомісткими на мікроконтролерах.

Дослідження показали, що найточніших результатів можливо досягти за допомогою акселерометра, гіроскопа та магнітометра. Ці три інструменти поєднуються, щоб компенсувати помилки одного датчика, водночас одержуючи показання іншого. Однак така система досить дорога і складна.

## 2.4 Візуальна одометрія

Візуальна одометрія — це процедура отримання інформації за допомогою серії зображень, зібраних камерами роботів. Це полегшує отримання інформації про пройдену відстань і напрямок руху. Візуальна одометрія полегшує створення системи навігації для будь-якого типу пересування робота і на будь-якій поверхні.

Цей метод використовується в багатьох дисциплінах: від наземних роботів до оптичних мишей.

Алгоритм роботи стандартного візуального одометра:

- отримання візуалізацій з камер.
- корекція малюнка;
- виявлення важливих точок на зображенні (порівняння точок між кадрами, створення оптичних потоків);
- перевірка векторів візуального потоку на потенційні проблеми;
- оцінка руху камери за оптичним потоком;
- Постійні оновлення набору важливих моментів, яких слід дотримуватися.

Неперевершеною перевагою цього підходу є його глобальний характер.

Мінуси наступні:

- погана робота алгоритму щодо однотипних зображень;
- вимога до високої швидкості запису зображення;
- велике навантаження на комп'ютерну систему;
- висока вартість камер.

## 2.5 Стеження за переміщенням за допомогою глобальних систем навігації

GPS — це супутникова навігаційна система, розроблена Міністерством оборони Сполучених Штатів, яка може визначати точні координати та час. Може працювати в будь-якій точці землі і за будь-яких погодних умов. GPS складається з трьох частин - супутників, земних станцій і приймачів сигналів.

Ідея створення системи супутникової навігації виникла в 1950-х роках. Група американських вчених, які спостерігали за запусками радянських супутників, помітили, що частота сигналу збільшується при наближенні супутника і зменшується при його віддаленні. Це дозволяє нам зрозуміти, що положення і швидкість супутника можливо виміряти, знаючи його координати на Землі, і навпаки. Величезну роль у розвитку навігаційних систем відіграв запуск супутників на низьку навколосезну орбіту. У 1973 році була створена програма «DNSS» («NavStar»), за якою супутники запускалися на середню навколосезну орбіту. У 1973 році програма отримала назву GPS.

Супутникова навігаційна система GPS призначена для визначення положення та швидкості об'єктів. Система використовує метод вимірювання відстані, який є псевдосереднім. Існують відмінності з методом псевдодальності, що призводить до систематичної похибки визначення інтервалів між моментами випромінювання. У результаті виміряні псевдодальності відрізнятимуться від реальних значень на пропорційну величину, яка залежить від різниці між масштабами часу супутника та задіяного датчика. Під час використання методу псевдодальності робот повинен знати розбіжність між бортовою шкалою часу та виправленою шкалою часу.

Системи GPS в даний час використовуються не тільки у військовій, але і в цивільній сфері. Є багато сфер застосування GPS:

- мобільний зв'язок;
- тектоніка плит – відбувається стеження за коливаннями плит;
- визначення сейсмічної активності;

- супутникове відстеження транспорту –можливо проводити моніторинг за станом, швидкістю транспорту і контролювати їх рух;
- геодезія – визначення чітких меж земельних ділянок;
- картографія;
- навігація;
- ігри, геотегінг та інші розважальні області.

Найважливішим недоліком цієї системи є неможливість прийому сигналів за певних умов. Робочі частоти GPS знаходяться в діапазоні дециметрових хвиль. Це призводить до того, що рівні сигналу можуть бути знижені через високу хмарність і густе листя. Бездротові джерела живлення, перешкоди, а в деяких випадках навіть магнітні бурі можуть перешкоджати нормальній передачі сигналу. Коли супутники піднімаються нижче над Землею, точність даних у приполярних областях буде знижуватися.

Система GPS працює так - приймач сигналу вимірює затримку поширення сигналу від супутника до приймача. Приймач отримує дані про положення супутника на основі отриманого сигналу. Щоб визначити відстань від супутника до приймача, затримку сигналу множать на швидкість світла.

Супутникова навігаційна система GPS складається з супутникової частини та споживчого пристрою. Космічна частина складається з мережі супутників і командно-вимірювального комплексу. Коли усі 24 космічні апарати розгорнуті, система має рівномірно розподілені кругові орбіти з нахилом  $63,0^\circ$ . Період обертання супутників становить 12 годин, висота їх польоту - 20 183 кілометри над землею. З таким типом орбіти в кожній точці планети буде видно в середньому 9 супутників. Командно-вимірювальний комплекс має 4 пости управління, станцію виправлення помилок, головну станцію управління. Станції управління спостерігають за космічними апаратами, визначають їх місцезнаходження, документують умови, за яких проходять радіохвилі. Ця інформація передається на головну станцію управління, де обробляються статистичні дані, розраховуються і прогнозуються супутникові показники з урахуванням впливу Сонця, Місяця і аномальних

гравітаційних полів Землі. Після цього ця інформація через станцію корекції передається на супутник і вводиться в бортовий комп'ютер, який формує навігаційні дані для споживачів.

Arduino GPSC з геометричної точки зору роботу навігаційної системи можливо зобразити так: кілька сфер перетинаються із супутниками посередині, а користувач знаходиться в них. Радіус кожної сфери дорівнює відстані до видимого супутника.

Сигнали трьох супутників дозволяють отримати дані про широту і довготу, а четвертий супутник дає інформацію про висоту над поверхнею об'єкта. Отримані значення можливо звести до системи рівнянь, з якої можливо знайти координати користувача. Тому, щоб отримати точне положення, необхідно зробити 4 вимірювання відстані до супутника (якщо виключити неправдоподібні результати, достатньо 3 вимірювань).

Зв'язок між супутниковим навігатором і комп'ютерною станцією здійснюється по двох радіолініях на частотах  $F1 = 1575,42$  МГц і  $F2 = 1227,6$  МГц.

Частоти, що використовуються несучою, змінюються двома послідовностями нулів і одиниць, кожна з яких складається із суми двох псевдовипадкових кодових слів і переданої системної інформації, яка називається навігаційною інформацією. При трансляції кодів використовується розрізнення радіосигналів [18].

Дані щодо навігації включають: час системи, стан шкали часу супутника, повідомлення про його статус. Супутник, який нас орієнтує, випромінює сигнал такого рівня потужності: якщо розглядати найгірший сценарій для споживача, то рівень сигналу має становити не менше 100-166 дБ/Вт залежно від кодів, що передаються.

Отримані рівняння були скориговані через відмінності між розрахунковими та фактичними положеннями супутників. Результуюча похибка називається ефемеридою і становить від 1 до 5 метрів. Перешкоди, барометричний тиск, вологість, температура, вплив іоносфери та атмосфери

також відіграють певну роль. Загалом, сума усіх похибок може призвести до похибки до 100 м. Деякі помилки можливо усунути математично.

Щоб зменшити усі помилки, використовуйте диференціальний режим GPS. У ньому приймач отримує усі необхідні поправки координат від базової станції по радіоканалу. Остаточна точність вимірювання досягає 1-5 метрів. У диференціальному режимі є два способи корекції отриманих даних - корекція самих координат і корекція навігаційних параметрів. Перший спосіб незручний у використанні, оскільки усі користувачі повинні працювати на одному супутнику. У другому випадку значно зростає складність самого пристрою, який використовується для визначення місцезнаходження.

Бортове обладнання станції приймає сигнали від супутника, які потім демодулюють, декодують і потім визначають інформацію GPS.

Середня квадратична похибка вимірювання координат об'єкта становить приблизно 10 м для 90% періоду вимірювання і менше 5 м для 50% періоду.

Є нова система, яка підвищує точність вимірювання до 1 сантиметра. Кут між орієнтаціями супутників має великий вплив на точність. При великих кутах точність позиціонування буде вище.

Міністерство оборони США може штучно знизити точність вимірювань. Для цього на навігаційному пристрої встановлений спеціальний режим S/A - обмежений доступ. Цей режим був розроблений для військових цілей, щоб не давати противнику переваги у визначенні точних координат. З травня 2000 року систему обмеженого доступу скасовано.

Найважливішим атрибутом навігаційної системи є її цілісність, яка визначається як здатність системи розпізнавати та повідомляти про несправності користувачеві, щоб повідомити користувача про те, що система не працює належним чином. Цілісність системи GPS гарантується передачею супутником набору атрибутів, які описують якість обладнання та автентичність переданих повідомлень у рамках навігаційної допомоги.

Усі джерела помилок можливо розділити на кілька груп:

- похибка в обчисленні орбіт;

- помилки, пов'язані з приймачем;
- помилки, пов'язані з багаторазовим відображенням сигналу від перешкод;
- іоносфера, тропосферні затримки сигналу;
- геометрія розташування супутників.

У систему GPS входить 24 штучних супутника Землі, мережа наземних станцій спостереження і навігаційні приймачі. Станції спостереження потрібні для визначення і контролю параметрів орбіт, обчислення балістичних характеристик, регулювання відхилення від траєкторій руху, контроль апаратури на бору космічних апаратів.

Характеристики навігаційних систем GPS:

- кількість супутників – 26, 21 основний, 5 запасних;
- кількість орбітальних площин – 6;
- висота орбіти – 20000 км;
- термін експлуатації супутників – 7,5 років;
- робочі частоти – L1 = 1575,42 МГц; L2 = 12275,6 МГц, потужність 50 Вт і 8 Вт відповідно;
- надійність навігаційного визначення – 95%.
- навігаційні приймачі бувають декількох типів – портативні, стаціонарні та авіаційні. Приймачі також характеризуються рядом параметрів:
  - кількість каналів – в сучасних приймачів використовується від 12 до 20 каналів;
  - тип антени;
  - наявність картографічної підтримки;
  - тип дисплея;
  - додаткові функції.

Різноманітні технічні характеристики - матеріал, міцність, вологостійкість, чутливість, місткість і т.д.

Як працює сам навігатор - спочатку апарат намагається зв'язатися з навігаційними супутниками. Після встановлення з'єднання передаються

альманахи, тобто інформація про орбіти супутників, розташованих в одній навігаційній системі.

Зв'язку лише з одним супутником недостатньо для отримання точного положення, інші супутники передають свої ефемериди навігатору, який необхідний для визначення відхилень, коефіцієнтів завад та інших параметрів.

При першому включенні навігатора або після тривалої перерви почнеться тривале очікування прийому даних. Тривалий час очікування викликаний відсутніми або застарілими альманахами та ефемеридами в пам'яті навігатора, тому пристрій повинен виконувати багато операцій, щоб отримати або оновити дані.

Щоб почати свою роботу, навігатор повинен:

1. Знайти супутник і встановити з ним зв'язок;
2. Отримати альманах і зберегти його в пам'яті;
3. Отримати ефемериди від супутника і зберегти їх;
4. Знайти ще три супутники і встановити з ними зв'язок, отримати від них ефемериди;
5. Обчислити координати за допомогою ефемерид і розташування супутників.

Тільки після того, як пройде весь цикл, пристрій почне працювати.

Такий запуск називається холодним запуском.

Теплий запуск сильно відрізняється від холодного. Поточний альманах і ефемериди вже збережені в пам'яті навігатора. Дані альманаху дійсні протягом 30 днів, а дані ефемерид – 30 хвилин. Це означає, що пристрій ненадовго вимкнено. З теплим стартом алгоритм буде простіше - пристрій встановлює зв'язок із супутником, при необхідності оновлює ефемериди і обчислює позицію.

Є теплий початок – у цьому випадку альманах актуальний і ефемериди потребують оновлення. Це займає більше часу, ніж теплий запуск, але набагато менше, ніж холодний запуск.

ГЛОНАСС (Глобальна навігаційна супутникова система) призначена для

визначення місцезнаходження та розрахунку швидкості чогось.

Приймачі ГЛОНАСС використовуються для вимірювання параметрів псевдодальності радіонавігації з чотирма (трьома) супутниками в системі одночасно або послідовно. Ці прилади використовуються для вимірювання радіальної швидкості псевдопростору. Супутники системи ГЛОНАСС розташовані на навколоколових орбітах, період обертання супутників становить 11 годин 15 хвилин, висота 19 100 км, кут нахилу  $64,8^\circ$ . Основою системи є 24 супутники, які обертаються в трьох орбітальних площинах над поверхнею Землі.

Визначення його координат аналогічно принципу американської глобальної системи позиціонування GPS. Як альтернативу цим двом системам Європа розробляє систему Galileo.

Супутники виробляють сигнал з різною фазою на різних частотах. Фактичне значення радіочастоти  $i$ -го супутника  $F_i = F_1 + (\Delta F)2(i-1)$ ,  $i=1,2,\dots,24$ ;  $F_1 = 1602,5625$  МГц,  $\Delta F = 0,5625$  МГц.

Навігаційне повідомлення передається як потік цифрової інформації, яка кодується кодом Хеммінга, а потім перетворюється на відносний код. Швидкість цифрової передачі інформації становить 50 біт в секунду.

Власне кажучи, цифрова інформація складається із суперкадрів, які тривають 2,5 хвилини. Суперкадр складається з п'яти кадрів по 30 секунд кожен. Кожен кадр складається з 15 рядків. Кожен рядок містить набір інформаційних символів і позначку часу. Тривалість інформаційної частини – 1,7 секунди. містить 85 символів, а позначка часу має довжину 0,3 секунди і передається у вигляді випадкової послідовності з 30 символів (усіченої). Суть повідомлення, яке передається кожним супутником у рамках навігації, складається з оперативної та неоперативної інформації. Оперативна інформація стосується самого супутника та включає позначку часу, пов'язану з ним, різницю між масштабом часу супутника та масштабом часу системи, частоту випромінювання сигналу відносно частоти системи, а також три координати, три компоненти швидкості та три компоненти прискорення. Цю інформацію

отримують із положення Місяця та Сонця в певний момент часу. Повідомлення про несправності, пов'язані з цим супутником, доступні відразу після його виявлення.

Похибка, пов'язана з визначенням координат, з ймовірністю 0,95 становить: для кожної координати (в плані) 100 м, для висоти 150 м, для складових вектора швидкості 0,15 м / с. Крім того, характеристики системи можливо підвищити за рахунок диференційованої організації роботи користувача. Суть диференційного режиму полягає в зменшенні систематичної складової похибки визначення місцезнаходження об'єкта шляхом вимірювання цієї складової на опорній станції з відомими координатами та повідомлення результатів вимірювання споживачеві. Отримана інформація була використана на табло станції для корекції передбачуваного місця розташування.

Основною проблемою під час використання диференціального режиму є вибір каналу передачі, який змінює інформацію. Ці радіомережі можуть бути призначені для цієї мети:

Комбіноване використання GPS і ГЛОНАСС. В даний час дискутується питання про те, чи потрібно використовувати одночасно супутникові навігатори GPS і ГЛОНАСС, оскільки в цьому сценарії виконуються усі існуючі вимоги до супутникової навігації, включаючи максимально допустимий час для безпеки системи.

Основна концепція полягає в тому, що протягом періоду використання кожна система може використовуватися лише в певний час доби в певному регіоні планети. Поєднання обох методів також полегшить 24-годинні подорожі в усіх регіонах планети, які вже знаходяться на стадії розгортання.

Комбіноване використання навігаційних сигналів є ефективним навіть після того, як систему було Цілком розгорнуто. Крім того, точність локації залежить від точності вимірювань, яка визначається оптимальним положенням об'єкта відносно супутників. Найбільш близьким до оптимального є положення, коли один із супутників знаходиться в зеніті користувача, а інші мають мінімально необхідний кут місця і розкидані по азимуту (через 120 градусів при

трьох видимих супутниках). Очевидно, що чим більше супутників знаходиться в зоні радіовидимості користувача, тим легше йому вибрати найбільш ефективні. Крім того, точність оцінок можливо підвищити шляхом обробки додаткової інформації під час вимірювання кількості супутників, кількість яких перевищує мінімально необхідну. Окремі супутники, які вийшли з ладу, частини системи, які були втрачені, або повна відмова однієї з систем не становлять загрози для безпеки польотів. Суттєве значення має підвищення цілісності системи та надійності супутникової навігації, обидва вони будуть досягнуті за рахунок використання обох систем, а також за рахунок додаткових супутників у полі зору користувача.

В результаті атрибутів комбінованої системи щодо точності, надійності та цілісності буде достатньо для навігації.

Використання комбінованої системи та системи супутникового зв'язку дозволяє створити високоефективну систему залежного спостереження, яка дозволить здійснювати польоти за оптимальними часовими та просторовими траєкторіями у усіх регіонах. Це матиме значний вплив на економічну ефективність авіаперевезень, водночас забезпечуючи високий ступінь надійності.

Зі сказаного вище випливає, що для створення ефективних систем супутникової навігації та зв'язку необхідно вирішувати питання навігації та передачі даних комплексно, тобто комплексно для кожного супутника. Найефективнішим способом вирішення цього питання є негайне створення супутникової навігаційно-зв'язкової апаратури як єдиного комплексу, що дозволить, в тому числі, отримати засоби автоматичного залежного спостереження без блоків зв'язку. Такий спосіб дозволяє максимально скоротити кількість комунікаційного обладнання в порівнянні з поєднанням автономного супутникового зв'язку і станцій супутникової навігації через блоки підключення.

В результаті для точного обчислення координат необхідно приймати сигнали з декількох супутників.

Очевидна перевага цього підходу полягає в тому, що він безпосередньо демонструє поточне розташування в просторі, що усуває необхідність обчислень. Однак з цього випливає і перший негативний момент: неможливо визначити орієнтацію об'єкта, якщо він не рухається.

Далі, важливо визнати суттєвий мінус технології, який полягає у відсутності можливості визначення положення закритих дверей кімнати через відсутність якісного сигналу. Крім того, при тривалому періоді відсутності сигналу визначення положення займає більше часу. Якщо пристрій був неактивний протягом 3 годин, то після його повторного запуску визначення координат місцезнаходження займе приблизно 40 секунд.

Як зазначалося раніше, точність визначення положення залежить від кількості доступних супутників. Ця інформація призводить до наступних двох недоліків: низька якість роботи в полярних областях Землі, що пояснюється нахилом орбіт супутників, і низька точність визначення місця розташування - супутники можуть мати роздільну здатність до 60 см при їх визначенні місця розташування.

Основною відмінністю є сигнал і його структура. Системи GPS використовують кодове розділення каналів. В системі ГЛОНАСС - частотний поділ каналів.

Для опису руху супутників по орбіті використовуються принципово інші математичні моделі. Модель GPS означає, що траєкторія супутника розбита на сегменти.

У системі ГЛОНАСС використовується диференціальна модель руху. Це означає, що для того, щоб визначити координати супутника в даний момент, необхідно розв'язати систему диференціальних рівнянь.

Система GPS має 6 орбітальних площин, кожна з яких має 4 супутники. Всього є 24 супутники, але вони не забезпечують належного глобального покриття, і якщо якесь обладнання виходить з ладу, його нічим замінити. Таким чином, група супутників збільшилася до 32. При цьому деякі орбіти мають до 6 супутників.

Система ГЛОНАСС складається з 3 літаків і всього 8 супутників (8 теоретично). Це забезпечує повне покриття землі та гарну геометрію. Росіяни розрахували більш оптимізовану траєкторію, але в цілому не все змогли.

Що стосується супутникової навігації GPS, то на відміну від російської супутникової навігації, крім популярних систем навігації, постійно з'являються нові сфери застосування. Візьмемо, наприклад, так звані трекери. Це крихітний пристрій, який можливо помістити в портфель учня, прикріпити до нашійника собаки або заховати в автомобільній аптечці. Після цього на інтернет-сторінці спецслужби ви завжди можете побачити місцезнаходження трекера на карті, а відтак і сам об'єкт. Або ви можете встановити зону, і коли трекер вийде за межі зони, ви отримаєте SMS-повідомлення.

Агрегат може бути оснащений кнопкою «тривога». Друкарський верстат у біді – і подає сигнал «SOS». Той, хто його отримає, може точно визначити на карті місце, де стався інцидент.

Система ГЛОНАСС в її нинішньому вигляді була розроблена і запущена в 1993 році на користь Міністерства оборони Російської Федерації в обмеженому орбітальному угрупованні (12 супутників). У 1995 році Орбітальна група була розгорнута до повного набору з 24 космічних кораблів, але пізніше була знову скорочена через брак фінансування.

Середній технічний ресурс супутника «ГЛОНАСС» становить 4,5 роки, а ефективний гарантійний термін служби – 3 роки.

Супутники GPSIIР другого покоління, які використовуються Сполученими Штатами, мають технічний термін служби 10 років, але насправді вони тривають до 20 років, що дозволяє їм мати все необхідне для роботи системи розподілу супутників на орбіті та підтримувати її роботу один раз рік лише за допомогою запуску супутників. Точні характеристики російської ГЛОНАСС також значно поступаються американським GPS. Середня квадратична похибка ГЛОНАСС становить 17,1 м в площині і 22,18 м по висоті, у GPS аналогічні показники - 2,76 м і 7,51 м. Крім того, росіяни досі не можуть забезпечити покриття системою ГЛОНАСС усієї запланованої

території.

Galileo — супутникова навігаційна система Європейського Союзу та Європейського космічного агентства, призначена для заміни американської системи GPS і російської ГЛОНАСС. Проект вартістю 10 мільярдів доларів названий на честь італійського астронома Галілео Галілея.

Система призначена для вирішення завдань навігації будь-якого рухомого об'єкта з точністю менше одного метра. Окрім країн Європейського співтовариства, до проекту також залучені інші країни, такі як Китай, Ізраїль, Південна Корея та Україна. Крім того, тривають переговори з представниками Аргентини, Австралії, Бразилії, Чилі, Індії та Малайзії.

На відміну від американської системи GPS і російської ГЛОНАСС, Galileo не контролюється національними військовими органами, хоча в 2008 році Європейський парламент ухвалив резолюцію про важливість космосу для європейської безпеки, згідно з якою супутникові сигнали використовуються для військових дій, дозволених у межах рамки європейської політики безпеки. За розробку системи відповідає Європейське космічне агентство. Загальна вартість оцінюється в понад 10 мільярдів євро.

## 2.6 Порівняння підходів навігації

Для просторової навігації бортова система автономного мобільного робота повинна аналізувати та створювати маршрут, контролювати його рух (швидкість обертання коліс та кут їхнього повороту), інтерпретувати знання навколо об'єкта, як це стосується різні датчики та стежити за власним положенням у кожен момент часу. Для досягнення поставленої мети завдання має точно описувати зображення оточуючих предметів і властивості середовища.

Основні переваги та недоліки різних датчиків (типів систем) наведені в таблиці. 2.1.

Таблиця 2.1 – Переваги і недоліки різноманітних датчиків та систем

Датчик (система)	Переваги	Недоліки
Гіроскоп	Може вимірювати кут оберту, швидкість. Не взаємодіє з навколишнім середовищем.	Потребує калібрування. Згодом накопичується помилка.
Декодер	Простий і дешевий датчик. Багато варіантів використання. Не взаємодіє з навколишнім середовищем.	Використовується тільки для вимірювання кута оберту та швидкості.
Акселерометр	Не взаємодіє з навколишнім середовищем.	Використовується тільки для прискорення.
Стереоскопічні системи, системи технічного зору	Можливість побудови повноцінної 3D карти. Велика кількість інформації, що отримується в процесі роботи. Не взаємодіє з навколишнім середовищем.	Вимагає досить великих потужностей. Складність алгоритмізації і реалізації.
Лазерні лічильники відстані	Побудова 2D і 3D карт. Відмінна точність вимірювань. Швидкий збір даних. Велика дальність вимірювання.	Помилкові обчислення при попаданні променів на дзеркальну поверхню. Найбільш коштовний з усіх видів сенсорів.
Супутникова навігація	Глобальна система, яка дозволяє визначати координати будь-якої точки планети.	Мала точність вимірювань. Ускладнення роботи в закритих приміщеннях.

Система керування автономним роботом, який здійснює навігацію, використовує різноманітні навігаційні методи, але передусім передбачає оцінку навколишнього середовища, аналіз і прийняття рішень. Вона намагається створити персоналізовану картину середовища, в якому вона повинна приймати рішення, розвивати траєкторія і подорожувати ним. Однак вона часто перевіряє точність представлення простору робота за допомогою даних, отриманих від навігаторів.

Проводяться дослідження систематичної поведінки команд автономних роботів. Група роботів, які діють разом і організовані в узгоджену зону, можуть описувати своє конкретне розташування один одному, оцінювати відстань між ними і таким чином легко пересуватися.

## 2.7 Висновки до другого розділу

Вивчивши існуючі способи руху мобільних роботів, можливо сказати, що кожен метод ефективний при застосуванні. Вибираючи спосіб навігації, важливо враховувати завдання, для яких буде використовуватися мобільний робот, а також його фізичні характеристики та тип ґрунту, по якому він буде рухатися. Наприклад, робототехнічний рух у середовищі, що динамічно розвивається, потребує більш складних методів навігації та контролю. Спроба розглядає спостереження за мобільною машиною в стаціонарному середовищі.

Дослідження показали, що найточніших результатів можливо досягти за допомогою акселерометра, гіроскопа та магнітометра, ці три прилади є недорогими та складними, але вони не мають такої ж точності.

Зрештою, можемо стверджувати, що використання інерційних пристроїв для оцінки переміщення можливе, однак, чим більший ступінь точності бажаний, тим дорожче це реалізувати.

## 3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ЗНАХОДЖЕННЯ ТРАЄКТОРІЇ

### 3.1 Математичні засади алгоритмів пошуку

Засновником теорії графів вважається швейцарсько-російський математик Леонард Ейлер, який опублікував у 1747 році доповідь «Про проблему Кенігсберзького мосту». Місто розташоване на двох островах на березі річки. Місія поставлена: пройти усі мости в Кенігсберзі і повернутися в задану точку в найкоротші терміни. Л. Ейлер у своїй роботі не тільки вирішив цю задачу для Кенігсберзького мосту, але й запропонував спільне рішення для будь-якої кількості мостів у будь-якому положенні.

Після Ейлера ці дослідження були безпечно забуті майже на століття. Наступного разу хіміки повертаються до цієї частини математики. Вони дійшли висновку, що властивості речовини залежать не тільки від властивостей окремих елементів, а й від будови їх зв'язків. Якщо іноді речовини з однаковою молекулярною формулою виявляють протилежні властивості, це залежить від структури формули. Такі речовини називають «хімічними ізомерами». Подібні дослідження проводилися за допомогою формул побудови графів, але це не дало значного поштовху розвитку теорії графів.

Наступний етап теоретичного розвитку стосувався фізики схем. Зокрема, закони Кірхгофа є фундаментальними для теоретичної основи електротехніки, легко описуються узагальненими законами розподілу потоків у графових мережах і є частиною більш загальних мережевих законів розподілу ресурсів [20].

Сьогодні ми живемо в онлайн-світі. Ми оточені Інтернетом, дорожніми системами, літаками, поїздами та автомобілями. Ми використовуємо телефонні мережі, Skype, знайомі з нейронними мережами, системами навігації. У нас є мережа потоку товарів, тому свіжі продукти та інші необхідні речі є в магазинах щоранку. Наш бізнес працює завдяки мережевим схемам, які служать різним цілям, у тому числі тим, які працюють за безперервним

графіком. Навколо нас проходять електромережі та магістральні теплові мережі, мережі водопостачання та каналізації. Мережа радіостанцій. Кожен день людина занурюється в інформаційні мережі, які відображають не тільки нашу професійну діяльність, а й особисте життя, подобається це комусь чи ні. Багато в чому світ став мережевим [21].

Більшою мірою люди тепер групуються не за етнічними, територіальними чи релігійними ознаками, а за інтересами, уподобаннями, кар'єрними можливостями, належністю до певних груп. Це так звані соціальні мережі. Багато вчених вважають, що в результаті цього в сучасному світі скасовано національні чи релігійні кордони. Мережі навіть будують сім'ї – здавалося б, непорушні соціальні клітини. По усій земній кулі розширюються межі спілкування з далекими народами, приносячи з собою звичаї інших. Інтернет давно впливає на суспільство.

Звідси сучасний інтерес до галузей математики, пов'язаних з управлінням мережами, особливо до теорії графів.

Теорія графів відноситься до тієї частини дискретної математики, яка пов'язана із загальною теоретико-множинною топологією (геометрією компонування) – частиною, яка вивчає властивості простору при будь-якій деформації, зокрема його безперервність, зв'язність, орієнтованість тощо.

Ближче до предмету дослідження є область математики, відома як топологія мережі, як спосіб опису конфігурації вузлів у взаємопов'язаній мережі. З фізичної точки зору ця область описує відносне розташування вузлів мережі та зв'язки між ними, незалежно від фізичного значення цих вузлів. Крім того, топологія мережі дозволяє вивчати векторність сигналів, що проходять через цю мережу, зокрема напрямок інформаційного потоку, не тільки для встановлення балансів у різних фізичних параметрах, але й для управління процесами обміну в самій мережі. У цьому сенсі теорія графів надає дослідникам досить простий і ефективний інструмент для подібних та інших структурних змін у мережах [22].

Для фахівців прикладних наук математичні методи є ефективним

інструментом отримання практичних результатів у вигляді розрахунків, що підтверджують правильність конкретних інженерних рішень, які є результатом інженерної роботи з максимальною точністю та ймовірністю. Наприклад, у галузі динаміки водню були зроблені серйозні прориви в розумінні процесів руху газу в динамічних об'єктах з різними параметрами середовища. Розуміння основних понять цих процесів стає частиною математичного аналізу, що дає змогу за допомогою створених диференціальних рівнянь виділити області вирішення подібних задач із заданням граничних умов. Подібні результати були отримані в інформатиці з використанням засобів дискретної математики та логічної алгебри [23].

Теорія графів вже використовується в прикладних дослідженнях у таких галузях, як логістика, економіка, хімія (комп'ютерна хімія), інформатика та схемотехніка. Графічно побудована структура з двійковим відображенням зображенням, власною ілюстративною інтерпретацією, повинна зберігати свій фізичний сенс, якщо вона піддається якомусь строго позначеному формальному перетворенню. Таким чином, отриманий граф також не втрачає свого фізичного чи іншого початкового значення порівняно з вихідною структурою графа. Саме цим методам присвячена ця частина атестаційної роботи.

### 3.2 Загальна поняття про алгоритми знаходження траєкторії

Хоча знаходження траєкторії є інстинктивним поняттям живих істот, математичні дослідження в цій галузі почалися порівняно недавно. Однією з перших згаданих проблем була проблема комівояжера, запропонована Вільямом Гамільтоном на початку 19 століття. Це завдання про знаходження найкоротшого траєкторії серед кількох міст України, щоб відвідати усі міста лише один раз. Це не привернуло увагу людей до 1900-х років. Першим відомим рішенням був глибокий знаходження, винайдений Шарлем П'єром Тремо. Далі з'явилося багато нових алгоритмів знаходження траєкторії, таких як знаходження в ширину, алгоритм Беллмана-Форда та алгоритм Дейкстри

[24].

Одним із найперших алгоритмів зважених графів є алгоритм Дейкстри, опублікований у 1959 році. Але для багатьох завдань він виявляється неефективним через повільну швидкість і високу вартість ресурсів.

У 1964 році Нільс Нільсен винайшов евристику для підвищення швидкості алгоритму Дейкстри. Він назвав його A1. Через три роки, в 1967 році, Рафаель Бертрам зміг значно вдосконалити алгоритм, хоча йому не вдалося досягти оптимальності. Цей алгоритм називається A2. Навіть роком раніше, у 1968 році, Пітер Е. Харт показав, що алгоритм A2 є оптимальним при використанні евристики, лише з незначними змінами. Тому новий алгоритм отримав назву A\*, де зірочки представляють усі можливі номери версій [25].

В даний час дуже популярні алгоритми знаходження найкоротшого траєкторії. Алгоритм A\*, як евристичний алгоритм, є одним із найпопулярніших і найефективніших алгоритмів у сучасних сферах кіберспорту та комп'ютерних чи мобільних додатків.

Крім того, цей алгоритм також популярний у сферах синтаксичного аналізу, NPL (обробка природної мови), SCS (стохастична безконтекстна граматики) тощо.

Актуальність даної теми полягає в тому, що подібні алгоритми стрімко поширюються на сучасному ринку, складність обробки даних зросла в рази, а мінімальні вимоги до ефективності програм швидко зростають.

Алгоритм, який планується розробити, повинен мати деякі переваги з точки зору швидкості, споживання пам'яті або інших класичних характеристик для оцінки ефективності програми.

Основна проблема, яку потрібно вирішити, полягає в тому, щоб перемістити об'єкт із початкової точки в кінцеву. Дія здається простою. Знайти спосіб важко.

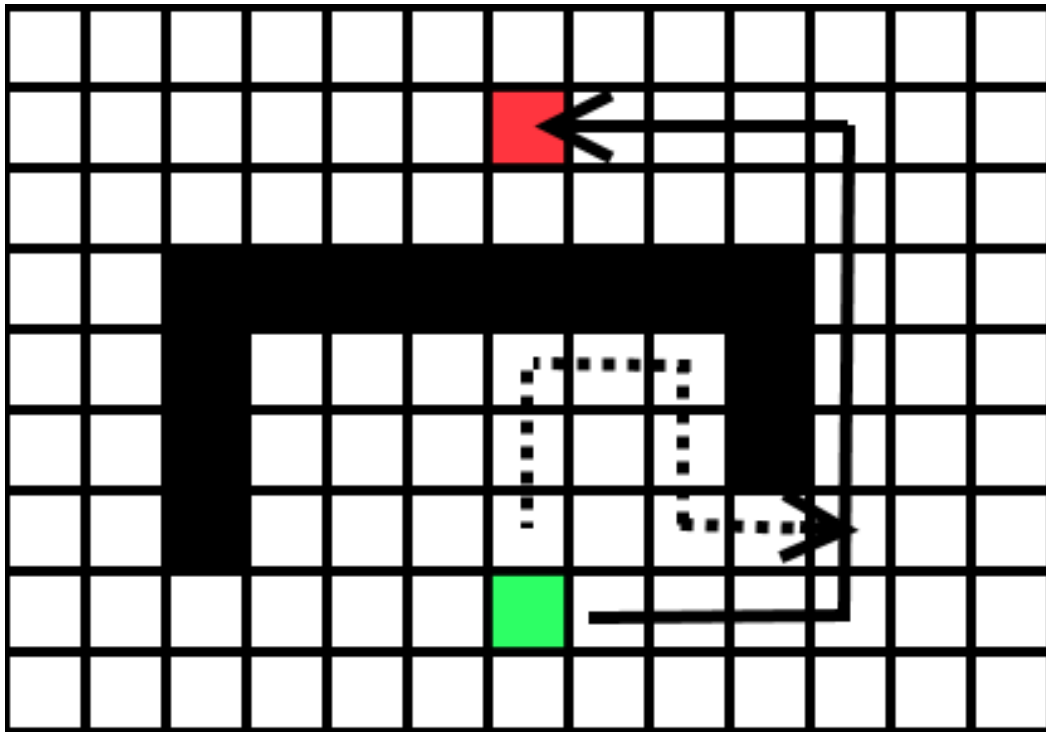


Рисунок 3.1 – Шляхи із попередніми пошуком та без

Як показано На рис. 3.1, інформації лише про цільове розташування часто недостатньо для прийняття найбільш вигідного рішення. Очевидно, що найпростіше рішення не завжди є оптимальним. Метою усіх алгоритмів знаходження траєкторії є вирішення проблеми найбільш «оптимальним» способом, використовуючи доступні дані. У цьому контексті «оптимальність» відноситься до набору характеристик алгоритму та програми, яка його реалізує.

Сучасні алгоритми знаходження траєкторії, які використовуються в ігрових моделях, засновані на алгоритмі Дейкстри. Найпопулярнішим з них є  $A^*$ .  $A^*$  — це вдосконалена версія алгоритму Дейкстри, яка використовує евристику для забезпечення ефективнішого знаходження траєкторії. Як пише автор алгоритму, якщо евристика не переоцінює фактичну мінімальну вартість досягнення мети, то  $A^*$  знайде траєкторія до мети з мінімальними витратами [26].

Існує багато нових алгоритмів знаходження траєкторії, таких як  $D^*$ ,  $\Theta^*$ ,  $\text{Field } D^*$  тощо.  $\Theta^*$  по суті те саме, що  $A^*$ , але повертає набір прямих шляхів, враховуючи усі можливі випадки.  $D^*$  – це поступовий знаходження,

який покращує ефективність шляхом знаходження дублікатів.

Алгоритм  $A^*$ , який розглядається в цій статті, є «жадібним» алгоритмом. Це означає, що він жертвує точністю на користь швидкості та легкості, які необхідні в певних завданнях, що потребують швидкої реакції на рух.

Завдання часто можуть мати мільйони різних рішень, і в більшості випадків можливість врахувати цю різноманітність просто відсутня. Однак, на відміну від 100% точності, алгоритм все одно повинен забезпечувати найточніше рішення, інвестуючи в задані параметри продуктивності.

### 3.3 Застосування евристичної функції у алгоритмах пошуку

Перш ніж приступити до розгляду алгоритмів знаходження траєкторії, необхідно згадати про таку важливу річ, як евристика. У загальному вигляді це теорія і практика організації вибіркового знаходження при вирішенні складних інтелектуальних завдань. Тип використовуваної евристики Цілком залежить від типу розв'язуваної задачі. Немає єдиної універсальної евристики, яка забезпечує найкраще рішення; все залежить від завдання.

Евристична функція  $h$  вважається прийнятною, якщо вона ніколи не переоцінює ефективну мінімальну вартість. Для більшості алгоритмів евристика повинна бути монотонною або генетичною. Монотонність означає, що якщо існують шляхи  $A-B-C$  і  $A-C$  (не обов'язково через  $B$ ), то оцінка вартості траєкторії від  $A$  до  $C$  повинна бути меншою або дорівнювати сумі оцінок для шляхів  $A-B$  і  $B-C$ . Вибір евристики впливає на те, як алгоритм обирає знаходження рішення, тим самим значно впливаючи на продуктивність алгоритму [27].

### 3.4 Порівняльний аналіз алгоритмів знаходження траєкторії

Існує багато алгоритмів побудови траєкторії, здатних уникати перешкод. В основному ці алгоритми зводяться до вирішення задачі знаходження шляхів у графі:



Найпростіший алгоритм обходу перешкод. Алгоритм розроблений для обходу простих перешкод, з якими стикаються пошукові роботи. Припустимо, що перед початком руху робота немає даних про карту, де відбувається рух. Навіть під час руху дані, отримані від підсистеми технічного зору, можуть визначити наявність перешкод. Якщо підсистема технічного зору виявляє перешкоду, в розроблену систему передаються такі параметри:

- параметр «Перешкода» приймає значення 0 (немає перешкоди) або 1 (наявність перешкоди);
- параметр «distance» приймає ціле позитивне значення відстані від платформи робота до перешкоди;
- параметр «Діаметр» приймає ціле позитивне значення, від якого система повинна відхилитися, щоб уникнути зіткнень;
- параметр "detour\_direction", що вказує напрямок об'їзду (ліворуч/праворуч).

Після того, як підсистема технічного зору отримає сигнали про наявність усіх виявлених перешкод, робот негайно повернеться у вихідне положення [29].

Маршрут навколо перешкод. Якщо перешкода велика, можливо торкнутися перешкоди «рукою» і рухатися по контуру перешкоди до кінця. На рис. 3.2(a) показано, наскільки ефективним є цей метод при роботі з великими перешкодами. Проблема цього підходу полягає в тому, щоб вирішити, коли припинити відстеження. Типова евристика може бути такою: «Зупиніть стеження, коли рухається в потрібному напрямку, коли стеження розпочато». У багатьох випадках це працює, але На рис. 3.3 (b) показано, як постійно зависати в межах перешкоди, не знаходячи виходу.



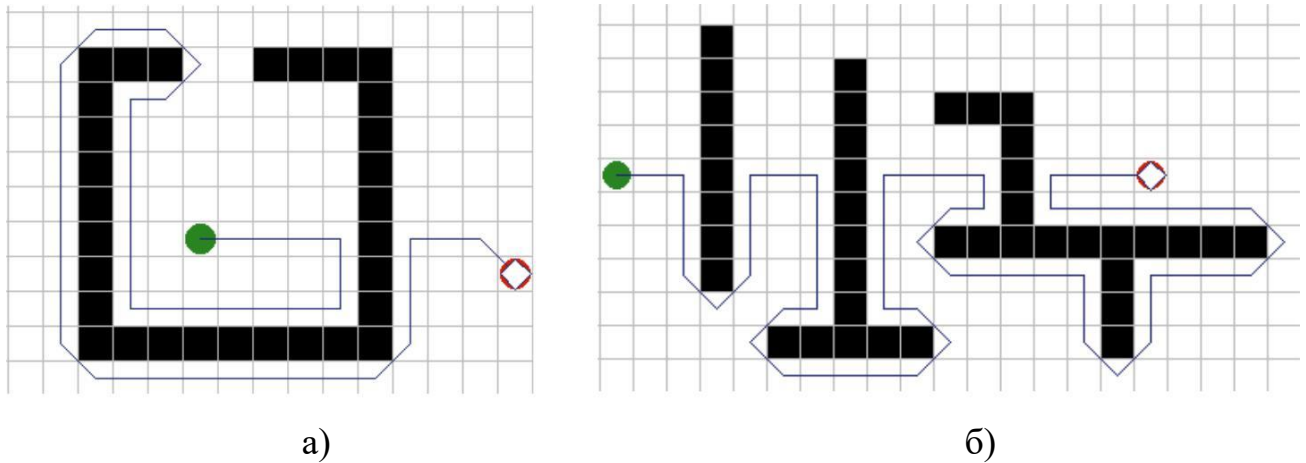


Рисунок 3.4 – Надійне трасування: а) Ситуація з глухим кутом      б) Ситуація зі складними перешкодами

У галузі теорії графів і штучного інтелекту існує безліч алгоритмів, які можуть вирішувати проблеми як у складних перешкодах, так і в зважених областях. У літературі багато алгоритмів представлені зміною станів або обходом вузлів графа. Застосування цього алгоритму для знаходження шляхів у геометричному просторі вимагає простого налаштування: стан або вузол графіка представляє об'єкт, розташований у певній клітинці, а перехід до сусідньої клітинки відповідає переходу до сусіднього стану чи сусіднього вузла. Розглянемо деякі з цих алгоритмів.

Знаходження по ширині (рис. 3.5) досліджує усі напрямки незалежно. Основна суть алгоритму полягає в тому, що, починаючи з початкового вузла, спочатку визначаються усі безпосередньо суміжні вузли, потім визначаються усі вузли в два кроки, потім визначаються усі вузли в три кроки і так далі до досягнення мети. Рисунок 3.4 показує процес пошуку. Цей алгоритм дозволяє знайти траєкторія навколо перешкоди, який є найкоротшим, тобто одним із кількох шляхів із найменшою довжиною, якщо усі кроки мають однакову вартість. Це дуже корисний алгоритм не лише для звичайного знаходження траєкторії, але й для створення процедурної карти, потокового знаходження траєкторії, карт відстані та інших типів аналізу карт. Цей алгоритм можливо

назвати базовим серед усіх алгоритмів знаходження траєкторії [28].

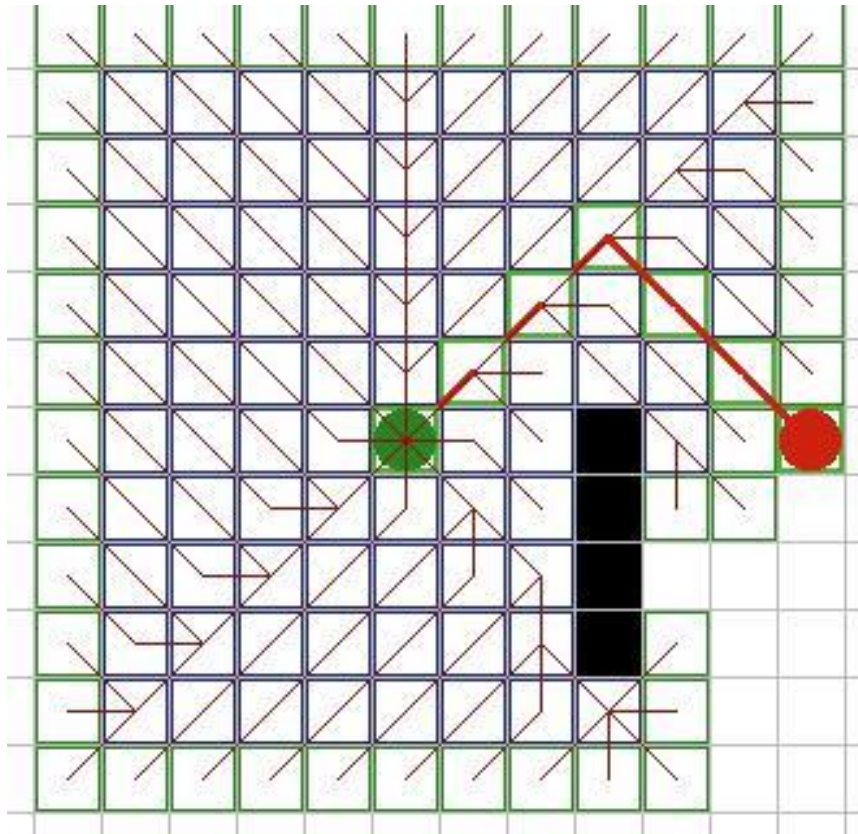


Рисунок 3.5 – Знаходження в ширину

Однак, оскільки він не враховує витрати на перемикання, це виходить за рамки сертифікації. По-перше, знаходження відбувається рівномірно в усіх напрямках, а не безпосередньо до цілі. По-друге, не усі кроки рівні, принаймні діагональні кроки повинні бути довшими, ніж зазвичай.

Алгоритм Дейкстри. У 1959 році Едсгером Дейкстра запропонував класичний алгоритм обходу графів, межі яких мають різні ваги. Цей алгоритм дозволяє знайти мінімальний траєкторія від одного вузла графа до усіх інших вузлів, але алгоритм працює лише для графів без від'ємних ваг. Для кожного кроку виконується знаходження початкового вузла, розташованого поблизу початкового вузла, потім перевіряються сусіди знайденого вузла та встановлюються або оновлюються їхні відповідні відстані від початкового вузла. Цей алгоритм має дві головні переваги перед пошуком у ширину: він враховує вартість або довжину траєкторії та оновлює вузли, коли знайдено

кращий траєкторія. Рисунок 3.6 демонструє відмінну адаптацію цього алгоритму до витрат площі [29].

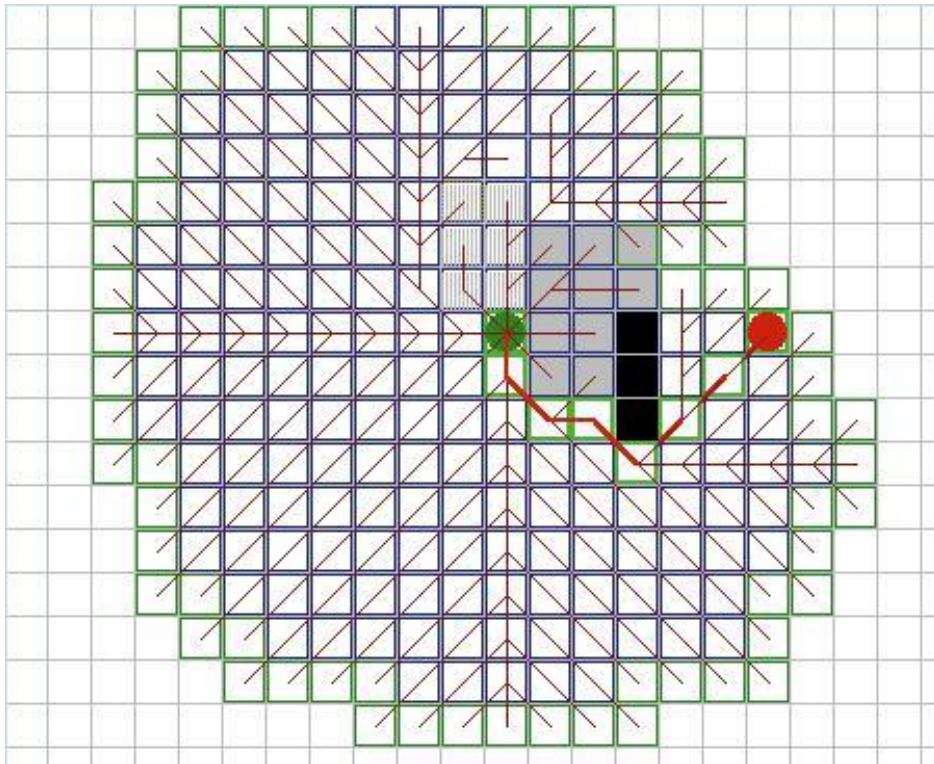


Рисунок 3.6 – Алгоритм Дейкстри

Наведений алгоритм (рисунок 3.6) дозволяє вибрати, які шляхи розглядати. Він не розглядає усі шляхи та надає перевагу недорогим шляхам. За допомогою варіації вартості ми можемо наказати алгоритму уникати небажаних шляхів або, навпаки, рухатися в певних напрямках. Коли ми маємо значення, нам потрібно використовувати цей алгоритм замість знаходження в ширину. Однак цей алгоритм має недолік знаходження вшир, оскільки він ігнорує напрямки цілі.

Шукайте глибоко. Природа цього алгоритму протилежна алгоритму знаходження вшир. Замість того, щоб спочатку відвідувати усіх сусідів, а потім їхніх спадкоємців, алгоритм спочатку відвідує усіх спадкоємців і лише потім вибирає сусіда. Для забезпечення закінчення знаходження необхідно передбачити зупинку на певній глибині [30].

Але такий знаходження траєкторії не є ідеальним, і рисунок 3.7 показує,



Поки евристична оцінка  $h(n)$  дійсна, алгоритм знаходить найкоротший траєкторія у 100% випадків (якщо він існує), тому він ніколи не перевищує справжню відстань, що залишилася до мети. Цей алгоритм майже ідеально використовує евристику: жоден алгоритм не покаже менше вузлів, ніж  $A^*$ , незалежно від того, чи мають вузли однакові значення. На рис. 3.8 показано, як алгоритм  $A^*$  реагує на ситуації, коли інші алгоритми мають проблеми.

Цей алгоритм поєднує довжину траєкторії алгоритму Дейкстри та додає евристичну числову оцінку пройденого траєкторії.

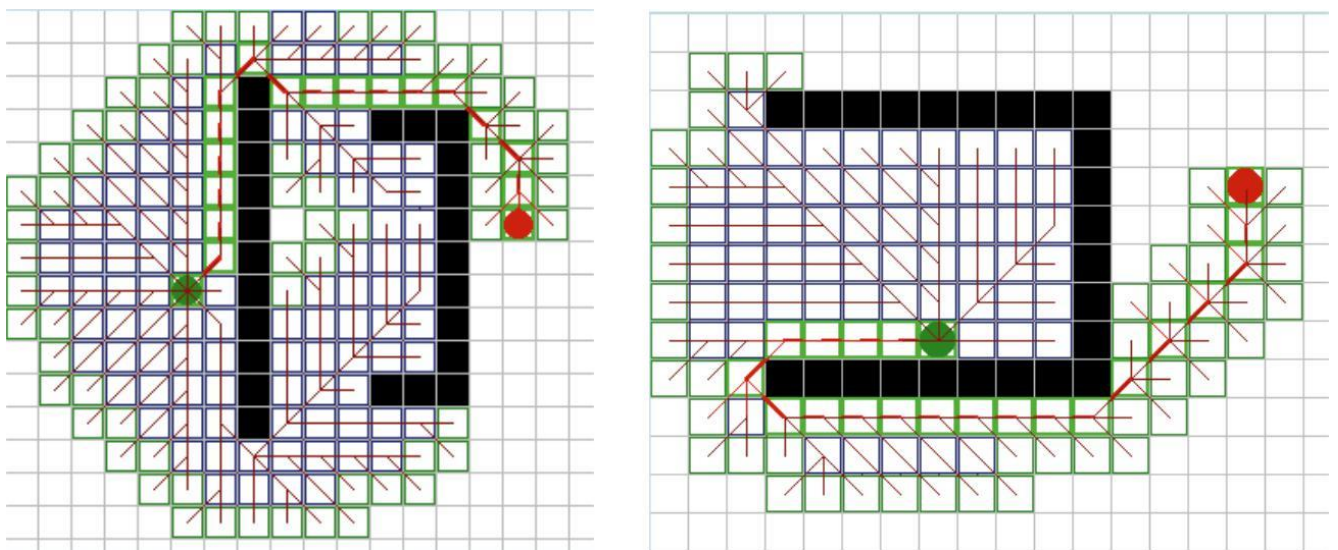


Рисунок 3.8 – Алгоритм  $A^*$

$A^*$  (рис. 3.8) — модифікація алгоритму Дейкстри, оптимізована для одного напрямку. Алгоритм Дейкстри знаходить шляхи до усіх точок;  $A^*$  шукає траєкторія до певної точки\*. На практиці  $A^*$  виявився дуже гнучким, з різними варіантами вдосконаленого алгоритму для різних ситуацій. Але також бувають випадки, коли алгоритм не завжди може давати хороші результати через різні причини [32].

Навіть для  $A^*$  вимоги до роботи в режимі реального часу, обмеження часу пам'яті та процесора можуть створити проблеми для ефективної роботи. Щоб знайти найкоротший траєкторія на великій карті, можливо створити багато об'єктів. Навіть з достатньою кількістю пам'яті алгоритми, які

обробляють ці масиви, можуть бути неефективними.

Існує багато інших алгоритмів знаходження траєкторії, кожен з яких має свої обставини, коли він ефективний.

Введіть  $D^*$  або Dynamic  $A^*$  для динамічного отримання шляхів під час виконання. Якщо робот (з прикріпленими датчиками) дізнається після руху, що траєкторія потрібно перерахувати, він може швидко змінити траєкторія. Алгоритм знову дуже схожий на  $A^*$ , оскільки містить списки закритих і відкритих клітинок. Алгоритм  $D^*$  записує перешкоди, присвоюючи їм високе значення у внутрішній змінній "перешкода". Порожнім полям присвоюється значення змінної «empty». Основна відмінність полягає в тому, що траєкторія зчитується локально, враховуючи дуже обмежену видимість датчика. Також є дві змінні - RAISE і LOWER, які вказують на більш високі або менші значення вершин, доданих в список закритих елементів. Алгоритм спочатку розглядає траєкторія як початковий траєкторія від початкової точки до пункту призначення, а потім змінює його на основі ціни траєкторії під час руху. Він повертає оптимальний траєкторія і гарантує, що робот рухається по оптимальному траєкторії до мети в кожен момент [33].

Focussed  $D^*$  – модифікована версія  $D^*$ , яка поєднує евристику  $A^*$  з алгоритмом  $D^*$ . Продуктивність focussed  $D^*$  вище, ніж продуктивність базового  $D^*$ .  $A^*$  можливо вважати як спеціальний випадок focussed  $D^*$ , де знаходження траєкторії не динамічний, а вартість постійна [34].

Lifelong Planning  $A^*$  - це інкрементальна версія знаходження  $A^*$ . Основна ідея алгоритму в тому, що він використовує базовий знаходження траєкторії  $A^*$  на першій ітерації і зберігає кожен стан цього знаходження, для швидкого повторного пошуку. Інкрементальний знаходження швидше знаходить рішення, ніж якщо шукати його кожен раз з початку [34].

$D^*$  Lite – ідея алгоритму в тому, щоб підраховувати траєкторія в невідомій місцевості.  $D^*$  Lite – це інкрементальний алгоритм знаходження, який використовує інформацію, яку він отримав від попереднього знаходження, щоб полегшити підрахунок нових шляхів (як в LPA\*).  $D^*$  Lite дуже схожий на

алгоритм  $D^*$ , але коротше і такий же по ефективності [34].

### 3.5 Обґрунтування обрання алгоритму і суть оптимізації

Жадібний знаходження найкращого першого збігу та  $A^*$  з використанням евристичних функцій. Але  $A^*$  використовує як евристику, так і алгоритм Дейкстри для сортування.

$A^*$  шукає можливі шляхи від початкової комірки до кінцевої, поки не знайде мінімальний траєкторія.  $A^*$  спочатку дивиться на маршрут, який, на його думку, приведе до мети.  $A^*$  відрізняється від жадібного алгоритму, який є алгоритмом, який знаходить перший найкращий збіг, оскільки при виборі вершини він бере до уваги весь її траєкторія [35].

Для покращення роботи алгоритму була модифікована одна з його складових, а саме траєкторія від початкової позиції до поточної комірки. Штучно зменшує  $g(n)$  — мінімальну вартість досягнення  $n$ -ї комірки від початкової точки, що робить знаходження більш «жадібним».

Евристика збільшує складність і споживання процесорного часу. Зменшення евристики збільшує кількість комірок для розгляду.

Оптимізація алгоритму призводить до вигідної швидкості знаходження на великомасштабних картах з відкритими просторами та простими перешкодами. Одним із недоліків є те, що необхідно зазначити, що така реалізація потребує більше пам'яті для розрахунку маршруту [36]. Наступною частиною сертифікаційної роботи буде порівняння загальноновживаного алгоритму та коригованого алгоритму.

### 3.6 Висновки до третього розділу

Проаналізувавши декілька основних алгоритмів знаходження шляхів, ми можемо зробити висновок, що хоча алгоритм  $A^*$  має свої недоліки, він є одним із найефективніших алгоритмів знаходження найкоротшого траєкторії. Однак

алгоритм  $A^*$  досить складний порівняно з алгоритмами відстеження перешкод, тому його використання не завжди рекомендується.

У роботі розглянуто два алгоритми обходу перешкод. Перший алгоритм не передбачає побудови карти місцевості, робот рухається по заданій точці відліку, і якщо отримує інформацію про те, що на траєкторії є перешкоди, система управління додає нові точки відліку для обходу перешкод. Другий алгоритм використовується для побудови карти місцевості, а при призначенні цілі за допомогою алгоритму оптимізації  $A^*$  (знаходження найкоротшого траєкторії) знаходить траєкторію його руху та задає її у вигляді еталонної балів.

## 4 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

### 4.1 Опис можливостей програми

Імітація підсистеми технічного зору використовується для регулювання руху об'єкта управління, тобто об'їзду можливих перешкод на траєкторії. Розглянемо реалізацію системи керування роботом і підсистеми бачення технології моделювання, що працюють спільно.

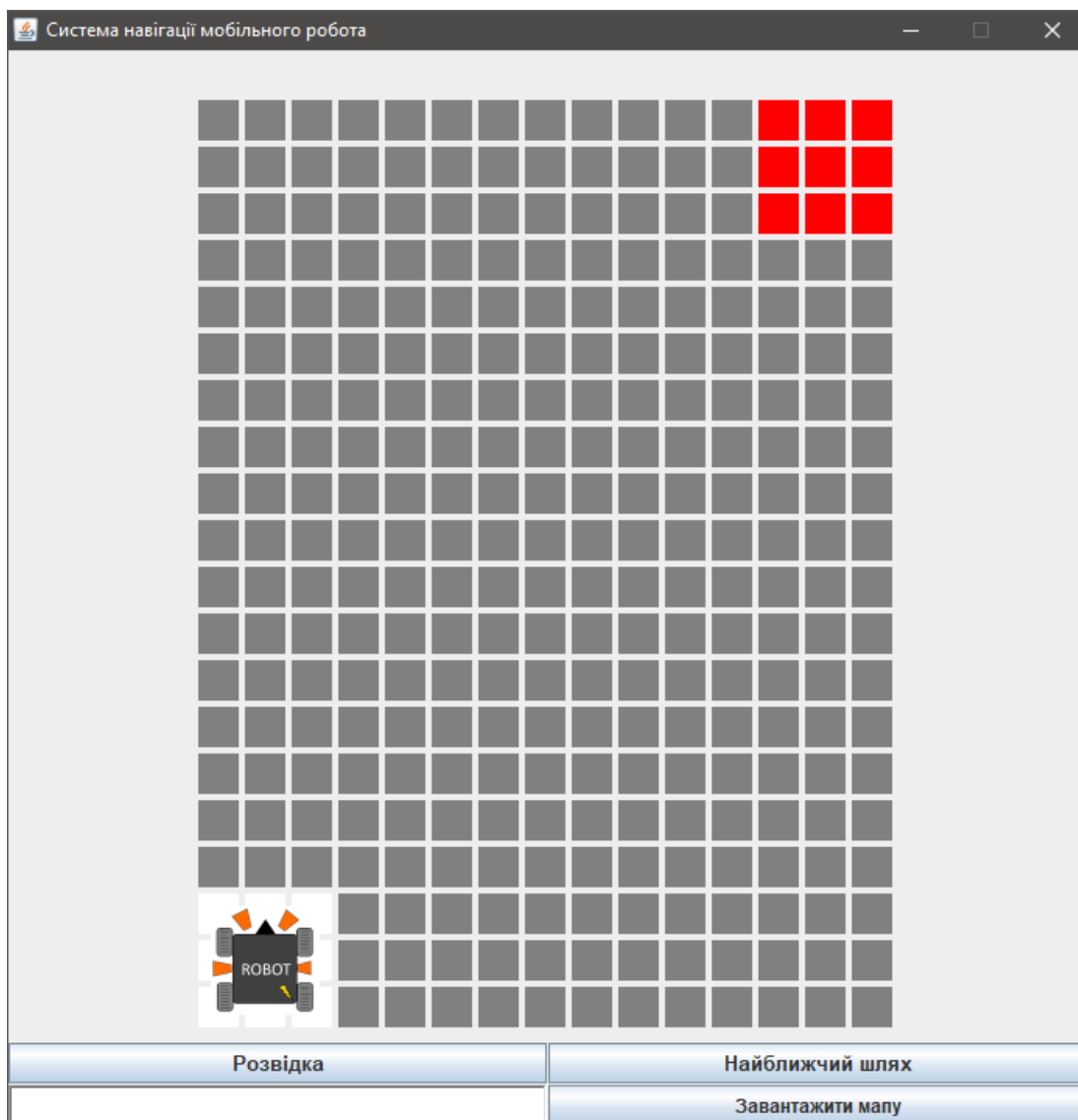


Рисунок 4.1 – Початкова позиція робота

Коли ви починаєте моделювати поведінку об'єкта керування, у головному вікні програми ви можете побачити робота, незвідану карту, а також кнопки «Скаут», «Найближчий шлях» і «Завантажити карту».

Спочатку вам потрібно завантажити карту в систему. Для завантаження карти використовуйте кнопку «Завантажити карту». Файл зіставлення виглядає як набір нулів і одиниць. На рис. 4.2 показано порівняння карти в програмі з файлом Map3.txt. Використовуйте файли карт, щоб гнучко проектувати, редагувати та тестувати рух робота. 0 у файлі означає, що траєкторія вільний, а 1 означає, що є перешкода. Візуальне відображення карти дає користувачеві можливість заздалегідь відстежувати місця та перешкоди, з якими робот зіткнеться під час свого «розвідувального» процесу. У цей момент робот нічого не знає про карту.

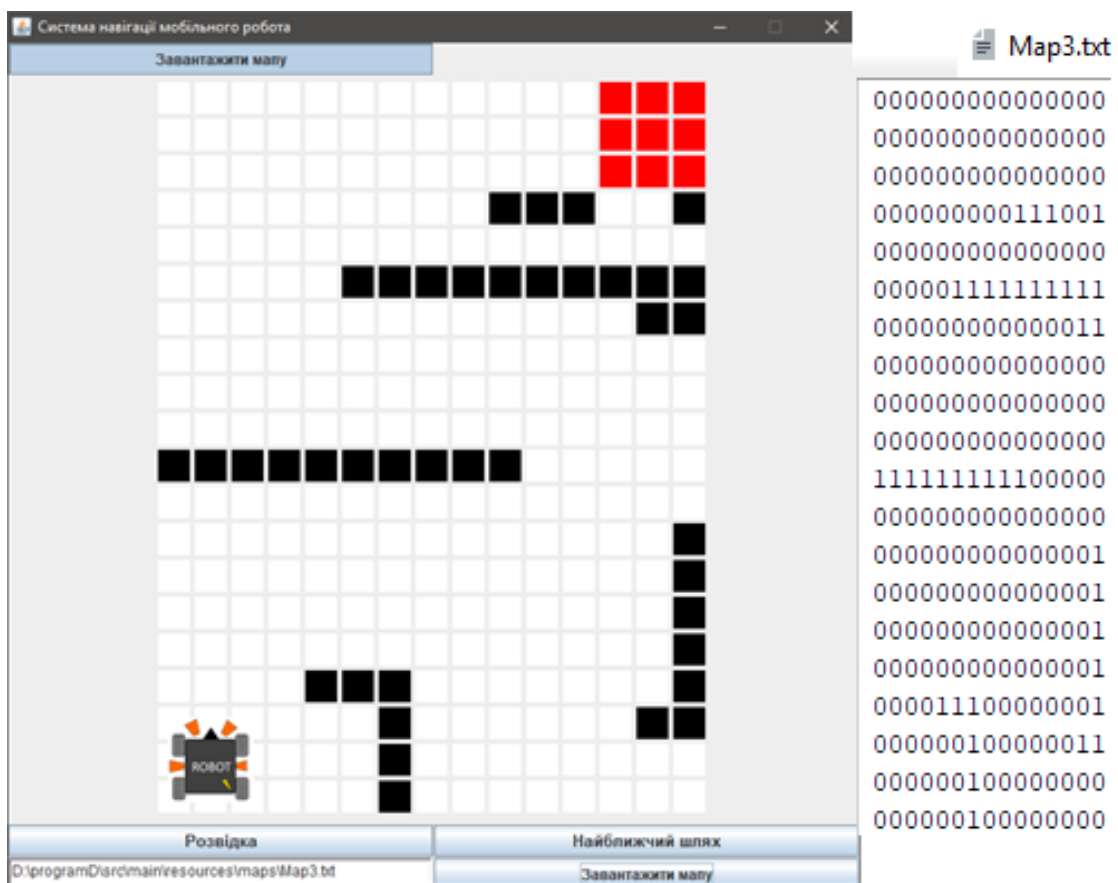


Рисунок 4.2 – Завантаження карти

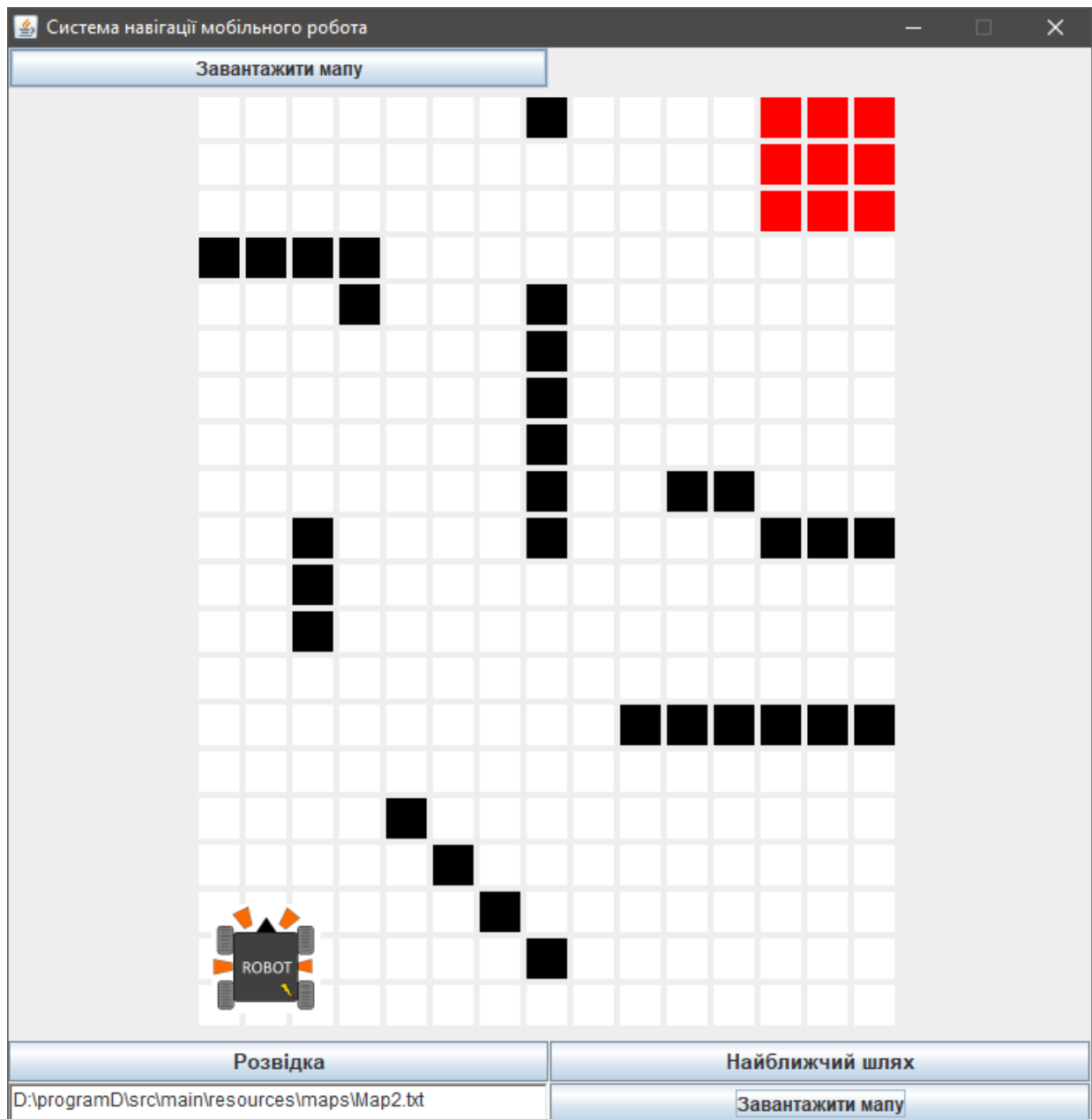


Рисунок 4.3 – Завантаження карти

Давайте завантажимо іншу карту, щоб продемонструвати інтелектуальний алгоритм (рис. 4.3). Після додавання карти в програму потрібно приступати до дослідження.

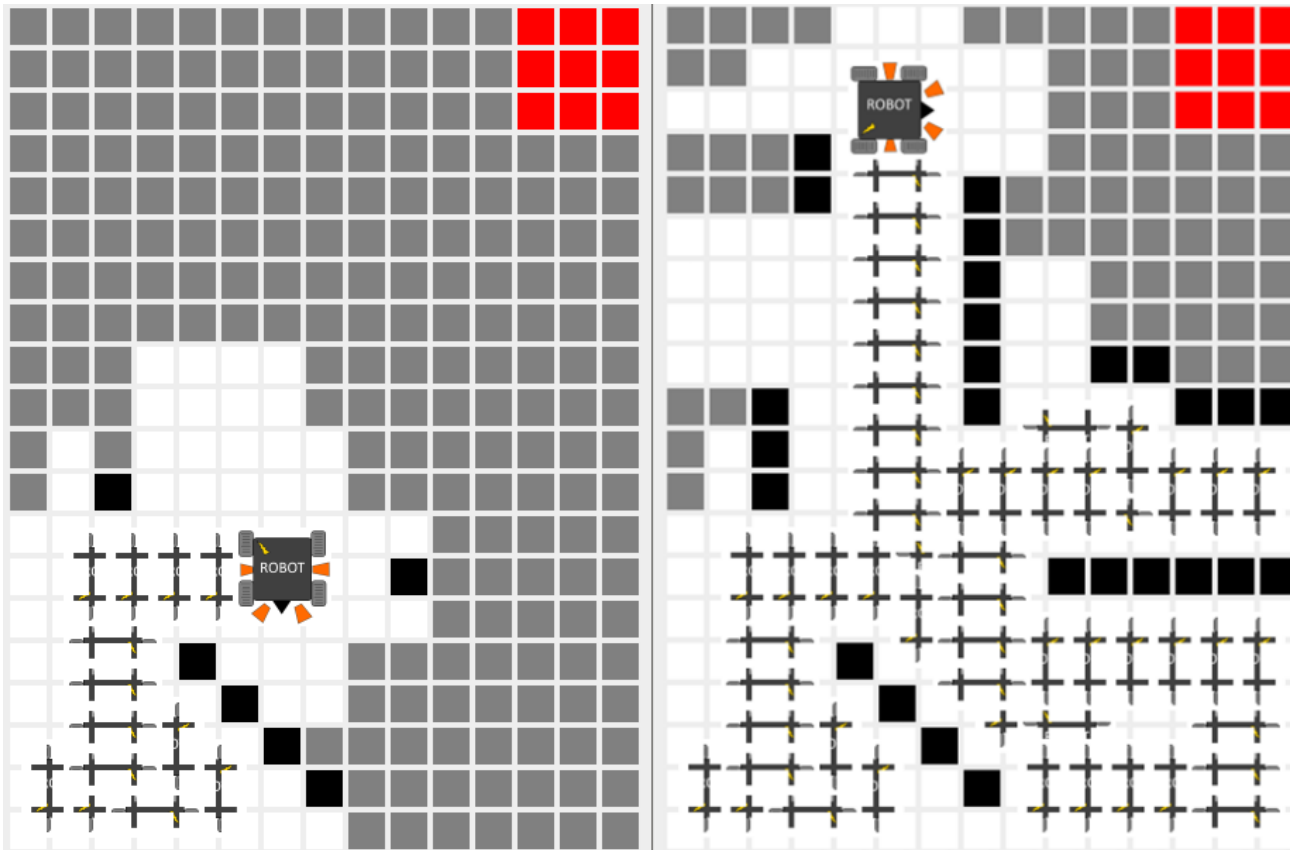


Рисунок 4.4 – Розвідка карти

Робот покладається на дані датчиків під час дослідження своєї території (рис. 4.4). Чорні кров'яні клітини є відомим захворюванням. Білі клітинки — це відомі вільні місця на карті. Сірі клітини невідомі. Червоним позначено мету роботи, а про найкоротший траєкторія до цієї мети йтиметься далі. Сіра доріжка – це місце, де вже ходив робот. Коли робот відкриє усі комірki на 100%, він повернеться у вихідне положення. Якщо робот повертається у вихідну позицію, коли не усі комірki відкриті, ці комірki можна вважати недосяжними, і робот зупиняється у початковій позиції та очікує на наступну дію оператора. Цілком досліджена карта представлена На рис. 4.5.

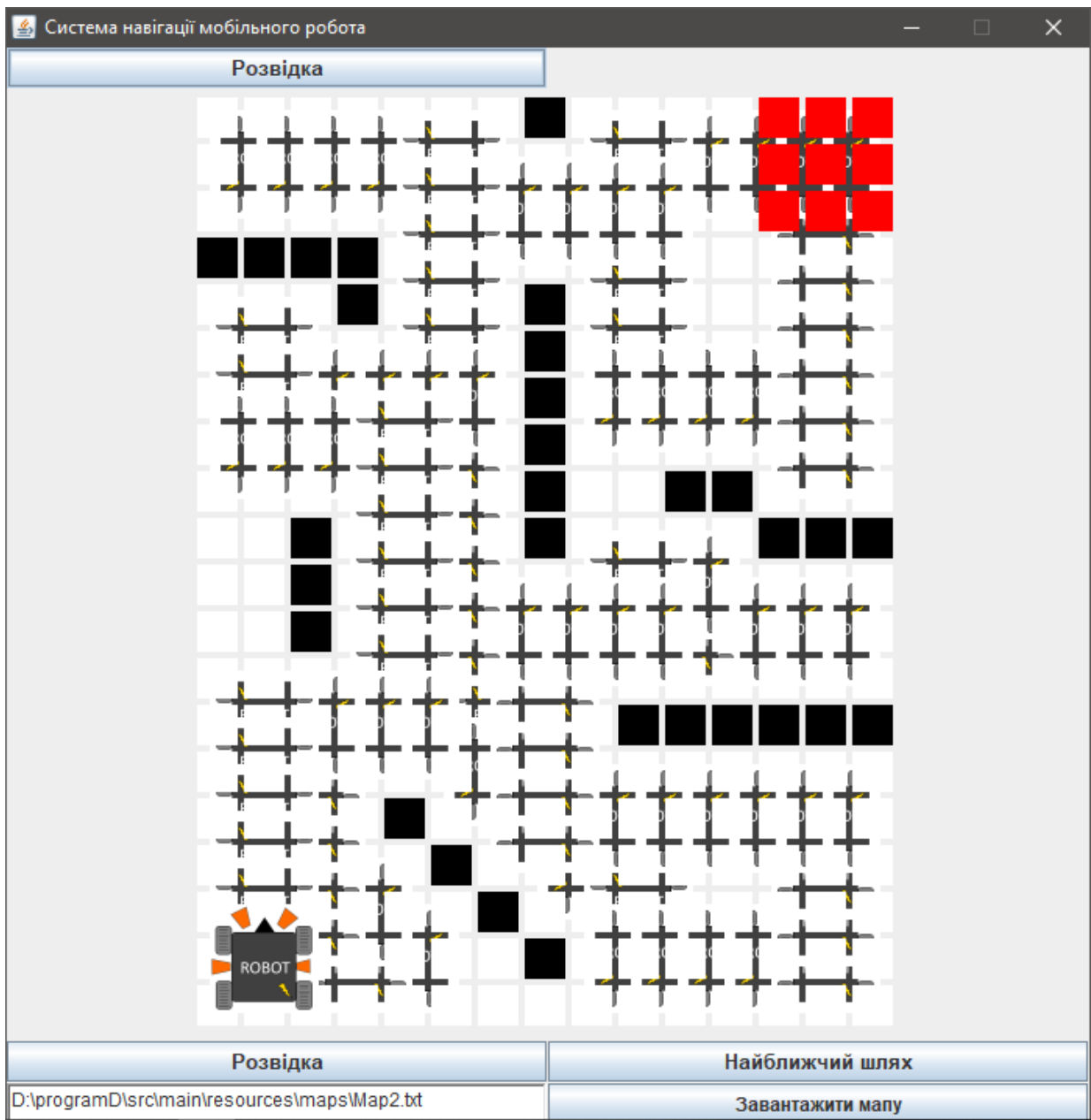


Рисунок 4.5 – Закінчення розвідки

Отже, розвідка виконана та у консолі можливо спостерігати наступні результати (рис 4.6):

```
Розвідка закінчена!  
100.00% розвідано, 300 клітин знайдено у цілому.
```

Рисунок 4.6 –Результати розвідки

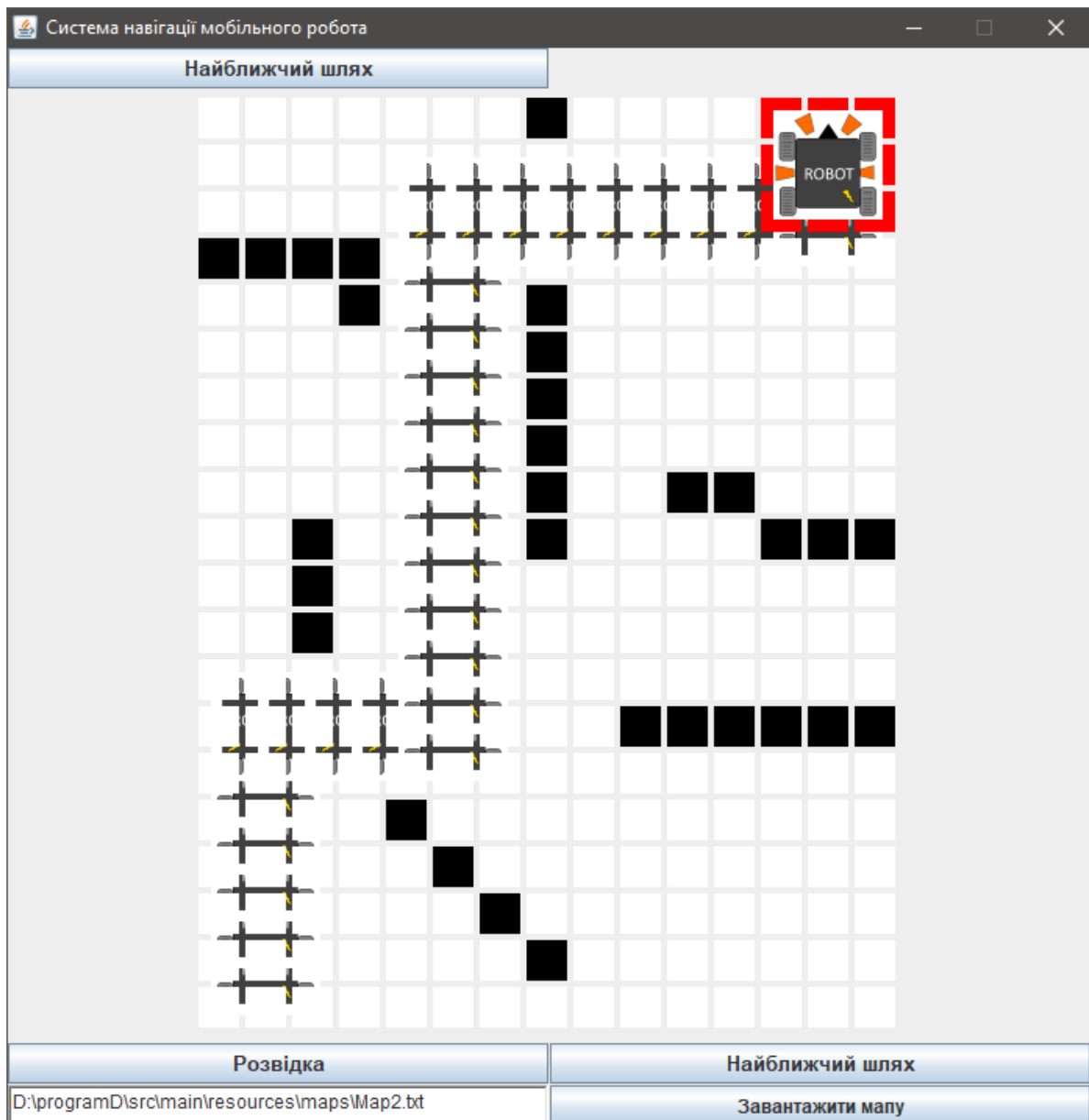


Рисунок 4.7 – Знаходження найближчої траєкторії

Після дослідження місцевості, знаходження цільової позиції робота та натискання кнопки «найближчий шлях» починається алгоритм найближчої траєкторії. Результати програми наведено на рис. 4.7.

Після натискання кнопки «Найближчий шлях» обрахунок виконується за алгоритмом  $A^*$ . Блок-схема алгоритму найкоротшого траєкторії представлена на рис. 4.8.

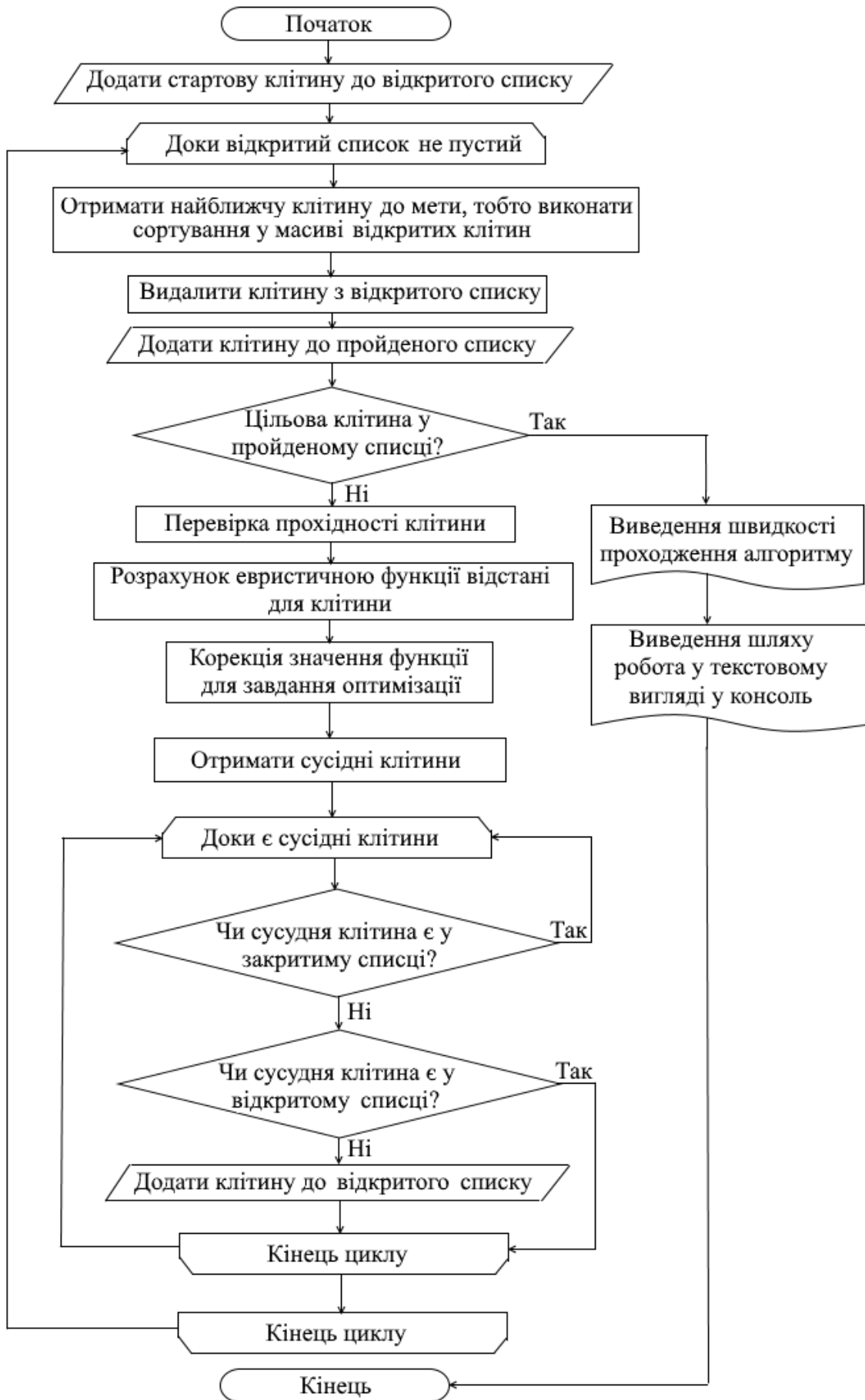


Рисунок 4.8 – Блок схема алгоритму найближчого траєкторії

```

private ArrayList<Cell> open;
private ArrayList<Cell> closed;
private HashMap<Cell, Cell> parents;
private Cell current;
private Cell[] neighbours;
private Direction curDir;

public void runFastestPath(int goalRow, int goalCol) {
    long start = System.nanoTime();
    do {
        current = minimumCellCost(goalRow, goalCol);
        if (parents.containsKey(current)) curDir = getTargetDir(parents.get(current).getRow(), parents.get(current).getCol());

        closed.add(current);
        open.remove(current);
        if (checkIfGoalFound(goalRow, goalCol, start)) return;
        if (exploredMap.checkValidCoordinates(current.getRow() + 1, current.getCol()) {
            neighbours[0] = exploredMap.getCell(current.getRow() + 1, current.getCol());
            if (!canBeVisited(neighbours[0])) neighbours[0] = null;
        }
        if (exploredMap.checkValidCoordinates(current.getRow() - 1, current.getCol()) {
            neighbours[1] = exploredMap.getCell(current.getRow() - 1, current.getCol());
            if (!canBeVisited(neighbours[1])) neighbours[1] = null;
        }
        if (exploredMap.checkValidCoordinates(current.getRow(), current.getCol() - 1) {
            neighbours[2] = exploredMap.getCell(current.getRow(), current.getCol() - 1);
            if (!canBeVisited(neighbours[2])) neighbours[2] = null;
        }
        if (exploredMap.checkValidCoordinates(current.getRow(), current.getCol() + 1) {
            neighbours[3] = exploredMap.getCell(current.getRow(), current.getCol() + 1);
            if (!canBeVisited(neighbours[3])) neighbours[3] = null;
        }

        for (int i = 0; i < 4; i++) {
            if (neighbours[i] != null) {
                if (closed.contains(neighbours[i])) continue;
                if (!open.contains(neighbours[i])) {
                    parents.put(neighbours[i], current);
                    double v = gCosts[current.getRow()][current.getCol()] + costG(current, neighbours[i], curDir);
                    gCosts[neighbours[i].getRow()][neighbours[i].getCol()] = v;
                    open.add(neighbours[i]);
                } else {
                    double currentG = gCosts[neighbours[i].getRow()][neighbours[i].getCol()];
                    double tempG = gCosts[current.getRow()][current.getCol()] + costG(current, neighbours[i], curDir);
                    if (tempG < currentG) {
                        gCosts[neighbours[i].getRow()][neighbours[i].getCol()] = tempG;
                        parents.put(neighbours[i], current);
                    }
                }
            }
        }
    } while (!open.isEmpty());
}

private Cell minimumCellCost(int goalRow, int getCol) {
    int size = open.size();
    double minCost = RobotConstants.INFINITE_COST;
    Cell result = null;
    for (int i = size - 1; i >= 0; i--) {
        double gCost = gCosts[(open.get(i).getRow())][(open.get(i).getCol())];
        gCost = gCost / DECREASE_G_COST;
        double cost = gCost + costH(open.get(i), goalRow, getCol);
        if (cost < minCost) {
            minCost = cost;
            result = open.get(i);
        }
    }
    return result;
}

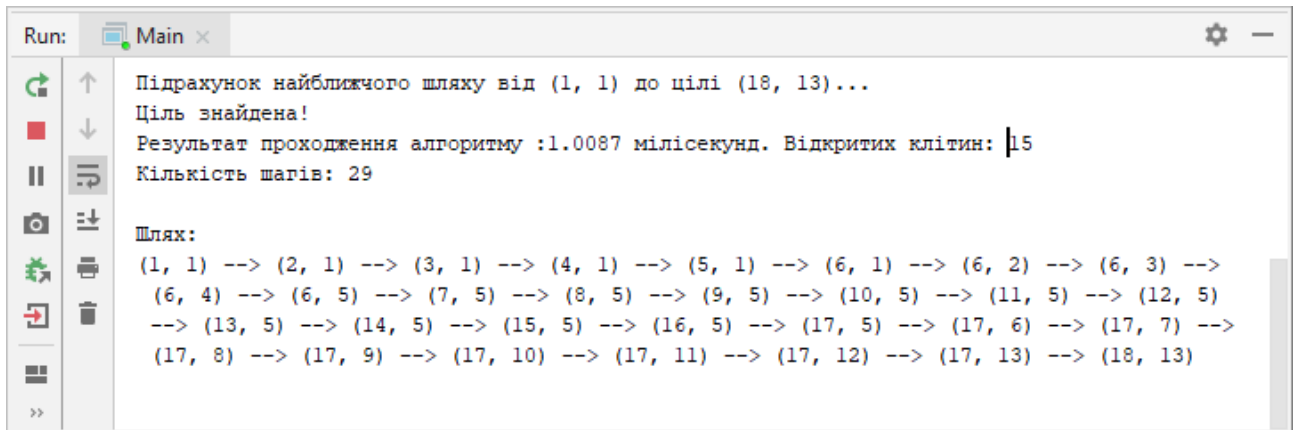
```

Рисунок 4.9 – Код реалізації алгоритму, що є оптимізованим A\*

Схема алгоритму наведена на рис. 4.8. На рис. 4.9 показано алгоритм, що є оптимізований A\*, в якому змінна DECREASE\_G\_COST штучно змінює параметри евристичної оцінки траєкторії ходьби, тим самим скорочуючи час прийняття рішення роботом, але пам'ять, необхідну для розрахунку, збільшується.

## 4.2 Аналіз результатів алгоритму, що є оптимізованим A\*

На рисунках 4.10 та 4.11 наведено результати роботи звичайного алгоритму знаходження оптимального траєкторії та результат роботи коригованого алгоритму щодо знаходження найкоротшого траєкторії відповідно.

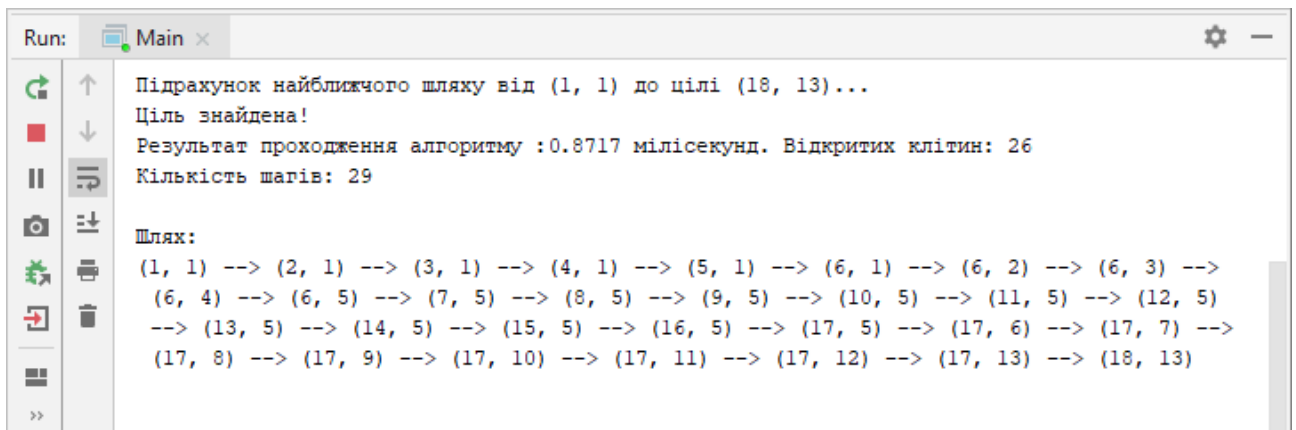


```

Run: Main x
Підрахунок найближчого шляху від (1, 1) до цілі (18, 13)...
Ціль знайдена!
Результат проходження алгоритму :1.0087 мілісекунд. Відкритих клітин: 15
Кількість шагів: 29

Шлях:
(1, 1) --> (2, 1) --> (3, 1) --> (4, 1) --> (5, 1) --> (6, 1) --> (6, 2) --> (6, 3) -->
(6, 4) --> (6, 5) --> (7, 5) --> (8, 5) --> (9, 5) --> (10, 5) --> (11, 5) --> (12, 5)
--> (13, 5) --> (14, 5) --> (15, 5) --> (16, 5) --> (17, 5) --> (17, 6) --> (17, 7) -->
(17, 8) --> (17, 9) --> (17, 10) --> (17, 11) --> (17, 12) --> (17, 13) --> (18, 13)
  
```

Рисунок 4.10 – Результати роботи алгоритму знаходження найкращого траєкторії



```

Run: Main x
Підрахунок найближчого шляху від (1, 1) до цілі (18, 13)...
Ціль знайдена!
Результат проходження алгоритму :0.8717 мілісекунд. Відкритих клітин: 26
Кількість шагів: 29

Шлях:
(1, 1) --> (2, 1) --> (3, 1) --> (4, 1) --> (5, 1) --> (6, 1) --> (6, 2) --> (6, 3) -->
(6, 4) --> (6, 5) --> (7, 5) --> (8, 5) --> (9, 5) --> (10, 5) --> (11, 5) --> (12, 5)
--> (13, 5) --> (14, 5) --> (15, 5) --> (16, 5) --> (17, 5) --> (17, 6) --> (17, 7) -->
(17, 8) --> (17, 9) --> (17, 10) --> (17, 11) --> (17, 12) --> (17, 13) --> (18, 13)
  
```

Рисунок 4.11 – Результат роботи коригованого алгоритму щодо знаходження найкоротшого траєкторії

При оптимізації алгоритму час знаходження найкоротшого траєкторії можливо прискорити на 20%, але при цьому споживання пам'яті збільшується на 35%. На великих картах час знаходження скорочується, а споживання

пам'яті збільшується, але незначно. Чим ближче робот до цілі, тим менше обчислень йому потрібно зробити.

Результати кількох експериментів наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики МБЛ

№	Мапа	А*		Оптимізований А*		Довжин а шляху, клітин
		Час розрахунк ів, мс	Вузлів у пам'яті, шт	Час розрахункі в, мс	Вузлів у пам'яті, шт	
1	Пуста	0.6654	27	0.3674	27	29
2		0.9531	27	0.6023	27	29
3	проста	0.6992	14	0.5284	24	51
4		0.883	14	0.4898	24	51
5	проста	0.6844	12	0.6851	21	45
6		0.4348	12	0.4122	21	45
7	проста	0.5817	17	0.4952	29	52
8		0.6821	17	0.3034	29	52
9	складна	0.7825	14	0.8376	45	63
10		0.8829	14	0.9122	45	63

Після аналізу таблиці було побудовано графік залежності пам'яті від часу виконання алгоритму. Ви можете простежити шаблон На рис. 4.12. Оптимізація була успішною, і алгоритм став більш жадібним до часу знаходження, що зробило алгоритм швидшим у середньому на 30%, але навіть тоді спостерігалися втрати пам'яті до 40%. Оптимізація менш ефективна для великих карт зі складними перешкодами та роботизованих систем із малим об'ємом обчислювальної пам'яті.

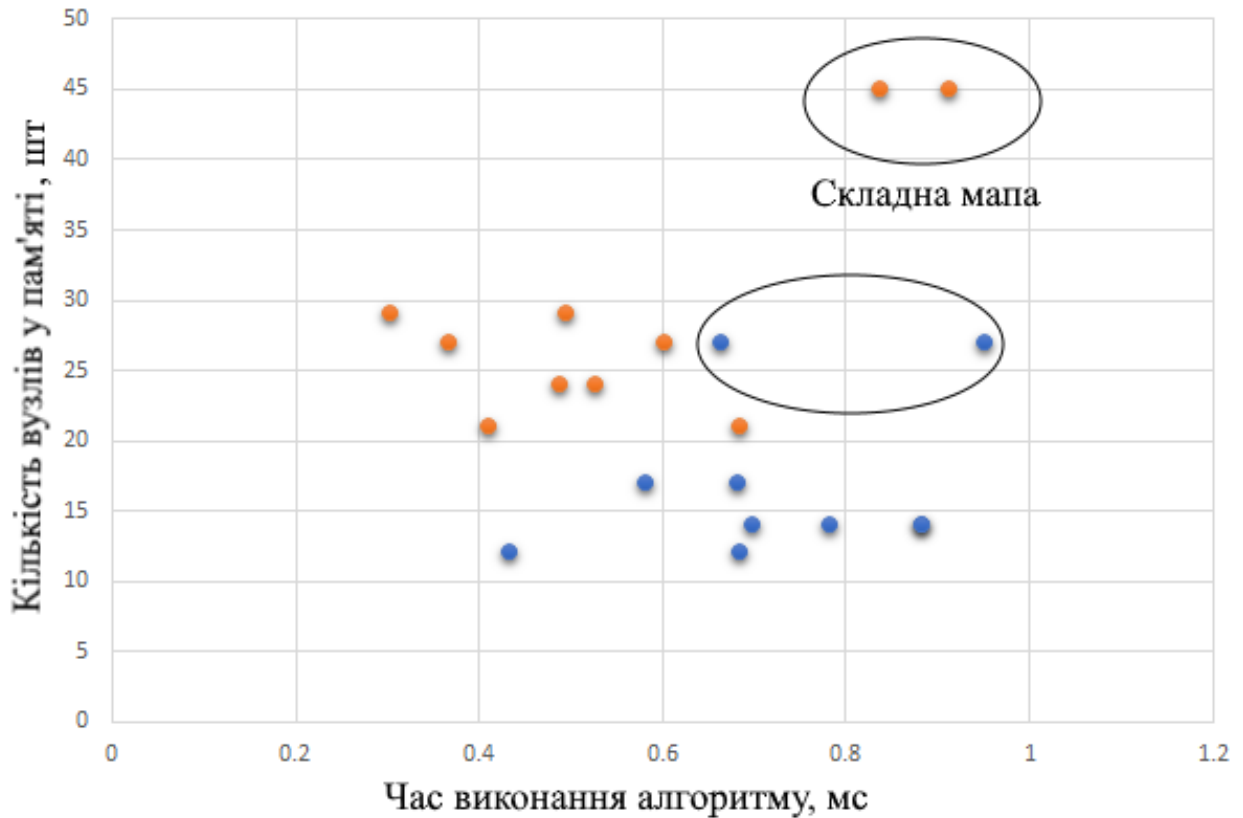


Рисунок 4.12 – Графік витрат пам'яті  
від часу роботи алгоритму

#### 4.3 Висновки до четвертого розділу

У розділі представлені результати, що відповідають поставленим цілям. Цей програмний продукт розв'язує задачу оптимізації алгоритму знаходження найкоротшого траєкторії та допомагає вирішити задачу навігації мобільних роботів на основі систем прийняття рішень.

Графічні представлення найзручніше подають результати алгоритму та рух робота — кожен об'єкт розміщується в координатній площині відповідно до значень його параметрів, за якими визначається евристична траєкторія. Відображення має бути зазначено як файл, що містить набір нулів і одиниць. Цей метод картографування дозволяє дослідникам швидко змоделювати різні типи ситуацій і перешкод, з якими робот зустріне на своєму траєкторії.

## ВИСНОВКИ

У роботі вивчалися системи навігації для різних рухомих об'єктів та алгоритми подолання перешкод.

Автономна навігація мобільних роботів допомагає автоматизувати фізичні завдання, які потребують від робота переміщення в різні місця навколишнього середовища. У сертифікаційній роботі були розглянуті різні методи автоматизації навігаційних рішень робота шляхом отримання та використання просторових знань. Залежність реактивних методів від безперервних даних датчиків дозволяє їм швидко адаптуватися до змін у навколишньому середовищі, тоді як доцільні методи можуть приймати довгострокові рішення, які значно підвищують ефективність. Гібридний підхід – це спроба досягти найкращого результату для обох сторін. Дослідження людської навігації є актуальними, оскільки багато роботизованих пристроїв отримали нішу в областях, де людям відносно легко орієнтуватися. Обмеження сучасних навігаційних методів прийняття рішень обмежують використання мобільних автономних роботів.

Було розроблено та досліджено два різних алгоритми керування мобільними роботами: алгоритм розвідника та алгоритм найкоротшого траєкторії.

У процесі тестування інтелектуальних алгоритмів можливо виявити недолік – алгоритму бракує гнучкості. У разі зміни параметрів об'єкта контролю (розмір, діапазон датчика) необхідно змінити алгоритм роботи усієї системи.

Розробка навігаційних алгоритмів для мобільних роботів є практичним новим завданням у сфері робототехніки. Актуальність даної роботи зумовлена широким розповсюдженням мобільних роботів в останні роки.

Було проведено велику кількість досліджень, пов'язаних із розробкою керування мобільними роботами, включаючи картографування та побудову оптимального траєкторії, але мало уваги приділялося траєкторіям з обмеженою

швидкістю в певних точках.

У даній роботі досліджено розробку системи навігації робота, детально досліджено багато аспектів розробки модуля, системи знаходження мінімальної траєкторії.

Розглядаються алгоритми, які використовуються в навігації для побудови маршрутів, що об'їжджають перешкоди.

Також було вирішено завдання побудови мінімальної траєкторії від початкової позиції до мети та сформульовано та розраховано алгоритм мовою програмування JAVA, запрограмовано та протестовано.

Результати матмоделювання показують, що робот успішно виконав завдання з розвідки та знаходження мінімальної траєкторії.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Збруцький О. В. Мобільні роботи: можливості, перспективи, проблеми / О. В. Збруцький, Ю. М. Савенко, Д. С. Мішкін // Механіка гіроскопічних систем : науково-технічний збірник. – 2013. – Вип. 26. – С. 112–120.
2. Klein G., Murray D. Parallel tracking and mapping for small AR workspaces // Proc. of the 6th IEEE and ACM Intern. Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2007). Nara, Japan. 13-16 Nov., 2007. P. 225-234.
3. Mobile Robot Navigation. Edited by Alejandra Barrera. Published by InTech. Croatia. 2010.
4. Bischoff B., Nguyen-Tuong D., Streichert F., Ewert M., Knoll A.. Fusing Vision and Odometry for Accurate Indoor Robot Localization. II 12th International Conference on Control, Automation, Robotics & Vision Guangzhou, China, 5-7th December 2012.
5. Chong K.S., Kleeman L. Accurate Odometry and Error Modelling for a Mobile Robot, MECSE-1996-6.
6. Навігація мобільних наземних роботів у недетермінованих середовищах. Сергієнко О.Ю., Карташов В.М., Колендовська М.М. Харків: ХНУРЕ, 2020. 297 с.
7. Watanabe H., Dettloff W., Yount E. A VLSI Fuzzy Logic Inference Engine for Real-time Process Control // IEEE Journal of Solid State Circuits, 1990. – V.25, N.2. P.376 – 382.
8. Дубчак В. М. Вища математика в прикладах та задачах. Навчальний посібник / В.М.Дубчак, В.М.Пришляк, Л.І.Новицька. – Вінниця: ВНАУ, 2018. – 254 с
9. Харченко А.П. Вища математика в прикладах і задачах, частина І: Навчальний посібник / А.П.Харченко, В.О.Гаєвська, Г.В.Лисянська. – Х:НТМТ, 2017. – 194 с
10. Харченко А.П. Вища математика в прикладах і задачах, частина ІІ:

Навчальний посібник / А.П.Харченко, В.О.Гаєвська, Г.В.Лисянська. – Х:НТМТ, 2017. – 233 с

11. Вища математика: базовий підручник для вузів / В.С.Пономаренка. – Х.: Фоліо, 2016. – 669 с

12. Герасимчук В. С. Вища математика. Повний курс у прикладах і задачах / В.С.Герасимчук, Г.С.Васильченко, В.І.Кравцов. – К.: Книги України ЛТД, 2015. – 470 с

13. Практикум з вищої математики: Навчальний посібник / За ред. В.О.Коваля. – Ж: ЖДТУ, 2008. – 448 с

14. Вища математика. Загальний курс: Збірник задач та вправ. / А.Д.Тевяшев, О.Г.Литвин. URL: <https://www.twirpx.com/file/277182/> (дата звернення 12.05.2021)

15. Вища математика. Збірник задач: Навчальний посібник / В.П.Дубовик. URL: [https://issuu.com/erudytnet/docs/1dubovik\\_v\\_p\\_yurik\\_i\\_i\\_vishcha\\_mate](https://issuu.com/erudytnet/docs/1dubovik_v_p_yurik_i_i_vishcha_mate) (дата звернення 12.11.2024)

16. Коруд В.І., Електротехніка: Підручник / В.І. Коруд, О.Є. Гамола, С.М. Малинівський; За заг. ред. В.І. Коруда. – 3-є вид., переробл. і доп. – Львів: Магнолія Плюс, 2006. – 447 с.

17. Михайленко В.Є., Інженерна та комп'ютерна графіка: Підручник / В.Є. Михайленко, В.В. Ванін, С.М. Ковальов; За ред. В.Є. Михайленка. – 6-е вид. – К.: Каравела, 2012. – 368 с.

18. Титаренко М.В., Електротехніка: Навчальний посібник/ М.В. Титаренко. – К.: Кондор, 2013. – 240 с.

19. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : Підручник / М. С. Будіщев. – Львів : Афіша, 2001. – 424 с.

20. Колонтаєвський Ю. П. Промислова електроніка і мікросхемотехніка / Ю. П. Колонтаєвський, А. Г. Сосков. під ред. А. Г. Соскова. – Вид. 2-ге, виправл. і доповн. – Харків : ХДАМГ, 2003. – 281 с.

21. Теорія електропривода : Підручник / [М. Г. Попович, М.Г. Борисик,

- В.А. Гаврилюк та ін.] ; за ред. М. Г. Поповича. – Київ : Вища шк., 1993. – 454 с.
22. Руденко В. С. Промислова електроніка / В. С. Руденко, В. Я. Ромашко, В. В. Трифонюк. – Київ : Либідь, 1993. – 432 с.
23. Костін М. О. Теоретичні основи електротехніки [Текст]: підручник у 3 т. / М. О. Костін, О. Г. Шейкіна. – Дніпро: Видво ДНУЗТ, 2006. – Т. 1. – 336 с; 2007.- Т.2.- 276 с; 2011. – Т.3, Ч.1. – 224 с; 2012.– Т.3, Ч.2. – 352 с.
24. Гуржій А. М. Електротехніка та основи електроніки : підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / А. М. Гуржій, С. К. Мещанінов, А. Т. Нельга, В. М. Співак. - Київ : Літера ЛТД, 2020. - 288 с.
25. Електрика та магнетизм : підручник / Л. Д. Дідух. - Тернопіль : Підручники і посібники, 2020. - 464 с. - Режим доступу : <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31412..>
26. Автоматика та електропривод техніки реєстрації інформації [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Г. Г. Власюк, В. М. Співак, К. О. Трапезон, В. Б. Швайчен-ко. - Київ : Освіта України, 2010. - 159 с. - Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19129>.
27. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник / Ю. П. Колонтаєвський. - Київ : Каравела, 2006. - 384 с.
28. Макаренко В. В. Цифрова та імпульсна схемотехніка. Матмодельовання аналіз : навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки «Акустотех-ніка» [Електронний ресурс] / В. В. Макаренко, В. М. Співак ; НТУУ «КПІ». -Київ : НТУУ «КПІ», 2015. - 314 с. - Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19099>.
29. Панчевний Б. І. Загальна електротехніка: теорія і практика / Б. І. Панчевний, Ю. Ф. Свєргун. - 2-ге вид. - Київ : Каравела, 2004. - 440 с.
30. Воробйова О. М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / О. М. Воробйова, Ю. В. Флейта. - Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2018. - 208 с.
31. Бойко В. І. Мікрокомп'ютерна техніка / В. І. Бойко, А. Т. Нельга. - 2-ге вид. - Київ : Науково-методичний центр вищої освіти, 2008. - 254 с.
32. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та

потоків ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл.

33. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник / Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.

34. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.

35. Матвійчук А. Я. Електротехніка: навчально-методичний посібник/ Матвійчук А. Я., В. Л. Стінянський; Вінницький державний педагогічний університет ім. М.Коцюбинського.– Вінниця, 2017. -270 с.

36. Загальна електротехніка з основами автоматики: Навчальний посібник / Т.В.Левченко. – К., 2010. – 358 с.

37. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі: навчальний посібник / Коновалюк О.В., Кіяшко В.М., Колісник М.В. – К.: Аграрна освіта, 2013. – 404 с.

38. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлев та ін. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 449 с.

39. Електроніка та мікросхемотехніка: Навчальний посібник / За ред. проф. В.Ф. Яковлева. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 329 с.

40. Електротехнологія. Навчально-методичний посібник із контрольними завданнями. Укладач: Кашенко П.С. Монтаж електрообладнання і систем керування / За заг. ред. проф. Яковлева В.Ф. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 348 с.

41. Довідникова книга з електроенергетики: навчальний посібник/ П.В. Волох, М.П. Цоколенко, Л.В. Ревенко, В.А. Грічаненко та ін. –К. : Аграрна освіта, 2014. – 506 с.

42. Електроніка і мікропроцесорна техніка / Сенько В.І., Лисенко В.П., Юрченко О.М., Лукін В.Є., Руденський А.А. — К. : «Агроосвіта», 2015. — 676

с.

43. Електропостачання агропромислового комплексу : підруч. / Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М. – К. : Аграрна освіта, 2011. – 448 с.

44. Ремонт машин та обладнання : підручник / [Сідашенко О.І. та ін.]; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К. : Агроосвіта, 2014. – 665 с.

45. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підруч. у 2 т : Т 1 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін. ; за ред. А.В. Рудя. – К. : Агроосвіта, 2012. – 584 с.

46. Герасимчук І. До питання про впровадження нейро-лінгвістичного програмування у процес навчання іноземній мові у вищих військових навчальних закладах[Текст]/ І. Герасимчук//Вісник Львівського університету.-2003.-№1.-С. 39-44.

47. Лежнюк П.Д. Оптимальне керування нормальними режимами електроенергетичних систем критеріальним методом з використанням нейро-нечіткого моделювання[Текст]/ П.Д. Лежнюк, О.О. Рубаненко//Вісник Вінницького політехнічного інституту.-2012.-№1.-С. 127-131.

48. Арсенюк І. Р. Адаптивний алгоритм керування радіокерованим візком / І. Р. Арсенюк, В. І. Месюра, В. В. Савчук // Інтернет – Освіта – Наука – 2006 : збірник матеріалів V Міжнародної конференції. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2006. – Т. 2 . – С. 583 – 586.

49. Арсенюк І. Р. Розв'язання задачі подолання перешкод мобільним роботом / І. Р. Арсенюк, Д. А. Волхонський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – №2. – С. 67 – 72.

50. Арсенюк І. Р. Розпізнавання об'єктів у змінному середовищі / І. Р. Арсенюк, В. В. Колодний, Д. І. Будельков // Інтернет – Освіта – Наука –2006: збірник матеріалів V Міжнародної конференції. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2006. – Т. 2. – С. 603 – 605.

51. Арсенюк І. Р. Навчально-дослідницька система автоматичного керування радіокерованим візком / І. Р. Арсенюк, В. І. Месюра, Ю. Л. Ляшенко

// Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2010. – №1. – С. 112 – 115.

52. Корчиста О.В. Інтелектуальний модуль планування траєкторії мобільного робота / О.В Корчиста, В. І. Месюра // XLVI Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ - 2017) / Електронне наукове видання матеріалів конференції. – Вінниця, 2017. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2017/paper/view/2026/1890>. // Вінниця:

53. Корчиста О.В. Навігація мобільного робота у динамічному середовищі / О.В. Корчиста, В. І. Месюра ВНТУ. – 2018. – Режим доступу <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2018/paper/view/4894/4277>. до ресурсу:

54. Корчиста О.В., Месюра В.І.. Гібридний модуль планування траєкторії мобільного робота у динамічному середовищі // О.В. Корчиста, - «ІНТЕРНЕТ-ОСВІТА-НАУКА-2018», Одинадцята міжнародна науково-практична конференція ІОН-2018, 22-25 травня, 2018 : Збірник праць. – Вінниця : ВНТУ, 2018 – с.26-27.

55. Корчиста О., Месюра В. Розробка нечіткої бази знань гібридного модулю планування траєкторії / Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018). XIV Міжнародна конференція. Тези доповідей. Вінниця, 15-17 жовтня 2018 року. – Вінниця: ВНТУ. – 2018. – с.138.

56. Тасьмук Д., Месюра В. Визначення параметрів алгоритму оптимізації керування рухом на перехресті / Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018). XIV Міжнародна конференція. Тези доповідей. Вінниця, 15-17 жовтня 2018 року. – Вінниця: ВНТУ. – 2018. – с.138.

57. Permana, S. D. H. Comparative Analysis of Pathfinding Algorithms A \*, Dijkstra, and BFS on Maze Runner Game [Текст] / Silvester Dian Handy Permana, Ketut Bayu Yogha Bintoro, Budi Arifitama, Ade Syahputra // International Journal Of Information System & Technology. – 2018. – Vol. 1, №2. – Pp. 1–8.

58. Wengrow, J. A Common-Sense Guide to Data Structures and Algorithms [Текст] / J. Wengrow. – Pragmatic Bookshelf. – 2020. – 508 с. – ISBN

9781680607225.

59. Rohringer, W. Stochastic optimization of a cold atom experiment using a genetic algorithm Game [Текст] / W. Rohringer, R. Bucker, S. Manz, T. Betz, A. Perrin // Applied Physics Letters. – 2008. – Vol. 93, №26. – Pp. 93-116.

60. Sangdani, M. H. Genetic algorithm-based optimal computed torque control of a vision-based tracker robot: Simulation and experiment [Текст] / M. H. Sangdani, A. R. Tavalopour-Saleh // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2018. – Vol. 67, №2. – Pp. 24-38.

61. Buckland, M. Programming game AI by example 1st Edition [Текст] / M. Buckland. – М. : Game AI. – 2004. – 495 с. – ISBN 978-1556220784.

62. Millington, I. Artificial Intelligence for Games [Текст] / I. Millington, J. Funge – M Artificial Intelligence for Games, 2006. – 845с.

63. Паласіюс, Х. UNITY 5 X. Програмування штучного інтелекту у іграх [Текст] / Х. Паласіюс – М. : UNITY 5 X, 2017. – 272 с. 26. Unity Documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу : [www/ URL: https://docs.unity3d.com/Manual/index.html/](http://www.unity3d.com/Manual/index.html/) - 9.11.2020 г. – Загол. з екрану.

64. Алгоритми та методи [Електронний ресурс] – Режим доступу : [www/ URL: http://algotlist.manual.ru](http://algotlist.manual.ru) – 26.10.2020 г. – Загол. з екрану. 80

65. Needham, M. Graph Algorithms: Practical Examples in Apache Sparks and Neo4j [Текст] / M. Needham. - O'Reilly Media : Graph Algorithms, 2019. – 268 с. – ISBN 978-1492047681.

66. Алгоритми – частина 1. Жадібні алгоритми, алгоритм Дейкстри [Електронний ресурс] – Режим доступу : [www/ URL: https://webdevblog.ru/zhadnye-algoritmy-chast-1-algoritm-dejkstry/](https://webdevblog.ru/zhadnye-algoritmy-chast-1-algoritm-dejkstry/) – 12.11.2020 г. – Загол. з екрану. 3

67. Рассел, Дж. Алгоритм Дейкстры [Текст] / Дж. Рассел. – Bookvika : Алгоритм Дейкстры, 2012. – 112 с. – ISBN 978-5-5128-6896-6. 31. Hwang-il, K. Path Planning Algorithm Using the Particle Swarm Optimization and the Improved Dijkstra Algorithm [Текст] / К. Hwang-il, В. Lee, К. Kim. // 2008 IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application. – 2008. – Pp.

68. – ISBN 978-0-7695-3490-9. 32. Swathinka, O. V. G. Prims-Aided Dijkstra Algorithm for Adaptive Protection in Microgrids [Текст] / O. V. G. Swathinka. // IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. – 2016. – Pp 1279-1286.

69. Bell, M. G. H. Hyperstar: A multi-path Astar algorithm for risk averse vehicle navigation [Текст] / M. G. H. Bell. // Transportation Research Part B: Methodological. – 2019. – Vol. 43, №1. – Pp. 97–107.

70. Xiang, L. A comparative study of A-star algorithms for search and rescue in perfect maze [Текст] / L. Xiang, D. Gong // 2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering. – 2011. – Pp. 134142. – ISBN 978-1-4244-8036-4.

71. Pratyaksa, O. N. S. Optimized A-Star algorithm in hexagon-based environment using parallel bidirectional search [Текст] / O. N. S. Pratyaksa // 2016 8th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE). – 2016. – Pp. 87-103. – ISBN 978-1-5090-4140-4.

72. Chaudhari A. M. Improved A-star Algorithm with Least Turn for Robotic Rescue Operations [Текст] / Ashok M. Chaudhari, Minal R. Apsangi, Akshay B. Kudale // International Conference on Computational Intelligence, 81 Communications, and Business Analytics. – 2017. – Pp. 45-56. – ISBN 978-98110-6429-6.

73. Бібліотека для реалізації генетичних алгоритмів у .NET Framework 2.0 [Електронний ресурс] – Режим доступу : [www/ URL: http://jenyay.net/index.php?n=Programming.Genetic#theory](http://www.jenyay.net/index.php?n=Programming.Genetic#theory). – 05.12.2020 г. Загол. з екрану.

74. Choubey, N. S. A-Mazer with Genetic Algorithm [Текст] / N. S. Choubey // International Journal of Computer Applications. – 2018. – Vol. 58, №17. – Pp. 48-54. 42. Costa, A. A. A computational model for exploratory activity of rats with different anxiety levels in elevated plus-maze [Текст] / A. Costa, S. Morato, A. C. Roque, R. Tinos // Journal of Neuroscience Methods. – 2014. – Vol. 236, №1. – Pp. 44-50.

75. Vose, M. D. The Simple Genetic Algorithm: Foundations and Theory [Текст] / M. D. Vose. – The MIT Press. : Genetic Algorithm, 1999. – 220 с. – ISBN 978-0262220583.

**Додаток А**  
**Стаття у фаховому журналі (подана до редакції журналу «Вісник  
Хмельницького національного університету»)**

**РАДЕЛЬЧУК Галина**  
Хмельницький національний університет  
<https://orcid.org/0000-0002-9728-4390>  
gal\_2015@ukr.net  
**МАКАРИШКІН Денис**  
Хмельницький національний університет  
<https://orcid.org/0000-0003-3447-811X>  
makaryshkinde@khmnu.edu.ua  
**ПЕРОВ О.С.**  
Хмельницький національний університет  
**ЛЮБЧИК Віталій**  
ТОВ «Карат»  
vitaly1612@gmail.com

**ОГЛЯД МЕТОДІВ НАВІГАЦІЯ МОБІЛЬНИХ АВТОНОМНИХ РОБОТІВ**

У роботі наведено вивчення існуючих способів руху мобільних роботів, можна сказати, що кожен метод ефективний при застосуванні. Показано що вибираючи спосіб навігації, важливо враховувати завдання, для яких буде використовуватися мобільний робот, а також його фізичні характеристики та тип ґрунту, по якому він буде рухатися. Наприклад, робототехнічний рух у середовищі, що динамічно розвивається, потребує більш складних методів навігації та контролю. Спроба розглядає спостереження за мобільною машиною в стаціонарному середовищі.

Дослідження показали, що найточніших результатів можна досягти за допомогою акселерометра, гіроскопа та магнітометра, ці три прилади є недорогими та складними, але вони не мають такої ж точності.

Зрештою, можна стверджувати, що використання інерційних пристроїв для оцінки переміщення можливе, однак, чим більший ступінь точності бажаний, тим дорожче це реалізувати.

Ключові слова: мобільний робот, методи навігації, система руху, GPS.

**RADELCHUK Halyna, MAKARYSHKIN Denys, PEROV O.S.**  
Khmelnitsky National University

**LIUBCHYK Vitalii**  
Karat LTD

**OVERVIEW OF METHODS NAVIGATION OF MOBILE AUTONOMOUS ROBOTS**

The paper presents a study of existing methods of movement of mobile robots, it can be said that each method is effective in its application. It is shown that when choosing a navigation method, it is important to take into account the tasks for which the mobile robot will be used, as well as its physical characteristics and the type of soil on which it will move. For example, robotic movement in a dynamically developing environment requires more complex methods of navigation and control. The attempt considers the observation of a mobile machine in a stationary environment.

Studies have shown that the most accurate results can be achieved using an accelerometer, gyroscope and magnetometer, these three devices are inexpensive and complex, but they do not have the same accuracy.

In the end, it can be argued that the use of inertial devices to estimate movement is possible, however, the greater the degree of accuracy desired, the more expensive it is to implement.

Keywords: mobile robot, navigation methods, motion system, GPS.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок  
із важливими науковими чи практичними завданнями**

Роботи – це машини, які впливають на зміни у світі та мають такі ж фізичні здібності, як люди чи тварини. Робот автономний, тобто може виконувати поставлені завдання без втручання людини. Автоматизовані роботи все частіше використовуються для автоматизації рутинних завдань у таких сферах, як промислова автоматизація та управління складами, або в небезпечних для людини сферах, таких як дослідження космосу, військові місії та пошуково-рятувальні операції.

Мобільні роботи — це роботи, які можуть пересуватися у двовимірному (2D) або тривимірному (3D) просторі. Зусилля щодо сертифікації будуть зосереджені на мобільних роботах, які рухаються у двовимірному просторі. Успіх мобільного робота залежить від його здатності орієнтуватися, тобто знаходити своє поточне положення в просторі та досягати наміченого місця. Самохідні мобільні роботи використовуються для переміщення товарів на складах, виконання щоденних завдань, таких як пиросос, і перевезення людей у транспортних засобах. Мобільні роботи також використовуються для дослідження небезпечних або невідомих районів космічного простору та проведення пошуково-рятувальних операцій. Хоча ці галузі мають різні вимоги, усі вони покладаються на автономну навігацію. [1]

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Більшість доступних мобільних роботів мають як апаратне, так і програмне забезпечення. Пристрій містить датчики та виконавчі механізми. Датчики вимірюють різні показання в навколишньому середовищі (наприклад, світло, тепло) і перетворюють їх у цифрову інформацію. Актуатори - це двигуни, які викликають фізичну дію. Рівень програмного забезпечення отримує інформацію від датчиків як вхідну інформацію та генерує команди, які керують роботом, щоб робот виконував покладені на нього завдання. Такий поділ апаратних і програмних рішень має значні переваги. Це дає змогу виробникам роботів створювати стандартизованих роботів без потреби в конкретних програмах і надає користувачам можливість гнучко використовувати алгоритми прийняття рішень на основі програм.

Прийняття рішень включає кілька компонентів, зокрема планування, міркування та машинне навчання. Планує майбутні дії організації для досягнення поставлених цілей. Обґрунтування встановлює істинність твердження на основі відомих фактів. Навчиться використовувати минулий досвід для покращення рішень. Застосування штучного інтелекту в робототехніці може підвищити продуктивність роботів завдяки їх досвіду роботи.

З розвитком наукових галузей, таких як автоматичне управління та штучний інтелект, сучасні роботи не тільки навчилися виконувати зазначені в них програми, але й здатні отримувати інформацію на основі різноманітних датчиків та даних. Релевантні системи, здатні самостійно приймати рішення і мінімізувати помилки при виконанні поставлених перед ним завдань. [2, 3]

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття**

Одне з найскладніших завдань — автоматичне керування траєкторією робота при наявності перешкод. Тут найважливішим фактором є забезпечення робота необхідними датчиками або підсистемами, що дозволяють визначати наявність, тип і відстань до перешкод, а також формувати точні та своєчасні дії для зміни траєкторії руху та здійснення подальшого руху. рішень.

**Формулювання цілей статті**

Основною метою роботи є вивчення існуючих методів і алгоритмів забезпечення автономного руху мобільних роботів.

**Виклад основного матеріалу**

Розглянемо задачу оцінки зовнішнього середовища в результаті використання інформації технічних візуальних систем. Розглянемо та запровадимо різні методи побудови систем керування та позиціонування, щоб гарантувати, що рух робота уникає перешкод уздовж заданої траєкторії. Предметом робототехніки є створення та використання роботів та інших робототехнічних засобів різного призначення.

Робот — це автомат загального призначення, призначений для виконання механічних дій, подібних до тих, які виконує людина під час виконання фізичної праці, корисних операцій або пересування. З моменту народження перших роботів і до сьогодні їх моделювати на основі фізичних здібностей людини. Саме прагнення замінити людину на важких роботах спершу породило ідею роботів, потім перші спроби її реалізувати (у Середньовіччі), а потім призвело до розвитку сучасної робототехніки [2, 3].

Найбільш поширеними та широко використовуваними роботами є роботи-маніпулятори та мобільні роботи.

Маніпулятивний робот - це стаціонарна або мобільна машина з виконавчим пристроєм (маніпулятором) з різним ступенем переміщення і пристроєм управління, який виконує функції руху і функції управління під час роботи. Маніпуляційна праця набула поширення переважно в машинобудівній промисловості.

Мобільний робот – це машина з мобільним шасі та автоматично керованими приводами. Такі роботи доступні в крокуючому, гусеничному і колісному варіантах (є також системи пересування плаваючих і літаючих роботів).

Рішення має систему виконання - маніпуляції (один або кілька маніпуляторів), рухи робота при його русі, сенсорні системи, які забезпечують роботу інформацією про зовнішнє середовище, і пристрої управління.

Система руху складається з механічної системи та системи приводу. Механічна система маніпулятора, як правило, являє собою кінематичний ланцюг, що складається з кінематичних ланок з кутовим або поступальним рухом, кінцем якої зазвичай є робочий орган у вигляді якогось інструменту [2 - 4].

Робот - це машина з автоматичним або інтерактивним керуванням; маніпулятивна (стаціонарна або рухома) або маніпулятивна і мобільна; вона використовується як у детермінованих, так і в недетермінованих середовищах і процесах. До роботів відносяться не тільки автономні системи (повністю автоматизоване управління), але й інтерактивні системи управління (тобто частково керовані оператором). Це дозволяє вважати роботами не тільки системи, оснащені маніпуляторами, але й досить великий клас пристроїв, відомих як мобільні роботи, які часто мають інтерактивне керування.

Робототехніка базується на кібернетиці та механіці, що в свою чергу вносить нові напрямки розвитку цих наук. Для кібернетики це в першу чергу пов'язано з інтелектуальним управлінням, необхідним роботам і механічним пристроям з багатоланковими механізмами, таким як маніпулятори.

Сьогодні, незважаючи на величезні прориви в технологіях та інтелекті, які відбулися після перших прототипів роботів, роботи все ще далекі від людей з точки зору інтелекту, але вже існує багато роботів, робототехнічних систем і комплексів, призначених для виконання різних завдань. Однією з найважливіших характеристик сучасних роботів є їх універсальність.

Універсальність роботів означає, що вони можуть виконувати цілеспрямовані дії, які потребують певної кількості інтелекту. Це відкриває широкі можливості для використання роботів як в якості основного технічного обладнання, так і в якості допоміжного (для заміни працівників, зайнятих обслуговуванням такого обладнання).

Універсальність роботів дозволяє людям автоматизувати будь-яку операцію, а швидкість, з якою їх можна перепрограмувати для виконання нових операцій у міру розробки нових продуктів або інших змін у виробництві, дозволяє підтримувати гнучкість, яка можлива лише при виробництві, керованому людиною сьогодні.

Промислові роботи (роботокомплекси) є універсальними та гнучкими інструментами, без яких комплексна автоматизація сучасного виробництва та його часто змінюваних продуктів була б неможлива [2 - 4].

Одним із поширених типів роботів є мобільні роботи, які здатні пересуватися в космосі без сторонньої допомоги, найпомітнішим прикладом є марсохід Curiosity. Сьогодні мобільні автономні роботи використовуються дуже часто. Найбільшою перешкодою для всіх існуючих незалежних мобільних роботів є відсутність навігації. Успіх місії в космосі залежить від бортової системи роботизованого транспортного засобу, яка повинна володіти здатністю створювати оптимальну траєкторію, керувати параметрами руху (задавати напрямок і швидкість), інтерпретувати інформацію про навколишній світ правильно і завжди

стежити за своїм положенням. Робот повинен визначати власні координати та вибирати напрямок руху на основі бортових індикаторів датчиків, у результаті чого системи штучного інтелекту, призначені для автономних машин, орієнтовані на підтримку постійного циклу огляду датчиків і прийняття рішення про як змінити маршрут. Кілька таких циклів можуть бути задіяні – один слідуватиме основним маршрутом, а інший уникатиме перешкод.

Існує три основні підходи до навігації:

- глобальне - визначення положення пристрою під час подорожі в далеких походах;
- локальний - визначення координат відносно початкової точки. Цей метод зазвичай використовується розробниками автономних літальних апаратів і роботів, які беруть участь в діях на вже існуючій території;
- персональний – положення в просторі, яке зараз займає робот, і спосіб його зв'язку з найближчими орієнтирами або об'єктами.

Чим більший пристрій, тим важливіше воно для глобальних подорожей, а не для особистих подорожей. З меншими роботами все навпаки.

Навігатори можуть бути простими і складними. Пасивний компонент отримує інформацію про своє місцезнаходження та індикатори руху від зовнішніх джерел; активний компонент сам визначає позицію, яку займає. Усі глобальні навігаційні схеми пасивні, а локальні навігаційні схеми можуть бути обох типів, а персональні завжди активні.

Давайте обговоримо кілька основних методів, які використовуються для навігації та оцінки руху об'єктів.

Загальна стратегія реалізації одометра полягає у використанні декодерів (датчиків кута повороту) – пристроїв, які перетворюють кут повороту об'єкта в електричні сигнали, які дозволяють визначити кут повороту об'єкта. На рисунку 1 показано механізм роботи декодера. [5]

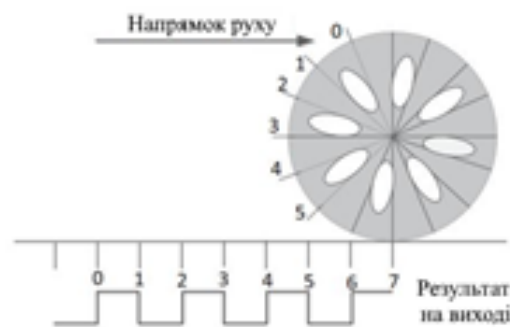


Рис. 1 – Схеми роботи декодера

Різні типи декодерів дозволяють відстежувати не тільки кут, але і напрямок, в якому обертається об'єкт. В результаті, знаючи діаметр коліс і використовуючи інформацію з декодерів, ви можете легко розрахувати відстань, яку проїхало колесо.

Цей підхід, безсумнівно, привабливий своєю простотою реалізації, мінімальними вимогами до обчислювальних ресурсів і бюджетністю, але він має ряд істотних недоліків:

- неможливість врахувати пробуксовку коліс;
- низька точність через помилки вимірювання в колесах і низьку роздільну здатність декодерів.
- вимагає високої частоти обробки сигналу, щоб спостерігати навіть невеликі відмінності в обертанні коліс.
- складність застосування цього методу для літаючих, плаваючих і крокуючих апаратів.

Інерційні пристрої, які містять акселерометр або гіроскоп, можуть бути використані для вирішення проблеми визначення місця розташування. Гіроскоп здатний демонструвати зміну кутів тіла відносно

початкової системи, акселерометр демонструє прискорення тіла у всіх трьох вимірах. В результаті ці пристрої дозволяють розраховувати пройдену відстань.

Використовувати механічні гіроскопи на мобільних пристроях непрактично через їх великий об'єм. У цьому контексті використовуються мініатюрні гіроскопи, які виготовляються у складі мікроелектромеханічних систем. Ці датчики дотримуються різних принципів для визначення обертання та демонстрації кутової швидкості замість ступеня обертання. Тут необхідно зробити інтегрування або, в дискретному випадку (як правило, сигнал присутній в дискретній формі), просте додавання. Очевидно, що оцінка обертання навколо осі є приблизною і залежить від частоти дискретизації сигналу.

Крім того, гіроскопи мають властивість «нульового дрейфу», що означає, що їх обертання змінюватиметься, навіть коли вони перебувають у нерухомому положенні. Обсяг дрейфу в першу чергу виходить із застосування гіроскопа. Чим менший обсяг, тим більша похибка. У результаті точаться дискусії щодо компромісу між розміром і точністю.

По-третє, інтеграція та обробка даних від датчика вимагає великого обчислювального навантаження, це правда, тому що додаткова потужність повинна бути спрямована на завдання.

Переходимо до оцінки пройденого шляху. Наявність акселерометрів дозволяє випірювати лінійні прискорення, яких відчуває система. Чисельне інтегрування прискорення призводить до швидкості, а потім до переміщення. У результаті можна оцінити напрямок системи в будь-який момент часу. Проте є й негативні моменти [5].

Інтеграція призводить до збільшення похибки. Можна зробити висновок, що акселерометр чутливий до високочастотних і високоамплітудних помилок, для усунення цього необхідно використовувати різні фільтри (такі як фільтр Калмана, фільтр «альфа-бета» та інші). Ці фільтри важко реалізувати і вимагають вибору або розрахунку коефіцієнтів, а також вони є ресурсомісткими на мікроконтролерах.

Дослідження показали, що найточніших результатів можна досягти за допомогою акселерометра, гіроскопа та магнітометра. Ці три інструменти поєднуються, щоб компенсувати помилки одного датчика, водночас одержуючи показання іншого. Однак така система досить дорога і складна.

Візуальна одометрія — це процедура отримання інформації за допомогою серії зображень, зібраних камерами роботів. Це полегшує отримання інформації про пройдену відстань і напрямок руху. Візуальна одометрія полегшує створення системи навігації для будь-якого типу пересування робота і на будь-якій поверхні.

Цей метод використовується в багатьох дисциплінах: від наземних роботів до оптичних мишей.

Алгоритми роботи стандартного візуального одометра:

- отримання візуалізацій з камер.
- корекція малюнка;
- виявлення важливих точок на зображенні (порівняння точок між кадрами, створення оптичних потоків);

- перевірка векторів візуального потоку на потенційні проблеми;

- оцінка руху камери за оптичним потоком;

- Постійні оновлення набору важливих моментів, яких слід дотримуватися.

Неперевершеною перевагою цього підходу є його глобальний характер. Мінуси наступні:

- погана робота алгоритму щодо однотипних зображень;

- вимога до високої швидкості запису зображення;

- велике навантаження на комп'ютерну систему;

- висока вартість камер.

Супутникова навігаційна система GPS призначена для визначення положення та швидкості об'єктів. Система використовує метод вимірювання відстані, який є псевдосереднім. Існують відмінності з методом псевдодальності, що призводить до систематичної похибки визначення інтервалів між моментами випромінювання. У результаті виміряні псевдодальності відрізнятимуться від реальних значень на пропорційну

величину, яка залежить від різниці між масштабами часу супутника та задіяного датчика. Під час використання методу псевдодальності робот повинен знати розбіжність між бортовою шкалою часу та виправленою шкалою часу. [6, 7]

Супутникова навігаційна система GPS складається з супутникової частини та споживчого пристрою. Космічна частина складається з мережі супутників і командно-вимірювального комплексу. Коли всі 24 космічні апарати розгорнуті, система має рівномірно розподілені кругові орбіти з нахилом  $63,0^\circ$ . Період обертання супутників становить 12 годин, висота їх польоту - 20 183 кілометри над землею. З таким типом орбіти в кожній точці планети буде видно в середньому 9 супутників. Командно-вимірювальний комплекс має 4 пости управління, станцію виправлення помилок, головну станцію управління. Станції управління спостерігають за космічними апаратами, визначають їх місцезнаходження, документують умови, за яких проходять радіохвилі. Ця інформація передається на головну станцію управління, де обробляються статистичні дані, розраховуються і прогнозуються супутникові показники з урахуванням впливу Сонця, Місяця і аномальних гравітаційних полів Землі. Після цього ця інформація через станцію корекції передається на супутник і вводиться в бортовий комп'ютер, який формує навігаційні дані для споживачів.

Зв'язок між супутниковим навігатором і комп'ютерною станцією здійснюється по двох радіолініях на частотах  $F1 = 1575,42$  МГц і  $F2 = 1227,6$  МГц.

Частоти, що використовуються несучою, змінюються двома послідовностями нулів і одиниць, кожна з яких складається із суми двох псевдовипадкових кодових слів і переданої системної інформації, яка називається навігаційною інформацією. При трансляції кодів використовується розрізнення радіосигналів [6].

Дані щодо навігації включають: час системи, стан шкали часу супутника, повідомлення про його статус. Супутник, який нас орієнтує, випромінює сигнал такого рівня потужності: якщо розглядати найгірший сценарій для споживача, то рівень сигналу має становити не менше 100-166 дБ/Вт залежно від кодів, що передаються.

Бортове обладнання станції приймає сигнали від супутника, які потім демодулюють, декодують і потім визначають інформацію GPS.

Середня квадратична похибка вимірювання координат об'єкта становить приблизно 10 м для 90% періоду вимірювання і менше 5 м для 50% періоду.

Найважливішим атрибутом навігаційної системи є її цілісність, яка визначається як здатність системи розпізнавати та повідомляти про несправності користувачеві, щоб повідомити користувача про те, що система не працює належним чином. Цілісність системи GPS гарантується передачею супутником набору атрибутів, які описують якість обладнання та автентичність переданих повідомлень у рамках навігаційної допомоги.

ГЛОНАСС (Глобальна навігаційна супутникова система) призначена для визначення місцезнаходження та розрахунку швидкості чогось. [6, 7]

Приймачі ГЛОНАСС використовуються для вимірювання параметрів псевдодальності радіонавігації з чотирма (трьома) супутниками в системі одночасно або послідовно. Ці прилади використовуються для вимірювання радіальної швидкості псевдопростору. Супутники системи ГЛОНАСС розташовані на навколоколових орбітах, період обертання супутників становить 11 годин 15 хвилин, висота 19 100 км, кут нахилу  $64,8^\circ$ . У повністю функціональній системі 24 супутники розміщені в трьох площинах, з 7-8 супутниками в орбітальній площині.

Супутники виробляють сигнал з різною фазою на різних частотах. Фактичне значення радіочастоти  $i$ -го супутника  $F_i = F_1 + (\Delta F)2(i-1)$ ,  $i=1,2,\dots,24$ ;  $F_1 = 1602,5625$  МГц,  $\Delta F = 0,5625$  МГц.

Навігаційне повідомлення передається як потік цифрової інформації, яка кодується кодом Хеммінга, а потім перетворюється на відносний код. Швидкість цифрової передачі інформації становить 50 біт в секунду.

Власне кажучи, цифрова інформація складається із суперкадрів, які тривають 2,5 хвилини. Суперкадр складається з п'яти кадрів по 30 секунд кожен. Кожен кадр складається з 15 рядків. Кожен рядок містить набір інформаційних символів і позначку часу. Тривалість інформаційної частини - 1,7 секунди. містить 85 символів,

а позначка часу має довжину 0,3 секунди і передається у вигляді випадкової послідовності з 30 символів (усіченої). Суть повідомлення, яке передається кожним супутником у рамках навігації, складається з оперативної та неоперативної інформації. Оперативна інформація стосується самого супутника та включає позначку часу, пов'язану з ним, різницю між масштабом часу супутника та масштабом часу системи, частоту випромінювання сигналу відносно частоти системи, а також три координати, три компоненти швидкості та три компоненти прискорення. Цю інформацію отримують із положення Місяця та Сонця в певний момент часу. Повідомлення про несправності, пов'язані з цим супутником, доступні відразу після його виявлення.

Похибка, пов'язана з визначенням координат, з ймовірністю 0,95 становить: для кожної координати (в плані) 100 м, для висоти 150 м, для складових вектора швидкості 0,15 м / с. Крім того, характеристики системи можна підвищити за рахунок диференційованої організації роботи користувача. Суть диференційного режиму полягає в зменшенні систематичної складової похибки визначення місцезнаходження об'єкта шляхом вимірювання цієї складової на опорній станції з відомими координатами та повідомлення результатів вимірювання споживачеві. Отримана інформація була використана на табло станції для корекції передбачуваного місця розташування.

Основною проблемою під час використання диференціального режиму є вибір каналу передачі, який змінює інформацію. Ці радіомережі можуть бути призначені для цієї мети:

Комбіноване використання GPS і ГЛОНАСС. В даний час дискутується питання про те, чи потрібно використовувати одночасно супутникові навігатори GPS і ГЛОНАСС, оскільки в цьому сценарії виконуються всі існуючі вимоги до супутникової навігації, включаючи максимально допустимий час для безпеки системи.

Основна концепція полягає в тому, що протягом періоду використання кожна система може використовуватися лише в певний час доби в певному регіоні планети. Поєднання обох методів також полегшить 24-годинні подорожі в усіх регіонах планети, які вже знаходяться на стадії розгортання.

Комбіноване використання навігаційних сигналів є ефективним навіть після того, як систему було повністю розгорнуто. Крім того, точність локації залежить від точності вимірювань, яка визначається оптимальним положенням об'єкта відносно супутників. Найбільш близьким до оптимального є положення, коли один із супутників знаходиться в зеніті користувача, а інші мають мінімально необхідний кут місця і розкидані по азимуту (через 120 градусів при трьох видимих супутниках). Очевидно, що чим більше супутників знаходиться в зоні радіовидимості користувача, тим легше йому вибрати найбільш ефективні. Крім того, точність оцінок можна підвищити шляхом обробки додаткової інформації під час вимірювання кількості супутників, кількість яких перевищує мінімально необхідну. Окремі супутники, які вийшли з ладу, частини системи, які були втрачені, або повна відмова однієї з систем не становлять загрози для безпеки польотів. Суттєве значення має підвищення цілісності системи та надійності супутникової навігації, обидва вони будуть досягнуті за рахунок використання обох систем, а також за рахунок додаткових супутників у полі зору користувача.

В результаті поєднання атрибутів комбінованої системи щодо точності, надійності та цілісності їх буде достатньо для навігації.

Використання комбінованої системи та системи супутникового зв'язку дозволяє створити високоефективну систему залежного спостереження, яка дозволить здійснювати польоти за оптимальними часовими та просторовими траєкторіями у всіх регіонах. Це матиме значний вплив на економічну ефективність авіаперевезень, водночас забезпечуючи високий ступінь надійності.

Зі сказаного вище випливає, що для створення ефективних систем супутникової навігації та зв'язку необхідно вирішувати питання навігації та передачі даних комплексно, тобто комплексно для кожного супутника. Найефективнішим способом вирішення цього питання є негайне створення супутникової навігаційно-зв'язкової апаратури як єдиного комплексу, що дозволить, в тому числі, отримати засоби автоматичного залежного спостереження без блоків зв'язку. Такий спосіб дозволяє максимально скоротити кількість комунікаційного обладнання в порівнянні з поєднанням автономного супутникового зв'язку і станцій супутникової навігації через блоки підключення.

В результаті для точного обчислення координат необхідно приймати сигнали з декількох супутників.

Очевидна перевага цього підходу полягає в тому, що він безпосередньо демонструє поточне розташування в просторі, що усуває необхідність обчислень. Однак з цього випливає і перший негативний момент: неможливо визначити орієнтацію об'єкта, якщо він не рухається.

Далі, важливо визнати суттєвий мінус технології, який полягає у відсутності можливості визначення положення закритих дверей кімнати через відсутність якісного сигналу. Крім того, при тривалому періоді відсутності сигналу визначення положення займає більше часу. Якщо пристрій був неактивний протягом 3 годин, то після його повторного запуску визначення координат місцезнаходження займе приблизно 40 секунд.

Як зазначалося раніше, точність визначення положення залежить від кількості доступних супутників. Ця інформація призводить до наступних двох недоліків: низька якість роботи в полярних областях Землі, що пояснюється нахилом орбіт супутників, і низька точність визначення місця розташування - супутники можуть мати роздільну здатність до 60 см при їх визначенні місця розташування.

Для просторової навігації бортова система автономного мобільного робота повинна аналізувати та створювати маршрут, контролювати його рух (швидкість обертання коліс та кут їхнього повороту), інтерпретувати знання навколо об'єкта, як це стосується різні датчики та стежити за власним положенням у кожен момент часу. Для досягнення поставленої мети завдання має точно описувати зображення оточуючих предметів і властивості середовища.

Система керування автономним роботом, який здійснює навігацію, використовує різноманітні навігаційні методи, але передусім передбачає оцінку навколишнього середовища, аналіз і прийняття рішень. Вона намагається створити персоналізовану картину середовища, в якому вона повинна приймати рішення, розвивати шлях і подорожувати ним. Однак вона часто перевіряє точність представлення простору робота за допомогою даних, отриманих від навігаторів. Проводяться дослідження систематичної поведінки команд автономних роботів. Група роботів, які діють разом і організовані в узгоджену зону, можуть описувати своє конкретне розташування один одному, оцінювати відстань між ними і таким чином легко пересуватися. [6, 7]

Основні переваги і недоліки різноманітних типів давачів і систем наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Переваги і недоліки різноманітних типів давачів і систем

Датчик (система)	Переваги	Недоліки
Гіроскоп	Може вимірювати кут повороту, швидкість. Не взаємодіє з оточенням.	Необхідне калібрування. Згодом помилка буде накопичуватися.
Декодер	Легкий і бюджетний датчик. Доступно багато різних варіантів. Не взаємодіє з оточенням.	Він використовується виключно для вимірювання кута обертання та швидкості.
Акселерометр	Не взаємодіє з оточенням.	Використовується лише для прискорення.
Стереоскопічні системи, системи технічного зору	Потенціал для створення повністю розробленої 3D-карти. Багато інформації отримується під час роботи. Не взаємодіє з оточенням.	Необхідно, щоб він мав значну потужність. Складність алгоритму та його реалізації.
Лазерні лічильники відстані	Генерація 2D і 3D карт. Чудова точність вимірювань. Швидке отримання даних. Велика область вимірювання.	Неправильні розрахунки при проходженні фотонів через поверхню дзеркала. Найкоштовніший тип датчика.
Супутникова навігація	Всесвітня система, яка дозволяє визначити місцезнаходження будь-якої точки планети.	Низька точність вимірювання. Проблеми при роботі в закритому просторі.

### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Вивчивши існуючі способи руху мобільних роботів, можна сказати, що кожен метод ефективний при застосуванні. Вибираючи спосіб навігації, важливо враховувати завдання, для яких буде використовуватися мобільний робот, а також його фізичні характеристики та тип ґрунту, по якому він буде рухатися. Наприклад, робототехнічний рух у середовищі, що динамічно розвивається, потребує більш складних методів навігації та контролю. Спроба розглядати спостереження за мобільною машиною в стаціонарному середовищі.

Дослідження показали, що найточніших результатів можна досягти за допомогою акселерометра, гіроскопа та магнітометра, ці три прилади є недорогими та складними, але вони не мають такої ж точності.

Зрештою, можна стверджувати, що використання інерційних пристроїв для оцінки переміщення можливе, однак, чим більший ступінь точності бажаний, тим дорожче це реалізувати.

### Література

1. Збруцький О. В. Мобільні роботи: можливості, перспективи, проблеми / О. В. Збруцький, Ю. М. Савенко, Д. С. Мішкін // Механіка гіроскопічних систем : науково-технічний збірник. – 2013. – Вип. 26. – С. 112–120.
2. Klein G., Murray D. Parallel tracking and mapping for small AR workspaces // Proc. of the 6th IEEE and ACM Intern. Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2007). Nara, Japan. 13-16 Nov., 2007. P. 225-234.
3. Mobile Robot Navigation. Edited by Alejandra Barrera. Published by InTech. Croatia. 2010.
4. Bischoff B., Nguyen-Tuong D., Streichert F., Ewert M., Knoll A.. Fusing Vision and Odometry for Accurate Indoor Robot Localization. II 12th International Conference on Control, Automation, Robotics & Vision Guangzhou, China, 5-7th December 2012.
5. Chong K.S., Kleeman L. Accurate Odometry and Error Modelling for a Mobile Robot, MECSE-1996-6.
6. Навігація мобільних наземних роботів у недетермінованих середовищах. Сергієнко О.Ю., Карташов В.М., Колєндівська М.М. Харків: ХНУРЕ, 2020. 297 с.
7. Watanabe H., Dettloff W., Yount E. A VLSI Fuzzy Logic Inference Engine for Real-time Process Control // IEEE Journal of Solid State Circuits, 1990. – V.25, N.2. P.376 – 382.

### References

1. Zbrutskyi O. V. Mobilni roboty: mozhlyvosti, perspektyvy, problemy / O. V. Zbrutskyi, Yu. M. Savenko, D. S. Mishkin // Mekhanika hiroskopichnykh system : naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. – 2013. – Vyp. 26. – S. 112–120.
2. Klein G., Murray D. Parallel tracking and mapping for small AR workspaces // Proc. of the 6th IEEE and ACM Intern. Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2007). Nara, Japan. 13-16 Nov., 2007. P. 225-234.
3. Mobile Robot Navigation. Edited by Alejandra Barrera. Published by InTech. Croatia. 2010.
4. Bischoff B., Nguyen-Tuong D., Streichert F., Ewert M., Knoll A.. Fusing Vision and Odometry for Accurate Indoor Robot Localization. II 12th International Conference on Control, Automation, Robotics & Vision Guangzhou, China, 5-7th December 2012.
5. Chong K.S., Kleeman L. Accurate Odometry and Error Modelling for a Mobile Robot, MECSE-1996-6.
6. Navihatsiia mobilnykh nazemnykh robotiv u nedeterminovanykh seredovyshchakh. Serhiienko O.Iu., Kartashov V.M., Kolendovska M.M. Kharkiv: KhNURE, 2020. 297 s.
7. Watanabe H., Dettloff W., Yount E. A VLSI Fuzzy Logic Inference Engine for Real-time Process Control // IEEE Journal of Solid State Circuits, 1990. – V.25, N.2. P.376 – 382.

## РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Перов Олександр Сергійович

Тема: Метод навігації мобільного робота із технологією прийняття рішень

Спеціальність: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 86

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розгляд існуючих методів і алгоритмів автономного пересування мобільних роботів.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі оцінено автономну поведінку робота в заздалегідь розробленому середовищі з раніше невідомою метою. Робот повинен виконати розвідувальну місію, досліджуючи місцевість, щоб знайти найкоротший траєкторія до бажаної мети. У другому розділі розглянуто існуючі способи руху мобільних роботів. Вибираючи спосіб навігації, важливо враховувати завдання, для яких буде використовуватися мобільний робот, а також його фізичні характеристики та тип ґрунту, по якому він буде рухатися. У третьому розділі розглянуто два алгоритми обходу перешкод. Перший алгоритм не передбачає побудови карти місцевості, робот рухається по заданій точці відліку, і якщо отримує інформацію про те, що на траєкторії є перешкоди, система управління додає нові точки відліку для обходу перешкод. Другий алгоритм використовується для побудови карти місцевості, а при призначенні цілі за допомогою алгоритму оптимізації знаходить траєкторію його руху та задає її у вигляді еталонних балів. У четвертому розділі представлені результати, що відповідають поставленим цілям. Цей програмний продукт розв'язує задачу оптимізації алгоритму знаходження найкоротшого траєкторії та допомагає вирішити задачу навігації мобільних роботів на основі систем прийняття рішень.
4. Позитивні сторони роботи: розроблено метод навігації мобільного робота із застосуванням технології прийняття рішень, що покращує функціональні можливості мобільного робота

5. Негативні сторони роботи: недостатньо уваги приділено огляду наявних технічних рішень

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (4,00/С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Підгасенко Сергій Костянтинівич, завідувач кафедри ТМІТ, д.т.н., професор

"16" 12 2024 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТгаР  
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Перов Олександр Сергійович

ПШБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курс, групи АКІТм-23-2

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.12.2024

дата



---

підпис

## Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

**Автор:** Олександр ПЕРОВ

**Співавтор:**

**Назва:** МКР Перов

**Науковий керівник:** Галина РАДЕЛЬЧУК

**Підрозділ:** Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

**Коефіцієнт подібності 1:** 30.3%

**Коефіцієнт подібності 2:** 13%

**Мікропробіли:** 5

**Заміна букв:** 3

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 0

**Дата створення звіту:** 2024-12-13 08:18:00.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

Рівень запозичень в основному тексті роботи перевищує 25%

2024-12-13

Дата



експерт

## Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

**Автор:** Олександр ПЕРОВ

**Співавтор:**

**Назва:** МКР Перов в1

**Науковий керівник:** Олександр ПЕРОВ Галина РАДЕЛЬЧУК

**Підрозділ:** Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

**Коефіцієнт подібності 1:** 21.2%

**Коефіцієнт подібності 2:** 8.1%

**Мікропробіли:** 4

**Заміна букв:** 3

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 0

**Дата створення звіту:** 2024-12-16 14:27:29.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2024-12-16

Дата

  
експерт

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 3.0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилко в документах: 8%

ID: 158537 Назва: МКР Метод навігації мобільного робота із технологією прийняття рішень Додано в БД: 2024-12-13 Автора: Олександр ПЕРОВ Керівники: Галина РАДЕЛЬЧУК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	110223	1009	3621 (3%)	55 (5%)

### Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 61.0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилко в документах: 8%

ID: 160056 Назва: МКР Метод навігації мобільного робота із технологією прийняття рішень Додано в БД: 2024-12-16 Автора: Олександр ПЕРОВ Керівники: Галина РАДЕЛЬЧУК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	111179	1009	68114 (61%)	643 (64%)

### Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми
158537	Назва: МКР Метод навігації мобільного робота із технологією прийняття рішень Додано в БД: 2024-12-13 Автора: Олександр ПЕРОВ Керівники: Галина РАДЕЛЬЧУК Консультанти: Опоненти:	68055 (61.0%)	638 (63.0%)

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
РОБОТОТЕХНІКИ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод навігації мобільного робота із технологією прийняття рішень

Автор: Перов Олександр Сергійович

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Радельчук Галина Іванівна, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;



3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 21,18% і адресується до 12 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_

Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК

Галина РАДЕЛЬЧУК