

基于 ESP8266 的有刷直流电机控制

陈旭 杨舒扬

广州科技职业技术大学

DOI:10.12238/acair.v2i3.8653

[摘要] 针对小型无人移动平台的无线控制问题,为了简化其结构、降低其成本、优化其控制,本文提出了一种基于ESP8266主控单元的NOS、SDK有刷直流电机控制方案。测试结果表明,根据该方案设计的小型无人移动平台控制系统模型能实现对速度与位移的有效控制,并且该系统模型能通过WIFI接受PC的控制。

[关键词] ESP8266; 控制系统; 直流电机

中图分类号: TM3 **文献标识码:** A

Brush DC motor control based on ESP8266

Xu Chen Shuyang Yang

Guangzhou Vocational and Technical University of Science and Technology

[Abstract] In order to simplify the structure, reduce the cost, and optimize the control of wireless control for small unmanned mobile platforms, this paper proposes a control scheme for brush DC motors based on NOS and SDK of ESP8266 main control unit. The test results show that the small unmanned mobile platform control system model designed according to this scheme can effectively control speed and displacement, and the system model can accept PC control through WIFI.

[Key words] ESP8266; Control System; Brush DC Motor

引言

电子与通信技术的发展推动着无线控制应用的普及化,不同低成本的无线通信模块连接着不同的嵌入式设备和网络,其中就包括小型无人移动平台这种应用场景。为优化该类平台的结构、成本以及控制效果,本文提出了一种基于ESP8266主控单元的无操作系统、二次开发的有刷直流电机控制方案。

1 系统的总体方案

本文系统的设计需求包括:对电机位移的测量与控制、对电机速度的测量与控制、能通过WIFI接受PC的控制并向PC传递速度与位移等参数。

为了实现上述目标,本文的控制系统在硬件上设计有包括负责控制与通信的ESP8266主控单元、负责产生PWM控制信号的PCA9685驱动模块、负责控制电机正反转的L298N驱动模块、负责产生动力并提供位移反馈信号的带编码器的JGA25-370电机。在软件上,通过网络接收的回调函数接收并解析WIFI指令、通过发送消息的回调函数返回系统的状态信息、通过硬件定时器组成一个轮询系统用于周期性地执行控制指令、通过非线性PID算法控制电机的速度与位移。

最后,为验证系统功能的有效性,需要对系统的控制指令接收、状态参数发送、电机速度控制、电机位移控制等项目进行

测试。

2 系统的硬件配置

2.1 主控单元ESP8266

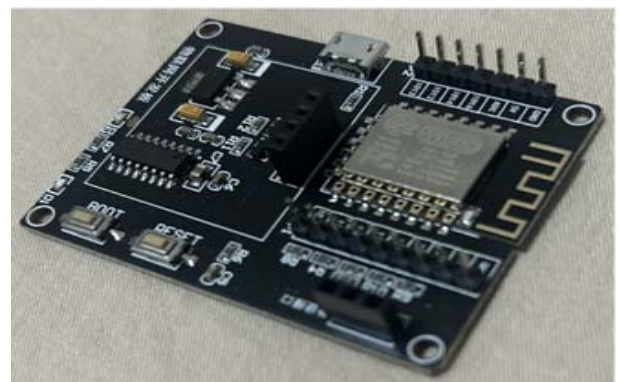


图1 主控单元ESP8266

当需要把嵌入式系统与WIFI连接起来时,通常的方法是以C51或STM32作为主控芯片、以ESP8266作为通信模块,在这类方案中,ESP8266只负责“WIFI传话”。同时,也有的方案是通过对ESP32进行二次开发来实现通信与控制一体化的。然而,前者的系统里相当于用了两个单片机,后者的芯片成本又比ESP8266

高。因此,在本文系统的设计中,参考文献1,采用对ESP8266进行二次开发的方案^[1]。并且,为节省芯片的算力、提高芯片的运行效率,系统的开发会是基于无操作系统的开发。如图1所示为ESP8266的实物展示。

2.2 驱动模块PCA9685

当电机等用电设备接入额定电压时,将达到额定功率。然而,对于很多应用场景而言,设备并不总是需要满功率运行,而是需要功率可调地运转。所以,一些低端的应用采用串联电阻的方式来调节功率。但电阻本身也是要消耗电能的,这不但降低了系统的能效,还加重了系统散热的压力。因此,调节功率更好的做法是斩波调压。这是一种使开关在完全导通与完全关闭之间快速切换、调整开关周期内的导通时间占全开关周期的比例(即占空比)从而调节系统等效电压的方法。对于线性系统而言,其等效电压与占空比成正比,如公式(1)所示。

$$U_o = U_i \cdot D \quad (1)$$

式中, U_o 为调节(降压)后的等效电压, U_i 为调节前电源的电压, D 为占空比。其中,通过固定导通时间、调节开关周期从而调整占空比的控制方式称为PFM(脉冲频率调制),通过固定开关周期、调节导通时间去改变占空比的控制方式称为PWM(脉冲宽度调制)。一般而言,前者的控制逻辑更容易用底层逻辑实现,多用于中低端的电源控制芯片。而后的控制逻辑更容易在通用芯片上实现,并且输出的电能更稳定,因此多用于单片机编程。

通常地,单片机系统产生PWM波形的方式有两种。一种是常用于C51系列的软件PWM,它通过在定时器中断服务函数中进行计数、调节周期内输出高电平的中断数占所有中断数的比例,进而实现调节占空比的目的。另一种则是以STM32为典型的硬件PWM,但这通常存在于相对较高配置的单片机中且在一个单片机中硬件PWM端口的数量有限。



图2 驱动模块PCA9685

ESP8266在控制电机的同时还要接收WIFI信号,其算力资源有限,同时其GPIO端口也是有限的。因此,在本文的系统里,PWM信号由PCA9685模块发出。这是一种能让ESP8266等单片机通过IIC通信设定PWM的频率与占空比的模块。它只需占用ESP8266

的两个GPIO端口(分别用作IIC的时钟线SCL与数据线SDA),但却可以输出16路PWM信号。显然,PCA9685模块的使用可同时节省ESP8266的算力和它的GPIO端口。如图2所示为PCA9685的实物展示。

2.3 驱动模块L298N

要实现有刷直流电机的正反转切换,需要用到单相逆变电路,其电路结构如图3所示。

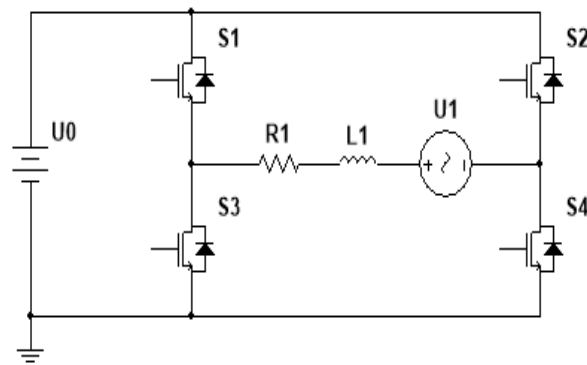


图3 单相逆变电路

其中, U_0 代表系统的直流电源输入, S_1 - S_4 代表电路的4个全控型开关,反接在这4个全控型开关上的二极管起续流作用, R_1 、 L_1 和 U_1 分别代表电机内部的电阻、电感与反电动势。当 S_1 与 S_4 导通而 S_2 与 S_3 关断时,电机的电流从左向右流^[2]。反之,电机的电流从右向左流。在弱电领域,全控型开关可选三极管或场效应管。其中,场效应管具有更高的开关频率与更低的通态损耗,而三极管则在成本上更具优势。

为了简化电路的焊接,在系统的设计中使用电机驱动模块L298N去控制电机的正反转。该模块的原理参考了单相逆变电路,它的逻辑门和电力半导体开关都由三极管构成,兼顾了成本与可靠性。该模块有两对输入端口,给一对端口的一个输入端口输入低电平,另一个端口输入PWM信号,则电机向一个方向转。反之,调转低电平与PWM的输入则会令电机转向另一个方向。此外,该模块还自带续流二极管,无需额外焊接。如图4所示为L298N的实物展示。

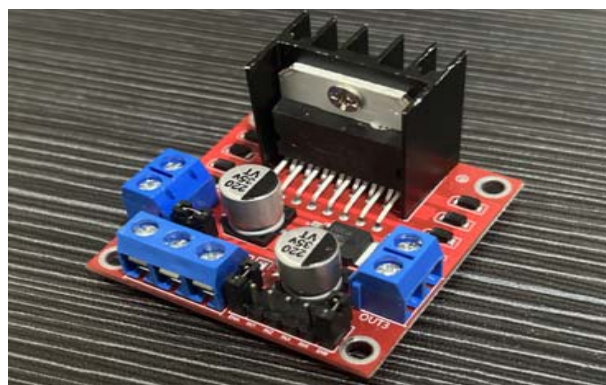


图4 驱动模块L298N

2.4 电机JGA25-370

为了测量电机的位移与速度,为系统的左右各一个车轮配上带编码器的JGA25-370电机。该电机自带两个编码信号端口,采用增量式编码的方式进行位移反馈。为了节约成本,另外两个车轮则选用普通的不带编码器的电机。

3 系统的软件设计

3.1 硬件定时器中断

普通的单片机经常在主函数的开头初始化各种软硬件配置,然后通过永真循环构成的轮询系统来执行各种需要长期执行的任务,而定时器中断和外部中断则用于执行需要快速响应的任务。但是对于ESP8266而言,永真循环会影响WIFI指令的接收。因此,本文在系统中使用硬件定时器中断来同时执行在其它单片机中主函数永真循环、定时器中断和外部中断中执行的任务。

此时,硬件定时器中断的周期也等于传感器信号采样的周期,系统会在每次定时器中断中读取编码器的信号,从而刷新位移变量的值。然而,过长的采样周期会影响测量高速运动中的位移的准确性。相反地,过短的采样周期就意味着过于频繁的定时器中断,这不利于WIFI通信的稳定。经过测试,把采样周期定在4ms,这样能在位移测量与WIFI通信之间取得平衡。

3.2 编码器信号的处理

在本文的设计中系统所使用的电机编码方案是增量式编码方案,每对信号线的高低电平的组合共有4种,如图5所示。

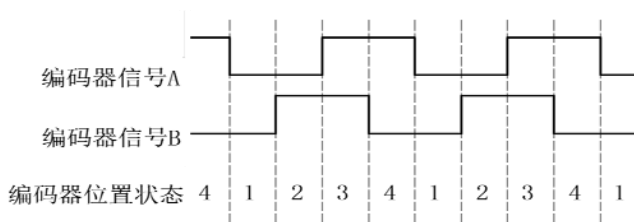


图5 编码器状态

若电机处于信号A、B都为低电平的状态1,且它的前一个状态是信号A高、信号B低的状态4的话,则说明电机在上一个采样时间到现采样时间之间前进了1个分辨率的距离。反之,若上一个状态是信号A低、信号B高的状态2的话,则说明电机在采样间隔时间内后退了1个分辨率的距离,以此类推。

然而,即使不考虑WIFI信号的接收而提高采样频率或使用外部中断,电机在运行时也会偶尔出现跨状态跳变的情况,例如从状态1不经过状态2或状态4而直接切换到状态3。导致这种现象的原因可能有采样频率不够高、信号传输不稳定、脉冲宽度的误差、脉冲相位的偏移等。为减少这种现象对检测精度的影响,在设计中,利用系统的惯性,会在编码器信号正常地进1或者退1时标记好电机的方向,当测量到编码器的位置状态跳变时,则根据电机的方向标记来给位移加2或减2。

对速度的测量则是在固定的定时器中断数下对位移量的统计。

3.3 控制指令的接收

当ESP8266接收到PC通过WIFI传输过来的规定格式的字符串时,会通过一系列的条件语句去识别指令。当特定的几个字符都对得上预设好的指令时,指令的类型就被识别了出来。而系统对数值的提取,则是通过对每个字符减去字符'0',然后将其乘以对应的权重系数后与提取得到的其它不同权重系数的累加来实现。

同理,通过整除与模除的配合,可以提取要发送数据的每一个十进制位,然后加上字符'0'就得到对应的ASCII码而成为对应的字符,将相应的字符拼接在一起就能成为ESP8266要发送给PC的字符串。

3.4 自动控制算法

电机的运行有惯性、采样的频率不能无限、检测信号与控制信号都会有时延。所以,如果要精确地控制电机的速度和位移,就不能简单地使用条件语句去输出幅值固定、只改变方向的控制信号,而是要让幅值和方向都可调节。至于如何调节,这就是自动控制算法所研究的内容。其中,PID控制算法就是最为典型的自动控制算法。它的输入输出关系如公式(2)所示。

$$U_o = K_p \cdot e + K_i \cdot \int_0^t edt + K_d \cdot \frac{de}{dt} \quad (2)$$

式中, U_o 为控制器输出, e 为系统所检测到的误差, K_p 、 K_i 、 K_d 对应比例、积分、微分的参数。比例控制器能根据误差的大小与方向按比例地调节控制信号的幅值与方向,积分控制器通过对误差的积累来找出维持系统最终平衡的值并消除残余误差,微分控制器则总是输出方向与系统运动方向相反的、幅值与运动的快慢成正比的控制信号以此来减弱系统的震荡。

由于受到采样频率、系统时延等因素的限制,PID控制器在实际的使用中也容易出现系统在设定值附近摇摆的情况。因此,在本设计中对PID控制器进行非线性化改造。一般来说,希望参数P与误差的幅值正相关,而参数I与参数D与误差的幅值负相关^[3,4]。但是,在采样频率不能太高的情况下,则需要控制器在终点附近的输出的变化小一些。

按照上述规律,设计出本文的非线性PID控制器。首先,非线性P控制器为一个斜率不同的分段但连续的函数,在误差小的时候采用较小的参数而误差较大时采用较大的参数。非线性D控制器则是在误差较大时的参数小一些而误差较小时的参数大一些。非线性I控制器在误差低于设定的阈值时累加的速度要更慢以减弱系统的抖动。同时,对系统的总输出与累加器(对应积分器)的幅值进行限制。对于I控制器而言,明显超出控制需要的误差积累是不必要的。

4 系统测试

4.1 测量机制的测试

在测量部分的代码写好后,就可以开始测量机制的测试。在每次硬件定时器中断时都由串口打印测出的位移。首先,手动转

动车轮, 观察车轮转动的方向能否与串口显示的数据对应。然后, 以预设应用场景所需的最大电压驱动车轮, 观察车轮稳定旋转时串口显示位移的方向有无相反或时正时反的情况, 若有, 则应考虑加大采样频率或进一步限制输出占空比或更换分辨率更低的编码器。

测好位移后, 在测试对速度的测量时看串口显示速度的快慢与方向能否跟实际车轮的速度对应。

4.2 手动模式的测试

在编写自动控制代码前, 可先测试手动控制的效果。每侧车轮的正反转各对应一项测试项目, 此外也应测试每侧车轮都全速前进时电源的供电是否正常。

4.3 自动模式的测试

自动模式的测试包括速度控制的测试与位置控制的测试。如果在测试中能做到测量值虽然存在振荡但能基本维持在设定值的附近的话, 那就说明参数还需要调整。否则, 需要检查代码的结构是否出错或者控制算法是否有问题。

4.4 信息收发的测试

一是需要测试系统在自动控制时能否正常接收由PC发来的控制指令。二是需要测试当PC发来读取速度、位移等信息的指令时, 这些信息能否从系统发出并由PC成功收到。

5 结论

测试结果表明, 本文设计的小型无人移动平台控制系统模型能实现对速度与位移的有效控制, 并且该系统模型能通过WIFI接受PC的控制。

[基金资助]

2021年广东省教育厅项目“基于云计算的智能工程系统设计与开发”(项目编号: 2021KQNCX146)。

[参考文献]

[1] 张开宇, 高国伟, 毛浩龙. 基于ESP8266的四足爬行机器人设计与实现[J]. 传感器世界, 2020, 26(10): 22-26.

[2] 李鹏. 基于L298N的直流电机调速系统[J]. 电子测试, 2022, 36(21): 37-40.

[3] 马向东. 基于免疫原理的控制器研究与设计[D]. 哈尔滨工程大学, 2009.

[4] 陈旭, 杨振波. 基于非线性PID的列车速度控制[J]. 现代信息科技, 2021, 5(08): 38-41.

作者简介:

陈旭(1992--), 男, 汉族, 广东佛山人, 硕士, 讲师, 研究方向: 电子与电气相关的教学与科研。

杨舒扬(2002--), 男, 汉族, 广东揭阳人, 本科在读, 研究方向: 电气工程及自动化相关方向。