

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.06.040

基于 STM32 与机器视觉的智能物流搬运机器人的研究与开发

宋珂, 余进贤, 叶松锦, 李煜昌

(华南理工大学, 广东 广州 510641)

摘要: 机器人自动化成为当今发展的趋势, 机器人的出现大幅度地提高了生产效率。目前, 大多数机器人在货运搬运方面还存在着劳动效率低、安全隐患大等一系列的问题。为此, 设计一款基于 STM32 核心控制器的智能物流搬运机器人, 并引入 PID 算法与 OpenMV 视觉技术。根据使用要求, 该小车可实现在场地内的信息识别与采集、物料抓取、运输等实用性功能。阐述机器人的机械设计方案、硬件电路方案和程序设计方法, 完成了样机制作, 并进行了实验验证。

关键词: 智能物流搬运; OpenMV; STM32; PID

中图分类号: TP242.3 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2025)06-0218-05

Research and Development of Intelligent Logistics Handling Robot Based on STM32 and Machine Vision

SONG Ke, YU Jinxian, YE Songjin, LI Yuchang

(South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Although robot automation is becoming the current trend, and the emergence of robots has greatly improved production efficiency, most robots are still facing challenges such as low labor rate and big security risks in freight handling. This paper designs an intelligent logistics handling robot based on STM32 core controller, and introduces PID algorithm and OpenMV vision technology. According to the requirements of use, the car can realize the practical functions of information identification and collection, material grabbing and transportation in the site. The mechanical design scheme, hardware circuit scheme and program design of the robot are elaborated, prototype production is accomplished and experimental variation is conducted.

Keywords: intelligent logistics handling; OpenMV; STM32; PID

0 引言

随着科技现代化发展与“十四五”创新驱动战略的推进, 中国制造业正加速向智能化转型。科技竞赛作为产学研结合的重要载体, 其不仅能激发大学生创新创业热情, 还能培养工程实践能力与团队协作精神, 促进学科知识的综合应用, 为产业升级储备复合型人才^[1]。

本文根据全国大学生工程训练大赛要求提出一种基于 STM32 与机器视觉的智能物流搬运机器人系统。该系统以 STM32F103RCT6 单片机为核心控制器, 融合 OpenMV 机器视觉技术与 PID 控制算法, 实现了物料二维码识别、颜色分类、精准抓取及路径规划等功能。与传统方案相比, 本系统具有成本低、开发周期短、扩展性强等优势, 特别适用于中小型企业的物流自动化改造。

1 系统总体设计方案

基于工厂固定作业重复、繁琐的特点, 设计并制作一款能够在固定路线上进行工厂物料识别、搬运和放置的智能物流搬运机器人。其总体结构由控制模块、运动模块、机械臂模块、识别模块、任务显示模块共同构成。整个任务流程为烧录路线识别程序, 移动到识别区识别二维码采集任务信息, 移动至物料区抓取物料, 移动至放置区放置物料, 最后到达停车区。

供电模块采用 18650 锂电池组, 为稳压模块供电后, 使其正常工作; 控制模块采用 STM32F103RCT6 作为主控板; 电机驱动模块采用 TB6612 驱动直流电机; 识别模块采用 OpenMV 进行对二维码的识别; 机械臂运动模块采用 PWM 串行舵机多路控制, 实现机械臂的精准运动; 任务

基金项目: 国家自然科学基金项目(52275330); 2023 年省级大学生创新创业训练计划项目(202310561259)

第一作者简介: 宋珂(1987—), 女, 河南开封人, 实验师, 硕士, 研究方向为人工智能和边缘计算实践教学, ziteng.006@163.com。

显示模块则采用 OLED 显示屏进行任务的收集和显示。图 1 为系统总体模块设计图。

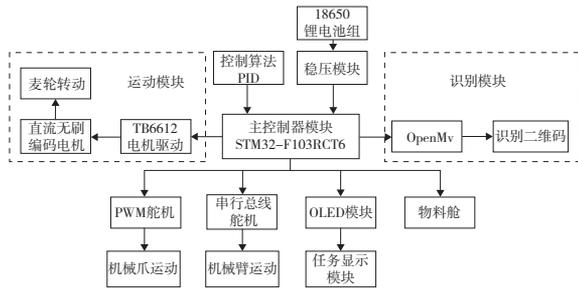
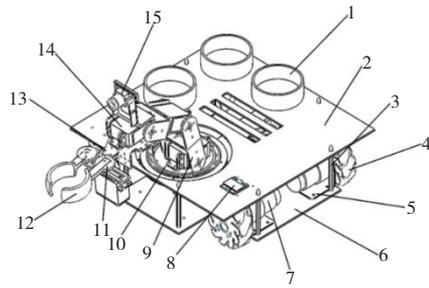


图 1 系统总体模块设计图



1—物料盘;2—上层板;3—65 mm 铜柱;4—麦克纳姆轮;
5—37 减速电机支座;6—下层板;7—37 减速电机;
8—OLED 显示屏;9—短 U 支架;10—云台;11—传动齿轮;
12—机械爪;13—机械爪固定件;14—舵机;15—OpenMV 摄像头。

图 2 智能物流搬运机器人模型

2 硬件模块设计

本组采用硬件模块化设计,主要分为控制板模块、OpenMV 视觉模块、电机及电机驱动模块、机械臂模块等。首先在 Solidworks 软件中对小车进行模型设计,图 2 为智能物流搬运机器人模型。

2.1 控制板模块

控制模块采用 STM32F103RCT6 单片机,主频为 72 MHz,具有良好的计算和处理能力;同时具有丰富的外设接口^[1-2]。这些接口可以满足小车的减速电机、机械臂以及摄像头等模块的驱动。图 3 为小车的控制系统原理图。

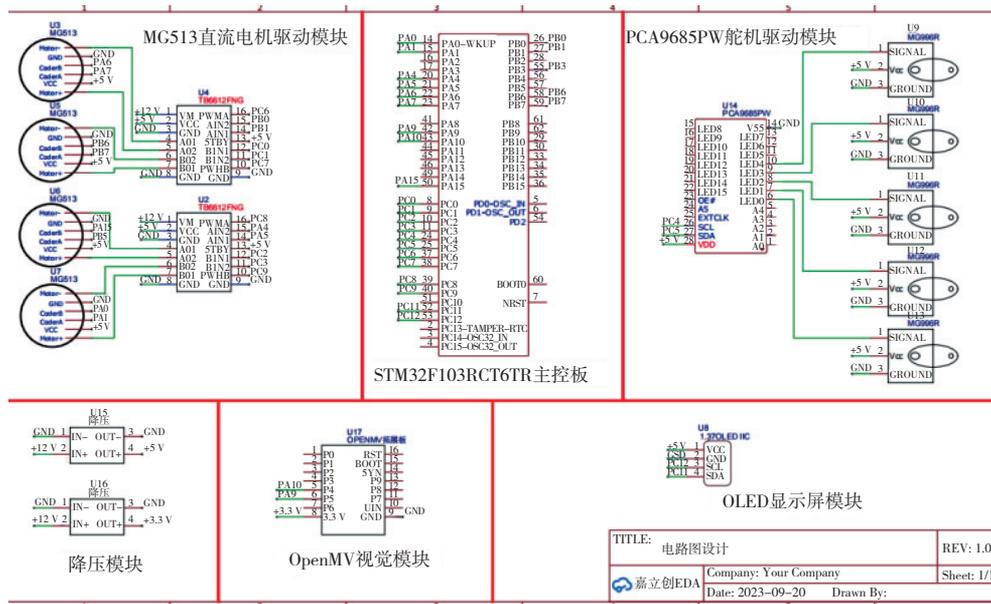


图 3 小车控制系统原理图

2.2 OpenMV 视觉与二维码识别模块

OpenMV 模块采用 STM32F103RCT6 单片机作为主控制器。通过单片机的串口通信功能来控制该模块。该模块支持多项功能,包括颜色识别、二维码识别和人脸识别等。使用 Python 作为编程语言,其简洁、高效且易于学习的特点使得用户可以快速上手。通过 OpenMV IDE 开发环境^[3-5],用户可以直接调用基于视觉的颜色检测算法以及二维码识别算法。工作流程如下:首先,OpenMV

摄像头系统进行图像采集^[6],然后将图像信息传输至 STM32F103RCT6 单片机中。通过单片机来进行颜色追踪、二维码识别等功能。同时,将处理完毕的运动信息发送至电机驱动模块 TB6612。最后,通过 TB6612 电机驱动模块使用 PWM 控制小车电机的转动。

2.3 减速电机模块

减速电机模块采用 37 减速电机。减速电机是减速机和电机的集成体,具有节省空间、可靠耐

用、转速较低、转矩较大等特点。为了检测出小车的位置及运动的速度,采用附带编码器减速电机。编码器通过记录一定时间内电机转过的圈数,从而测量出电机的转速。将编码器测得的数据传入单片机中,并通过单片机的PID算法控制小车电机的转动,从而精准控制小车运动的距离。

2.4 电机驱动模块

TB6612 是一种双路直流电机驱动器,常被用于控制小型直流电机,常被用于机器人、小车、舵机等方面。由于单片机的IO口带负载能力较弱,而直流电机为大电流感性负载,因此需要功率放大器TB6612来辅助驱动大电流直流电机。

2.5 机械臂模块

机械臂采用了关节式的结构形式,由3个关节和1个机械爪构成,其目的是扩大小车的抓取空间。该机械臂使用四舵机进行控制,分别控制底盘的转动、机械臂的转动以及机械爪的抓取。

机械爪则采用齿轮啮合作为旋转机构传动。其优点为承载力大,传动精度高,瞬时传动比恒定^[7],如图4所示。取物爪由主动和从动部分组成,主动部分由舵机直接驱动,从动部分则通过齿轮啮合传动,从而实现机械爪的张开与闭合。经过测试,该取物爪可以抓取2kg以内的物体,满足设计预期。

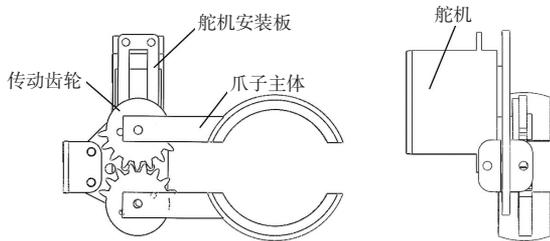


图4 机械爪结构图

2.6 车身运动模块

小车整体结构分为上、下两层,上层为物料存放区,下层为小车的控制模块以及驱动模块。此设计原因有两点,一是为了小车的美观以及运行时的安全,便于小车线路的连接;二是在上层杂物少的情况下能够让机械臂更加方便地被控制,使得机械臂在运行的时候不容易触碰到小车上的物体。

小车的四周安装着4个麦克纳姆轮,通过电机对其控制,能够使得小车能够完成原地旋转、直行、转弯以及横向行驶等高自由度运动,便于小车在运输空间有限、作业通道狭窄的环境下功能正

常运行。

3 软件模块设计

系统采用模块化程序设计,依据全国大学生工程训练大赛的场地编写程序。

智能搬运小车从上电初始化开始,采用摄像头采集任务信息,小车行驶至取货点,进行颜色的识别,按照任务信息抓取。随后小车行驶至卸货区(加工区),通过机械臂以及摄像头配合准确放置物料。图5为程序设计总体框图。智能搬运小车开始工作后,首先初始化摄像头串口,根据光照强度对颜色LAB参数进行微调^[8],随后进行二维码的检测,若未检测到则发送位置误差^[9];若检测到则进行颜色识别,识别后采集并发送抓取目标的位置,再次观测物体与机械臂之间的距离,发送误差,循环执行,直至收到完毕信息后结束作业。

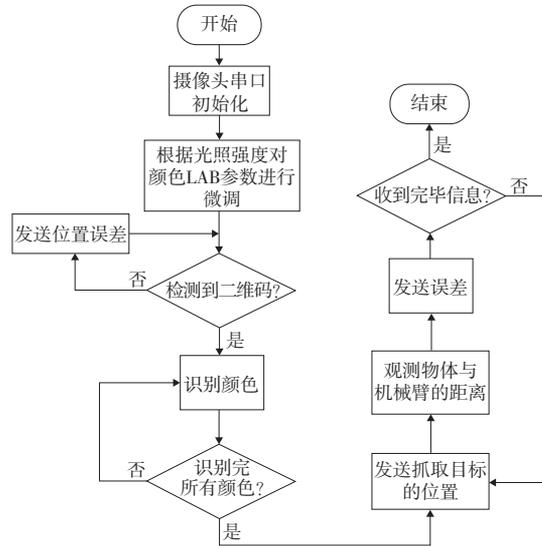


图5 程序总体设计框图

3.1 麦轮移动控制

本组使用PWM控制TB6612电机驱动。首先使能PWM并进行结构体定义。然后定义控制电机转动方向端口,这里以左前轮前转或熄火为例。具体程序如图6所示。

3.2 机械臂控制

本组使用舵机控制机械臂每个关节弯曲的角度,以此确定机械臂的位姿。具体程序如图7所示。

函数作用:控制舵机转动。

参数如下:

- 1) 输出端口,可选0~15;
- 2) 起始角度,可选0°~180°;
- 3) 结束角度,可选0°~180°;

4) 模式选择,0 表示函数内无延时,调用时需要在函数后另外加延时函数,且不可调速,第 5 个参数可填任意值;1 表示函数内有延时,调用时不需要在函数后另外加延时函数,且不可调速,第 5 个参数可填任意值;2 表示速度可调;

5) 速度,可填大于 0 的任意值,填 1 时速度最快,数值越大,速度越小。

注意事项:模式 0 和 1 的速度比模式 2 的最大速度大。

```
//左前轮
//*****
//左前轮=前转(速度=target%)
//-----
void Motor_LF_spin(int target, int mode)
{
    TIM3->CNT=0; //计数器清零
    pidmode=mode;
    Target[1]=target;
}
//左前轮=停止(熄火/刹车)
//Wheel_STOP=0:熄火1:刹车
//-----
void Motor_LF_Stop(u8 Wheel_STOP)
{
    if(Wheel_STOP)
    {
        TIM3->CNT=0;
        pidmode=3;
        Target[1]=0;
    }
    else
    {
        TIM3->CNT=0;
        pidmode=4;
        Target[1]=0;
    }
}
```

图 6 麦轮控制程序

```
void PCA_MG9XX(u8 num, u8 start_angle, u8 end_angle, u8 mode, u8 speed)
{
    u8 i;
    u32 off=0;
    switch(mode)
    {
        case 0:
            off=(u32)(125+end_angle*2.65);
            pca_setpwm(num, 0, off);
            break;
        case 1:
            off=(u32)(125+end_angle*2.65);
            pca_setpwm(num, 0, off);
            if(end_angle>start_angle)
            {delay_ms((u16)((end_angle-start_angle)*2.7));}
            else{delay_ms((u16)((start_angle-end_angle)*2.7));}
            break;
        case 2:
            if(end_angle>start_angle)
            {
                for(i=start_angle;i<=end_angle;i++)
                {
                    off=(u32)(125+i*2.65);
                    pca_setpwm(num, 0, off);
                    delay_ms(2);
                    delay_us(speed*250);
                }
            }
            else if(start_angle>end_angle)
            {
                for(i=start_angle;i>=end_angle;i--)
                {
                    off=(u32)(125+i*2.65);
                    pca_setpwm(num, 0, off);
                    delay_ms(2);
                    delay_us(speed*250);
                }
            }
    }
}
```

图 7 机械臂姿态调整程序

3.3 PID 控制

为了实现机械臂抓取物料的稳定性,快速性,

准确性,引入 PID 控制算法^[10-12],图 8 为机械臂控制方面的 PID 控制结构图。共使用 4 个串行舵机,提前定义每个舵机的 PID 参数,经多次调试抓取位置的位置数据,对程序进行编写。

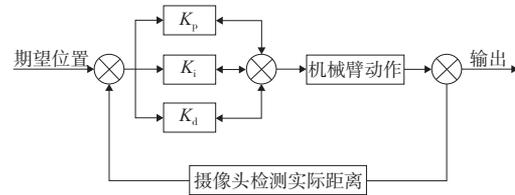


图 8 机械臂控制方面的 PID 控制结构图

函数功能:位置式 PID 控制器。

入口参数:编码器测量位置信息,目标位置。

返回值:舵机 PWM。

根据位置式离散 PID 公式^[13]:

$$p_{wm} = K_p \cdot e(k) + K_i \cdot \sum e(k) + K_d [e(k) - e(k-1)] \quad (1)$$

式中: $e(k)$ 为本次偏差; $e(k-1)$ 为上一次的偏差; $\sum e(k)$ 为 $e(k)$ 以及之前的偏差的累积和; $k=1, 2, \dots, k$; p_{wm} 为输出。具体代码如图 9 所示。

```
int Position_PID(int Encoder, int Target)
{
    float Position_KP=2, Position_KI=0.000001, Position_KD=0.001;
    float Bias, Pwm, Integral_bias, Last_Bias;
    Bias=Encoder-Target; //计算偏差
    Integral_bias+=Bias; //求出偏差的积分
    Pwm=Position_KP*Bias+Position_KI*Integral_bias+Position_KD*(Bias-Last_Bias);
    Last_Bias=Bias; //保存上一次偏差
    return Pwm; //增量输出
}
```

图 9 PID 控制程序

3.4 OpenMV 视觉识别

图像识别传感器以 OpenMV 作为核心,使用颜色识别以及特征点检测算法进行物块识别^[14],收集并向控制板发送物块的位置信息以控制舵机角度,实现与机械臂的配合。本文在车体上方安装了 USB 摄像头和 OpenMV,到达相应区域后,采用图像识别,当确定物块具体位置后,通过摄像头对物块的姿态进行调整^[15],当确认每个关节的抓取角度后,实施抓取搬运即可。此功能需在 OpenMV IDE 软件上编写代码实现功能,部分代码及实现效果如图 10、图 11、图 12 所示。

4 系统仿真与实验

通过 Matlab 软件进行系统仿真,设定 PID 3 种参数,观察系统的响应曲线和性能指标,从而得出最适 PID 参数,满足小车响应时间快,稳态误差

小的基本要求。Simulink 模型搭建如图 13 所示。系统动态响应曲线如图 14 所示。

```

while(uart_readchar()!=49);#当串口接收到 '1' 时跳出循环
{
  a=0#没啥用
  led1.on()#扫码开始
  ok=0
  while(ok=1);#扫码, 当扫到二维码并发送给stm32后跳出循环
  {
    #clock.tick()
    img = sensor.snapshot()
    #img.lens_corr(1.8)# strength of 1.8 is good for the 2.8mm lens.
    for code in img.find_qrcodes():
      img.draw_rectangle(code.rect(), color=(255, 0, 0))
      time.sleep_ms(300)
      uart.write("1")
      uart.write(code.payload())
      ok=1
  }
  led1.off()#扫码完成
}

```

图 10 二维码识别程序

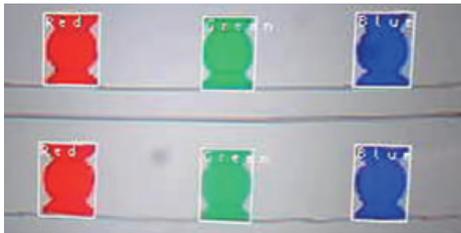


图 11 OpenMV 摄像头识别物料颜色

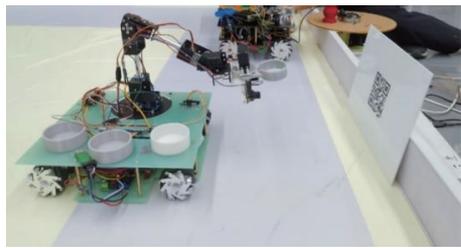


图 12 识别二维码

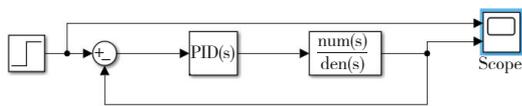


图 13 Simulink 模型搭建

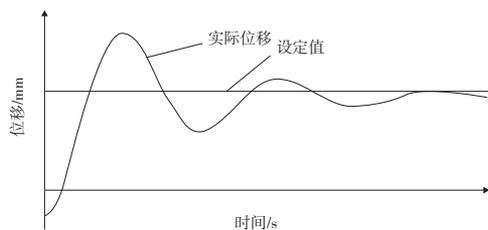


图 14 系统动态响应曲线

从图 14 系统动态响应曲线可以看出,位置式 PID 控制系统的实际位移较为接近设定值,波动更平稳,能保持小车位移在一定的范围内,表现出较好的控制效果。

5 结语

本文设计了一种基于 STM32F103RCT6 的智能物流小车,实现了颜色识别、二维码扫描、物料抓取与放置、PID 控制等功能。为能提高机器人在物流系统中的适应性,可以根据实际生产需要,对机械爪的结构进行更换,实现搬运不同形状、不同质量的货物,让工人从重复、繁琐的劳动中解放出来,实现生产自动化。智能物流搬运机器人的出现,对于保障人身安全,提高物流效率,降低生产成本都具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 郑才国,江剑. 基于 STM32 单片机智能小车设计[J]. 工业控制计算机,2021,34(9):143-144,146.
- [2] 刘耀辉,胡敬芳,宋钰,等. 基于 STM32 的水质重金属监测系统的设计[J]. 制造业自动化,2023,45(7):15-21,30.
- [3] 刘俊秘,李梦阳,高晨浩,等. 基于 Arduino 与机器视觉的智能物流搬运小车[J]. 电子制作,2022,30(19):31-34.
- [4] 齐昌春,王泓鉴,占柠,等. 基于 Arduino 的智能辅助引导系统设计[J]. 物联网技术,2024,14(5):81-83,88.
- [5] 李玲. 智能交互系统的设计与实现:基于人脸识别与语音识别技术[J]. 计算机科学与应用,2024(6):81-93.
- [6] 苗彭. 基于视觉的机械臂工件抓取系统研究[D]. 天津:天津理工大学,2019.
- [7] 王霄琳. 麦克纳姆轮智能小车机械手臂设计[J]. 设备管理与维修,2023(6):105-106.
- [8] 游志宇. 基于嵌入式机器视觉控制系统的研究[D]. 成都:西华大学,2009.
- [9] 蒙庆华,林成钦,樊东鑫. 机器视觉原理与应用研究[J]. 自动化应用,2020(4):80-82.
- [10] 王悦辰,王纪章,茆寒,等. 基于 DDPG 改进 PID 算法的堆肥翻堆作业反馈控制[J]. 中国农机化学报,2024,45(6):184-190,200.
- [11] 吴锦华,方强龙,万家山,等. 基于 PID 算法的智能无人搬运装置的研制[J]. 机器人技术与应用,2024(3):41-45.
- [12] 祖一康,徐妙婧. 基于单片机和 PID 算法的温度智能控制系统设计[J]. 现代电子技术,2024,47(8):83-89.
- [13] 吴岳峰,张海若,白雪松,等. 智能物流搬运小车[J]. 电子测试,2022(21):105-107.
- [14] 杨沙沙,黄艳,王莹. 基于 OpenMV 的图标定位与跟踪系统[J]. 自动化与仪表,2025,40(3):122-127.
- [15] 南庆霞,江城城,郑红,等. 一种仓储分拣货物智能小车的设计[J]. 现代农机,2021(4):60-61.

收稿日期:2024-11-20