

包装码垛机器人嵌入式控制系统设计

康瑞芳¹, 刘鑫²

(1. 内蒙古电子信息职业技术学院, 呼和浩特 017000; 2. 内蒙古工业大学, 呼和浩特 015000)

摘要: **目的** 为了提高码垛机器人运行精度, 改善控制系统的通用性, 以确保包装物品的生产效率。**方法** 在分析包装码垛机器人基本结构和工作流程的基础上, 基于 ARM 设计一种码垛机器人控制系统, 同时提出一种 Hough-链码视觉识别算法, 用于提高码垛精度、满足视觉功能需求。通过原点定位实验和重复定位实验验证所述控制系统的有效性。**结果** 实验结果表明, 包装码垛机器人定位精度较高, 其中原点定位误差小于 0.20 mm, 重复定位误差小于 0.8 mm, 完全满足设计要求。**结论** 该控制系统能够满足实际作业需求, 对于提升包装效率、降低成本具有一定意义。

关键词: 码垛机器人; 视觉码垛; ARM; 嵌入式系统

中图分类号: TB486; TH165 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)1-0132-04

Embedded Control System Design of Packaging Palletizing Robot

KANG Rui-fang¹, LIU Xin²

(1. Inner Mongolia Electronic Information Vocational Technical College, Hohhot 017000, China; 2. Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 015000, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the palletizing robot operation accuracy and control system generality, so as to ensure the productivity of packaged items. On the basis of analyzing the basic structure and working procedure of the packaging palletizing robot, a palletizing robot control system was designed based on ARM. A Hough-chain code visual identification algorithm was proposed. It could be used to improve the stacking accuracy and meet the demand of visual function. The effectiveness of the described control system was validated by the origin location and repeated positioning experiments. The experimental results showed that the packaging palletizing robot positioning accuracy was high. The positioning error of the origin was less than 0.20 mm, and the repeated positioning error was less than 0.8mm. Therefore, it could fully meet the design requirements. The control system can meet the demand of practical operation, which is of great significance to improve the packaging efficiency and reduce the cost.

KEY WORDS: palletizing robot; visual palletizing; ARM; embedded system

随着自动化水平的提高, 搬运、包装等生产线对智能化的需求日益迫切, 在某种程度上促进了码垛机器人的发展^[1]。目前, 码垛机器人已广泛应用于各个行业, 如化工、食品饮料、机械制造、仓储物流等, 成为自动化生产过程中必不可少的设备^[2-3]。尤其是四自由度及以上的码垛机器人, 其灵活性更高, 需要更强的稳定性和可操作性。我国企业所使用码垛机器人基本依靠进口, 不仅增加了生产成本而且在关键技术受制于人^[4-5]。近几年, 我国在码垛机器人技术研发方面取得了一些成果, 但与国外同类产品相比,

在通用性、稳定性等方面仍存在不小差距, 尤其是核心技术、智能化、自动化程度^[6-8]。对于传统生产线, 码垛必须具备示教再现功能, 通过示教或离线编程将所有位置和轨迹预先设定。考虑到生产线上物件位置均存在误差, 仅仅依靠示教再现很难满足高精度要求^[9-12]。国内相关研究有, 李成伟等^[13]设计了一种 4-DOF 并联关节式码垛机器人, 其控制系统采用模块化分布式结构。上位机基于普通 PC 进行设计, 用于作业管理和监控; 下位机基于 PLC 和 PMAC 进行设计, 用于运动规划和控制。该机器人只需更换末端执行器即

收稿日期: 2017-07-14

作者简介: 康瑞芳 (1974—), 女, 硕士, 内蒙古电子信息职业技术学院副教授, 主要研究方向为嵌入式控制。

可实现袋状物、塑料箱、硬纸箱等搬运、码垛。苏海新等^[14]同样设计了一种 4 自由度工业码垛机器人，机械结构为七连杆机构，控制系统仍基于 IPC 和 PMAC 设计，兼具任务处理、通讯、运动控制等功能，开放性强和实时性较好。焦恩璋等^[15]以 Motoman UP6 机器人为平台，将机器视觉应用到生产线中。通过目标跟踪估算目标下一位置，支持机器人抓取动态目标进而实现流水线自动分拣。文中在现有研究的基础上，基于 ARM 微控制器设计一种包装码垛机器人控制系统，并引入视觉码垛方法，通过实验验证码垛定位精度。

1 码垛机器人

以四自由度码垛机器人作为研究对象，其自由度包括 2 个旋转副和 2 个移动副，驱动器为交流伺服电机，码垛机器人总体结构见图 1。固定座位于机器人本体结构的最下方；底座上方为机器人腰部结构，在交流伺服电机带动下实现机器人绕腰部转动；水平滚珠丝杠和垂直滚珠丝杠同样由伺服电机驱动，经同步传动轮带动滑块沿丝杠运动进而实现码垛机器人抓手的水平运动和垂直运动；机器人抓手在伺服电机作用下绕自身轴旋转，以微调物品摆放位置。这种机械结构具有响应速度快、定位准确、驱动转矩大等特点，平行四连杆机构可以提高机器人的稳定性、结构紧凑度、承载力等。

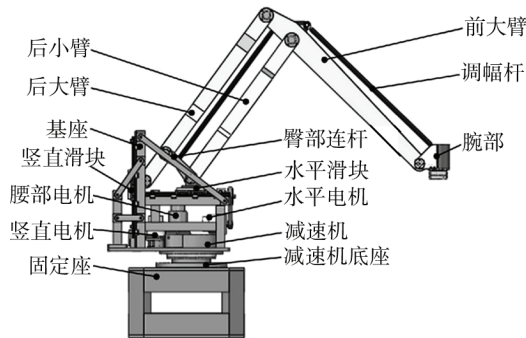


图 1 码垛机器人总体结构
Fig. 1 The overall structure of palletizing robot

2 视觉码垛

所谓码垛是指将物品有规则的摆放，以便于包装和运输。在实际生产过程中，码垛是一个非常重要且不可或缺的流程。考虑到物品流动性，示教往往存在较大误差。为解决此问题，弥补示教误差，文中设计了一种视觉码垛方法。由于生产线上大多数包装物体几何形状比较规则，所以视觉码垛只需辨识简单的规则物体即可。总体来说，视觉码垛系统主要包括视觉预处理、物体识别、码垛摆放规则等。码垛流程：通

过轨迹规划和运动控制，确保机器人能够准确到达指定位置；利用摄像机获取待抓取工件图像，进行图像处理识别；抓手进行准确抓取；将工件按码垛规则摆放。下面将重点讨论图像处理的几个关键点。

1) 多目标分块处理。对于摄像机所获取的图像，往往通过行和列的扫描计算进行识别，这种计算方法的耗时较多。为解决此问题，可以采用多目标分块处理算法。所述算法会将图片内的不同物体划分成多个目标块，可定义为 Block $N(i, j)$ ，见图 2。基于多目标分块处理算法，用矩形框圈定待识别目标，如此可将多物体分割成众多单独物体。这样每次计算仅仅扫描矩形框区域，可以大大减少计算时间。

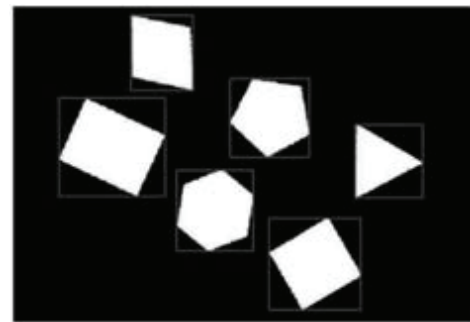


图 2 图像分割
Fig.2 Image segmentation

2) Hu-Hough 链码法。图像经多目标分块处理后，需要将待识别物体分类。文中提出了一种基于 Hu-Hough 链码的视觉融合算法，简要流程：利用 Hough 变换辨识出待码垛物体的边缘直线；计算直相邻 2 条直线的夹角；在链码中存入直线数目和夹角数值，并将夹角作为参数，进而得到 Hough-链码，该链码具有旋转不变性，若链码一致则表明待码垛物体形状相同；需要进一步验证，例如正方形和长方形、大三角形和小三角形链码形同，形状虽相同，但不是同一种工件，对于此种情况，可以利用 Hu 算法实现区分，便于提高辨识度。

3) 几何中心确定。待码垛物体识别的关键在于确定几何中心。通常情况下，重心就是形状规则物体的几何中心。码垛机器人抓取的部位往往是物体几何中心，能够平衡抓取力，保证码垛过程更稳定。待码垛物体的 $(p+q)$ 阶矩可定义为：

$$M_{pq} = \sum_{i=i_{\min}}^{i_{\max}} \sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} i^p j^q f(i, j) \quad (p, q = 0, 1, 2, \dots) \quad (1)$$

区域密度综合值可用零阶矩 M_{00} 表示：

$$M_{00} = \sum_{i=i_{\min}}^{i_{\max}} \sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} f(i, j) \quad (2)$$

图像对 i 轴的惯性矩可用一阶矩 M_{01} 表示，对 j 轴的惯性矩可用一阶矩 M_{10} 表示，即：

$$\begin{cases} M_{10} = \sum_{i=i_{\min}}^{i_{\max}} \sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} i \times f(i,j) \\ M_{01} = \sum_{i=i_{\min}}^{i_{\max}} \sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} j \times f(i,j) \end{cases} \quad (3)$$

则质心坐标可表示为:

$$(\bar{i}, \bar{j}) = (M_{10}/M_{00}, M_{01}/M_{00}) \quad (4)$$

3 控制系统设计

3.1 硬件设计

码垛机器人控制系统结构见图3。该系统采用分布式结构,主要由主控制器、示教器、图像获取和处理模块、I/O接口扩展板、电源装置、控制柜等组成。可实现接收和处理人机界面命令、与示教器通信、轨迹规划、示教误差修正、控制4轴电机协同运动等功能。

主控制器选用 ARM 嵌入式平台,微处理器芯片为 S3C2440,支持 SD 卡槽和 256 M 内存配置,接口相对比较丰富。接收示教器的示教信息以及图像获取处理模块发送的偏差信号,基于此进行运动学计算以及轨迹规划。利用 RS485 总线实现与交流伺服电机的通信,进而确保各关节协调运动。码垛机器人运行过程中,实时获取各编码器的反馈脉冲量同时与正反限位信号、零位信号结合,计算出实际位姿和期望位姿之间的偏差,从而得到各电机的修正控制量,使位姿偏差尽可能小以趋于 0。图像获取和处理模块是由工业相机和处理电路组成,工业相机实时获取物品码垛位置并与示教点比较,得到示教偏差。将此偏差信号传送至 ARM 处理器,经运算生成控制信号,调整 4 台伺服电机的运动。

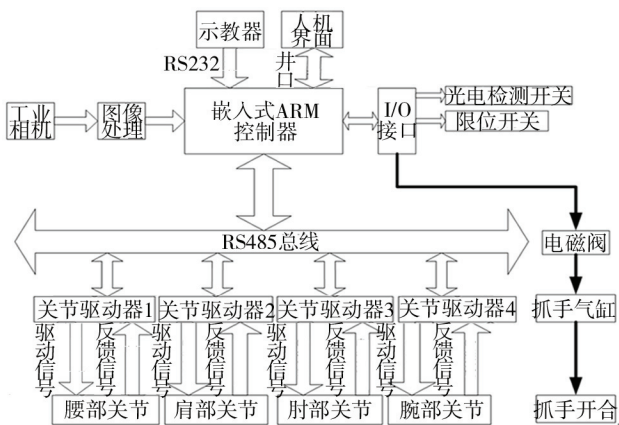


图3 控制系统结构

Fig.3 Control system structure

3.2 软件设计

考虑到 Linux 的抢占机制以及支持多线程、多任务操作,Qt 界面封装机制完整便于模块化设计,Qt 界面还具有独立的消息机制,便于各模块之间的通信,文中基于 Linux 操作系统、Qt 界面进行了系统软

件设计。基于面向对象的模块化设计方法,控制系统软件结构见图4。

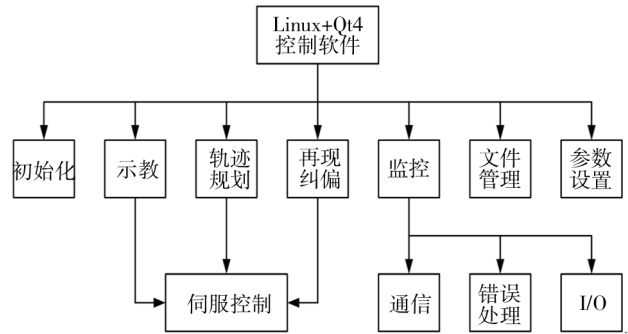


图4 软件结构

Fig.4 The software structure

由图4可以看出,系统软件主要包括初始化、轨迹规划、示教、再现、监控、文件管理、参数设置、故障处理等功能模块。概括地讲,系统软件可以分为主控制器部分和示教盒部分。主控制器部分负责人机界面通信、示教盒通信、运动学解析、轨迹规划、速度和位置控制、错误实时处理等。示教盒部分负责系统参数设置、与主控制器通信、示教控制、故障处理。与传统示教再现不同,文中该模块中加入了视觉码垛功能,可以实时纠正每次码垛存在的偏差,提高码垛精度和效率。

4 实验研究

为验证所设计包装码垛机器人控制系统可行性和实际应用效果,进行相关实验验证。分别在高速和低速情况下考察原点定位和重复定位的精度。以某型号码垛机器人的机械本体为平台,移植文中所述控制系统。实验条件:每小时循环次数为1800次,作业范围1.5 m;码垛物品为选用瓦楞纸板包装,尺寸为300 mm×200 mm×150 mm,质量约为10 kg。

4.1 原点定位实验

作为码垛机器人定位的重要参考坐标点,如果原点搜索存在误差,那么在机器人码垛过程中原点误差会影响目标点的定位,导致定位精度下降。机器人原点传感器和金属块在位置上具有滞后、重合、超前3种关系。定义二者间距为ΔL,在不同速度下随机测量ΔL具体数值。部分实验数据见表1。由表1可知,码垛机器人在原点定位过程中的ΔL平均数值大约为0.15 mm。可以得出结论:所述控制系统能够保证包装码垛机器人具有较高的原点定位精确,即减小原点误差对后期物品码放精度的影响。

4.2 重复定位实验

重复定位是指码垛机器人可以重复、高精度地到达相同位置的能力,用于衡量持续工作的定位精度。

实验中采用激光跟踪仪实时跟随码垛机器人末端执行器运动,以测量其位置,从而获取包装码垛机器人重复定位精度。实验共 15 组,测量值分别为 0.8, 0.4, 0.6, 0.4, 0.2, 0.5, 0.8, 0.6, 0.6, 0.5, 0.5, 0.7, 0.5, 0.6, 0.6 mm。由实验结果可知,控制系统能够保证包装码垛机器人具有较高的重复定位精度,误差数值约为 0.6 mm,完全满足包装码垛要求。

表 1 原点定位实验结果

Tab.1 The experimental results of origin positioning

序号	$\Delta L/\text{mm}$			
	轴1	轴2	轴3	轴4
1	0.11	0.19	0.13	0.21
2	0.13	0.13	0.20	0.18
3	-0.12	0.14	0.12	0.20
4	0.14	-0.14	0.18	0.20
5	-0.13	-0.14	0.13	0.11

5 结语

包装码垛机器人在化工、食品饮料、机械制造、仓储物流等行业的应用十分广泛,如何提高码垛机器人运行精度及其控制系统的通用性,对提高包装效率至关重要。文中基于 ARM 微控制器设计一种包装码垛机器人控制系统,并引入视觉码垛方法。不仅具有较好的通用性、扩展性,而且可以修正示教误差。同时给出了硬件和软件设计方法。通过实验验证了所述控制系统的可行性和有效性。该控制系统对如何提高包装自动程度具有一定借鉴意义。

参考文献:

- [1] 李晓刚, 刘晋浩. 码垛机器人的研究与应用现状、问题及对策[J]. 包装工程, 2011, 32(3): 96—102.
LI Xiao-gang, LIU Jin-hao. Research and Application Situation, Problems and Solutions of Palletizing Robots[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3): 96—102.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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 Technology, 2012(12): 26—29.
- [5] YI Lun-han, ZHEN Guang-jiao, YAN Fang-tian, et al. Design of Loading Robot Control System Based on PLC[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 441: 792—795.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 周亮, 李珍. 基于 PLC 的液体袋装包装机控制系统的设计[J]. 包装工程, 2013, 34(1): 88—91.
ZHOU Liang, LI Zhen. Design of the Control System of Liquid Bag Packaging Machine Based on PLC[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1): 88—91.
- [9] DUN Chen-lan. The Application of Intelligent Industrial Robotic Control System Based on PLC in Mechanical Automation[J]. Advanced Materials Research, 2013, 738: 272—275.
- [10] 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.
- [11] 王家寅, 冯显英, 王晓彬. 基于 PLC 的试剂精密定量封装控制系统开发[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2013(10): 80—86.
WANG Jia-yin, FENG Xian-ying, WANG Xiao-bin. Development of Precise Quantitative Packaging Control System for Reagent Based on PLC[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2013(10): 80—86.
- [12] 曹成涛, 许伦辉, 赵雪, 等. 四轴工业机器人运动控制与视觉码垛[J]. 机械设计与制造, 2016(11): 158—161.
CAO Cheng-tao, XU Lun-hui, ZHAO Xue, et al. Four Axis Industrial Robot Motion Control and Visual Palletizing[J]. Machinery Design & Manufacture, 2016(11): 158—161.
- [13] 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.
- [14] 苏海新, 韩宝玲, 罗庆生, 等. 基于 PMAC 的工业码垛机器人控制特性研究[J]. 机械与电子, 2009(9): 57—60.
SU Hai-xin, HAN Bao-ling, LUO Qing-sheng, et al. Research of Control Characteristic of Palletizing Robot Based on PMAC[J]. Machinery & Electronics, 2009(9): 57—60.
- [15] 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.
JIAO En-zhang, DU Rong. Realization of Sorting Technology on Industrial Robot[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2010(2): 84—87.