

基于树莓派的机械臂视觉抓取系统设计

吴蓬勃¹, 张金燕², 张冰玉¹, 王拓¹

(1. 石家庄邮电职业技术学院, 河北石家庄, 050021; 2. 河北工程技术学院, 河北石家庄, 050091)

基金项目: 石家庄市科学技术研究与发展计划项目 (211260581)。

摘要: 针对快递物流企业中, 包裹供件智能化的需求, 提出了一种基于树莓派的机械臂视觉抓取系统。通过运用相机校准、机械臂手眼标定、图像识别、机械臂控制等方法, 实现了物体的准确、快速抓取。该系统在快递物流分拣、人工智能相关专业教学等领域具有一定的应用价值。

关键词: 树莓派; 机械臂; 视觉; OpenCV

DOI:10.16589/j.cnki.cn11-3571/tn.2022.07.014

0 引言

近年来, 随着电子商务的迅猛发展, 快件处理量与日俱增, 对快递包裹配送的速度和准确性提出了更高的要求^[1]。快递处理中心是快递网络关键节点, 其普遍采用交叉带式分拣机、AGV (Automated Guided Vehicle, 简称 AGV) 分拣小车等自动化分拣装备, 目前主要依靠人工来完成分拣系统的供件动作, 大大降低了分拣效率, 增加了企业的人工成本。

随着机械臂技术、计算机视觉技术的不断成熟, 通过视觉识别物体位置, 采用机械臂进行抓取的智能视觉抓取系统逐渐被各大企业所重视。本文通过树莓派、相机和四轴机械臂设计了一套简洁、高效的机械臂视觉抓取系统, 实现了物体的快速识别和抓取。

1 系统总体规划

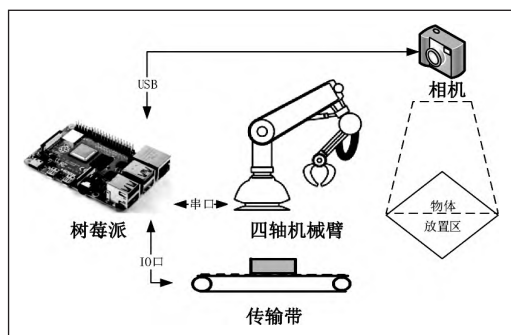


图1 系统架构图^[2]

系统架构图如图1所示, 整个系统模拟了快递分拣机自动供件的场景, 系统主要由四部分组成: 树莓派、四轴机械臂、USB相机和传输带。树莓派通过USB连接相机, 进行图像采集和快递包裹识别, 此处采用不同颜色的积木模拟不同的快递包裹。此外, 树莓派通过串口连接四轴机械臂, 进行机械臂运动控制和抓取控制; 通过IO口连接传输带步进电机, 控制传输带的运动。整个系统工作流程为: 首先, 树莓派通过相机识别物体放置区域的积木位置; 其次, 通过机械臂手眼标定, 将像素坐标转换为机械臂坐标, 控制机械臂抓取积木并搬运到传送带上, 模拟机械臂抓取快递包裹搬

运到自动分拣设备上这一业务流程。

2 相机标定

2.1 相机采集图像的畸变

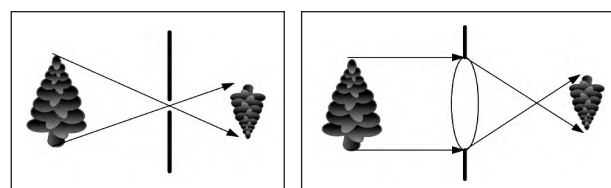


图2 小孔成像

图3 凸透镜成像

相机采用小孔成像的原理来采集图像 (如图2所示), 为了增加物体的成像亮度, 使用了透镜 (如图3所示)。但是, 透镜的制作工艺会使成像产生多种形式的畸变, 主要包括: 径向畸变、切向畸变。为了完整还原真实的图像, 提高机械臂抓取的精度, 需要对相机进行畸变校正。

2.2 坐标变换

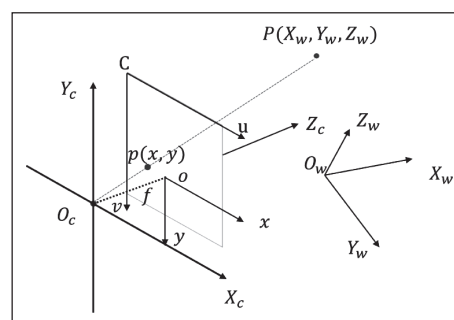


图4 四种坐标系的关系

系统中包括四种坐标系 (如图4所示), 分别是:

- (1) 世界坐标系, $O_w-X_wY_wZ_w$: 用于描述相机在物理世界的位置。
- (2) 相机坐标系, $O_c-X_cY_cZ_c$: 光心为原点。
- (3) 图像坐标系, $O-xy$: 成像平面中点是原点。
- (4) 像素坐标系, $C-uv$: 图像左上角是原点。

其中, P 为物理世界中的一点, p 为点 P 在图像中的像点。 p 点在图像坐标系中坐标为 (x, y) , p 点在像素坐标系中坐标为 (u, v) 。此外, f 为相机焦距。

坐标系转换公式,如图5所示。由于相机设计工艺问题,会造成相机成像与实际图像不一致的现象。相机成像到实际图像的转换矩阵称为相机内参矩阵。相机外部环境或者安装方式也会造成图像失真,将世界坐标到相机坐标的转换矩阵,称为相机外参矩阵。

$$Z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

像素坐标 相机内参 相机外参 世界坐标

图5 坐标系转换公式

由于从世界坐标到相机坐标的变换不会发生形变,只需进行旋转和平移,所以相机外参矩阵主要包括:3×3旋转矩阵R和1×3平移矩阵T。

相机内参矩阵与焦距f、1个像素点x方向的尺寸d_x和y方向的尺寸d_y、像素坐标原点C(u₀,v₀)相关。在图5内相机参矩阵中,f_x为焦距f与d_x的商,f_y为焦距f与d_y的商。

2.3 相机标定

相机标定的目标:通过获取相机内参、外参、畸变系数,实现图像校准。在OpenCV中,相机标定所使用的标定图案主要有:棋盘格、对称圆形、ArUco板和ChArUco板等。其中,棋盘格图案操作简单、快速,标定精度可满足一般应用场景的需求,所以本系统采用棋盘格图案进行相机标定,棋盘格为8行7列,每个方块尺寸为27mm×27mm,通过A4纸打印图案。

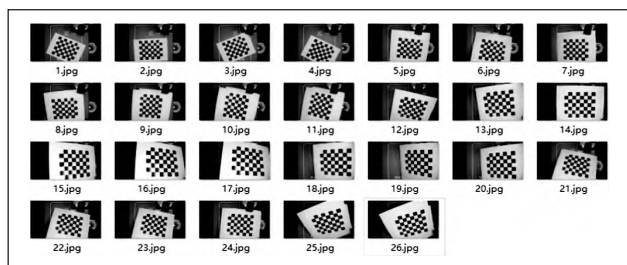


图6 棋盘图案图像采集

将A4纸放置在相机图像区域内,在确保A4纸不弯曲的情况下,调整A4纸在相机区域的位置、姿态,采集不少于20张图像,保存到树莓派中。运行OpenCV官方相机校准例程,获取相机内参矩阵、外参矩阵和畸变系数。

3 机械臂手眼标定

机械臂与相机的位置关系分为“eye in hand”和“eye to hand”^[3],为提高抓取效率,本系统采用“eye to hand”方式,相机与机械臂分离,架设在抓取区域上部。

本系统的目标是,通过视觉获取物体图像坐标,转换为

机械臂坐标,进而控制机械臂运动到指定位置进行物体抓取。所以,需要进行机械臂与相机的标定,实现像素坐标到机械臂坐标的变换。在进行坐标变换前,需要调用相机校准中获取的相机内参矩阵、畸变系数,对图像进行校准。

图5的坐标变换公式,在此简化为图7的公式。

$$\begin{bmatrix} x'_1 & x'_2 & x'_3 \\ y'_1 & y'_2 & y'_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = R \times \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

机械臂笛卡尔坐标 转换矩阵 像素坐标
(手动获取) (待求值) (程序获取)

图7 像素与机械臂坐标变换公式

图7中,B为3个物理位置的机械臂笛卡尔坐标(对应图5中的世界坐标),需要手动获取;A为经过畸变校正后的图像中3个位置的像素坐标(对应图5中的像素坐标),需通过程序获取;R为待求矩阵,需要通过实验的方法获取。

本系统通过修改OpenCV校准程序,对标定板的四个角点分别标注为:红、绿、蓝、紫(如图8所示),并获取对应的图像坐标,选取其中3个点用于求解矩阵R。



图8 标定板上的四个像素点

相机、棋盘图和机械臂的位置关系,如图9所示。调整机械臂位置,使得机械臂末端可达到棋盘图的最少3个角点。通过机械臂示教功能,控制机械臂到达3个角点位置;通过机械臂上位机软件读取3个角点位置的坐标,通过图7公式可求出转换矩阵R。

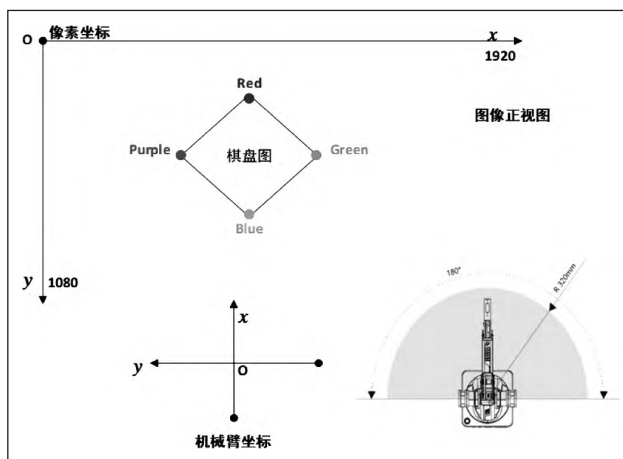


图9 位置关系图

4 物体图像识别与抓取

图像处理流程,如图10所示。首先,通过相机采集图像,通过相机内参矩阵和畸变系数进行图像校准。其次,通过

OpenCV 对图像进行处理,包括:高斯模糊(减少图像噪声以及降低细节层次)、RGB 转 HSV(方便单一颜色的提取)、腐蚀(去除噪声点)、图像二值化;最后,获取积木矩形外框中心点的像素坐标,图像处理效果图如图 11 所示。获得积木像素坐标后,通过图 7 公式,可以计算出机械臂坐标,从而可控制机械臂进行积木抓取。

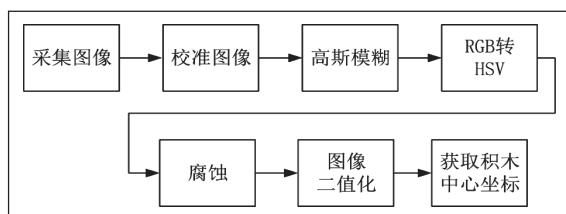


图 10 图像处理流程



图 11 图像处理效果图

5 测试

将不同颜色的积木分别放置到抓取区域不同的位置,测试图像识别和抓取效果,如图 12 所示。经过上百次测试,

(上接第 76 页)

的电网电压异常报警电路能够实现对电网电压异常状况的监测。将该项目应用于自动化、电气工程及自动化等专业的综合实践教学,对于培养和提高学生电路分析和设计能力具有重要的意义。

参考文献

- * [1] 聂茹,基于 Multisim 10 的十字路口交通灯控制器的设计与仿真[J]. 现代电子技术,2010.33(11):179-181.
- * [2] 韦英华,基于 Multisim 的交通灯控制电路系统仿真设计[J]. 科技信息,2009(33):106-107.
- * [3] 熊旭军,基于 Multisim 的差分放大电路仿真分析[J]. 现代电

系统抓取准确率达到 90% 以上。

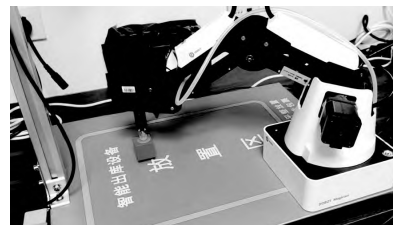


图 12 积木抓取测试

6 总结

本文面向快递分拣机自动供件场景,设计了一套基于视觉的机械臂抓取系统,通过相机标定、机械臂手眼标定、OpenCV 图像处理等环节,实现了积木的准确识别和抓取。如果将系统中的 2D 相机,替换为 3D 深度相机^[4-5],则可以实现堆积物体的机械臂抓取,将更加适配实际的应用场景。

参考文献

- * [1] 申栋栋. 智能仓库多移动机器人拣货路径规划研究[D]. 北京交通大学,2019.
- * [2] 吴蓬勃,姚美菱,王拓,孙青华. 基于 TensorFlow 的垃圾分拣机器人设计[J]. 实验室研究与探索,2020,39(06):117-122.
- * [3] 王照华. 面向堆叠矩形物体的识别与抓取方法研究[D]. 哈尔滨工业大学,2019.DOI:10.27061/d.cnki.ghgdu.2019.002705.
- * [4] 张仁政. 面向物流行业的机器人无序分拣与运动规划方法研究[D]. 苏州大学,2020.DOI:10.27351/d.cnki.gszzhu.2020.001209.
- * [5] 颜兵兵,牛昊维,刘启生,郭士清. 基于 ROS 的果实采摘机器人实验教学设计[J]. 实验技术与管理,2021,38(10):162-167. DOI:10.16791/j.cnki.sjg.2021.10.030.

通讯作者: 张金燕。

子技术,2009.32(04):14-15+20.

- * [4] 许一星,李越冰. 电网电压问题及调整措施[J]. 中国电力教育,2009(6):261-262.
- * [5] 刘会生,王运霞,关于电网电压安全运行管理的探讨[J]. 科技风,2009(18):180.
- * [6] 张宝等,基于任务驱动式教学的“电力电子技术”课程改革与实践——以“三相桥式全控整流电路”为例[J]. 绵阳师范学院学报,2021.40(02):28-31.
- * [7] 王然升,自动寻迹智能小车的研究与实现[D]. 青岛科技大学,2019.

通讯作者: 宋月鹏。