

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.11.021

步进电机远程控制方案的设计及实现^{*}

龚金成¹, 谌建飞^{2,3}, 赵 丹^{2,3}, 贺慧勇², 唐立军^{2*}

(1. 常德市电子技术研究所, 湖南 常德 415000; 2. 长沙理工大学 物理与电子科学学院, 湖南 长沙 410114;
3. 近地空间电磁环境监测与建模湖南省普通高校重点实验室, 湖南 长沙 410114)

摘要:针对远程实验中步进电机的控制问题,对步进电机的驱动方法、通信方式、位置速率计算和安全控制等方面进行了研究,对实验过程中步进电机的远程控制策略及方案进行了归纳,提出一种基于 AT89C52 单片机、THB6128 步进电机细分驱动器、光电编码器以及 Web 服务器的步进电机远程控制系统,采用在远程客户端实时操控并观察电机运作的方法,对系统中电机的操控响应情况及其运行时的位置速率进行了测试。研究表明,该系统具有较好的安全性和失步判断能力,能够实现电机的启停、变向、变速控制及位置速率的准确测量,满足远程实验中实验设备的过程控制需要。

关键词:步进电机;远程控制;AT89C52;Web

中图分类号:TH39;TP315

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)11-1398-05

Design and implementation of remote control for stepper motor

GONG Jin-cheng¹, CHEN Jian-fei^{2,3}, ZHAO Dan^{2,3}, HE Hui-yong², TANG Li-jun^{2*}

(1. Changde Electronic Technical Institute, Changde 415000, China; 2. School of Physics & Electronic,
Changsha University of Science & Technology, Changsha, 410114, China;
3. Hunan Province Higher Education Key Laboratory of Modeling and Monitoring
on the Near-Earth Electromagnetic Environments, Changsha 410114, China)

Abstract: Aiming at the problem of the remote control of stepper motor in remote experiments, the driving method, communication ways, position rate calculation, security control and other aspects of stepper motor was researched. According to the induction of remote control program, a remote control system based on AT89C52 microcontroller, THB6128 stepper motor subdivision driver, photoelectric encoder and WEB server was presented. A method that controlled and observed the motor real-timely in remote client was used to test the control response and the position and speed of running motor. The results indicate that the proposed system not only has good security and step-out judgment, but also can achieve the performances, such as the start-stop, adjustable direction and speed and accurate measurement of position and velocity, so it can meet the needs of process control of devices in experiment.

Key words: stepper motor; remote control; AT89C52; Web

0 引 言

随着国家教育信息化的推广和远程实验教学的不断发展,远程实验控制技术的研究得到了越来越高的重视^[1]。远程实验中需要实现大量实验设备的过程

控制(如:迈克尔逊干涉仪光程调节、距离测量等)^[2],步进电机作为过程控制中最为常用的控制元件,大到纺织、测绘、激光^[3],小到仪器仪表^[4],具有快速启停、精确步进(角位移与输入脉冲数成正比关系)、不存在累积误差(在不丢步、超步的情况下)、控制方法多样等优点^[5-6],是远程实验设备过程控制中不可或缺的控制元

收稿日期:2016-05-12

基金项目:国家科技支撑计划项目(2014BAH28F04);湖南省科技重大专项(2013FJ1004-3);湖南省教育厅科学研究项目(14C0031,15K009)

作者简介:龚金成(1964-),男,湖南常德人,主要从事网络通信及计算机应用方面的研究。E-mail:50193170@qq.com

通信联系人:唐立军,男,教授。E-mail:tanglj2000@263.net

件。步进电机在远程实验控制过程中要求具有实时性、可靠性和安全性,给远程实验的发展带来不小的挑战,研究者一直致力于其远程控制方法的研究和改进^[7-8]。

针对远程实验操作中步进电机远程控制的工作要求,本设计在前人研究基础上^[9-10],提出一种基于细分驱动方式和带反馈机制的远程步进电机闭环控制系统,既能实现对步进电机的远程精准启停、变向、变速操作和位置、速率测量,同时能保障步进电机和实验设备的操作安全。

1 系统方案设计

步进电机远程控制系统采用 AT89C52 单片机(晶振频率为 11.059 2 MHz)、THB6128 步进电机细分驱动器、光电编码器和 Web 服务器构建具有反馈机制的闭环控制系统,实现对步进电机的驱动和远程控制,远程客户端和服务器采用 Internet 通信,服务器与单片机采用串口通信,系统架构如图 1 所示。

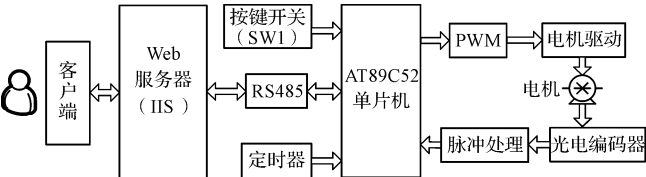


图 1 步进电机控制系统架构图

步进电机采用 42BYGHM809 型号的二相四线混合式步进电机,步矩角 0.9°,步矩角误差(5%,相电压 2.8 V,相电流 1.7 A,静力矩为 4 200 g·cm,为提高电机定位精确度,采用细分驱动技术,为其增设 THB6128 电机细分驱动器,这样不仅提高电机定位分辨率还提高了电机的平稳性。THB6128 步进电机细分驱动器支持多种细分方式(1/2、1/4、1/8、1/16、1/32、1/64、1/128)并提供慢衰减、混合式衰减和快衰减三种衰减模式,本研究采用 1/64 细分方式,同时电机驱动器带有光电隔离芯片,能使单片机与电机之间实现电气隔离,减少现场电机对单片机工作的影响。

本研究采用增量式光电编码器用于对电机运行状态(方向、位置、速率)的实时反馈,分辨率为 3 600 p/rad,共有三相脉冲信号(A、B 和 Z 相)输出,A、B 相脉冲信号的先后顺序(超前 90°)用于检测电机方向,其频率用于测量电机速率,Z 相用于确定电机位置,每输出一个脉冲代表电机旋转一周。在光电编码器与单片机连接之间增加脉冲处理电路,实现对 A 相、B 相信号的 4 倍分频处理以提高检测精度,同时实现两者间光电隔离减少对单片机的干扰和影响。

本研究设置 AT89C52 单片机 I/O 口的 P1.0 管脚为电机的 PWM 波输出,P1.1 管脚为电机方向控制,P1.2 管脚为电机使能控制,P1.3、P1.4、P1.5 管脚分

别用于光电编码器的 A、B、Z 相脉冲信号的输入端,设置 P3.2 为电机的安全阀开关(SW1),用于在紧急情况下对电机的安全控制。设置定时器 0 为定时触发工作方式,用于对 PWM 波的脉宽进行调节,以实现电机速率和位置的精确控制,设置定时器 2 用于对光电编码器脉冲信号的定时计数,来实现电机转子的转速和位置反馈,利用两者比较实现电机失步判断。

本研究采用本地 PC(可访问 Internet 并安装了 IIS)作为小型 Web 服务器,用来运行 Web 应用程序,实现远程客户端与步进电机之间的交互。单片机系统和服务器之间采用串口通信方式,客户端和服务器之间采用基于 Http 协议的 Internet 通信方式,并采用 Ajax 技术实现与服务器之间少量数据交换与异步网页更新^[11],完成对电机的远程控制。

2 系统功能模块划分

根据系统架构分析,系统分为由单片机、电机细分驱动器、光电编码器和步进电机主导的电机驱动控制子系统 and 由 Web 服务器主导的远程通信子系统,电机驱动控制子系统主要实现电机故障处理、串口通信(向上与 Web 服务器进行通信)、电机位置速率计算、和电机驱动控制功能,而电机驱动控制功能又包括电机的启停、变速、位置和方向控制。远程通信子系统主要实现串口通信(向下与 AT89C52 单片机进行通信)、电机信息获取、电机操控和电机安全控制功能,其中电机信息获取包括:电机启停、方向状态和位置速率,电机操控功能主要实现用户对远程电机的启停、变速、方向控制命令的转发,系统功能模块划分如图 2 所示。

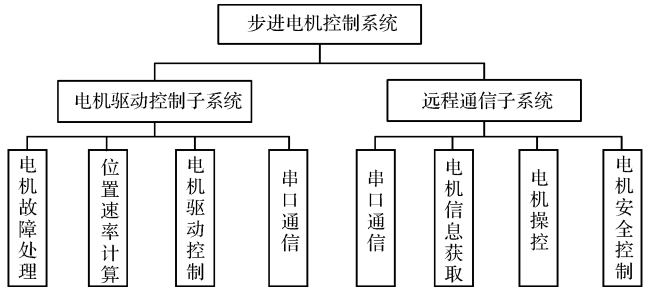


图 2 系统功能模块划分图

3 系统功能设计

3.1 电机控制设计

电机控制设计包括远程通信子系统中的电机操控设计和电机驱动控制子系统中的电机驱动控制设计。远程通信子系统中的电机操控设计又分为服务器端和客户端两部分,服务器运行服务主程序执行命令请求并调用串口通信功能,客户端作为系统人机交互的窗口,可产生两种请求,分别为视图请求和 Ajax 请求,当

为视图请求时服务器返回系统操控界面,当执行 Ajax 请求时,服务器主程序调用串口模块完成用户操作命令的转发和数据接收,Ajax 请求分为电机启停命令、

电机变速命令、电机变向命令和位置速率读取命令。
电机驱动控制子系统中电机驱动控制程序设计流程如图 3 所示。

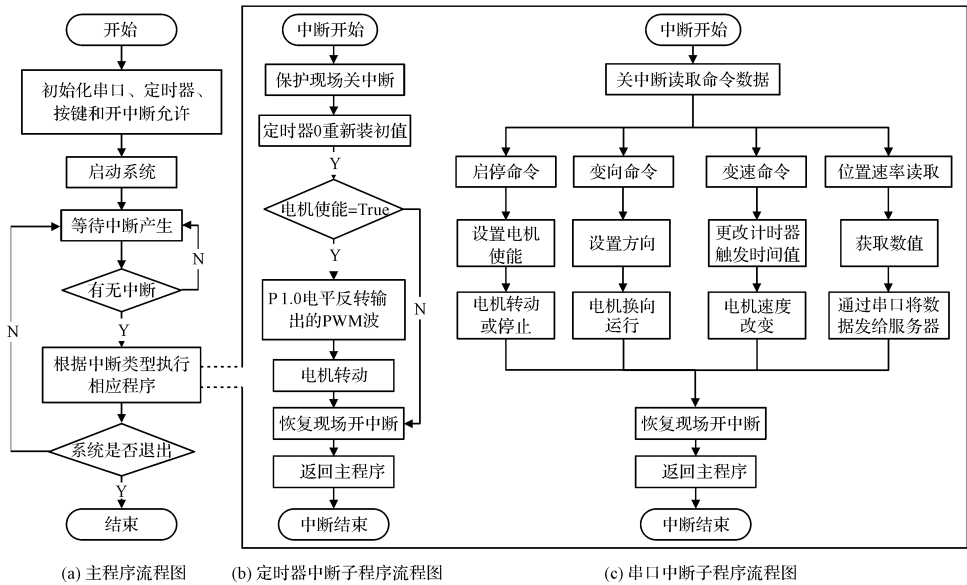


图 3 电机驱动控制子系统控制流程图

系统启动时对系统进行初始化操作包括:初始化串口、定时器和开中断允许,定时器 0 采用定时触发方式,用于在 P1.0 产生 PWM 波控制电机工作和转速调节。串口接收 Web 服务器转发来自客户端的命令请求(启停命令、方向命令、变速命令、读取位置转速等等),产生串口中断,系统对命令进行分析,根据命令内容在单片机 I/O 输出相应的控制信号或读取数据通过串口回发给服务器。

单片机上控制电机的 PWM 波输出、方向控制和使能控制是由 P1.0、P1.1 和 P1.2 管脚输出,然后接细分驱动器来进行电机的真正控制,电机与细分驱动器的接线图如图 4 所示。

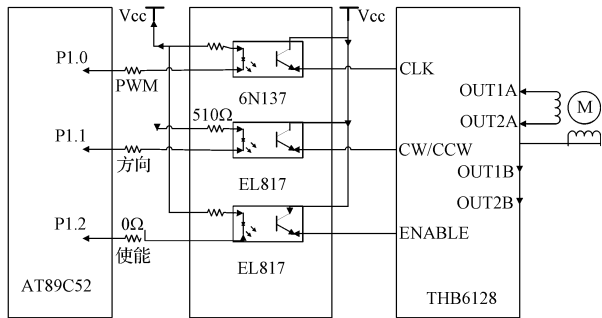


图 4 电机细分驱动器接线图

中间接 6N137 和两个 EL817 实现光电隔离,P1.0 接 THB6128 的 CLK 脉冲信号输入端,P1.1 接 CW/CCW 方向控制端,P1.2 接 ENABLE 使能端,设定 THB6128 的细分数为 1/64,衰减模式为混合式衰减模式,电机在运行时 THB6128 具有很好的保持能力,因此电机可以在没走完一整步情况下可继续工作。

3.2 串口通信设计

单片机和服务器之间的串口通信工作模式为 1 方式,波特率 4 800、数据位 8、停止位 1、无校验位,串行口中断标志为 TI/RI,当有数据发送或接收时,串口产生中断,然后进行数据解析,单片机和服务器之间的串口传输命令为一个字节数据,格式如表 1 所示。

表 1 串口传输命令数据格式位对应关系

位序号	位符号	说明
D7	Node1	电机节点编号高位
D6	Node0	电机节点编号低位
D5	Code2	命令类型第 2 位
D4	Code1	命令类型第 1 位
D3	Code0	命令类型第 0 位
D2	Content2	命令内容第 2 位
D1	Content1	命令内容第 1 位
D0	Content0	命令内容第 0 位

各位作用定义如下:

Node[1-0]——电机节点编号。00—电机 1。

Code[2-0]——命令类型。000—电机启停命令,001—电机变速命令,010—电机方向控制命令,011—电机状态查询命令,100—电机速率查询命令,101—电机位置查询命令。

Content[2-0]——命令内容。在电机启停命令中 001—电机开启,000—电机停止;在方向命令中,001—电机顺时针转,000—电机逆时针转;在电机变速命令中,001—电机加速,000—电机减速;在其它命令时命令内容可随意指定。

在单片机返回给服务器的数据格式中根据内容不同会在服务器发给单片机的数据中额外添加 2-3 个

字节数据用于存放数据。

3.3 电机位置速率计算设计

电机的位置和速率是通过其初始位置、步距角、细分数和单片机产生的 PWM 波的频率来决定的,但由于负载的情况可能使电机出现丢步、超步,得出的电机位置和速率不准确,因此通过光电编码器来实现具有反馈机制的电机闭环控制,达到对电机位置和速率的精确测量和丢步、超步的判断。当两者得到的值在误差范围内时,可认为电机控制良好,远程实验中电机转速要求比较低,电机的位置和速率的两种计算方式如下:

(1)单片机产生 PWM 波频率方式计算电机的位置和速率:

一个 PWM 波周期 (T) 电机转动的角度为: $\alpha = 0.9/64 = 0.014\ 062\ 5$, T —定时器 0 触发时间值;

电机的速率为: $V = \alpha/T$;
电机位置为: $\theta = \theta_0 + \alpha \times N$, θ_0 —初始位置角度, N —PWM 波周期的个数。

(2)光电编码器方式获取电机位置和速率:
A、B 相一个光电脉冲时间 (T) 电机转动的角度为: $b = 360/3\ 600/4 = 0.025$, 编码器分辨率为 3 600 p/rad, 脉冲信号进行了 4 倍分频处理。

电机的速率为: $V = b/T$;
电机位置为: $\theta = \theta_0 + b \times N$, θ_0 —初始位置角度, N —光电脉冲的个数。

由于单片机程序执行时间对电机的速率有一定影响,当两种方式得到的电机位置结果值在误差范围内,可认为电机没有发生丢步或超步现象,位置和速率测量是准确的,如果出现失步或超步,两者数值相差会较大,会影响电机控制效果,应及时调节驱动电压或电流大小以及负载大小。电机的初始位置可以通过电机启动后接收到光电编码器的 Z 相脉冲输入为止,A、B 相光电脉冲的计数值 N_0 来确定,即 $\theta_0 = b \times N_0$ 或 $\theta_0 = 360 - b \times N_0$ (反向时),但在本系统中对电机的绝对初始位置检测要求不高,在每次电机信息清零重启后,直接取电机的当前位置为 0° 。

光电编码器的脉冲间隔时间可通过定时器 2 计数中断方式来测量,当 A 相或 B 相前一个脉冲到来时开始计数,下一脉冲到来时中断停止计数,取出数值后重新计数,计数值转化为时间就是光电脉冲时间 T 。另外 N 的值随着不断增大会有溢出的可能,因此每增加到一定值时转化为电机位置,重新计数。

3.4 电机安全设计

电机安全设计包括电机驱动控制子系统中的电机故障处理设计和远程通信子系统中的电机安全控制设计,电机故障处理是对步进电机使能的控制,在单片机软件上设置全局的电机使能变量,采用外部中断 0 方

式(单片机的 P3.2 端口引入,低电平或下降沿引起中断),在单片机的 P3.2 端口上拉电阻接开关按钮,当按钮未按下时为高电平,按下时为低电平,低电平时触发外部中断,修改电机使能变量值,单片机程序在运行时会循环判断电机使能变量决定是否运行电机。当单片机受到干扰等状况时,电机通过判断反馈机制得到的位置速率误差,当超出电机正常运行时的误差范围时,系统会修改电机使能终止电机的运行,同时根据电机使能变量的值在单片机上控制 LED 灯的亮灭来显示电机的使能状态。开关按钮的按下过程中运用软件消抖,减小按钮的抖动影响。

远程通信子系统中的电机安全控制是防止在网络失效、通信错误或用户在没有停止电机的情况下离开电机控制网页,导致电机的不可控运行。在服务器上设立一个电机信息表,包括电机的当前运行状态,当前用户信息和用户连接状态。当前用户信息里记录获权操作的用户标识,且是唯一的,只有获权用户才能远程操控电机,这样可防止多个用户同时操作电机;用户连接状态中记录了用户使用电机权限的过期时间(以服务器时间为准,离上一次用户操作时间晚 5 min),当用户在客户端对系统有操作时会不断去更新过期时间,使其延长,如果用户在 5 min 内没有操作时,服务器将查询电机运行状态,自动对单片机发送指令使其停止。并将当前用户信息清空,使后面的用户有权获取电机操作权限。

4 实验结果与分析

远程通信子系统使用 ASP.NET MVC 网站开发技术来搭建 Web 应用,采用 bootstrap3 等多种前端开源技术设计系统 UI 界面,将 Web 应用发布到服务器上,通过串口连接单片机和服务器,启动单片机系统后,在浏览器中输入服务器 IP 地址访问步进电机远程控制系统,在主控面板上可执行电机的启动\停止、变速、换向并实时查看到电机运行状态、位置和转动速率,步进电机远程控制系统客户端如图 5 所示。



图 5 步进电机远程控制系统客户端
系统部署成功后,对系统进行相关测试,通过在网

页中点击电机的启动/停止、换向、加速和减速按键,查看网页中电机状态(上位机)和单片机控制的电机实际状态(下位机),步进电机系统启停、变向和变速测试结果如表 2 所示。

表 2 步进电机系统启停、变向和变速测试结果

测试项目	测试端点			测试内容			测试结果
启停测试(启动/停止)	上位机	启动	停止	启动	停止	启动	控制与运行一致
	下位机	启动	停止	启动	停止	启动	
变向测试(正向/反向)	上位机	反向	正向	反向	正向	反向	控制与运行一致
	下位机	反向	正向	反向	正向	反向	
变速测试(加速/减速)	上位机	加速	减速	减速	加速	加速	控制与运行一致
	下位机	加速	减速	减速	加速	加速	

结果显示,电机启停、变向和变速控制测试效果良好,控制与运行情况一致,能满足电机远程控制需要。

电机测试时的初始位置为 0°,当电机在运行时,单片机对电机的控制速率、控制位置(即)主要取决于 PWM 波的频率,光电编码器测量电机的反馈速率和反馈位置取决于电机运行实际状况测量。步进电机系统位置、速率测试结果如表 3 所示。

表 3 步进电机系统速率、位置测试结果

测试项目	测试内容	测试结果						相对误差
速率测试 (°/s)	控制速率	4.219	4.500	4.781	5.063	5.344	5.625	≤6.0%
	反馈速率	4.225	4.500	4.775	5.050	5.325	5.650	
位置测试(角度°)	控制位置	25.31	47.81	76.50	117.02	159.77	210.40	≤0.16%
	反馈位置	25.35	47.85	76.50	116.90	159.50	210.35	

结果显示电机位置、速率控制精度良好,相对误差分别控制在在 0.16% 和 6.0% 以下,能满足电机远程控制需要。

5 结束语

电机的远程控制是实现远程实验设备过程控制的关键,本研究对电机远程控制系统的驱动方法、通信方式、位置速率计算和安全控制等方面进行了介绍,并用实验验证了系统的控制运行情况,结果表明:AT89C52 单片机、THB6128 步进电机驱动器和光电编码器能很好的解决电机的驱动、控制、测量和失步判断问题,使电机控制与运行达到了工作一致的效果,且速率控制最大相对误差为 6.0%,位置控制最大相对误差为 0.16%。而采用 Web 服务器加软件方式的电机安全控制策略能有效地实现电机的远程控制和安全保障。该系统操作简单方便,控制精度高,实时性高、可靠性强、安全性好,可用于远程实验的电机控制,并为步进电机在远程实验控制技术发展中的具体工程应用提供参考价值。

参考文献(References):

[1] 傅宗宁. 基于网络的计算机控制技术实验系统的研发[D].

杭州:杭州电子科技大学自动化学院,2015.
[2] 唐立军,宾峰,邓敏,等. 远程实验操作平台设计与实现[J]. 实验室研究与探索,2015,34(12):49-52.
[3] Li-li WANG, Xiang-jun XIN, Lin-wei ZHU. A widely tunable fiber ring laser with closed loop control based on high-precision stepper motor [J]. Optoelectronics Letters, 2016,12(3):169-172.
[4] 张文娟,马春雷,梁驹,等. 仪器仪表中的自动化控制及其应用[J]. 机械管理开发,2012,27(1):86-88.
[5] 李爱竹,徐柳娟. 基于 EPM240T100 和 TB6560 的步进电机控制系统[J]. 机电工程,2014,31(5):671-675.
[6] 古志坚. 基于单片机的步进电机控制系统研究[D]. 广州:华南理工大学自动仪器科学与工程学院,2013.
[7] 黄慧萍,孟祥印,肖世德,等. 基于 B/S 模式的步进电机远程控制实验平台[J]. 实验科学与技术,2010,8(2):184-186.
[8] 胡凯伟. 基于嵌入式 LINUX 的步进电机远程控制系统研究[D]. 杭州:浙江工业大学信息工程学院,2010.
[9] 王晓丹. 基于单片机的步进电机细分驱动系统的研究[D]. 长沙:中南大学机电工程学院,2008.
[10] 刘宝志. 步进电机的精确控制方法研究[D]. 济南:山东大学电气工程学院,2010.
[11] 林剑雄,周晓慧. 基于 Ajax 和 MVC 架构的研究与应用[J]. 机电工程,2010,27(4):90-92.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式: