

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра “підйомно-транспортного та робототехнічного обладнання”

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

з дисципліни «Мобільні роботи»

Рівень підготовки – спеціаліст, магістр
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Спеціалізація: Мехатроніка та промислові роботи

ОДЕСА: ОНПУ, 2016

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра “підйомно-транспортного та робототехнічного обладнання”

Михайлов Євген Павлович

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

з дисципліни «Мобільні роботи»

Рівень підготовки – спеціаліст, магістр
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Спеціалізація: Мехатроніка та промислові роботи

Затверджено
на засіданні кафедри підйомно-
транспортного і робототехнічного
обладнання
Протокол № від .2016 р.

ОДЕСА: ОНПУ, 2016

Навчальний посібник з дисципліни "Мобільні роботи" для студентів за фахом 131 - Прикладна механіка - спеціалізація - Мехатроніка та промислові роботи / Укладач: Михайлов Є. П. Одеса: ОНПУ. – 239 с.

Укладач: Михайлов Є. П., доц. кафедри підйомно-транспортного і робототехнічного обладнання

Зміст

ПЕРЕДМОВА	6
ГЛАВА 1. ТИПИ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ	8
1.1. Мобільні роботи. Типи мобільних роботів.....	8
1.2. Виробничі комплекси на основі мобільних роботів.....	11
1.3. Транспортні системи на основі мобільних роботів	16
ГЛАВА 2. СТРУКТУРА І СКЛАД МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ	19
2.1. Структура мобільних роботів	19
2.2. Склад мобільних роботів	22
ГЛАВА 3. КОЛІСНІ МОБІЛЬНІ РОБОТИ	32
3.1. Типи колісних мобільних роботів.....	32
3.2. Кінематична модель трициклу.....	36
3.3. Кінематична модель мобільного робота з диференційним приводом...	38
3.4. Керування переміщенням колісних мобільних роботів.....	40
ГЛАВА 4. ГУСЕНИЧНІ МОБІЛЬНІ РОБОТИ	45
4.1. Типи гусеничних мобільних роботів	45
4.2. Кінематична модель гусеничних мобільних роботів.....	47
4.3. Керування переміщенням гусеничних мобільних роботів	53
ГЛАВА 5. КРОКУЮЧІ МОБІЛЬНІ РОБОТИ	55

5.1. Типи крокуючих мобільних роботів	55
5.2. Кінематична модель крокуючих мобільних роботів	56
5.3. Керування переміщенням крокуючих мобільних роботів	64
ГЛАВА 6. ПЕРСОНАЛЬНА ТА ЛОКАЛЬНА НАВІГАЦІЯ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ.....	66
6.1. Типи та засоби персональної навігації мобільних роботів.....	66
6.2. Типи та засоби локальної навігації мобільних роботів.....	72
ГЛАВА 7. ГЛОБАЛЬНА НАВІГАЦІЯ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ	81
7.1. Типи глобальної навігації мобільних роботів.....	81
7.2. Засоби глобальної навігації мобільних роботів	89
ГЛАВА 8. ПРИВОДИ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ	98
8.1. Основні типи приводів мобільних роботів	98
8.2. Приводи для колісних та гусеничних мобільних роботів.....	98
8.3. Приводи для крокуючих мобільних роботів	109
8.4. Засоби автономного живлення	115
ГЛАВА 9. ЗАХОПЛЮЮЧІ ПРИСТРОЇ ТА МАНІПУЛЯТОРИ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ.....	120
9.1. Типи захоплюючих пристроїв мобільних роботів.....	120
9.2. Маніпулятори для мобільних роботів.....	123
9.3. Захоплюючі пристрої транспортних мобільних роботів.....	130
ГЛАВА 10. ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ.....	134
10.1. Датчики внутрішнього стану	134
10.2. Датчики зовнішнього стану	141
ГЛАВА 11. БОРТОВІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	153
11.1. Локальні системи керування.....	153

11.2. Комплексні системи керування	167
ГЛАВА 12. СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ.....	174
12.1. Призначення та види систем позиціонування	174
12.2. Реалізація систем позиціонування.....	175
ГЛАВА 13. РОЗПОДІЛЕНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА СИСТЕМИ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ	189
13.1. Розподілені системи керування	189
13.2. Системи бездротового зв'язку	193
ГЛАВА 14. ТРАНСПОРТНІ МОБІЛЬНІ РОБОТИ	203
14.1. Типи транспортних мобільних роботів	203
14.2. Транспортні мобільні роботи.....	204
ГЛАВА 15. МОБІЛЬНІ РОБОТИ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ.....	221
15.1. Типи мобільних роботів для використання у виробничих системах	221
15.2. Маніпуляційні мобільні роботи.....	221
15.3. Технологічні мобільні роботи	231
ЛІТЕРАТУРА.....	235

Передмова

У сучасному виробництві все найчастіше використовуються автономні мобільні роботи, які здатні незалежно від людини виконувати досить складні завдання, що пов'язані з транспортуванням різних об'єктів, виконанням технологічних функцій, здійсненням функцій контролю та обслуговування. Перевагою мобільних роботів є можливість переналагодження тільки шляхом зміни виконавчих пристроїв, перепрограмуванням алгоритму виконання закладених функцій та траєкторії переміщення. Це дає можливість використовувати мобільні роботи для вирішування широкого кола задач у складі виробничих та логістичних систем.

Дисципліна «Мобільні роботи» призначена для вивчення студентами питань побудови, основ проектування та застосування мобільних роботів в виробничих та логістичних системах та поширює їх інженерні знання за рахунок розгляду різних типів мобільних роботів та їх компонент, що базуються на сучасних засобах.

Мета викладання дисципліни: формування у студентів знань в галузі аналізу конструктивних рішень, конструювання та застосування різних типів мобільних роботів в сучасних виробничих та логістичних системах.

Для досягнення майбутньої мети вивчення дисципліни студенти повинні знати: вимоги, які висуваються до уніфікації та агрегатно-модульної побудови мобільних роботів; системи навігації та керування різноманітних типів; умови та режими мобільних роботів, типи та характеристики мобільних роботів; особливості, відмінності та галузі застосування різних типів мобільних роботів, що застосовують в автоматизованих виробництвах; шляхи модернізації та подальшого розвитку мобільних роботів.

Вивчення дисципліни безпосередньо базується на знаннях і вміннях, отриманих при вивченні дисциплін «Вища математика», «Інформатика», «Фізика», «Нарисна геометрія, інженерна та комп'ютерна графіка»,

«Електротехніка, електроніка, мікропроцесорна техніка», «Маніпулятори та промислові роботи», «Електропривід машин», «Електронні, мікропроцесорні та обчислювальні пристрої ГВС», «Інформаційні та вимірювальні пристрої», «Проектування ГВС», «Теорія автоматичного керування машинами».

Дисципліна «Мобільні роботи» є однією з завершальних у системі підготовки спеціалістів та магістрів. Вона узагальнює набуті студентами знання у галузі розрахунку та проектування мобільних роботів поширює їх в напрямку розрахунків, що базуються на сучасних моделях і методах.

Дисципліна має націлити майбутніх фахівців на творче застосування отриманих знань у їх практичній діяльності.

У навчальному посібнику розглянуті питання побудови, основи проектування та застосування мобільних роботів в сучасних виробничих та логістичних системах. Наведені основні типи мобільних роботів, принципи керування їх переміщенням та навігації та основні компоненти мобільних роботів. Розглянуті особливості їх використання у складі робототехнічних комплексів в сучасних виробничих та логістичних системах.

Глава 1. Типи мобільних роботів

1.1. Мобільні роботи. Типи мобільних роботів

В одному з висловлювань щодо роботів, визначається, що робот являє собою автоматичний пристрій, створений за принципом живого організму. Діючи за заздалегідь закладеною програмою і отримуючи інформацію про зовнішній світ від датчиків (аналогів органів чуття живих організмів), робот самостійно здійснює виробничі та інші операції, що зазвичай виконуються людиною (або тваринами). При цьому робот може мати зв'язок з оператором (отримувати від нього команди) та іншими пристроями у складі робототехнічного комплексу, або діяти автономно.

У залежності від області застосування розрізняють промислові, медичні, побутові роботи, роботи для забезпечення безпеки, бойові роботи і т.д.

Основною відзнакою усіх роботів є можливість самостійно виконувати визначені дії у тривимірному просторі шляхом переміщення виконавчого пристрою згідно з закладеною програмою. Тому сучасні роботи складаються з механічних пристроїв, різних виконавчих двигунів та сенсорів (інформаційних систем), що забезпечують необхідну швидкість і точність переміщення робочого органа та самого робота, пристроїв керування двигунами з силовими перетворювачами та програмованого пристрою керування, який виконує весь алгоритм керування роботом.

Для вирішування виробничих та логістичних задач використовують промислові роботи. За ДСТУ 2879-94: **Промисловий робот** — автоматична машина, стаціонарна чи пересувна, з виконавчим пристроєм у вигляді маніпулятора, який має декілька ступенів рухомості, і перепрограмовуваним пристроєм програмного керування для виконання у виробничому процесі рухових і керувальних функцій.

Таким чином промислові роботи можна поділити на **стаціонарні** та **пересувні** або **мобільні** роботи.

Стационарний робот - автоматична машина, що складається з виконавчого пристрою у вигляді маніпулятора, яка має кілька ступенів рухливості, і пристрою програмного управління (рис. 1.1).

Такі роботи виробляються в підлоговому, підвісному і порталному виконанні.



Рис. 1.1. Стационарні роботи фірми FANUC

Мобільний робот - автоматична машина, в якій є засоби пересування з автоматично керованими приводами.

Мобільні роботи (рис. 1.2) можуть мати різні засоби пересування, такі як **колісні, гусеничні та крокуючі** (існують також мобільні роботи, що повзують, плавають і літають, але у даному випадку вони розглядатися не будуть).

Виходячи з механізму переміщення мобільні роботи можуть бути з довільною або примусовою траєкторією переміщенням. У мобільних роботів з довільною траєкторією переміщення пересування робота обмежується лише природними перешкодами. Мобільні роботи з примусовою траєкторією переміщення здійснюють пересування по спеціальним направляючим (наприклад, по рейкам або спеціальним засобам переміщення). На цей час такі роботи забезпечують більш високу точність позиціонування за рахунок механічного обмеження траєкторії та потребують відносно прості пристрої позиціонування, тому частіше використовуються на виробництві з невеликим шляхом переміщення.



Рис. 1.2. Мобільні робот з різними засобами переміщення

Мобільні роботи можна поділити на виробничі, транспортні та спеціальні.

Виробничі мобільні роботи найчастіше мають маніпулятор з виконавчим пристроєм, яким може бути захоплюючий пристрій або різні технологічні пристрої, наприклад, зварювальний пристрій, пристрій для різання, фарбування тощо. Такі роботи використовуються у різних технологічних процесах, де технологічне обладнання або об'єкти треба переміщувати на досить великих площах по різних траєкторіях переміщення.

Виробничі мобільні роботи можна поділити на маніпуляційні та технологічні мобільні роботи.

Маніпуляційні мобільні роботи мають маніпулятор з виконавчим пристроєм.

Технологічні мобільні роботи мають на собі додаткове технологічне обладнання.

Транспортні мобільні роботи призначені для автоматизованого транспортування об'єктів, а також для використання у різних транспортних системах.

Спеціальні мобільні роботи можуть виконувати функції контролю та збору інформації, спостереження тощо.

Мобільні роботи можуть бути повністю автономними, або працювати разом з оператором в інтерактивному режимі.

Прикладом автономних роботів можуть бути транспортні роботи, що обслуговують склади (рис. 1.3) (AGV - automated guided vehicles - автоматизовані керовані транспортні засоби).

Прикладом використання роботів у інтерактивному режимі є роботи для спостереження або роботи для розмінування (військові роботи), наведені на рис. 1.4.



Рис. 1.3. Автоматизовані керовані транспортні засоби



Рис. 1.4. Військовий робот для спостереження та розмінування

1.2. Виробничі комплекси на основі мобільних роботів

Як було визначено вище виробничі мобільні роботи можна умовно поділити на маніпуляційні мобільні роботи які мають маніпулятор з виконавчим пристроєм та технологічні мобільні роботи які мають різні технологічні пристрої. До виробничих мобільних роботів можна також віднести так звані **робокари**, які призначені для переміщення різних об'єктів в процесі виробництва.

У наш час широке використання знайшли роботи з примусовою траєкторією переміщення.

На рис. 1.5 наведена багатостанційна робототехнічна технологічна лінія (РТЛ), побудована на базі порталних промислових роботів і призначена для обробки валів електродвигунів.

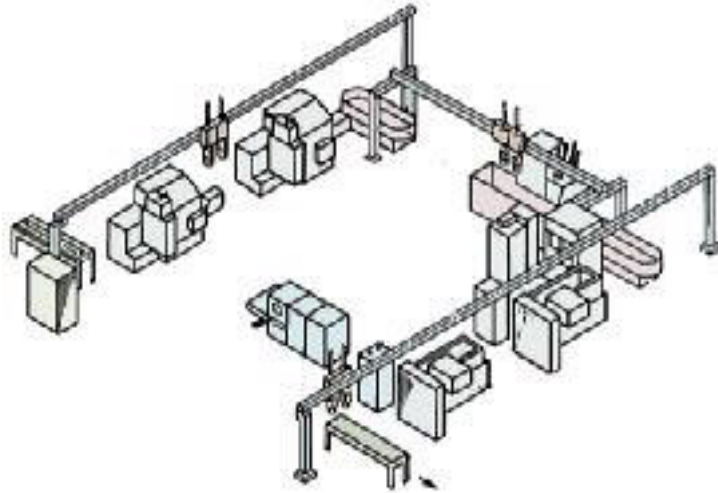


Рис. 1.5. Багатостанційна робототехнічна технологічна лінія

На рис.1.6 показана роботизована технологічна ділянка, що має токарні верстати з ЧПК, що обслуговується рухомим промисловим роботом, із загальним управлінням від ЕОМ, автоматизованим складом і єдиною транспортною системою.

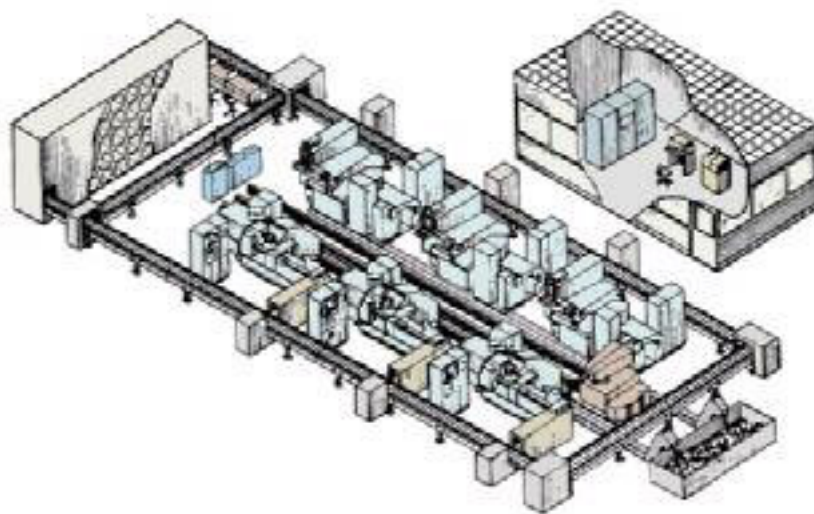


Рис.1.6. Роботизована технологічна ділянка

На рис. 1.7 наведений шліфувальний роботизований комплекс з 6-ти осьовим антропоморфним роботом, що переміщується по лінійній осі над обладнанням.

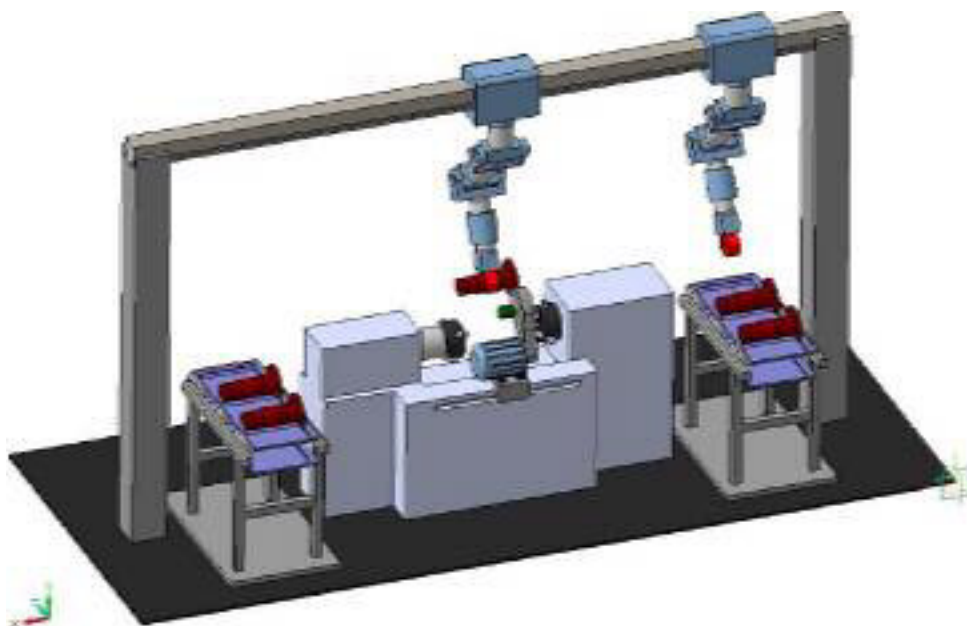


Рис. 1.7. Шліфувальний роботизований комплекс

В наш час є багато роботів, що здатні здійснювати переміщення з примусовою траєкторією. На рис. 1.8 наведений робот **Fill Robocast Move**, що має можливість переміщуватися по лінійним осям.



Рис. 1.8. Робот **Fill Robocast Move**

На рис. 1.9 наведений порталний робот фірми **GUDEL**, що здійснює лінійне переміщення завдяки лінійному транспортному модулю.



Рис. 1.9. Портальний робот фірми **GUEDEL**

На рис. 1.10 наведений маніпулятор **GUEDEL roboLoop** з криволінійною траєкторією. Замкнута в кільце транспортна система дозволяє розмістити на собі кілька незалежних маніпуляторів, що працюють одночасно в послідовних технологічних операціях.

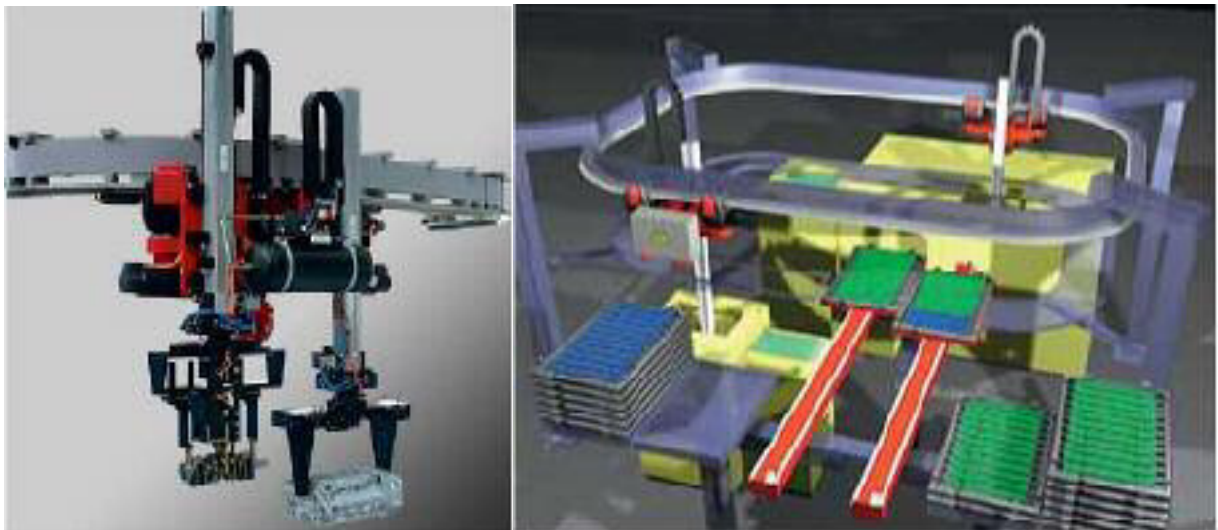


Рис. 1.10. Маніпулятор **GUEDEL roboLoop**

Маніпуляційні мобільні роботи з довільною траєкторією переміщення на цей час знаходяться у стадії становлення і ще не знайшли широкого

використання. Але роботаки, що призначені для переміщення різних об'єктів в процесі виробництва існують вже досить давно.

Одним з таких експериментальних мобільних роботів, що може використовуватися як маніпуляційний, так і як транспортний є модульний робот **KUKA youBot** та робот для виконання технологічних операцій **KMR QUANTEC** (рис.1.11).



Рис.1.11. Експериментальний мобільний робот **KUKA youBot** та робот для виконання технологічних операцій **KMR QUANTEC**

Маніпуляційні мобільні роботи з довільною траєкторією переміщення повинні мати навігаційну систему, що забезпечує переміщення по заданій траєкторії з визначеною точністю.

Технологічні мобільні роботи мають технологічне обладнання для проведення потрібних технологічних операцій. Прикладом таких роботів можуть бути роботи для проведення ремонтних робіт для трубопроводів. На рис. 1.12 наведений мобільні роботи фірми **ProKasro** для проведення фрезерування в трубопроводах.



Рис. 1.12. Мобільні роботи фірми **ProKasro** для проведення фрезерування в трубопроводах

1.3. Транспортні системи на основі мобільних роботів

Транспортні мобільні роботи також можуть бути з довільною або примусовою траєкторією переміщенням.

Транспортні мобільні роботи можуть виконувати тільки функції переміщення об'єктів, при цьому використовуються додаткові пристрої навантаження та розвантаження (рис. 1.13).



Рис. 1.13. Транспортні мобільні роботи для функцій переміщення

Прикладом транспортних роботів з примусовим переміщенням є система супутникових стелажів - Shuttle.

Загальна конструкція стелажів Shuttle багато в чому нагадує набивні стелажі. Але тут всю складність переміщення вантажів усередині стелажу бере на себе спеціальний візок, керований дистанційно оператором при обслуговуванні стелажів із застосуванням стандартного підйомно-транспортного устаткування, або працює в єдиній системі управління в разі автоматизованого складського комплексу.

Транспортна система Dematic Multishuttle, які крім візків, що переміщується по рейкам, мають додаткові візки, що забезпечують вільне переміщення (рис. 1.14).



Рис. 1.14. Транспортні системи Dematic Multishuttle

Більш гнучке застосування забезпечують підлогові безрейкові автоматичні візки (електроробокари) завдяки простоті споруди транспортних шляхів, оснащенню візків пристроями автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій (рис. 1.15).



Рис. 1.15. Транспортні мобільні роботи з пристроями автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій

Транспортні роботи можуть бути обладнані маніпуляторами, вилючними захоплюючими пристроями, підйомними і підйомно-поворотними столами, висувними штангами для підйому і фіксації на потрібній висоті піддонів з вантажами або касет з заготовками.

Більш детальніше різні варіанти транспортних робіт будуть розглянуті далі.

Контрольні запитання

1. Як визначається сучасний промисловий робот?
2. Чим відрізняються стаціонарні та мобільні роботи?
3. Які засоби пересування можуть мати мобільні роботи?
4. Чим відрізняються маніпуляційні промислові роботи?
5. Які додаткові пристрої можуть мати маніпуляційні промислові роботи?
6. Чим відрізняються технологічні промислові роботи?
7. Які додаткові пристрої можуть мати технологічні промислові роботи?
8. Чим відрізняються транспортні промислові роботи?
9. Які додаткові пристрої можуть мати транспортні промислові роботи?
10. Чим відрізняється система супутникових стелажів Shuttle?

Глава 2. Структура і склад мобільних роботів

2.1. Структура мобільних роботів

Структура мобільних роботів залежить від тих задач, що вирішує робот, але незалежно від задач, що вирішуються, можна виділити такі основні компоненти структури мобільного робота (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Структура автономного мобільного робота

Засоби переміщення робота, які забезпечують переміщення мобільного робота по визначеній траєкторії або до визначеного положення (траєкторія переміщення при цьому може змінюватися згідно з обставин). Ці засоби включають як приводи органів пересування, так і засоби навігації робота, що забезпечують переміщення робота по визначеній траєкторії.

Засоби переміщення виконавчих органів, які забезпечують їх переміщення з визначеною точністю позиціонування. Ці засоби включають приводи переміщення виконавчих органів та засоби позиціонування.

Засоби, що забезпечують виконання технологічних функцій. До цих засобів можна віднести захоплюючі пристрої, зварювальні пристрої, пристрої для різання, фарбування тощо.

Засоби керування мобільним роботом. Ці засоби забезпечують як керування самим мобільним роботом, так і його окремими компонентами. У

залежності від складності задач, що вирішує робот, можуть використовуватися централізовані або розподілені системи керування. Сучасні приводи та системи навігації можуть мати свої системи керування, тому потрібно забезпечити взаємодію усіх систем керування, що забезпечують роботу мобільного робота за допомогою локальних мереж зв'язку.

Засоби бездротового зв'язку. Мобільні роботи можуть працювати автономно, але завжди треба забезпечити їх зв'язок з системами керування вищого рівня або з оператором для отримання чергового завдання. Це вирішується за допомогою систем бездротового зв'язку та локальних мереж на їх основі.

Засоби автономного живлення. Важливою задачею у мобільних роботів є забезпечення її автономної роботи. Найчастіше у мобільних роботів використовуються електроприводи, тому там потрібні автономні джерела електричного струму, наприклад, акумулятори, іоністори або сонячні батареї.

Така структура мобільного робота є досить умовою, оскільки сучасні системи керування можуть бути розподіленими, а саме, окремі компоненти можуть мати свої системи керування, які об'єднуються у загальну систему керування за допомогою локальних мереж.

Функціонування мобільного робота забезпечує система керування, яка реалізує алгоритм роботи робота за допомогою засобів програмного керування. При цьому система керування мобільного робота повинна здійснювати адаптивне, а у деяких випадках і інтелектуальне керування. Таким чином мобільні роботи об'єднують в собі усі генерації промислових роботів.

Крім того система керування мобільного робота повинна мати можливість взаємодіяти з іншими компонентами комплексних виробничих та транспортних систем.

Мобільний робот являє собою типову мехатронну систему, де поєднані механічні, електромеханічні, електронні та інформаційні (комп'ютерні)

системи. Тому структура мобільних роботів має вигляд структури узагальненої машини з комп'ютерним керуванням руху (рис. 2.2).

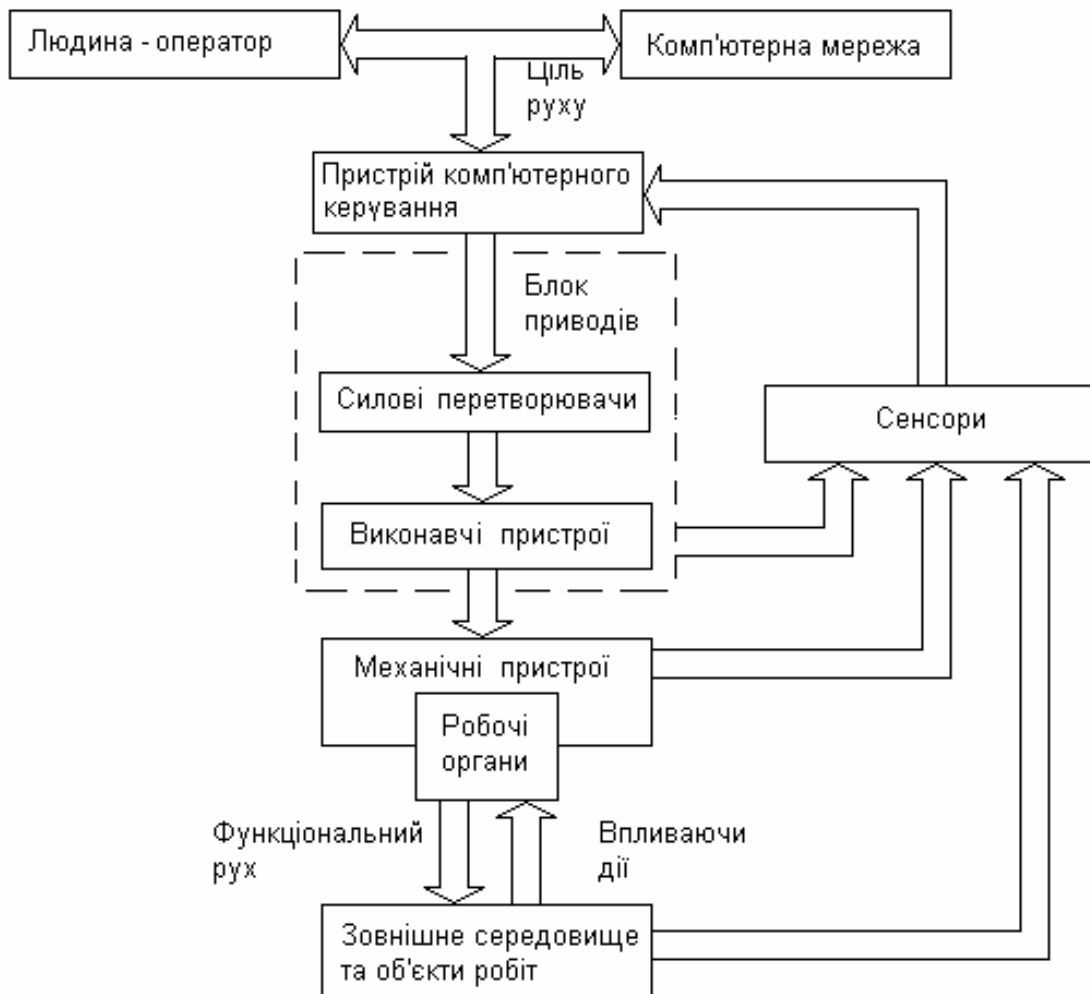


Рис.2.2. Структура узагальненої машини з комп'ютерним керуванням руху

До складу такої машини входять механічні пристрої з робочими органами, що забезпечують усі переміщення робота, блок приводів, що складається з силових перетворювачів та виконавчих пристроїв, пристрій комп'ютерного керування, що реалізує виконання усіх алгоритмів керування, сенсори, що забезпечують збір інформації про стан самого робота (внутрішня інформація) та стан зовнішнього середовища (зовнішня інформація).

Пристрій комп'ютерного керування забезпечує зв'язок з верхнім рівнем керування, а саме з оператором та іншими компонентами комплексної системи,

до складу якої входить мобільний робот. Для забезпечення мобільності це потребує використовувати бездротові системи та мережі зв'язку.

У залежності від конкретного зазначення мобільного робота ця структура може змінюватися.

Наприклад, з точки зору функціонального зазначення у сучасних маніпуляційних мобільних роботів можна відокремити керування маніпуляційною системою та системою переміщення (рис. 2.3).

При використанні простих засобів навігації ці функції може виконувати основний пристрій керування. При застосуванні глобальної навігації може виникнути необхідність застосування спеціальних систем навігації, які мають свої досить складні системи керування та обробки інформації, таких як лазерні системи навігації, системи навігації на основі GPS, тощо.

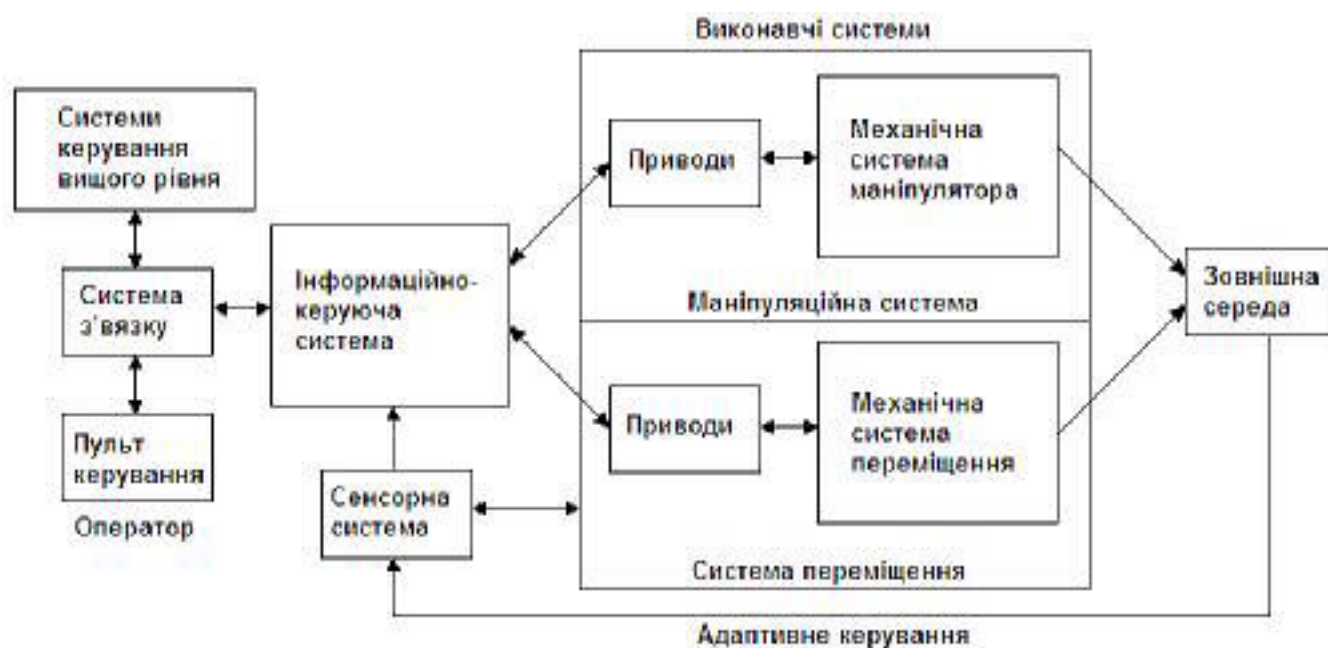


Рис. 2.3. Функціональна схема маніпуляційного мобільного робота

2.2. Склад мобільних роботів

Вище були визначені такі основні засоби, з яких складається структура мобільного робота:

- засоби переміщення робота;
- засоби переміщення виконавчих органів;

- засоби, що забезпечують виконання технологічних функцій;
- засоби керування мобільним роботом;
- засоби бездротового зв'язку;
- засоби автономного живлення.

Виходячи з цього можна визначити такі основні компоненти узагальненої структури мобільного робота:

- виконавчі пристрої, що складаються з механічних засобів та приводів для переміщення самого робота та маніпулятора або інших виконавчих та технологічних пристроїв;
- датчики внутрішньої та зовнішньої інформації;
- системи керування;
- системи навігації;
- системи бездротового зв'язку;
- системи автономного живлення.

Розглянемо склад окремих компонент структури мобільного робота.

Виконавчі органи — це маніпулятори, ходова частина та інші пристрої, за допомогою яких робот може переміщуватися та впливати на предмети оточення. Причому за своєю структурою це складні технічні пристрої, що мають у своєму складі сервоприводи, мехатронні компоненти, датчики, системи управління. За аналогією з живими організмами — це руки і ноги робота.

При цьому поділяють виконавчі органи ходової частини або засобів переміщення самого робота та виконавчі органи переміщення засобів здійснення вантажно-розвантажувальних операцій або тих, що забезпечують роботу технологічного обладнання.

Ходова частина або засоби переміщення мобільних роботів залежать від того, як здійснюється переміщення роботів. Найбільш поширені такі засоби пересування, як колісні (рис. 2.4, а), гусеничні (рис. 2.4, б), крокуючі (рис. 2.4, в) та комбіновані (рис. 2.4, г).



а)



б)



в)



г)

Рис. 2.4. Мобільні робот з різними засобами переміщення

Розрізняють голономні ті неголономні мобільні роботи.

Голономні мобільні роботи можуть переміщуватися у будь якому напрямку без розвороту.

Неголономні мобільні роботи для зміни напрямку руху потребують здійснити поворот.

Виконавчі органи переміщення засобів здійснення вантажно-розвантажувальних операцій залежать від того, як здійснюються ці операції, а саме, за допомогою маніпулятора, вилочного захоплюючим пристрою тощо (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Мобільні роботи з маніпулятором та вилочним захоплюючим пристроєм

Датчики — це системи технічного зору, слуху, дотику, датчики відстаней, локатори та інші пристрої, які дозволяють отримати інформацію про стан самого робота та навколишнього світу. Тому датчики поділяються на датчики внутрішньої та зовнішньої інформації (рис. 2.4).



Рис. 2.6. Датчики внутрішньої та зовнішньої інформації

Належність датчика до однієї з цих груп залежить не від його типу, а від тих функцій, що він виконує.

Система керування — приймає інформацію від датчиків і після її обробки управляє виконавчими органами. Алгоритм керування мобільними роботами реалізується програмними засобами. У найпростішому випадку використовуються пристрої керування на основі однокристальних мікроконтролерів. Такі пристрої керування мають умонтовані засоби керування рухом, а саме, канали вхідних сигналів для отримання інформації з імпульсних датчиків положення та канали вихідних сигналів у вигляді широтно-імпульсної модуляції, що використовуються для керування двигунами (рис. 2.7).

В робототехнічних комплексах на основі мобільних роботів, можуть використовуватися комплексні системи керування, які здійснюють керування усім комплексом та взаємодію усіх компонент.



Рис. 2.7. Пристрої керування на основі однокристальних мікроконтролерів

Якщо робот самостійно виконує отримані завдання, мова йде про автономний мобільний робот. Системи управління інтелектуального автономного мобільного робота може виконувати наступні функції.

1. Створення моделі світу, яка відображає стан навколишнього світу для робота в формі, яка зручна для зберігання і обробки. Модель світу виконує функцію запам'ятовування стану об'єктів у світі та їх властивостей. Важливе місце займає визначення стану робота у цій моделі. Для цього використовується, наприклад, метод SLAM - Simultaneous Localisation and Mapping - Метод одночасної навігації та складання мапи. Цей метод призначений для побудови карти в невідомому просторі або для оновлення

карти у заздалегідь відомому просторі з одночасним контролем поточного місцезнаходження і пройденого шляху

2. Функція розпізнавання — сюди входять системи розпізнавання зображень, мови тощо. Завданням системи розпізнавання є ідентифікація предметів, що оточують робот, та їх положення в просторі. У результаті обробки даних, отриманих системою розпізнавання, будується модель світу та визначається положення робота у цій моделі.

3. Функція планування дій — здійснює «віртуальне» перетворення моделі світу з метою отримання певної дії. При цьому зазвичай перевіряється досяжність поставленої мети. Результатом роботи планування дій є побудова планів, тобто послідовностей елементарних дій для здійснення переміщення робота та його виконавчих пристроїв.

4. Функція виконання виконує заплановані дії, подаючи команди на виконавчі пристрої і контролюючи при цьому процес виконання. Якщо виконання елементарної дії виявляється неможливим, то весь процес переривається і повинно бути виконано нове або часткове перепланування. Наприклад, при наявності перешкоди змінюється траєкторія переміщення.

5. Функція управління цілями — визначає ієрархію, тобто значимість і порядок досягнення поставлених цілей. Важливими властивостями системи управління є здатність до навчання та адаптації, тобто здатність генерувати послідовності дій для поставленої мети, а також підстроювати свою поведінку під мінливі умови навколишнього середовища для досягнення поставлених цілей. Ця функція має важливе значення під час переналагодження комплексної системи (наприклад, гнучкої виробничої системи), де застосовується мобільний робот.

Система керування може бути централізованою, коли усі функції виконує один пристрій керування, або розподіленою, коли окремі функції виконує локальний пристрій керування, пов'язаний з іншими пристроями керування у складі робота за допомогою локальної мережі.

Система навігації — здійснює функцію орієнтування робота та його виконавчих органів у тривимірному світі і функцію прокладення раціональних маршрутів для переміщення робота. Ця система здійснює також визначення положення робота з заданою точністю, а таким чином виконує функцію позиціонування мобільного робота. Система навігації може бути окремою системою або частиною системи управління мобільним роботом.

Розрізняють такі системи навігації:

персональні – позиціонування окремих частин робота та визначення їх положення відносно зовнішніх предметів, що актуально для маніпуляторів, що переміщують предмети між зовнішніми об'єктами;

локальні – визначення координат відносно деякої (за звичай стартової) точки, що актуально при переміщенні у визначених приміщеннях, наприклад, на технологічних ділянках або у складах;

глобальні - визначення абсолютних координат робота при переміщенні за допомогою зовнішніх засобів навігації (наприклад GPS), що актуально при переміщенні по довгим маршрутам.

Системи персональної навігації засновані на використанні датчиків положення окремих частин робота та датчиків для визначення положення зовнішніх об'єктів відносно робота.

Системи локальної навігації заснована на отриманні інформації з датчиків, що знаходяться на самому роботі. До таких систем можна віднести, наприклад, системи маршрутослідкування з використанням та індуктивних датчиків, що використовують вказівники маршруту у вигляді дроту, по якому протікає струм, оптичних датчиків, що використовують вказівники маршруту у вигляді кольорових смуг, та ідентифікатори на шляху пересування робота (рис. 2.8).



Провідник як вказівник траєкторії

Оптичний датчик як вказівник траєкторії

Ідентифікатори як вказівники траєкторії

Рис. 2.8. Системи локальної навігації

Системи глобальної навігації засновані на створенні мапи або плану місцевості, де переміщується робот та визначення положення роботу на цьому плану. Ця інформація використовується для визначення траєкторії переміщення робота. Для визначення положення робота використовують різні засоби, наприклад, лазерні системи, системи супутникової навігації GPS, системи радіоуправління (рис. 2.9).



Лазерна система навігації



Супутникова система навігації (GPS)



Навігація за допомогою радіоуправління

Рис. 2.9. Системи глобальної навігації

Системи навігації класифікуються ще за однією ознакою - вони можуть бути **пасивними і активними**. Пасивна система навігації передбачає прийом інформації про власні координатах та інших характеристиках свого руху від зовнішніх джерел, а активна розрахована на визначення місця розташування тільки своїми силами.

Як правило, всі глобальні схеми навігації пасивні, локальні можуть бути бувають активними і пасивними, а персональні схеми - завжди активні.

До систем навігації можна віднести також пристрої визначення перешкод, оскільки отримана з них інформація використовується для корекції траєкторії пересування.

Системи бездротового зв'язку потрібні для обміну інформацією з іншими роботами та головною системою керування. Мобільні роботи найчастіше є складовою частиною комплексної виробничої системи, для чого треба забезпечити постійний зв'язок, що може здійснювати обмін інформацією з заданою швидкістю. Для забезпечення автономності мобільного робота для цього використовується бездротовий зв'язок, що реалізується найчастіше за допомогою інфра-червоного випромінювання або радіосигналів. Існує досить велика кількість різних стандартів для бездротового зв'язку, які відрізняють швидкістю передачі даних та дальністю дії. На рис. 2.10 наведений приклад використання бездротового інтерфейсу для керування візками транспортної системи.



Рис. 2.10. Приклад використання бездротового інтерфейсу **W - LAN** для керування візками транспортної системи

Системи автономного живлення повинні забезпечити роботу усіх компонент мобільного робота протягом певного часу. Оскільки в мобільних роботах найчастіше використовують електричні приводи, то треба мати відповідні джерела електроенергії. Найбільш поширеними джерелами живлення є акумулятори. Для роботів, що виконують свої функції на відкритому просторі використовуються сонячні батареї (рис. 2.11).



Рис. 2.11. Системи автономного живлення

У межах такої структури деякі функції можуть виконувати спеціалізовані системи, наприклад, системи навігації, які мають свої датчики, систему керування та додаткове обладнання, наприклад, різні вказівники маршруту переміщення або системи глобальної навігації, такі як GPS.

Контрольні запитання

1. З яких основних компонент складається структура мобільного робота?
2. Як виглядає структура узагальненої машини з комп'ютерним керуванням руху?
3. Як виглядає функціональна схема маніпуляційного мобільного робота?
4. Які виконавчі пристрої використовують для переміщення робота?
5. Які датчики використовують для отримання внутрішньої та зовнішньої інформації?
6. Які засоби використовують для виконання технологічних функцій?
7. Які засоби використовують для керування мобільним роботом?
8. Які засоби використовують для навігації мобільних роботів?
9. Які засоби використовують для бездротового зв'язку?
10. Які засоби використовують для автономного живлення?

Глава 3. Колісні мобільні роботи

3.1. Типи колісних мобільних роботів

У мобільних колісних роботах застосовують різні поєднання ведучих, рульових, опорних та ведучих рульових коліс, що дає можливість створити як голономні, так і неголономні мобільні роботи. Як було зазначено вище, неголономні мобільні роботи для зміни напрямку руху потребують здійснити поворот, а голономні - можуть переміщуватися у будь-якому напрямку без розвороту.

На рис. 3.1 наведені основні типи коліс, які застосовуються у промислових мобільних роботах:

(а) ведуче колесо (один ступень свободи), що обертається навколо колісної осі;

(б) ведуче або опорне поворотне (рульове) колесо (два ступеня свободи), що обертається навколо колісної осі і точкою дотику з поверхнею;

(в) поворотне (флюгерне) колесо (два ступеня свободи), що обертається навколо осі, яка зміщена відносно точки дотику з поверхнею;

(г, д) шведське колесо (три ступені свободи), що обертається навколо (ведучої) колісної осі, навколо осей роликів і навколо точки дотику. Ролики можуть бути розміщені двома різними способами, а саме, повернені на 90° (рис. 3.1, г) і 45° (рис. 3.1, д);

(е) кульове або сферичне колесо.

Всі ці типи коліс сильно відрізняються своєю кінематикою і тому значно впливають на всю кінематику мобільного робота.

Ведуче колесо і поворотне колесо мають основну вісь обертання і, таким чином, є строго спрямованими. Для руху в іншому напрямку, колесо має бути спочатку розгорнуто вздовж вертикальної осі. Поворотне колесо, яке обертається навколо зміщеної осі, відрізняється тим, що вихідне зусилля буде рухати шасі під час руління.

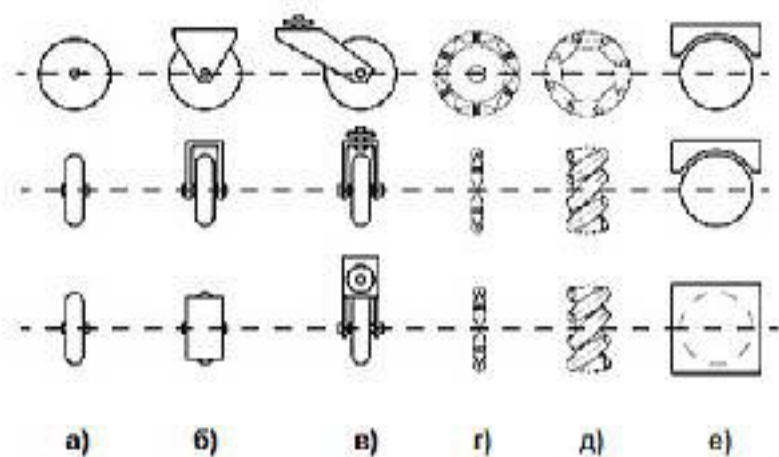


Рис. 3.1. Основні типи коліс, що застосовуються у промислових мобільних роботах

Шведське колесо (Swedish wheel, Mecanum wheel) або колесо Ілона було створено шведською компанією Mecanum AB в 1973 році. Конструкція таких коліс дозволяє обертатися на місці при мінімальній силі тертя і низькому обертальному моменті. Ці колеса дають можливість здійснювати рух у будь-якому напрямку без повороту колеса (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Шведські колеса з роликами, що повернені на 90° і 45°

По-справжньому всеспрямованим колесом, є сферичне колесо, яке сконструйоване таким чином, що воно може активно обертатися в будь-якому напрямку. Одним з механізмів реалізації такої сферичної конструкції є активні приводні ролики, які спираються на верхню поверхню сфери і передають

зусилля для обертання. Недоліком таких коліс є складність технічної реалізації (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Сферичні колеса

Надалі будемо використовувати позначення коліс, що наведені на рис. 3.4, а саме, поворотний опорний (флюгерний) колісний модуль (рис. 3.4, а), неповоротний опорний колісний модуль (рис. 3.4, б), рульовий колісний модуль (рис. 3.4, в), ведуче колесо (рис. 3.4, г), ведучий рульовий колісний модуль (д), всеспрямоване ведуче колесо (рис. 3.4, е).

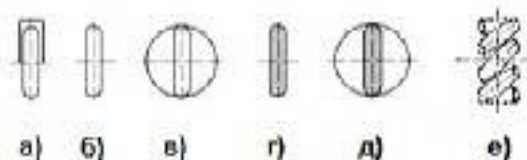


Рис 3.4. Позначення коліс

На рис. 3.5 наведені найбільш поширені кінематичні схеми мобільних роботів, такі як з двома ведучими колесами та рульовим колесом (рис. 3.5, а), з двома неповоротними опорними колесами та ведучим рульовим колесом - трицикл (рис. 3.5, б), з двома диференціальними ведучими колесами та поворотним опорним (флюгерним) колесом (рис. 3.5, в), з чотирма диференціальними ведучими колесами – візок з бортовим розворотом (рис. 3.5, г), з чотирма рульовими ведучими колесами (д), з чотирма всеспрямованими ведучими колесами (рис. 3.5, е). Схеми (а) та (б) здійснюють поворот завдяки

рульовому колесу. Схеми (в) та (г) здійснюють поворот завдяки різниці швидкості обертання коліс, що знаходяться по різних сторонах візка. Схеми (д) та (е) здійснюють всепрямоване переміщення.

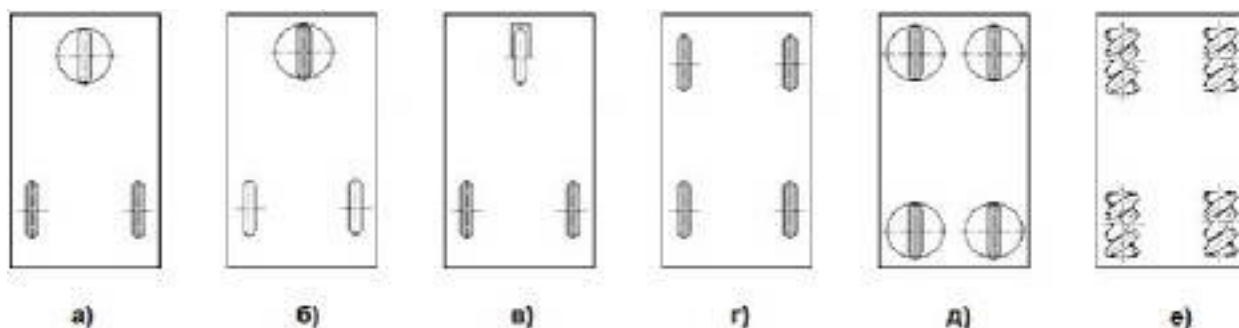


Рис. 3.5. Кінематичні схеми мобільних роботів

На рис. 3.6 наведені приклади колісних мобільних роботів, а саме, навантажувач с приводом типа трицикл (рис. 3.6, а), навантажувач с диференційним приводом (рис. 3.6, в), мобільний робот з чотирма всепрямованими ведучими колесами (рис. 3.6, с).



Рис. 3.6. Приклади колісних мобільних роботів

Розглянемо, як можна описати траєкторію переміщення для окремих кінематичних схем мобільних роботів

Розглянемо більш простіші неголономні роботи, які не можуть миттєво змінити напрямок руху.

Для опису траєкторії переміщення найчастіше використовуються лінійна та колова інтерполяції. Тому далі розглянемо, як здійснюється переміщення мобільних роботів по прямій лінії та по дузі кола.

3.2. Кінематична модель трициклу

Трицикл (рис. 3.5, б). Такий тип триколісного роботів має два неповоротних опорних колеса та ведуче (приводне) рульове колесо з двома моторами — один для руху, інший для руління.

Переміщення по прямій здійснюється, коли рульове колесо знаходиться у тому ж напрямку, як і опорні колеса (рис. 3.7). Якщо швидкість переміщення робота V , то за час Δt відстань, яка буде пройдена приводним колесом, дорівнює $l = V\Delta t$.

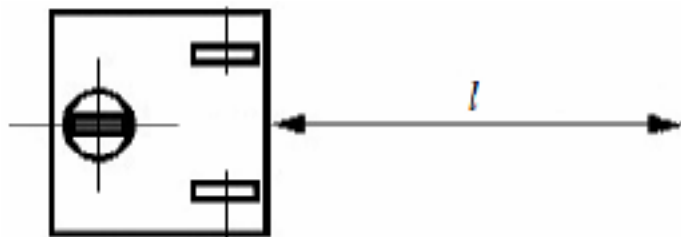


Рис. 3.7. Прямий рух триколісного робота

Розглянемо коловий рух триколісного робота (рис. 3.8).

За умови, що відсутня бічна пробуксовка коліс, визначимо точку пересічення осі передніх і задніх коліс, щоб сформувавши прямокутний трикутник. В результаті отримаємо, що радіус повороту робота відносно його центру дорівнює:

$$R = \frac{L}{\tan \alpha} \quad (3.1)$$

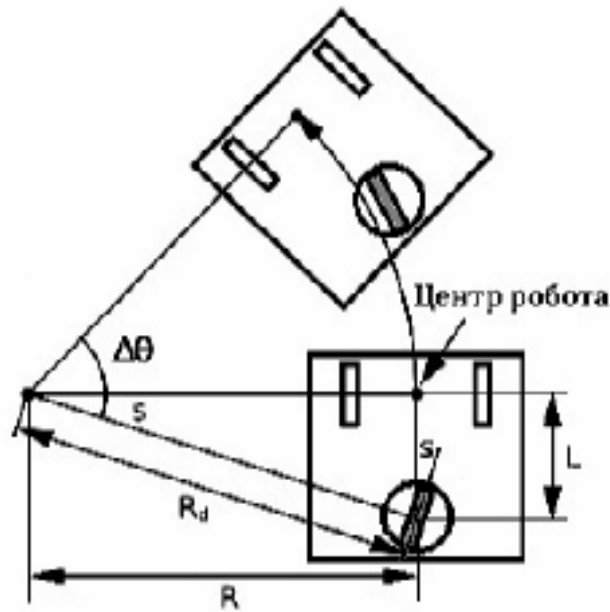


Рис. 3.8. Коловий рух триколісного робота

Визначимо радіус траєкторії, яку описує заднє рульове колесо:

$$R_d = \frac{L}{\sin s} \quad (3.2)$$

За час Δt відстань уздовж цієї дуги кола, яка буде пройдена приводним колесом, дорівнює $l = V\Delta t$, тому кут $\Delta\theta$ (в радіанах), на який повернеться робот буде дорівнювати:

$$\Delta\theta = \frac{V\Delta t}{R_d} = \frac{V\Delta t \sin s}{L} = \frac{l \sin s}{L} \quad (3.3)$$

Для зменшення площі, що потрібна для розвороту робота доцільно здійснювати розворот з мінімальним радіусом. У цьому випадку рульове колесо повернено на 90° ($s = \pi/2$), а $R = R_d = L$ (рис. 3.9).

Кут $\Delta\theta$ (в радіанах), на який повернеться робот у цьому випадку буде дорівнювати:

$$\Delta\theta = \frac{V\Delta t}{L} = \frac{l}{L} \quad (3.4)$$

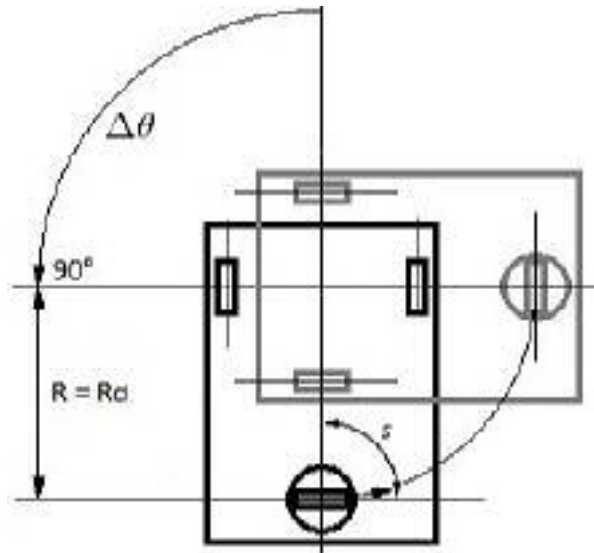


Рис. 3.9. Розворот з мінімальним радіусом

Таким чином, для повороту на кут $\Delta\theta$ заднє рульове колесо повинно пройти шлях l , що дорівнює $L \Delta\theta$.

Для повороту робота на 90° ($\Delta\theta = \pi/2$) заднє рульове колесо повинно пройти шлях l , що дорівнює

$$l = \frac{L\pi}{2} \quad (3.5)$$

3.3. Кінематична модель мобільного робота з диференційним приводом

Робот з диференційним приводом має два мотора, по одному на кожне колесо (рис. 3.10). Зміна напрямку руху здійснюється за рахунок різних швидкостей коліс. Крім того на траєкторію переміщення впливає відстань між колесами W .

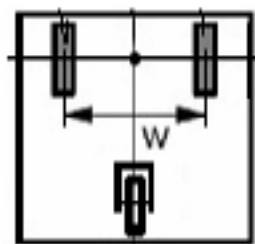


Рис. 3.10. Робот з диференційним приводом

Для прямолінійного руху колеса повинні обертатися з однаковими швидкостями.

Для того, щоб робот розвернувся на місці, необхідно встановити швидкості однаковими по модулю, але спрямованими протилежно.

Інші комбінації швидкостей призводять до руху по дузі (рис. 3.11).

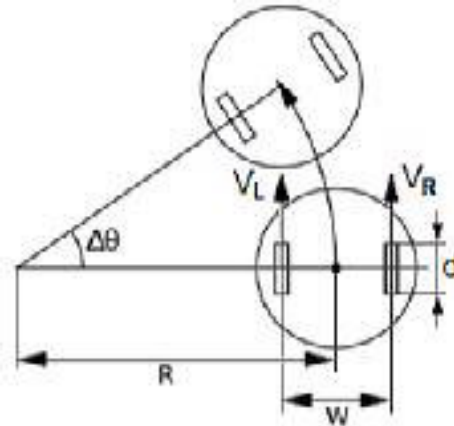


Рис. 3.11. Рух по дузі

Позначимо швидкості коліс (лінійні швидкості з якими вони переміщуються по поверхні) V_L та V_R , відповідно, для лівого і правого коліс і W відстань між колесами.

Прямолінійний рух, якщо $V_L = V_R$.

Розворот на місці, якщо $V_L = -V_R$.

Для того, щоб знайти радіус R переміщення по дузі розглянемо час переміщення Δt , протягом якого робот переміщується вздовж дузі кола на кут $\Delta\theta$.

При цьому:

радіус дузі лівого колеса дорівнює $R - W/2$, тому воно пройде шлях

$$l_L = V_L \Delta t = (R - W/2) \Delta\theta; \quad (3.6)$$

радіус дузі правого колеса дорівнює $R + W/2$, тому воно пройде шлях

$$l_R = V_R \Delta t = (R + W/2) \Delta\theta; \quad (3.7)$$

Дуга переміщення робота та обидві колісні дузі мають в основі один і той же кут $\Delta\theta$

$$\Delta\theta = \frac{V_L \Delta t}{R - \frac{W}{2}} = \frac{V_R \Delta t}{R - \frac{W}{2}} \quad (3.8)$$

Тому радіус дузі R , кут повороту $\Delta\theta$, швидкості переміщення лівого та правого коліс V_L , V_R та відстань між колесами W пов'язані такими залежностями

$$R = \frac{W(V_R + V_L)}{2(V_R - V_L)} \quad (3.9)$$

$$\Delta\theta = \frac{(V_R - V_L)\Delta t}{W} = \frac{l_R - l_L}{W} \quad (3.10)$$

Для переміщення по дузі з радіусом R (поворот наліво) швидкості переміщення коліс V_R та V_L пов'язані такою залежністю

$$V_R = V_L \frac{2R + W}{2R - W} \quad (3.11)$$

Таким чином, для переміщення по дузі з радіусом R незалежно від швидкості переміщення робота треба забезпечити таке відношення між швидкостями переміщення коліс V_R та V_L

$$\frac{V_R}{V_L} = \frac{2R + W}{2R - W} \quad (3.12)$$

3.4. Керування переміщенням колісних мобільних роботів

Рух і стан робота для переміщення по поверхні.

Для того щоб математично описати рух мобільного робота треба визначити системи координат. Введемо дві системи координат - світову систему координат W (яка нерухома в просторі), і система координат робота R , яка переміщається в просторі і залишається нерухомою щодо самого робота (рис. 3.12).

Треба визначити місце розташування робота, тобто перетворення координат між W і R .



Рис. 3.12. Системи координат - світова система координат W (яка нерухома в просторі), і система координат робота R

Якщо припустити, що робот обмежується переміщенням на поверхні, його місце розташування може бути визначене вектором стану, який складається з трьох параметрів:

$$X = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

x і y визначають місце розташування зумовленою точки «центру робота» у світовій системі координат, θ визначає кут повороту між системами координат (кут між осями x_w та x_r)

Дві системи координат збігаються в момент, коли центр робота знаходиться на початку координат і $x = y = \theta = 0$.

Інтегральний рух на площині

Отримуючи переміщення робота в деякі моменти часу, ми можемо знайти весь шлях, пройдений роботом, підсумувавши ці значення, або перейшовши до межі (при прагненні кількості вимірів $\rightarrow \infty$) - шляхом їх інтегрування.

При русі на площині ми маємо три ступені свободи для визначення положення, що представлені як (x, y, θ) .

Розглянемо робота, який може тільки рухатися вперед або повертатися на місці.

При прямолінійному русі робота на відстань D новий стан буде виражено як:

$$\begin{pmatrix} x_{new} \\ y_{new} \\ \theta_{new} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x + D \cos \theta \\ y + D \sin \theta \\ \theta \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

Якщо присутній тільки обертальний рух, при повороті на кут α :

$$\begin{pmatrix} x_{new} \\ y_{new} \\ \theta_{new} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta + \alpha \end{pmatrix} \quad (3.15)$$

Оцінка кругового руху (рис. 3.13)

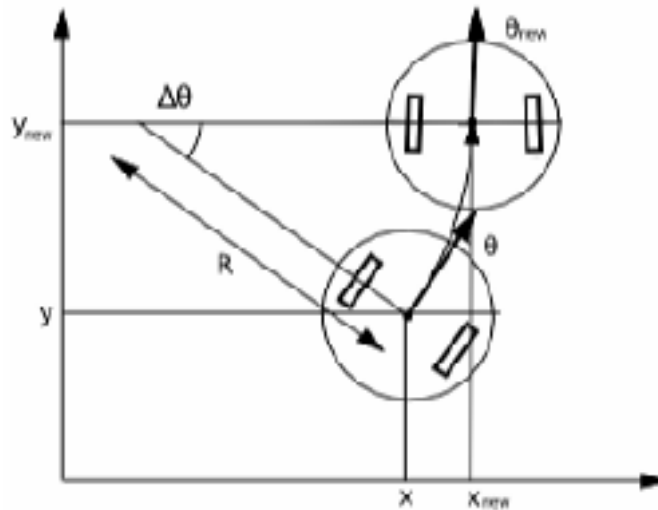


Рис. 3.13. Переміщення по колу (круговий рух)

Для випадків і диференціального й триколісного робота ми можемо отримати вираження для R і $\Delta\theta$ у випадку, коли присутня тільки рух по дузі кола:

$$\begin{pmatrix} x_{new} \\ y_{new} \\ \theta_{new} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x - R(\sin(\Delta\theta - \theta) - \sin \theta) \\ y - R(\cos(\Delta\theta - \theta) - \cos \theta) \\ \theta + \Delta\theta \end{pmatrix} \quad (3.16)$$

Планування маршруту, виходячи з положення (рис. 3.14).

Якщо припустити, що роботу відоме місце розташування, і як воно відноситься до світової системи координат, то планування маршруту на основі його місця розташування дозволить йому рухатися по точному шляху вздовж послідовності заздалегідь визначених точок.

Різні криволінійні траєкторії можуть бути сплановані, з оптимізацією таких критеріїв, як час руху за маршрутом або споживання енергії.

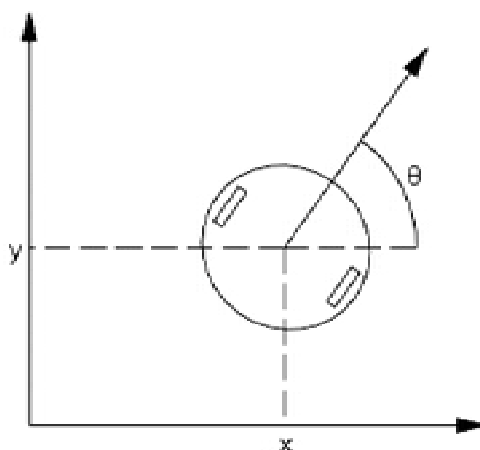


Рис. 3.14. Планування маршруту, виходячи з положення

Припустимо, що:

- рух робота складається з прямолінійних відрізків окремо від розворотів на місці;
- робот прагне звести до мінімуму загальне пройдену відстань, так що він завжди відразу повертається обличчям до наступної точки і їде прямо до неї.

На першому кроці планування маршруту, припустимо, що поточне положення робота (x, y, θ) і наступної точки маршруту є (W_x, W_y) .

Спочатку робот повинен обернутися до зазначеній точці. Вектор спрямування повинен вказувати на:

$$\begin{pmatrix} d_x \\ d_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_x - x \\ W_y - y \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

Значення абсолютного значення кута в градусах α , на який робот повинен обернутися:

$$\alpha = \arctan \left(\frac{dy}{dx} \right) \quad (3.18)$$

Оскільки робот вже повернутий на кут θ , тому кут, на який він повинен повернутися, дорівнює $\beta = \alpha - \theta$.

Після цього, робот повинен рухатися по прямій на відстань

$$d = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} \quad (3.19)$$

Контрольні запитання

1. Які основні типи коліс, що застосовуються у промислових мобільних роботах?
2. Які кінематичні схеми мобільних роботів здійснюють всепрямоване переміщення?
3. Як описати прямолінійний рух триколісного робота?
4. Як описати коловий рух триколісного робота?
5. Як описати розворот з мінімальним радіусом для триколісного робота?
6. Як описати прямолінійний рух робота з диференціальним приводом?
7. Як описати коловий рух робота з диференціальним приводом?
8. Як описати розворот на місці робота з диференціальним приводом?
9. Які системи координат використовують для математичних моделей мобільного робота?
10. Як здійснити планування маршруту переміщення робота, виходячи з положення?

Глава 4. Гусеничні мобільні роботи

4.1. Типи гусеничних мобільних роботів

Модель кінематики.

Мобільний робот з гусеничним рушієм переміщається за рахунок сил тертя, що виникають між опорною поверхнею (грунтом) і гусеничним рушієм робота. Гусеничний рушій складається з ведучого (тягового) колеса, відомих (опорних та підтримуючих) котків, гусениці та корпусу (рис. 4.1). Ведучий коток, з'єднаний за допомогою редуктора з двигуном, створює тягове зусилля за рахунок перемотування гусениць. Велика площа дотику гусениць з ґрунтом дозволяє забезпечити низький середній тиск на ґрунт, завдяки чому досить відчутно зменшується занурення гусеничного рушія в ґрунт.

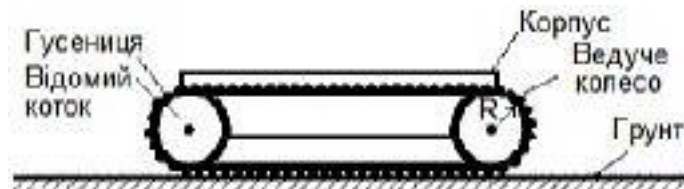


Рис. 4.1. Гусеничний рушій

Залежно від конфігурації гусеничного рушія можна також виділити кілька основних типів (табл. 4.1).

Найбільш типовими для гусеничних мобільних роботів є конструкції 1 і 2. Підвіски 4 і 6 застосовуються у випадках, коли необхідно забезпечити високу вантажопідйомність. Конструкції 3 і 5 відрізняються високою надійністю. Робот, побудований за схемою 7 призначені для рішення особливих завдань, таких, як наприклад рух по замкнутому профілю труби, або подолання значних перешкод. На рис. 4.2 наведені приклади гусеничних мобільних роботів.

Різні конфігурації рушіїв гусеничних систем

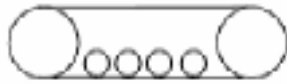
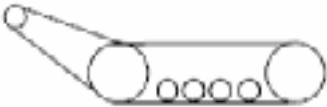


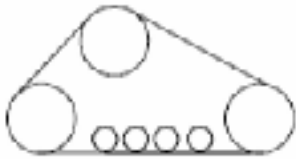
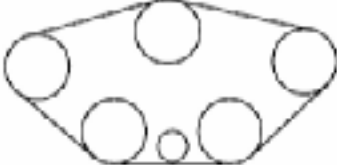

	Назва	Опис	Схема
1	Проста	Містить два опорних катка, один або два з яких є провідними	
2	Двосекційна	Містить два опорні катка, один або два з яких є провідними і один додатковий каток, який може міняти положення щодо двох інших	
3	З одним натяжним катком, винесеним вперед	Містить два опорних катка та один натяжний каток, розташований в передній частині шасі	
4	З двома натяжними катками	Містить два опорних катка та два натяжних катка	
5	З одним натяжним катком (зворотна)	Містить два опорних катка та один натяжний каток, розташований в середній частині шасі	
6	З кількома опорними і натяжними катками	Має кілька опорних і кілька натяжних катків	
7	Зі складною структурою	Підвіска складається з декількох гусениць, спеціальним чином розташованих у просторі, що забезпечує можливість руху по поверхнях незвичайної конфігурації (круглі, нерівні поверхні)	



Рис. 4.2. Приклади гусеничних мобільних роботів

Рух гусеничного мобільного робота (рис. 4.3, г) схожий на рух колісних роботів з диференціальним приводом (рис. 4.3, а) та роботів з бортовим розворотом (чотирьохколісний та шестиколісний приводи), коли здійснюється регулювання швидкості одночасно для усіх коліс з одного боку (рис. 4.3, б, в).

Різниця полягає в тому, що для гусеничного та багатоколісного роботів (рис. 4.2, б, в, г) треба знайти миттєвий центр обертання (Instantaneous Center of Rotation - ICR), який визначає ось повороту робота в залежності від розподілення навантаження на гусеницю або колеса (рис. 4.3).

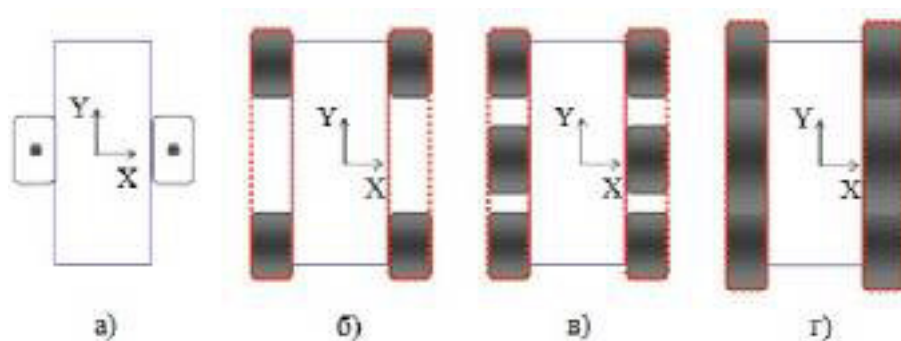


Рис. 4.3. Колісні та гусеничний мобільні роботи

4.2. Кінематична модель гусеничних мобільних роботів

Процес повороту гусеничного транспортного засобу за характером взаємодії рушія з опорною поверхнею принципово відрізняється від процесу повороту колісного транспортного засобу.

Конструкція ходової частини гусеничного транспортного засобу виключає можливість його кінематичного повороту за рахунок одного лише

перекочування опорних катків по гусениці. Опорні гілки гусениць, навантажені вагою транспортного засобу, отримують при повороті бічне переміщення по поверхні, долаючи вельми значні додаткові опору від сил тертя гусениць по поверхні і сил опору зрізу і загібання ґрунту гусеницями. У результаті різко зростають опір руху гусеничного транспортного засобу при повороті і навантаження на його двигун.

Поворот гусеничного транспортного засобу здійснюється шляхом зміни швидкості перемотування гусениць. Поворот відбувається за рахунок зменшення швидкості перемотування тієї гусениці, в бік якої треба повернути транспортний засіб. Якщо треба зробити крутий поворот, відключену гусеницю пригальмовують або здійснюють перемотування гусениці у зворотному напрямку і транспортний засіб повертається на місці.

Позначимо гусеницю з меншою швидкістю, гусениця, що відстає і надамо їй індекс 1, а гусеницю з більшою швидкістю - гусениця, що забігає і надамо їй індекс 2 (рис. 4.4).

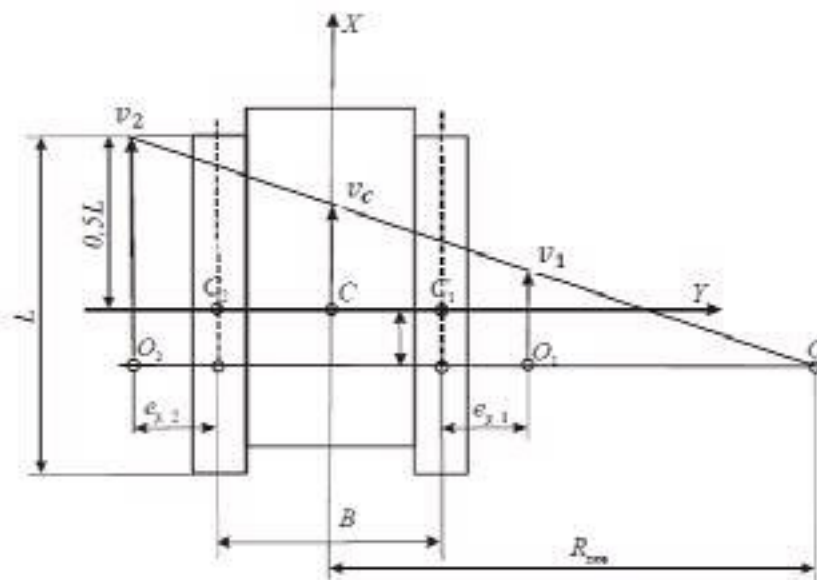


Рис. 4.4. Схема повороту гусеничного транспортного засобу

Транспортний засіб повертається щодо миттєвого центру повороту O . Центр повороту завжди лежить на лінії, перпендикулярній до поздовжньої

площини транспортного засобу. При повороті транспортного засобу опорна гілка гусениці утворює з поверхнею неплоску фрикційну пару. Для спрощення явищ, що відбуваються при повороті, будемо вважати цю пару плоскою.

Гусениці при повороті пробуксовують або прослизують відносно поверхні. Тому на кожній площині фрикційної пари існує єдина точка, в якій відсутній ковзання або буксування. Положення кожної такої точки називається полюсом обертання гусениці.

Полюси обертання визначають кінематичний зв'язок між поверхнями, що труться, і діючими на них силами. При буксуванні і ковзанні гусениць відносно поверхні полюси обертання O_1 і O_2 (рис. 4.4) не збігаються з геометричними центрами гусениць C_1 і C_2 , а зміщуються на деякі відстані. Проекції цих відстаней на координатні осі X і Y називаються **ексцентриситетами полюсів обертання** ($e_{x,1}$, $e_{y,1}$, $e_{x,2}$, $e_{y,2}$). Вісь X системи координат збігається з напрямком поздовжньої осі симетрії машини, а вісь Y - перпендикулярна поздовжній осі транспортного засобу.

Точки O , O_1 і O_2 завжди лежать на одній прямій, перпендикулярній до поздовжньої площини транспортного засобу. Лінія, що з'єднує ці точки, називається **лінією центрів повороту**. У загальному випадку вона з'єднує центри тиску гусениць на поверхню і не збігається з поперечною віссю $C - X$, що проходить через середини опорних поверхонь гусениць.

Поворот гусеничного транспортного засобу характеризується також кутовою швидкістю повороту остова транспортного засобу ω_T і радіусом повороту $R_{пов}$. Радіус повороту $R_{пов}$ дорівнює відстані від центру повороту O до поздовжньої площини симетрії транспортного засобу. Кутову швидкість повороту транспортного засобу можна визначити формулою:

$$\omega_T = \frac{v_2 - v_1}{e_{y,2} + B + e_{y,1}} \quad (4.1)$$

Довжина опорної гілки, що дорівнює відстані L між осями крайніх опорних катків, називається поздовжньою базою гусеничного транспортного

засобу. Для спрощення аналізу явищ, що відбуваються при повороті, можна припустити, що поздовжня база транспортного засобу дорівнює довжині опорної поверхні гусениць.

У загальному випадку руху транспортного засобу по площині, що деформується, опорна гілка гусениці завжди більше поздовжньої бази транспортного засобу.

Відношення поздовжньої бази до поперечної бази B називається відносною опорною базою, яка є важливим геометричним параметром, що характеризує поворот гусеничного транспортного засобу.

Розглянемо спочатку спрощену схему повороту гусеничного транспортного засобу без буксування і ковзання гусениць. У цьому випадку миттєвий центр повороту O буде розташовуватися на поперечній осі, що проходить через центр мас (рис. 4.5).

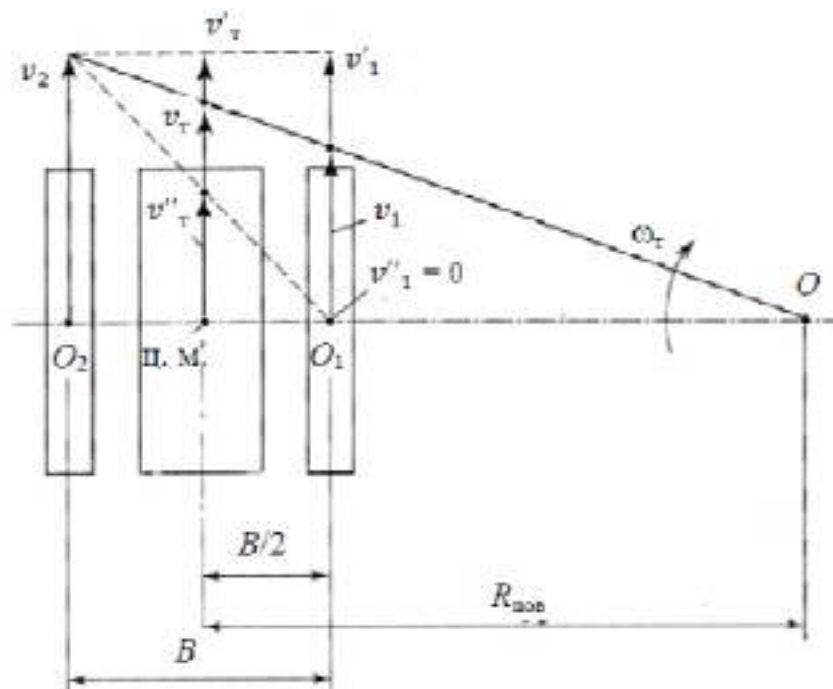


Рис. 4.5. План швидкостей при повороті гусеничного транспортного засобу

При прямолінійному русі транспортного засобу швидкість його центру мас дорівнює $v'_т$. З такою ж швидкістю рухаються права і ліва гусениці ($v_2 = v'_1 = v'_т$). Для здійснення правого повороту швидкість правої гусениці необхідно

зменшити до значення v_1 . Швидкість лівої гусениці залишимо без змін. З'єднуючи кінці векторів швидкостей v_2 і v_1 прямою лінією на перетині її з поперечною віссю транспортного засобу $O_2 - O_1$ знаходимо миттєвий центр повороту O .

У точці O поступальна швидкість транспортного засобу дорівнює нулю. Щодо цієї точки транспортний засіб робить поворот по дузі кола з радіусом $R_{\text{пов}}$. Таким чином, рух гусениць транспортного засобу на повороті складається з двох рухів:

- поступального руху зі швидкостями v_2 і v_1 , відповідно, гусениць, що забігають і відстають;
- обертального руху цих гусениць навколо полюсів повороту O_2 і O_1 з кутовою швидкістю ω_T .

З подоби трикутників на плані швидкостей (рис. 4.5) знаходимо:

$$\frac{v_T}{R_{\text{пов}}} = \frac{v_2 - v_1}{B} \quad (4.2)$$

Оскільки швидкість центру мас транспортного засобу $v_T = (v_2 + v_1)/2$, то після її підстановки в формулу (4.2), отримаємо

$$R_{\text{пов}} = \frac{B(v_2 + v_1)}{2(v_2 - v_1)} \quad (4.3)$$

Розглянемо кінематику повороту при буксуванні гусениць.

Радіус повороту транспортного засобу $R_{\text{пов}}$, що визначається по формулі (4.3), враховує лише теоретичні швидкості гусениць, що забігають v_2 і відстають v_1 (рис. 4.6).

З'єднуючи кінці векторів швидкостей v_2 і v_1 прямою лінією, знаходимо миттєвий центр повороту транспортного засобу (точку O) на перетині цієї прямої з лінією центрів повороту $O_2 - O_1$.

Дійсні швидкості руху гусениць відрізняються від теоретичних внаслідок буксування і ковзання гусениць при русі транспортного засобу. Забігати

гусениця, як правило, рухається з буксуванням, тому її реальна швидкість $v'_2 = v_2 (1 - \delta_2)$, де δ_2 – її коефіцієнт буксування.

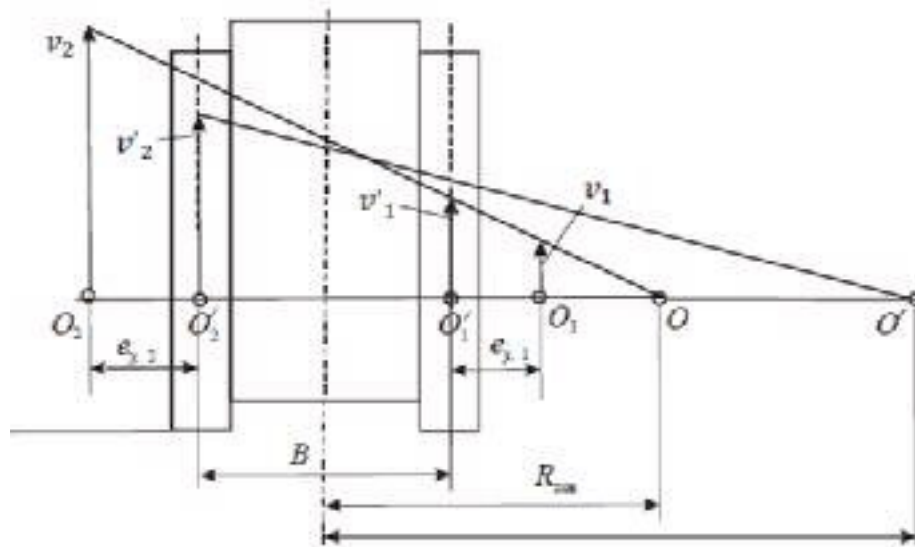


Рис. 4.6. Схема визначення радіуса повороту гусеничного транспортного засобу з урахуванням буксування гусениць

При гальмуванні ведучого колеса відстаючої гусениці вона зазвичай починає прослизати щодо опорної поверхні, тому її швидкість зростає: $v'_1 = v_1 (1 + s)$, де s – коефіцієнт ковзання відстаючої гусениці.

Проводячи пряму лінію через кінці векторів реальних швидкостей v'_2 і v'_1 (рис. 4.6), отримуємо нове положення миттєвого центру повороту (точку O'). На рис. 4.6 видно, що буксування і проковзування гусениць призводить до збільшення радіусу повороту. Величину реального радіуса повороту $R_{\text{пов}} = R'_{\text{пов}}$ можна оцінити, замінивши у формулі (3) теоретичні швидкості v_2 і v_1 їх реальними значеннями можна $v'_2 = v_2 (1 - \delta_2)$ і $v'_1 = v_1 (1 + s)$:

$$R_{\text{пов}} = R'_{\text{пов}} = \frac{B}{2} \frac{v'_2 + v'_1}{v'_2 - v'_1} = \frac{B}{2} \frac{v_2 + v_1 - (v_2 \delta_2 - v_1 s)}{v_2 - v_1 - (v_2 \delta_2 + v_1 s)} \quad (4.4)$$

Оскільки $(v_2 \delta_2 + v_1 s) > (v_2 \delta_2 - v_1 s)$, то порівняння формул (4.3) і (4.4) показує, що $R_{\text{пов}} < R'_{\text{пов}}$.

У реальних умовах експлуатації можливі випадки руху транспортного засобу, коли відстаюча гусениця також рухається з буксуванням. Тоді її реальна

швидкість стає менше теоретичної: $v'_1 = v_1 (1 - \delta_1)$, де δ_1 – коефіцієнт буксування відстаючої гусениці.

Вводячи в формулі (4) заміну: $\delta_1 = -s$, отримаємо:

$$R_{\text{пов}} = R''_{\text{пов}} = \frac{B}{2} \frac{v_2 + v_1 - (v_2 \delta_2 + v_1 \delta_1)}{v_2 - v_1 - (v_2 \delta_2 - v_1 \delta_1)} \quad (4.5)$$

Оскільки $(v_2 \delta_2 + v_1 \delta_1) > (v_2 \delta_2 - v_1 \delta_1)$, то $R''_{\text{пов}} < R_{\text{пов}}$. Отже, буксування відстаючої гусениці призводить до зменшення радіуса повороту транспортного засобу.

4.3. Керування переміщенням гусеничних мобільних роботів

Позиційне переміщення гусеничного мобільного робота за допомогою одометра, аналогічно тому, як було зроблено для колісного робота з диференціальним приводом, пов'язано з труднощами визначення миттєвого центру обертання, який залежить від центру ваги робота, який у свою чергу залежить від наявності та положення вантажу. А це в свою чергу впливає на радіус та центр повороту при переміщенні по дузі кола, що призводить до відповідної зміни траєкторії переміщення.

Тому керування переміщенням робота доцільно здійснювати за допомогою засобів локальної навігації, що дають можливість визначати положення робота відносно зовнішніх орієнтирів, наприклад, з використанням засобів маршрутослідкування.

Спрощену структуру системи управління гусеничним мобільним роботом можна представити у вигляді рис. 4.7.



Рис. 4.7. Структурна схема системи управління

Кінематична модель служить для розрахунку заданих лінійної V_{ref} і кутової ω_{ref} швидкостей руху робота, відповідних заданій траєкторії X_{ref} , Y_{ref} . Модель динаміки використовується для розрахунку параметрів регулятора, який служить для вироблення керуючих напруг U_1 , U_2 двигунів робота, в залежності від факторів, що впливають на траєкторію переміщення.

Контрольні запитання

1. Які основні типи конфігурації гусеничного рушія, що застосовуються у промислових мобільних роботах?
2. Які конструкції гусеничних рушіїв є найбільш типовими для гусеничних мобільних роботів?
3. У чому полягає відмінність гусеничного та багатоколісного роботів від роботів з диференціальним приводом?
4. Як описати прямолінійний рух гусеничного робота?
5. Як описати коловий рух гусеничного робота?
6. Як описати розворот з мінімальним радіусом для гусеничного робота?
7. Як визначається миттєвий центр повороту?
8. Як знайти реальний радіус колового руху гусеничного робота?
9. Як описати розворот на місці гусеничного робота?
10. Як виглядає спрощена структура системи управління гусеничним мобільним роботом?

Глава 5. Крокуючі мобільні роботи

5.1. Типи крокуючих мобільних роботів

Крокуючі рушії забезпечують найбільшу прохідність мобільних роботів, які використовуються в складних природних умовах і бездоріжжя. Вони здатні забезпечити стійкий підйом і спуск по нахилам і сходах. Для стійкого проходження складних форм рельєфу крокуючий робот повинен бути адаптивним, тобто володіти здатністю адаптації до зміни форми рельєфу поверхні. У наш час крокуючі мобільні роботи в основному виконують функції людиноподібних роботів (роботів-гуманоїдів або андроїдів) та транспортні функції.

Частіше усього використовують крокуючі мобільні роботи з двома, чотирма та шістьома ногами (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Крокуючі мобільні роботи

Крокуючі роботи часто поділяють на антропоморфні (людиноподібні) та павукоподібні (чотирма, шістьома та вісьмома ногами) роботи.

Двоногі мобільні роботи в основному виконують функції людиноподібних роботів (роботів-гуманоїдів або андроїдів), мобільні роботи з двома, чотирма та шістьома ногами в основному виконують транспортні функції.

5.2. Кінематична модель крокуючих мобільних роботів

Мобільний робот з двома ногами найчастіше використовується для створення людиноподібних роботів, тому їх рухи повторюють рухи людини.

Мобільні роботи з чотирма, шістьма та вісьмома ногами найчастіше використовується для створення твариноподібних роботів, тому їх рухи повторюють рухи тварин та комах.

Розглянемо кінематичну модель крокуючих роботів та вимоги до систем керування на прикладі роботів з двома та шістьма ногами.

Роботи з двома ногами, як вже було вказано, найчастіше виконують функції людиноподібних роботів.

Людина здатна до руху в трьох площинах: фронтальній, сагітальній і горизонтальній, тому розрізняють три осі тіла: сагітальну, вертикальну і фронтальну. Назвам осей відповідає назва площин: сагітальна, фронтальна і горизонтальна (поперечна) площині (рис. 5.2).

Розрізняють такі рухи:

нахил вперед - назад, рух у сагітальній площині;

нахил вправо - вліво, рух у фронтальній площині;

поворот вправо – вліво, рух у поперечній площині.

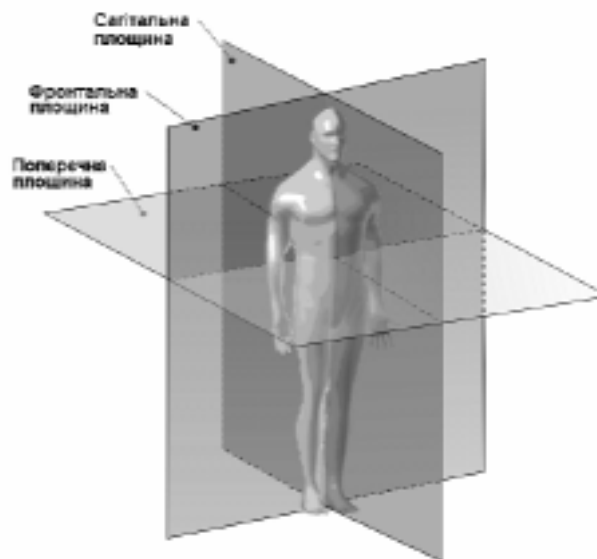


Рис. 5.2. Сагітальна, фронтальна і поперечна площині руху людини

Розглянемо, як здійснюється хода людиноподібних роботів (рис. 5.3). Під час ходи можна визначити одноопорний (рис. 5.3, а,в) та двохопорний (рис. 5.3, б) рух.

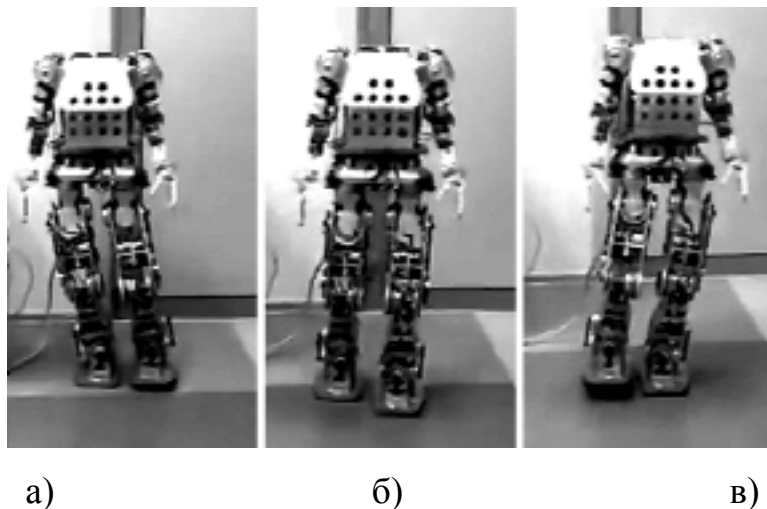


Рис. 5.3. Одноопорний (а,в) та двохопорний (б) рух

До початку руху центр ваги переміщується на першу ногу, після чого друга нога переміщується у напрямку руху. Потім центр ваги переміщується на другу ногу, після чого перша нога переміщується у напрямку руху.

Опорна циклограма руху може бути відображена діаграмою, наведеною на рис. 5.4. За її допомогою зручно проводити аналіз ритміки пересування.

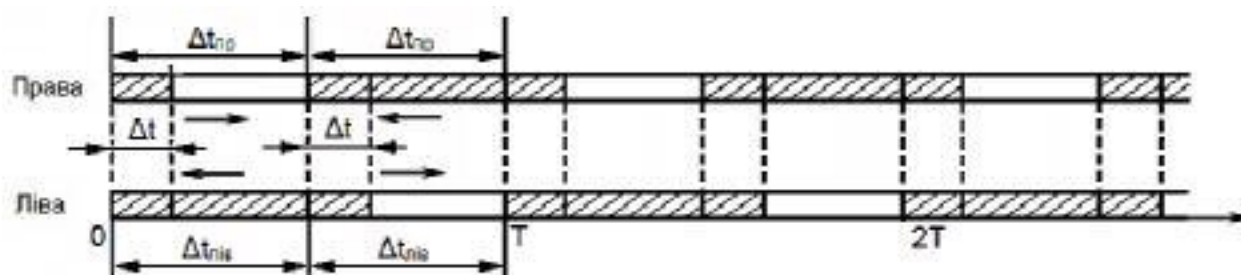


Рис. 5.4. Опорна циклограма руху

Найпростіші ритмічні рухи можна описати такими часовими параметрами:

T - період руху (через який послідовність рухів періодично

повторюється),

$\Delta t_{\text{пр}}$, $\Delta t_{\text{лів}}$ – час між початком опори на першому ногу і початком опори на іншу,

Δt - час опори на обидві ноги,

$\Delta t_{\text{пр}} + \Delta t$, $\Delta t_{\text{лів}} + \Delta t$ – час опори на одну ногу.

Двонога хода здійснює пересування, при якому відбувається циклічна зміна одноопорного періодів (опори на одну з ніг і перенесення іншої ноги) і двоопорний періодів між ними (переміщення тіла с опорою на обидві ноги). На кожному наступному кроці махова нога стає опорною, а опорна стає маховою. На рис. 5.4 видно, що існує чотири фази ходьби У локомоціях людини фаза опори становить 58 ... 80% від тривалості одиночного кроку, а фаза переносу решта 42 ... 20%. Найімовірніше співвідношення при нормальній ходьбі становить 66% і 34% (або по 33 і 17 від повного рухового циклу).

Таким чином при переміщенні здійснюються такі рухи:

одноопорний рух - перенесення ноги спільно с рухом торсу при опорі на іншу ногу;

двоопорний - рух торса с опорою на обидві ноги.

На рис. 5.5 наведені фази циклу ходи (фази руху двоногого крокуючого робота).

У процесі ходи двоногого крокуючого робота відбувається послідовна зміна фаз (рис. 5.5):

А (одноопорна) права нога: переміщення корпусу і правої ноги с опорою на ліву ногу;

Б (двоопорна) права нога: перенесення тяжкості корпусу с лівої ноги на праву ногу с опорою на обидві ноги;

В (одноопорна) ліва нога: переміщення корпусу і лівої ноги с опорою на праву ногу;

Г (двоопорна) ліва нога: перенесення тяжкості корпусу с правої ноги на ліву ногу с опорою на обидві ноги.

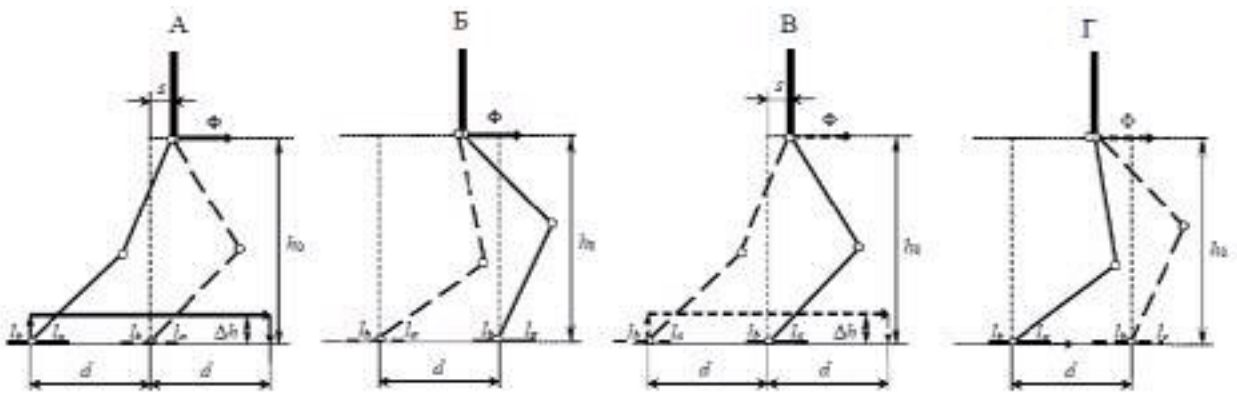


Рис. 5.5. Фази циклу ходи (фази руху двоногого крокуючого робота)

Принцип комфортності формується як оптимізаційне умова ходьби з наступним критерієм якості: рух двоногого механізму здійснюється так, щоб його центр мав відчувати найменше середнє прискорення, а саме прагнув до рівномірного і прямолінійного руху.

Перевагою крокуючих роботів є можливість пересуватися у складних умовах, наприклад, по нерівній та похилій площині або підніматися і спускатися по сходах (рис. 5.6.)

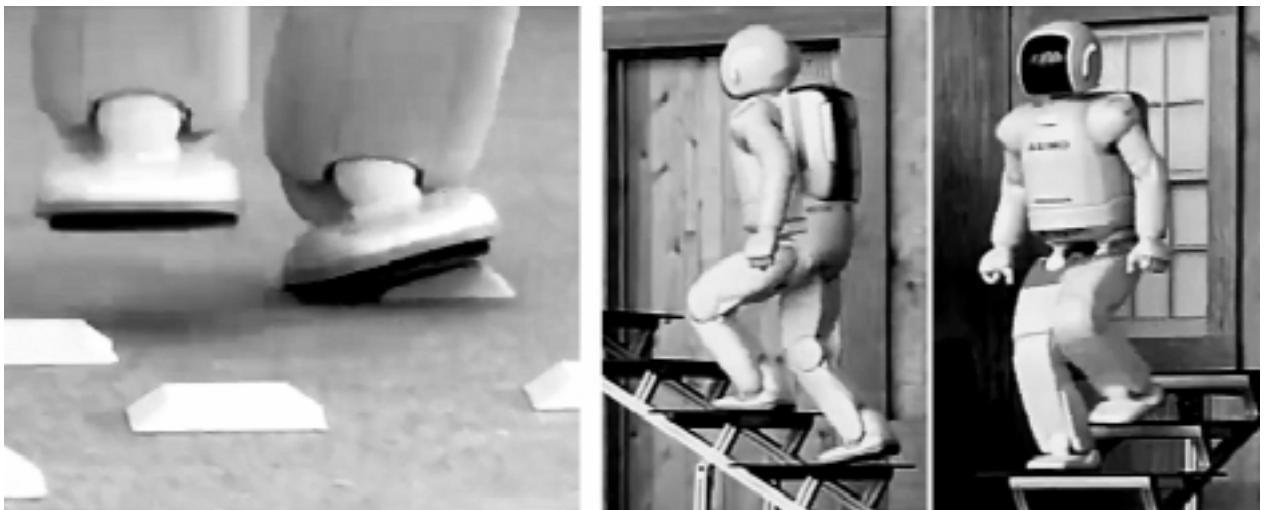


Рис. 5.6. Пересування у складних умовах

При цьому треба не тільки змінювати положення стопи, але й утримувати робот у такому стані, щоб центр ваги не вийшов за межі площі опори. Для забезпечення цього потрібно також здійснювати відповідний нахил корпусу

робота відносно тазу, засобами що імітують роботу хребта людини.

Виходячи з необхідності забезпечення усіх рухів під час ходи узагальнена кінематична схема двоногого крокуючого робота може мати вигляд, наведений на рис. 5.7.

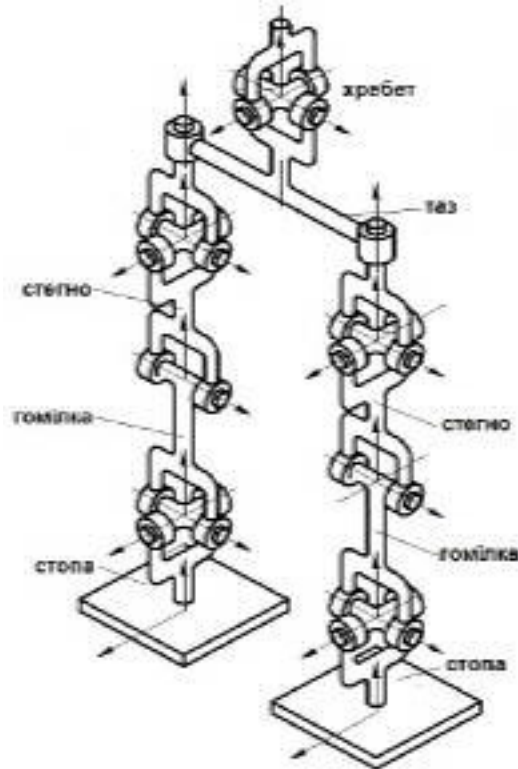


Рис. 5.7. Узагальнена кінематична схема двоногого крокуючого робота

Для реалізації цієї схеми потрібні 14 регульованих приводів кутового переміщення з датчиками положення (кута повороту), з них по 6 приводів на кожен ногу та 2 приводи для переміщення корпусу робота відносно тазу для підтримки рівноваги. Підтримання рівноваги забезпечують датчики акселерометри, що здійснюють функції вестибулярного апарату людини.

Мобільні роботи з чотирма, шістьма та вісьмома ногами найчастіше використовується для виконання транспортних функцій та переміщення у складних умовах. Наявність більшої кількості ніг ускладнює систему керування, яка повинна здійснювати узгоджене переміщення усіх ніг разом. З іншого боку така кількість ніг дає можливість одночасної опори на три і більше ніг, що спрощує систему утримання рівноваги, зводячи її до утримання

потрібної орієнтації робота.

Розглянемо рух таких роботів на прикладі шестиногого робота, схематичне зображення якого наведено на рис. 5.8, а, а також номери ніг (рис. 5.8, б) та вихідне положення робота (рис. 5.8, в).

При переміщенні шестиногого робота використовується хода "трійка", тому що під час руху переставляються групи (трійки) ніг, що складаються з першої та останньої ніг з одного боку та середньої ноги з іншого боку. Таким чином для ходи "трійка" маємо дві групи ніг: 1, 4, 5 та 2, 3, 6.

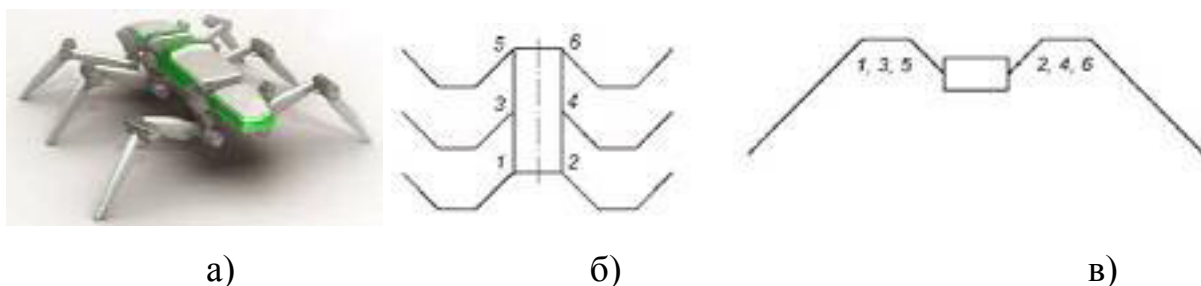


Рис. 5.8. Приклад шестиногого робота

Хода здійснюється зміною опорних ніг: ... \rightarrow 1, 4, 5 \rightarrow 2, 3, 6 \rightarrow 1, 4, 5 \rightarrow 2, 3, 6 \rightarrow ...

На рис. 5.9 наведені фаза переносу та фаза опору. Пунктирна лінія позначає вихідне положення ніг, безперервна лінія - кінцеве.

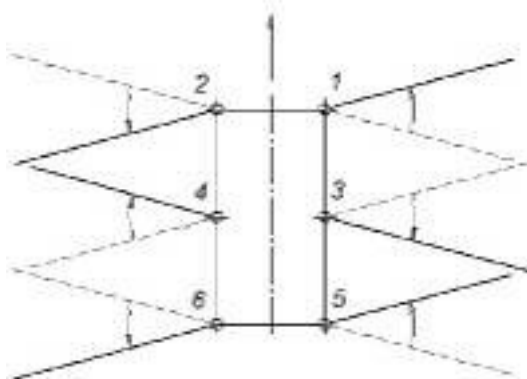


Рис. 5.9. Фаза переносу та фаза опору для ходи "трійка"

На рис. 5.10 наведені процес підйому (а) та опускання (б) ноги.

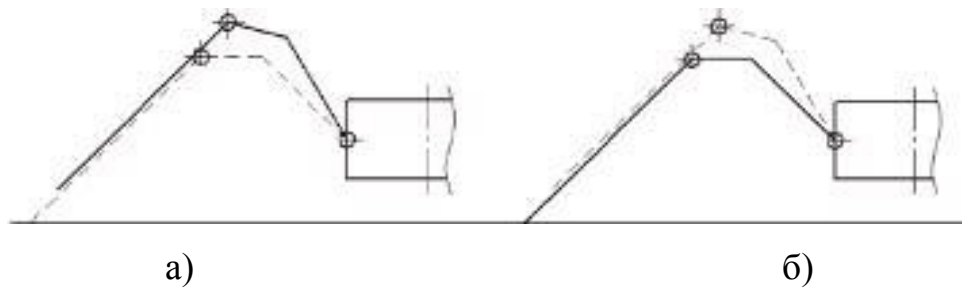


Рис. 5.10. Процес підйому (а) та опускання (б) ноги.

Кінематична схема такого шестиногого робота наведена на рис.5.11.

Для реалізації переміщення робота ходом "трійка" можна використати таку послідовність дій.

1. Визначається послідовність зміни опори ніг (у даному випадку ... \rightarrow 1, 4, 5 \rightarrow 2, 3, 6 \rightarrow 1, 4, 5 \rightarrow 2, 3, 6 \rightarrow ...).
2. Визначається процес здійснення фази переносу та фази опору, а саме, які приводи використовуються для підйому та опускання ніг.
3. Визначення обмежень на зміну узагальнених координат.
4. Визначення часу виконання одного кроку T , виходячи з швидкості переміщення робота.
5. Розбиття часу T на кількість проміжок часу, що відповідають кількості ітерацій при визначенні зміни узагальнених координат під час руху.
6. Вибір прирощення узагальнених координат на кожній ітерації.

Така послідовність дій визначає алгоритм, який реалізує система керування робота для здійснення ходи.

Цей алгоритм значно ускладнюється, коли переміщення робота здійснюється по складній поверхні. Оскільки опорні ноги можуть знаходитись на різних рівнях, треба на стопах встановлювати датчики, що обмежують опускання ноги при торканні поверхні (наприклад, тактильні датчики або датчики механічних зусиль).

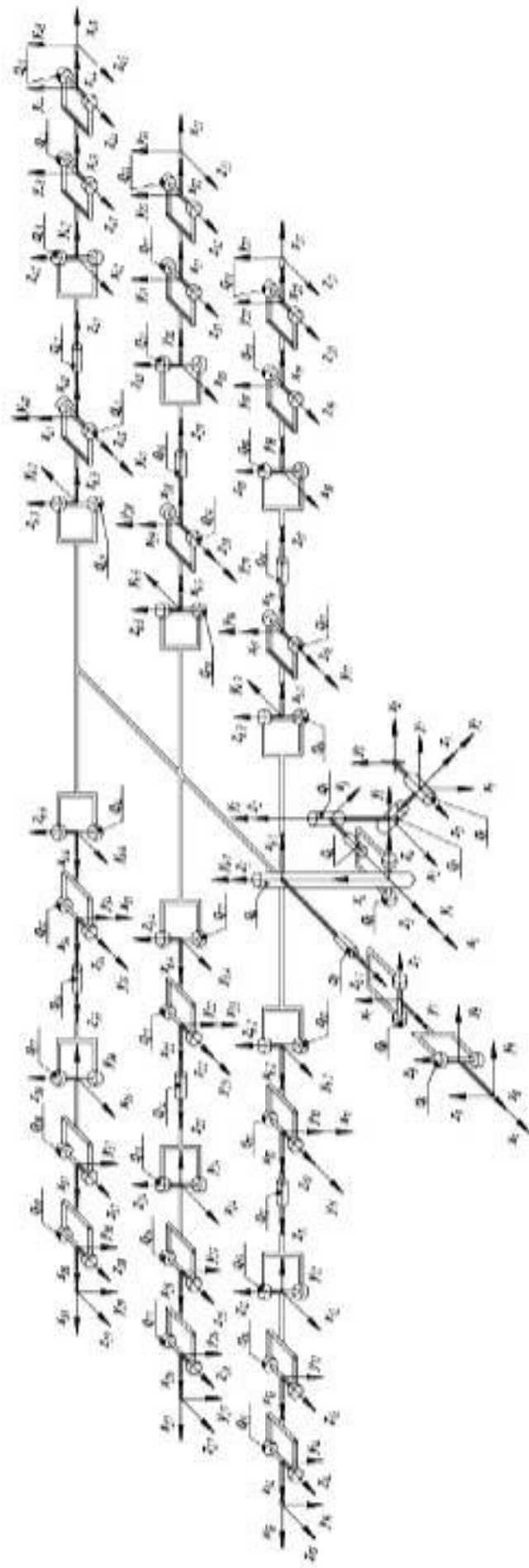


Рис. 5.11. Кінематична схема шестиногого робота

5.3. Керування переміщенням крокуючих мобільних роботів

Складність апаратних компонент та алгоритму керування крокових роботів потребує досить складної системи керування, яка здатна виконувати усі функції у реальному часі. Кожна нога робота для кожного суглоба повинна мати регульований привод та датчик положення, які повинні здійснити визначений рух ноги, відповідно з рухом самого робота у встановленому напрямку або по встановленій траєкторії. Крім того у мобільного робота повинна бути система навігації, що встановлює положення робота и визначає траєкторію його переміщення.

При вирішенні відносно простих функцій двоногий мобільний робот може використовувати централізовану систему керування, оскільки сучасні мікроконтролери можуть мати досить велику кількість входів та виходів для підключенні приводів та датчиків. Так, наприклад, мікроконтролер **Arduino Mega** має 54 двійкових входів та виходів, 15 виходів з широтно-імпульсною модуляцією та 16 аналогових входів, що дає можливість безпосередньо керувати 15 приводами.

Для мобільних роботів з чотирма та більшою кількістю ніг загальна кількість регульованих приводів складає декілька десятків, тому у цьому випадку здається доцільним використання розподілених систем керування (рис. 5.12), де загальне керування здійснюють обчислювальні пристрої, здатні реалізувати досить складні алгоритми керування переміщенням робота, а керування окремими ланками виконують відносно прості або спеціалізовані мікроконтролери, які реалізують локальні системи керування. Взаємодія цих окремих систем керування здійснюється за допомогою локальних мереж, що забезпечують своєчасний обмін даними між усіма компонентами мережі.



Рис. 5.12. Розподілена система керування крокуючим мобільним роботом

Контрольні запитання

1. Які основні типи крокуючих роботів?
2. Які функції в основному виконують двоногі мобільні роботи?
3. Які функції в основному виконують мобільні роботи з двома, чотирма та шістьма ногами?
4. Як здійснюється хода людиноподібних роботів?
5. Чим відрізняються одноопорний та двоопорний рух?
6. Як виглядає узагальнена кінематична схема двоногого крокуючого робота?
7. Як здійснюється підтримання рівноваги двоногого робота?
8. Чим відрізняються роботи з чотирма, шістьма та вісьмома ногами від двоногих роботів?
9. Як здійснюється хода "трійка"?
10. Які основні компоненти повинна мати системи керування крокуючих роботів?

Глава 6. Персональна та локальна навігація мобільних роботів

6.1. Типи та засоби персональної навігації мобільних роботів

Персональна навігація відповідає за здатність коректного взаємного розташування частин робота та робота і його частин відносно об'єктів навколишнього середовища для переміщення по необхідній траєкторії, а також уникання зіткнення шляхом відповідного керування приводами маніпулятора та засобів переміщення робота.

При цьому треба вирішувати такі завдання:

- управління мобільними роботами для переміщення по необхідній траєкторії;
- виявлення різних об'єктів (у тому числі перешкод) навколо робота та їх координат відносно робота;
- уникання зіткнень з небажаними зовнішніми об'єктами;
- коректна взаємодія (включаючи маніпулювання) з зовнішніми об'єктами.

Персональна навігація заснована на отриманні інформації з датчиків, що знаходяться на самому роботі. При цьому використовуються датчики внутрішньої інформації для визначення положення та переміщення як окремих частин, так і самого робота (датчики лінійного та кутового переміщення), а також датчики зовнішньої інформації для визначення положення та переміщення як окремих частин, так і самого робота відносно зовнішніх об'єктів (датчики для визначення відстані та пристрої візуального спостереження – машинного зору).

Ці датчики забезпечують досить високу точність визначення положення окремих частин робота відносно одна одної та відносно зовнішніх об'єктів.

Так засоби одометрії дають можливість визначити шлях, траєкторію та швидкість переміщення за допомогою датчиків кута обертання коліс. Недоліком таких засобів є накопичування помилки визначення траєкторії переміщення.

При використанні засобів одометрії траєкторію переміщення можна задавати виходячи з шляху, яких проходять колеса робота.

Для визначення траєкторії переміщення найчастіше використовується лінійне переміщення та переміщення по колу з заданим радіусом.

На рис. 6.1 та рис. 6.2 наведено визначення траєкторії переміщення за допомогою переміщення по дузі з заданим радіусом R та кутом повороту $\Delta\theta$, а також лінійного переміщення на відстань l_V , відповідно, для триколісного робота (трициклу) та робота з диференціальним приводом.

При використанні одометричного датчика визначення шляху переміщення здійснюється за допомогою вимірювання кута переміщення колеса.

Шлях l , що проходить колесо при обертанні на кут φ дорівнює

$$l = d \varphi / 2, \text{ або } l = \pi d \varphi^\circ / 360^\circ, \quad (6.1)$$

де d - діаметр колеса, φ та φ° кут обертання колеса, відповідно, у радіанах або градусах.

Це дає можливість визначити зв'язок кута обертання колеса та шляху, який проходить робот при лінійному переміщенні на відстань l_V .

Зв'язок кута обертання колеса та шляху, який проходить робот при кутовому переміщенні залежить від типу привода, що здійснює переміщення.

Для триколісного робота (рис. 6.1), як було показано вище, радіус дузі повороту робота R , кут повороту робота $\Delta\theta$, кут повороту ведучого колеса відносно робота s , переміщення ведучого колеса $l_{\Delta\theta}$ та відстань між ведучим та опорними колесами L пов'язані такими залежностями

$$R = \frac{L}{\tan s} \quad \Delta\theta = \frac{l_{\Delta\theta} \sin s}{L} \quad \tan s = \frac{L}{R} \quad (6.2)$$

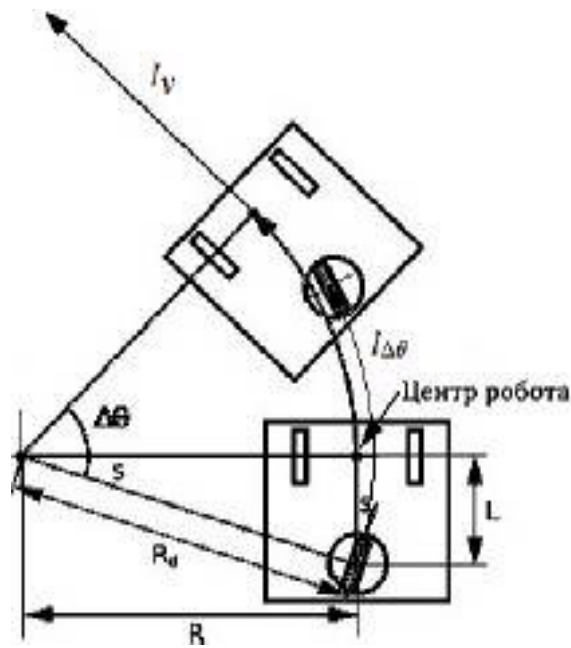


Рис. 6.1. Визначення траєкторії переміщення для триколісного робота за допомогою переміщення по дузі з заданим радіусом R та кутом повороту $\Delta\theta$, а також лінійного переміщення на відстань l_V

Тому для переміщення по дузі з радіусом R та кутом повороту робота $\Delta\theta$ треба задати кут поворот у ведучого колеса s та переміщення ведучого колеса $l_{\Delta\theta}$ таким чином:

$$s = \arctg \frac{L}{R} \quad l_{\Delta\theta} = \frac{L \Delta\theta}{\sin s}. \quad (6.3)$$

Для диференційного привода (рис. 6.2), як було показано вище, радіус дузі повороту робота R , кут повороту робота $\Delta\theta$, швидкість переміщення робота V , швидкості переміщення лівого та правого коліс V_L , V_R , переміщення лівого та правого коліс l_L , l_R та відстань між колесами W пов'язані такими залежностями

$$R = \frac{W(V_R + V_L)}{2(V_R - V_L)} \quad (6.4)$$

$$\Delta\theta = \frac{(V_R - V_L)\Delta t}{W} = \frac{l_R - l_L}{W} \quad (6.5)$$

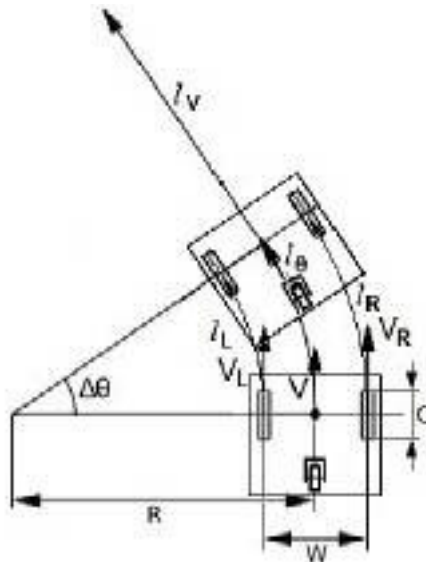


Рис. 6.2. Визначення траєкторії переміщення для диференційного привода за допомогою переміщення по дузі з заданим радіусом R та кутом повороту $\Delta\theta$, а також лінійного переміщення на відстань l_V

Для переміщення по дузі з радіусом R швидкість переміщення робота V , швидкості переміщення коліс V_R та V_L пов'язані такими залежностями

$$\frac{V_R}{V_L} = \frac{2R + W}{2R - W} \quad (6.6)$$

$$V = \frac{V_R + V_L}{2} \quad (6.7)$$

Шлях, який пройде ліве колесо по дузі з радіусом R та кутом повороту робота $\Delta\theta$ дорівнює

$$l_L = (R - W/2) \Delta\theta. \quad (6.8)$$

Шлях, який пройде праве колесо по дузі з радіусом R та кутом повороту робота $\Delta\theta$ дорівнює

$$l_R = (R + W/2) \Delta\theta. \quad (6.9)$$

При переміщенні по заданій траєкторії можна використовувати різні засоби навігації, але для триколісного робота та робота з диференціальним приводом, як було показано вище, досить просто описати цю траєкторію лінійною та коловою інтерполяцією.

Позиційне керування можна здійснити за допомогою одометра шляхом визначення переміщення за рахунок обертання колеса, та регулювання швидкості приводу. Шлях l , що проходить колесо при обертанні на кут ϕ визначається формулою (6.1).

Ця формула може бути використана для визначення шляху переміщення робота по прямій лінії. У робота з диференціальним приводом при цьому $V_L = V_R$.

Для повороту робота по дузі з радіусом R на кут $\Delta\theta$ для триколісного робота треба здійснити переміщення $l_{\Delta\theta}$ та кут повороту у ведучого колеса s згідно з формулою (6.3).

Для повороту робота з диференціальним приводом по дузі з радіусом R на кут $\Delta\theta$ треба здійснити переміщення лівого та правого коліс l_L та l_R , що визначаються формулами (6.8) та (6.9).

При цьому треба забезпечити відношення між швидкостями переміщення коліс V_R та V_L згідно з формулою (6.6).

Для уникання зіткнень та визначення зовнішніх об'єктів застосовуються засоби, що дозволяють визначити наявність об'єктів та відстань до них, Ця задача вирішується за допомогою ультразвукових, інфрачервоних та лазерних датчиків, що дозволяють знайти відстань до об'єктів та їх положення відносно положення робота.

Такі датчики вимірювання відстані можуть використовуватися, наприклад, для переміщення вздовж перешкод або стін у приміщенні (рис. 6.3).

Розглянемо можливість переміщення вздовж перешкоди на визначеній відстані з використанням ультразвукового датчика та пропорційного регулювання.

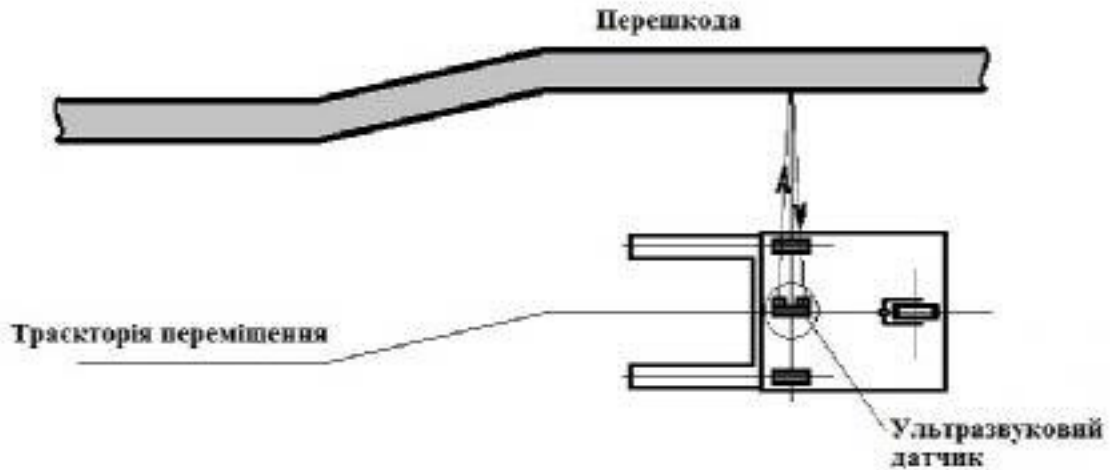


Рис. 6.3. Використання датчиків вимірювання відстані для переміщення вздовж перешкод або стін у приміщенні

Поточне значення відстані до перешкоди позначимо L . Визначимо максимально допустимі відстані наближення $L_{\text{макс}}$ та $L_{\text{мін}}$, та знайдемо потрібну відстань до перешкоди як середнє значення наближення $L_{\text{ср}} = (L_{\text{мін}} + L_{\text{макс}})/2$. Позначимо відносну швидкість лівого двигуна $V_{\text{лів}}$, а потужність правого двигуна $V_{\text{прав}}$

Для визначення швидкості $V_{\text{лів}}$, $V_{\text{прав}}$ у програмі, як правило, використовуються відносні значення, які можуть змінюватись від 0 до 100.

Керування будемо здійснювати за формулою:

відносна швидкість лівого двигуна:

$$V_{\text{лів}} = V_{\text{ср}} - (L_{\text{ср}} - L)k; \quad (6.10)$$

відносна швидкість правого двигуна:

$$V_{\text{прав}} = V_{\text{ср}} + (L_{\text{ср}} - L)K, \quad (6.11)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, який вибирають таким чином, щоб значення величини $(L_{\text{ср}} - L)k$ не перевищувало значень $V_{\text{ср}}$ та $1 - V_{\text{ср}}$, а значення $V_{\text{лів}}$ та $V_{\text{прав}}$ були у межах від 0 до 100.

Якщо середнє значення наближення дорівнює $L_{\text{ср}}$, то множники в дужках рівні, і правий та лівий двигуни здійснюють рух в одному напрямку з однаковою швидкістю (потужність $P_{\text{ср}}$).

Якщо відстань до труби менше $L_{\text{ср}}$, то відповідно зменшується швидкість (потужність) лівого двигуна і збільшується швидкість правого двигуна, а якщо відстань до труби більше $L_{\text{ср}}$, то навпаки. Таким чином радіус повороту буде залежати від ступеня відхилення від середнього значення наближення до перешкоди і переміщення буде більш плавним.

6.2. Типи та засоби локальної навігації мобільних роботів

Локальна навігація здійснює визначення координат відносно деякої (за звичай стартової) точки, що актуально при переміщенні у визначених приміщеннях, наприклад, на технологічних ділянках або у складах.

Локальна навігація використовує датчики зовнішньої інформації, що дають можливість знайти положення робота шляхом визначення зовнішніх об'єктів або вказівників положення робота та засобів маршрутослідкування.

Визначення зовнішніх об'єктів може здійснюватися за допомогою ультразвукових, ультрафіолетових та лазерних датчиків, що дозволяють знайти відстань до об'єктів та їх положення відносно положення робота.

Системи маршрутослідкування використовують різні вказівники маршруту та датчики, що визначають ці вказівники та забезпечують відповідне переміщення робота (рис. 6.4).

Найбільш поширеними є системи маршрутослідкування на основі індуктивних датчиків (рис. 6.4, а, б, в) (системи активного та пасивного маршрутослідкування), системи маршрутослідкування на основі оптичних датчиків (рис. 6.4, г), системи маршрутослідкування на основі датчиків вимірювання відстані до поверхні, вздовж якої здійснюється переміщення (рис. 6.3, д), системи маршрутослідкування на основі лазерних датчиків, що здійснюють визначення положення робота за допомогою рефлекторів (рис. 6.3,

е).

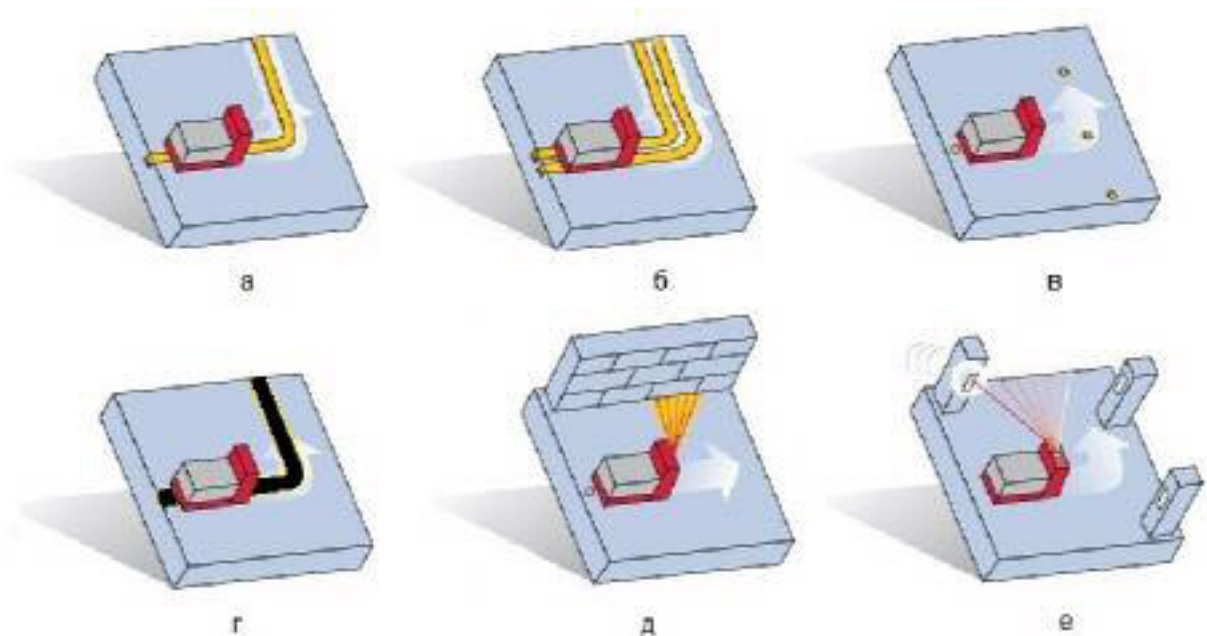


Рис. 6.4. Системи маршрутослідкування

Системи активного маршрутослідкування на основі індуктивних датчиків використовують вказівники маршруту у вигляді дроту, по якому протікає змінний струм. На візку встановлені дві котушки, в яких індукується змінний струм від дроту, що вказує маршрут. Різниця струму в котушках визначає відхил вію вказівника та використовується для керування двигунами робота для зменшення цього відхилення.

Системи пасивного маршрутослідкування на основі індуктивних датчиків використовують магнітну металеву стрічку завширшки близько 5 – 10 см, яку розпізнають датчики магнітного поля. При встановленні двох – трьох таких датчиків можна визначити відхилення від маршруту на відстань до 30 мм.

Системи активного маршрутослідкування на основі індуктивних датчиків можуть використовувати як вказівники маршруту вмонтовані в підлогу дроти, за допомогою яких здійснюється бездротова передача енергії (рис. 6.4, б).

Для локальної навігації на основі індуктивних датчиків використовують також магнітні позначки, що встановлюють на підлозі (рис. 6.5).

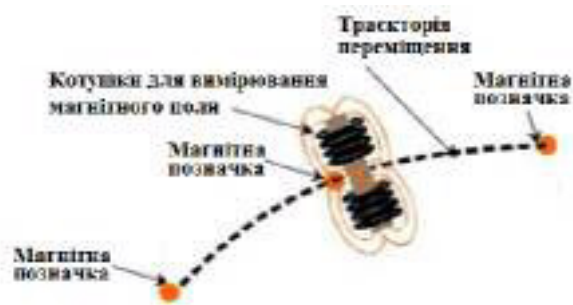


Рис. 6.5. Локальна навігація на основі індуктивних датчиків з магнітними позначками

Послідовні позначки однозначно визначають маршрут пересування (рис. 6.6, а), растрові позначки дають можливість віртуального встановлення маршруту за допомогою обчислювального пристрою (рис. 6.6, б).

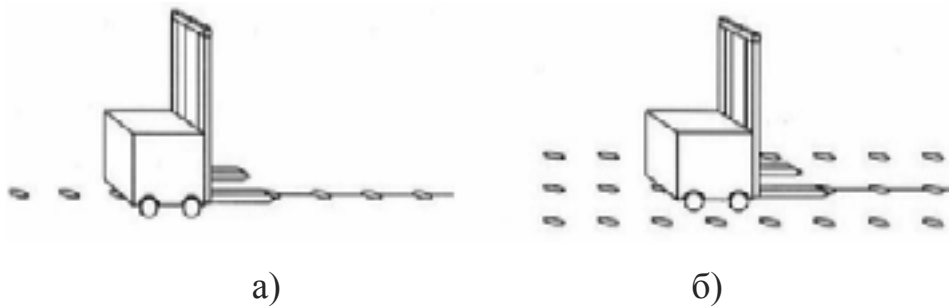


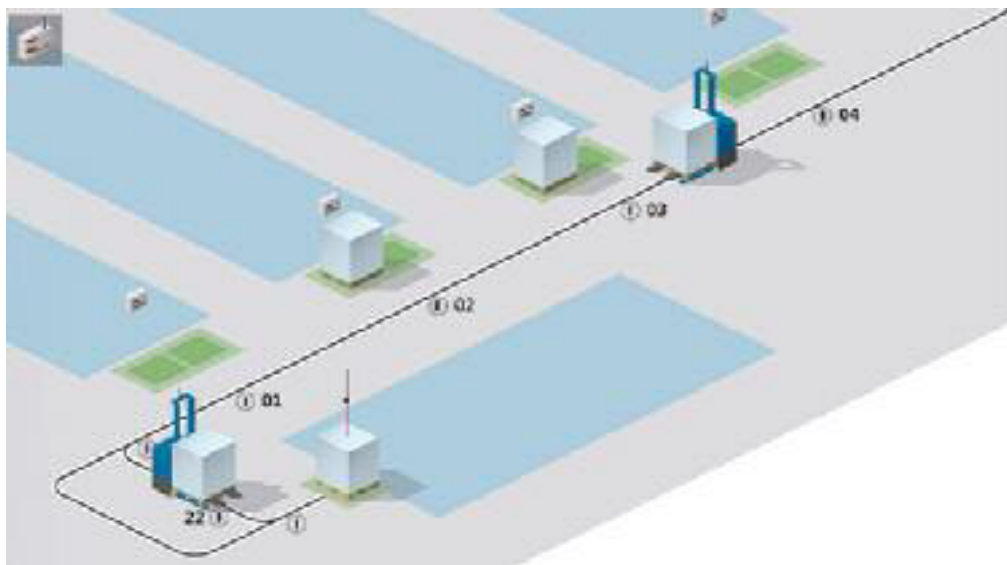
Рис. 6.6. Навігація за допомогою послідовних (а) та растрових (б) магнітних позначок

На рис. 6.7 наведені магнітний растр, де в підлогу на відстані від 1 до 10 м встановлені магніти (довжиною від 5 до 30 мм та діаметром від 8 до 20 мм встановлюють у отвори в підлозі), та магнітний вимірювальний датчик на основі ефекту Холла, що дозволяє вимірювати відстань до магнітів та визначати положення робота.



Рис. 6.7. Магнітний растр (а) та магнітний вимірювальний датчик на основі ефекту Холла (б)

Замість пасивних магнітів можна встановлювати транспондери, що мають електронну схему, яка містить закодовану інформацію. Зчитувальний пристрій на роботі шляхом індукції забезпечує живлення транспондера, а антени визначають його положення (рис. 6.8).



а)



б)

Рис. 6.8. Принцип дії транспондерів (а) та зчитувальні пристрої (б)

Системи маршрутослідкування на основі оптичних датчиків використовують вказівники маршруту у вигляді кольорових смуг (рис. 6.4, г), на цій смугі у разі використання відеокамер можна встановлювати додаткові ідентифікатори на шляху пересування робота.

На рис. 6.9 наведений мобільний робот, який здійснює маршрутослідкування за допомогою двох оптичних датчиків.

Візок має два привода – правий та лівий та два оптичних датчика – справа та зліва від смуги вказівника маршруту. У вихідному положенні оптичні датчики знаходяться справа та зліва від смуги вказівника маршруту (датчики не спрацьовують) і включені обидві двигуна (візок переміщується прямо).

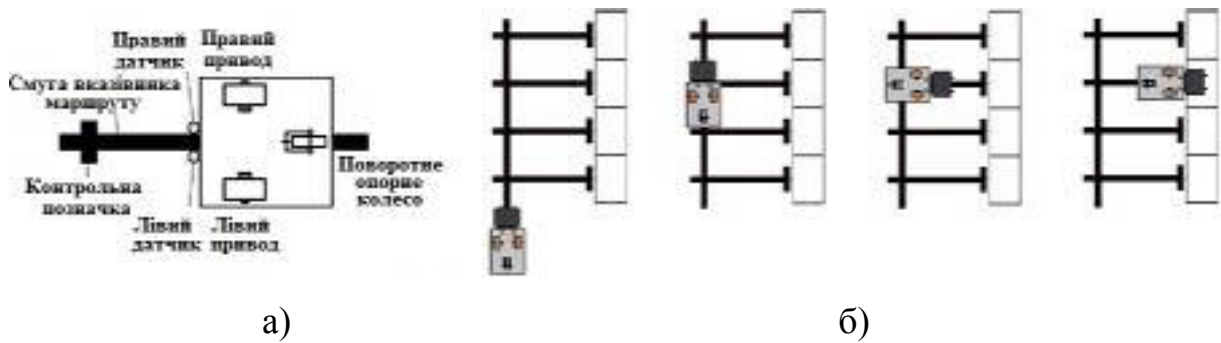


Рис. 6.9. Візок з маршрутослідкуванням за допомогою двох оптичних датчиків (а) та приклад переміщення автоматичного навантажувача на складі для встановлення вантажу у комірку стелажа (б)

Якщо на смугу попадає лівий датчик, то він спрацьовує та здійснюється поворот вправо (зупиняється лівий двигун), а якщо на смугу попадає правий датчик, то здійснюється поворот вліво (зупиняється правий двигун).

Спрацювання обох датчиків на контрольній позначці визначає встановлену дію, наприклад, зупинку, точку повороту або точку підрахунку позицій зміни маршруту (рис. 6.9, а).

На рис. 6.9, б наведений приклад переміщення автоматичного навантажувача на складі для встановлення вантажу у визначену комірку стелажа.

Для переміщення вздовж лінії вказівника траєкторії можна також використати один датчик освітлювання, яких при переході, наприклад, з білої на чорну смугу буде змінювати значення освітлення від $I_{\text{макс}}$ та $I_{\text{мін}}$.

Для вирішення цього завдання можна використати алгоритм, що був розглянутий у попередньому підрозділі для переміщення вздовж перешкоди за

допомогою ультразвукового датчика (рис. 6.3).

При цьому у формулах (6.10) та (6.11) треба замінити відстані L_{\max} , L_{\min} та $L_{\text{ср}}$ на відповідні значення рівня освітлення I_{\max} , I_{\min} та $I_{\text{ср}}$.

Використання відеокамери та цифрової обробки зображення дає можливість не тільки здійснити переміщення вздовж вказівника, а також оптимізувати шлях переміщення за допомогою попереднього визначення ділянок, де здійснюється поворот і треба зменшити швидкість. Закодований ідентифікатор дозволяє дати додаткову інформацію о переміщенні (рис. 6.10).

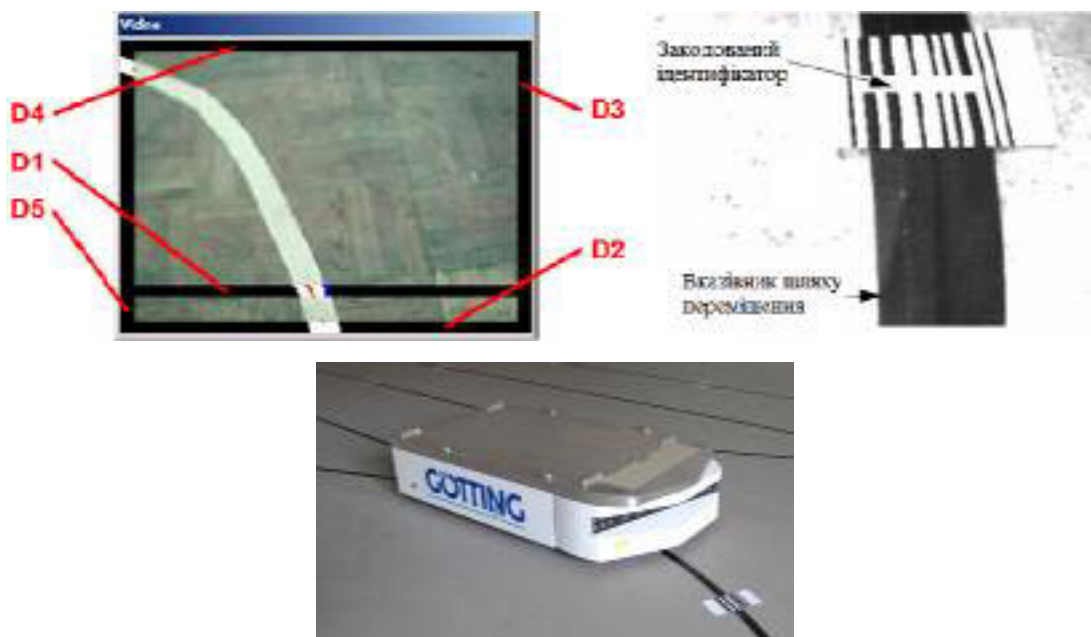


Рис. 6.10. Використання відеокамер для визначення траєкторії переміщення робота за допомогою вказівника та закодованої інформації

За допомогою лазерних датчиків можна визначати положення робота шляхом вимірювання відносного положення та відстані до рефлекторів, що встановлюють у визначених місцях приміщення, де пересувається робот, а також до перешкод або стін у приміщенні. Для визначення взаємного положення об'єктів відносно положення робота використовують лазерні сканери, що здійснюють сканування шляхом обертання, з вимірюванням кута повороту датчика відносно положення робота. Приклади використання лазерних датчиків для визначення положення робота наведені на рис. 6.11.

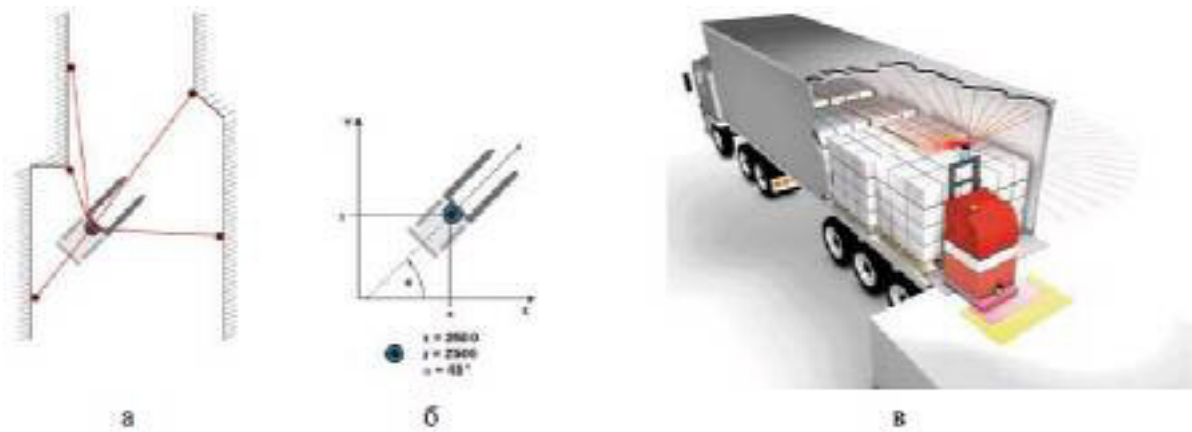


Рис. 6.11. Використання лазерних датчиків для визначення положення робота

На рис. 6.12 наведений приклад використання лазерних датчиків для локалізації та перевірки наявності палети з вантажем та обчислення оптимального шляху переміщення до неї.



Рис. 6.12. Приклад використання лазерних датчиків для локалізації та перевірки наявності палети та обчислення оптимального шляху переміщення

Як показано на рис. 6.13, при використанні лазерного сканера достатньо трьох рефлєкторів, щоб визначити положення та орієнтацію робота (x_p, y_p, α_p), за допомогою визначених значень відстані ($L1, L2, L3$) та кутів направлення ($\alpha1, \alpha2, \alpha3$) до рефлєкторів відносно положення та орієнтації робота.

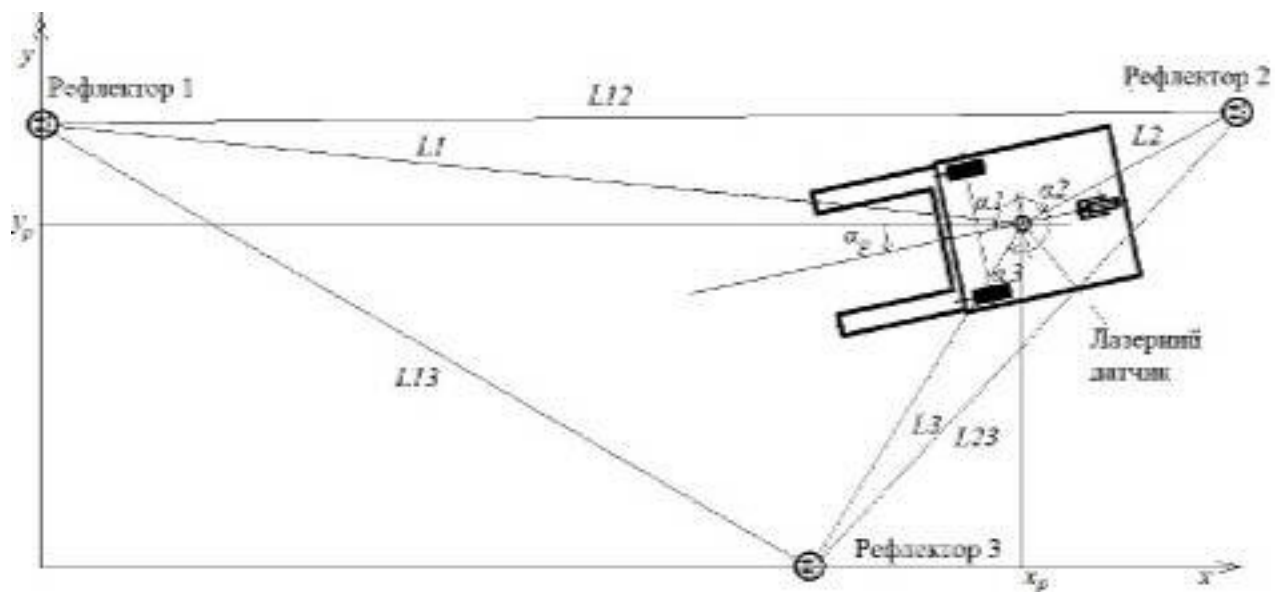


Рис. 6.13. Використання лазерного сканера та рефлекторів для визначення положення робота

Це дає можливість визначати положення мобільного робота з досить високою точністю, яка може складати декілька міліметрів.

У разі переміщення робота у приміщенні з великою кількістю об'єктів кількість рефлекторів збільшується таким чином, щоб у кожній позиції робота надходили сигнали щонайменше від трьох рефлекторів. Але у цьому випадку треба визначати положення робота на плані приміщення, що потребує засобів глобальної навігації, яка буде розглянута у наступному розділі.

Контрольні запитання

1. Які завдання вирішує персональна навігація мобільних роботів?
2. Які датчики виконують засоби персональної навігації мобільних роботів?
3. Як здійснюється персональна навігація за допомогою засобів одометрії?
4. Які параметри треба задавати для переміщення робота з для диференційним приводом по дузі з заданим радіусом та кутом повороту?

5. Як здійснити переміщення вздовж перешкод або стін у приміщенні?
6. Які завдання вирішує локальна навігація мобільних роботів?
7. Які вказівники маршруту та датчики використовують системи маршрутослідкування?
8. Як здійснюється маршрутослідкування на основі магнітних позначок?
9. Як здійснюється маршрутослідкування на основі оптичних датчиків?
10. Як здійснюється визначення положення робота за допомогою лазерного сканера та рефлекторів?

Глава 7. Глобальна навігація мобільних роботів

7.1. Типи глобальної навігації мобільних роботів

Глобальна навігація визначає положення мобільного робота за допомогою карти (плану місцевості) та здійснює переміщення у потрібні точки цієї карти.

Для реалізації глобальної навігації треба вирішити питання представлення карти в пам'яті та структури даних про вимірюваних відстаней до перешкод. При цьому система глобальної навігації мобільного робота здійснює складання растрової або векторної карти, визначення глобальних координат та положення робота, локалізація робота, переміщення у потрібну точку карти.

Система глобальної навігації мобільного робота займається питаннями визначення положення робота на карті і переміщення в потрібні точки цієї карти. Для цього визначається структура даних, а саме:

- представлення карти в пам'яті;
- структура даних для локально вимірюваних відстаней до перешкод.

Система глобальної навігації вирішує такі задачі:

- визначення глобальних координат і положення робота;
 - визначення координат робота по локальних координатах маяків;
 - визначення координат робота по діаграмах спрямованості;
- складання роботом растрової або векторної карти;
- паралельне складання роботом карти і локалізація (slam);
- переміщення робота в потрібну точку растрової або векторної карти.

Розглянемо, як здійснюється представлення карти в пам'яті.

Основні підходи до подання карти місцевості в пам'яті робота діляться в першу чергу по типу представляється інформації - двовірною або тривірною, а по-друге за способом - растрова і векторна. Для переважної більшості застосувань досить двовірних карт або набору двовірних карт пов'язаних між

собою точками переходу (наприклад, плани поверхів пов'язані ліфтами і сходами).

Растрова двомірна карта

Під растрової двомірною картою розуміють двовимірний масив в кожному осередку якого вказана інформація про статус цього осередку для робота. Вважається, що об'єкт цілком розташовується у відповідній клітинці.

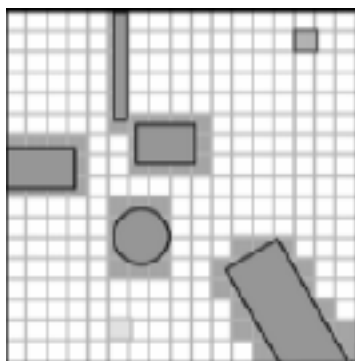


Рис. 7.1. Растрове представлення карти. Відзначені зайняті клітини.

Приклад растрової карти

Двовимірний масив байт 100x100, в якому значення елементів означають наступне:

- 0 - клітина не досліджена;
- 255 - клітина непрохідна;
- 1-9 - в клітці розташований маяки №1-9 відповідно;
- 10-19 - клітина прохідна і відноситься до зони 0-9 відповідно;
- 100 - в клітці розташована база підзарядки.

Векторна двомірна карта

Під векторною картою розуміють структуру даних (часто простий масив, хоча може бути і більш складна структура даних для прискорення пошуку), що зберігає інформацію про розміщені на карти об'єкти. Місце займане об'єктом може визначатися точкою (якщо не важливий розмір, наприклад, маяк), окружністю (найчастіше окружності заборонені до застосування, тому їх замінюють правильними багатокутниками), ламаною лінією (якщо не важлива

ширина, наприклад, прокладена траса, паркан, межа) або багатокутником (вказана послідовність вершин). Крім того може мати значення орієнтація об'єкта (наприклад, може бути орієнтований маяк), в цьому випадку, якщо об'єкт є точкою, то можна додатково визначити другу точку, щоб вийшов вектор напрямку.

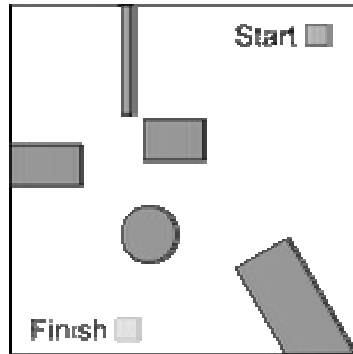


Рис. 7.2. Векторна карта простору

Приклад векторної карти

Масив записів, кожна з яких складається з наступних полів:

- тип об'єкта - байт (255 - перешкода, 100 - база підзарядки, 10 - приміщення);
- ідентифікатор об'єкта - байт (може бути порожнім якщо не важливо, наприклад, для перешкод, або номер приміщення, або бази, або маяка);
- кількість вершин багатокутника, що представляє кордони об'єкта (може бути 1, наприклад, для маяка, коли не важливі його розміри);
- масив на 20 вершин, в якому розташовані координати вершин.

Для локально виміряних відстаней до перешкод може бути використана структура даних, що включає інформацію про сенсор та інформацію про результати вимірювання.

Структура даних для зберігання інформації про сенсор

Одиниця виміру довжин:

- мм, см, дюйм або 1/10 дюйма;

Інформація про можливості сенсора:

- мінімальна дальність;
- максимальна дальність;
- кут в якому від вектора вимірювання цим сенсором може бути виявлена перешкода.

Інформація про матрицю сенсорів (якщо окремий сенсор - це матриця 1×1 , якщо сенсори по колу - матриця $K \times 1$):

- розмір матриці по горизонталі;
- розмір матриці по вертикалі;
- вектор А лівого верхнього вимірювання;
- вектор переходу від кінця вектора А до кінця вектора Б правого верхнього вимірювання;
- вектор переходу від кінця вектора А до кінця вектора В лівого нижнього вимірювання.

Точка кріплення сенсора на роботі:

- локальні координати (x, y, z);
- три кута, що визначають початкові напрямки і орієнтацію сенсора (a, b, c).

Структура даних для зберігання інформації про результати вимірювання

Помітка про момент вимірювання (timestamp).

Напрямок сенсора в момент вимірювання:

- локальні координати щодо точки кріплення сенсора (x, y, z);
- три кута визначають напрямки і орієнтацію сенсора щодо напрямлення кріплення (a, b, c);

Масив результатів вимірювання.

Розглянемо, як здійснюється визначення глобальних координат і положення робота.

Визначення координат робота по локальних координатах маяків

Класичні підходи до визначення глобальних координат зазвичай використовують метод триангуляції (рис. 7.3).

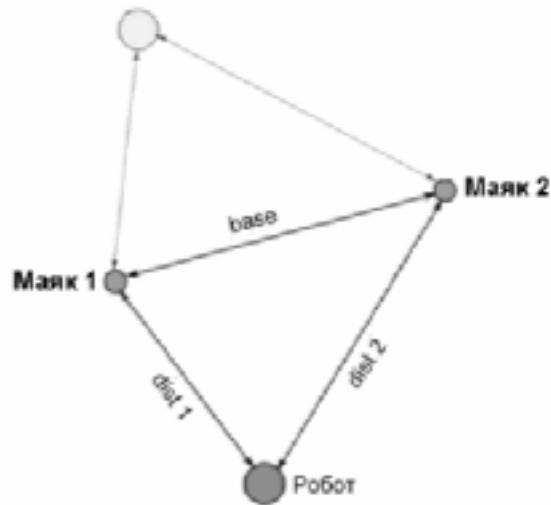


Рис. 7.3. Схема методу триангуляції

Метод триангуляції дозволяє визначити положення робота шляхом вирішення трикутника (строго кажучи, не одного). Якщо знати відстань між маяками (на рис. 7.3 позначено як *base*), то шляхом вимірювання відстані до маяків (*dist_1* і *dist_2*), можна визначити положення робота.

Одного трикутника недостатньо для точного визначення положення робота, тому що знаючи виміряні відстані *dist_1* і *dist_2* і базу маяків *base* ми отримуємо дві точки ймовірного положення робота (рис. 7.3). Друга точка визначається як відбиття трикутника щодо лінії *base*.

Однозначне рішення можна знайти по трьом маякам (рис. 7.4).

Маємо 3 маяка з відомими координатами (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) і заміряні відстані до них ($dist_1 = z_1$, $dist_2 = z_2$, $dist_3 = z_3$).

Потрібно визначити координати робота (x, y) .

Ці координати можна знайти шляхом вирішування системи рівнянь для відстані до маяків z_i :

$$z_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (7.1)$$

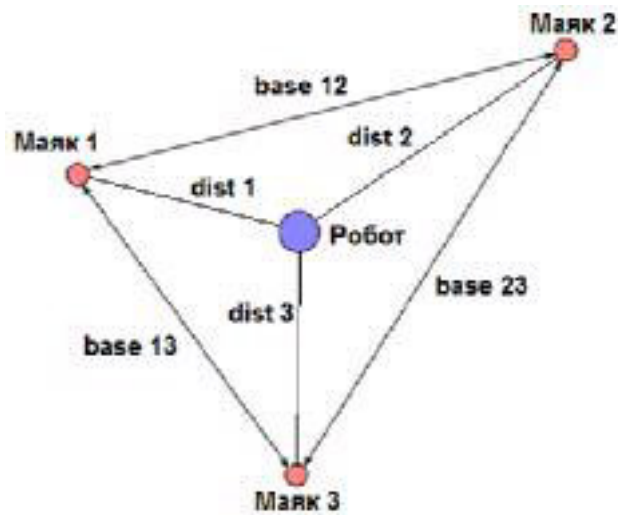


Рис. 7.4. Визначення положення робота по трьом маякам

Визначення координат робота по діаграмах спрямованості

Для визначення координат робота по діаграмах спрямованості необхідне таке обладнання: електронний далекомір та електронний компас.

При вимірюванні використовують два параметри: відстань та напрямок (0-359 градусів, де 0 - північ). Діаграми спрямованості складається з N вимірювань з кроком M градусів.

Побудова карти замкнутого простору може бути здійснена у такій послідовності:

- 1) позиціонуємо вісь робота на 0 (North);
- 2) робимо заміри кожні N вимірів через M градусів, (наприклад, при $N = 8$ $M = 45^\circ$, при $N = 24$ $M = 15^\circ$, при $N = 360$ $M = 1^\circ$);
- 3) з'єднавши отримані точки отримуємо карту приміщення;
- 4) пересуваємося по осі 0 (North) визначену відстань та повторюємо пункти 2, 3;
- 5) повторюємо пункт 4 до досягнення необхідної деталізації.

Отримана інформація використовується для формування діаграми паспорту приміщення (Diagram Room Certificate - DCR).

Для впізнавання приміщення можна використати поняття коефіцієнта відповідності (Correction Coefficient - CC). Для цього:

- 1) виконуємо алгоритм побудови діаграми паспорту приміщення;
- 2) проводимо операцію порівняння отриманої діаграми паспорту приміщення з наявною базою з урахуванням коефіцієнта відповідності;
- 3) якщо є збіги то ми визначили положення;
- 4) якщо ні, то робот знаходиться у новому приміщенні, і треба зберегти отриману діаграму паспорту приміщення в базі.

На основі отриманих даних робот складає растрову або векторну карту.

Складання растрової карти.

Типова інформація, що надходить від сенсорів - "на відстані D в напрямку α виявлена перешкода".

При цьому, якщо немає перешкод розміром менше клітини, то існують 2 складові:

- 1) у клітці з координатами $D \cdot \cos(\alpha)$, $D \cdot \sin(\alpha)$ є перешкода.
- 2) у всіх клітинах з локальними координатами від $0,0$ до $D \cdot \cos(\alpha)$, $D \cdot \sin(\alpha)$ перешкод немає.

На основі отриманих даних складається карта.

Складання векторної карти.

Типова інформація, що надходить від сенсорів - "на відстані D в напрямку α виявлена перешкода".

Щоб додати в карту отриману інформацію треба зробити наступні дії:

1. Визначити сектор, в якому немає перешкод, і занести його на карту (відняти цей сектор від карти багатокутників, що визначають перешкоди);
2. Визначити мінімальну форму перешкоди і занести її на карту (об'єднати з уже наявними багатокутниками, визначальними перешкоди).

Паралельне складання роботою карти і локалізація (SLAM)

Паралельне складання карти і локалізація (Simultaneous localization and mapping - SLAM) це метод одночасної навігації і побудови карти, який використовується роботами і автономними транспортними засобами для побудови карти в невідомому просторі або для оновлення карти в заздалегідь

відомому просторі з одночасним контролем поточного місцезнаходження і пройденого шляху.

SLAM - це концепція, яка пов'язує два незалежних процесу в безперервний цикл послідовних обчислень, при якому результати одного процесу беруть участь в обчисленнях іншого процесу.

В рамках ROS (операційна система для роботів з відкритим вихідним кодом), реалізовано кілька алгоритмів SLAM.

GMapping - реалізація методу SLAM на основі даних від лазерного далекоміра і одометра робота.

Замість лазерного далекоміра можна використовувати сенсор Kinect - інтерактивний контролер для системи Microsoft Хбокс, основою якої є 3D-технологія від PrimeSense, що використовує структурований світ, інфрачервоні камери і спеціалізований процесор для вимірювання відстані від камери до сцени.

Такий підхід вже реалізовано і використовується на роботі TurtleBot (SLAM Map Building with TurtleBot).

Використовується також реалізація методу SLAM на основі методів комп'ютерного зору – (VSLAM - Visual SLAM - візуальний SLAM).

Переміщення робота в потрібну точку растрової карти.

Для переміщення робота в потрібну точку растрової карти треба скласти маршрут, який являє собою послідовність клітин карти, не проходить через зайняті перешкодами клітини і здійснює переміщення в потрібну точку карти за визначений або оптимальний час.

Переміщення робота в потрібну точку векторної карти.

Для переміщення робота в потрібну точку векторної карти треба скласти маршрут (ламану від поточної точки до потрібної), що дозволяє уникнути всіх перешкод і здійснює переміщення в потрібну точку карти за визначений або оптимальний час.

При цьому під "положенням робота" можуть розумітися як "координати робота", так і пара "координати робота + напрямок робота".

Один з варіантів вирішення цієї задачі є задача пошуку шляху в зваженому графі, кожне з ребер якого має вагу, яка залежить від визначених критеріїв оцінки вагомості відрізка шляху, що зазначає це ребро. Даний тип графа дозволяє шукати оптимальний маршрут. На рис. 7.5 показаний перехід від векторної карти до зваженого графу (графу допустимих шляхів).

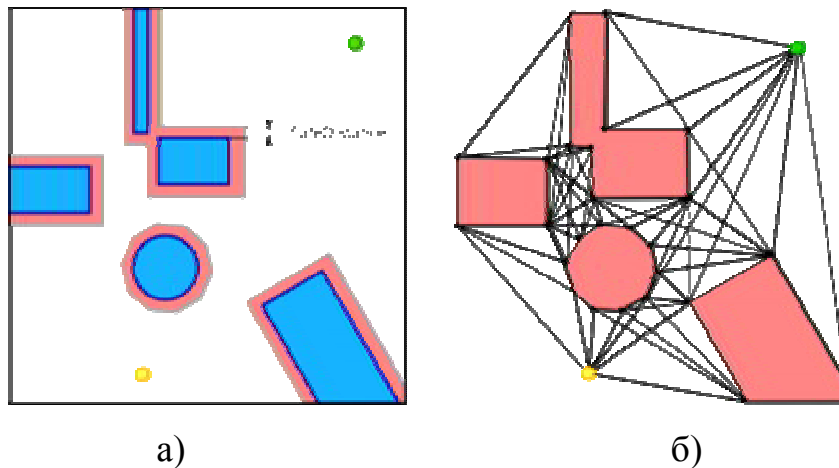


Рис. 7.5. Перехід від векторної карти (а) до зваженого графу (б)

7.2. Засоби глобальної навігації мобільних роботів

Системи навігації класифікуються можуть бути пасивними і активними. Пасивна система навігації заснована на прийому інформації про власні координатах і інших характеристиках свого руху від зовнішніх джерел, а активна розрахована на визначення місця розташування тільки своїми силами.

Тому існуючи засоби для визначення положення мобільного робота за допомогою карти (плану місцевості) можна поділити на дві основні групи: засоби визначення положення мобільного робота за рахунок засобів самого робота (шляхом визначення відстані та напрямку до об'єктів навколишнього середовища) та засоби визначення положення робота за допомогою глобальних навігаційних систем (наприклад, супутникові системи навігації GPS, ГЛОНАСС, Galileo).

Визначення положення мобільного робота за рахунок засобів самого робота здійснюється за допомогою датчиків вимірювання відстані та куту направлення до об'єктів. Після обробки отриманих результатів та порівняння їх з картою приміщення або місцевості знаходиться положення робота. На рис. 7.6 показано визначення положення робота за допомогою лазерного датчика, що здійснює безперервне вимірювання відстані та обертається коло своєї осі, здійснюючи сканування навколишнього середовища.

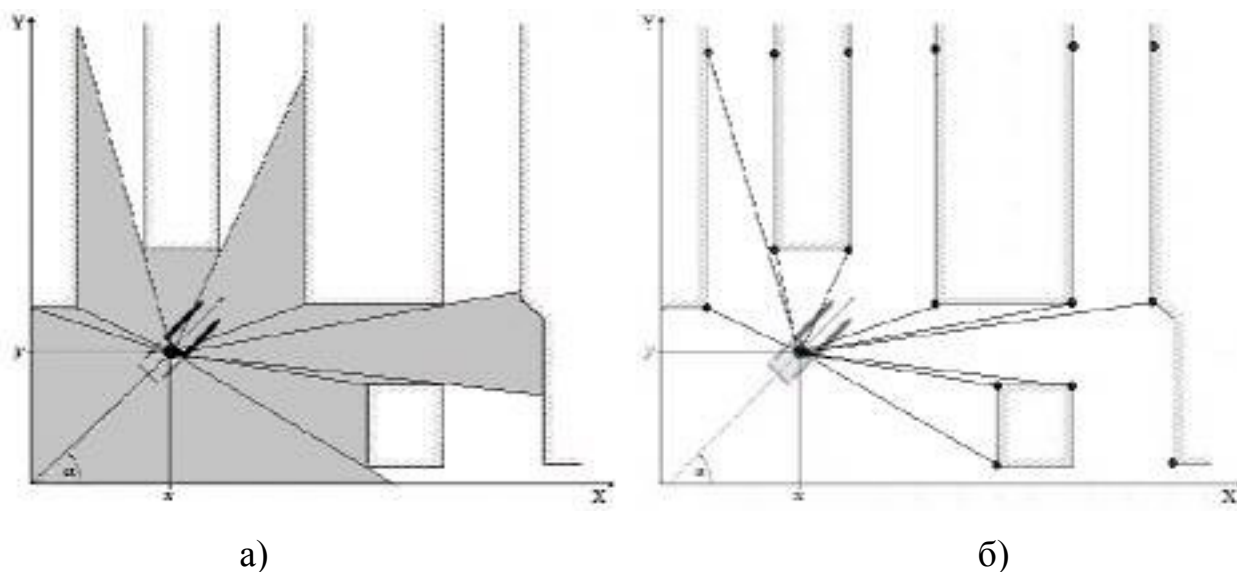


Рис. 7.6. Використання лазерної навігації для визначення положення робота з скануванням усіх об'єктів (а), або спеціальних рефлекторів (б)

При цьому може здійснюватись сканування з вимірюванням відстані при відповідних кутах обертання до усіх об'єктів, що потрапляють у зону дії датчика (рис. 7.6, а), або до спеціальних рефлекторів з відомими координатами (рис. 7.6, б).

Для визначення положення робота за допомогою пасивних методів використовують умонтовані та глобальні навігаційні системи.

Умонтовані навігаційні системи реалізуються на основі радіонавігаційних систем, що складаються з певної кількості передавальних пристроїв що випромінюють радіосигнали та приймаючого пристрою, що встановлюється на мобільному роботу.

Радіонавігаційні системи пропонує фірма Götting KG.

Глобальні навігаційні системи реалізуються на основі супутникових навігаційних системах.

GPS (Global Positioning System - система глобального позиціонування) це сукупність радіоелектронних засобів, що дозволяє визначати положення та швидкість руху об'єкта на поверхні Землі або в атмосфері. Положення об'єкту обчислюється на ньому завдяки використанню GPS-приймача, який приймає та обробляє сигнали супутників космічного сегменту GPS системи глобального позиціонування. Для визначення точних параметрів орбіт супутників та керування, GPS система в своєму складі має наземні центри управління.

Коли мова йде про GPS, частіше за все мається на увазі система NAVSTAR, розроблена на замовлення військового відомства — Управління Оборони США, але на даний час існують або розробляються також інші системи глобального позиціонування (ГЛОНАСС, Galileo та інші).

Основою системи є 24 супутники NAVSTAR (Navigation Satellite Time and Ranging), що працюють в єдиній мережі, які знаходяться на шести різних кругових орбітах розташованих під кутом 60° один до одного таким чином, щоб з будь-якої точки земної поверхні було видно від чотирьох до дванадцяти таких супутників. На кожній орбіті знаходиться по 4 супутники, висота орбіт приблизно дорівнює 20200 км, а період обертання кожного супутника навколо землі дорівнює 12 годин. Така система працює не автономно, а під контролем станцій, які розташовані на Землі.

Крім того, що здійснюється рух супутників GPS навколо Землі, планета сама обертається. Тому в різний час кількість видимих супутників для певної точки поверхні різна (рис. 7.7)

GPS приймач обчислює власне положення, вимірюючи час проходження сигналу від GPS супутників. Кожен супутник постійно надсилає повідомлення, в якому міститься інформація про час відправки повідомлення, точку орбіти

супутника, з якої було надіслано повідомлення, та загальний стан системи і приблизні дані орбіт всіх інших супутників угруповання системи GPS. Ці сигнали розповсюджуються зі швидкістю світла у всесвіті, та із трохи меншою швидкістю через атмосферу. Приймач використовує час отримання повідомлення для обчислення відстані до супутника, виходячи з якої, шляхом застосування геометричних та тригонометричних рівнянь обчислюється положення приймача. Отримані координати перетворюються в більш наочну форму, таку як широта та довгота, або положення на карті, та відображається користувачеві.

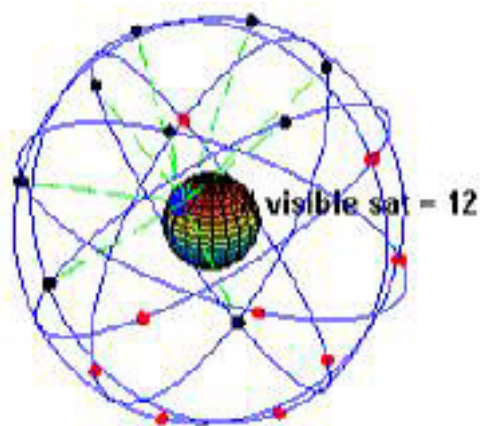


Рис. 7.7. Приклад кількості видимих супутників для певної точки поверхні

Оскільки для обчислення положення необхідно знати час з високою точністю, необхідно отримувати інформацію із 4-х або більше супутників задля усунення необхідності в надточному годиннику. Іншими словами, GPS приймач використовує чотири параметри для обчислення чотирьох невідомих: x , y , z та t .

В деяких окремих випадках може бути необхідною менша кількість супутників. Якщо заздалегідь відома одна змінна (наприклад, висота над рівнем моря човна в океані дорівнює 0), приймач може обчислити положення використовуючи дані з трьох супутників. Також, на практиці, приймачі використовують різну допоміжну інформацію для обчислення положення з меншою точністю в умовах відсутності чотирьох супутників.

Звичайна точність сучасних GPS-приймачів в горизонтальній площині становить 5-10 метрів, та 10-20 метрів за висотою, але за збігом деяких умов, обчислене приймачем положення може короткочасно відрізнятись на значно більші величини. Виробники GPS приймачів визначають величину похибки положення так: не гірше 5 метрів у 50% часу спостереження, та не гірше 8 метрів у 90% часу, похибка визначення швидкості не більше 0,06 м/с.

На території США і Канади є станції WAAS, в Європі діють станції EGNOS, які передають поправки для диференційного режиму, що дозволяє збільшити точність обчислення положення до 1-2 метрів. При використанні більш складного додаткового обладнання, точність визначення координат можна довести до 10 см. Наприклад, для роботи GPS-приймача в диференційному режимі йому постійно необхідно отримувати дані від стаціонарно розташованого приймача диференційної поправки.

На рис. 7.8 наведений лабораторний стенд для дослідження позиціонування мобільних пристроїв за допомогою системи GPS.

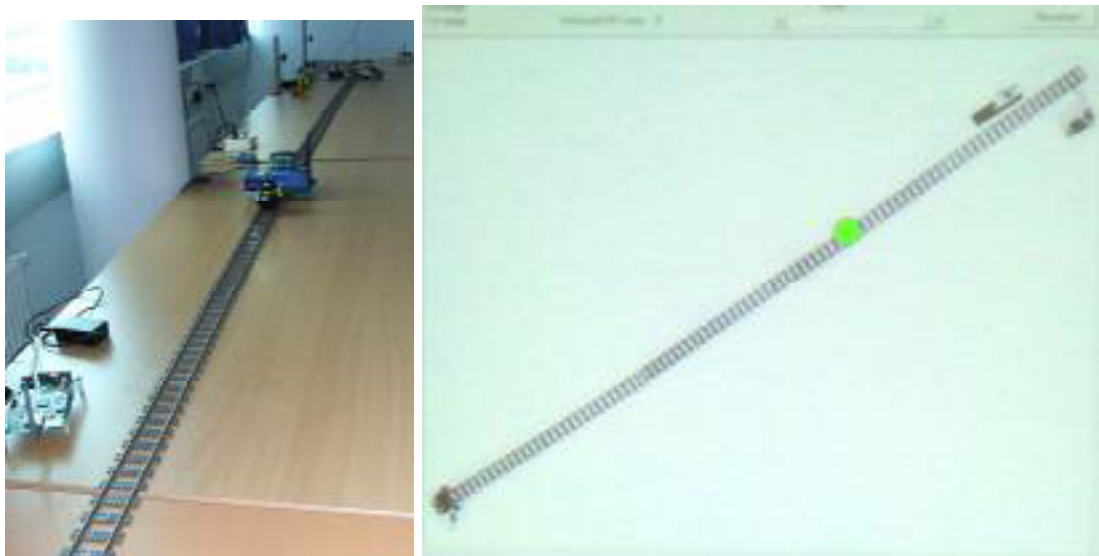


Рис. 7.8. Лабораторний стенд для дослідження позиціонування мобільних пристроїв за допомогою системи GPS

ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система) - це радіонавігаційна супутникова система, розгортання якої у космосі буде зроблено за допомогою супутників «Глонасс-К» та «Глонасс-М».

Координати визначаються за принципом, узятим за аналогією американської системи глобального позиціонування GPS.

Супутники ГЛОНАСС знаходяться на радіальній орбіті на середній висоті 19400 км із схиленням $64,8^\circ$ і періодом в 11 годин 15 хвилин. Така орбіта оптимальна для використання на високих широтах (північний і південних полярних регіонах), де сигнал GPS ловиться погано. Група супутників розгорнута в трьох орбітальних площинах, із 8 рівномірно розподіленими супутниками в кожній.

Для визначення координат приймач повинен отримувати сигнал як мінімум від чотирьох супутників і розрахувати відстань до них.

На сьогодні точність визначення координат системою ГЛОНАСС дещо менша від аналогічних показників для GPS. Похибки навігаційних показників ГЛОНАСС (при $p = 0,95$) по довготі і широті становили 3—6 м при використанні в середньому 7—8 супутників (в залежності від точки прийому сигналів). Тоді похибки GPS становили 2—4 м при використанні в середньому 6—11 супутників (в залежності від точки прийому сигналів).

Галілео (Galileo) — проект супутникової системи навігації Європейського Союзу та Європейського космічного агентства, як альтернатива американській системі GPS та російській ГЛОНАСС. Європейська система призначена для вирішення навігаційних завдань для будь-яких рухомих об'єктів з точністю менше одного метра. Крім країн європейського співтовариства досягнуті домовленості на участь в проекті з державами — Китай, Ізраїль, Південна Корея і Україна.

Мережа Galileo, спочатку орієнтована на цивільні потреби, замислювалася як GPS-сумісне рішення, що володіє більш високою точністю визначення координат.

Повністю розгорнута система Galileo буде складатися з 24 діючих супутників плюс шість резервних. Космічний сегмент буде доповнений наземною інфраструктурою, що включає два центри управління і глобальну мережу передаючих і приймаючих станцій.

Початкові послуги будуть доступні до кінця 2016 року. Завершення системи заплановано на 2020.

Системи точного позиціонування на відкритому повітрі (наприклад, GPS), а також у великих приміщеннях (локальне радіолокаційної) пропонує фірма Götting KG, яка забезпечує не тільки технологію та обладнання, але також інтеграцію цих систем у обладнання споживача. Залежно від процесу позиціонують точністю до декількох сантиметрів можливих.

Фірма випускає систему позиціонування HG S 57632 для автоматичного відстеження контейнерів (Container Location Tracking) за допомогою GPS. Ця система може визначити географічне положення.

За допомогою стандартних комерційно доступних, портативних пристроїв визначення місця розташування може бути досягнуто з точністю близько 20 м. З додатковими допоміжними пристроями, такими, як місцева опорна станція, географічне місцеположення може бути визначено з точністю близько ± 1 м. Ця точність достатня, щоб надійно документувати позиції контейнерів і транспортних засобів.

Система позиціонування з двочастотним приймачем HG S 57652 забезпечує точність позиціонування ± 3 см.

При цьому поєднуються системи позиціонування за допомогою GPS та системи одометрії, що дає можливість здійснювати переміщення деякий час у разі зникнення сигналу GPS.

На рис. 7.9 наведена структурна схема пристрою позиціонування фірми Götting KG з використанням GPS та одометрії (rotary encoder).

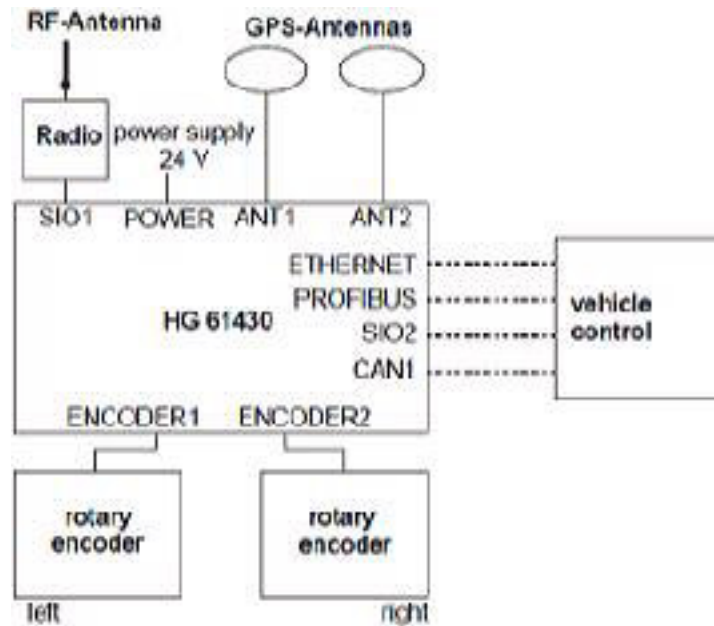


Рис. 7.9. Структурна схема пристрою позиціонування фірми Götting KG з використанням GPS та одометрії (rotary encoder)

Оскільки ця система працює незалежно від основної системи керування, зв'язок з нею для передачі керуючих команд та обміну даними здійснюється за допомогою радіоканалу.

Контрольні запитання

1. Які завдання вирішує глобальна навігація мобільних роботів?
2. Які типи карт виконують засоби глобальної навігації мобільних роботів?
3. Чим відрізняються растрова і векторна карти?
4. Як здійснити визначення координат робота по локальних координатах маяків?
5. Як здійснити визначення координат робота по діаграмах спрямованості?
6. Які завдання вирішує SLAM?
7. Які системи глобальної навігації можна віднести до пасивних?
8. Які системи глобальної навігації можна віднести до активних?

9. Які супутникові системи використовують для навігації мобільних роботів?
10. Які додаткові засоби навігації використовують системи позиціонування на основі GPS фірми Götting KG?

Глава 8. Приводи мобільних роботів

8.1. Основні типи приводів мобільних роботів

Приводи є основою засобів переміщення мобільного робота, засобів переміщення виконавчих органів та засобів, що забезпечують виконання технологічних функцій, наприклад, захоплюючих пристроїв. Таким чином, виходячи з функціонального призначення у складі мобільних роботів можуть використовуватись різні типи приводів, а саме, електричні та електромеханічні, гідравлічні та пневматичні.

Електричні та електромеханічні приводи є найбільш поширеними. Вони можуть застосовуватись для усіх переміщень, оскільки у мобільних роботів найчастіше використовують електроенергетичні джерела живлення.

Переміщення роботів з колісними та гусеничними рушіями, що використовуються у приміщеннях, здійснюється за допомогою регульованих електроприводів постійного та змінного струму. При цьому напруга живлення для електродвигунів формується за допомогою додаткових силових модулів, оскільки регулювання швидкості обертання двигунів постійного струму здійснюється за допомогою сигналу з широтно-імпульсною модуляцією, а двигунів змінного струму – за допомогою частотних перетворювачів.

Керування швидкістю обертання та позиціонування без датчиків зворотного зв'язку можна здійснити за допомогою крокових двигунів.

Для роботів з кроковими рушіями часто використовують гідравлічні приводи, які здійснюють лінійне та колове переміщення.

Засоби, забезпечують виконання технологічних функцій, можуть використовувати усі типи приводів, що визначається функціями, які вони виконують. Так захоплюючі пристрої часто використовують пневматичні приводи.

8.2. Приводи для колісних та гусеничних мобільних роботів

Для колісних та гусеничних рушіїв мобільних роботів найчастіше

використовують регульовані електроприводи, які реалізуються на основі двигунів постійного струму, крокових двигунів та двигунів змінного струму. При цьому треба мати на увазі, що на мобільних роботах найчастіше встановлюють джерела постійного струму (акумулятори, іоністори або сонячні батареї) з напругою 12 В та 24 В.

Електродвигуни постійного струму.

Використання двигунів постійного струму в мобільних роботах пояснюється такими якостями, як високий пусковий, гальмівний та перевантажувальний моменти, порівняно висока швидкодія, що важливо при реверсуванні і гальмуванні, можливість широкого і плавного регулювання частоти обертання шляхом зміни напруги живлення.

Для вибору електродвигуна постійного струму для колісного робота необхідні такі вихідні дані: маса робота, крутний момент, швидкість, потужність.

Також необхідно підібрати діаметр коліс і визначити правильне передавальне число зубчастої передачі для розрахунку швидкості його руху.

Для того, щоб робот міг рухатися, необхідно, щоб крутний момент двигуна перевищував вагу робота (який виражається у Н / м).

Маса робота дорівнює m (кг), максимальна швидкість його переміщення v (м/с) при радіусі колеса рівному r (м).

При переміщенні по прямій на відстань d розрахуємо прискорення, необхідне для досягнення швидкості v .

Виходячи з того, що при розгоні кінцева швидкість визначається як

$$v^2 = v_0^2 + 2ad, \quad (8.1)$$

де, d — відстань, яку пройшов робот, v_0 — його початкова швидкість (при старті з місця, $v_0 = 0$), v — швидкість робота, a — прискорення, отримаємо

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2d} \quad \text{або} \quad a = \frac{v^2}{2d} \quad \text{при } v_0 = 0 \quad (8.2)$$

Крутний момент, який необхідний для переміщення робота та отримання ним прискорення, необхідного для досягнення максимальної швидкості розраховується наступним чином:

$$M = J\varepsilon, \quad (8.3)$$

При рівномірному русі прискорення візка мобільного робота a і кутове прискорення колеса ε дорівнюють нулю. Крутний момент в цьому випадку створює тягове зусилля $F_{\text{тяги}} = M_k / R$ для подолання зусилля супротив руху візка. Але при прискоренні $a > 0$, зокрема розгону мобільного робота масою m_p , необхідно забезпечити кутовим прискоренням $\varepsilon = a/R$ колеса з моментом інерції J_k . Тому для розрахунку моменту необхідно врахувати і рух візка і забезпечення прискорення коліс.

Використовуючи принцип суперпозиції (рух колеса це сума двох рухів: прямолінійного разом із візком, та обертання навколо своєї осі), отримаємо.

Загальна формула крутного моменту:

$$M_k = n_{\text{прив}} F_{\text{тяги}} R + n J_k \varepsilon \quad (8.4)$$

або

$$M_k = n_{\text{прив}} m_p a R + n m_k R a \quad (8.5)$$

де $n_{\text{прив}}$ – кількість приводних (ведучих) коліс МР,

n – загальна кількість коліс;

R – радіус колеса, для обраних коліс;

m_k – маса одного колеса, для обраних коліс.

Потужність двигуна $P_{\text{дв}}$ з урахуванням коефіцієнта корисної дії η та залежності між кутовою швидкістю ω та швидкістю переміщення v ($\omega = v / R$) дорівнює:

$$P_{\text{дв}} = \frac{M_k \omega}{\eta} = \frac{M_k v}{\eta R}, \quad (8.6)$$

Регулювання швидкістю обертання здійснюється шляхом зміни напруги живлення. Сучасні системи використовують для цього широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ). Вигляд сигналу з широтно-імпульсною модуляцією показаний на рис. 8.2.

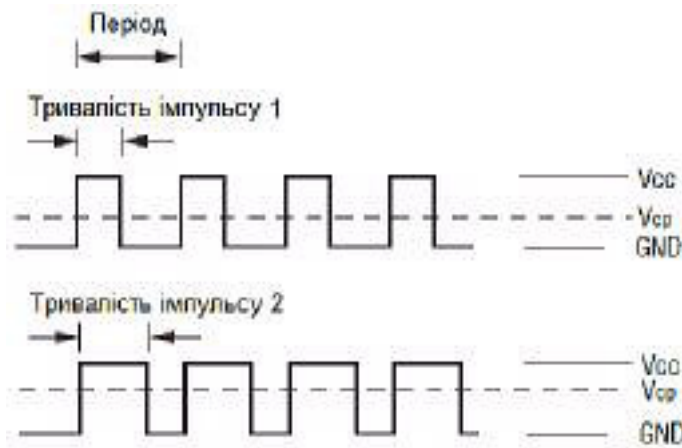


Рис. 8.2. Вигляд сигналу з широтно-імпульсною модуляцією

Усереднена напруга V_{cp} такого сигналу залежить від напруги живлення V_{cc} та коефіцієнта заповнення D , що визначається як відношення тривалості імпульсу τ до періоду повторення імпульсів T , я саме,

$$V_{cp} = V_{cc} \tau/T = D. \quad (8.7)$$

Цей засіб використовується для формування сигналів довільної форми шляхом зміни тривалості імпульсів по заданому закону. Перевагою такого засобу формування сигналу є те, що комутаційний елемент, за допомогою якого формується сигнал з широтно-імпульсною модуляцією, може перебувати в двох станах – повністю відкритому або повністю закритому. Тому втрати електроенергії визначаються потужністю, що виділяється на повністю відкритому комутаційному елементі.

Завдяки цьому формування сигналів з широтно-імпульсною модуляцією є стандартною функцією багатьох систем керування, що використовуються у складі мобільних роботів (приклади таких систем будуть розглянуті далі), і може використовуватись для регулювання швидкості обертання двигунів постійного струму.

Для зміни напрямку обертання (реверсу двигуна), що здійснюється шляхом зміни полярності напруги живлення, використовують різні комутаційні схеми, наприклад, таку, що наведена на рис. 8.3.

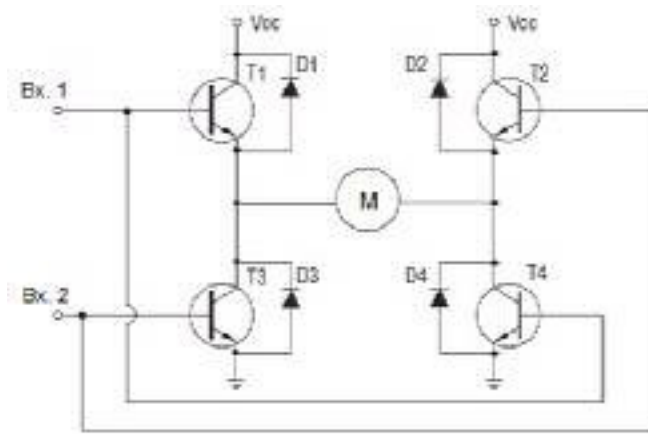


Рис. 8.3. Схема реверсу двигуна

Коли керуючий вхідний сигнал подається на транзистори T1 та T4 (Вх. 1), двигун обертається в одну сторону, а коли на транзистори T2 та T3 (Вх. 2), двигун обертається в іншу сторону. Захисні діоди D1, D2, D3, D4 призначені для замикання струму двигуна при відключенні відповідних транзисторів, що виникає завдяки індуктивному навантаженню, яку представляє собою обмотка електродвигуна.

Оскільки двигуни постійного струму мають велику швидкість обертання та малий крутний момент, використовують різні редуктори, які часто є складною частиною двигуна (рис. 8.4).



планетарний
мотор-
редуктор

плоский
циліндричний
мотор-редуктор

черв'ячний мотор-
редуктор

циліндричний
мотор-редуктор

Рис. 8.4. Двигуни з редукторами

Передаточне число таких мотор-редукторів може знаходитись у досить великих межах, що дає можливість вибрати двигуни з потрібною швидкістю обертання та крутним моментом. Наприклад мотор-редуктори постійного струму IG-32RGM з реверсивним колекторним двигуном потужністю 8 Вт та редуктором з планетарною та конічною передачею (рис. 8.5) мають такі характеристики (табл. 8.1). За потребою на двигуни встановлюють електромагнітне гальмо та датчик кута обертання на основі датчика Хола чи оптичного растрового датчика, що дозволяє вирішувати задачі одометрії.

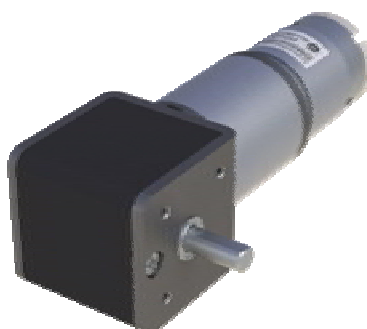


Рис. 8.5. Мотор-редуктор постійного струму IG-32RGM

Табл. 8.1.

Характеристики мотор-редукторів постійного струму IG-32RGM

Передат. число	1/5	1/14	1/19	1/27	1/35	1/51	1/71	1/100	1/139	1/189	1/264	1/516	1/721	1/939
Живлення 12В (03 Тип)														
Момент, кгс*см	0.4	0.9	1.2	1.7	2.3	2.8	3.9	5.4	7.6	8.3	11.6	12	12	12
Швидкість, об/хв.	1140	430	310	220	170	116	83	60	43	31.5	23.5	13	9.6	7.2
Живлення 24В (04 Тип)														
Момент, кгс*см	0.47	1.1	1.5	2.1	2.7	3.3	4.6	6.4	9	9.8	12	12	12	12
Швидкість, об/хв.	1170	445	320	229	176	120	87	62	44.5	34	25	13	9.8	7.2

Фірми, що випускають обладнання для мобільних роботів, мають

зачастую сервоприводи постійного струму з умонтованими системами керування швидкістю обертання та визначення куту обертання (засобів одометрії).

На рис. 8.6 наведений сервопривод NXT, що складається з електродвигуна, редуктора та датчика кутових переміщень з точністю $\pm 1^\circ$, що визначає також точність позиціонування.

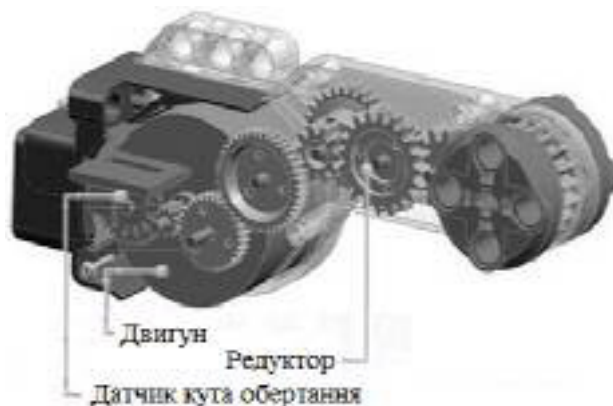


Рис. 8.6. Сервопривод постійного струму

Високу точність позиціонування без датчиків зворотного зв'язку (швидкості або положення) можна здійснити за допомогою крокових двигунів.

Принцип роботи крокового двигуна заснований на використанні такої конструкції, при якій один вхідний імпульс повертає ротор на визначений кут. Імпульси поступають послідовно на різні обмотки, що забезпечує обертання з постійною швидкістю.

Спрощена схема уніполярного крокового двигуна наведена на рис. 8.7 а. На рис. 8.7 б показана послідовність подачі сигналів, яка потребується для обертання двигуна.

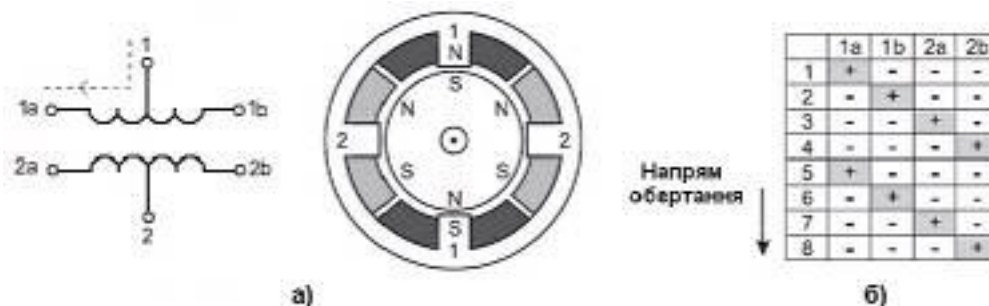


Рис. 8.7. Уніполярний кроковий двигун

Мікроконтролери та програмовані логічні контролери (ПЛК), що використовують у системах керування мобільними роботами, наприклад, мікроконтролери Arduino та ПЛК S7-200 та S7-1200 фірми Siemens, мають у складі програмного забезпечення функції керування кроковими двигунами. Контролер формує послідовність імпульсів зі змінним періодом повторення, що дозволяє керувати швидкістю обертання двигуна. Оскільки контролер видає послідовність імпульсів на один вихід потрібна схема, яка сформує послідовну видачу імпульсів на контакти 1а, 1б, 2а, 2б. Ці функції виконує силовий перетворювач, який забезпечує також потрібну напругу та струм на виході (рис. 8.8). Діоди на виходах перетворювача потрібні для замикання струму котушок двигуна при відключенні.

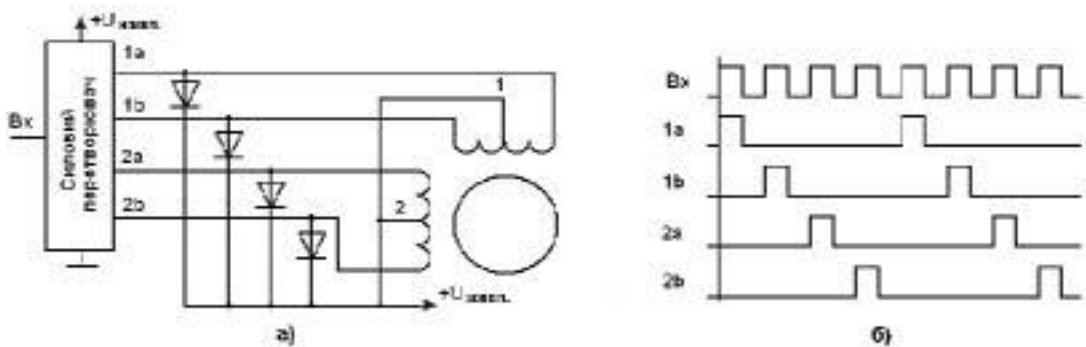


Рис.8.8. Силовий перетворювач для крокового двигуна

Змінюючи період проходження імпульсів можна змінювати швидкість обертання крокового двигуна по заданому закону. Полозицію задає кількість імпульсів, які поступають на кроковий двигун.

У складі мікроконтролерів Arduino є драйвери крокових двигунів, які забезпечують подачу необхідної послідовності імпульсів біполярні та уніполярні крокові двигуни.

Швидке зростання кількості модифікацій мобільних роботів привело до появи універсальних модулів, на основі котрих будуються сучасні мобільні роботи.

Так модуль повороту та переміщення Omni-Drive-Module Neobotix є інтегрований модуль, який включає в себе ведуче колесо, яке може додатково обертати і орієнтувати навколо своєї вертикальної осі. Транспортний засіб з такими модулями може бути всепрямованим, але при цьому колеса повинні повертатися синхронно.



Рис. 8.10. Двовісний модуль повороту та переміщення Omni-Drive-Module Neobotix та мобільний робот МРО-700

Двовісні модулі вже використовуються на мобільних роботах, таких як, наприклад, Omni-directional robot МРО-700.

У наш час існує великий набір засобів керування для двигунів змінного струму на основі частотних перетворювачів, що дає можливість їх широкого використання у різних транспортних засобах.

Частотні перетворювачі використовуються для керування швидкості обертання двигунів змінного струму, які змінюють частоту струму живлення в залежності від керуючих сигналів, наприклад, напруги на аналоговому вході або відповідних команд, що подаються по локальній мережі. Це дає можливість керування синхронними та асинхронними двигунами змінного струму в

великому діапазоні потужностей (наприклад, частотні перетворювачі фірми Сименс працюють у діапазоні від 100 Вт до 50 мВт).

Моноблочні частотні перетворювачі досить компактні та можуть застосовуватись у мобільних пристроях.

Спрощена схема такого частотного перетворювача наведена на рис. 8.11.

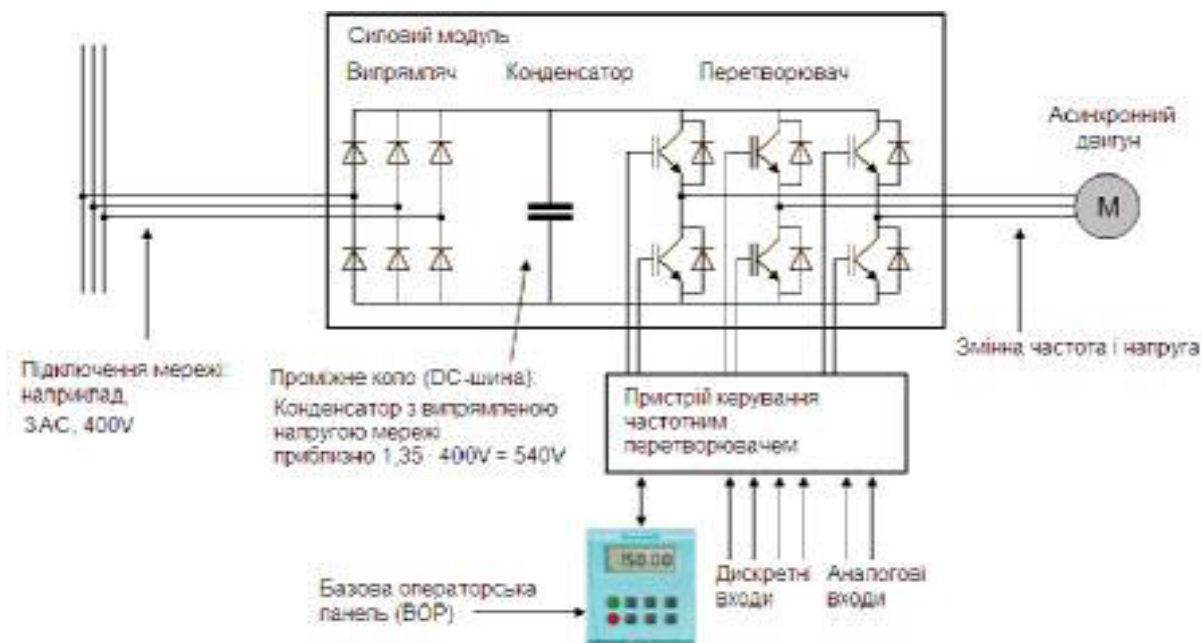


Рис. 8.11. Спрощена схема частотного перетворювача

Частотний перетворювач має такі складові частини:

- силовий модуль, який включає випрямляч, що перетворює змінний струм мережі у постійну напругу, проміжне коло у вигляді конденсатора, що згладжує пульсації випрямленої напруги, та перетворювач, що за допомогою ключових схем формує потрібну форму вихідного сигналу;
- пристрій керування, який здійснює формування вихідного сигналу та програмне керування його параметрами за встановленими параметрами, наприклад, закон зміни вихідної напруги в залежності від частоти, задає швидкість розгону та гальмування тощо;
- операторська панель, яка призначена для встановлення та перегляду параметрів перетворювача.

Для зовнішнього керування пристрій керування має дискретні та аналогові входи, за допомогою яких може здійснюватись обмін керуючими та інформаційними сигналами, а також інтерфейси для керування за допомогою локальної мережі.

З метою досягнення високої економічності, особливо для потужних двигунів, керування швидкістю обертання електродвигунів здійснюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції. На рис. 8.12 наведено, як здійснюється формування сигналу потрібної форми. Електродвигун можна представити як індуктивне навантаження, тому струм двигуна являє собою згладжену вхідну напругу у вигляді сигналу з широтно-імпульсною модуляцією.

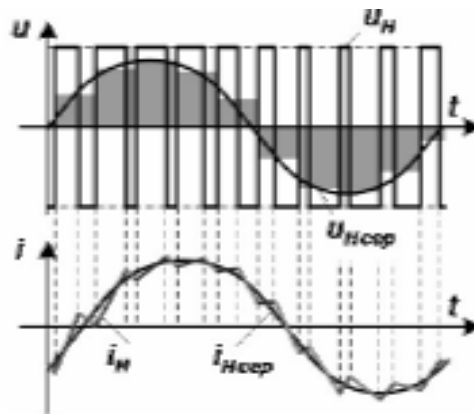


Рис. 8.12. Формування сигналу потрібної форми за допомогою широтно-імпульсної модуляції

Програмування частотного перетворювача здійснюється за допомогою встановлення великої кількості параметрів (декілька сотень). Ці параметри задають джерело встановлення частоти на виході перетворювача та джерело команд, закон керування (керування за вольт-частотною характеристикою або векторне керування), обмеження на частоту, струм, потужність, швидкість розгону та гальмування тощо.

Живлення таких перетворювачів здійснюється з однофазної або трифазної мережі змінного струму, тому вони використовуються, коли є

можливість підключення до таких мереж, або коли на роботі встановлені генератори змінного струму.

Такі приводи встановлені, наприклад, на мобільному робототехнічному комплексі МРК-47БТ військового призначення (рис. 8.13), у якому для переміщення використовуються контролери асинхронного електроприводу з частотним перетворювачем 8200 Motec фірми Lenze, що здійснюють керування правого і лівого бортів гусеничного шасі. Цей комплекс має в своєму складі дизельний генератор, що здійснює живлення приводів переміщення.



а)



б)

Рис. 8.13. Мобільний робототехнічний комплекс МРК-47БТ (а) та умонтований частотний перетворювач 8200 Motec (б)

8.3. Приводи для крокуючих мобільних роботів

Крокуючі роботи для своїх рухів використовують приводи лінійного та кутового переміщення, що реалізуються на основі гідравлічних та електричних приводів.

На рис. 8.14 показані електричний (а) та гідравлічний (б) лінійні приводи (лінійні актуатори) для крокових рухів мобільних роботів.

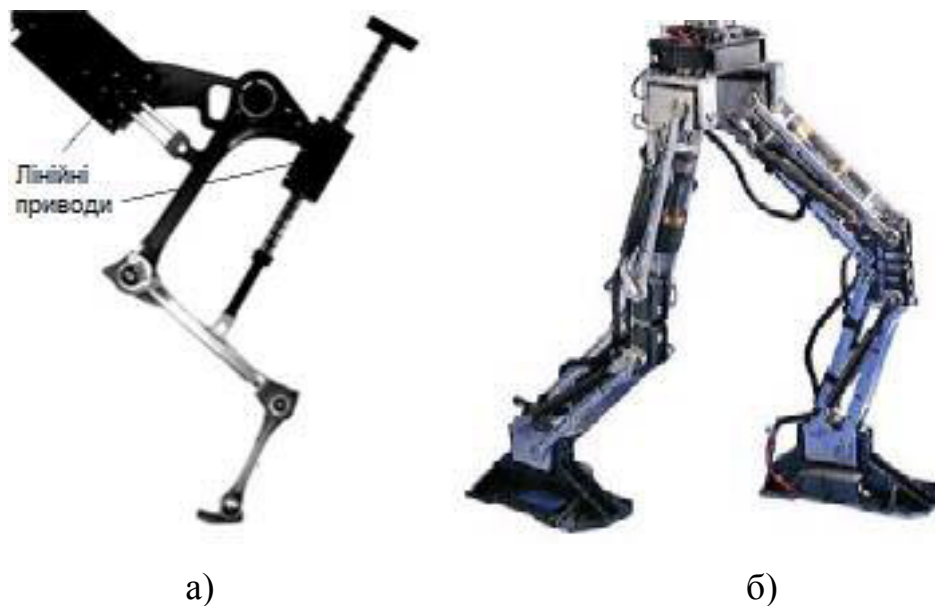


Рис. 8.14. Використання лінійних приводів для крокових рушіїв мобільних роботів

Принцип дії лінійного актуатора на основі електродвигунів наведений на рис 8.15.

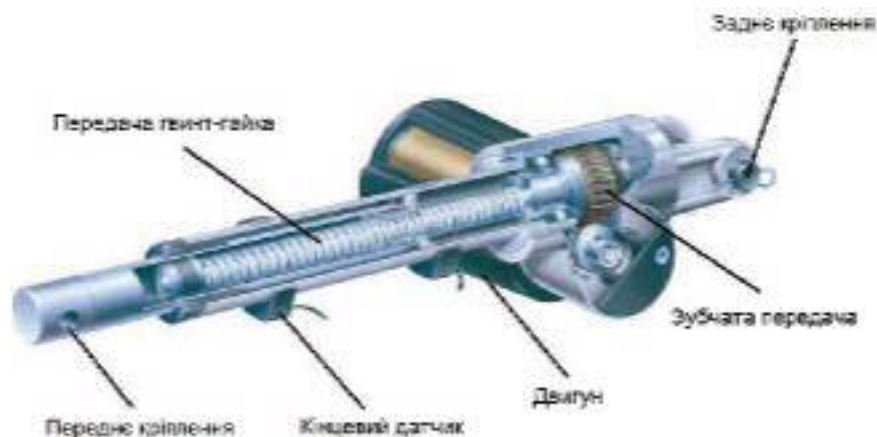


Рис 8.15. Принцип дії лінійного актуатора на основі електродвигунів

Лінійний актуатор являє собою систему позиціонування, в основі якої лежить перетворення обертального моменту електродвигуна в поступальний рух штока. Як правило, такий пристрій включає в себе сам двигун, редуктор, датчик повороту ротора двигуна і кінцевий вимикач.

Довжина висунутою частини штока у типових лінійних актуаторів може

мати значення від 50мм до 500мм. Швидкість руху штока до 50мм / с в залежності від навантаження. Прикладається лінійним приводом до об'єкта сила приймає значення 200Н до 10000Н в залежності від моделі.

Принцип дії гідравлічного лінійного актуатора наведений на рис 8.16.

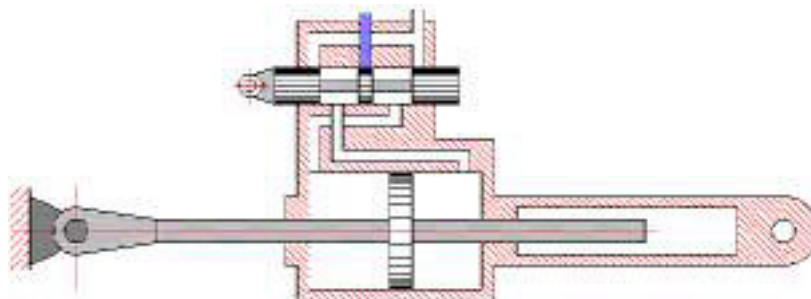


Рис 8.16. Принцип дії гідравлічного лінійного актуатора

Переваги гідроприводів:

- можливість одержання великих сил та обертальних моментів при порівняно малих розмірах та масі гідродвигунів;
- плавність рухів вихідних ланок;
- можливість безступінчастого регулювання швидкості у широкому діапазоні;
- мала інерційність;
- простота реалізації основних видів рухів: обертального, зворотно-поступального і зворотно-поворотного.

На жаль, гідравлічні приводи мають ряд недоліків, які ускладнюють їх використання в невеликих роботах:

- гідроприводи поступаються електричним у відстані транспортування енергії від джерела до споживача та швидкості передачі командних сигналів;
- у гідроприводах актуальним є питанням забезпечення герметичності порожнин, що знаходяться під тиском;
- чутливість до в'язкості робочої рідини, котра у свою чергу залежить від температури;

– нижчий к.к.д. у порівнянні з механічними передачами у приводах.

Виходячи з цього гідравлічні приводи застосовуються у транспортних мобільних роботах, наприклад, у військовому транспортному роботі BigDog, в якому використовуються лінійні гідроприводи для переміщення ніг (рис. 8.17).



Робот BigDog



Гідропривод робота BigDog

Рис. 8.17. Військовий транспортний робот BigDog

Для крокових рушіїв відносно невеликих роботів, наприклад, **i-Sobot**, **Bioloid**, **Robonova** використовують сервоприводи, що здійснюють регульоване обертання у обмеженому значенні куту повороту, наприклад, від 0 до 300° при точності встановлення кута менш ніж 0,5° .

На рис. 8.18 наведений робот HR-OS1 Humanoid фірми Trossen Robotics (а) з серводвигунами Dynamixel (б).

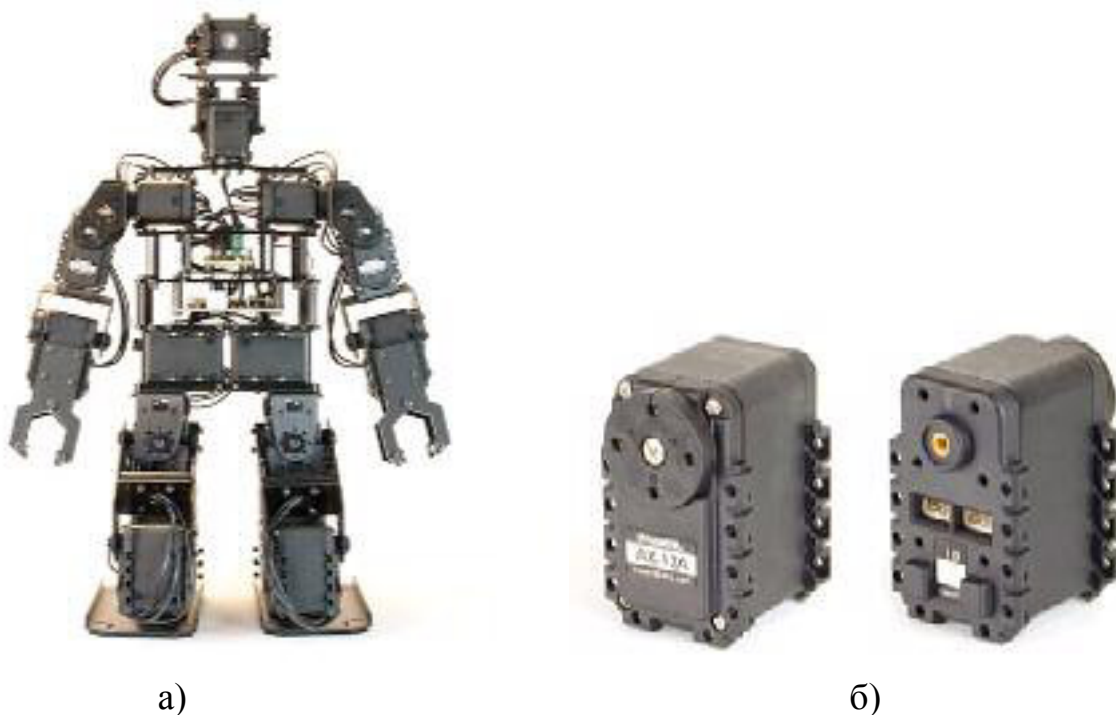


Рис. 8.18. Робот HR-OS1 Humanoid (а) з серводвигунами Dynamixel (б)

На рис. 8.19 наведені складові частини серводвигуна. Двигун постійного струму за допомогою редуктора повертає вихідний вал, на якому встановлений потенціометр.

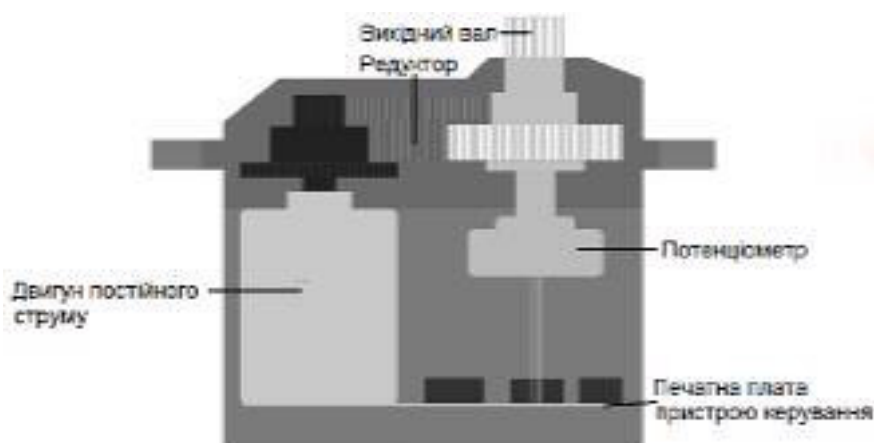


Рис. 8.19. Складові частини серводвигуна

При обертанні вихідного валу на виході потенціометра отримаємо напругу, пропорційну куту повороту валу. Пристрій керування порівнює цю напругу з вказаною та зупиняє двигун, коли ці напруги порівнюються. Для

встановлення вказаної напруги використовується керуючий імпульсний сигнал з постійною частотою та змінною тривалістю імпульсів. Положення серводвигуна залежить від тривалості імпульсів. Приклад такої залежності наведений на рис. 8.20.

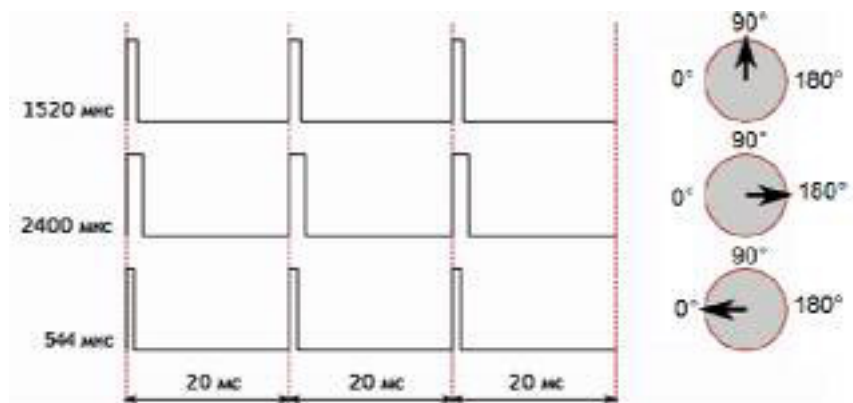


Рис. 8.20. Приклад залежності положення серводвигуна залежить від тривалості імпульсів

У табл. 8.2 наведені параметри серводвигунів Dynamixel.

Табл. 8.2.

Параметри двигунів Dynamixel

Модель	AX-12A	AX-12W	AX-18A	RX-24F	RX-28	RX-64	MX-28T/R	MX-64T/R	MX-106T/R
Крутний момент, N.m	1.5	0.2	1.8	2.6	3.7	5.3	3.1	7.3	10.0
Швидкість об/хв.	59	54	97	126	54	64	97	78	55
Роздільна здатність	0.29°	0.29°	0.29°	0.29°	0.29°	0.29°	0.088°	0.088°	0.088°
Кут повороту	300°	300°	300°	300°	300°	300°	360°	360°	360°
Розміри	32.50 · 40	32.50 · 40	32.50 · 40	35.6 50.6 35.5	35.6 50.6 35.5	40.2 61.1 41	35.6 50.6 35.5	40.2 61.1 41	40.2 65.1 46

Ці приводи можна використовувати як для переміщення суглобів ніг та рук крокуючих роботів, так і для повороту рульового колеса у колісних мобільних роботах.

8.4. Засоби автономного живлення

Забезпечення автономної роботи є важливою задачею мобільних роботів, для вирішення якої використовують засоби автономного живлення. Ці засоби повинні забезпечити роботу усіх компонент мобільного робота протягом певного часу.

У невеликих мобільних роботів використовуються електроприводи, тому там потрібні автономні джерела електричного струму, наприклад, акумулятори, іоністори або сонячні батареї.

У випадках, коли мобільні роботи здійснюють переміщення по постійним маршрутам використовують засоби бездротової передачі електроенергії.

Найчастіше для живлення мобільних роботів використовують акумулятори. Сучасні літій-йонні акумулятори, які служать джерелами живлення для електромобілів, мають досить високу ємність, малий час та велику кількість циклів заряду. Використовують також літій-полімерні, нікель-кадмієві, нікель-магнієві та інші типи акумуляторів.

Високу швидкість заряду мають джерела живлення на основі іоністорів, які представляють собою конденсатори з великою ємністю (суперконденсатори). Вони найчастіше використовуються як проміжні джерела струму, наприклад, для джерел живлення з сонячними панелями.

Сонячні панелі встановлюються на мобільних пристроях, призначених для довгострокового автономного використання, наприклад, у космічних пристроях. Так сонячні панелі використовують мобільних роботів на інших планетах. На рис. 8.21 наведений марсохід з сонячними панелями.

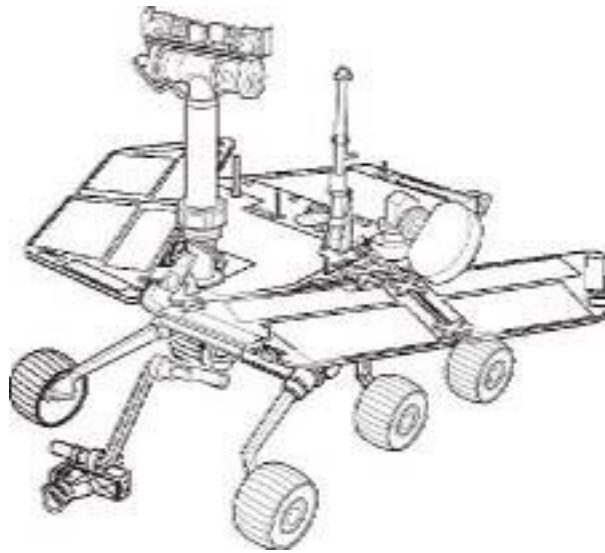


Рис. 8.21. Марсохід з сонячними панелями

На рис. 8.22 наведений принцип дії та конструкція пристрою бездротової передачі електроенергії фірми VANLE. Первинний пристрій перетворює вхідну напругу з частотою 50 Гц, отриману з мережі електроживлення, у первинний струм з частотою 20 кГц, яка подається на дроти, що здійснюють передачу електроенергії. Вторинний пристрій за допомогою котушки індуктивності приймає цю енергію та перетворює її у вторинну напругу постійного струму, що використовується для живлення мобільного робота.

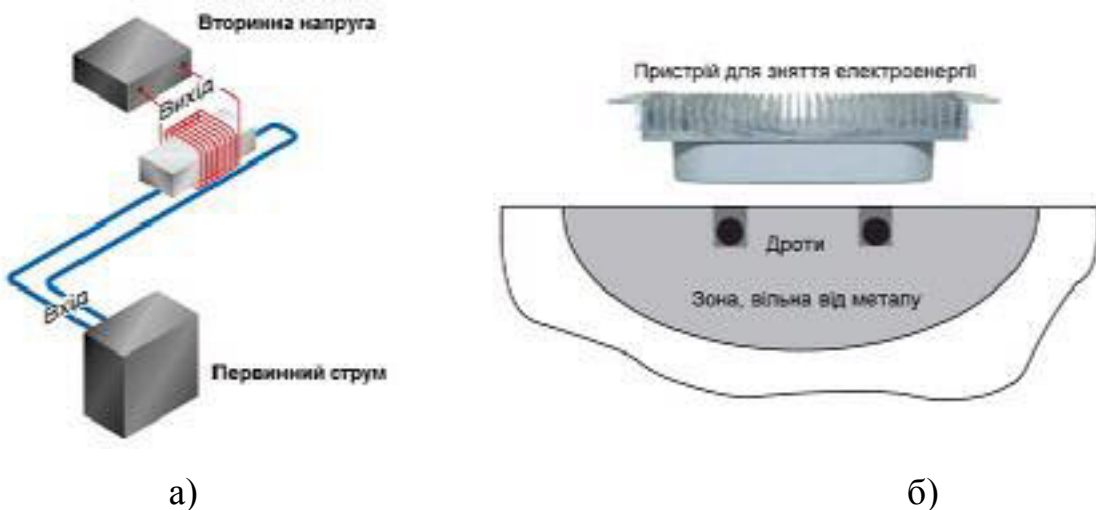


Рис. 8.22. Принцип дії (а) та конструкція (б) пристрою бездротової передачі електроенергії

На рис. 8.23 наведені пристрої для зняття електроенергії CPS®-PS 19 та CPS®-PS 19 компакт. Пристрої мають такі параметри: розміри - 360 x 895 x 80 мм, вихідна потужність - 3000 Вт, вихідна напруга - 560 В та 24 В постійного струму.



Рис. 8.23. Пристрої для зняття електроенергії CPS®-PS 19 та CPS®-PS 19 компакт

На рис. 8.24 наведений приклад використання системи бездротового живлення для одночасної передачі даних та здійснення маршрутослідкування за допомогою дротів, що використовують для передачі електроенергії.



Рис. 8.24. Приклад використання системи бездротового живлення для одночасної передачі даних та здійснення маршрутослідкування

На рис. 8.25 показаний приклад використання транспортних роботів з бездротовим живленням для перенесення вантажу у складі.



Рис. 8.25. Приклад використання транспортних роботів з бездротовим живленням

Мобільні роботи, що призначені для тривалої роботи у складних умовах, можуть використовувати дизельні генератори. Так на рис. 8.13 був наведений мобільний робототехнічний комплекс військового призначення МРК-47БТ з дизельним генератором АДП 6,5/3,2-Т400/230 ВЯ-С. Це дає можливість використовувати асинхронні двигуни змінного струму з частотними перетворювачами для керування швидкістю.

Для мобільних роботів, що потребують дуже тривалого живлення без поновлення енергії використовують радіоізотопні термоелектричні генератори. У такому типі пристроїв залишкове тепло, що виділяється під час розпаду відповідного радіоактивного матеріалу перетворюється в електричну енергію з використанням масиву термопар.

Таке живлення використовувалось, наприклад, на марсоході Curiosity (рис. 8.27). Ця система живлення потужністю 100 Вт використовує в якості джерела енергії процес розпаду діоксиду плутонію-238 загальною масою 4,8 кг.



Рис. 8.27. Марсохід Curiosity (а) з радіоізотопним термоелектричним генератором (б)

Контрольні запитання

1. Які основні типи приводів використовують для мобільних роботів?
2. Які типи приводів використовують для колісних та гусеничних рушіїв мобільних роботів?
3. Які переваги мають електродвигуни постійного струму?
4. Як визначити потужність двигуна постійного струму для колісного робота?
5. Як здійснити керування швидкості та напрямку руху двигуна постійного струму?
6. На чому заснований принцип дії крокових двигунів?
7. Як здійснити керування швидкості двигуна змінного струму?
8. Які типи приводів використовують для крокуючих мобільних роботів?
9. Які типи лінійних приводів використовують для крокових рушіїв мобільних роботів?
10. Які типи джерел живлення використовують для мобільних роботів?

Глава 9. Захоплюючі пристрої та маніпулятори мобільних роботів

9.1. Типи захоплюючих пристроїв мобільних роботів

У залежності від функцій та задач, що виконує мобільний робот, використовують різні захоплюючі пристрої.

Так маніпуляційні мобільні роботи мають маніпулятор з виконавчим пристроєм, функції якого може виконувати захоплюючий пристрій або обладнання для виконання технологічних операцій (рис. 9.1).



а)



б)

Рис. 9.1. Маніпуляційні мобільні роботи з різними типами захоплюючих пристроїв та обладнанням для виконання технологічних операцій, а - мобільні роботи з затискними захоплюючими пристроями, б - мобільні роботи з технологічним обладнанням

Існує велика кількість типів захоплюючих пристроїв, які за способом утримання поділяють на захоплюючі пристрої, що підтримують, притягують (утримують) або затискують (схоплюють).

Сучасні мобільні роботи найчастіше використовують на гнучких ділянках виробництва, де потребується швидке переналагодження обладнання, тому вони забезпечуються універсальними затискними захоплюючими пристроями, такими як кліщові та плоско паралельні. Найбільш універсальними є антропоморфні захоплюючі пристрої, що повторюють рухи кисті руки людини (рис. 9.2).



Рис. 9.2. Затискні (а) та антропоморфні (б) захоплюючі пристрої

На рис. 9.3 показаний захоплюючий пристрій з трьома пальцями BarrettHand фірми Barrett Technology. Захоплюючий пристрій складається з трьох пальців, з яких один нерухомий, а два інших обертаються навколо долоні. Пальці мають по два суглоба. Конструкція пальців зроблена таким чином, що при зупинці першого суглоба крутний момент передається на другий суглоб. Зупинка другого суглоба відбувається завдяки тактильному датчику.

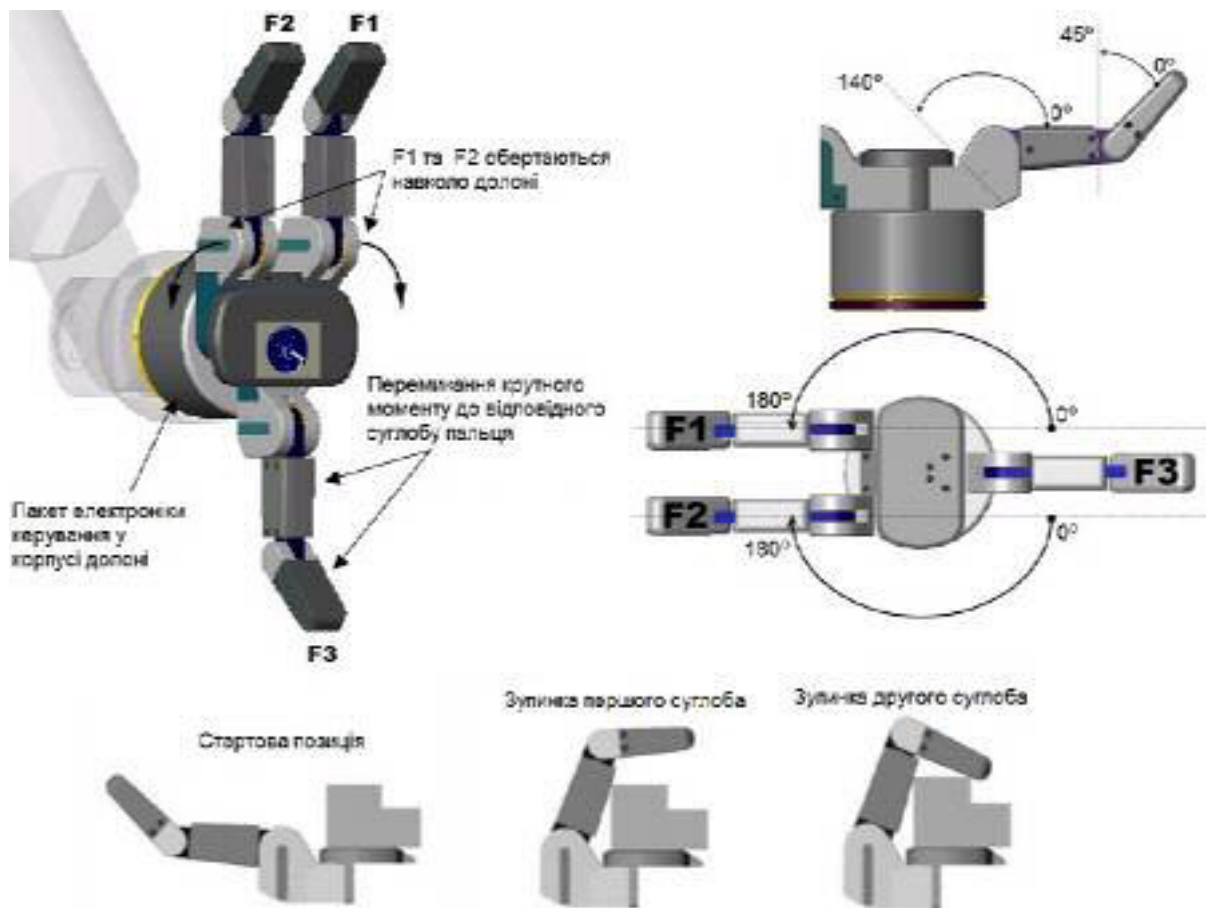


Рис. 9.3. Захоплюючий пристрій з трьома пальцями BarrettHand

Транспортні мобільні роботи призначені для автоматизованого транспортування об'єктів, а також для використання у різних транспортних системах. Для встановлення вантажу на транспортний мобільний робот можуть використовуватись додаткові пристрої, або навантажувачі, що встановлюються на самому роботі. На рис. 9.4 наведені транспортні мобільні роботи з захоплюючим пристроєм у вигляді роликового конвеєра, з виличними захоплюючими пристроями та підйомом вантажу за рахунок підйому транспортуючих пристроїв.

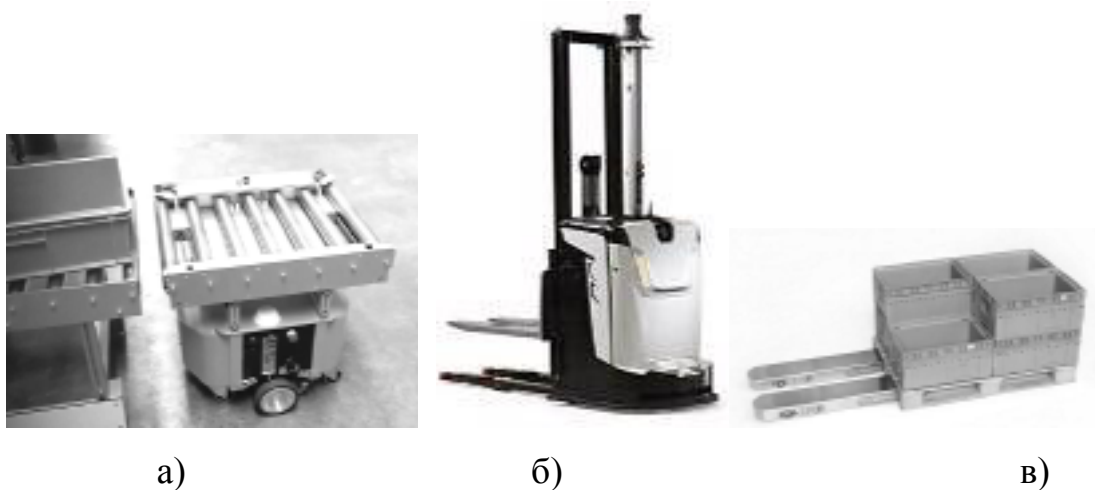


Рис. 9.4. Транспортні мобільні роботи з різними типами захоплюючих пристроїв,

а - з захоплюючим пристроєм у вигляді роликового конвеєра, б - з вилочними захоплюючими пристроями, в – з підйомом вантажу за рахунок підйому транспортуючих пристроїв

Далі будуть розглянуті маніпулятори з затискними захоплюючими пристроями та вилочні захоплюючі пристрої для мобільних роботів.

9.2. Маніпулятори для мобільних роботів

Затискні захоплюючі пристрої встановлюються на маніпуляторах, які здійснюють переміщення затискного пристрою у просторі.

У складі мобільних роботів можуть використовуватися різні маніпулятори (рис. 9.5), наприклад, багатоланкові маніпулятори або маніпулятор-трипод.

Такі маніпулятори забезпечують переміщення робочого органу в тривимірному просторі, що вимагає використання декількох приводів і реалізації спільного їх управління для позиціонування в просторі.

Основним завданням при цьому є позиціонування робочого органу, яке вирішується за допомогою датчиків положення і регульованих приводів, тому з

метою спрощення структури та алгоритму управління мобільних роботів необхідно мінімізувати число ланок маніпулятора.

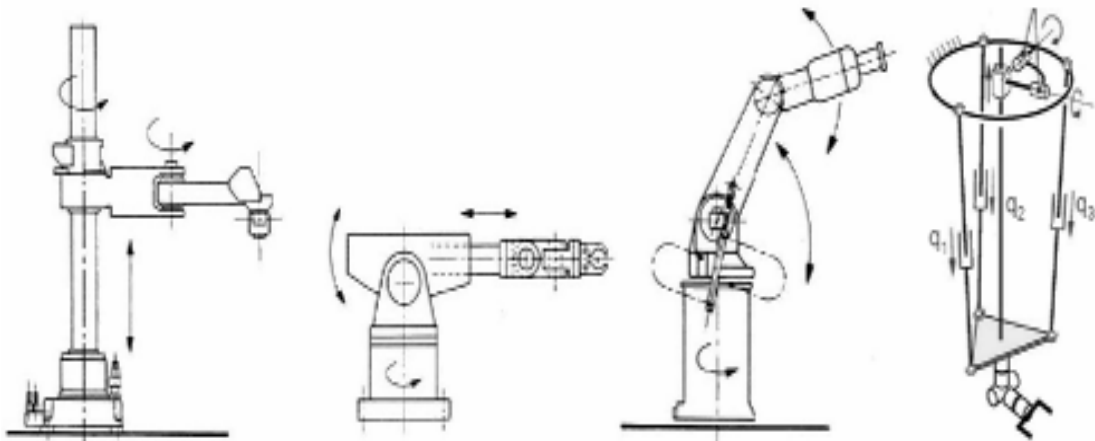


Рис. 9.5. Маніпулятори, що використовуються у складі автономних мобільних роботів

У складі сучасних маніпуляційних мобільних роботів використовують багатоланкові маніпулятори, що дають можливість незалежного керування візком робота та маніпулятором. На рис. 9.6 наведені приклади таких маніпуляторів.



Рис. 9.6. Багатоланкові маніпулятори

На рис. 9.7 наведений приклад мобільного робота з багатоланковим маніпулятором антропоморфним захоплюючим пристроєм та додатковим пристроєм підйому.



Рис. 9.7. Мобільний робот з багатоланковим маніпулятором та антропоморфним захоплюючим пристроєм

Маніпулятори на основі просторових механізмів у вигляді триподу володіють підвищеною жорсткістю, здатні забезпечити досить високі динамічні характеристики при відносно невеликій металоємності.

Приклад використання маніпулятора-трипода у складі крокового мобільного робота платформного типу наведений на рис. 9.8.

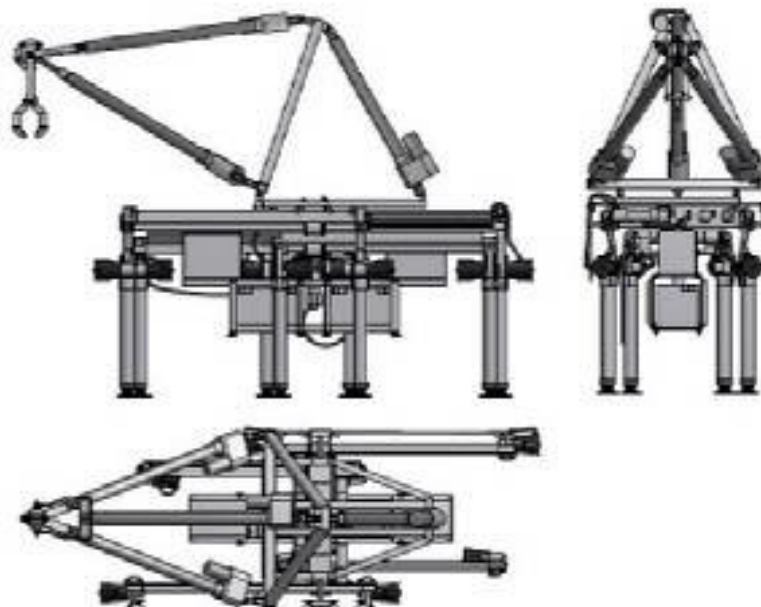


Рис. 9.8. Використання маніпулятора-трипода у складі крокового мобільного робота

Застосування в мобільних робототехнічних комплексах маніпуляторів на основі просторових механізмів дозволяє знизити металоємність, підвищити жорсткість, забезпечити достатньо високі динамічні характеристики і спростити виконавчу частину маніпулятора. До недоліків маніпуляторів на основі просторових механізмів відносяться обмеженість робочої зони, відносно невелика маніпулятивність, складність системи управління, що перешкоджає широкому застосуванню таких маніпуляторів.

Основною задачею маніпулятора є позиціонування робочого органу, яке вирішується за допомогою датчиків положення та регульованих приводів, тому з метою спрощення структури та алгоритму управління мобільного робота треба мінімізувати кількість ланок маніпулятора.

Для спрощення структури механічних вузлів можна використовувати маніпулятор на основі пантографа (рис. 9.9).

Оскільки переміщення робочого органу в горизонтальній площині може забезпечуватися за рахунок переміщення візка, то маніпулятору достатньо забезпечити переміщення і орієнтацію робочого органу тільки по вертикальній осі, що значно спрощує структуру мобільного робота.



Рис. 9.9. Маніпулятор на основі пантографа

При використанні затискного захватного пристрою, який не змінює орієнтацію, можна використовувати поєднаний механізм підйому і захватного пристрою з маніпулятором на основі пантографа. При цьому переміщення може здійснюватися одним приводом (рис.9.10).

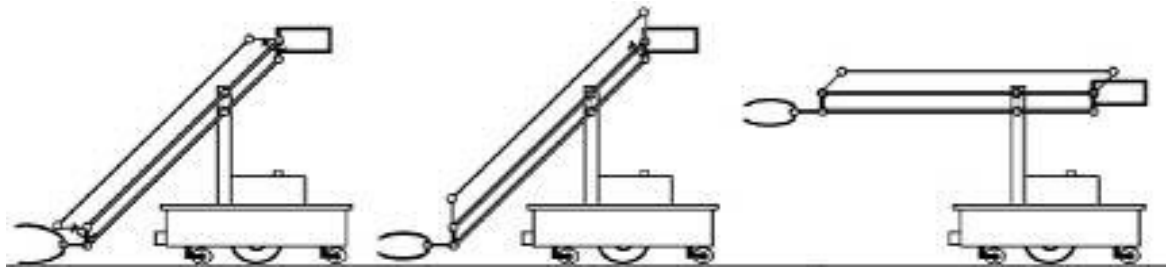


Рис. 9. 10. Поєднаний механізм підйому і захватного пристрою з використанням маніпулятора на основі пантографа

На рис. 9.11 наведена реалізація такого маніпулятора на основі робототехнічного конструктора MINDSTORMS NXT 2.0.

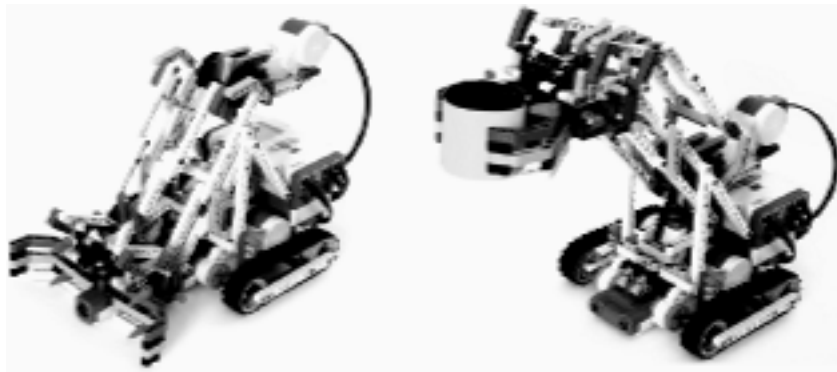


Рис. 9.11. Реалізація маніпулятора на основі пантографа за допомогою робототехнічного конструктора MINDSTORMS NXT 2.0

Розглянемо кінематичну схему такого маніпулятора (рис.9.12).

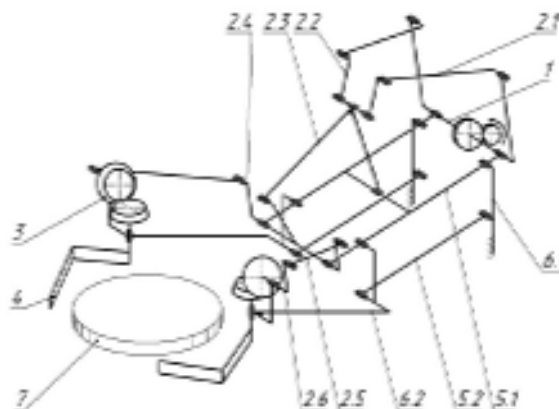


Рис.9.12. Кінематична схема маніпулятора з поєднаним приводом механізму підйому і захоплюючого пристрою

Маніпулятор складається з наступних частин: приводного вала 1 (привод на схемі показаний умовно); ланок 2.1-2.6 що відповідають за закриття-відкриття захоплюючого пристрою; конічної передачі 3, яка служить для передачі обертального моменту у взаємно-перпендикулярних площинах; захоплюючого пристрою 4; ланок 5.1-5.2, що відповідають за підйом захоплюючого пристрою маніпулятора; стійки 6.1, яка пов'язує маніпулятор з візком маніпулятора.

Маніпулятор працює таким чином: при включенні приводу провертається вал 1, приводячи в дію систему ланок 2.1-2.6 (довжини і конфігурація ланок підібрані таким чином, щоб забезпечити певний кут повороту ведучої шестерні конічної передачі 3). Потім через конічну передачу приводиться в дію сам захоплюючий пристрій, тим самим затискаючи об'єкт маніпулювання 7. Після захоплення об'єкта 7 ланки 2.1-2.6 фіксуються, тим самим фіксуючи приводний вал 1. При цьому привід продовжує працювати і здійснює підйом всієї системи щодо стійки 6.1 за рахунок ланок 5.1-5.2, які утворюють паралелограм. Опускання і звільнення вантажу проводиться в зворотному порядку.

Розглянемо алгоритм керування маніпулятора при перенесенні вантажу та встановлення його на палету (рис 9.13).

Початковими даними для переміщення руки і захватного пристрою є залежності вертикального і горизонтального положення від кута повороту приводу переведені у значення датчика кута повороту, а також відповідні значення для закриття і відкриття, виходячи з передавального відношення механізму захоплюючого пристрою.

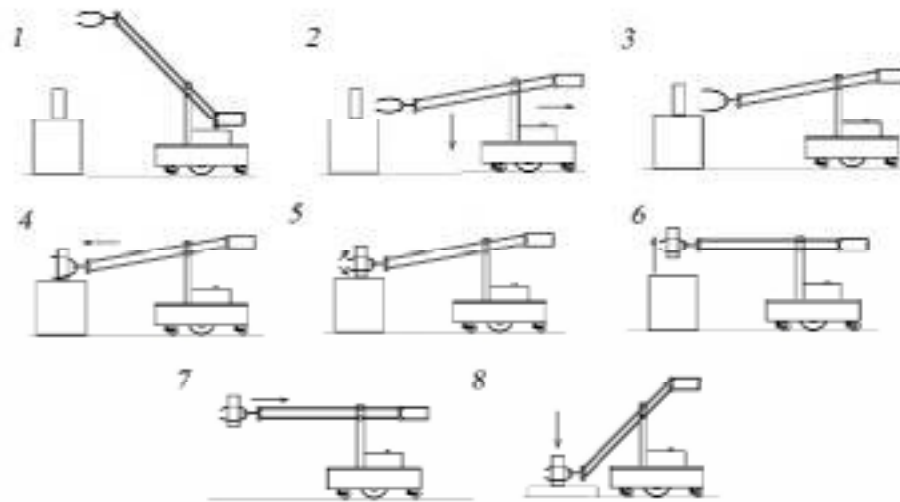


Рис. 9.13. Порядок встановлення вантажу

1. За допомогою засобів локальної навігації мобільний робот переміщається, доки ультразвуковий датчик на визначеній відстані не зафіксує платформу, на якій встановлений вантаж.
2. Опускається маніпулятор на заданий кут
3. Відкривається захоплюючий пристрій
4. Робот під'їжджає ближче для того щоб захопити вантаж.
5. Закривається захоплюючий пристрій.
6. Відбувається підйом маніпулятора.
7. Робот від'їжджає назад.
8. Робот під'їжджає до палети, опускає вантаж і піднімає маніпулятор, тим самим становлячись у вихідне положення.

Мобільні роботи з обладнанням для виконання технологічних операцій замість захоплюючого пристрою мають пристрої для виконання відповідних функцій, наприклад, пристрій для фарбування, для очищення поверхні, для проведення зварювальних робіт, відеоспостереження тощо, які можуть встановлюватись на маніпуляторі або безпосередньо на роботі (рис. 9.14).



Рис. 9.14. Мобільні роботи для виконання технологічних операцій

На рис. 9.15 наведений мобільні роботи фірми **ProKasro** для проведення фрезерування та нанесення захисного покриття в трубопроводах.



Рис. 9.15. Мобільні роботи для проведення фрезерування та нанесення захисного покриття в трубопроводах

9.3. Захоплюючі пристрої транспортних мобільних роботів

Встановлення та зняття вантажу з транспортних мобільних роботів може здійснюватися за допомогою сторонніх засобів, або засобів, що встановлені на самому роботі. До таких засобів можна віднести виловний захоплюючий пристрій, транспортер, підйомний пристрій.

Вилочний захоплюючий пристрій використовується на автоматичних навантажувачах (рис. 9.6).



Рис. 9.16. Автоматичний навантажувач з вилочним захоплюючим пристроєм

Такі мобільні роботи призначені для встановлення та зняття вантажу з стелажів на складах. Вантаж при цьому знаходиться на стандартних палетах.

Для підйому вилочного захоплювача найчастіше використовують гідравлічні приводи. На рис. 9.17 наведена схема вантажопідйомного пристрою навантажувачів, де: 1 - рама; 2 - направляючі вантажної каретки; 3 – вилочний захоплювач; 4 – поршень підйому; 5 - гідроциліндр підйому; 6 - шток; 7 - поперечина; 8 - зірочки; 9 - внутрішні стойки (рухливі); 10 - зовнішні стойки (нерухомі)

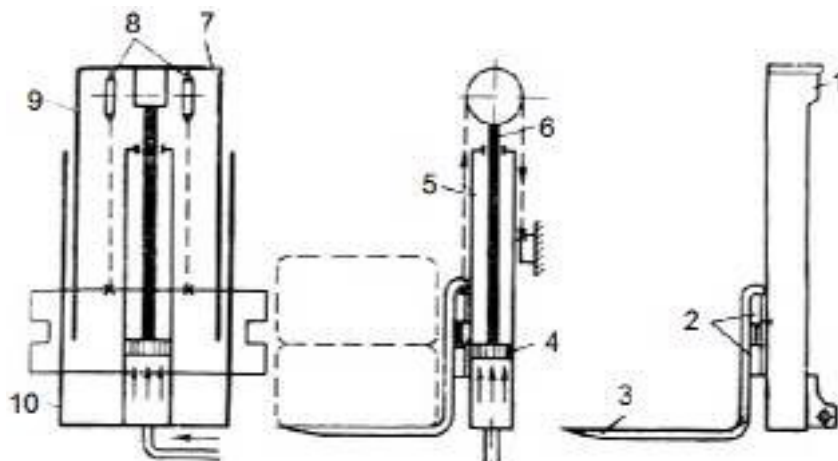


Рис. 9.17. Схема дії вантажопідйомного пристрою навантажувачів

Для встановлення вантажу також використовують підйомні засоби (рис. 9.18). При цьому вантаж треба встановлювати на відповідні опори.



Рис. 9.18. Встановлення вантажу за допомогою підйомних засобів

На рис. 9.19 наведений транспортний робот для переміщення вантажу на палетах, що складається з двох направляючих у вигляді полозів, які переміщуються синхронно за допомогою системи локальної навігації.



Рис. 9.19. Транспортний робот для переміщення вантажу на палетах

Для встановлення вантажу на робот використовують транспортери у вигляді стрічкового або роликового конвеєра (рис. 9.20).



Рис. 9.20. Транспортери у вигляді стрічкового або роликового конвеєра

Контрольні запитання

1. Які основні типи захоплюючих пристроїв використовують для мобільних роботів?
2. Які типи маніпуляторів використовують для мобільних роботів?
3. Які переваги має маніпулятор-трипод?
4. Які переваги дає захват на основі пантографа?
5. Як працює суміщений механізм підйому і захватного пристрою?
6. Які технологічні операції можуть виконувати мобільні роботи?
7. Які засоби використовують для встановлення та зняття вантажу транспортних роботів
8. Як здійснюється підйом вилочного захоплювача?
9. Як здійснити встановлення вантажу на стелаж за допомогою вилочного захвату?
10. Як здійснити зняття вантажу на стелаж за допомогою вилочного захвату?

Глава 10. Інформаційні системи мобільних роботів

10.1. Датчики внутрішнього стану

Датчики дозволяють отримати інформацію про стан самого робота та навколишнього світу, тому вони поділяються на датчики внутрішньої та зовнішньої інформації. Належність датчика до однієї з цих груп залежить від тих функцій, що він виконує.

До датчиків внутрішньої інформації належать датчики положення, датчики швидкості, датчики обертового моменту та датчики іншої інформації про внутрішній стан робота.

Використовуються контактні та безконтактні датчики положення рухомих об'єктів.

У найпростіших контактних датчиках механічне переміщення перетворюється в замкнений або розімкнений стан електричних контактів, які здійснюють релейний змін опору у зовнішньому колі. На рис. 10.1 наведені контактні датчики, які здійснюють прості функції керування (наприклад, включення та зупинки пристрою) шляхові та кінцеві вимикачі, що використовуються для сигналізації положення механізмів.



Рис.10.1. Зовнішній вигляд контактних датчиків

Контактні датчики використовують для визначення положення різних

об'єктів шляхом здійснення механічного контакту.

На рис. 10.2 наведений зовнішній вигляд контактної датчика та приклад його застосування для визначення кінцевого положення рухомої деталі механізму. Аналогічно може бути побудований шляховий датчик, який спрацьовує у проміжних пунктах переміщення об'єкту.

Недоліками контактних датчиків є дренчання контактів, що потребує додаткових заходів захисту, наприклад, спрацювання датчика фіксується тільки після кількаразового повторення стану датчика, а також обмежена кількість спрацювань датчика. Тому вони застосовуються в тих випадках, коли частота спрацювання невисока.

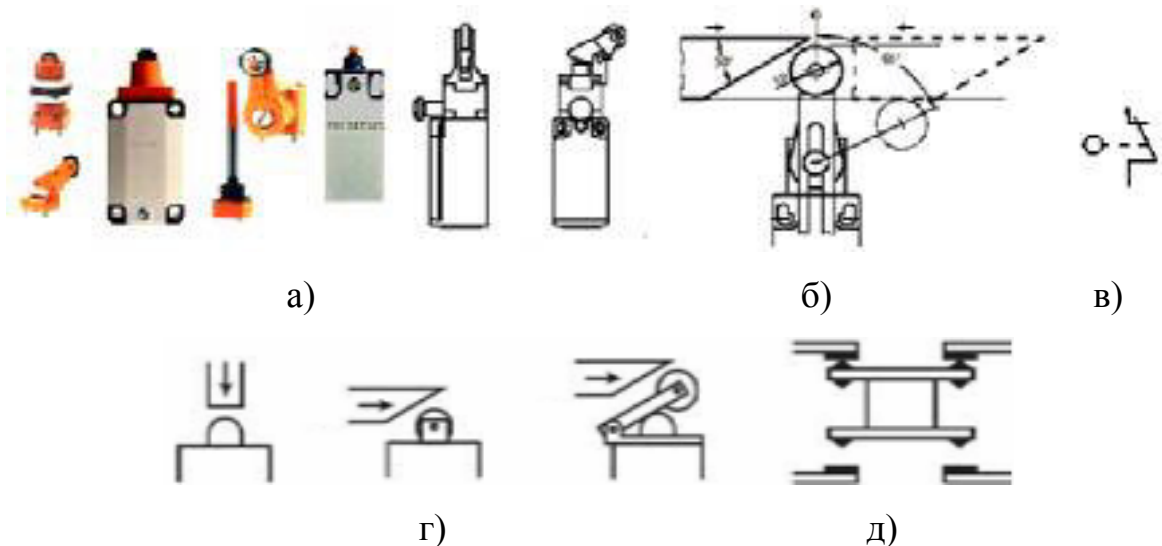


Рис.10.2. Зовнішній вигляд контактної датчика (а), приклад його застосування (б), умовне позначення на електричній схемі (в), варіанти спрацювання (г) та конструкція контактів (д)

Безконтактні датчики дозволяють визначити об'єкт на відстані. Так, наприклад, індуктивні датчики спрацьовують, коли металевий об'єкт попадає в зону дії датчика.

Ці датчики поділяються на дві групи: датчики із щілинними чутливими елементами та датчики з площинними чутливими елементами.

Датчики із щілинними чутливими елементами спрацьовують, коли металева пластина (елемент впливу) проходить в щіліні між котушками чутливого елемента. Датчики з площинними чутливими елементами спрацьовують, коли елемент впливу проходить біля котушок на відстані спрацювання (рис. 10.3). Відстань спрацювання таких датчиків залежить від розмірів котушки і найчастіше складає 1 - 20 мм.



Рис. 10.3. Датчик з щілинним (а) та площинним (б) чутливим елементом

На рис. 10.4 показана можливість використання індуктивних датчиків для визначення лінійного та кругового переміщення. У цьому випадку при переміщенні датчик формує послідовність імпульсів, кількість яких визначає позицію від початку руху. Кількість імпульсів за одиницю часу дає швидкість переміщення, а для кругового переміщення дозволяє визначити кут обертання або кількість обертів.



Рис. 10.4. Використання індуктивних датчиків для визначення лінійного та кругового переміщення

В оптичних (фотоелектричних) датчиках зміна вихідного параметра (струм, напруга) відбувається залежно від зміни сили світла, яке падає на датчик. Оптичні датчики положення можуть працювати на відбивання - датчики відбиваючої дії (рис. 10.5, а), на проходження - датчики

однонаправленої дії з відокремленими джерелом та приймачем світла (рис. 10.5, б) або щілинні датчики (рис. 10.5, в).

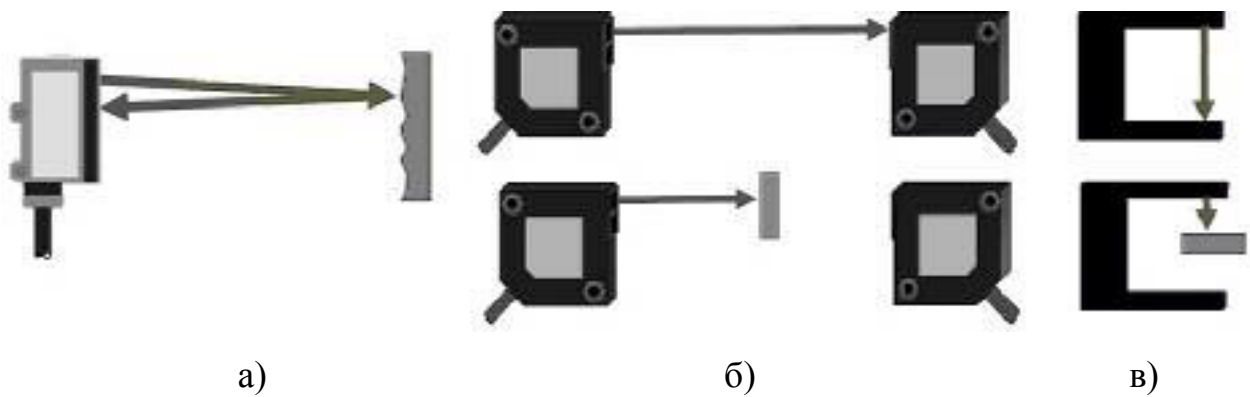


Рис. 10.5. Оптичні датчики відбиваючої дії (а), однонаправленої дії на проходження (б) та щілинні датчики (в)

Джерело світла оптичних датчиків може бути виконано на основі світлодіодів з видимим, інфрачервоним та лазерним випромінюванням. Датчики з лазерним випромінюванням завдяки малому діаметру променя мають високу точність вимірювання положення.

На рис. 10.6 наведений приклад використання щілинного оптичного датчика для вирішування задач одометрії, а саме, вимірювання кута повороту колеса для визначення шляху переміщення.



Рис. 10.6. Використання щілинного оптичного датчика для вимірювання кута повороту колеса

Це вимірювання здійснюється так. Згідно з формулою 6.1 шлях l , що проходить колесо при обертанні на кут φ дорівнює

$$l = d \varphi / 2, \text{ або } l = \pi d \varphi / 360^\circ, \quad (10.1)$$

де - d діаметр колеса, φ та φ° кут обертання колеса, відповідно, у радіанах або градусах.

Якщо кількість імпульсів за одне обертання колеса складає n_δ , то відстань l_n , яку пройде колесо за n імпульсів дорівнює $l_n = \pi d n/n_\delta$.

Для вимірювання лінійних та кутових переміщень використовуються також резистивні (потенціометричні) датчики, фотоімпульсні датчики та інші.

Потенціометричні датчики дають змогу безпосередньо перетворювати лінійне або кутове переміщення повзунка в постійну напругу (рис. 10.7).

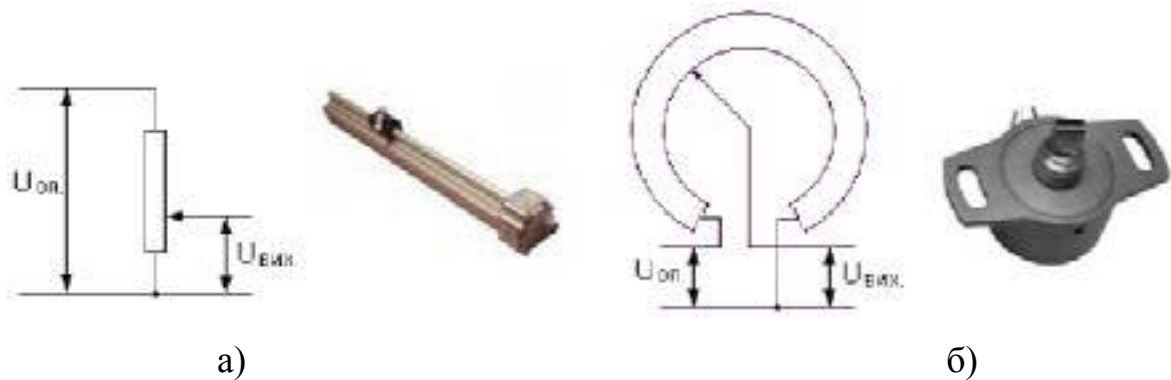


Рис. 10.7. Потенціометричні датчики лінійних (а) та кутових (б) переміщень

Принцип дії фотоімпульсних датчиків, які використовуються вимірювання переміщення та швидкості, базується на модуляції світлового потоку, який засвічує фотоелемент за допомогою диска або лінійки з отворами або з прозорими та непрозорими смугами (рис. 10.8). При цьому шлях або кут переміщення визначається кількістю імпульсів, що видає датчик.

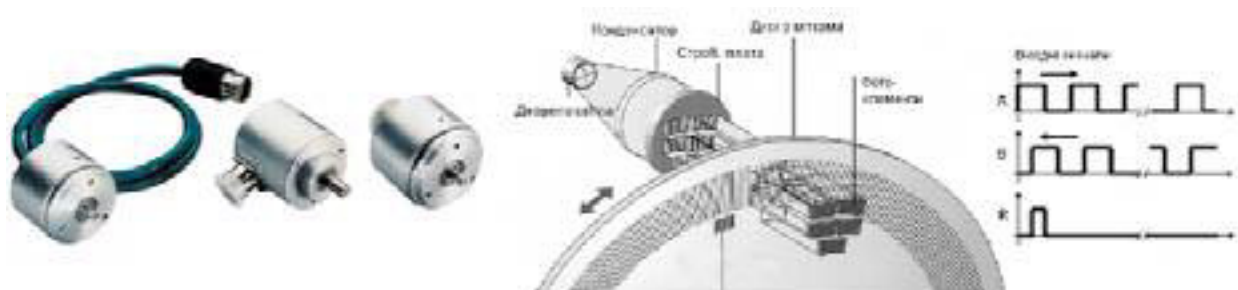


Рис. 10.8. Зовнішній вигляд та принцип роботи фотоімпульсних датчиків

Таки датчики вимірювання кута обертання дають до 6000 імпульсів за одне обертання, що дозволяє вимірювати малі переміщення. Електронна система датчика формує дві послідовності імпульсів, які зсунуті відносно одна одної на $+90^\circ$ або -90° в залежності від напрямку переміщення. Завдяки цьому лічильники мають можливість визначити абсолютну позицію переміщення шляхом рахування імпульсів на збільшення або на зменшення. Швидкість вимірюється як кількість імпульсів за визначений час.

На рис. 10.9 наведений датчик лінійних переміщень, що працює за тим же принципом.

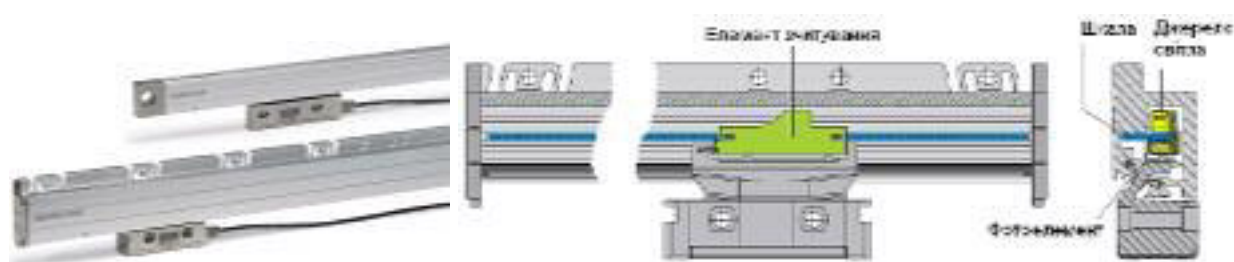


Рис. 10.9. Фотоімпульсний датчик лінійних переміщень

Для перетворення кутових та лінійних переміщень у цифровий код використовують абсолютні кодові датчики, основним вузлом яких є елемент у вигляді диска з кодовим рисунком. Зчитуючи код можна визначити кутове переміщення (рис. 10.10).



Рис. 10.10. Принцип роботи абсолютних датчиків

Для вимірювання швидкості використовуються також тахогенератори постійного струму, які перетворюють значення швидкості (кількості обертів) в електричний сигнал (напругу).

Для вимірювання шляху переміщення використовують тросові датчики. У середині датчика на барабан намотується в один шар вимірювальний трос. При витягуванні троса барабан обертається, при цьому вимірювальний датчик кутових переміщень, безпосередньо пов'язаний з віссю барабана, виробляє електричні сигнали, що характеризують переміщення троса.

Повернення троса і намотування на барабан здійснюється за допомогою спіральної пружини віддачі на осі барабана. Кінець троса легко закріплюється на контрольованому об'єкті. Замість троса може використовуватись стрічка.

На рис. 10.11 наведені датчики вимірювання шляху переміщення з тросовим та стрічковим вимірювальним елементом.

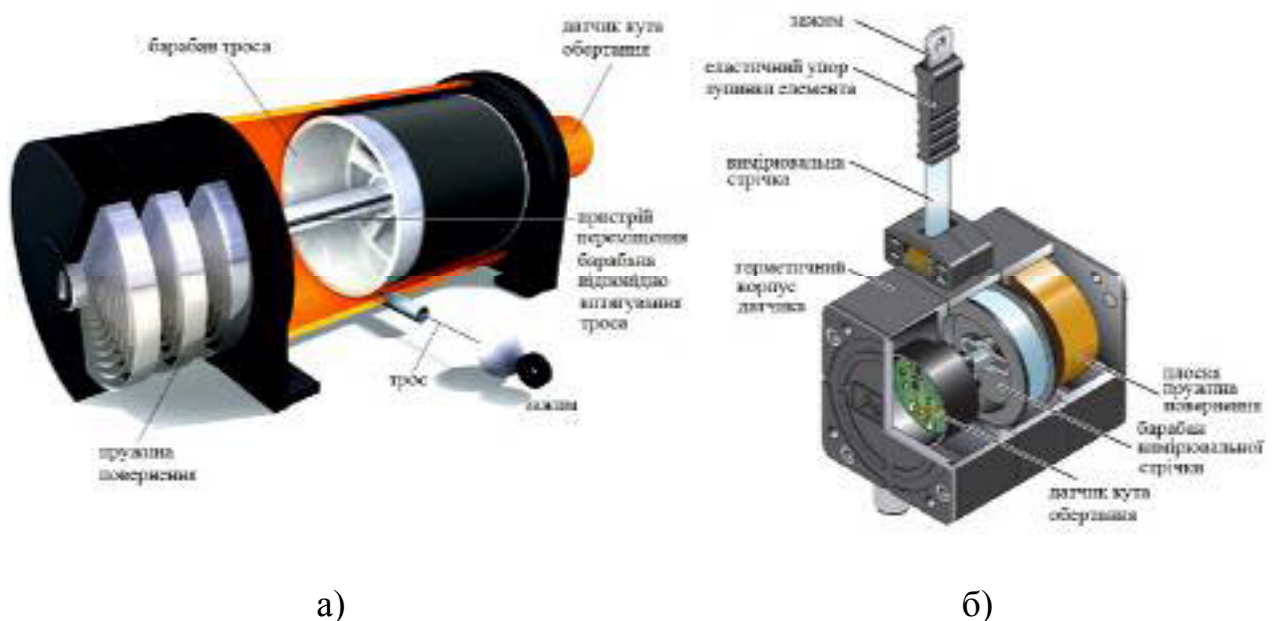


Рис. 10.11. Датчики з тросовим (а) та стрічковим (б) вимірювальним елементом

Ці датчики дозволяють вимірювати відстань до 40 м з точністю не гірше 1% з аналоговим (0 -10 В, 4 -20 мА), імпульсним або кодовим виходом.

10.2. Датчики зовнішнього стану

Датчики зовнішнього стану дають можливість визначити параметри зовнішніх об'єктів або положення цих об'єктів відносно робота.

Найпростішими датчиками, що дають можливість визначити зовнішній об'єкт, це тактильні датчики, до яких належать контактні датчики, що були розглянуті вище. За допомогою цих датчиків можна зафіксувати механічне зіткнення з зовнішнім об'єктом.

Більш детальну інформацію про положення зовнішніх об'єктів дають датчики безконтактного визначення відстані до об'єктів, які будуть розглянуті далі.

До датчиків зовнішнього стану можна також віднести датчики положення робота у просторі. Так у крокових двоногих роботів виникає проблема утримання рівноваги при переміщенні. Для вирішення цієї проблеми використовують акселерометр.

Акселерометр - це прилад, що дозволяє вимірювати прискорення тіла під дією зовнішніх сил. Схематично, акселерометр можна зобразити у вигляді масивного тіла, яке здатне пересуватися уздовж деякої осі і пов'язане з корпусом приладу пружинами (рис. 10.12, а). Якщо такий прилад штовхнути вправо (рис. 10.12, б), то вантаж зміститься по направляючій вліво від центру осі. Визначаючи зсув вантажу щодо центральної точки можна знайти величину чинного прискорення.

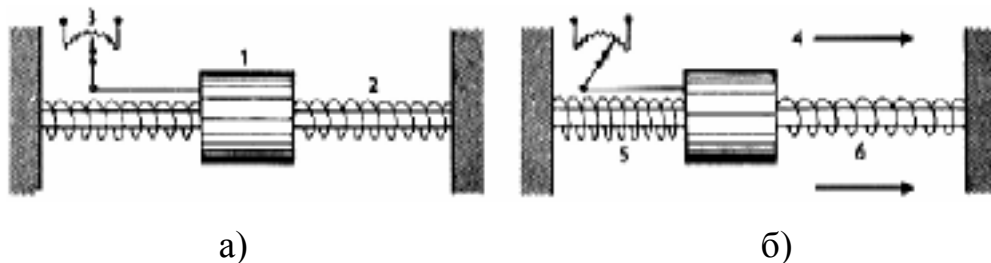


Рис.10.12. Схема роботи акселерометра.

Як правило, сучасні акселерометри дозволяють вимірювати проекцію прискорення відразу на три осі тривимірного простору. Знаючи ці величини,

легко можна розрахувати кут нахилу конкретної осі відносно поверхні землі. Однак, вимірювання нахилу за допомогою акселерометра можливо тільки тоді, коли останній перебуває у стані спокою. Адже якщо на гіроскоп під час вимірювання подіє будь-яка інша сила, прилад неодмінно її зафіксує і тим самим внесе помилку в розрахунок кутів.

На рис. 10.13 наведений акселерометр з вимірюванням по 3 осям Pololu на MMA7341L, що має формат виведення у вигляді 3 аналогових сигналів (по одному на вісь) із середнім значенням напруги, рівним половині напруги живлення, з діапазоном чутливості: $\pm 1,5g$, $\pm 3g$, $\pm 6g$, $\pm 11g$, та розміром 10 x 13 x 3 мм.



Рис. 10.13. Акселерометр з вимірюванням по 3 осям Pololu на MMA7341L

Для орієнтації та визначення положення у просторі використовують гіроскопи та магнітні компаси.

Гіроскоп це пристрій, здатний реагувати на зміну орієнтації основи, на якій його встановлено, відносно інерціального простору. Конструкція гіроскопу являє собою що містить швидкообертове тверде тіло, яке має три обертальні ступені вільності, тобто можливість обертання навколо трьох взаємно-перпендикулярних осей (рис. 10.14).



Рис. 10.14. Конструкція та зовнішній вигляд гіроскопічного датчику

Гіроскопічний датчик можна використовувати для орієнтації при переміщенні на площині, а також для утримання рівноваги робота.

Так, наприклад, цифровий гіроскопічний датчик EV3 дозволяє вимірювати рух обертання робота, а також вловлювати зміни в його рух і положення. За допомогою цього датчика легко можна виміряти кути з точністю до $\pm 3^\circ$ та частотою опитування до 1 кГц, що дає можливість створити балансуєчого робота і досліджувати технології, які використовуються в навігаційних системах.

Для орієнтування на місцевості шляхом вказівки на сторони світу використовують **електронний магнітний компас**. На рис. 10.15 наведений модуль електронного магнітного компасу HMC5883L з 3-ма осями, що використовується в системах позиціонування.



Рис.10.15. Електронний магнітний компас HMC5883L.

Електронний магнітний компас, або магнітометр використовують для визначення сторони світу, в яку направлено пристрій. Цифровий компас відстежує орієнтацію пристрою в просторі щодо магнітних полюсів Землі для орієнтування по місцевості.

Електронний магнітний компас NXT Compass Sensor (NMC1034) вимірює положення відносно магнітного поля землі у числовому вигляді з точністю 1° (значення від 0 до 359) та здійснює вимірювання з частотою 100 Гц.

Для вимірювання відстані до об'єктів використовують ультразвукові, інфрачервоні та лазерні датчики, а також відеосистеми, де відстань до об'єкту визначається шляхом обробки зображення або завдяки стереоскопічним системам.

Ультразвукові датчики відстані

Ультразвуковий датчик відстані визначає відстань до об'єкта, вимірюючи час відображення звукової хвилі від об'єкта (рис. 10.16).



Рис.10.16. Ультразвукові датчики відстані: HC-SR04 (а) та VRTU 430 (б)

Частота звукової хвилі знаходиться в межах частоти ультразвуку, що забезпечує концентроване напрямом звукової хвилі, так як звук з високою частотою має менше розсіювання у повітрі. Типовий ультразвуковий датчик відстані складається з двох мембран, одна з яких генерує звук, а інша реєструє його відображення. Звуковий генератор створює ультразвуковий імпульс і запускає таймер. Друга мембрана реєструє прибуття відображеного імпульсу і зупиняє таймер. Від часу таймера t по швидкості звуку можливо обчислити пройдену відстань звукової хвилі. Відстань до об'єкта дорівнює половині пройденого шляху звукової хвилі (рис. 10.17).

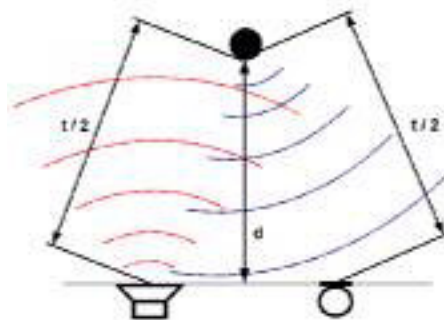


Рис.10.17. Схема роботи ультразвукового датчика

Ультразвукові датчики вимірюють відстань до 10 - 15 м, що визначається великим затуханням звуку в повітрі. Так датчик HC-SR04 вимірює відстань від 30 до 4000 мм з точністю ~ 3 мм, а датчик фірми Leuze Electronic VRTU 430

вимірює відстань в діапазонах 60 - 300 мм, 200 - 1300 мм, 400 - 3000 мм або 600 - 6000 мм з точністю 1 мм.

Інфрачервоні датчики відстані

Інфрачервоні датчики визначають відстань до об'єкту за допомогою методів триангуляції (рис. 10.18).



Рис.10.18. Інфрачервоний датчик фірми SHARP GP2Y0A710K0F

Імпульс світла в інфрачервоному діапазоні випромінюється і відбивається назад від перешкоди (або не відбивається). Кут падіння світлового променя, який повертається, залежить від відстані до перешкоди. Відбитий промінь попадає на позиційно чутливий елемент (*position-sensitive detector*, PSD), опір якого залежить від місця розташування падаючого на PSD променя.

Вимірюючи цей опір можна обчислити відстань до об'єкту. Схема роботи датчика зображена на рис. 10.19.

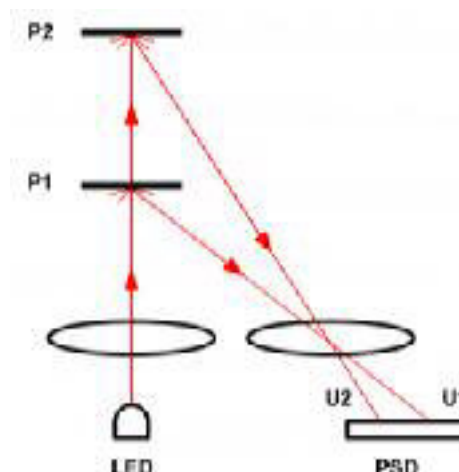


Рис.10.19. Схема роботи інфрачервоного датчика за допомогою триангуляції

Відстань до об'єкту, яку вимірює інфрачервоний датчик, приблизна така,

як у ультразвукових датчиків, наприклад, датчик фірми SHARP GP2Y0A710K0F вимірює відстань від 100 до 550 см.

Для вимірювання положення об'єктів на більших дистанціях використовують оптичні (лазерні) датчики вимірювання відстані.

Оптичні датчики мають великий робочий діапазон (до 130 - 150 м) і високу роздільну здатність (1 мм). Принцип роботи фотоелектричних безконтактних датчиків заснований на вимірюванні швидкості проходження променя, що відбивається від спеціальної відбиває мітки, розташованої на об'єкті, або ж безпосередньо від самого об'єкта. При цьому вираховують як радарний так і триангуляційний засоби вимірювання відстані. Як джерело випромінювання використовуються інфрачервоні світлодіоди, або інфрачервоні та червоні лазерні світлодіоди. На рис.10.20 наведені лазерні датчики вимірювання відстані фірми SICK DME 3000 з діапазоном вимірювання 0,1...8 м та точністю ± 5 мм, а також фірми DMT з діапазоном вимірювання 0,1...155 м та точністю ± 7 мм.



Рис.10.20. Лазерні датчики вимірювання відстані фірми SICK DME 3000 та DMT

Радарний датчик відстані фірми TR-Electronic LE-200 забезпечують можливість вимірювання відстаней до 240 м з точністю ± 2 мм і виведення даних за допомогою інтерфейсу локальної шини або промислової шини Ethernet. Розташовані в пристрої лазерні діоди направляють модульований світловий промінь, який відбивається від відбивача з рівною поверхнею і знову надходить на детектор в пристрої.

Відстань розраховується по різниці фаз між відправленим і прийнятим світловим променем.

Принцип дії радарного датчика наведений на рис. 10.21.

Для орієнтації автоматичних транспортних засобів та мобільних роботів використовують скануючі лазерні датчики, за допомогою яких можна визначити розташування об'єктів навколо робота. Ці датчики включають лазерний датчик відстані та засіб обертання датчика.

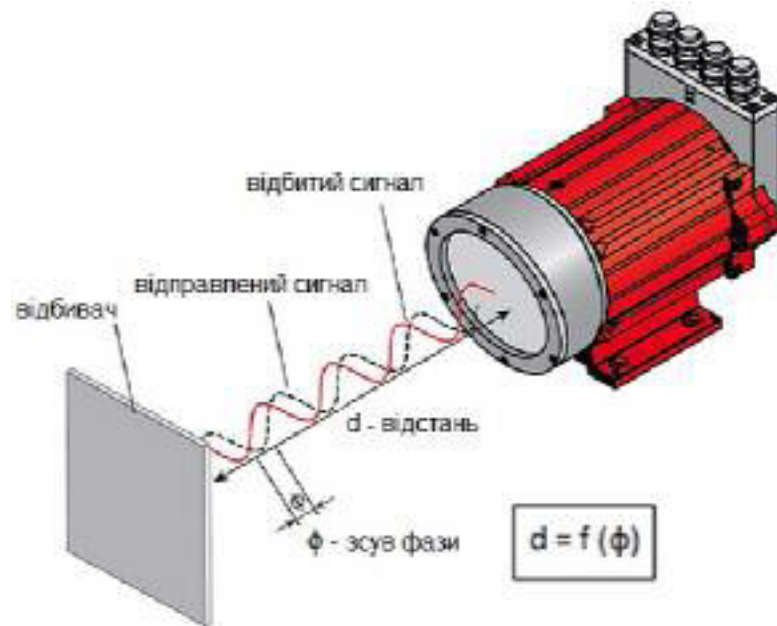


Рис. 10.21.Принцип дії радарного датчика

Датчик проводить періодичне вимірювання відстані, фіксує отримані значення і відповідний кут повороту датчика. Отримана інформація у цифровому вигляді передається на пристрій керування.

На рис 10.22 наведені скануючі датчики фірми SICK LSM151 з робочою зоною 50 м, кутом огляду 270° з роздільною здатністю 0,25° - 0,5 °, частотою сканування 25 -50 Гц і точністю вимірювання ±30 мм, та LD-OEM з робочою зоною 0,5 - 250 м, кутом огляду 360° з роздільною здатністю 0,125° - 1,5 °, частотою сканування 5 -15 Гц і точністю вимірювання ±38 мм.



Рис 10.22. Скануючі датчики фірми SICK LSM151 (а) та LD-OEM (б)

На рис. 10.23 наведений приклад використання таких датчиків для орієнтації у виробничому приміщенні.

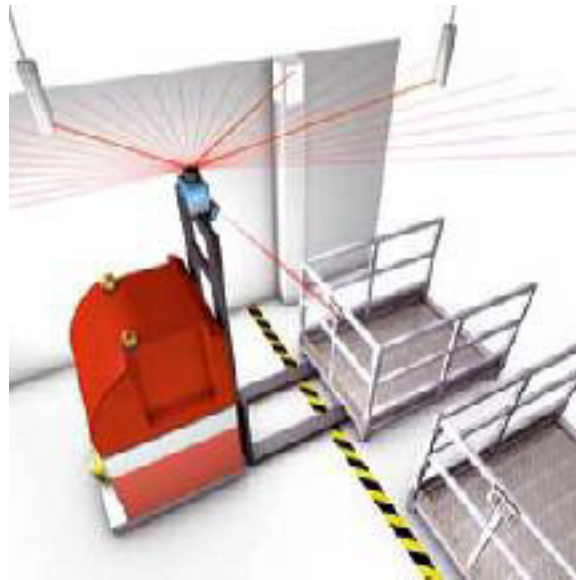


Рис. 10.23. Приклад використання скануючих датчиків для орієнтації у виробничому приміщенні

Сучасні автономні мобільні роботи широко використовують засоби машинного зору для вирішення задач локальної та глобальної навігації, для ідентифікації об'єктів, а також визначення їх параметрів та положення. Основним елементом таких систем є промислові відеокамери, які дозволяють отримати високу якість зображення, так, наприклад, кольорові промислові

відеокамери Baumer серії LXC забезпечують роздільну здатність 20 Мп (5120 x 3840) та швидкість зйомки 32 к/с (рис. 10.24).



Рис. 10.24. Промислові відеокамери

Обробка зображень такої якості потребує досить потужних обчислювальних пристроїв та складних обчислювальних алгоритмів ідентифікації та визначення параметрів об'єктів.

Відеокамери використовують також для вирішення відносно простих задач. На рис. 10.25 наведений приклад використання відеокамери для переміщення по траєкторії (маршрутослідкування).



Рис. 10.25. Використання відеокамери для переміщення по траєкторії

Для розрахунку напрямлення переміщення використовуються вимірювальні смуги D1 – D5. Перевагою такого керування є можливість переміщення з максимальною швидкістю за рахунок передбачення зміни напрямку руху, коли треба зменшувати швидкість.

Відеокамеру можна використовувати для визначення відстані до об'єкту, коли це важко зробити датчиками вимірювання відстані завдяки великій кількості об'єктів.

При цьому система ідентифікації знаходить необхідний об'єкт, після чого визначається відстань до нього. Використання систем стереоскопічного зору дозволяє досить просто вирішити цю задачу, але відрізняється високою вартістю, оскільки потребує використання двох камер та відповідної обробки зображення.

При використанні монокулярного зору (одна відеокамера) можна визначити відстань, наприклад, шляхом визначення зміни розміру об'єкта на зображенні при переміщенні (рис. 10.26).

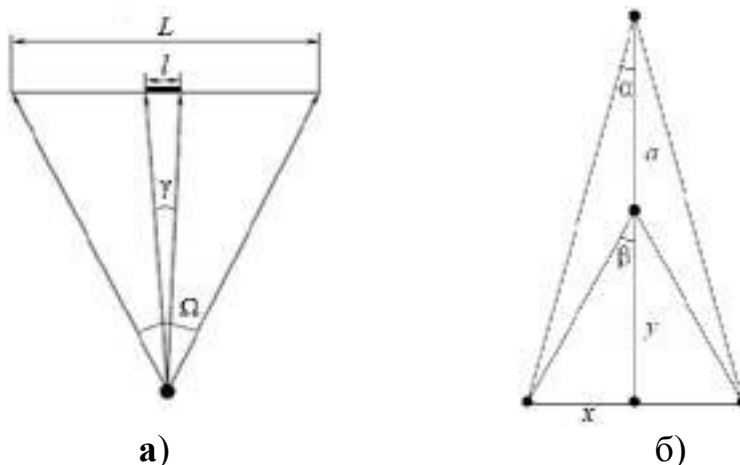


Рис. 10.26. Обчислення кутового розміру об'єкта (а) і графічне відображення системи рівнянь (б)

Відеокамера має два відомих параметра: ширину кадру в пікселях - L , px, і кут огляду камери в градусах - Ω , град. При появі перешкоди робот визначає ширину перешкоди l в пікселях та кутовий розмір перешкоди γ в градусах (рис. 10.26,а), що визначається з співвідношень

$$\frac{\Omega}{L} = \frac{\gamma}{l}, \quad \gamma = \frac{\Omega l}{L}. \quad (10.2)$$

Виконавши це обчислення, робот просувається на певну відстань a і повторює обчислення. Порівнявши отримані дані, можна визначити реальну відстань до перешкоди з наступної системи рівнянь (рис. 10.26, б):

$$\begin{cases} \operatorname{tg}\alpha = \frac{x}{y+a}; \\ \operatorname{tg}\beta = \frac{x}{y}, \end{cases} \quad (10.3)$$

де x — половина ширини перешкоди;

y — відстань до перешкоди;

α — половина кутового розміру перешкоди при першому вимірі;

β — половина кутового розміру перешкоди при другому вимірі;

a — відстань, пройдену роботом між обчисленнями.

Рішення системи рівнянь 10.3 дозволяє знайти відстань до перешкоди y :

$$\begin{aligned} x &= \frac{y \operatorname{tg}\beta}{y+a}, & \operatorname{tg}\alpha(y+a) &= y \operatorname{tg}\beta, \\ y \operatorname{tg}\alpha + a \operatorname{tg}\alpha &= y \operatorname{tg}\beta, & a \operatorname{tg}\alpha &= y \operatorname{tg}\beta - y \operatorname{tg}\alpha, \\ a \operatorname{tg}\alpha &= y(\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\alpha), & y &= \frac{a \operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\alpha}. \end{aligned} \quad (10.4)$$

Використання сучасних засобів машинного зору дає можливість вирішення задач, що необхідні для реалізації інтелектуального керування, оскільки дозволяють візуальних шляхом визначити різні параметри об'єктів та навколишньої середовища.

Контрольні запитання

1. Які датчики дають інформацію про внутрішній стан робота?
2. Як механічне переміщення перетворюється в електричний сигнал у контактних датчиках?
3. Як здійснюють визначення об'єктів індуктивні датчики?
4. Як здійснюють визначення об'єктів оптичні датчики?

5. Які датчики використовуються для вимірювання лінійних та кутових переміщень?
6. У чому полягає принцип дії фотоімпульсних датчиків?
7. Які датчики дають інформацію про зовнішній стан?
8. У чому полягає принцип дії акселерометра?
9. Які датчики використовують для орієнтації та визначення положення у просторі?
10. Які задачі вирішують сучасні системи технічного зору?

Глава 11. Бортові системи керування.

11.1. Локальні системи керування

Сучасні пристрої керування мобільних роботів будуються за допомогою обчислювальних пристроїв, а основою обчислювальних систем та систем комп'ютерного керування різного рівня є мікропроцесорні пристрої.

З погляду функціональних можливостей розрізняють мікропроцесорні комплекти та однокристальні мікроконтролери.

Мікропроцесорні пристрої випускаються у вигляді мікропроцесорних комплектів, що включають набір мікросхем, які у сукупності являють собою обчислювальний пристрій, або у вигляді однієї мікросхеми, яка виконує усі функції обчислювального пристрою.

Мікропроцесорні комплекти призначені для використання у складних обчислювальних системах. При бажанні така обчислювальна система може бути розширена шляхом підключення стандартних зовнішніх пристроїв для організації більш зручного зв'язку з програмістом, документування або збереження інформації. За таким принципом будуються системи керування, що сумісні з персональними комп'ютерами і призначені для вирішення складних задач.

Однокристальні мікроконтролери являють собою прилади конструктивно виконані у вигляді інтегральних схем і мають всі складові частини, що включають у себе обчислювальний пристрій: процесор, пам'ять програм і пам'ять даних, а також порти вводу-виводу для зв'язку з зовнішнім середовищем, а також периферійні пристрої, такі як, наприклад, лічильники, таймери, аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі, компаратори, широтно-імпульсні модулятори, послідовні інтерфейси вводу-виводу. На їх основі будуються умонтовані та локальні системи керування.

Розглянемо приклади локальних систем керування, що використовуються для мобільних роботів.

Найпростіші пристрої керування створюють на основі універсальних однокристальних мікроконтролерів.

Одним з найбільш поширених є мікроконтролер фірми Intel 8051 (сімейство MCS-51), який був розроблений ще у 1980 році. Вдала архітектура цього мікроконтролера, стала причиною того, що на сьогоднішній день існує більше 200 модифікацій мікроконтролерів, сумісних з i8051, які випускаються декількома десятками компаній.

MCS-51 є мікроконтролерами гарвардської архітектури (для зберігання програми та даних використовуються дві незалежні підсистеми пам'яті) , що виконані по n-МОН або КМОН технології. Містять у собі 8-бітний мікропроцесор i8051 з підтримкою булевих операцій над окремими бітами, до 4096 байт вбудованої пам'яті програм (доступної тільки для читання), до 256 байт вбудованої пам'яті даних (доступної для читання і запису), підтримка адресного простору у 64 Кб для пам'яті програм і 64 Кб для пам'яті даних, два-три 16-бітні таймери/лічильники, двосторонній універсальний асинхронний приймач/передавач, 32 лінії двосторонніх портів введення-виведення, генератор тактової частоти.

На рис. 11.1 наведений одноплатний контролер Phytex на основі i8051.

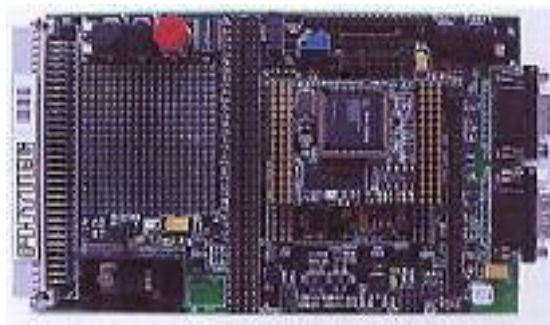


Рис. 11.1. Одноплатний контролер Phytex

Широкий асортимент мікроконтролерів з набором команд i8051 випускає фірма Atmel, наприклад, пристрої сімейства AT89LP. Для користувачів пристроїв сімейства AT89LP компанія Atmel надає безкоштовну середу IDE AT89LP Developer Studio. Вона містить все, що потрібно для розробки,

компіляції та налагодження коду, і дозволяє завантажувати створений код безпосередньо у вбудовану флеш-пам'ять мікроконтролера AT89LP.

Для створення програм таких контролерів часто використовують мови програмування Асемблер та C++.

Основною особливістю Асемблера є повна відповідність його команд машинним командам мікроконтролера (кожній команді Асемблера відповідає двійковий код команди контролера). Оскільки різні мікроконтролери мають різний набір команд, для них існують різні версії мови Асемблер.

Розглянемо приклад простої програми маршрутослідкування на Асемблері для i8051. На рис. 11.2 наведений візок, який здійснює маршрутослідкування за допомогою двох оптичних датчиків.



Рис. 11.2. Візок з маршрутослідкуванням за допомогою двох оптичних датчиків

Візок має два приводи – правий та лівий та два оптичних датчика – справа та зліва від смуги вказівника маршруту. У вихідному положенні оптичні датчики знаходяться справа та зліва від смуги вказівника маршруту (датчики не спрацьовують) і включені обидва двигуна (візок переміщується прямо). Якщо на смугу попадає лівий датчик, то він спрацьовує, після чого здійснюється поворот вправо (зупиняється лівий двигун), а якщо на смугу попадає правий датчик, то здійснюється поворот вліво (зупиняється правий двигун). Зупинка візка здійснюється за допомогою кнопки "СТОП".

Датчики та приводи підключені до ОМК таким чином:

P2. 0 – кнопка "СТОП"

P2. 1 – правий датчик

P2. 2 – лівий датчик

P1. 1 – правий двигун

P1. 2 – лівий двигун

У цьому разі програма маршрутослідкування має вигляд:

	SETB P1.1	;P2.1=1, включити правий двигун
	SETB P1.2	;P2.1=1, включити лівий двигун
L1:	JNB P2. 1,L2	;якщо не спрацював правий датчик ;P2.1=0, перехід на L2
	SETB P1.2	;якщо спрацював правий датчик ;P2.1=1, здійснити поворот вправо ;а саме включити лівий двигун
	CLR P1.1	;та виключити правий двигун
L2:	JNB P2. 2,L2	;якщо не спрацював лівий датчик ;P2.2=0, перехід на L3
	SETB P1.1	;якщо спрацював лівий датчик ;P2.1=1, здійснити поворот вліво, ;а саме включити правий двигун
	CLR P1.2	;та виключити лівий двигун
L3:	SETB P1.1	; якщо не спрацював жодний датчик, ;здійснити рух прямо, а саме ;включити правий двигун
	SETB P1.2	;та включити лівий двигун
L3:	JNB P2. 0,L1	;якщо не натиснута кнопка "СТОП" ;повернення на L1 (продовження руху)
	CLR P1.1	;якщо натиснута кнопка "СТОП" ;то зупинити рух, а саме ; виключити правий двигун
	CLR P1.2	;та виключити лівий двигун

Після трансляції ця програма перетворюється у послідовність відповідних машинних команд у двійкових кодах, що може бути безпосередньо завантажена у контролер.

Язык програмування C++ є мовою більш високого рівня. Він дозволяє складати програми з урахуванням ресурсів мікроконтролера, але є універсальним.

Прикладом використання C++ для програмування мобільних роботів є апаратна обчислювальна платформа для аматорського конструювання **Arduino**. Плата контролера Arduino складається з мікроконтролера Atmel AVR, а також додаткових елементів для програмування та інтеграції з іншими пристроями.

Плати програмуються через USB за допомогою персонального комп'ютера. Плати Arduino мають значну кількість I/O виводів для підключення зовнішніх пристроїв. Наприклад, у плат Micro та Leonardo (рис. 11.3) є 20 цифрових входів/виходів, 7 із яких можуть видавати ШІМ сигнал, і 12 аналогових входів.

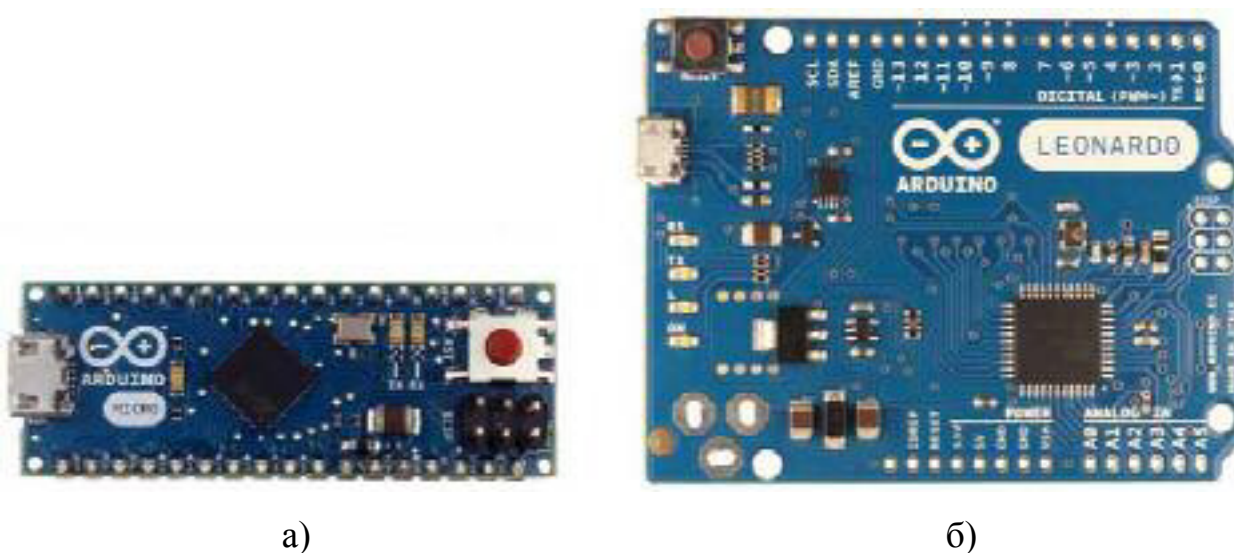


Рис. 11.3. Плати Arduino Micro (а) та Leonardo (б)

Ардуіно і Ардуіно-сумісні плати спроектовані таким чином, щоб їх можна було при необхідності розширювати, додаючи в пристрій нові компоненти. Ці плати розширень підключаються до Ардуіно за допомогою встановлених на них штирових з'єднувачів. Існує ряд уніфікованих плат, що допускає конструктивно жорстке з'єднання процесорної плати та плат розширення в стопку через штирові лінійки. Крім того, випускаються плати зі

зменшеними (наприклад, Nano, Lilypad) і спеціальними (для задач робототехніки) конструктивними розмірами.

Сторонніми виробниками випускається велика гамма різних датчиків і виконавчих пристроїв сумісних між собою та з процесорними платами Ардуіно.

Програми для контролерів Arduino в основному пишуться на мові програмування C або C++. Середовище розробки Arduino поставляється разом із бібліотекою програм, яка містить багато стандартних операцій і значно спрощує процес програмування.

Базова структура програми для Arduino досить проста і полягає, щонайменше, з двох частин. У цих двох обов'язкових частинах, або функціях, виконується укладений код.

```
void setup()
{
  statements;
}

void loop()
{
  statements;
}
```

Де setup () - це підготовка, а loop () - виконання.

Обидві функції потрібні для роботи програми.

Перед функцією setup - на самому початку програми, зазвичай, йде оголошення всіх змінних. setup - це перша функція, що виконується програмою, і виконується тільки один раз, тому вона використовується для встановлення режиму роботи портів (pinMode ()) або ініціалізації послідовного з'єднання.

Наступна функція loop містить код, який виконується постійно - читаються входи, переключаються виходи тощо. Ця функція - ядро всіх програм Arduino і виконує алгоритм, що визначає послідовність дій робота.

```
// Приклад програми на мові C
// Вимірювання вбудованим світлодіодом Arduino
void setup() {
  pinMode(13, OUTPUT); // Ініціалізація виходу 13
}
```

```

void loop() {
    digitalWrite(13, HIGH); // Включити світлодіод
    delay(1000);           // Затримка 1 секунда (1000
мілісекунд)
    digitalWrite(13, LOW); // Виключити світлодіод
    delay(1000);           // Затримка 1 секунда
}

```

Для програмування та налагодження програми є середовище розробки Arduino, яка значно спрощує процес програмування.

Програмна середа LabVIEW

Універсальним засобом програмування робототехнічних пристроїв є програмна середа LabVIEW, яка здійснює програмування у графічному вигляді та має вмонтовані засоби для програмування робототехнічних пристроїв.

Всі дії програмування зводяться до простої побудови структурної схеми в інтерактивній графічній системі з набором усіх необхідних бібліотечних образів, з яких збираються об'єкти, звані Віртуальними Інструментами (VI), завдяки чому LabVIEW став одним з найпопулярніших у світі програмних продуктів для систем збору даних, їх аналізу, обробки і візуалізації.

Кожна програма складається з фронтальної панелі та блок-діаграми (рис. 11.4).

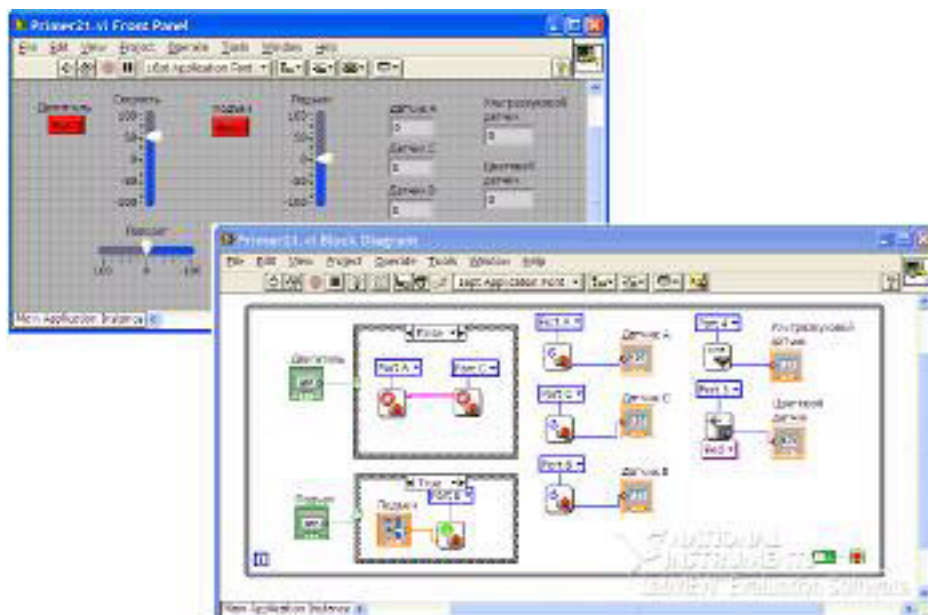


Рис. 11.4. Фронтальна панель (зліва) та блок-діаграма (справа)

Фронтальна панель - це місце, де створюється інтерфейс користувача, на ній можна встановити елементи введення і відображення даних. Фронтальна панель дозволяє забезпечити інтерактивну роботу проектованого пристрою, тобто дає можливість задавати потрібні параметри за допомогою елементів введення даних і управління, а також відображати необхідну інформацію, як в числовому, так і в графічному поданні безпосередньо на екрані комп'ютера. Фронтальна панель створюється за допомогою палітри елементів (Controls) (рис.11.5).

Ці елементи можуть бути засобами введення даних (елементи управління) або засобами відображення даних (елементами відображення). До елементів управління відносяться кнопки, перемикачі, повзунки та інші елементи введення. До елементів відображення відносяться індикатори, графіки, цифрові табло, світлодіоди і т.д.

Елементи, що створюються на фронтальній панелі, відразу відображаються на блок-діаграмі і є елементами програми. Вони не можуть бути вилучені на блок-діаграмі.

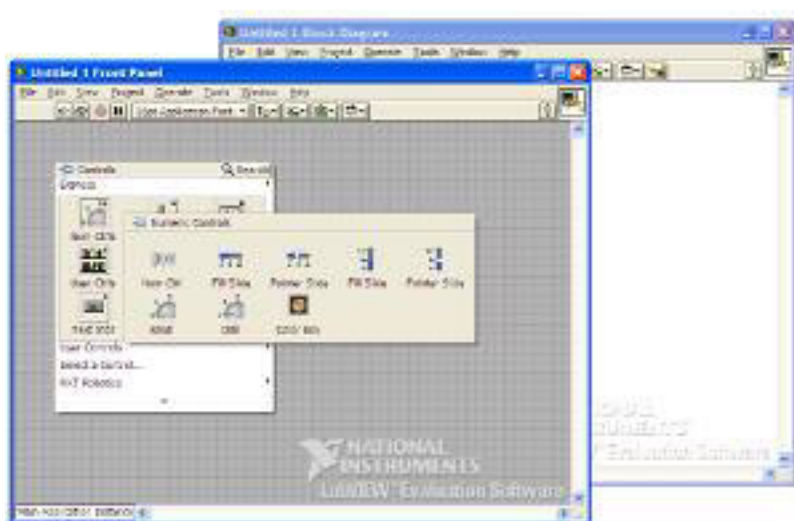


Рис. 11.5. Палітра елементів фронтальної панелі

Блок-діаграма - це місце, де створюється програма у вигляді графічного представлення функцій. Блок-діаграма складається з блоків, які реалізують окремі функції, що виконуються програмою. Для вибору блоків використовується палітра функцій (Functions) (рис. 11.6), на якій можна вибрати піктограми різних елементів програми, зокрема, структур програмування, арифметичних і логічних операцій і т.д. Властивості елементів блок-діаграми встановлюються аналогічно властивостям елементів фронтальної панелі.

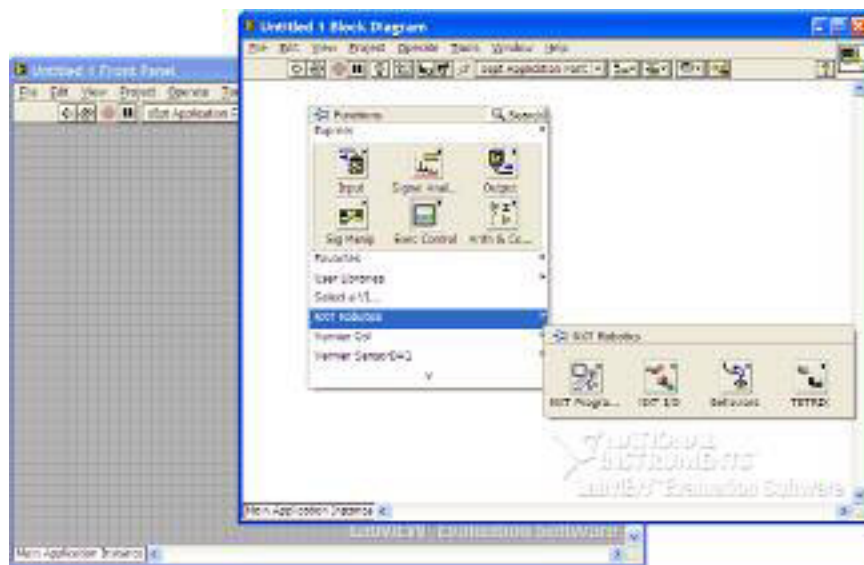


Рис. 11.6. Палітра функцій блок-діаграми

Для програмування роботів є бібліотеки, що містять функції для датчиків, виконавчих пристроїв та інших засобів, що використовуються у роботах (рис. 11.7), а також програмний пакет LabVIEW Robotics Module, що дозволяє створювати програми з урахуванням можливостей функцій навігації, а саме, створення карт та пошуку шляху переміщення.

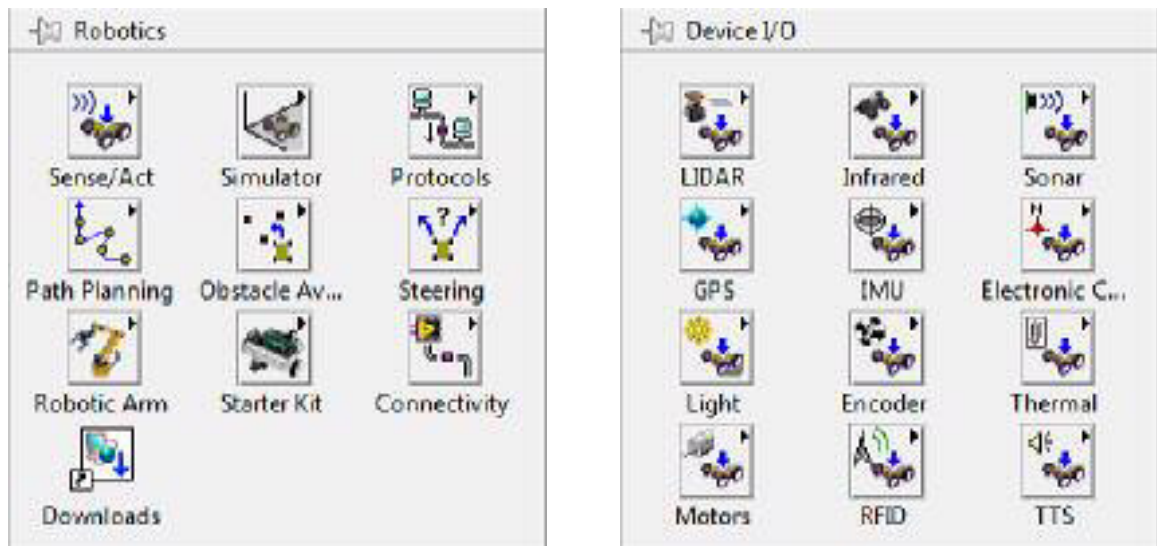


Рис. 11.7. Палітри з функціями, що використовуються у роботах

За допомогою пакету LabVIEW Robotics Simulator можна створити програмну модель робота та перевірити його функціонування (рис. 11.8).

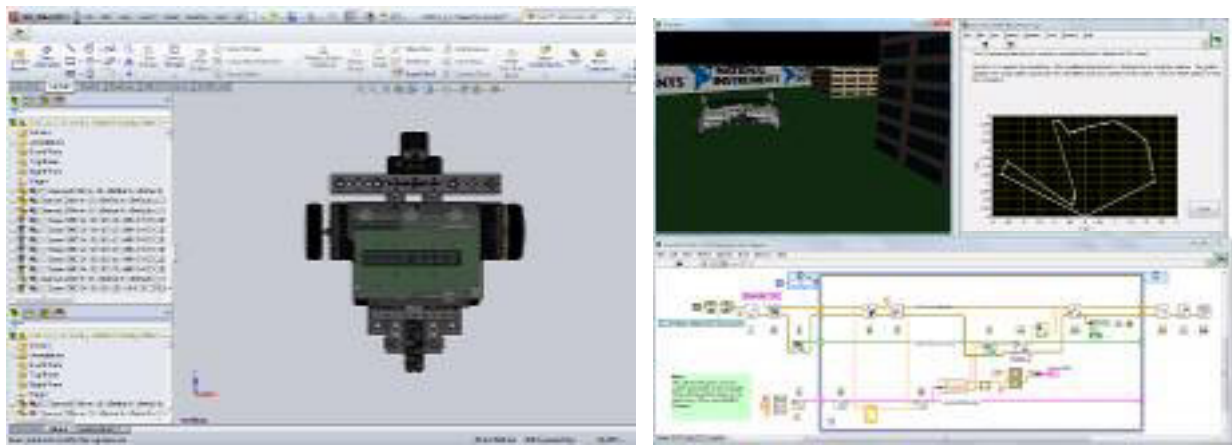


Рис. 11.8. Перевірка функціонування робота за допомогою пакету LabVIEW Robotics Simulator

Програми LabVIEW можуть виконуватися в двох режимах: прямому і віддаленому. У прямому режимі блок NXT підключений до комп'ютера через USB або Bluetooth, і програма виконується на комп'ютері. Таким чином, система керування робота використовується як периферійний пристрій.

У віддаленому режимі програма, створена на комп'ютері, після компіляції завантажується в систему керування робота та виконується з нього в будь-який

час в автономному режимі. При цьому вже немає необхідності в підключенні системи керування робота до комп'ютера.

Для приклада розглянемо, як можна створити програму переміщення по контуру для мобільного робота на основі конструктора MINDSTORMS. В LabVIEW є набір функцій для цього конструктора.

Мобільний робот використовує кольоровий датчик (підключається до вхідного порту 3), який може здійснювати вимірювання освітленості, та два сервопривода (двигуни з керуванням швидкості), що підключаються до вихідних портів А та С. У цьому випадку вихідним параметром буде інтенсивність освітлення, що дозволяє використати пропорційне регулювання.

Визначимо крайні значення рівнів освітлення для білого та чорного кольорів, відповідно, $L_{\text{макс}}$ та $L_{\text{мін}}$. Значення порогу, що визначає кордон між білим і чорним, прийнемо рівним середньому арифметичному від цих значень, тобто $L_c = (L_{\text{макс}} + L_{\text{мін}}) / 2$. Позначимо потужність двигуна А M_A , а потужність двигуна С M_C . Поточне значення світлового датчика позначимо L . Керування будемо здійснювати за формулою:

$$\begin{aligned} M_A &= M_H - k * (L_c - L); \\ M_C &= M_H + k * (L_c - L), \end{aligned} \tag{11.1}$$

де k – коефіцієнт пропорційності.

Якщо значення інтенсивності освітленості дорівнює L_c , то множники в дужках рівні, і двигуни А і С здійснюють рух в одному напрямку з однаковою швидкістю (потужність M_H). Якщо інтенсивність освітленості менше L_c , то відповідно зменшується швидкість (потужність) двигуна А і збільшується швидкість двигуна С, а якщо інтенсивність освітленості більше L_c , то навпаки. Таким чином радіус повороту буде залежати від ступеня відхилення від середнього значення освітленості і переміщення буде більш плавним.

На рис. 11.9 наведена програма, яка здійснює алгоритм керування за формулою 11.1, де використовуються такі значення параметрів: $L_{\max} = 50$, $L_{\min} = 30$, $L_c = 40$, $k = 2$.



Рис. 11.9. Програма, яка здійснює алгоритм пропорційного керування при переміщенні по контуру

Наявність різноманітних елементів дає можливість створювати досить складні програми керування з різними способами програмного керування, а елементи для роботи з датчиками зовнішньої інформації дозволяють реалізувати адаптивне керування.

Програмна середа LabVIEW використовувалась для створення програмного забезпечення марсохода Sojourner.

Microsoft Robotics Developer Studio

Корпорація Microsoft випустила версію програмного забезпечення, призначеного для створення програмної начинки роботів і різних роботизованих механізмів - Microsoft Robotics Developer Studio. Цей програмний продукт поширюється в трьох варіантах: Standart Edition для професійних розробників, Academic Edition для навчальних закладів та Express Edition для індивідуальних розробників. Версію Express Edition можна безкоштовно завантажити з сайту Microsoft.

Microsoft Robotics Studio - це система, спеціально створена для розробки програмного забезпечення для роботів, причому, в основному, для «конструкторів» роботів (заготовок з модулів, які можна перепрограмувати в залежності від завдання, яке треба вирішити) та підтримує такі моделі роботів Voe-Bot, CoroBot, iRobot, Mindstorms NXT, Pioneer 3Dx, KUKA LBR3 та інші (рис. 11.10).



Рис. 11.10. Роботи, які підтримує Microsoft Robotics Studio

Microsoft RDS включає в себе спеціальну програмну модель для створення програм керування, а також набір візуальних та сімюляційних інструментів, які можуть знадобитись при складанні програмного забезпечення для роботів.

Компоненти Robotics Studio інтегруються в середу розробки Visual Studio, який має два основних модуля. Це модулі - Visual Programming Language (VPL, візуальний язык програмування) та Visual Simulation Environment (VSE, сімюляційна середа).

Язык VPL забезпечує можливість програмування роботів візуальними методами. Діаграми VPL кодуються за допомогою XML-схем і дають можливість створення повністю візуального языка програмування (рис. 11.11).

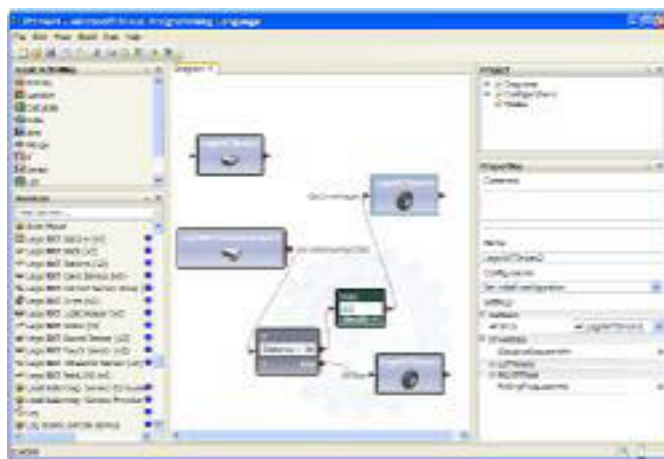


Рис. 11.11. Приклад програми, створеної за допомогою візуального язика програмування VPL

Ця програма задає як блок підключення контролер NXT, опитує ультразвуковий датчик, і, якщо відстань до об'єкту перевищує 20 см, включає двигуни переміщення на 0,5 від максимальної потужності. У протилежному випадку (відстань до об'єкту менш ніж 20 см) двигуни зупиняються.

Другий важливий модуль Robotics Studio - симуляційне середовище VSE. VSE є графічною 3D-моделлю, що відображає дії роботів, і об'єкти, які оточують ці роботи (рис. 11.12).

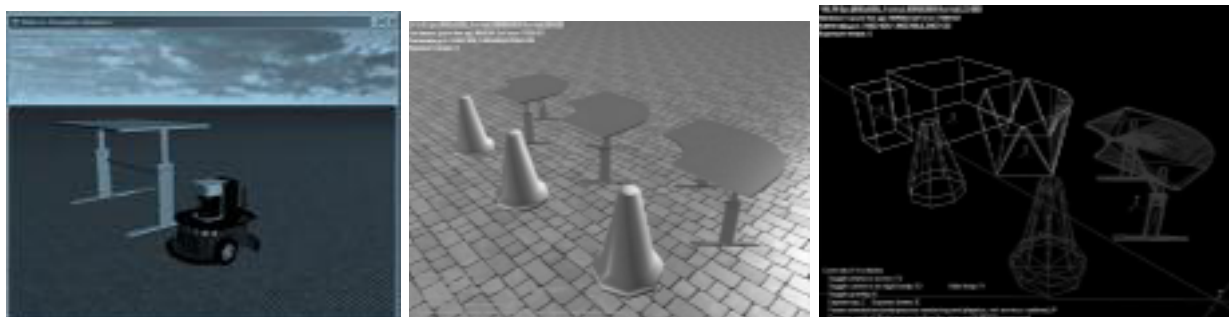


Рис. 11.12. Створення моделі робота та зовнішньої середи

VSE включає можливість запису та повторного відтворення симуляції. Крім того, проєктанти можуть виконувати симуляції у різних віртуальних умовах - в умовах закритого приміщення або відкритого простору. Крім того, VSE має можливість експорту з різних CAD-програм, наприклад, SolidWorks 3D.

Robotics Studio також дає можливість створювати досить складні програми керування з різними способами програмного керування, а наявність блоків для роботи з датчиками зовнішньої інформації, наприклад, блока для роботи з WEB-камерою, дозволяють реалізувати адаптивне керування на основі обробки зображення.

Останнім часом для програмування мобільних роботів все частіше використовується операційна система для роботів ROS (Robot Operating System).

ROS має у своєму складі бібліотеки та інструменти для вирішення різних завдань робототехніки, а саме, драйвери для різних приладів, засоби візуалізації, а також пакети для навігації планування, комп'ютерного моделювання тощо.

ROS підтримує такі робототехнічні системи, як PR2, TurtleBot, PR1, HERB, STAIR I та II, Nao: Nao, Husky A200, iRobot Create, Lego Mindstorms NXT.

11.2. Комплексні системи керування

Сучасні системи програмного керування робототехнічних комплексів, що складаються з певної кількості мобільних роботів та іншого технологічного обладнання частіше усього будуються на основі комплексних систем автоматизації, що будуються на основі програмованих логічних контролерів широкого призначення. Такі системи керування включають, як правило, системи автоматизації для вирішення питань керування різного рівня та побудовані по модульному принципі. До складу таких систем входять програмовані логічні контролери різних рівнів складності, пристрої керування та відображення, промислові обчислювальні мережі, за допомогою яких усі компоненти об'єднуються у єдину систему, периферійні пристрої, які працюють під керуванням контролерів і дають можливість створювати розподілені системи керування (рис. 11.13). Крім цього потребуються засоби

проектування, в якості яких використовуються персональні комп'ютери, та відповідне програмне забезпечення.

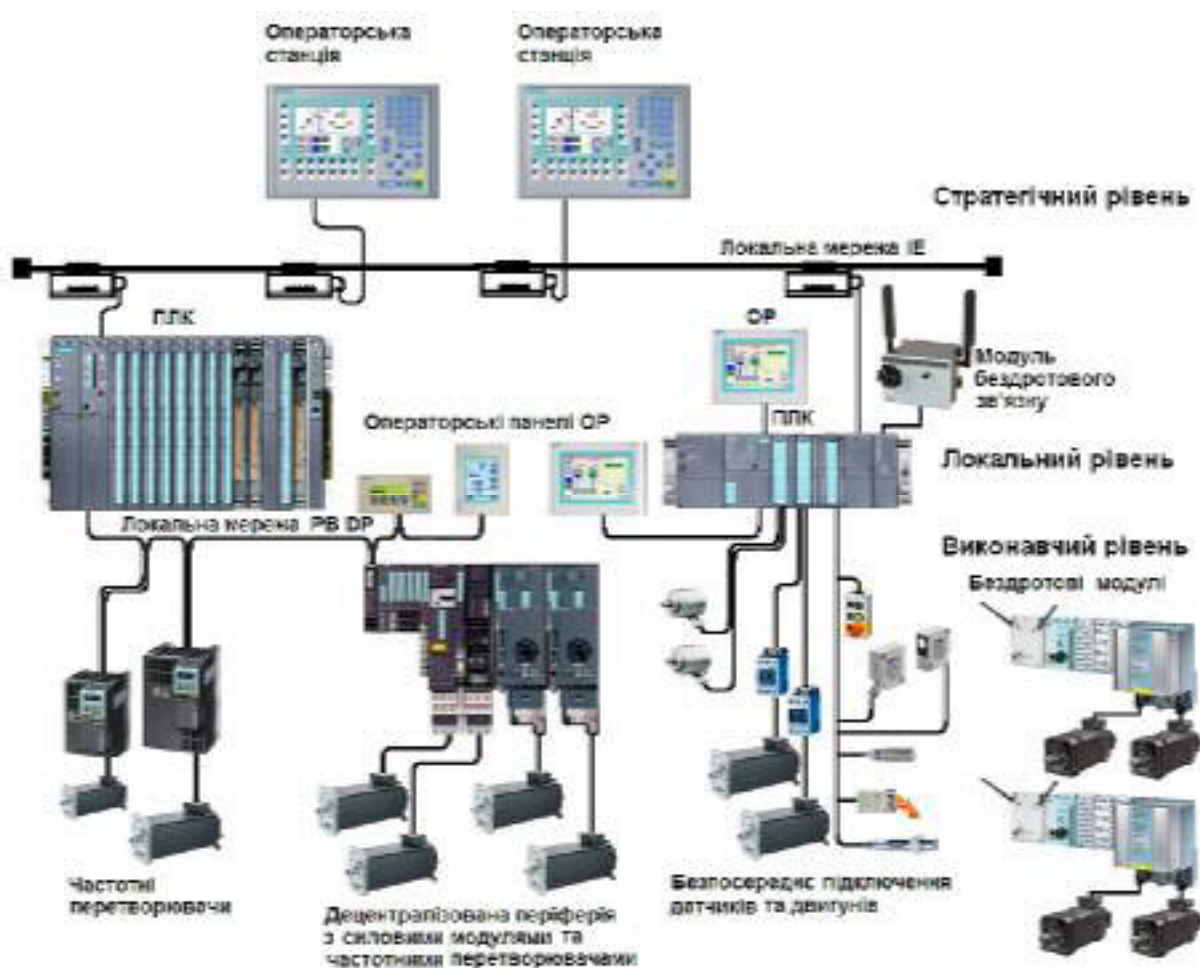


Рис. 11.13. Комплексна система автоматизації

Програмовані контролери поділяються на системи керування низького, середнього та високого рівня. Системи керування низького рівня вирішують прості задачі керування. Кількість вхідних та вихідних сигналів у таких систем не перевищує двох – трьох сотень. Системи керування середнього рівня вирішують більш складні задачі керування. Кількість вхідних та вихідних сигналів у таких систем не перевищує одну – дві тисячі. Системи керування високого рівня вирішують найбільш складні задачі керування. Кількість вхідних та вихідних сигналів у таких систем може досягати десятки тисяч.

Системи керування низького рівня будуються як компактні контролери та мають вигляд окремого пристрою, який включає процесор та умонтовані входи

та виходи. Вони здатні самостійно вирішувати прості задачі керування. Невеликі розміри, вага, живлення від джерел постійного струму та наявність умонтованих функцій керування рухом і засобів бездротового зв'язку дають можливість використовувати такі контролери у складі мобільних роботів.

До таких систем керування можна віднести, наприклад, контролери фірми Сименс **SIMATIC S7-1200** (рис. 11.14).

Процесорні модулі SIMATIC S7-1200 мають вмонтовані входи та виходи, кількість яких залежить від типу процесорного модуля, і таким чином являють собою компактні ПЛК. До системи команд входять функції, які можна віднести до функцій керування рухом, а саме, швидкі лічильники, позиціонування, формування імпульсних сигналів для керування двигунами постійного струму (сигнали з широтно-імпульсною модуляцією) та керування кроковими двигунами (послідовність імпульсів).



Рис. 11.14. ПЛК SIMATIC S7-1200

У разі потреби до процесорних модулів підключаються допоміжні модулі, а саме, модулі дискретних та аналогових входів та виходів, а також комунікаційні процесори, до складу яких входить комунікаційний процесор CP 1242-7, призначений для підключення SIMATIC S7-1200 до мобільних радіомереж GSM/GPRS. Це дає можливість здійснити глобальний бездротовий

обмін даними між контролерами S7-1200, а також між контролерами S7-1200 та центрами управління шляхом підключення через Інтернет.

Для програмування контролерів SIMATIC S7-1200 використовуються програмне забезпечення **STEP 7 Basic** (рис 11.15), що представляє собою систему проектування пристроїв автоматизації на основі програмованих контролерів SIMATIC S7-1200. Вони включають різні пакети програмування ПЛК, а також пакети які дозволяють виконувати проектування базових панелей операторів SIMATIC, які призначені для S7-1200.

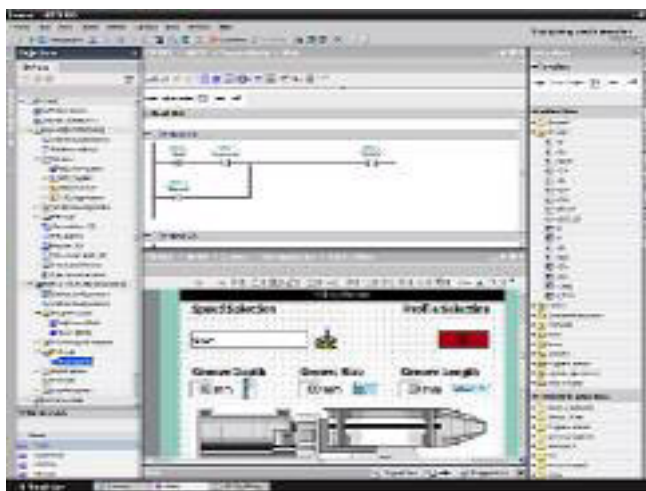


Рис 11.15. **STEP 7 Basic** для SIMATIC S7-1200

Це програмне забезпечення здійснює підтримку усіх стадій розробки проекту автоматизації, а саме:

- Визначення конфігурації та налагодження параметрів апаратури.
- Визначення конфігурації систем промислового зв'язку.
- Програмування на языках контактних схем (LAD - Ladder Diagram) та функціональних схем (FBD - Function Block Diagram), перевагою яких є можливість графічного представлення алгоритму керування та наочного контролю стану усіх змінних під час налагодження програми.
- Визначення конфігурації базових панелей операторів SIMATIC.

- Тестування, виконання пусконаладжувальних робіт і обслуговування.

Структура процесорних модулів відрізняється від структури персональних комп'ютерів. Вони потребують значно менші обсяги пам'яті, тому програма зберігається не у зовнішніх носіях, а у постійній пам'яті (як правило це пам'ять з електричним перезаписом – FLASH пам'ять). Та частина програми, яка виконується, та дані зберігаються у оперативній пам'яті. Ця пам'ять теж значно менша, ніж у персональних комп'ютерів. Пристрої введення-виведення призначені для підключення додаткових модулів за допомогою системної магістралі, та зовнішніх пристроїв за допомогою локальних мереж, наприклад, програмуючого пристрою, або іншого контролера.

Компактні процесорні модулі мають вмонтовані входи та виходи для підключення дискретних та аналогових сигналів, а також можуть виконувати додаткові технологічні функції, наприклад, формування сигналів з широтно-імпульсною модуляцією, обслуговування сигналів переривання, функції швидкодіючих лічильників, вимірювання частоти, функції позиціонування та регулювання тощо.

Сигнальні модулі поділяються на дискретні та аналогові модулі вхідних та вихідних сигналів. Функціональні модулі відрізняються як функціями (лічильні функції, функції позиціонування і регулювання) так і кількістю каналів. Лічильні модулі призначені для підрахунку імпульсів фотоімпульсних датчиків і вимірюють позицію або швидкість переміщення і можуть використовуватись для простих систем позиціонування роботів. Модулі позиціонування призначені для створення систем позиціонування з різними виконавчими пристроями та датчиками зворотного зв'язку для позиціонування з однією або багатьма (до 4) осями. Такі модулі можуть виконувати функції позиційного та контурного керування роботом з використанням різних методів лінійної та колової інтерполяції.

Комунікаційні процесори здійснюють зв'язок системи керування з іншими пристроями по різних каналах зв'язку, наприклад, точка до точки, PROFIBUS, PROFINET, Industrial Ethernet та засоби бездротового зв'язку, що використовуються у випадках неможливості використовувати локальні мережі з дротовим зв'язком, як, наприклад, у мобільних роботів.

Наявність широкого спектра систем візуалізації та обслуговування, зокрема операторських панелей ОП, забезпечує ефективну взаємодію систем керування та оператора, а відкриті засоби комунікації дозволяють об'єднати локальні системи керування окремими компонентами робототехнічного комплексу на основі мобільних роботів в єдину гнучку комплексну систему керування виробництвом.

Контрольні запитання

1. Чим відрізняються однокристальні мікроконтролери?
2. Які параметри мають мікроконтролери Intel 8051?
3. В чому полягає основа особливості язику програмування Асемблер?
4. Які засоби для підключення зовнішніх пристроїв мають контролери Arduino?
5. Який язык програмування використовуються для контролерів Arduino?
6. Які задачі можна вирішити за допомогою програмної середи LabVIEW?
7. Які задачі можна вирішити за допомогою програмного забезпечення Microsoft Robotics Developer Studio?
8. Які задачі можна вирішити за допомогою комплексних систем автоматизації?
9. Які функції мають контролери SIMATIC S7-1200, що дозволяє використовувати їх у мобільних роботах?
10. Які переваги мають язики програмування контролерів SIMATIC S7-1200?

Глава 12. Системи позиціонування

12.1. Призначення та види систем позиціонування

Системи позиціонування призначені для встановлення самого мобільного робота та його рухомих компонент (робочих органів), до яких належать захоплюючі пристрої, пристрої переміщення вантажу, технологічне обладнання тощо, у визначене положення. При цьому треба ураховувати, які засоби здійснюють переміщення робота та робочих органів. Ці засоби можуть бути поділені на відокремлені засоби переміщення візка та робочих органів, наприклад, при використанні мобільних роботів з маніпуляторами. У деяких випадках позиціонування робочого органа по окремим осям може здійснюватися шляхом переміщення візка (для колісних та гусеничних роботів). У крокових роботів позиціонування робота та робочих органів може здійснюватися за рахунок усіх рухомих ланок робота.

Оскільки крокові роботи ще не знайшли широкого використання для вирішення промислових завдань, а гусеничні роботи використовують у місцях з складним рельєфом, далі зупинимось на колісних мобільних роботах.

Для позиціонування візка робота використовують засоби персональної, локальної та глобальної навігації, які здатні здійснити переміщення робота по встановленій траєкторії та його орієнтування відносно зовнішніх об'єктів. При цьому використовуються одометричні датчики та датчики орієнтування для визначення траєкторії переміщення, датчики відстані до об'єктів, датчики визначення положення за допомогою зовнішніх сигналів (радіомаяки, GPS).

Позиціонування робочого органа може здійснюватися незалежно від позиціонування візка, наприклад, коли він встановлений на маніпуляторі з достатньою кількістю ступенів рухомості. У цьому випадку позиціонування здійснюється як у стаціонарних роботів.

У автономного мобільного робота важливим питанням є збереження електроенергії, яка отримується з пристрою автономного живлення, наприклад, з акумуляторів. Тому для зменшення кількості приводів позиціонування

робочого органа можна використовувати переміщення самого візка, а маніпулятору залишаються тільки ті переміщення, які не здатний зробити візок. Наприклад, візок здійснює переміщення робочого органа у горизонтальній площині, а переміщення у вертикальній площині робить маніпулятор. Це дає можливість скоротити кількість приводів, що приводить до зменшення витрат електроенергії та спрощує алгоритм керування роботом.

Такий підхід використовується для транспортних мобільних роботів з виловним захоплюючим пристроєм, де встановлення та зняття вантажу здійснюється шляхом вертикального переміщення виловного захоплюючого пристрою та горизонтального переміщення візка.

12.2. Реалізація систем позиціонування

Позиціонування візків роботів.

Розглянемо використання засобів одометрії на прикладі мобільного робота у вигляді автоматичного виловного навантажувача, що здійснює переміщення вантажу на складі, зображеному на рис. 12.1.

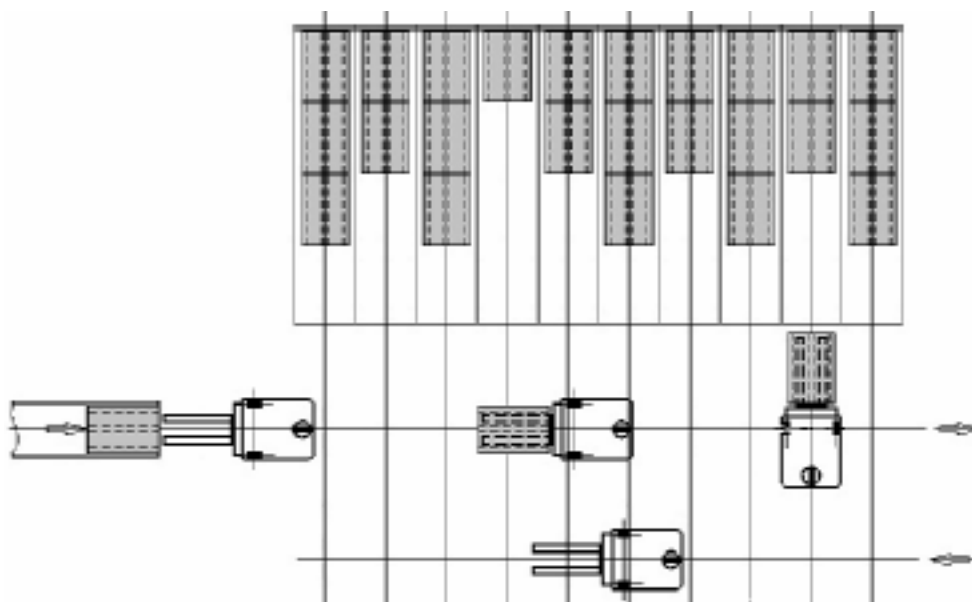


Рис. 12.1. Переміщення вантажу на складі

Вантаж, встановлений на палетах, подається за допомогою конвеєра. Автоматичні виловні навантажувачі переміщують вантаж вздовж стелажу

гравітаційного складу та встановлюють його у відповідну комірку. При використанні декількох навантажувачів для запобігання зіткнення встановлені різні шляхи переміщення у різні сторони.

На рис. 12.2 наведений один з можливих шляхів переміщення навантажувача. Цей шлях складається з переміщення по прямій лінії, розворотів на місці та переміщення по дузі кола.

Для математичного моделювання траєкторії переміщення робототехнічних пристроїв найчастіше використовуються лінійна та колова інтерполяції, будемо використовувати математичну модель переміщення мобільних роботів по прямій лінії та по дузі кола з урахуванням можливості визначення параметрів для програмного керування на основі засобів одометрії для найбільш поширених типів мобільних роботів, а саме, триколісного робота (трициклу) та робота з диференціальним приводом, що була розглянута у розділі 6 (Персональна та локальна навігація мобільних роботів).

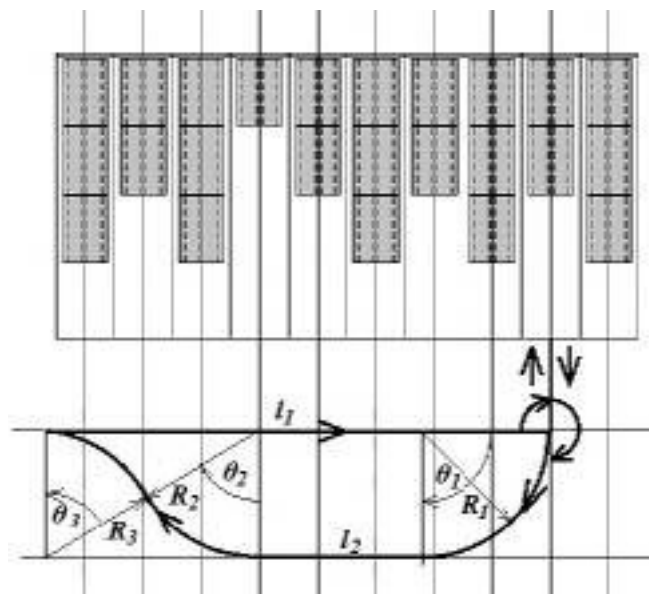


Рис. 12.2. Можливий шлях переміщення навантажувача

Переміщення триколісного робота та робота з диференціальним приводом при використанні одометричного датчика визначається формулами (6.1 – 6.9).

Переміщення по прямій здійснюється, коли колеса переміщуються з одноковою швидкістю, тому відстань, що пройде робот за час Δt при швидкості переміщення V , визначається залежністю

$$l_V = V\Delta t. \quad (12.1)$$

Позиційне керування траєкторії переміщення робота по дузі кола можна здійснити шляхом використання приводів, що здійснюють регулювання швидкості та шляху переміщення на основі одометричного датчика. Параметри для такого переміщення можна визначити наступним чином.

Для триколісного робота параметри для програмування переміщення по дузі з радіусом R та кутом повороту робота $\Delta\theta$ визначаються шляхом встановлення кута повороту ведучого колеса s та переміщення ведучого колеса l , за допомогою формул (6.3);

Для робота з диференціальним приводом переміщення по дузі з радіусом R на кут повороту робота $\Delta\theta$ ці параметри, а також швидкість переміщення робота V , швидкості переміщення коліс V_R та V_L пов'язані залежностями (6.6 – 6.7). Шлях, який пройде ліве та праве колесо при переміщенні робота по дузі з радіусом R та кутом повороту робота $\Delta\theta$ визначається формулами (6.8 – 6.9).

Виходячи з наведених рівнянь для триколісного робота та для робота з диференціальним приводом можна показати, точність переміщення має приблизно ті значення, що і точність встановлення величин, які визначають параметри переміщення. Так, наприклад, якщо для триколісного робота величини l та s задаються з помилкою 1% (максимальна сумарна помилка 2%), то при повороті на 90° відхилення при подальшому переміщенні по прямій лінії складе 3% від шляху переміщення (наприклад при переміщенні на 10 м відхилення складе 0,3 м). Тому при використанні методів одометрії для встановлення маршруту переміщення треба враховувати ці помилки, а також застосовувати додаткові засоби навігації для їх усунення.

Спростити алгоритм позиційного керування можна шляхом визначення траєкторії переміщення прямою лінією та поворотом на місці.

На рис. 12.3 и рис. 12.4 наведені варіанти розвороту мобільного робота з диференціальним приводом: поворот двома приводами (рис. 12.3, а), поворот одним приводом (рис. 12.3, б), та триколісного мобільного робота с різним положенням опірних коліс: опірні колеса на візку (рис. 12.4, а), опірні колеса під вилючним захоплювачем (рис. 12.4, б).

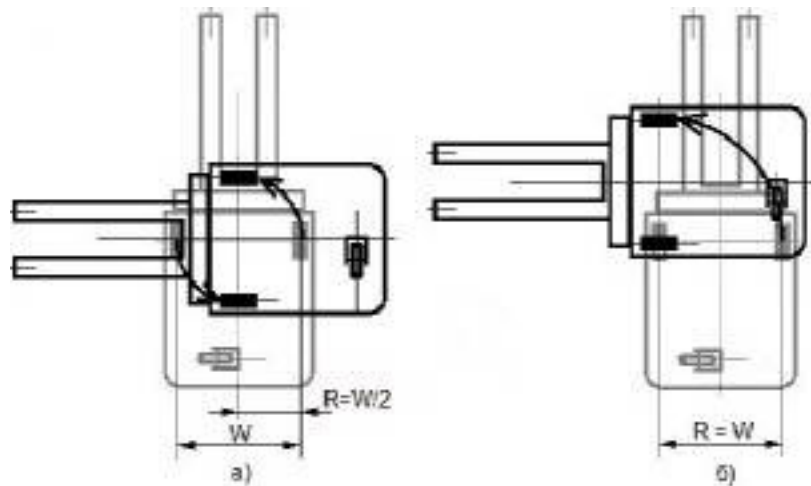


Рис. 12.3. Варіанти розвороту мобільного робота з диференціальним приводом

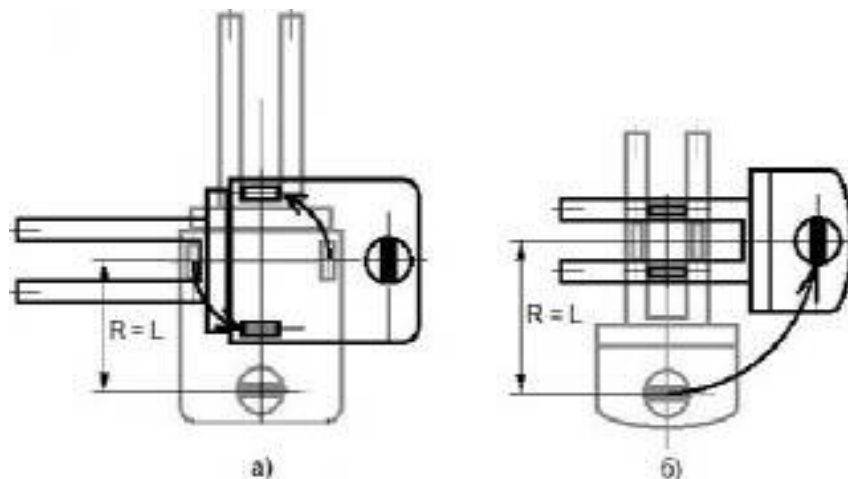


Рис. 12.4. Варіанти розвороту триколісного мобільного робота с різним положенням опірних коліс

У мобільного робота з диференційним приводом радіус розвороту визначається відстанню між ведучими колесами W , а у триколісного мобільного робота відстанню між віссю опірних коліс та ведучим колесом L .

Помилка позиційного керування переміщенням робота з використанням позиційного керування ведучих коліс на основі імпульсного датчика кута повороту колеса визначається числом імпульсів n_δ , що видає датчик за одне обертання колеса. Помилка визначення кута обертання колеса при цьому дорівнює $\alpha_\delta = 360^\circ / n_\delta$.

При цьому дискретність встановлення відстані S_δ складає

$$S_\delta = 2 \pi r / n_\delta = \pi r \alpha_\delta / 180^\circ. \quad (12.2)$$

де r – радіус ведучого колеса.

Додаткову помилку дає люфт редуктора двигуна, що приводить до відповідного люфту колеса. Якщо люфт має значення $\alpha_{\text{люфт}}$, то помилка обертання колеса за рахунок люфту складає

$$S_{\text{люфт}} = \pi r \alpha_{\text{люфт}} / 180^\circ. \quad (12.3)$$

При цьому загальна максимальна помилка буде складати

$$S_{\text{заг}} = S_\delta + S_{\text{люфт}} = \pi r (\alpha_\delta + \alpha_{\text{люфт}}) / 180^\circ = \pi r \alpha_{\text{заг}} / 180^\circ. \quad (12.4)$$

Для керування за допомогою одометрії для переміщення на відстань S треба знайти відповідну кількість імпульсів n , що видає датчик.

$$n = S / S_\delta. \quad (12.5)$$

При цьому відстань, що проходить ведуче колесо S_n , для числа імпульсів n , дорівнює

$$S_n = 2 \pi r n / n_\delta. \quad (12.6)$$

Розглянемо, як впливає дискретність датчика та люфт редуктора двигуна, що приводить до відповідного люфту колеса на неточність повороту робота на заданий кут, а саме, на відмінність розрахункового кута повороту від отриманого на прикладі мобільного робота з диференційним приводом для повороту одним приводом (рис. 12.3,б).

Дані, необхідні для розрахунків:

1. Відстань між колесами: W
2. Необхідний кут повороту робота: θ
3. Радіус колеса: r
4. Число імпульсів датчика за одне обертання колеса n_δ ,
5. Кут помилки за рахунок люфту $\alpha_{\text{люфт}}$.

Визначимо параметри робота на здійснення повороту мобільного робота на кут θ .

Розрахуємо шлях, пройдений колесом без люфту.

Радіус повороту $R = W$, де W - відстань між колесами шасі.

Для потрібного повороту на кут θ траєкторією руху колеса буде дуга кола з радіусом R .

Шлях, який треба пройти колесу для повороту на кут θ , дорівнює:

$$S = \pi R \theta / 180^\circ, \quad (12.7)$$

де θ – величина кута повороту робота в градусах.

Помилка визначення шляху переміщення ведучого колеса $S_{\text{заг}}$ за рахунок дискретності датчика та люфту редуктора двигуна визначається формулою (12.4)

Тоді помилка $\theta_{\text{ном}}$ при повороті робота на кут θ дорівнює:

$$\theta_{\text{ном}} = S_{\text{заг}} 180^\circ / (\pi R). \quad (12.8)$$

Для таких даних: відстань між колесами шасі: $W = 1$ м; діаметр колеса: $r = 0,4$ м; число імпульсів датчика за одне обертання колеса $n_\delta = 360$; кут помилки за рахунок люфту $\alpha_{\text{люфт}} = 1^\circ$; отримаємо помилку переміщення $S_{\text{заг}} = 0,014$ м та помилку кута одного повороту $\theta_{\text{ном}} = 0,8^\circ$.

Для лінійного переміщення помилка буде також складати $S_{\text{заг}} = 0,014$ м.

Якщо траєкторія переміщення складається з декількох ділянок лінійного та кутового переміщення по дузі, то помилка буде накопуватись. Тому при використанні позиційного переміщення за допомогою засобів одометрії треба здійснювати періодичну корекцію траєкторії переміщення, наприклад, за

допомогою засобів маршрутослідування, приклади реалізації яких були розглянуті у підрозділі 11.1. "Локальні системи керування".

Позиціонування маніпуляторів.

Розглянемо позиціонування затискного захватного пристрою, який не змінює орієнтацію, та має суміщений механізм підйому і захватного пристрою з маніпулятором на основі пантографа (див. підрозділ 9.2. "Маніпулятори для мобільних роботів"), кінематична схема якого наведена на рис.9.12. Переміщення робочого органу в системі координат XYZ (рис. 12.5, а) можна розділити на переміщення візка на площині, що забезпечує переміщення робочого органу по осях X і Y, і переміщення руки, що забезпечує переміщення робочого органу по осі Z і додаткове переміщення по осі X (рис. 12.5, б).

Переміщення по заданому маршруту і позиціонування візка із заданою точністю можна забезпечити за допомогою засобів локальної та глобальної навігації, тому зупинимося на питаннях позиційного керування маніпулятором.

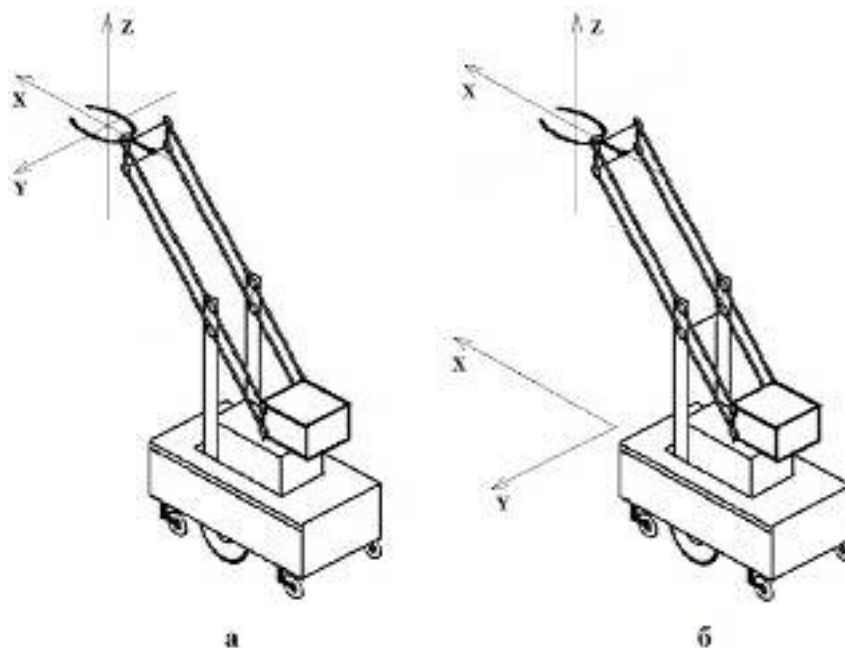


Рис. 12.5. Переміщення робочого органу мобільного робота в системі координат XYZ

керування переміщення робочого органу визначається датчиком положення, тому необхідно знати співвідношення між показаннями датчика і положенням робочого органу. При використанні фотоімпульсного датчика кута повороту це співвідношення визначається числом імпульсів датчика на один оборот. Датчик встановлений на осі двигуна, необхідно враховувати передавальне відношення редуктора. Таким чином, необхідно перерахувати зміну положення руки по вертикалі і зміну положення захватного пристрою у відповідне число імпульсів датчика. Для переміщення по горизонталі необхідно здійснити позиційне керування лінійним переміщенням візка.

Точність позиціонування при переміщенні руки по вертикалі визначається точністю позиціонування кутового переміщення осі приводу з урахуванням передавального відношення редуктора і залежності висоти підйому робочого органу h від кута повороту руки α .

Розглянемо мобільний робот з виловним захватом без зміни орієнтації на основі пантографа, аналогічний розглянутому вище. Це дає можливість здійснювати переміщення маніпулятора з однією ланкою по вертикалі, використовуючи один привод (рис. 12.11).

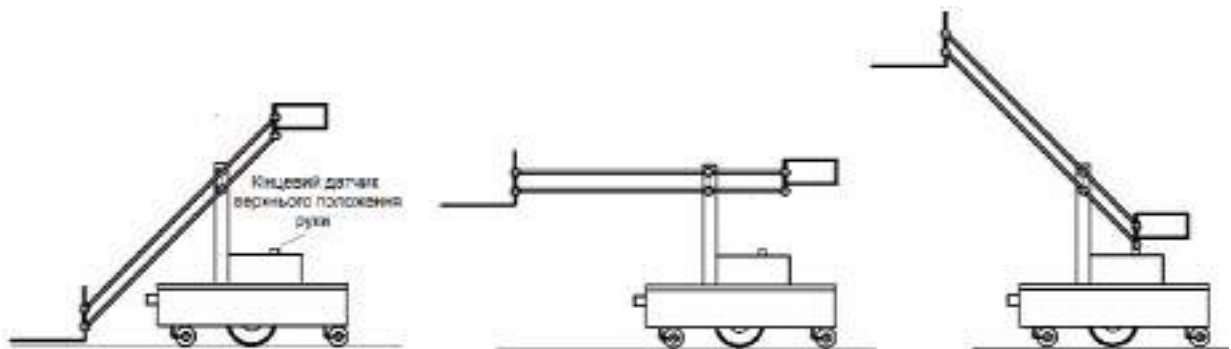


Рис. 12.11. Мобільний робот з маніпулятором на основі пантографа і виловним захоплюючим пристроєм

Для вирішення завдання позиційного управління в даному випадку необхідно визначити залежність переміщення руки від параметрів системи позиціонування.

Одним з найбільш часто використовуваних параметрів в даному випадку є кут повороту осі приводу, що здійснює підйом руки. При цьому для зняття або установки об'єкта необхідно визначити залежність переміщення захватного пристрою, як по вертикалі, так і по горизонталі.

На рис. 12.12 показані як пов'язані між собою параметри автономного мобільного робота з виловним захоплюючим пристроєм при встановленні вантажу на стелаж.

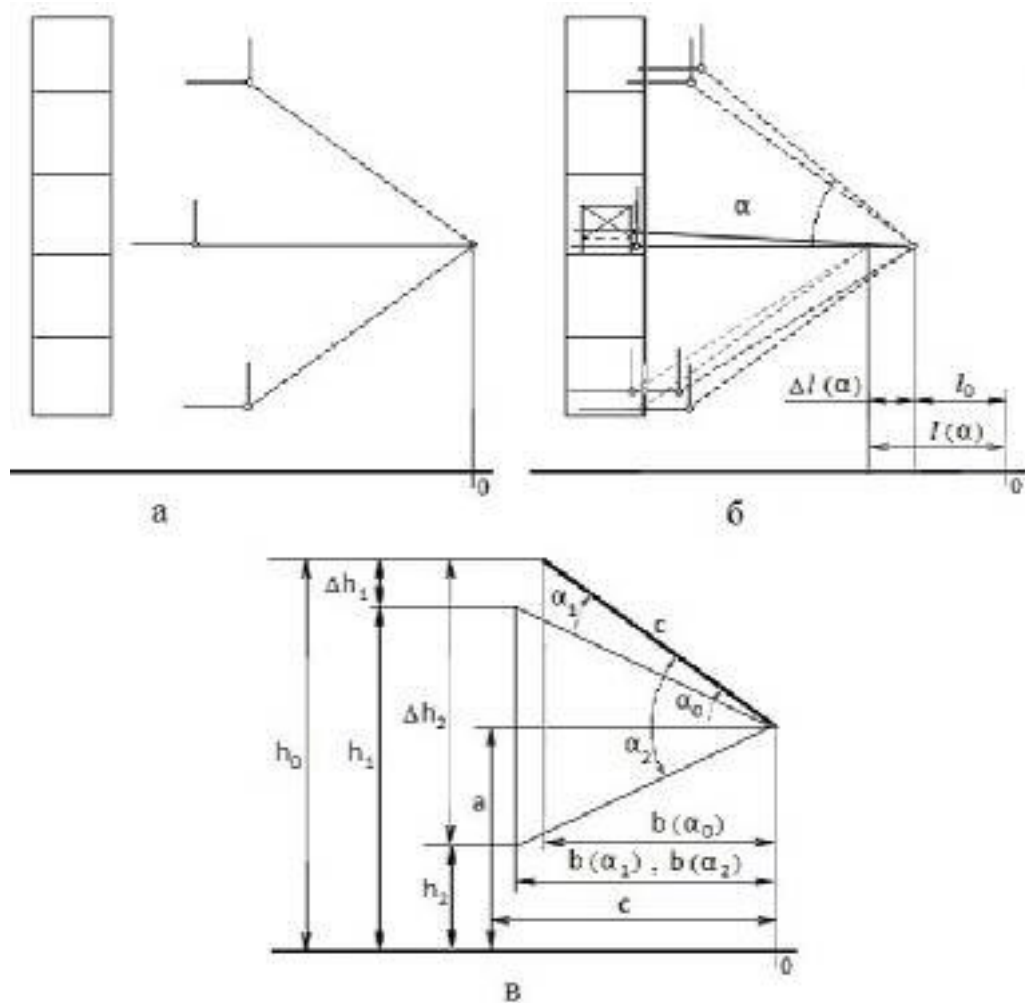


Рис. 12.12. Параметри мобільного робота, точка позиціонування візка (а), переміщення візки для різних рівнів підйому (б), переміщення робочого органу при підйомі руки (в)

На рис. 12.12, а показана точка позиціонування візка (а), на рис 12.12, б показано переміщення візки для різних рівнів підйому, на рис 12.12, в показано

як змінюється переміщення робочого органу по вертикалі і горизонталі при підйомі руки.

Оскільки положення робочого органу визначається кутом повороту руки, то для позиційного управління необхідно знати вплив цього кута на переміщення по горизонталі і вертикалі.

У розглянутому випадку розрахунок необхідних переміщень зводиться до тригонометричних залежностей.

При вимірюванні кута повороту за допомогою фотоімпульсного датчика необхідно задавати початок відліку. Тут пропонується визначити його як максимальне верхнє положення руки маніпулятора.

Скидання початку відліку для датчика кута повороту може здійснюватися за допомогою кінцевого датчика верхнього положення руки (рис. 12.11).

Розглянемо залежності висоти підйому робочого органу h і переміщення візка l від кута повороту руки α (рис. 12.12, б, в).

Висота підйому робочого органу h залежно від кута повороту α визначається залежністю:

$$h(\alpha) = a + c \sin(\alpha_0 - \alpha), \quad (12.11)$$

де $h(\alpha)$ - висота осі повороту руки, α_0 кут повороту для верхнього положення руки щодо горизонтального положення, c - довжина руки.

Звідси отримуємо, що для установки робочого органу на висоті h руку необхідно опустити на кут

$$\alpha = \alpha_0 - \sin^{-1}\left(\frac{h-a}{c}\right). \quad (12.12)$$

Зміна шляху переміщення Δl при опусканні руки на кут α визначається залежністю

$$\Delta l(\alpha) = c - c \cos(\alpha_0 - \alpha). \quad (12.13)$$

Наведені залежності дозволяють визначити параметри для переміщення візка в залежності від кута повороту руки і таким чином здійснити позиційне керування при вертикальному переміщенні робочого органу.

Позиціонування механізму підйому.

Кінематична схема вилочного захоплюючого пристрою з гідравлічним приводом підйому та тросовим датчиком висоти підйому каретки наведена на рис. 12.13.

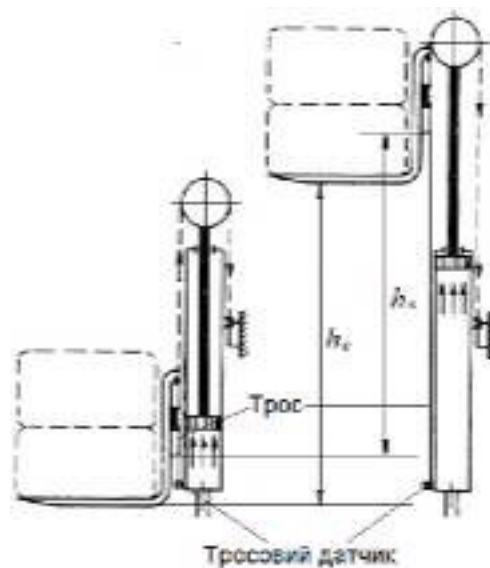


Рис. 12.13. Кінематична схема транспортного робота з вилочним захоплюючим пристроєм та тросовим датчиком

На рис. 12.14 показана послідовність встановлення вантажу на стелаж.

При встановленні вантажу в комірку за допомогою вилочного навантажувача на рівні i алгоритм керування виконує наступну послідовність дій:

1. Під'їхати до стелажу
2. Підняти захоплюючий пристрій в позицію встановлення вантажу
3. Під'їхати на відстань, що достатня для встановлення вантажу на стелаж
4. Опустити захоплюючий пристрій в позицію звільнення від вантажу

5. Від'їхати роботом на відстань, що достатня для опускання захоплюючого пристрою
 6. Опустити захоплюючий пристрій у вихідне положення
- Зняття вантажу здійснюється у зворотній послідовності.

Оскільки тросовий датчик може видавати інформацію про відстань в аналоговому та кодовому вигляді, а також у вигляді послідовності імпульсів (інкрементальний датчик), то цю інформацію треба перерахувати у відстань.

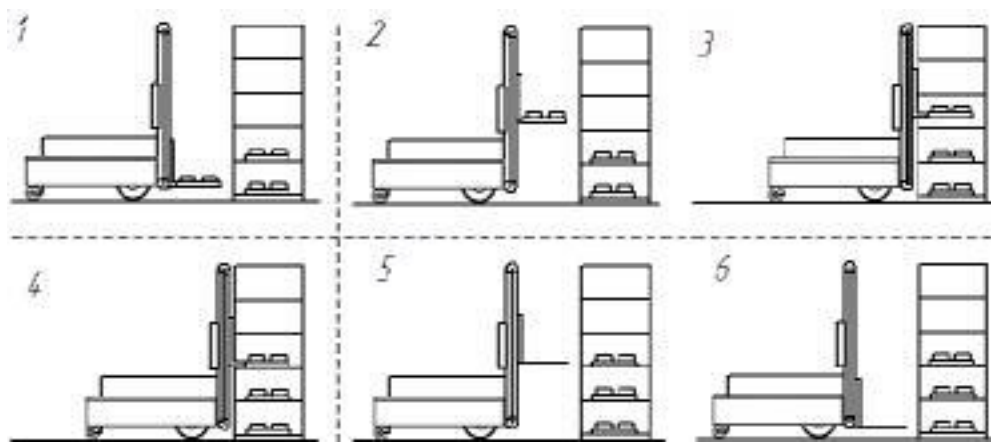


Рис. 12.14. Послідовність встановлення вантажу на стелаж

Якщо підйом здійснюється за допомогою барабана, а для позиціонування вилочного пристрою використовується інкрементальний датчик, встановлений на осі барабана, то при поверненні барабана на одне обертання датчик видає кількість імпульсів, яке відповідає роздільної здатності датчика (число імпульсів на одне обертання).

Для позиціонування вилочного пристрою треба визначити кількість імпульсів, яку видає датчик при переході з одного рівня на інший. Для цього потрібно знайти відстань, яку проходить вилочний пристрій за одне обертання датчика (барабана).

Якщо радіус барабану з урахуванням товщини каната дорівнює R , то відстань, яку проходить канат за одне обертання барабана (датчика) S_d дорівнює:

$$S_d = 2 \cdot \pi \cdot R. \quad (12.14)$$

Виходячи з роздільної здатності датчика можна визначити, який шлях проходить захоплюючий пристрій на одне обертання барабану, та скільки імпульсів датчика треба задати для переміщення на необхідну відстань.

Контрольні запитання

1. Які компоненти мобільного робота потребують позиціонування?
2. Як здійснюється позиціонування візків мобільних роботів?
3. Як здійснюється позиціонування робочого органа мобільних роботів?
4. Які види інтерполяції найчастіше використовують для математичного моделювання траєкторії переміщення?
5. Як визначити шлях переміщення прямолінійного руху?
6. Як здійснюється переміщення по дузі кола для триколісного робота?
7. Як здійснюється переміщення по дузі кола для робота з диференціальним приводом?
8. Як здійснюється позиціонування затискного хватного пристрою на основі пантографа?
9. Як здійснюється позиціонування механізму підйому?
10. Яку послідовність переміщень для встановлення вантажу на стелаж здійснює вилочний навантажувач?

Глава 13. Розподілені системи керування та системи бездротового зв'язку

13.1. Розподілені системи керування

Для керування мобільними роботами у складі комплексних виробничих систем важливу роль відіграють бездротові системи зв'язку, особливо у тих випадках, коли треба постійно задавати маршрути переміщення та запобігати зіткненню рухомих об'єктів. Існують різні засоби для вирішення задачі взаємодії багатьох рухомих об'єктів, але основою для цього являються різні засоби бездротового зв'язку.

Оскільки з одного боку треба забезпечити керування мобільними роботами, а з іншого, забезпечити їхню взаємодію, використовуються розподілені системи керування. Задачі розподіленого керування можна вирішувати шляхом використання децентралізованої периферії, коли відокремлені модулі входів та виходів пов'язані з центральним модулем керування за допомогою бездротового зв'язку, або за допомогою автономних систем керування, які пов'язані одна з одною за допомогою локальних або глобальних бездротових мереж.

Використання децентралізованої периферії (системи розподіленого вводу-виводу) доцільно в тих випадках, коли мобільні роботи виконують відносно прості функції, наприклад, функції переміщення вантажу на складах та інші транспортні функції. При цьому центральний процесорний модуль здійснює керування декількома об'єктами, що спрощує здійснення взаємодії цих об'єктів.

На рис. 13.1 наведений приклад використання розподіленої системи керування з використанням бездротового зв'язку на основі системи розподіленого вводу-виводу ET200pro фірми Сименс з використанням інтерфейсного модуля IM 154-6 PN IWLAN, який підтримує обмін даними між відокремленими модулями ET 200pro і програмованим логічним контролером через локальну бездротову мережу IWLAN.



Рис. 13.1. Приклад розподіленої системи керування з використанням бездротового зв'язку

Ця система призначена для використання в автоматичних транспортних засобах, може встановлюватись безпосередньо на обладнанні без шафи і має високу ступінь захисту (IP65/66/67), що дозволяє використовувати її у важких промислових умовах.

Система має високу стійкість до механічних впливів і здатна зберігати працездатність при вібраційних навантаженнях з прискоренням до 5g, а також ударних навантаженнях з прискоренням до 25g.

Для поширення можливостей Simatic ET 200pro IWLAN можна використовувати усі модулі Simatic ET 200pro, включаючи великий набір різних модулів вводу-виводу, а також модулі частотних перетворювачів для керування двигунами змінного струму ET 200pro FC, призначених для підключення трифазних асинхронних двигунів потужністю до 1,1 кВт.

Недоліком бездротового зв'язку на основі децентралізованої периферії є обмеження, пов'язані з використанням одного контролера для керування усіма пристроями, що входять у склад транспортної системи. Це з одного боку дозволяє спростити алгоритм взаємодії усіх мобільних пристроїв, а з іншого, ускладнює керування окремими пристроями.

Прикладом використання таких засобів є керування мобільними пристроями, що переміщуються по встановленим маршрутам, наприклад, по рейкам, або для підвісних роботів з простими захоплюючими пристроями.

Якщо окремі мобільні пристрої мають складний алгоритм керування, що потребує використання окремої комплексної обчислювальної системи, як, наприклад, у випадках переміщення за допомогою локальних та глобальних навігаційних систем, є локальні бездротові мережі.

Прикладом такої системи є бездротова мережа фірми Сименс IWLAN (Industrial Wireless Local Area Network), що здатна здійснювати інтенсивний обмін даними між складними мобільними системами.

Передача даних відбувається за міжнародним стандартом IEEE 802.11b у вільному ISM-діапазоні 2,4-ГГц і забезпечує максимальну швидкість передачі 11 Мбіт / с для високої пропускної здатності даних.

На рис. 13.2 наведені приклади транспортних засобів, у яких для зв'язку використовується мережа IWLAN.

Для створення бездротових мереж використовують також Wi-Fi та WiMax мережі, а також персональні мережі, такі як Bluetooth.

У разі використання мобільних роботів, що переміщуються на великі відстані, застосовують глобальні мережі, такі як супутникові та стільникові мережі.

На рис. 13.3 наведений приклад використання бездротового зв'язку для керування візком автоматизованої транспортно-складської системи на основі супутникових технологій Dematic Multishuttle.

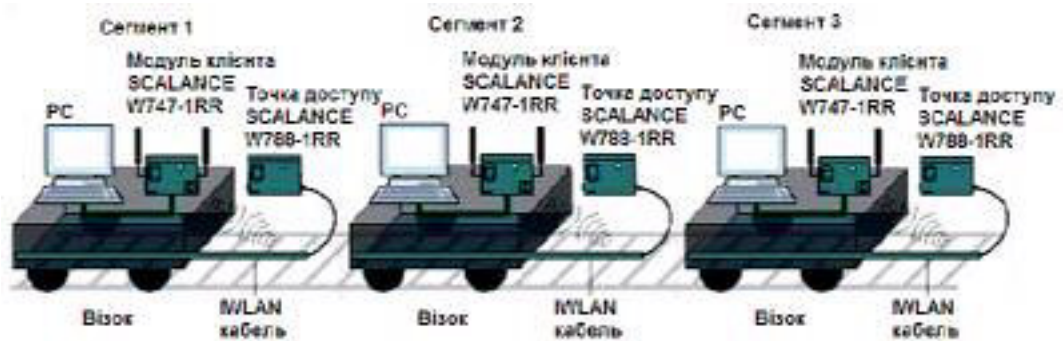


Рис. 13.2. Використання мережі IWLAN для забезпечення зв'язку з автоматизованими мобільними транспортними засобами

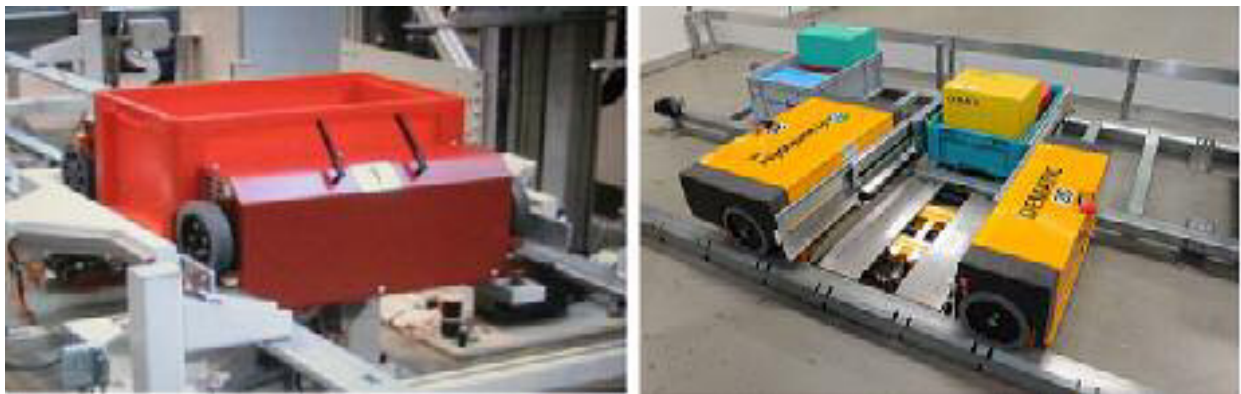


Рис. 13.3. Використання бездротового зв'язку для керування візком автоматизованої транспортно-складської системи на основі супутникових технологій

13.2. Системи бездротового зв'язку

Розглянемо існуючі системи зв'язку для передачі даних, що використовуються в мобільних роботах та автономних транспортних засобах.

Для реалізації бездротового зв'язку мобільних систем можна використовувати засоби, що застосовуються для бездротового зв'язку з персональними комп'ютерами, такі як **Bluetooth** та **Wi-Fi**.

Bluetooth

Інтерфейс Bluetooth призначений для обміну даними між двома об'єктами і дає змогу передавати як голос (зі швидкістю 64 Кбіт/с), так і дані. Для передачі даних можуть бути використані асиметричний (721 Кбіт/с в одному напрямку і 57,6 Кбіт/с в іншому) та симетричний (432,6 Кбіт/с в обох напрямках) методи. Працюючи на частоті 2.4 ГГц, прийомопередавач (*Bluetooth-chip*) дає змогу встановлювати зв'язок у межах 10 або 100 метрів. Різниця у відстані, безумовно, велика, однак з'єднання в межах 10 метрів дає змогу зберегти низьке енергоспоживання, компактний розмір і досить невисоку вартість компонентів. Так, малопотужний передавач споживає всього 0.3 мА в режимі standby і в середньому 30 мА під час обміну інформацією. У стандарті Bluetooth передбачене шифрування даних, що передаються з використанням ключа ефективною довжини від 8 до 128 біт і можливістю вибору односторонньої або двосторонньої аутентифікації (процедура встановлення належності користувачеві інформації в системі пред'явленого ним ідентифікатора). Додатково, до шифрування на рівні протоколу, може бути використано шифрування на програмному рівні.

Wi-Fi – система бездротової передачі даних, що містить не менше однієї точки доступу і не менше одного клієнта та забезпечує зв'язок на відстані до 200 м. Також можливе підключення двох клієнтів в режимі точка-точка, коли точка доступу не використовується, а клієнти з'єднуються за допомогою мережевих адаптерів «напрямку». Точка доступу передає свій ідентифікатор мережі з допомогою спеціальних сигнальних пакетів на швидкості 0,1 Мбіт/с

кожні 100 мс. Тому 0,1 Мбіт/с — найменша швидкість передачі даних для Wi-Fi.

Переваги Wi-Fi :

- дозволяє розгорнути мережу без прокладки кабелю;
- дозволяє мати доступ до мережі мобільних пристроїв;
- wi-fi пристрої широко поширені на ринку. гарантується сумісність обладнання завдяки обов'язковій сертифікації обладнання з логотипом wi-fi;
- мобільність;
- випромінювання від wi-fi пристроїв в момент передачі даних на порядок (в 10 разів) менше, ніж у стільникового телефону.

Недоліки Wi-Fi :

- зв'язок на досить не великі відстані;
- у діапазоні 2,4 ghz працює безліч пристроїв, таких як пристрої, що підтримують bluetooth, та ін, і навіть мікрохвильові печі, що погіршує електромагнітну сумісність;
- частотний діапазон і експлуатаційні обмеження в різних країнах не однакові;
- у режимі точка-точка стандарт може реалізувати лише швидкість 11 мбіт / сек;
- для подолання значної відстані передачі сигналу необхідно встановлювати щоглу для антени, тим самим забезпечувати «пряму видимість».

Для використання в промисловості технології Wi-Fi поки обмежена. Так, Siemens Automation & Drives пропонує Wi-Fi-рішення для своїх контролерів SIMATIC відповідно до стандарту IEEE 802.11g у вільному ISM-діапазоні 2,4 ГГц, що забезпечує максимальну швидкість передачі 11 Мбіт/с. Дані технології застосовуються в основному для управління рухомими

об'єктами і в складській логістиці, а також у тих випадках, коли з якої-небудь причини неможливо прокладати дротяні мережі Ethernet.

Супутниковий зв'язок - один з видів космічного радіозв'язку, заснований на використанні штучних супутників землі як ретрансляторів. Супутниковий зв'язок здійснюється між земними станціями, які можуть бути як стаціонарними, так і рухливими.

Супутниковий зв'язок є розвитком традиційної радіорелейного зв'язку шляхом винесення ретранслятора на дуже велику висоту.

Так як зона його видимості в цьому випадку - майже половина Земної кулі, то необхідність у ланцюжку ретрансляторів відпадає - в більшості випадків досить і одного.

Переваги супутникового зв'язку:

- зв'язок на великі відстані;
- швидке розгортання надійних і ефективних мереж на великій території;
- канал передачі прямий через супутник, немає впливу інших систем;
- велика пропускна здатність, обумовлена роботою супутників в широкому діапазоні гігагерцових частот.

Недоліки супутникового зв'язку:

- можливість взаємного спотворення радіосигналів від наземних станцій, що працюють на сусідніх частотах;
- необхідність позиціонування антени відносно координат супутника.

Для використання у промислових умовах розроблені засоби бездротового зв'язку, що дозволяє використовувати відповідні засоби автоматизації, а саме програмовані контролери та сумісні з ними додаткові пристрої, такі як приводи, датчики, засоби навігації, тощо.

Так, наприклад, фірма Сименс використовує для бездротового зв'язку три основних засоби:

Industrial Wireless Telecontrol,

Industrial Wireless LAN,

Wireless HART.

Industrial Wireless Telecontrol це система телеметрії з SINAUT MICRO і SINAUT ST7, що заснована на використанні стільникового зв'язку.

SINAUT, система телеметрії на базі програмованих контролерів SIMATIC S7, складається з двох незалежних систем.

SINAUT MICRO це система телеметрії для контролю і управління розподіленими виробництвами, використовуючи бездротові з'єднання з використанням стільникового зв'язку (GPRS) на основі SIMATIC S7-200 і WinCC flexible або WinCC. В результаті роботи двоспрямованого з'єднання SINAUT MICRO може виконувати прості завдання телеметрії. Конфігурація здійснюється за допомогою STEP 7 Micro / WIN. SINAUT MICRO дозволяє обслуговувати до 256 контролерів SIMATIC S7-200 за допомогою GPRS модемів. Приклад бездротового спостереження і керування розподілених установок за допомогою SIMATIC S7-200 наведений на рис. 13.4.

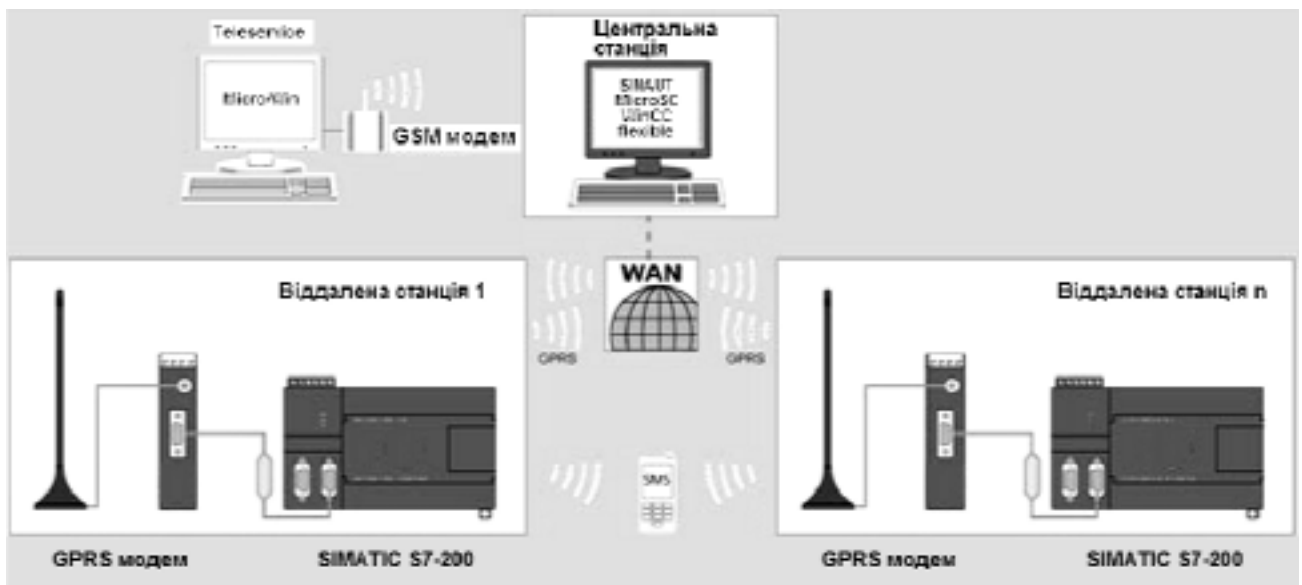


Рис. 13.4. Приклад бездротового спостереження і керування розподілених установок за допомогою SIMATIC S7-200

SINAUT ST7 це універсальна система телеметрії на основі SIMATIC S7-300, S7-400 і WinCC для повністю автоматичного контролю та управління терміналами процесу, які обмінюються даними з одним або декількома центрами управління через глобальну мережу (WAN) або через Ethernet (TCP/IP). Конфігурація здійснюється за допомогою програмного комплексу STEP 7.

Для обох систем є в наявності OPC сервер, який дозволяє організувати з'єднання з системами управління інших фірм.

Передача даних у двох системах відбувається за допомогою різних протоколів. Якщо необхідно об'єднати систему SINAUT MICRO з системою SINAUT ST7, то це може бути організовано в ПК або центрі управління через OPC.

Перевагою цих методів є можливість використання глобальних мереж та необмежена відстань, недоліком - залежність від зони покриття операторів стільникового зв'язку.

Industrial Wireless LAN (IWLAN) це бездротова локальна мережа за стандартом IEEE 802.11, що є комунікаційної основою для мобільних, безпроводних учасників мережі з використанням різних компонент автоматизації. Основою цієї мережі є сімейство SCALANCE W, що об'єднує в своєму складі цілий ряд комунікаційних модулів, призначених для побудови високонадійних IWLAN з детермінованим часом передачі даних і підтримкою резервованих каналів зв'язку. Такі бездротові мережі дозволяють передавати через свої канали як критичні до часу передачі повідомлення (наприклад, IWLAN з передачею аварійних повідомлень), так і звичайні повідомлення (наприклад, WLAN з передачею сервісних та діагностичних повідомлень). В цілому подібні мережі за своїми функціональними можливостями перебивають вимоги стандарту IEEE 802.11.

Модулі SCALANCE W випускаються в міцних металевих корпусах зі ступенем захисту IP 65, що забезпечують надійний захист від вологи і пилу і

можливість використання модулів в умовах вібрації і тряски, що важливо для мобільних роботів.

Всі модулі серії SCALANCE W підтримують стандартні механізми ідентифікації користувачів, що забезпечують захист IWLAN від несанкціонованого доступу, а також механізми кодування переданих даних.

Існуючі мережі Industrial Ethernet можуть розширюватися компонентами бездротових систем зв'язку. Для цього до стаціонарної мережі Industrial Ethernet підключається необхідну кількість точок доступу SCALANCE W.

Точки доступу можуть комплектуватися круговими або спрямованими антенами, а також протяжними антенами з низьким рівнем випромінювання в вигляді RCoax кабелю. Через точки доступу в систему бездротового зв'язку можуть бути включені будь-які стаціонарні або мобільні об'єкти, оснащені модулями клієнтів або модулями IWLAN / PB Link PN IO.

Розширення існуючої системи зв'язку вимагає застосування мінімальних витрат на підключення до провідним каналам зв'язку і не вимагає ніяких додаткових монтажних робіт для підключення нових мобільних станцій.

В межах зони охоплення радіомережі забезпечується надійний обмін даними між усіма мобільними і стаціонарними системами автоматизації, де б не знаходилася мобільна станція.

Як зовнішня антени точки доступу може використовуватися IWLAN RCoax кабель. Такий кабель виконує функції протяжної антени з низьким рівнем випромінювання. Через нього може підтримуватися обмін даними з мобільними станціями, що знаходяться в зоні радіо охоплення кабелю.

Точки доступу SCALANCE W788 орієнтовані на експлуатацію у важких промислових умовах з установкою поза шаф управління. Для їх установки можуть вибиратися місця, найбільш сприятливі для організації радіо зв'язку.

Розглянемо приклади застосувань точки доступу SCALANCE W788.

У першому прикладі мобільні роботи вільно переміщуються в зоні радіоохоплення, утвореної двома точками доступу SCALANCE W788-1PRO

(рис. 13.5). Кожна мобільна станція оснащена модулем клієнта SCALANCE W746-1PRO. Забезпечується підтримка бездротового обміну даними панелі оператора, комп'ютера і програмованого контролера кожної мобільної станції з контролером і системою людино-машинного інтерфейсу стаціонарної мережі Industrial Ethernet. Програматор Field PG M використовується для дистанційного обслуговування всієї апаратури даної системи.

У зоні радіо охоплення однієї точки доступу SCALANCE W7881PRO або SCALANCE W788-2PRO можуть працювати мобільні станції з компонентами систем розподіленого вводу-виводу. Використовувати такі станції в зоні радіо охоплення декількох точок доступу можна, оскільки час перемикання з однієї точки доступу на іншу може займати кілька сотень мілісекунд, що призводить до втрати даних, що передаються. Це явище характерне для всіх пристроїв, що відповідають вимогам стандарту IEEE 802.11. Для виключення подібних явищ в складі IWLAN повинні використовуватися компоненти, що підтримують функції швидкого роумінгу.

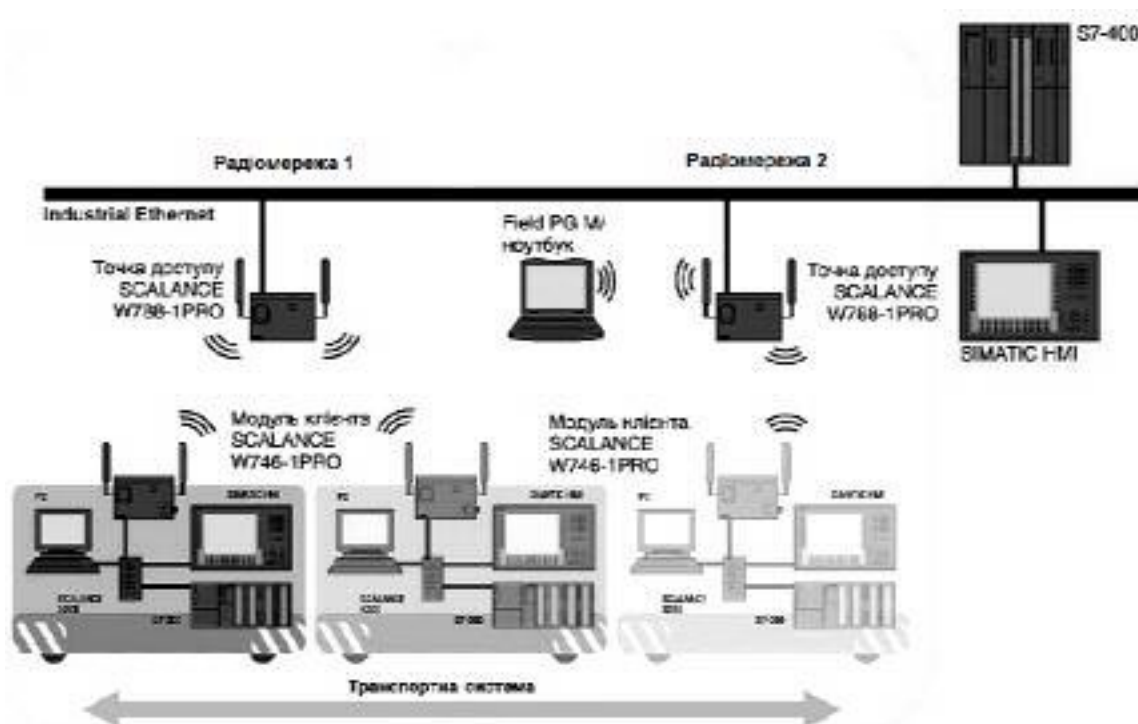


Рис. 13.5. Мобільні роботи з двома точками доступу SCALANCE W788-1PRO

У другому прикладі для систем радіозв'язку з високими вимогами до достовірності переданих даних рекомендується використовувати протяжні антени у вигляді RCoax кабелю (рис. 13.6). Така антена може прокладатися вздовж шляхів руху мобільних станцій і становить прекрасну альтернативу системам з контактами.

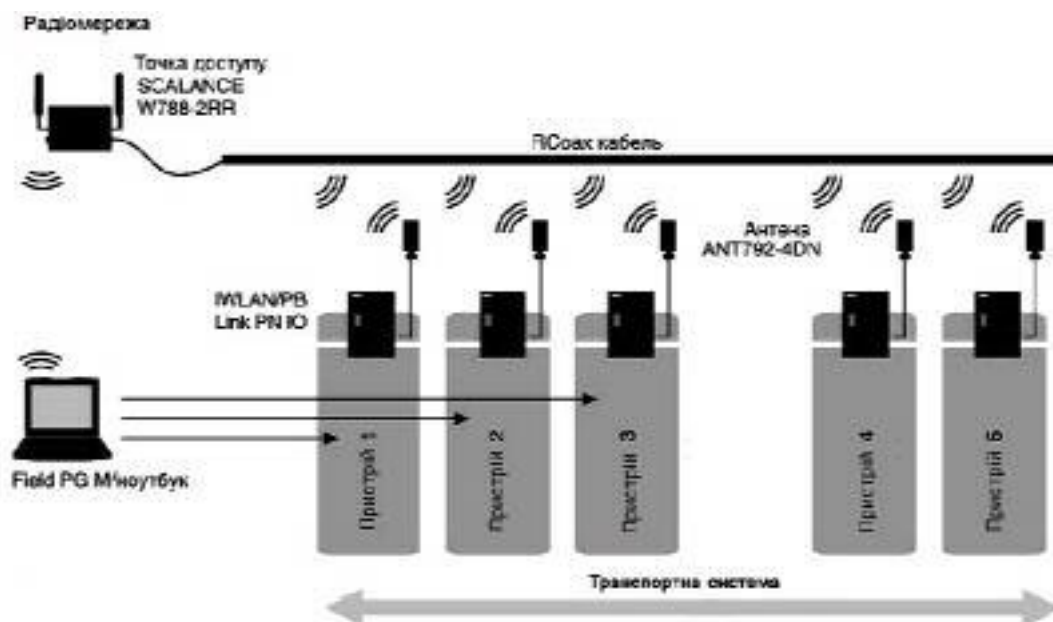


Рис. 13.6. Дистанційне обслуговування мобільних пристроїв

В даному прикладі здвоєна точка доступу SCALANCE W788-2RR працює в двох незалежних радіомережах. Одна з них використовується для бездротового підключення програматора, за допомогою якого виконуються операції по обслуговуванню і конфігурації апаратури. Друга мережа, утворена RCoax кабелем, використовується для побудови системи розподіленого вводу-виводу PROFINET IO. Мобільні станції підключені до цієї мережі через модулі зв'язку IWLAN / PB Link PN IO.

На рис. 13.7 показаний приклад інтеграції в IWLAN автоматизованих транспортних засобів. Точки доступу SCALANCE W784-1RR і модулі клієнтів SCALANCE W747-1 встановлюються в шафи управління.

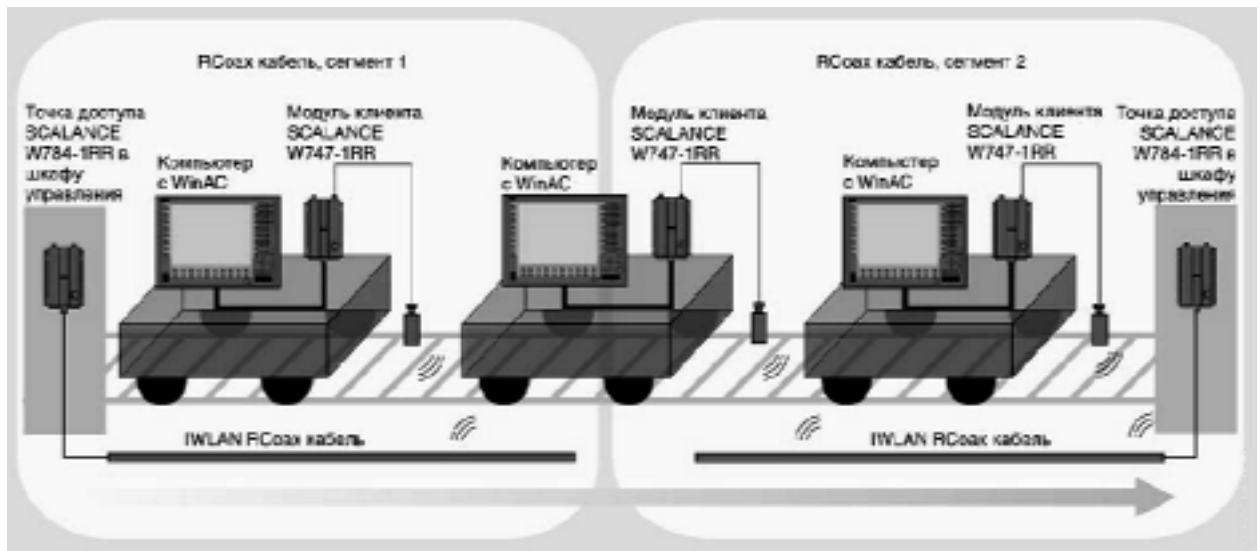


Рис. 13.7. Зв'язок з автоматизованими транспортними засобами через точки доступу SCALANCE W784-1RR і RCoax кабель

На рис. 13.8 наведений приклад системи бездротового зв'язку з модулем клієнта SCALANCE W744, що дає можливість підключити контролер та систему навігації з лазерним сканером та гіроскопічним датчиками.

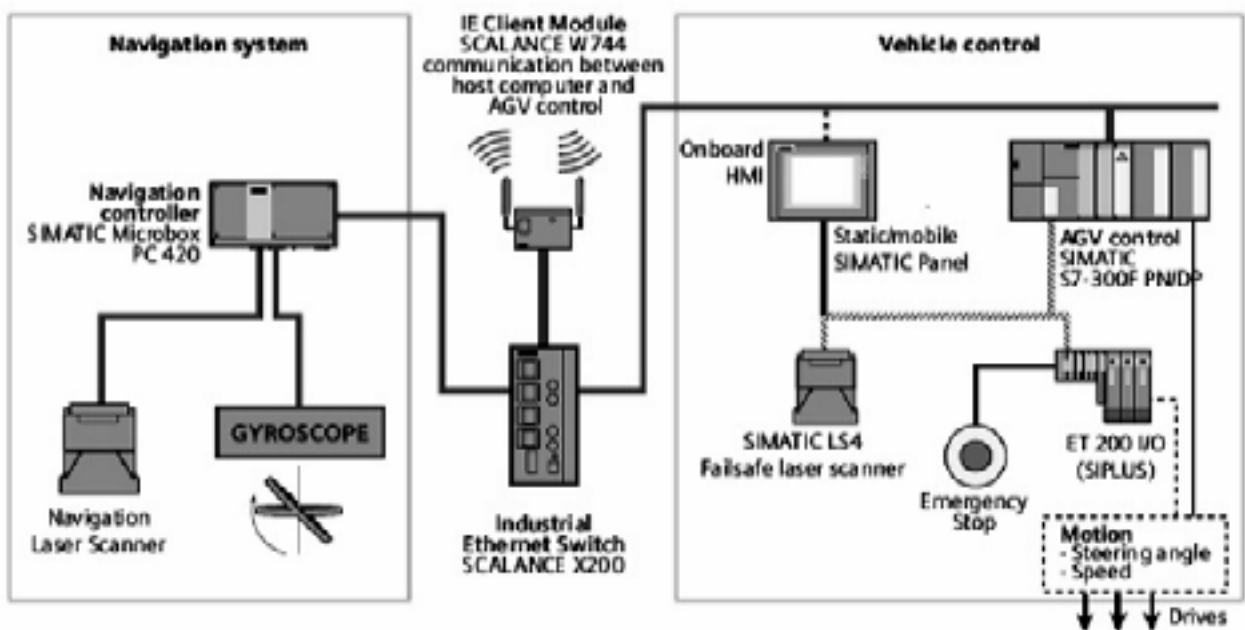


Рис. 13.8. Приклад системи бездротового зв'язку з модулем клієнта SCALANCE W744, контролером та системою навігації з лазерним сканером та гіроскопічним датчиками

Контрольні запитання

1. Для чого використовуються розподілені системи керування?
2. Як реалізується розподілене керування?
3. Чим відрізняються системи децентралізованої периферії?
4. Як здійснюється розподілене керування з кількома автономними пристроями?
5. Які мережі використовують для створення бездротових мереж?
6. Чим відрізняється інтерфейс Bluetooth?
7. Чим відрізняється система бездротової передачі даних Wi-Fi?
8. Які переваги та недоліки має супутниковий зв'язок?
9. Які системи бездротового зв'язку використовує система телеметрії з SINAUT?
10. Як реалізується бездротова локальна мережа IWLAN?

Глава 14. Транспортні мобільні роботи

14.1. Типи транспортних мобільних робіт

Транспортний робот або автоматично керований транспортний засіб (англійською мовою Automated Guided Vehicle - AGV, німецькою мовою Fahrerloses Transportfahrzeug - FTF).

Транспортні мобільні роботи можуть бути з примусовою або довільною траєкторією переміщення.

Транспортні мобільні роботи з примусовою траєкторією переміщення переміщуються по рейкам. В залежності від розташування рейок можуть бути підвісні, підлогові і комбіновані засоби переміщення.

Більш гнучке застосування забезпечують підлогові безрейкові автоматичні візки (робокари). Траєкторія переміщення при цьому визначається різними засобами персональної, локальної та глобальної навігації.

Транспортні мобільні роботи можуть виконувати тільки функції переміщення об'єктів, а для встановлення вантажу використовуються додаткові пристрої навантаження та розвантаження. Пристрої навантаження та розвантаження можуть бути встановлені безпосередньо на транспортному роботі. При цьому вони можуть бути обладнані маніпуляторами, вилючними захоплюючими пристроями, підйомними і підйомно-поворотними столами, висувними штангами для підйому і фіксації на потрібній висоті піддонів з вантажами або касет з заготовками, роликowymi або стрічковими транспортерами.

Транспортні мобільні роботи можна також умовно поділити на транспортні платформи, що призначені для встановлення на них вантажу, та транспортні роботи, що переміщують вантаж за допомогою захоплюючих пристроїв.

14.2. Транспортні мобільні роботи

Прикладом транспортних робіт з примусовим переміщенням є автоматизовані транспортно-складські системи з автоматизованими кранами-штабелерами та система супутникових стелажних складів.

На рис. 14.1 наведена транспортно-складська система з автоматизованими стелажними кранами-штабелерами.

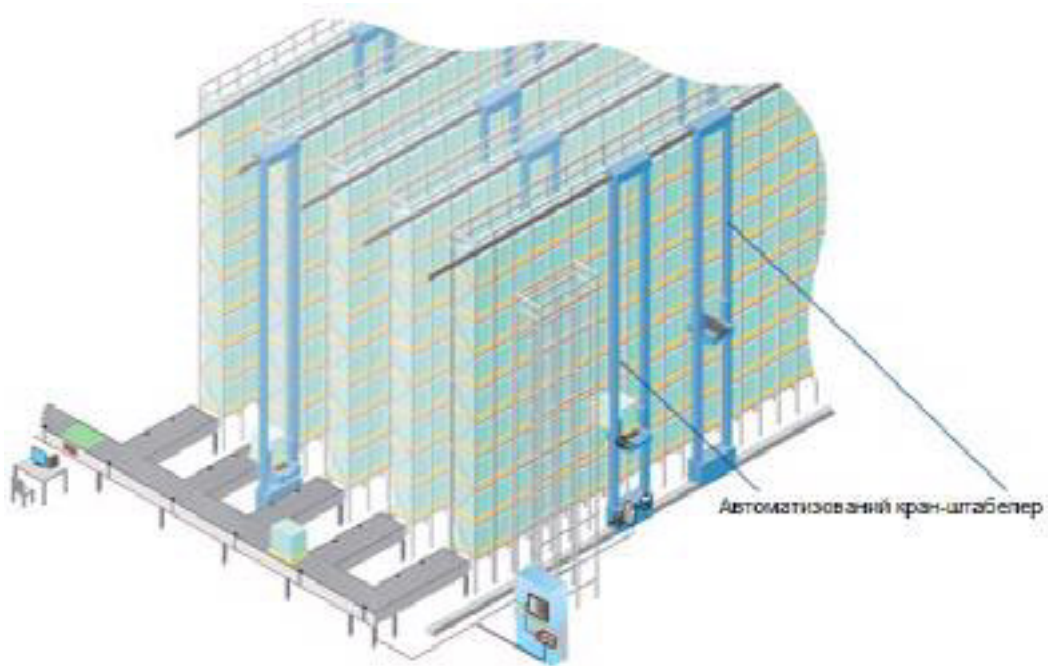


Рис. 14.1. Транспортно-складська система з автоматизованими стелажними кранами-штабелерами

Такі стелажні крани-штабелери мають опорний та підвісний візки, між якими вертикально розміщені одна або дві колони. По колонах пересувається вантажопідійомник, що має приймальний стіл, на який за допомогою телескопічного захоплюючого пристрою встановлюється вантаж.

Система супутникових стелажних складів представляє собою стелажний склад, де переміщення вантажів усередині стелажу здійснюється за допомогою спеціальних супутникових візків з автоматичним керуванням. Візки переміщуються всередині каналів стелажів на одному рівні по рейкам. Переміщення між рівнями здійснює підйомник (рис. 14.2).

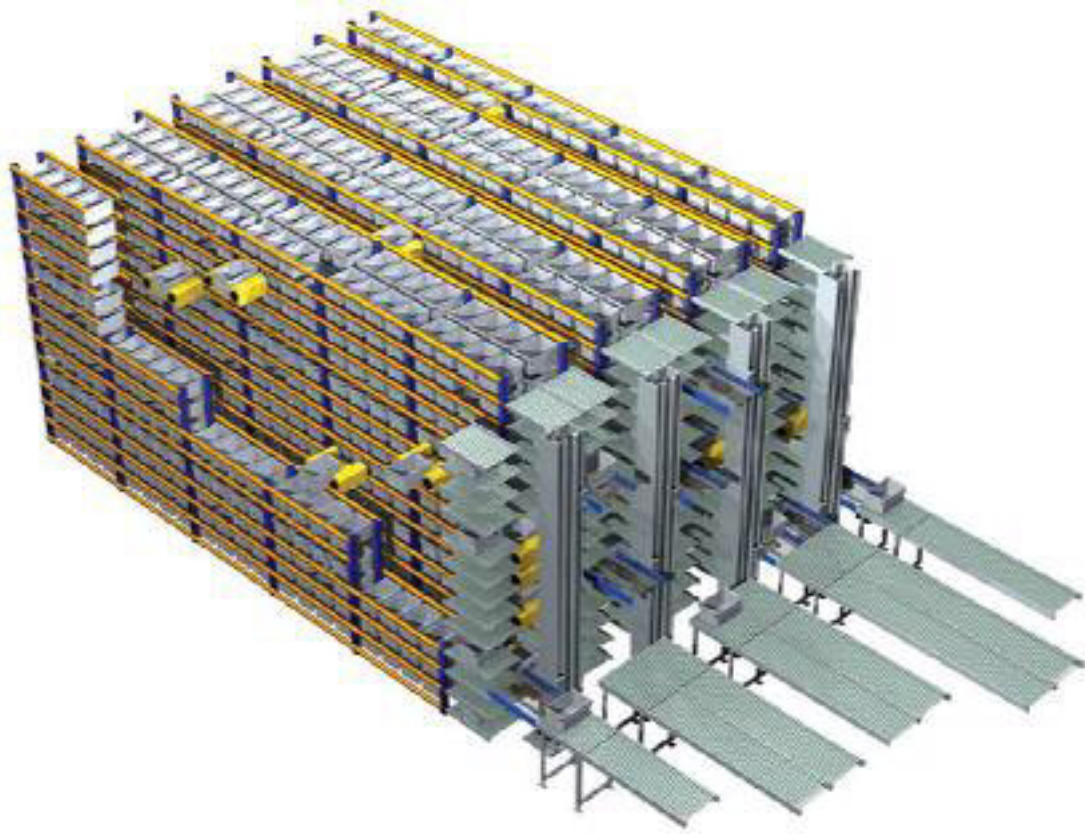


Рис. 14.2. Система супутникових стелажних складів

Система керування забезпечує одночасне переміщення певної кількості візків по встановленим маршрутам. Вантаж знаходиться у стандартних контейнерах. Операції встановлення та зняття контейнерів з вантажем з комірок стелажу здійснюється за допомогою захоплюючих пристроїв, встановлених на візку. При встановленні контейнер з вантажем доставляється у вихідну позицію, з якої він переміщується в задану комірку стелажу. Зняття здійснює найближчий візок, яких доставляє контейнер з вантажем у визначену позицію.

Таким чином усю операцію з переміщення вантажу всередині зони зберігання бере на себе супутниковий візок, що переміщується по встановленому маршруту. Передача даних у таких системах здійснюється за допомогою бездротових засобів передачі даних, або засобів, що здійснюють передачу даних та живлення по рейкам.

На рис. 14.3 наведена супутникова транспортна система Dematic Multishuttle, яка крім візків, що переміщується по рейкам, має додаткові візки, що забезпечують вільне переміщення супутників по території складу.

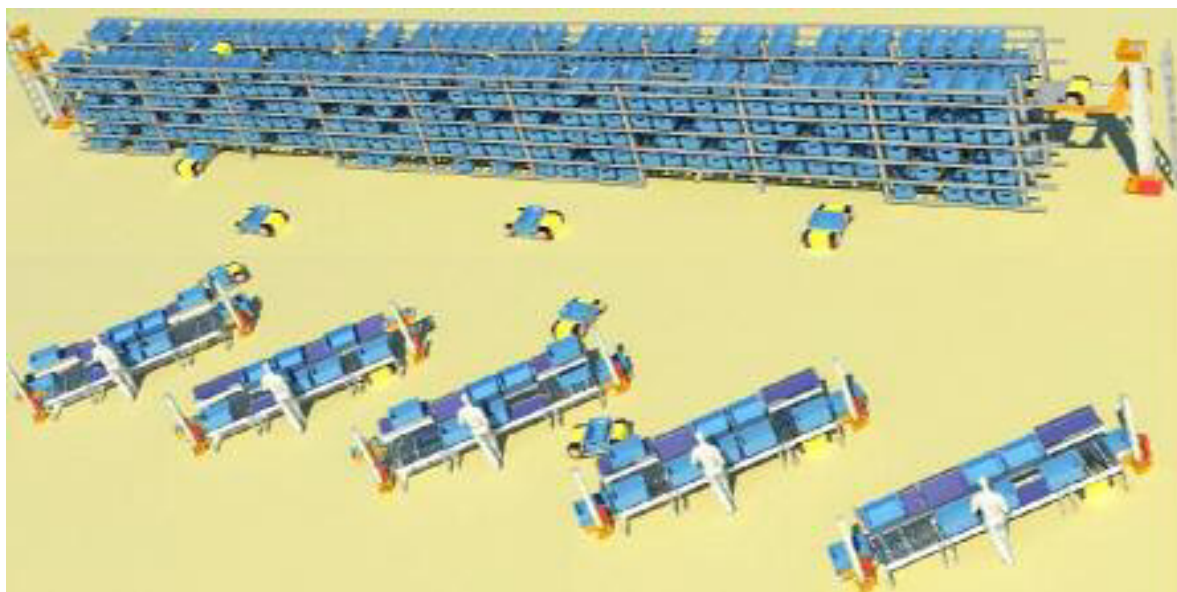
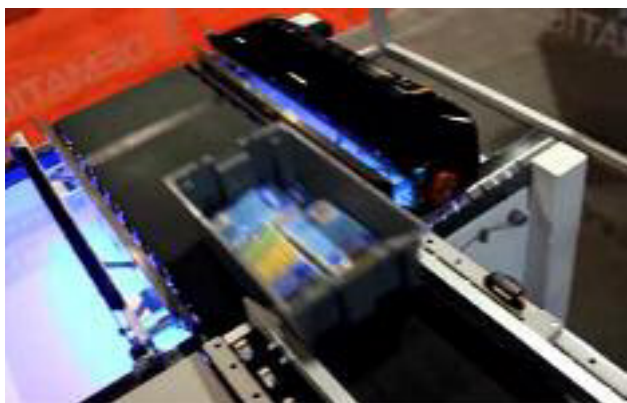


Рис. 14.3. Супутникова транспортна система Dematic Multishuttle

На рис. 14.4 наведені приклади захоплюючих пристроїв, що використовуються на супутникових транспортних системах, а саме, з стрічковим транспортером та з телескопічним захоплюючим пристроєм.



а)



б)

Рис. 14.4. Приклади захоплюючих пристроїв, що використовуються на супутникових транспортних системах, з стрічковим транспортером (а) та з телескопічним захоплюючим пристроєм (б)

Живлення супутників може здійснюватися за допомогою акумуляторів або здійснюватися по металевих рейках.

Рейки можуть також здійснювати обмін даними між супутниками для забезпечення взаємодії, а також між супутниками та загальною системою керування.

Більш універсальними є мобільні транспортні роботи з довільною траєкторією переміщення.

В наш час різні фірми випускають досить велику кількість таких роботів, тому розглянемо деякі з них.

Певну кількість транспортних мобільних роботів у вигляді транспортної платформи випускає фірма Neobotix.

На рис. 14.5 наведена мобільна платформа MP-500.

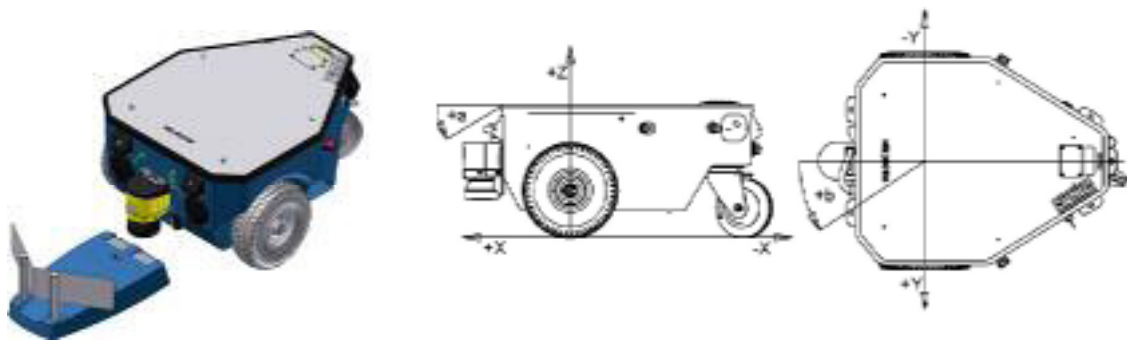


Рис. 14.5. Мобільна платформа MP-500

Цей мобільний робот був створений як компактна динамічна платформа, що може бути легко адаптована до виконання більшості промислових застосувань, в яких вона виконувати різні функції автоматичного транспорту. За потребою на ньому можна встановлювати пристрої для встановлення вантажу. На рисунку показаний пристрій для заряду акумуляторів.

За потребою MP-500 може бути адаптована до специфічних вимог замовника в залежності від того, які завдання він повинен виконувати.

Мобільна платформа MP-500 має такі технічні характеристики:

- вантажопідйомність: 80 кг;

- розміри: 814 x 592 x 361 (LxVxH);
- вага: ~70 кг;
- швидкість переміщення: <1,5 м/с;
- комплект батарей: 24 В / 50 А·год;
- час роботи: ~ 10 годин;
- умонтовані датчики: лазерний сканер Sick S300, 5 ультразвукових датчиків (за потребою);
- бортовий обчислювальний пристрій: Mini-ITX-System.

Мобільна платформа МРО-500 (рис. 14.6) є всепрямованим транспортним роботом, що може переміщуватися у будь-якому напрямку завдяки Mecanum-колесам. Це дозволяє реалізувати досить складні траєкторії переміщення в обмежених просторах.

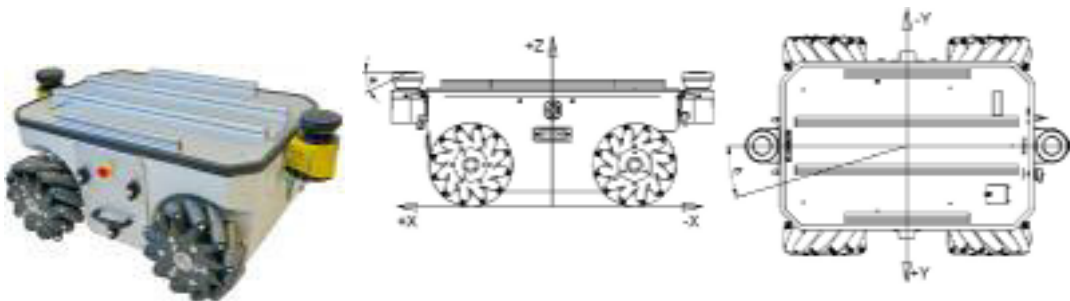


Рис. 14.6. Мобільна платформа МРО-500

Мобільна платформа МРО-500 має такі технічні характеристики:

- вантажопідйомність: до 150 кг;
- розміри: 986 x 662 x 409 (LxVxH);
- вага: ~80 кг;
- швидкість переміщення: <0,8 м/с;

- комплект батарей: 24 В / 50 А·год;
- час роботи: ~ 10 годин, ~ 3 км;
- умонтовані датчики: 1 – 2 лазерних сканерів Sick S300, 8 ультразвукових датчиків (за потребою);
- бортовий обчислювальний пристрій: Mini-ITX-System.

Мобільна платформа МР-700 (рис. 14.7) має підвищену стійкість, що дозволяє встановлювати на ньому додаткові компоненти.

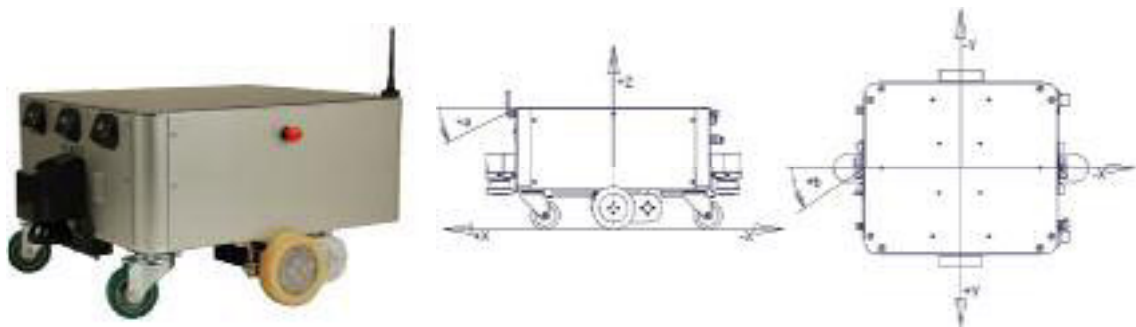


Рис. 14.7. Мобільна платформа МР-700

Мобільна платформа МР-700 має такі технічні характеристики:

- вантажопідйомність: 300 кг;
- розміри: 786 x 717 x 411 (LxVxH);
- вага: ~170 кг;
- швидкість переміщення: <1,0 м/с;
- комплект батарей: 24 В / 152 ач або 48 В / 76 А·год;

- час роботи: ~ 8 годин;
- умонтовані датчики: лазерний сканер Sick S300, 5 ультразвукових;
- бортовий обчислювальний пристрій: Mini-ITX-System.

Мобільна платформа MPO-700 (рис. 14.8) є всепрямованим транспортним роботом, що може переміщуватися у будь-якому напрямку завдяки наявності 4 двовісних модулів повороту та переміщення Omni-Drive-Module. Це дозволяє реалізувати досить складні траєкторії переміщення в обмежених просторах.

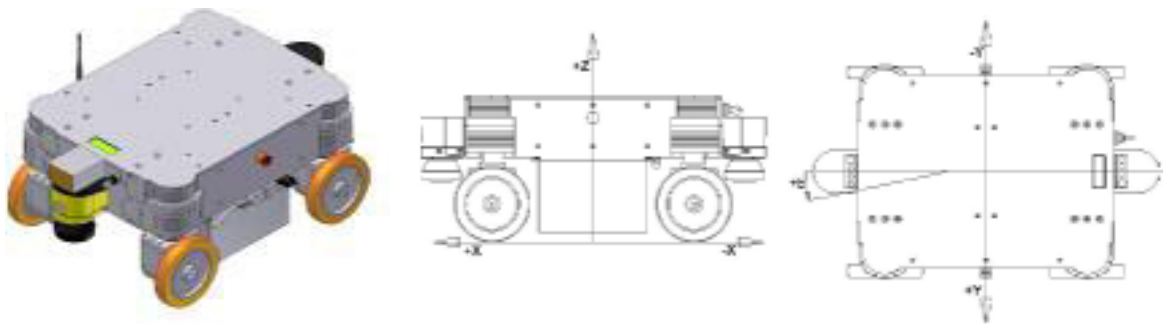


Рис. 14.8. Мобільна платформа MPO-700

Мобільна платформа MPO-700 має такі технічні характеристики:

- вантажопідйомність: 300 кг;
- розміри: 741 x 509 x 348 (LxVxH);
- вага: ~120 кг;
- швидкість переміщення: <math><1,0\text{ м/с}</math>;
- комплект батарей: 48 В / 28 А·год;
- час роботи: ~ 5 годин;
- умонтовані датчики: лазерний сканер Sick S300
- бортовий обчислювальний пристрій: можливі варіанти.

Транспортний робот МТ-400 (рис. 14.9) має встановлений роликівий транспортер, що дозволяє знімати та встановлювати вантаж з конвеєрів (рис. 14.10).

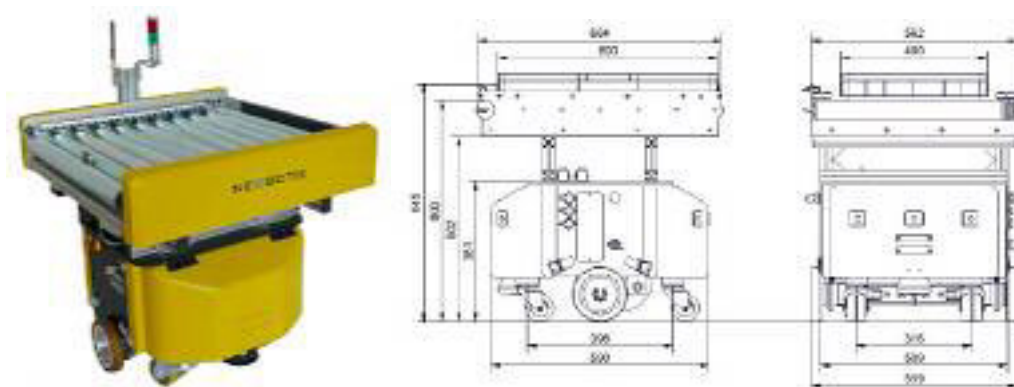


Рис. 14.9. Транспортний робот МТ-400



Рис. 14.10. Встановлення та знімання вантажу з конвеєрів.

Транспортний робот МТ-400 має такі технічні характеристики:

- вантажопідйомність: до 150 кг;
- розміри: 590 x 559 x 600 (LxVxH);
- вага: ~70 кг;
- швидкість переміщення: <1,5 м/с;
- комплект батарей: 24 В / 50 А·год;

- час роботи: ~ 10 годин;
- вмонтовані датчики: лазерний сканер Sick S300, 6 ультразвукових датчиків (за потребою);
- бортовий обчислювальний пристрій: Industrie-Embedded-PC, Mini-ITX-System (за потребою).

Серед транспортних мобільних роботів фірми Kuka є транспортні роботи, що призначені для переміщення великих вантажів. Один з таких транспортних роботів KUKA-omniMove, наведений на рис. 14.11.

Цей робот може перевозити вантажі від 3 т до 45 т, що встановлюються на платформу довжиною до 7,2 м та шириною до 2,2 м.

Робот може мати до 20 Mecanum-колес, що дозволяє здійснювати все спрямоване переміщення зі швидкістю до 5 км/год.



Рис. 14.11. Транспортний робот KUKA-omniMove

Система навігації на основі лазерних сканерів забезпечує точність позиціонування ± 5 мм.

Додаткові засоби оптичного маршрутослідкування дають можливість підвищити точність позиціонування до ± 1 мм.

За потребою транспортні роботи можуть з'єднуватись, створюючи єдину платформу (рис. 14.12), а також здійснювати сумісне переміщення окремих робіт (рис. 14.13) для переміщення вантажів з великою довжиною. Встановлення вантажу здійснюється шляхом підйому платформи.



Рис. 14.12. З'єднання транспортних роботів для створювання єдиної платформи



Рис. 14.13. Сумісне переміщення транспортних роботів для вантажів з великою довжиною.

Для переміщення невеликих вантажів з встановленим маніпулятором для навантаження та розвантаження використовується мобільний робот KUKA Mobile Robotik iiwa (KMR iiwa) (рис. 14.14).

Цей робот призначений для переміщення невеликих вантажів, що знаходяться в контейнерах. Маніпулятор здійснює навантаження та розвантаження, встановлюючи контейнери з стелажів на платформу робота з наступним переміщенням робота та встановленням вантажу у визначену позицію.



Рис. 14.14. Мобільний робот KUKA Mobile Robotik iiwa (KMR iiwa)

На робот може встановлюватися додаткове обладнання, наприклад, на рис 14.15 показаний додатковий пристрій для зчитування штрих-коду.



Рис. 14.14. Переміщення вантажу у контейнерах з ідентифікацією шляхом зчитування штрих-коду

Для переміщення великої кількості вантажів використовують причіпні візки, як, наприклад, це здійснює фірма dpm - Daum + Partner Maschinenbau GmbH (рис. 14.15).

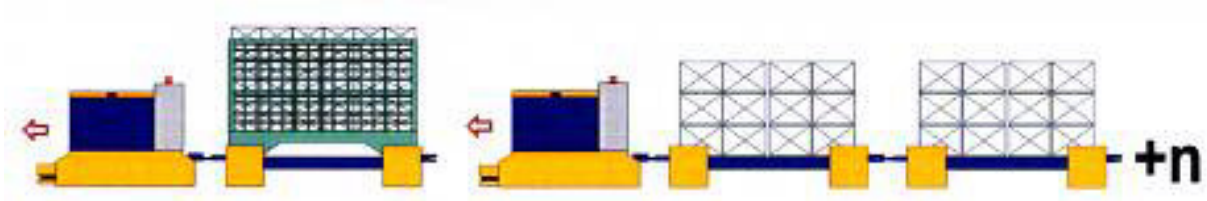


Рис. 14.15. Транспортні роботи з причіпними візками

Для переміщення вантажів, що встановлені на палети, використовують так звані подвійні полози (Doppelkufensystem), які здійснюють синхронне переміщення (рис. 14.16).



Рис.14.16. Переміщення палет за допомогою подвійних полозів

Переміщення здійснюється за допомогою двох пар рульових коліс з незалежним керуванням швидкості обертання кожного колеса та керуванням куту повороту (рис. 14.17). Встановлення палети здійснюється шляхом підйому полозів завдяки обертанню коліс на місці (як це показано на рис. 14.17, б).

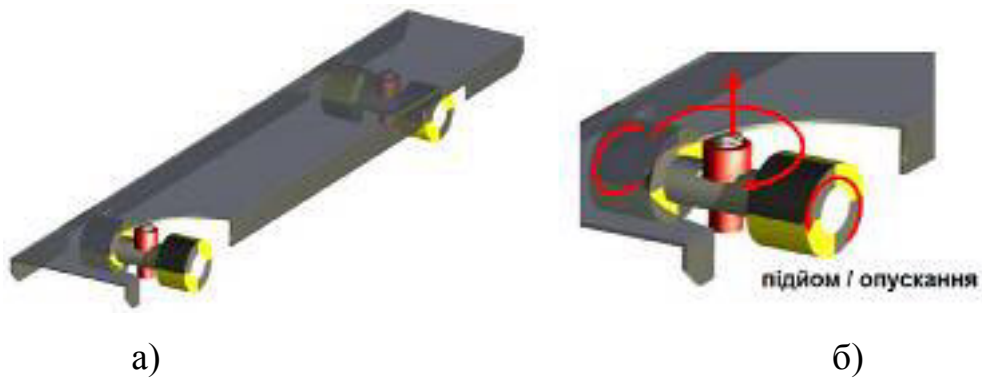


Рис. 14.17. Конструкція полозу (а) та принцип підйому/опускання (б)

На рис. 14.18 наведені можливі варіанти переміщення полозів з вантажем.

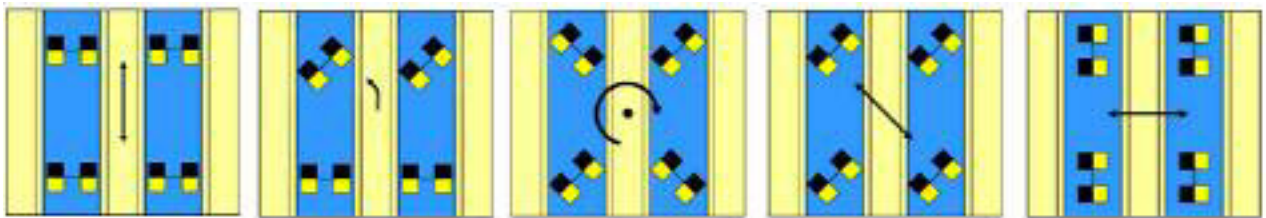


Рис. 14.18. Можливі варіанти переміщення полозів з вантажем

Для переміщення вантажу на палетах найчастіше використовують автоматичні виличні навантажувачі. Так, наприклад, фірма Rosla випускає досить велику кількість різних автоматичних штабелерів. Поряд з виличними навантажувачами, що наведені на рис. 14.19, є навантажувачі з затискними захоплюючими пристроями та пристроями для перенесення різних вантажів, наприклад, рулонів паперу (рис. 14.20).

Для переміщення виличні навантажувачі використовують диференційний привод або привод типу трицикл.



Рис. 14.19. Автоматичні штабелери фірми Rosla



Рис. 14.20. Навантажувачі з захоплюючими пристроями для перенесення різних вантажів

Мобільні роботи Rosla використовують різні засоби навігації (рис. 14.21), наприклад, лазерну навігацію (а), навігацію з магнітними помітками (б), навігацію з індуктивним датчиком та дротом з змінним струмом (в), комбіновані засоби навігації (г).



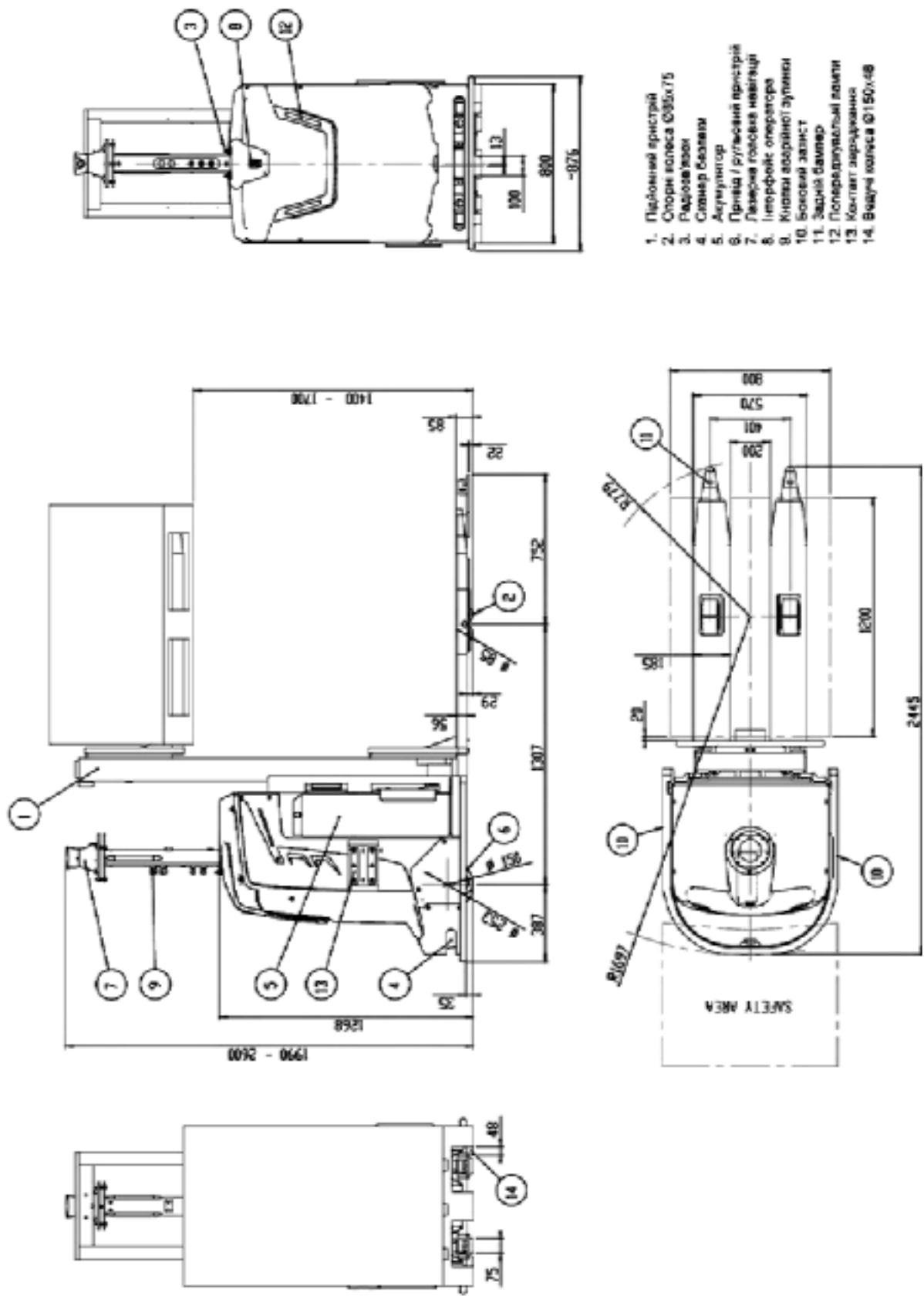


Рис. 14.22. Креслення автоматичного шгабелера фірми Rosla

Контрольні запитання

1. Як можна встановити траєкторію переміщення мобільного робота?
2. Як можна поділити транспортні роботи за функціональною ознакою?
3. Наведіть приклади мобільних роботів з примусовим переміщенням.
4. Чим відрізняється система супутникових стелажних складів?
5. Наведіть приклади мобільних роботів з довільною траєкторією переміщення.
6. Які засоби використовують для встановлення вантажу на транспортний робот?
7. Чим відрізняються транспортні роботи фірми Кука для переміщення великих вантажів?
8. Як здійснюється переміщення вантажів за допомогою подвійних полозів?
9. Які типи транспортних роботів використовує фірма Rosca?
10. Які засоби навігації використовують транспортні роботи фірми Rosca?

Глава 15. Мобільні роботи для використання у виробничих системах

15.1. Типи мобільних роботів для використання у виробничих системах

У складі виробничих систем використовують маніпуляційні та технологічні мобільні роботи, а також транспортні роботи, що були розглянуті вище. У деяких випадках можуть використовуватись спеціальні роботи.

Маніпуляційні мобільні роботи мають маніпулятор з виконавчим пристроєм у вигляді захоплюючого пристрою або пристрою для виконання різних технологічних функцій.

Технологічні мобільні роботи мають на собі додаткове технологічне обладнання, наприклад, пристрої для фарбування, зварювання, очищенні або обробки поверхні, тощо, які встановлюються на маніпуляторі або безпосередньо на роботі.

Транспортні мобільні роботи призначені для переміщення та транспортування різних об'єктів, що використовуються під час виробництва, наприклад, для встановлення та зміни робочих інструментів, встановлення заготовок та зняття готових виробів, для переміщення об'єктів між виробничою ділянкою та складом, тощо.

Спеціальні мобільні роботи можуть виконувати функції візуального контролю, збору інформації, спостереження, тощо.

15.2. Маніпуляційні мобільні роботи

Маніпуляційні мобільні роботи мають один чи декілька маніпуляторів з виконавчими пристроями.

Фірма Kuka випускає мобільні роботи з маніпуляторами у великому діапазоні вантажопідйомності.

Так, наприклад, універсальний дослідницький мобільний робот youBot фірми Kuka з вантажопідйомністю до 20 кг має у своєму складі всеспрямовану мобільну платформу, що може переміщуватися у будь-якому напрямку завдяки

Месапит-колесам, на яку можна встановити один або два маніпулятори з 5 ступенями свободи та захоплюючий пристрій з двома пальцями (рис. 15.1).

Робот має такі технічні характеристики:

- вантажопідйомність платформи: до 20 кг;
- розміри: 580 x 380 x 140 (LxVxH);
- вага: 20 кг;
- швидкість переміщення: до 0,8 м/с;
- вантажопідйомність маніпулятора: до 0,5 кг.



Рис. 15.1. Універсальний мобільний робот фірми Kuka youBot

Додатково можна встановити скануючі лазерні датчики (Hokuyo URG-04LX-UG01) та звичайну (Microsoft Lifecam 720p) або стереоскопічну (ASUS Xtion PRO LIVE) камеру (рис. 15.2).



Рис. 15.2. Мобільні роботи youBot з додатковими датчиками

Мобільний робот фірми youBot для використання як промисловий робот та робот для обслуговування. Він, наприклад, може виконувати такі функції:

- пошук, визначення та переміщення об'єктів;
- маркування шляхом нанесення написів;
- проведення монтажних робіт;
- обслуговування обладнання.

При цьому може бути забезпечено взаємодію маніпуляторів на одному роботі, або кількох роботів (рис. 15.3).



Рис. 15.3. Приклади використання мобільного робота youBot

Для програмування мобільного робота youBot може застосовуватись програмна середа LabVIEW за допомогою додаткових модулів LabVIEW Robotics Module. Ця програмна середа може здійснювати розробку конструкції робота, програмування робота, так і перевірку програми шляхом програмного моделювання (рис. 15.4). У складі модулів є функції для програмування датчиків, виконавчих пристроїв та інших компонент, що можуть використовуватись у мобільного робота youBot.

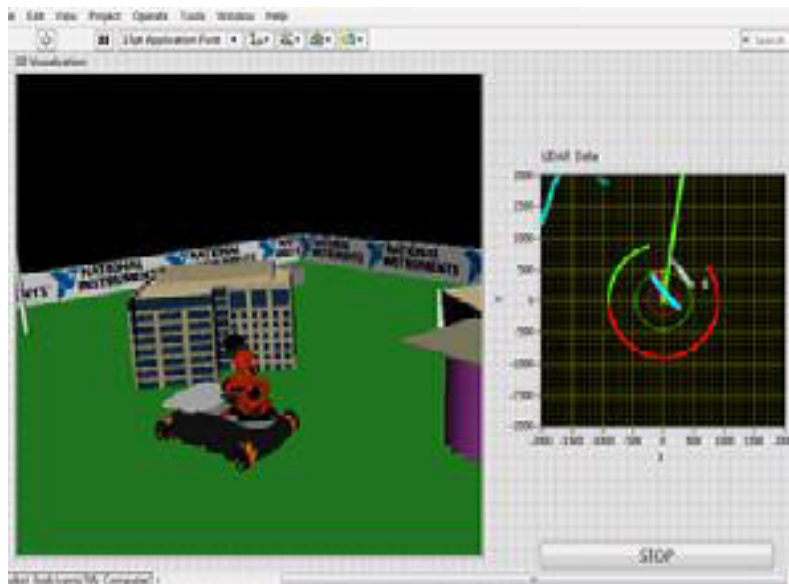


Рис. 15.4. Програмна середовище LabVIEW з додатковими модулями LabVIEW Robotics Module

Мобільний робот KUKA moiros (рис. 15.5) складається з мобільної платформи omniMove, консольного робота KR QUANTEC, системи керування KR C4, навігаційного програмного забезпечення та акумуляторних батарей, що забезпечують автономну роботу робота (рис. 15.6).



Рис. 15.5. Мобільний робот KUKA moiros



Рис. 15.6. Складові компоненти мобільного робота KUKA moiros

Мобільний робот KUKA moiros має такі технічні характеристики:

- автономне живлення складається з акумуляторних батарей ємністю 20 кВт·год, що забезпечує безперервну роботу більше 8 годин;
- вертикальна робоча зона перевищує 5 м;
- маніпулятор може переносити об'єкти вагою до 120 кг;
- автономна навігація забезпечує точність позиціонування до ± 5 мм;
- відносно положення об'єктів здійснюється за допомогою лазерного вимірювача відстані;
- оточення визначає лазерний сканер;
- для зв'язку мобільного робота з системою керування та іншими об'єктами використовується промислова мережа W-LAN.

Цей робот можна використовувати для обробки та обслуговування досить великих об'єктів.

На рис. 15.7 наведений приклад використання мобільного робота KUKA moiros для обробки поверхні.

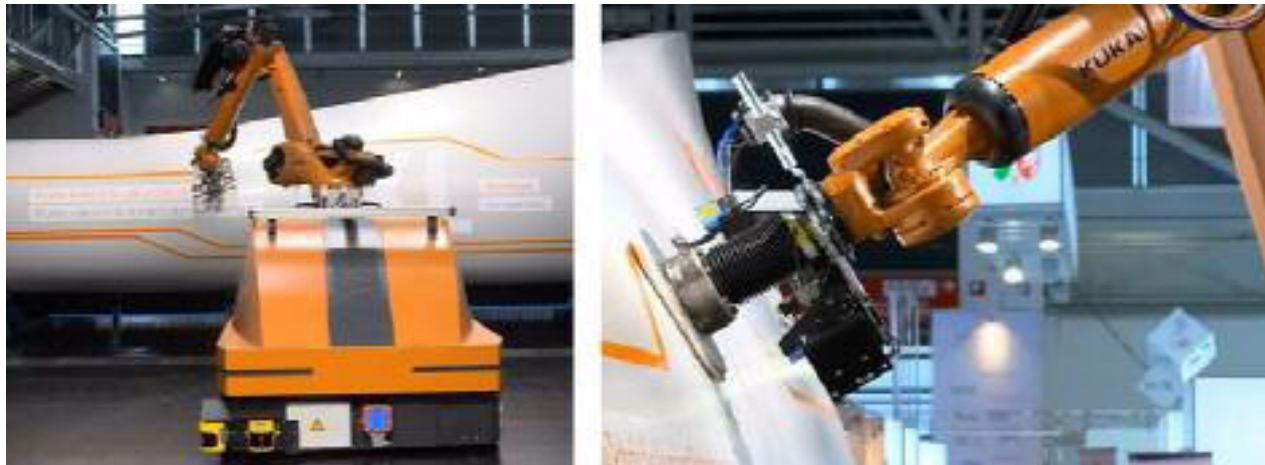


Рис. 15.7. Використання мобільного робота KUKA moiros для обробки поверхні

На рис. 15.8 наведений приклад створення тренувального стенда для пілотів гелікоптера на основі мобільного робота KUKA moiros.



Рис. 15.8. Тренувальний стенд для пілотів гелікоптера

Мобільні роботи фірми Robotnik призначені для внутрішнього та зовнішнього використання, тому мають колісні та гусеничні засоби переміщення.

Вони складаються з досить великої кількості різних платформ та маніпуляторів. На рис. 15.9 наведений мобільний робот RB1, призначений для роботи у приміщенні. Він має такі технічні характеристики:

- висота 1,0 – 1,4 м;
- діаметр візка 0,5 м;
- швидкість 1,5 м/с;
- вага 60 кг;
- вантажопідйомність маніпулятора до 2,6 кг;
- кількість ступенів свободи маніпулятора 6;
- радіус дії маніпулятора до 0,9 м;

- батарея акумуляторів 15 А·год забезпечує безперервну роботу на

протязі 7 годин.



Рис. 15.9. Мобільний робот RB1

Такі ж можливості має мобільний робот Fetch Robot, наведений на рис.

15.10. Він має такі технічні характеристики:

- висота 1,096 – 1,491 м у залежності від висоти підйому;
- діаметр візка 508 мм;
- швидкість 1,0 м/с;
- вага 113 кг;
- вантажопідйомність маніпулятора до 6 кг;
- кількість ступенів свободи маніпулятора 7;

- довжина руки 0,94 м.

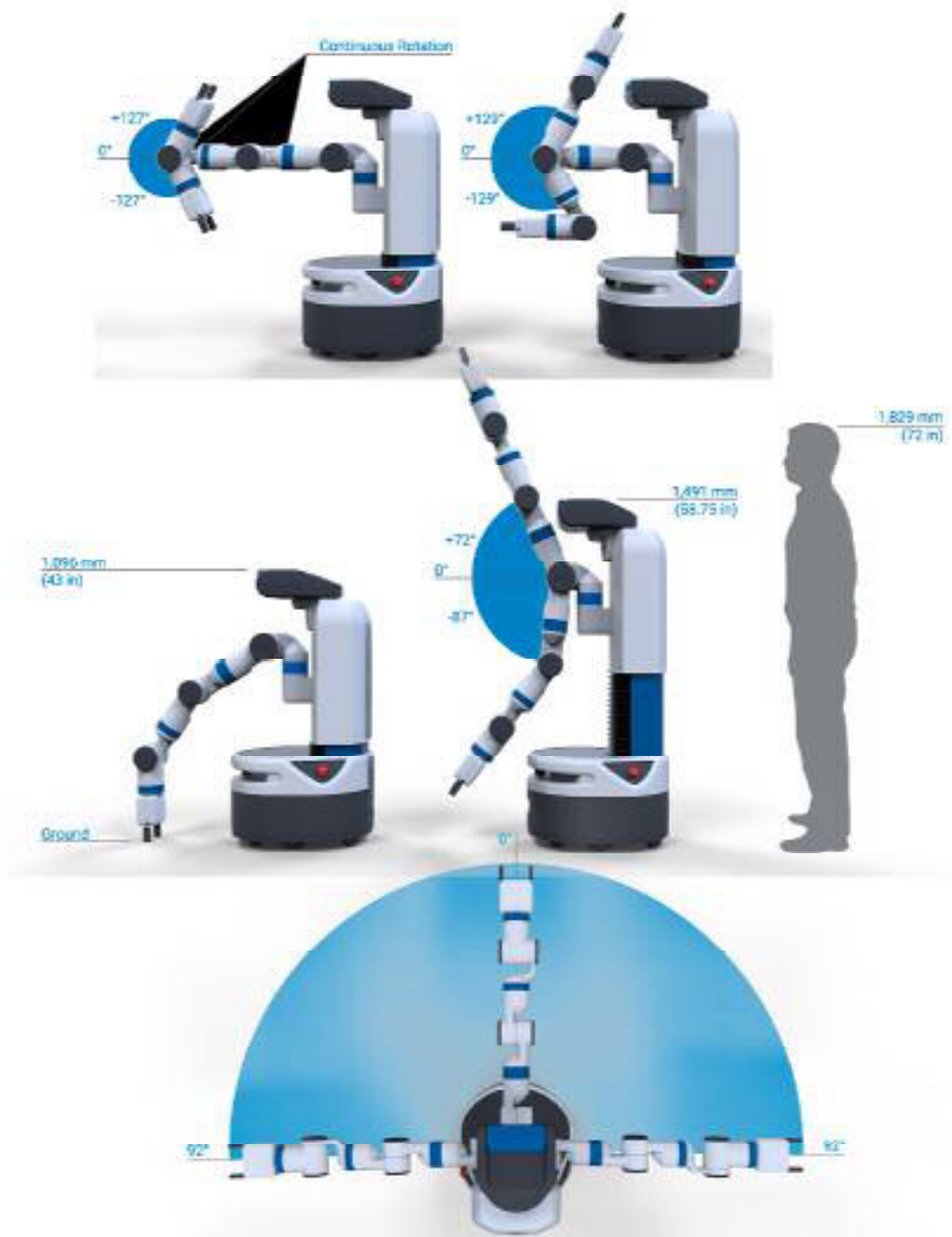
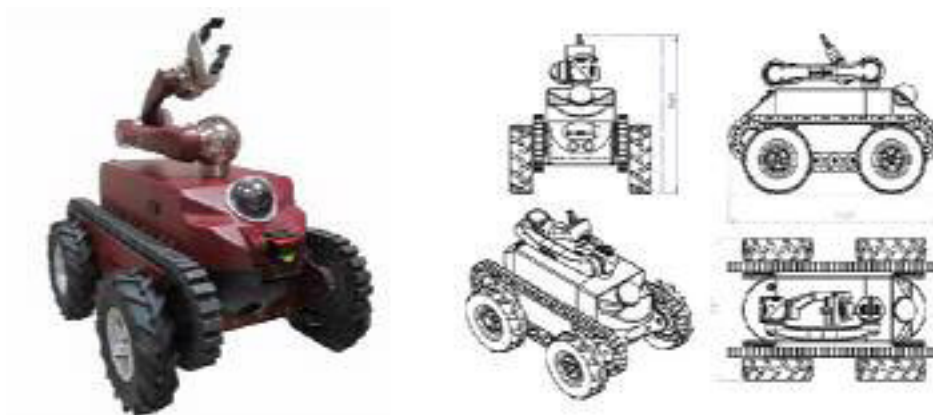


Рис. 15.10. Мобільний робот Fetch Robot

Мобільні роботи G-Ball, G-WAM створені на основі мобільної платформи Guardian з колісним та гусеничним засобами переміщення (рис. 15.11), а мобільний робот X-WAM на основі всепрямованої мобільної платформи Summit X (рис. 15.12). Це дає можливість використовувати роботи як у приміщенні так і зовні.



а)



б)

Рис. 15.11. Мобільні роботи G-Ball (а) та G-WAM (б)



Рис. 15.12. Мобільний робот X-WAM

Для програмування та створення моделей роботів фірми Robotnik використовується програмна середа ROS (рис. 15.13).

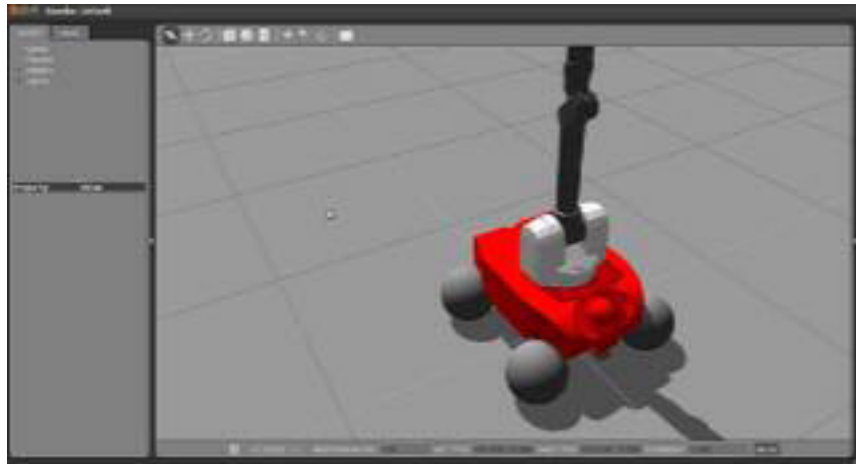


Рис. 15.13. Програмна середовище ROS

Далі наведені мобільні роботи PR2 (mobile PR2 dual-arm robot) та PISA WORKERBOT з двома маніпуляторами, що дає можливість використовувати його для виконання досить складних технологічних операцій (рис. 15.14).



Рис. 15.14. Мобільні роботи з двома маніпуляторами, mobile PR2 dual-arm robot (а) та PISA WORKERBOT (б)

15.3. Технологічні мобільні роботи

Для виконання різних технологічних функцій можна використовувати транспортні та маніпуляційні роботи, якщо вони використовуються для переміщення різних об'єктів.

У разі виконання інших технологічних функцій, як наприклад, обробка поверхні, зварювання, фарбування, у маніпуляційних роботах замість захоплюючого пристрою встановлюють відповідні технологічні засоби. Вище був наведений приклад використання мобільного робота KUKA moiros для обробки поверхні.

Але часто треба використовувати спеціальні технологічні мобільні роботи, деякі з котрих розглянемо далі.

В наш час мобільні роботи використовують для виконання будівельних робіт. На рис. 15.15 наведений робот DXR 250 компанії Husqvarna, який був створений для знешкодження будівельних споруд.



Рис. 15.15. Будівельний робот DXR 250

Робот переміщується за допомогою гусеничного приводу та може використовувати різні інструменти, такі як відбійний молоток, ківш, кліщі. Важливою функцією є самостійне переміщення, оскільки вага робота досягає 2 т. Робот не впливає на зовнішню середу, оскільки має електричні та гідравлічні приводи.

Для проведення будівельних робіт використовуються також самохідні крани, як наприклад, самохідний кран Grove RT (рис. 15.16).



Рис. 15.16. Самохідний кран Grove RT

До технологічних роботів можна віднести так звані реабілітаційні роботи, призначені для відновлення трубопроводів. На рис. 15.17 наведені реабілітаційні роботи RapidView фірми ProKASRO. Ці роботи призначені для проведення фрезерувальних робіт у трубопроводах.



Рис. 15.17. Роботи для проведення фрезерувальних робіт у трубопроводах

Ці роботи входять до комплекту реабілітаційних роботів, призначених для знаходження та виправлення пошкоджень в трубопроводах.

Мобільні роботи використовують для спостереження за допомогою відеокамер. Приклад такого робота "Трал Патруль" наведений на рис. 15.18.



Рис. 15.18. Мобільний робот для спостереження "Трал Патруль"

Контрольні запитання

1. Які типи мобільних роботів використовують у виробничих системах?
2. Чим відрізняються маніпуляційні мобільні роботи?
3. Які особливості мають мобільні роботи youBot фірми Kuka?
4. Наведіть приклади використання мобільного робота youBot.
5. З яких компонент складається мобільний робот KUKA moiros?
6. Наведіть приклади використання мобільного робота KUKA moiros.
7. Які особливості мають мобільні роботи фірми Robotnik?
8. Наведіть приклади використання мобільних роботів фірми Robotnik.
9. Чим відрізняються технологічні мобільні роботи?
10. Наведіть приклади технологічних мобільних роботів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Siegwart R., Nourbakhsh I. Introduction to Autonomous Mobile Robots. A Bradford Book. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England 2004, 336 p.
2. Ловин Д. Создаем робота-андроида своими руками//ДМК-пресс, Москва, 2007
3. Барсуков А. П. Компоненты и решения для создания роботов и робототехнических систем. ВЫПУСК I I. Издательский дом ДМК_пресс, 2005, Барсуков А. П., 2005
4. Жмылевская М.Л., Гришин Б.В. Мобильные и подвижные роботы, используемые в немашиностроительных отраслях: _ М., ВНИИ-ТЕМР, 1991 – 280 с. (электронна версія)
5. Управляющие системы и автоматика /Шмид Д., Бауман А., Кауфман Х., Зиппель Б. Москва: Техносфера, 2007. – 584 с.: ил. (1 экз, кафедра)
6. Егоров В.А. Транспортно-накопительные системы для ГПС/В. В.А. Егоров, В.Д.Лузанов, С.М.Щербаков. -: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 293 с.: ил.
7. Робототехнические системы и комплексы: Учебн. пособие для вузов/ И.И.Мачульский, В.П.Запятой, Ю.П.Майоров и др.: Под ред. И.И.Мачульского. М.: Транспорт. 1999. 446 с.
8. Воротников С.А. Информационные устройства робототехнических систем: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. – 384 с.; ил.
9. Белиовская Л.Г., Белиовский А.Е. Програмуємо мікроконтролер NXT в LabVIEW. – М.: ДМК Пресс; 2010. – 280 с.: ил. + DVD. (1 экз, кафедра)
10. Мачульский И.И. Комплексная механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных работ. – Маршрут 2003
11. Mobile Robots – Current Trends, Edited by Zoran Gacovski p. cm. ISBN 978-953-307-716-1 Published by InTech, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia,

First published September, 2011, p. 414, Printed in Croatia, A free online edition of this book is available at www.intechopen.com

12. Batlle J. A., Font J. M., Escoda J. Dynamic positioning of a mobile robot using a laser-based goniometer, IEEE IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles, Lisboa 2004

13. Shimshoni, I. A fast linear method for mobile robot localization from landmark bearings. In: A Proceedings volume from the IFAC Workshop on Mobile Robot Technology (J. Sasiadek. (Ed)), — 2001. — pp. 119 – 124. Pergamon, Oxford.

14. Антонов А. Описание движения мобильного робота. // 23 июня, 2014. Робототехника. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://robotosha.ru/robotics/robot-motion.html>

15. Borenstein J., Everett H.R., Feng L., Wehe D. Mobile Robot Positioning. *Sensors and Techniques Invited paper for the Journal of Robotic Systems, Special Issue on Mobile Robots.* (1997) Vol. 14 No. 4, pp. 231 – 249

16. Mandow, A., Mart'ínez, J. L., Morales, J., Blanco, J.-L., Garc'ıa-Cerezo, A. Gonzalez, J. Experimental kinematics for wheeled skid-steer mobile robots, (2007) *Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems*, San Diego, CA, pp. 1222–1227.

17. Valk, L. The LEGO Mindstorms NXT 2.0 discovery book: a beginner's guide to building and programming robots. (2010) p. cm. Includes index. ISBN-13: 978-1-59327-211-1

18. Кабанов А.А. Моделирование и управление движением гусеничного мобильного робота. / Кабанов А.А.// УТЭООС – 2012. – Санкт-Петербург, 9-11 октября 2012 г. с 740-743.

19. Мартыненко Ю. Г. Управление движением мобильных колёсных роботов. / Мартыненко Ю. Г. // *Фундаментальная и прикладная математика*, – 2005. – том 11. – № 8. – с. 29—80.

20. Wong J.Y. (Jo Yung). Theory of ground vehicles: 3rd ed. / J.Y. Wong. – NY.: John Wiley&Son Inc., 2001. – 528 p.

21. Мирошниченко, А.Н. Основы теории автомобиля и трактора: учебное пособие / А.Н. Мирошниченко. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 490 с.

22. Павловский В.Е. О разработках шагающих машин // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2013. № 101. 32 с.
URL:<http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013-101>

23. Луцкий В. А. Адаптивное передвижение шестиногого шагающего робота // В кн.: Список трудов научно-практической конференции студентов . аспирантов и молодых специалистов МИЭМ НИУ ВШЭ М., Отдел оперативной полиграфии МИЭМ НИУ ВШЭ 2013

24. Луцкий В. А. Исследование адаптивных алгоритмов передвижения шестиногого шагающего робота // В кн.: Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сб. научных трудов VII-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 20-22 мая 2013) . Т. 2. М.: Физматлит, 2013. С. 799-809.

25. Котельников Ю. П. Формирование задающих воздействий, обеспечивающих движение двуногого шагающего робота в сагиттальной плоскости. /Алексеев Р. А., Котельников Ю. П. //Изв. ВУЗов. Приборостроение. - 2009. -Т. 52, - № 11 - с.56-61.

26. Ковальчук А. К., Кулаков Д. Б., Семёнов С. Е. Управление движением двуногого шагающего робота по программной траектории. / Ковальчук А. К., Кулаков Д. Б., Семёнов С. Е. // Наука и образование. - Электронное научно-техническое издание. - Электронный журнал, - №5 - май 2011 г.
<http://technomag.edu.ru>

27. Каргинов Л.А. Пример синтеза управляющих воздействий для шестиногого шагающего робота. // "Молодежный научно-технический

сборник". - Электронный журнал, – №9 – сентябрь 2014. ФС77-51038, ISSN 2307-0609. <http://sntbul.bmstu.ru/doc/731009.html>

28. Лапшин В. В. Механика и управление движением шагающих машин / В. В. Лапшин. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. — 199, [1] с. : ил.

29. Девятериков Е.А. Визуальный одометр / Девятериков Е.А., Михайлов Б.Б. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Приборостроение”. 2012. с 68-82

30. Ванройе Н.К. Анализ механики поворота шасси мобильного колесного робота в целях организации его управления // Сборник научных трудов. 16-ая молодежная научно-техническая конференция "Научноекие технологии и интеллектуальные системы 2014". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 23-24 апреля 2014 г. – с.303-312

31. Лысенко О. Использование лазерных сканеров SICK AG для навигации мобильных роботов. / Компоненты и технологии. - № 1 '2008. с. 56-59

32. Гамазов Н., Коровкин В. Система управления мобильного робототехнического комплекса МРК-47БТ военного назначения. / СТА 1/2014, с. 44-58

33. Стрельцов. О.В., Даниленко А.О. Методы определения расстояния до препятствия при движении мобильного робота. / Праці Одеського політехнічного університету, 2013. Вип. 2(41). с .238-241

34. Buchstab A. KUKA Mobile Industrierobotik. Robotation Academy. KUKA Roboter GmbH. 07.12.2013