

DOI: 10.3969/j.issn.1001-4551.2014.08.022

基于STM32F103ZET6的 开放式数控运动控制系统

唐定兵, 高晓丁*, 薛世润

(西安工程大学 机电工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 为了解决高校学生学习数控技术缺少一个相对开放的数控环境的问题, 将嵌入式技术应用到一个自搭建的开放式数控平台中, 分析了基于嵌入式技术的开放式数控加工的基本原理。以STM32F103ZET6为控制器, 采用PWM控制技术, 控制了两部两相式混合步进电机; 根据光栅尺提供的速度和位置反馈信息, 结合PID控制算法, 构建了一个高控制精度且稳定性好的闭环控制系统。建立控制系统的数学模型, 通过Simulink仿真实验验证了系统的可靠性及稳定性。研究表明, 基于STM32F103ZET6的开放式数控运动控制系统对于构建一套教学用的数控系统具有重要意义。

关键词: STM32F103ZET6; 步进电机; PWM控制技术; PID控制算法; Simulink仿真

中图分类号: TH39; TP273 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2014)08-1062-05

Open CNC motion control system based on STM32F103ZET6

TANG Ding-bing, GAO Xiao-ding, XUE Shi-run

(Mechanical and Electrical engineering college of Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: In order to solve the problems of missing a relatively open environment for college students to learn CNC technology, the embedded technology was applied to a self-built open CNC platform, the machining principle of open architecture CNC machining with embedded technology was analyzed. Based on STM32F103ZET6 controller and made use of PWM control technology, two two-phase hybrid stepping motor was controlled; based on the feedback information of speed and position were provided by grating ruler and combined with PID control algorithm, a high precision and good stability control loop control system was established. The reliability and stability of the control system are validated by creating the mathematical mode of control system for Simulink simulation. The open CNC motion control system is meaningful for building a CNC system for teaching.

Key words: STM32F103ZET6; stepper motor; PWM control technology; PID control algorithm; Simulink simulation

0 引 言

嵌入式技术以其高集成性和易移植的特点在电力电子、工业控制、国防军事等方面获得广泛应用。开放式数控系统就是在嵌入式技术基础上提出的一门数控技术。传统的数控系统一般都是专用的、封闭的, 不具备兼容性的。因各厂家生产出来的数控产品不具有互移植性, 限制了产品的使用范围, 而开放

式数控系统弥补了传统数控系统诸多不足, 构造了一个模块化、可重构、可扩充的软、硬件控制系统。1992年, 欧共体开始实施自动化系统控制装置的开放式数控系统, 该系统是以PC为标准平台, 加上能自由组合的软件模块, 构成不依赖于特定卖主的开放型控制器结构。后来, 由东芝机器公司、丰田机器厂和Mazda公司3家机床制造商和日本三菱电子及SML信息系统公司共同组建了控制器开放系统环境。当前, 我国的中、高档产品主要还是通过进口国外产品进行补充,

收稿日期: 2014-03-06

作者简介: 唐定兵(1988-), 男, 四川江油人, 主要从事机械信息测试和控制系统方面的研究。E-mail: tangdingbing1988@163.com

通信联系人: 高晓丁, 男, 教授, 硕士生导师。E-mail: gaopengpeng119@163.com

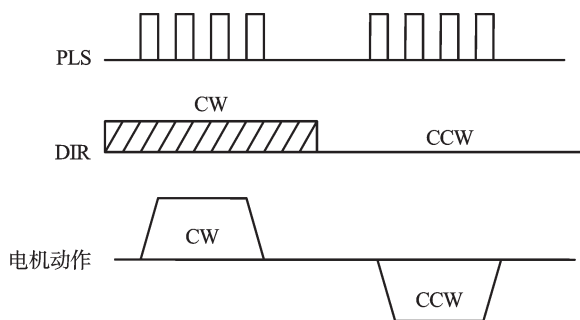


图3 单脉冲输入方式时序图

联轴器和丝杠来实现,挠性联轴器的作用是保证主动轴与从动轴的角速度相等,即传动比为1,丝杠用来将角位移转化成线位移。设丝杠的导程为 P ,步进电机的步距角为 θ ,细分数为4,PWM信号脉冲数为 mc ,则平台运动速度和运动位移分别为:

$$v_1 = n \cdot P \quad (1)$$

$$l_1 = (\theta/4) \cdot (P/360) \cdot mc \quad (2)$$

STM32F103ZET6的定时器4(TIM4)工作于PWM模式来产生脉冲PLS(PB6),用PB5来产生方向控制信号DIR;STM32F103ZET6的定时器2(TIM2)工作于计数器方式来对PLS进行精确计数,计数脉冲记为 N_1 ,将定时器4(TIM4)脉冲输出端PB6与定时器2(TIM2)的计数输入端PA0相接。

2.2 闭环控制模块

本研究在电机控制的反馈环节选用光栅尺,它是利用光栅的光学原理工作的测量反馈装置^[8]。其测量输出的信号为数字脉冲,具有检测范围大,检测精度高、响应速度快的特点。

在一个莫尔条纹宽度内,按照一定间隔放置4个光电器件就能实现电子细分与判向功能。由于位移是一个矢量,既要检测其大小,又要检测其方向,因此至少需要两路相位不同的光电信号。为了消除共模干扰、直流分量和偶次谐波,通常采用由低漂移运放构成的差分放大器。由4个光敏器件(细分数为4,分辨率为 $5\mu\text{m}$)获得的4路光电信号分别送到2只差分放大器输入端,从差分放大器输出的两路信号相位差为 $\pi/2$,为得到判向和计数脉冲,需对这两路信号进行整形,首先把它们整形为占空比为1:1的方波。然后,通过对方波的相位进行判别比较,就可以得到光栅尺的移动方向。通过对方波脉冲进行计数,可以得到光栅尺的位移和速度。

为了实现可逆计数和提高测量速度,本研究在光栅尺与STM32F103ZET6单片机相接时采用193可逆计数器。设光栅尺输出信号频率为 f ,光栅传感

器栅距为 d ,细分数为 N ,则光栅尺表征的运动平台速度为:

$$v_2 = d \cdot f / N \quad (3)$$

由光栅尺输出的方波信号输入到193可逆计数器(74LS193),然后再接到STM32F103ZET6单片机的PA1口,对光栅尺输出的方波脉冲进行计数,计数脉冲记为 N_2 。本研究在STM32F103ZET6单片机中比较 N_1 、 N_2 和 v_1 、 v_2 ,根据比较结果调整电机驱动参数实现闭环控制。

2.3 限位模块

限位模块用来对机械结构进行保护,避免控制器误动作对机械系统造成损坏。电路之间的信号传输,通过采用TLP521光电耦合器使其前端与负载完全隔离来减小电路干扰,增加电路安全性。在运动平台的运动导轨上设有4个限位开关, X 、 Y 方向各设有2个,用作起点设置和末位保护。限位模块的硬件设计图如图4所示。

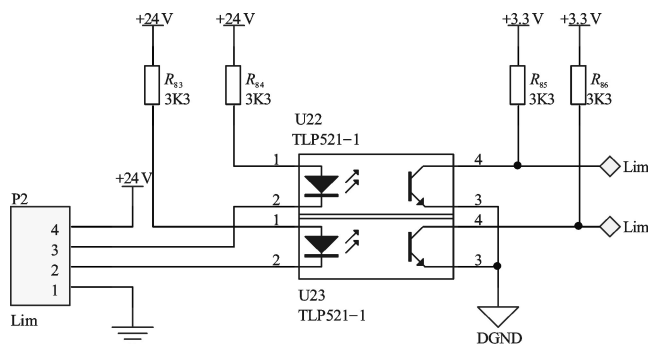


图4 限位模块硬件电路图

2.4 通信模块

STM32F103ZET6集成了2个串口:串口1和串口2。其中,串口2可通过跳线支持RS-232接口和RS-485接口;串口1和串口2作为通信串口,都可以作为3线RS-232串口,其中串口2还可以RS-485接口,通信模块的原理图如图5所示。

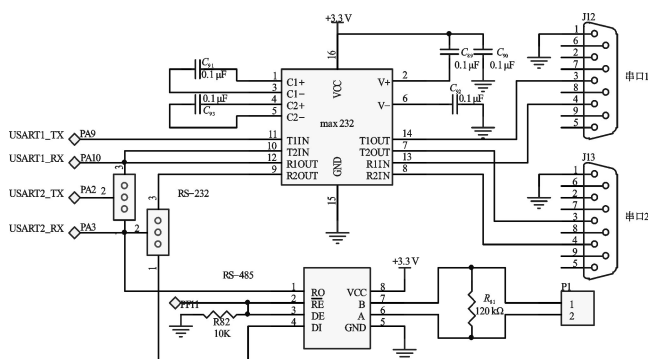


图5 通信模块硬件电路图

在多机进行数据通信时,各单元分布于系统的不同

同位置,相互之间的距离虽然不远,但要实现多点的实时双向通信,选用RS-232标准一般难以满足要求。综合各种因素,本研究选用RS-485标准,该标准采用平衡发送和差分接收方式来实现通信。但大多数普通PC机只有常用的RS-232标准串行通信接口,而不具备RS-485标准串行通信接口。因此,为了实现RS-485协议的串口通信,必须设置跳线支持RS-232/RS-485之间的转换^[9]。

3 开放式数控运动平台的软件设计

3.1 系统软件设计

系统软件设计是基于MDK编译环境的,Real View MDK是ARM公司最先推出的基于ARM微控制器的专业嵌入式开发工具,适合不同层次的开发者使用^[10]。特别地,MDK支持最新的Cortex-M3处理器,Cortex-M3处理器是ARM公司推出的最新针对微控制应用的内核,提供业界领先的高性能和低成本解决方案。

系统软件包括初始化程序、主程序和中断服务程序3个部分。系统在每次复位后,首先执行初始化程序,完成控制器内部设定和初始状态检测,然后开启中断,执行主程序,一旦中断条件满足时,系统执行中断服务程序,直到系统重新复位。系统软件设计流程图如图6所示。

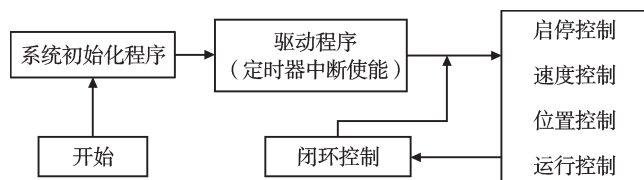


图6 系统软件设计流程图

3.2 驱动模块软件设计

本研究采用STM32F103ZET6的定时器产生PWM信号来驱动步进电机,PWM的周期及占空比均由STM32F103ZET6定时器控制,然后通过配置GPIO口来输出PWM信号^[11]。

第一步,进行定时器初始化,选择通用定时器TIM4,时钟频率TIM4CLK是72 MHz,设置一个更新事件载入活动的自动重装载寄存器周期的值TIM_Period(预装载值)和一个用来作为TIMx时钟频率除数TIM_Prescaler(预分频值),由此可知TIM4在下面定义频率下工作:TIM4频率=TIM4CLK/[(TIM4_Period+1)·TIM4_Prescaler],进一步设置时钟分割TDS= TCK_tim=0,设置TIM的工作模式为向上计数模式。

第二步,设置PWM信号输出引脚为复用输出功

能,输出TIM4-CH2(TIM4部分重映射)的PWM脉冲波形。

第三步,使占空比可控,从0~100%分10个阶级控制占空比,控制参数设置为 pp 和 num ,定时器进入一次中断 pp 加1, num 由按键S1控制。

3.3 闭环控制模块软件设计

闭环控制模块中,利用光栅尺获取的运动平台的实时速度 v 和实时位移 L ,经过4个光敏元件获得的4路光电信号分别送到2只差分放大器输入端,从差分放大器输出两路信号,两路信号的电流经PI调节后输入至电流矢量控制环节,输出两相电流 I_a 和 I_b ,整形为占空比为1:1的方波,然后可以根据两相方波的相位判别移动方向,通过对方波脉冲进行计数获得光栅尺的位移和速度。闭环模块的控制方框图如图7所示。

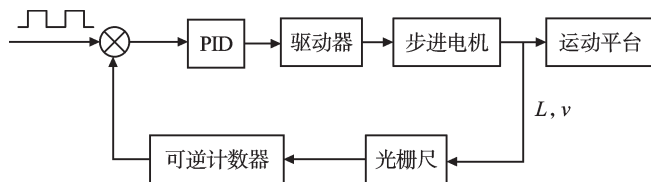


图7 闭环模块控制方框图

4 仿真调试

步进电机闭环仿真系统的相关仿真结果表明,该控制系统具有较好的控制性能与动态响应性能。虽然在开始阶段转矩与速度有一定的波动,但是很快地趋于稳定状态,在施加负载扰动后,系统也能较快地稳定下来。在实验台上进行调试结,采用转子齿数为50,二相混合式步进电机,则其步距角为0.9°;步进电机细分数为4;传动机构采用挠性联轴器和滚珠丝杠,其中滚珠丝杠的导程为4 mm;光栅传感器的分辨率为5 μm;理论上每发一个脉冲丝杠移动2.5 μm。当发送 N_1 个脉冲,驱动步进电机运行,闭环控制系统对光栅传感器反馈回来的信号进行计数 N_2 ,与 N_1 比较后发送偏差命令进行实时修正到最后达到预定位置。同时本研究也进行了速度调节实验,通过调整PWM信号的占空比,步进电机运行平稳,研究结果表明该控制系统是可靠的。

5 结束语

STM32系列嵌入式是应cortex时代潮流而产生的一款硬实时性高且高性能的处理器,STM32F103ZET6是认准了旧时代单片机的应用而量身定制的一款低成本、低功耗的高级单片机。

STM32F103ZET6通过矢量运算实现对电机的精确控制并且具有专门用于电机控制的高级定时器(timer3),计算能力超强。以cortex-M为核心的处理器替代单片机是顺应电子时代发展的潮流。本研究基于STM32F103ZET6的开放式数控系统充分利用嵌入式的可编程、易移植的特点,非常适合应用于开放式数控实验平台的开发。通过开放式数控实验平台,高校学生可充分发挥自己学到的软件编程及控制技术,更好地了解数控系统的运作原理。

参考文献(References):

- [1] 郭伟. 对我国数控产业发展的趋势估计[J]. 化学工程与装备, 2009(4): 117-118.
- [2] 叶建敏, 高志, 胡秀亮. 基于单片机控制小型开放式数控平台设计[J]. 机械设计与制造, 2010(8): 188-189.
- [3] 基于MC68HC908MR16单片机的变频空调控制器的研究[J]. 流体机械, 2012, 40(12): 80-84.
- [4] 欧长劲, 彭宽栋, 洪尉尉. 数控旋压机专用数控系统的研究[J]. 机电工程, 2012, 29(11): 11-29.
- [5] STMIROELECTRCNICS. STM32F103XE Data sheet [M]. Geneva: STMICROELECTRONICS, 2010.
- [6] 东方马达株式会社. 高效率无失步步进马达组合AR系列驱动器篇(使用说明书)[Z]. 东京: 东方马达株式会社, 2008.
- [7] 李国文, 孙千军. 基于STM32的点位运动控制器设计[J]. 新技术新仪器, 2012(4): 43-46.
- [8] 刘丹, 陈林. 光栅尺在840D数控系统中的应用[J]. 机电工程技术, 2009, 26(12): 80-82.
- [9] 虞日跃, 史洪源. RS-485总线的理论与实践[J]. 电子技术应用, 2001, 27(11): 55-57.
- [10] 孙书鹰, 陈志佳, 寇超. 新一代嵌入式微处理STM32F10开发与应用[J]. 微计算机应用, 2010(12): 61-65.
- [11] 汪立君, 史伟民, 杨亮亮. 基于STM32微控制器的空间矢量脉宽调制[J]. 机电工程, 2011, 28(9): 9-28.

[编辑: 洪伟娜]

本文引用格式:

唐定兵, 高晓丁, 薛世润. 基于STM32F103ZET6的开放式数控运动控制系统[J]. 机电工程, 2014, 31(8): 1062-1066.

TANG Ding-bing, GAO Xiao-ding, XUE Shi-run. Open CNC motion control system based on STM32F103ZET6[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(8): 1062-1066.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第1061页)

4 结束语

本研究针对测头尾端的信号线比较多且电缆较硬,设计了一种基于DSP和nRF24L01的无线直流伺服电机控制系统。笔者将无线直流伺服电机驱动器放在测头内部,直流伺服电机的信号采用无线传输,并采用直流伺服电机的电流控制模式,当测头三爪伸出与被测孔紧密接触时,电流增大,达到预定值时驱动器进入保护状态并及时关断4路输出。

经实验验证,测头三爪能平稳地伸出与收回,测头电机运行平稳可靠,满足设计要求。

参考文献(References):

- [1] 付聪, 付慧生. 基于nRF24L01的无线温度采集控制系统的设计[J]. 工矿自动化, 2010(1): 73-75.
- [2] 郑艳文, 王彤宇, 林琳, 等. 基于DSP的二轴转台伺服控制系统设计[J]. 机电工程, 2013, 30(2): 210-213.
- [3] 刘和平, 刘平, 王华斌, 等. 数字信号控制器原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [4] RUAN J, BURTON R. A new approach of direct digital control for spool valves[J]. ASME, The Fluid Power and Systems Technology Division, 2002, 9(6): 146-147.
- [5] 李勇波, 周川. 基于DSP的环境监测仪信号采集系统设计[J]. 微计算机信息(嵌入式与SOC), 2009, 25(3): 53-55.
- [6] 胡玮, 阮健, 李胜, 等. 基于DSP的直流伺服电机的双闭环控制系统[J]. 机电工程, 2012, 29(1): 70-73.
- [7] 徐宏贵. 基于DSP的履带式移动机器人运动控制系统设计[D]. 南京: 南京理工大学自动化学院, 2009.
- [8] FAN Qi-fu, SHI Song-jiao. On the well-posedness of the PWM control system[J]. Frontiers of Electrical and Electronic Engineering in China, 2006, 5(1): 105-110.
- [9] 郝文延, 焦明华. 基于DSP和nRF24L01的无线环境监测系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2011(3): 51-54.
- [10] 顾卫钢. 手把手教你学DSP[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [11] 任志斌. 电动机的DSP控制技术与实践[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [12] 徐科军, 陶维青, 汪海宁. DSP及其电气与自动化工程应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.

[编辑: 李辉]