

基于模块化示教的精密码垛机器人控制系统

王玉萍

(郑州科技学院信息工程学院, 郑州 450064)

摘要: **目的** 为了实现码垛机器人的实时快速控制,设计一种模块化示教的码垛机器人控制系统。**方法** 以 1802 芯片为核心开发嵌入式模块示教系统,以 QT 为工具开发上位机模块示教系统,使用示教系统可以快速设定码垛机器人的路线和精度,通过 wifi 或串口模块把示教信号传输到码垛机器人控制系统中,控制系统利用高速脉冲驱动电路和闭环控制定位程序,使码垛机器人按照示教信息快速精准地搬运货物,点对点搬运实验表明,系统定位精度可以达到 0.3 mm,旋转误差在 0.1°内。**结果** 机器人水平定位的最大相对误差为 0.45%,旋转角度的最大误差为 0.83%。**结论** 实验证明,码垛机器人控制系统可以根据用户需求快速完成搬运。

关键词: 嵌入式; 智能识别; 码垛; 控制系统

中图分类号: TB486.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)19-0024-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.19.005

Control System of Precision Palletizing Robot Based on Modular Teaching

WANG Yu-ping

(Zhengzhou University of Science & Technology, Zhengzhou 450064, China)

ABSTRACT: The work aims to design a modular teaching palletizing robot control system in order to realize real-time and fast control of palletizing robot. The teaching system of embedded module was developed with 1802 chip as the core. The upper computer modular teaching system was developed with QT tool and used to fast set the route and accuracy of palletizing robot. The teaching signal was transmitted to the control system of the palletizing robot by wifi or serial module. Utilizing high-speed pulse drive circuit and closed-loop control locating program, the control system ordered the robot to handle cargos in fast and precise means according to instructions. The point to point carrying experiment showed that the positioning precision of the system could reach 0.3 mm and the rotation error within 0.1 degrees. The maximum relative error for horizontal positioning of robot was 0.45% and the maximum error for rotation angle was 0.83%. The experiment proves that the system can meet the need of transportation quickly according to the user's setting.

KEY WORDS: embedded system; intelligent identification; palletizing; control system

随着包装、物流行业的发展,智能识别货物的码垛机器人应运而生,主要用于执行包装、工件的搬运、码垛等工作,其具有效率高成本低的特点。码垛机器人目前成为很多行业诸如食品饮料、制造业等自动化生产过程中不可或缺的设备,在仓储物流行业也逐渐替代原来的吊车搬运。孙祥溪等^[1]学者发现目前码垛机器人的定位精度差,且工作效率低下。张丰华等^[2]学者设计的控制系统也存在适应性差且工作模式单一等问题。码垛机器人通常采用 PLC 控制系统,常规

的设计方法是根据工艺设计控制系统,该方法存在成本高、可靠性差、控制精度差,且自动化和智能化程度较低等缺点^[3]。由此,文中拟采用模块示教系统规划搬运路线,并把其应用到码垛机器人控制系统中。

1 码垛机器人控制系统设计

码垛需要实现空间中横坐标、水平坐标和纵坐标等 3 个方向的移动^[3],还要兼顾结构简单、实用和可

收稿日期: 2018-06-04

基金项目: 河南省教育厅青年骨干教师培养计划(2016GGJS-186); 河南省科技厅科技攻关项目(172102210535)

作者简介: 王玉萍(1979—),女,硕士,郑州科技学院信息工程学院副教授,主要研究方向为机器视觉、虚拟现实。

靠性高等要求。为了满足工业生产线要求，机器人的搬运结构和工作方向示意图 1。机器人的主要动作包括 y 轴和 R 轴的水平升降运动， z 轴和 x 轴的旋转动作，这 4 个方向的动作就可以实现码垛机器人在整个圆柱空间内的搬运。

精密码垛机器人控制系统的设计见图 2，控制系统包括模块示教系统和手臂精确定位模块。模块示教系统按照开发平台分为嵌入式和上位机^[4]。模块示教系统先对搬运流程和动作进行规划，再设定动作顺序、搬运效率、搬运精度等参数，模块示教系统利用 wifi 通讯把搬运数据发送到手臂精确定位模块中，无线传输距离可以达到 800 m。码垛机器人控制系统接收到搬运命令后控制手臂工作，根据接收的示教系统数据配置手臂精确定位模块，并驱动电机精准搬运货物。

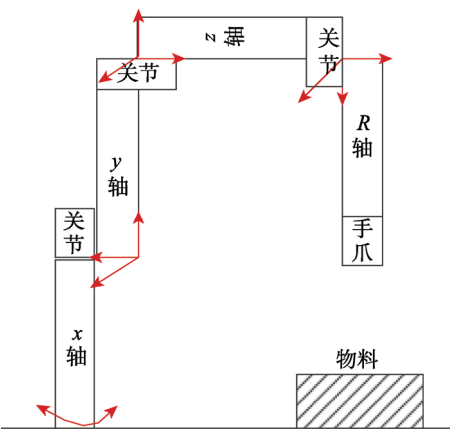


图 1 码垛结构自由度简图
Fig.1 Free degree diagram of palletizing structure

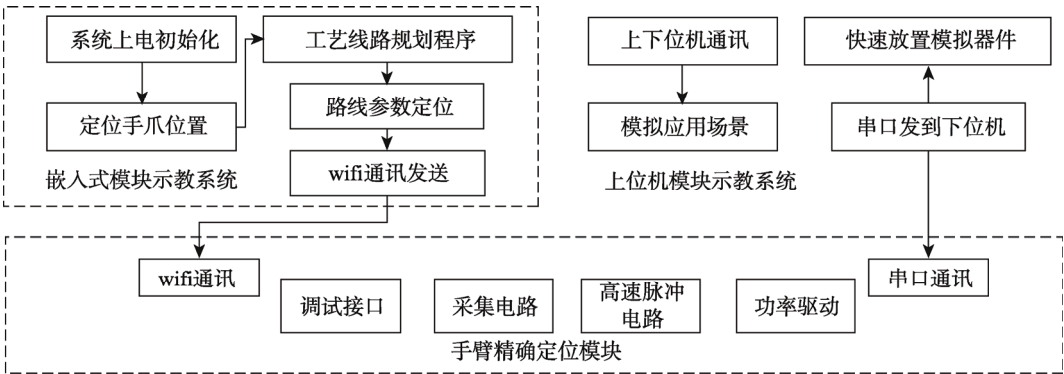


图 2 精密码垛机器人控制系统
Fig.2 Control system of the intelligent palletizing system

2 模块示教系统

嵌入式模块示教系统的核心处理器为 TI 公司的 AM1802，开发通讯模块的嵌入式接口层和硬件驱动程序^[5]，示教系统的主要作用是完成货物搬运路线的规划，打包数据并存入内部 ROM，最后通讯模块将数据传输到下位机。

2.1 嵌入式模块示教系统设计

嵌入式示教系统的硬件平台以 1802 作为核心处理器，晶振、复位和电源等最小系统电路不再说明。示教系统的核心是通信模块，设计完成的控制程序需要通过通信模块发送给机器人控制系统。在嵌入式示教系统与定位模块之间建立 wifi 通讯^[6]，在上位机示教系统和定位模块之间建立 RS232 通讯。模块示教程序开发流程见图 3，人工设定参数包括工艺路线、精度要求、搬运速度等，系统都会根据人工设定参数自动计算出搬运路线。

嵌入式示教系统外扩的 wifi 通信电路见图 4，硬件电路中需要的通讯速率为 500 k，因此采用

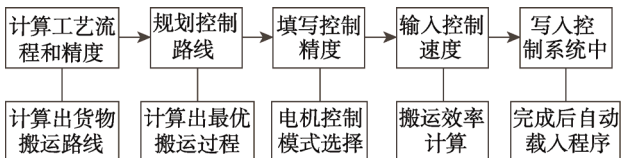


图 3 模块示教程序开发流程
Fig.3 Development process of modularized teaching program

WM-GMR-9 芯片，并外接 WIFI_SCK 串行时钟。采用串行 SPI 总线的方式控制信号传输，SPI 总线的 MOSI 引脚连接到 MCU 的 IO 引脚，用于串行数据的发送和接收^[7]。wifi 芯片的工作电压为 3.3 V，CS 引脚为片选信号，芯片本身提供 Index 端口的编程接口。在 GPIO1 引脚处设计数据交换指示灯，在芯片的每个电源线、地线、引脚上都连接 2 个去耦电容。

2.2 上位机模块示教系统设计

由于手臂精确定位模块无法识别 QT 应用界面的搬运数据，需要在模块中设计 RS232 硬件接口和通讯程序。连接示教系统和定位模块的 232 调试串口电路见图 5。通信电路的主要作用是完成电平转换，电路中除电源 VDD 和 VSS 引脚采用 104 去耦电容外，

作用，信号最高输出脉冲为 1 MHz，具体高速光耦电路见图 7。6N137 的 VE 引脚作为使能作用，一般采用高电平控制。为保证芯片有稳定的电源供电，VCC 引脚采用 104 电容去耦^[11]。信号输入引脚用限流电阻

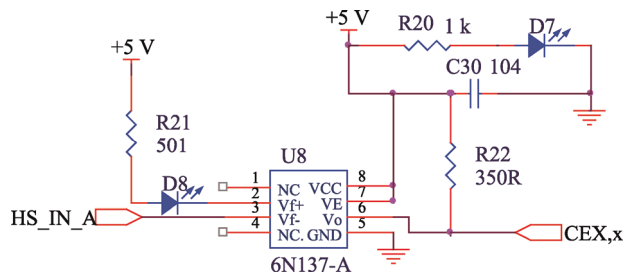


图 7 在线调试和工业通信硬件电路
Fig.7 Online debugging and industrial communication hardware circuits

加发光二极管的设计方法来保护电路，为提高电路驱动能力上拉+5 V 电源。

3.2 手臂精确定位的闭环控制

机器人控制系统的定位精度要求高，在选择被控对象时采用惯量更小的伺服驱动系统，还需要采用闭环控制方式进行定位补偿，闭环流程见图 8。控制算法以位置环和速度环为主，位置环的作用是产生电机的速度指令并使电机准确定位和跟踪，速度环控制有助于系统得到较好的静态和动态特性^[12]。伺服电机和其它一些功能单元也是伺服控制系统中不可或缺的组成部分，以更精确的定位环为例设计程序^[13]，由于闭环系统中位置环优于速度环，把速度认定为位置中的惯性部分并减低为一阶^[14]，忽略速度环高次项后降阶为一阶惯性环节，具体位置定位控制结构见图 8。

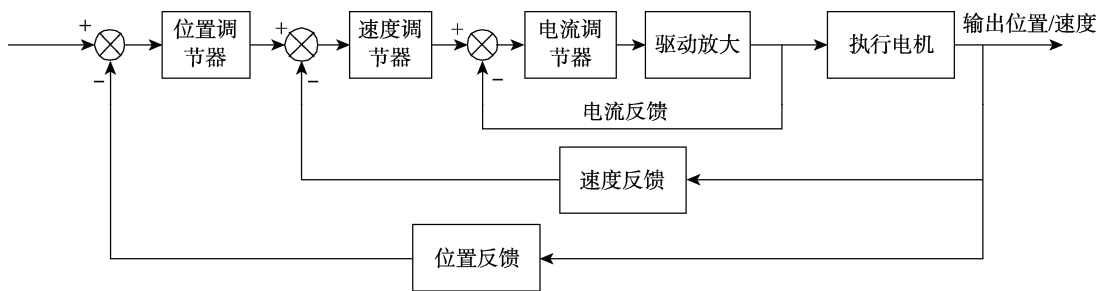


图 8 直流伺服的三闭环系统使用原理
Fig.8 Principle of using the three closed loop system of DC servo

4 机器人控制系统测试

码垛机器人的控制系统包括输入和接收等 2 个部分，搭建平台验证模块示教系统与手臂精确定位模块的准确性，通过搬运路线和定位精度来验证系统能否完成任务。

4.1 模块示教系统验证

示教系统设定搬运任务后确认系统能否完成指定的动作，并且在系统完成指定动作的同时测量机器人的运动精度。示教系统的输入定位采用模块方式进行设置，设定搬运任务的起始和终点坐标，系统把搬运任务分为多个过程，示教过程示意和运动过程轨迹^[15]见图 9。机器人需要把货物从 1 搬到 2，系统会规划出多个路线，根据效率和工业需求选择线路中比较可靠的路径进行搬运^[16]，从定位 1 到 2 运动的要求路线已经用线标出，而模块示教系统规划出的搬运路线数据见表 1。

4.2 高定位精度验证

单次定位测试是为了检测手臂搬运时的精度，检测伺服控制器发送的命令脉冲数，与理论脉冲数对比

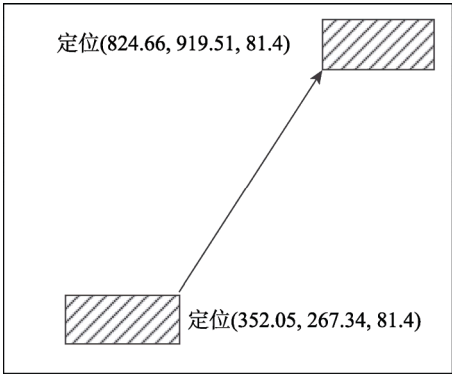


图 9 测试上位机示教搬运系统
Fig.9 Teaching and handling system of the upper computer

表 1 示教系统计算出的机械手臂运动数据
Tab.1 Motion data of the robotic armcalculated by the teaching system

规划步数	x 轴平移距离/mm	y 轴平移距离/mm	z 平移距离/mm	R 轴旋转角度/(°)
1	352.05	267.34	81.4	167.56
2	1085.22	268.16	81.4	0.41
3	1289.34	917.42	81.4	90.02
4	273.76	920.02	81.4	88.21
5	824.66	919.51	81.4	99.95

后验证精度。测试单次定位精度时,先执行找原点功能来确定系统的基准点,然后设置伺服电机编码器反馈脉冲数为 0。机器人手臂以正常工作速度从原点开始前进运动,由于采用三段速控制伺服电机,从原点开始分别定位到第 1 段速距离结束、第 2 段速距离结束、第 3 段速距离结束,即原点定位移动 147, 149, 170 mm,记录定位完成后读取伺服编码器上的反馈脉冲数,计算出伺服系统控制器发送的脉冲数。比较理论脉冲数与伺服系统控制器的发送脉冲数,判断单次定位精度是否满足要求。伺服电机指令单位为 1/102.4 mm,因此系统允许的脉冲数误差为 51,对比理论脉冲数和伺服电机编码器反馈的脉冲数可知,精度满足系统要求,见表 2。

表 2 理论脉冲数和反馈脉冲数误差
Tab.2 Error of the number of theoretical pulses and the number of feedback pulses

距离/mm	脉冲误差
147	+32
149	-23
170	+17

统计结果见表 3,按照规划路线运动的检测数据知道 U 轴最大误差为 0.5 mm, L 轴为 0.4 mm, S 轴为 0.5° , T 轴为 0.3° 。通过计算得出位置的最大相对误差为 0.45%,而旋转角度的最大误差为 0.83%,以上精度都可以满足码垛机器人系统需要,且机器人运动轨迹也完整地还原了系统示教动作。

表 3 运行轨迹实测位置数据
Tab.3 Measured position data of the running track

检测点	x 轴平移距离/mm	y 轴平移距离/mm	z 轴平移距离/mm	R 轴旋转角度/ $(^\circ)$	气缸动作(松/抓)
1	110.1	0.5	90.2	0.2	松
2	109.7	0.3	90.4	0.1	抓
3	45.3	0.3	90.4	90.3	抓
4	45.3	60.2	90.3	90.3	抓
5	110.1	60.3	90.4	0.3	抓
6	110.5	60.4	90.1	0.1	松

5 结语

设计一款可以快速适应不同搬运现场的码垛机器人控制系统,采用模块化思路设计模块示教系统,通过模块示教系统使操作人员可以更快地开发出机器人控制系统。通过搬运实验验证示教系统的路线规划和手臂精准定位功能,模块示教系统可以准确规划出多种运动轨迹,码垛机器人的直线定位精度为 0.4 mm,旋转角度精度为 0.3° ,结果证明模块化示教的精密码垛机器人控制系统可以快速完成搬运任务。

参考文献:

- [1] 孙祥溪,罗庆生,苏晓东.工业码垛机器人运动学仿真[J].计算机仿真,2013,30(3):303—306.
SUN Xiang-xi, LUO Qing-sheng, SU Xiao-dong. Kinematics Simulation of Industrial Palletizing Robot[J]. Computer Simulation, 2013, 30 (3): 303—306.
- [2] 张丰华,韩宝玲,罗庆生,等.基于 PLC 的新型工业码垛机器人控制系统设计[J].计算机测量与控制,2009,17(11):2191—2193.
ZHANG Feng-hua, HAN Bao-ling, LUO Qing-sheng, et al. The Design of a New Industrial Palletizing Robot Control System Based on PLC[J]. Computer Measurement and Control, 2009, 17 (11): 2191—2193.
- [3] 康瑞芳,刘鑫.包装码垛机器人嵌入式控制系统设

- 计[J].包装工程,2018,39(1):132—135.
KANG Rui-fang, LIU Xin. Packaging Palletizing Robot Embedded Control System Design[J]. Packaging Engineering, 2018, 39 (1): 132—135.
- [4] 张鑫龙,原思聪.码垛机器人位置精度测试与分析[J].机床与液压,2017,45(3):73—77.
ZHANG Xin-long, YUAN Si-cong. The Original Thinking. Test and Analysis of Position Accuracy of Robot Palletizing Machine and Hydraulic[J]. 2017, 45(3): 73—77.
- [5] 王海芳,张恒,皇甫一樊,等.码垛机器人运动精度可靠性及其灵敏度分析[J].中国工程机械学报,2016,14(6):475—480.
WANG Hai-fang, ZHANG Heng, HUANGFU Yi-fan, et al. Motion Accuracy Reliability and Sensitivity Analysis of Palletizing Robot [J]. Chinese Journal of Engineering and Mechanics, 2016,14 (6): 475—480.
- [6] 陈昌禄,邵生俊,王桃桃.砂土的动态空间滑动面及其强度准则适应性研究[J].地震工程学报,2014,36(4):980—986.
CHEN Chang-lu, SHAO Sheng-jun, WANG Tao-tao. Adaptability of Dynamic Spatial Slip Surface and Strength Criterion of Sand[J]. Journal of Earthquake Engineering, 2014, 36 (4): 980—986.
- [7] 窦新宇,梁华庆.丛式井电磁防碰信号采集系统设计[J].仪表技术与传感器,2018(2):109—112.
DOU Xin-yu, LIANG Hua-qing. The Electromagnetic Collision Avoidance Signal Acquisition System of

- Cluster Well is Designed[J]. Instrument Technology and Sensor, 2018 (2): 109—112.
- [8] 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. Automatic Packaging Palletizing Robot Control System Design[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2017 (4): 259—262.
- [9] 贺莹, 梅江平, 方志炜, 等. 一种高速重载码垛机器人机座的多目标优化设计[J]. 机械设计, 2017, 34(7): 1—9.
HE Ying, MEI Jiang-ping, FANG Zhi-wei, et al. A Multi-objective Optimization Design of a High-speed and Heavy-duty Palletizing Robot Seat [J]. Mechanical Design, 2017, 34 (7): 1—9.
- [10] 王世敏. 基于 PLC 的全自动饲料码垛机器人的设计及应用研究[J]. 饲料工业, 2015, 36(7): 8—11.
WANG Shi-min. Design and Application of PLC Based Automatic Feed Palletizing Robot[J]. Feed Industry, 2015, 36 (7): 8—11.
- [11] 郭瑞峰, 李岩鹤, 史世怀. 关节型码垛机器人轨迹规划及运动学研究 [J]. 机械设计与制造, 2017 (1): 76—78.
GUO Rui-feng, LI Yan-he, SHI Shi-hua. Trajectory Planning and Kinematics Research of Articulated Palletizing Robot [J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2017(1): 76—78.
- [12] 张良安, 马寅东, 单家正, 等. 4 自由度含局部闭链式码垛机器人动力学优化设计[J]. 农业机械学报, 2013, 44(11): 336—341.
ZHANG Liang-an, MA Yin-dong, SHAN Jia-zheng, et al. Dynamic Optimization Design of 4 Degree of Freedom with Local Closed Chain Palletizing Robot[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2013, 44 (11): 336—341.
- [13] 张志强, 臧冀原, 负超. 混联码垛机器人运动学分析及仿真[J]. 机械设计, 2010, 27(11): 47—51.
ZHANG Zhi-qiang, ZANG Ji-yuan, YUN Chao. Hybrid Stacking Robot Kinematics Analysis and Simulation[J]. Machine Design, 2010, 27 (11): 47—51.
- [14] 刘清, 韩宝玲, 罗庆生, 等. S7-200 可编程控制器在新型智能码垛机器人中的应用研究[J]. 制造业自动化, 2008(7): 39—43.
LIU Qing, HAN Bao-ling, LUO Qing-sheng, et al. S7-200 Programmable Logic Controller in the New Intelligent Palletizing Robot[J]. Manufacturing Automation, 2008 (7): 39—43.
- [15] 付铁, 李金泉, 陈恳, 等. 一种新型高速码垛机械手的设计与实现 [J]. 北京理工大学学报, 2007(1): 17—20.
FU Tie, LI Jin-quan, CHEN Ke, et al. Design and Implementation of a New High-speed Palletizing Manipulator[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2007 (1): 17—20.
- [16] 张超群, 邓喜君, 蔡鹤皋. 基于 PLC 的橡胶包装码垛生产线控制系统设计[J]. 高技术通讯, 1997(8): 14—18.
ZHANG Chao-qun, DENG Xi-jun, CAI He-gao. Control System Design of Rubber Packing Palletizing Production Line Based on PLC[J]. High Tech News Letter, 1997 (8): 14—18.