

物品智能分类抓取机械臂

张群燕, 许磊, 李相红, 黄品国, 马文斌

(西南石油大学计算机科学学院, 成都 610500)

摘要: 随着快递服务市场的渗透率越来越高, 快递的分拣难度也随之上升, 传统的人工分拣和半人工分拣人力成本较高, 效率相对机器也会更低。提出了一种小型机械臂智能分拣模式, 整个系统由树莓派统一控制, 摄像头读取图像, PC 处理图像, 识别图像中的物料和二维码, 计算出物料的三维坐标, 并获取该物料的分类放置信息, 然后由树莓派控制机械臂活动完成物料分拣工作。该机械臂能够有效实现对贴有二维码物料的自动分拣, 具有成本低、准确性高、操作简单等优点, 适合小型智能仓库使用。

关键词: 物料分拣; 树莓派; 机械臂; 图像识别;

DOI:10.16184/j.cnki.comprg.2022.02.021

1 概述

目前大型物流分拣中心多采用以交叉带分拣机为代表的流水作业分拣方式, 但在小型智能仓库的快递信息筛选、快递整理与搬运等环节大多是通过人工方式进行的。人工分拣方式分拣过程繁琐、成本高、效率低且分拣质量难以保证, 极大地限制了物流运输效率。

为了解决上述问题, 以树莓派为控制核心, 设计并搭建一套应用于小型智能仓库的物料自动分拣系统。当视觉部分识别到物料后, 将同时获取物料位置信息及二维码类别信息, 发送至树莓派, 由树莓派控制机械臂进行物料的抓取及分类投放工作。系统利用分拣机械臂和图像处理相结合的方法, 对于小型智能仓库具有节省人力、操作简单、成本低、效率高等的优点, 市场价值和应用前景良好。

2 分拣系统总体设计与工作原理

2.1 总体结构

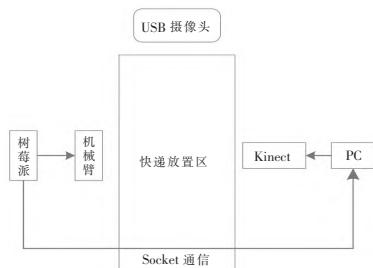


图1 分拣系统总体结构示意图

分拣系统主要由机械臂抓取模块, 物料定位模块以及控制模块3大模块组成。机械臂抓取模块主要由机械臂、末端执行器、数字舵机和7.5V电源适配器组成, 实现物料的抓取并放置到指定的分拣道口, 便于后续分类运输; 物料定位模块主要由Kinect1.0深度摄像头、USB摄像头组成, 用来获取准确的物料位置信息及二维码信息; 控制模块由树莓派和树莓派拓展版PCA9685

组成, 用于控制整个系统进行通信、工作。如图1所示。

2.2 分拣系统工作原理

整个系统由树莓派统一控制, 摄像头读取图像, PC处理图像, USB摄像头识别图像中的二维码, 二维码中含有该物料所需要投放的位置信息, 同时Kinect摄像头计算出物料的三维坐标, 由树莓派控制机械臂活动, 使末端执行器到达物体坐标, 机械臂实施夹取, 并按照二维码的信息将物料投放至指定位置。至此完成一个物料的分拣。如图2所示。

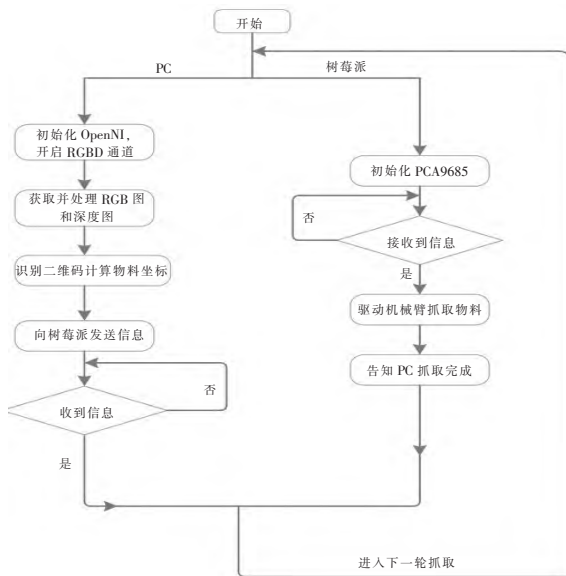


图2 分拣系统工作流程

基金项目: 西南石油大学开放实验基金(项目编号: 2020KSZ06019)和实验教学方法改革研究项目《基于OBE的C语言程序设计实验教学方法改革研究》资助。
作者简介: 张群燕, 指导老师; 许磊(2001-), 男, 本科, 研究方向: 嵌入式、计算机视觉等; 李相红, 黄品国, 马文斌, 本科。

3 分拣系统硬件设计

3.1 机械臂控制模块

机械臂采用数字舵机驱动, 从下至上底部云台采用 LFD-06 舵机, 第一关节使用 LDX-218 舵机, 第二关节为 LDX-218 舵机, 第三关节为 LFD-06 舵机, 第四关节为 LFD-06 舵机, 末端执行器为 TBSN-K15 舵机。以上 6 个舵机旋转的角度范围均为 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$, 此外它们均为数字舵机具有耐烧防堵转的特点, 因此能够适应本项目的应用场景。所有舵机的 3 根引线都连接到 PCA9685 上, 然后 PCA9685 再与树莓派相连, 树莓派仅需向 PCA9685 的相关寄存器写入特定数值就可以控制 PCA9685 输出相应的 PWM 波, 从而达到控制舵机旋转的目的。图 3 为 PCA9685 的核心电路图, 它通过 LED0-LED5 6 个引脚输出 PWM 波控制舵机旋转。此外, 由于舵机消耗功率较大, 机械臂需要单独供电, 这里采用了一个专门的电源适配器, 适配器直接与 PCA9685 连接, 且只能为机械臂 (舵机) 供电, 供电电压为 7.5V 供电电流 3A。树莓派则由单独的电源线提供稳定的 5V 电压和 2A 电流。

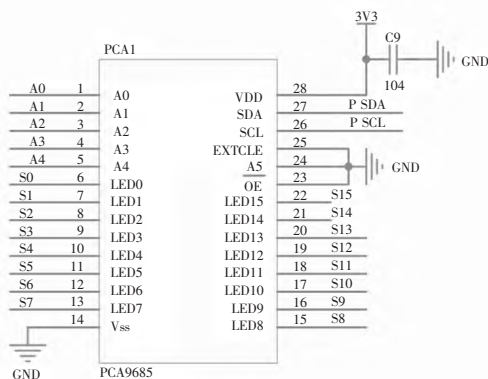


图 3 PCA9685 核心电路图

3.2 物料定位模块

整个视觉部分的核心是 Kinect 1.0 深度摄像头和 USB 摄像头, 两个摄像头正面对, 物料放置在中间。Kinect 是一款应用广泛的深度摄像头, 它能同时获取 RGB 图和深度图, RGB 图用于识别物料, 深度图用于确定物料的三维坐标。深度图和 RGB 图的有效像素单元均为 640×480 , 传感深度范围是 $0.5\sim 3.5\text{m}$, 传输速率最高 30fps。由于 Kinect 1.0 摄像头获取深度图需要的距离限制导致其获取到的二维码较为模糊, 无法识别, 所以需要采用一个 USB 摄像头专门获取物料的二维码图像。Kinect 由一个电源适配器直接供电, RGB 和深度数据通过 USB 接口传给 PC, USB 摄像头直接与电脑连接。

4 分拣系统软件设计

软件部分的设计是物料分拣系统的核心也是难点, 决定了机械臂是否能够准确地抓取物料, 主要分为机械臂部分和视觉部分。机械臂部分主要包括, 实现机械臂三维逆解和末端执行器抓取物体; 视觉部分主要包括, 识别物料, 获取物体三维坐标和识别二维码。

4.1 物料位置坐标与姿态角度确定

4.1.1 逆运动学求解

先将机械臂模型抽象并简化, 得到一个几何模型, 通过分析模型中各个连杆的旋转角度以及末端执行器的坐标可列出等式, 求解等式即可确定机械臂各个舵机需要旋转的角度。模型转换过程如图 4 所示。

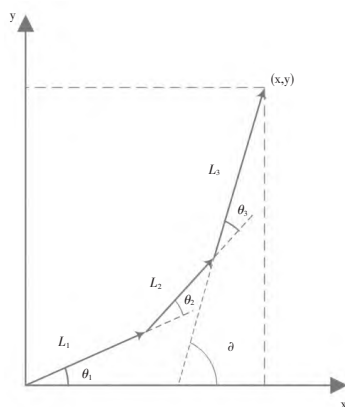


图 4 机械臂简化几何模型

根据图 4 的几何模型, 可以进行如下求解:

$$x = L_1 \cdot \cos \theta_1 + L_2 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \quad (1)$$

$$y = L_1 \cdot \sin \theta_1 + L_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \quad (2)$$

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \quad (3)$$

解该方程组求出 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, 就可以实现机械臂在二维平面内的逆解, 即实现了末端执行器到达二维平面内的任意位置。利用正切的反三角函数可求得底部云台所旋转的角度 θ_1 , 至此实现了完整的机械臂逆运动学求解。

4.1.2 物料三维坐标获取

Kinect 摄像头每秒获取一帧图像, 并检测图像中特定颜色的物体, 若检测到物料则立即再读取一帧图像, 开始计算其三维坐标。

系统获取坐标时先将对图像进行边缘保留滤波处理, 该操作能保留更多物体的边缘信息, 并使其余部分的像素趋于同质化, 可以有效消除图像中细小的干扰点, 然后把图像转化成 HSV 格式以便识别物体的颜色, 接着转化成二值图, 此时图像中只有特定颜色的物体为白色, 通过先腐蚀后膨胀的方法去除图像中的小白点,



此时即可准确提取到物体的轮廓，进而精确地框选出物料，最后通过求物料的原点矩和中心矩可以获得物体重心的坐标。

物料重心求解算法如下：

$$\text{原点矩: } m_{pq} = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N x^p y^q f(x, y)$$

$$\text{中心矩: } \mu_{pq} = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (x-x_0)^p (y-y_0)^q f(x, y)$$

$$\text{物体的重心即为: } x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}}, y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}}$$

(x_c, y_c) 就是物料的重心坐标，结合该坐标与 OpenCV 的 API 即可求出物料中心的三维坐标。

由于 Kinect 得到的物料三维坐标所用的坐标系是以 Kinect 中心为原点所构建的坐标系，如图 5 所示，所以该坐标不能直接用于机械臂定位抓取，需要利用矩阵的平移和旋转操作将 Kinect 坐标系转化为机械臂坐标系。

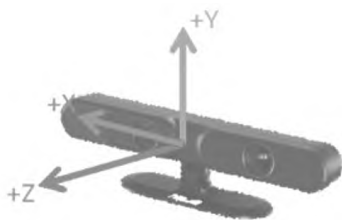


图 5 坐标系构建方式

转化的原理为矩阵的平移和旋转：

取横坐标的相反数完成第一步变换，然后用点的坐标乘相应的旋转矩阵。

绕 X 轴的旋转矩阵为：

$$C_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

绕 Z 轴的旋转矩阵为：

$$C_z = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

旋转后再经过一步平移操作即可得到用于抓取的坐标 P 。

$$P = P + d$$

4.2 二维码识别

Kinect 检测到物料后，USB 摄像头读取一帧图像，开始识别二维码。由于图像的清晰度不高且图像内杂物较多，系统不易准确识别出二维码中信息，需在获取图像后先进行一系列的降噪处理，以提高后续二维码识别的成功率，然后利用边缘保留滤波处理图像，使图像轮廓更加清晰。为了进一步提高二维码的识别率，还需增

强图像的对比度和清晰度，具体操作为将图像转为二值图后进行均值化处理，使像素相对集中，增强图像对比度，有效提升二维码的清晰度。得到的图像经过腐蚀、膨胀有效降噪后对其进行阈值分割，使二维码的黑色区域变为纯黑，白色区域变为纯白，最后调用 OpenCV 提供的 API 与原图做运算后即可得到清晰的二维码图像，实现二维码信息识别。如图 6 所示。

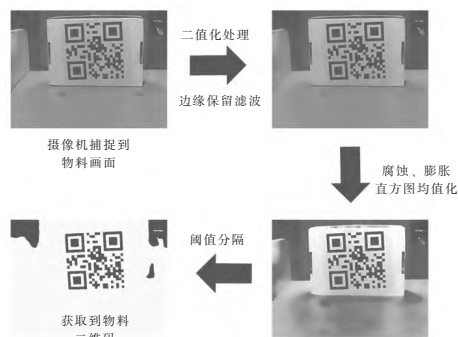


图 6 二维码识别过程

4.3 信息交互

视觉部分的工作完成后，需要由 PC 将结果传给树莓派，这里使用 Socket 完成此工作。Socket 传输能够自定义传输的字节数，且传输速度快，性能高，很适合系统的应用场景。

当 PC 向树莓派发送信息时，PC 端为客户端，树莓派为服务器端。树莓派端需先初始化一个 Socket，与端口绑定，并对端口进行监听，然后调用 accept 阻塞，等待 PC 端连接，当 PC 端完成 Socket 初始化连接上树莓派即成功建立 PC 与树莓派的连接。一次系统作业过程中，由 PC 端发送数据请求，树莓派端进行接收并处理请求，结束通信后关闭连接，完成一次信息交互，而后树莓派将可以根据接收到的信息控制机械臂抓取物料。如图 7 所示。



图 7 Socket 通信

5 物料分拣实验与结果分析

为简化实验研究，实验采用 3 个白色的硬纸盒模拟物料。硬纸盒的一面均贴有二维码。3 个硬纸盒的长宽高如表 1 所示。

表 1 实验物料信息

	长	宽	高
纸盒①	13.5	4.3	9.6
纸盒②	15.6	4.6	10.6
纸盒③	18.3	4.6	13.4

实验以机械臂底部云台中心为原点、Kinect 摄像头朝向为 x 轴正方向、初始时刻机械臂的朝向为 y 轴正方向、垂直地面向上为 z 轴正方向建立笛卡尔坐标系, 通过对比摄像头得到的物料三维坐标与机械臂抓手的三维坐标, 以检验视觉部分与机械臂逆解部分的适配性, 同时, 需要检验物料最终的投放位置是否正确, 以评估本系统在实际应用场景下的可靠性。实验对 3 种物料分别进行 9 组测试, 得到结果如表 2~表 4 所示。

表 2 纸盒①的实验结果

投放位置是否正确	摄像头识别到的坐标	抓手到达的坐标
正确	(-20.3, 7.6, 5.4)	(-19.5, 7.8, 4.7)
正确	(-26.5, 2.1, 5.4)	(-25.3, 3.4, 4.5)
正确	(-31.2, 1.1, 5.3)	(-30.3, 2.7, 3.7)
正确	(-34.5, 0.5, 5.3)	(-34.2, 1.5, 1.2)
正确	(34.4, 0.3, 5.7)	(34.5, 0.2, 1.1)
正确	(32.1, 6.9, 5.3)	(31.3, 6.1, 2.7)
正确	(25.6, 10.1, 5.9)	(24.7, 9.5, 3.3)
正确	(15.4, 15.7, 5.4)	(16.7, 15.4, 4.7)

表 3 纸盒②的实验结果

投放位置是否正确	摄像头识别到的坐标	抓手到达的坐标
正确	(19.3, 7.4, 4.9)	(19.7, 5.8, 5.4)
正确	(21.4, 3.1, 5.3)	(21.9, 1.2, 5.7)
正确	(25.3, 2.3, 4.8)	(26.2, 0.6, 5.1)
正确	(30.7, 1.5, 5.4)	(31.5, 0.3, 5.9)
正确	(-15.6, 13.2, 5.2)	(-15.3, 13.7, 5.8)
正确	(-18.3, 21.5, 4.9)	(-17.9, 22.1, 4.2)
正确	(-21.5, 10.4, 5.1)	(-21.9, 9.7, 4.2)
正确	(-27.4, 4.3, 4.8)	(-27.7, 4.8, 4.1)

表 4 纸盒③的实验结果

投放位置是否正确	摄像头识别到的坐标	抓手到达的坐标
正确	(10.5, 11.3, 6.5)	(11.1, 10.7, 5.6)
正确	(13.2, 10.7, 6.4)	(13.9, 9.9, 4.9)
正确	(20.3, 20.7, 6.5)	(20.7, 19.9, 5.7)
正确	(25.8, 15.3, 6.7)	(26.7, 13.2, 5.2)
正确	(-14.3, 18.2, 6.1)	(-12.8, 19.7, 6.6)
正确	(-17.6, 14.1, 6.5)	(-15.9, 15.4, 6.8)
正确	(-22.8, 12.7, 6.5)	(-20.2, 14.6, 6.4)
正确	(-27.9, 8.9, 6.3)	(-25.9, 10.1, 6.7)

分析实验结果可知, 系统的视觉定位和机械臂逆解之间的坐标误差在 1~2 厘米之间。当机械臂抓取距底部云台超过 30cm 的物料时, 由于机械臂自身重心较远,

导致第一关节需要承受机械臂本身的重力更大, 所以 z 轴方向会产生较大误差, 不过在这种情景下, 机械臂仍能成功抓取一些较轻物体。在大部分情况下, 相对于抓取的物料来说这些误差可以忽略不计, 最终抓取的结果也表明机械臂能够较好地定位到物料重心。物料投放的位置也没有出现差错, 表明二维码识别模块能够正常工作。

经过以上的实验分析可以看出, 设计的物料分拣系统可以准确地判断出物料的位置坐标, 完成二维码识别获取投放信息, 并通过 Socket 通信交互信息由树莓派控制机械臂完成抓取、分拣物料的工作。在类似的实际场景中系统能够出色地完成分拣工作, 起到提高工作效率, 节省人力成本的作用。

6 结语

系统针对于小型智能仓库, 设计了一种低成本、高效率的小型自动物料分拣系统, 包括系统硬件和软件两方面的设计, 实现了低成本、高性能的物品智能分类抓取的功能。

参考文献

- [1] 余明江, 李辉, 谭彦祺, 等. 基于 STM32 的智能物流分拣系统的应用与研究. 仪表技术, 2021, (05): 52-54+57.
- [2] 房国栋, 高军伟, 朱晨曦, 等. 基于机器视觉的机械臂智能分拣系统. 仪表技术与传感器, 2020, (12): 72-76+81.
- [3] 中国智能分拣行业研究报告 2020 年 [A]. 上海艾瑞市场咨询有限公司. 艾瑞咨询系列研究报告 [C]. 上海艾瑞市场咨询有限公司, 2020: 41.
- [4] 杨洁, 王洪波, 储天, 等. 面向智能仓库的中小型物料分拣系统的设计. 机电技术, 2019, (06): 26-29+94.

