

# 实验一 机器人运动学控制

## 一、实验目的

- 1、认识串并联机器人的典型结构，掌握串、并联机器人的自由度求解方法；
- 2、熟悉串、并联机器人结构示意图的画法；
- 3、理解齐次变换的物理意义，掌握齐次变换矩阵表示刚体位姿的方法，能正确地进行齐次变换矩阵的运算；
- 4、熟悉 D-H 表示法，正确确定连杆参数和关节变量；
- 5、掌握控制机器人末端执行器位姿即操作位姿的方法；
- 6、掌握控制机器人末端执行器速度即操作速度的方法。

## 二、实验原理及方法

齐次变换和运动学建模是机器人运动学的基础。刚体的位姿通过在刚体上建立坐标系来描述。齐次变换矩阵是一个四行四列的矩阵，它的前三列描述刚体的姿态（方向），第四列描述刚体的位置。齐次变换矩阵的乘表示刚体或坐标系间的复合变换，齐次变换矩阵的逆表示反变换。即：如果坐标系  $\{B\}$  相对  $\{A\}$  的齐次变换矩阵是  $T$ ，那么  $T^{-1}$  表示坐标系  $\{A\}$  相对  $\{B\}$  的描述。

连杆的功能在于保持其两端的关节轴线具有固定的几何关系，连杆的特征也是由此连杆上两条轴线的几何关系规定的：两轴线的公法线长度  $a$  就是连杆的长度，两轴线的扭角  $\alpha$  就是连杆的扭角。两连杆之间的连接关系由两连杆的公法线之间的偏置  $d$  和夹角  $\theta$  描述。基于上述 D-H 法的原理在机器人操作臂的每一连杆（构件）上建立坐标系，确定连杆参数和关节变量，建立运动学方程  ${}^0_nT = {}^0_1T {}^1_2T \cdots \cdots {}^{n-2}_{n-1}T {}^{n-1}_nT$ 。

根据作业要求，确定  ${}^0_nT$ ，在此基础上利用上述机器人运动学方程，求解关节变量  $q_1, q_2, \cdots, q_n$ 。控制各关节到达  $q_1, q_2, \cdots, q_n$  的值，从而使末端执行器到达要求的位置和方向  ${}^0_nT$ 。

再根据作业要求，确定末端执行器的操作速度  $V$ ，在此基础上利用机器人操作速度和关节速度的变换方程  $V = J\dot{q}$ （ $V = \{v_x \ v_y \ v_z \ w_x \ w_y \ w_z\}^T$ ， $J$  - 雅克比矩阵， $\dot{q} = \{\dot{q}_1 \ \dot{q}_2 \ \cdots \ \dot{q}_n\}^T$ ）的逆变换方程，求解满足末端执行器速度要求的关节速度变量  $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \cdots, \dot{q}_n$ 。控制各关节的速度达到  $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \cdots, \dot{q}_n$  的值，从而使末端执行器达到要求的操作速度  $V$ 。

## 三、仪器及材料

IRB1410 机器人、微型计算机、MATLAB 软件。

#### 四、实验内容及步骤

- 1、观察并联机器人 5UPS-PRPU 与串联机器人 IRB1410 的结构，了解其动作原理，并绘制其结构简图；
- 2、计算自由度数并判别自由度性质；
- 3、对 IRB1410 机器人建立连杆坐标系，确定连杆参数和关节变量。相应参数填入 IRB1410 连杆参数表。

IRB1410 连杆参数表

连杆 序号 i	$a_{i-1}$	$\alpha_{i-1}$	$d_i$	$\theta_i$	关节变量
1					
2					
3					
4					
5					
6					

- 4、确定  ${}^0_nT$ ，在此基础上利用上述机器人运动学方程，求解关节变量  $q_1, q_2, \dots, q_n$ ；
- 5、确定末端执行器的操作速度  $V$ ，在此基础上利用机器人操作速度和关节速度的变换方程  $V = J\dot{q}$  的逆变换方程，求解满足末端执行器速度要求的关节速度变量  $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n$ ；
- 6、控制各关节达到  $q_1, q_2, \dots, q_n$  的值，从而使末端执行器达到要求的位置和方向  ${}^0_nT$ ；
- 7、控制各关节的速度达到  $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n$  的值，从而使末端执行器达到要求的操作速度  $V$ 。

#### 五、思考题

- 1、齐次变换矩阵的物理意义是什么？
- 2、怎样进行机器人操作臂的位姿运动学建模？
- 3、运动学反解的多重解如何处理？怎样得出最优解？
- 4、运动学反解的数目与机器人的结构本身有无关系？
- 5、如何进行机器人的位移控制？
- 6、如何进行机器人的速度控制？
- 7、如何进行机器人的点位控制？如何进行其连续路径控制？

## 附录 1: MATLAB 上机指导

MATLAB 是一种编程语言, 它的科学计算功能强大。在国外, 尤其是美国, 早在八十年代末期, 各著名大学已开设 MATLAB 课程。MATLAB 是学生在实验环境中必须掌握的技术工具。

### 一、上机要求

- 1、能够熟练进行数值和符号矩阵的加、减、乘、逆运算
- 2、能够熟练求解矩阵方程
- 3、熟悉 MATLAB 编程和运算环境
- 4、熟悉 MATLAB 标准函数的应用

### 二、MATLAB 入门知识

#### 1. 上机过程

点击桌面上的 Matlab 图标(进入 command 窗口)→点击 File→点 New→点击 M-file (进入编程窗口, 在此窗口下进行编程)→编程完毕, 点击 File→点击 save 或 save as 保存程序(程序名应以字母开头, 且不能是 Matlab 的保留字, 程序的扩展名必须是.m), 保存程序后→点击 Debug→点击 Run, 运行程序。

#### 2. 程序运行结果

程序运行结果在 Command 窗口中(在任务栏中点击)。

#### 3. 矩阵输入举例

```
t1=[1 2 ; 3 4]
```

表示矩阵 t1 是  $2 \times 2$  的, 第一行元素是 1 和 2, 第二行元素是 3 和 4。

矩阵 t1 的第 i 行第 j 列的元素表示为  $t1(i, j)$ , 如:  $t1(2, 1) = 3$

#### 4. 矩阵运算指令举例

##### 4. 1 矩阵乘法

```
t1*t2
```

表示矩阵 t1 与矩阵 t2 相乘

##### 4. 2 矩阵的逆

```
inv(t1)
```

表示求矩阵 t1 的逆矩阵

#### 5. 赋值语句

```
a= inv(t1)
```

表示把矩阵 t1 的逆矩阵用 a 表示。

#### 6. 方程及方程组的解法

##### 6. 1 方程的解法

要解方程  $f(x) = 0$

在程序中写成

```
f1=f(x)
```

```
[x]=solve(f1, x)
```

要解方程  $f1(x) = 0$ , 需按下列指令处理:

$y=f1(x)$

$[x]=\text{solve}(y, x)$

## 6. 2 方程组的解法

若要求解方程组

$$\begin{cases} m(x, y, z) = 0 \\ n(x, y, z) = 0 \\ l(x, y, z) = 0 \end{cases}$$

在程序中写成:

$f1 = m(x, y, z)$

$f2 = n(x, y, z)$

$f3 = l(x, y, z)$      $[x, y, z]=\text{solve}(f1, f2, f3, x, y, z)$

此时在 command 窗口中可得变量  $x$ 、 $y$ 、 $z$  的具体数值或表达式。

## 7. 角度的输入

需要注意角度的输入，系统中默认的是弧度。Matlab 中用  $\pi$  表示  $\pi$

## 8. 数值运算

若进行数值运算，可直接给变量赋值，进行运算，这与其它高级语言类似。

## 9. 符号运算

若进行的不是数值运算，而是符号运算，则需要在程序开始的第一行进行符号说明，即说明变量是符号变量。例：

$a$  和  $b$  是符号变量，则说明如下：

$\text{syms } a \ b$

$c=a+b$

则在 command 窗口中可见  $c$  的内容就是  $a+b$ 。

10. 如果数据表达式复杂，可用  $\text{simplify}(f1)$  语句对  $f1$  整理简化。

11. 如果数据太长，可用  $\text{vpa}(q2)$  看数据  $q2$ 。

12. 可变精度的运算，可以设置任意多的有效计算位数进行计算 ( $\text{Vpa}, \text{digits}$ )

如： $\text{digits}(16)$

$[x, y]=\text{solve}(f1, f2, x, y)$

## 三 上机作业:

1. 编程计算矩阵  $T1$  与  $T2$  的乘积, 其中

$$T1 = \begin{bmatrix} \cos(x) & 3 & \sin(y) \\ \cos(y) & 7 & \sin(x) \\ 4 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T2 = \begin{bmatrix} \cos(y) & 3 & \sin(x) \\ \cos(x) & 7 & \sin(y) \\ 4 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2. 解矩阵方程  $T1-T2=0$ , 求得变量  $x$  和  $y$

(提示利用对应元素相等, 列方程, 程序语句如下:

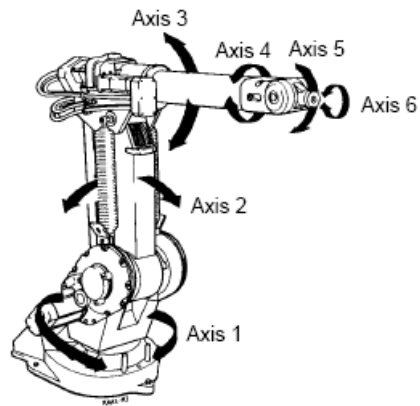
$f1=t1(1, 1)-t2(1, 1)$

$f2=t1(2, 1)-t2(2, 1)$

$[x, y,]=\text{solve}(f1, f2, x, y)$

## 附录 2： IRB1410 机器人简介

### 1、机器人的轴：



### 2.参数及坐标系：

