

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-обчислювальних систем і управління

Трубач Тарас Богданович

**МОДУЛЬ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ НА
ОСНОВІ НАВІГАЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ**

Напрямок підготовки 6.050101 – Комп'ютерні науки

Дипломний проект за освітньо-кваліфікаційним рівнем «бакалавр»

Виконав студент групи КНЗд - 43
Трубач Т.Б.

(підпис)

Науковий керівник
к.т.н., доцент Коваль В.С.

(підпис)

Дипломний проект допущено до
захисту

«__» _____ 20__ р.

Завідувач кафедри

_____ Саченко А. О.

Тернопіль – 2014

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	3
ВСТУП.....	4
1 СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	6
1.1 Огляд реалізацій мобільних роботів, їх функцій та призначень.....	6
1.2 Навігація мобільних роботів.....	14
1.3 Постановка задачі дослідження.....	20
2 НАВІГАЦІЙНІ АЛГОРИТМИ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ	23
2.1 Алгоритми глобальної навігації автономного мобільного робота в структурованому середовищі.....	23
2.2 Алгоритми локальної навігації для задачі досягнення роботом цілі у невідомому середовищі	32
2.3 Схема роботи алгоритмів глобальної навігації.....	35
3 ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ГЛОБАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЇ.....	42
3.1 Узагальнена модель системи керування мобільним роботом	42
3.2 Розробка програмного забезпечення.....	45
3.3 Експериментальні дослідження роботи алгоритмів побудови траєкторії руху мобільного робота	50
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	Ошибка! Закладка не определена.
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на програміста при розробці програмного комплексу.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.2 Розробка заходів з охорони праці.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.3 Пожежна безпека.....	Ошибка! Закладка не определена.
ВИСНОВКИ.....	Ошибка! Закладка не определена.
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	Ошибка! Закладка не определена.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Модуль переміщення мобільних роботів на основі навігаційних алгоритмів	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Трубач Т.Б.						
Перевір.		Коваль В.С.						
Консульт.		Сапожник Г.В.						
Н. Контр.		Комар М.П.				<i>THEU.ФКІТ.КНзд-43</i>		
Затверд.		Саченко А.О.						

Додаток А Схема алгоритму Visibility Graph	92
Додаток Б Схема алгоритму Quadtree	93
Додаток В Лістинг програмного коду процедури MATLAB	
«Main_wavfront»	94
Додаток Г Лістинг програмного коду функції MATLAB	
«makemap()».....	95
Додаток Д Лістинг програмного коду функцій MATLAB «Display_map()» та	
«Draw_line()».....	97
Додаток Е Лістинг програмного коду функції MATLAB «wavfront()»	98
Додаток Ж Довідка про впровадження	99

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АМР – автономний мобільний робот

БД – база даних

ІС – інформаційна система

КМ – комп’ютерна мережа

МП – програмний модуль

МР – мобільний робот

ПЗ – програмне забезпечення

РТК – робототехнічний комплекс

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Оцінка сучасного стану вирішення задачі. За останні десятиліття робототехніка і технології пов'язані з нею розвиваються стрімкими темпами, набуваючи все більшу можливість використання роботів в різних областях діяльності людини. В першу чергу, це пов'язано з постійним вдосконаленням технічних роботів, а особливо засобів управління. Це дозволяє не лише підвищити рівень керованості робота (наприклад, підвищити точність), але і створювати системи підвищеного рівня адаптивного управління, що відкриває нові можливості для використання роботів у сферах, де перебування людини є небезпечними чи неможливим.

Актуальність роботи. Серед задач управління мобільним роботом одну із основних ролей відіграє навігація, яка передбачає застосування сукупності методів та засобів для безперешкодного переміщення робота від поточного положення до заданої цілі. На сьогоднішній день існуючі алгоритми побудови траєкторії руху робота ще не є достатньо досконалими. В той же час від оптимальності зазначених алгоритмів залежать витрати (енергетичні, вартісні, часові та ін.), які робот несе в процесі виконання своєї задачі. Тому тема роботи по розробленні модуля переміщення мобільних роботів на основі навігаційних алгоритмів є актуальною.

Мета та завдання роботи. Дослідити та програмно реалізувати алгоритми побудови траєкторії руху мобільного робота у середовищі із багатьма перешкодами при навігації до заданої цілі.

Для досягнення визначеної мети необхідне виконання наступних задач:

- огляд існуючих алгоритмів глобальної навігації мобільного робота;
- огляд існуючих алгоритмів локальної навігації мобільного робота;
- аналіз та розробка схем алгоритмів побудови траєкторії переміщення мобільного робота для глобальної навігації;
- розроблення схеми управління мобільним роботом;
- розробка схеми взаємозв'язку програмних модулів;

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- програмна реалізація алгоритму Wave Front глобальної навігації мобільного робота;
- проведення експериментальних досліджень та імітаційного моделювання алгоритму Wave Front.

Об’єкт дослідження – система керування мобільним роботом

Предмет дослідження – навігаційні алгоритми системи керування мобільного робота

Методи дослідження: метод синтезу та аналізу, методи теорії систем та системного аналізу, методи імітаційного моделювання, лінійна алгебра, проєкційна та аналітична геометрія, чисельні методи.

Наукове та практичне значення роботи. Проведений огляд існуючих алгоритмів, який з допомогою аналітичних підходів дозволяє отримати висновки, що можуть бути використані як наукові основи для розробки нових, покращених алгоритмів навігації мобільного робота.

Практичною цінністю дипломного проекту є розроблені інтерфейсні, схемотехнічні та програмні рішення, що можуть бути адаптовані до реальних систем управління мобільними роботами.

Особистий внесок. Основні результати дипломного проекту отримані автором самостійно, на основі власних розробок.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Огляд реалізацій мобільних роботів, їх функцій та призначень

Рішення задачі організації руху робота на сьогоднішній день є актуальним. Аналіз сучасних розробок в області робототехніки показав, що розрив між експериментальними досягненнями і реалізованими роботами, доступними на ринку, ще дуже великий і дослідження в цій області знаходяться тільки на початковому етапі розвитку. Зокрема, ключовим є завдання навігації і реалізація складних траєкторій руху автономних мобільних роботів з великим числом перешкод, що створюють завади для переміщення до мети. Головна суть задачі полягає в пошуку сенсорних засобів і відповідних алгоритмічних методів навігації та управління рухом мобільного робота в різних умовах. Нижче представляються існуючі робототехнічні системи, їх призначення та виконувані функції.

1.1.1 Роботи на гусеничному ході

Робототехнічний комплекс ЕЛЬ-4

ЕЛЬ-4 - робототехнічний комплекс пожежогасіння середнього класу (рисунок 1.1) [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Призначений для розвідки, розбирання завалів, рятувальних робіт і гасіння вогню в умовах сучасних техногенних аварій, що супроводжуються підвищеним рівнем радіації, наявністю отруйних і сильнодіючих речовин в зоні робіт, осколково-вибуховою поразкою.

Рисунок 1.1 - РТК ЕЛЬ-4

Як інженерне оснащення використовується комбінований бульдозерний гідравлічний захват і 3-ланкова рука-маніпулятор, встановлена в передній частині машини. Управління роботом відбувається по радіосигналу на відстані до 2 км.

Технічна специфікація наведена у таблиці 1.1.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики РТК ЕЛЬ-4

Маса споряджена, т	9,2
Маса в суху, т	7,2
Габаритні розміри з інструментами, мм	3648 x 2000 x 1975
Габаритні розміри без інструментів, мм	3131 x 1983 x 1734
Параметри двигателя Perkins 1106C - E60TA, кВт	129.5
Подоланий підйом на твердому сухому ґрунті з повним навантаженням	30°
Маса вантажу переносимого схватом, кг	до 500
Дальність водяної гармати (вода), м	70
Дальність водяної гармати (піна), м	50
Витрата води на стволі-моніторі, л/мін	1200
Швидкість пересування, км/год	до 10
Управління з ПДУ по радіоканалу на відкритій місцевості, м	до 2000
Об'єм водяного бака, т	1,4 води + 0,5 піни

Робот Echidna EOD

Робот Echidna EOD фірми Evans Deahin Industries (Австралія) [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**] був розроблений спеціально для знешкодження боєприпасів і вибухових пристроїв, що повністю задовольняє жорстким вимогам, що пред'являються до такого устаткування (рисунок 1.2). Робот відрізняється високою конструктивною міцністю і здатний повертатися в нормальне положення у разі перекидання.

Частина вежі робота дає можливість повертати артилерійський снаряд або інший боєприпас в межах 225°. Він може піднімати вантаж масою до 20 кг, що знаходиться на відстані двох метрів від лобової частини його самохідного візка, і переносити його у будь-якому напрямі в секторі до 180°. Це досягається завдяки спеціально сконструйованій руці - маніпулятору робота і установці його на частині гарматної вежі, що обертається.

Кабельний барабан, що знаходиться усередині робота, містить кабель електроживлення, що розмотується при русі робота на довжину до 100 м. Це усуває можливість перегину або ушкодження кабелю в процесі виконання

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

операцій. Система управління здійснює управління, пропорційне швидкості, в межах двох дальностей переміщення робота, що робить його високоманеврним. Робот Echidna може підніматися по східцях сходів і спускатися назад або рухатися вгору і вниз по похилій площині з максимальним кутом підйому 38°. Він може ефективно діяти в обмежених просторах і обходити прямі кути в коридорах або на сходах шириною 900 мм. Управління роботом Echidna здійснюється дистанційно із станції MonitorControlStation, що містить відеомонітор і дисплеї. Для локального управління може бути використаний ручний блок. Дисплеї станції управління безперервно відтворюють інформацію, що видається камерою вежі, камерою водіння і орієнтації, а також інформацію про верхній і нижній положеннях руки-маніпулятора. Ці особливості дають можливість операторові постійно знати точне положення і орієнтацію робота.

Рисунок 1.2 - Робот Echidna EOD

Камера водіння також знаходиться у вежі, але діє незалежно від камери спостереження. Вона встановлена на платформі, що дозволяє управляти її панорамуванням і нахилом, що забезпечує операторові хорошу навколишню видимість. Інша камера (камера спостереження і наведення) зазвичай встановлюється у верхній частині руки-маніпулятора, але може бути поміщена і на шасі візка робота.

Робот живиться від двох герметичних акумуляторних батарей напругою 12 В, що не вимагають технічного обслуговування. Батареї забезпечують безперервну автономну роботу робота впродовж 6-8 год. Батареї, що відносяться до класу батарей з електролітом, що не виливається, задовольняють усім вимогам міжнародної асоціації повітряного транспорту (International Air Transport Association). Роботи Echidna EOD робляться серійно і застосовуються різними службами.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дистанційно-керований робот CM2

Дистанційно-керований робот CM2 [Ошибка! Источник ссылки не найден.] з дизельним двигуном розроблений фірмою GIAT Industries (Франція) спеціально для дій в тяжких умовах довкілля. Чотири незалежні гідростатичні гусениці забезпечують плавний і точний рух робота по місцевості з різними умовами при дуже значному тиску на ґрунт. Шасі робота розраховане на застосування різних інструментів і пристосувань, таких як бурове устаткування, телескопічна подовжувана рука, гідравлічний бур, компресор та ін. Технічні характеристики представлено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики робота CM2

Загальна маса, кг	1950
Габаритні розміри (довжина x ширина x висота), м	3,43x(1,41-1,76) x1, 68
Корисне навантаження, кг	1000
Тиск на ґрунт, г/см ³	290
Швидкість пересування, м/мін	50
Тривалість автономної роботи, ч	12
Двигун	Турбодизель з водяним охолодженням
Управління	По радіо або кабельній лінії

Робот WheelbarrowSuper M

Керований по радіо робот WheelbarrowSuper M [Ошибка! Источник ссылки не найден.] фірми Morfax для знешкодження боєприпасів, розроблений на основі серії роботів Mk7, що використовуються впродовж багатьох років збройними силами Великобританії (рисунок 1.3). Конструкція робота Super M відпрацьовувалася і удосконалювалася на основі досвіду практичного застосування і нових технічних досягнень. Робот пройшов усебічні випробування, що показали його високу надійність в різних умовах довкілля. На кінці його руки можуть встановлюватися різні пристосування, включаючи рушницю Browning, пристрої для знешкодження боєприпасів, маніпулятори, засоби буксирування.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.3 - Робот Wheelbarrow Super M

На роботіві може бути також змонтована рентгенівська установка, що видає в реальному часі зображення операторові по знешкодженню боєприпасів. Роботи можуть забезпечуватися різними камерами відповідно до вимог замовників.

Робот Andros Mk5

Роботи Andros Mk5 і Mk6 [Ошибка! Источник ссылки не найден.] були розроблені фірмою Morfax для використання їх силами безпеки і в ядерній промисловості, де застосування дистанційно керованих роботів має важливе значення. Ходова частина на багатоланкових гусеницях надає їм здатність пересування як в міських, так і в сільській місцевості. Для знешкодження боєприпасів на них можуть бути встановлені усі засоби і пристосування, що на роботі Super M (рисунок 1.4).

Рисунок 1.4 - Робот Andros Mk5

1.1.2 Стаціонарні роботи

Облаштування гідравлічного знешкодження боєприпасів Neutrex Mk II. Облаштування гідравлічного знешкодження боєприпасів Neutrex Mk II фірми Proarms (Австралія) [Ошибка! Источник ссылки не найден.] містить ствол калібру 20 мм з нержавіючої сталі, встановлений на регульованій триніжній сталевій основі і здатний короткочасно вивергати інтенсивний струмінь води. Пристрій призначений для знешкодження снарядів, що не вибухнули, і саморобних вибухових пристроїв. На стволі встановлюється лазерне облаштування прицілювання. Завдяки цьому Neutrex Mk II може діяти на відстані до 3 марнотратник знешкоджуваного об'єкту. Воно абсолютно автономно, не вимагає дротів для управління ім. Електроживлення здійснюється від джерела постійного струму напругою 24 В, досить високим для запобігання передчасному спрацьовуванню. Для зниження ризику передчасного спрацьовування

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передбачена знімна запобіжна чека. Ствол має циліндричний канал, що дає можливість вистрілювати сталеві кулі для знешкодження вибухових пристроїв, закладених в труби. Маса пристрою складає біля 11 кг; для його розгортання вимагається менше трьох хвилин (рисунок 1.5).

Рисунок 1.5 - NeutrexMk II

Облаштування гідравлічного знешкодження боєприпасів NeutrexMk II калібру 29 мм тієї ж фірми розроблені відповідно до широко фінансованої урядом Канади програмою досліджень і розробок при співпраці з Управлінням безпеки провінції Квебек. Цей пристрій може знешкоджувати саморобні вибухові пристрої масою більше дев'яти кілограм. Завдяки хорошій амортизації він не нечутливий до ударів і вібрацій та має знижену віддачу. Ця розробка показала, що калібр 29 мм є гранично допустимим відносно зменшення сили віддачі і маси для облаштувань цього типу робота.

Портативні генератори серії P зі збудженням постійними магнітами, випускаються фірмою Programs у версіях для однієї, двох або чотирьох ліній. Вихідна напруга генератора не менше 100 В, енергія в імпульсі при розряді 2 Дж на лінію. Він може застосовуватися при температурах від - 45 до +75°C. Генератор поміщається в компактному удароміцному і водонепроникному прямокутному корпусі. Для перевірки стану генератора і лінії є вбудовані ланцюги контролю і гальванометр, для живлення яких потрібно два окисно-срібні елементи. Миттєвий розряд відбувається при вийманні ручки обертання генератора. Генератор типу P1 застосовується в облаштуванні підривання боєприпасів EveryDisruptorMark II (b).

1.1.3 Роботи на колісному ході

Робот Nadrian

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робот Nadrian [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**] виробництва фірми MonitorEngineers (Великобританія) відноситься до другого покоління роботів для знешкодження боєприпасів, які забезпечуються повним комплектом пристроїв і приладдя, необхідних для виконання ними основних операцій, і тренажерами (рисунок 1.6). Окрім знешкодження боєприпасів, роботи можуть застосовуватися для рухливого спостереження, знешкодження небезпечних матеріалів, виявлення і нейтралізації шкідливих газів.

Рисунок 1.6 - Робот Nadrian

Робот має шість ходових коліс, що приводяться в дію окремими двигунами з редукторами, забезпечують високу рухливість, маневреність і надійність робота. Завдяки індивідуальному управлінню коліс і карданним передньою і задньою осям робот може долати перешкоди, висота яких більше висоти його коліс. Такі перешкоди, як залізничні рейки, шпали, тротуарні бордюри, висока густа трава долаються роботом легко. На верхньому бампері, що висувається, встановлюється обертаючий маніпулятор із різними захватами для підйому предметів на висоту до 2,7м. Робот Nadrian може відпускатися на глибину 70 см Це означає, що він може проникати в автомобіль і під нього та обстежувати його зверху. Робот зручно складається для транспортування в автомобілі. Рука робота з облаштуванням знешкодження боєприпасів безперервно обертається управо і вліво, здійснюючи обертальні рухи, подібні до рухів руки людини. Зап'ясток руки може нахилитися в межах 180°, що дає можливість операторові захоплювати і переміщати різні предмети, а також виконувати складні маніпуляції з предметами, маса яких не перевищує 10 кг В іншому варіанті важкий захват може швидко захоплювати і піднімати вантажі з масою до 75 кг Встановлений в передній частині робота ківш або совок може підбирати предмети масою до 45 кг

На роботі Nadrian може встановлюватися лоток для закріплення на немсредств знешкодження боєприпасів з дистанційним управлінням їх

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перезарядки. Серед них п'ятизарядна напівавтоматична рушниця, що націлюється за допомогою особливої телевізійної камери. Є два додаткові контури управління стрільбою засобів знешкодження з боку передньої осі. Для досягнення оптимальної ефективності дій робота на ній може бути встановлені до чотирьох кольорових телекамер. Оператор управляє їх фокусуванням, діафрагмуванням, варіооб'єктивом, панаромірованієм і нахилом. На вимогу замовника замість цих камер можуть бути встановлені повністю автоматичні камери. Монітор із загальним або розділеним екраном і відеографічним накладенням даних про розряджену акумуляторних батарей і орієнтації робота полегшує роботу оператора.

Управління роботом здійснюється по радіоканалу або кабельній лінії завдовжки 225 м (у тих випадках, коли потрібно безперервну роботу). Технічні характеристики робота Nadrian наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики робота Nadrian

Довжина, м	1,34
Ширина, м	0,7
Максимальна висота підйому руки, м	2,7
Діаметр круга повороту, м	1,5
Маса, кг	170

Багатоцільовий робот MPR - 800

Багатоцільовий робот MPR – 800 [Ошибка! Источник ссылки не найден.] розроблений фірмою BAT Corporation (США). Він має модульну конструкції і створений відповідно до різних військових і комерційних вимог. Робот є саморушною платформою з гідравлічним приводом, на якій можуть бути швидко встановлені або замінені різні технічні засоби (маніпулятори, системи відеоспостереження, сенсори та ін.). Специфікація робота MPR – 800 наведена у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики робота MPR - 800

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маса, кг	1800
Корисне навантаження, кг	300
Відстань до захоплюваного предмета, м в горизонтальній площині у вертикальній площині	2,2 2,8
Можливість буксирування, кг	1800
Максимальний кут підйому	30°
Кут нахилу убік	27°
Дальність управління по радіоканалу в міських умовах, м	802

На платформі встановлений дизельний двигун 18SAE, що приводить в рух гідравлічні двигуни коліс і рук-маніпуляторів. Вона має шість незалежно керованих коліс, що забезпечує її стійкий рух по крутих схилах. Швидкість руху плавно регулюється до 5 км/год. Замість дизельного двигуна може бути встановлений двигун внутрішнього згорання. На платформі є два комплекти батарей. Один з них використовується для живлення сенсорів, що знаходяться на платформі, в течію до двох годин, коли платформа нерухома. Другий комплект батарей управляє запуском двигуна. Управління роботом нормально робиться по радіоканалу, але за бажанням замовника для управління можуть бути застосовані коаксіальний кабель або волоконно-оптична лінія. Стандартна рука робота для знешкодження боєприпасів складається з трьох секцій і облаштування знешкодження. Вона має сім ступенів свободи, що дозволяє легко захоплювати предмети з різних напрямів. Рука може піднімати 220 кг в складеному стані і 110 кг при висуненні на повну довжину. Є різні пристосування для установки на руці робота, включаючи рушниці з лазерними прицілами, приймачі глобальної системи визначення місця розташування GPS, рентгенівські камери і різні сенсори.

1.2 Навігація мобільних роботів

Навігація мобільного робота охоплює великий діапазон різних технологій і застосувань. Вона спирається як на дуже старі технології, так і на самі новітні

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

досягнення науки і техніки [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

У робототехніці виділяють три навігаційні системи:

а) глобальна - визначення абсолютних координат пристрою при русі по довгих маршрутах;

б) локальна - визначення координат пристрою по відношенню до деякої (зазвичай стартової) точки. Ця схема затребувана розробниками тактичних безпілотних літаків і наземних роботів, що виконують місії в межах заздалегідь відомої області;

в) персональна - позиціонування роботом частин свого тіла і взаємодія з довколишніми предметами, що актуально для пристроїв, забезпечених маніпуляторами.

Вважається, що чим більше апарат, тим вище для нього важливість глобальної навігації і нижче - персональною. У мініатюрних роботів все навпаки.

Системи навігації класифікуються ще за однією ознакою - вони можуть бути пасивними і активними. Пасивна система навігації має на увазі прийом інформації про власні координати і інші характеристики свого руху від зовнішніх джерел, а активна розрахована на визначення місця розташування тільки своїми силами. Як правило, усі глобальні схеми навігація пасивна, локальна бувають і тими і іншими, а персональні схеми - завжди активні.

Перші моделі промислових роботів з більш менш автономною навігацією, створені в 60-і роки, пересувалися по маршруту, жорстко заданому за допомогою електричних кабелів, прокладених під підлогою заводських споруд. На роботах встановлювалися нескладні облаштування прийому електромагнітного випромінювання кабелю, що дозволяли визначати напрям переміщення. Апарати могли рухатися по різних маршрутах завдяки тому, що по декількох кабелях передавався сигнал з різною частотою. Але така схема була дорогою і негнучкою.

З появою перших систем машинного зору вдалося відмовитися від кабелів і перейти до навігації по яскраво намальованих (чи флуоресцентним) лініях на підлозі. Робот за допомогою камери стежив за такою лінією і самостійно рухався

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

уздовж неї. Правда, лінії часто стиралися, нерідко загороджувалися іншими апаратами і людьми, а на перехрестях, де сходилося декілька маршрутних ліній, роботи зазвичай втрачалися і зупинялися, не в силах зрозуміти, куди ж рухатися далі.

Випробовувалися й інші схожі концепції. По маршруту руху на певній висоті розміщувалися предмети-маркери заданої форми, які робот за допомогою простих сенсорів "обмацував", дізнаючись тим самим своє місцезнаходження. Але така схема навігації заснована на небажаному фізично активному контакті машини з навколишнім світом, що може привести до руйнівних наслідків. Крім того, роботи не завжди могли правильно ідентифікувати маркери, а розташування останніх доводилося вибирати дуже точно.

Поступово моделі маркерної навігації були оснащені досконалішими аналоговими сенсорами, що навчилися вимірювати силу реакції контакту і визначати форму маркера, а зараз в цих цілях застосовуються цифрові матричні сенсори, здатні отримувати від маркерів детальні дані про довкілля.

Наступний спосіб навігації - це використання лазерних далекомірів і ультразвукових генераторів (сонарів). Проте лазерний промінь допоможе отримати образ середовища тільки в зоні прямої видимості. Крім того, на шляху променя часто виникають дрібні перешкоди, що вносять погрішність в такий образ. А ультразвукові сенсори характеризуються великим часом відгуку (якщо робот знаходиться на великому і відкритому просторі), порядку десятих часток секунди, що не дозволяє роботів переміщатися швидко. Швидкість звуку в різних умовах також може "плавати", впливаючи на точність оцінки відстані, в результаті в "голові" робота спотворюється загальна картина довкілля. Створення тривимірних карт за допомогою лазерів в масштабі реального часу ще скрутніше і, як мінімум, вимагає істотних обчислювальних потужностей, які доки не вдається утілити у вигляді компактних бортових плат. З цих причин цінність інформації, що поступає від бортових сенсорів, невелика. Роботів необхідно перевести її у формальний і структурований "словесний" опис світу (завдання

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розпізнавання) [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Одним із способів організації руху робота в заздалегідь не визначеному середовищі може бути використання алгоритмів системи управління рухом робота, забезпеченого оптронною лінійкою - сенсором стеження за смугою, нанесеною на поверхню полігону. Був запропонований метод організації руху робота на оснащеному системою маяків полігоні, заснований на побудові віртуальної смуги, яка формується у бортовому комп'ютері робота з таким розрахунком, щоб вона огинала включені маяки і забезпечувала проходження заданої траси. Автономне визначення на борту робота його узагальнених координат дозволяє сформувавши «віртуальну оптронну лінійку», сигнал з якою пропорційний відхиленню робота від віртуальної смуги [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Сьогодні, більшість роботів, що орієнтуються на місцевості, покладаються на одометрію (odometry - вимір пройденого шляху) як на основу навігаційної системи. Звичайний одометричний вимірювач включає оптичні кодувальники, спарені з осями, що обертаються.

Ось деякі обертальні сенсори, що вимірюють переміщення і швидкість використовувани сьогодні:

- а) кодери з щітковими контактами;
- б) потенціометри;
- в) оптичні кодери;
- г) магнітні кодери;
- д) індуктивні кодери;
- е) ємнісні кодери.

Найбільш популярні обертальні кодери – інкрементальний або абсолютний оптичний кодер.

В основі сучасних оптичних сенсорів лежить зменшений сенсор, що визначає близькість по перериванню променя. У ньому сфокусований і спрямований на певний фотодетектор промінь світла періодично переривається

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

диском із спеціальними прорізами, що обертається на валу. Розвиток цієї схеми кодування - вихідні дані, які по суті своїй цифрові, збираються в недорогій і надійній «упаковці» з хорошою завадостійкою. Існує два основні види оптичних кодерів :

а) інкрементний - вимірює швидкість обертання і може визначити відносне положення;

б) абсолютний - вимірює точне кутове положення і може визначити швидкість.

Одноканальний тахометр - простий вид інкрементного кодера. В основі механіки - дискретне джерело світла, пульсуюче певна кількість разів за один оборот валу. Збільшення кількості імпульсів за оборот збільшує дозвіл кодера (та його вартість). Цей пристрій добре підходить як вимірювача швидкості із зворотним зв'язком в середньо і високошвидкісних системах управління. Але у них з'являються проблеми з перешкодами і стабільністю на малих швидкостях із-за помилок дискретизації. До цих проблем додається те, що одноканальний тахометр не здатний визначити напрям обертання і, як наслідок, не може бути використаний як позиціонуючий сенсор.

Абсолютні оптичні кодери зазвичай використовуються в додатках з повільним обертанням, для яких не допустима втрата інформації про положення із-за тимчасової втрати живлення. Краще всього підходить для систем з повільним і/або нечастим обертанням, в яких кодується кут повороту (протилежність обчисленням, пов'язаним з тривалим високошвидкісним обертанням, потрібні для обчислення переміщення шляхом дотримання).

Потенційна незручність абсолютного кодера - паралелізм вихідних даних, який вимагає складніший інтерфейс через велику кількість дротів.

Одометрія дає хорошу короточасну точність, недорога і має дуже велику частоту дискретизації. Але початкова ідея одометрії - об'єднання рухової інформації, що збільшується в часі, яке неминуче призводить до накопичення помилок. На практиці, накопичувані помилки орієнтації є причиною більшості

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

помилку позиціонування, кількість яких збільшується пропорційно шляху, пройденому роботом. Проте широко прийнято, що одометрія - дуже важлива частина навігаційної системи робота і завдання навігації спростилося, якщо точність одометрії була б збільшена.

Нижче приведені декілька причин, по яких одометрія використовується в АМР :

а) ці одометрії можуть бути об'єднані технологією абсолютного позиціонування (і іншими технологіями) для отримання кращої і точнішої оцінки положення;

б) одометрія може бути використана в абсолютно позиціонуванні, поліпшеному орієнтирами (маяками) на місцевості. Даючи необхідну точність позиціонування, підвищуючи точність одометрії - це дозволяє зменшити частоту оновлень в абсолютному позиціонуванні. Як наслідок - для цього маршруту потрібно менше маяків;

в) в деяких ситуаціях одометрія застосовна тільки в якості навігаційного інформатора.

Альтернативний метод одометрії - інерційна навігація. Принцип роботи включає безперервне прочитування навіть щонайменшого прискорення по кожній з трьох осей напрямів і переміщення в часі, щоб вичислити і положення. Платформа сенсора стабілізується гіроскопом, це необхідно для збереження строгої орієнтації трьох акселерометрів впродовж усього процесу.

Хоча концепція методу проста, специфіка реалізації дуже вимоглива. Головним чином це викликано помилками, причиною яких є стабільність (її відсутність), для забезпечення якої, щоб гарантувати коректність обчислення положення, використовуються гіроскопи.

Однією з переваг інерційної навігації є можливість забезпечувати швидкі, низько латентні динамічні виміри.

Проте головним недоліком є те, що кутові і швидкісні дані мають бути включені один і двічі (відповідно) для визначення орієнтації і лінійного

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

позиціонування (відповідно).

Інший вид навігації за допомогою орієнтирів. Існують природні і штучні орієнтири.

Головна проблема навігації по природних орієнтирах полягає у визначенні і зіставленні характерних особливостей в даних, отриманих від сенсорів. Такі сенсори є машинним зором. Більшість систем машинного зору заснована на визначенні довгих відрізків прямих, наприклад як в дверних отворах або точок з'єднання стін і стелі.

У системі позиціонування по природних орієнтирах виділяють наступні базові компоненти:

а) сенсор (зазвичай зоровий) детектувальний і виділяючий орієнтири на сцені;

б) метод порівняння, отриманих в результаті спостереження, особливостей з картою відомих орієнтирів;

в) метод обчислення місця розташування і локалізації помилок від порівнянь.

Набагато легше детектувати штучні орієнтири, оскільки вони розробляються з оптимальним контрастом. На додаток, для штучного орієнтиру заздалегідь відомі точні розміри і форма. Багато систем позиціонування по штучних орієнтирах засновані на машинному зорі, а в якості орієнтирів найчастіше використовуються чорний прямокутник з білими точками по кутах, сфера з вертикальними і горизонтальними колами для калібрування, що дозволяє визначити просторове (тривимірне) положення по одному зображенню.

Точність описаного вище методу залежить від того, з якою точністю геометричні параметри орієнтирів будуть витягнуті із зображення сцени, яка, у свою чергу, залежить від відносного положення і кута між роботом і орієнтиром.

Існують також орієнтири, які використовуються не візуальними сенсорами. Найчастіше використовувани - штрих-код відбивач для лазерних сканерів.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Постановка задачі дослідження

Під автономним мобільним роботом будемо розуміти сукупність системи керування і технічної системи, спроможної цілеспрямовано рухатись в середовищі для досягнення поставленої мети [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]. До технічних засобів системи входять силові пристрої, що забезпечують фізичне переміщення робота в середовищі і системи сенсорів, які можуть фіксувати перешкоди, що розміщені в напрямку переміщення робота. Будемо вважати, що робот функціонує в стаціонарному середовищі, в якому розміщення основних перешкод є відомим наперед.

Мета навігації АМР - цілеспрямоване переміщення робота в складному середовищі без зіткнень із перешкодами для досягнення кінцевого пункту руху найоптимальнішим шляхом.

В структурованих середовищах, коли відома глобальна карта середовища, для переміщення АМР до цілі використовують методи глобальної навігації: Фронту хвилі (Wave Front), Видимого графа (Visibility Graph), Дерева Квадратів (Quadtrees). Для навігації робота в неструктурованому середовищі застосовують більш прості, з обчислювальної точки зору, методи локальної навігації АМР: PolarBUG, VisBUG, FuzzyBUG, які використовують локальну карту середовища. Зважаючи на недоліки локальних методів навігації, що пов'язані із побудовою неоптимальних траєкторій, більших енергетичних затратах та інших, що звужують коло задач їх застосувань, у дипломному проекті досліджуватимуться алгоритми глобальної навігації

На даний час існує багато архітектурних рішень для навігації АМР в статичному (структурованому) середовищі. В таких системах виділяють три рівні керування стратегічний, тактичний та виконавчий [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Системи стратегічного та

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тактичного рівня вирішують завдання визначення перешкод в робочому середовищі АМР та навігації. Виконавчий рівень вирішує завдання безпосереднього фізичного керування механічними пристроями, що здійснюють рух АМР. Основною задачею функціонування таких систем в екстремальних динамічних середовищах є необхідність приймати рішення при часових та обчислювальних обмеженнях. Однак при такій архітектурі керування виконавчий рівень не має достатньої інформації для прийняття рішення, а верхні рівні надто повільні, щоб прийняти вчасно таке рішення. В таких умовах практично важливою задачею є оптимізація довжини шляху переміщення робота до цілі у середовищі.

У зв'язку із цим, в дипломному проекті ставляться наступні задачі:

- огляд існуючих алгоритмів рішення задачі глобальної навігації мобільного робота;
- огляд існуючих алгоритмів рішення задачі локальної навігації мобільного робота;
- аналіз та розробка схем алгоритмів побудови траєкторії переміщення мобільного робота для глобальної навігації;
- розроблення схеми управління мобільним роботом;
- розробка схеми взаємозв'язку програмних модулів;
- програмна реалізація алгоритму Wave Front глобальної навігації мобільного робота;
- проведення експериментальних досліджень та імітаційного моделювання алгоритму Wave Front.

Таким чином у першому розділі дипломного проекту здійснено огляд існуючих реальних робототехнічних систем, який дозволяє оцінити практичну потребу і можливості застосування навігаційних алгоритмів для мобільних роботів. Також розглянуто функції та зміст навігації автономних мобільних роботів, що дозволило здійснити постановку задачі досліджень.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 НАВІГАЦІЙНІ АЛГОРИТМИ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

2.1 Алгоритми глобальної навігації автономного мобільного робота в структурованому середовищі

Функціонування мобільного робота забезпечується у середовищах, які можна розділити на два типи: структуровані (наперед відомі) і неструктуровані (складні, наперед невідомі). В залежності від середовища функціонування виділяють глобальні та локальні методи навігації. Якщо положення перешкод у середовищі є відомим попередньо, то для навігації мобільного робота застосовують глобальні методи. Якщо положення перешкод у середовищі є наперед невідомим або перед роботом ставиться задача розвідки, то у такому випадку застосовуються локальні методи навігації до цілі, на основі локальної карти.

Існує багато реалізацій алгоритмів для навігації роботів, що використовують глобальні методи [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Нижче наведено алгоритми глобальної навігації. Алгоритм роботи глобальних методів навігації в цілому складається з двох етапів:

- 1) планування траєкторії руху мобільного робота;
- 2) безпосереднє переміщення до цілі, використовуючи інформацію про необхідну траєкторію, отриману на першому етапі.

Алгоритм Visibility Graph

Алгоритм глобальної навігації Visibility Graph [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.] складається з трьох кроків, що забезпечують побудову оптимальної траєкторії переміщення до цілі, де за критерієм оптимальності взято мінімальний шлях.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На першому кроці здійснюється процес опису периметру для перешкод, положення яких визначено на глобальній карті середовища (рис. 2.1). Такий периметр необхідний для того, щоби додати додаткову ступінь свободи у маневрах мобільного робота. Значення величини периметру залежить від величини платформи робота і рівна радіусу описаного навколо платформи кола плюс деяку величину допуску Δ (2.1):

$$P = R + \Delta, \quad (2.1)$$

де P – значення величини периметру;

R – радіус описаного навколо платформи робота кола;

Δ – додатковий допуск.

Величина Δ відображає допуск, який матиме мобільний робот при маневруванні біля перешкоди, що вимірюється у відстані, на яку він буде наближатись до перешкод.

Ціль

Рисунок 2.1 Встановлення периметру мобільного робота

На другому етапі здійснюється встановлення зв'язків між усіма вершинами, периметрів перешкод, які отримані на попередньому етапі (рисунок 2.2). При цьому, зв'язки встановлюються починаючи від положення робота на глобальній карті, до значення координати цілі. Закономірність встановлення зв'язків здійснюється із використанням значення «видимості». Очевидно звідси і походить назва алгоритму Visibility Graph, - видимого графу. Це значить, що починаючи із значення координати позиції робота, встановлюються прямолінійні зв'язки із координатами тих вершин, що є найближчими до робота. При цьому, зв'язок між двома точками здійснюють лінійно на основі рівняння прямої (2.2 – 2.3), виходячи із значень координат (x,y) двох точок, наприклад, A і B .

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(2.2)

(2.3)

Після визначення усіх видимих зв'язків, для вихідного позиції робота, проводять процедуру визначення усіх видимих зв'язків для кожної точки периметру перешкод, що були найближчими для положення робота. Ця ітераційна процедура повторюється до того моменту, коли не буде досягнуто цілі, яка у межах видимих зв'язків для положень робота (рисунок 2.2).

Рисунок 2.2 –Встановлення зв'язків між вершинами

На завершальному, третьому етапі визначаються усі можливі шляхи, що можна отримати від значення координат у позиції робота до значення координат точки цілі. При цьому, відстань між двома сусідніми точками $A(x_A, y_A)$ і $B(x_B, y_B)$ знаходять як евклідову відстань (2.4):

$$Length = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2} \quad (2.4)$$

Таким чином, шлях між позицією робота та ціллю визначається відстанями $Length_i$ між усіма точками, які знаходяться на шляху до цілі. Величина довжини шляху $Path_j$ рівна сумі відстаней між сусідніми точками (2.5):

$$Path_j = \sum_{i=1}^N Length_i^j, \quad (2.5)$$

де N – кількість точок у шляху $Path_j$;

$Length_i^j$ - відстань між двома точками у шляху j .

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після знаходження значень усіх альтернативних шляхів $Path_j$ від положення робота до цілі, вибирається оптимальний за критерієм мінімальної відстані (2.6), що відображено на рисунку 2.3.

$$Path = \min(Path_j), \quad (2.6)$$

Рисунок 2.3 – Побудова оптимально шляху за алгоритмаом Visibility Graph

Алгоритм Quartrees

Розглянемо інший алгоритм глобальної навігації Quartrees, що є дещо схожим до Visibility Graph [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Алгоритм базується на застосуванні квадратів для представлення великих середовищ. Зазначений алгоритм є достатньо популярним і часто використовується по аналогії для інших застосувань, наприклад для здійснення сегментування зображень у системах обробки відеоінформації. Представимо основні етапи зазначеного алгоритму.

На першому етапі, як і в алгоритмі Visibility Graph, здійснюється визначення периметру перешкод для забезпеченості маневреності мобільного робота при наближенні до них. Тому результат виконання зазначеного етапу аналогічний першому етапу алгоритму Visibility Graph (рисунок 2.1) із врахуванням величин периметру за (2.1).

На другому етапі алгоритму Quartrees здійснюється поділ глобального середовища на квадрати. Розглянемо більш детально процес поділу глобального середовища на квадрати. На початковому етапі вся глобальна карта середовища розглядається як один квадрат. У випадку наявності перешкоди у квадраті, він поділяється на чотири однакових під квадрати (діленням навпіл). Після поділу, кожен із поділених підквадратів розглядаються як окремі квадрати стосовно

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наявності у них перешкод з метою поділу на ще дрібніші підквадрати. Такий процес циклічно повторюється до моменту зупинки. Наприклад, точкою зупинки може бути ситуація, коли досягнена задана величина дрібності квадратів, яка відповідає одному кроку переміщення мобільного робота. В даному випадку чим дрібніші квадрати, тим більша обчислювальна складність і менш оптимальний шлях досягнення цілі буде сформовано. Результат поділу середовища на квадрати представлено на рисунку 2.4.

Рисунок 2.4 – Поділ середовища з різною величиною квадратів

З метою наглядного представлення функціонування алгоритму та спрощення розрахунків, встановимо великим розмір квадратів, що на рисунку 2.4.

На третьому етапі алгоритму Quadtrees визначаються значення координат точок центрів отриманих на попередньому етапі квадратів (рисунок 2.5).

Рисунок 2.5 – Визначення центру квадратів

Зазначені точки центрів квадратів розглядаються як проміжні точки переміщення робота від його початкового положення до цілі.

На четвертому етапі здійснюється побудова усіх зв'язків, між позицією робота та цілі (рисунок 2.6).

Рисунок 2.6 – Встановлення зв'язків

Такі зв'язки встановлюються за принципом, описаним у алгоритмі Visibility Graph. Тобто, на першому кроці встановлюються зв'язки між точкою позиції робота та сусідніми точками, що досяжні (видимі) із зазначеного положення. Після цього ітераційно знаходяться інші зв'язки між точками, які були сусідніми до робота і наступними їх «сусідами». Це процес завершується до моменту

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

досягнення цілі навігації робота. Слід зазначити, що після знаходження двох сусідніх точок $A(x_A, y_A)$ і $B(x_B, y_B)$, шлях переміщення між ними визначається як прямолінійних і розраховується рівнянням прямої (2.2 – 2.3).

На п'ятому етапі виконання алгоритму Quadrees виконується побудова усіх альтернативних шляхів $Path_j$, які пролягають між позицією робота та точкою цілі і проходять через точки центрів квадратів, що визначені на попередніх етапах алгоритму. При цьому, відстань між двома сусідніми точками $A(x_A, y_A)$ і $B(x_B, y_B)$ знаходять як евклідову відстань (2.4):

Величина довжини шляху $Path_j$ (2.5) між позицією робота та ціллю визначається відстанями $Length_i$ між усіма точками, які знаходяться на шляху до цілі.

На шостому етапі виконання алгоритму, вибирається один оптимальний шлях серед множини альтернативних за критерієм мінімальної відстані (2.6), що відображено на рисунку 2.7.

Рисунок 2.7 – Побудова оптимально шляху за алгоритмом Quadtree

Слід зазначити, що в залежності від розміру квадратів, на які поділяється глобальна карта середовища (рисунок 2.4) можуть бути отримані абсолютно різні шляхи переміщення робота до цілі. Наприклад, на рисунку 2.8 представлено альтернативний шлях переміщення мобільного робота при більшій деталізації глобальної карти. В той же час, при більшій деталізації отримано шлях, довжина якого менша на дві одиниці ніж при меншій деталізації

Рисунок 2.8 Шлях при більшій деталізації карти середовища

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так як для мобільного робота достатньо важливим є час опрацювання даних для його навігації, тому слід аналізувати виграш між часом оброблення даних і виграшом у довжині знайденого шляху.

Алгоритм Wave Front

Великого поширення набув алгоритм Wave Front для глобальної навігації. Реалізації алгоритму Wave Front розглядаються в [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Розглянемо поетапне виконання побудови траєкторії переміщення мобільного робота по зазначеному алгоритмі.

На першому етапі, як і в попередніх алгоритмах Visibility Graph, Quadtree, здійснюється визначення периметру перешкод для забезпеченості маневреності мобільного робота при наближенні до них. Виконання зазначеного етапу представлено на рисунку 2.1, при цьому, беруться до уваги значення величин периметру (2.1).

На другому етапі виконується поділ глобального середовища мобільного робота на рівномірні клітинки (рисунок 2.9). Причому, як і в методі Quadtree, чим більше комірок буде представляти одиницю площі, тим детальніше буде представлено середовище, однак при цьому підвищиться складність обчислень.

а)

б)

Рисунок 2.9 – Поділ середовища на клітинки

На третьому етапі Wave front алгоритму здійснюється розрахунок значень кожної комірки, що були отримані на попередньому етапі. Принцип розрахунку значень комірок полягає у наступному. Значення комірки, що містить ціль переміщення мобільного робота, встановлюється рівним двом. Значення комірок, що знаходяться по периметру перешкод встановлюються рівними одиниці. Значення комірок, що зайняті перешкодами, не враховуються. Значення решти

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комірок встановлюють за правилом (2.7), починаючи від позиції комірки, зайнятої ціллю:

(2.7)

де $Cell_i$ - значення попередньої комірки.

Таким чином, здійснюється розрахунок значень для усіх комірок поділеної глобальної карти середовища починаючи від комірки позиції цілі до комірки у зайнятої мобільним роботом. Присвоєння значень коміркам відмінним від перешкод, периметру перешкод та цілі здійснюється за принципом, який відомий в опробці зображень: 8-зв'язних сусідів, або 4-зв'язних сусідів (рисунок 2.10).

а)

б)

Рисунок 2.10 – Принцип зв'язності: а) 4-зв'язних сусідів, б) 8-зв'язних сусідів

Такий принцип полягає у тому, що у випадку, коли розглядається робот (центральні позиції на рисунку 2.10), то його маневреність може здійснюватись, лише у вертикальних чи горизонтальних напрямках на карті середовища для 4-зв'язних сусідів (рисунок 2.10а), або ж додатково у діагональних напрямках для 8-зв'язних сусідів (рисунок 2.10б). Тому, при розрахунку приросту значень кожної сусідньої комірки за (2.7) необхідно передбачати зазначену маневреність робота. На рисунку 2.11 відображено розрахунок значень комірок для випадків 4-зв'язних та 8-зв'язних сусідів.

Значення, що присвоюються коміркам глобальної карти середовища мають логічний зміст. Вони відображають вартісний характер досягнення цілі. Тобто трактуючи одну клітинку, як крок переміщення мобільного робота, значення комірок у даному випадку можуть відображати затрати енергії для досягнення комірки роботом. Саме тому, переміщення робота на одну комірку відображається зміною вартості (значення комірки) на одиницю.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У випадку, якщо розрахунок значень комірок не дозволяє досягнути комірку із положенням мобільного робота, то це означає, що інформація про глобальне середовище не дозволяє досягнення цілі роботом. У даному випадку необхідно більше деталізувати комірки, або ж встановлювати факт неможливості досягнення цілі мобільним роботом.

а)

б)

Рисунок 2.11 – Розрахунок значень комірок для: а) 4 зв'язних сусідів, б) 8-зв'язних сусідів

Подрібнення карти середовища у даному випадку має обмеження, яке полягає у можливості переміщення робота на один крок

Четвертий етап алгоритму Wave Front передбачає побудову всіх можливих шляхів від комірки із позицією мобільного робота до комірки із позицією цілі. Побудова даного шляху розпочинається від комірки із позицією робота до комірки із позицією цілі в напрямку зменшення вартостей на одиницю за описаним вище принципом: 4-зв'язних або 8-зв'язних сусідів (рисунок 2.12).

Як видно із графічного представлення побудови шляхів переміщення мобільного робота на рисунку 2.12, використання вищої маневреності у випадку 8-зв'язних сусідів дозволяє швидше досягнути ціль за меншу кількість кроків. В той же час, кількість альтернативних шляхів більша при ситуації використання 8-зв'язних сусідів ніж при використанні 4-зв'язних сусідів.

На останньому етапі виконання алгоритму, серед множини альтернативних траєкторій переміщення мобільного робота до цілі вибирається такий, мінімальна довжина якого найменша.

а)

б)

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.12 – Побудова альтернативних шляхів переміщення робота за принципом: а) 4-зв'язних сусідів, б) 8-зв'язних сусідів

Якщо прийняти $Length_i^j$ за i відстань між двома комірками j шляху, то довжини усіх альтернативних шляхів $Path_j$, які пролягають між позицією робота та точкою цілі можна розрахувати за (2.5).

Вибір одного оптимального шляху серед множини альтернативних здійснюється як і у попередніх алгоритмах за критерієм мінімальної відстані (2.6), що відображено на рисунку 2.13.

а)

б)

Рисунок 2.13 – Шлях переміщення робота за принципом:

а) 4-зв'язних сусідів, б) 8-зв'язних сусідів

Таким чином, у даному параграфі розглянуто основні алгоритми побудови траєкторії переміщення мобільного робота до цілі за умов їх використання у структурованому середовищі, що використовуються для глобальної навігації.

2.2 Алгоритми локальної навігації для задачі досягнення роботом цілі у невідомому середовищі

На противагу алгоритмам глобальної навігації алгоритми локальної навігації для переміщення до заданої цілі використовують інформацію отриману з допомогою сенсорів. В цьому випадку глобальна карта середовища є не доступною або ж середовище є достатньо неструктурованим чи в ньому присутня велика кількість динамічних перешкод, при цьому застосування алгоритмів глобальної навігації стає неможливим.

Алгоритм BUG

Найбільш відомий алгоритм локальної навігації, що базується на використанні інформації про середовище отриманої від сенсорів, є BUG. На даний

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

час існує велика кількість його модифікацій PolarBUG, VisBUG, FuzzyBUG [Ошибка! Источник ссылки не найден.-Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Основна суть методу полягає в тому, що напрямок руху робота визначається по градієнту, тобто вектору, що забезпечує мінімальний шлях слідування. Обхід перешкод здійснюється по периметру за годинниковою стрілкою чи проти неї, при цьому робот повертається на траєкторію, що визначена градієнтом на початку слідування до цілі.

Градієнт напрямку переміщення мобільного робота розраховується виходячи із значення відстані до цілі між значенням координат точки, у яку робот переміститься на наступному кроці і значенням координати точки цілі. Розрахунок величини відстані до цілі у кожній сусідній точці положення мобільного робота здійснюють за евклідовою відстанню (2.4). При цьому, сусідні точки положень робота вибираються виходячи із 4-зв'язності або 8-зв'язності сусідніх позицій робота, що представлені у попередньому параграфі (рисунок 2.10). Серед множини восьми або чотирьох значень градієнтів (в залежності від маневреності робота за 8-зв'язними або 4-зв'язними сусідами) приймається той напрям, який є мінімальним (2.8), що і вважається градієнтом (напрямом) у положенні робота.

$$Gradient = \min_k \sqrt{(x_k - x^T)^2 + (y_k - y^T)^2} \quad (2.8)$$

де *Gradient* – величина градієнту у сусідній з роботом точці;

(x_k, y_k) – значення координат точки, сусідньої із роботом;

(x^T, y^T) – значення координати точки цілі.

Графічне представлення роботи методу локальної навігації BUG показано на рисунку 2.14.

Рисунок 2.14 – Графічне представлення алгоритму локальної навігації BUG

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Алгоритм VisBUG

Алгоритм VisBUG передбачає використання інформації від сенсорів, що забезпечують визначення перешкод на певній відстані від мобільного робота. Алгоритм BUG при цьому використовує тактильні сенсори, коли VisBUG для побудови локальної карти середовища використовує ультразвукові, інфрачервоні та лазерні сенсори. Наприклад, ультразвукові сенсори мобільного робота AmigoBot спроможні визначити перешкоду на відстані 5 метрів. В такому випадку робот оперує локальною картою середовища радіусом 5 метрів. Приклад роботи алгоритму VisBUG представлений на рисунку 2.15.

Рисунок 2.15 – Графічне представлення роботи алгоритму VisBug

Алгоритм Potential Fields

Ще одним алгоритмом локальної навігації робота є використання потенційних полів (Potential Fields) об'єктів в середовищі [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Ціль переміщення використовує власне потенційне поле, що забезпечує рух робота до цілі на кожному кроці переміщення, оскільки наближення до цілі забезпечує збільшення потенційного поля цілі. Значення потенційних полів перешкод збільшуються при наближенні до перешкоди, що приводить до «відштовхування» робота від перешкоди. На кожному кроці руху визначається вплив потенційних полів цілі та перешкод на рух робота. Пошук максимуму вказує на наступну траєкторію руху мобільного робота:

$$\max (K_{пр} - \sum K_{від}), \quad (2.9)$$

де $K_{пр}$ - коефіцієнт притягання до цілі;

$K_{від}$ - коефіцієнт відштовхування від перешкод.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Графічне представлення роботи алгоритму Potential Fields представлено на рисунку 2.16.

Рисунок 2.16 – Графічне представлення роботи алгоритму локальної навігації Potential Fields

Таким чином, у даному параграфі розглянуто алгоритми локальної навігації мобільного робота, які дозволяють досягати глобальну ціль на основі показів сенсорів мобільного робота. При цьому, у порівнянні з глобальними алгоритмами, траєкторії руху можуть бути не оптимальними, але дозволяють мобільному роботу реагувати на нестационарні перешкоди. Окрім цього, застосування локальних алгоритмів навігації може призвести до зациклення робота, попадання його у тупикові ситуації.

У наступному параграфі розглядаються аналіз схем роботи алгоритмів глобальної навігації мобільних роботів.

2.3 Схема роботи алгоритмів глобальної навігації

У зв'язку із тим, що локальні алгоритми навігації мають ряд недоліків, у даному параграфі розглядаються схеми алгоритмів глобальних алгоритмів навігації.

Схема алгоритму Visibility Graph

Як представлено у параграфі 2.1 дипломного проекту одним із алгоритмів глобальної навігації є Visibility Graph. Розглянемо схему виконання зазначеного алгоритму, що у додатку А. Розглянемо більш детально основні блоки схеми алгоритму.

Вхідною інформацією для виконання алгоритму є глобальна карта середовища, яка представлена у сітко-базованій формі, яка відображає у кожній клітинці сітки логічне значення «0» або «1». Значення логічної одиниці вказує на

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зайнятість клітинки перешкодою, а значення «0» вказує на вільну ділянку для переміщення мобільного робота. Окрім цього, вхідною інформацією є значення координати точки (x^R, y^R) , яка визначає положення робота на глобальній карті середовища та значення координати точки (x^T, y^T) , яка задає позицію цілі. Додатковим вхідним параметром є величина периметру перешкод, на яку потрібно віддалити позиції перешкод для маневрування мобільного робота. Всі наведені параметри вказуються у блоці 1 схеми алгоритму.

У блоці 2 схеми алгоритму виконується процедура встановлення периметру перешкод, який збільшує зменшує кількість доступних для переміщення робота комірок на величину введеного параметру. Як альтернативний варіант, у зазначеному блоці також може виконуватись процес розрахунку величини периметру, виходячи із діаметру платформи робота. В такому випадку відсутня необхідність введення зазначеного параметру у блоці 1 схеми алгоритму.

У блоці 3 схеми алгоритму Visibility Graph виконується процедура, що визначає набір вершин перешкод для руху мобільного робота із врахуванням побудованого периметру. При цьому визначаються координати точок вершин. Зазначені вершини представлятимуть у подальшому ключові точки, через які пройдётиме шлях робота до цілі.

У блоці 4 схеми алгоритму визначається множина Set, яка містить набір координат вершин, для яких шукатимуться видимі сусідні вершини для прокладання шляху робота. На початковому етапі в склад даної вершини входить лише одна точка із координатами початкового положення мобільного робота.

У блоці 5 схеми алгоритму виконується процедура визначення усіх видимих найближчих вершин до кожної із зазначених у множині Set (визначена у четвертому блоці схеми алогоритму) сусідніх вершин. При цьому визначається нова множина Set2, куди записуються положення визначених точок вершин. Особливістю виконання даного блоку є фіксування факту проходження можливого шляху від точки із множини Set у точку можини Set2, що може представлятись у формі заповнення матриці інциденцій.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконання блоків 4 та 5 є циклічним і передбачає формування графу зв'язків між усіма видимими вершинами від положення робота до цілі. Тому, у блоці 6 здійснюється перевірка умови досягнення цілі? Якщо умов хибна, то це відображає потребу у поглибленні графу взаємозв'язків. Тому, у блоці 7 виконується переприсвоєння значень множин: $Set=Set2$ і здійснюється перехід до виконання блоку 5. Тобто, для поглиблення графу, тепер будуть шукатись видимі зв'язки до нових точок між колишніми сусідами робота до їх нових сусідів.

Якщо умова у блоці 6 істинна, то відображається факт досягнення цілі, що свідчить про припинення побудову графу взаємозв'язків. У такому випадку у блоці 8 виконується побудова усіх можливих шляхів, які призводили до досягнення цілі, починаючи від початкової позиції робота. Також розраховуються значення довжин сегментів $Length_i$ між точками проходження шляху, а також розраховується довжина всього треку $Path_j$, як сума складових сегментів. В результаті виконання зазначеного блоку формуються альтернативні шляхи $Path_j$ досягнення цілі.

На наступному етапі у блоці 9 схеми алгоритму визначається один шлях $Path$, який є мінімальної довжини серед альтернативних $Path_j$. Після визначення єдиного треку для мобільного робота розраховуються рівняння прямих між сегментами, що дозволить роботу переміщуватись по проміжних точках між двома точками сегментів.

Набір розрахованих у блоці 9 є результатом виконання алгоритму Visibility Graph, який виводиться на екран чи як параметр для інших процедур у блоці 10 схеми алгоритму.

Схема алгоритму Quadtree

Альтернативним алгоритмом до Visibility Graph, що розглянутий у параграфі 2.1 є Quadtree. Розглянемо більш детально схему його роботи, що наведена у додатку Б.

Вхідною інформацією, що вводиться у блоці 1 схеми алгоритму Quadtree є глобальна карта середовища, яка представлена у формі сітки зайнятості;

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

координати двох точок (x^R, y^R) та (x^T, y^T) які задають положення робота та цілі на глобальній карті середовища. Додатковим вхідним параметром є величина периметру перешкод, та розмір квадратів до якого слід сегментувати глобальну карту середовища.

У другому блоці схеми алгоритму Quadtree, як і в блоці 2 алгоритму Visibility Graph, виконується процедури встановлення периметру перешкод. Призначення даних процедур ідентичні і наведені вище.

У блоці 3 схеми алгоритму Quadtree виконується процес поділу середовища на квадрати згідно наведеного у параграфі 2.1 опису (дивись рисунок 2.4). Для виконання зазначеної процедури використовується параметр мінімального розміру квадрату (блок 1 додатку Б), до рівня якого буде сегментуватись глобальна карта середовища із перешкодами.

Наступним блоком 4 у схемі алгоритму здійснюється визначення координат точок центрів квадратів, на які поділялась карта середовища.

Отже, виконання блоків 3 та 4 схеми алгоритму Quadtree виконує пошук проміжних точок, по яких будуватимуться шляхи переміщення робота до цілі, що в цілому і відрізняє алгоритм Quadtree від Visibility Graph.

Виконання решти блоків 5-12 схеми алгоритму Quadtree аналогічні виконанню блоків 4-11 схеми алгоритму Visibility Graph і представлена вище. Основна відмінність у тому, що побудова графу проходження шляхів у алгоритмі Visibility Graph здійснюється по точках, які лежать на периметрі перешкод, а у алгоритмі Quadtree такі точка знаходяться у центрах квадратів, на які поділено середовище. Загалом, перелік точок формується у попередніх блоках схеми алгоритму, а тому виконання блоків 5-12 алгоритму Quadtree повністю ідентичне блокам 4-11 Visibility Graph. З цією метою опис функцій даних блоків для алгоритму Quadtree не наводиться.

Схема алгоритму Wave Front

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільший інтерес серед алгоритмів глобальної навігації представляє алгоритм Wave Front, оскільки він відразу дозволяє оцінити затратні характеристики при виконанні маневрів робота. Тому розглянемо схему його роботи, що на рисунку 2.17 більш детально.

Вхідними даними до виконання алгоритму Wave Front є глобальна карта середовища у сіткобазованому форматі, координати двох точок (x^R, y^R) та (x^T, y^T) положення робота та цілі на глобальній карті середовища. Додатковим вхідними параметрами є величина периметру перешкод, розміру комірок та значення виконання маневреності робота за принципом чотирьох або вісьми-зв'язних сусідів (рисунок 2.10).

У другому блоці схеми алгоритму Wave Front, виконується процедури встановлення периметру перешкод, призначення якої ідентичні із блоком 2 схеми алгоритму Visibility Graph, що наведено вище.

У блоці 3 схеми алгоритму Wave Front виконується процедура, яка здійснює поділ глобальної карти середовища на комірки рівних розмірів, величина яких задається вхідним параметром алгоритму у блоці 1. Результати виконання блоку 3 представлено графічно на рисунку 2.9.

На наступному етапі у блоці 4 схеми алгоритму виконується розрахунок значень для кожної комірки середовища, яка сформована на попередньому етапі. Заповнення значень комірок розпочинається з комірки, що співпадає із координатою цілі і поширюється за визначеним принципом зв'язності до комірки, яка відповідає початковому положенню робота.

Рисунок 2. 17 – Схема роботи алгоритму Wave Front

Якщо вся карта середовища опрацьована процедурою у блоці 4, а комірки із позицією робота досягнути не вдалось, то це ознака факту знаходження робота у тупику, або ж неможливості досягнення цілі переміщення робота. У такій ситуації, існує можливість пошуку шляху при меншій розмірності комірки. Тому

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при хибності умови у блоці 5, значення розміру комірки зменшується у блоці 6. Таке зменшення не може бути безмежним, і визначається розміром платформи робота. Тому якщо наступна умова у блоці 7 є істинною і допускає зменшення розміру комірки, то відбувається перехід до виконання блоку 3 схеми алгоритму, при якій заново поділяється середовище на нові за розміром комірки. Якщо ж виконання умови 7 є хибним і не допускає зменшення розміру комірки, то у блоці 8 схеми алгоритму виводиться повідомлення про неможливість розв'язку задачі побудови траєкторії переміщення мобільного робота до цілі по заданих вхідних умовах, після чого завершується алгоритм.

Якщо ж після заповнення комірок досягнуто позицію робота (умова у блоці 5 є істинною) виконується процедура побудови усіх шляхів переміщення мобільного робота до цілі. Для цього, у блоці 9 схеми алгоритму, починаючи від комірки із позицією робота виконується покроково пошук шляху до цілі, для якого перехід на одну комірку призводить до зменшення її значення на одиницю.

Серед альтернативних шляхів, у блоці 10 схеми алгоритму визначається один шлях із найменшою довжиною.

Розрахована траєкторія переміщення робота, яка містить координати всіх точок переміщення робота є вихідно, а тому у блоці 11 вона візуалізується на екран, або ж передається для опрацювання іншим процедурам управління мобільного робота.

Після виводу траєкторії переміщення робота до цілі, виконання алгоритму Wave Front завершується.

Таким чином у даному параграфі наведено схеми роботи алгоритмів побудови траєкторій руху мобільного робота до цілі для задачі навігації. Аналіз схем алгоритмів показав близькість виконання алгоритмів Visibility Graph та Quadtree, які хоча і формують різні траєкторії переміщення робота, але досить подібні у виконанні. Недоліком таких алгоритмів є те, що довжини сегментів у побудовані траєкторії можуть бути значними, а тому необхідний додатковий механізм для забезпечення маневреності робота в межах сегменту. На відміну від

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зазначених алгоритмів Wave Front має рівновіддалені сегменти, а тому виконання маневрів між сегментами є однотипним і легшим у практичній реалізації.

Таким чином у другому розділі дипломного проекту розглянуто основні алгоритми побудови траєкторії переміщення мобільного робота до цілі за умов їх використання структурованому середовищі для глобальної навігації.

Також розглянуто алгоритми локальної навігації мобільного робота, які дозволяють досягати глобальну ціль на основі показів сенсорів мобільного робота. При цьому, алгоритми локальної навігації у порівнянні з глобальними при побудові траєкторій руху можуть бути не оптимальними, проте дозволяють мобільному роботу реагувати на динамічні перешкоди. Окрім цього, застосування локальних алгоритмів навігації може призвести до зациклення робота, попадання його у тупикові ситуації.

Тому розроблені схеми роботи алгоритмів глобальної навігації, за допомогою аналізу функцій основних символів, дозволяють здійснити програмну реалізацію, яка представлена у наступному розділі дипломного проекту.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ГЛОБАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЇ

3.1 Узагальнена модель системи керування мобільним роботом

Для керування АМР, використовується в основному багаторівнева ієрархічна структура управління [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Відповідно до такої структури інформація від сенсорів, поступає на різні рівні системи управління. Наприклад, дані про розташування перешкод потрібні на вищому рівні для побудови моделі робочого середовища в цілях планування дій робота; результати класифікації об'єктів потрібні на стратегічному рівні для розділення загального плану дій на конкретні маніпуляційні операції, встановлення їх послідовностей і параметрів; відомості про розміщення і орієнтацію об'єктів необхідні для формування на тактичному рівні - рівні встановлення рухів АМР, його робочих органів і ланок маніпулятора, по яких, у свою чергу, будуються програмні закони злагодженої зміни відповідних ступенів рухливості; інформація про відхилення фактичної траєкторії від запрограмованої може бути використана безпосередньо на виконавчому рівні для вироблення управляючих сигналів на приводи при відробітку програми в цілях корекції переміщення робочого органу робота. Для керування АМР особливо актуальними є інтелектуальні системи керування, які мають згідно [Ошибка! Источник ссылки не найден.] чітко виражену ієрархічну структуру і містить такі основні рівні керування:

- самонастроювання законів керування;
- самопрограмування і планування рухів;
- самомоделювання зовнішнього середовища;
- самонавчання в розпізнаванні ситуацій середовища;
- самоорганізацію цілеспрямованого поведіння.

Кожен наступний рівень такої ієрархії керує роботою попереднього, рівня, підвищуючи якість керування системи в цілому.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В [Ошибка! Источник ссылки не найден.] розглянуто модульну структуру управління мобільним роботом, в якій розглядаються: модуль формування карти середовища, модуль визначення напрямку руху на основі сформованої карти середовища, аналітичний блок, що визначає оптимальний напрям руху мобільного робота у відповідності до цілі руху, модуль руху робота у вузьких для маневрів середовища, а також модуль керування швидкістю переміщення АМР. Особливістю застосування такої ієрархії є виконання всіх модулів із використанням засобів штучного інтелекту (нейронних мереж). Такий підхід дозволяє швидко адаптовуватись до змін в середовищі і забезпечувати досягнення поставленої мети.

На основі проведеного аналізу відомих систем керування АМР [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.], узагальнену схему управління робота і забезпечення його руху можна зобразити у вигляді сукупності наступних функціональних блоків (рисунок 3.1).

Рисунок 3.1 – Узагальнена схема управління мобільним роботом

У блоці оброблення сенсорних даних АМР (2) здійснюється перетворення фізичних показів сенсорів в форму, що придатна для подальшого аналізу та оброблення, також в цьому блоці використовуються методи подавлення шумів та підвищення достовірності отриманих даних. Блок побудови локальної карти середовища (3) на основі отриманих даних та бази знань, що визначає тип середовища функціонування робота, формує локальну карту. Блок локалізації (4) призначений для коригування місцезнаходження АМР під час руху, оскільки покази системи керування та реальне положення АМР в середовищі з часом відрізняється, що зумовлено неточностями одометричної системи, а також проковзуванням коліс. Блок навігації (5) відповідає за прийняття рішення про напрямок руху до цілі на стратегічному рівні, на тактичному рівні блок маневрів (7), використовуючи дані про оточуюче середовище, безпосередньо передає управляючі сигнали до апаратних пристосувань переміщення (1). У базі знань (8)

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначаються правила поведінки системи керування, а також кожного блоку окремо, на складних ділянках переміщення та при функціонуванні в неструктурованому динамічному середовищі. Блок побудови глобальної карти середовища (б) використовується при функціонуванні в незнайомому середовищі. При цьому використовуються методи, що синтезують глобальну карту використовуючи локальну карту середовища на кожному кроці переміщення.

Згідно наведеної структури керування АМР, завдання функціонування в середовищі із стаціонарними та динамічними перешкодами вимагає прийняття швидких рішень, при цьому слід враховувати конструктивні особливості АМР, поточні координати, а також особливості оточуючого середовища. Таким чином, в розділі 1 на основі виконаної оцінки технологій побудови систем навігації, методів і засобів побудови системи керування АМР, розроблено узагальнену модель системи керування АМР, виділено завдання навігації та сформульовано мету роботи.

Таким чином, на основі аналізу архітектурних рішень побудови систем управління мобільним роботом розроблено узагальнену схему управління, яка з допомогою системного аналізу дозволяє визначити головні функціональні задачі та їх взаємозв'язок в управлінні та навігації.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розробка програмного забезпечення

У даному параграфі представимо розроблення програмного інтерфейсу для розв'язування задачі навігації мобільного робота.

Для реалізації представлених у другому розділі дипломного проекту алгоритмів глобальної навігації, розглянемо можливості середовища програмування MATLAB для розробки та моделювання роботи зазначених алгоритмів. MATLAB є середовищем моделювання високого рівня, яке розроблене компанією MathWorks близько двадцяти років тому. Склад можливостей MATLAB передбачає:

- програмування через вбудований засіб програмної розробки;
- імітацію засобами SIMULINK;
- розроблення графічного інтерфейсу GUI;
- використання вбудованих потужних бібліотек функції в рамках Toolbox;
- засоби компілювання у готовий виконуваний код;
- засоби експорту та імпорту;
- засоби візуалізації;
- ін.

Для реалізації алгоритмів навігації мобільного робота необхідно створити інтерфейс взаємодії із користувачем для забезпечення вводу необхідних даних та відображення результатів виконання алгоритмів.

З цією метою засобами MATLAB створено користувацький інтерфейс, що відображено на рисунку 3.1. Такий інтерфейс є верхнім рівнем в ієрархії взаємодій із користувачем і передбачає наступні можливості, що є необхідними для оперування розробленим програмним забезпеченням алгоритмів. Отже, розроблений інтерфейс передбачає вибір алгоритму, що представлено у лівій частині головного вікна, а також їх параметрів. Як видно із рисунку 3.1, в зазначених параметрах відображено можливість вибору типу зв'язності між положеннями робота, що є необхідним для алгоритмів Quadtree та Wavefront.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.1 – Головне вікно програми

Також в залежності від обраного алгоритму можуть з'являтися додаткові параметри, наприклад, вибору розміру дрібності клітинок для поділу глобальної карти за алгоритмом Quadtree або ж вибору величини комірок в алгоритмі Wavefront. Серед зазначених параметрів також вручну можна задати розмір периметру, який буде обводитись навколо позицій перешкод, які задаються на глобальній карті середовища.

У центральній частині головного вікна програми знаходиться основна частина для відображення результатів роботи алгоритмів (рисунок 3.2). Загалом, вона представляє середовище для відображення. Зокрема, на ній представляється сіткобазована глобальна карта середовища, на якій відображено положення перешкод, а також положення мобільного робота. На даному вікні можуть відображатись також інші об'єкти, типу траєкторій руху робота, текстова та інша інформація, яка появляється в результаті виконання модулів програм. Специфікою використання об'єкта *axis* у MATLAB є те, що при використанні різної розмірності карт середовищ, відображення об'єктів буде автоматично масштабуватись у визначених межах, що спрощує процес програмування.

Рисунок 3.2 – Центральне вікно програми

У нижній частині головного вікна програми представлено можливість збереження результатів програми, а також зчитування їх у середовище програмування (рисунок 3.3). Така можливість передбачена для можливості здійснення процесів відлагодки чи внесення змін в існуючі алгоритми. Також дана можливість передбачає використання експорту та імпорту даних. При виконанні

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

даних функцій зберігаються (або зчитуються) усі поточні змінні із середовища MATLAB, які існують на момент виклику даної опції.

Рисунок 3.3 – Засоби збереження та зчитування даних

Права частина головного вікна інтерфейсної частини програми (рисунок 3.1) містить набір параметрів, які стосуються створення умов виконання алгоритмів побудови траєкторії руху робота до заданої цілі. Зокрема, встановлюються значення розмірності карти середовища у якому функціонуватиме мобільний робота. Користувачеві надається можливість встановлення положення цілі переміщення робота. Для цього значення координати цілі (x^T, y^T) можна ввести вручну у поле введення «Goal position», або ж за допомогою курсора. В останньому випадку задіюється кнопка «Set Goal coord» , після натиснення якої користувач кліком курсору «миші» встановлює позицію для цілі переміщення робота на глобальні карті (рисунок 3.4).

Рисунок 3.4 – Встановлення координат цілі робота

Аналогічним чином користувачеві надається можливість встановлення положення мобільного робота на глобальній карті середовища. З цією метою значення координати початкової позиції робота можна встановити за допомогою введення величин (x, y) у визначеному полі для введення «Robot position», або ж за допомогою курсору, який викликається кліком кнопки «Set Robot coord.», що у правій нижній частині головного вікна програми. При цьому на екрані появляється курсор аналогічно як на рисунку 3.4, позиціонуванням якого визначається встановлення позиції мобільного робота на глобальній карті середовища.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Введення координат точки цілі і початкової позиції мобільного робота визначають місцезнаходження даних об'єктів, які встановлюватимуться у зазначених положеннях при кожному стартуванні алгоритмів на виконання до моменту завершення програми. Для збереження положень зазначених об'єктів необхідно використати збереження значень встановлених змінних, використавши відповідні можливості (здіяяти кнопку «Save as»), які були представлені вище.

Окрім введення координат цілі та мобільного робота на глобальній карті середовища, користувачу розробленого програмного продукту надається можливість створення власної карти перешкод. З цією метою використовуються створені кнопки «Add obstacle», «Delete obstacle» (рисунок 3.1). Після натиснення кнопки «Add obstacle», у центральній частині головного вікна програми появляється курсор, аналогічний, що на рисунку 3.4, що дозволяє відмітити ті клітинки глобальної карти середовища, в яких знаходяться перешкоди. Аналогічним чином видалення перешкод із глобальної карти відбувається натисканням кнопки «Delete obstacle», після чого з'являється курсор, фіксуванням позиції якого над картою робота можна видаляти об'єкти із відповідно положення.

Сформована вище зазначеним способом карта середовища залишається у пам'яті до моменту завершення програми і може використовуватись для виконання різних методів навігації. У випадку необхідності у використанні зазначеної карти середовища для досліджень після завершення програми, необхідно використати процедуру збереження результатів, натисканням кнопки «Save as», яка була представлена вище.

Останнім елементом інтерфейсної частини розробленої програми є виконання реалізованих алгоритмів. З цією метою користувачу представлена кнопка «Start», після чого відбувається виконання алгоритму, який визначений параметрами, що у лівій частині головного вікна. Вхідними параметрами до виконання алгоритму також є глобальна карта середовища та координати цілі і положення мобільного робота, що встановлені у правій частині головного вікна.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приклад виконання програми представлено на рисунку 3.5.

Рисунок 3.5 – Виконання алгоритму Wave Front

Завершення виконання програми можливе натиснення комбінацій кнопки клавіатури Alt+F4, або ж із використанням відповідної піктограми в елементах управління головним вікном програми. Також функціями вікна програми передбачена можливість згортання програми у системний трей чи розкриття на весь екран. Виконання останньої процедури може призведе до зміни у розміщенні елементів управління, а тому заблокована для користувача.

Таким чином, створений програмний продукт дозволяє виділити основні програмні модулі: встановлення параметрів виконання алгоритмів, встановлення позицій об'єктів, імпорт-експорт значень змінних, засоби візуалізації, алгоритми побудови траєкторій переміщення мобільного робота на глобальній карті середовища (рисунок 3.6).

Рисунок 3.6 – Взаємозв'язок програмних модулів

Таким чином, у параграфі представлено інтерфейсну частину розробленого програмного продукту, здійснено її реалізацію та опис, що дозволяє використовувати під час досліджень задачі глобальної навігації мобільного робота при побудові траєкторії переміщення до цілі. Також розроблено схему взаємозв'язку програмних модулів, яка відображає взаємозв'язок та інформаційні потоки основних процедур, що спрощує процес відлагодження та верифікації, а також створює передумови до вдосконалення програмного продукту та відображає цілісність розв'язку поставленої задачі.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Експериментальні дослідження роботи алгоритмів побудови траєкторії руху мобільного робота

У даному параграфі представимо програмну реалізацію одного із алгоритмів глобальної навігації серед множини, які розглядались у попередніх розділах дипломного проекту. Після програмної реалізації проведемо імітаційне моделювання та експериментальні дослідження роботи алгоритму.

З метою дослідження виконання алгоритмів глобальної навігації та їх програмної реалізації, оберемо алгоритм Wave Front, оскільки він має ряд переваг, що відображені у попередніх параграфах, а також виділяється оригінальністю та практичною значимістю.

Для програмної реалізації алгоритму Wave Front розроблено програмні модулі, які функціонують в межах схеми взаємозв'язку програмних модулів, що відображено на рисунку 3.6 як окремі процедури. Взаємозв'язок модулів можна представити схемою взаємозв'язку програмних модулів алгоритму Wave Front (рисунок 3.7).

Рисунок 3.7 – Схемою взаємозв'язку програмних модулів алгоритму Wave Front

Перелік програмних модулів, що відповідають блокам схеми взаємозв'язку програмних модулів алгоритму Wavefront представлено на рисунку 3.8.

Рисунок 3.8 – Перелік функцій MATLAB, що відповідають програмним модулям на рисунку 3.7

Розглянемо призначення та функції програмних модулів, що представлені на схемі взаємозв'язку програмних модулів (рисунок 3.7, рисунок 3.8).

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основним виконавчим модулем є процедура MATLAB «Main_wavfront», яка є стартовою при виконанні алгоритму. В цій процедурі виконуються ввід параметрів, зчитування карти середовища, визначення положень робота та цілі на глобальній карті, виклик функції візуалізації результатів, а також виклик функції виконання алгоритму Wave Front. Лістинг програмного коду процедури MATLAB «Main_wavfront» представлено у додатку В.

Одним із програмних модулів, яких потрібен для виконання алгоритму Wave Front є «створення карти середовища». Зазначена процедура забезпечує створення нової карти середовища, та збереження її у файлі на жорсткому диску комп'ютера. Карта середовища представляється тривимірним масивом, де перші два виміри відображають розмірність карти. У третьому вимірі використовуються лише три значення. Перше значення визначає двохвимірне розміщення перешкод на глобальній карті. Друге значення встановлює положення робота. Третє значення встановлює положення цілі переміщення робота на глобальній карті. Причому, для наближеного до реальних умов, положення перешкод можна встановити двох видів: у формі архітектурних частину типу стіни та у формі інших, не капітальних, об'єктів. Позиції цілі та робота задаються у бінарній формі на двохвимірних масивах. Лістинг коду процедури функції MATLAB “makemap()”, яка виконує представлені операції наведено у додатку Г.

Для візуалізації результатів виконуються дві функції MATLAB: «Display_map()», «Draw_line()», що на рисунку 3.8. Призначення зазначених функцій – забезпечення відображення карти середовища та представлення ліній на ній. Лістинги відповідних процедур наведено у додатку Д.

Останньою процедурою, яка використовується у програмній реалізації алгоритму Wave Front є функція Matlab «wavfront()». Зазначена функція виконує безпосередньо покрокове виконання алгоритму Wave Front, опис якого наведено у попередніх параграфах. Лістинг коду програми функції наведено у додатку Ж.

З метою імітаційного моделювання розглянемо можливість побудови карти середовища мобільного робота на створених глобальних картах середовища

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різних розмірностей. Зокрема, розглянемо роботу алгоритму при розмірностях глобальної карти у 32х32 позиції робота (рисунок 3.9а), 64х64 позиції робота (рисунок 3.9б) і 96х96 позицій робота (рисунок 3.9в). На всіх картах (рисунок 3.9) відображено положення перешкод, а також положення робота (у правому нижньому квадраті зображення) та положення цілі (лівий верхній квадрат зображення).

а)

б)

в)

Рисунок 3.9 – Глобальні карти середовищ мобільного робота розмірністю:

а) 32х32 позиції, б) 64х64 позиції, в) 96х96 позицій

Результати імітаційного моделювання роботи алгоритму Wave Front виконувалось для двох випадків що наводились вище (див. рисунок.2.10):

- маневреності робота у формі 4-зв'язних сусідів;
- маневреності робота у формі 8-зв'язних сусідів.

При виконанні алгоритмів глобальної навігації проведено їх дослідження за критерієм довжини треку, який формується в результаті виконання алгоритму Wave Front. Порівняння даної величини, дозволить зробити висновок про ефект, який можна отримати від свободи маневрування мобільного робота.

Результати виконання алгоритму Wave Front для глобальної карти середовища розмірністю 32х32 положення мобільного робота (рисунок 3.9а) представлено на рисунку 3.10.

а) 8-зв'язна маневреність

б) 4-зв'язна маневреність

Рисунок 3.10 – Візуалізація результатів роботи алгоритму Wave Front для глобальної карти 32х32 (рисунок 3.9а)

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати виконання алгоритму Wave Front для глобальної карти середовища розмірністю 64x64 положення мобільного робота (рисунок 3.9б) наведено на рисунку 3.11.

а) 8-зв'язна маневреність

б) 4-зв'язна маневреність

Рисунок 3.11 – Візуалізація результатів роботи алгоритму Wave Front для глобальної карти 64x64 (рисунок 3.9б)

Результати виконання алгоритму Wave Front для глобальної карти середовища розмірністю 96x96 положень мобільного робота (рисунок 3.9в) наведено на рисунку 3.12.

а) 8-зв'язна маневреність

б) 4-зв'язна маневреність

Рисунок 3.12 – Візуалізація результатів роботи алгоритму Wave Front для глобальної карти 96x96 (рисунок 3.9в)

По результатах виконання алгоритму Wave Front, значення довжин побудованих треків наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Довжина шляху мобільного робота до цілі

Тип карти середовища	Довжина треку	
	4-зв'язна маневреність мобільного робота	8-зв'язна маневреність мобільного робота
32x32 положення (рисунок 3.9а)	126	96 (76% від 4-зв'язн.)
64x64 положення (рисунок 3.9б)	206	141 (68% від 4-зв'язн.)

96x96 положень (рисунок 3.9в)	278	198 (71% від 4-зв'язн.)
----------------------------------	-----	----------------------------

Таким чином, у даному параграфі представлено опис програмної реалізації алгоритму Wave Front як алгоритму глобальної навігації, що містить практичну цінність і може бути впроваджено в схемах управління роботом. Також проведено імітаційне моделювання та експериментальні дослідження зазначеного алгоритму на модельованих середовищах, при різній маневреності робота. Аналіз результатів показав, що при 8-зв'язній маневреності мобільного робота, в середньому, довжина побудованої траєкторії переміщення робота на 28% менша ніж при 4-зв'язній маневреності. Тому, у випадку, коли затрати на підвищення маневреності робота менші від затрат на проходження відстані, яку робот затратить при вищій маневреності (28% на кожен трек) за визначений період часу, є доцільним проведення модернізації робота.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.

					ДП.КН.07639/05.99.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

