



# 燕山大学

## 机器人技术基础实验指导书

Base of Robot Technology Experiment Instruction Book

(适用于 20 级机电, 机器人工程)

编者: 丰宗强

教 务 处

2023 年 6 月



# 实验一 MATLAB 软件在机器人学运算中的典型应用

## 一、实验目的

- 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、实验原理及方法

MATLAB 是矩阵实验室 (Matrix Laboratory) 的简称, 属于一种编程语言, 主要用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境, 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。它将数值分析、矩阵计算、科学数据可视化以及非线性动态系统的建模和仿真等诸多强大功能集成在一个易于使用的视窗环境中, 为科学研究、工程设计以及必须进行有效数值计算的众多科学领域提供了一种全面的解决方案。

## 三、仪器及材料

HNC-1R 教学机器人、微型计算机、MATLAB 软件

## 四、实验内容及步骤

### 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]=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]=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:

```
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 `simplify(f1)` 语句对  $f1$  整理简化。

11. 如果数据太长, 可用 `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 (`Vpa,digits`)

如: `digits(16)`

```
[x,y]=solve(f1,f2,x,y)
```

## 五、作业:

1. 编程计算矩阵  $T1$  与  $T2$  的乘积, 其中

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

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

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:

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

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

$$[x, y, ]=solve(f1, f2, x, y)$$

## 实验二 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  $\dot{q}_1$ ,

$\dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n$ 。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  $V$ 。

### 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。

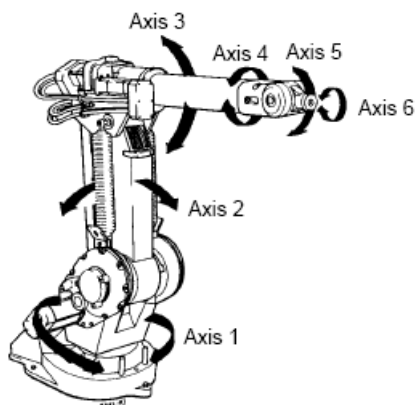
IRB1410 连杆参数表

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					
7					

- 4、确定  ${}^0_nT$ ，并与记录的实验数据进行对比，分析实验结果；
- 5、确定末端执行器的操作速度  $V=\{0,300,0\}$ ，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  $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n$ ；

## 附录： IRB1410 机器人简介

### 1、机器人的轴：



### 2.参数及坐标系：

