

**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії**

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
комп'ютерної інженерії
к.т.н., доц. О.М.Березький

_____ 20__ р.
" ___ " _____

ДИПЛОМНА РОБОТА
освітньо-кваліфікаційного рівня "Магістр"
зі спеціальності 8.05010201 "Комп'ютерні системи та мережі"
на тему:

АЛГОРИТМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Студент групи КСМм-51

Король Р.В. _____
(підпис)

Науковий керівник

д.т.н., проф. Саченко А.О. _____
(підпис)

Консультант з нормо контролю

_____ _____
(підпис)

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

“Затверджую”
Зав. кафедри
комп'ютерної інженерії
к.т.н., доц. О.М. Березький

“_____” _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТА
Короля Романа Вікторовича

1. **Тема дипломної роботи** “ Алгоритми стабілізації мобільного робота” затверджена наказом університету №__ від „__” _____ 20__ р

2. **Термін здачі** закінченої дипломної роботи _____

3. **Об'єкт дослідження:** система управління робота.

4. **Предмет дослідження:** алгоритми та моделі стабілізації робота.

5. **Перелік задач, які мають бути вирішені:**

- здійснити класифікацію мобільних роботів;
- провести аналіз та класифікацію способів управління мобільних роботів;
- провести класифікацію підзадач стабілізації мобільного робота;
- провести аналіз моделей управління колісних роботів;
- розробити модель побудови траєкторії руху мобільного робота;
- розробити модель стабілізації мобільного робота;
- розробити алгоритм стабілізації мобільного робота;
- розробити схему управління мобільним роботом;
- розробити програмні модулі запропонованих рішень стабілізації колісного робота;
- розробити схему взаємозв'язку програмних модулів;
- провести імітаційне моделювання розроблених моделей та алгоритмів стабілізації мобільного робота;
- розробити рекомендації щодо захисту програмно-апаратної системи.

6. Перелік ілюстративного матеріалу:

- тема, мета, завдання, методи досліджень, наукова новизна, практичне значення,
- класифікація сенсорних пристроїв роботів,
- геометрична інтерпретація кінематичної моделі управління робота,
- геометричні інтерпретації запропонованих рішень задачі стабілізації робота,
- алгоритм стабілізації робота,
- схема управління роботом,
- ілюстрації імітаційного моделювання запропонованих рішень стабілізації колісного робота,
- структура програмного забезпечення.

7. Консультанти по роботі

Розділ	Консультант	Підпис
1		
2		
3		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва структурних частин ДР	Термін виконання	Примітка
1	Аналіз особливостей і характеристик мобільних роботів	15.09.2013 – 5.11.2013	
2	Розроблення моделей управління колісними мобільними роботами	6.11.2013 – 31.01.2014	
3	Імітаційне моделювання руху робота	1.02.2014 – 23.04.2014	

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

П.І.П. студента

Керівник дипломної роботи _____
(підпис)

П.І.П. керівника

РЕФЕРАТ

Дипломна робота на тему “Алгоритми стабілізації мобільного робота” на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня “Магістр” зі спеціальності “Комп’ютерні системи та мережі” написана обсягом 116 сторінок і містить 42 ілюстрації, 3 таблиці, 11 додатків та 52 джерела за переліком посилань.

Метою роботи є розроблення алгоритму стабілізації колісного робота на основі системи управління з використанням універсальної кінематичної моделі і алгоритмів контурного управління рухом та проектування програмних модулів.

Методи досліджень. Для розв’язання поставлених задач у дипломній роботі використано: теорію автоматичного управління, методи математичного моделювання систем, а також спеціальні розділи алгебри і геометрії. Дослідження працездатності алгоритмів, що розробляються, проводилося шляхом моделювання з використанням математичних пакетів Matlab.

Результати дослідження: алгоритми стабілізації робота, моделі управління для стабілізації мобільного робота, програмна система управління роботом, структура системи управління робота, структура програмного забезпечення.

Результати роботи можуть бути використані в практиці, для наукових досліджень систем навігації та управління мобільних роботів.

Орієнтовні напрямки розвитку досліджень: розроблення спеціалізованих систем стабілізації роботів при навігації на основі показів локальної сенсорної підсистеми робота.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОБІЛЬНИЙ РОБОТ, НАВІГАЦІЯ РОБОТА, СТАБІЛІЗАЦІЯ РОБОТА, АЛГОРИТМИ УПРАВЛІННЯ РОБОТОМ.

ABSTRACT

Diploma work: "Mobile Robot Stabilization Algorithms" to education and qualification of "Master" specialty "Computer systems and networks" written on 116 pages and contains 42 illustrations, 3 tables, 11 appendixes and 52 sources for references.

The aim is to develop algorithms for stabilization of wheeled mobile robot basing on the robot control system by using universal kinematic model and algorithms of contour maneuvering control and also design the software units.

Research Methods. To solve the tasks in the thesis work used: teory of automated control, methods of mathematical modeling, specialized parts of the algebra and geometry. The researches were provided through imitation modeling by using MATLAB.

The results: robot stabilization algorithms, mobile robot stabilization models, the structure of robot control system, software for robot control, software structure.

The results can be used in practice for researches in navigation and control of mobile robots.

The estimated direction of research: developing specialized systems for robot stabilization during navigation basing on reading from sensors.

KEY WORDS: MOBILE ROBOT, ROBOT NAVIGATION, STABILIZATION OF WHEELED ROBOT, ALGORITHMS OF ROBOT CONTROL.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
1.1 Аналіз характерних особливостей колісних мобільних роботів і опис сфер застосування	12
1.2 Способи управління мобільними роботами.....	25
1.3 Постановка задачі стабілізації колісних мобільних роботів.....	32
2 РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛІННЯ КОЛІСНИМИ МОБІЛЬНИМИ РОБОТАМИ	36
2.1 Кінематична модель управління мобільним роботом	36
2.2 Метод побудови траєкторії руху робота	42
2.3 Алгоритм побудови траєкторії руху мобільного робота.....	60
3 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ РОБОТА.....	66
3.1 Узагальнена структурна схема управління мобільним роботом	66
3.2 Імітаційне моделювання стабілізації колісного мобільного робота	70
3.3 Захист програмно-апаратної системи.....	79
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	85
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на програміста при розробці програмного комплексу.....	85
4.2 Розробка заходів з охорони праці	93
4.3 Пожежна безпека	95
ВИСНОВКИ.....	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	101
Додаток А Схема роботи алгоритму побудови траєкторії руху.....	106
Додаток Б Схема управління роботом	107
Додаток В Лістинг програмного коду функції <code>My_robot()</code>	108
Додаток Г Результати імітаційного моделювання стабілізації мобільного робота при $\angle\varphi = 90^\circ$	109
Додаток Д Лістинг програмного коду функції <code>f1_90()</code>	110

Додаток Е Результати імітаційного моделювання стабілізації мобільного робота при $\angle\varphi < 90^\circ$	111
Додаток Ж Лістинг програмного коду функції <code>fi_menshe90()</code>	112
Додаток И Результати імітаційного моделювання стабілізації мобільного робота при $\angle\varphi > 90^\circ$	113
Додаток Й Лістинг програмного коду функції <code>fi_bilshe90()</code>	114
Додаток К Лістинг програмного коду процедури <code>«main_stabilization»</code>	115
Додаток Л Довідка про впровадження	116

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГКС – глобальна карта середовища

КМР – колісний мобільний робот

КМР – колісний мобільний робот

ЛКС – локальна карта середовища

МР – мобільний робот

ПЗ – програмне забезпечення

ВСТУП

Актуальність теми. Використання мобільних роботів є виправданим у багатьох застосуваннях в неструктурованих середовищах, де вимагається висока ступінь автономії. Така необхідна автономна чи інтелектуальна поведінка обумовлена інтенсивними дослідженнями сьогодення. Управління рухом неголономних колісних мобільних роботів є основним предметом досліджень науковців за останні декілька років. При цьому, за умов відсутності необхідної ступені свободи мобільного робота, достатньо важливою і складною задачею є забезпечення керованості роботом. У зв'язку із умовою неголономності, КМР не може бути стабілізований в точці за рахунок закономірностей звичайного плавного маневрування як у голономних роботів. Тому, задача стабілізації робота на даний момент є ще не повністю досліджена і актуальна [20,23,25,36,39,40,52]. Актуальність теми дослідження визначається необхідністю створення досконаліших систем управління колісних роботів.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розроблення алгоритму стабілізації колісного робота на основі системи управління з використанням універсальної кінематичної моделі і алгоритмів контурного управління рухом та проектування програмних модулів.

Досягнення вказаних цілей припускає рішення наступних основних завдань :

- здійснити класифікацію мобільних роботів;
- провести аналіз та класифікацію способів управління мобільних роботів;
- провести класифікацію підзадач стабілізації мобільного робота;
- провести аналіз моделей управління колісних роботів;
- розробити модель побудови траєкторії руху мобільного робота;
- розробити модель стабілізації мобільного робота;
- розробити алгоритм стабілізації мобільного робота;
- розробити схему управління мобільним роботом;
- розробити програмні модулі запропонованих рішень стабілізації колісного робота;
- розробити схему взаємозв'язку програмних модулів;

- провести імітаційне моделювання розроблених моделей та алгоритмів стабілізації мобільного робота;
- розробити рекомендації щодо захисту програмно-апаратної системи.

Об'єкт дослідження: система управління роботом.

Предмет дослідження: алгоритми та моделі стабілізації робота.

Методи досліджень. Для розв'язання поставлених задач у дипломній роботі використано: теорію автоматичного управління, методи математичного моделювання систем, а також спеціальні розділи алгебри і геометрії. Дослідження працездатності алгоритмів, що розробляються, проводилося шляхом моделювання з використанням математичних пакетів Matlab.

Наукова новизна. У роботі отримані і виносяться на захист основні результати, що мають наукову новизну:

- структура і математичні моделі побудови траєкторії переміщення двохколісного мобільного робота по відношенню до розміщення інтервалів, вільних від перешкод;
- розроблено метод стабілізації мобільного робота, який із використанням моделей побудови траєкторії робота дозволяє вирішувати задачу позиціонування та орієнтування мобільного робота.
- розроблено узагальнені та деталізовані алгоритми управління рухом мобільного робота на основі розроблених математичних моделей, які дозволяють наглядно продемонструвати порядок проведення обчислень;
- розроблено узагальнену та деталізовану схеми управління мобільним роботом, що дозволяють представляти та удосконалювати алгоритми поведінки при виконанні задач стабілізації та побудови траєкторії.

Практичне значення отриманих результатів. У дипломній роботі представлено опис та результати імітаційного моделювання задачі стабілізації робота у невідомому середовищі, що дозволяє оцінити коректність теоретичних рішень, при вирішенні задачі стабілізації робота.

Розроблено схему взаємозв'язку програмних модулів, що реалізують процедури, які використані при імітаційному моделюванні та містять практичну цінність виконаних робіт.

На основі представлених алгоритмів розроблено програмний продукт у середовищі Matlab стабілізації колісного робота, який в результаті впровадження чи компіляції може бути інтегрований для управління мобільним роботом

Розроблений програмний продукт прийнято до впровадження у науково-дослідному інституті інтелектуальних комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету, що підтверджується довідкою.

Публікації та апробація ДР.

Результати дипломної роботи апробувались під час проведення IV науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені І.Пулюя «Інформаційні моделі, системи та технології», 15-16 травня 2014р.

1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ І ХАРАКТЕРИСТИК МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

1.1 Аналіз характерних особливостей колісних мобільних роботів і опис сфер застосування

Роботи здатні замінити людей при проведенні аварійних рятувальних робіт в атомній енергетиці, в хімічній, нафтогазовій і гірничодобувній галузях; під час ліквідації наслідків стихійних лих, в операціях по боротьбі з тероризмом. Вони можуть використовуватися для охорони об'єктів і патрулюванні територій, а також в космічних дослідженнях планет Сонячної системи.

Мобільні роботи застосовуються переважно в екстремальних умовах, де люди не можуть знаходитися усередині транспортного засобу, або якщо їх перебування там зв'язане з ризиком для життя. Крім того, в умовах підвищеної небезпеки людина починає здійснювати помилки, знижується їх працездатність і ефективність дій. Виправдано використання мобільних роботів і в звичайних умовах для виконання важких або тривалих монотонних робіт, а також в якості внутрішньоцехового транспорту, на автоматизованих складах, при проведенні земляних робіт [20,52].

1.1.1 Мобільні роботи: вирішувані завдання, сфери застосування, узагальнений склад і класифікація

Слово "робот", як відомо, слов'янського походження. Його ввів відомий письменник К. Чапек в 1920 р. у своїй фантастичній п'єсі "R.U.R" ("Россумовские універсальні роботи"), в якій так названі механічні робітники, призначені для заміни людей на важких фізичних роботах. Назва "робот" утворено від чеського слова robot, що означає важку підневільну працю [52].

У термінологічному плані робот можна визначити як універсальний автомат для здійснення механічних дій, подібних до тих, які проводить людина, що виконує фізичну роботу. Прагнення замінити людину у важких і небезпечних роботах породило ідею створення робота, що зумовило виникнення і розвиток сучасної робототехники і роботобудування. З часом поняття робот розширилося, і під ним розуміють будь-яку автоматичну машину, замінюючи людину та її поведінку.

Предмет робототехники - це створення і застосування роботів, інших засобів робототехники і заснованих на них технічних систем і комплексів різного призначення. Виникнувши на основі кібернетики і механіки, робототехніка, у свою чергу, породила нові напрями розвитку і самих цих наук. У кібернетиці, передусім, це пов'язано з інтелектуальним управлінням і біонікою як джерелом нових, запозичених у живої природи ідей, а в механіці з багатоступневими механізмами типу маніпуляторів.

Мобільний робот здатний переміщуватися в робочому середовищі відповідно до програми управління, і може бути забезпечений маніпулятором. Мобільні роботи програмуються заздалегідь: вони повинні вміти самостійно орієнтуватися в просторі і виконувати завдання, покладаючись лише на власні системи управління. Такі роботи називаються мобільними, тому що вони не прив'язані до оператора.

До мобільних роботів не відносяться пересувні маніпуляційні роботи, які можуть бути оперативно переміщені в робочому середовищі вручну або за допомогою транспортних засобів з ручним управлінням.

Класифікація мобільних роботів

Умови функціонування роботів визначаються типом середовища експлуатації і характером робочого процесу, їх можна розділити на дві категорії: детерміновані (визначені) і недетерміновані (невизначені).

До детермінованих середовищ відносяться середовища, спроектовані і створені людиною. Відповідно, детермінованим процесом є будь-який процес, протікання якого повністю залежить від цілеспрямованої діяльності людини.

У детермінованих середовищах вже є або висока, або необхідна міра організації, яка може бути досягнута при порівняно невеликих витратах. Визначеність середовища обумовлена апріорним знанням точного положення усіх об'єктів, з якими може взаємодіяти робот. Для маніпуляційного робота це означає точне знання місця розташування і орієнтації об'єктів, розташованих в його робочій зоні. Для транспортного робота детермінованим середовищем є, наприклад, рейкова траса в цеху. До першої категорії відносяться також середовища, які можна організувати відповідно до вимог, хоча і ціною значних

витрат (не повністю організовані середовища). В цьому випадку окремі об'єкти можуть мати заздалегідь невідомі відхилення від еталону.

У середовищах другої категорії практично неможливо здійснити їх організацію. Такі середовища називаються повністю неорганізованими (недетермінованими). До них відносяться, зокрема, природні середовища і середовища, що створюються аварійними ситуаціями як в природних умовах, так і при руйнуванні середовищ, спроектованих і створених людиною, тобто при руйнуваннях будівель і споруд. До дій робота в природних середовищах відносяться: розвідка на місцевості, військові дії, розмінування і патрулювання, підводні і підземні роботи і тому подібне (у тому числі у випадках радіоактивного, хімічного і бактеріологічного зараження місцевості).

До недетермінованих процесів відноситься будь-який процес, протікання і результат якого повністю не залежить від цілеспрямованої діяльності людини. Недетермінованими процесами є ведення бойових дій, усі природні процеси (землетруси, виверження вулканів і тому подібне), пожежі, вибухи (як результати техногенних аварій) і тому подібне [20,52].

Мобільні роботи можна класифікувати по:

- сферам застосування: виробничі (промислові), військові (бойові, такі, що забезпечують), дослідницькі, медичні;
- місцю існування (експлуатації): наземні, підземні, надводні, підводні, повітря, космічні;
- типу системи управління: програмні, адаптивні, інтелектуальні;
- функціональному призначенню: маніпуляційні, транспортні, інформаційні, комбіновані;
- рівню універсальності: спеціальні, спеціалізовані, універсальні;
- типу приводів: електричні, гідравлічні, пневматичні;
- типу переміщення: гусеничні, колісні, колісно-гусеничні, крокуючі, колісно-крокуючі, роторні, з петлевим, гвинтовим, водометним і реактивним;
- конструктивним особливостям технологічного устаткування: по числу маніпуляторів, по вантажопідйомності маніпуляторів, за системою координат робочої зони (лінійна, кутова);

- типу джерел первинних сигналів управління: електричні, біоелектричні, акустичні;
- способу управління: автоматичні, дистанційно керовані (що копіюють, командні, інтерактивні, супервізорні, діалогові), ручні.

Узагальнена структура мобільного робототехнічного комплексу.

Конструктивно універсальні мобільні роботи є самохідними засобами, що оснащуються розвідувальною апаратурою, набором змінного робочого устаткування і інструменту. Вони розраховані на дистанційне керування оператором, що веде спостереження безпосередньо або за допомогою телевізійної камери.

До складу встановлених на роботах комплексів приладів і устаткування входять (рисунок 1.1) :

- навісне устаткування;
- система освітлення;
- рушій;
- приводи;
- система зв'язку;
- пост управління;
- система відчуттів;
- система управління;
- енергоустановка.

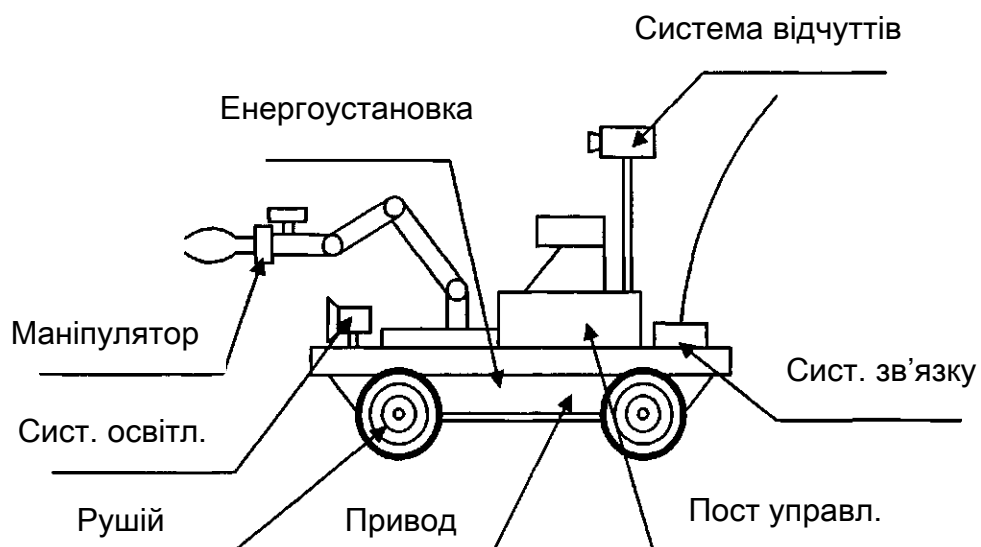


Рисунок 1.1 – Узагальнена структура мобільного робототехнічного комплексу.

Будь-який мобільний робот може бути представлений у вигляді сукупності трьох основних систем - транспортної, спеціальної і системи управління (рисунок 1.2) [18].

Транспортна система. Транспортна система є транспортним засобом, призначеним для доставки спеціального і технологічного устаткування до місця виконання поставленого завдання.

Спеціальні системи. Спеціальні системи служать для безпосереднього виконання поставлених завдань. Спеціальна система складається з необхідного набору технологічного устаткування, склад якого визначається видом вирішуваної задачі і призначенням мобільного робота.

Наприклад, при рішенні розвідувальних завдань технологічним устаткуванням є комплект сенсорів і засобу первинної обробки інформації. Виконання технологічних завдань може забезпечуватися маніпулятором і набором змінного інструменту до нього. При проведенні взривотехнічних робіт необхідним устаткуванням є засоби діагностики вибухових пристроїв і гідроруйнівники. Система управління забезпечує управління рухом і роботою технологічного устаткування робота, а також адаптивне управління ходовою частиною і енергетичною установкою з урахуванням взаємодії транспортної системи з довкіллям.

Система управління включає частину (апаратура управління роботом, датчики, система технічного зору і мікропроцесори попередньої обробки інформації), що інформаційно-управляє, розташовану на мобільному роботі; пост оператора мобільного робота (пульт управління, відеопереглядові пристрої; ЕОМ для обробки інформації) і комплект прийомо-передаючої апаратури, що забезпечує передачу інформації від робота на пост оператора і команд, що управляють, від поста оператора на мобільний робот.

Система управління рухом повинна також забезпечувати планування руху в недетермінованих умовах на основі картографічної бази з урахуванням інформації, що безперервно поступає, в систему управління від технічних органів чуття і навігаційної системи.

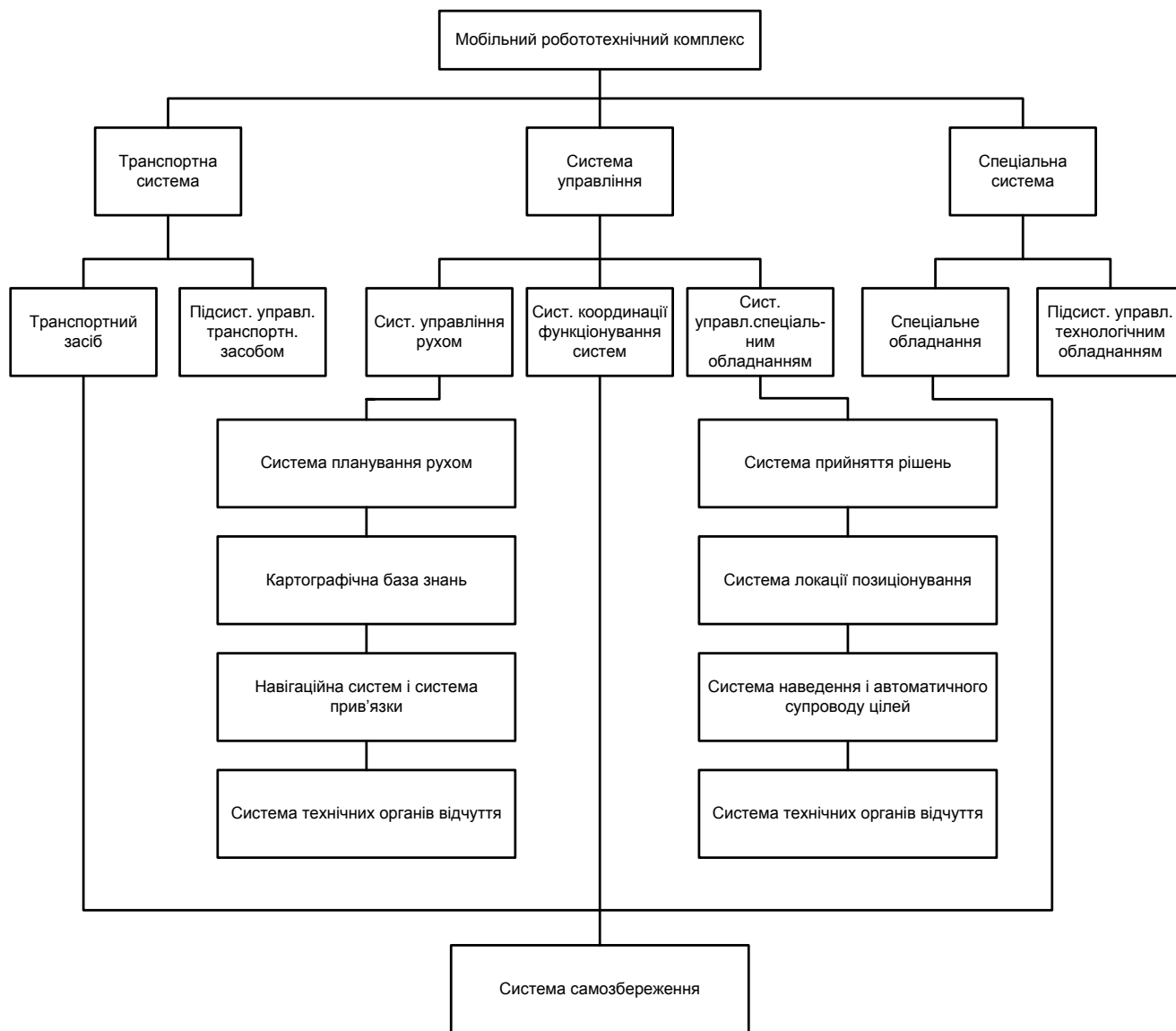


Рисунок 1.2 – Узагальнена структура мобільного робототехнічного комплексу

Мобільні роботи універсальні і тому можуть бути використані в різних областях. Стосовно використання робототехники у військових цілях і в надзвичайних ситуаціях пріоритетне значення мають технічні "здібності" роботів, придатність до експлуатації в тяжких і екстремальних умовах і здатність забезпечити захист обслуговуючого персоналу. При використанні роботів в цивільній промисловості найбільше значення надається їх економічній ефективності [18].

1.1.2 Огляд типових видів мобільних роботів

Провідним розробником і виробником інспекційних роботів для трубопроводів є НВО "Тарис". При однаковому рівні якості, ціна мобільних роботів фірми "Тарис" на 15-20 % нижча за імпортні аналоги, при цьому очевидні

вигоди в гарантійному і сервісному обслуговуванні техніки на території Росії і СНД. За наявними оцінками річний економічний ефект від застосування інспекційних роботів приблизно в 2 рази перевершує їх вартість [43].

Загальний вигляд інспекційних і технологічних роботів фірми "Тарис", які нині застосовуються муніципальними службами, показаний на рисунок 1.3.

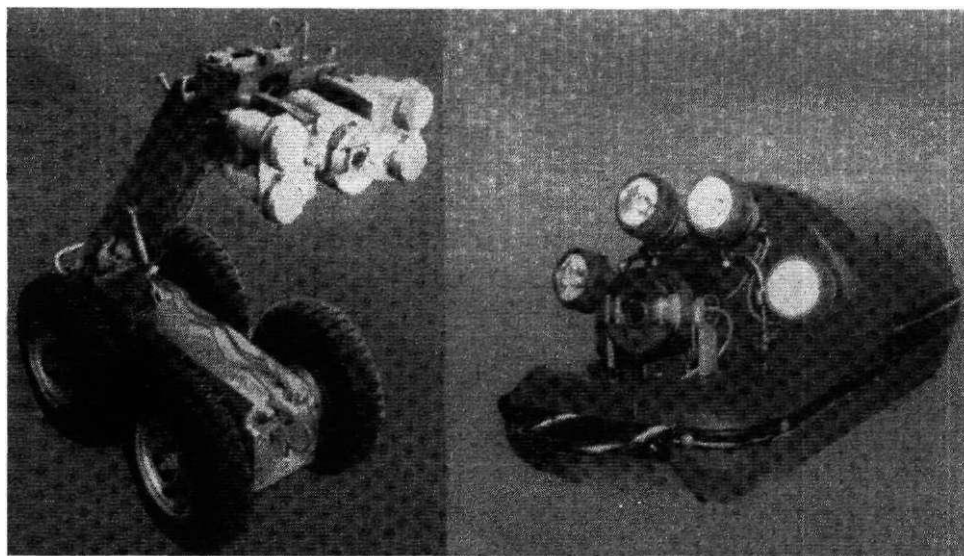


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд інспекційних і технологічних роботів фірми "Тарис"

Оглядовий робот Р-200 призначений для телеінспекції трубопроводів діаметром 150...1200 мм. Цей мобільний робот має набір змінних коліс і кольорову поворотну телекамеру. Управляється робот дистанційно оператором з поста управління, розміщеного в автомобілі (довжина кабелю до 200 м). Пост управління має кольоровий монітор і цифрову систему документування на базі комп'ютера в промисловому виконанні. Телекамера оснащена пристроєм наведення (механізми гойдання, ротації і підйому) для огляду стінок труби, блоками основного і додаткового освітлення, електромеханічним склоочисником, а також дистанційним приводом фокусування.

Робот має герметичне виконання, здатний працювати із зануренням у воду, корпус накачується азотом для запобігання конденсації вологи усередині нього і запітніння скла телекамери. Приводи переміщення є мехатронними модулями типу "мотор-колесо" на базі двигунів постійного струму. Окрім системи технічного зору

робот оснащений сенсорами шляху, кутів крену і диферента корпусу, а також датчиками кутів орієнтації телекамери. Ці сенсори потрібні не лише для управління рухом робота, але і для трасування залягання трубопроводу, дають інформацію про профіль труби і координати дефекту (тріщини) або виявленого стороннього предмета.

Мобільні роботи НВО "Тарис" дозволяють не лише виявити, але і усунути цілий ряд дефектів. Одним з ефективних методів ремонту труб є бандажування (рисунок 1.4).

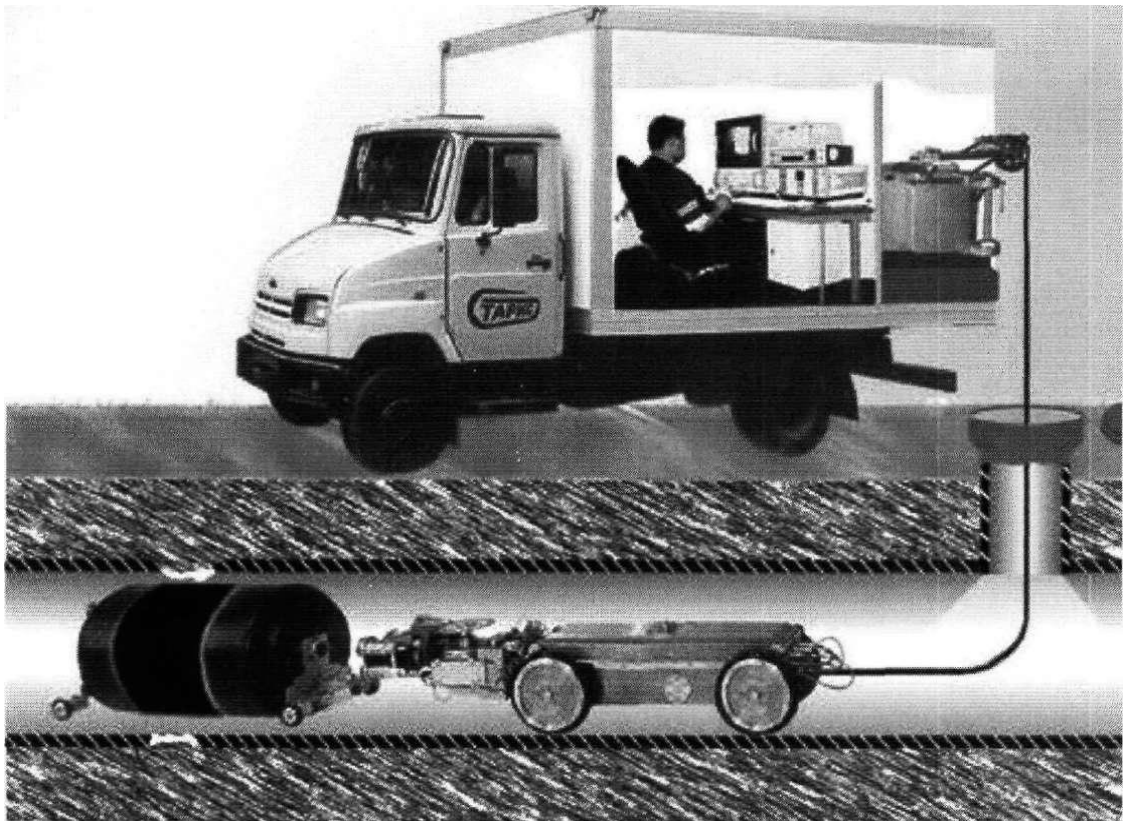


Рисунок 1.4 – Мобільний робот з бандажним пристроєм фірми "Тарис"

Встановлюваний бандаж складається з металевої бочки і шару тканини, просоченої полімером. Під дією тиску, що подається по шлангах, пакер роздувається і притискує бочку з полімером до стінок труби. Застосовуються бочки, виготовлені з корозійностійкої або вуглецевої сталі. Замість тканини з полімером, в якості матеріалу для герметизації дефекту може застосовуватися шар гуми.

До складу мобільного робототехнічного комплексу С-200 (рисунок 1.5) входять: технологічний робот, кабельний барабан, робоча станція з системою технічного зору, пост управління оператора.

Робот комплектується змінними робочими органами - фрезерними і інструментальними голівками для виконання ремонтних операцій усередині труби. Робочі органи призначені для локальної зачистки поверхонь, свердління, підрізування виступаючих елементів (напливів, решіток на зварних швах, штирів), прорізки бічних відведень після санації труби пластиком.

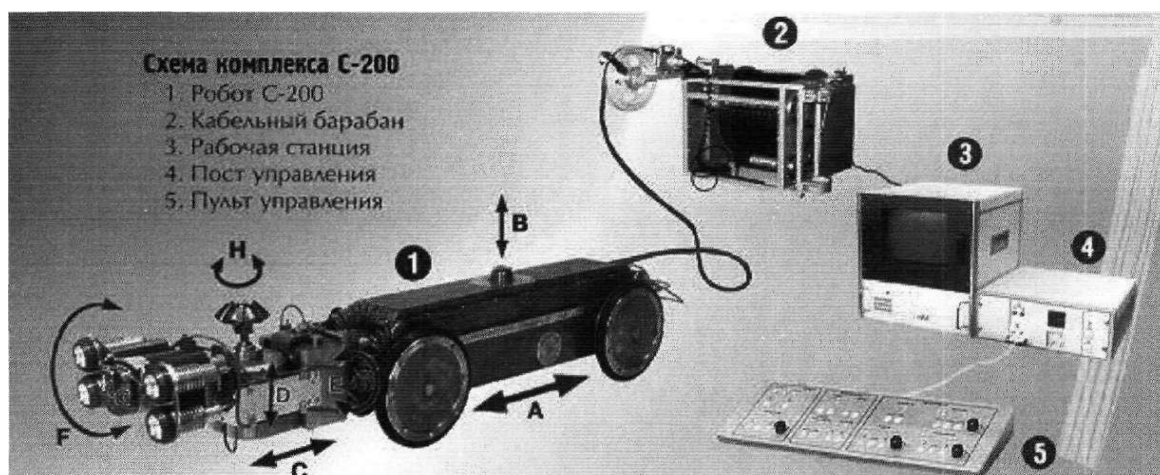


Рисунок 1.5 – Мобільний робототехнічний комплекс С-200 фірм "Тарис" (стрілками позначені основні рухи мехатронної системи)

Перспективи розвитку мобільної робототехніки пов'язані з інтелектуалізацією пристроїв управління і сенсорів, що дозволяє підвищити якість операцій, що проводяться, і автономність їх виконання. Автоматичне прийняття рішень роботом (без безпосередньої участі людини-оператора) доцільно на наступних операціях:

- автоматичне виявлення і розпізнавання сторонніх об'єктів в трубопроводі з використанням системи технічного зору і локаційних датчиків;
- планування траєкторії і швидкості руху при проходженні поворотів на базі сигналів від датчика крену-диферента і фотоімпульсних датчиків швидкості;

- управління режимами роботи інструментальної голівки на підставі інформації про діючі сили і моменти при виконанні операцій механічної обробки (зачистка внутрішньої поверхні труби або зварних швів, обрізання виступаючих всередину труби штирів і тому подібне);
- діагностика стану внутрішньої поверхні труби і дефектоскопія зварних швів;
- розкриття бічних відведень в новій пластиковій трубі.

На кафедрі робототехніки і мехатроніки МГТУ "СТАНКИН" був створений прототип мобільного робота "ИРИС-1". Значна частина робіт була виконана у рамках проекту міжнародної співпраці "Computer Aided Mobile Robotics for Severe Environmental Applications" за підтримки Королівського Суспільства (Royal Society). Учасниками проекту були МГТУ "СТАНКИН" і Де Монтфортський університет (Великобританія) [30]. Удосконалення робота мало наступні цілі:

- дослідження нових методик для автономної навігації мобільних роботів;
- експериментальне вивчення впливу нових конструктивних рішень, застосованих в прототипі;
- тестування різних сенсорів для розпізнавання довкілля;
- тестування мультисенсорної технології інспекції довкілля;
- створення прототипу для подальшого розвитку лабораторного устаткування.

Прототип мобільного робота з комп'ютерним управлінням на основі двигуна постійного струму складається з базового, сенсорного, транспортного, електронно-комунікаційного, силового модулів і модуля управління (рисунок 1.6).

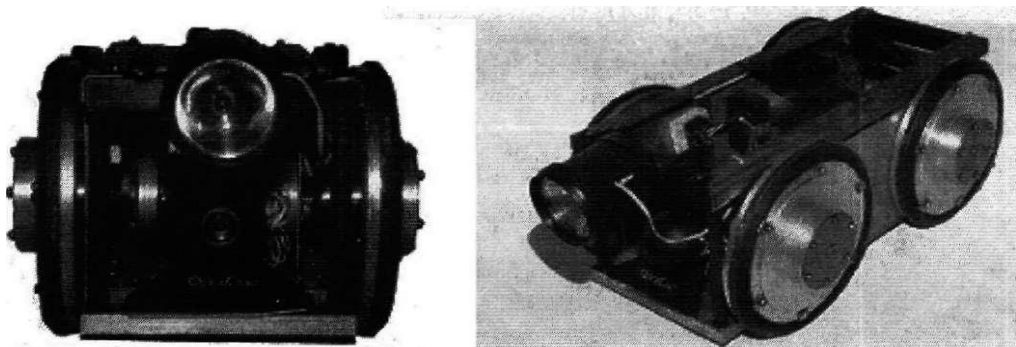


Рисунок 1.6 – Мобільний робот з комп'ютерним управлінням

Базовий модуль складається з жорсткої рами, що несе, з множиною отворів для варійованого кріплення сенсорів і транспортного модуля. Також на базовий модуль встановлено дві клемні колодки для кріплення силових та інформаційних кабелів.

Сенсорний модуль (таблиця 1.1) включає ультразвукові і фотоімпульсні датчики, мікрохвильовий датчик, відеокамеру, набір двовимірних акселерометрів. Для ефективного функціонування відеокамери усередині труби на роботі є джерело додаткового освітлення.

Таблиця 1.1 – Сенсори, що використовуються в прототипі мобільного робота

Тип сенсора	Функціональний опис
Акселерометри	Двохкоординатні акселерометри "Analogue Device ADXL205" для визначення фактичних параметрів руху мобільного робота при його транспортній навігації
Фотоімпульсні сенсори	Фотоімпульсні сенсори "ЛІР-21" з роздільною здатністю 1000 имп/про для виміру параметрів руху
Ультразвукові сенсори	Одинзонні релейні ультразвукові сенсори "Sirio" для визначення дефектів труби і виявлення перешкод
Тип сенсора	Функціональний опис
Мікрохвильовий сенсор	Одинзонний релейний мікрохвильовий сенсор " Falcon MWS - 1 " для визначення дефектів труби і виявлення перешкод
Відеокамера	Відеокамера "Logitech" для вивчення внутрішнього стану труби і її конфігурації. Може працювати як у безперервному, так і в дискретному режимах

Транспортний модуль складається з двох мотор-редукторів (двигунів постійного струму зі вбудованими черв'ячними передачами). Робот має чотири колеса. Два задні колеса є ведучими, до них додається сепаратний момент, що

крутить, від мотор-редукторів. Передні колеса - ведучі і сполучені з фотоімпульсними сенсорами. Усі колеса спираються на підшипники кочення і забезпечені спеціалізованими колесами для забезпечення високих зчіпних властивостей усередині труб.

Електронно-комунікаційний і силовий модуль складається з плати ЦАП-АЦП (виробництво L - Card, Росія) і силового блоку для подачі сигналів, що управляють, на електродвигуни із зворотним зв'язком. Довжина комунікаційних кабелів складає 5 м. Кабель складається з 16 дротів для передачі інформаційних і силових сигналів.

Модуль управління, складається з комп'ютера (Pentium II - 350) і програмного забезпечення, яке служить для обробки інформації, що поступає від сенсорів, встановлених на мобільному роботі.

На базі мобільного робота "ИРИС-1" на кафедрі "Робототехники і мехатроніки" МГТУ "СТАНКИН" була створена система дистанційного керування мобільним роботом з використанням мережі Інтернет. Застосування мережевих технологій для вирішення завдань дистанційного керування дозволяє використовувати такі переваги глобальної мережі Інтернет, як широка поширеність і доступність, можливість організації доступу широкого кола фахівців і студентів до унікального дорогого устаткування [43].

1.1.3 Мобільні роботи виробництва КНР

Китайський уряд приділяють значну увагу на розвиток високих технологій, особливо на робототехнику. Зараз Китай вже досяг великих результатів і в деяких областях робототехники китайські учені вже визнані світовими лідерами.

Фахівці з Фуданського університету у Шанхаї винайшли першого кмітливого і товариського робота Fudan-1 (рисунок 1.7). Вперше робота у дії показали в Шанхаї у вересні 2005 року. На святкуванні сотої річниці з дня основи Фуданського університету, який є одним з найбільших і відомих вищих навчальних закладів у Китаї.

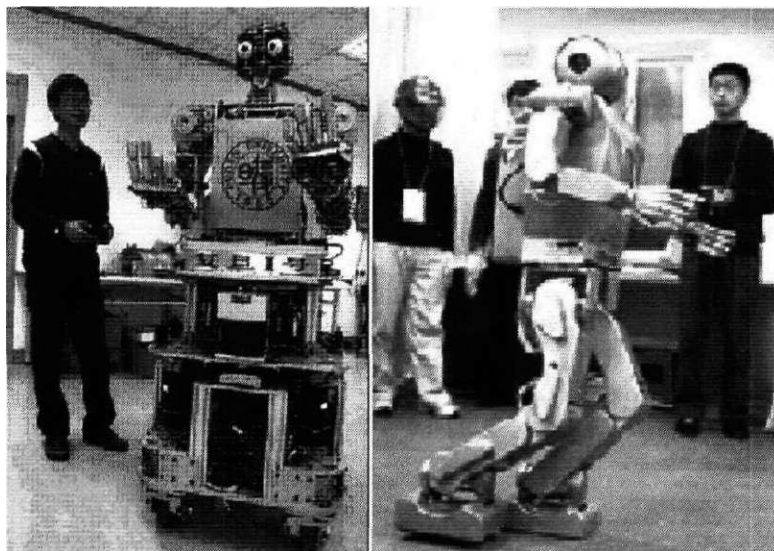


Рисунок 1.7 – Робот Fudan-1 і китайський робот, який володіє мистецтвом Тай-Цзи

Робот Fudan-1 самостійно ходить, бачить, чує і розмовляє, ним можна управляти не лише дистанційно, але і спілкуватися за допомогою голосу, жестів і дотиків.

Вчені Пекінського університету науки і техніки провели випробування людиноподібного робота BHR - 1. Створення роботів "за образом і подібністю" людини вже не новина, наприклад SDR-4 від компанії Sony і Asimo виробництва фірми Honda. Проте Китай тут пішов своїм шляхом. Робот, побудований у рамках китайської Програми досліджень і розвитку у сфері високих технологій, володіє мистецтвом оздоровчої гімнастики Тай-Цзи.

Майстрові Тай-Цзи потрібна гнучкість, і BHR - 1 має її: його конструкція налічує 32 зчленування. Ріст китайського первістка 158 см, вага 76 кг - цілком традиційні параметри для середнього жителя Китаю.

Вчені Китаю активізують наукову співпрацю по створенню інтелектуальних мобільних роботів. Як повідомляє китайське інформаційне агентство "Синьхуа", Чжэцзянський університет Китаю і російський Таганрозький радіотехнічний університет (ТРТУ) ведуть спільні дослідження по темі "Розробка теоретичних і практичних основ побудови розподілених систем колективного прийняття рішень".

Роботи, яких розробляють російські і китайські учені, покликані замінити людину при виконанні складних завдань в небезпечних умовах підвищені радіації, насиченості атмосфери отруйними газами, пилом та ін. Передбачається, що вони можуть задіюватись в наукових експедиціях, при геологорозвідці і рятувальних роботах.

Більшість сучасних роботів працюють лише в певних умовах і діють строго за заданою програмою. Технології, здатній повною мірою забезпечити універсальну свободу рухів і дій робота в польових умовах, поки не розвинені.

За наявною інформацією, в план співпраці науковців входить, зокрема, "рішення ефективності методів і алгоритмів колективного вирішення складних проблем в телекомунікаційних і комп'ютерних мережах, а також принципів інформаційного обміну при колективному прийнятті рішень", спільна участь в конференції "Інтелектуальні і багатопроцесорні системи", і навіть "проведення Інтернет - змагань між командами інститутів по віртуальному футболу".

1.2 Способи управління мобільними роботами

1.2.1 Пристрій управління робота

Пристрій управління робота здійснює автоматичне управління його виконавськими системами - маніпуляційними і пересування, утворюючи в сукупності з ними як об'єктами управління систему автоматичного управління робота. Крім того, пристрої управління роботів часто використовують і для управління різними іншими об'єктами (технологічним устаткуванням, транспортними пристроями і т. п.), які працюють спільно з роботом, утворюючи з ним єдиний технологічний комплекс [51].

Як вже було відмічено, за способом управління розрізняють наступні системи управління роботів і відповідні пристрої управління :

– програмні пристрої, в яких управління здійснюється за попередньо складеною незмінною в процесі реалізації програмою;

- адаптивні пристрої, в яких управління здійснюється залежно від інформації про поточний стан зовнішнього середовища і самого робота, отримуваною в процесі управління від сенсорних пристроїв;
- інтелектуальні пристрої, в яких для адаптації і виконання інших функцій робота використовуються методи штучного інтелекту.

Пристрої управління можуть бути індивідуальними, такими, що входять до складу кожного робота, і груповими, керівниками декількома роботами. Конструктивно індивідуальні пристрої управління виконують зазвичай окремо від механічної частини робота.

Переважає більшість роботів мають електронні пристрої управління, виконані на мікропроцесорній базі. Проте існують і неелектричні пристрої управління роботів, що найчастіше реалізуються на пневматиці і призначені для застосування в особливих вибухо та жаро-небезпечних умовах.

У робототехніці існують 3 завдання управління: управління маніпуляторами, системою пересування і спільне управління групою роботів. Використані для вирішення цих завдань способи управління можна класифікувати наступним чином.

По мірі участі людини в процесі управління існують системи:

- автоматичного;
- автоматизованого;
- ручного управління.
- За типом алгоритму автоматичного управління розрізняють системи:
 - програмного;
 - адаптивного;
 - інтелектуального управління.
- За типом руху існують системи управління :
 - безперервні (контурні);
 - дискретні позиційні (кроками "від точки до точки");
 - дискретні циклові (з одним кроком по кожній координаті).

По виду керованих змінних розрізняють системи управління :

- положенням (позицією);

- швидкістю;
- силою (моментом).

Стосовно управління маніпуляторами ці способи означають управління абсолютними координатами його робочого органу, швидкістю і силою.

Часто перераховані способи управління застосовуються в комбінації одночасно по різних координатах, у вигляді деякої функціональної залежності однієї керованої змінної від іншої або шляхом послідовного переходу від одного способу управління до іншого.

1.2.2 Особливості систем управління мобільних роботів

Система управління мобільним роботом в загальному випадку виконує наступні функції [52]:

- сприйняття і розпізнавання інформації, що поступає із зовнішнього світу від сенсорів;
- спілкування з людиною;
- створення і коригування моделі середовища шляхом навчання в процесі спілкування з людиною, сприйняття сигналів з датчиків і виконання дій;
- планування і перепланування поведінки;
- управління виконанням дій;
- управління приводами;
- спілкування з іншими роботами.

Розглянемо ці особливості стосовно мобільних роботів, що пересуваються по довільній місцевості. В цьому випадку модель зовнішнього середовища є картою місцевості, яка окрім апріорних відомостей складається і уточнюється в ході руху на основі сенсорної інформації. Ця модель повинна мати як мінімум два рівні по масштабу: перший в межах відстані, що досягається сенсорними системами, другий - для місцевості безпосередньо перед роботом.

На рисунок 1.8 приведена типова схема системи управління рухом мобільного робота. Блок управління рухом здійснює управління тяговими приводами і приводами повороту шасі. Блок побудови маршруту синтезує траєкторію руху, оптимізуючи її, по мінімуму витрати енергії, що особливо важливо для роботів з автономним енергоживленням, або по мінімуму часу

виконання завдання, коли в постановку завдання входить умова забезпечення максимальної швидкодії.

Блок побудови карти (плану) місцевості представляє її у формі, зручній для вирішення завдання вибору маршруту, зокрема, з виділенням непереборних перешкод і небезпечних або неясних ділянок.

Якщо виконання завдання вимагає знання більшої ділянки місцевості, чим дають сенсорні системи в початковому положенні робота, тобто до початку руху, карта місцевості формується і передається у блок побудови маршруту фрагментами у міру пересування робота. Такими ж ділянками послідовно здійснюється і синтез траєкторії руху. В цьому випадку перше наближення для усієї траєкторії робиться за наявною апріорною інформацією про місцевість або, як мінімум, визначається загальний напрям руху.

На нижньому загальносистемному рівні системи управління знаходиться канал управління рухом у ближній зоні, що включає найбільш детальну модель цієї зони і що реалізовує алгоритми забезпечення безпеки руху.

Необхідний рівень адаптації і штучного інтелекту системи визначається мірою невизначеності і складності місцевості і характером що підлягають виконанню завдань, тобто призначенням робота. В останньому відношенні основне значення має мінімально необхідна міра автономності управління роботом, що визначається переліком його дій, які повинні виконуватися без участі людини-оператора. При цьому враховується і можливість тимчасової втрати зв'язку з оператором, обмежена пропускна спроможність каналів зв'язку, неповнота і обмежена достовірність отримуваної оператором від робота інформації і її затримка в часі.

1.2.3 Особливості управління людиною-оператором засобами пересування

З розглянутих способів управління оператором для управління пересуванням робота не застосовується тільки система копіюючого управління, оскільки вона базується на використанні кінематики маніпуляторів.



Рисунок 1.8 – Функціональна схема системи управління рухом по місцевості мобільного робота

Командне управління, в даному випадку, приводами коліс шасі робота застосовується для виконання дискретних команд "вперед-назад", "вліво - управо" з дискретним завданням швидкості руху і команди "стоп". Крім того, таке управління використовується для рухливих, зазвичай двоступеневих, передавальних телевізійних камер і локаторів огляд місцевості, а також різного навісного устаткування, яким може бути оснащено шасі робота.

Управління за допомогою джойстика - сьогодні основний спосіб дистанційного керування (по кабелю або радіоканалу) мобільними роботами.

Інтерактивний режим управління має особливо велике значення при русі мобільних роботів в невідомому середовищі. В цьому випадку діалоговий режим часто потрібний при плануванні маршруту, а також при виникненні складних і непередбачених перешкод. Як правило, можливість оперативного підключення при цьому людини-оператора особливо важлива.

Системи управління мобільних роботів підводного, повітряного і космічного базування мають в цілому ту ж функціональну структуру і використовують ті ж способи управління, що і наземні роботи. Проте, звичайно, вони відрізняються системами пересування і динамікою.

Основні тенденції розвитку систем управління мобільних роботів з боку людини-оператора наступні:

- розвиток систем відображення зовнішньої ситуації навколо робота, включаючи ефект присутності оператора безпосередньо у робота і візуалізації зовнішнього середовища (віртуальна реальність);
- розвиток інтелектуальних комп'ютерних систем інформаційної підтримки оператора, заснованих на моделюванні і прогнозуванні в реальному часі поведінки робота і довкілля;
- розвиток чисто електронних, позбавлених рухливих механічних частин, засобів управління роботом від оператора.

1.2.4 Напрями розвитку мобільних роботів

Можна виділити два основні напрями розвитку мобільних роботів :

Перший напрям - це послідовне створення більш складних повністю автономних систем для умов з різною мірою визначеності і важчих прикладних завдань. Ускладнення умов в основному визначається мірою неорганізованості зовнішнього середовища і наявністю апріорної інформації про неї. Стосовно середовища це може бути робота в приміщеннях, рух по дорогах, рух по непідготовленій місцевості. Міра невизначеності наростає в такій послідовності: наявність детального плану (карти) з позначенням усіх прохідних і заборонених зон (перешкод), наявність карти з вказівкою мережі доріг і великих заборонених для руху зон (район щільної міської забудови, гора, ліс, річка, болото) без вказівки локальних стаціонарних або рухливих перешкод і, нарешті, відсутність якої-небудь достовірної карти або плану. Остання ситуація можлива не лише при висадці на незнайомій планеті, але і на Землі в районах великомасштабних техногенних або природних катастроф.

Ще ширше може варіюватися складність вирішуваних завдань від простого руху в заданому районі до активного перетворення середовища по трасі руху (проробляє проходів в завалах, прокладення ліній зв'язку і трубопроводів, риття траншей, наведення переправ, створення земляних захисних споруд і т. д. Перший напрям в основному використовується при розробці промислових роботів, що функціонують в середовищах з високою мірою визначеності.

Другий напрям - це створення інтегрованих людино-машинних систем з послідовним збільшенням числа функцій, що виконуються машиною. Звільнення оператора від рутинних операцій і виключення його з безпосереднього управління різко скорочує об'єм передаючої через ефір інформації, а можливість втручання оператора в складних ситуаціях розширює коло вирішуваних завдань. Інтелектуальні можливості комбінованої системи визначаються інтелектом і професійною підготовкою оператора, а її невтомність, надійність і безпомилковість при виконанні простих операцій автоматом. Як вважають зарубіжні фахівці, другий напрям особливо привабливий для військових у зв'язку з тим, що на сьогодні вже створене достатнє число прийнятно працюючих зразків дистанційно керованих комплексів на базі штатного озброєння.

У перспективі людино-машинні системи можуть досягти такого рівня розвитку, коли роль людини зведеться лише до постановки завдань, а це означає, що обидва напрями приведуть до однакового результату, оскільки будь-який "автономний" робот повинен отримати завдання, а потім доповісти про його виконання або повідомити про неможливість виконання. Трирівнева структура системи управління автономного робота у разі потреби дозволяє органічно використовувати і різні режими дистанційного керування. Операторові надається можливість на стратегічному рівні управляти "макродіями", реалізуючи супервізорне управління, або узяти на себе додатково функції тактичного рівня, задаючи напрям і швидкість руху. У випадках коли використовується режим дистанційного керування, на автоматичну систему доцільно покласти рішення допоміжних завдань. Наприклад, таких, як прокладення маршруту по електронно-цифровій карті, відображення на цій карті місцезнаходження робота (автоштурман), відображення на екрані тривимірної моделі спостережуваної сцени і поєднання її з монотелевізійним зображенням, попередження про можливе виникнення нештатних ситуацій при помилкових діях оператора, фіксація усіх його дій в електронному протоколі і т.д. [20,23,25,36,39,40,52].

1.3 Постановка задачі стабілізації колісних мобільних роботів

Використання мобільних роботів є виправданим у багатьох застосуваннях в неструктурованих середовищах, де вимагається висока ступінь автономії. Така необхідна автономна чи інтелектуальна поведінка обумовлена інтенсивними дослідженнями сьогодення. Управління рухом неголономних колісних мобільних роботів (КМР) є основним предметом досліджень науковців за останні декілька років. При цьому, більшість науковців фокусуються на факті, що КМР не наділені достатньо досконалими засобами для плавного маневрування та стабілізації [2]. Зазначається, що за умов великої прогалини між можливістю управління роботом і ступінню свободи КМР, достатньо важливою і складною задачею є забезпечення керованості роботом [15]. У зв'язку із умовою неголономності, КМР не може бути стабілізований в точці за рахунок закономірностей звичайного плавного

маневрування як у голономних роботів. Тому, замість задачі стабілізації КМР в точку, яка на даний момент є все ще не повністю досліджена, мобільному роботу потрібно зводитись лише до використання траєкторії переміщення робота.

Канауата [11] одним із перших запропонував метод стабільного трекового управління КМР, проте він обмежувався лінійними треками на основі аналізу кінематичних моделей. Крім того Besides, Yamamoto and Yun також запропонували алгоритм слідування мобільних платформ по заданій траєкторії [17]. Як представлено у [11], Fierro та Lewis розробили схему управління КМР для переходу від задач зворотної кінематики до динаміки робота із припущенням, що усі відомості про систему робота повністю відома [10]. Інші автори також представили рішення глобального асимптотичного управління із множиною параметрів регулювання даного процесу неголономних систем. Later і Dixon [6,38] запропонували метод експоненціального трекового управління для неголономних КМР. Попри множину методів ефективного управління мобільними роботами, вони є недосконалими по відношенню до робастності та накопичуючих неполадок чи неточностей. Середовище для КМР не завжди є ідеальним і часто наділене різними формами нестабільностей, включаючи специфіку зчеплення коліс робота із поверхнею, неоднорідністю ґрунту, неріномірністю треку, параметричними змінами і неточністю зовнішніх систем, що унеможлиблює застосування всіх цих моделей і призводить до неадекватної динаміки КМР.

Тому, з метою підвищення робастної стійкості, а також точністю рухів мобільними роботами, задачею є створення моделі управління КМР як результат комбінування наведених факторів.

Більше того, існуючі стратегії управління роботами, що пропонуються в літературі, посилаються на моделі, які компенсують неточності кінематики за рахунок специфіки динамічної поведінки реальних інерційних платформ роботів (Lages and Hemerly, 2000; Lizarralde, 1998; Tanner and Kyriakopoulos, 2002). В той же час, більшість із них базуються на методах Ляпунова і не представляють свої моделі відповідностями між параметрами управління і динамікою поведінки робота. Окрім цього, більшість законів динамічного управління вимагають вимірювання швидкостей робота, що не завжди є точним та можливим.

В цілому, навігаційна задача поділяється на три основні підзадачі:

1. побудова треку переміщення робота;
2. слідування по заданій траєкторії;
3. стабілізація робота до точки переміщення.

Існує декілька нелінійних контролерів, які пропонуються в літературі для вирішення першої задачі, які передбачають побудову системи переміщення робота. Основною ідеєю серед цих алгоритмів є визначення швидкості обертів коліс для стабілізації системи для дотримання руху по треку. Для стабілізації робота пропонується постійне генерування траєкторій по яких передбачається слідування мобільного робота.

В другій задачі, як і в попередньому випадку, необхідно розробити модель управління швидкістю, яка стабілізує робота у визначених точках (x, y) траєкторії руху.

Найбільш складною задачею є стабілізація мобільного робота. Задача стабілізації полягає у тому, що мобільний робот повинен переміститись в очікувану точку цілі (x_D, y_D) під визначеним кутом θ_D , із початкової позиції робота в точці (x_0, y_0) під кутом θ_0 , що представлено на рисунку 1.9 [12].

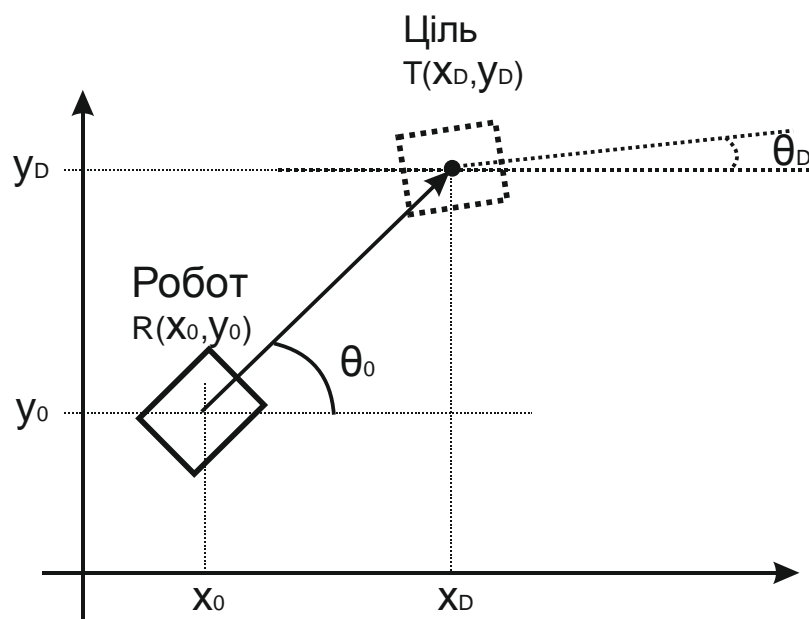


Рисунок 1.9 – Задача стабілізації робота

Задача стабілізації робота поділяється на дві підзадачі:

- управління позиціонуванням робота;
- управління орієнтацією робота.

Задача управління позиціонуванням робота передбачає використання засобів та методів досягнення координати цільової точки переміщення (x_D, y_D) відносно початкової точки (x_0, y_0) під кутом θ_0 .

Задача управління орієнтацією робота передбачає використання засобів та методів орієнтування мобільного робота. При цьому, робот повинен переміщуватись у координати цільової точки (x_D, y_D) під кутом θ_D .

У дипломній роботі розглядатимуться рішення задачі стабілізації мобільного робота із використанням кінематичних моделей з метою спрощення та уникнення апаратних взаємодій на рівні сигналів, що передаються до системи двигунів та активаторів, які є предметом розгляду динамічних моделей.

Таким чином у першому розділі дипломної роботи розглянуті особливості і базові типи мобільних роботів. Основні результати досліджень можна представити у вигляді наступних положень:

- розглянуто класифікацію мобільних роботів;
- розглянуто узагальнену структуру мобільного робота;
- показано основний напрям розробок дослідження мобільних роботів;
- розглянуто особливості управління мобільними роботами;
- здійснена постановка задачі досліджень.

2 РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛІННЯ КОЛІСНИМИ МОБІЛЬНИМИ РОБОТАМИ

2.1 Кінематична модель управління мобільним роботом

Одним з перспективних напрямів в сучасній робототехніці є інтелектуальні мобільні системи, зокрема, автономні колісні роботи. Новітні модифікації подібних роботів мають розвинену конструкцію ходової частини, бортовий пристрій обчислювальної техніки, навігаційну систему маршрутослеження і засоби очувствлення. Побудова системи управління рухом автономного колісного робота передбачає розробку алгоритмів моделювання середовища, планування маршруту, контурного управління, стабілізації, виявлення і обходу статичних і рухливих перешкод і т. д.

Як об'єкт управління колісний робот є багатоканальною нелінійною динамічною системою. Його математичний опис (модель руху) може бути отриманий з використанням рівнянь Лагранжа або Ньютона-Ейлера, в яких силові моментні дії F , M проводяться колісною системою (рисунок 2.1). Остання і визначає основні особливості моделей руху твердого тіла. Кути поворотів коліс β^j та вектори їх лінійних швидкостей V^j (рисунок 2.1) є взаємозв'язаними, тобто підкоряються голономним або неголономним обмеженням, що і викликає основні складнощі аналізу і синтезу колісних робототехнічних систем [20,37,52].

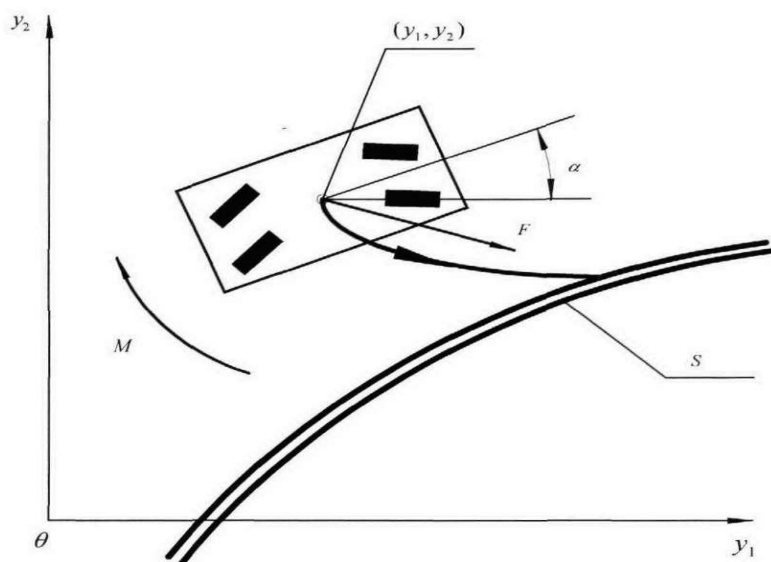


Рисунок 2.1 – Колісний робот, траса руху

Моделі роботів встановлюють зв'язки вихідних змінних системи, до яких відносяться декартові координатами платформи $(y_1, y_2) \in R^2$ і кут її орієнтації α , вхідних (управляючих) змінних (рисунок 2.1).

Залежно від вибору вхідних змінних і деталізації аналітичного опису прийнято розрізняти два основні типи моделей колісних роботів - динамічні і кінематичні моделі. У динамічних моделях (рисунок 2.2а) вхідними змінними служать рушійні сили коліс u^j і вхідні сигнали приводів поворотних механізмів u_β^j . При побудові кінематичних моделей інерційними властивостями платформи і кінематикою поворотних механізмів нехтують і в якості управляючих дій, розглядають швидкості коліс V^j і кути їх повороту β^j (рисунок 2.2б). Вибір типу моделі визначається масо-інерційними параметрами і швидкостями руху конкретного робота, а також необхідною точністю результатів аналізу руху або бажаною якістю функціонування системи управління, що розробляється.

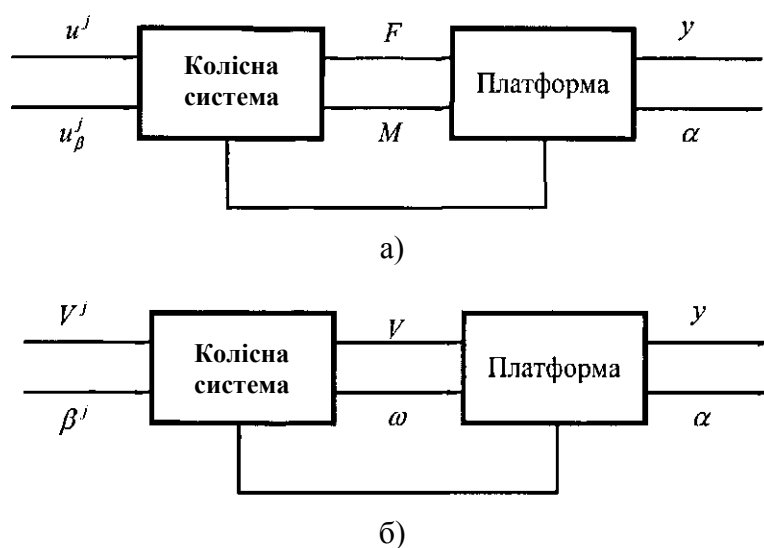


Рисунок 2.2 – Динамічна (а) і кінематична (б) моделі колісних роботів

Розглядаються питання аналітичного опису багатопровідних колісних роботів з найбільш загальним типом колісної системи - довільним числом і розташуванням універсальних (ведучих і рульових) колісних модулів. Основна динамічна модель представлена рівняннями руху твердого тіла з урахуванням дії колісної системи і її контакту з опорною поверхнею, тобто з урахуванням впливу сил опору поперечному ковзанню коліс.

2.1.1 Динамічні моделі колісних роботів

Складність і прикладне значення моделей колісних роботів визначається системою модельних припущень (гіпотез), вибір якої залежить від конкретних умов функціонування робототехнічної системи і передбачуваного використання моделей [20,52,28,47].

Динамічна модель робота зумовлена прив'язкою до специфікації платформи, його маневреністю та особливістю будови. В рамках дипломної роботи, рішення задачі стабілізації мобільного робота на теоретичному рівні для спрощення представлень розглянемо кінематичну модель. Така модель є більш спрощеним представленням моделі управління роботом.

2.1.2 Кінематична модель колісних роботів

Зміст моделей управління роботом зводиться до керування позицією і орієнтацією робота на основі кінематичної та динамічної структури робота та керування його приводами.

Кінематична модель типового двохколісного робота достатньо добре представлена у літературі [5,4,16,]. У цьому дослідженні, кінематична структура і аналіз базуються на змінних руху, показаних на рисунк 2.3.

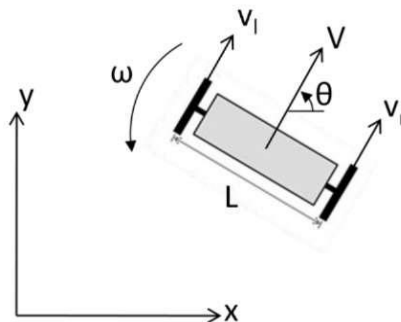


Рисунок 2.3 – Схема управління двохколісним мобільним роботом

В кінематичній моделі двоколісного робота, що на рисунк 2.3 розглядаються змінні x і y - координати положення робота на глобальній карті середовища (ГКС). Лінійна швидкість центру робота, v , взаємозалежна від швидкостей за напрямками x і y , і відповідних оцінок \dot{x} і \dot{y} , через наступні залежності (2.1):

$$\begin{cases} \dot{x} = \cos \Theta v; \\ \dot{y} = \sin \Theta v; \end{cases} \quad (2.1)$$

де Θ - орієнтація робота відносно осі OX . Кутова швидкість робота ω – є взаємозалежною від $\dot{\Theta}$. Декартові координати і відповідні швидкості виражаються в матричній формі (2.2):

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\Theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Theta & 0 \\ \sin \Theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}. \quad (2.2)$$

Наведені залежності графічно представлено на рисунку 2.4.

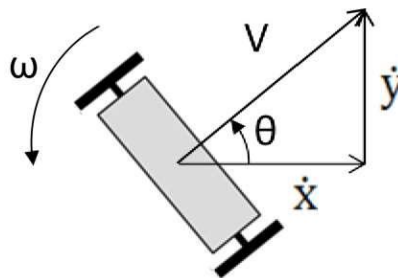


Рисунок 2.4 – Графічна інтерпретація залежностей між v та ω , і \dot{x} , \dot{y} , і $\dot{\Theta}$

Лінійну швидкість робота v , можна знайти усередненням відповідних лінійних швидкостей кожного колеса робота (лівого і правого) (2.3):

$$v = \frac{v_r + v_l}{2}, \quad (2.3)$$

де v_l – лінійна швидкість лівого колеса робота, v_r – лінійна швидкість правого колеса робота.

Кутова швидкість ω , може бути знайдена в залежності від швидкостей в кожному колесі мобільного робота (2.4):

$$\omega = \frac{v_r + v_l}{L}. \quad (2.4)$$

Залежність між лінійною і кутовою швидкістю робота може бути виражена залежністю від лінійної швидкості лівого і правого коліс робота на основі (2.3) та (2.4):

$$\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 1/L & -1/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_r \\ v_l \end{bmatrix}. \quad (2.5)$$

Ці відношення представлено графічно на рисунок 2.5.

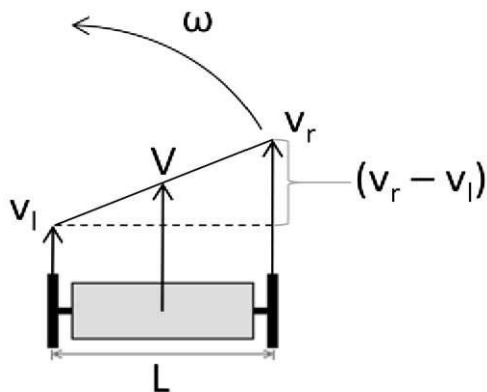


Рисунок 2.5 – Графічне представлення взаємозв'язку між v_r, v_l, v і ω

Лінійна і кутова швидкості робота можуть бути виражені залежностями від кутової швидкості коліс внаслідок перемноження із величиною радіусу коліс R (2.6):

$$\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R/2 & R/2 \\ R/L & -R/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix}. \quad (2.6)$$

На основі (2.2) і (2.6) залежність між Декартовими швидкостями (переміщення і орієнтації) та кутовими швидкостями коліс (2.7):

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\Theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R}{2} \cos \Theta & \frac{R}{2} \cos \Theta \\ \frac{R}{2} \sin \Theta & \frac{R}{2} \sin \Theta \\ \frac{R}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix}. \quad (2.7)$$

Наявність кінематичної задачі управління мобільним роботом обґрунтовується тим, що робот є неголономним, який означає, що матриця або Якоб'ян у (2.7) не квадратна, і тому не може бути безпосередньо інвертованою. Цей факт означає, що \dot{x} , \dot{y} , і $\dot{\Theta}$ не можуть довільно управлятися за рахунок управління величинами ω_r і ω_l .

Як видно із (2.7) представлений мобільний робот мстить три ступені свободи. В той же час контролер управління мобільним роботом містить лише два ступені свободи.

2.1.3 Алгоритмом управління

Неголономна сутність робота робить управління даною технічною системою складнішою. Є багато досліджень в літературі, які посилаються на аналогічні задачі [5,4,16,13,7]. В цілому можливим є використання двох абсолютно різних методів управління. Обидва методи користуються контрольним алгоритмом, який варіацією пропорційно-похідного (PD) управління. При використанні першого методу, мобільний робот переміщується безпосередньо до цільового розташування, і коли кінцева точка руху досягнена, робот переорієнтовує себе, обертаючись на місці. У другому методі, шлях руху мобільного робота будується на основі початкового і кінцевого положень робота, який дозволяє досягати місця призначення з правильною орієнтацією. Таким чином, роботу не доведеться переорієнтувати себе в точці цілі, як у першому методі.

Перевага першого методу полягає в тому, що під час його виконання можуть бути виправлення для великої кількості помилкових станів робота, і в часі такий алгоритм значно швидший ніж альтернативні методи. Згаданий метод наділений такими перевагами через те, що він є незалежним від часу і якщо випадково отримаються погані сигнали зворотного зв'язку, то алгоритм відкоригує поведінку

робота. Оскільки метод є часо-незалежний, то управління роботом забезпечує досягнення до бажаної позиції максимально швидко. В той же час, обмеження методу є те, що траекторія переміщення робота не відома заздалегідь, а тому не можливо безпосередньо перевірити потенційні зіткнення з перешкодами.

Перевага другого методу полягає в тому, що робот досягає бажаної цілі переміщення в «правильній» (бажаній) орієнтації.

2.2 Метод побудови траекторії руху робота

Однією із задач стабілізації робота при виконанні навігаційних задач є визначення траекторії руху від поточного положення до цілі. В умовах відсутності координат розміщення перешкод мобільного робота, при його функціонуванні в неструктурованих, або слабоструктурованих середовищах використовують методи локальної навігації [22,42,44]. Такі задачі виникають при виконанні розвідки чи дослідження території у невідомому апріорно середовищі [48,46,45]. В даному параграфі запропоновано алгоритм побудови траекторії руху робота для виконання задачі стабілізації колісного мобільного робота при його навігації до цілі.

Функціонування мобільного робота за умов його навігації в неструктурованому середовищі відбувається як правило лише при використанні локальних засобів, зокрема сенсорної підсистеми, що безпосередньо знаходиться на роботі. Для відображення оточуючого середовища, мобільні роботи можуть використовувати різні сенсорні пристрої. Наприклад, добрим поєднанням є використання засобів інтегрування показів ультразвукових сенсорів та інфрачервоного сканера чи відеокамери. В результаті переміщення робота будується локальна карта, яка у поєднанні із координатою цілі використовується для визначення напрямку руху робота. Ціль переміщення робота задається, як правило, координатами на ГКС, або ж значенням відстані та кута до кінцевої точки (рисунок 2.6).

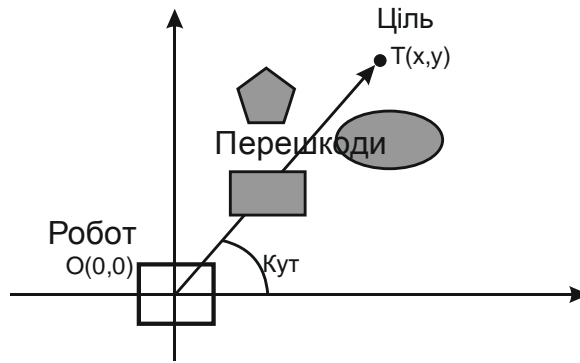


Рисунок 2.6 – Ціль переміщення мобільного робота у невідомому середовищі

Локальна карта середовища мобільного робота описує розміщення перешкод на відстанях, що задаються досяжністю сенсорів і може представлятись різними способами [51,41,32,33,1,8,9,14]. Одним із найбільш простих і компактних форм представлення локальної карти середовища (ЛКС) є використання полярних систем координат [32,33,8]. У відповідності до зазначеного способу, відстані до перешкод представляються за визначеним кутовим діапазоном. Приклад представлення локальної карти середовища у полярній системі координат наведено на рисунок 2.7

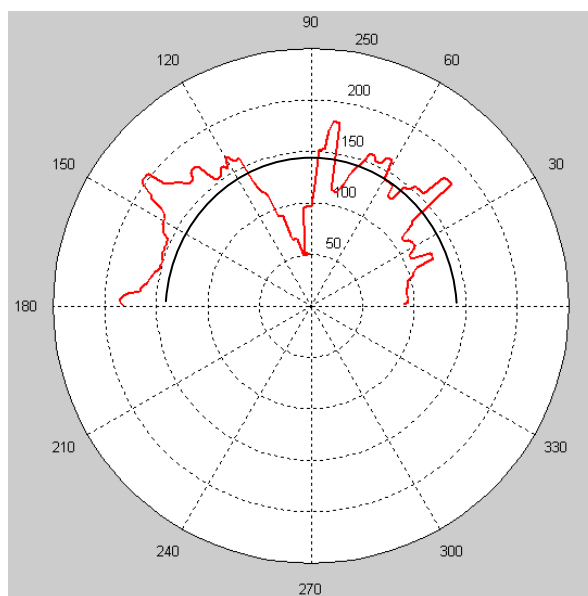


Рисунок 2.7 – Представлення перешкод у полярній системі координат

Отже локальна карта середовища, яка представляє розміщення перешкод мобільного робота у полярній системі координат є вхідною інформацією для

побудови траєкторії руху робота [22,35,49]. Така карта є масивом із 181 значень (кути від 0 до 180 градусів) лінійних відстаней до перешкод мобільного робота.

На основі локальної карти середовища, мобільний робот для навігації до цілі виконує пошук оптимального шляху для переміщення (найбільш близького до цілі). При цьому як правило карта середовища представляє інформацію про вільні для руху ділянки. Прикладом присутності декількох вільних від перешкод інтервалів представлено на рисунку 2.8.

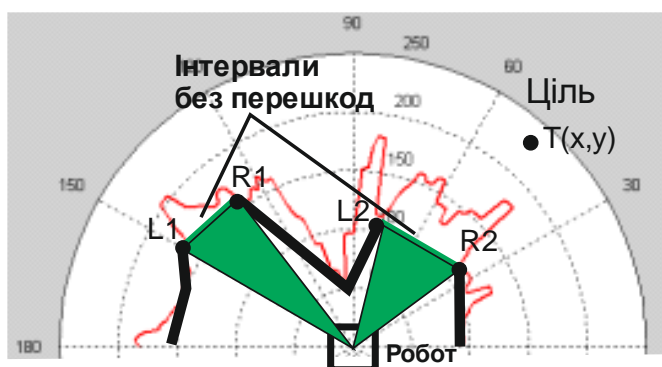


Рисунок 2.8 – Інтервали, вільні від перешкод для переміщення робота

Мобільний робот наділяється блоком визначення оптимального інтервалу для переміщення. Основним призначенням такого блоку є виділення в околі робота у просторі з перешкодами інтервалів для безперешкодного переміщення. Результатом виконання зазначеним аналітичним блоком своїх функцій є визначення одного оптимального інтервалу для переміщення мобільного робота. При цьому, серед декількох інтервалів, вільних для руху робота вибирається такий, який є найбільш наближеним до цілі по куту, що є критерієм оптимальності. Таким чином напрям для руху робота вибирається в результаті мінімізації відхилень напрямів переміщенні від кута до цілі. Наприклад, якщо поточне положення робота співпадає із напрямом до цілі, то за умови наявності інтервалу без перешкод для переміщення робота у визначеному напрямі, вибирається зазначений один інтервал. В іншому випадку виділяють два інтервали, серед яких визначається найбільш близький по напрямку переміщення робота до цілі (рисунок 2.9)

Кожен із зазначених інтервалів для вільного переміщення робота позначається координатами двох точок $L(x_L, y_L)$, $R(x_R, y_R)$, кутами α, β та відповідно відстанями OL , OR до зазначених точок.

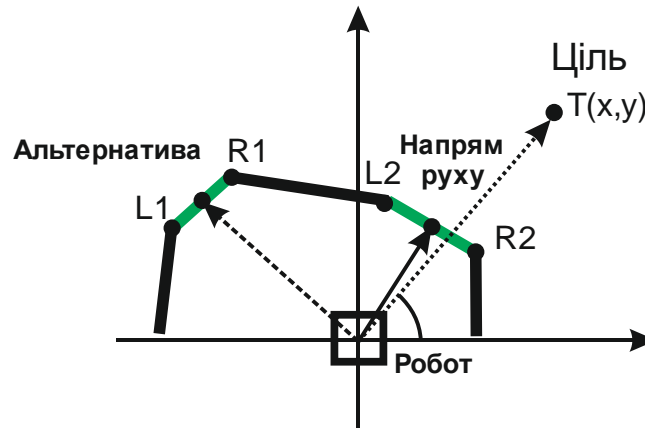


Рисунок 2.9 – Визначення інтервалів переміщення робота

У випадку, коли не визначено жодного вільного інтервалу для переміщення робота, то така позиція трактується як знаходження у тупику. В такій ситуації виконується процедура повороту мобільного робота на 90 градусів і забезпечується пошук нових ділянок для вільного переміщення робота, або ж виконується інша процедура, що обумовлює процес виходу мобільного робота із тупика.

Таким чином, траєкторія руху мобільного робота до цілі може бути представлена набором траєкторій переміщення до інтервалів вільних від перешкод від початкової позиції до точки з координатами цілі (рисунок 2.10).

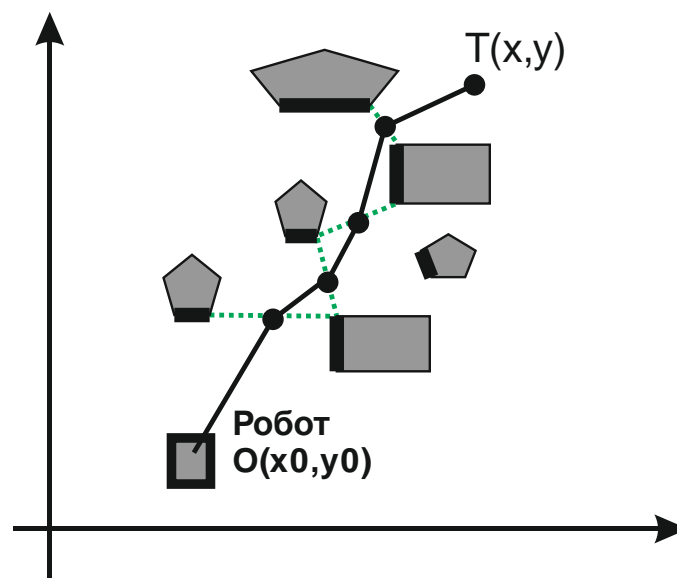


Рисунок 2.10 – Траєкторія руху мобільного робота до цілі як набір траєкторій руху до інтервалів вільних від перешкод

Розглянемо процес побудови траєкторії руху мобільного робота до інтервалу вільного від перешкод як виконання задачі стабілізації мобільного робота, що обумовлена у параграфі 1.3. При цьому пропонуються власний метод, що наводиться нижче.

Вхідними даними для побудови траєкторії руху мобільного робота в напрямку інтервалу вільного від перешкод є точки $L(x_L, y_L)$, $R(x_R, y_R)$, кути α, β та відповідно відстані OR , OL до зазначених точок від центру маси робота. Такі вхідні дані формуються в результаті виконання аналітичного блоку мобільного робота по визначенню інтервалу вільного від перешкод для руху робота до цілі на основі локальної карти середовища. Відповідно до зазначених вхідних даних розглядається задача побудови траєкторії робота до точки середини інтервалу вільного від перешкод D . При цьому передбачається, що переміщення у задану точку можливе у випадку, коли відстань LR є більшою за діаметр платформи мобільного робота на деяку величину Δ_{LR} , як додаткового допуску маневреності робота (рисунок 2.11). Така ситуація повинна передбачатись аналітичним блоком робота і тому у дипломній роботі не розглядається.

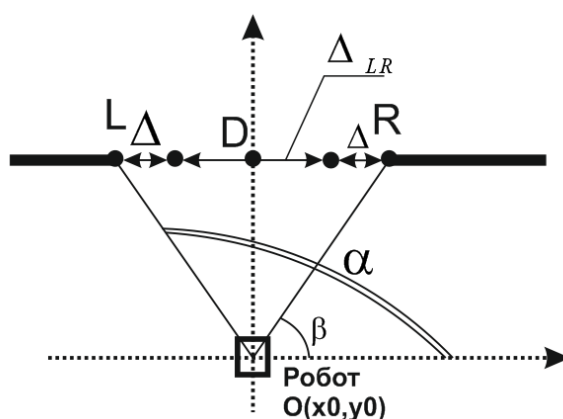


Рисунок 2.11 –Геометричне представлення задачі побудови траєкторії руху робота (з допусками зліва та справа)

Для забезпечення більшої маневреності робота та уникнення його контакту із перешкодами зліва та справа (рисунок 2.12) при переміщенні до цілі особливістю в

побудові траєкторії руху робота є те, що кінцева точка D інтервалу вільного від перешкод повинна досягатись перпендикулярно до прямої LR .

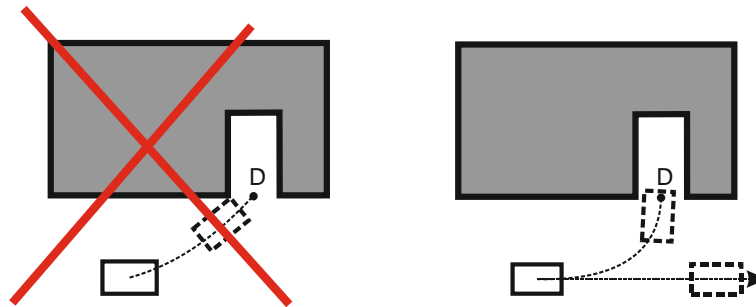


Рисунок 2.12 - Уникнення зіткнень із перешкодою при маневреності мобільного робота

Отже, рішення задачі стабілізації робота полягає у забезпеченні руху мобільного робота до точки D з координатами (x_D, y_D) під кутом 90 градусів до прямої LR (рисунок 2.11, рисунок 2.12).

Розглянемо теоретичні основи рішення задачі стабілізації мобільного робота.

Побудова траєкторії переміщення мобільного робота до точки D можлива у трьох випадках розміщення інтервалів вільних від перешкод (рисунок 2.13):

- прямолінійного переміщення за умови, коли $\varphi = 90^\circ$;
- переміщення по дузі за умови, коли кут $\varphi < 90^\circ$;
- переміщення по дузі за умови, коли кут $\varphi > 90^\circ$.

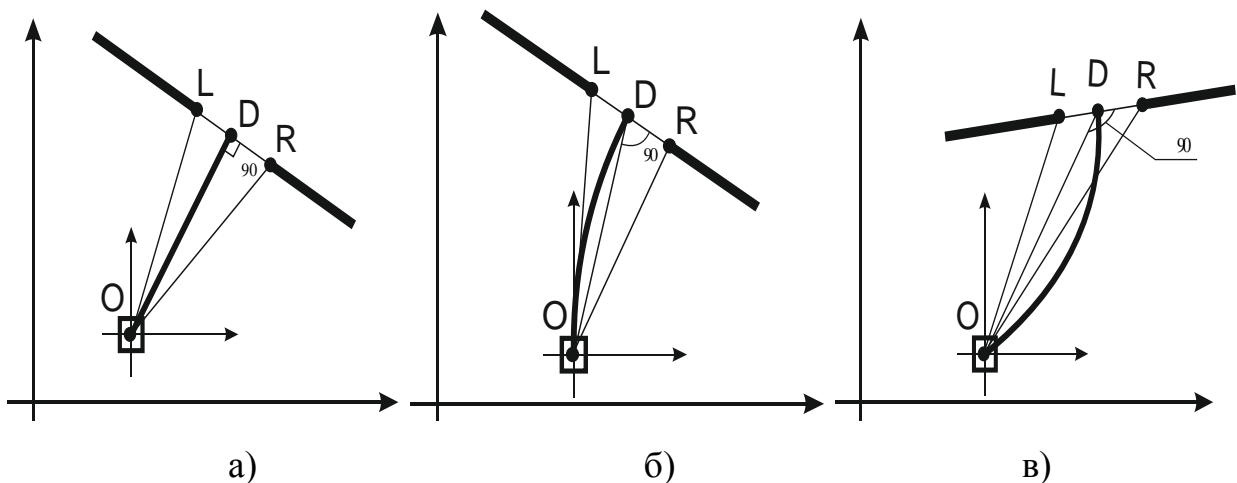


Рисунок 2.13 – Три випадки розміщення інтервалів вільних від перешкод для переміщення мобільного робота

У першому випадку (кут $\varphi = 90^\circ$) розглядається така ситуація, коли розміщення робота (із координатою центру робота $O(x_o, y_o)$) є перпендикулярним до прямої RL тобто під кутом 90 градусів до середини інтервалу вільного від перешкод у точці $D(x_D, y_D)$. Рух за даним напрямом також можливий у середовищі, коли відсутні перешкоди на локальній карті мобільного робота, де напрям OD відповідатиме напрямку до цілі. За таких умов переміщення робота повинне здійснюватись прямолінійно на основі прямої лінії OD .

Розрахунок коефіцієнтів прямої лінії (2.8) здійснюється на основі координат точок $D(x_D, y_D)$ – центру інтервалу вільного від перешкод та $O(x_o, y_o)$ – центру маси робота (2.9):

$$y = kx + b, \quad (2.8)$$

$$\begin{cases} y_D = kx_D + b; \\ y_o = kx_o + b. \end{cases} \quad (2.9)$$

Виходячи із рівності величини b у (2.9) розрахунок коефіцієнтів прямої OD здійснюється за (2.10) базуючись на координатах точок O, D :

$$\begin{cases} b = y_D - kx_D \\ b = y_o - kx_o \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k = \frac{y_D - y_o}{x_D - x_o} \\ b = y_o - \frac{(y_D - y_o)x_o}{x_D - x_o} \end{cases}. \quad (2.10)$$

Маючи координати центру робота в точці $O(0,0)$ можна розрахувати параметри прямої відносно центру координат, який знаходиться у центрі маси робота, тобто локальних координат. Згідно із (2.10) рівняння прямої, що проходить через центр координат матиме лише один коефіцієнт k (коефіцієнт $b=0$), який відображає тангенс кута θ нахилу прямої до осі OX і розраховується за (2.11), що представлено на рисунок 2.14.

$$\begin{cases} k = \frac{y_D}{x_D} \\ b = 0 \end{cases} \Rightarrow y = kx \quad (2.11)$$

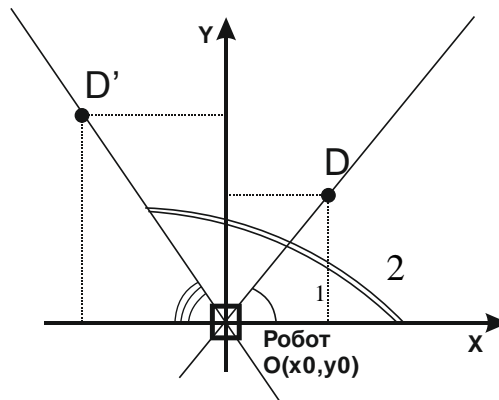


Рисунок 2.14 – Кут розвороту робота при прямолінійному русі

На основі коефіцієнту k розрахованого згідно (2.11) забезпечується прямолінійне переміщення робота до точки $D(x_D, y_D)$, при цьому повернувши робота на місці в напрямку руху до зазначеної точки під кутом γ_1 (якщо k позитивне, $\gamma_1 = \theta$), або γ_2 (якщо k від'ємне, $\gamma_2 = 180 - \theta$), що відображено на рисунку 2.14. Якщо коефіцієнт $k=0$, то це означає, що пряма OD перпендикулярна вісі абсцис і робот не повинен виконувати ніяких розворотів на місці, а здійснювати прямолінійне переміщення за рахунок однакових обертів лівого і правого коліс.

Розрахунок координати точки D можна здійснити на основі координат точок L, R як середину відрізка LR (рисунку 2.15).

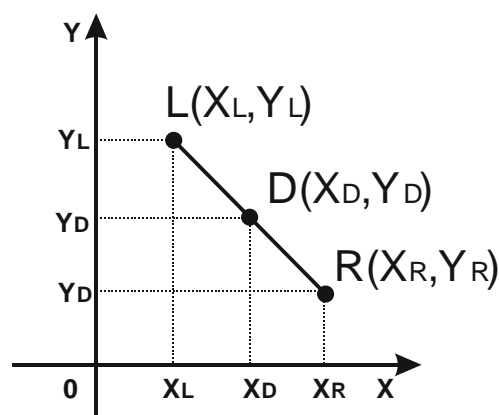


Рисунок 2.15 – Розрахунок координат точки D

Для розрахунків координат $D(x_D, y_D)$ (2.12) вхідними даними є значення координат точки $L(x_L, y_L)$ та точки $R(x_R, y_R)$.

$$\begin{cases} x_D = \frac{x_L + x_R}{2}; \\ y_D = \frac{y_L + y_R}{2}. \end{cases} \quad (2.12)$$

Аналогічний розрахунок зазначених координат точки D за (2.12) проводять для усіх випадків розміщення інтервалів вільних від перешкод відносно мобільного робота (рисунок 2.13).

Розглянемо розрахунок траєкторії переміщення мобільного робота, що відмінне від прямолінійного (рисунок 2.13б, 2.13в). У зазначених випадках, з метою уникнення ситуації, що наведена на рисунок 2.12, переміщення робота повинно здійснюватись по дузі. Тому, пропонується побудова дуги кола, яка проходить через точку O , центру робота і точку D – середину інтервалу вільного від перешкод переміщення мобільного робота (рисунок 2.16).

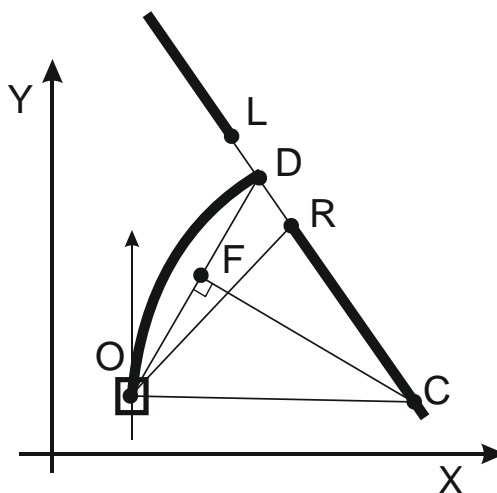


Рисунок 2.16 – Геометрична інтерпретація побудови треку для переміщення мобільного робота по дузі

Побудова такої дуги можлива при розміщенні центру кола у точці $C(x_C, y_C)$, яка знаходиться на прямій LR і перпендикулярна до відрізка OD , який проведено між точкою центру робота $O(x_O, y_O)$ і точкою середини інтервалу вільного від

перешкод $D(x_D, y_D)$. Координати точки $F(x_F, y_F)$ перетину прямих FC та OD знаходяться аналогічно (2.12), як середина відрізка OD за (2.13):

$$\begin{cases} x_F = \frac{x_D + x_O}{2}; \\ y_F = \frac{y_D + y_O}{2}. \end{cases} \quad (2.13)$$

Координату центру дуги кола $C(x_C, y_C)$ знаходять в залежності від випадку розміщення інтервалів вільних від перешкод для переміщення мобільного робота (рисунок 2.13б, рисунок 2.13в).

Розглянемо випадок, коли переміщення робота здійснюється по дузі при куту $\varphi < 90^\circ$ (рисунок 2.13б). Для розрахунку координат центру кола дуги використаємо геометричну інтерпретацію, що на рисунок 2.17 із локальним центром координат в точці середини маси мобільного робота.

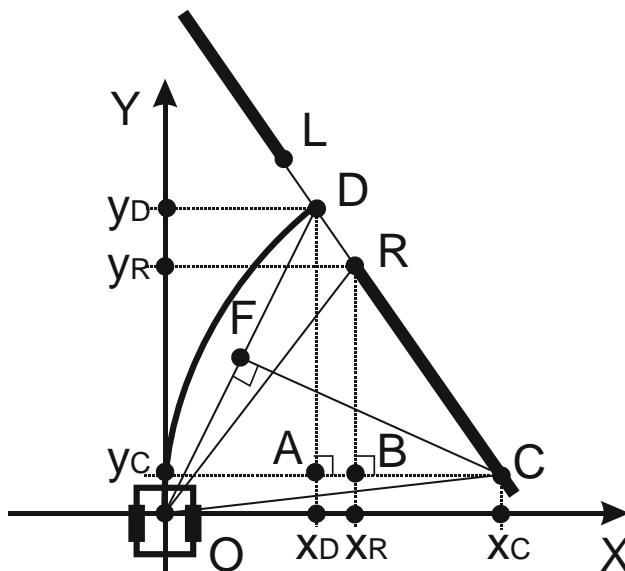


Рисунок 2.17 - Геометрична інтерпретація розрахунку координат центру дуги кола для випадку (рисунок 2.13б)

Згідно геометричної інтерпретації (рисунок 2.17) можна отримати наступні відношення (2.14):

$$\begin{cases} \frac{BC}{RC} = \cos \angle RCB; \\ \frac{AC}{DC} = \cos \angle RCB; \end{cases} \Rightarrow \frac{BC}{RC} = \frac{AC}{DC}. \quad (2.14)$$

На основі (2.14), значення AC розраховуються за (2.15):

$$AC = \frac{BC * DC}{RC}. \quad (2.15)$$

Величину BC можна розрахувати із наступної рівності (2.16):

$$BC = AC - AB = AC - (x_R - x_D). \quad (2.16)$$

Підставивши (2.16) в (2.5) отримуємо (2.17):

$$AC = \frac{(AC - (x_R - x_D)) * DC}{RC} = \frac{DC * (x_R - x_D)}{DC - RC}. \quad (2.17)$$

Величину DC розраховуємо за (2.18) виходячи із розрахунку кута $\angle ODC$ за теоремою косинусів трикутника ORD :

$$\begin{aligned} DC &= \frac{FD}{\cos \angle ODC} = \frac{0.5 * OD}{\left(\frac{RD^2 + OD^2 - RO^2}{2 * RD * OD} \right)} = \frac{OD^2 * RD}{RD^2 + OD^2 - RO^2} = \\ &= \frac{(x_D^2 + y_D^2) \sqrt{(x_R - x_D)^2 + (y_R - y_D)^2}}{(x_R - x_D)^2 + (y_R - y_D)^2 + x_D^2 + y_D^2 - x_R^2 - y_R^2}. \end{aligned} \quad (2.18)$$

Координату x_C центру дуги кола у точці C (2.19) можна розрахувати на основі координати x_D точки D , величини AC (2.17) та величини DC (2.18):

$$x_C = x_D + AC = x_D + \frac{DC * (x_R - x_D)}{DC - RC} = x_D + \frac{DC * (x_R - x_D)}{\sqrt{(x_D - x_R)^2 + (y_D - y_R)^2}}. \quad (2.19)$$

Розрахунок значення координати y_C здійснимо подібним чином згідно геометричної інтерпретації, що на рисунок 2.17.

Розглянемо основні залежності (2.20)

$$\begin{cases} \frac{RB}{RC} = \cos \angle CRB; \\ \frac{DA}{DC} = \cos \angle CRB; \end{cases} \Rightarrow \frac{RB}{RC} = \frac{DA}{DC}. \quad (2.20)$$

Величину RB можна розрахувати із наступної рівності (2.21):

$$RB = DA - (y_D - y_R). \quad (2.21)$$

Підставивши (2.21) в (2.10) отримуємо (2.22):

$$DA = \frac{(DA - (y_D - y_R)) * DC}{RC} = \frac{DA * DC - DC * (y_D - y_R)}{RC}. \quad (2.22)$$

Із пропорції (2.22) можна отримати розв'язок (2.23):

$$DA * RC = DA * DC - DC * (y_D - y_R) \Rightarrow DA = \frac{DC * (y_D - y_R)}{DC - RC}. \quad (2.23)$$

Координату y_C центру дуги кола у точці C (2.24) можна розрахувати на основі координати y_D точки D та величини DA , що представлена в (2.23):

$$y_C = y_D - DA = y_D - \frac{DC * (y_D - y_R)}{DC - RC} = y_D - \frac{DC * (y_D - y_R)}{\sqrt{(x_D - x_R)^2 + (y_D - y_R)^2}}, \quad (2.24)$$

де величина DC розраховується за (2.18).

Таким чином координати центру дуги кола $C(x_c, y_c)$ розраховуються за (2.19) та (2.24) відповідно.

Розглянемо випадок, коли переміщення робота здійснюється по дузі при куту $\varphi > 90^\circ$ (рисунок 2.13в). Для розрахунку координат центру дуги кола використаємо геометричну інтерпретацію, що на рисунок 2.18 із локальним центром координат в точці середини маси мобільного робота.

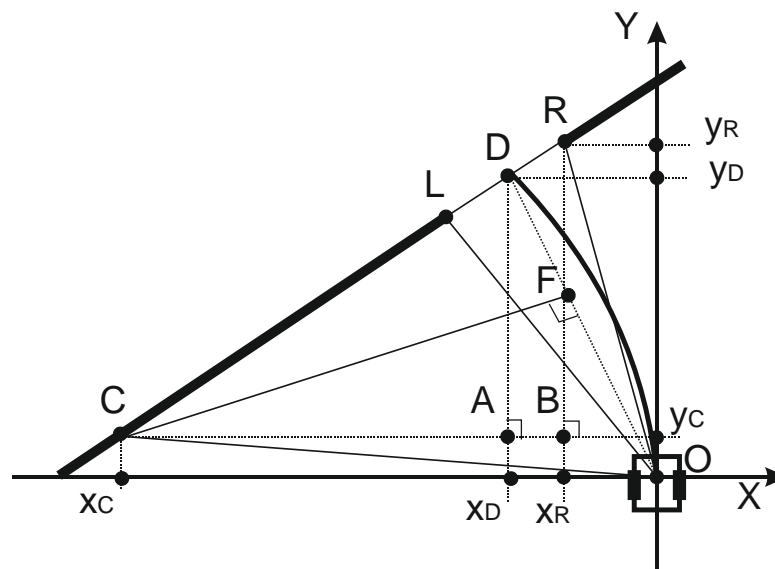


Рисунок 2.18 – Геометрична інтерпретація розрахунку координат центру дуги кола для випадку (рисунок 2.13в)

Розглянемо прямокутні трикутники CDA та CRB в яких спільний кут $\angle C$. Тому, косинус зазначеного кута може бути виражений за (2.25):

$$\frac{BC}{RC} = \frac{AC}{DC}. \quad (2.25)$$

На основі (2.25), значення AC розраховуються за (2.26):

$$AC = \frac{BC * DC}{RC}. \quad (2.26)$$

Величину BC можна розрахувати із наступної рівності (2.2):

$$BC = AC + AB = AC + (x_D - x_R). \quad (2.27)$$

Підставивши (2.27) в (2.26) отримуємо (2.28):

$$AC = \frac{(AC + (x_R - x_D)) * DC}{RC} = \frac{DC * (x_D - x_R)}{RC - DC}. \quad (2.28)$$

Величину DC розраховуємо за (2.29) виходячи із розрахунку кута $\angle FDC$ за теоремою косинусів трикутника OLD :

$$\begin{aligned} DC &= \frac{FD}{\cos \angle FDC} = \frac{0.5 * OD}{\left(\frac{LD^2 + OD^2 - LO^2}{2 * LD * OD} \right)} = \frac{OD^2 * LD}{LD^2 + OD^2 - LO^2} = \\ &= \frac{(x_D^2 + y_D^2) \sqrt{(x_L - x_D)^2 + (y_L - y_D)^2}}{(x_L - x_D)^2 + (y_L - y_D)^2 + x_D^2 + y_D^2 - x_L^2 - y_L^2}. \end{aligned} \quad (2.29)$$

Координату x_C центру дуги кола у точці C (2.30) можна розрахувати на основі координати x_D точки D , величини AC (2.28) та величини DC (2.29):

$$x_C = x_D + AC = x_D + \frac{DC * (x_D - x_R)}{RC - DC} = x_D + \frac{DC * (x_D - x_R)}{\sqrt{(x_R - x_D)^2 + (y_R - y_D)^2}}, \quad (2.30)$$

Для визначення координати y_C центру кола проведемо розрахунки аналогічні (2.25-2.30). Розглянемо прямокутні трикутники CDA та CRB в яких $\angle CRB = \angle CDA$. Тому, косинуси зазначених кутів можна виразити за (2.31):

$$\frac{RB}{RC} = \frac{DA}{DC}. \quad (2.31)$$

На основі (2.31), значення DA розраховуються за (2.32):

$$DA = \frac{RB * DC}{RC}. \quad (2.32)$$

Величину RB можна розрахувати із наступної рівності (2.33):

$$RB = DA + (y_R - y_D). \quad (2.33)$$

Підставивши (2.33) в (2.32) отримуємо (2.34):

$$DA = \frac{(DA + (y_R - y_D)) * DC}{RC} = \frac{DA * DC + DC * (y_R - y_D)}{RC}. \quad (2.34)$$

Із (2.34) випливає (2.35):

$$DA * RC = DA * DC + DC * (y_R - y_D) \Rightarrow DA = \frac{DC * (y_R - y_D)}{RC - DC}. \quad (2.35)$$

Координату y_C центру дуги кола у точі C (2.36) можна розрахувати на основі координати y_D точки D та величини DA , що представлена в (2.35):

$$y_C = y_D - DA = y_D - \frac{DC * (y_R - y_D)}{RC - DC} = y_D - \frac{DC * (y_R - y_D)}{\sqrt{(x_R - x_D)^2 + (y_R - y_D)^2}}, \quad (2.36)$$

де величину DC розраховують за (2.29).

Таким чином координати центру дуги кола $C(x_C, y_C)$ для випадку, що на рисунок 2.13в розраховуються за (2.30) та (2.36) відповідно.

Для знаходження усіх точок дуги, використовують рівняння кола (2.37) [26, 34].

$$r^2 = (x - a)^2 + (y - b)^2, \quad (2.37)$$

де r – радіус кола, (a,b) – Декартові координати центру кола, (x,y) – Декартові координати точок на колі.

Коло на площині, радіусом r , в декартовій системі координат x і y , описується системою рівнянь (2.38) [34]:

$$\begin{cases} x = a + r * \cos(t); \\ y = b + r * \sin(t); \end{cases} \quad (2.38)$$

де параметр t – приймає значення від 0 до 2π . З геометричної точки зору це кут до осі x , променя проведеного з початку координат до точки (x,y) . Якщо записати x та y через параметр t , отримаємо (2.39):

$$\begin{cases} x = a + r \frac{1-t^2}{1+t^2}; \\ y = b + r \frac{2t}{1+t^2}; \end{cases} \quad (2.39)$$

Отже для побудови кола за (2.39) невідомим параметром є радіус r , який можна обчислити виходячи з рисунок 2.16 як величину DC або OC . Таку величину можна знайти як евклідову відстань між двома точками (2.40):

$$r = DC = OC = \sqrt{(x_D - x_C)^2 + (y_D - y_C)^2} \quad (2.40)$$

де r – величина радіусу; x_D, y_D – Декартові координати точки D , x_C, y_C – Декартові координати точки C .

Для переміщення робота по дузі кола передбачається його рух по дотичній в кожній точці дуги. Для реалізації такої мети припускається розв'язок двох 57вто робо: поворот мобільного робота на місці до положення, перпендикулярного радіуса дуги; визначення кута положення робота у точках дотичних на дузі переміщення робота.

Перша задача полягає у знаходженні кута β_1 на який повинен повернутись робот навколо центру маси робота для виходу на дотичну до кола (рисунок 2.19).

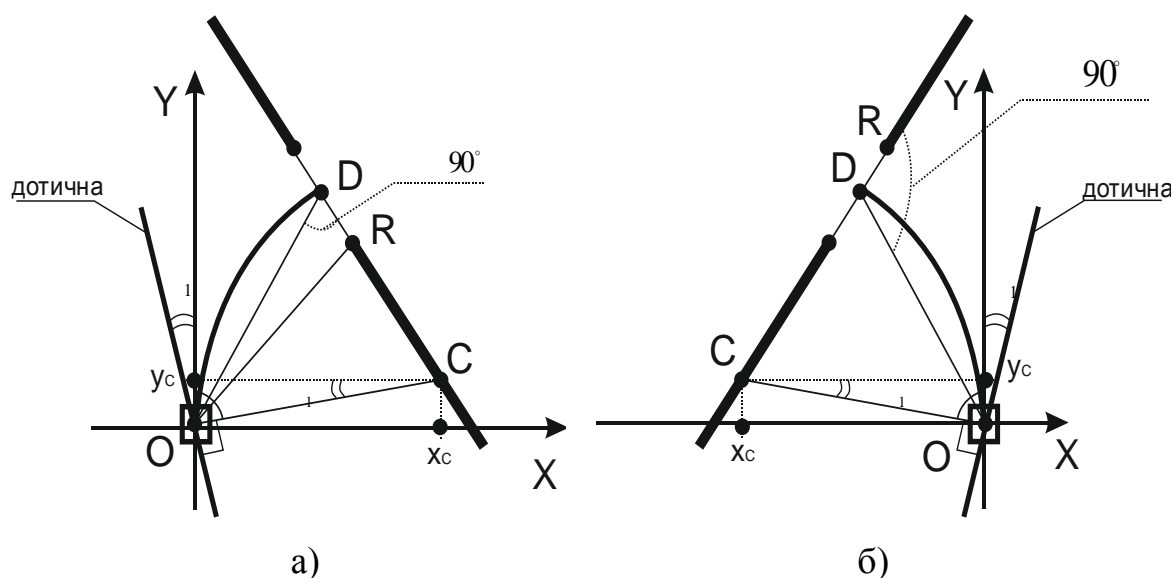


Рисунок 2.19 – Розворот робота навколо центру маси для виходу робота у положення дотичної у випадку: а) $\varphi < 90^\circ$, б) $\varphi > 90^\circ$

Розрахунок кута β_1 виконують за (2.41).

$$\beta_1 = \arcsin\left(\frac{y_c}{OC}\right) = \arcsin\left(\frac{y_c}{r}\right), \quad (2.41)$$

де y_c – вгору робот точки C центру кола, $OC=r$ – значення радіусу кола.

Причому у випадку, коли $\varphi < 90^\circ$ (рисунок 2.19а, рисунок 2.13б), якщо значення $\beta_1 > 0$, то робот повинен виконувати поворот ліворуч на β_1 градусів, а якщо значення $\beta_1 \leq 0$, поворот повинен здійснюватись праворуч.

Протилежні дії повинні виконуватись у випадку, коли $\varphi > 90^\circ$ (рисунок 2.19б, рисунок 2.13в), якщо значення $\beta_1 > 0$, то робот повинен виконувати поворот праворуч на β_1 градусів, а якщо значення $\beta_1 \leq 0$, поворот повинен здійснюватись ліворуч.

Після фіксування роботом відповідного положення, що отримується за результатами, представленими на рисунок 2.19, друга задача полягає у тому, що

робот має проїхати в точку $P(x_P, y_P)$ під кутом β_2 відносно напрямку руху (рисунок 2.20).

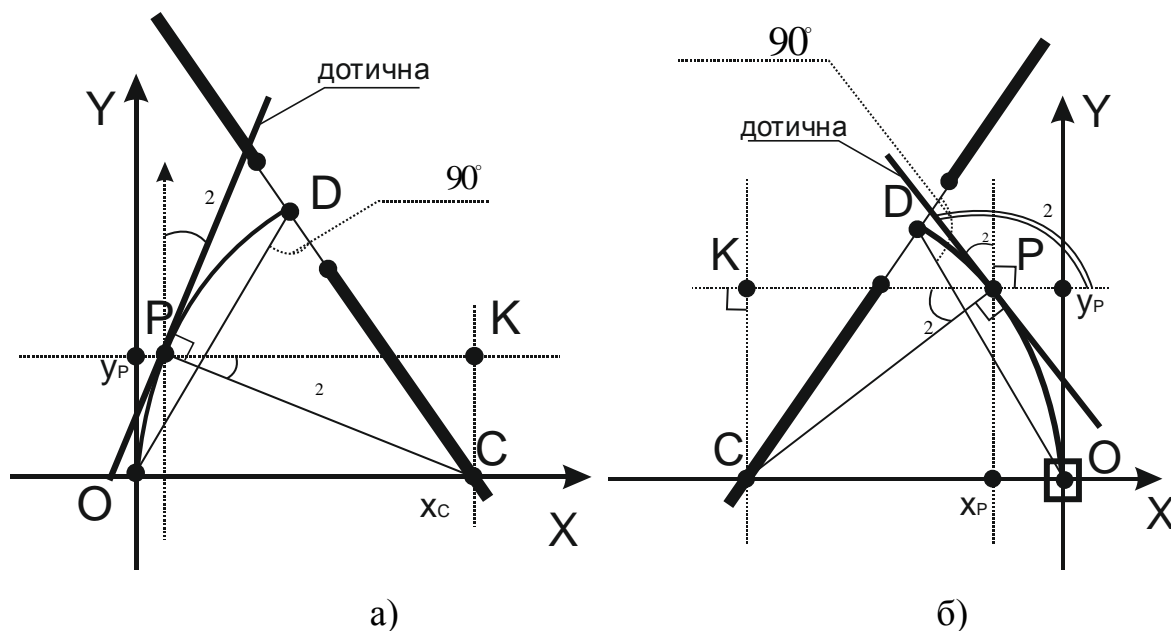


Рисунок 2.20 – Геометрична інтерпретація розрахунку дотичних до дуги у випадках: а) $\varphi < 90^\circ$, б) $\varphi > 90^\circ$

Розрахунок кута β_2 в точці перетину дотичної із колом $P(x_P, y_P)$ знаходять за (2.42).

$$\beta_2 = \arcsin\left(\frac{KC}{CP}\right) = \arcsin\left(\frac{y_P}{OC}\right) = \arcsin\left(\frac{y_P}{r}\right), \quad (2.42)$$

Отже, як зазначено вище, згідно другої задачі, робот повинен проїхати у точку $P(x_P, y_P)$ відносно свого положення повернувши праворуч на кут β_2 у випадку $\varphi < 90^\circ$, або ж повернувши ліворуч у випадку $\varphi > 90^\circ$.

Таким чином, у даному параграфі запропоновано математичну модель побудови 59вто робот мобільного робота, а також формалізацію процесів маневрів робота під час руху по заданій 59вто робот в результаті чого розроблено метод, що вирішує задачу стабілізації двохколісного робота.

У наступному параграфі буде розглянуто алгоритм роботи запропонованого методу стабілізації робота.

2.3 Алгоритм побудови б0вто робот руху мобільного робота

У попередньому параграфі розглянуто математичні моделі задачі стабілізації мобільного робота при навігації до заданої точки цілі. У даному параграфі наводиться розроблений алгоритм, який покроково представляє наведені моделі.

Для представлення покрокової процедури вирішення задачі стабілізації мобільного робота та наочного презентування застосування запропонованих математичних методів побудови б0вто робот руху та маневрування використаємо схеми роботи відповідних алгоритмів.

Узагальнену схему роботи алгоритму побудови б0вто робот та стабілізації мобільно робота представлено на рисунок 2.21. Дана схема представляє опис узагальнених кроків, які виконує мобільний робот при навігації до цілі на високому рівні деталізації.

Вхідною інформацією для виконання алгоритму є локально карта середовища, що представлена у полярній системі координат (символ 1, що на рисунок 2.21). Приклад локальної карти середовища представлено на рисунок 2.7. На такій локальній карті представляються лінійні відстані до перешкод у заданому кутовому діапазоні ($0 \dots 180^0$). На зазначеній карті відображаються перешкоди, що фіксуються сенсорними пристроями робота на межі їх чутливості, а тому вона, як правило, обмежується деяким визначеним радіусом для усунення шуму. Таким чином на локальній карті представляються положення перешкод відносно положення мобільного робота. Такий спосіб є достатньо компактним і зручним. Після даного кроку здійснюється перехід до сітко базованої карти, де визначаються декартові координати розміщення граней об'єктів, які є перешкодами. Такий перехід до сітко-базованого представлення викликаний необхідністю визначення напрямку руху до цілі мобільного робота, яка задається декартовими координатами на ГКС (представляється сітко-базованим способом), а також для виконання задач локалізації робота. Таким чином, вихідною інформацією даного блоку є позначення позицій перешкод у декартових координатах.

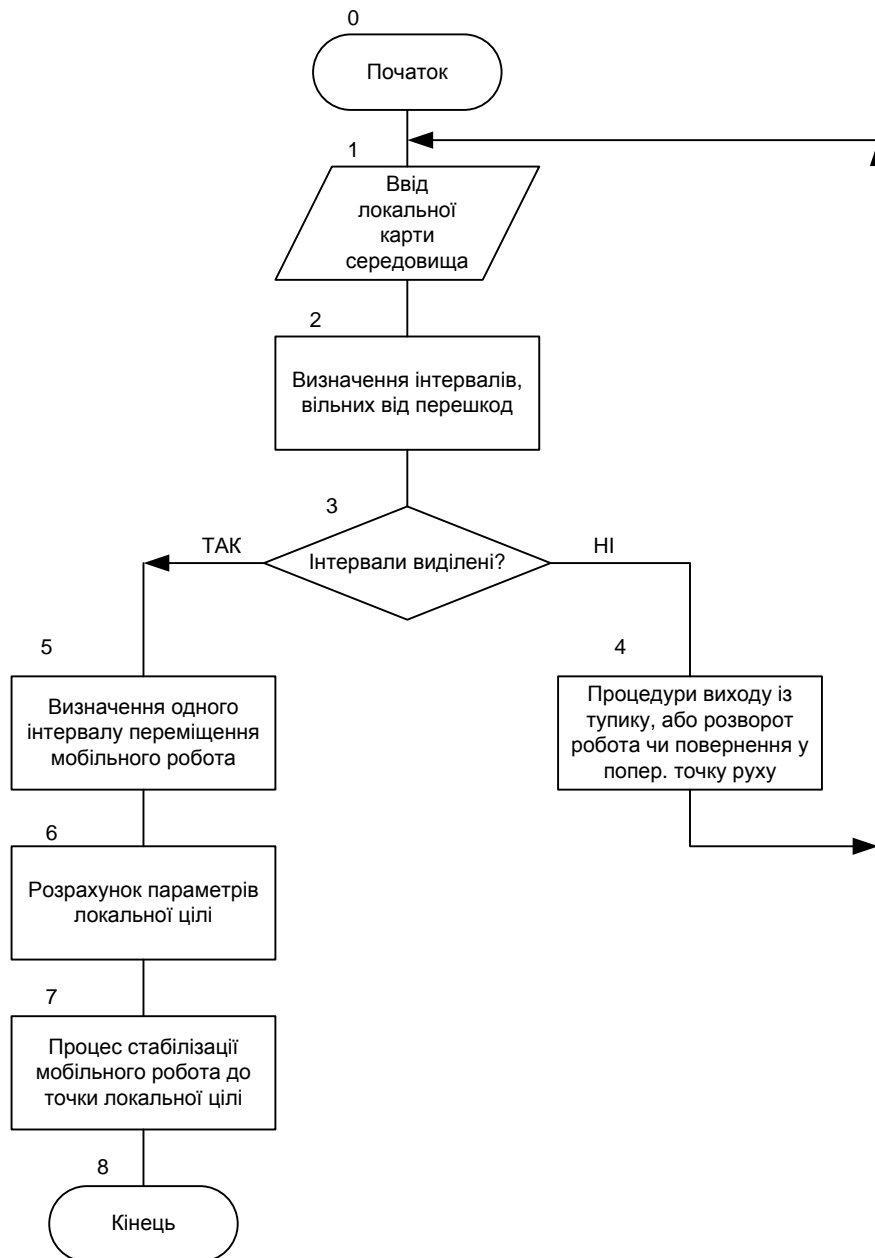


Рисунок 2.21 – Узагальнена схема роботи алгоритму стабілізації мобільного робота

Наступним блоком алгоритму є становлення інтервалів, вільних від перешкод (символ 2 на рисунок 2.21). Базуючись на розміщенні перешкод, що виконані у попередньому блоці схеми алгоритму, зазвичай, виділяються декілька ділянок, за якими мобільний робот може переміщуватись. Тому, результатом виконання даного блоку є визначення інтервалів можливого переміщення мобільного робота. Результат виконання даного блоку схематично представлено на рисунок 2.8, рисунок 2.9.

Наступним блоком схеми алгоритму є умова (символ 3 на рисунок 2.21), що встановлює факт існування інтервалів, вільних від перешкод для подальшого переміщення робота. Такі інтервали можуть бути відсутні. Тому метою зазначеної умови є визначення тупикових ситуацій, в яких може опинитись робота в результаті переміщень. У випадку наявності тупику (випадок хибності умови, що у символі 3 на рисунок 2.21), мобільний робот визначає процедури виходу із тупику, або ж здійснює розворот чи повернення у попередню точку свого руху (символ 4 на рисунок 2.21). В даній дипломній роботі процедури виходу мобільного робота із тупику не розглядаються, а тому функціонування зазначеного процесу потребує додаткових наукових досліджень.

У випадку істинності умови, що представлена символом 3 на рисунок 2.21, встановлюється факт існування інтервалів, куди робот може переміститись для наближення до цілі. В такому випадку, серед множини інтервалів, які визначені у символі 2 схеми роботи алгоритму стабілізації робота, що на рисунок 2.21, визначається один, куди робот буде переміщуватись. Процес виконання зазначеної процедури схематично зображено символом 5 на рисунок 2.21, який містить сукупність правил селекції інтервалу вільного від перешкод серед множини альтернатив за критерієм наближення до цілі переміщення робота.

Після визначення інтервалу для подальшого переміщення мобільного робота, у процесі 6, що на рисунок 2.21 визначаються декартові координати точки локальної цілі (точки D , середини інтервалу), та кута під яким необхідно перебувати роботу при досягненні локальної цілі.

У блоці 7, що на рисунок 2.21 відбувається процес стабілізації робота до локальної цілі. Такий процес передбачає спосіб досягнення точки цілі під визначеним у попередньому блоці кутом.

Після завершення виконання описаних вище кроків, положення мобільного робота вважається у точці локальної цілі, після чого, покроково визначаються подальші локальні цілі до моменту досягнення глобальної точки руху робота (рисунок 2.10). Тому виконання алгоритму визначеному на рисунок 2.21 повторюється .

Розроблений у попередньому параграфі дипломної роботи метод побудови б3вто робот руху реалізується блоками 6 та 7 представленої вище узагальненої схеми роботи алгоритму стабілізації мобільного робота.

Розглянемо більш детально роботу запропонованого методу, що представлено схемою роботи алгоритму побудови б3вто робот руху (додаток А).

Вхідною інформацією (блок 1) розглядатимемо інтервал, вільний від перешкод, куди повинен переміститись мобільний робот. Такий інтервал задається координатами двох точок $L(x_L, y_L)$ та $R(x_R, y_R)$ (див. рисунок 2.6) відносно координати центру маси мобільного робота у точці $O(x_O, y_O)$.

На наступному етапі у блоці 2 визначаються координати точки $D(x_D, y_D)$ як координати локальної цілі і середини інтервалу (рисунок 2.6). При цьому розрахунок значень координат точки $D(x_D, y_D)$ виконується на основі координат точок L та R за (2.5), що на рисунок 2.15.

Наступним кроком схеми алгоритму є визначення значення кута φ від позиції робота до прямої LR . При цьому, кут $\varphi = \arccos\left(\frac{y_D}{\sqrt{x_D^2 + y_D^2}}\right)$.

В залежності від кута φ можливі три напрямки подальших розрахунків і подальшої поведінки мобільного робота, що визначається case-оператором у блоці 4 схеми алгоритму.

Якщо кут $\varphi = 90^\circ$, то мобільний робот повинен виконувати прямолінійне преміщення до локальної цілі (рисунок 2.13а). Для цього у блоці 5 виконується розрахунок коефіцієнтів прямої лінії за (2.11). Після даних розрахунків робот повинен повернутись на місці в напрямку до точки $D(x_D, y_D)$ на деякий кут

$\beta_1 = \arccos\left(\frac{x_D}{\sqrt{x_D^2 + y_D^2}}\right)$, що лежить між віссю абсцис та прямою OD (рисунок 2.13а).

Після відповідного позиціонування робота, у блоці 6 забезпечується прямолінійне переміщення мобільного до локальної цілі у точці D на відстань $OD = \sqrt{x_D^2 + y_D^2}$. Такий процес може бути багатокроковим у часі для мобільного

робота, що відображається виконанням відповідної умови у блоці 7 на схемі алгоритму.

Якщо кут $\varphi < 90^\circ$, то мобільний робот повинен виконувати переміщення до локальної цілі у точці D по дузі (рисунок 2.13б, рисунок 2.17). Для цього у блоці 8 схеми роботи алгоритму розраховуються центр кола дуги за (2.19), (2.24). Знаючи координати центру кола, відповідно за евклідовою відстанню знаходять радіус OC (2.40). Координати усіх точок дуги кола, що представляють трек руху робота задаються рівнянням кола (2.37)-(2.39).

Для подальшого переміщення робот повинен здійснити поворот навколо центру своєї маси (блок 9) на кут β_1 (2.41), що позиціонує його у напрямі дотичної до кола (рисунок 2.19а). Якщо значення $\beta_1 > 0$, то робот повинен виконувати поворот ліворуч на β_1 градусів, а якщо значення $\beta_1 \leq 0$, поворот повинен здійснюватись праворуч.

Наступні кроки робота (блок 10-11 схеми алгоритму) полягають у визначенні точок $P(x_P, y_P)$ як величини одного кроку робота і визначення кута β_2 (2.42) на який робот має переміститись праворуч для позиціонування в напрямі дотичної (у точці P), що відображено на рисунок 2.20а. Такі кроки повторюватимуться до моменту досягнення локальної цілі в точці D , що обумовлено виконанням умови зупинки у блоці 11 схеми алгоритму.

Якщо кут $\varphi > 90^\circ$, то мобільний робот також повинен виконувати переміщення до локальної цілі у точці D по дузі (рисунок 2.13в, рисунок 2.18). Для цього у блоці 13 схеми роботи алгоритму розраховуються центр кола дуги за (2.30), (2.38). Після цього знаходять радіус кола OC (2.40). Координати усіх точок дуги кола, що представляють трек руху робота задаються рівнянням кола (2.37)-(2.39).

Для подальшого переміщення робот здійснює поворот навколо центру своєї маси (блок 14) на кут β_1 (2.41), що позиціонує його у напрямі дотичної до кола (рисунок 2.19б). Якщо значення $\beta_1 > 0$, то робот повинен виконувати поворот праворуч на β_1 градусів, а якщо значення $\beta_1 \leq 0$, поворот повинен здійснюватись ліворуч.

Наступні кроки робота (блок 15-16 схеми алгоритму) полягають у визначенні точок $P(x_P, y_P)$ як величини одного кроку робота і визначення кута β_2 (2.42) на який

робот має переміститись ліворуч для позиціонування в напрямі дотичної (у точці P), що відображено на рисунку 2.20б. Такі кроки повторюватимуться до моменту досягнення локальної цілі в точці D , що обумовлено виконанням умови зупинки у блоці 17 схеми алгоритму.

Після досягнення роботом локальної цілі у точці D , алгоритм завершується і визначаються нові локальні цілі для переміщення.

Таким чином у даному параграфі представлено розроблений поетапний процес виконання задачі стабілізації колісного робота, який проілюстровано за допомогою узагальненої та деталізованої схем роботи алгоритму побудови б5вто робот руху робота. Зазначені алгоритми дозволяють наглядно продемонструвати порядок проведення обчислень, які формалізовано у попередньому параграфі дипломної роботи.

3 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ РОБОТА

4.3. Узагальнена структурна схема управління мобільним роботом

Наведені у другому розділі дипломної роботи моделі управління колісним роботом забезпечують рішення задачі стабілізації робота. В той же час, виконання процедур по використанні зазначених моделей для навігаційної задачі є лише частиною серед процесів, які виконуються роботом, а тому не відображають цілісну систему. З метою наглядного відображення зв'язків інформаційних потоків мобільного робота, нижче представляється структурна схема їх взаємодій. При цьому, розглядається задача локальної навігації мобільного робота на основі показів наявної у робота сенсорної підсистеми. Такі задачі виконуються, наприклад, для розвідки території або ж у випадку, коли робот знаходиться у невідомому чи неструктурованому середовищі.

Узагальнену схему взаємодії основних модулів робота для розв'язку задачі стабілізації можна представити п'ятьма складовими (рисунок 3.1).

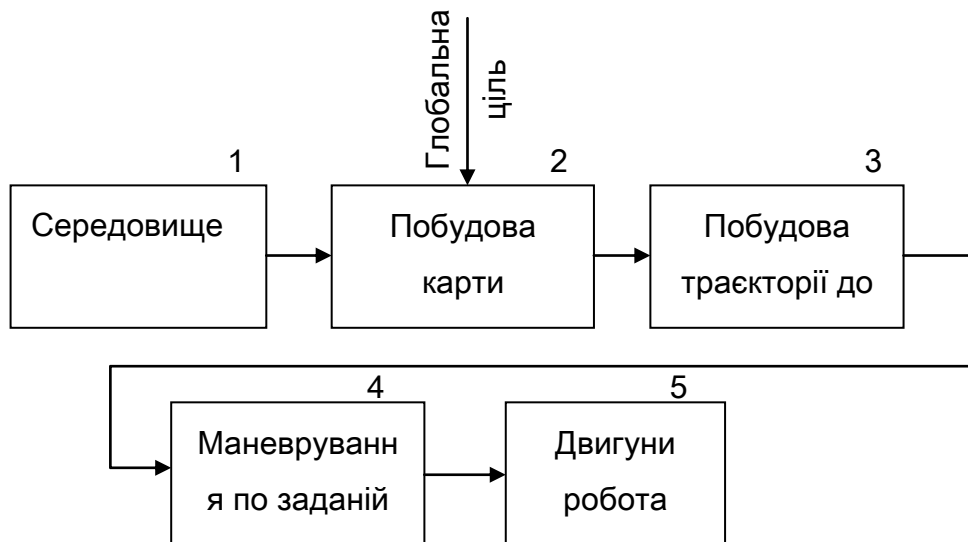


Рисунок 3.1 – Узагальнена схема взаємодії модулів робота

Перший блок узагальненої схеми представляє покази сенсорів, які формуються в залежності від позиції мобільного робота у середовищі. На основі отриманих та опрацьованих сенсорних показів методами попередньої обробки сигналів будується локальна карта (блок 2).

В свою чергу, локальна карта середовища мобільного робота та координати точки глобальної цілі є вхідною інформацією для визначення локальних цілей та побудови траєкторій руху мобільного робота, що відображено блоком три на схемі.

Блок чотири відображає необхідність виконання маневрів роботом та розрахунок моделей виконання руху по заданій 67 вто робот. Такі дії супроводжуються аналітикою впливу на двигуни для реалізації поворотів чи прямолінійних переміщень платформи мобільного робота.

П'ятий блок відображає останній елемент мобільного робота – ту апаратну частину, яка контролює роботою двигунів, як об'єкт впливу на поведінку робота. В зазначеному блоці управління двигунами забезпечується електричними імпульсами, значення величин яких визначають маневреність робота.

Переміщення робота по зазначеній схемі призводить до зміни координат розташування і, як наслідок, до нових показів сенсорної підсистеми. Тому, виконання усіх зазначених вище блоків повторюються циклічно до моменту досягнення глобальної цілі переміщення робота.

Для адаптації до платформ колісних роботів розглянемо більш детально взаємодію процесів, що протікають у роботі по зазначеній узагальненій схемі. Схема управління роботом представлена у додатку Б. На схемі відображено лише основні зв'язки і блоки, що взаємодіють між собою.

Сенсорний блок забезпечує виконання процесу отримання сенсорних показів від відповідних контролерів із врахуванням алгоритмів попередньої обробки. Входами зазначеного блоку є значення електричних імпульсів сенсорів, а виходами – оцифровані та оброблені сенсорні покази.

Блок формування локальної карти середовища формує на основі інформації від сенсорних пристроїв у діапазоні 180 градусів лінійні і кутові відстані до перешкод $MAP(i)$, $i = \overline{0..180}$, де i – кут, $MAP(i)$ – лінійна віддаль по куту i .

Блок визначення інтервалів вільних від перешкод призначений для виділення інтервалів можливого переміщення мобільного на основі інформації від локальної карти середовища. В результаті виконання зазначеного блоку визначаються координати правих та лівих позицій для усіх інтервалів вільних від перешкод у фронтальній частині робота (0-180 градусів).

Блок визначення оптимального інтервалу переміщення робота призначений для виділення одного інтервалу вільного від перешкод на основі множини вхідних інтервалів. Такий інтервал визначається для оптимального переміщення до точки цілі у середовищі з перешкодами. Окрім значень координат точок інтервалів вільних від перешкод, вхідною є також інформація про координати точки глобальної цілі. У зазначеному блоці аналізуються також розміри інтервалу та габарити платформи робота з метою забезпечення маневрування у вузьких проїздах. Вихідною інформацією є координати правої та лівої точок оптимального інтервалу переміщення робота.

На основі розміщення оптимального інтервалу переміщення робота у блоці визначення локальної цілі визначаються координати точки $D(x,y)$ – середини зазначеного інтервалу, як локальної цілі, до якої здійснюватиметься побудова б8вто робот переміщення робота.

Аналітичний блок призначений для прийняття рішення стосовно способу побудови б8вто робот переміщення мобільного робота до локальної цілі. Для цього аналізується кут φ між прямою, що сполучає точки позиції робота і локальної цілі та прямою оптимального інтервалу для переміщення робота. В залежності від значення кута φ подальше управління мобільним роботом можливе за трьома сценаріями: прямолінійного переміщення, переміщення по дузі ліворуч чи переміщення по дузі праворуч до локальної цілі.

У випадку, коли блоком визначення оптимального інтервалу переміщення мобільного робота не виявлено оптимального інтервалу для переміщення, то аналітичний блок фіксує даний факт і направляє виконання алгоритму до блоку виходу із тупику.

Основним призначення блоку виходу із тупику є виведення робота у позицію, з якої можливе досягнення глобальної цілі. Така ситуація розглядається для випадку попадання робота у позицію, коли не виділений жоден інтервал, вільний від перешкод. Тут можливий розворот мобільного робота на 90 градусів, або ж повернення у попередню точку руху робота.

Для сценарію руху мобільного робота по прямій лінії (кут $\varphi = 90^\circ$, що фіксується аналітичним блоком), у блоці побудови б8вто робот прямолінійного

руху здійснюється розрахунок параметрів рівняння прямої, як б9вто робот, що сполучає позицію центру маси робота і локальної цілі. Рівняння прямої лінії є виходом зазначеного блоку.

Аналогічне призначення блоків побудови б9вто робот руху мобільного робота по дузі для випадків, коли кут $\varphi < 90^\circ$ або $\varphi > 90^\circ$, що фіксуються аналітичним блоком. У таких випадках вихідною інформацією будуть рівняння кола, дуги яких сполучають центр маси робота та точку локальної цілі.

На підставі рівняння б9вто робот руху робота до локальної цілі у блоці планування маневрів забезпечується розрахунок кута β_1 для виводу робота на трек і визначення кута β_2 руху по дузі (лише у випадку кута $\varphi < 90^\circ$ або $\varphi > 90^\circ$). У випадку прямолінійного руху робота для переміщення до цілі ($\varphi = 90^\circ$), кут β_2 не розраховується ($\beta_2=0$). Отже кути β_1 та β_2 є виходами зазначеного блоку, які послідовно подаються у блок виконання маневрів.

У блоці виконання маневрів виконується застосування кінематичних або динамічних моделей для виконання маневрів роботом. При цьому визначаються швидкості лівого та правого коліс робота, значення яких передаються на відповідні контролери двигунів.

У випадку, коли координати позиції робота збігаються, або є в деякому околі Δ до точки $T(x,y)$ глобальної цілі, аналітичний блок досягнення цілі та локалізації робота генерує команду блоку виконання маневрів про зупинку робота. В іншому випадку, коли глобальна ціль ще не досягнута, на основі б9вто робот локальної цілі та інформації виконання маневрів, виконується задача локалізації мобільного робота, в результаті якої координати положення робота передаються в блок відслідковування переміщення.

Блок відслідковування переміщення мобільного робота зберігає усю послідовність рухів робота. Тобто забезпечується накопичення координат усіх точок, в які переміщується робот. Така інформація потрібна для ситуації моніторингу позицій робота, а також для реалізації алгоритмів виходу із тупику.

При переміщенні мобільного робота на один крок, який відповідає одному циклу розрахунків алгоритму управління, мобільний робот переміщується у нову позицію в середовищі, що призводить до отримання нових показів сенсорів. На

основі нових показів сенсорів, цикл управління мобільним роботом при навігації до цілі повторюється.

Таким чином, у даному параграфі розроблено узагальнену та деталізовану схеми управління мобільним роботом, що дозволяють представляти та удосконалювати алгоритми поведінки при виконанні задач стабілізації та побудови 70вто робот.

У наступному параграфі представляються результати імітаційного моделювання для програмної реалізації запропонованих моделей у відповідності до представлених вище схем управління роботом.

4.3. Імітаційне моделювання стабілізації колісного мобільного робота

На основі розроблених у другому розділі дипломної роботи моделей стабілізації колісного мобільного робота, а також системи управління, що наведена у параграфі 3.1, проведемо експериментальні дослідження із використанням середовища програмування та імітаційного моделювання MATLAB.

З метою візуалізації робота створено функцію $Mu_robot()$ у MATLAB, що містить чотири параметри: координату x та y положення робота на глобальній карті середовища у декартовій системі координат, а також кут відносно осі абсцис та розмір платформи робота. Код програми зазначеної функції наведено у додатку В. У дослідженнях передбачається моделювання робота, що має квадратну форму. Розмір платформи задається параметром функції $Mu_robot()$, який задає половину горизонтального чи вертикального розміру. Для розрахунку координат точок кутів контуру платформи робота при відображенні робота під різними кутами, що задаються відповідним параметром функції $Mu_robot()$, використаємо Афінні перетворення [3,42]. При цьому, для знаходження координат точки (x,y) , що отримуються в результаті обертання робота на кут θ навколо осі Z застосовують матричні перетворення (3.1):

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}, \quad (3.1)$$

де (a,b) – координати точки, позиція якої змінюється, (x,y) – розраховані нові координати точки (a,b) внаслідок її обертання на кут θ по осі Z.

Демонстрування роботи функції візуалізації положення робота представлено на рисунок 3.2, як результат виконання команди MATLAB:

“for i=0:10:40; My_robot(0,0,i,10); end;”, яка позиціонує робота у п’яти кутових положеннях в діапазоні $[0..40]$ градусів, залишаючись у позиції початку координат. Пів-розмір робота при цьому становить 10 одиниць.

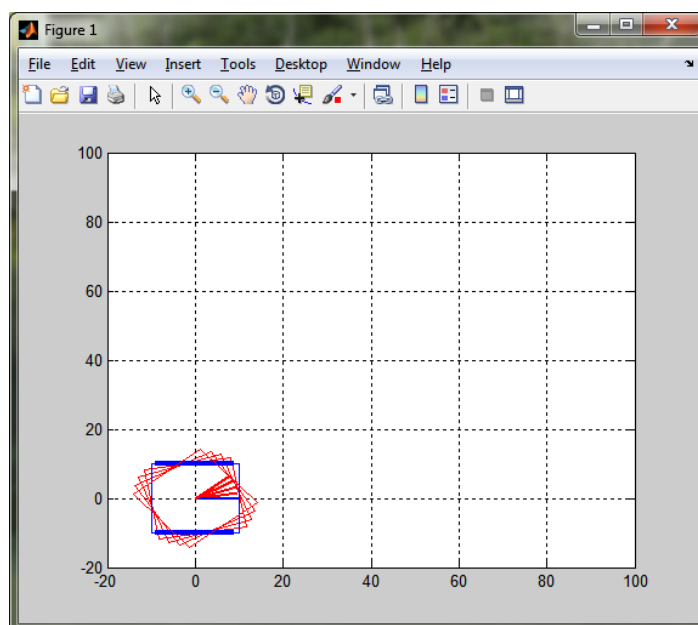


Рисунок 3.2 – Візуалізація положення робота функцією My_robot()

Для визначення інтервалу переміщення робота, який вважатимемо інтервалом вільним від перешкод, а також з метою наглядності та спрощення представлення, його розміщення і положення задаватимуться ручним введенням (рисунок 3.3). З цією метою на середовищі розміром 100x100 з допомогою курсору та вказівника «миші» задамо позиції двох точок. В результаті отримаємо декартові координати спочатку лівої точки L , а потім правої R точок інтервалу вільного від перешкод. На основі координат зазначених точок, автоматично розраховується координати точки $D(x_D, y_D)$ середини інтервалу, як точки локальної цілі слідування мобільного робота (рисунок 3.3). Введені значення представляють вхідну інформацію для імітаційного моделювання розроблених моделей стабілізації

мобільного робота. Таким чином, задається точка локальної цілі, до якої будується трек переміщення, а також координати двох точок L та R , які є межами інтервалу вільного від перешкод. Також вхідною інформацією будемо вважати точку центру маси робота $O(x_o, y_o)$, яка знаходиться у центрі системи координат.

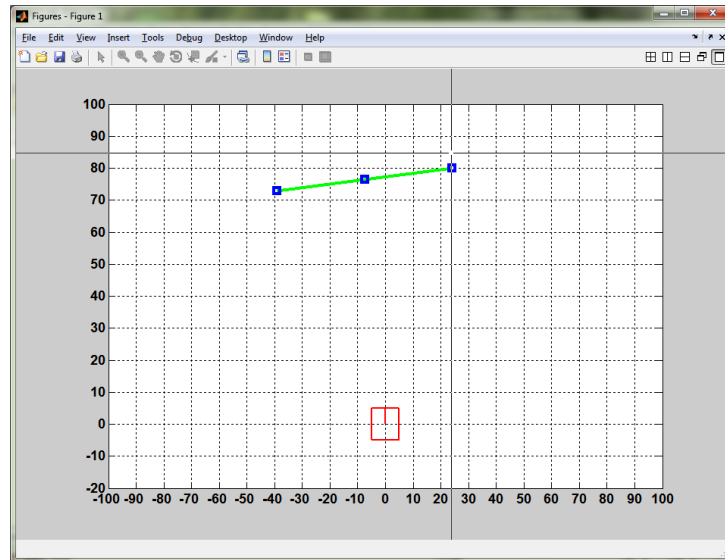


Рисунок 3.3 – Ввід координат інтервалу переміщення робота

Далі, представимо розв’язок задачі стабілізації колісного мобільного робота, яка полягатиме у побудові треку для переміщення його центру маси до точки D локальної цілі під кутом, що є перпендикулярним до положення інтервалу, вільного від перешкод.

Як наведено у другому розділі дипломної роботи, в залежності від розміщення прямої інтервалу вільного від перешкод по відношенню до робота (кут φ) – можливі три сценарії поведінки робота.

Розглянемо перший сценарій, коли $\angle\varphi = 90^\circ$. За таких умов, робот повинен забезпечувати прямолінійне переміщення до цілі. У зв’язку із великою рідкістю отримання ситуації, коли кут $\angle\varphi = 90^\circ$, на практиці користуються деяким допуском, який реалізує аналогічну поведінку робота при невеликих відхиленнях кута від зазначеної величини. З цією метою будемо вважати, що кут $\angle\varphi = 90^\circ$ коли відхилення величин OL від OR є меншим п’яти (3.2).

$$\begin{cases} (OL - OR) = \Delta; \\ |\Delta| < 5. \end{cases} \quad (3.2)$$

Така ситуація спростить проведення обчислень і приведе до використання меншої довжини треку переміщення робота при майже тотожній поведінці.

Після введення інтервалу переміщення робота і розрахунку координат точки локальної цілі, забезпечується розрахунок коефіцієнтів рівняння прямої лінії. Наступним етапом є поворот робота навколо центру своєї маси в напрямку до цілі. Результати проведення зазначених операцій представлено на рисунок 3.4.

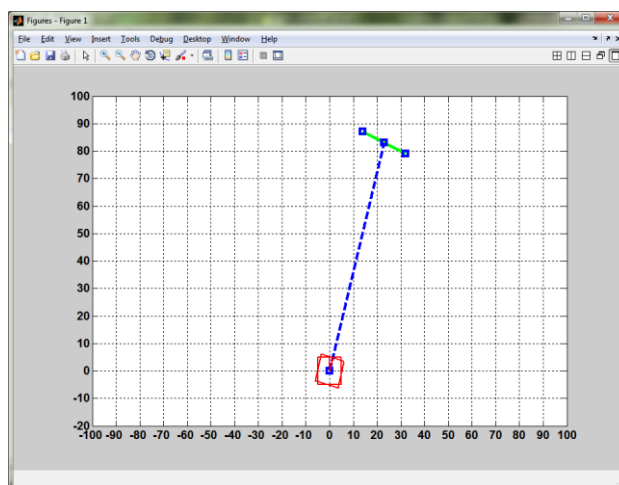


Рисунок 3.4 – Побудова прямої лінії і поворот робота у напрямку до локальної цілі при прямолінійному переміщенні

Наступним етапом є виконання маневру прямолінійного переміщення мобільного робота в результаті обертання двох коліс з однаковою швидкістю до моменту досягнення локальної цілі, як кінцевої точки руху. По досягненні кінцевої точки руху, робот буде знаходитись під кутом 90 градусів (перпендикулярно) до інтервалу. Переміщення робота по зазначеному сценарію із кроком в 5 одиниць по вісі абсцис представлено на рисунок 3.5.

Результати імітаційного моделювання поведінки мобільного робота за іншими напрямками руху при $\angle\varphi = 90^\circ$ наведено у додатку Г. Сценарій поведінки мобільного робота при $\angle\varphi = 90^\circ$ реалізовано у вигляді функції MATLAB: $f_{i_90}()$, лістинг якої наведено у додатку Д. Вхідними параметрами даної функції є значення координат трьох точок L, R, D , що були представлені вище.

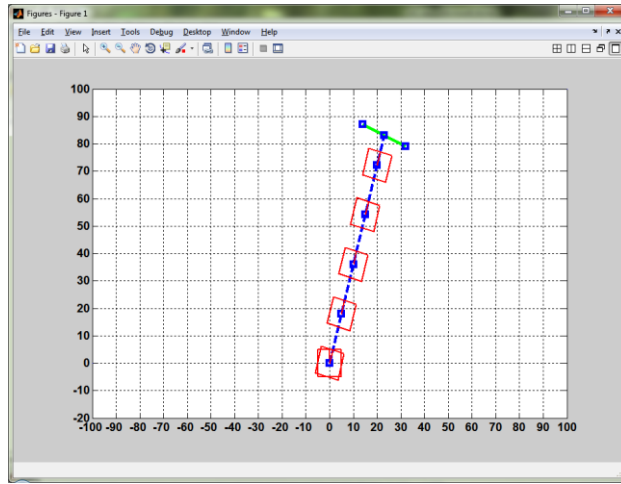
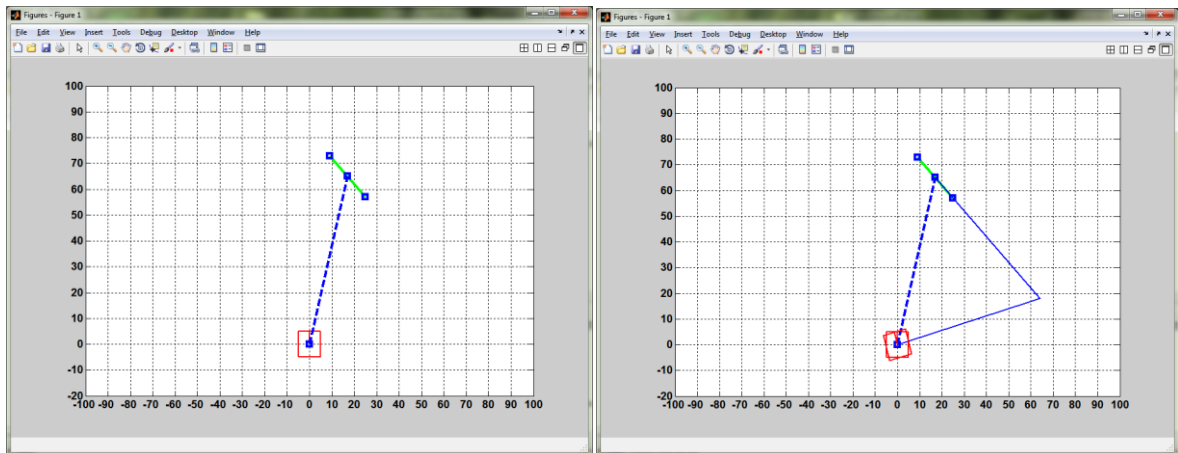


Рисунок 3.5 – Маневрування мобільного робота при прямолінійному переміщенні

Розглянемо другий сценарій, коли $\angle\varphi < 90^\circ$. За таких умов, робот повинен забезпечувати переміщення до цілі по дузі. Після введення інтервалу вільного від перешкод (рисунок 3.6а), для переміщення робота виконується процедура розрахунку координат точки центру кола (рисунок 3.6б).



а)

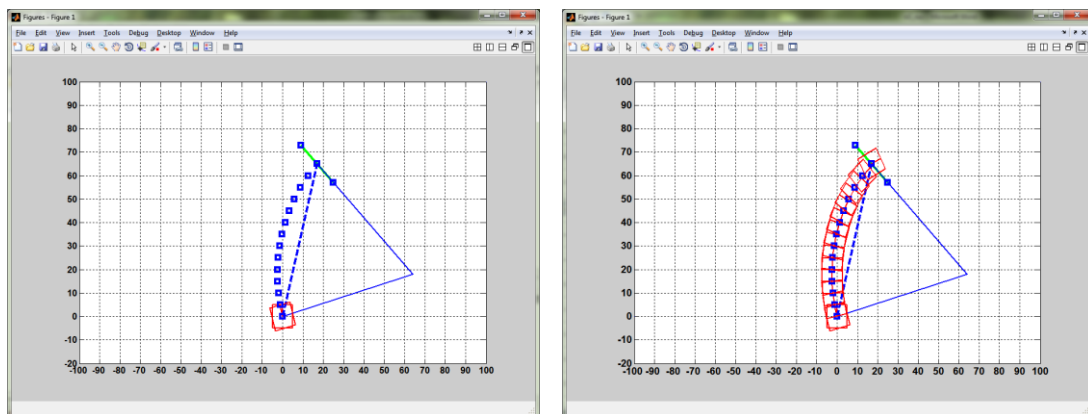
б)

Рисунок 3.6 – Представлення процесу введення інтервалу вільного від перешкод (а) та розрахунку координат центру кола дуги (б) для побудови 74вто робот руху робота при $\angle\varphi < 90^\circ$

На підставі розрахованих координат центру кола, відбувається розрахунок параметрів рівняння кола для побудови 74 вто робот переміщення робота до локальної цілі. Після здійснення наведених розрахунків визначається кут β_1 для встановлення мобільного робота в позицію дотичної до кола у точці початку

маневрування (рисунок 3.6б). Отримані розрахунковим чином параметри рівняння кола дозволяють знайти координати (x,y) усіх точок кола. Тому, для імітаційного моделювання, у циклі змінюємо значення координати y починаючи від значення y початкового положенні робота до значення положення локальної цілі, тобто $(0..y_D)$. Для кожного значення y згідно рівняння кола знаходимо значення координати x , таким чином сформувавши покроковий трек (75 втو робот) для переміщення мобільного робота. Результати зазначених операцій представлено на рисунок 3.7а.

Після здійснення розрахунку 75 втo робот, для переміщення мобільного робота, у кожній його позиції здійснюємо визначення кута β_2 , для позиціонування робота у напрямку дотичної. Для знаходження кута, на який повинен повернутись мобільний робот, у кожній точці траекторії руху до цілі, відносно початкового положення використовують два значення: β_1 та β_2 . Таким чином вирішується задача стабілізації мобільного робота, що полягає у покроковому представленні способу переміщення мобільного робота для досягнення локальної цілі під кутом 90 градусів по відношенні до лінії інтервалу вільного від перешкод. Імітаційне моделювання маневрування робота від початкового положення до локальної цілі представлено на рисунок 3.7б, що і є розв'язком поставленої задачі.



а)

б)

Рисунок 3.7 – Траекторія переміщення мобільного робота (а) та повороти робота для руху по дотичній (б) при маневруванні до локальної цілі при $\angle\varphi < 90^\circ$

Результати імітаційного моделювання зазначеного підходу розв'язку задачі стабілізації колісного робота при сценарії, коли $\angle\varphi < 90^\circ$ у різних положеннях інтервалу, вільного від перешкод відносно мобільного робота наведено у додатку Е. Імітаційне моделювання рішення задачі стабілізації робота при сценарії, коли $\angle\varphi < 90^\circ$ реалізовано у вигляді виконання функції MATLAB `fi_menshe90()`, вхідними параметрами якої є значення координат трьох точок L , R , D , що були представлені вище. Лістинг зазначеного програмного модуля наведено у додатку Ж.

Останнім можливим сценарієм при вирішенні задачі стабілізації колісного мобільного робота по відношенні до кута φ є випадок, коли $\angle\varphi > 90^\circ$. Імітаційне моделювання зазначеного сценарію подібне до ситуації, коли $\angle\varphi < 90^\circ$, що наведено вище. Наведемо хід проведення даних досліджень.

Отже, після введення значень координат точок інтервалу вільного від перешкод (рисунок 3.8а), для переміщення робота виконується процедура розрахунку значень координат точки центру кола та параметру рівняння кола (рисунок 3.8б).

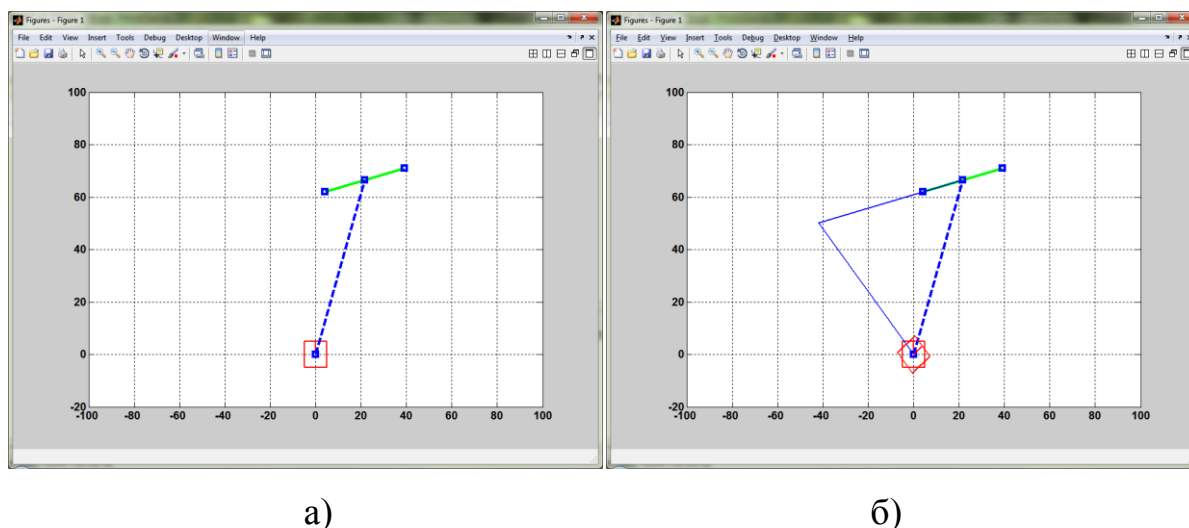


Рисунок 3.8 – Представлення процесу введення інтервалу вільного від перешкод (а) та розрахунку координат центру кола дуги (б) для побудови 7бвто робот руху робота при $\angle\varphi > 90^\circ$

На основі значення параметрів рівняння кола здійснюється розрахунок значень координат точок дуги 77вто робот руху робота до локальної цілі (рисунок 3.9а). Для цього, аналогічно як і в попередньому випадку, для усіх точок треку у відповідність до значення координати y , яка змінюється в діапазоні $[0..y_D]$ розраховуються значення координати x .

Після зазначеної операції визначаються значення кутів β_1 та β_2 дотичних до кола для визначення положення мобільного робота у кожній точці треку. Результати імітаційного моделювання даних процесів представлено на рисунок 3.9.

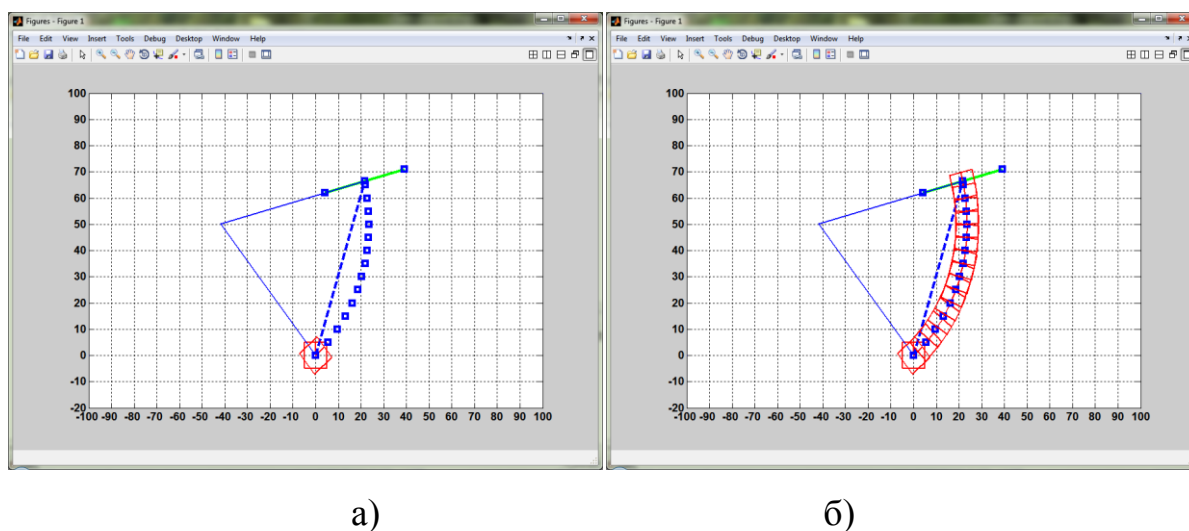


Рисунок 3.9 – Траекторія переміщення мобільного робота (а) та повороту робота для руху по дотичній (б) при маневруванні до локальної цілі при $\angle\varphi > 90^\circ$

Результати імітаційного моделювання зазначеного підходу розв’язку задачі стабілізації колісного робота при сценарії, коли $\angle\varphi > 90^\circ$ у різних положеннях інтервалу, вільного від перешкод відносно мобільного робота наведено у додатку И. Імітаційне моделювання рішення задачі стабілізації робота при сценарії, коли $\angle\varphi > 90^\circ$ реалізовано у вигляді виконання функції MATLAB `fi_bilshe90()`, входними параметрами якої є значення координат трьох точок L , R , D , що були представлені вище. Лістинг зазначеного програмного модуля наведено у додатку Й.

В цілому імітаційне моделювання містить основний блок у вигляді виконання головної процедури “*main_stabilization*”, яка об’єднує всі решту

функцій. У зазначеній процедурі виконуються функції вводу інтервалу вільного від перешкод (рисунок 3.3), а також розраховується кут φ . Після цього, в залежності від значення кута φ , виконуються функції, що описують вище наведені сценарії поведінки мобільного робота. Лістинг програми, що реалізує процедуру “*main_stabilization*” наведено у додатку К.

Таким чином сукупність програмних модулів можна представити схемою їх взаємозв’язку (рисунок 3.10).

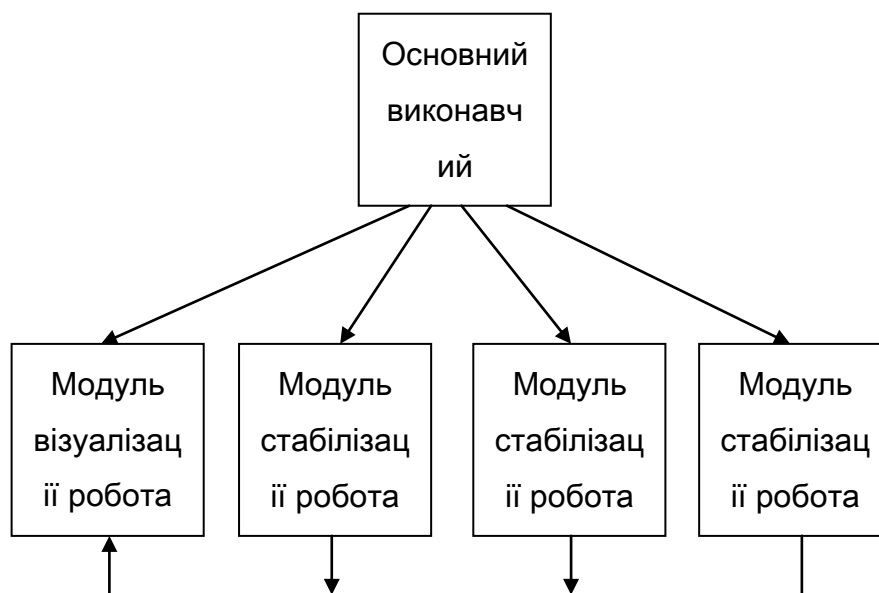


Рисунок 3.10 – Схема взаємозв’язку програмних модулів

Виконання зазначених модулів представлено відповідними лістингами програм, які приведені у додатках дипломної роботи. Відповідність назв процедур та функцій до представлених на рис 3.10 програмних модулів наведено на рисунок 3.11.

В цілому основний модуль, який є результатом імітаційного моделювання відображає стабілізацію мобільного робота при маневруванні до локальної цілі. У випадку ж навігації до глобальної цілі руху робота у невідомому середовищі, виконання зазначеної процедури повторюватиметься викликами робота у положеннях, що визначені у попередньому параграфі і відображено на рисунок 2.5.

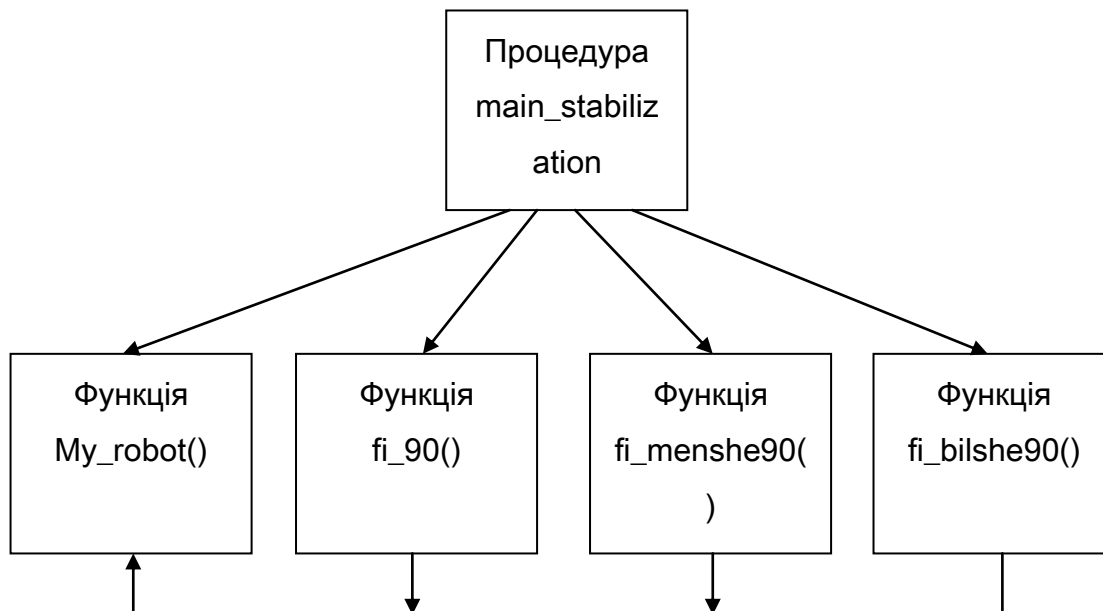


Рисунок 3.11 – Схема взаємозв'язку функцій та процедур, що представлені на рисунку 3.10

Таким чином у даному параграфі представлено опис та результати імітаційного моделювання задачі стабілізації роботи у невідомому середовищі. Таке моделювання проводилось із використанням програмного засобу MATLAB та дозволяє оцінити коректність теоретичних рішень, що представлені у попередньому розділі дипломної роботи.

Додатково, розроблено схему взаємозв'язку програмних модулів, що реалізують процедури, що використані при імітаційному моделюванні і містять практичну цінність виконаних робіт.

4.3. Захист програмно-апаратної системи

У даному параграфі розглянемо основні принципи захисту інформації програмно-апаратних систем, що можуть виникати при розробці ПЗ та експлуатації мобільних роботів.

Особливість використання засобів захисту для робототехнічних систем полягає в тому, що найважливішим завданням стає захист інформації в комп'ютерних мережах, за допомогою яких віддалено 79вто роботів із роботом.

У свою ж чергу, виконання процедур криптографії, шифрування й

дешифрування, сповільнює передачу даних і зменшує їхню доступність, що критично впливає на швидкість самого мобільного робота, або ж на швидкість опрацювання одного циклу його функціонування. Тому, такі засоби безпеки повинні гарантувати опрацювання інформації вчасно, а потім вже забезпечувати її конфіденційність. Потрібен пошук оптимального співвідношення між доступністю й безпекою.

Одним із рішень може бути запропонований власний протокол комунікації із роботом, що унеможливить застосування хакерських програм, які розраховані на класичні мережі типу TCP/IP і будуть не функціональні при використанні модифікованих чи абсолютно нових протоколів.

Іншою можливістю є апаратна організація власної мережі. Адже захисні властивості електронних систем безпеки будуть специфічні та унеможливлять втручання.

Іншим видом захисту для програмних частин мобільних роботів повинен забезпечуватись як на етапі програмування, так і на рівні виконання розроблених програмних продуктів. Тому, доцільним у даному напрямі є використання паролів. Використання системи паролів повинна забезпечуватись певними вимогами, які унеможливлять застосування так званих «слабких паролів», що можна легко підібрати чи вгадати хакерами. До таких вимог можуть бути віднесені системи підтверджуючих кодів, які користувач повинен підтверджувати при доступі до ресурсів, забезпечуючи захист від 80% роботів, та засобів підбору паролів. Також безпека забезпечується і складністю самих паролів, та часом їх життя.

Захист інформації не обмежується лише технічними методами. Спектр засобів захисту програмно-апаратних систем є достатньо широким. В той же час, застосування усіх напрямів захисту є недоцільним через ефект більших затрат ніж користі. Тому, для визначення напрямів захисту інформації, потрібно визначити можливі загрози, що найбільш імовірно спричиняють вплив на забезпечення безпеки систем.

Актуальність захисту інформації від різних атак, представлено на прикладі даних, опублікованих Computer Security Institute (Сан-Франциско, штат Каліфорнія, США), згідно з якими порушення захисту комп'ютерних систем

відбувається з таких причин [19,31]:

- несанкціонований доступ — 2 %
- укорінення вірусів — 3 %;
- технічні відмови апаратних засобів мережі — 20 %;
- цілеспрямовані дії персоналу — 20 %;
- помилки персоналу (недостатній рівень кваліфікації) — 55%.

Отже, однією з найбільшими загрозами в інформаційних системах слід вважати дії персоналу, оскільки вони становлять 75 % усіх випадків.

Стосовно застосувань в мобільних роботах, то тут особливо важливою є аналіз загроз, що можуть призвести до виходу із ладу високо-вартісного обладнання через атаки, як на програмному так і на апаратному рівні, адже комунікація із роботом здійснюється із використанням мережевих технологій. Тому для організації безпеки, планується використання комплексної системи захисту.

Для розробки комплексної системи захисту інформації доцільно детально розглянути існуючі канали несанкціонованого доступу, та розробити систему захисту, яка буде забезпечувати блокування технічних каналів витоку.

Технічними каналами несанкціонованого доступу є акустичний, віброакустичний, канал електромагнітного випромінювання направлено і наведеного на систему.

Задача системи захисту полягає у аналізі попередження та блокування кількості каналів, що підлягають захисту.

Для захисту інформації необхідно виокремити ряд типових кроків, які слід забезпечити для уникнення несанкціонованого витоку даних:

- організувати захист приміщень, в яких аналізується інформація з обмеженим доступом;
- заблокувати можливість витоку інформації через телефонні лінії;
- забезпечувати службу безпеки пошуковими технічними засобами;
- забезпечувати контроль стосовно перебування сторонніх осіб на об'єкті розробок.

Для комплексного захисту інформації використовують: технічні фізичні,

організаційні та правові заходи.

До технічних засобів належать апаратні, програмні та криптографічні засоби захисту.

Серед апаратних засобів належать такі засоби, як:

- засоби зашумлення (електромагнітного та акустичного);
- кодові замки;
- пристрої ідентифікації;
- схеми аналізу переривань у лінії зв'язку;
- спеціальні засоби аналізу сховищ зберігання параметрів захисту – паролей, ідентифікуючих кодів, рівнів секретності тощо.

Програмні засоби також повинні підлягати захисту. За функціональним призначенням програмні засоби захисту поділяють на:

- захист файлів;
- визначення прав доступу до ресурсів об'єктів та суб'єктів;
- засоби контролю роботи апаратних засобів та користувачів;
- засоби аудиту роботи апаратних засобів та користувачів при обробці інформації;
- видалення інформації з пам'яті після використання;
- сигналізації щодо несанкціонованих дій;
- аналізатори роботи засобів захисту тощо.

Фізичні заходи захисту. До них належать засоби створення пристроїв та споруд, які ускладнюють або унеможливають проникнення потенційних порушників у місця, де можна мати доступ до захищеної інформації. Застосовують: фізичну ізоляцію споруд; огороження території на предмет проникності до зовнішніх електромагнітних випромінювань; організацію контрольно-пропускних пунктів; організацію системи охоронної сигналізації.

Організаційні заходи захисту – це сукупність організаційно-технічних і організаційно-правових заходів, які регламентують процес функціонування систем та мереж. Такі заходи здійснюються на всіх етапах життєвого циклу проектування й експлуатації систем.. Такі заходи включають: уникнення таємного проникнення; заходи стосовно підбору та підготовки персоналу; організацію пропускного

режиму; організацію підготовки та контролю роботи користувачів.

До правових заходів відносять законодавчі акти, що діють в державі та систему нормативно-розпорядчих документів організацій, які регламентують правила поводження з інформацією обмеженого поширення та відповідальність за їхні порушення, запобігаючи у такий засіб несанкціонованому використанню інформації.

Таким чином, комплексна система інформаційної безпеки може бути досягнута за рахунок застосування комплексу організаційних, технічних, економічних та правових заходів, спрямованих на виявлення та блокування різноманітних каналів витоку інформації.

Для організації комплексного захисту можна використати наступні продукти існуючі засоби, що пропонуються відповідними розробниками:

Check Point Power-1

Облаштування Check Point Power – 1™ дозволяють організаціям забезпечувати максимальну безпеку високопродуктивних середовищ, таких як великі кампусні мережі або центри обробки даних. Пристрої поєднують програмні модулі Check Point Firewall, Ipsec VPN, Intrusion Prevention і сучасні технології прискорення, що забезпечує високопродуктивну платформу для захисту багатогігабітних середовищ.

LanAgent Terminal

LanAgent Terminal – легко масштабований інструмент для стеження за діями користувачів термінальних клієнтів. Дозволяє ефективно здійснювати моніторинг роботи «тонких клієнтів».

RSA Data Loss Prevention Suite

Система RSA Data Loss Prevention (DLP) допомагає виявити ризики, пов'язані з втратою конфіденційних даних і оперативно їх понизити за рахунок заходів, що коригують, заснованих на заданій політиці і посиленні контролю над циркуляцією даних. Система розроблена для зниження ризику незалежно від того, чи зберігаються дані в інформаційному центрі, чи передаються по мережі, або обробляються користувачем на робочій станції. Система RSA DLP використовує централізоване управління політиками в усіх трьох складових її компонентах: RSA

Data Loss Prevention Datacenter, Network і Endpoint. Це дозволяє спростити впровадження і забезпечити погоджений безперервний процес управління усією конфіденційною інформацією на підприємстві.

LanAgent NetworkFilter

LanAgent NetworkFilter – спеціальний модуль, призначений для контролю інформації, що передається по мережі. Окрім перехоплення повідомлень агент, дозволяє перехоплювати листи, що як отримуються і відправляються через поштові клієнти, так і відправляються через web інтерфейс.

Symantec Data Loss Prevention 11

Data Loss Prevention від Symantec — комплексне рішення забезпечення безпеки, яке призначене для пошуку, моніторингу і захисту конфіденційної інформації з урахуванням її вмісту. Цей продукт виявляє секретні дані незалежно від їх розташування: в мережі, на системах зберігання або на кінцевих точках, з визначенням власника даних для спрощення подальших процедур.

Zscaler Security as a Service (SaaS)

Послуга Security as a Service, (Zscaler), забезпечує інтегрований захист інтернет-трафіку і електронної пошти, що дозволяє понизити витрати, спростити адміністрування і при цьому підвищити рівень безпеки.

Таким чином, у даному параграфі представлено основні напрями захисту програмно-апаратних засобів на основі яких розроблено пропозиції по використанню сучасних засобів організації безпеки, використання яких дозволяє організувати достатньо високий ступінь безпеки, що носить практичну значущість у роботі.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Питання охорони праці людини необхідно вирішувати на всіх стадіях трудового процесу незалежно від виду професійної діяльності.

Забезпечення безпечних і здорових умов праці в значній мірі залежить від правильної оцінки небезпечних, шкідливих виробничих факторів. Однакові по складності зміни в організмі людини можуть бути викликані різними причинами. Це можуть бути фактори виробничого середовища, надмірне фізичне і розумове навантаження, нервово-емоційна напруга, а також різне сполучення цих причин.

У даному розділі вирішується питання охорони праці програміста на стадії розробки ним програмного комплексу, призначеного для контролю готових виробів на наявність дефектів, діагностики й ідентифікації дефектів працюючого устаткування за допомогою дослідження їхніх спектральних графіків.

Місце праці програміста знаходиться в навчальному корпусі у лабораторії «Спеціалізованих комп'ютерних систем».

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на програміста при розробці програмного комплексу

4.1 Організація робочого місця

Приміщення, в якому працює програміст, має загальну площу 25 м^2 , висоту стелі 2,8 м. У приміщенні знаходиться 8 робочих місць з персональними комп'ютерами (ПК). Кожне робоче місце обладнане столом площею $1,2 \text{ м}^2$, стільцем та персональним комп'ютером, що складається з монітора, системного блоку, клавіатури та миші. Слід відзначити, що площа одного робочого місця оператора ПК не повинна бути меншою за 6 м^2 , а об'єм не менший за 20 м^3 [24], тобто площі та об'єму даного приміщення не вистачає для розташування 8 робочих місць операторів ПК.

Аналіз умов праці показує, що у приміщенні лабораторії на програміста можуть негативно впливати наступні фізичні та психофізіологічні фактори:

- підвищена або знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена або знижена вологість повітря;
- недостатня освітленість робочого місця;
- підвищений рівень шуму на робочому місці; –
підвищена іонізація повітря;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- нервово-психічні перевантаження (розумова перенапруга, перенапруга аналізаторів);
- фізичні перевантаження (одноманітна поза викликає статичну втому).

4.2 Мікроклімат робочої зони програміста

Робота програміста за енерговитратами відноситься до категорії легких робіт Іа, Іб, тому повинні дотримуватися наступні вимоги згідно ДСН 3.3.6.042-99:

– оптимальна температура повітря – 22°C (допустима – $20\text{-}24^{\circ}\text{C}$), оптимальна відносна вологість – 40-60% (допустима – не більш 75%), швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с.

Виміряні за допомогою приладів (психрометр Августа) температура та вологість у лабораторії відповідають вказаним у таблиці для теплого періоду року.

Розташовані у приміщенні 8 ПК є джерелами тепловиділень, крім того для підтримання у приміщенні в холодний період року оптимальних параметрів мікроклімату використовуються нагріті поверхні опалювальної системи. Нормованим показником ІЧВ є гранично допустима густина потоку енергії Іг.д, $\text{Вт}/\text{м}^2$, яка встановлюється в залежності від площі опромінюваної поверхні тіла людини ($S_{\text{опр}}$). Нормовані рівні складають: Іг.д = $35 \text{ Вт}/\text{м}^2$ при $S_{\text{опр}} > 50\%$; Іг.д = $70 \text{ Вт}/\text{м}^2$ при $S_{\text{опр}} \sim 25\text{-}50\%$; Іг.д = $100 \text{ Вт}/\text{м}^2$ при $S_{\text{опр}} < 25\%$

4.3 Освітлення робочого місця

Нормованим параметром природного освітлення згідно ДБН В.2.5–28 – 2006 являється коефіцієнт природного освітлення (КПО). КПО встановлюється в залежності від розряду виконуваних зорових робіт. Робота програміста

відноситься до робіт середньої точності (IV розряд зорових робіт, мінімальний розмір об'єкту розрізнення складає 0,5-1,0мм), для яких при використанні бокового освітлення КПО=1,5%. Для штучного освітлення нормованим параметром виступає $E_{мін}$ – мінімальний рівень освітленості, та K_p – коефіцієнт пульсації світлового потоку, який не повинний бути більшим ніж 20%. Мінімальна освітленість встановлюється в залежності від розряду виконуваних зорових робіт. Для IV розряду зорових робіт вона складає 300-500 лк.

4.3.1 Перевірка освітленості робочого місця програміста в лабораторії на кафедрі ЕОМ на відповідність розряду зорової роботи

За даними вимірювань (люксметр Ю-116) рівень природної освітленості поверхні, де розташований ПК програміста, складає 200 лк при освітленості тієї ж поверхні відкритим небосхилом в 20000 лк, тобто КПО = 1%, що не відповідає нормативному КПО.

Для штучного освітлення у приміщенні використовуються люмінесцентні лампи, які в порівнянні з лампами розжарювання мають ряд істотних переваг: за спектральним складом світла вони близькі до природного світла; мають підвищену світлову віддачу (у 2-5 разів вищу, ніж у ламп розжарювання); мають триваліший термін служби (до 10 тис. Годин).

Розрахунок штучного освітлення проведемо для кімнати площею 25 м^2 , ширина якої складає 5м, довжина – 5м, висота – 2,8м за методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Для визначення потрібної кількості світильників, які повинні забезпечити нормований рівень освітленості, визначимо світловий потік, що падає на робочу поверхню за формулою (4.1):

$$F = \frac{ESKZ}{n}, \quad (4.1)$$

де F – світловий потік, що розраховується, Лм;

E – нормована мінімальна освітленість, Лк; $E = 300 \text{ Лк}$;

S – площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку $S=25 \text{ м}^2$);

- Z – відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1,1... 1,2, в нашому випадку $Z = 1,1$);
- K – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників в процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення і характеру робіт, що проводяться в ньому, в нашому випадку $K = 1,5$);
- n – коефіцієнт використання світлового потоку, (виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп, і обчислюється в долях одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, забарвлення стін і стелі, що характеризуються коефіцієнтами відбиття від стін ($\rho_{ст.}$) і стелі ($\rho_{стелі}$), значення коефіцієнтів дорівнюють $\rho_{ст.} = 40\%$ і $\rho_{стелі} = 60\%$).

Обчислимо індекс приміщення за формулою (4.2):

$$i = \frac{S}{h(A + B)}; \quad (4.2)$$

де S – площа приміщення, $S = 25 \text{ м}^2$;

h – розрахункова висота підвісу, $h = 2,8 \text{ м}$;

A – ширина приміщення, $A = 5 \text{ м}$;

B – довжина приміщення, $B = 5 \text{ м}$.

Підставивши значення отримаємо: $i = 0,89$. Знаючи індекс приміщення, за [27] знаходимо $n = 0,23$. Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку F (4.3):

$$F = \frac{300 * 1.5 * 2.5 * 1.1}{0.23} = 53804 \text{ Лм} \quad (4.3)$$

Для освітлення використані люмінесцентні лампи типу ЛБ 40-1, світловий потік яких $F = 4320 \text{ Лм}$.

$$N = \frac{F}{F_{л}}, \quad (4.4)$$

де N – визначуване число ламп;

F – світловий потік, $F = 45000$ Лм;

$F_{л}$ – світловий потік однієї лампи, $F_{л} = 4320$ Лм.

$$N = 53804 / 4320 = 12. \quad (4.5)$$

В приміщенні використовуються світильники типу ЛПО. Кожен світильник комплектується трьома лампами. Тобто необхідно використовувати 4 світильники із 12 працюючими лампами в них.

У лабораторії, де аналізувалось робоче місце програміста працює 12 ламп, тому рівень штучного освітлення задовольняє санітарним нормам.

4.4 Вплив шуму на програміста

Як було вказано вище, в лабораторії знаходиться вісім робочих місць з ПК, кожне з яких устатковане монітором, вінчестером в системному блоці, трьома вентиляторами системи охолодження ПК та клавіатурою. Крім того поряд працює периферійна техніка. Таким чином у приміщенні мають місце шуми механічного і аеродинамічного походження, широкосмугові із аперіодичним підсиленням при роботі принтерів. Орієнтовні еквівалентні рівні звукового тиску джерел шуму, що діють на програміста на його робочому місці, представлені в таблиці 4.1. Допустимий еквівалентний рівень шуму для робочого місця програміста складає 50 дБА [29]. Розрахуємо середній рівень шуму на робочому місці оператора при роботі всієї вказаної техніки.

Таблиця 4.1 – Рівні звукового тиску від різних джерел.

Джерело шуму	Рівень шуму, дБА
Жорсткий диск	45
Вентилятор	45
Принтер матричний	55
Сканер	50

Рівень шуму, що виникає від декількох некогерентних джерел, що працюють одночасно, підраховується на підставі принципу енергетичного підсумовування рівня інтенсивності окремих джерел (4.6):

$$L = 10 * \lg \sum_{i=1}^n 10^{0.1 * L_i}, \quad (4.6)$$

де L_i – рівень звукового тиску i -го джерела шуму; n – кількість джерел шуму. Підставивши значення рівня звукового тиску для кожного виду устаткування у формулу, отримаємо: $L = 10 \lg (10^{4,5} + 10^{4,5} + 10^{5,5} + 10^{5,0}) = 44,2$ дБ.

За наявності декількох джерел шуму з однаковим рівнем інтенсивності L_i загальний рівень шуму визначають за формулою: $L = L_i + 10 \lg n$. У нашому випадку таких джерел вісім, отже загальний рівень шуму буде визначатися так: $L = 44,2 + 10 \lg 8 = 53,2$ дБ.

Розраховане значення середнього рівня шуму перевищує гранично допустимий рівень шуму для робочого місця програміста, тобто слід передбачити заходи по зниженню рівня шуму.

4.5 Виробничі випромінювання

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітору комп'ютера представлені в таблиці 4.2. Нормованим параметром невикористаного рентгенівського випромінювання виступає потужність експозиційної дози. На відстані 5 см від поверхні екрану монітору її рівень не повинен перевищувати 100 мкР/год. Максимальний рівень рентгенівського випромінювання на робочому місці програміста зазвичай не перевищує 20 мкР/год.

На відстані 5-10 см від екрана і корпусу монітора рівні напруженості можуть досягати 140 В/м по електричній складовій, що значно перевищує допустимі значення.

Таблиця 4.2 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітора	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітора	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати: для дорослих користувачів для дітей дошкільних установ і що вчаться середніх спеціальних і вищих навчальних закладів	20к В/м

4.6 Електробезпека. Статична електрика.

Приміщення лабораторії за небезпекою ураження електричним струмом можна віднести до 1 класу, тобто це приміщення без підвищеної небезпеки (сухе, без пилу, з нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів).

На робочому місці програміста з всього устаткування металевим є лише корпус системного блоку комп'ютера, але тут використовуються системні блоки, що відповідають стандартам фірми ІВМ, у яких крім робочої ізоляції передбачений елемент для заземлення і провід з жилою, що заземлює, для приєднання до джерела живлення.

Основні причини ураження людини електричним струмом на робочому місці:

- дотик до металевих неструмоведучих частин (корпусу, периферії комп'ютера), що можуть виявитися під напругою в результаті ушкодження ізоляції:
- нерегламентоване використання електричних приладів:
- відсутність інструктажу співробітників з правил електробезпеки.

На протязі роботи на корпусі комп'ютера накопичується статична електрика. На відстані 5-10 см від екрана напруженість електростатичного поля складає 60-280 кВ/м, тобто в 10 разів перевищує норму 20 кВ/м.

4.7 Важкість та напруженість праці

Оцінка напруженості праці здійснювалась на підставі обліку всіх наявних

значущих показників, які можуть перевищувати нормативні рівні [21].

Розподіл функцій за ступенем складності завдання – належить до класу 2 (обробка, виконання завдання та його перевірка). Характер виконуваної роботи – належить до класу 2 (робота за встановленим графіком з можливим його коректуванням у ході діяльності). Навантаження на зоровий аналізатор (при відстані від очей працюючого до об'єкта розрізнення не більше 0,5 м), при тривалості зосередженого спостереження (% часу зміни) – належить до класу 2 (5,0-1,1 мм більше 50 % часу; 1,0-0,3 мм до 50 % часу; менше 0,3 мм до 25 %). Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) – належить до класу 3.2 (більше 4 годин). Монотонність праці. Кількість елементів (приймів, необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово) – належить до класу 3.1 (5-3 прийоми). Режим праці (фактична тривалість робочого дня (год.) – належить до класу 1 (6-7 годин). Наявність регламентованих перерв та їх тривалість – належить до класу 2 (перерви регламентовані, недостатньої тривалості: від 3 % до 7 % часу зміни). Отже робоче місце за показниками напруженості трудового процесу відноситься до класу 3.1 - Шкідливий (напружена праця).

Важкість праці. Оцінка важкості праці здійснюється на підставі обліку всіх наявних значущих показників. При цьому спочатку встановлюється клас кожного із вимірюваних показників, а кінцева оцінка важкості праці встановлюється за показником, який має найвищий ступінь важкості.

Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну): при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук) – належить до класу 1 (до 20000). При загальному навантаженні (при роботі з переважною участю м'язів рук та плечового поясу) – належить до класу 1 (до 10000). Робоча поза – належить до класу 2 (періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом) тулуба, незручним розташуванням кінцівок та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25 % часу зміни.) Нахили корпуса (вимушені, більше 30), кількість за зміну – належить до класу 1 (до 50). Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км: по горизонталі – належить до класу 1 (до 4). По вертикалі

- належить до класу 1 (до 2). Отже робоче місце за показниками важкості трудового процесу відноситься до класу 2 – допустимий, середнє фізичне навантаження.

4.2 Розробка заходів з охорони праці

4.2.1 Ергономіка та організація робочого місця

Після проведення аналізу робочого місця програміста в лабораторії було з'ясовано, що воно не відповідає встановленим вимогам. Також у результаті аналізу були виявлені порушення в організації безпосередньо самого робочого місця програміста. У зв'язку з цим пропонується організувати робоче місце програміста наступним способом:

- висота над рівнем підлоги робочої поверхні, на якій працює програміст, повинна складати 720 мм. Бажано, щоб робочий стіл при необхідності можна було регулювати по висоті в межах 680-780 мм;
- оптимальний розмір поверхні столу 1600 x 1000 мм². Під столом повинен бути простір для ніг з розмірами по глибині 650 мм. Робочий стіл оператора повинен також мати підставку для ніг, розташовану під кутом 15⁰ до поверхні столу. Довжина підставки - 400 мм, ширина - 350 мм. Відстань клавіатури від краю столу повинна бути не більш 300 мм, що забезпечить програмісту зручну опору для передпліч. Відстань між очима й екраном монітору повинне складати 40-80 см;
- робочий стілець програміста повинен бути оснащений підйомно-поворотним механізмом. Висота сидіння повинна регулюватися в межах 400-500 мм. Глибина сидіння повинна складати не менш 380 мм, а ширина - не менш 400 мм. Висота опорної поверхні спинки не менш 300 мм, ширина - не менш 380 мм. Кут нахилу спинки стільця до площини сидіння повинен змінюватися в межах 90 – 110⁰.

Виходячи з результатів аналізу важкості та напруженості праці пропоную скоротити час роботи за комп'ютером, робити перерви сумарний час яких повинен складати 50 хвилин при 8-ми годинній зміні.

4.2.2 Нормалізація повітря робочої зони

Для створення й автоматичної підтримки в лабораторії незалежно від зовнішніх умов оптимальних значень температури, вологості, чистоти і швидкості руху повітря, у холодний час року використовується водяне опалення, у теплий час року застосовується кондиціонування повітря.

4.2.3 Виробниче освітлення

Під час аналізу освітлення на робочому місті програміста було встановлено, що воно гранично відповідає встановленим нормам. Все ж для покращення та умовою перспективи розвитку приміщення рекомендуємо збільшити рівень загальної освітленості приміщення шляхом встановлення 3 додаткових ламп.

Також для підтримки запроєктованого освітлення у чистому виді необхідно скласти графік, де передбачити очищення віконних блоків і світильників не менше 2 разів на рік.

4.2.4 Захист від виробничого шуму

Як міри по зниженню шуму можна запропонувати:

- облицювання стелі і стін звукопоглинаючим матеріалом (знижують шум на 6-8 дБ);
- екранування робочого місця (постановкою перегородок, діафрагм);
- установка в комп'ютерних приміщеннях устаткування, що робить мінімальний шум;
- раціональне планування приміщення.

Для зменшення шуму в аналізованій лабораторії пропоную використовувати замість матричного принтера, що створює багато шуму, більш тихий – лазерний принтер.

4.2.5. Захист від електромагнітних полів

Для попередження впровадження небезпечної техніки всі дисплеї повинні бути сертифіковані.

4.2.6 Електробезпека

Електробезпеку у приміщенні лабораторії пропонується забезпечити наступними технічними способами і засобами захисту:

- для зменшення накопичення статичної електрики застосовувати зволожувачі і нейтралізатори, антистатичне покриття підлоги;
- забезпечити приєднання металевих корпусів устаткування до жили, що заземлює. Заземлення корпусу ПК забезпечити підведенням жили, що заземлює, до розеток. Опір заземлення 4 Ом, згідно (ПУЕ) для електроустановок з напругою до 1000 В.

Забезпечення електробезпеки організаційними заходами:

- своєчасне проведення інструктажів з техніки безпеки;
- заборонення використання непередбачених у лабораторії електричних приладів, таких як електричні чайники, обігрівачі.

4.3 Пожежна безпека

Ступінь вогнестійкості будинків приймається в залежності від їхнього призначення, категорії по вибухопожежній і пожежній небезпеці, по поверховості, площі поверху в межах пожежного відсіку згідно НАПБ Б.03.002-2007.

Будинок, у якому знаходиться лабораторія по пожежній небезпеці будівельних конструкцій відноситься до категорії К1 (малопожежонебезпечні), оскільки тут присутні займисті (книги, документи, меблі, оргтехніка і т.д.) і легкогорючі речовини (сейфи, різне устаткування і т.д.), що при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху.

По конструктивних характеристиках будинок можна віднести до будинків з несучими і огорожуючими конструкціями із природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону, де для перекриттів допускається використання дерев'яних конструкцій, захищених штукатуркою або важкогорючими листовими, а також плитними матеріалами.

Отже, ступінь вогнестійкості будинку можна визначити як третю (III). Приміщення лабораторії по функціональній пожежній небезпеці відноситься до класу Ф 4.2 – вищі навчальні заклади, установи підвищення кваліфікації.

4.3.1 Причини виникнення пожежі

Пожежа в лабораторії, може привести до дуже несприятливих наслідків (втрата коштовної інформації, псування майна, загибель людей і т.д.), тому необхідно: виявити й усунути всі причини виникнення пожежі; розробити план заходів для ліквідації пожежі в будинку; план евакуації людей з будинку.

Причинами виникнення пожежі можуть бути:

- несправності електропроводки, розеток і вимикачів які можуть привести до короткого замикання або пробією ізоляції;
- використання ушкоджених (несправних) електроприладів;
- використання в приміщенні електронагрівальних приладів з відкритими нагрівальними елементами;– виникнення пожежі внаслідок влучення блискавки в будинок; – загоряння будинку внаслідок зовнішніх впливів;
- неакуратне поводження з вогнем і недотримання мір пожежної безпеки.

4.3.2 Профілактика пожежі

Для профілактики пожежі надзвичайно важлива правильна оцінка пожежонебезпеки будинку, визначення небезпечних факторів і обґрунтування способів і засобів пожежопередження і захисту.

Одне з умов забезпечення пожежобезпеки – ліквідація можливих джерел запалення.

У лабораторії джерелами запалення можуть бути:

- несправне електроустаткування, несправності в електропроводці, електричних розетках і вимикачах. Для виключення виникнення пожежі з цих причин необхідно вчасно виявляти й усувати несправності, проводити плановий огляд і вчасно усувати всі несправності;
- несправні електроприлади. Необхідні міри для виключення пожежі містять у собі своєчасний ремонт електроприладів, якісне виправлення поломок, не використання несправних електроприладів;
- обігрівання приміщення електронагрівальними приладами з відкритими нагрівальними елементами. Відкриті нагрівальні поверхні можуть

спричинити пожежу, тому що в приміщенні знаходяться паперові документи і довідкова література у виді книг, посібників, а папір – легкозаймистий предмет. З метою профілактики пожежі пропоную не використовувати відкриті обігрівальні прилади в приміщенні лабораторії;

- коротке замикання в електропроводці. З метою зменшення імовірності виникнення пожежі внаслідок короткого замикання необхідно, щоб електропроводка була схованою.
- влучення в будинок блискавки. У літній період під час грози можливе влучення блискавки внаслідок чого можливий пожежа. Щоб уникнути цього я рекомендую установити на даху будинку блискавковідвід;
- недотримання мір пожежної безпеки і паління в приміщенні також може спричинити пожежу. Для усунення загоряння в результаті паління в приміщенні лабораторії пропоную категорично заборонити паління, а дозволити тільки в строго відведеному для цього місці.

З метою запобігання пожежі пропоную проводити з інженерами, що працюють у лабораторії, протипожежний інструктаж, на якому ознайомити працівників із правилами протипожежної безпеки, а також навчити використанню первинних засобів пожежогасіння.

У випадку виникнення пожежі необхідно відключити електроживлення, викликати по телефоні пожежну команду, евакуювати людей із приміщення відповідно до плану евакуації, приведену на рисунку 4.1 і приступити до ліквідації пожежі вогнегасниками. При наявності невеликого вогнища полум'я, можна скористатися підручними засобами з метою припинення доступу повітря до об'єкта загоряння.

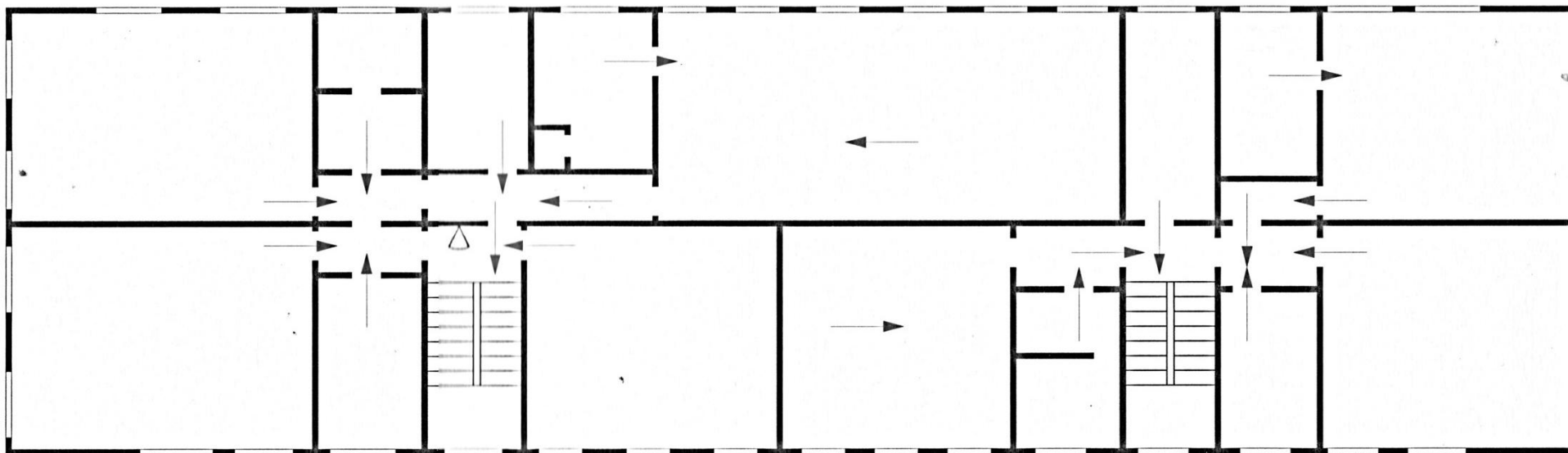


Рисунок 4.1 – План евакуації при пожежі

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі розглянуто розв'язок задачі розробки алгоритмів стабілізації колісного автономного робота, які можуть бути використані для систем навігації.

На основі розглянутих у першому розділі дипломної роботи основних способів управління мобільним роботом, здійснено формалізовану постановку задачі класифікації. При цьому, розглянуті особливості і базові типи мобільних роботів. Основні результати досліджень відомих рішень можна представити у вигляді наступних положень:

- розглянуто класифікацію мобільних роботів;
- розглянуто узагальнену структуру мобільного робота;
- показано основний напрям розробок дослідження мобільних роботів;
- розглянуто особливості управління мобільними роботами;
- здійснена постановка задачі досліджень.

У дипломній роботі запропоновано математичну модель побудови траєкторії переміщення мобільного робота, а також формалізацію процесів маневрів робота під час руху по заданій траєкторії в результаті чого розроблено метод, що вирішує задачу стабілізації двохколісного робота.

У роботі розроблено алгоритм та представлено поетапний процес виконання задачі стабілізації колісного робота за розробленою математичною моделлю, який проілюстровано за допомогою узагальненої та деталізованої схем роботи алгоритму побудови траєкторії руху робота. Зазначені алгоритми дозволяють наглядно продемонструвати порядок проведення обчислень, моделі стабілізації колісного робота.

Розроблено узагальнену та деталізовану схеми управління мобільним роботом, що дозволяють представляти та удосконалювати алгоритми поведінки при виконанні задач стабілізації та побудови траєкторії.

У дипломній роботі представлено опис та результати імітаційного моделювання задачі стабілізації робота у невідомому середовищі. Таке моделювання проводилось із використанням програмного засобу MATLAB та

дозволяє оцінити коректність теоретичних рішень, при вирішенні задачі стабілізації робота.

Додатково, розроблено схему взаємозв'язку програмних модулів, що реалізують процедури, які використані при імітаційному моделюванні та містять практичну цінність виконаних робіт.

На основі представлених алгоритмів розроблено програмний продукт у середовищі Matlab стабілізації колісного робота, який в результаті впровадження чи компіляції може бути інтегрований для управління мобільним роботом

Розроблений програмний продукт прийнято до впровадження у науково-дослідному інституті інтелектуальних комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету, що підтверджується довідкою.

У дипломній роботі розглянуто основні принципи захисту інформації програмно-апаратних систем, що можуть виникати при розробці програмного забезпечення та експлуатації мобільних роботів. При цьому, представлено основні напрями захисту програмно-апаратних засобів на основі яких розроблено пропозиції по використанню сучасних засобів організації безпеки, використання яких дозволяє організувати достатньо високий ступінь безпеки, що носить практичну значущість у роботі.

У дипломній роботі розглянуто основні нормативи щодо охорони праці, що виникають при розробці програмного забезпечення, які дозволили розробити та запропонувати ряд заходів з охорони покращення умов праці, у відповідності до вимог діючих стандартів, щодо організації робочого місця, освітленості робочого місця, впливу шуму на програміста, виробничих випромінювань, електробезпеки, важкості та напруженості праці, пожежної безпеки.

Проведено апробацію результатів дипломної роботи під час проведення IV науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені І.Пулюя «Інформаційні моделі, системи та технології», 15-16 травня 2014р.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Besl P., Jain R. Three-dimensional object recognition // ACM Computing Surveys, (CSUR). – ACM Press. –1985. – Vol. 17. – Issue 1. – P. 75-145.
2. Asymptotic Stability and Feedback Stabilization. In Differential Geometric Control Theory / Brockett R. W. / Edited by R. W. Brockett, R. S. Milman, and H. J. Sussman. – USA: Birkhдuser Boston, Inc., 2008. – 181-191.
3. Multi-sensor fusion: fundamentals and applications with software / Brooks R., Iyengar S. / Prentice-Hall PTR, 1998. – 416 p
4. Ching-Chang Wong, Hou-Yi Wang, Kuan-Hua Chen, Chia-Jun Yu and H. Aoyama. Motion controller design for two-wheeled robot based on a batch learning structure // SICE Annual Conference, Tokyo. – 2008. – P. 772-776
5. D. Chen, F. Bai and L. Wu. Kinematics control of wheeled robot based on angular rate sensors. //IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, September 21-24, Chengdu, China. – 2008. – P. 598-602.
6. Dixon, W. E., D. M. Dawson, F. Zheang, and Z. Erkan. Global Exponential Tracking Control of a Mobile Robot System via a PE Condition // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B: Cybernetics. Vol. 31(1). – 2000. – P. 129-142.
7. E. Papadopoulos, I. Poulakakis and I. Papadimitriou, "On Path Planning and Obstacle Avoidance for Nonholonomic Platforms with Manipulators: A Polynomial Approach // The International Journal of Robotics Research, IJRR, vol. 21, 4. – April 2002. – P. 367-383.
8. Elfes A. Sonar-based real-world mapping and navigation // IEEE Trans. on Robotics and Automation. – 1987. – Vol.3(3). – P. 249-265.
9. Elfes A. Using occupancy grids for mobile robot perception and navigation // Intern. journal Computer. – 1989. – Vol. 22. (6). – P. 46-57.
10. Fierro, R., and F. L. Lewis. Control of a Nonholonomic Mobile Robot: Backstepping Kinematics into Dynamics // Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control. New Orleans, LA, USA. – 1995. – P. 3805-3810.
11. Kanayama, Y., Y. Kimura, F. Miyazaki, and T. Noguchi. A Stable Tracking Control Method for an Autonomous Mobile Robot // Proceedings of the IEEE

- International Conference on Robotics and Automation. Cincinnati, USA. – 1990.– P. 384-389.
12. Luca, A., Oriolo, G., Samson, C., and Laumond, J. P. Robot Motion Planning and Control, chapter Feedback Control of a Nonholonomic Car-like Robot. Lectures Notes in Control and Information Sciences. Springer. 1998 – P. 328
 13. S. Hashim, Tien-Fu Lu. A new strategy in dynamic time-dependent motion planning for nonholonomic mobile robots // IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO). – 2009. – P. 1692 - 1697
 14. Vanmarcke E. Random fields: analysis and synthesis/ Vanmarcke E – MIT Press, Cambridge, Massachusetts. – 1983. – 372 p.
 15. Walsh, G., D. Tilbury, S. Sastry, R. Murray, and J. P. Laumond. Stabilization of Trajectories for Systems with Nonholonomic Constraints // IEEE Transactions on Automatic Control. – Vol. 39(1). – 1994. – 216-222.
 16. Y. Ichihara and K. Ohnishi. Path planning and tracking control of wheeled mobile robot considering robots capacity // IEEE International Conference on ICIT. – 2006. – P. 176 - 181
 17. Yamamoto, Y.. Coordinating Locomotion and Manipulation of a Mobile Manipulator / Yamamoto, Y., X. Yun. – Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 1993. – P.157-181.
 18. Батанов А. Ф., Грицынин С. Н., Муркин С. В. Робототехнические комплексы для обеспечения специальных операций // Специальная Техника. №6. – 1999. – С. 10–17.
 19. Беляков К. Інформація організаційноправової сфери // Право України. – № 6. – 2004. – С. 88-92.
 20. Бурдаков С.Ф. Системы управления движением колесных роботов / Бурдаков С.Ф., Мирошник И.В., Стельмаков Р.Э. – СПб.:Наука, 2001 .– 229с.
 21. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. Затверджено МОН України, наказ №528 від 27.12.2001р.
 22. Головки В. Нейроинтеллект: теория и применение. Книга 2 / Головки В. – БПИ, Брест. – 1999. – 227 с.

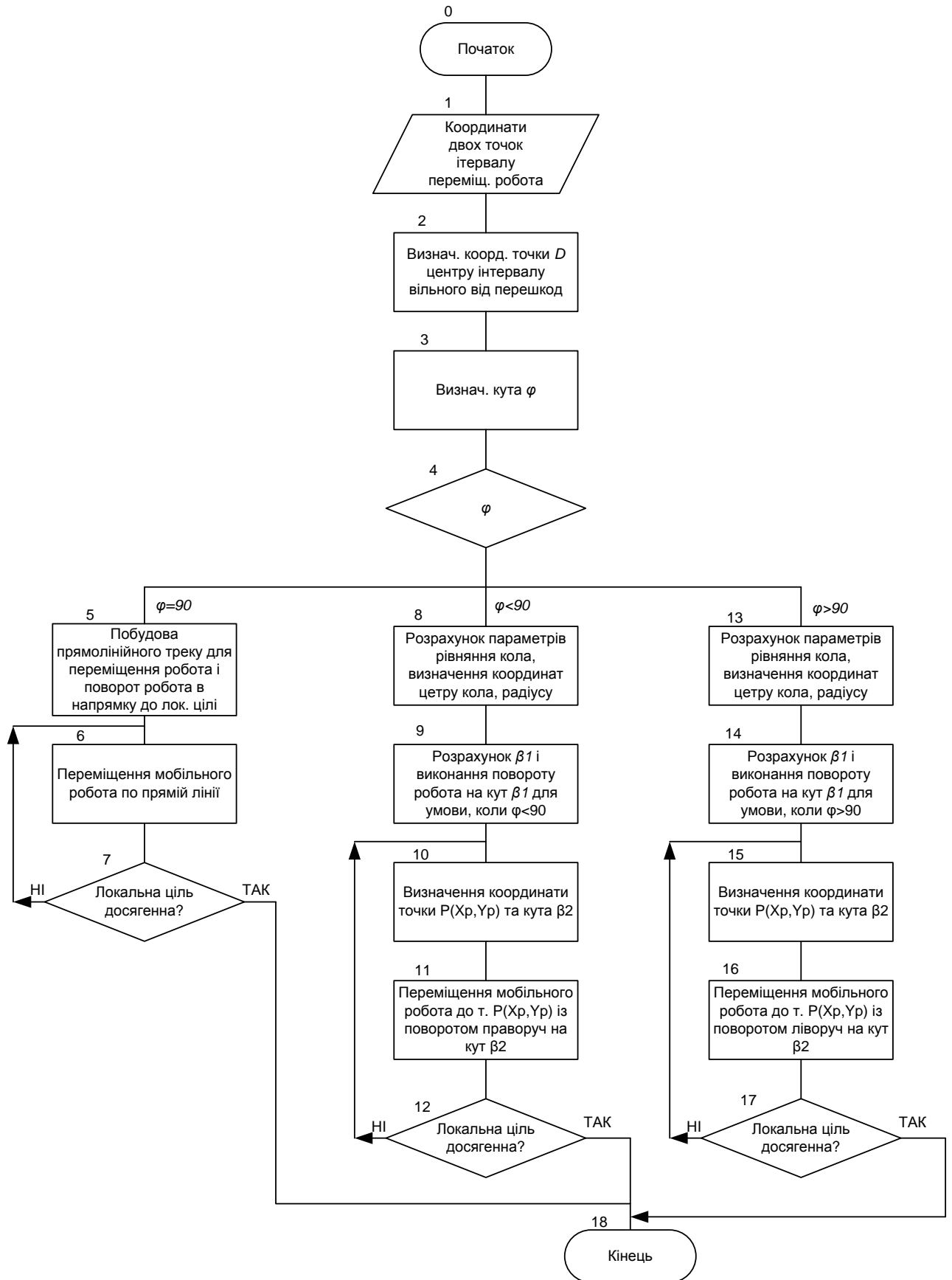
- 23.Голубев Ю.Ф. Построение движений робота-снейкбордиста / Голубев Ю. Ф. - М. : ИПМ, 2004. - 23 с.
- 24.ГОСТ 12.2.032-78 «ССТБ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».
- 25.Градецкий В.Г. Управляемое движение мобильных роботов по произвольно ориентированным в пространстве поверхностям / Градецкий В.Г., Вешников В.Б., Калиниченко СВ. - М.:Наука. – 2001. – 360 с.
- 26.Гусев В.А. Математика: Справочные материалы: Кн. для учащихся.- 2е изд. / Гусев В.А., Мордкович А.Г. – М.: Просвещение. – 1990. – 416с.
- 27.ДБН В.2.5-28-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення.
- 28.Юревич Е.И. Динамика управления роботами / Под ред. Е.И. Юревича. – М.: Наука. – 1984 . – 336 с.
- 29.ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
- 30.Ермолов И.Л., Мор Ф.Р., Подураев Ю.В, Шведов В.В. Мобильные роботы для инспекции и ремонта подземных трубопроводов: современное состояние и перспективы развития // Мехатроника. – №.1 – 2002.– С.30-33.
- 31.Климчук С. Проведення порівняльного аналізу законодавства у сфері інформації з обмеженим доступом України та країн-членів НАТО / С.Климчук. – №4ю – 2007. — Режим доступу: <http://www.justinian.com.ua/article.php?id=2461>
- 32.Коваль В. Вдосконалений метод побудови локальної карти середовища мобільного робота // Вісник Тернопільського державного технічного університету ім. І.Пулюя. – 2003. – Т.8. – №2. – С. 80-88.
- 33.Коваль В. Спосіб виявлення перешкод мобільного робота з використанням технології злиття показів різнорідних сенсорів // АСУ и приборы автоматки. – Харьков. – 2004. – Вип. 126. – С. 128-135.
- 34.Коло. — Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/Коло>
- 35.Макаров И.М. Робототехника: история и перспективы / Макаров И.М., Топчиев Ю.И.-М.: Наука, Издательство МАИ. – 2003. – 101 с.

- 36.Медведев В. Управление роботами / Медведев В. А. Шиянов А.И. – Воронеж, 2003. – 187 с.
- 37.Мирошник И.В. Нелинейное и адаптивное управление сложным динамическими системами. / Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. – СНБ.: Наука, 2000. – 325 с.
- 38.Охоцимский Д.Е., Павловский В.Е., Плахов А.Г., Туганов А.Н. Моделирование игры роботов-футболистов и базовые алгоритмы управления ими // Искусственный интеллект. – №3. – 2000. – с. 534-540.
- 39.Павленко А. В. Новые технологии управления движением технических объектов // Сб. ст. по материалам 7-й Междунар. науч.-техн. Конф.-Новочеркасск. – №5. – 2004. – 184с.
- 40.Подураев Ю.В., Мехатроника : основы, методы, применение : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Мехатроника" направления подгот. "Мехатроника и робототехника".-М.: Машиностроение,2006. –255с.
- 41.Попов Е., Письменный Г. Основы робототехники. Введение в специальность: Учебник для вузов. – М.: Высшая шк. – 1999. – 224 с.
- 42.Попов Е.П. Основы робототехники: Введение в специальность / Попов Е.П., Письменный Г.В. – М.: Высшая школа, 1990. — 224 с.
- 43.Уэно Х. Представление и использование знаний. Пер. с япон. / Нод. ред. Х. Уэно. – Исудзука. – М.: Мир, 1989.- 220 с.
- 44.Мачульский И.И. Робототехнические системы и комплексы./ Под.ред. И.И. Мачульского, М.: Транспорт, 1999. – 464с.
- 45.Спыну Г.А., Промышленные роботы.Конструирование и применение. Учеб. пособие. 2-е изд. / Спыну Г.А. – К.: Выща шк., 1991. – 311с.
- 46.Спыну Г.А., Роботы с искусственным интеллектом / Спыну Г.А. – К.:Техника, 1989. – 111с.
- 47.Андрианов Ю.Д. Управляющие системы промышленных роботов / Ю.Д. Андрианов, Л.Я. Глейзер, М.Б. Игнатъев и др.; Под общ. ред. И.М. Макарова. – М.: Машиностроение, 1984 – 288с.

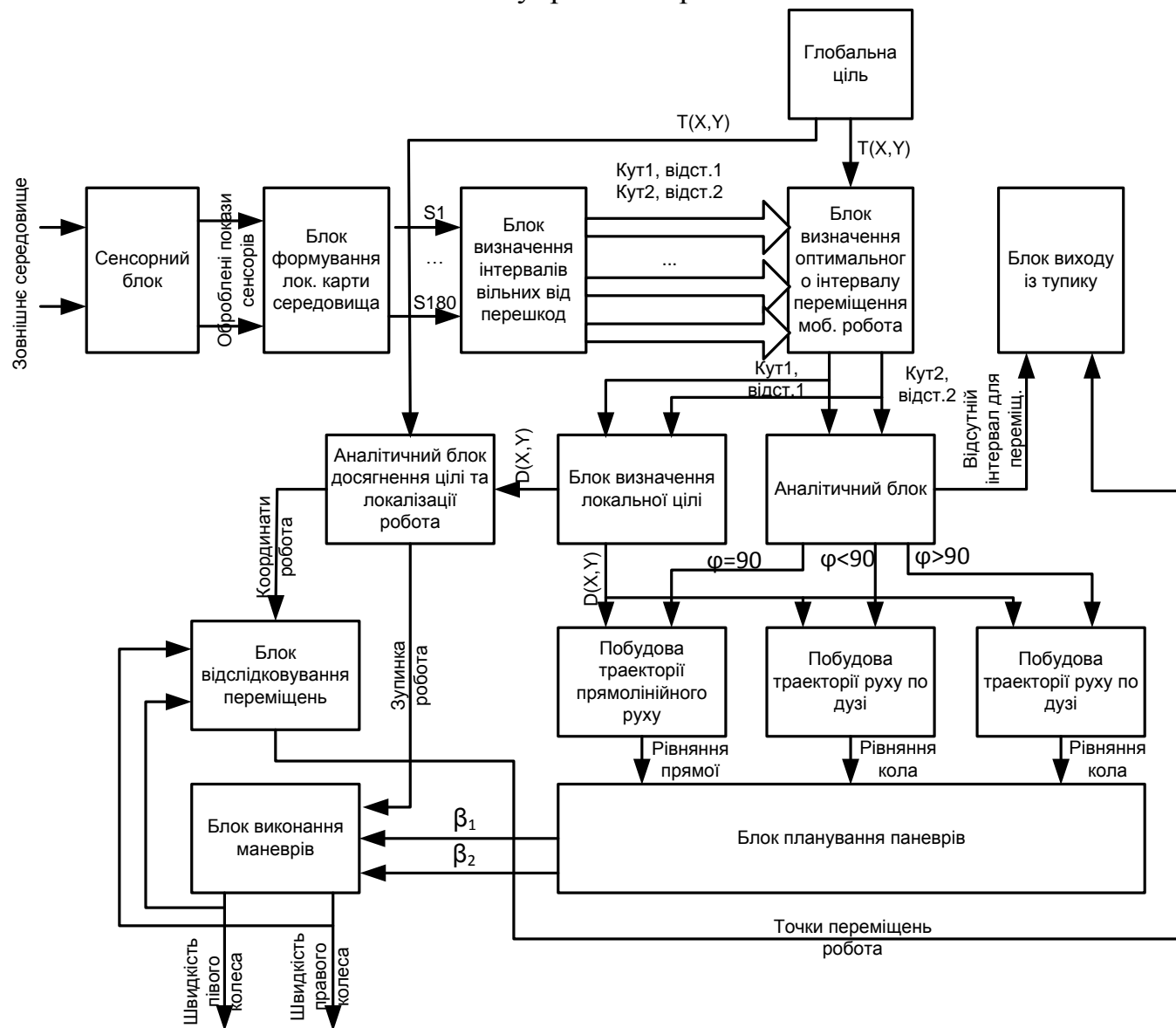
- 48.Фу К. Робототехника / Фу К., Гонсалес Р., Ли К.. – М.: Мир, 1989. – 624с.
- 49.Шахинпур М. Курс робототехніки / Шахинпур М. Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 527 с.
- 50.Юревич Е. И. Управление роботами и робототехническими комплексами / Юревич Е. И. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 2000. — 235 с.
- 51.Юревич Е.И. Основы робототехники. 2-е изд., перераб. и доп / Юревич Е. И. - СПб.:БХВ - Петербург,2005. – 416 с.
- 52.Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. Учебное пособие / Ярушкина Н.Г. – Финансы и статистика, 2004.- 320 с.

Додаток А

Схема роботи алгоритму побудови траєкторії руху



Додаток Б Схема управління роботом

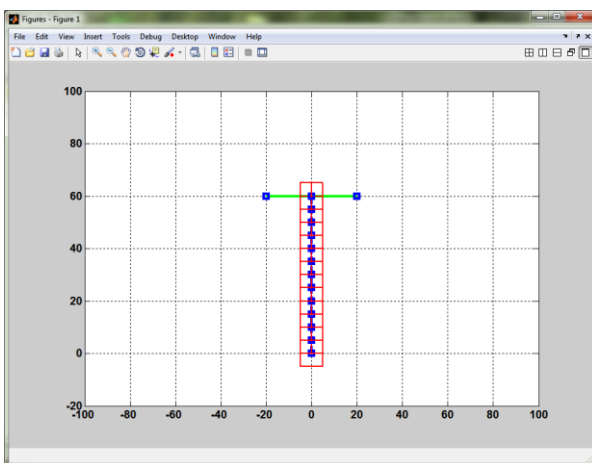
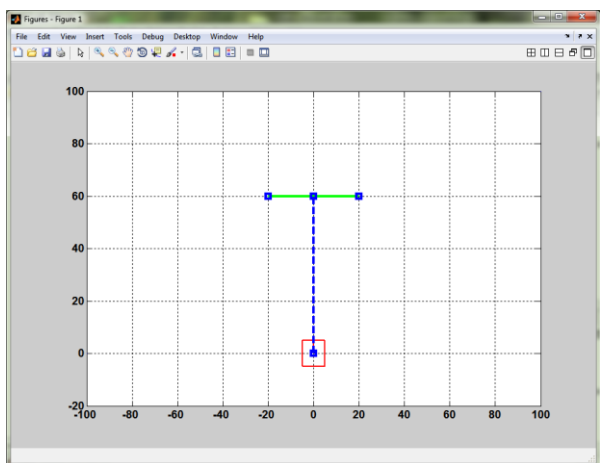
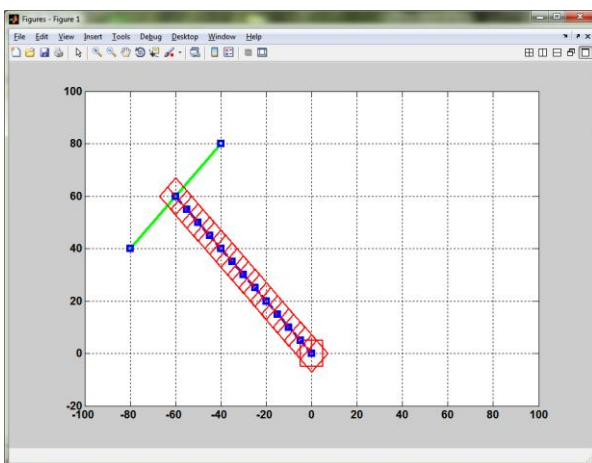
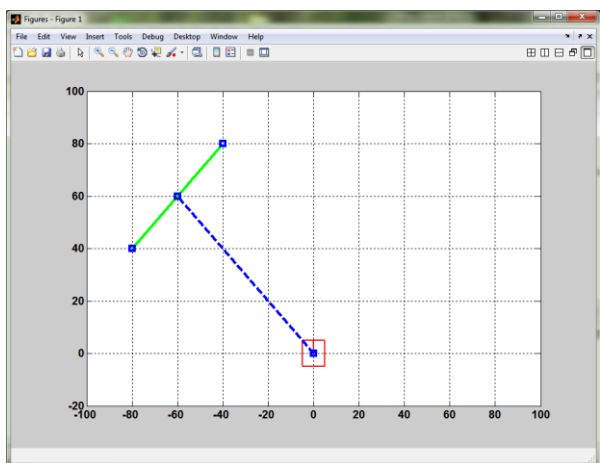
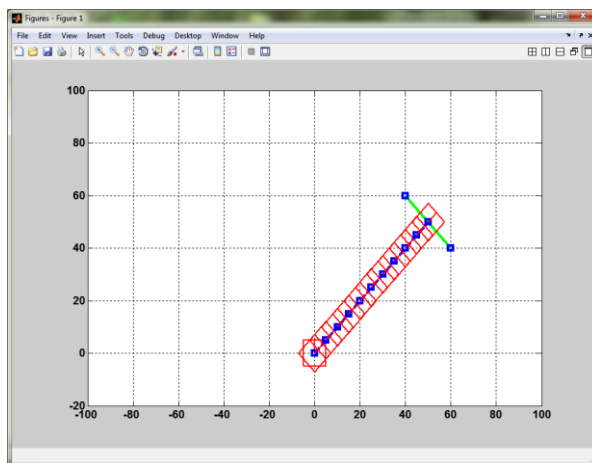
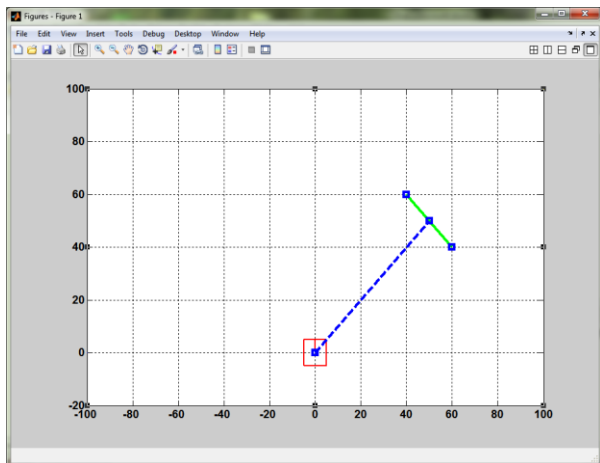


Додаток В
Лістинг програмного коду функції My_robot()

```
function My_robot(Pos_x, Pos_y, Pos_theta, Rob_Radius)
Pos_theta=Pos_theta;
t=Rob_Radius;
t1=Pos_x; t2=Pos_y;
Pos_x=0; Pos_y=0;
%plot(100,100); hold on; grid on;
% %--- plot napryam
% plot([Pos_x,Pos_x+t],[Pos_y,Pos_y],'LineWidth',2);
% %---- kolesa
% plot([Pos_x+t-1,Pos_x-t+1],[Pos_y+t,Pos_y+t],'LineWidth',3);
% plot([Pos_x+t-1,Pos_x-t+1],[Pos_y-t,Pos_y-t],'LineWidth',3)
%
%
plot([Pos_x-t,Pos_x-t,Pos_x+t,Pos_x+t,Pos_x-t],[Pos_y+t,Pos_y-t,Pos_y-t,Pos_y+t,Pos_y+t]);
% new poisition
[Point1(1), Point1(2)]=Coord_transf(Pos_x-t,Pos_y+t,Pos_theta);
[Point2(1), Point2(2)]=Coord_transf(Pos_x-t,Pos_y-t,Pos_theta);
[Point3(1), Point3(2)]=Coord_transf(Pos_x+t,Pos_y-t,Pos_theta);
[Point4(1), Point4(2)]=Coord_transf(Pos_x+t,Pos_y+t,Pos_theta);
X_coord=[Point1(1) Point2(1) Point3(1) Point4(1) Point1(1)]+t1;
Y_coord=[Point1(2) Point2(2) Point3(2) Point4(2) Point1(2)]+t2;
plot(X_coord,Y_coord,'r','LineWidth',2);
[Point1(1), Point1(2)]=Coord_transf(Pos_x,Pos_y,Pos_theta);
[Point2(1), Point2(2)]=Coord_transf(Pos_x,Pos_y+t,Pos_theta);
plot([Point1(1),Point2(1)]+t1,[Point1(2),Point2(2)]+t2,'r','LineWidht h',2);
%grid on
end

function [x_out, y_out]=Coord_transf(x_in,y_in,Angle)
kut=(pi*Angle)/180;
T=[cos(kut) sin(kut); -sin(kut) cos(kut)]*[x_in;y_in];
x_out=T(2);
y_out=T(1);
end
```

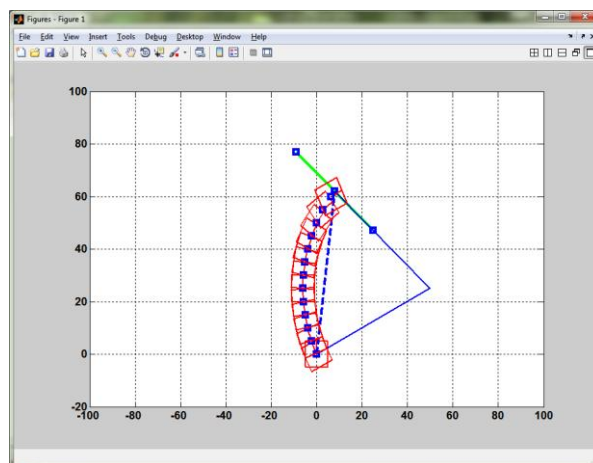
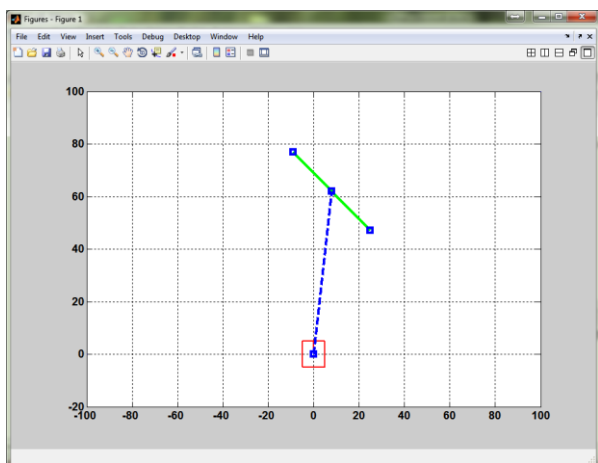
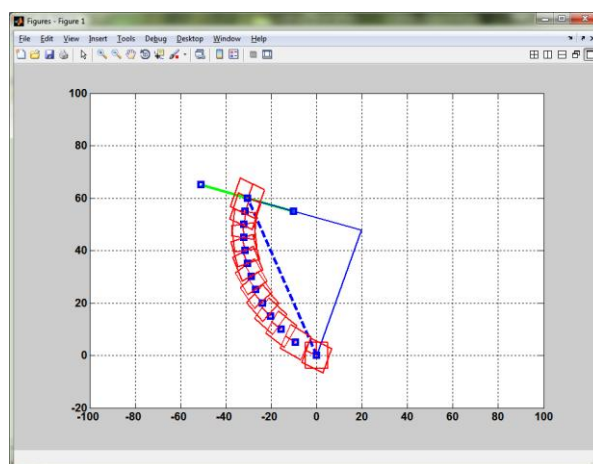
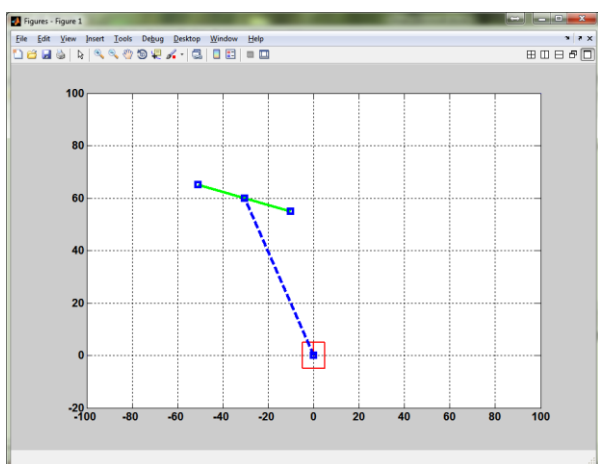
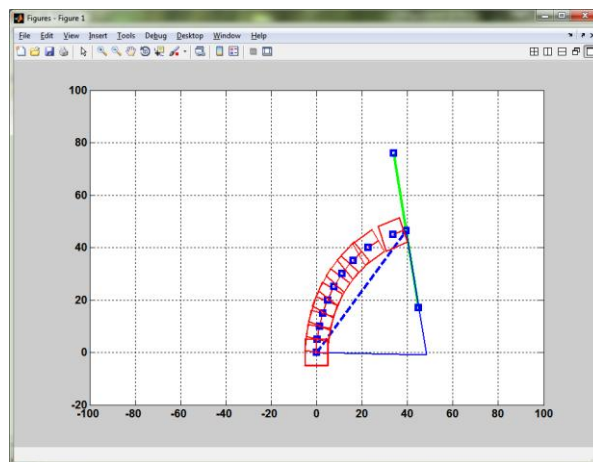
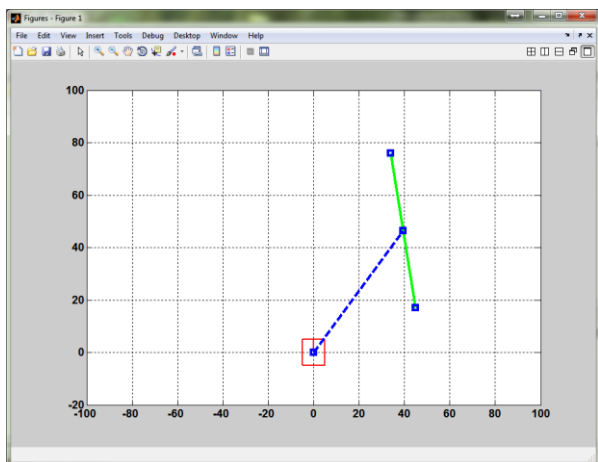
Додаток Г
Результати імітаційного моделювання стабілізації мобільного робота
при $\angle\varphi = 90^\circ$



Додаток Д
Лістинг програмного коду функції fi_90()

```
function fi_90(r,l,d)
Teta=acos(d(1)/(sqrt(d(1)^2+d(2)^2)))*180/pi;
My_robot(0,0,Teta,5);
koef_k=d(2)/d(1)
if koef_k<0
    for x_coord=0:-5:d(1);
        y_coord=koef_k*x_coord;
        plot(x_coord, y_coord,'bs','LineWidth',3);
        My_robot(x_coord,y_coord,Teta,5);
        pause;
    end
end
if koef_k>0
    for x_coord=0:5:d(1);
        y_coord=koef_k*x_coord;
        plot(x_coord, y_coord,'bs','LineWidth',3);
        My_robot(x_coord,y_coord,Teta,5);
        pause;
    end
end
if koef_k==inf
    for y_coord=0:5:d(2);
        x_coord=0;
        plot(x_coord, y_coord,'bs','LineWidth',3);
        My_robot(x_coord,y_coord,Teta,5);
        pause;
    end
end
return
```

Додаток Е
Результати імітаційного моделювання стабілізації мобільного робота
при $\angle \varphi < 90^\circ$



Додаток Ж
Лістинг програмного коду функції fi_menshe90()

```

function fi_menshe90(r,l,d)

chyselnik=(d(1)^2+d(2)^2)*sqrt((d(1)-r(1))^2+(d(2)-r(2))^2);
znamen=(d(1)-r(1))^2+(d(2)-r(2))^2+d(1)^2+d(2)^2-r(1)^2-r(2)^2;
DC=chyselnik/znamen;

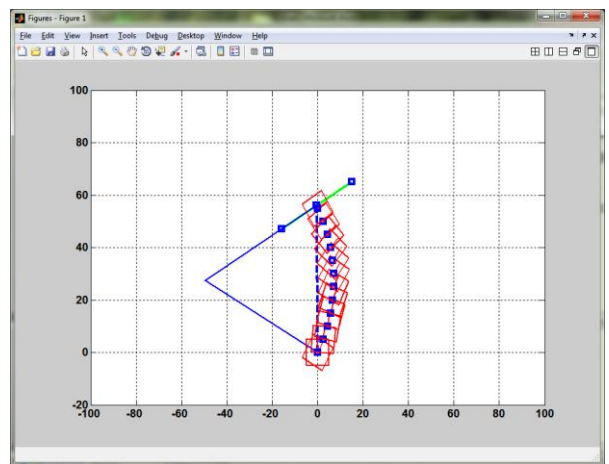
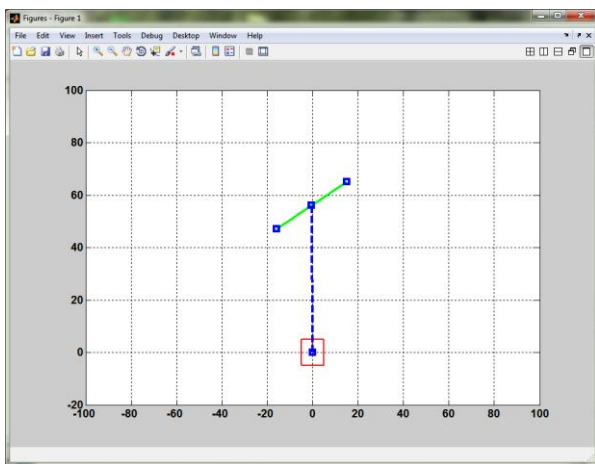
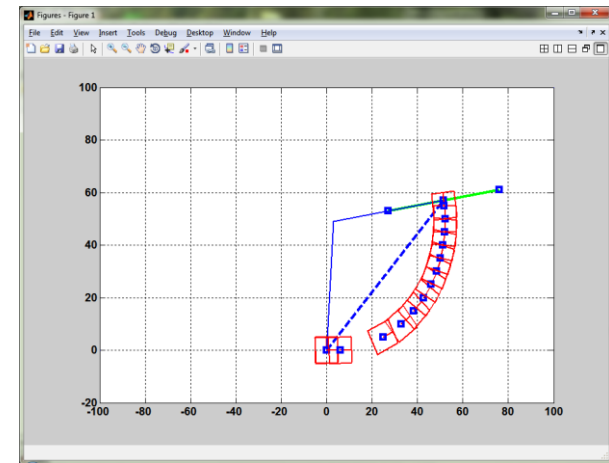
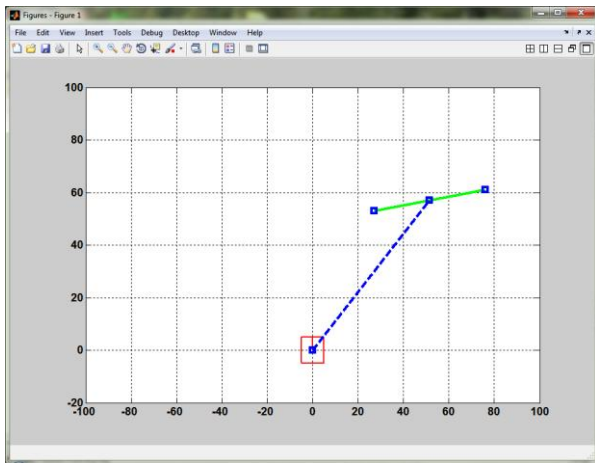
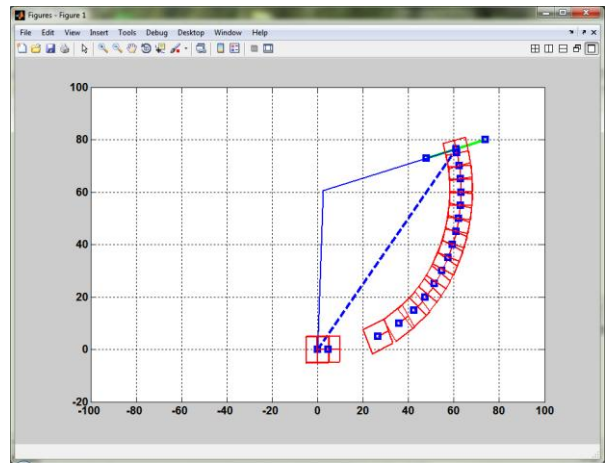
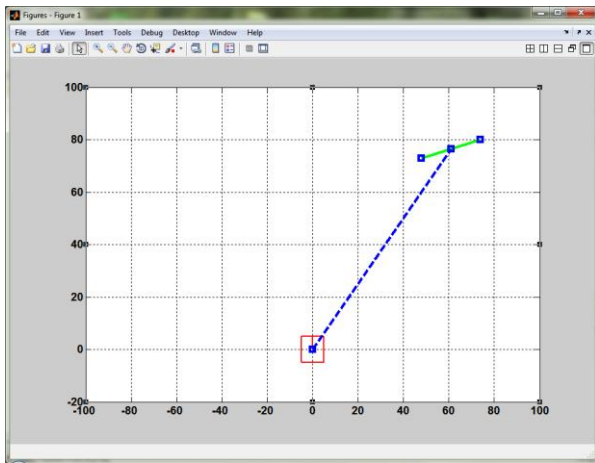
%pause

x_centr=d(1)+DC*(r(1)-d(1))/sqrt((d(1)-r(1))^2+(d(2)-r(2))^2)
y_centr=d(2)-(DC*(d(2)-r(2))/sqrt((d(1)-r(1))^2+(d(2)-r(2))^2))
plot([0 x_centr d(1)], [0 y_centr d(2)], 'b', 'LineWidth', 2);
koef_k=d(2)/d(1)
if koef_k>0
    Beta1=90+asin(y_centr/DC)*180/pi
    My_robot(0,0,Beta1,5);
    pause
%    for x_coord=0:5:d(1)-1
    for y_coord=0:5:d(2)
        Radius1=sqrt(x_centr^2+y_centr^2)
        Radius2=sqrt((x_centr-d(1))^2+(y_centr-d(2))^2)
        Radius=(Radius1+Radius2)/2;
        Radius=DC
        %y_coord=sqrt(Radius^2-(x_coord-x_centr)^2)+y_centr;
        x_coord=-sqrt(Radius^2-(y_coord-y_centr)^2)+x_centr;
        Beta2=asin(y_coord/Radius)*180/pi
        My_robot(x_coord,y_coord,Beta1-Beta2,5);
        plot(x_coord, y_coord, 'bs', 'LineWidth', 3);
        %My_robot(x_coord,y_coord,Teta,5);
        pause;
    end
end
if koef_k<0
    Beta1=90+asin(y_centr/DC)*180/pi
    My_robot(0,0,Beta1,5);
    pause
%    for x_coord=0:-5:d(1)-1
    for y_coord=0:5:d(2)
        Radius1=sqrt(x_centr^2+y_centr^2)
        Radius2=sqrt((x_centr-d(1))^2+(y_centr-d(2))^2)
        Radius=(Radius1+Radius2)/2;
        Radius=DC
%        y_coord=sqrt(Radius^2-(x_coord-x_centr)^2)+y_centr;
        x_coord=-sqrt(Radius^2-(y_coord-y_centr)^2)+x_centr;
        Beta2=asin(y_coord/Radius)*180/pi
        My_robot(x_coord,y_coord,Beta1-Beta2,5);
        plot(x_coord, y_coord, 'bs', 'LineWidth', 3);
        %My_robot(x_coord,y_coord,Teta,5);
        pause;
    end
end
end
return

```


Додаток И

Результати імітаційного моделювання стабілізації мобільного робота при $\angle \varphi > 90^\circ$



Додаток Й
Лістинг програмного коду функції fi_bilshe90()

```
function fi_bilshe90(r,l,d)

chyselnik=(d(1)^2+d(2)^2)*sqrt((d(1)-l(1))^2+(d(2)-l(2))^2);
znamen=(d(1)-l(1))^2+(d(2)-l(2))^2+d(1)^2+d(2)^2-l(1)^2-l(2)^2;
DC=chyselnik/znamen

%pause

x_centr=d(1)+(DC*(d(1)-r(1))/sqrt((r(1)-d(1))^2+(r(2)-d(2))^2))
y_centr=d(2)+(DC*(d(2)-r(2))/sqrt((r(1)-d(1))^2+(r(2)-d(2))^2))
plot([0 x_centr d(1)], [0 y_centr d(2)], 'b', 'LineWidth', 2);

koef_k=d(2)/d(1)
if koef_k>0
    Beta1=90-asin(y_centr/DC)*180/pi
    My_robot(0,0,Beta1,5);
    pause
    for y_coord=0:5:d(2)
        Radius1=sqrt(x_centr^2+y_centr^2);
        %Radius2=sqrt((x_centr-d(1))^2+(y_centr-d(2))^2)
        %Radius=(Radius1+Radius2)/2;
        Radius=Radius1;
        x_coord=sqrt(Radius^2-(y_coord-y_centr)^2)+x_centr;

        Beta2=90-asin((y_centr-y_coord)/Radius)*180/pi
        %My_robot(x_coord,y_coord,Beta2,5);

        plot(x_coord, y_coord, 'bs', 'LineWidth', 3);
        pause;
    end
end
if koef_k<0
    Beta1=90-asin(y_centr/DC)*180/pi
    My_robot(0,0,Beta1,5);
    pause
    for y_coord=0:5:d(2)
        Radius1=sqrt(x_centr^2+y_centr^2);
        %Radius2=sqrt((x_centr-d(1))^2+(y_centr-d(2))^2)
        %Radius=(Radius1+Radius2)/2;
        Radius=Radius1;
        x_coord=sqrt(Radius^2-(y_coord-y_centr)^2)+x_centr;

        Beta2=asin((y_centr-y_coord)/Radius)*180/pi
        My_robot(x_coord,y_coord,Beta1+Beta2,5);

        plot(x_coord, y_coord, 'bs', 'LineWidth', 3);
        pause;
    end
end
end
return
```

Додаток К
Лістинг програмного коду процедури «*main_stabilization*»

```
clear all
Robot_field=plot(100,100); hold on; plot(-100,0); grid on;
My_robot(0,0,90,5);

[x,y] = ginput(2);

L(1)=round(x(1)); L(2)=round(y(1));
R(1)=round(x(2)); R(2)=round(y(2));
%D=[round((L(1)+R(1))/2) round((L(2)+R(2))/2)];
D=[(L(1)+R(1))/2 (L(2)+R(2))/2];
plot([L(1) R(1)], [L(2) R(2)], 'g', 'LineWidth', 3);
plot(L(1), L(2), 'bs', 'LineWidth', 3);
plot(D(1), D(2), 'bs', 'LineWidth', 3);
plot(R(1), R(2), 'bs', 'LineWidth', 3);

OL=sqrt(L(1)^2+L(2)^2);
OR=sqrt(R(1)^2+R(2)^2);
sprintf('OL=%6.2f OR=%6.2f', OL, OR);

if abs(OL-OR)<5 %---- Kut fi==90
    plot([0 D(1)], [0 D(2)], '--bs', 'LineWidth', 3);
    pause;
    fi_90(R, L, D);
elseif OL>OR & abs(OL-OR)>=5 %---- Kut fi<90
    plot([0 D(1)], [0 D(2)], '--bs', 'LineWidth', 3);
    pause;
    fi_menshe90(R, L, D);

elseif OL<OR & abs(OL-OR)>=5 %---- Kut fi>90
    plot([0 D(1)], [0 D(2)], '--bs', 'LineWidth', 3);
    pause;
    fi_bilshe90(R, L, D);
end

%My_robot(0,0,0,5);
```

Додаток Л

Research Institute
of Intelligent Information Systems
Ternopil National
Economic University

3 Peremoga Square,
Ternopil 46004 Ukraine
Tel: +380 (352) 43-6038
Fax: +380 (352) 43-6354(24 hrs.)
<http://www.tanet.edu.te.ua>
E-mail: ics@tanet.edu.te.ua



Науково-дослідний інститут
інтелектуальних комп'ютерних систем
Тернопільський національний
економічний університет

площа Перемоги 3,
Тернопіль 46004 Україна
Тел: (0352) 43-6038
Факс: (0352) 43-6354 (24 hrs.)
<http://www.tanet.edu.te.ua>
E-mail: ics@tanet.edu.te.ua

Зав. кафедри
комп'ютерної інженерії
к.т.н., доц. О.М. Березькому

ДОВІДКА ПРО ВИКОРИСТАННЯ

Виконана студентом групи КСМзм-51 факультету комп'ютерних інформаційних технологій Тернопільського національного економічного університету Королем Р.О. дипломна робота та тему „ Алгоритми стабілізації мобільного робота” відповідає науково-дослідному профілю інституту, має практичну значимість і планується до використання.

Директор науково-дослідного
інституту інтелектуальних комп'ютерних
систем Тернопільського національного
економічного університету, проф., к.т.н.

Кочан В.В.

М.П.

Кафедра інформаційно-обчислювальних систем і управління

В І Д Г У К

на дипломну роботу

освітньо-кваліфікаційного рівня "Магістр"

студента групи КСМзм-51 Короля Романа Вікторовича

на тему " Алгоритми стабілізації мобільного робота".

Актуальність теми: Значне зростання обсягів відеоінформації вимагає розроблення методів і швидких алгоритмів розпізнавання динамічних об'єктів. Тому задача збільшення швидкодії розпізнавання рухомих об'єктів є актуальною.

Наукова новизна: запропоновано методи та алгоритми стабілізації колісного мобільного робота при управлінні, що дозволило розв'язати задачу локальної навігації при маневруванні робота до глобальної цілі.

Практичне значення: здійснено програмну реалізацію розроблених алгоритмів.

Особистий внесок: студентом розроблено алгоритми та програмну систему управління роботом

Недоліки:

1) не досліджено використання розробок у порівнянні із динамічними моделями руху робота;

2) недостатньо детально представлено кількісні характеристики алгоритмів.

Загальний висновок. Якість підготовки дипломної роботи Короля Р.В. відповідає вимогам освітньо-кваліфікаційної характеристики спеціальності 8.05010201 "Комп'ютерні системи та мережі". Випускна кваліфікаційна робота відповідає вимогам до дипломних робіт та заслуговує оцінки "добре". Студенту Королю Р.В. може бути присвоєна кваліфікація "Магістр з комп'ютерних систем та мереж".

Науковий керівник: професор, д.т.н.

Саченко А.О.

_____ (підпис)

“ ___ ” _____ 20 _ р.

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну роботу
освітньо-кваліфікаційного рівня "Магістр"
студента групи КСМзм-51 Короля Романа Вікторовича
на тему " Алгоритми стабілізації мобільного робота ".

Актуальність теми: технології, що направлені на розробку методів та алгоритмів підвищення мобільності та автономності управління мобільним роботом на сьогоднішній день потребують оптимальних рішень. Тому дипломна робота, що направлена на стабілізацію колісного робота є актуальною.

Наукова новизна: розроблено швидкі алгоритми аналізу зображень рухомих об'єктів на основі модифікованого методу Хафа.

Практичне значення: розроблено схеми управління та здійснено програмну реалізацію алгоритмів стабілізації робота за різних ситуацій навколишнього середовища, що може бути інтегрованим на рельєсних роботах Amigo компанії Activmedia.

Особистий внесок: студентом розроблено алгоритми та структуру взаємозв'язку модулів системи стабілізації мобільного робота. Апробація під час проведення IV науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені І.Пулюя «Інформаційні моделі, системи та технології», 15-16 травня 2014р.

Недоліки:

- 1) відсутність досліджень та реалізацій на реальному роботі;
- 2) відсутні показники точності та швидкодії розроблених алгоритмів.

Загальний висновок. Дипломна робота студента Короля Р.В. відповідає вимогам до випускних кваліфікаційних робіт освітньо-кваліфікаційного рівня "Магістр" та заслуговує оцінки "добре", а її автору, Королю Р.В. може бути присвоєна кваліфікація "Магістр з комп'ютерних систем та мереж".

Рецензент

к.т.н., доцент кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління

В.В. Коваль _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20_ р.