

# 教学设计

课程模块: 双连杆机器人运动学

课程章节: 第2章《机器人运动学模型——几何方法与逆运动学》

## 一、教学目标

### 1. 知识目标:

- 掌握双连杆机器人的正运动学与逆运动学模型。
- 理解几何方法如何用于推导机器人关节角度与末端位置之间的关系。
- 学会使用Python进行符号推导和计算。

### 2. 能力目标:

- 能够将几何推导应用于多连杆机器人系统，推导末端执行器的位置。
- 能够通过逆运动学推导出已知末端位置的关节角度。
- 能够基于工业机器人应用场景，分析机器人工作空间和运动范围。

### 3. 素质目标:

- 培养学生理论与实践相结合的能力，能够将机器人运动学与实际工业问题联系起来。
- 提高学生的编程能力，使用Python进行符号运算和验证运动学模型。

## 二、教学内容设计

### 1. 引入与工业应用

#### 引入:

通过介绍ABB关节式机器人、SCARA机器人以及足类机器人的应用场景，带出双连杆机器人在工业上的广泛应用。讲述如何将双连杆机器人视作这些工业机器人的基础模块之一，从而引出本节课的核心内容——双连杆机器人的正运动学与逆运动学分析。

**教学目标:** 通过实例说明工业中实际应用的机器人如何使用几何方法进行运动学分析，帮助学生理解课程内容与工业应用之间的联系。

### 2. 正运动学分析 (Forward Kinematics)

#### 教学内容:

- 通过几何图解法推导双连杆机器人的正运动学方程，展示如何从关节角度推导出末端执行器的位置。
- 使用向量图解法，进一步详细展示连杆和关节的运动过程。
- Python代码示例：使用 `sympy` 进行正运动学公式推导与验证，通过符号计算和数据代入完成模拟验证。

#### 教学活动:

- 结合Python进行实时演示，学生可以通过调用函数 `create_interactive_forward()` 观察双连杆机器人的运动过程。
- 课堂讨论：引导学生思考不同工业机器人结构（如SCARA）的正运动学特点，探讨如何将其简化为双连杆模型。

#### 板书公式:

- 第一个关节位置:

$$P_1 = (l_1 \cos(\theta_1), l_1 \sin(\theta_1))$$

- 第二个关节位置（末端执行器）:

$$P_2 = (l_1 \cos(\theta_1) + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2), l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2))$$

### 3. 逆运动学分析 (Inverse Kinematics)

#### 教学内容:

- 通过几何和代数方法推导逆运动学问题，使用已知末端执行器位置求解关节角度。
- 讲解如何利用余弦定理、三角函数关系以及角度的反向推导进行逆运动学分析。
- 使用Python符号工具进行逆运动学求解。

#### 教学活动:

- 实时展示Python符号运算，使用 `create_interactive_inverse()` 展示逆运动学的解法。
- 学生互动：通过修改输入的末端执行器位置，观察不同关节角度的变化。
- 课后练习：要求学生通过几何方法手动推导两个解（肘部朝上和肘部朝下），并利用Python代码进行验证。

#### 板书公式:

- 余弦定理推导出的第二关节角度：

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left( \frac{r^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2} \right)$$

- 第一关节角度：

$$\theta_1 = \arctan \left( \frac{y}{x} \right) - \arctan \left( \frac{l_2 \sin(\theta_2)}{l_1 + l_2 \cos(\theta_2)} \right)$$

## 4. 运动范围与工作空间分析

### 教学内容：

- 通过实际工业应用中的工作空间与运动范围的分析，引导学生了解如何在设计机器人时考虑这些约束。
- 引入实际工业场景，讨论双连杆机器人工作空间的极限条件，结合SCARA机器人等应用案例进行分析。

### 教学活动：

- 学生分组讨论：让学生思考如何通过调整连杆长度和关节角度来改变机器人的工作范围。
- 工业应用案例：引入工业机器人在实际工作中的运动范围限制，分析如何设计工作空间以避免机器人自碰撞或超出工作区。
- 图形化展示：使用Python绘制工作空间范围，动态展示不同关节角度对工作空间的影响。

---

## 三、教学方法

- 讲授法**：通过理论讲解，帮助学生掌握运动学的基本概念和推导方法。
- 启发式教学**：鼓励学生通过几何推导自行发现运动学模型的规律，引导学生自主思考。
- 互动式教学**：结合Python编程实现实时模拟，学生通过修改参数观察结果，增加课堂参与度。
- 案例教学**：通过实际工业机器人案例的引入，增强学生对运动学理论的理解和应用。

---

## 四、教学工具

1. **Python编程工具:** 使用 `SymPy` 库进行符号推导和解方程，结合Python的图形库进行可视化展示。
  2. **仿真演示工具:** 调用 `create_interactive_forward()` 和 `create_interactive_inverse()` 等函数，展示双连杆机器人运动过程的实时变化。
- 

## 五、教学评价

1. **过程评价:**
    - 学生是否能够正确推导出正运动学和逆运动学的公式。
    - 学生是否能够使用Python代码验证运动学模型，并正确解答编程任务。
    - 学生在讨论工业应用中的工作空间时，能否提出合理的设计和优化建议。
  2. **结果评价:**
    - 通过课堂小测验和课后作业，检查学生对正逆运动学知识的掌握情况。
    - 实验课中通过Python编程仿真展示，评估学生对机器人运动学实际应用的理解。
- 

## 总结

本节课通过结合双连杆机器人在工业中的应用，以几何方法为核心，深入讲解了正运动学和逆运动学模型。通过Python符号计算的工具，学生可以将理论推导与实际编程相结合，进而掌握机器人运动学分析的核心技能，并能够在工业应用中进行问题的分析与解决。