

# 步进电机控制系统设计

吕淑平, 赵斌韬

(哈尔滨工程大学 自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:**以两相混合式步进电机为研究对象,基于 STM32 单片机和 THB6064MQ 细分功率驱动芯片,设计并研制出一套步进电机控制系统。通过按键或语音识别两种方式向系统发出控制指令,改变转向、步距角、运行频率和步数等步进电机运行参数,并通过 OLED 显示屏实时将运行状态可视化。给出总体设计方案,设计了包括最小系统、驱动电路、电源转换电路、按键电路等硬件电路,给出步进电机转速控制、指数型加速曲线、主程序和中断服务程序等软件设计。学生通过该项目可以很好地锻炼综合实践能力,为创新设计打下良好基础。

**关键词:**步进电机; STM32 单片机; 细分驱动

**中图分类号:** TM383.6 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1672-4305.2020.06.024

## Design of stepper motor control system

LÜ Shuping, ZHAO Bintao

(College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract:** Based on STM32 microcontroller and THB6064MQ subdivision power drive chip, a stepper motor control system is designed and developed in this paper with two-phase hybrid stepper motor as the research object. Control commands are sent to the system through keystroke or voice recognition to change the running parameters of the stepper motor, such as steering, step angle, running frequency and step number, and the running state is visualized in real time through the OLED display screen. The overall design scheme is given, the hardware circuit including the minimum system, the drive circuit, the power supply conversion circuit, the key circuit and so on is designed, and the software design including the speed control of the stepper motor, the exponential acceleration curve, the main program and the interrupt service program is completed. Through this project, students can exercise their comprehensive practical ability and lay a foundation for innovative design.

**Key words:** stepper motor; STM32 MCU; subdivided driving

步进电机是一种通过脉冲信号控制角位移的器件,作为一种执行机构被广泛应用于数字控制系统、伺服系统及工业机器人等领域<sup>[1-2]</sup>。本文以两相四线制混合式步进电机为研究对象,设计出一款基于微处理器的步进电机控制系统。系统通过按键和语音识别两种方式向系统发出控制指令,提高了系统

的交互性;通过采用指数型加速曲线,提高了步进电机连续运行频率范围;通过采用细分驱动方式控制步进电机,使系统具有步距角小、运行平稳特点;同时系统在硬件和软件设计上均采用了抗干扰设计,使系统运行更加可靠。

该实践项目结合工程实际,很好地奉行了基于项目、基于案例的教学方法和学习方法,可以较好地促进学生综合实践能力的提升,为学生创新设计打下基础<sup>[3]</sup>。

### 1 系统总体设计

如图 1 所示,步进电机控制系统主要由微处理

收稿日期:2020-06-07 修改日期:2020-06-19

作者简介:吕淑平,博士,教授,实验教学中心主任,主要从事实验室建设与管理工。E-mail:lvshuping@hrbeu.edu.cn

基金项目:哈尔滨工程大学本科教学改革研究项目(项目编号:JG2019B10)。

器模块、步进电机驱动模块、按键输入模块、语音模块及显示屏模块组成。步进电机选取两相混合式步进电机,型号为 57BYG250。

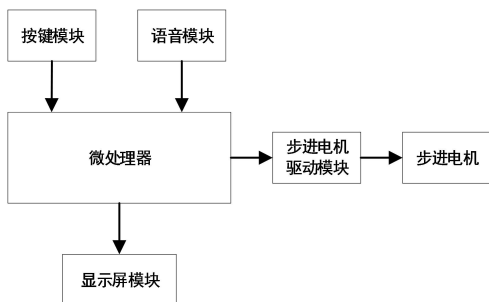


图 1 步进电机控制系统组成

按键和语音输入模块向系统发出启动和停止、加速和减速等控制指令,设置运行步数和运行频率,改变步进电机运行模式、转动方向、步距角等。微处理器模块负责识别控制指令并进行信息处理,根据控制指令输出一定频率脉冲信号和控制信号,脉冲信号驱动步进电机转动,控制信号改变电机转动方向和步距角等。显示屏模块实时显示当前系统运行的相关参数,如电机转动速度、转动方向和运行模式等。步进电机驱动模块负责接收控制信号和脉冲信号,对脉冲信号进行分配和功率放大,驱动电机转动。

## 2 系统硬件设计

如图 2 所示,步进电机控制系统硬件电路主要由单片机最小系统、电源转换、按键接口、显示屏接口、语音模块接口、光耦隔离、驱动芯片及外围等电路组成。

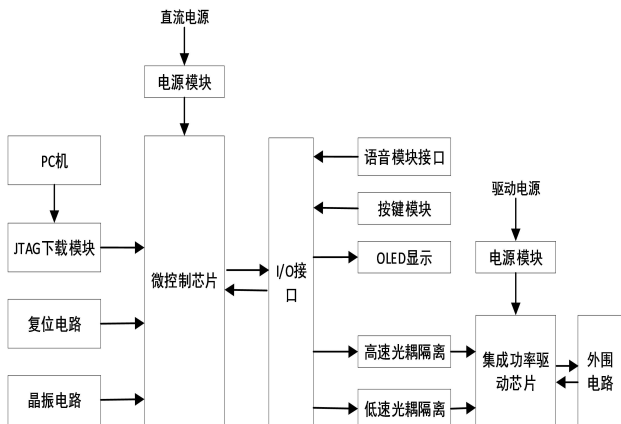


图 2 系统硬件电路组成

### 2.1 单片机最小系统

最小系统需要处理来自按键和语音控制命令并产生控制信号,因此要求系统具有 IIC、SPI 等串口通信外设和产生脉冲输出功能。STM32F103 系列单片机具有丰富的外设接口,性价比高,运行速度快

等特点<sup>[4]</sup>。本文基于 STM32F103C8T6 设计的最小系统,包括电源转换电路、晶振电路、下载电路及复位电路。最小系统电路如图 3 所示。

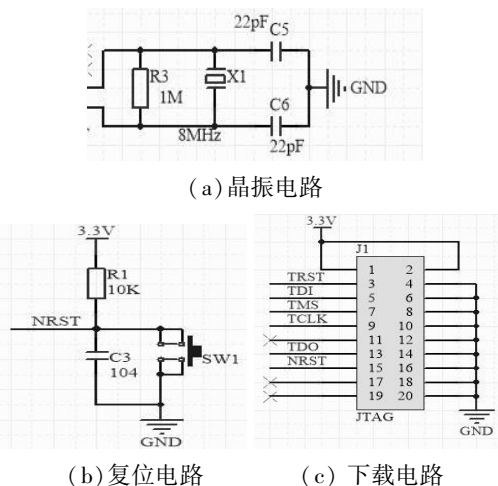


图 3 最小系统电路

晶振电路使用 8M 石英晶振作为芯片高速外部时钟源,晶振两端 22pF 起振电容接地,并联 1M 电阻帮助起振。下载电路设计 20 针 JTAG 接口,使用单片机 JTAG 模式进行程序下载和在线调试。复位电路采用带按键的 RC 复位电路。

### 2.2 步进电机驱动电路

系统基于 THB6064MQ 芯片实现步进电机驱动电路设计。该芯片是一款大功率、高细分的集成功率驱动芯片,适合驱动 57 系列步进电机<sup>[5]</sup>。

THB6064MQ 芯片内部集成了电流分配、双 H 桥驱动、过流和温度保护电路,需要设计相应的外围电路保证芯片正常工作。驱动电路设计如图 4 所示。

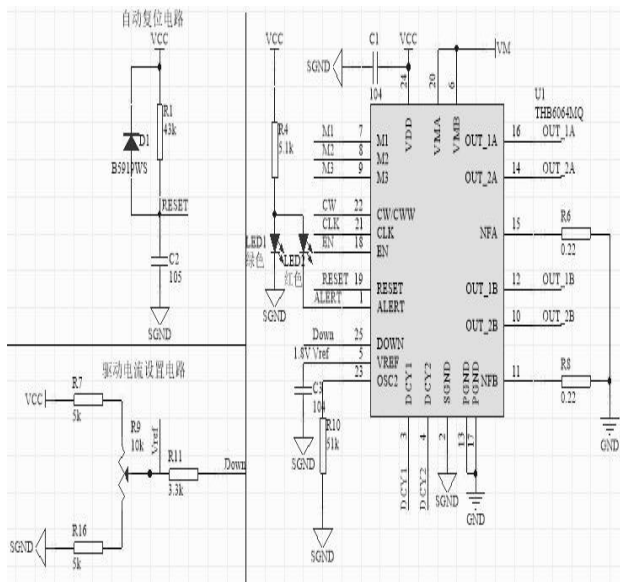
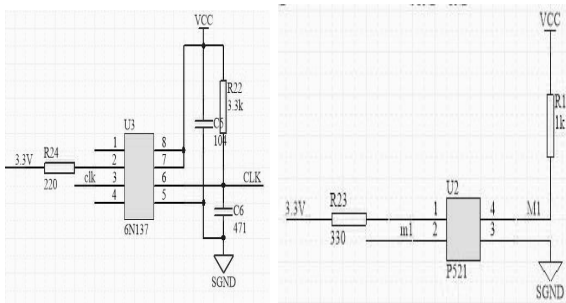


图 4 步进电机驱动电路

M1、M2、M3 三个引脚通过光电隔离模块同控制模块连接,完成对细分数的控制。驱动芯片 DCY1、DCY2 两个引脚通过拨码开关设置不同衰减方式,改善芯片驱动效果,提高电机运行的平稳性。在分压电路中调节滑变阻 R9,使 VREF 引脚电压为 1.8V,满足步进电机额定驱动电流 3A 需求。在 VREF 和 Down 引脚之间串联电阻 R11,实现半流锁定功能,在电机锁定状态下降低驱动电流,减少能量的损耗。RESTER 引脚低电平时,芯片复位,RC 自动复位电路中的二极管 D1 有利于电路断开后,电容 C2 迅速放电,方便芯片下一次复位。ALERT 引脚串联 LED 灯,当芯片发热严重时,ALERT 输出低电平,电路导通,LED 灯发光,提醒操作员及时散热,实现过流及温度保护<sup>[6-7]</sup>。

### 2.3 光耦隔离电路

步进电路驱动电路中,如果直接将控制信号引脚与驱动电路相连,则需要控制电路与驱动电路共地连接,驱动电路中的大电流有可能沿着地回路对控制电路的数字器件造成电磁干扰,甚至烧毁低工作电压的芯片<sup>[8]</sup>。因此,设计光耦隔离模块将控制电路和驱动电路进行电气隔离。隔离信号包括高频率的脉冲信号和低频率的开关信号,使用 6N137 芯片隔离高频信号,使用 TP521 芯片隔离开关信号,隔离电路设计如图 5 所示。



(a) 6N137 隔离电路 (b) TP521 隔离电路

图 5 光耦隔离电路

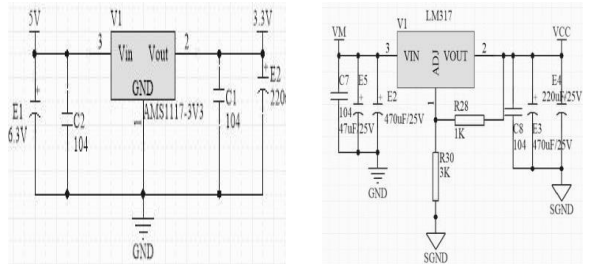
TP521 隔离电路采用同相逻辑传输方案,限流电阻 R23 取 330 Ω,防止导通时电流过大烧毁发光二极管,R17 为 3、4 引脚内部的光敏三极管上拉电阻。6N137 隔离电路中 2、3 引脚之间为发光二极管,能使引脚 7 接高电平,R24 为限流电阻,C5 为去耦电容,可减少输出端电源波动,R22 和 C6 改善高频传输时芯片的响应时间。

### 2.4 电源转换电路

系统电源电路需要满足控制电路和驱动电路两部分需求。控制电路 STM32F103C8T6 和语音模块

等数字器件需要 3.3V 工作电压,驱动芯片 THB6064MQ 内部集成的 H 桥驱动电路需要 4.5~42V 输入电压,另外,芯片还需要 5V 的工作电压,步进电机额定电流为 3A。

电源分配如下:使用电源适配器将 220V 市电转换为 5V 直流电,使用 AMS1117 降压芯片将 5V 电压降低为 3.3V 供控制电路相关器件使用,使用开关电源将 220V 市电转换为 24V/3A 直流为驱动电路供电,使用 LM317 芯片将 24V 转换为 5V 供驱动芯片使用。降压电路设计如图 6 所示。



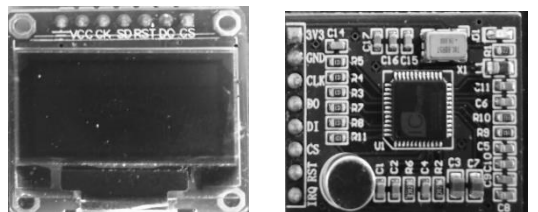
(a) AMS1117 降压电路 (b) LM317 降压电路

图 6 电源转换电路

AMS1117 降压电路中,输入输出滤波电容均选取 220μF 钽电容和 100nF 无极性电容,分别滤除高频和低频干扰。LM317 降压电路中,C7、E5、E2 为输入滤波电容,电路中大电容均使用铝电解电容,小电容使用陶瓷电容,使用 R28 和 R30 搭建分压电路为 ADJ 引脚提供反馈电压,R28 和 R30 电阻值取 1KΩ 和 3KΩ,设置输出电平大小约为 5V。

### 2.5 其他模块

显示模块采用 OLED12864 显示屏,分辨率为 128×64,可显示 4 行汉字,每行最多 8 个。该模块使用 IIC 通信协议,通过 CK、SD 引脚与单片机进行通讯。语音模块采用 LD3320 语音识别模块,该模块集成优化算法和语音识别处理器,不需要进行训练和录音,只需将待识别词语拼音写入寄存器即可,模块使用 SPI 通信协议与单片机进行通讯,IRQ 中断请求引脚与单片机外部中断复用功能引脚相连,当语音模块检测声音时,便会发出中断请求<sup>[9]</sup>。显示模块和语音模块实物图如图 7 所示。



(a) 显示模块实物图 (b) 语音模块实物图

图 7 显示、语音模块实物图

### 3 系统软件设计

整个系统软件设计包括:转速控制子程序、按键扫描子程序、语音识别子程序、显示子程序、主程序和中断服务程序等。

#### 3.1 步进电机转速控制

步进电机转速与输入脉冲频率有关,驱动电路每收到一个脉冲,电机绕组通电状态发生一次改变,电机转过一个步距角。系统使用 STM32F103C8T6 定时器 2 产生 PWM 方波,通过设置定时器 PSC 分频值和 ARR 重装载值得到 PWM 方波频率。定时器按照 72M 工作频率分频后的频率向上计数,当计数值达到 ARR 值时清 0 重新计数,设置 PWM 模式比较值为 ARR 的 1/2,当计数值小于比较值时,输出高电平,反之输出低电平,由此,产生驱动步进电机转动的脉冲。脉冲频率与 PSC、ARR 关系如式(1)所示。

$$f_{cp}(Hz) = \frac{72000000}{(ARR + 1) * (PSC + 1)} \quad (1)$$

本系统将 PSC 固定为 3599,当设定步进电机运行频率时,反向计算出 ARR 值,通过重新设置定时器 ARR 值,就可改变步进电机转速。

#### 3.2 指数型加速曲线设计

步进电机由于绕组存在电感,当电机启动频率过大时,绕组电流短时间内无法上升到驱动转子转动的大小,导致电机丢步或启动失败现象出现<sup>[10]</sup>。因此,本系统在电机启动频率高于 1500Hz 时,使用指数型加速曲线逐渐提高运行频率,过渡时间不超过 0.1s。同直线型加速曲线相比,指数型加速曲线更加符合步进电机的矩频特性,加速曲线如式(2)所示<sup>[11]</sup>。

$$f(k) = f_h - [(f_h - f_0)/k_1]e^{-k_2t} \quad (2)$$

其中,  $f_0$  为初始频率,设置为 1500Hz,  $f_h$  为待设置频率,  $k_1$  为频率系数,取值区间为 0.90~0.98,  $f(k)$  为当前运行频率。

#### 3.3 主程序设计

主程序功能主要是初始化驱动模块、语音模块及按键模块的 I/O 口,进行中断分组并设置抢占优先级和响应优先级<sup>[12]</sup>,初始化定时器中断、外部中断及看门狗中断。开启中断,等待中断发生。主程序设计流程图如图 8 所示。

在主程序中为提高抗干扰性,引入窗口看门狗程序,在程序运行过程中,必须不停地在窗口时间内进入喂狗中断服务程序,如果程序跑飞而不能及时喂狗,芯片则会发生软复位,系统重启。

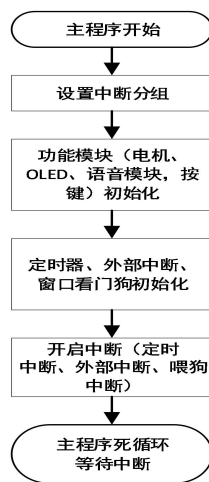


图 8 主程序设计流程图

#### 3.4 中断服务程序设计

中断服务程序主要完成命令识别、控制和实时显示步进电机运行状态。进入中断首先判断是否发生定时中断,如果是,运行一次语音识别,如果成功,读取最佳识别结果,使用 switch-case 语句对识别结果进行判断,执行相应程序;运行键盘扫描程序,确定键值,使用 switch-case 语句根据键值执行相应程序。中断服务程序流程如图 9 所示。

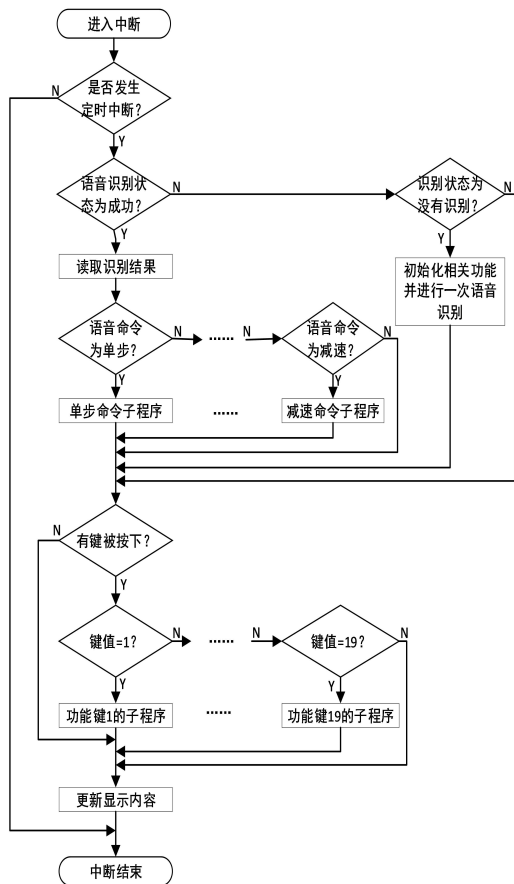


图 9 中断服务程序流程图

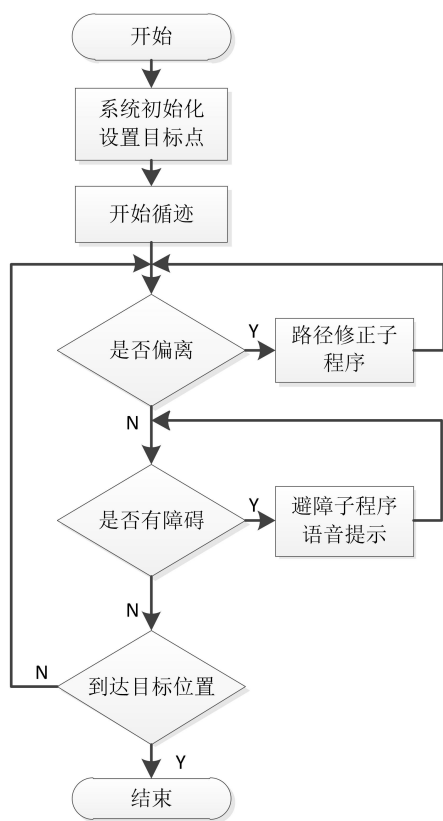


图8 系统软件流程图

(2)当传统机器人探测到前进前方的障碍物时,左右前方遇到障碍物时机器人便能发出语音提示,并使用避障算法躲避障碍继续行进。

生活中服务机器人的使用越来越普遍,本实验

(上接第97页)

## 4 结语

步进电机具有开环精度高、可靠性高优点,被广泛应用于各种控制领域。本文设计的步进电机控制系统采用细分功率芯片设计驱动电路,性价比高,步进电机能以更小步距角转动,运行更加平稳。按键模块和语音识别两种输入命令方式,极大提高了步进电机运用过程中的人机交互,在硬件和软件上采用抗干扰设计,使系统运行更加可靠。

### 参考文献(References):

- [1] 史震,张鹏,巩冰. 自动控制元件[M]. 北京:国防工业出版社,2013.
- [2] 冯越,姜艳姝,孙真和. 自动控制元件[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [3] 肖凤翔,覃丽君. 麻省理工学院新工程教育改革的形成、内容及内在逻辑[J]. 高等工程教育研究,2018(2):45-50.
- [4] 张婧,樊艳艳,李勇. 基于STM32和TMC5160的步进电机控

平台结合现实中的货物运送这一实际问题,让学生加深所学知识的掌握。本实验平台不仅涉及到对硬件,例如红外模块和超声模块的时序的掌握,还有要对主控制程序有清晰的认识,而且学生还可以在尝试算法上的优化,例如避障算法。该系统发挥了引导学生走上实践之路,巩固课堂理论知识的作用。

### 参考文献(References):

- [1] 王辉,任昕畅,于立君,等. 肢体语言检测与跟踪实验教学平台设计与开发[J]. 实验室科学,2017,20(5):81-84.
- [2] 李双岑. 服务机器人移动平台的设计[J]. 电子世界,2017(1):104-105.
- [3] 宋章军. 服务机器人的研究现状与发展趋势[J]. 集成技术,2012(3):1-9.
- [4] 张文前. 智能移动机器人技术现状及展望[J]. 电子技术与软件工程,2016(8):130.
- [5] 王辉,于立君,董泽全,等. 基于STM32的循迹平衡小车实验教学平台研究[J]. 实验技术与管理,2017(5):136-139.
- [6] 陈梦婷,胡白燕,黄璨. 基于单片机的智能循迹避障小车的设计与实现[J]. 智能机器人,2016(2):47-51.
- [7] 于清晓. 轮式餐厅服务机器人移动定位技术研究[D]. 上海:上海交通大学,2013.
- [8] 于晓龙. 移动机器人轨迹跟踪控制方法及自主导航性能评估技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2016.
- [9] 彭美定,邓鹏. 基于单片机的智能红外避障小车设计[J]. 无线互联科技,2017(3):74-76.
- [10] 王珊珊. 轮式移动机器人控制系统设计[D]. 南京:南京理工大学,2013.

制系统[J]. 仪器仪表用户,2020,27(2):63-66.

- [5] 伍艳雄,黄勇,高林,等. 步进电机细分驱动控制系统设计与实现[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版),2019,37(4):458-462.
- [6] 沈绍敏,靳璐. 步进电机驱动技术现状及发展[J]. 电子技术与软件工程,2018(16):91.
- [7] 谷雷. 基于步进电机的驱动系统及驱动接口的选择[J]. 电子世界,2014(12):522-523.
- [8] 王宜瑜,宋树祥,王斌,等. 嵌入式系统的多路步进电机控制系统的设计[J]. 计算机测量与控制,2019,27(9):76-79,84.
- [9] 于晓明. 语音识别技术的发展及应用[J]. 计算机时代,2019(11):28-31.
- [10] 曾康玲,杨向宇,赵世伟,等. 步进电机指数型加速曲线优化与实现[J]. 微电机,2014,47(6):36-40.
- [11] 孙硕,夏妍. 基于单片机的步进电机驱动控制系统的设计与实现[J]. 数字技术与应用,2018,36(3):8-10.
- [12] 唐玲. 步进电机控制系统的设计[J]. 智能计算机与应用,2015,5(2):62-63,67.