

基于视觉引导的机器人抓取分类系统设计

戴福全^{1,2}, 刘路杰¹

(1. 福建工程学院 机械与汽车工程学院, 福建 福州 350118;

2. 福建海源复合材料科技股份有限公司, 福建 福州 350101)

摘要: 为了解决流水线的快速抓取及分类问题, 采用六自由度串联工业机器人和 SCARA 四轴机器人结合, 配合 3D 和 2D 相机, 搭建了一套智能分类抓取系统。基于 Halcon 视觉处理平台, 在 Qt 软件框架下进行二次开发, 构建了机器人视觉引导的自动抓取和分类软件框架。通过相机采集图像, 并在上位机中经图像预处理、位姿估计、模板匹配等步骤后, 得到三维位姿或中心坐标, 并发送给机器人实行智能抓取, 从而实现对多种堆叠物块的识别和抓取。实验结果表明, 通过视觉定位得到的物块中心位置和机械手实际抓取测量之间的误差为 0.05~1.22 mm, 摆放角度在 5° 以内时, 分拣效率比人工分拣提高了 62% 左右, 可以更好地满足实际企业生产的需求。

关键词: 机器视觉; 工业机器人; 零件分类; 模板匹配; Halcon

中图分类号: TH166; TG659 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-4348(2020)06-0530-05

Design of vision-guided robotic grasping classification system

DAI Fuquan^{1,2}, LIU Lujie¹

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. Fujian Haiyuan Composite Materials Technology Co., Ltd., Fuzhou 350101, China)

Abstract: In order to solve the problem of rapid grabbing and classification of the assembly line, the system used a combination of a six-degree-of-freedom tandem industrial robot and a SCARA four-axis robot, together with 3D and 2D cameras, to build an intelligent classification and grasping system. Based on the vision processing platform Halcon, secondary development was carried out under the Qt software framework, and the automatic grasping and classification software framework guided by robot vision was constructed. The system collects images through the camera, and after image preprocessing, pose estimation, template matching and other steps in the host computer, the three-dimensional pose or center coordinates were obtained and sent to the robot for intelligent grasping, thereby realizing the identification and grabbing of several stacked blocks. Experimental results show that the error between the center position of the block obtained by visual positioning and the actual grasping measurement of the manipulator is 0.05~1.22 mm. When the placement angle is within 5°, the sorting efficiency of the robot is increased by about 62% than that of the manipulator. Therefore, it can better meet the requirements of the actual enterprise production.

Keywords: machine vision; industrial robot; parts classification; template matching; Halcon

近年来, 工业界广泛采用机器人与视觉配合的方式实现生产线的上下料、分拣任务, 相关的研究也成为热点^[1]。叶卉等^[2]采用双目相机立体

视觉, 通过 OpenCV 和 Triclops 库, 搭建了一套抓取系统, 实现了对圆柱体和长方体薄板的分类位姿识别。解明利等^[3]对传统的 Hough 算法进行

了改进,设计了一套基于机器视觉的分拣系统。陈立挺等^[4]研究了一种基于 MLP 分类器的视觉算法,实现了对工件的识别。在实际的企业生产中,线激光相机的应用相对与单目相机还是较少的,单目相机只能获取物体的二维平面数据,无法获取物体高度数据。本研究采用 3D 线激光相机和单目相机相结合,基于视觉处理平台 Halcon,在 Qt 软件框架下进行二次开发,实现了对分拣对象的位姿估计及中心坐标的求取,构建了机器人视觉引导的自动抓取和分类软件框架,为实际生产提供参考。

1 分类抓取系统构成

抓取系统硬件部分主要包括 ABB 机器人、EPSON 机器人、激光相机、单目相机、LED 光源、工控机(上位机)、光电开关传感器、PCI 数据采集卡、传送带和控制柜等,如图 1 所示。系统由抓取和分拣两个子系统组合构成,可以实现对无序堆叠的多类物块进行抓取、分类并按照一定的角度摆放。抓取子系统采用的是 3D 视觉方案,ABB 机器人负责抓取无序堆叠摆放的物块,放置到传送带上。分拣子系统采用的是 2D 视觉方案,EPSON 机器人从传送带上抓取物块,并按照一定角度分类摆放在托盘上。工控机作为两个子系统共同的主控,负责协调两个子系统中机器人的动作,工控机与相机、机器人之间通过 TCP/IP 获取图像和发送控制命令^[5-6]。

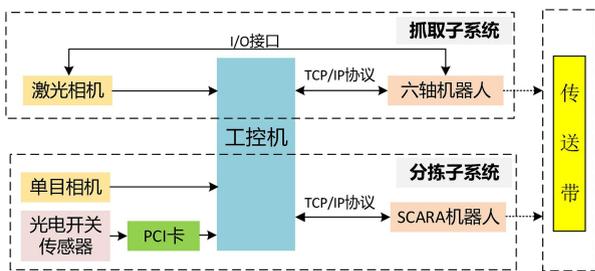


图 1 抓取分类系统组成

Fig.1 Composition of the grasping and classification system

抓取系统中激光相机安装在六轴机器人端部,随着机器人而移动,并且分别连着机器人和工控机,机械手根据其所在位置,通过 I/O 接口发送命令给相机,控制相机扫描获取图像。分拣子系统中,传送带两侧安装有两对光电开关传感器,其

通过 PCI 数据采集卡连接到工控机,以实现将模拟信号转换为数字信号,其中第一对传感器控制安装在其正上方的单目相机获取图像,第二对传感器控制机械手抓取物块。

2 三维位姿及二维中心坐标的获取

在视觉处理过程中,激光相机和单目相机都需要进行内参、外参标定,内参标定用于畸变矫正,外参标定用于相机坐标和机器人坐标的变换^[7-10]。标定完成,抓取系统的 3D 相机可以调用标定信息对图像进行畸变矫正,经过视觉处理后得到物块的中心点坐标高度值。根据高度值选出堆叠物体中最高的物块,再计算此物块在相机坐标系下的位姿,在经过坐标转换后得到最终机器人坐标系下的位姿。分拣子系统采用的是模板匹配方法来判断物块类型,以及获取中心坐标和旋转角度。模板匹配的方法众多,其中基于外型轮廓的模板匹配应用最为广泛,对复杂物体同样适用,物体表面轮廓特征越多,效果越好,此处选取较为典型的圆形物体、矩形物体和六边形物体作为实验对象。

2.1 三维位姿获取

抓取子系统针对无序堆叠的物块抓取首先需要获取其三维位姿,步骤如下:

(1)相机在机器人带动下扫描物体区域,得到一幅高度图像。

(2)通过 Halcon 算子将扫描得到的图像按照点云的 x 、 y 、 z 坐标转换为灰度值,得到 Image_X、Image_Y 和 Image_Z 图 3 张图片。

(3)通过算子“xyz_to_object_model_3d”将 Image_X、Image_Y 和 Image_Z 图转换为三维模型,再通过“select_object_model_3d”选出 3D 模型中的物块部分。接着通过算子“get_object_model_3d_params”查询三维模型的属性,获取物块中心坐标的高度值 Z ,选取 Z 值最大的为待抓取物块。

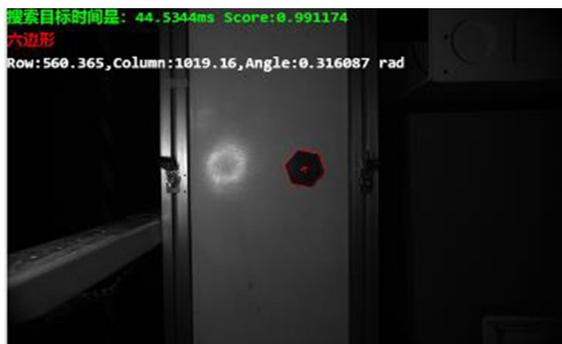
(4)利用算子“moments_object_model_3d”计算出相机坐标系中的位姿。对该位姿使用标定参数校正,得到三维姿态,再通过坐标变换转换为机器人坐标系下的位姿,并将其发送给 ABB 机器人。

2.2 二维中心坐标获取

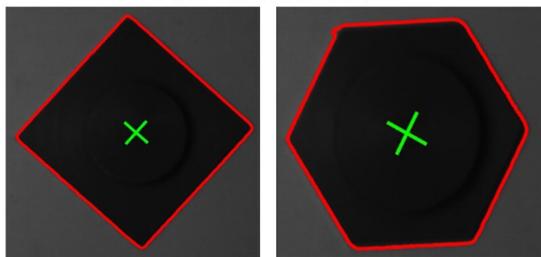
分拣系统通过面阵相机获取传送带上待分类物体图像,再通过视觉算法计算物体的中心坐标,从而实现机器人对物体的分拣,具体步骤为:

(1) 创建模板。模板创建是在标准的物体图像选择 ROI 区域,并将其保存。本实验中一共有 3 种不同的对象需要分拣,包括圆形物体、矩形物体和六边形物体,故需要创建 3 种不同的模板。

(2) 模板匹配。匹配过程先调用“read_shape_model”算子读取模板,再通过“find_shape_model”算子进行匹配,当匹配分值大于 0.95 时判定为匹配成功。由于存在 3 种对象,匹配过程先采用一种模板进行分值计算,若分值大于 0.95 则认为成功匹配,否则继续读取下一个模板,再进行匹配,直到匹配成功为止。如图 2 为匹配结果,从匹配结果可以看出物块类型、中心坐标、角度以及消耗时间。



(a) 六边形物块匹配图



(b) 四边形和六边形物块匹配细节图

图 2 模板匹配结果

Fig.2 Results of template matching

3 视觉模块软件设计

软件主要的核心算法代码是在 Halcon 环境下编写,并进行程序功能验证后,导出为 C++代码,然后移植到 Qt 框架中,再通过 UI 构建整个功能界面,最后生成应用程序。通过此方法实现了 Qt 和 Halcon 的联合混编,实现抓取分类功能。

3.1 软件架构

上位机软件根据模块化设计思路设计,其架构按照主要功能分为 4 个模块:通信模块(与机器人及相机数据交换)、相机模块(获取图像)、图

像处理模块(处理图像获取需要的数据)、可视化模块(显示图像处理结果)、传感器模块(控制光电开关传感器),如图 3 所示。

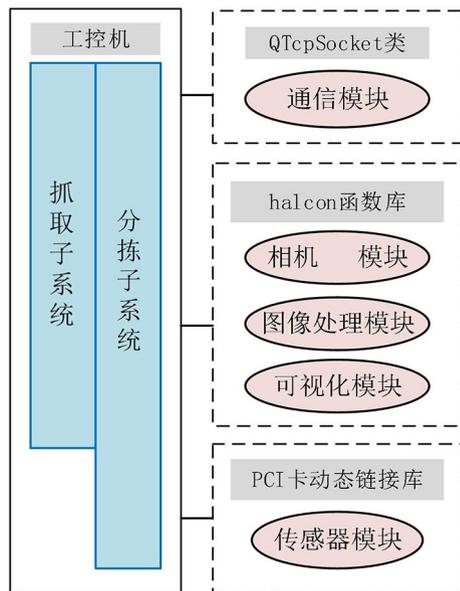


图 3 软件架构

Fig.3 Architecture of the software

系统软件交互界面的主要功能包括:相机和机器人之间的通信、采集图像画面显示、实时消息显示、机械手坐标补偿调整及计数等等。相机和机器人之间的通信基于 TCP/IP 协议^[11],主要功能是进行数据交换,其优点是传输速度快、效率高,有效地保证了数据传输的稳定性和可靠性。图像显示模块的主要功能是显示图像处理结果,从相机获取图像开始到图像处理过程中的每一步都实时显示在窗口中。实时消息框的功能则是打印系统每一步的运行状态,包括下位机返回的数据以及上位机发送的数据等等。通过图像和消息的显示,可实时监控系统运行的情况,有效保证了系统运行的稳定性。由于标定存在不可避免的误差,通过机械手坐标补偿调整功能,微调偏移量,可提高系统精度。

3.2 系统工作流程

系统首先通过 3D 相机对无序堆叠的零件进行扫描定位,再由 6 轴机器人抓取至传送带,2D 相机识别传送带上零件种类后,SCARA 机器人将零件抓取至分类位置。具体来说,6 轴机器人先带动 3D 相机进行扫描。当机器人运动至扫描区域前端时,机器人通过 I/O 接口发送命令给激光

相机,打开激光线开始扫描获取图像。获取的图像经由工控机程序处理后得到物块位姿,再将位姿发送至机器人抓取零件,然后放置在传送带上。当零件移动到相机正下方传感器处时,传感器触发相机拍照,再经视觉软件处理后判断零件类别。同时,视觉软件计算得到物块中心坐标及角度,SCARA 机器人基于这些信息移动至传感器 2 处。当零件到达传感器 2 时发出到达信号,SCARA 机器人即吸取零件将其分类放置。分拣子系统布局结构如 4 所示。

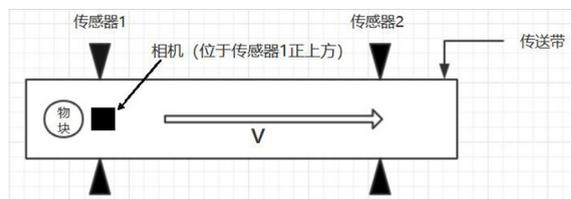


图 4 分拣子系统布局结构示意图

Fig.4 Schematic illustration of the layout structure of the sorting subsystem

4 抓取分类实验

抓取系统将无序堆叠的物体抓取至传送带,分拣系统将传送带上物体分类摆放。利用前面提到的方法,系统能够顺利实现无序堆叠的物体抓取及分类摆放,实验结果如表 1 所示。

表 1 模板匹配结果

Tab.1 Results of template matching

物块类型 判别	匹配精度/ %	搜索时间/ ms	中心坐标/ px	角度/ rad
圆形	99.9	61.53	(563.524, 1025.68)	6.252
矩形	99.8	33.51	(542.934, 1008.44)	6.163
六边形	99.1	44.53	(560.365, 1019.16)	0.316

参考文献:

- [1] 田闯. 工业机器人的现状及发展趋势研究[J]. 中国管理信息化, 2019, 22(20): 156-157.
- [2] 叶卉, 张为民, 张欢, 等. 机器人智能抓取系统视觉模块的研究与开发[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016(12): 1-5.
- [3] 解明利, 胡占齐. 机器视觉在柔性制造生产线分拣机械手中的应用研究[J]. 制造技术与机床, 2018(3): 103-107, 113.

从表 1 可见,系统可以准确识别物块的类型、中心坐标及角度,模板匹配精度都大于 95%。另外,每张图的匹配时间在 65 ms 以内,识别一次所需时间平均值为 47 ms。视觉定位结果与机械手末端实际抓取位置的放置误差在 0.1~1.5 mm 内(企业要求误差在 ± 5 mm 以内),摆放角度在 5° 以内,具有较高的定位精度,可以较好满足企业生产要求。此外,试验还对抓取分拣系统的分拣效率进行了验证,如表 2 所示,正常企业员工的分拣速度为 50 个/min 左右,而采用机器人分拣最少可以达到 82 个/min 左右,生产效率提高了将近 62%,物块的识别分类能够达到 100%,大大提高了企业的生产效率,节约了人工成本。然而,由于未在传送带上加入编码器,机器人无法提前预知物块位置,随着传送带速度的提高,机器人在抓取衔接处不易对准容易滑落,抓取率也有所下降。

表 2 单位时间内分拣个数与抓取成功率结果

Tab.2 Results of the sorting number and grasping success rate in a time unit

序号	机器人分拣个数	抓取成功率/%
1	82	100
2	90	98
3	106	97

5 结语

基于机器视觉,通过计算中心矩和模板匹配的方式获取物块位姿和坐标,提出了利用六自由度串联工业机器人和 SCARA 四轴机器人对物体抓取分类的方法,并编写了上位机控制软件,搭建了一套抓取分类系统。实验结果表明,本系统满足预定设计要求,生产效率提高了 62% 左右。下一步将针对三维位姿估计算法进行研究,提高抓取速度,结合深度学习对产品进行分类和判别。由于视觉标定存在不可避免的误差,所以对于抓取点坐标的准确度有待提高。

- [4] 陈立挺, 聂晓根. 基于双目视觉的机械手识别、定位、抓取系统研究[J]. 机电工程, 2019, 36(8): 862-866, 872.
- [5] 党宏社, 候金良, 强华, 等. 基于视觉引导的 SCARA 机器人自动装配系统[J]. 电子技术应用, 2017, 43(5): 21-24.
- [6] 杜召辉, 刘安东. 基于 Qt 的移动机器人上位机软件设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(5): 107-111.
- [7] 钱振奇, 王战中, 杜小强. 基于 HALCON 的单目视觉标定研究[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2018, 31(3): 75-80.
- [8] 田春林, 陈李博, 马国庆, 等. 基于 Halcon 的工业机器人手眼标定方法研究[J]. 制造业自动化, 2018, 40(3): 16-18, 46.
- [9] 胡玥红. 基于机器视觉的锂电池极片缺陷检测研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [10] THORMÄHLEN T, BROSZIO H. Automatic line-based estimation of radial lens distortion[J]. Integrated Computer-Aided Engineering, 2005, 12(2): 177-190.
- [11] 白钢华, 李王辉. 基于 Qt 的 TCP Socket 通信编程研究[J]. 电脑编程技巧与维护, 2013(24): 52-53, 65.

(责任编辑: 方素华)

《福建工程学院学报》征稿启事

《福建工程学院学报》是原中华人民共和国国家新闻出版广电总局批准、福建省教育厅主管、福建工程学院主办的省级综合性学术期刊, 国内外公开发行人; 坚持“创新性、科学性、实用性”的办刊方针, 追踪学科前沿研究成果, 展现区域文化特色; 现为双月刊, 每年 6 期(其中理工版 4 期, 社科版 2 期)。中国标准连续出版物号: CN 35-1267/Z; 国际标准连续出版物号: ISSN 1672-4348; 国外发行代号: BM4387。

本刊为中国学术期刊(光盘版)全文收录期刊, 中国学术期刊综合评价数据来源期刊, 万方数据库全文收录期刊, 维普资讯《中文科技期刊数据库》全文收录期刊, 台湾华艺 CEPS 中文电子期刊服务数据库全文收录期刊。

一、投稿要求

来稿要求思想正确, 立论科学, 观点鲜明, 论证严密, 论据充分, 资料可靠, 引证恰当, 图表合理, 术语规范, 文字精炼, 具体格式和要求请看本刊网站的“投稿须知”(<http://gcxyxb.fjut.edu.cn/Corp/30.aspx>)。

二、投稿方式

1. 打开福建工程学院主页(<http://www.fjut.edu.cn/>)从“学报纵览”进入学报采编系统, 注册登录进行投稿;

2. 直接打开域名(<http://gcxyxb.fjut.edu.cn/>), 进入学报采编系统, 注册登录进行投稿。

三、投稿约定

1. 来稿须保证合法性和规范性, 坚决反对学术不端行为。

2. 作者可在线查询稿件处理情况。本刊对所有来稿概不收取版面费、审稿费等费用。

3. 作者同意将该文稿的发表权、汇编权、纸型版、网络版及其他电子版的发行权、传播权和复制权交本刊独家使用, 并同意由编辑部统一纳入相关的信息服务系统。

四、本刊联系方式

地址: 福建省福州市大学新区学府南路 33 号(邮编: 350118)

电话: 0591-22863076