

基于STM32的光电搬运机器人设计与试验

赵嘉豪,叶梁杰,罗心韵,周子阳,王化明,索玉福

(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘要:为实现对不同位置、颜色物料的搬运,设计一种基于STM32的光电搬运机器人。该机器人采用STM32F407芯片,以具有物料定位功能的循迹小车底盘为载体,通过颜色传感器识别物料颜色特征,经PID算法优化移动路径,以二自由度吊臂作为抓取机构,制作实物模型进行了试验测试。研究结果表明:该光电搬运机器人吊臂响应时间短,搬运速度快,运行效率高,并以1'20"的成绩打破了“中国机器人大赛——光电车型搬运赛”的记录。

关键词:吊臂;PID算法;光电搬运机器人;STM32

中图分类号:TP242.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2021)06-0158-04

Design and Test of Photoelectric Transport Robot Based on STM32

ZHAO Jiahao, YE Liangjie, LUO Xinyun, ZHOU Ziyang, WANG Huaming, SUO Yufu

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: To transport the materials at different positions and in various colors, a photoelectric handling robot based on STM32 is designed. With STM32F407 chip being adopted and the chassis of tracking car with material positioning function as the carrier, the physical model of the robot is established and tested, through the identification of the color characteristics of materials by color sensor, by optimization of the moving path through PID algorithm and the two degree of freedom boom taken as the grasping mechanism. The research results show that the lifting arms of the photoelectric handling robot have the advantages of short response time, fast handling speed, and the ability to handle materials at different positions with high efficiency, which has broken the record of "Photoelectric Vehicle Model Transportation Competition, China Robot Competition" with the score of "1 minute 20 seconds".

Keywords: lifting arm; PID algorithm; photoelectric handling robot; STM32

0 引言

机器人自动化技术是当今自动化时代的一个标志^[1]。在物流仓储行业,搬运机器人的应用改变了人工分拣储存的局面,大大提高了货物仓储的效率和速度。在众多的工业机器人中,搬运机器人无疑是应用率最高的机器人之一^[2]。搬运机器人运用于企业生产,不仅能提高效率,实现物流的集成化和自动化,而且把人从危险、顽劣、繁重的工作环境下解脱出来,显现极大的优越性^[3]。而基于ARM Cortex架构的STM32单片机融高性能、实时性、数字信号处理、低功耗、低电压于一身,处理速度快,片上资源丰富,同时保持了高集成度和开发简易的特点。

本文设计的光电式物料搬运机器人面向中国机器人大赛自动分拣项目场地及物料:场地由白底黑线构成,物料为5种不同颜色,且直径及高度均为40 mm的中空圆柱形。该机器人采用STM32F407ZGT6作为主控器,采用灰度传感器对路径进行识别,利用颜色传感器及激光对射传感器完成对目标颜色及位置正确与否的判断。创新性地将线驱动式二自由度吊臂机械爪及环形物料存储区,

极大地提高了物料的搬运效率。能一次性携带多个物料的设计,方便了路径规划,为任务的完成节省出了大量时间。

1 总体设计

本文设计的光电搬运机器人整体装配图及总体设计框图如图1-图2所示。

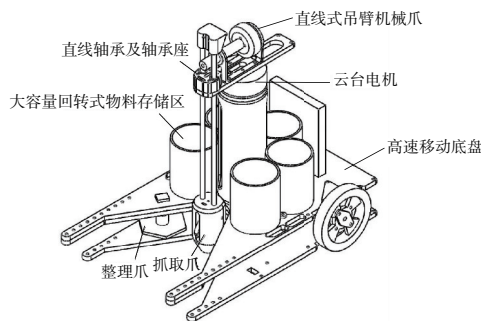


图1 光电搬运机器人整体装配图

基金项目:国家级大学生创新创业训练计划资助项目(201910287061Z)

第一作者简介:赵嘉豪(1999—),男,山西潞城人,本科,研究方向为机械电子工程。

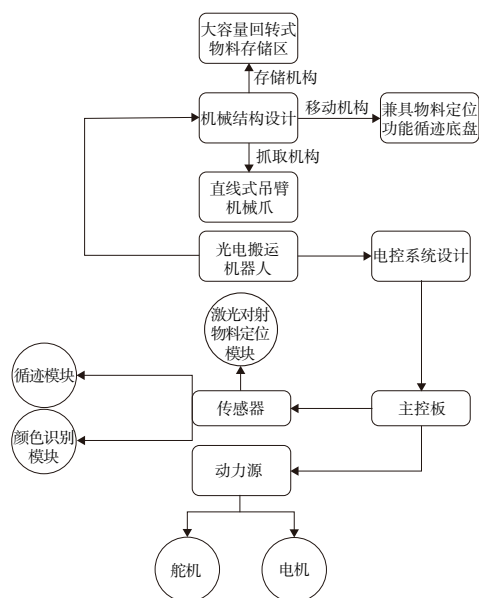


图2 总体设计框图

该光电搬运机器人设计主要分为机械及控制两个部分。在开始工作前,机器人停留在出发区,当开始指令下达后,机器人按预定路径规划行进至物料存储区,抓取物料并存储至自身环形存储区处,并按预定顺序将物料放置在对区域,完成比赛并记录总时间。

2 机械结构设计

整个机械结构分为线驱动式吊臂机械爪、大容量回转式物料存储区及高速移动底盘。

2.1 吊臂机械爪设计

二自由度线驱动式吊臂机械爪结构如图3所示。二自由度机械臂的应用使得物料抓取系统拥有极高的效率和可靠性。由于所需搬运物料为中空圆柱,利用这个特征,未选择常规式从物料外部剪式抓取策略,而选择采用从中间卡抓物料并垂直升降运输策略。直接使抓取结构从常规的三自由度或更多精简至二自由度,大大降低了编程难度并提升了抓取效率。

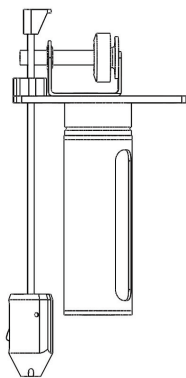


图3 吊臂机械爪

根据工作空间的要求,参考实际竞赛需求,确定吊臂机械爪的结构参数如表1所示。

表1 吊臂机械爪的结构参数 单位: mm

参数	数值
吊臂高度 H	170
夹持头半径 R	16
夹持头长度 L_a	60
夹持爪长度 L_b	27

2.2 物料存储设计

大容量回转式物料存储区如图4所示。由5个周向环布的中空圆柱体组成,共能同时容纳10枚物料,减少了机器人在物料堆放点和目标点往返次数,节约时间。

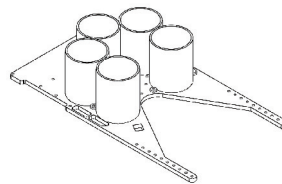


图4 回转式物料存储区

用于抓取并储存物料的二自由度机械臂及大容量储存机构是机器人的核心部分。其结构较为简单、坚固、性能好,允许其以很高的速度运行;直接夹持物料的夹持头使用一根尼龙线进行牵引动作,对动力源的尺寸要求低,也方便夹持头本体的外形优化以获得更好的精确性,同时辅以可以一次性容纳10枚物料的大容量回转式物料储存区,极大地节约了时间。

2.3 底盘设计

由于场地平整、简洁,无需使用性能全面但体积较大的麦轮或全向轮,故而采用了常见的二轮差速转向模式。为了使结构简单和控制方便,两个驱动单元选择同样型号的电动机,每台电动机功率均为26 W,总功率为52 W,以解决车身左右受力不均的现象。常见的驱动电动机有直流电动机、交流异步电动机、永磁同步电动机和开关磁阻电动机等多种类型,本文选用直流无刷轮毂电动机。所谓轮毂电动机,就是将直流电动机直接安装在驱动车轮(轮毂)里边,有内转子和外转子两种主要结构形式,内转子结构需选用高速电动机并安装减速装置以降低车速,外转子结构为直接驱动式,其省略了传动装置,节省了车身空间。

如图5所示,底盘前部有一个很大的V型缺口,可以将物料很好地引导定位,底板融合物料定位功能,使常规机械爪所需自由度减少,大大简化了抓取流程,并加之物料整理爪,使物料能以最优角度置入卡槽,使之更易于被抓取。

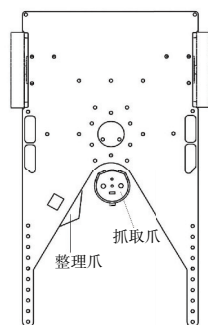


图5 光电搬运机器人
底盘示意图

3 控制系统设计

3.1 硬件设计

1) 主控选择

搬运机器人需具有丰富的模块,对实时计算能力也有很高的要求^[4],这使得所使用的主控芯片需要具有较多的引脚接口以及性能较高的CPU。同时考虑到运算速度及对单片机多线程处理能力的要求,选用STM32f407ZGT6单片机为主控单元(图6)。

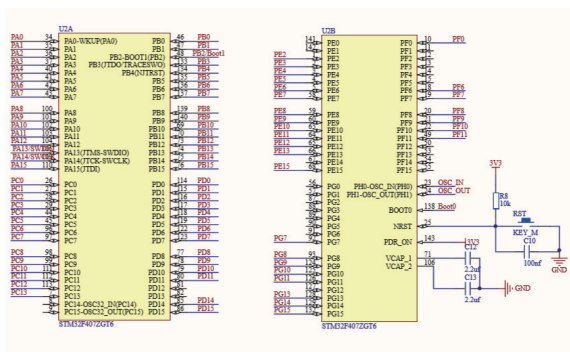


图6 STM32f407ZGT6原理图

2) 电机及驱动选择

机器人所采用电机主要应用于机器人的移动及吊臂机械爪部分。对于底盘电机,由于机器人需要高速、高精度地移动,故对电机的转速及转速比有一定要求,且需加入PID闭环控制使移动准确,故选用带光电编码器的直流减速电机作为底盘电机。

吊臂机械爪采用直线驱动电机及云台电机。对于直线驱动电机,由于对精度要求不高,故选用减速比10的减速电机即可。对于云台电机,由于物料存储区设置为回转结构,故对单次转动角度精度有极高要求,选用大疆GM6020直流无刷电机以满足高精度需求。

驱动模块利用芯片自带的PWM输出和定时器、计数器,并辅以A4950驱动模块精确地控制机器人上的减速电机,电机驱动电路如图7所示。

3) 传感器选择

传感器是机器人感知外界的重要组成部分,其性能的

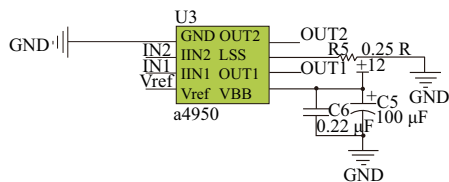


图7 A4950电机驱动原理图

好坏决定了物料搬运机器人与外界进行人机交互的程度和功能的实现与否^[5]。

根据大赛规则,小车可借助图样上的黑色轨迹进行移动定位。采用12个SEN0147灰度传感器进行路径循迹。前后各4个靠近车身中轴线的传感器负责引导小车进行前进、后退;位于主动轮轴下的两个以及侧前方的两个传感器共同负责机器人在地图中的定位。

同时机器人有两个专门负责监控物料的传感器,均位于底盘V形缺口顶点处。一个自制的激光对射传感器通过物料对激光束的遮挡来检测物料是否已处于正确的、可以供二自由度机械臂直接抓取的位置;一个TCS3200颜色传感器用于检测进入抓取位置物料的颜色,提供分类依据。

3.2 算法设计

在工程实际中,应用最为广泛的调节器控制规律为比例、积分、微分控制,简称PID控制,又称PID调节^[7]。

由于机器人主要动力部分均为直流编码电机,PID控制是不可或缺的。在有精确性需求的底盘电机及云台电机上加入了PID算法,以得到更好的控制效果。但由于PID控制存在的一些缺点,后期会采用新的拟合算法来进一步提高控制效果。

1) 循迹算法设计

硬件上采用的二轮差速转向设计使得算法上仅需要控制两个电机的转速便可完成循迹任务。

底盘上的两个驱动电机均以速度为控制对象,使用了PID算法进行速度控制。

任务执行中,为追求高效率完成任务需要沿圆弧进行运动。在算法中,针对圆弧运动进行了特殊设计。圆弧半径已知且为常值,所以通过计算可以得出内外两侧电机转速。公式如下:

$$V_N = V_X \frac{R - \frac{W}{2}}{R} \quad (1)$$

$$V_W = V_X \frac{R + \frac{W}{2}}{R} \quad (2)$$

式中: V_N 为内侧电机理论转速; V_W 为外侧电机理论转速; V_X 为机器人质心于轨迹线上移动的理论速度; R 为路径圆弧半径; W 为车身宽度(两驱动轮间距)。

计算得出电机理论转速后由PID控制进行速度控制,并根据底盘下的灰度传感器返回数据进行修正。除此之外在圆弧部分运动时对两侧电机转速比例要求较高,为此特设计了转速比例同步算法。其目的是使得内外圈电机转速比例趋于恒值,以此达到好的圆弧运动轨迹。

2) 吊臂电机控制算法设计

吊臂在运行过程中需要较高的位置精度和尽可能快的运行速度,对此吊臂的算法设计中使用了位置加速度的双重 PID 控制。

由位置环 PID 输出理论吊臂运行速度并传递至速度环 PID,速度环 PID 接收并计算后发出电机控制信号。

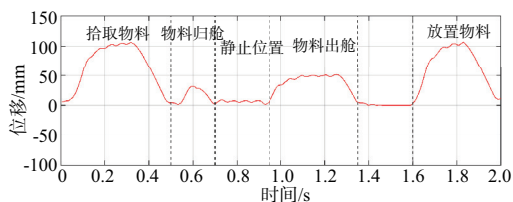
4 试验与结果分析

抓取与放置物料的精准度及速度是保证搬运效率的关键。为保证抓取物料时的效率及稳定性,对机器人核心设计即二自由度线驱动式吊臂上直线驱动电机的 PID 参数进行了试验整定。

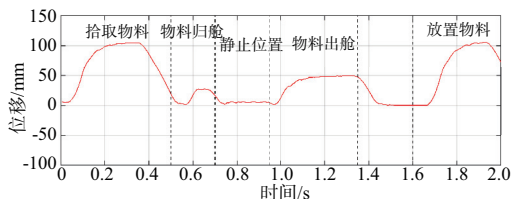
试验用参数如表 2 所示,实验结果如图 8、图 9 所示。

表 2 试验用 PID 参数

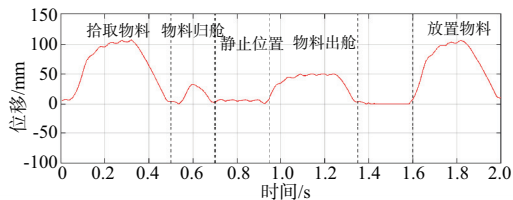
序号	速度环参数			位置环参数		
	K_p	K_i	K_d	K_p	K_i	K_D
1	0.6	0	0	10	0	0
2	0.6	0	0.4	10	0	0
3	0.6	0	0	10	0	5
4	0.6	0	0.4	10	0	5



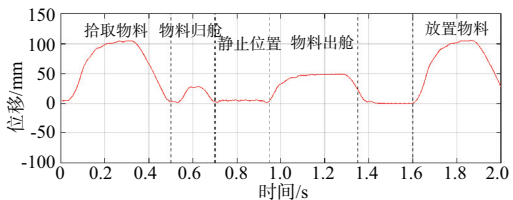
(a) 第1组参数



(b) 第2组参数

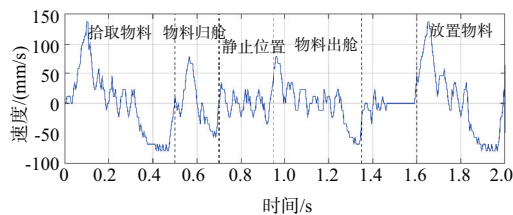


(c) 第3组参数

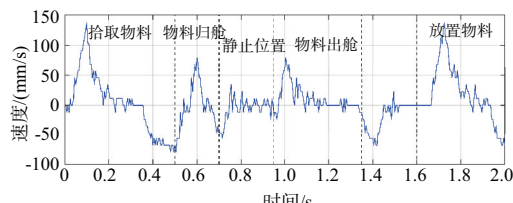


(d) 第4组参数

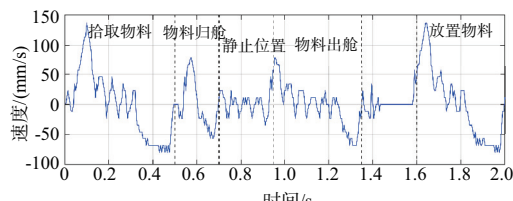
图 8 夹持爪末端位移变化曲线



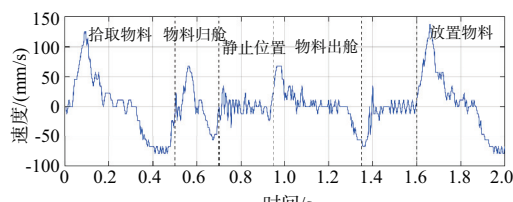
(a) 第1组参数



(b) 第2组参数



(c) 第3组参数



(d) 第4组参数

图 9 夹持爪末端速度变化曲线

由 Matlab 对试验数据进行处理分析,控制位置环和速度环的比例、微分参数后对比的位移曲线如图 8 所示,速度变化曲线如图 9 所示。

通过对比可以得出,第 1 组参数即当位置环和速度环均采用纯比例调节的时候,系统出现超调问题比较严重。速度波动较大,故第 1 组参数不宜采用。

观察后面 3 组的数据可以得出第 2 组参数即位置环采用比例控制,速度环采用比例微分控制时,相对有较好的效果。所得到的位移闭环控制系统的输出曲线最为平滑,平衡位置处波动较小,能够迅速归于平衡态。速度闭环控制系统的输出曲线震荡更小,速度波动小,且位置超调现象减小,控制效果更加稳定。

综合看,第 2 组参数性能最佳,但同时也有响应速度相对较慢的问题。但由于整体时间相差不大,故可采用第 2 组参数,即此吊臂系统设计位置环采用单独的比例调节,速度环采用比例-微分调节控制效果最佳。

5 结语

本文针对机器人面向实际应用场景进行了设计、制造
(下转第 165 页)

率,得到最终的实验结果。

图7所示是传感器采集到的控制前后的内力变化曲线。在进行内力控制之前,只进行运动控制完成搬运轨迹,搬运总时长24 s,其中抬起2 s,放下2 s,移动20 s。在抬起和移动、移动和放下的转折点处由于相对位置误差突然变大导致内力发生突变,搬运过程中内力最大为120 N。由于接触刚度为50 N/mm,双机器人间最大约有1.2 mm的相对位置误差。在开启内力控制之后,不仅在转折点处把内力及时控制在60 N左右,在移动过程中内力也被稳定控制在(60±2) N。

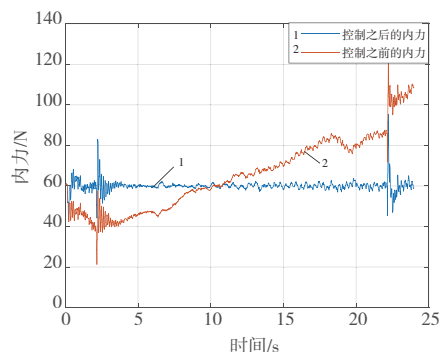


图7 内力控制实验结果

4 结语

本文所提出的基于自适应阻抗模型的从机器人单端位置调节内力控制策略有良好的效果,在双机器人搬运箱体完成抬起、搬运、放下且速度为20 mm/s的运动轨迹过程中,给定物体z轴期望内力60 N的任务要求,最终内力不仅在移动过程中被控制在(60±2) N,在抬起和移动以及移动和放下的转折点处,物体内力有突变的情况下,仍然被及时地控制在期望水平。

参考文献:

- [1] 姚桐兴. 双工业机器人协调运动控制技术研究[D]. 武汉:华中科技大学,2017.
- [2] 欧阳帆,张铁,陈杨. 基于遗传算法的双机器人协调搬运阻尼比例微分控制方法[J]. 上海交通大学学报,2016,50(6): 879-883.

- [3] 段晋军,甘亚辉,戴先中. 双臂协调搬运过程中基于变阻抗模型的位置/力混合控制[J]. 机器人,2019,41(6): 795-802,812.
- [4] 陈明. 基于阻抗模型的双机器人对等协作控制研究[D]. 南京:东南大学,2018.
- [5] REN Y, CHEN Z S, LIU Y C, et al. Adaptive hybrid position/force control of dual-arm cooperative manipulators with uncertain dynamics and closed-chain kinematics[J]. Journal of the Franklin Institute,2017,354(17): 7767-7793.
- [6] 潘建龙. 多机器人协作系统运动规划及位置力协调控制研究[D]. 南京:东南大学,2018.
- [7] 周扬. 双臂机器人的控制系统建立及阻抗控制研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.
- [8] 贺军. 变负载双臂机器人阻抗自适应控制系统研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2016.
- [9] GUEAIEB W, KARRAY F, AL-SHARHAN S. A robust hybrid intelligent position/force control scheme for cooperative manipulators[J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2007,12(2): 109-125.
- [10] GUEAIEB W, KARRAY F, AL-SHARHAN S. A robust hybrid intelligent position/force control scheme for cooperative manipulators[J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2007,12(2): 109-125.
- [11] 邓休. 双机器人协调运动规划与研究[D]. 广州:华南理工大学,2014.
- [12] UCHIYAMA M, DAUCHEZ P. A symmetric hybrid position/force control scheme for the coordination of two robots[C]// Proceedings of 1988 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Philadelphia, PA, USA: IEEE,1988:350-356.
- [13] JUNG S, HSIA T C, BONITZ R G. Force tracking impedance control of robot manipulators under unknown environment[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2004,12(3): 474-483.
- [14] GAN Y H, DAI X Z. Base frame calibration for coordinated industrial robots[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2011, 59(7/8): 563-570.
- [15] 赵霞,王祝萍,贾海航. 连续系统离散化方法的比较与解析初探[J]. 工业和信息化教育,2015(10): 71-76,82.
- [16] 高培阳. 基于力传感器的工业机器人恒力磨抛系统研究[D]. 武汉:华中科技大学,2019.

收稿日期:2020-10-22

(上接第161页)

与试验。采用STM32F407单片机做主控制器,创新性地以线驱动式二自由度吊臂作为物料抓取机构,辅以带有物料定位功能的底盘、环形物料存储区得以高效率地搬运物料。所设计机器人在比赛规定时间内快速完成复杂的搬运不同颜色物料的任务,并以“1'20””的成绩打破了“中国机器人大赛——光电车型搬运赛”的原有记录。

参考文献:

- [1] 李坤全,文睿. 机器人技术的发展与其在制造业中的应用[J]. 中国金属通报,2017(2): 60-61.
- [2] 林兆花,徐天亮. 机器人技术在物流业中的应用[J]. 物流技

术,2012,31(13): 42-45.

- [3] 刘扬武. 基于单片机的循迹智能车系统设计[J]. 电子技术与软件工程,2016(18): 261.
- [4] 吕书信,张北伟,王泽澄. 基于STM32分拣搬运机器人控制系统的设计[J]. 国外电子测量技术,2016,35(9): 101-104.
- [5] ROBIN R M. Introduction to AI robotics[M]. 2nd, Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2019.
- [6] 金奇,邓志杰. PID控制原理及参数整定方法[J]. 重庆工学院学报(自然科学版),2008,22(5): 91-94.

收稿日期:2020-10-09