



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110900581 A

(43)申请公布日 2020.03.24

(21)申请号 201911372308.8

(22)申请日 2019.12.27

(71)申请人 福州大学

地址 350108 福建省福州市闽侯县福州大学城乌龙江北大道2号福州大学

(72)发明人 陈彦杰 赖宁斌 梁嘉诚 何炳蔚 林立雄

(74)专利代理机构 福州元创专利商标代理有限公司 35100

代理人 陈明鑫 蔡学俊

(51)Int.Cl.

B25J 9/00(2006.01)

B25J 9/16(2006.01)

B25J 9/02(2006.01)

B25J 15/00(2006.01)

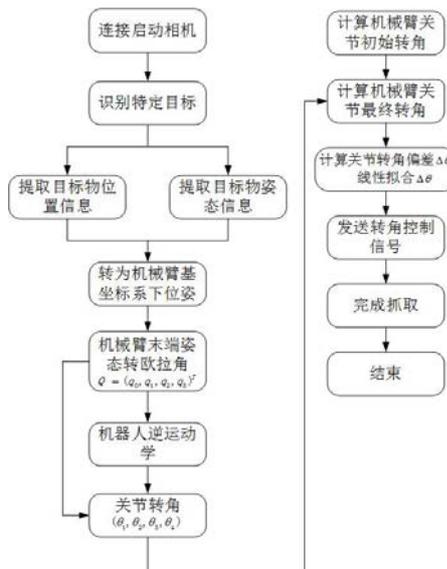
权利要求书3页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法及装置

(57)摘要

本发明涉及一种基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法,包括以下步骤:步骤S1:根据RealSense相机获取目标物的图像与深度信息;步骤S2:识别在相机坐标系下的目标物的位置信息和姿态信息,并将位置信息和姿态信息根据相机外参数转换为机械臂基坐标系下的位姿信息;步骤S3:求出机械臂末端姿态欧拉角以及根据机器人逆运动学求出机械臂每个关节旋转角度;步骤S4:根据机械臂初始关节角度,计算出机械臂到达特征期望点每个关节需要的转角偏差,并对转角偏差进行线性拟合,并将其转化为控制信号传递给机械臂控制器,驱动机械臂完成抓取目标物任务。本发明可以快速、稳定的抓取特定的物体,装备机构简单,生产成本低,抓取自动化程度高。



1. 一种基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤S1:根据RealSense相机获取目标物的图像与深度信息;

步骤S2:根据得到的图像与深度信息,识别在相机坐标系下的目标物的位置信息和姿态信息,并将位置信息和姿态信息根据相机外参数转换为机械臂基坐标系下的位姿信息;

步骤S3:根据机械臂基坐标系下的位置和姿态信息,求出机械臂末端姿态欧拉角以及根据机器人逆运动学求出机械臂每个关节旋转角度;

步骤S4:根据机械臂初始关节角度,计算出机械臂到达特征期望点每个关节需要的转角偏差,并对转角偏差进行线性拟合,并将其转化为控制信号传递给机械臂控制器,驱动机械臂完成抓取目标物任务。

2. 根据权利要求1所述的基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法,其特征在于,所述步骤S2具体为:

步骤S21:将深度信息对齐到图像信息,使得图像信息遍历深度信息,通过获取图像像素坐标便得到特征点在相机坐标系下的三维坐标:  $(X_c, Y_c, Z_c)^T$ ;

步骤S22:采用基于特定颜色的算法进行形状为矩形的目标物识别,获取目标物的位置信息;

步骤S23:采用基于OpenCV中solvePnP函数中EPnP算法来获取目标物姿态信息;

步骤S24:将位置信息和姿态信息根据相机外参数转换为机械臂基坐标系下的位置和姿态信息。

3. 根据权利要求2所述的基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法,其特征在于,所述步骤S22具体为:

步骤S221:在OpenCV中,利用cvtColor函数将RGB转换为HSV颜色空间;

步骤S222:利用inRange函数对目标物颜色进行阈值分割,Canny函数进行边缘检测;

步骤S223:利用findContours函数寻找所需轮廓;

步骤S224:根据目标物具有的特定颜色,在提取轮廓特征时,图像中面积最大的轮廓即为目标轮廓;

步骤S225:利用minAreaRect函数进行轮廓拟合,提取矩形中心点作为目标物中心,中心点三维坐标作为目标物的位置信息。

4. 根据权利要求3所述的基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法,其特征在于,所述机械臂基坐标系下的位置信息具体为:根据相机在机械臂基坐标系下的位姿关系矩阵为  ${}^cH$ , 便得到中心点在机械臂坐标系下的三维坐标为:

$$\begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix}^T = {}^cH \times \begin{pmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{pmatrix}^T。$$

5. 根据权利要求2所述的基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法,其特征在于,所述步骤S23具体为:

步骤S231:设定摄像头的内参矩阵K、n ( $n \geq 4$ ) 个世界坐标系中的3D参考点坐标、与这n个3D点对应的投影在图像上的2D参考点坐标;

其中摄像头的内参矩阵K,通过直接读取RealSense相机内部参数获取;

步骤S232:对所述的n ( $n \geq 4$ ) 个世界坐标系中的3D参考点坐标,EPnP算法将世界坐标系

中的3D坐标表示为一组虚拟的控制点的加权和,虚拟坐标系建立在目标物的坐标系中,得到特征点的虚拟三维坐标;

步骤S233:对所述的与n个3D点对应的投影在图像上的2D参考点坐标,通过RealSense相机图像视觉技术提取特征点对应的像素坐标;

步骤S234:根据运用EPnP算法得到相机坐标系在虚拟世界世界坐标系下的姿态旋转矢量,利用Rodrigues函数将旋转矢量变为旋转矩阵,对该矩阵求逆,得出目标物体在相机坐标系下的姿态矩阵为 ${}^o_cR$ ,根据相机在机械臂基座坐标系下的位姿关系矩阵为 ${}^c_wH$ ,得到目标物在机械臂基座坐标系下的姿态为 ${}^o_wR$ :

$${}^o_wR = {}^c_wH \times \begin{bmatrix} {}^o_cR & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

6.根据权利要求1所述的基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法,其特征在于,所述步骤S4具体为:

步骤S41:设所述的位姿信息为T:

$$T = \begin{bmatrix} X_w \\ {}^o_wR & Y_w \\ Z_w \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

其中, ${}^o_wR$ 为目标物在机械臂基座坐标系下的姿态, $X_w, Y_w, Z_w$ 为目标物在机械臂基座坐标系下的坐标;

步骤S42:通过位姿信息计算机械臂末端姿态欧拉角:

$$Q = \begin{bmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix}$$

步骤S43:将位姿信息T通过机器人逆运动学:

$${}^0_3T = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0_1T^{-1} {}^0_3T = {}^1_3T$$

其中n、o、a表示旋转参数,p表示平移参数;

步骤S44:转为四自由度机械臂每个关节旋转角度:

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix}$$

机械臂到达特征期望点每个关节需要的转角偏差为  $\Delta \theta$ ：

$$\Delta \theta = \begin{bmatrix} \Delta \theta_1 \\ \Delta \theta_2 \\ \Delta \theta_3 \\ \Delta \theta_4 \end{bmatrix}$$

对转角偏差线性拟合，拟合函数为：

$$\Delta \theta = 20t$$

其中： $t$ 为时间，单位为秒(s)； $\Delta \theta$ 单位为度(°)；

步骤S45：将其转化为控制信号传递给机械臂控制器实现抓取任务。

7. 一种用于实现1-6任一所述的基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法的装置，其特征在于，包括四自由度机械臂、机械臂支架、RealSense D435i相机、相机支架；所述四自由度机械臂通过螺栓固定于机械臂支架，RealSense D435i相机与相机支架通过螺钉连接，相机支架通过螺栓固定于机械臂支架，相机支架安装孔与四自由度机械臂安装孔统一安装于机械臂支架安装孔位置。

8. 根据权利要求7所述的基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法的装置：所述RealSense D435i相机安装方式为第一视角的Eye To Hand方式。

## 基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及机械臂抓取控制技术领域,具体涉及一种基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法及装置。

### 背景技术

[0002] 随着机器人研究和技术开发在不断进步发展,机器视觉在机器人领域中已广泛的运用。机械臂是机器人领域的重要组成部分,在工业领域,最初机械臂只能根据预先设置的示教路线去抓取位置和方向已知的物体,后来随着机器视觉的发展,机械臂拥有了和人类一样感知外界环境的能力,这样的机械臂已经不止能实现简单的抓取任务,还可以根据用户需求智能的执行抓取任务。充分利用了机械臂优势和视觉传感器特长结合,能够准确区分和识别目标物,精准完成对目标物的抓取,具有重要的现实意义和研究价值。因此,随着机器人技术、计算机技术和摄像设备的飞速发展,机器人视觉伺服引起了各个领域学者与工程师的广泛关注,在工业分拣、医疗辅助、自动装配等领域具有重要的应用价值。

### 发明内容

[0003] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种使用方便、快速、稳定的基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法及装置

[0004] 为实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0005] 一种基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤S1:根据RealSense相机获取目标物的图像与深度信息;

[0007] 步骤S2:根据得到的图像与深度信息,识别在相机坐标系下的目标物的位置信息和姿态信息,并将位置信息和姿态信息根据相机外参数转换为机械臂基坐标系下的位姿信息;

[0008] 步骤S3:根据机械臂基坐标系下的位置和姿态信息,求出机械臂末端姿态欧拉角以及根据机器人逆运动学求出机械臂每个关节旋转角度;

[0009] 步骤S4:根据机械臂初始关节角度,计算出机械臂到达特征期望点每个关节需要的转角偏差,并对转角偏差进行线性拟合,并将其转化为控制信号传递给机械臂控制器,驱动机械臂完成抓取目标物任务。

[0010] 进一步的,所述步骤S2具体为:

[0011] 步骤S21:将深度信息对齐到图像信息,使得图像信息遍历深度信息,通过获取图像像素坐标便得到特征点在相机坐标系下的三维坐标:  $(X_c, Y_c, Z_c)^T$ ;

[0012] 步骤S22:采用基于特定颜色的算法进行形状为矩形的目标物识别,获取目标物的位置信息;

[0013] 步骤S23:采用基于OpenCV中solvePnP函数中EPnP算法来获取目标物姿态信息;

[0014] 步骤S24:将位置信息和姿态信息根据相机外参数转换为机械臂基坐标系下的位

置和姿态信息。

[0015] 进一步的,所述步骤S22具体为:

[0016] 步骤S221:在OpenCV中,利用cvtColor函数将RGB转换为HSV颜色空间;

[0017] 步骤S222:利用inRange函数对目标物颜色进行阈值分割,Canny函数进行边缘检测;

[0018] 步骤S223:利用findContours函数寻找所需轮廓;

[0019] 步骤S224:根据目标物具有的特定颜色,在提取轮廓特征时,图像中面积最大的轮廓即为目标轮廓;

[0020] 步骤S225:利用minAreaRect函数进行轮廓拟合,提取矩形中心点作为目标物中心,中心点三维坐标作为目标物的位置信息。

[0021] 1.根据权利要求3所述的基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法,其特征在于,所述机械臂基坐标系下的位置信息具体为:根据相机在机械臂基坐标系下的位姿关系矩阵为 ${}^w{}^cH$ ,便得到中心点在机械臂坐标系下的三维坐标为:

$$\begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix}^T = {}^cH \times \begin{pmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{pmatrix}^T。$$

[0022] 进一步的,所述步骤S23具体为:

[0023] 步骤S231:设定摄像头的内参矩阵K、n ( $n \geq 4$ ) 个世界坐标系中的3D参考点坐标、与这n个3D点对应的投影在图像上的2D参考点坐标;

[0024] 其中摄像头的内参矩阵K,通过直接读取RealSense相机内部参数获取;

[0025] 步骤S232:对所述的n ( $n \geq 4$ ) 个世界坐标系中的3D参考点坐标,EPnP算法将世界坐标系中的3D坐标表示为一组虚拟的控制点的加权和,虚拟坐标系建立在目标物的坐标系中,得到特征点的虚拟三维坐标;

[0026] 步骤S233:对所述的与n个3D点对应的投影在图像上的2D参考点坐标,通过RealSense相机图像视觉技术提取特征点对应的像素坐标;

[0027] 步骤S234:根据运用EPnP算法得到相机坐标系在虚拟世界世界坐标系下的姿态旋转矢量,利用Rodrigues函数将旋转矢量变为旋转矩阵,对该矩阵求逆,得出目标物体在相机坐标系下的姿态矩阵为 ${}^oR$ ,根据相机在机械臂基坐标系下的位姿关系矩阵为 ${}^cH$ ,得到目标物在机械臂基坐标系下的姿态为 ${}^oR$ :

$$[0028] \quad {}^oR = {}^cH \times \begin{bmatrix} {}^oR & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

[0029] 进一步的,所述步骤S4具体为:

[0030] 步骤S41:设所述的位姿信息为T:

$$[0031] \quad T = \begin{bmatrix} X_w \\ {}^oR & Y_w \\ Z_w \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0032] 其中, ${}^oR$ 为目标物在机械臂基坐标系下的姿态, $X_w, Y_w, Z_w$ 为目标物在机械臂基座

标系下的坐标；

[0033] 步骤S42:通过位姿信息计算机械臂末端姿态欧拉角:

$$[0034] \quad Q = \begin{bmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix}$$

[0035] 步骤S43:将位姿信息T通过机器人逆运动学:

$$[0036] \quad {}_3^0T = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[0037] \quad {}_1^0T^{-1} {}_3^0T = {}_3^1T$$

[0038] 其中n、o、a表示旋转参数,p表示平移参数;

[0039] 步骤S44:转为四自由度机械臂每个关节旋转角度:

$$[0040] \quad \theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix}$$

[0041] 机械臂到达特征期望点每个关节需要的转角偏差为 $\Delta\theta$ :

$$[0042] \quad \Delta\theta = \begin{bmatrix} \Delta\theta_1 \\ \Delta\theta_2 \\ \Delta\theta_3 \\ \Delta\theta_4 \end{bmatrix}$$

[0043] 对转角偏差线性拟合,拟合函数为:

$$[0044] \quad \Delta\theta = 20t$$

[0045] 其中:t为时间,单位为秒(s); $\Delta\theta$ 单位为度( $^\circ$ );

[0046] 步骤S45:将其转化为控制信号传递给机械臂控制器实现抓取任务。

[0047] 一种基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法的装置,包括四自由度机械臂、机械臂支架、RealSense D435i相机、相机支架;所述四自由度机械臂通过螺栓固定于机械臂支架,RealSense D435i相机与相机支架通过螺钉连接,相机支架通过螺栓固定于机械臂支架,相机支架安装孔与四自由度机械臂安装孔统一安装于机械臂支架安装孔位置。

[0048] 进一步的,所述RealSense D435i相机安装方式为第一视角的Eye To Hand方式。

[0049] 本发明与现有技术相比具有以下有益效果:

[0050] 本发明充分利用了机械臂优势和视觉传感器特长结合,能够准确区分和识别目标

物,可以快速、稳定的抓取特定的物体,装备机构简单,生产成本低,自动化程度高,可以广泛运用于工业凌乱零件整理与分拣、无人机机械臂作业等场景,具有广泛的市场前景。

### 附图说明

- [0051] 图1是本发明的控制流程图;
- [0052] 图2是本发明一实施例中机械臂视觉伺服操作上位机人机界面图;
- [0053] 图3是本发明一实施例中目标物虚拟坐标系与特征点选取示意图;
- [0054] 图4是本发明一实施例中RealSense相机与四自由度机械臂结构图;
- [0055] 图5是本发明一实施例中四自由度机械臂关节角度变化图;
- [0056] 图6是本发明一实施例中四自由度机械臂末端位置变化图。

### 具体实施方式

- [0057] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步说明。
- [0058] 请参照图1,本发明提供一种基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法,包括以下步骤:
  - [0059] 步骤S1:根据RealSense相机获取目标物的图像与深度信息;
  - [0060] 步骤S2:根据得到的图像与深度信息,识别在相机坐标系下的目标物的位置信息和姿态信息,并将位置信息和姿态信息根据相机外参数转换为机械臂基坐标系下的位姿信息;
  - [0061] 步骤S3:根据机械臂基坐标系下的位置和姿态信息,求出机械臂末端姿态欧拉角以及根据机器人逆运动学求出机械臂每个关节旋转角度;
  - [0062] 步骤S4:根据机械臂初始关节角度,计算出机械臂到达特征期望点每个关节需要的转角偏差,并对转角偏差进行线性拟合,并将其转化为控制信号传递给机械臂控制器,驱动机械臂完成抓取目标物任务。
- [0063] 参考图2,本实施例中设置有上位机,机械臂视觉伺服操作上位机人机界面图。如图2所示,在界面中包括了:打开相机按钮、关闭相机按钮、三维位姿估计按钮、RGB图像显示窗口、目标物特征识别提取显示窗口。用户操作界面前,首先需要把相机RealSense D435i插入个人电脑USB3.0口;操作时只需点击打开相机按钮,窗口便显示相机RGB图像,观察目标物是否在相机视场内部;接着,只需点击三维位姿估计按钮,程序后台便会进行识别目标物、提取提取、轮廓拟合、提取位置信息、提取姿态信息、位姿关系坐标系转化、姿态关系机器人逆运动学、驱动机械臂抓取目标等这一系列动作。
- [0064] 在本实施例中,特定颜色特征的物体为图2中RGB图像显示窗口的绿色圆柱瓶身。在OpenCV算法识别该目标物中,利用inRange函数对目标物颜色进行阈值分割,Canny函数进行边缘检测,然后在利用findContours函数寻找所需轮廓,根据目标物具有的特定颜色,在提取轮廓特征时,图像中面积最大的轮廓即为目标轮廓,提取目标物特征轮廓,在目标物特征识别提取显示窗口中蓝色轮廓所示。在提取轮廓特征时,存在轮廓信息丢失,利用OpenCV函数minAreaRect进行轮廓拟合,在目标物特征识别提取显示窗口中红色矩形所示,提取矩形中心点作为目标物中心,中心点三维坐标作为目标物的位置信息,在目标物特征识别提取显示窗口中红色圆所示。

[0065] 参考图3,本实施例中,采用基于OpenCV中solvePnP函数中EPnP算法来估计目标物姿态,运用EPnP算法的前提条件是:摄像头的内参矩阵 $K$ 、 $n$  ( $n \geq 4$ ) 个世界坐标系中的3D参考点坐标、与这 $n$ 个3D点对应的投影在图像上的2D参考点坐标;

[0066] 对所述的摄像头的内参矩阵 $K$ ,通过直接读取RealSense相机内部参数获取;

[0067] 对所述的 $n$  ( $n \geq 4$ ) 个世界坐标系中的3D参考点坐标,EPnP算法将世界坐标系中的3D坐标表示为一组虚拟的控制点的加权和,这个虚拟坐标系可以建立在目标物的坐标系中,便得到特征点的虚拟三维坐标。如图4所示,目标物为瓶子,在瓶子圆柱部分建立的目标物虚拟坐标系为 $o$ -XYZ,选取瓶身矩形四个顶点1、2、3、4与圆柱瓶身中心点5作为特征点,根据瓶身的几何尺寸,在虚拟坐标系中,便得到特征点的虚拟三维坐标;

[0068] 对所述的与 $n$ 个3D点对应的投影在图像上的2D参考点坐标,通过RealSense相机图像视觉技术提取特征点对应的像素坐标。如图3所示,OpenCV中利用minAreaRect函数进行轮廓拟合后返回得到五个特征点的像素坐标后,在EPnP算法中特征点的三维坐标与二维坐标需要一一对应,minAreaRect函数返回的特征点坐标的顺序为离像素坐标系 $x$ 轴最远距离的那个点为第一特征点,然后按照顺时针的顺序依次为第二特征点到第四特征点,第五特征点为矩形中心;

[0069] 根据上述,运用EPnP算法得到相机坐标系在虚拟世界世界坐标系下的姿态旋转矢量,利用Rodrigues函数将旋转矢量变为旋转矩阵,对该矩阵求逆,则得出目标物体在相机坐标系下的姿态矩阵。这样便得到目标物在相机坐标系下的位姿,根据相机在机械臂基座坐标系下的位姿关系矩阵,便得到目标物在机械臂基座坐标系下的姿态。

[0070] 如图4所示,本实施例中提供一种基于RealSense相机的四自由度机械臂视觉伺服控制方法的装置,包括:螺栓1、机械臂基座2、相机连接件3、RealSense D435i相机4、四自由度机械臂5、目标物6;RealSense D435i相机4与相机连接件3通过螺钉(图中未示出)连接,与相机连接件3与四自由度机械臂5共同通过螺栓1连接固定于机械臂基座2;当RealSense D435i相机4识别目标物6特征,计算出目标物6在四自由度机械臂5基座坐标系下的位姿信息,接着求出机械臂5末端姿态欧拉角以及根据机器人逆运动学求出机械臂5每个关节旋转角度,进一步根据机械臂5初始关节角度,计算出机械臂5到达特征期望点每个关节需要的转角偏差,对该偏差进行线性拟合,并将其转化为控制信号传递给机械臂5控制器,驱动机械臂5完成特定目标抓取任务。

[0071] 在本实施例中,如图5所示机械臂的关节角度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ 在线性拟合:  $\Delta \theta = 20t$  的情况进行旋转运动,最终驱动机械臂末端到达目标物期望点位置,如图6所示,机械臂末端从空间点 $P_1(X_1, Y_1, Z_1)$  运动至期望点 $P_2(X_2, Y_2, Z_2)$  进一步在进行抓取,完成视觉伺服任务。

[0072] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,凡依本发明申请专利范围所做的均等变化与修饰,皆应属本发明的涵盖范围。

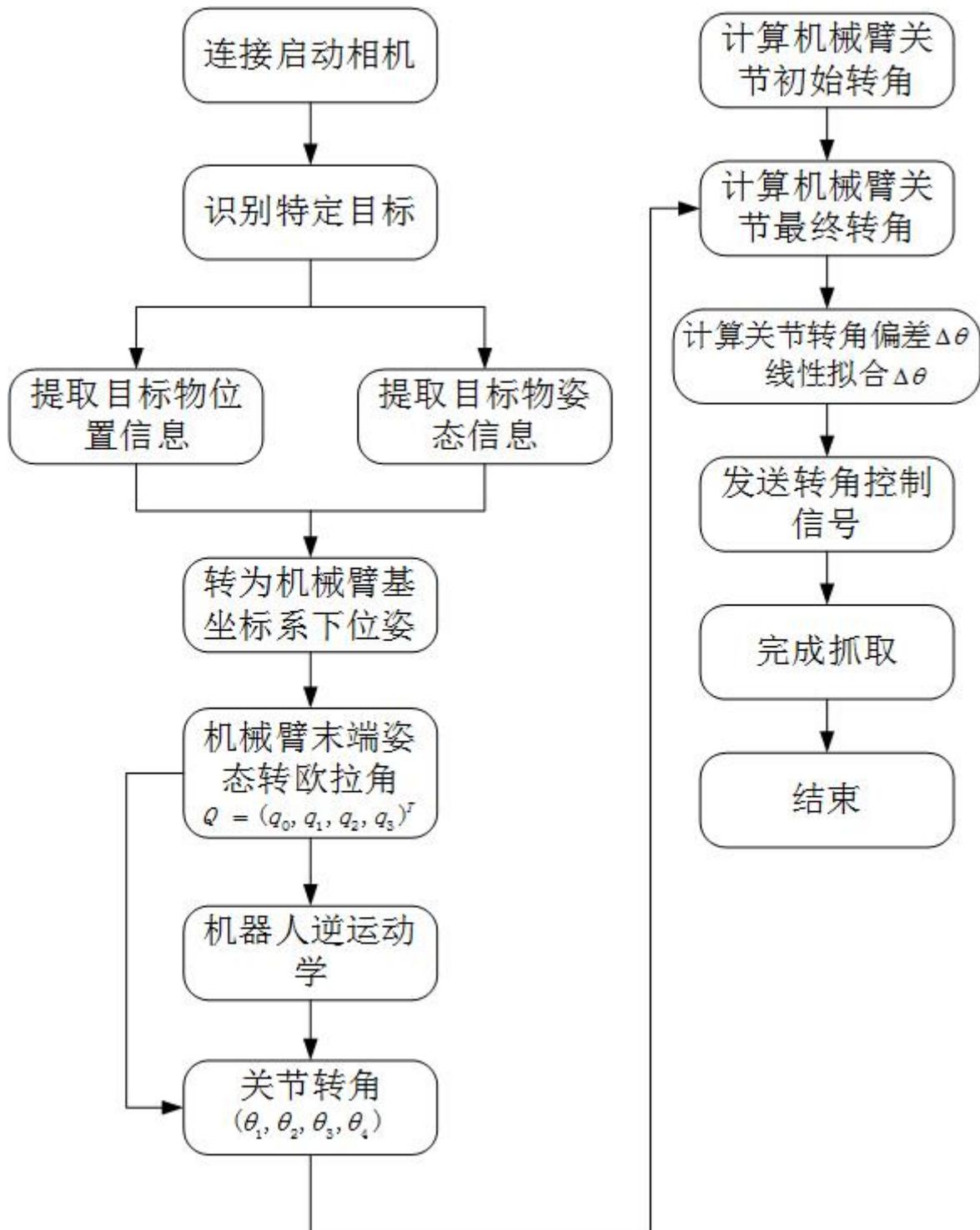


图1

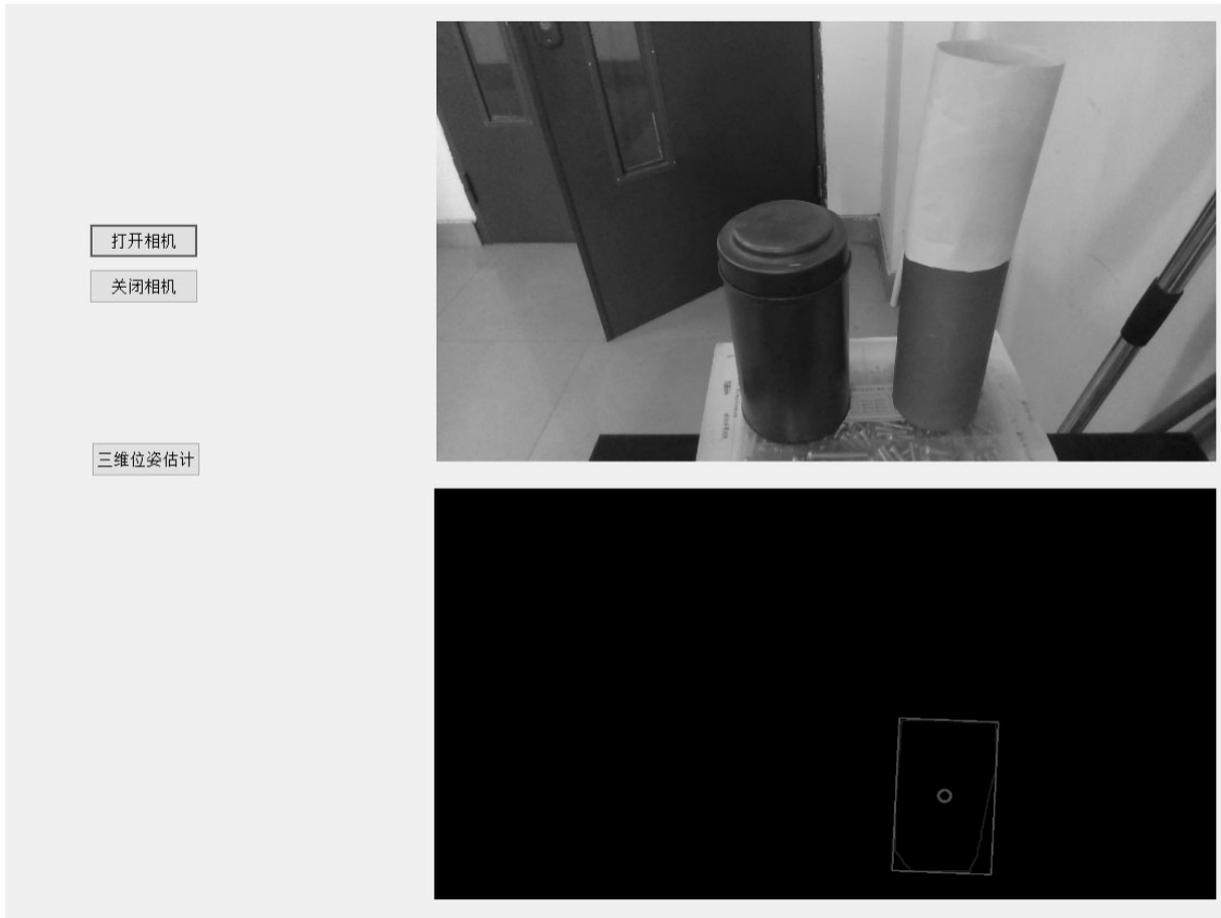


图2

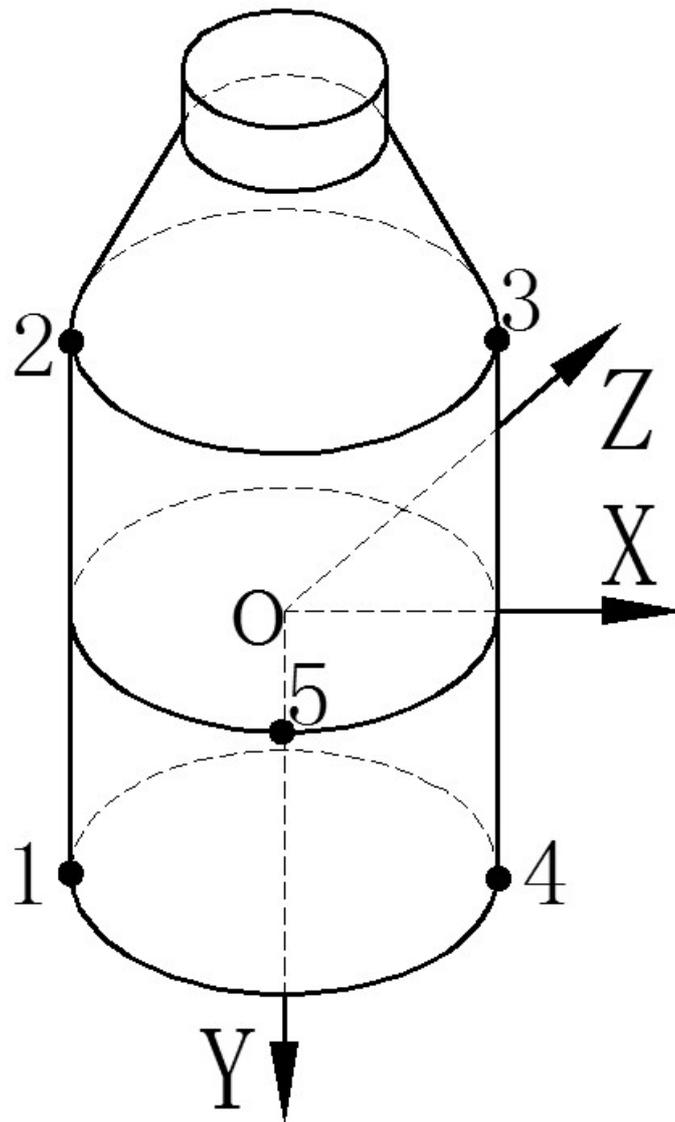


图3

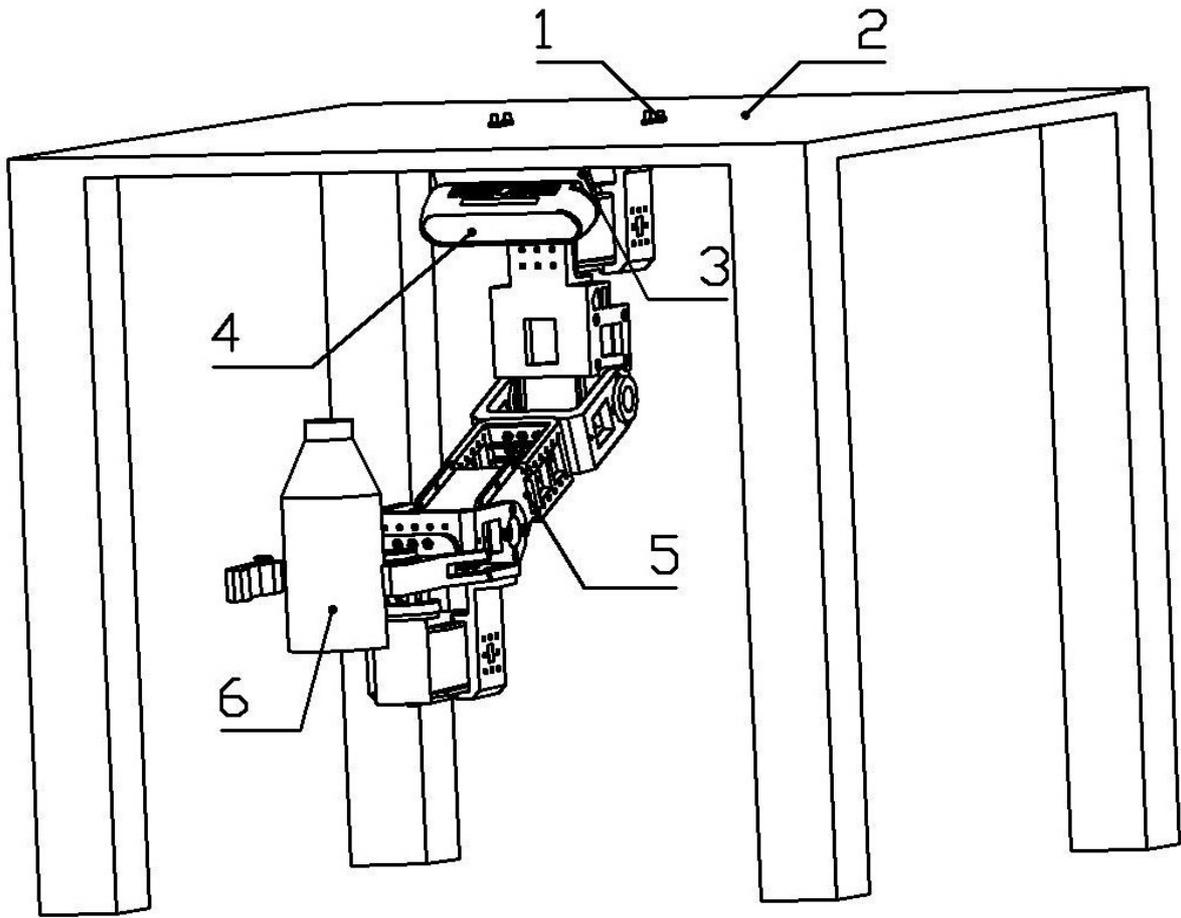


图4

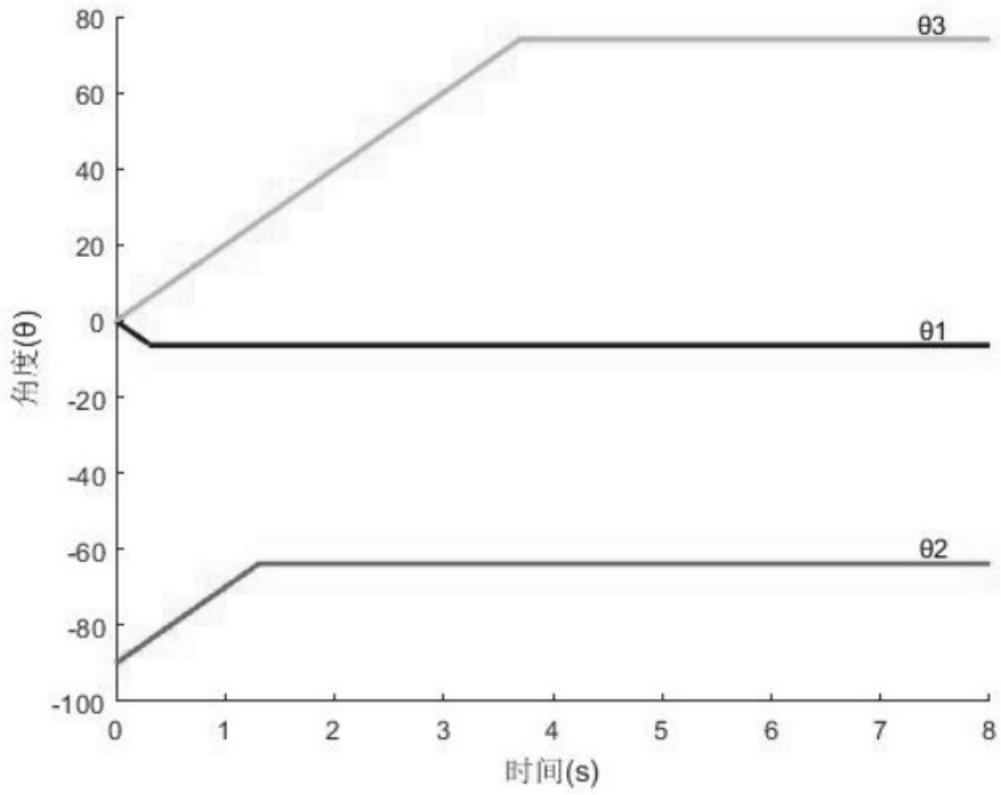


图5

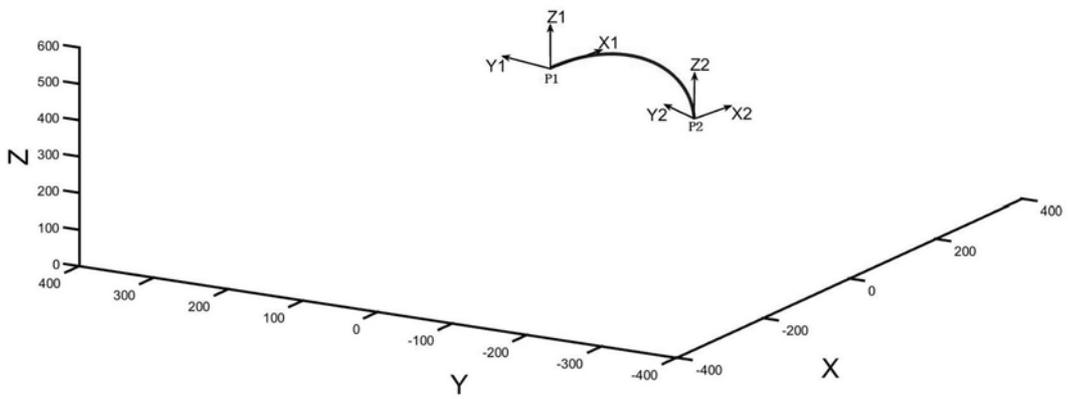


图6