

全方位移动的全向轮,简称麦轮。主要由轮毂和围绕轮毂的辇子组成。其中辇子是一种没有动力的小滚子,各个小滚子的包络线为圆柱面,所以该轮能够连续地向前和左右滚动。麦克纳姆轮除了价格昂贵、速度慢、寿命不长(相对于普通车轮而言),其全方向移动功能特别适合机器人的工作环境^[1]。SolidWorks 软件设计的麦轮三维模型和实物如图 2 所示。



图 2 麦轮三维模型与实物

Fig. 2 Three dimensional model of Mecanum wheel and real object

底盘设计采用易加工的有机玻璃(亚克力板)作为底盘材料,其厚度为 5.0mm。电机安放采用长方形交错布置,和正方形交错布置相比底盘宽度减小约 20%,整体结构小巧,底盘中间位置预留安放外加悬挂,提高了底盘利用率,其三维模型设计如图 3 所示。

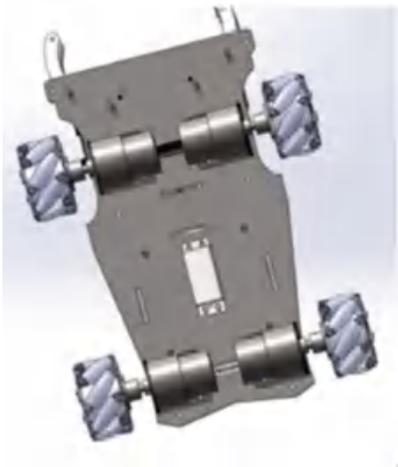


图 3 长方形竖式布置模型

Fig. 3 Rectangular vertical layout model

2.2 机械手设计

机械手一般由机械臂和机械爪组成,通过舵机提供抓力和完成伸展。其中机械爪采用 V 型 3 层齿状机械爪,用有机玻璃加工,加工图纸和三维模型如图 4 所示。V 型齿状机械爪因其齿状开口,可轻松抓取圆柱、长方体、球体等物料。

机械臂设计主要由舵机和铝架构成,共有 5 个自由度,分别为底部回转、大臂俯仰、中臂俯仰、小臂

俯仰和腕部回转。最终设计结构如图 5 所示。



图 4 加工图纸与三维模型

Fig. 4 Machining drawing and 3D model



图 5 机械臂三维模型

Fig. 5 3D model of the robotic arm

3 电路设计

四驱智能搬运小车电路设计主要包括主控电路、主控功能转载电路和电机驱动电路,各个电路通过硬件信号接口连接,共同组成智能搬运车硬件电路控制部分。

3.1 主控电路

主控电路是智能搬运小车算法处理及控制的核心,考虑到该小车需采集多个传感器的信息,需要多个接口(串口、IIC 接口、IO 口)与主控部分进行信息传递,本设计选用中低端 32 位 ARM 微控制器 STM32F103ZET6 芯片作为 CPU。

主控电路主要由晶振电路、J-Link 下载电路、按键复位电路、USB 供电电路和 5 V-3.3 V 降压电路组成;主控电路主要完成对信号的采集和处理,实现小车的最终控制。

3.2 电机驱动电路

电机驱动电路是小车机动性的保障,恒流、恒压输出的驱动电路可以使得小车在程序的配合下,其 PWM 占空比和车速具有线性输出关系,提高车子稳定性。在智能搬运小车设计中,选用 12V 直流编码电机,为提高电机输出功率,需要设计较大电流的驱动电路,因此选用大功率驱动芯片 BTS7970,该芯片具有半桥特性,带有一个 P 沟道的高边 MOSFET、一个 N 沟道的低边 MOSFET 和一个驱动 IC,可以结合其他的 BTS7970 形成全桥和三相驱动结构。运用

双 BTS7970 全桥(H 桥)驱动电路,可以实现电机的正传、反转,并且可以较大电流输入,具有强劲的驱动和刹车效果。图 6 为双 BTS7970 全桥驱动电路原理图。

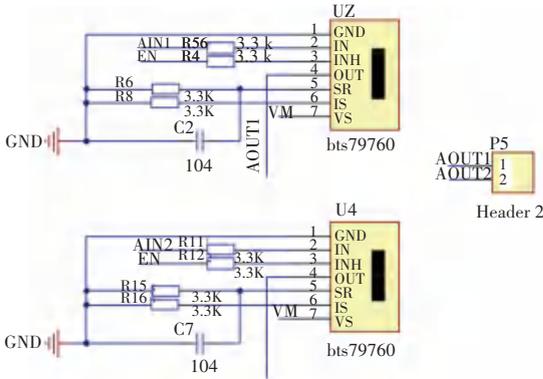


图 6 BTS7970 全桥原理图

Fig. 6 BTS7970 full bridge schematic diagram

考虑到小车在行驶过程中消耗一定的电量,使得驱动电路输入电压不恒定,导致小车运动前后其 PWM 对应电压减小,车速和 PWM 占空比呈非线性关系,增加程序设计复杂度,故设计基于芯片 XL6019 的稳压电路,使得电池电压变化的情况下驱动输入电压趋于恒定。XL6019 是一款专为升压、升降压设计的单片集成电路,可工作在 DC5V ~ 40 V 输入电压范围,内部有功率 MOS,具有低纹波特性,其输出电压 $V_{out} = 1.25 \times (1 + R1/R2)$ 。原理图如图 7 所示。

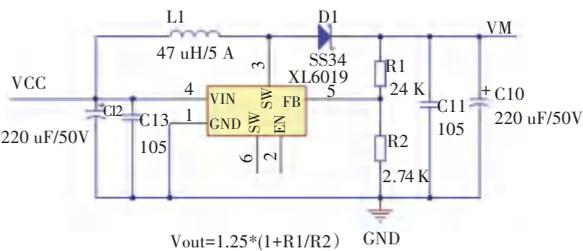


图 7 驱动稳压电路

Fig. 7 Drive voltage regulator circuit

在整体驱动电路中,另行设计了相位缓冲电路和 BTS7970 使能端机械开关电路。相位缓冲电路采用芯片 SN74LS244DW,目的是将 PWM 波在电路中不同的传输时间统一化,减小每个电机相位差异,提高小车稳定性;采用 BTS7970 使能端机械开关电路,取代以往设计中驱动电源开关电路,其优点在于以较小电压(5 V)控制电机运转,避免 12 V 驱动电源开关在关断瞬间对电路和芯片造成的危害。信号缓冲和使能端控制电路原理图如图 8 所示。

4 程序设计

智能搬运车程序部分主要由电机 PI 控制、传感

器信息识别采集、路径规划和机械手控制组成,通过 Keil5 软件开发系统使用 C 语言完成编写,OpenMv 摄像头识别部分使用 python 语言。小车整体运行过程框图如图 9 所示。

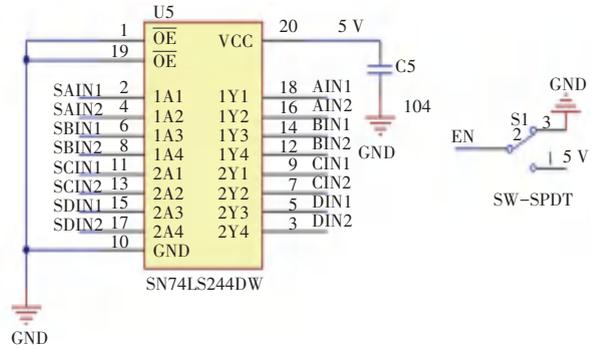


图 8 信号缓冲和使能端控制电路

Fig. 8 Signal buffer and enable control circuit

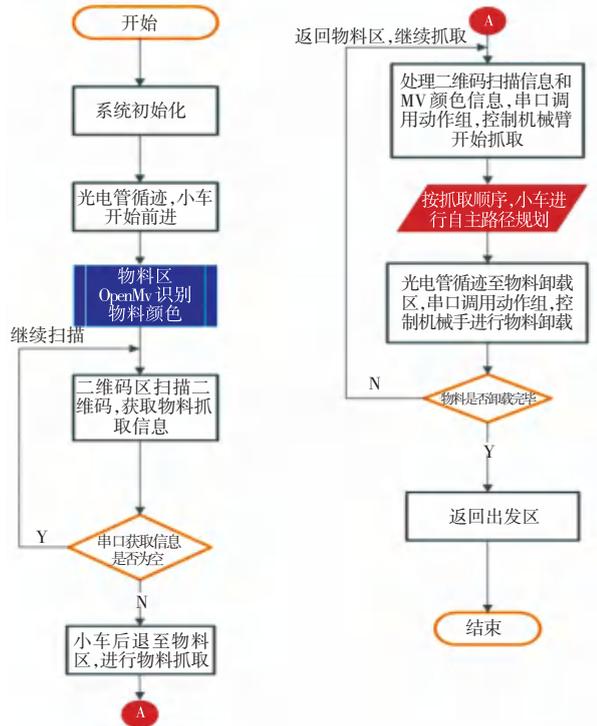


图 9 整体运行框图

Fig. 9 Overall operation block diagram

其中,程序初始化部分分别有:

- # USART2:接收二维码模块数据
- # USART3:接收 OpenMv 颜色识别数据
- # USART4:接收前排光电管循迹数据
- # USART5:调用动作组控制机械臂运作
- # TIM6:产生 10ms 定时中断,进行主要电机控制
- # TIM2、3、4、5:PWM 捕获 4 个电机编码器值
- # TIM8:4 个通道产生 4 路 PWM 驱动电机

IO口:数字灰度循迹传感器初始化

4.1 传感器信息识别采集

本次设计中小车通过 OPenMv 摄像头识别物块颜色,使用二维码模块扫描二维码获取物块抓取顺序。

OPenMv 摄像头是一款具有图像处理功能的单片机模块,可以通过高级语言 python 脚本编写代码。本次程序设计主要运用 OpenMV 摄像头 Color Tracking 颜色追踪功能,该功能可以使 OpenMV 在图像中一次检测多达 16 种颜色,并且每种颜色都可以有任意数量的不同的斑点^[2]。

4.2 电机 PID 控制程序

控制是智能车程序设计的核心,其中电机控制更是智能车完成各种功能的前提,搬运小车采用的 PI(比例积分)控制器是速度控制最常使用的控制器。P 部分为比例环节,可以成比例反映偏差信号,以减少偏差;I 部分为积分环节,可以消除系统静差,且积分时间越长,积分效果越弱。PI(比例积分)控制器,是一种线性控制器,根据给定值与实际输出值构成控制偏差,将偏差的比例(P)和积分(I)通过线性组合构成控制量,对被控对象进行控制^[3]。

通过光电编码器获取 Encoder_A、Encoder_B、Encoder_C、Encoder_D 编码值及当前时刻的小车实际 PWM 值,该实际 PWM 值通过设定目标值 Target_(A、B、C、D) 进行比较,得到偏差 Error 后,将其送入 PI 控制器,从而使用 PI 算法控制电机。PI 控制算法子程序框图如图 10 所示。



图 10 PI 控制算法子程序框图

Fig. 10 PI control algorithm subroutine block diagram

4.3 自主路径规划

自主路径规划是小车从开始搬运物料至物料重新摆过程中设计的,主要通过二维码识别的物料抓取顺序信息和 OpenMv 识别的物料颜色信息进行路径规划,依赖于光电管传感器进行小车路径定位和运动。自主路径规划部分子程序框图如图 11 所示。

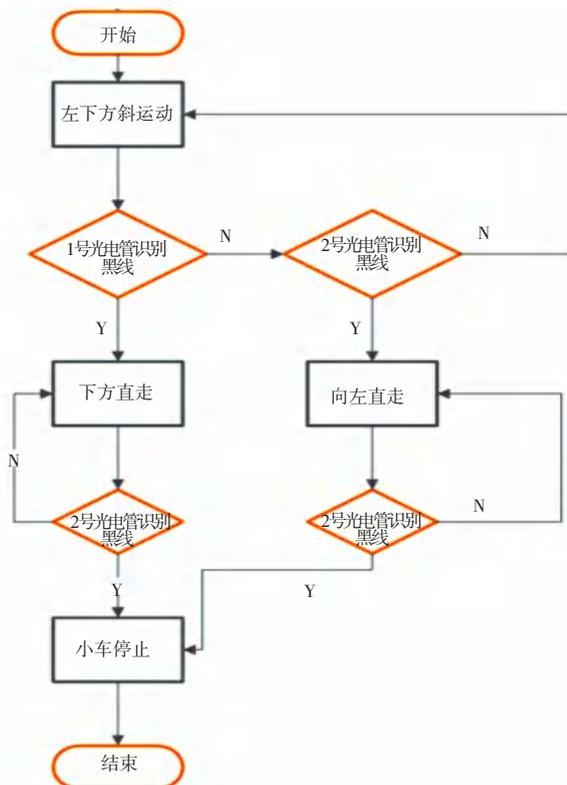


图 11 自主路径规划部分子程序框图

Fig. 11 Part of the subroutine block diagram of autonomous path planning

5 结束语

智能搬运车从设计到施行再到实物验证,整个设计过程涉及多个学科知识,通过起初的功能设想、确定需要的处理芯片 STM32F103 和传感器,经过 SolidWorks 软件设计机械结构和 AD 软件设计 PCB 板,再到 Keil5 上位机进行代码编写,最后测试小车成功;测试结果表明:智能搬运小车能初步完成各项功能测试,包括颜色识别、路径判断、二维码扫描和机械手抓取、搬运,具有一定的实际应用能力。

参考文献

- [1] 胡鹏. 全向行驶轮式机器人系统设计与开发[D]. 南京:南京理工大学,2008.
- [2] 星瞳科技. Openmv 嵌入式图像处理. <http://book.openmv.cc>. 2019.
- [3] 王伟,张晶涛,柴天佑. PID 参数先进整定方法综述[J]. 自动化报,2000(3):347-355.