

基于机器视觉检测的码垛机器人控制系统设计

邱素贞¹, 李庆年¹, 卢志翔¹, 阮承海²

(1. 南宁学院 信息工程学院, 南宁 530200; 2. 广东晶科电子股份有限公司, 广州 511458)

摘要: **目的** 为了提高码垛机器人对码放物品的自我分辨能力, 提高码放效率, 提出一种基于机器视觉检测的包装码垛机器人控制系统。**方法** 首先分析机器视觉码垛机器人工作过程, 基于工业控制计算机和图像采集卡设计码垛机器人控制系统, 提出控制系统的硬件设计和软件设计。同时对机器视觉采集到的图像进行滤波、分割等图像处理, 以提高机器人的视觉检测效率。**结果** 实验结果表明, 机器视觉码垛机器人的漏抓率为 0, 误抓率小于 0.5%。**结论** 该控制系统有效解决了规则物品的分类码放, 实现了高效的物品码放。

关键词: 码垛机器人; 机器视觉; 硬件设计; 软件设计; 图像处理

中图分类号: TB486; TH166 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)03-0207-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.03.031

Design of Palletizing Robot Control System Based on Machine Vision Detection

QIU Su-zhen¹, LI Qing-nian¹, LU Zhi-xiang¹, RUAN Cheng-hai²

(1. School of Information Engineering, Nanning University, Nanning 530200, China;

2. APT Electronics Co., Ltd., Guangzhou 511458, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a control system of the packaging palletizing robot based on machine vision detection to improve the self-distinguishing ability of palletizing robot and the efficiency of palletizing. Firstly, the working process of machine vision palletizing robot was analyzed, and the control system of palletizing robot was designed based on industrial control computer and image acquisition card, and the hardware design and software design of the control system were expounded. At the same time, the image processed by the machine vision was filtered and segmented to improve the visual detection efficiency of the robot. The experimental results showed that the leakage rate of the machine vision palletizing robot was 0, and the error rate was less than 0.5%. The control system can effectively solve the classification and stacking of the regular items, and realize the high efficient item stacking.

KEY WORDS: palletizing robot; machine vision; hardware design; software design; image processing

随着工业自动化技术的快速发展, 国内外码垛机器人技术同样也实现了跨越式的发展。在工业生产中, 码垛机器人就是按照预定的位置将物品整齐的摆放到指定的位置上, 进而实现物料的存储、搬运、卸载以及运输等物流活动^[1-5]。传统的码垛机器

人通过示教路径上的一系列点坐标, 再完成点坐标的再现, 这种工作方式不能根据生产线的具体情况作出分析判断, 如不能区分物品的形状, 不能判断物品的合格程度, 不能对不同物品进行分拣, 而只是按照预定的设置进行码放, 由此可见这种机器人

收稿日期: 2018-09-27

基金项目: 广西壮族自治区教育厅项目(2017KY1435); 2018年广西高教科研十三五规划课题(112)

作者简介: 邱素贞(1982—), 女, 硕士, 南宁学院讲师, 主要研究方向为计算机技术、信息化教育。

通信作者: 李庆年(1975—), 男, 本科, 南宁学院副教授, 主要研究方向为计算机软件与理论、计算机应用。

适应性较差^[6-8]。

机器人视觉技术是赋予机器人人眼的功能,通过图像采集系统将图像输送到控制器由核心控制器完成图像的判断,进而指导机器人做出一系列的操作和行动。机器人视觉技术是一种非接触式的测量技术,将机器视觉技术与码垛机器人相结合,可以使码垛机器人更加智能地对物品进行分拣,从而使机器人拥有更高的可靠性和稳定性,机器视觉码垛机器人可以针对不同物品进行码放,且分拣工序可以随时更换,从而大大提高了机器人分拣码放的智能化程度^[9-11]。

在码垛机器人码放过程中,引入了机器视觉自动检测技术,并详细介绍了视觉码放机器人控制系统硬件和软件设计,成功实现了规则物体的分拣码放。

1 机器视觉码垛机器人工作原理

基于视觉码垛机器人系统见图1。机器视觉码垛机器人控制系统主要由四轴码垛机器人、工业控制器、运动控制卡、图像采集卡、工业摄像机、机械气动抓手等组成。整个控制系统主要由上下2层组成,上层上位机以工控机为核心,由工业相机负责传送物品图像,再利用图像处理技术对码放物品进行定位、跟踪,最终完成分拣码放。下位机以运动控制器为核心,运动控制器主要实现码垛机器人四轴插补控制和同步控制,并实现机器人抓手的自动控制,按照工业要求将待码放物品完成码放。

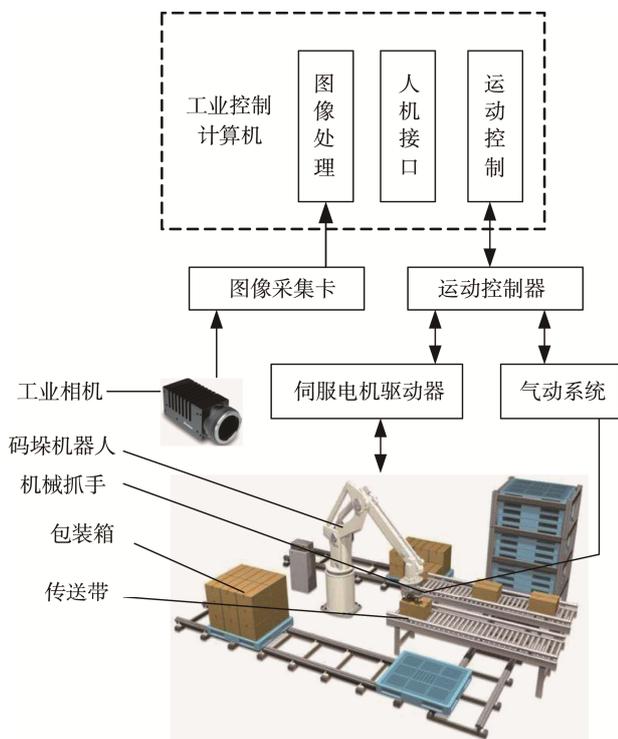


图1 视觉码垛机器人系统
Fig.1 Visual palletizing robot system

2 图像处理

2.1 图像去噪

图像在采集和传输过程中,往往会受到不同程度的外在噪声干扰,受到干扰的图像模糊不清,很多图像细节丢失,从而严重影响了码垛机器人的后续动作程序。因此在图像采集到后需要对图像噪声进行处理,从而保护图像中的重要细节^[12-15]。文中为了有效滤除图像中噪声提出了一种邻域平均法,利用相邻区域中多个像素灰度平均值来替代每个像素的灰度。假设采集到一幅具有 $N \times N$ 个像素的原始图像 $g(x,y)$, $h(x,y)$ 为去噪后的图像。其中:

$$h(x,y) = \frac{1}{M} \sum_{(m,n)} g(x,y) \tag{1}$$

式中: $x,y=0,1 \dots N-1$; x 为 (x,y) 相邻区域中图像所有像素坐标。

相邻区域平均法,通常会损失一些图像中部分信息,产生边缘和细节模糊,为了解决这一问题文中采用一种阈值法,该方法为:

$$g(x,y) = \begin{cases} \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in S} f(m,n) & \left| f(x,y) - \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in S} f(m,n) \right| > T \\ f(x,y) & \left| f(x,y) - \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in S} f(m,n) \right| \leq T \end{cases} \tag{2}$$

式中: T 为非负的阈值,通过该方法可以有效提高图像的清晰度,从而大大降低图像的模糊程度。

2.2 图像分割

设定一个分割阈值 T , 当图像的灰度值大于 T , 则为目标区域; 当灰度值小于 T , 则为背景区域, 图像的熵值可定义为:

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \cdot \lg p(x) dx \tag{3}$$

式中: $p(x)$ 为像素发生的概率。其中 $p(x)$ 为:

$$p(x) = n_i / N \tag{4}$$

式中: n_i 为像素数量; N 为像素总数量。

背景区域概率可表示为:

$$P_b = \sum_{x=0}^{T-1} p(x) = \sum_{i=0}^{T-1} n_i / N \quad x = 0, 1, 2 \dots T-1 \tag{5}$$

目标区域概率为:

$$P_o = \sum_{x=T}^L p(x) = \sum_{i=T}^L n_i / N \tag{6}$$

式中: $x=T, T+1, T+2 \dots L$, 其中 L 为图像灰度级数。那么背景和区域熵可分别定义为:

$$H_b(T) = - \sum_{x=0}^{T-1} (p_x / P_b) \lg (p_x / P_b) \quad x = 0, 1, 2 \dots T-1 \tag{7}$$

$$H_o(T) = -\sum_{x=T}^L (p_x/P_o) \lg(p_x/P_o)$$

$$x = T, T+1, T+2 \dots L \tag{8}$$

图像熵可用背景和目标区域的熵之和表示：

$$H(T) = H_b(T) + H_o(T) \tag{9}$$

基于最大熵法原理可以看出,所求阈值应使 $H(T)$ 取最大值,则有：

$$T = \arg \max(H(T)) \tag{10}$$

3 控制系统设计

3.1 系统硬件设计

包装码垛系统硬件主要由工业控制器和运动控制卡组成,其中控制器的核心为工控机;运动控制卡主要完成机器人四轴插补运动和同步控制。通过 PCI 总线实现运动控制卡与工控机之间的通信,运动控制卡可同时完成码垛机器人四轴伺服驱动器的控制。控制系统结构见图 2。

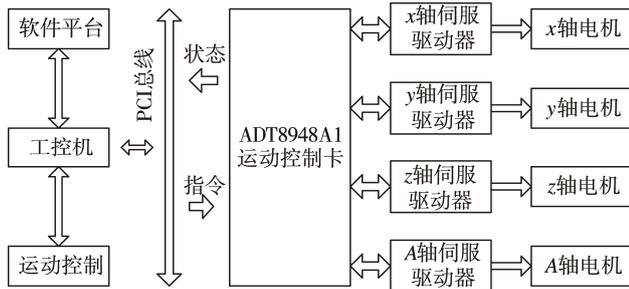


图 2 控制系统结构
Fig.2 Control system structure

ADT-8948A1 运动控制卡主要完成码垛机器人 x, y, z, A 四轴同步运动控制,包括插补运算、伺服驱动以及高速数据采集等,机器人多轴插补运算都可在内部完成。ADT-8948A1 运动控制卡直接安插在 IPC 机的插槽中,通过动态链接库驱动。该款运动控制卡是一款基于 PCI 总线的高性能多轴伺服电机运动控制卡,内核为 2 片日本 NOVA 公司生产的基于 DSP 的专用运动控制芯片 MCX312,其中拥有多种接口,编程简单,在工业控制领域中被广泛应用。

系统选择松下系列伺服驱动器,型号为 MINAS-A5,该系列伺服驱动器能够完成转矩控制、速度控制、位置控制,该款伺服驱动器抗干扰能力强,定位精度高,完全能够实现码垛机器人的高精度定位要求。伺服驱动器含有电源输入连接器,包括主电源和控制电源;电机连接器,用来连接伺服电机;编码器连接器,主要用来接收编码器反馈信号;还有 USB 连接器等接口。

3.2 软件设计

为了提高视觉机器人编程的条理性和可读性,对

机器人软件采用模块化编程的思想,整个系统按照功能分为用户程序加载模块、系统初始化模块、中断服务模块以及图像处理算法等几大模块。软件总体流程见图 3。

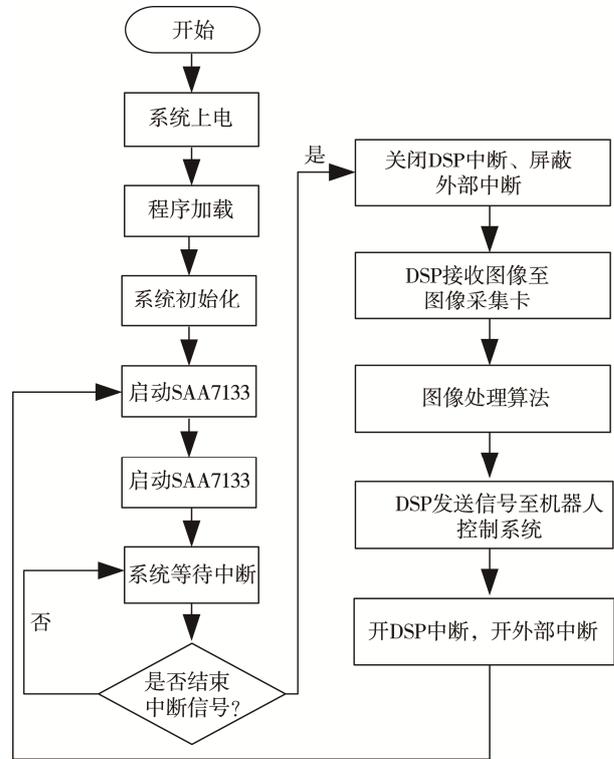


图 3 软件流程
Fig.3 Software flow

当系统上电后,系统加载用户程序,系统通过外部设备完成初始化操作,图像采集卡启动并等待结束中断信号。当中断信号被检测到时,程序直接通过跳转到子程序,同时屏蔽外部中断,将采集到的图像信号存入到 SDRAM 中,并进行图像算法处理,然后将识别定位信息传送到码垛机器人控制系统中,机器人根据传送过来的信号完成分拣码放任务。

4 实验分析

为了验证文中提出的机器视觉码垛机器人系统的稳定性和有效性,以实验室设计的 6 轴机器人为基础,搭建了基于机器视觉的码垛机器人系统实验平台,见图 4。该实验平台主要由码垛机器人、摄像头、传送带以及机器人控制系统和图像采集处理系统等组成。

为了使传送带颜色与物品颜色形成对比,传送带采用黑色,从而便于从图像中提取到货物;相机则选用 Cognex CAM-CIC-300-120-G,帧率 120 帧/s。实验过程中主要测试不同传送带速度下控制系统的稳定性和准确性。

实验过程中,最大抓取速率可达到 120 次/min,

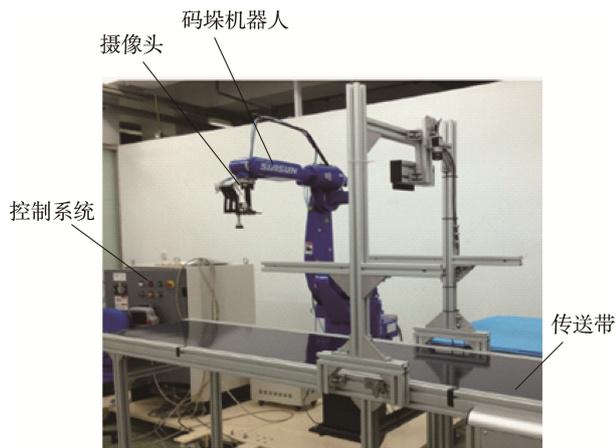


图4 实验平台

Fig.4 Experimental platform

测试时间持续 2 h, 误抓率为 0, 漏抓率小于 0.5%。由表 1 实验结果表明, 控制系统具有较高的准确性与稳定性。

表 1 实验结果
Tab.1 Test results

传送带速度/(mm·s ⁻¹)	总数	漏抓	误抓
80	200	0	0
100	200	1	0
150	200	1	0

5 结语

包装物品分拣和码放是食品生产以及包装过程中的一个重要环节, 常用的码垛机器人通常采用示教坐标点实现机器人固定货物抓取, 但对不同尺寸货物具有一定的局限性。为了克服这一局限性, 文中将实验室设计的 6 轴码垛机器人与机器视觉系统相结合, 进而提高机器人的可操作性以及码放稳定性。介绍了机器视觉码垛机器人控制系统硬件和软件结构, 并给出了机器视觉技术中部分图像处理算法, 为机器人有效识别物品提供有效保证。通过实验数据可以看出, 该系统具有较高的分拣码放准确性和稳定性, 对于提升包装物品分拣生产码放具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 王田苗, 陶永. 我国工业机器人技术现状与产业化发展战略[J]. 机械工程学报, 2014, 50(9): 1—13.
WANG Tian-miao, TAO Yong. Research Status and Industrialization Development Strategy of Chinese Industrial Robot[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(9): 1—13.
- [2] 赵伟, 李响, 郭爱华, 等. 工业机器人码垛线的设计[J]. 制造业自动化, 2011, 33(10): 117—120.
ZHAO Wei, LI Xiang, GUO Ai-hua, et al. The Design of Industrial Robot Palletizing System[J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(10): 117—120.
- [3] 赵臣, 王刚. 我国工业机器人产业发展的现状调研报告[J]. 机器人技术与应用, 2009(2): 9—13.
ZHAO Chen, WANG Gang. The Development Research Report of Chinese Industrial Robot[J]. Robot Technique and Application, 2009(2): 9—13.
- [4] 柳鹏. 我国工业机器人发展及趋势[J]. 机器人技术与应用, 2012(5): 20—22.
LIU Peng. The Development and Trend of Chinese Industrial Robot[J]. Robot Technique and Application, 2012(5): 20—22.
- [5] 赵杰. 我国工业机器人发展现状与面临的挑战[J]. 航空制造技术, 2012(12): 26—29.
ZHAO Jie. Development and Challenge of Chinese Industrial Robot[J]. Aeronautical Manufacturing Gechnology, 2012(12): 26—29.
- [6] 王耀南, 陈铁健. 智能制造装备视觉检测控制方法综述[J]. 控制理论与应用, 2015, 32(3): 273—286.
WANG Yao-nan, CHEN Tie-jian. Control Methods of Intelligent Manufacturing Equipment Visual Inspection[J]. Control Theory & Applications, 2015, 32(3): 273—286.
- [7] 范鲁一, 王冬青, 李芳, 等. 基于 STM32 的码垛机器人控制系统的设计[J]. 工业控制计算机, 2014, 27(11): 69—71.
FAN Lu-yi, WANG Dong-qing, LI Fang, et al. Design of Palletizing Robot Control System Based on STM32[J]. Industrial Control Computer, 2014, 27(11): 69—71.
- [8] 郭亚奎, 陈富林, 汤永俊. 码垛机器人控制系统的设计与实现[J]. 机电一体化, 2014(1): 55—58.
GUO Ya-kui, CHEN Fu-lin, TANG Yong-jun. Stacking Robot Control System Design and Implementation[J]. Mechatronics, 2014(1): 55—58.
- [9] 李坤全, 邵凤翔. 全自动包装码垛机器人控制系统设计[J]. 机械设计与制造, 2017(4): 259—262.
LI Kun-quan, SHAO Feng-xiang. Design of Fully Automatic Packaging Palletizing Robot Control System[J]. Machinery Design & Manufacture, 2017(4): 259—262.
- [10] YU D. Parallel Robots Pose Accuracy Compensation Using Back Propagation Network[J]. International Journal of Physical Science, 2011, 6(21): 5005—5011.
- [11] 李晓娜, 刘宝顺, 刘瑞昌. 基于 PLC 和触摸屏技术的制袋设备控制系统及界面设计[J]. 包装工程, 2014, 35(5): 50—53.
LI Xiao-na, LIU Bao-shun, LIU Rui-chang. Design of

- Bag-making Equipment Control System and Interface Based on PLC and Touch Screen Technique[J]. *Packaging Engineering*, 2014, 35(5): 50—53.
- [12] 李成伟, 朱秀丽, 负超. 码垛机器人机构设计与控制系统研究[J]. *机电工程*, 2008, 25(12): 81—99.
LI Cheng-wei, ZHU Xiu-li, YUN Chao. Design and Research of Stacking Robot Kinematics[J]. *Mechanical & Electrical Engineering Magazine*, 2008, 25(12): 81—99.
- [13] 吴成中, 王耀南, 冯明涛, 等. 基于神经网络的医药微弱异物视觉检测机器人[J]. *电子测量与仪器学报*, 2015, 29(12): 1746—1756.
WU Cheng-zhong, WANG Yao-nan, FENG Ming-tao, et al. Neural Network Based Pharmaceutical Weak Foreign Body Visual Inspection Robot[J]. *Electronic Measurement and Instrumentation*, 2015, 29(12): 1746—1756.
- [14] 张文娟, 康家银. 一种用于图像降噪的自适应均值滤波算法[J]. *小型微型计算机系统*, 2011, 32(12): 2496—2498.
ZHANG Wen-juan, KANG Jia-yin. Adaptive Mean Filtering Algorithm for Image Denoising[J]. *Journal of Chinese Computer Systems*, 2011, 32(12): 2496—2498.
- [15] 楚广生. 基于图像处理的自动调光系统[J]. *国外电子测量技术*, 2015, 34(12): 69—72.
CHU Guang-sheng. Auto Exposure System Based on Image Processing[J]. *Foreign Electronic Measurement Technology*, 2015, 34(12): 69—72.