

# 机器人学实验二

运动控制实验室 (K319)

## 1 实验目的

- 了解 SCARA、Delta 和六轴工业机器人的硬件组成、机械结构和性能参数。
- 熟悉工业机器人的上位机操作界面，了解界面中各模块的功能。
- 掌握工业机器人的世界坐标系、关节坐标系、工作空间和末端位姿描述方式。
- 掌握机器人宏指令的语法规则和功能, 使用宏指令控制工业机器人来完成指定的动作。

## 2 实验内容

- 学习 SCARA、Delta 和六轴工业机器人的硬件组成、机械结构和性能参数。
- 在上位机界面使用宏指令使机器人末端分别绘制出三角形、圆形、近椭圆形轨迹，并将所得轨迹数据记录下来。
- 在上位机界面使用宏指令实现工业机器人码垛的功能。

## 3 实验说明

- 每个学生在指定的机器人机台上完成此次实验内容，并且在后续的实验三和实验四中，均在此机台上完成实验。具体分配情况根据《机器人机台分配名单》。
- 在上机前请仔细阅读实验指导书及观看实验指导视频，避免由于操作不当而导致机器损坏甚至人身安全问题。

## 4 实验基础

本实验以 SCARA、Delta 和六轴工业机器人为实验平台，学生通过宏指令的方式来控制机器人完成相应的动作。为了更直观的展现机器人的具体结构参数，该章节分别介绍了三种机器人的整体结构、世界坐标系、关节坐标系以及尺寸参数等内容。更多关于机器人介绍的内容可以参考《开放式 SCARA 机器人用户手册》、《开放式 Delta 并联机器人用户手册》、《开放式六轴机器人用户手册》。另外，本部分还介绍了本次实验可能需要的宏指令代码。宏指令的语法规则、参数意义和功能详见《QKM 机器人指令手册》。

## 4.1. 机器人介绍

### 4.1.1 SCARA 机器人

#### 1) SCARA 机器人整体介绍

SCARA 机器人具有四个关节，三个旋转关节轴线相互平行，实现平面内定位和定向。此外，附加一个滑动关节，实现末端件垂直运动。其末端姿态描述方式为 Z-Y-Z 欧拉角，末端坐标表示为  $(X, Y, Z, \text{yaw}, \text{pitch}, \text{roll})$ ，其中 yaw、pitch、roll 分别对应 Z-Y-Z 三个欧拉角。

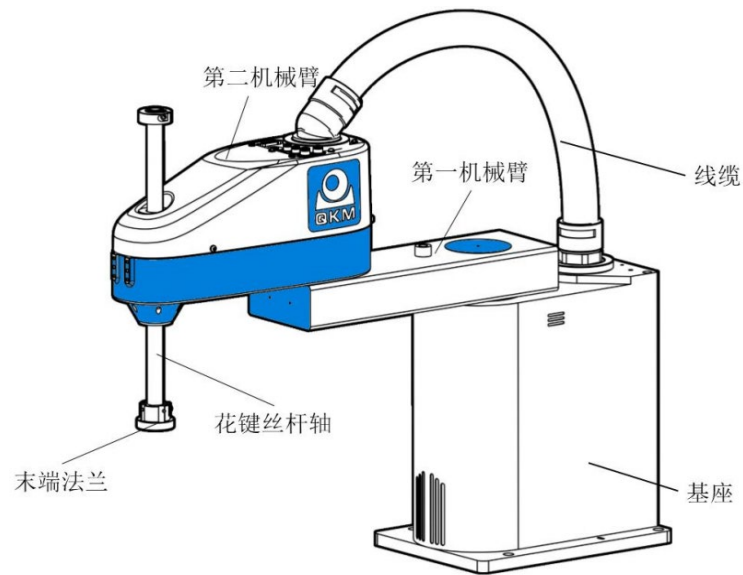


图 1 SCARA 机器人整体结构示意图

#### 2) 世界坐标系

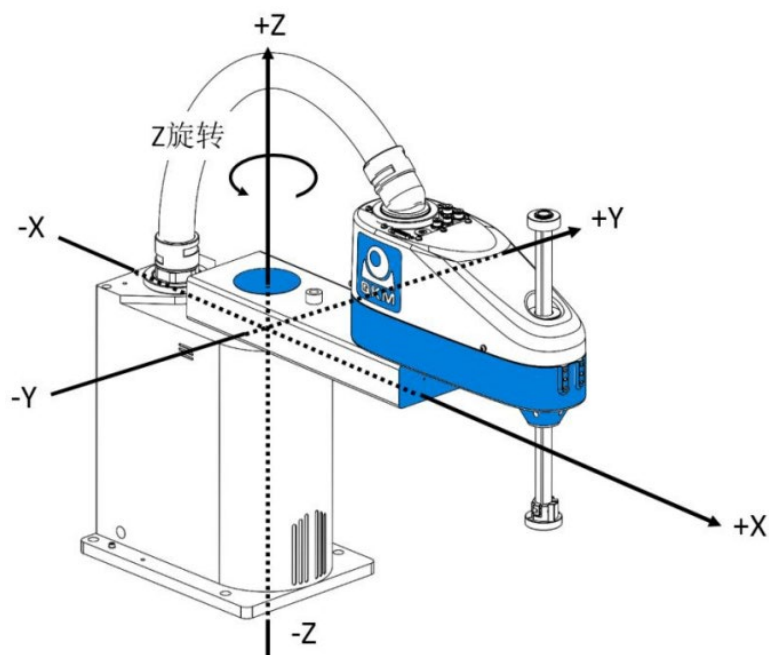


图 2 SCARA 机器人世界坐标系

### 3) 关节坐标系

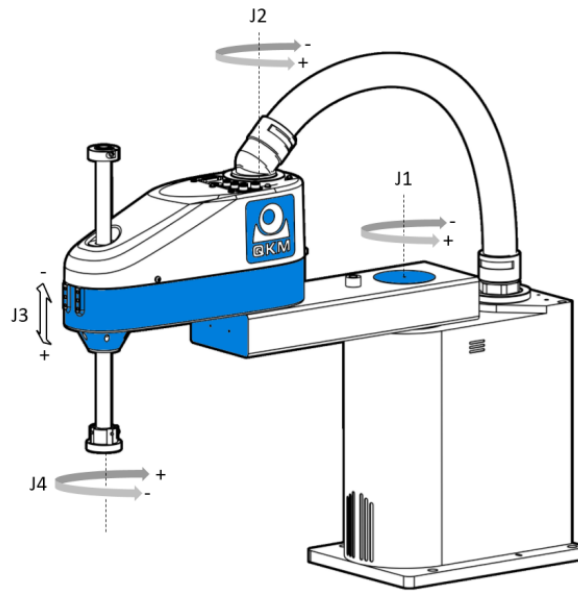


图 3 SCARA 机器人关节坐标系

### 4) 臂长参数

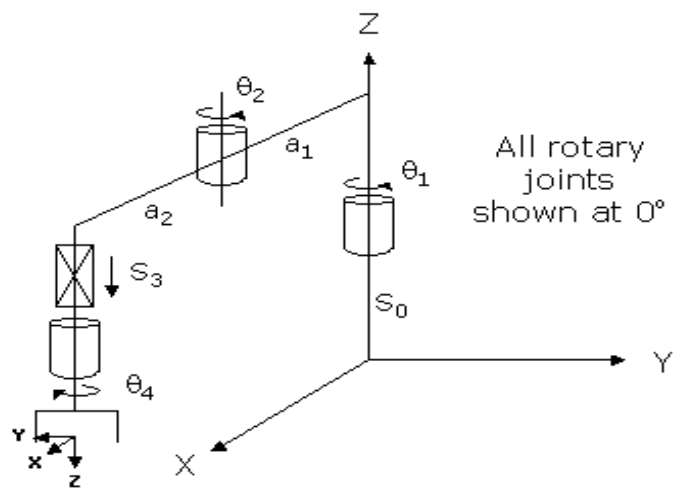


图 4 SCARA 机器人结构简图

其中  $s_0 = 0\text{mm}$ ,  $a_1 = 250\text{mm}$ ,  $a_2 = 250\text{mm}$ 。

## 4.1.2 Delta 机器人

### 1) Delta 机器人整体介绍

Delta 机器人由于机械结构的牵扯和限制，它一般只有 3 到 4 个自由度，故只能在工作空间内实现三个方向的平动和绕 Z 轴的旋转运动。其末端姿态描述方式为 Z-Y-Z 欧拉角，末端坐标表示为  $(X, Y, Z, \text{yaw}, \text{pitch}, \text{roll})$ ，其中 yaw、pitch、roll 分别对应 Z-Y-Z 三个欧拉角。

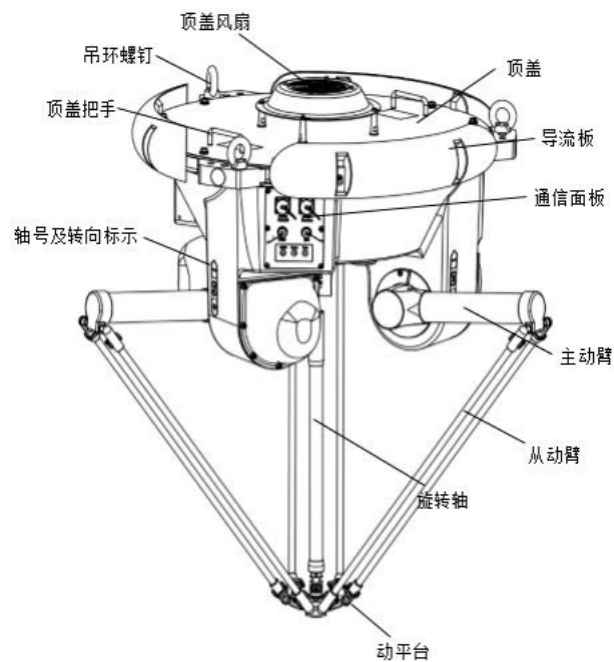


图 5 Delta 机器人整体结构示意图

## 2) 世界坐标系

Delta 机器人的世界坐标系如图所示，其中机器人的 X 轴与输出 1 轴平行。

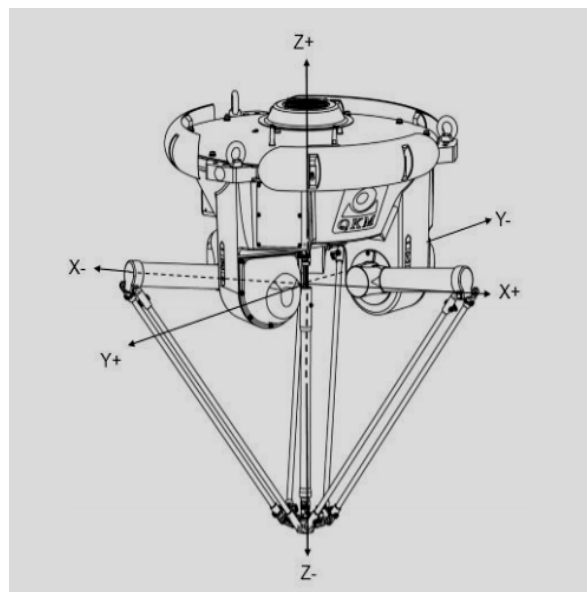


图 6 Delta 机器人世界坐标系

## 3) 关节坐标系与臂长参数

Delta 机构简图如下所示，世界坐标系原点建立在静平台的中点 O，Z 轴方向竖直向上，X 轴与 1 轴的夹角为  $90^\circ$ ，Y 轴根据右手定则确定。

机器人动坐标系原点建立在动平台终点，Z 轴竖直向下，机器人各关节处于 0 点时，动平台 X 方向和静平台 X 方向重合，Y 轴方向根据右手定则。各轴的

转动正方向如图中箭头所示。由动平台到电机转轴的距离  $R=200\text{mm}$ ，主动臂长  $L=350\text{mm}$ ，从动臂长为  $l=800\text{mm}$ ，静平台半径为  $r=45\text{mm}$ 。主动臂转角范围为： $-39^\circ \sim 100^\circ$ ，第四轴的转角范围是  $\pm 360^\circ$

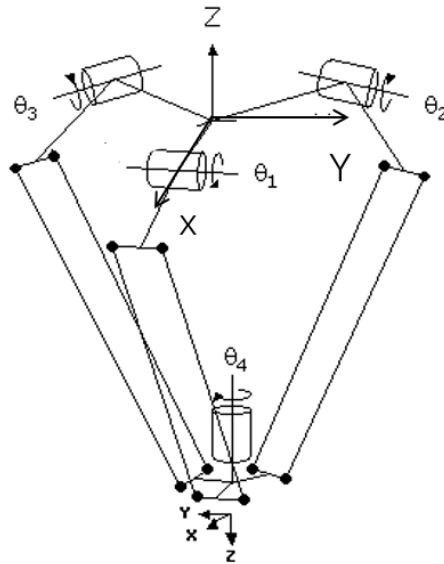


图 7 Delta 机器人结构简图

### 4.1.3 六轴机器人

#### 1) 六轴机器人整体介绍

六轴机器人的整体结构和世界坐标系的方向如下图所示，其末端姿态描述方式为 Z-Y-Z 欧拉角，末端坐标表示为  $(X, Y, Z, \text{yaw}, \text{pitch}, \text{roll})$ ，其中 yaw、pitch、roll 分别对应 Z-Y-Z 三个欧拉角。

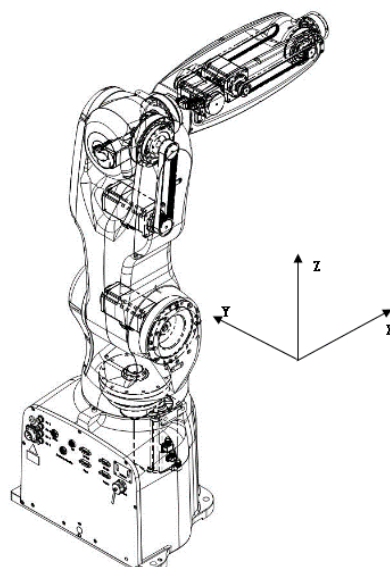


图 8 六轴机器人

## 2) 坐标系及尺寸参数

六轴机器人的结构简图如下所示。在各轴处于 0 点时，机器人坐标系的原点位于基座底面水平面，原点为一轴轴线与底面交点，Z0 轴方向和竖直向上，和一轴轴线重合，X0 轴方向为水平向前，Y0 轴方向根据右手定则确定。末端执行器的坐标位于法兰末端中心点，Ztool 轴和六轴轴线重合，竖直向上，此时 Xtool 的方向水平和 X0 轴方向相反，Ytool 轴方向根据右手定则。

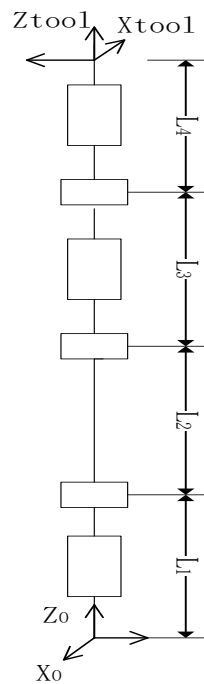


图 9 六轴机器人结构简图

图中长度尺寸为（单位均为 mm）：

$$L_1=491$$

$$L_2=450$$

$$L_3=450$$

$$L_4=84$$

各关节的转角范围如下（单位均为°）：

$$\theta_1=\pm 170$$

$$\theta_2=\pm 120$$

$$\theta_3=-228\sim 48$$

$$\theta_4=\pm 170$$

$$\theta_5=\pm 120$$

$$\theta_6=\pm 360$$

## 4.2 宏指令基础

宏语言是计算机的一种编程语言，宏是一种预处理指令，用于说明某一特定

字符串输入，根据预定义的规则转换成对应的字符串输出。它提供了一种机制，可以用来替换源代码中的字符串，把复杂的源文件变成简单、简短的代码。

使用时可以直接发送宏指令集及参数给机器人，机器人接收到宏指令后完成相应的功能，并反馈相应的结果。通过调用该语言可以简洁、便利的进行机器人集成项目开发。下面列出了本实验可能需要的宏指令，按照指令类型分为系统指令、机器人指令、运动指令、点位指令和 Profile 指令。

指令类型	关键字	描述
系统指令	System.Speed	系统全局速度，修改后，对全部机器人的速度起作用
机器人指令	Robot.Where	获取机器人当前笛卡尔坐标位置。默认获取到的是在当前设置的坐标系下的坐标值
	Robot.WhereAngle	获取指定机器人的当前轴坐标位置
	Robot.Limit	设置/读取 机器人的 Limit
	Robot.Auto	设置/读取机器人的模式：自动/手动模式
	Robot.Speed	设置/读取机器人的速度
运动指令	Move.Joint	运动到目标点，P2P 控制。轨迹不受用户控制
	Move.Line	直线到目标点移动过程必须是直线路径
	Move.Axis	关节动作移动
	Move.JOffset	p2p 运动到目标点偏移位置，x、y、z 方向。跟坐标没关系
	Move.LOffset	直线到目标点偏移位置，x、y、z 方向。跟坐标没关系
	Move.Arc	圆弧动作移动
	Move.Circle	圆动作移动
	Move.Jump	门型运动，移动到当前点上方，移动到目标点上方，移动到目标点。轨迹是直线运动
	Move.WaitForEOM	等待当前运动完全到位，再执行下一条指令
	Move.JumpCFG	设定/读取 Jump 运动的内部平滑过渡参数
点位指令	Location	笛卡尔坐标点
	Location.X	笛卡尔坐标 X
	Location.Y	笛卡尔坐标 Y
	Location.Z	笛卡尔坐标 Z
	Location.Yaw	Yaw，SCARA 机器人默认为 0
	Location.Pitch	Pitch，SCARA 机器人默认为 180°
	Location.Roll	Roll，SCARA 机器人对应的是角度
	Location.Config	姿态，四轴：左手臂/右手臂 六轴：8 个
Profile 指令	Profile	轨迹参数类关键字。对用户表现为过程速度，加速度等信息控制。轨迹规划转化为过程轨迹分配参数

## 5 实验操作指南

运动控制实验室中 SCARA、Delta、六轴机器人的机台组成、上位机界面和宏指令基本相同，因此下面仅以 SCARA 机器人为例具体讲解实验中的基本实验操作。

### 5.1 机器人机台的开机和关机

#### 5.1.1 开机

- 1) 打开总电源开关，将旋钮旋到竖直位置，电源指示灯亮起表示已开启，如下图所示。



图 10 总电源开关

- 2) 打开工控机电源开关，按下 **Power** 键，指示灯亮起即已开机。



图 11 工控机电源开关

- 3) 打开压缩机开关，将黑色旋钮旋转到 **On** 的位置。





图 12 空气压缩机电源开关

此时已完成开机工作，电脑显示屏锁屏密码：zdh。

### 5.1.2 关机

- 1) 关闭电脑。
- 2) 将总电源开关旋至水平位置。

## 5.2 宏指令的基本使用方法

### 5.2.1 宏指令的输入与执行

- 1) 在电脑桌面上打开 **UIpallas** 软件，点击**连接**，此时通讯已连接，然后点击**手动界面**。

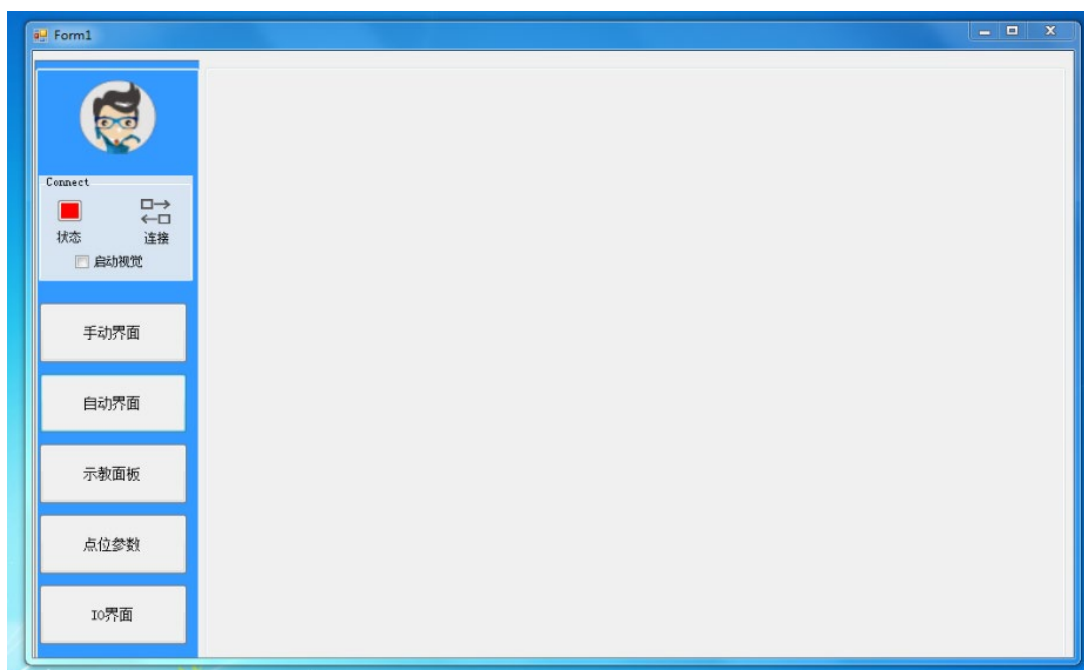


图 13 UIpallas 软件界面

- 2) 点击**手动界面**之后其界面如下所示，依次点击**加载权限**、**自动模式**、**上电**、**Home**，此时就可以使用宏指令来控制机器人。例如，在指令输入区输入

Robot.Where 1, 点击**执行**, 此时可以在日志反馈区查看当前机器人末端的笛卡尔坐标。其中, 第一个 0 表示程序运行成功, 后六位是机器人末端在笛卡尔坐标系中的位姿描述。更多宏指令的使用方法参考《QKM 机器人指令手册》, 在执行每一条宏指令之前先明确该指令的功能, 如有问题则询问老师或者助教, 确认无误后方可执行, 避免意外发生。



图 14 手动界面示意图

## 5.2.2 使用宏指令控制机器人完成指定轨迹

### 1) 点位的确定

以三角形轨迹为例, 若要完成三角形轨迹, 则需要在空间中确定三个点, 点位的信息可以使用上位机界面中的**示教面板**进行确定。其界面如图 15 所示, 上方分别显示了当前机器人末端的笛卡尔坐标点位和关节坐标点位, 下方是调节按钮。选择**寸动模式**, 在左侧选择栏里选择机器人末端所移动的方向或者需要调节的姿态角, 右下方可以根据需要选择每一次寸动的距离, 点击一次**+**号或者**-**号, 即可完成一次寸动。反复上述步骤直到机器人末端到达目标点。

如要绘制圆形轨迹, 可以参考宏指令手册来进行点位的选取和指令的执行。绘制近椭圆形轨迹时, 可以使用两个圆弧来近似, 使用 **Profile** 指令使两段圆弧拟合。

注: SCARA 机器人和 Delta 机器人采用示教面板进行点位的选取, 六轴机器人使用示教器进行点位选取。示教器的使用方法可以参考实际示教器显示界面上的教程。

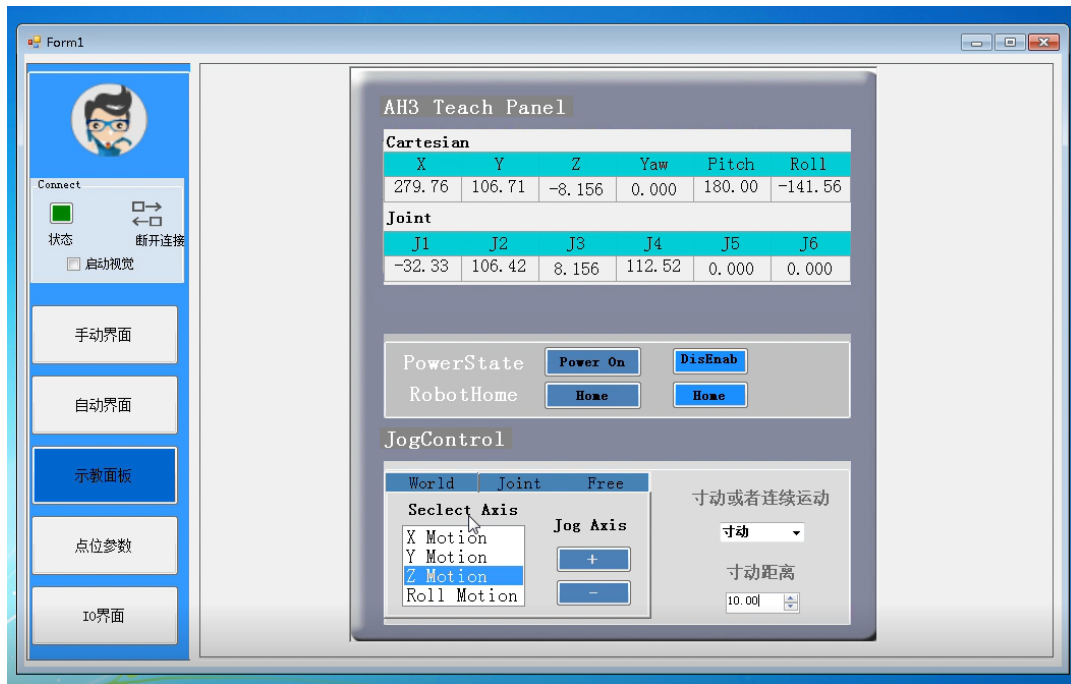


图 15 示教面板

## 2) 点位的输入

方法一：直接在指令输入区通过点位指令输入点位的笛卡尔坐标或者关节坐标（关节坐标只可以通过关节运动模式到达此点位）。例如输入 SCARA 机器人点 P 的笛卡尔坐标，具体方法如下图所示。



图 16 直接输入点的坐标

方法二：通过点位参数面板保存点位。界面如图 17 所示，假设已经通过示

教面板选好点位，点击**点位参数**、**新建参数**，输入相应的名称，例如 s4，点击**确定**。点击**记录当前点**、**保存参数**。点位虽然已经保存，但是点位信息并没有存储到控制器中。接下来点击**自动界面**，其界面如图 18 所示，点击**初始化**，初始化后点击**停止**按钮，此时点位信息就保存到了控制器当中。所以可以直接在指令输入区应用此点位，而不需要对此点位名称再进行赋值了。

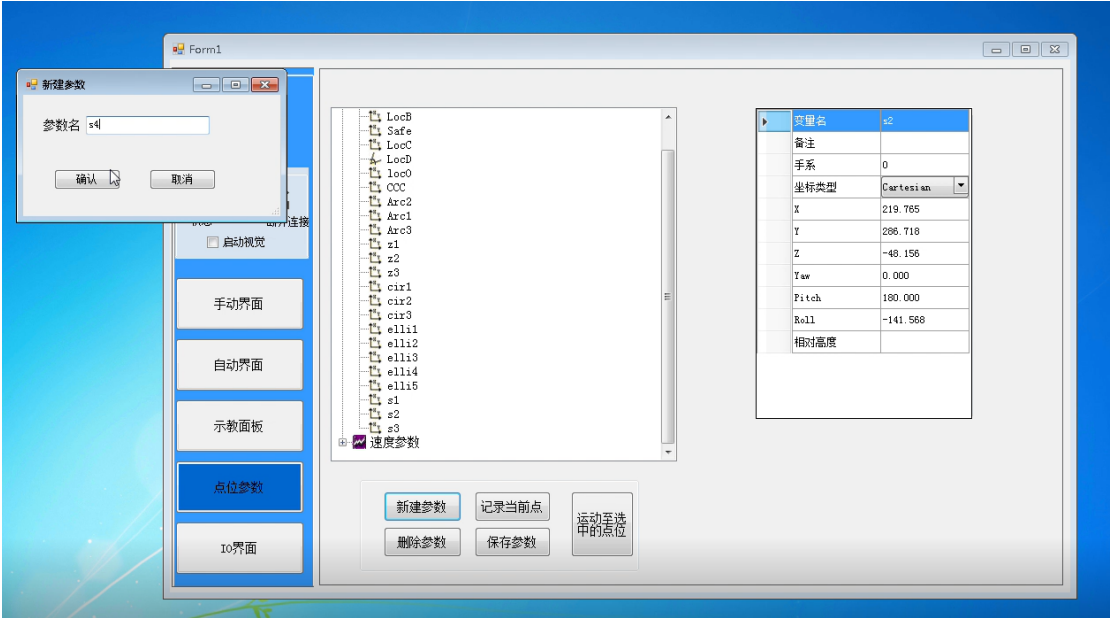


图 17 通过点位参数保存点位

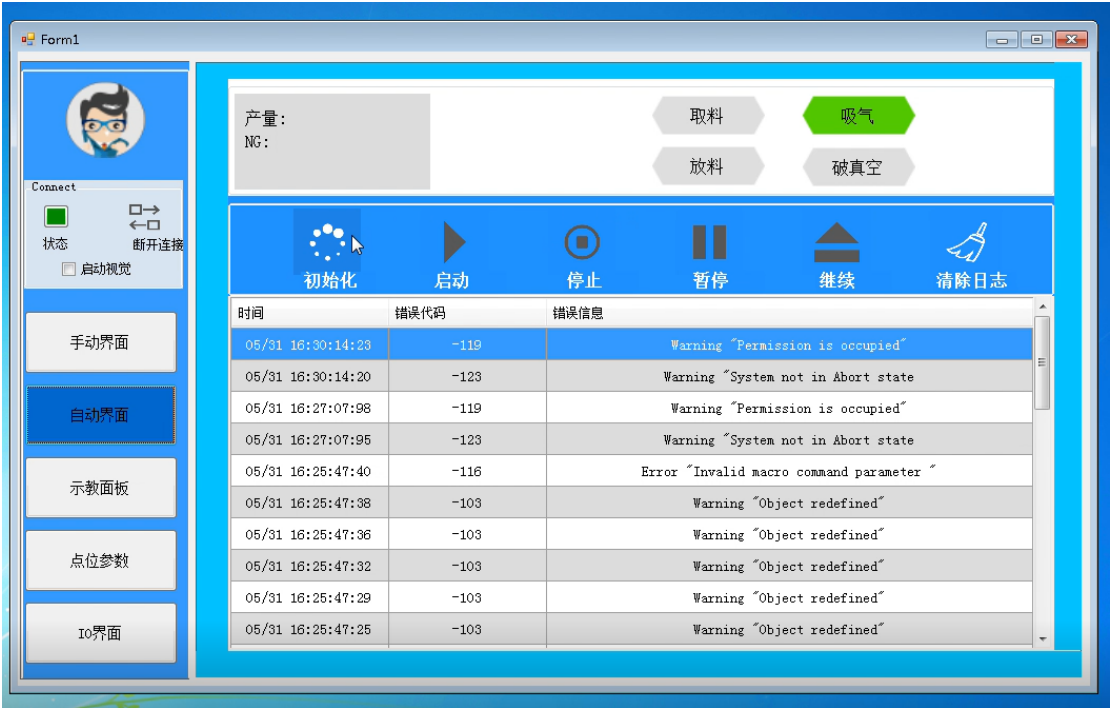


图 18 自动界面

### 3) 控制机器人的运动

使用运动指令中的直线运动（Move.Line Location）即可使机器人完成三角形的轨迹。所输入的指令如下图所示，其中在 z1、z2、z3 是事先已经保存好的点位，也可以使用直接赋值的方法确定三个点位来完成相应的轨迹。

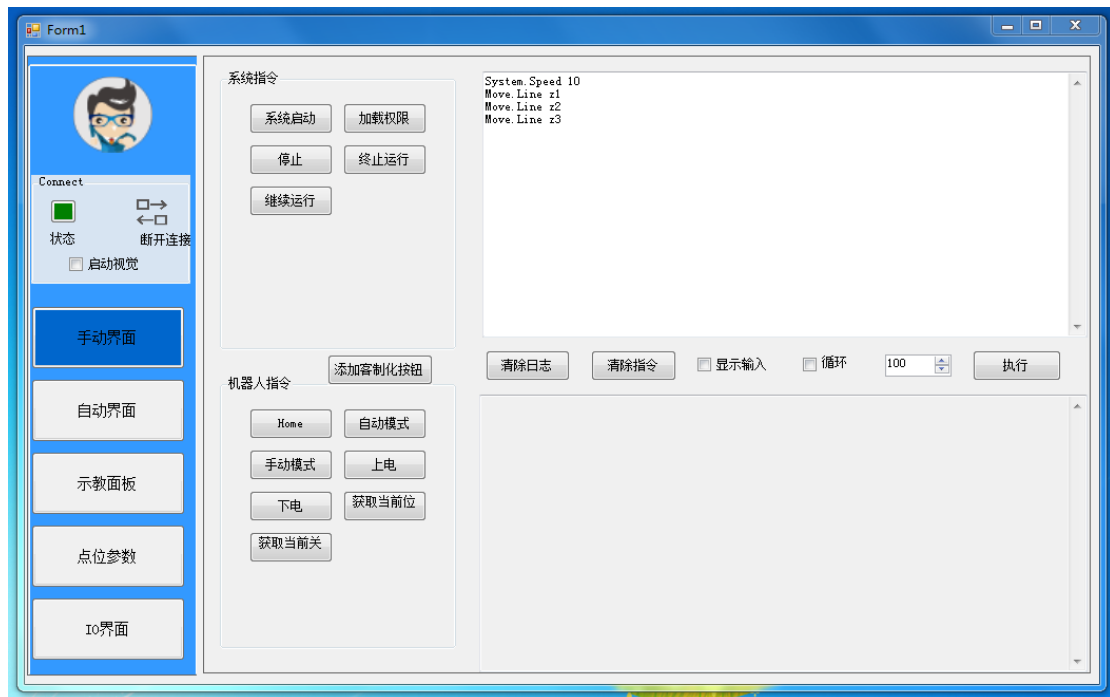


图 19 使用宏指令控制机器人完成三角形轨迹运动

### 5.2.3 使用宏指令控制机器人完成码垛功能

根据所学内容，控制机器人完成码垛功能。将图 20 中左侧三个个矩形塑料块通过机械臂叠放到 D 位置，叠放后如图 21 所示。



图 20 码垛前示意图



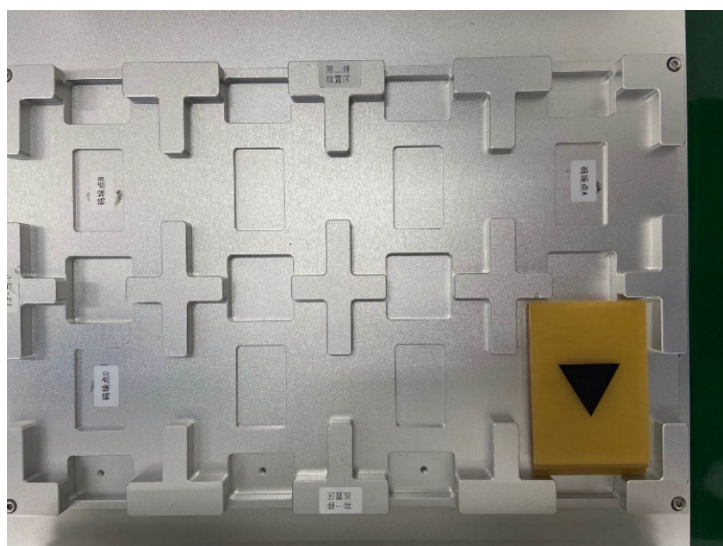


图 21 码垛后示意图

### 操作提示：

- ① 完成码垛功能过程中，机器人末端应走“门”形轨迹。
- ② SCARA 机器人和六轴机器人末端气爪的吸气和放气的指令分别为 *IO.Set DOUT(20103), 1* 和 *IO.Set DOUT(20104), 1*。Delta 机器人末端气爪的吸气和放气的指令分别为 *IO.Set DOUT(20102), 1* 和 *IO.Set DOUT(20103), 1*。其中末尾的 1 表示 IO 打开，若输入 0 表示 IO 关闭。

## 5.3 机器人轨迹数据的提取

- 1) 打开桌面上的软件 PuTTY 软件，输入 IP 地址：192.168.10.101（每个机器都是相同的），选择 **Telnet** 方式，点击确定。

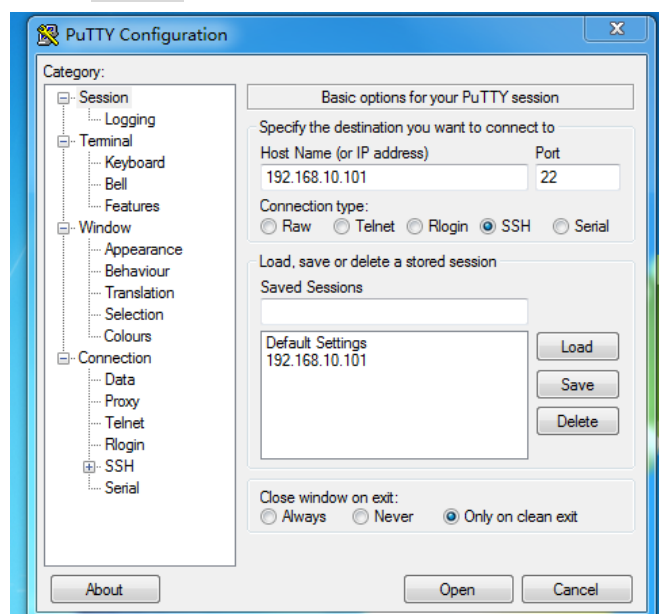


图 22 PuTTY 软件

- 2) 在弹出的界面中逐行输入如下指令(为了方便,指令也存放在桌面上的 txt 文件中),每输入一行指令后,按回车结束。

'6轴的采集指令

采集时间 数据个数 开启标志

log\_cmd 1 8 0

采集的IDN序号

采集起始位

log\_idn "P-0-0505.0.14" "P-0-0506.0.14" "P-0-0507.0.14" 0

log\_idn "P-0-0508.0.14" "P-0-0509.0.14" "P-0-0510.0.14" 3

log\_idn "P-0-0505.0.13" "P-0-0506.0.13" "P-0-0507.0.13" 6

log\_idn "P-0-0508.0.13" "P-0-0509.0.13" "P-0-0510.0.13" 9

log\_cmd 1 8 1

'4轴的采集指令

log\_cmd 1 8 0

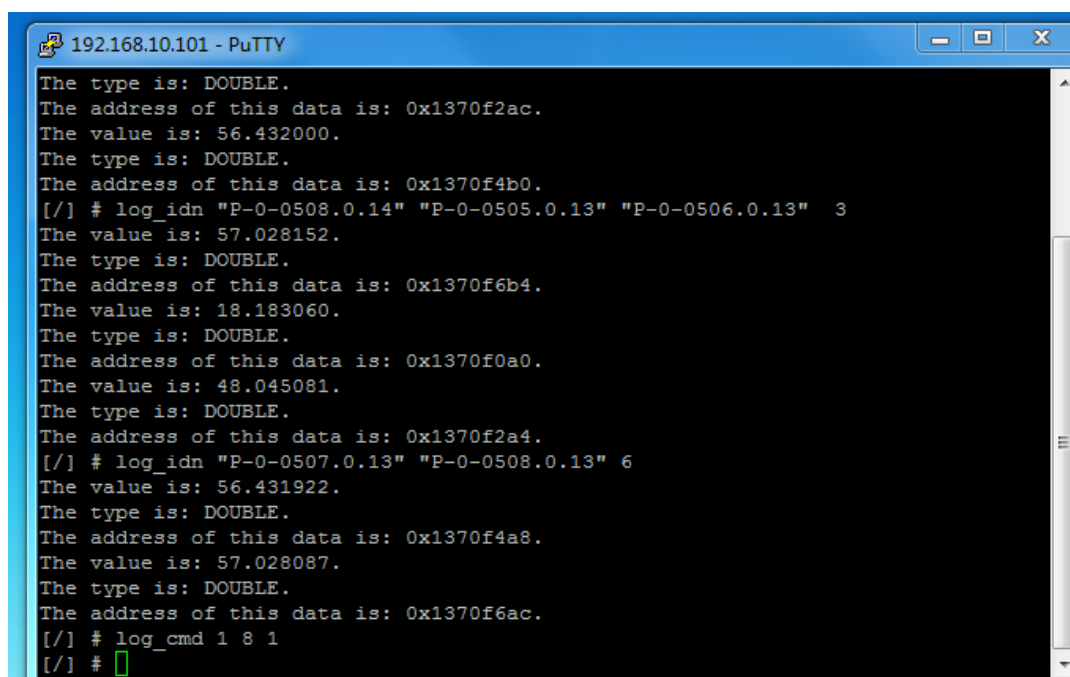
log\_idn "P-0-0505.0.14" "P-0-0506.0.14" "P-0-0507.0.14" 0

log\_idn "P-0-0508.0.14" "P-0-0505.0.13" "P-0-0506.0.13" 3

log\_idn "P-0-0507.0.13" "P-0-0508.0.13" 6

log\_cmd 1 8 1

图 23 采集指令



```
192.168.10.101 - PuTTY
The type is: DOUBLE.
The address of this data is: 0x1370f2ac.
The value is: 56.432000.
The type is: DOUBLE.
The address of this data is: 0x1370f4b0.
[/] # log_idn "P-0-0508.0.14" "P-0-0505.0.13" "P-0-0506.0.13" 3
The value is: 57.028152.
The type is: DOUBLE.
The address of this data is: 0x1370f6b4.
The value is: 18.183060.
The type is: DOUBLE.
The address of this data is: 0x1370f0a0.
The value is: 48.045081.
The type is: DOUBLE.
The address of this data is: 0x1370f2a4.
[/] # log_idn "P-0-0507.0.13" "P-0-0508.0.13" 6
The value is: 56.431922.
The type is: DOUBLE.
The address of this data is: 0x1370f4a8.
The value is: 57.028087.
The type is: DOUBLE.
The address of this data is: 0x1370f6ac.
[/] # log_cmd 1 8 1
[/] #
```

图 24 在命令界面中输入相应的代码

- 3) 输入完最后一条指令之后,可以开始执行相应的运动指令。运动完成后,输入停止采集命令 `log_cmd 1 8 0`。
- 4) 打开资源管理器,如下所示,输入 <ftp://192.168.10.101/data> 并按下回车,在 data 文件夹中可以看到生成的波形数据为 `logged_data.txt` 文本文件,将其复制至本地。【备注:请勿直接在 <ftp://192.168.10.101/data> 内打 `logged_data.txt` 文

件，使用时，复制到电脑桌面打开】

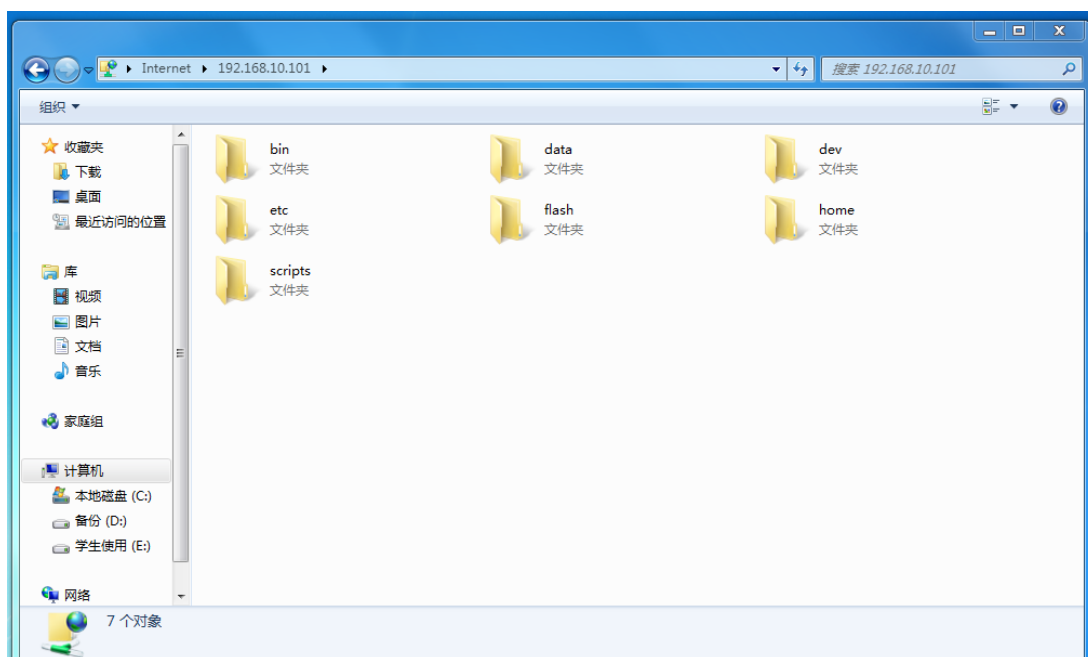


图 25 查找 logged data.txt 文件

5) 以 SCARA 机器人为例, 打开 `logged_data.txt` 文件, 可以发现共有 8 列数据, 其中前四列是 4 个关节的规划位置, 后 4 个是 4 个关节的实际执行位置。

```

1 2000-11-04:13
2 this is the normal mode
3 we have 5 wave.
4 the data order are as follows:double double double double double double double
5 the number of buffer is 1048576
6 the number of sync frame is 12
7 the number of sum of all wave is 12
8
9 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
10 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
11 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
12 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
13 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
14 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
15 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
16 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
17 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
18 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
19 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
20 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
21 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
22 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
23 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
24 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
25 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
26 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
27 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
28 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
29 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
30 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
31 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
32 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
33 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
34 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
35 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
36 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
37 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
38 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
39 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
40 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
41 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007
42 18.180000 48.048000 56.432000 57.028152 18.180000 48.048001 56.431912 57.028007

```

图 26 logged data.txt 文件

## 6 实验报告

该实验的实验报告所写内容均根据自己所实际操作的机器人来完成。

- 1) 根据自己的理解,描述实验中所操作机器人的硬件组成、结构特点和性能参数。
- 2) 绘制在初始状态(各关节的角度均为 0)下机器人的结构简图,并在图中标明机器人的世界坐标系、关节坐标系、末端初始姿态和臂长尺寸。
- 3) 推导机器人的正运动学,应用该正运动学,将实验中得到三角形、圆形、近椭圆形的规划轨迹和执行轨迹通过 Matlab 绘制在笛卡尔空间坐标系中。
- 4) 写出能够实现机器人码垛功能的宏指令集。