

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

ДОПУСТИТИ ДО
ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

_____ Мельник Ю. В.
“ _____ ” _____ 2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ “БАКАЛАВР”

Тема: Система траекторного позиціонування робота-маніпулятора

Виконавець: Семистрок Микола Миколайович

Керівник: Безкоровайний Юрій Миколайович

Нормоконтролер: Безкоровайний Юрій Миколайович

Київ 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації електроніки та телекомунікацій

Кафедра аерокосмічних систем управління

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Мельник Ю. В.
“ _____ ” _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Семестрока Миколи Миколайовича

1. Тема кваліфікаційної роботи Система траєкторного позиціювання робота-маніпулятора

затверджена наказом ректора від 01.04.2024 р. № 511/ст

2. Термін виконання роботи: з 13.04.2024 по 16.06.2024

3. Вихідні дані до роботи: Кінематична схема робота-маніпулятора з чотирма ступенями свободи на гусеничній рухливій базі

4. Зміст пояснювальної записки: Задача прямої та зворотної кінематики у робототехніці, Метод Денавіта-Хартенберга, Рішення зворотної кінематики в мобільних платформах, опис конструкції та кінематики мобільного робота-маніпулятора, Система траєкторного позиціювання робота-маніпулятора

5. Перелік ілюстративного матеріалу презентації: модель робота сапера, типи роботів, маніпулятори, схема двосегментного робота, зображення зворотної кінематики, робочий простір зворотної кінематики

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Затвердження теми кваліфікаційної роботи	13.04.2024	виконано
2.	Вступ. Перший розділ, розгляд понять	26.04.2024	виконано
3.	Огляд Задач прямої та зворотної кінематики	05.05.2024	виконано
4.	Формування конструкції та кінематики робота.	10.05.2024	виконано
5.	Вирішення основної задачі кінематики робота.	16.05.2024	виконано
6.	Висновки	24.05.2024	виконано
7.	Підготовка презентації та доповіді	26.05.2024	виконано

7. Дата видачі завдання: 13.04.2024 р

Керівник кваліфікаційної роботи: _____ Безкоровайний Юрій Миколайович

Завдання прийняв до виконання: _____ Семистрок Микола Миколайович

РЕФЕРАТ

Текстова частина роботи: 46 стор., 18 рис., 2 табл.

Об'єкт дослідження – робот маніпулятор з чотирма ступенями свободи на гусеничній базі.

Предмет дослідження – моделі кінематики робота маніпулятора.

Мета роботи – дослідження принципів роботи прямої кінематики та зворотної кінематики.

Методи дослідження – аналіз інформації з джерел, дослідження наукових публікацій, моделювання математичної моделі рухів робота.

Мета кваліфікаційної роботи полягає в маніпулюванні об'єктом, який розміщений у своїй власній системі координат. Розгляд алгоритмів розрахунку необхідних рухів для захоплення та переміщення об'єкта роборукою на рухомій базі.

РОБОТ, РОБОТОТЕХНІКА, ПРЯМА КІНЕМАТИКА, ЗВОРОТНА КІНЕМАТИКА, МАНІПУЛЯТОР.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. Введення в поняття.....	7
1.1. Загальне поняття роботів, їх застосування, опис та можливості.....	7
1.2. Взаємодія роботів з оточенням.....	9
1.3. “Покоління” роботів.....	11
1.4. Інтернет речей.....	16
1.5. Виклики та їх вирішення.....	18
РОЗДІЛ 2. Задача прямої та зворотної кінематики у робототехніці.....	20
2.1. Пряма кінематика.....	20
2.2. Кінематичні рівняння для прямої кінематики.....	21
2.3. Метод Денавіта-Хартенберга.....	22
2.4. Зворотна кінематика.....	27
2.5. Методи чисельного розв'язання.....	32
2.6. Рішення зворотної кінематики в мобільних платформах.....	38
2.7. Зворотна техніка Якобіяна.....	40
РОЗДІЛ 3. Опис задачі, конструкції та кінематики робота.....	44
3.1. Постановка завдання робота.....	44
3.2. Опис робота.....	45
3.3. Пряма кінематика.....	46
3.4. Зворотна кінематика.....	49
3.5. Поєднання зворотної та прямої кінематики.....	51
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53

						Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Думки про створення “штучних” слуг, з перевагами людини і без недоліків живих організмів, прослідковуються ще з античності, прикладом є міф про Талоса – бронзового автомата створеного богами для захисту острова Крит. Хоча робототехніка, є досить молодою науковою галуззю, так як основні засади були сформовані у середині 20 ст. І вже на етапі зародження до неї було прикуто увагу дослідників, спеціалістів та конструкторів різноманітних галузей промислової діяльності. Такий інтерес обумовлений, насамперед, з метою можливості здешевіння виробництва, а також, звільнення людини від праці у небезпечних умовах.

Станом на сьогодні основною рушійною силою автоматизації виробництва є промислові роботи. Розробка та керування ними, з подальшим впровадженням на підприємствах, піднімає науково-технічний рівень задач на нову сходинку прогресу, перерозподіляючи обов'язки між працівником і роботом, підвищуючи, за рахунок такої взаємодії, продуктивність.

Найбільш важливою задачею в робототехніці є розробка програмного забезпечення робота, без якого, робот не представляє із себе нічого вартісного, так як без програми він не виконує своїх функцій. Програмування руху, в основному, здійснюється по заданим допустимим координатам по яким програма, може взаємодіяти, приводячи робота до відповідних рухів, якщо це простий n-ступінчастий робот маніпулятор.

Виробництво, медицина, транспорт, сільське господарство і навіть побут. Складно уявити сфери діяльності де роботи не можуть нам полегшити життя, а іноді і повністю замінити присутність людини.

						Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Введення в поняття

1.1. Загальне поняття роботів, їх застосування, опис та можливості

Робот – автоматичний пристрій, запрограмований на виконання певної дії або серії дій. Здатні виконувати монотонну роботу, ефективність якої не знижується з часом. Також здатний виконувати роботу, непосильну людині, або в умовах небезпечних для людини, наприклад в умовах дослідження космосу або розмінування мінних полів роботи справляються в рази ефективніше людей завдяки більшій стійкості до агресивного середовища та пошкоджень.

Робот керується зовнішнім пристроєм керування або керування може бути вбудованим у нього. Роботи сконструйовані так, щоб нагадувати людську форму, але зазвичай - це машини для виконання завдань, розроблені з наголосом на функціональності, а не на зовнішній естетиці. Роботи варіюються від гуманоїдів до промислових, роботів із колективним програмуванням (великі масиви роботів), дронів БПЛА, медичних операційних, роботів собак.

Галузь техніки, яка займається розробкою, конструюванням та застосуванням роботів, а також комп'ютерних систем для їх керування - це робототехніка .

Робототехніка - це вивчення проектування, конструювання та експлуатації роботів. Основною метою є розробка машин, які допомагають людям, або замінюють людей на однотипних повторюваних “нудних” роботах, такими як транспортування, складання, прибирання, моніторинг. Робототехніка по суті являє собою міждисциплінарну галузь, яка поєднує інженерію, інформатику, електроніку, мехатроніку та штучний інтелект.

		АКСУ			Пояснювальна записка			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Семистрок М.М.			Введення в поняття	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірив		Безкоровайний					7	53
Н-контр.		Безкоровайний				№ 151-403-СУ		
Зав.каф.		Мельник Ю.В.						

Існує велика кількість різних типів роботів, які використовуються в різних середовищах і для різних цілей. Не звертаючи увагу на різноманітність у застосуванні та формі, усі вони мають три основні аспекти конструкції:

- Механічна конструкція: рама або форма, призначена для виконання певного завдання. Механічний аспект здебільшого рішення творця для виконання поставленого завдання: "Form follows function".

- Наявність електричних компонентів, які живлять і керують механізмами. Потужність надходить від акумулятора(або інших пристроїв) по колу(дротах).

- Наявність програмного забезпечення. Програма – це те, як робот взаємодіє зі світом (коли і як що робить), це основна суть роботи, він може мати чудову механічну та електричну конструкцію, але якщо його програма погано структурована, його продуктивність буде низькою або її взагалі не буде.

Існує три різних типи робо-програм:

- Дистанційне керування - робот вже має набір команд, які він виконуватиме лише коли отримає сигнал від джерела керування.
- Штучний інтелект - робот самостійно взаємодіє із середовищем без джерела контролю застосовуючи, також, попередні програми.
- Гібрид - форма програмування, яка включає в себе функції штучного інтелекту та дистанційного керування.

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Взаємодія роботів з оточенням

Взаємодіяти з оточуючим середовищем, робот може завдяки своїм кінцівкам(маніпуляторам), які можуть бути розташовані в залежності від потреб, задач, чи “примхи” конструктора.

Маніпулятор - механізм, призначений для виконання функцій, аналогічних функціям руки людини по переміщенню об'єктів в просторі. Роботам потрібно оперувати предметами або оточуючим середовищем, тому функціональний кінець руки робота, призначений для здійснення дії, називають кінцевими ефекторами, тоді як інші частини (плечі та суглоби) називаються маніпулятором. У деяких випадках до складу робота можуть входити два, або більше число, маніпуляторів

Механічні захвати (рис. 1.1) - найпоширеніший тип кінцевих ефекторів. Являє собою клешню з двох пальців(найпростіший), які можна відкривати та закривати, щоб брати та відпускати предмети відповідно.



Рис. 1.2.1. Приклад механічного захвату

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Присмоктувачі (рис. 1.2.2) – ефектори що присмоктуються до об’єктів, можуть утримувати дуже великі навантаження при умові, що поверхня зчеплення достатньо гладка, для забезпечення всмоктування.



Рис. 1.2.2. Маніпулятор присмоктувач

Ефектори загального призначення (рис. 1.2.3) - людиноподібні руки.



Рис. 1.2.3. Приклад Роборуки

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також існує цілий ряд кінцевих ефекторів призначених для конкретних спеціалізованих робіт, наприклад зварювальний прилад для роботи з металами.

Робот приводиться до руху за рахунок того чи іншого виконавчого механізму, котрий в свою чергу може бути або певною сукупністю підмеханізмів різного типу або одним цілим

Виконавчі механізми - частини робота, які перетворюють енергію в інший вид енергії (хімічну в механічну). Найпопулярнішим є електродвигун: Електродвигуни - переважна більшість роботів використовує електродвигуни, в мобільних роботах двигуни постійного струму, в промислових роботах двигуни змінного струму. Двигуни часто застосовуються в системах, а формою руху є обертання.

Лінійні приводи - працюють від стисненого повітря (пневматика) або масла (гідравліка). Лінійні приводи іноді можуть працювати від електрики або механічно.

Повітряні м'язи - пневматичні штучні "м'язи", спеціальні трубки, які розширюються, коли всередину запускають повітря.

Еластичні нанотрубки - підвид штучних м'язів зроблений з вуглецевих трубок

1.3. "Покоління" роботів

Робототехніка є важливою складовою багатьох сучасних виробничих середовищ. Оскільки виробництва все більше використовують роботів. Кількість робочих місць, пов'язаних з робототехнікою, постійно зростає. Використання роботів у промисловості підвищило продуктивність і заощадило витрати.

Промислові роботи дозволили провести процес автоматизації виробництва, при якому функції управління та контролю, передаються приладам і автоматичним пристроям. В даний момент у робототехнічній літературі прийнято поділяти роботів на три покоління.

						Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перше покоління - роботи з жорстким програмним керуванням, також промислові роботи (рис. 1.3.1), які являють собою автоматизовані пристрої, оснащені одним-кількома маніпуляторами.

Рух маніпулятора такого робота здійснюється за кількома керованим координатам із заданою програмованою швидкістю і необхідною точністю. На кінці руки монтується робочий орган. Переміщення якого відбувається в межах зони обслуговування робота.

Найважливішою відмінною рисою промислових роботів те, що вони не мають датчиків зворотного зв'язку і не реагують на зміни зовнішнього середовища, так як його робоче місце та оточення зазвичай незмінне, а сам робот на нерухомій базі. Цей факт обмежує область застосування промислових роботів.

Роботи першого покоління призначені для виконання заздалегідь запрограмованої послідовності технологічних операцій. Керують такими роботами по жорсткій програмі, розробленою операторами(люди). При переході на інші операції потребують перепрограмування.

Перші роботи з'явилися в промисловості в шестидесяті-семидесяті роки. А простота їхнього перепрограмування(в порівнянні з іншими) дозволяє використовувати їх дотепер в деяких нескладних процесах – преси, штампи, верстати, прибори обслуговування конвеєрів. Проте функціональні можливості обмежені недосконалістю системи програмного керування, що забезпечує реалізацію лише жорсткої програми, заздалегідь закладеної в пам'ять.

Здатність до сприйняття навколишнього середовища в програмних роботів відсутня. Тому успішне функціонування таких роботів, для сьогодення, потребує розробки додаткових прилад і оснащення, по вартості іноді перевищуючих вартість самого робота.

						Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.3.1. Промисловий робот першого покоління

Друге покоління (рис. 1.3.2) - адаптивні роботи, тобто роботи, керовані пристроєм адаптивного управління. Більш досконалі роботи та можуть реагувати на зміни зовнішнього середовища, так як оснащені датчиками зворотного зв'язку.

Ця особливість і є головною, що відрізняє адаптивні роботи від роботів першого покоління. Можливість корегувати програму під зміни зовнішнього середовища надає істотно розширену сферу застосування цих роботів, в порівнянні з попередниками. Також за допомогою ЕОМ, сигнали зовнішнього середовища і внутрішніх зв'язків, генерують управління виконавчими механізмами робота з урахуванням (фактичної) обстановки, що може змінюватися, тобто адаптація під ситуацію. Такий спосіб взаємодії з середовищем нагадує рефлекторні рухи. Тому така поведінка адаптивного робота має назву “рефлекторна”.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Існує засіб адаптивного керування через сенсорну систему, тобто видимі зміни. Отже, дані роботи спроможні сприймати зовнішню обстановку і адаптуватися до умов, що змінюються(деякою мірою працюють в хаосі).



Рис. 1.3.2. Адаптивний робот другого покоління з присмоктувачами від Flexiv Rizon

Третє покоління (рис. 1.3.3) - найбільш складні і досконалі, інтелектуальні роботи. Роботи зі штучним інтелектом, сильно відрізняються від попередніх наявністю рухомої бази та інтелекту.

Призначені для досліджень океану, складних кліматичних умов, інших планет, космосу. Роботи зі штучним інтелектом оснащенні потужними ЕОМ. В пам'ять робота заносяться математичні модель оточення і програма дій виробляється в процесі роботи машини на підставі середовища, отриманої інформації та мети яку треба досягти.

									Арк.
									14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Третє покоління має більш вдосконалену систему управління, що включає автоматизації дій та виконання інтелектуальних функцій (можуть “думати”).

Відмінною рисою є спроможність до накопичення досвіду з подальшим формуванням банку пам’яті (знань) і адаптації його в процесі вирішення задач. Тому роботи третього покоління спроможні формувати модель зовнішнього середовища, розпізнавати складні ситуації, аналізувати їх, функціонувати в умовах обмеженої інформації.

Наявність певної “градації” за поколіннями все ж є більш умовним позначенням, для облегшення розуміння їх властивостей та різниці між ними. Це не є чимось суворим, тому наявність роботів третього покоління не виключає наявності другого або першого.

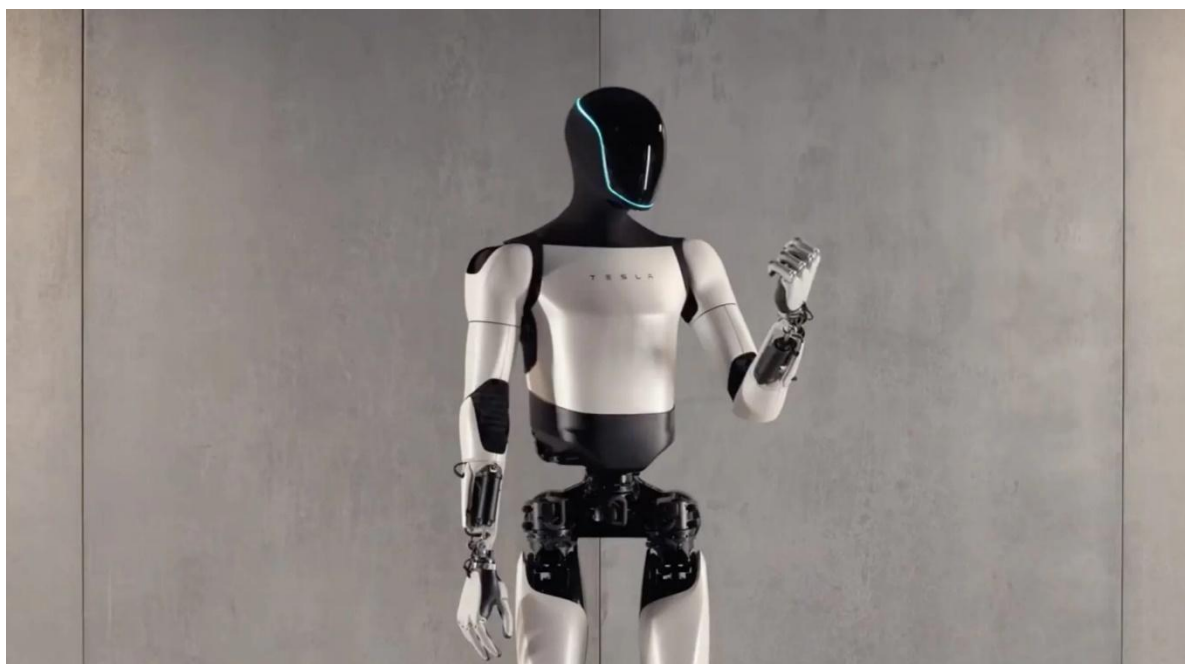


Рис. 1.3.3. Робот третього покоління Optimus від компанії Tesla

						Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4. Інтернет речей

Можна віднайти багато прикладів зручних та ефективних інтеграцій робототехніки в життя людини але найяскравішим зразком є поєднання роботів з концепцією “інтернет речей” (рис. 1.4.1).

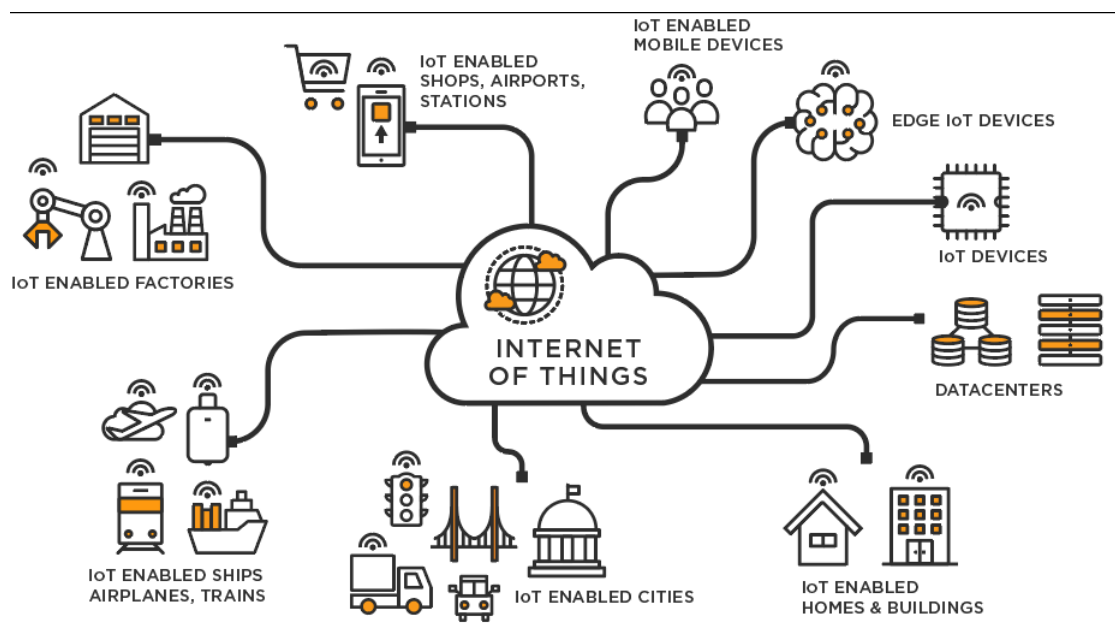


Рис. 1.4.1. Схема інтернету речей

Інтернет речей (Internet of Things) - це мережа об'єктів з вбудованими датчиками, програмним забезпеченням реагування та технологіями обміну даними з іншими пристроями та системами через інтернет(хмару) або локальну мережу.

Основними компонентами мережі інтернету речей є сенсори, які збирають дані з навколишнього середовища, та засоби зв'язку, які відправляють команди на виконання тієї чи іншої дії в залежності від характеристики середовища (вмикання/вимкнення світла, регулювання температури). Для зв'язку використовуються технології: Wi-Fi, Bluetooth, які забезпечують передачу даних між пристроями. Показовий приклад – розумний дім

При об'єднанні з робототехнікою формується Інтернет роботизованих речей (Internet of Robotic Things) (рис. 1.4.2) - це концепція об'єднання можливостей та переваг обох систем для створення інтелектуальних та автономних

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

роботизованих систем. Така система дозволяє роботам і пристроям комунікувати між собою, обмінюватися даними, отримувати доступ до хмарних сервісів і приймати рішення на основі отриманої інформації.

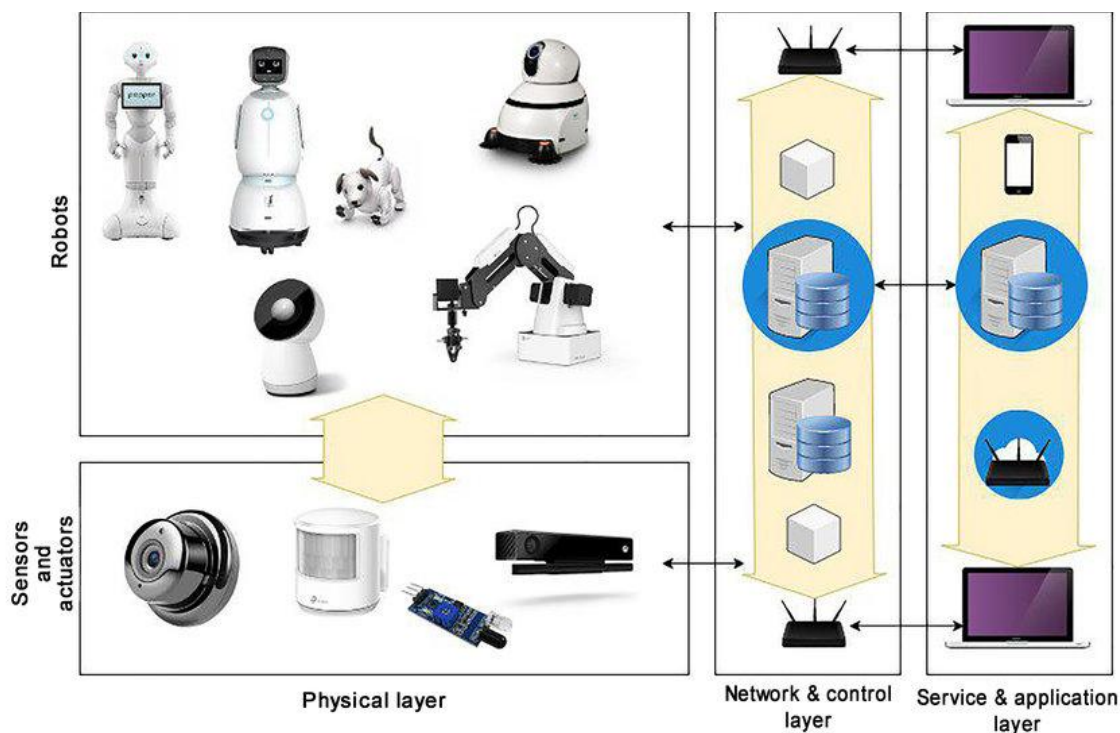


Рис. 1.4.2. Схема інтернету роботизованих речей

Основними компонентами також є сенсори та засоби зв'язку, але додається ще одна важлива складова: роботи - фізичні пристрої, які виконують різноманітні завдання. Принцип дії той самий, збирається інформація з навколишнього середовища і передаються команди на пристрої, в даному випадку роботи, на виконання більш складної взаємодії із середовищем: датчики помічають збільшення вмісту пила на поверхні – інформація відправляється в хмару – звідти приходять команди для робота пилососа – робот виконує свої функції в кімнаті де помічено пил.

Інтернет роботизованих речей застосовують для:

- Автоматизації виробничих процесів - роботи здатні спільно виконувати задачі забезпечуючи більшу ефективність і безпеку.
- Сільського господарства - використання дронів і роботів для моніторингу

посівів, збирання врожаю і обробки ґрунту.

- Медицини для проведення операцій, доставки ліків і моніторингу стану пацієнтів.
- Розумних будинків – роботи пилососи, системи безпеки, спрощення домашніх процесів.
- Транспортування - автономні транспортні засоби і дрони для доставки посилок або вантажів.

Роботи можуть виконувати завдання швидше і точніше, мають можливість самостійного прийняття рішень і виконання завдань без людського втручання, тому Інтернет роботизованих речей ефективніший в порівнянні з подібними системами.

Але разом з перевагами від обох систем Інтернет роботизованих речей запозичив недоліки такі як: загроза конфіденційності, складність інтеграції різних систем і пристроїв, етичні питання використання роботів у певних сферах.

Але попри все Інтернет роботизованих речей є важливим кроком у розвитку технологій, що дозволяє підвищити рівень автономності та ефективності в багатьох галузях, новими можливостями для інновацій та розвитку.

1.5. Виклики та їх вирішення

Великим викликом робототехніки є етичні питання:
заміна людей роботами, що може призвести до втрати робочих місць,
безпека при взаємодії з роботами,
створення законодавства для використання роботів у суспільстві,
розробка етичних стандартів для програмування роботів, для забезпечення відповідності їх дій людським цінностям і нормам,
роботи повинні гарантувати високий рівень захисту приватності і особистих даних, це також про захист від несанкціонованого доступу та використання персональних даних,
вирішення питань відповідальності за дії роботів у випадках аварій або

						Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пошкоджень, які вони можуть завдати.

Для ефективного та безпечного використання цих технологій для покращення людського життя потрібно враховувати всі нюанси.

									Арк.
									19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Розділ 2. Задача прямої та зворотної кінематики у робототехніці

2.1. Пряма кінематика

У робототехнічній кінематиці робот-маніпулятор розглядається як ланцюг із кількома ступенями свободи, який складається з твердих ланок, з'єднаних послідовно, тобто кінець однієї ланки – початок наступної

Кінематика робота - це взаємозв'язок між розмірами, злученнями ланцюгів, положенням, швидкістю та прискоренням кожної з ланок роб.системи, для планування та контролю руху та переміщення.

Пряма кінематика визначає параметри з'єднання та обчислює конфігурації ланцюга. Для послідовних ланцюгів це досягається шляхом прямої підстановки параметрів з'єднання в рівняння прямої кінематики для обчислення положення кінцевого елемента на основі заданих значень параметрів.

Проблема прямої кінематики полягає в знаходженні положення та орієнтації кінцевих ефекторів відносно основи, враховуючи положення всіх з'єднань та визначення всіх геометричних параметрів ланцюга, для маніпулятора з послідовними ланцюгами. Ця проблема є критичною для розробки алгоритму координації маніпулятора, оскільки положення з'єднань зазвичай вимірюються датчиками, встановленими на них, і необхідно розрахувати положення осей з'єднань відносно опорної рами.

На практиці проблема прямої кінематики вирішуються, розрахунком трансформації між опорною рамкою в кінцевих ефекторах і опорною рамою в основі, тобто між рамками інструмента та станції. Трансформація, що описує положення закінчувача відносно основи, отримується простим об'єднанням трансформацій між сусідніми рамками.

АКСУ					Пояснювальна записка			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Семистрок М.М.			Задача прямої та зворотної кінематики у робототехніці	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Безкоровайний					20	53
Н-контр.		Безкоровайний				№ 151-403-СУ		
Зав.каф.		Мельник Ю.В.						

Тобто для маніпулятора з n-кількістю сегментів, трансформація матиме вигляд:

2.2. Кінематичні рівняння для прямої кінематики

Рівняння прямої кінематики отримуються за допомогою грубого перетворення $[Z]$, характеристики відносного переміщення дозволеного на кожному з'єднанні, та окремого грубого перетворення $[X]$ для визначення розмірів кожної ланки.

Результат це послідовність жорстких перетворень, що чергуються суглоб-ланка, перетворення від основи ланцюга до її кінцевої ланки, яка прирівнюється до заданої позиції для кінцевої

$$\text{ланки } [P] = [Z_1][X_1][Z_2][X_2] \dots [Z_{n-1}][X_{n-1}]$$

де $[P]$ – це перетворення, що визначає місцезнаходження кінцевої ланки це рівняння кінематики послідовного ланцюга.

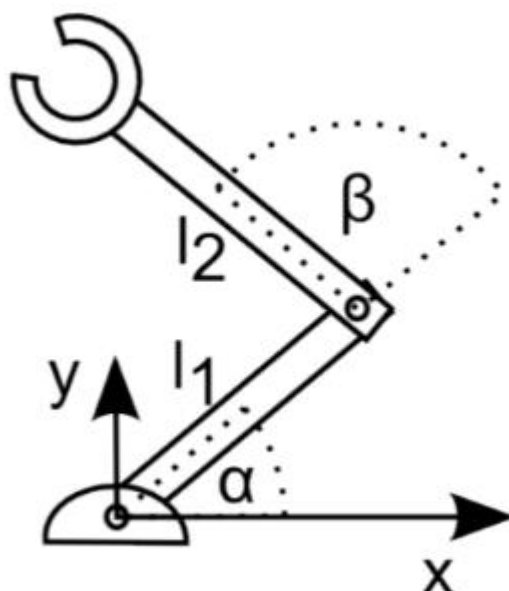


Рис 2.2.1. Двосегментний простий робот

						Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На прикладі даного двосегментного робота(рис. 2.2.1) з довжинами l_1 і l_2 з положеннями a – відносно основи b – відносно першої ланки за допомогою простої тригонометрії можна обчислити позицію з'єднання між першим і другим ланцюгами:

аналогічно положення кінцевого ефектора:

об'єднання ланцюгів і ефектора:

Це є кінематичними рівняннями простого двосегментного робота

Якщо ми хочемо обчислити відповідні кути стику, щоб досягти певної пози, або перетворити вимірювання, назад в систему координат бази то підключаємо його до матриці повороту по осі z (бо обидві ланки обертаються навколо осі z), тоді матриця матиме вигляд:

2.3 Метод Денавіта-Хартенберга

Поширеним математичним методом розв'язання таких задач, є метод Денавіта-Хартенберга, який описує обертальні і поступальні зв'язки між сусідніми ланками, він полягає у створенні однорідної(гомогенної) матриці

						Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворення розмірністю 4×4 , яка описує систему координат кожної ланки як систему координат попередніх. Побудований цей метод на трьох основних принципах формування систем координат, а саме:

1. Вісь x перпендикулярна до осі z і спрямована від неї.
2. Вісь y доповнює осі x та z так, щоб система координат була правобічною.
3. Вісь z спрямована уздовж осі n -го з'єднання.

А також на правилах кординат:

1. d – відстань між осями двох x вздовж осі z . (довжина ланки)
2. α – кут з'єднання двох z навколо осі x . (кут скручування)
3. θ – кут двох x навколо осі z . (кут зчленування)
4. r – відстань між осями двох z вздовж осі x . (зміщення ланки)

зазвичай це сталі матриці вигляду:

									Арк.
									23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

загальний вигляд:

Таким чином можемо виділити окремі підматриці:
паралельне перенесення -

обертання навколо осей x y z -

Такий вид матриць дає змогу на однорідні перетворення (гомогенні трансформації) забезпечуючи компакту нотацію. Кожна гомогенна трансформація за D-H (представлення Денавіта-Хартенберга) представляє собою добуток чотирьох основних перетворень.

						Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вирішення задачі за таким методом потребує виконання наступного алгоритму:

- 1 Знаходження систем координат кожної з ланок
- 2 Визначення параметрів Денавіта-Хартенберга
- 3 Знаходження матриць переходу
- 4 Знаходження основної матриці як добуток всіх матриць переходу

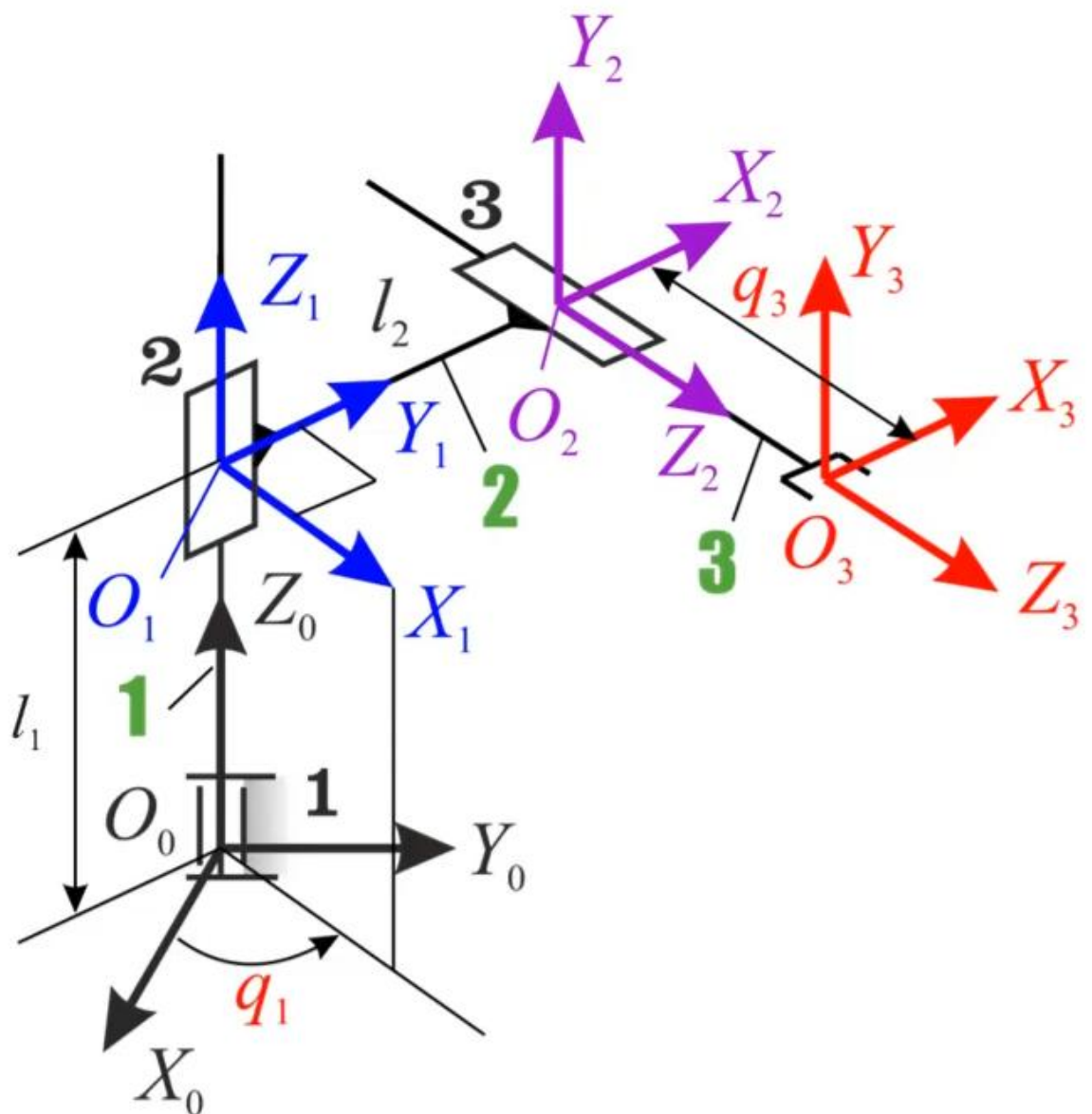


Рис. 2.3.1 Три-ланковий робот-маніпулятор

На прикладі три-ланкового робота-маніпулятора (рис. 2.3.1) з трьома ступенями свободи ми матимемо такі переходи: від 0 до 1 ланки –

від 1 до 2 ланки -

— —

від 2 до 3 ланки –

Або таблична форма:

До якої системи координат переходить	θ	S	r	α
1			0	0
2	—	$S_2=0$		—
3	0		0	0

З чого маємо матричні перетворення:

— —

2.4 Зворотна кінематика

Рівняння прямої кінематики встановлює функціональний зв'язок між спільними змінними, положеннями і орієнтацією кінцевого ефектора, в той час як обернена кінематична задача полягає у визначенні спільних змінних, що відповідають заданому положенню та орієнтації кінцевого ефектора. Тобто обернена кінематична задача для послідовного ланцюгового маніпулятора полягає в знаходженні значень позицій суглобів з урахуванням положення і орієнтації кінцевого ефектора відносно основи, значень всіх параметрів геометричної ланки. Врахувавши взаємне положення та орієнтацію частин механізму, знайти значення всіх позицій суглоба, що рівнозначно знаходженню всіх позицій суглоба при гомогенній трансформації між двома ланками.

Обернена кінематична задача для послідовних ланцюгових маніпуляторів вимагає рішення нелінійних множин рівнянь, що складніше ніж у прямої задачі кінематики, і може привести до невизначеності рішення, це означає,

						Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що одному набору положення захвату у просторі, можуть відповідати різні конфігурації роботи (рис. 2.4.1, рис. 2.4.2). Також рішення зворотної кінематики суттєво залежить від конструкції маніпулятора, через що, у загальному випадку, неможливо віднайти єдиного способу рішення задач зворотної кінематики.

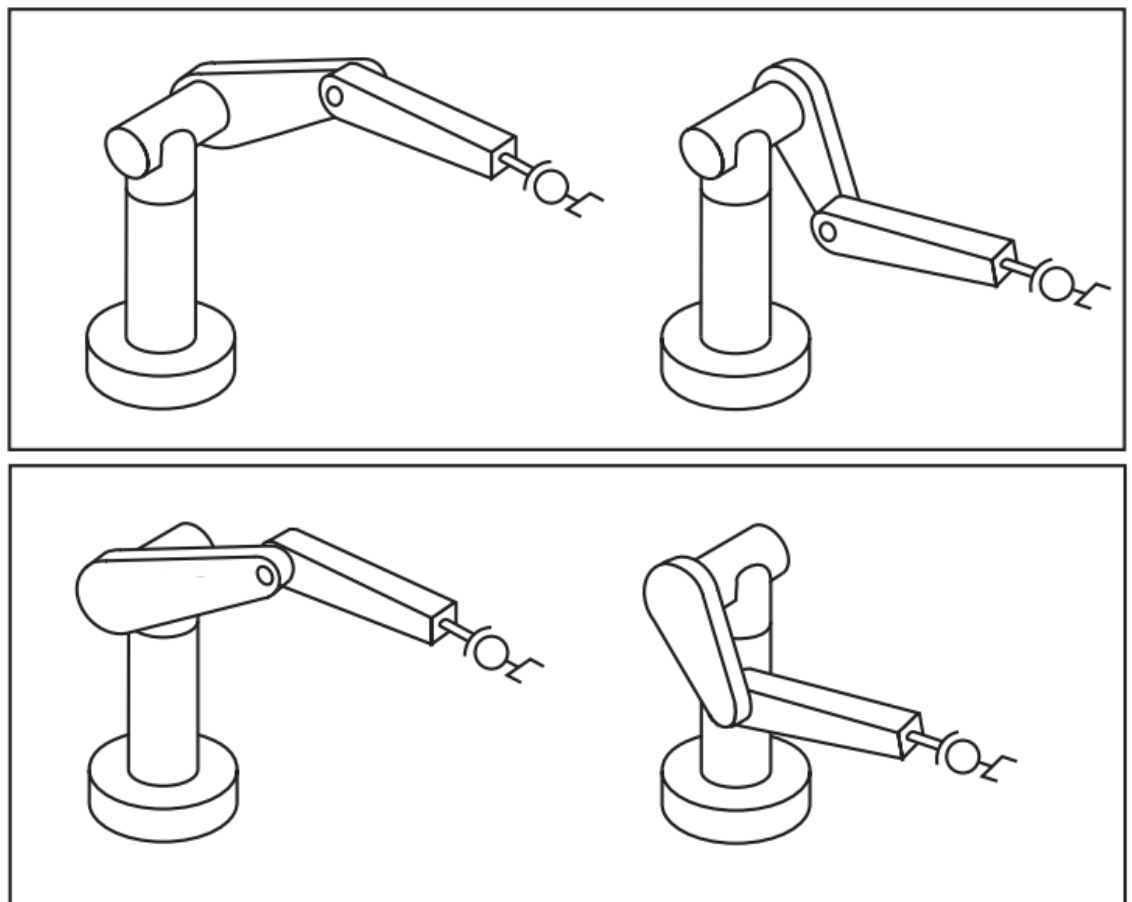


Рис. 2.4.1 Чотири можливих рішень для кінцевого розміщення на прикладі 6R PUMA руки зі зміщенням плеча.

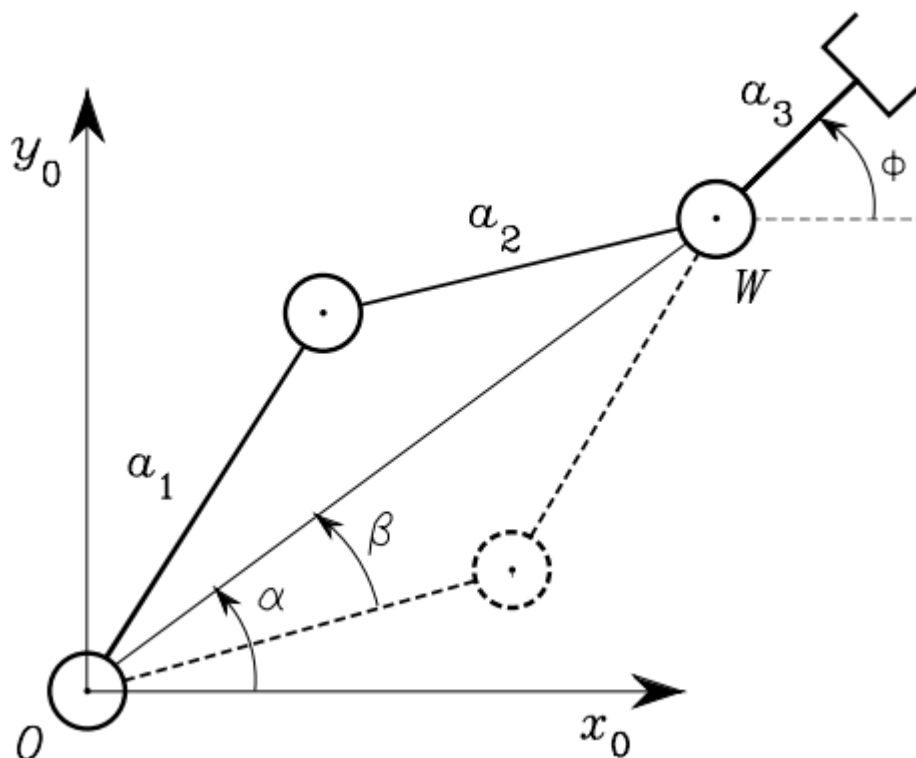


Рис. 2.4.2 Можливі допустимі пози двосегментного простого робота маніпулятора

Розв'язання задач зворотної кінематики мають принципову відмінність, а саме, перетворення руху кінцевого ефектора в операційному просторі, у відповідні рухи спільного простору, що дозволяє виконати потрібний рух, але такі задачі складніші з наступних причин:

- Рівняння, що розв'язуються, загалом нелінійні, і тому не завжди можна знайти розв'язок замкнутої форми.
- Може існувати кілька рішень.
- Може існувати нескінченна кількість рішень.
- Допустимих рішень може не бути.

Існування рішень гарантується тільки в тому випадку, якщо задане положення і орієнтація кінцевого ефектора належать робочому простору маніпулятора. З іншого боку, задача множинних розв'язків залежить не тільки від кількості суглобів, а й від числа ненульових параметрів девіа-хартенберга. Чим більше число ненульових параметрів, тим більше число

						Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допустимих рішень. Для шести-сегментного маніпулятора без механічних меж з'єднань, загалом є до шістнадцяти допустимих рішень. Таке явище вимагає певного критерію для вибору між допустимих рішень. Існування механічних меж з'єднань зменшує число допустимих множинних рішень.

Обчислення розв'язків замкнутої форми потребує “алгебраїчної інтуїції” для знаходження рівнянь, які містять невідоме, або “геометричної інтуїції” для знаходження точок на структурі, щодо яких зручно виражати положення та/або орієнтацію як функцію зменшеного числа невідомих. З іншого боку, у всіх тих випадках, коли неможливо або важко знайти розв'язки замкнутих форм, доцільно буде вдатися до методів чисельного розв'язання; Вони, мають перевагу бо можуть бути застосовні до будь-якої кінематичної структури, але в цілому це не завжди дозволяє обчислити всі допустимі рішення.

Алгебраїчні методи передбачають визначення рівнянь, що містять змінні суглобів, і маніпулювання ними в зрозумілу форму. Поширена стратегія це зведення до трансцендентного рівняння в одній змінній, наприклад:

Де C_n – константи, а вирішенням є

$$\frac{\dots}{\dots}$$

Є особливі поширені випадки коли константа або декілька рівні нулю і зведення до пари рівнянь є ще однією корисною стратегією, оскільки результатом є лише одне рішення:

						Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Геометричні методи передбачають визначення точок на маніпуляторі відносно яких положення та/або орієнтація можуть бути виражені як функція зменшеного набору спільних змінних, що часто зводиться до розкладання просторової задачі на окремі плоскі задачі. Отримані рівняння розв'язуються за допомогою алгебраїчних маніпуляцій. Дві потрібних умови існування замкнутого розв'язку дозволяють розкласти задачу на кінематику зворотного положення та кінематику зворотної орієнтації.

Кінематика зворотного положення послідовного ланцюгового маніпулятора шарнірного плеча:

Де:

Кінематика зворотної орієнтації послідовного ланцюгового сферичного зап'ястя

скорочення - $c\theta_i = \cos\theta_i$ та $s\theta_i = \sin\theta_i$

						Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5. Методи чисельного розв'язання

На відміну від алгебраїчних і геометричних методів, що використовуються для знаходження рішень замкнутої форми, чисельні методи не залежать від робота, тому застосовуються до будь-якої кінематичної структури. Недоліки полягають у тому, що вони працюють повільніше, а в деяких випадках не дозволяють обчислити всі можливі рішення. Для послідовно-ланцюгового маніпулятора із шістьма ступенями свободи, що має тільки обертові і призматичні шарніри, рівняння руху і обертання завжди зводяться до многочлена в одній змінній степеня шістнадцять(або менше). Тому такий маніпулятор може мати цілих шістнадцять реальних рішень оберненої кінематичної задачі. Оскільки розв'язок поліноміального рівняння в замкнутій формі можливий лише тоді, коли многочлен має ступінь чотири або менше, то звідси виходить, що геометрії багатьох маніпуляторів не можуть бути вирішеними в замкнутій формі. У загальному випадку більша кількість ненульових геометричних параметрів відповідає многочлену більшого ступеня скорочення. Для таких структур маніпуляторів найбільш поширені чисельні методи можна розділити на категорії: символічних методів виключення, методів продовження та ітеративних методів.

Символьні методи виключення передбачають аналітичні маніпуляції з усуненням змінних із системи нелінійних рівнянь для зведення її до меншого набору рівнянь.

Методи продовження передбачають відстеження шляху рішення від початкової системи з відомими рішеннями до цільової системи, рішення якої знаходяться в міру перетворення стартової системи в цільову систему.

Ітеративні методи передбачають ряд різних ітеративних методів. Більшість з них сходяться до єдиного рішення на основі початкового припущення, тому якість цього припущення сильно впливає на час розв'язання.

						Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки рівняння зворотної кінематики занадто нелінійні, має сенс коротко подумати про те, чи зможемо ми їх взагалі вирішити за конкретними параметрами, перш ніж намагатися. Тут важливою стає робоча область робота. Робоча область - це підпростір, до якого робот може дістатися в будь-якій орієнтації. Зрозуміло, що розв'язків зворотної кінематичної задачі поза робочим простором робота (рис. 2.5.1-2.5.2) не буде.

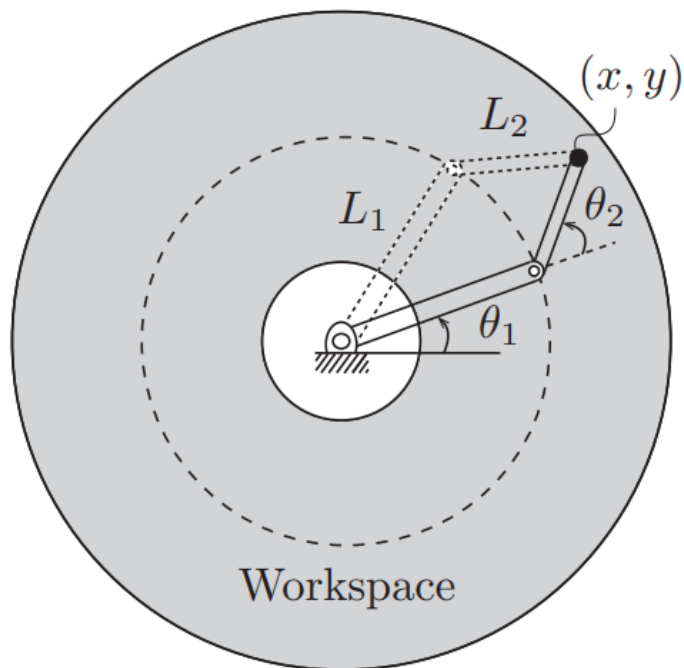


Рис 2.5.1. Робочий простір, ліва і права конфігурації

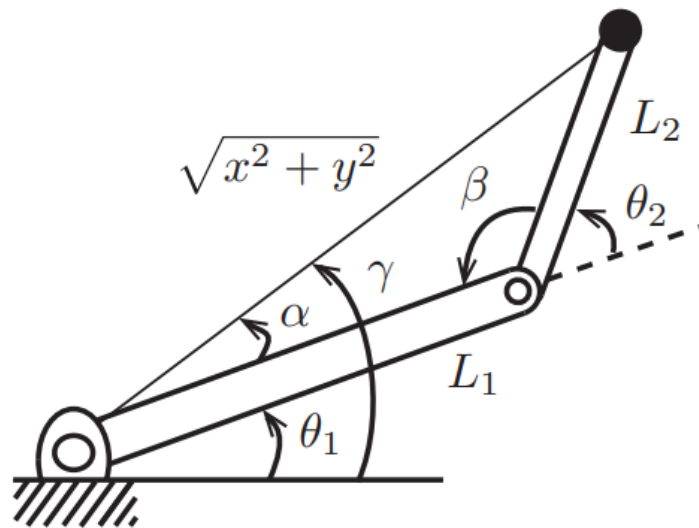


Рис 2.5.2. Геометричне рішення простору. Зворотна кінематика двосегментного плоского відкритого ланцюга

Друге питання - скільки рішень ми насправді очікуємо і що означає мати кілька рішень геометрично. Кілька рішень для досягнення бажаної пози відповідають кільком способам, за допомогою яких робот може досягти мети.

Наприклад, триланковий важіль, який хоче досягти точки, до якої можна досягти повністю не розширюючи всі ланки, може зробити це, склавши або розклавши свої ланки. Скільки існує рішень для даного механізму і пози швидко стає неінтуїтивним. Наприклад, шести-сегментна рука може досягати певних точок з шістандцяти різних розташувань.

Розглянемо кінематику двосегментного простого робота(введеного раніше). Нам потрібно вирішити рівняння, що визначають пряму кінематику робота, вирішуючи для α і β . Однак це складно, оскільки нам доводиться мати справу зі масивними тригонометричними виразами.

Припустимо, що є одна ланка, L_1 . Розв'язування для α дає фактично два розв'язки

— —

так як косинус симетричний для позитивних та від'ємних значень. Дійсно, для будь-якої можливої позиції на осі x , починаючи від $-l_1$ до l_1 , існує два рішення. Один з рукою над столом, один з рукою під столом. (В крайніх межах робочого простору обидва рішення мають однакові результати)

Рішення для обох ступенів свободи фактично дає вісім рішень, з яких можливі лише два:

Щоб спростити задачу, конкретизуємо бажане положення і орієнтацію кінцевого ефектора. Вказуємо це в матриці:

Де $\varphi = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3$

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$ - спільні змінні, що відповідають заданому положенню і орієнтації кінцевого ефектора

Прирівнявши запис перетворення

						Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

до запису бажаної форми, отримуємо наступне:

$$\begin{array}{cc} \text{_____} & \text{_____} \\ \text{_____} & \text{_____} \end{array}$$

Тобто, забезпечення потрібного положення та орієнтації дозволяє вирішувати α і β як функцію x , y та φ

Такі рішення зі збільшенням розмірів стають незручними, проте можна обчислити числове рішення, використовуючи підхід подібний плануванню шляху в мобільній робототехніці. Один із способів це побудова відстані кінцевого ефектора від бажаного рішення в конфігураційному просторі. Для цього вам потрібно вирішити пряму кінематику для кожної точки конфігураційного простору і застосувати евклідову відстань до потрібної цілі як до висоти.

						Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

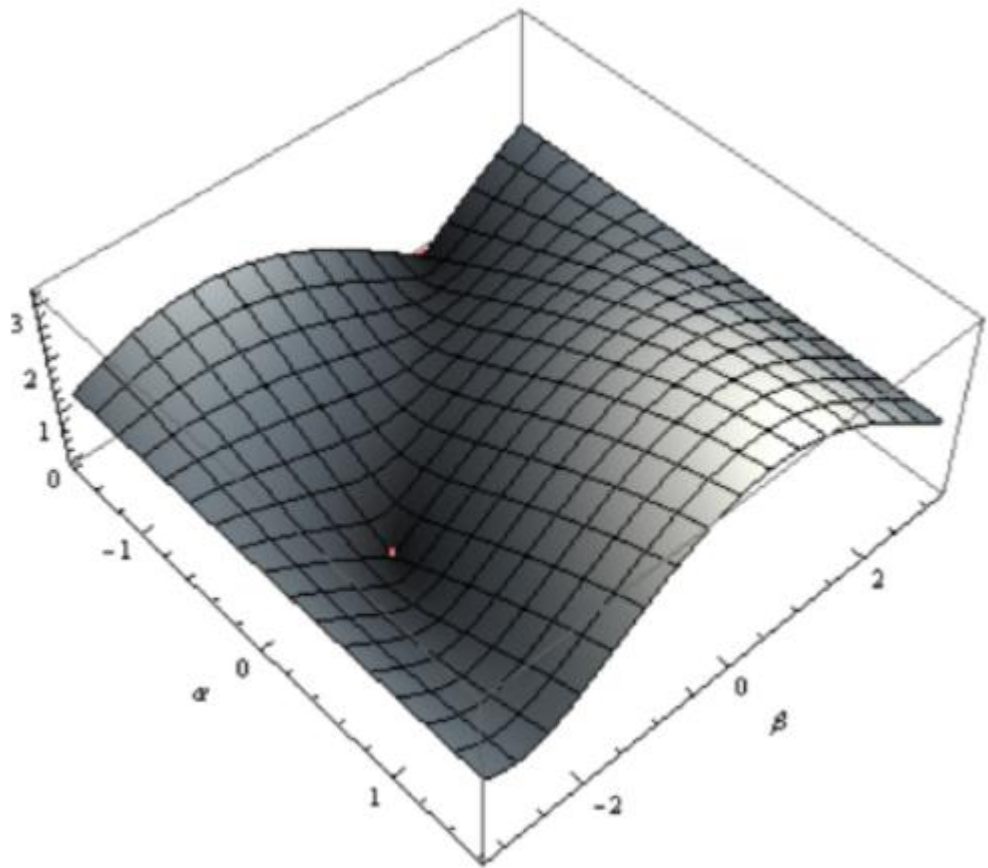


Рис 2.5.3. Візуалізація робочого простору в тривимірному просторі

На малюнку (рис. 2.5.2) відстань до простору конфігурації двосегментного маніпулятора. Мінімум відповідає точним зворотним кінематичним рішенням.

Побудовано при

— —

і $x = 1, y = 1$.

									Арк.
									37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Ця функція має мінімуми, в даному випадку нуль, для значень α і β , які доводять маніпулятор до $(1, 1)$, значеннями ϵ ($\alpha \rightarrow 0, \beta \rightarrow -\pi/2$) і ($\alpha \rightarrow -\pi/2, \beta \rightarrow \pi/2$).

Можна вважати що зворотна кінематика це проблему пошуку шляху з будь-якої точки конфігураційного простору до найближчих мінімумів.

2.6 Рішення зворотної кінематики в мобільних платформах

Так як немає прямої залежності між величинами обертання коліс робота та його положенням у просторі, спочатку вирішимо проблеми зворотної кінематики для швидкостей локальної системи координат робота.

Визначимо, як обчислити швидкість центру робота з урахуванням бажаної швидкості (ξ_I) в світових координатах.

Можемо перетворити вираз $\xi_I = T(\theta)\xi_R$ шляхом множення двох сторін на обернену $T(\theta)$:

Що призведе до зміни $\xi_R = T^{-1}(\theta)\xi_I$ в

які визначаються, виводом тригонометричних відносини або інверсією матриці. Аналогічно:

— —
— —

для ,

						Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

це дозволить обчислити швидкість колеса робота як функцію бажаних x_R і θ

Але такий підхід не дозволяє нам мати справу з $y_R \neq 0$, що може бути внаслідок бажаної швидкості в інерціальній системі. Ненульові значення для переходу в y -напрямку ігноруються рішенням зворотної кінематики, а рух до певної точки вимагає або планування шляху, або керування зворотним зв'язком.

Розв'язування проблеми зворотної кінематики для немеханічних мобільних роботів вимагає знайти послідовність команд спрацьовування. Один із способів зробити - застосувати контроль зворотного зв'язку. Управління зворотним зв'язком використовує похибку між фактичним та бажаним положенням щоб обчислити траєкторію, яка наближає робота до бажаної пози. Процес повторюється поки помилка не стане зовсім малою. Цей метод застосовується для мобільних роботів, але його можна застосувати для маніпуляторів, з кінематикою яких занадто складна для розв'язання аналітичним шляхом.

Контроль зворотного зв'язку для мобільних роботів: задано позицію робота - x_r, y_r, θ_r , а бажана поза - x_g, y_g, θ_g .

Можна обчислити похибку в потрібній позі:

						Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ці помилки можна перетворити безпосередньо на швидкість робота, за допомогою простого пропорційного контролера з коефіцієнтами посилення p_1 , p_2 та p_3 :

по кривій, поки він не досягне бажаної пози.

2.7 Зворотна техніка Якобіяна

Техніка Якобіяна - числовий метод для вирішення складних аналітичних прикладів, складність, яких, зростає зі збільшенням ступенів свободи або через складну геометрію.

Так як можна легко обчислити отриману позу для кожної можливої комбінації кутів суглоба за допомогою рівнянь прямої кінематики, також можливо обчислити похибку між бажаною та фактичною позою. Ця похибка дає нам напрямок руху куди повинен рухатись кінцевий ефектор. Оскільки потрібно переміщатись на малу відстань за раз, а потім перерахувати похибку, це популярний метод створення траєкторії руху руки туди, куди ми хочемо, тим самим вирішуючи проблему зворотної кінематики.

Для того щоб це зробити, нам знадобиться вираз, яке пов'язує потрібну швидкість кінцевого ефектора робота, тобто напрямок, в якому ми хочемо рухатися, зі швидкістю, з якою нам потрібно змінювати наші суглоби.

Нехай швидкість поступального робота задається

						Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки робот може не тільки рухатись, але і обертатися, то потрібно вказати кутові швидкості. Вони задаються у вигляді вектором:

Це називають гвинтом швидкості.

Тепер можна записати поступальні та обертальні швидкості в векторі 6×1 як $(v \ \omega)^T$.

Якщо кути та положення суглобів $j = (j_1, \dots, j_n)$.

То дану залежність між швидкостями кінцевого ефектора j і суглобів J , можна записати

суглобів. J також відомий як матриця Якобіана і містить всі часткові похідні, які пов'язують кожен кут суглоба до кожної швидкості.

На практиці J виглядає так

$$\begin{matrix} \text{---} & \text{---} \\ \text{---} & \text{---} \end{matrix}$$

Це значення важливе, оскільки вказує, як невеликі зміни в спільному просторі вплинуть на положення кінцевого ефектора в декартовому просторі. Також завжди можна обчислити пряму кінематику механізму, як і

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

їх аналітичні похідні, що дозволяє обчислювати числові значення для записів матриці J для кожного можливого кута та положення суглоба.

Тепер потрібно інвертувати J , щоб розрахувати необхідні швидкості з'єднання для кожної бажаної швидкості кінцевого ефектора. На жаль, J оборотний, якщо є лише рівно 6 незалежних з'єднань, тож J квадратичний і має повний ранг. Якщо це не відповідає дійсності, то можна використати псевдо-інвертування (псевдо-зворот) замість:

—

J^T скорочується, залишаючи $-$, будучи застосовним до неквадратичних матриць.

Це рішення може бути або не бути чисельно стабільним, залежно від поточних значень суглобів. Якщо зворотне J математично не здійсненне, то це вже нестабільність (сингулярність) механізму. Це відбувається, коли дві спільні осі вирівнюються, таким чином ефективно усуваючи певний ступінь свободи від механізму або на межі робочого простору. Математично кажучи, ранг якобіана менше шести.

Тепер можна написати простий контролер зворотного зв'язку, який призводить нашу похибку e як різницю між бажаним і фактичним положенням до нуля:

Тобто ми трішки рухаємо кожен суглоб в сторону, яка мінімізує e . Це легко побачити, швидкості суглоба дорівнюють нулю, якщо e нуль. Однак виникає проблема, коли кінцевий ефектор повинен пройти через сингулярність, щоб дістатися до своєї цілі. Тоді в розв'язку J^+ виникає

						Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нестабільність і швидкості суглобів йдуть до нескінченності. Щоб обійти це, можна ввести демпфування в контролер. Цього можна досягти не тільки мінімізацією похибки, але і швидкостей суглоба.

Таким чином, проблема мінімізації стає:

де λ - деяка константа. Можна показати, що отриманий контролер, який досягає цього, має вигляд:

Це відоме як метод затухаючих найменших квадратів. Проблемами такого підходу є локальні мінімуми та особливості механізму, які можуть зробити це рішення нездійсненним.

						Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Опис задачі, конструкції та кінематики робота.

3.1. Постановка завдання робота

Задача нашого робота полягає в маніпулюванні об'єктом, який розміщений у своїй власній певній системі координат. Це означає, що робот повинен враховувати позицію цього об'єкта відносно координат системи для виконання точних маніпуляцій. Для цього, робот використовує алгоритми розрахунку необхідних рухів для його захоплення та переміщення. Наприклад, об'єкт розташований у робочій зоні з координатами (X, Y, Z) у власній системі координат, робот повинен перетворити ці координати у свою систему координат. Крім того, важливо враховувати орієнтацію об'єкта, бо неправильний кут захоплення призведе до невдалого маніпулювання. Це реалізується за допомогою прямої та зворотної кінематик, які дозволяють роботу адаптувати свої рухи відповідно до положення об'єкта в просторі. Отже, головна мета робота - це точне і ефективне виконання маніпуляції об'єктом, враховуючи його положення і орієнтацію у власному просторі.

Для успішної реалізації нашої задачі, врахуємо кілька важливих моментів:

Визначення системи координат – ми маємо знати, де розташовано простір об'єкта, що є ключовим для точних дій. Це може бути локальна система координат об'єкта або глобальна система координат, в якій об'єкт знаходиться.

Трансформації матриць – використовуються для обчислювання переміщення координат об'єкта.

Алгоритми маніпулювання - розробка та реалізація алгоритмів, які дозволяють роботу здійснювати необхідні дії. У нашому випадку вони включають алгоритми прямої та зворотної кінематики та їх поєднання.

АКСУ					Пояснювальна записка			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Семистрок М.М.			Опис задачі, конструкції та кінематики робота	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірив		Безкоровайний					44	53
Н-контр.		Безкоровайний				№ 151-403-СУ		
Зав.каф.		Мельник Ю.В.						

3.2. Опис робота

Для прикладу було обрано гусеничну мобільну роботизовану платформу (рис. 3.2.1). Платформу оснащено роботизованою рукою з чотирма ступенями свободи, яка може захоплювати невеликі предмети за допомогою механічного захвату на кінцевому ефекторі.

Рука складається з трьох суглобів та кінцевого ефектора. Основа руки закріплена на поворотній базі, що дозволяє обертатись по осі z та розміщена на рухомій платформі що може рухатись лише у двовимірному просторі (для спрощення розрахунків)

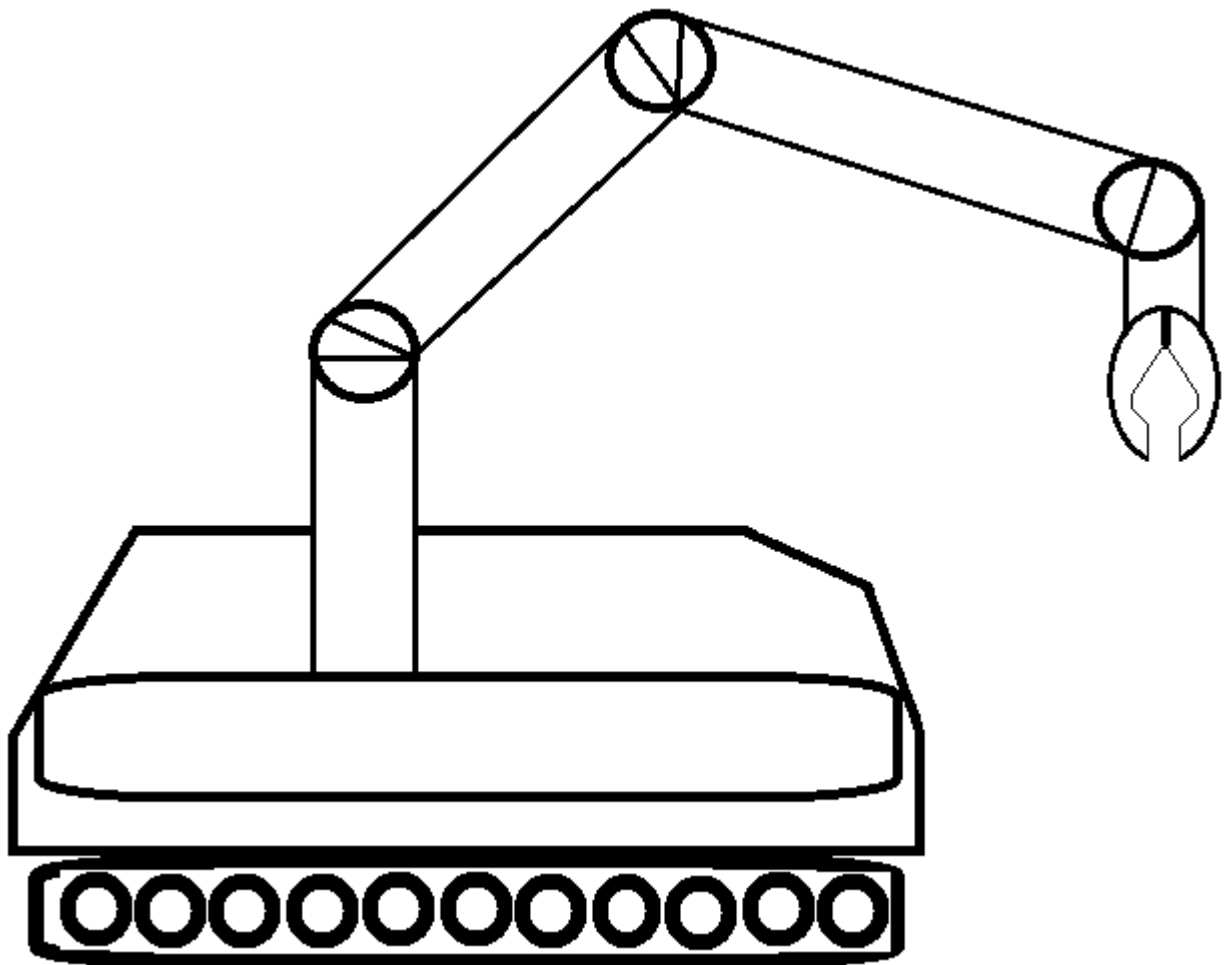


Рис. 3.2.1. Схематичне зображення мобільної платформи з роборукою

3.3. Пряма кінематика

Вся конструкція складається з семи елементів та позиції відповідно матиме вигляд:

Тобто маємо вісім матриць.

За параметрами Денавіта-Хартенберга маємо:

θ_i - кут обертання навколо осі $i-1$

a_i - відстань вздовж осі $i-1$

r_i - відстань вздовж осі i

α_i - кут обертання навколо осі i

Параметри Денавіта-Хартенберга:

Ланка	θ	d	r	α
1	θ_1			0
2	θ_2		0	0
3	θ_3		0	0

З цього виходять такі матриці:

Матриця позиції робота по x :

Матриця висоти першого сегмента:

Матриця повороту першого суглоба

Матриця довжини другого сегмента

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Матриця повороту другого суглоба

Матриця довжини третього сегмента

Матриця повороту третього суглоба

Матриця довжини четвертого сегмента

Множення матриць відбувається в наступному порядку:

Де кожні дужки (крім перших) відповідають такому порядку - суглоб-довжина, а перші відповідають розміщенню у просторі. З цього маємо такі матриці:

						Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це і буде виконання прямої кінематики всього робота.

Але нас, в даному випадку, цікавить лише перші дві матриці а саме A і B та їх спільне перетворення C , так як це буде першою та сталою частиною загального математичного вигляду кінцевого рішення.

A і B являють собою пряму кінематику та фактичне розташування робота у просторі, від якої, в подальшому, будуть відштовхуватись трансформації зворотної кінематики.

						Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4. Зворотна кінематика

Так як наш маніпулятор являє собою просту двосегментну руку, то вирішення зворотної кінематики для нього зводиться до вирішення “трикутника” (рис 3.4.1) з відомими сторонами. Враховуючи координати цільової точки (x, y) та довжини сегментів a_1 та a_2 , ми можемо скористатися теоремою косинусів для визначення кутів у суглобах.

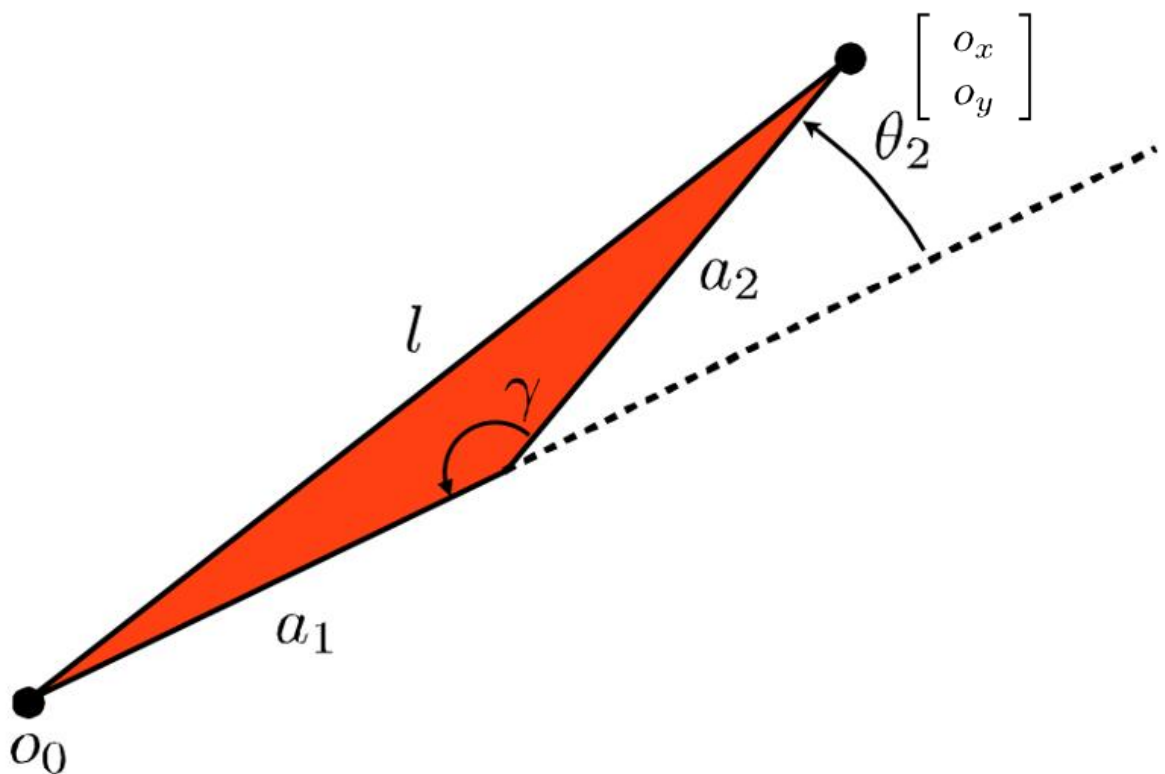


Рис. 3.4.1. “Трикутник”

						Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З чого маємо обчислення кута :

Для кута (рис Рис 3.4.2):

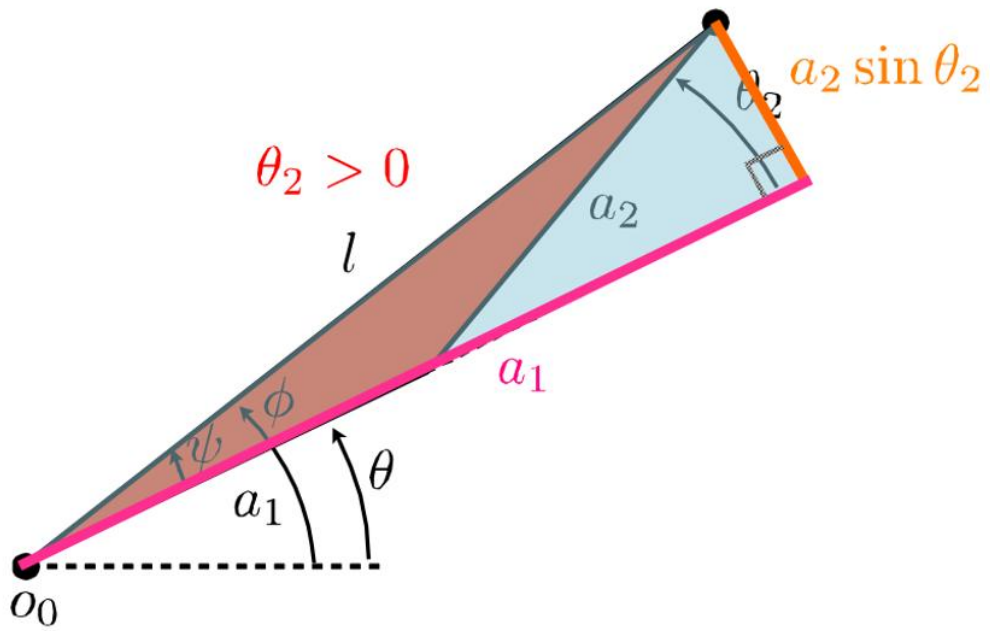


Рис 3.4.2

Таким чином, отримані значення θ_i визначають положення сегментів маніпулятора для досягнення потрібної точки (x, y) . Якщо цільова точка знаходиться поза досяжним простором, слід або змінити цільову точку, або відрегулювати довжини сегментів.

3.5. Поєднання зворотної та прямої кінематики

Основна ціль полягає в тому, щоб робочий орган робота ефективно функціонував у системі координат об'єкта маніпуляції. Це досягається шляхом точного керування рухомою платформою робота та зміщенням маніпулятора відносно об'єкта.

У процесі роботи автоматично розраховується та змінюється відносно положення сегментів маніпулятора, що дозволяє роботу адаптуватися до зміни умов і забезпечувати точне виконання. Завдяки цьому підходу, робот здатний виконувати складні маніпуляції з високою точністю.

Ключовим аспектом цього процесу є використання комбінації прямої та зворотної кінематики. Пряма кінематика дозволяє визначити початкове положення маніпулятора на основі заданих координат його положення. Зворотна кінематика, у свою чергу, використовується для визначення необхідних кутів повороту сегментів маніпулятора на основі кінцевого положення. Схематично цей зв'язок можна зобразити наступною матрицею

де a -пряма кінематика;
 b -зворотня кінематика.

Поєднання цих двох методів дозволяє забезпечити гнучке і точне керування рухами маніпулятора, що є критично важливим для ефективної взаємодії з об'єктами в різноманітних умовах. Таким чином, задане завдання управління роботом зводиться до гармонійного поєднання прямої і зворотної кінематики, що забезпечує надійне і точне виконання поставлених цілей.

						Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок

В даній кваліфікаційній роботі проведено дослідження кінематики робота маніпулятора з чотирма ступенями свободи.

У першому розділі розглянуто загальне поняття роботів, робототехніки, їх застосування та опис. Стан роботів на сьогоднішній день, а також короткий опис їх елементів. Перераховані “покоління”. Оглянуто тему інтеграції робототехніку в повсякденне життя людини через “Інтернет речей”.

У другому розділі проаналізовано задачі прямої та зворотної кінематики у робототехніці. Розглянуто методики Денавіта-Хартенберга та були визначені стандартні параметри побудови кінематики для всіх роботів. Було зачеплено проблематику зворотної кінематики та її відмінність від прямої, з чого зрозуміло що зворотна кінематика в рази складніше і у формулюванні і вирішенні. Також розглянуто деякі з методів розв'язання зворотної кінематики, а саме методи чисельного розв'язання та зворотна техніка Якобіяна в мобільних платформах.

В третьому розділі схематично побудовано робота на рухомій платформі. Розглянуто його пряму та зворотну кінематику, а також описано алгоритм їх вирішення. Щоб робот почав маніпулювати з об'єктом потрібно щоб роборука ввійшла у систему координат об'єкта маніпулювання, що можна реалізувати за допомогою правила “трикутника”. Розглянуто можливість поєднання прямої та зворотної кінематики, де пряма відповідає за рух платформи, зворотна відповідає за маніпулятор.

						Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. Nikolaus Correll. "INTRODUCTION TO AUTONOMOUS ROBOTS". University of Colorado at Boulder
2. Kevin M. Lynch and Frank C. Park. "MODERN ROBOTICS MECHANICS, PLANNING, AND CONTROL". May 3, 2017
3. "Robot Manipulators Position, Orientation and Coordinate Transformations"
4. . W. W. Melek. "ME 547: Robot Manipulators: Kinematics, Dynamics, and Control". Waterloo, ON, 2010, University of Waterloo
5. Bruno Siciliano • Lorenzo Sciavicco Luigi Villani • Giuseppe Oriolo. "Robotics Modelling, Planning and Control" 2009 Springer-Verlag London Limited
6. Бондаренко М. В. Дипломний проект «Промисловий робот. Розробка алгоритму керування маніпулятором.» КПІ Київ – 2019 року
7. М. М. Поліщук, М.М. Ткач "Робототехнічні системи: проектування і моделювання" Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського 2021
8. Bruno Siciliano, Oussama Khatib "Springer Handbook of Robotics" Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008
9. УДК 629.3.025.2 Семистрок М.М. Безкоровайний Ю.М. тези "Пряма кінематика в робототехніці"
10. <https://en.wikipedia.org/wiki/Robotics> Wikipedia the free encyclopedia ARTICLE Robotics

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		