



基于机器视觉的工业机器人分拣实验平台设计

魏鸿磊, 商业彤, 孙 松, 孔祥志, 王 晶, 刘乘昊

(大连工业大学 机械工程与自动化学院, 大连 116034)

摘要: 为提高机械电子等专业学生的实训质量, 设计了基于机器视觉的工业机器人分拣实验平台。平台包括上位机、机器视觉、机器人和气动系统共 4 个子系统, 涉及图像目标识别与定位、图像坐标系与机器人坐标系的转换、吸盘控制系统设计等关键技术, 并设计了 6 组创新型实训项目。通过该实验平台, 学生可以进行图像采集与处理、机器人控制以及上位机软件开发等多方面的学习。在近三届共 30 人的学生中进行的实验教学证明, 该实训系统对培养学生的学习兴趣、创新能力和实践能力具有重要作用。

关键词: 机器人控制; 手眼标定; 目标识别; 教学实验平台

中图分类号: G642.0

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20210341

Design of Industrial Robot Sorting Experiment Teaching Platform Based on Machine Vision

WEI Honglei, SHANG Yetong, SUN Song, KONG Xiangzhi, WANG Jing, LIU Chenghao

(School of Mechanical Engineering and Automation, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

Abstract: In order to improve the practical training quality of students majoring in mechanical and electronics, an industrial robot sorting experiment platform was designed based on machine vision. The platform consists of four subsystems, including computer system, machine vision, robot and pneumatic system, which involve key technologies such as image target recognition and positioning, transformation of image coordinate system and robot coordinate system, and design of sucker control system. Six groups of innovative training projects are also designed. Through this experimental platform, students can learn image acquisition and processing, robot operation and upper computer software development. The teaching experiments with 30 students have attended in the last three sessions have proved that the practical training system plays an important role in cultivating students' learning interest, innovation ability and practical ability.

Key words: robot control; hand-eye calibration; object identification; teaching experiment platform

随着工业自动化技术的发展和成熟, 不但生产线上从事简单、重复、高强度劳动的工人开始被机器人替代, 而且在一些高科技产品制造领域也逐渐实现机器人换人^[1]。机器人技术的迅猛发展和应用需要大量的相关技术人才。目前国内各高校广泛开展了机器人相关各专业的培养力度, 自 2015 年东南大学首次获批建立“机器人工程”专业以来, 机器人相关专业近年来得到了迅猛的发展。截至 2020 年, 全国开设机器人工程专业的院校 249 所, 工业机器人技术的院校 7 所,

共 256 所^[2]。这些专业的建设迫切需要大量高质量的机器人实验和实训设备。

机器人相关技术是多学科交叉融合领域, 涉及机械工程、电气工程、控制科学与工程和计算机科学与技术等多种学科^[3]。机器视觉技术是自动化技术中的一个重要分支, 在机器人系统中得到了越来越广泛的应用, 为此国内有部分高等院校将机器视觉技术和机器人技术融入机电教学中, 开发了多种实验和实训设备^[4-9], 如基于工业机器人的自动化综合实验平台^[10]、基于管道巡检机器

收稿日期: 2021-07-17; 修回日期: 2021-12-07

基金项目: 2021 年大连工业大学教育教学改革研究项目(JGLX21005, JGLX21029); 辽宁省教育厅 2021 年度高等学校基本科研课题项目(2021060027)。

作者简介: 魏鸿磊(1973-), 男, 博士, 副教授, 主要从事机器视觉及机电一体化系统设计研究。E-mail: weihl2005@163.com

人的视觉系统实验教学平台^[11]、智能搬运机器人实验平台^[12]等,但是这些实验设备大都侧重于机电方面,机器视觉部分大都被深度封装,难以提供光、机、电更深层次融合的实验项目,与工业界的实际应用相脱节,难以达到学以致用效果。

为解决上述问题,本课题组在与企业多年深度合作的基础上,整合企业机光电设备研发常用的相关技术,开发设计了工业机器人分拣实训教学平台。该平台通过机器视觉技术获取分拣目标的位置信息,利用机器人实现取放操作,可以提供从机器人和机器视觉零部件开始搭建整机并完成分拣任务的深度实验和学习方案。

1 系统结构及功能设计

实验平台主要由机器视觉系统、机器人控制系统、气动系统组成,如图1所示。上位机系统由电脑、双口千兆网卡和PCI7230数据采集卡构成;机器视觉系统主要由工业相机、镜头以及照明光源构成;机器人系统由本体和控制器组成;气动系统由吸盘、真空发生器、气泵组成,其中吸盘安装在机器人第4轴末端。

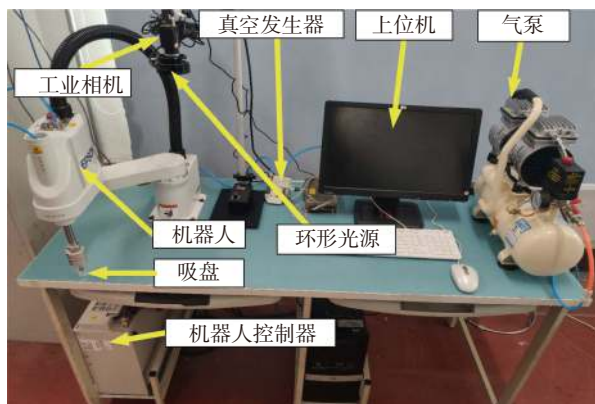


图1 实训教学平台总体组成

上位机系统通过以太网与机器视觉系统和机器人系统通信,通过PCI7230数据采集卡控制真空发生器对吸盘抽真空吸料或破真空放料。

工作时,由机器视觉系统采集图像并传送给上位机进行分析,计算出物料的图像坐标,并转换成机器人坐标传送给机器人系统,机器人移动到位并抽真空吸料,随后返回放置位并破真空放料,从而完成一轮分拣。

1.1 机器视觉系统

机器视觉系统包括130万像素的海康威视MV-CE013-20GM以太网黑白工业相机并配置16 mm焦距的海康威视定焦镜头,采用环形光源照明。

机器视觉系统的功能是采集图像,并识别目标物体的图像坐标,然后转换成机器人坐标传给机器人实现抓取。因此机器视觉部分主要包括视觉标定、离线模板生成和在线目标识别3部分。

1.1.1 视觉标定

为实现机器人精确抓取物料,需要预先进行标定,即建立图像坐标与机器人坐标的转换关系,实现过程如下3步:

1) 将标定板放置到机器人工作区域中心位置采集图像,经图2所示图像处理过程后提取每个标定点坐标;

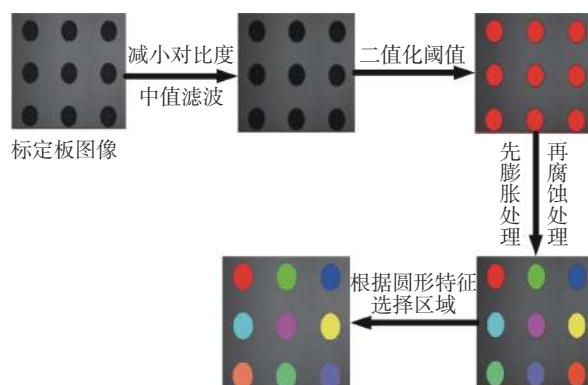


图2 标定板图像处理过程

2) 通过机器人示教操作使末端工具中心依次与各标定点中心重合,获取每个标定点的机器坐标;

3) 根据9组标定点的图像坐标和机器坐标,利用仿射变换算法计算二维齐次变换矩阵,建立图像坐标系与机器人坐标系的转换关系。

1.1.2 目标识别与定位

基于形状匹配的图像处理流程如图3所示,主要分为模板创建和模板匹配两部分,方法如下。

1) 离线模板生成

人机交互在模板图像 T 上画出模板检测区域 (x_R, y_R, w_R, h_R) ,并分割出图块 T 作为模板图像块。按式(1)用Sobel算子对模板图像块进行卷积以计算各像素的梯度。

$$\begin{cases} G_x = S_x * T \\ G_y = S_y * T \end{cases} \quad (1)$$

其中 S_x 和 S_y 是 Sobel 算子:

$$S_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

对于模板图像上所有像素点组成的点集 $P = \{P_i = (x_i^T, y_i^T), i = 1, 2, \dots, n\}$, 由(1)式可计算出一个方向向量集 $T = \{T_i = (Gx_i^T, Gy_i^T), i = 1, 2, \dots, n\}$, 将该方向向量集存储为模板。

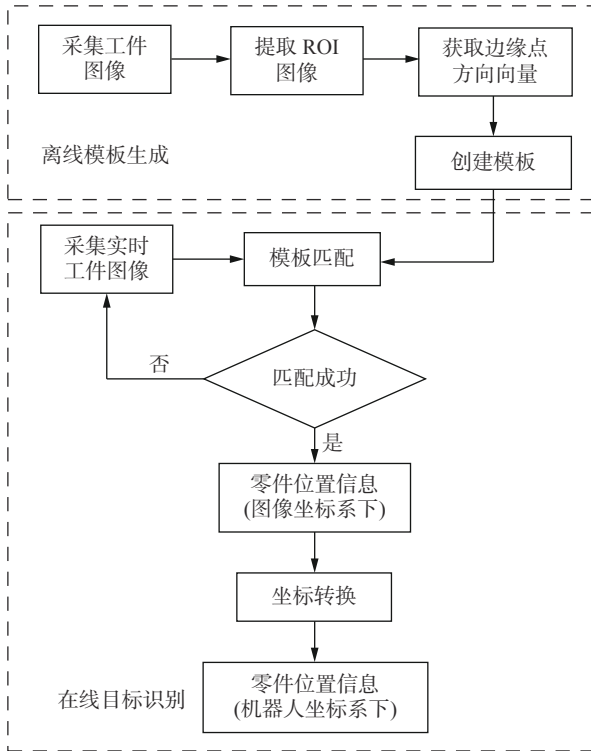


图3 基于形状匹配的图像处理流程

2) 在线目标识别

在线检测时, 由传感器触发采集待检测图像, 然后截取 ROI 图像, 并在待检测 ROI 图像上依次截取与模板图像块相同大小的待检测图像块 E , 并由式(1)计算方向向量集 $E = \{E_i = (Gx_i^E, Gy_i^E), i = 1, 2, \dots, n\}$ 。计算两向量集的归一化内积作为两图像块的相似度, 即

$$s = \frac{T \cdot E}{|T| \cdot |E|} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Gx_i^T \cdot Gx_i^E) + (Gy_i^T \cdot Gy_i^E)}{\sqrt{Gx_i^{T^2} + Gy_i^{T^2}} \cdot \sqrt{Gx_i^{E^2} + Gy_i^{E^2}}} \quad (3)$$

在待检测图像上扫描匹配, 在每个扫描位置根据式(3)都可计算出一个小于1的相似度分值, 取最大的分值为最终相似度, 如果最终相似度大于预定阈值 threshold(本文设为 0.5)则认为匹配成功, 如算法 1 所示。

算法1 图像匹配

输入: 待测图像 I , 搜索ROI参数 (x_R, y_R, w_R, h_R) , 旋转角度搜索范围 (ϕ, ψ) , 模板向量集 T_0 , 搜索步长 $(\Delta w, \Delta h, \Delta \theta)$, 匹配阈值 threshold

输出: 匹配位置 (x, y, θ)

```

1: for  $k \leftarrow \phi; k < \psi; k \leftarrow k + \Delta \theta$ ; do
2: 旋转模板向量集  $T \leftarrow T_0 + k$ 
3: for  $i \leftarrow 0; i < w; i \leftarrow i + \Delta w$ ; do
4:  for  $j \leftarrow 0; j < h; j \leftarrow j + \Delta h$ ; do
5:  用 $(x_R + i, y_R + j, w_R, h_R)$ 在 $I$ 中截取图像块 $E$ 
6:  根据(1)式计算 $E$ 的方向向量集 $E$ 
7:  按(3)式计算 $E$ 与模板 $T$ 的相似度 $S$ 
8:  If  $S > \text{threshold}$  then
9:  If  $\max < S$  then
10:    $\max \leftarrow S, x \leftarrow i + x_R, y \leftarrow j + y_R, \theta \leftarrow k$ 
11:  end if
12: end if
13: end for
14: end for
15: end for
  
```

3) 坐标转换

当目标与模板匹配成功后, 其重心坐标即为图像坐标系下的位置坐标。利用视觉标定计算的变换矩阵经二维仿射变换算法即可计算出目标在机器人坐标系下的位置坐标。

1.2 机器人系统

本系统采用爱普生 LS6-602S 工业机械臂, 厂家提供了功能强大的软件开发包给用户使用, 只需要编写较简单的程序调用功能函数就可以完成其控制, 大大降低了开发难度。机器人系统的程序设计包括与上位机通信和处理响应上位机指令两部分。

1) 程序编写。用 C# 语言编写上位机服务端 Socket 程序, 用机器人 EPSON RC+ 7.0 软件(如图 4 所示)编写机器人客户端的 Socket 程序及机器人运动程序。

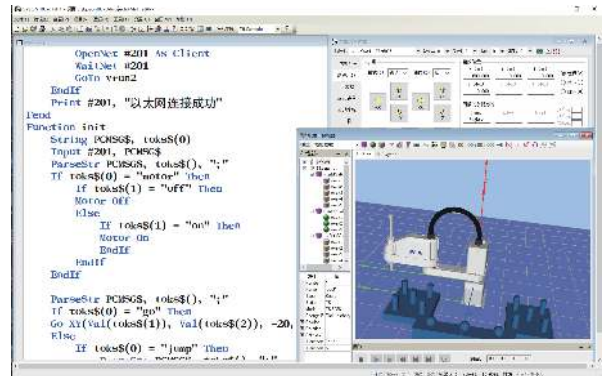


图4 机器人 EPSON RC+ 7.0 软件编程界面

2) 程序运行。机器人向上位机发送连接请求, 建立 Socket 连接。上位机将分拣目标的机器

坐标发送给机器人,机器人接收指令完成取料后立即向上位机请求放料点的位置坐标;上位机接收请求并发送预先设定的放料点坐标,机器人接收指令完成放料。

1.3 气动系统

气动系统如图5所示。真空发生器的真空端口与吸盘相连,供气口与气泵相连,吸盘安装于机器人的工具末端。PCI7230数据采集卡的O₁输出点接到真空发生器的抽真空继电器, O₂输出点接到破真空继电器。当机器人到达分拣目标位置时,上位机通过PCI7230的O₁输出点发送信号,使抽真空继电器动作,吸盘完成取料;当机器人到达物料放置处时,上位机控制PCI7230的O₂输出点发送信号,使破真空继电器动作,吸盘完成放料。

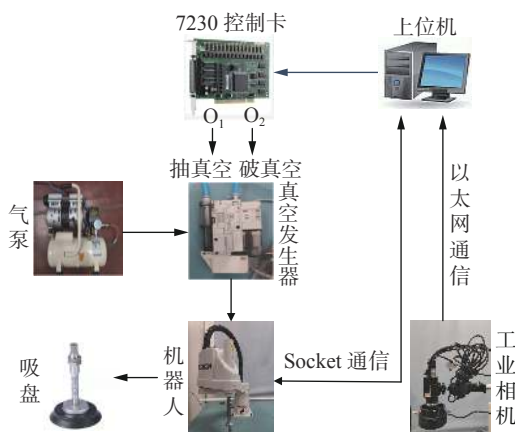


图5 气动系统

2 实训项目设计

利用上述实训平台,开设了硬件系统搭建、图像采集与处理、图像坐标与机器人坐标转换、机器人控制、气动系统控制以及上位机控制软件设计6个实训项目,内容涉及到“机电一体化系统设计”“C#程序设计”“机器视觉技术与应用”“液压传动与气动技术”“机器人技术”等多门课程。为帮助学生顺利完成实训项目,教学团队编写了实训指导书,以“有用”和“够用”为原则将必要的相关知识凝练融合到一起,其中理论知识约占总篇幅的20%左右,主要内容是对涉及的各学科相关知识概要介绍;实践层面的知识约占总篇幅的80%左右,包括工业相机、数据采集卡、真空发生器以及机器人软件开发包的应用

方法等知识。通过在实训过程中进行讲解和示范,使学生理论联系实际,达到“学中做”和“做中学”的效果。另外,在实训过程中发现机器视觉的编程占用了学生太多的时间和精力,为了不使学生在这个环节耗费过多时间,由教学团队将相关的程序编写成函数提供给学生,要求学生了解其原理并学会正确调用即可。

1) 实验1:硬件系统搭建

预先将实训系统拆成零部件,由学生自主进行系统搭建,通过该过程使学生掌握工业相机、机器人、气动系统等各部件的功能、使用方法以及整体系统组成等硬件知识。

2) 实验2:图像采集与处理实验

通过指导教师对不同工业相机、镜头、光源的性能参数的讲解,学生能够根据实验要求进行正确选型。在对形状匹配图像处理流程和相应算法的学习后,要求学生能够自主采集图像并提取分拣目标的特征和位置信息。

3) 实验3:图像坐标与机器人坐标转换实验

本实验主要让学生能够利用机器人示教操作获取标定点的机器坐标,并编写标定板图像处理算法提取标定点的图像坐标,成功建立图像坐标系与机器人坐标系的转换关系,掌握视觉标定原理。

4) 实验4:机器人控制实验

本实验首先让学生学习基于TCP/IP协议的Socket通信,能够自主编写Socket通信程序建立上位机与机器人系统的通信。其次让学生掌握机器人基础编程语言,并编写简单的运动程序。最后,对程序进行整合,实现上位机控制机器人末端到达指定位置的功能。

5) 实验5:气动系统控制实验

该实验主要内容是利用上位机控制吸盘进行取料和放料,让学生进一步学习上位机编程通过PCI7230卡实现气动系统的控制方法。

6) 实验6:上位机控制软件设计实验

该实验主要内容是让学生掌握应用C#语言编写上位机软件的方法。指导教师预先将录制的软件设计视频上传至公共网站^[13],由学生根据视频介绍的知识和方法完成类似如图6所示的软件界面,并集成实训项目2~5的内容,从而实现物料分拣的整体功能。

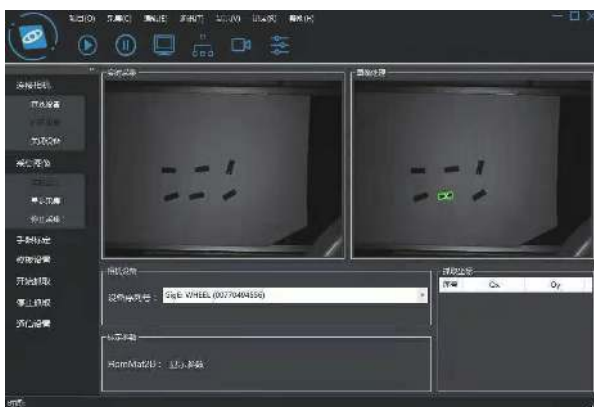


图 6 上位机软件界面

3 教学实验及分析

利用学校机械电子专业近三届学生的机电一体化系统设计课程设计进行了教学实验。每届在报名的学生中挑选 12 人分成 2 组,共进行了 6 组实训。

实训中发现,为期 2 周的实训时间内 6 组全部完成了规定的项目,且普遍反映学到了很多新知识和技能。此外,实训中发现表现最好的学生都具有丰富科创经验,而科创经验少的学生即使理论成绩非常优秀表现也不突出。经分析,原因是科创经验丰富的学生对所涉及的应用知识和技能更熟悉。所涉及的理论课程中,“机器人技术”“自动控制原理”等课程偏重于以数学公式呈现理论知识,且较为深奥抽象,对于完成以应用为主的实训项目帮助很有限;即使“机电一体化技术”“液压传动与气动技术”等偏重于应用知识的课程也需要较多的实践才能转化成应用能力,这导致实践经验少的学生表现不佳。总体看理论课程学习成绩对完成实训项目的作用有限,课程教学与实际应用有一定的脱节,但这并不能否定理论课程学习的重要性,因为这些理论知识已经成为学生知识结构体系中的一个组成部分,对应用知识的理解和掌握有很大帮助,此外在学习过程中所培养的分析问题和解决问题能力,以及良好学习习惯也是非常重要的。

4 结束语

综合机器人技术、图像处理技术、计算机技术等多方面知识设计了基于机器视觉的工业机器人分拣实验教学平台,并设计了 6 个创新型实训项目。经教学实验证明,该实训平台的开发和应

用对学校机械电子工程专业实验教学效果有着显著的提升。此外,结合教师科研课题,选择优秀的学生在此平台的基础上开展深入研究,参加大学生科创比赛并获省级二等奖和校级特等奖各 1 次。有 4 名学生毕业后利用实训项目获得的知识进入到沈阳新松机器人等机器视觉或机器人相关企业工作。课题组利用该平台开展工业机器人应用项目研究,承接了 2 项企业课题并顺利完成,积极利用项目研发获得的经验持续开发和改进实验内容,从而实现教学与科研的深度融合,对产学研一体化发展有着积极的意义。

参考文献

- [1] 唐林伟,黄思蕾.从“机器换人”到“人机共舞”——工业 4.0 进程中工程技术人才角色定位与教育形塑[J]. 高等工程教育研究, 2020(4): 75-82.
- [2] Systems[EB/OL]. (2020-11-15)[2020-12-01]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1683345135470900440>.
- [3] 李芳芳,孙乾.我国工业机器人发展现状的调查研究[J]. 机械传动, 2019, 43(6): 172-176.
- [4] 李颀,强华.工业机器人实验教学平台[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(4): 166-170.
- [5] 徐雪峰,黄余.基于机器视觉的机器人智能采摘实验平台开发[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(12): 177-183.
- [6] 赵久强,冯毅萍,王凯军,等. FlexiJet 柔性上料综合创新实验平台研制[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(2): 86-89.
- [7] 李明枫,贺晓莹,陆佳琪,等.基于机器视觉的机器人智能分拣实验平台开发[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(4): 87-91.
- [8] 赵明岩,蒋昕余,陈垣融,等.基于视觉的水果雕花机器人创新实验设计[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(6): 71-74.
- [9] 李海芸,叶大鹏,邱荣斌,等.“机电一体化”课程移动机器人协作实验平台搭建与探索[J]. 现代电子技术, 2019, 42(15): 150-153.
- [10] 熊隽,陈运军,陈林.机器人自动化综合实验教学平台设计[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(5): 182-186.
- [11] 刘送永,刘后广,陈松.管道巡检机器人视觉系统实验教学平台设计[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(9): 183-186.
- [12] 李超,邓小宝,史运涛,等.工业无线网络的智能搬运机器人实验平台设计[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(12): 79-82.
- [13] Systems[EB/OL]. (2020-5-12)[2020-12-07]. <https://space.bilibili.com/519801937?from=search&seid=17767364061063133192>.

编辑 钟晓