

基于 STM32 分拣搬运机器人控制系统的设计

吕书信¹ 张北伟¹ 王泽澄²

(1. 辽宁石油化工大学信息与控制工程学院 抚顺 113001; 2. 天津南开中学理科实验班 天津 300100)

摘要:为提高当今社会工业自动化水平,设计了基于 STM32F407 的分拣搬运机器人,通过 TCS3200 颜色识别传感器来识别 5 种颜色,实现分拣功能。通过舵机控制的机械爪来搬运货物,实现货物搬运功能。根据光电检测法寻迹来识别路径,保证能准确将货物送到目的地。以编码器的输出作为反馈量,加入经典 PID 算法来提高机器人稳定性。采用 nRF24L01 无线通信模块来实现和上位机的实时通信,从而实时获得机器人的运行状态。经实验验证,控制系统可以稳定运行,机器人能按预定轨迹搬运货物。

关键词: PID; TCS3200; nRF24L01; STM32F407; 分拣搬运机器人

中图分类号: TN081 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 120.1030

Sorting handling robot control system design baset on STM32

Lv Shuxin¹ Zhang Beiwei¹ Wang Zecheng²

(1. Liaoningh Shihua University, Fushun 113001, China; 2. Tianjin Nankai High School, Tianjin 300100, China)

Abstract: To improve the level of industrial automation in today's society, a sorting handing robot was designed based on STM32F407. To identify the five colors, TCS3200 color recognition sensor was used. Cargo handing functions was achieved through servo-controlled mechanical claw. In order to carry cargos to exact destination, photo electric detection tracing method was used to identify the path. This paper using the output of encoder as feedback, and classic PID algorithms to improve the stability of the robot speed. nRF24L01 wireless communication black was used to achieve the real-time connecting to PC and the real-time operation state of the robot was obtained. The experiments prove that the control system can be stable operation, robot handling of goods according to a predetermined trajectory.

Keywords: PID; TCS3200; nRF24L01; STM32F407; sorting handling robot

1 引言

工业机器人的研究应用是从国外兴起的,由 KUKA 研制的 KR 1000 1300 TITAN PA 机器人是世界上负载最大的 6 轴搬运机器人,它具有 1 300 kg 的负荷能力。具有结构简单、负载大等优点。我国的机器人技术自 20 世纪 80 年代初起步,自主研发的搬运机器人主要是直角坐标式以及关节式,从最初的小载荷发展到现阶段的大载荷搬运机器人。但是这些搬运机器人向着高负荷方向发展,并没有注意到机器人的灵活性。

随着现在物流行业的发展,一种灵活、快速的分拣搬运机器人应运而生。它是一种基于可编程控制器操作原理,以独立可控的智能芯片为依托的一种先进工业控制系统^[1]。它可以自动选择产品并实现自主搬运,通过无线通

信功能,使各环节之间紧密联系,从而达到工业控制系统的稳定性、快速性、准确性的指标^[2]。

2 控制系统的硬件结构设计

根据系统功能和技术指标要求,确定硬件总体结构,如图 1 所示。

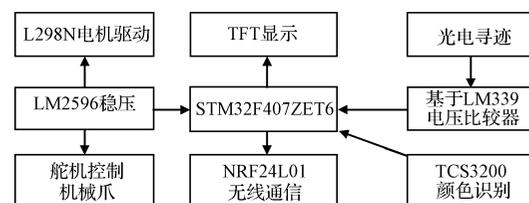


图 1 硬件总体结构

该系统采用了以 Cortex™-M4 为内核的 STM32F4 系列高性能微控制器,168 MHz 的高速性能,单周期 DSP 指令和 FPU 运算使得数字信号控制器应用和开发达到了新的水平。

1)LM2596 具有 3 A 电流输出降压开关型集成稳压芯片,它具有自我保护、限制电流、热关断电路等。利用该芯片可组成稳定的降压电路。

2)nRF24L01 是工作在 2.4~2.5 GHz 频段的无线收发器芯片,频道和协议的选择可通过 SPI 通信接口进行设置,并能与大部分单片机进行通信,同时完成无线数据接收和传送工作。

3)TCS3200 是一个兼容数字接口的彩色传感器,在单一芯片上集成了 64 个光电二极管,分别对红绿蓝 3 色进行滤波。不再需要 A/D 转换电路,使电路变得更简单。

4)LM339 电压比较器芯片内部集成了 4 个独立的电压比较器,电压失调小,一般是 2 mV;共模范围非常大,为 0 V 到电源电压。输入电压的范围较大,可以等于工作电压;输出端的电位就被转换成 TTL 电平,可同单片机进行通信。

5)L298N 内部集成两个 H 桥作为双通道电机驱动,其中每个桥最大可以通过的电流为 2 A,可实现电机正反转调速,启动性能好,启动转矩大,工作电压可达到 36 V、4 A,可同时驱动两台直流电机。逻辑部分 5 V 供电,接收 TTL 电平。可以单片机直接进行通信。

3 算法设计及实现

3.1 寻迹检测法

机器人的循迹系统即机器人路径识别,它将路径的真实信息实时的传送给主控制器,由主控制器做出相对应的动作。循迹方案的好坏,直接关系到机器人的最终性能^[3]。光电寻迹采用光的反射原理,当激光照在白色路面上时,激光会被反射回来,由 3DU50 接收并转换为电平信号,当激光照射在黑色路面上激光会被吸收无法反射。传感器无法接收到信号,转换为另一种电平信号^[4]。

偏移量如图 2 所示,根据光电寻迹信息分别进行不同的调节。使用 6 路光电传感器来判断偏移情况,当机器人在沿黑线直路行驶时,给两个电机相同的 PWM 波,当光

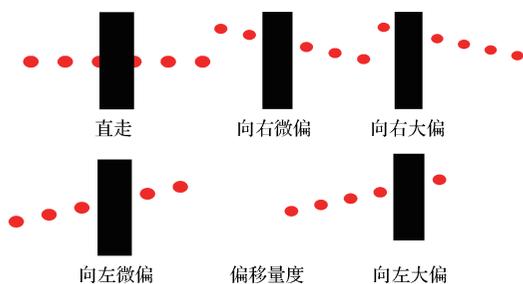


图 2 偏移量调节

电传感器检测到微偏时则应该在相应的一侧增加 PWM 波的占空比,使电机加速转动以调整机器人运动状态,当检测到机器人发生较大的偏移量时则应相对增加更大的占空比让机器人恢复直行状态。通过调节 PWM 占空比来调整机器人的状态,使机器人沿直线循迹。

3.2 TCS3200 颜色识别算法

TCS3200 颜色识别传感器采用 SOIC 的贴片式封装,在单一的芯片上集成了 64 个光电二极管,用来对三基色进行滤波。其中 16 为红色滤波器,16 个为绿色滤波器,16 个为蓝色滤波器。由于受到环境光线的影响。在进行颜色采集的前会对颜色传感器进行遮光处理。由其自身的 LED 进行补光。从而保证颜色识别过程中不会受到外界光线的影响。

由三原色感应原理可知,如果知道某种颜色的三原色值,就能够计算出所测物体的颜色^[5]。当利用颜色传感器进行颜色识别时,首先设置选择其中一个颜色滤波器,则该颜色传感器将会阻止另外两种颜色通过,只允许此颜色通过。例如:16 个红色滤波器被选中时,入射光中的红色可以通过红色滤波器,蓝色和绿色则无法通过相应的颜色滤波器,通过 STM32 进行数据处理就可计算出红色因子;同理,选择相应的绿色和蓝色滤波器,就可以得到绿色因子和蓝色因子。通过这 3 个值,由单片机进行阈值比较判断,就可以得到所测物体的颜色。从理论上讲,白色是由相同的红、蓝和绿组合成的;实际生活中,白色并不是由等量的红绿蓝三原色组成的,同时对于 TCS3200 颜色识别传感器来说,由于硬件上的误差,颜色传感器对这 RGB 三基本色的灵敏度是不一样的,导致颜色传感器输出的 RGB 比例并不相同,因此必须进行白平衡调整来获取 RGB 的基值^[6]。TCS3200 颜色识别程序流程如图 3 所示。

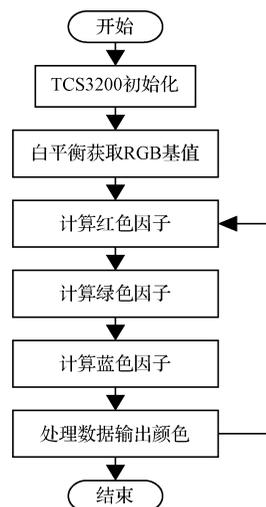


图 3 TCS3200 程序流程

3.3 基于 L298N 的电机 PID 控制算法

在机器人搬运过程中,由于负载的不同、电压的不稳定性,以及电机本身制造工艺等问题,不同的电机会出现不同的转速,为保证机器人能够正常运行匀速运行。需要用到经典的 PID 控制算法来控制电机,以确保电机能够正常匀速运行^[7]。

利用控制器的定时器做一个以 10 ms 为周期的定时器,每隔 10 ms 检测一下机器人的运行状态,即编码器的返回值可作为反馈量,从而实现 PID 调节功能。在 PID 控制过程中,通过测量值与给定值比较,计算出偏差 $e(t)$,并根据偏差情况,计算出控制作用 $u(t)$ 。连续类型 PID 控制方程式为:

$$u(t) = K_p[e(t) + \int e(t) \frac{dt}{T_i} + T_D \frac{de(t)}{dt}] \quad (1)$$

式中: $u(t)$ 为 PID 控制器的输出; $e(t)$ 为 PID 控制器的偏差输入; K_p 为控制器的比例增益; t 为采样时间; T_i 为控制器的积分时间常数; T_D 为控制器的微分时间常数。PID 调节如图 4 所示。

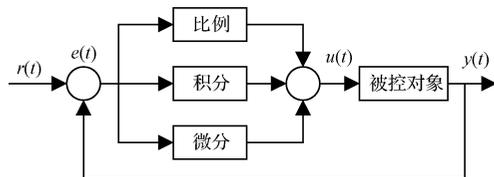


图 4 PID 调节示意

离散 PID 包括 3 种算法:位置算法、增量算法、速度算法。根据机器人运动的实际情况本文采用的是增量式算法。增量算法为相邻两采样时刻所计算的位置之差^[8]。将式(1)离散化得到式(2),PID 控制输出为:

$$u(n) = K_p e(n) + K_i \sum_{j=0}^n e(j) + K_d [e(n) - e(n-1)] \quad (2)$$

式中: $e(n) = r(n) - y(n)$, $e(n-1) = e_0 - y(n-1)$, $e(n)$ 为偏差值, $r(n)$ 为给定值, $y(n)$ 为测量值。 K_p 为比例系数, K_i 为积分系数, K_d 为微分系数。 T 为采样周期。

从系统的稳定性、响应速度、超调量和稳态精度等方面来考虑 K_p 、 K_i 、 K_d 与系统时间域性能指标之间的关系如表 1 所示。

表 1 k_p 、 k_i 、 k_d 系统时间域性能指标的关系

参数名称	上升时间	超调量	过渡过程时间	静态误差
k_p 增大	减小	增大	微小变化	减小
k_i 增大	减小	减小	增大	减小
k_d 增大	微小变化	减小	减小	微小变化

PID 程序流程如图 5 所示。

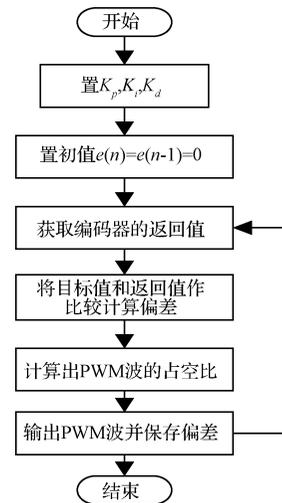


图 5 PID 程序流程

3.4 基于 nRF24L01 的无线传输算法及实现

对于目前相对成熟的短距离无线网络通信, nRF24L01 无线传输模块开发周期短、成本低廉,其具有 125 个通道可选择,可以通过 USART 来传送数据,数据传输的速度可以达到 2 Mb/s;具有自动应答和再发射功能^[9]。

发送端 STM32F407 完成初始化后,把 nRF24L01 激活成发送模式。当 STM32 主控接收到数据后,立即启动无线传输进行数据的发送。若数据发送成功,则再次进入发送模式进行发送,否则进行错误诊断并调整处理。接收端初始化后, nRF24L01 进入 PRX 工作模式。进行数据校验,接收数据正确时, nRF24L01 的中断标志位将被开启,主控器将从 nRF24L01 读取数据并作出相应处理^[10]。如图 6 所示给出了程序流程。

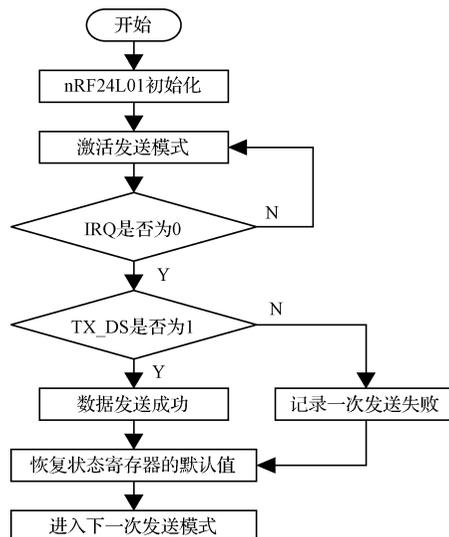


图 6 nRF24L01 程序流程

4 实验结果及分析

在进行白平衡调节时,使用 TCS3200 对白色进行颜色识别,通过 TFT 液晶显示 TCS3200 的 R,G,B 采样数值,通过判断 R,G,B 所在的阈值来确定所测物体的颜色。同时根据 R,G,B 颜色基值的变化幅度可以判断颜色识别稳定性。反馈回的 RGB 数值如表 2 所示。

表 2 反馈回的 RGB 数值

次数	类别		
	R	G	B
1	235	220	210
2	231	216	210
3	234	221	213

根据反馈回的 RGB 数值,和自己设定的阈值相比较,来对比出所测物体的颜色。有实验数据可以得出 RGB 数值波动不大,经验证颜色识别精度可达 95% 以上,方案可行。

利用 MATLAB 对 PID 参数进行仿真,来测试 PID 控制电机运行的稳定性。PID 参数整定,如图 7 所示。主控器每 10 ms 对电机的编码器进行采样作为反馈,左右电机编码器的给定值为 40,即速度为 40,方案 1 的 P 参数过小,而且 I 参数过大,导致调节速度缓慢,方案 3 的 P 参数过大,很容易导致系统震荡,经整定最终选择 2 号方案。经实验验证,搬运机器人运行状态稳定,达到预期效果,具有一定的参考价值。

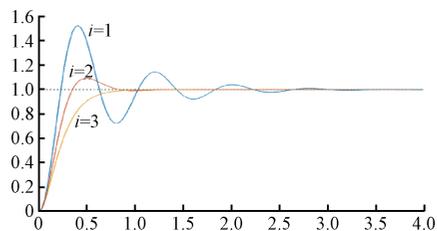


图 7 PID 参数整定

5 结论

本文设计的光电分拣搬运机器人以 STM32F407 作为主控器,集成了基于 PID 控制算法的 L298N 电机驱动、光电寻迹,LM339 电压比较电路,TCS3200 颜色识别,nRF24L01 无线通信等模块。通过相应的程序控制,从而实现了机器人的分拣搬运功能。

以 STM32F407 为核心控制器快速处理速度和运行

稳定性,可以防止出现死机,程序紊乱等现象。寻迹模块使用了工业级别的红色激光头,对环境光线变化强弱的不敏感,环境适应性好。PID 控制算法的使用可以实现电机的稳定运行。TCS3200 颜色识别传感器可以实现分拣功能。nRF24L01 可以实时与主机进行通信,实时获得机器人的运行状态。

参考文献

- [1] ELMASRYA G, CUBEROB S, MOLTB E, et al. In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 112(2): 60-68.
- [2] 赵彬, 高宏力. 搬运机器人控制系统设计[J]. 机械设计与制造, 2014(12): 183-186.
- [3] 高月华. 基于红外光电传感器的智能车自动寻迹系统设计[J]. 光电技术应用, 2009, 30(1): 134-137.
- [4] 葛鹏飞, 郑建立, 柳翔飞. 基于光电传感器的智能车寻迹方法研究[J]. 国外电子测量技术, 2007, 26(8): 40-42.
- [5] 潘海鸿, 陈琳. 基于 TCS320 传感器的高精度颜色识别系统设计[J]. 微计算机信息, 2009, 25(16): 159-161.
- [6] 孙航, 韩红霞, 曹立华, 等. 大型光电经纬仪速度环 PID 参数模糊自整定研究[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(10): 2388-2394.
- [7] 林文建, 钟杭, 黎福海, 等. 两轮自平衡机器人控制系统设计与实现[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(8): 750-759.
- [8] 张文君, 盛维涛, 袁宇鹏, 等. 智能轮式机器人离散模糊自适应 PID 控制研究[J]. 制造业自动化, 2015(8): 5-8.
- [9] 李辉, 宋诗, 周建江. 基于 ARM 和 nRF24L01 的无线数据传输系统[J]. 电子设计工程, 2008, 16(12): 44-46.
- [10] 丁永红, 孙云强. 基于 nRF2401 的无线数传系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2008, 27(4): 45-47.

作者简介

张北伟, 1984 年 1 月出生, 工学博士, 主要研究方向为图像处理与识别、检测技术等。

E-mail: xiamilpiggy@126.com

吕书信, 1995 年 1 月出生, 学士, 主要研究方向为电气工程及其自动化、仪器与测试技术等。

E-mail: 1844594886@qq.com