



廣東工業大學

课 程 作 业

| | |
|------|------------|
| 课程名称 | 机器人学 |
| 题目名称 | 拇指和食指的工作空间 |
| 专业班级 | 人工智能 2 班 |
| 学 号 | 2112304417 |
| 学生姓名 | 陈维耀 |
| 指导教师 | 黄之峰 |

2024 年 5 月 21 日

目录

| | |
|-----------------------|---|
| 1.建模与仿真..... | 1 |
| 1.1 拇指的 DH 建模..... | 1 |
| 1.2 食指的 DH 建模..... | 1 |
| 1.3 拇指和食指的仿真绘制..... | 1 |
| 2. 工作空间绘制..... | 1 |
| 2.1 拇指的工作空间绘制..... | 1 |
| 2.2 食指的工作空间绘制..... | 1 |
| 2.3 拇指和食指的工作空间绘制..... | 1 |
| 3.心得体会..... | 1 |
| 4.参考资料..... | 1 |

拇指和食指的工作空间

1.建模与仿真

这部分主要是根据人体的手掌骨骼,将拇指和食指简化为关节加连杆的模型,使用 DH 法建立左手拇指和食指的模型,并使用 matlabR2021b 对它们进行仿真。

参考用的骨骼图如图 1 所示:



图 1.1

1.1 拇指的 DH 建模

以本人的左手拇指为参考,简化了拇指的模型,并将其绘制如图 1.2 所示,图中的长度单位为 mm。其中,第 0 杆和第 1 杆重合,它们不进行任何转动,只作为基座使用,第 2、第 3 个关节正交,它们控制着食指的第一节指骨进行两个方向的转动。

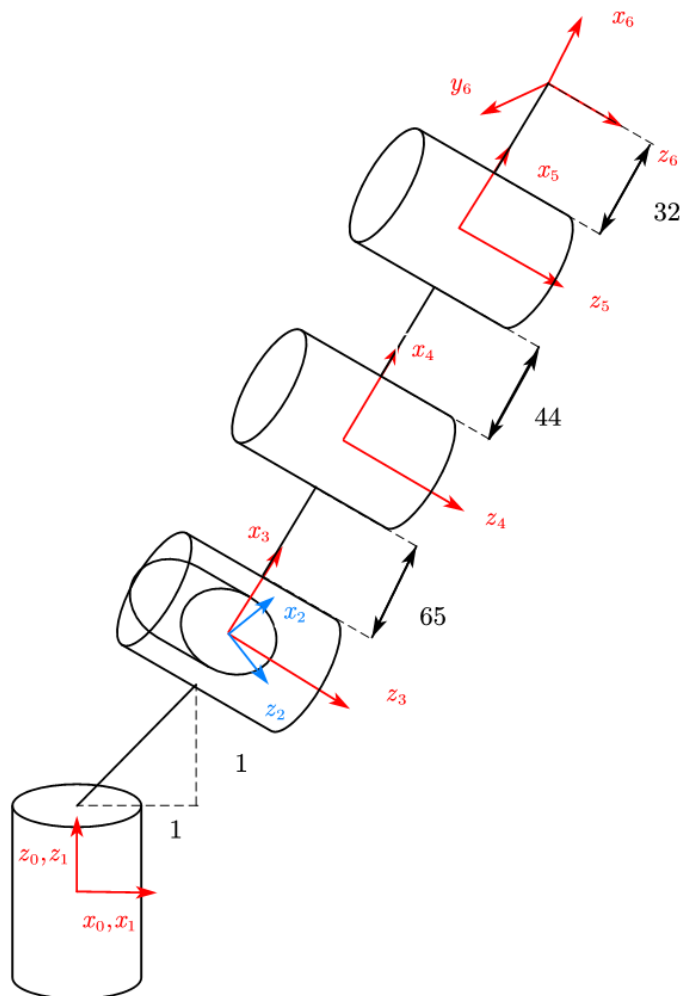


图 1.2

DH 表如表 1.1 所示：

表 1.1

| 关节编号 | θ | d | a | α |
|------|----------|-----|-----|----------|
| 1 | 0 | 1 | 1 | 90 |
| 2 | 45 | 0 | 0 | 90 |
| 3 | 0 | 0 | 65 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 44 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 32 | 0 |

对应的齐次变换矩阵如下：

$$\begin{aligned}
{}^0T_1 &= \begin{bmatrix} C\theta_1 & -C\alpha_1 S\theta_1 & S\alpha_1 C\theta_1 & a_1 C\theta_1 \\ S\theta_1 & C\alpha_1 C\theta_1 & -S\alpha_1 C\theta_1 & a_1 S\theta_1 \\ 0 & S\alpha_1 & C\alpha_1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
{}^1T_2 &= \begin{bmatrix} C\theta_2 & -C\alpha_2 S\theta_2 & S\alpha_2 C\theta_2 & a_2 C\theta_2 \\ S\theta_2 & C\alpha_2 C\theta_2 & -S\alpha_2 C\theta_2 & a_2 S\theta_2 \\ 0 & S\alpha_2 & C\alpha_2 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
{}^2T_3 &= \begin{bmatrix} C\theta_3 & -C\alpha_3 S\theta_3 & S\alpha_3 C\theta_3 & a_3 C\theta_3 \\ S\theta_3 & C\alpha_3 C\theta_3 & -S\alpha_3 C\theta_3 & a_3 S\theta_3 \\ 0 & S\alpha_3 & C\alpha_3 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.707 & 0 & 0.707 & 0 \\ 0.707 & 0 & -0.707 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
{}^3T_4 &= \begin{bmatrix} C\theta_4 & -C\alpha_4 S\theta_4 & S\alpha_4 C\theta_4 & a_4 C\theta_4 \\ S\theta_4 & C\alpha_4 C\theta_4 & -S\alpha_4 C\theta_4 & a_4 S\theta_4 \\ 0 & S\alpha_4 & C\alpha_4 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 65 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
{}^4T_5 &= \begin{bmatrix} C\theta_5 & -C\alpha_5 S\theta_5 & S\alpha_5 C\theta_5 & a_5 C\theta_5 \\ S\theta_5 & C\alpha_5 C\theta_5 & -S\alpha_5 C\theta_5 & a_5 S\theta_5 \\ 0 & S\alpha_5 & C\alpha_5 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 44 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
{}^5T_6 &= \begin{bmatrix} C\theta_5 & -C\alpha_5 S\theta_5 & S\alpha_5 C\theta_5 & a_5 C\theta_5 \\ S\theta_5 & C\alpha_5 C\theta_5 & -S\alpha_5 C\theta_5 & a_5 S\theta_5 \\ 0 & S\alpha_5 & C\alpha_5 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 32 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

每个关节的工作范围如表 1.2 所示：

表 1.2

| 关节编号 | 工作范围 |
|------|-----------|
| 1 | 无 |
| 2 | -15°~ 35° |
| 3 | -60°~ 0° |
| 4 | -50°~ 0° |
| 5 | -90°~ 0° |

1.2 食指的 DH 建模

以本人的左手食指为参考，简化了食指的模型，并将其绘制如图 1.3 所示，其中，第 0 杆与第 1 杆不动，第 2、第 3 个关节正交，图中的长度单位为 mm。

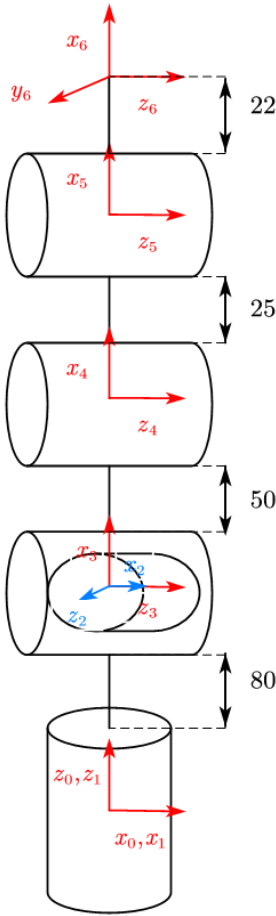


图 1.3

DH 表如表 1.3 所示：

表 1.3

| 关节编号 | θ | d | α | a |
|------|----------|-----|----------|-----|
| 1 | 0 | 80 | 0 | 90 |
| 2 | 90 | 0 | 0 | 90 |
| 3 | 0 | 0 | 50 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 25 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 22 | 0 |

对应的齐次变换矩阵如下：

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} C\theta_1 & -C\alpha_1 S\theta_1 & S\alpha_1 C\theta_1 & a_1 C\theta_1 \\ S\theta_1 & C\alpha_1 C\theta_1 & -S\alpha_1 C\theta_1 & a_1 S\theta_1 \\ 0 & S\alpha_1 & C\alpha_1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1T_2 = \begin{bmatrix} C\theta_2 & -C\alpha_2 S\theta_2 & S\alpha_2 C\theta_2 & a_2 C\theta_2 \\ S\theta_2 & C\alpha_2 C\theta_2 & -S\alpha_2 C\theta_2 & a_2 S\theta_2 \\ 0 & S\alpha_2 & C\alpha_2 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 80 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2T_3 = \begin{bmatrix} C\theta_3 & -C\alpha_3 S\theta_3 & S\alpha_3 C\theta_3 & a_3 C\theta_3 \\ S\theta_3 & C\alpha_3 C\theta_3 & -S\alpha_3 C\theta_3 & a_3 S\theta_3 \\ 0 & S\alpha_3 & C\alpha_3 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^3T_4 = \begin{bmatrix} C\theta_4 & -C\alpha_4 S\theta_4 & S\alpha_4 C\theta_4 & a_4 C\theta_4 \\ S\theta_4 & C\alpha_4 C\theta_4 & -S\alpha_4 C\theta_4 & a_4 S\theta_4 \\ 0 & S\alpha_4 & C\alpha_4 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 50 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^4T_5 = \begin{bmatrix} C\theta_5 & -C\alpha_5 S\theta_5 & S\alpha_5 C\theta_5 & a_5 C\theta_5 \\ S\theta_5 & C\alpha_5 C\theta_5 & -S\alpha_5 C\theta_5 & a_5 S\theta_5 \\ 0 & S\alpha_5 & C\alpha_5 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 25 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^5T_6 = \begin{bmatrix} C\theta_5 & -C\alpha_5 S\theta_5 & S\alpha_5 C\theta_5 & a_5 C\theta_5 \\ S\theta_5 & C\alpha_5 C\theta_5 & -S\alpha_5 C\theta_5 & a_5 S\theta_5 \\ 0 & S\alpha_5 & C\alpha_5 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 22 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

每个关节的工作范围如表 1.4 所示：

表 1.4

| 关节编号 | 工作范围 |
|------|-----------|
| 1 | 无 |
| 2 | -45°~ 15° |
| 3 | -90°~ 20° |
| 4 | -120°~ 0° |
| 5 | -90°~ 0° |

1.3 拇指和食指的仿真绘制

在 matlabR2021b 上, 按照表 1.1 与表 1.2 的 DH 表, 以半径为 5mm、长度为 40mm 的圆柱体作为关节, 用直线将关节连接起来, 将拇指和食指的模型绘制在同一个图窗中, 进行拇指和食指的仿真绘制, 结果如图 1.4 所示, 其中拇指和食指的初始关节角度都为 0。

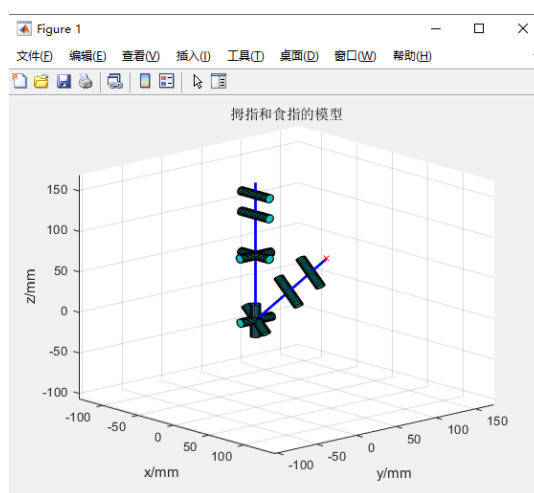


图 1.4

2. 工作空间绘制

由表 1.2 和表 1.4 所示的拇指和食指的工作范围, 可以通过以一定的步长遍历各关节的所有角度, 从而绘制拇指和食指的工作空间。

2.1 拇指的工作空间绘制

由表 1.2 所示的拇指的工作范围, 绘制出拇指的工作空间如图 1.5 所示。可以看到, 其边缘由多个大弧线组成。正视图中呈现出来的效果类似一把折扇。

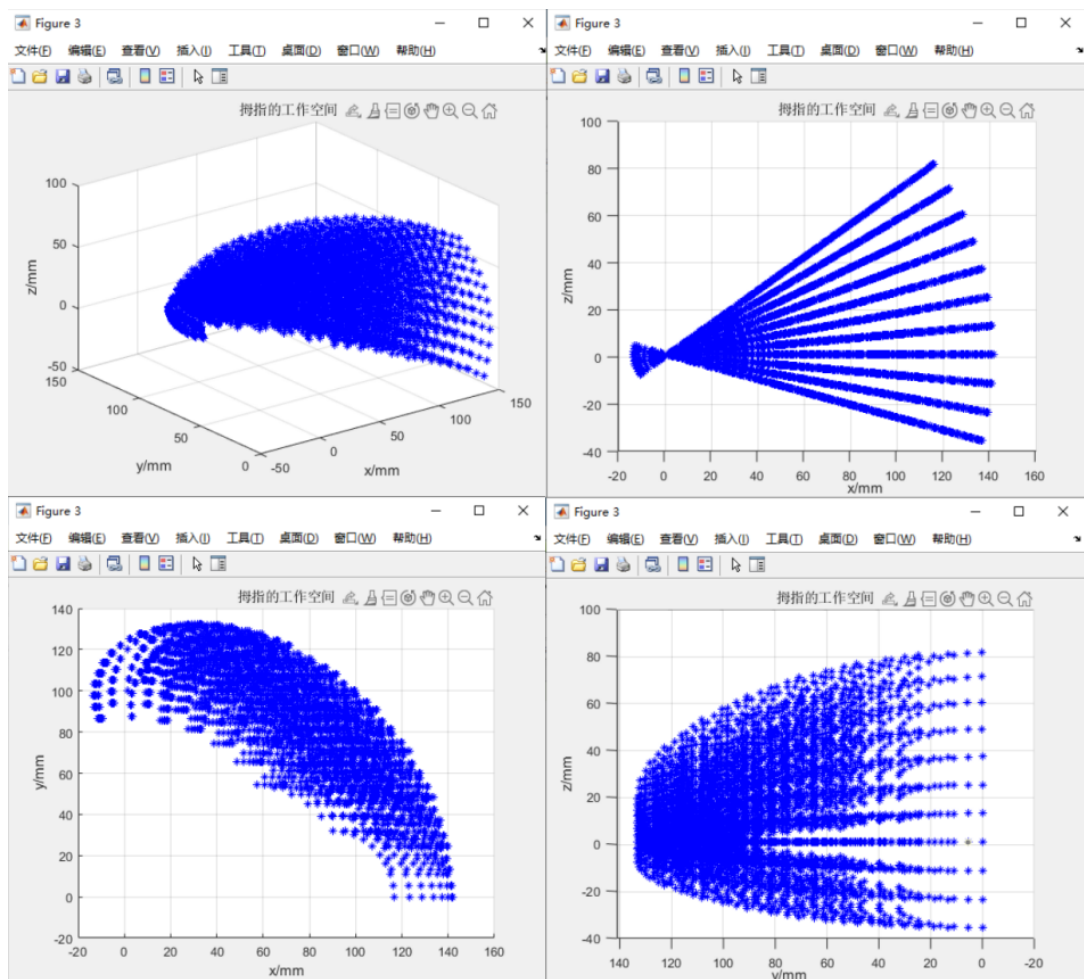


图 1.5

其中，左上角为全景图，其余为三视图，此外，该工作空间的绘制中，除了第一个关节保持不动，其余关节都在关节范围内取了适当的步长。

2.2 食指的工作空间绘制

由表 1.4 所示的拇指的工作范围，绘制出拇指的工作空间如图 1.5 所示。可以看到，其边缘由多个大弧线组成。正视图中呈现出来的效果类似一把折扇。

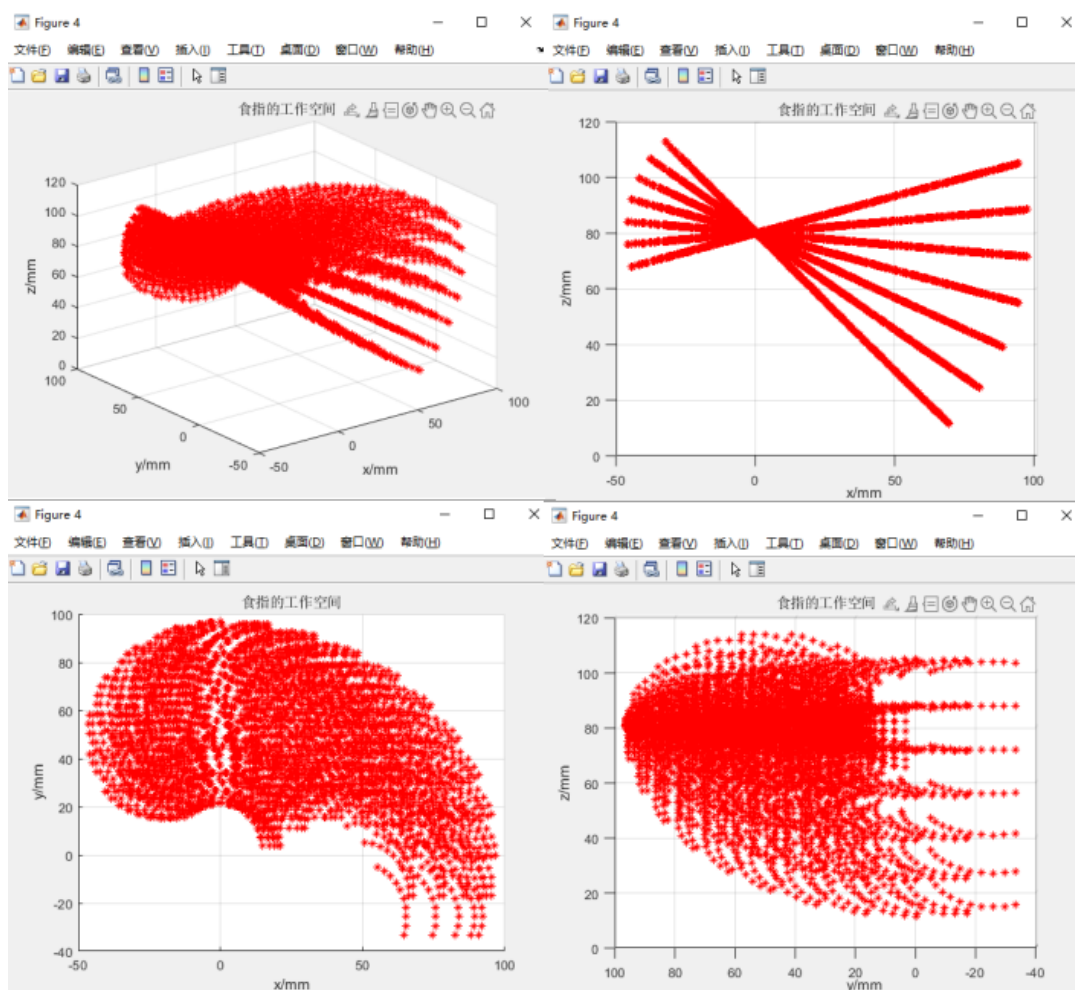


图 1.6

其中，左上角为全景图，其余为三视图，此外，该工作空间的绘制中，除了第一个关节保持不动，其余关节都在关节范围内取了适当的步长。

2.3 拇指和食指的工作空间绘制

在实际中，拇指和食指显然有相交的区域，于是将两个工作空间画在同一个图窗中，可以得到图 1.7 的工作空间。

其中，蓝色部分为拇指的工作空间，红色部分为食指的工作空间，可以看见，与实际相同，二者的工作空间有一定的交汇。

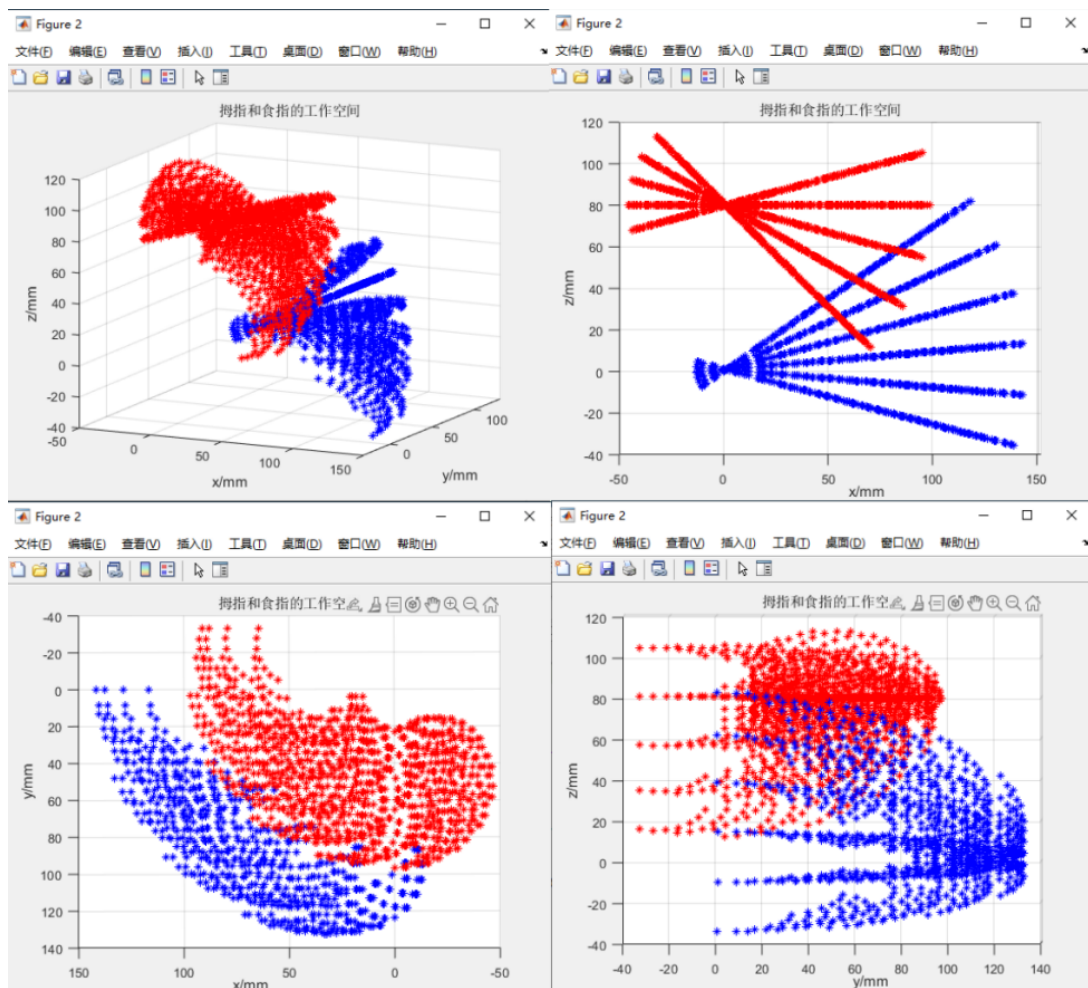


图 1.7

3.心得体会

学习了机器人的 DH 法建模，使用自身左手拇指与食指的数据建立拇指和食指的 DH 表，在 matlab 中绘制模型，并分别绘制拇指和食指的工作空间，再将两者绘制在一起，发现两者的工作空间有一定的交汇区，符合实际，其边缘由大量大弧线组成。

4.参考资料

- [1]蔡自兴, and 谢斌. 机器人学. Vol. 9. No. 1. 清华大学出版社, 2000.
- [2]樊绍巍,刘伊威,金明河,等.HIT/DLR HandII类人形五指灵巧手机构的研究[J].哈尔滨工程大学学报,2009,30(02):171-177.
- [3]樊绍巍. 类人型五指灵巧手的设计及抓取规划的研究[D].哈尔滨工业大学,2011.
- [4]王殿博. 仿人五指灵巧手的结构设计与控制研究[D].安徽理工大学,2023.DOI:10.26918/d.cnki.ghngc.2021.000448.

5.附件程序解释

附件中的 readme.txt 文件中对于附件的各个可执行文件进行了解释, 这里也再次给出。

1. DHfk_muzhi_Lnya.m 和 DHfk_shizhi_Lnya.m 用于定义拇指和食指模型的绘制时的相关参数。
2. Matrix_DH_muzhi.m 和 Matrix_DH_shizhi.m 用于后续计算拇指和食指各个关节之间的齐次变换矩阵。
3. model_muzhi_shizhi.m 用于绘制拇指和食指模型, 其结果保存在 model_muzhi_shizhi.fig 中, 其中长度单位均为 mm。
4. muzhi_DH 和 shizhi_DH 为拇指和食指的 DH 表。
5. workspace_muzhi.m 、 workspace_shizhi.m 用于单独绘制拇指和食指工作空间, 其绘制结果保存在 muzhi_workspace_finalfig 和 shizhi_workspace_final.fig 中。
- 6.workspace_muzhi_shizhi.m 用于同时绘制拇指和食指的工作空间, 以查看其交界处, 其绘制结果保存在 muzhi_shizhi_workspace_final.fig 中。