



6-7 лекция. Синтез кинематических цепей манипуляторов

Исабеков Жанібек
Назарбекұлы.

План занятия

- Введение
- Понятие манипулятора и кинематической цепи
- Структурный анализ кинематических цепей
- Типы кинематических пар
- Классификация манипуляторов по структуре
- Структурный синтез кинематических цепей
- Обратный кинематический анализ
- Геометрический и кинематический синтез
- Практическое применение синтеза манипуляторов
- Выводы
- Контрольные вопросы



Введение

Современные тенденции развития робототехнических систем направлены на повышение производительности, точности, надежности и универсальности машин, выполняющих автоматизированные операции. Важнейшей частью любого промышленного робота является манипулятор — механическая система, способная перемещать предметы или инструменты в рабочем пространстве.

Синтез кинематических цепей — это процесс проектирования структуры манипулятора, обеспечивающей требуемую подвижность, диапазон перемещений и устойчивость.

В данной презентации мы рассмотрим принципы структурного и кинематического анализа манипуляторов, а также методов их синтеза.



ПОНЯТИЕ МАНИПУЛЯТОРА И КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Манипулятор представляет собой систему звеньев, соединённых между собой кинематическими парами.

Кинематическая цепь — это совокупность звеньев, соединённых кинематическими парами (шарнирами, направляющими и т.п.). Каждое звено может иметь одно или несколько движений относительно предыдущего, и совокупность этих движений определяет структуру манипулятора.

По типу связи звеньев различают:

- Открытые цепи — последовательное соединение звеньев ;
- Замкнутые цепи — кольцевые системы, где конечное звено соединено с основанием (применяются в параллельных механизмах);
- Комбинированные цепи — сочетают элементы открытых и замкнутых структур.

Каждое звено манипулятора может вращаться (R-пара), перемещаться поступательно (P-пара) или выполнять другие типы движения. От выбора вида кинематических пар зависит число степеней подвижности и характер траектории рабочего органа.



СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Структурный анализ — это определение состава и типа связей механизма, а также расчёт числа его степеней свободы. Он позволяет понять, какие функции способен выполнять манипулятор, и является основой для его последующего синтеза.

Число степеней подвижности механизма определяется по формуле Чебышева:

$$W=6n-p_1-2p_2-3p_3-4p_4-5p_5, \text{ где}$$

W — число степеней свободы,

n — количество звеньев, включая основание,

p - кинематическая пара с n-количеством звеньев



ТИПЫ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР

Кинематические пары классифицируются по числу степеней подвижности:

Тип пары	Обозначение	Характер движения
Вращательная	R	Вращение вокруг оси
Поступательная	P	Перемещение вдоль оси
Цилиндрическая	C	Вращение + поступление вдоль оси
Винтовая	H	Поступление с вращением
Сферическая	S	Вращение вокруг трёх осей

Класс пары Число степеней	ЧСС	Название пары	Вид кинематической пары	Рисунок	Графические обозначения	Обозначение
I 1	5	Пятиподвижная Шар-плоскость	Высшая	Пространственная		5Т
II 2	4	Четырехподвижная Цилиндр-плоскость	Высшая	Пространственная		4ЦП
III 3	3	Трехподвижная Сферическая	Низшая	Пространственная		3С
III 3	3	Трехподвижная Плоскостная	Низшая	Плоская		3П
IV 4	2	Двухподвижная Цилиндрическая	Низшая	Пространственная		2Ц
IV 4	2	Двухподвижная Сферическая с пальцем	Низшая	Пространственная		2СП
V 5	1	Одноподвижная Поступательная	Низшая	Плоская		1П
V 5	1	Одноподвижная Вращательная	Низшая	Плоская		1В
V 5	1	Одноподвижная Винтовая	Низшая	Пространственная		1ВИ



КЛАССИФИКАЦИЯ МАНИПУЛЯТОРОВ ПО СТРУКТУРЕ

По характеру соединения звеньев манипуляторы подразделяются на:

Последовательные (сериальные) — звенья соединены одно за другим (наиболее распространённый тип).

Параллельные — несколько кинематических цепей соединены с общей подвижной платформой.

Гибридные — сочетают преимущества двух предыдущих типов, обеспечивая баланс между жёсткостью и гибкостью.



СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Структурный синтез — это процесс построения схемы механизма с заданным числом степеней свободы. Его цель — определить количество звеньев и типы соединений, которые обеспечат выполнение требуемых движений.

3.1. Этапы структурного синтеза

1. Определение задачи — выбираются функции, которые должен выполнять манипулятор (перемещение, ориентация, сборка и др.).
2. Определение числа степеней свободы — на основе требуемого движения рабочего органа.
3. Выбор типов кинематических пар — определяются вращательные и поступательные соединения.
4. Формирование структуры — создание схемы соединений звеньев.
5. Проверка на избыточность или недостаточность связей — анализ подвижности.



ОБРАТНЫЙ КИНЕМАТИЧЕСКИЙ анализ

Обратная задача заключается в нахождении углов и перемещений звеньев, при которых рабочий орган достигнет заданного положения.

Эта задача сложнее прямой, так как может иметь несколько решений или не иметь их вовсе.

Используются методы:

- Геометрический — на основе анализа треугольников звеньев;
- Аналитический — решение систем уравнений;
- Численный — итерационные методы.



Геометрический и кинематический синтез

После структурного анализа проводится геометрический синтез, направленный на определение длин звеньев, углов и диапазонов движения.

Далее выполняется кинематический синтез, который оптимизирует траектории движения, скорость и плавность работы.

Методы синтеза:

- Геометрический — основан на пространственных построениях;
- Аналитический — использует уравнения положения и ориентации;
- Оптимизационный — минимизация ошибок, энергопотребления или времени движения.



ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СИНТЕЗА МАНИПУЛЯТОРОВ

Синтез и анализ кинематических цепей применяются при проектировании промышленных и сервисных роботов, медицинских устройств, манипуляторов для космоса, подводных аппаратов и т.д.

Примеры:

- SCARA-роботы (RRP) — сборка микросхем, пайка, упаковка.
- Картизианские роботы (PPP) — 3D-печать, фрезеровка.
- Параллельные механизмы (Stewart Platform) — тренажёры, авиационные симуляторы, системы стабилизации.

Каждый тип требует точного структурного и кинематического расчёта для обеспечения надёжности и точности.



ВЫВОДЫ

В ходе изучения темы установлено, что синтез кинематических цепей манипуляторов является ключевым этапом проектирования робототехнических систем.

Он позволяет определить оптимальную структуру, обеспечивающую необходимое количество степеней свободы, жёсткость и диапазон движений.

Структурный анализ помогает выявить избыточные связи и построить рациональную схему механизма.

Кинематический анализ даёт возможность рассчитать движение и управлять положением рабочего органа с высокой точностью.

Совместное применение этих методов позволяет проектировать эффективные, надёжные и функциональные манипуляторы, отвечающие требованиям современной автоматизации.



Вопросы:

1. Что понимается под кинематической цепью манипулятора?

- A) Совокупность электронных датчиков робота
- B) Совокупность звеньев и кинематических пар, соединённых для передачи движения
- C) Последовательность программных команд управления
- D) Электрическая схема управления приводами

Вопросы:

2. Какое количество степеней свободы необходимо для полного позиционирования рабочего органа в пространстве?

- А) 3
- В) 4
- С) 5
- Д) 6



Вопросы:

3. Какая кинематическая пара обеспечивает вращение звена вокруг оси?

Нахах) Поступательная (P)

Брух) Вращательная (R)

Сунн) Сферическая (S)

:D) Винтовая (H)

Вопросы:

4. Какая формула используется для расчёта степеней свободы механизма?

- .) Формула Ньютона-Эйлера
- ..) Формула Чебышева
- ...) Формула Лагранжа
- %) Закон сохранения энергии

Вопросы:

5. Что является целью структурного синтеза кинематической цепи?

Эх) Определение длин звеньев

ЭхЭх) Выбор материала манипулятора

Нет) Построение схемы механизма с заданным числом степеней свободы

Да) Разработка управляющей программы

Вопросы:

12. Что является результатом кинематического синтеза манипулятора?

- А) Материалы звеньев
- Б) Электрическая схема привода
- С) Оптимальные размеры звеньев и параметры движения
- Д) Программа управления сервоприводом

Вопросы:

7. Что представляет собой обратная задача кинематики?

- Ааа) Определение скоростей по известным положениям
- В) Определение положения рабочего органа по известным углам звеньев
- С) Определение углов звеньев по заданному положению рабочего органа
- Д) Определение массы звеньев по ускорению

Вопросы:

8. Для каких манипуляторов характерна структура RRR?

- 1) Картезианских
- 10) SCARA
- 11) Роботов типа «рука человека»
- 100) Параллельных платформ

Вопросы:

11. Какой тип структуры имеют SCARA-манипуляторы?

Aaaq) RRR

Bbbq) RPR

Cc) PPP

D) PRR

Спасибо за
внимание!
