

基于视觉检测的机器人分拣系统设计

朱冬冬^{a,b}, 秦琴^{a,b}, 屠子美^b, 洪剑雄^b

(1. 上海第二工业大学 a. 环境与材料工程学院; b. 智能制造与控制工程学院, 上海 201209)

摘要: 针对工业流水线分拣作业的需求设计了一套基于视觉检测的工业机器人分拣系统。系统采用工业相机获取工件图像和对应 QR 码标签信息, 通过图像识别方法进行工件识别并计算工件中心坐标, 将工件坐标统一至机器人坐标系并与机器人建立通信, 控制机器人准确抓取并分拣工件。本系统主控计算机采用 LabVIEW 编程实现图像采集、图像处理与坐标变换等任务, 并通过安川公司提供的 MOTOCOM32.dll 与机器人控制器建立实时通信。该系统具有较高的运行速度和准确度, 可应用于工业流水线自动化分拣作业领域。

关键词: 工业机器人; 机器视觉; 自动化分拣

中图分类号: TP 241

文献标志码: A

0 引言

随着制造业的发展, 视觉检测技术在工业生产中得到越来越广泛的应用, 对提高生产效率、生产智能化至关重要。工业机器人的工作, 离不开分拣, 分拣作业是大多数流水生产线上一个重要环节, 工件分拣也是工业产品批量生产环节重要的组成部分^[1-4]。机器人分拣技术是机器人技术与视觉检测技术的组合, 一些工业发达的国家在食品、医药、汽车生产等领域已有非常广泛的应用。近些年来, 我国的机器人分拣技术发展迅速, 越来越多地应用于物流等分拣现场。在传统流水线的分拣作业中, 主要是人工的方法分拣, 工人重复地长时间执行分拣动作已不能满足要求, 大大影响了工作效率和准确性^[5-8]。

在目前机器人分拣技术的应用中, 根据不同的分拣对象使用不同的机器人类型: 在食品分拣领域, 需要应用具有高速执行功能的机器人; 在物流搬运领域, 需要负载能力高的机器人。本文根据机器人分拣系统所需要的技术要点, 包括图像获取和预处理、坐标变换、通信等, 设计了一种基于视觉检测的机器人分拣系统, 可用于分拣作业中, 也可用于教学和实验应用。

1 系统硬件设计

1.1 硬件结构

系统硬件主要由工业机器人、气动装备、工业相机与镜头、光源、PC 机、路由器和分拣对象(多种形状的塑料小块)组成。

在本系统中, 作为执行机构的工业机器人, 采用日本安川电机有限公司生产的具有 6 个轴的工业机器人。机器人末端执行机构安装小型吸盘, 实现对工件的吸取和释放; 工业相机采用 Allied Vision Technologies 公司生产的 Manta G201B ASG 30 fps 200 W 像素以太网工业相机, 固定安装在工作台上方 70 cm 处; 辅助光源安装于工作台上方 40 cm 处, 用于补光以达到最佳的拍摄效果; 利用 1 台路由器, 把机器人、工业相机、计算机连接到同一个局域网内, 以达到它们互相通信的目的。主要系统硬件连接示意图见图 1。

2 软件设计

本系统采用 LabVIEW 作为软件平台, 其包含机器视觉图像处理组件 NI Vision Pack 和通用工业相机驱动程序 NI-IMAQdx, 编写设计上位机程序, 完成图像采集、分析、识别处理的工作。

收稿日期: 2017-04-20

通信作者: 秦琴(1978-), 女, 辽宁沈阳人, 副教授, 博士, 主要研究方向为机器视觉与运动控制技术。

E-mail: qinqin@sspu.edu.cn.

基金项目: 上海第二工业大学研究生基金项目基金(EGD16YJ025), 上海第二工业大学校重点学科(XXKZD1603)资助

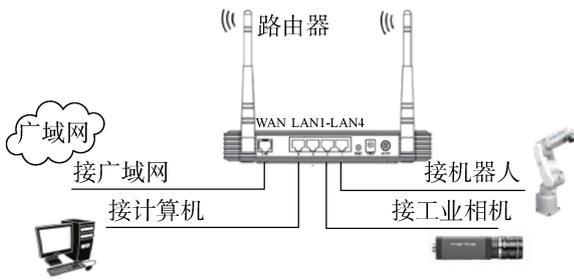


图 1 硬件连接示意
Fig. 1 Hardware connection schematic

机器人编程在机器人示教编程器上完成。

根据预期的系统执行流程, 主要可以分为 7 个流程。其工作流程示意图如图 2 所示。

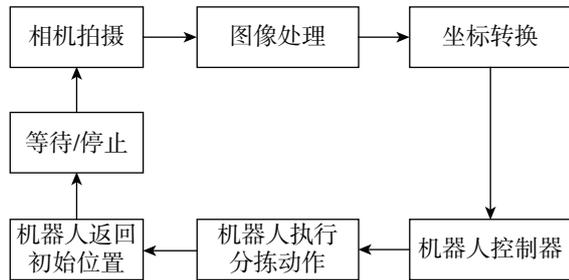


图 2 工作流程图
Fig. 2 Work flow chart

软件设计部分包含上位机控制程序和机器人执行程序的设计。上位机控制程序的功能包括控制工业相机拍摄、图像处理、目标定位、坐标变换和坐标信息发送, 系统可实时显示图像和系统工作状态, 具有启动/停止系统工作功能。

机器人执行程序的功能包括接收启动/停止信号, 根据上位机发送的工件坐标信息和目标位置信息实时控制机器人执行分拣动作。

2.1 上位机程序设计

2.1.1 程序流程设计

结合本系统的运作流程选择状态机作为程序设计模式。程序与机器人的通信通过调用 MOTO-COM32.dll 动态链接库实现 (MOTOCOM32 是日本安川电机公司为其 MOTOMAN 系列机器人提供的软件开发工具, 该工具具有数据文件传送、机器人控制、I/O 信号读写等功能, 可供用户根据需求开发自己的应用程序^[9-10])。根据系统运行流程, 依照状态机设计模式编写控制程序, 如图 3 所示。

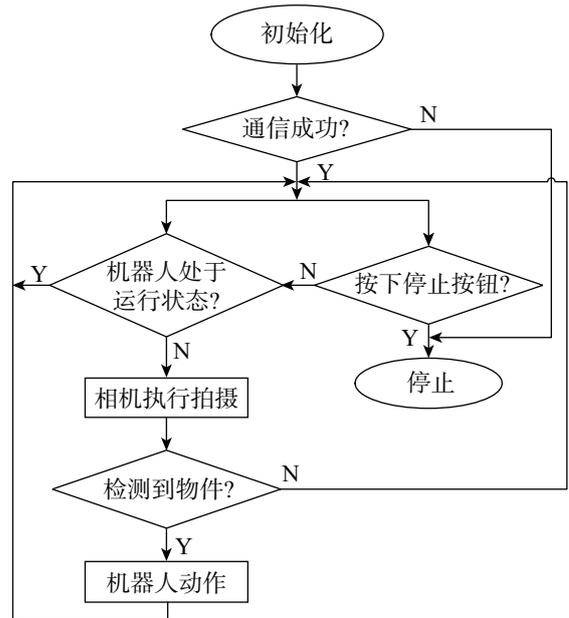


图 3 程序流程图
Fig. 3 Program flowchart

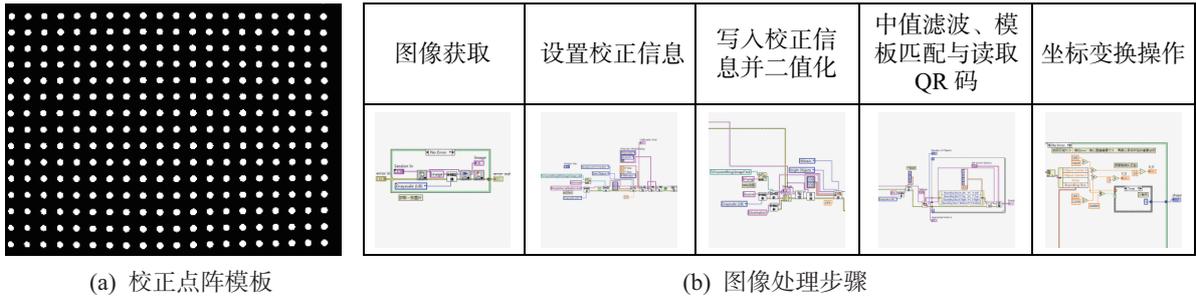
程序初始化包括显示控件初始化 (指示灯、数值显示框、图像显示控件) 和机器人通信初始化 2 部分。程序通过调用 MOTOCOM32.dll 动态链接库中的函数实现与机器人通信, 运行程序前需保证计算机已接入 USB 电子加密器。

初始化成功后, 通信状态指示灯亮、机器人伺服上电、机器人进入准备工作状态; 上位机同时判断机器人是否处于运行状态以及停止按钮是否被按下。若按下停止按钮, 则退出程序, 与机器人控制器断开连接。在机器人空闲状态, 程序将启动相机进行拍摄。当拍摄到目标工件, 立即对工件进行图像处理定位和读取 QR 码信息, 之后转入下一状态调用 BscPutVarData 函数将计算出的坐标信息发送至机器人控制器的指定变量中, 然后控制机器人执行分拣动作。

2.1.2 图像获取、处理与坐标变换

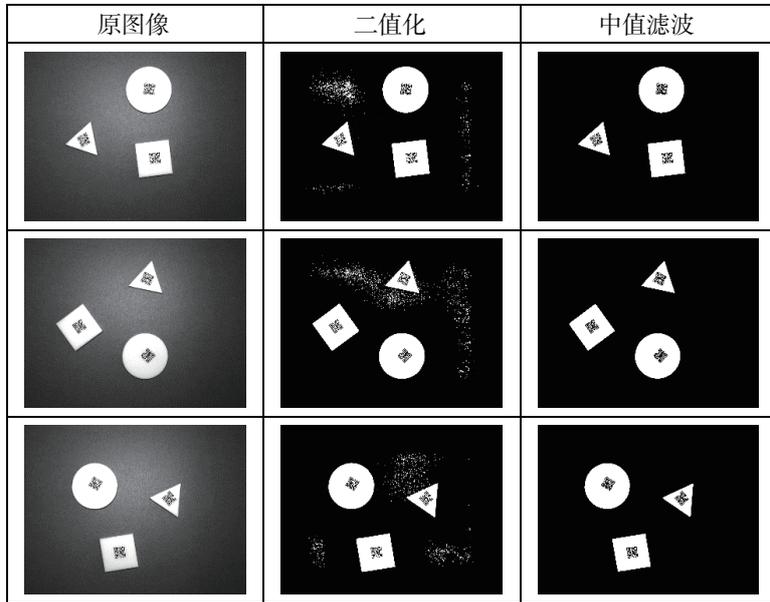
使用 NI 公司提供的通用工业相机驱动程序 NI-IMAQdx 执行相机各项操作, 包括打开相机、执行拍摄和关闭相机。在采集到图像后, 由于成像系统的像差、畸变等因素造成图像变形失真, 本文使用 NI 公司提供 NI Vision Pack 中的 IMAQ Set Calibration Info VI 进行图像校正, 校正使用图 4(a) 所示的点阵模板, 点中心实际距离为 10 mm。

图像经校正以后, 灰度图像需进行二值化处理, 以达到减小数据量、清晰化的目标, 便于进一步的识别处理。图像二值化的方法有很多, 主要分为全



(a) 校正点阵模板

(b) 图像处理步骤



(c) 图像处理效果

图4 图像操作

Fig. 4 Image manipulation

局方法和局部方法 2 大类。本文选用 Niblack 方法, Niblack 方法是局部方法的一种, 它根据以像素点为中心的领域内的点的情况计算阈值, 在此设置的局部窗口大小为 32×32 像素。

经过二值化后的图像含有很多噪声, 本文采用中值滤波法进行非线性平滑, 中值滤波将每一像素点的灰度值设置为该点某邻域窗口内的所有像素点灰度值的中值^[11-12], 经测试中值滤波可以消除本系统图像的噪声, 二值化及中值滤波算法实现及测试结果见图 4(b~c)。

在得到质量较好的二值图像后, 使用 IMAQ Match Multiple Geometric Patterns VI 进行模板匹配操作, 匹配成功后得到对应工件的中心坐标。

工件在图像上的坐标是以像素点为坐标的, 必须要与机器人坐标统一才可执行。机器人提供用户自定义坐标的权限, 因此, 可以通过定义 1 个机器人的用户坐标系的 x 、 y 轴使之与图像坐标的 u 、 v 轴对齐, 用户坐标系的 z 轴垂直于 x 、 y 轴, 记原点位

置为点 O , 见图 5(a)。

如此, 通过坐标变换就可以达到目的。假定工件在图像坐标系上的坐标是 (u, v) , 图像坐标系原点与用户坐标系的原点重合, 记为 O , 相机所拍摄到的视野为 1 个 $345 \text{ mm} \times 265 \text{ mm}$ 的矩形区域, 已知相机的有效像素为 $1\,624 \times 1\,234$, 这样就可以得出工件中心在用户坐标系下以 mm 为单位表示的坐标 (x_1, y_1) :

$$x_1 = \frac{u \times 345}{1\,624} \tag{1}$$

$$y_1 = \frac{v \times 265}{1\,234} \tag{2}$$

取机器人末端点处在机器人用户坐标系下的坐标为 (x_2, y_2) , 见图 5(b)。坐标变换后, 机器人需要在 x 、 y 方向上移动的距离为:

$$x = |x_1 - x_2| \tag{3}$$

$$y = |y_1 - y_2| \tag{4}$$

而对于 z 轴, 机器人执行点到工件中心点的垂

直距离是确定的, 只需在机器人的编程中指定执行点到中心点 z 轴的运行距离即可。

本系统中, 经过图像校正后, 视场中心区域精度达到 0.3 mm, 视场外围由于镜头畸变误差增大, 精度降低为 1 mm, 可以达到系统分拣的定位精度要求。

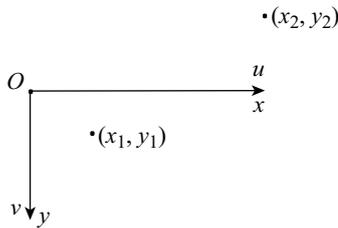
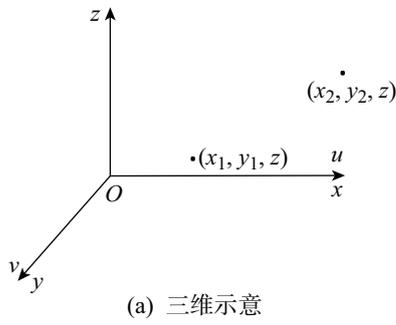


图 5 坐标系

Fig. 5 Coordinate system

2.2 机器人执行程序设计

上位机控制程序的功能是获取图像并处理以及进行坐标转换和流程状态机的设计。机器人的运行程序是在示教编程器上完成的, 从示教编程器上可以操作机器人本体运动, 还可以设置自定义坐标。示教编程器上编程语言采用的是机器人公司提供的一种类似于汇编语言的程序语言, 通过该语言编程, 可以实现机器人按照用户编程的意图运行。

在此系统中, 机器人执行程序的设计相对简单, 只需机器人按照预定的路线执行后回到初始位置。其运行流程见图 6。

由图 6 可见, 机器人未到上位机控制程序的启动信号时, 处于循环等待接收启动信号的状态。当接收到启动信号时, 即上位机调用了机器人启动任务的 BscStartJob 函数, 使机器人末端的控制点移动到工件中心位置, 输出信号控制气嘴吸取动作, 移动到相应的落料位置, 输出信号控制气嘴释放工件, 最后返回初始位置, 完成整套动作。以下为机器人程序的主要部分及注释:

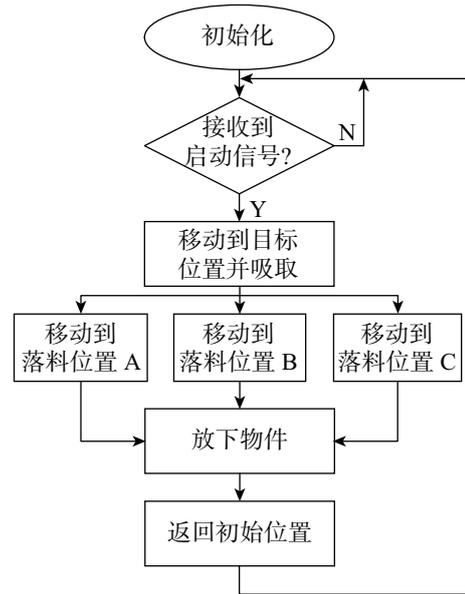


图 6 机器人执行流程图

Fig. 6 Flow chart of robot perform

NOP	//程序入口
SET B000 0	//定义机器人工作状态标志变量, 设置为 0, 机器人忙碌
MOVL P000 V=400.0	//控制点以速度 V 运行至 P000 点
SFTON P000 UF#(1)	//开始平移动作
MOVL P001 V=300.0	//控制点以速度 V 在用户坐标#1 下平移运行至 P001 点
SFTOF	//停止平移动作
SFTON P001 UF#(1)	
MOVL P002 V=200.0	//运行至 P002 点
SFTOF	
DOUT OT#(1) ON	//输出信号, 吸取工件
TIMER T=0.500	//延时 0.5 s
SFTON P002 UF#(1)	
MOVL P003 V=200.0	//运行至 P003 点
SFTOF	
CALL Select UF#(1)	//调用变量名为 Select 的子程序
DOUT OT#(1) OFF	//输出信号, 释放工件
TIMER T=0.500	
SET B000 1	//设置为 1, 机器人空闲
MOVL P004 V=300.0	//返回初始位置
END	//结束

在以上程序中,变量名为 Select 的变量在机器人控制器中是字节型变量,可存储 0~255 的整数。本程序中,Select 的值被上位机程序根据图像判断工件的形状后设定为 1、2、3 中的 1 个值,用来表示工件的形状为三角形、方形和圆形,机器人根据这个值,相应地执行名为 1、2 和 3 中的 1 个子程序,达到分拣工件的目的。

3 系统运行效果

在本实验系统中,使用三角形、方形和圆形工件作为分拣对象,同时读取该工件上 QR 码的信息显示并保存。在不改变环境光照的条件下通过多次实验,统计分拣实验结果,如表 1 所示。

表 1 实验统计
Tab. 1 Experimental statistics

工件形状	实验次数	操作/统计			
		经过图像处理准确 分拣计数	分拣准确 率/%	未经过图像处理准确 分拣计数	分拣准确 率/%
三角形	50	50	100	39	78
方形	50	50	100	42	84
圆形	50	50	100	44	88
其他形状	10	0	0	0	0

实验统计结果显示,使用三角形、方形圆形作为分拣的对象,经过图像校正、二值化、中值滤波处理,分拣的准确率达到 100%;而未经过图像校正、二值化、中值滤波处理的,分拣的准确率都不足 90%;其他形状不作为分拣的对象,都不进行分拣。实验统计结果表明,对图像校正、二值化、中值滤波处理后,提高了对工件识别的准确率。

4 结 语

本文以安川工业机器人、工业相机、气动装置等硬件配合机器人编程程序、LabVIEW 软件等设计了一套基于视觉检测的机器人分拣系统。

通过调用 MOTOCOM32.dll 动态链接库实现了主控电脑与机器人的实时通信,通过自定义坐标系使得图像坐标系与机器人坐标系的转换更加便捷。根据生产实际需求,系统可以更换吸嘴结构为夹具结构来实现分拣不同的目标。

实践结果表明,本系统实现了分拣作业无人化,替代了重复的体力劳动,提高了自动化水平和质量,机器人与机器视觉的结合会越来越广泛地应用于各个领域。本系统可用于实验教学,为进一步研究和开发积累了经验,为机器人分拣技术在生产领域付诸实施提供更多的参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 焦恩璋,杜荣.工业机器人分拣技术的实现[J].组合机床与自动化加工技术,2010(2):84-87.
- [2] 刘振宇,赵彬,邹凤山.机器视觉技术在工件分拣中的应用[J].计算机应用与软件,2012,29(11):87-91.
- [3] 李和平,陈育新.基于 LabVIEW 工业机器人自动分拣系统设计[J].机床与液压,2015,43(9):90-93.
- [4] 赵彬.基于机器视觉的工业机器人分拣技术研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2013:25-30.
- [5] 栗俊艳,米月琴,弓靖,等.一种基于机器视觉的工业机器人分拣系统[J].电子科技,2016,29(1):105-107.
- [6] 李明.运动食品机器视觉的识别与定位技术的研究[D].哈尔滨:哈尔滨商业大学,2014.
- [7] 兰虎,陶祖伟,段宏伟.基于 LabVIEW 的弧焊机器人视觉传感图像处理技术[J].实验技术与管理,2012,29(7):87-91.
- [8] 唐东炜,安军,肖周勇.基于 LabVIEW 的慧鱼机器人控制系统设计[J].中国现代教育装备,2008,69(11):50-51.
- [9] 杜荣.基于机器视觉的工业机器人分拣系统的研究[D].南京:南京林业大学,2009.
- [10] 杜荣,焦恩璋. Motocom32 的应用及其面向对象封装研究[J].机电一体化,2009,15(6):80-83.
- [11] 朱志恩.中值滤波技术在图像处理中的应用研究[D].东北:东北大学,2008.
- [12] 孙宏琦,施维颖,巨永锋.利用中值滤波进行图像处理[J].长安大学学报(自然科学版),2003,23(2):104-106.

Sorting System of Robot Based on Vision Detection

ZHU Dongdong^{a,b}, QIN Qin^{a,b}, TU Zimei^b, HONG Jianxiong^b

(a. School of Environmental and Materials Engineering; b. School of Intelligent Manufacturing and Control Engineering, Shanghai Polytechnic University, Shanghai 201209, China)

Abstract: According to industrial assembly line sorting activities, the sorting system of industrial robot was designed based on vision detection. This system used industrial camera to obtain workpiece images and corresponding QR code label information. The workpiece recognition method was used to identify the workpiece and calculate the center coordinates of the workpiece which were unified to the robot coordinate system and communicated with the robot. The robot could accurately grasp and sort the workpiece. The system used LabVIEW to achieve image acquisition, image processing and coordinate transformation tasks. And it used MOTOCOM32.dll which provided by Yaskawa company to establish real-time communication with robot controller. The system had a high running speed and accuracy, and could be applied to automatic sorting operations in the industrial assembly line.

Keywords: industrial robot; machine vision; automatic sorting

简 讯

上海电子废弃物资源化协同创新中心顺利通过市教委验收

近日,上海市教委传来消息,我校打造的上海电子废弃物资源化协同创新中心(以下简称“中心”)顺利通过5年期建设验收,市教委将启动2018年“上海市协同创新中心”建设工作,并进一步对“中心”建设给予大力支持。

我校积极响应生态文明建设的号召,前瞻性地为电子废弃物行业发展做了战略判断,在各方的全力支持下,“中心”已打造成为国内唯一以“电子废弃物资源化”为研究领域的协同创新中心。中心建立了“政产学研用”立体化的协同创新体系,在推动行业整体规范化发展、提高行业技术水平、提升行业国际影响力、探索服务行业特需人才培养体系等方面取得一系列显著成效,出色地完成预期目标与任务,建设成为本领域具有国际影响力的、引领行业发展的全国性协同创新中心。

5年的建设期间内,“中心”积极参与地方标准及国家政法法规的制定,不断引领行业发展,同企业建立合作机制,协同攻关行业共性难题;构建行业智库与数据库,积极推动行业转型升级,解决共性关键技术8项,形成7项成果应用,环境效益显著;构建全产业链人才培养体系,支撑“服务国家特殊需求硕士培养”项目,弥补行业人才缺口,这一系列取得的成绩受到市教委及专家组的高度评价和肯定。

在国家环保部、科技部、上海市教委、环保局、经信委、科委以及行业协会等各方力量的支持下,“中心”已经跻身国内领先行列。我校将继续瞄准行业重大需求,不断加强成果转化与推广应用,提升行业水平与环境效益,力争取得国家重大科技专项研究与示范,大力推动产业转型升级,进而开展新型电子废弃物处理处置技术研究。