

基于单片机与FPGA的多通道步进电机控制系统设计

高艳艳, 吴贇松, 吴学杰, 黄鸿国

(1. 西南交通大学 牵引动力国家重点实验室, 四川 成都 610031; 2. 西南交通大学 电气工程学院, 四川 成都 610031)

摘 要: 选用STM32单片机与Cyclone II系列FPGA(现场可编程门阵列)芯片为核心控制器、采用Delphi 7软件完成控制系统的上位机人机交互界面, 设计了一种多通道步进电机的控制系统, 介绍了整个系统硬件电路的设计以及驱动程序的实现, 以C语言和Verilog HDL硬件描述语言为基础对系统进行实际测试。

关键词: 步进电机; 单片机; FPGA; 控制系统

中图分类号: TM383.6

文献标识码: A

文章编号: 2095-3631(2012)05-0043-04

Design of Multi-channel Stepper Motor Control System Based on MCU and FPGA

GAO Yan-yan, WU Yun-song, WU Xue-jie, HUANG Hong-guo

(1. Traction Power State Key Laboratory, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China;

2. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: Using STM32 MCU (Micro Control Unit) and Cyclone II series FPGA (Field Programmable Gate Array) as a core controller and accomplishing human-computer interaction of the control system with Delphi 7 software, a control system is designed which is used in multi-channel stepper motor. It introduces its hardware circuit and driver program. The system is tested with software based on C program language and Verilog HDL hardware description language.

Key words: stepper motor; MCU; FPGA; control system

0 引言

随着工业生产的迅速发展, 作为自动控制系统中的执行机构, 步进电机被广泛地应用于铁路检测设备和仪表中。传统的步进电机控制系统一般仅由单片机或者数字信号处理器实现, 微控制器的性能对脉冲频率影响较大^[1], 系统资源消耗大, 且实现多台电机的同步控制具有一定的难度。本文设计的控制系统采用单片机与FPGA相结合方式, 通过步进电机驱动器控制8台两相步进电机的同步和异步运行, 并根据检测设备的实际需要设置异步运行时间间隔参数。系统资

源分配合理、稳定性强、精度高, 能够有效地提高设备工作效率。

1 步进电机控制原理

步进电机是一种将电脉冲转化为角位移的执行机构。驱动器接收到脉冲信号后, 驱动步进电机按设定的方向以固定的角度转动^[2], 角位移与输入脉冲个数成正比, 转速与脉冲频率成正比, 因此可以有效地实现定位控制和定速控制; 同时在负载能力变化范围内, 不会因电源电压、负载及环境条件的波动而变化, 具有易控制且无累计误差等优点。本文设计的步进电机控制系统(图1)主要包括PC机(上位机操作界面)、单片机控制模块、FPGA状态转换及分频模块、步进电机驱动器和两相步进电机。

收稿日期: 2012-07-30

作者简介: 高艳艳(1986-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向为测控技术。

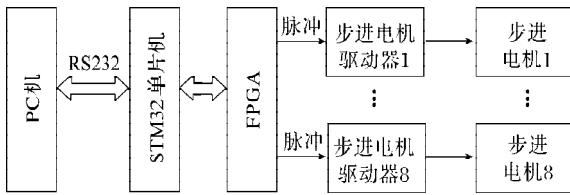


图1 系统结构图

Fig.1 Block diagram of the system

1.1 FPGA模块分频原理

步进电机是采用脉冲信号作为驱动信号源的电动机，其运行速度和所走步数取决于脉冲信号的频率和个数^[3]。本设计所需的脉冲驱动信号由FPGA输出，步进电机要求的运行速度在1~16 777 216步/秒范围，而所采用的FPGA芯片主频是50 MHz，因此FPGA模块要完成对时钟的分频。

设计中利用计数器进行分频。分频时，在主频的基础上，计数器不断计时，达到预定值后，输出信号翻转，计数器清0，重新开始计数，重复前述过程即可达到分频目的。通过控制计数器预定值的增加或减少来降低或升高频率，从而控制步进电机的减速或加速。假设基频为 f ，脉冲个数预定值为 n （由单片机发送给FPGA），则所生成脉冲频率为 $f/2n$ 。脉冲信号分频原理如图2所示。

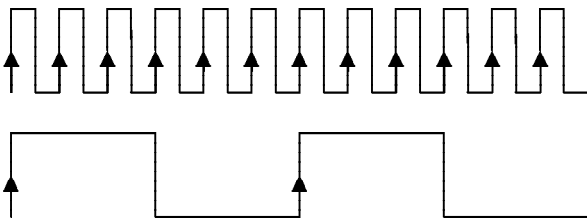


图2 分频原理图

Fig.2 Schematic diagram of frequency division

1.2 运行状态转换的实现

系统要求步进电机在运行时需要有启动、加速、稳定运行、减速、停止、步数调整及速度调整等运行状态，对步进电机运行的控制实际上就是对几种状态之间转换的控制，在FPGA执行模块设计时选用状态机来实现这个功能。状态机的使用简化了设计工作^[4]，其原理是通过状态的迁移完成某些特定的顺序逻辑。在运行时，通过状态机硬件可以分出多个时间段来进行其他的操作，以避免使用多个使能信号来衔接不同的模块，有效地降低了资源消耗。

运行过程中，在不同的阶段步进电机处于不同的状态，FPGA状态机相应设定了9种状态（S0~S8），表1示出9种状态的相关定义。

表1 步进电机相关运行状态

Tab.1 Related running states of stepper motor

状态名称代码	状态码	定义
S0	0000	起始状态
S1	0001	加速运行状态
S2	0010	匀速运行状态
S3	0011	减速停机状态
S4	0100	紧急停机状态
S5	0101	加速调整状态
S6	0110	减速调整状态
S7	0111	停机状态
S8	1000	等待启动状态

从S0状态到S3状态，系统是在FPGA接收到单片机发送的开始命令（com=0x01）、设置计数器初始参数并使能后，按顺序进行的。S3状态时，如果达到停止速度，则进入S7状态。S5和S6是电机运行过程中需要对速度进行调整而进入的状态。当所有电机的参数设置完毕后，进入S8状态，等待启动命令，接收到启动命令后，8台电机同步开始运行。

2 系统的硬件设计

2.1 单片机与FPGA接口电路

控制系统采用STM32系列单片机与Altera公司的Cyclone II系列FPGA相结合，能够灵活地满足设计要求，有效地进行资源分配，其接口电路（图3）主要完成单片机控制模块与FPGA执行模块之间的数据通信。STM32系列单片机（32位闪存微控制器）能够保证低功耗应用的要求，且成本低，非常适于控制领域的应用。

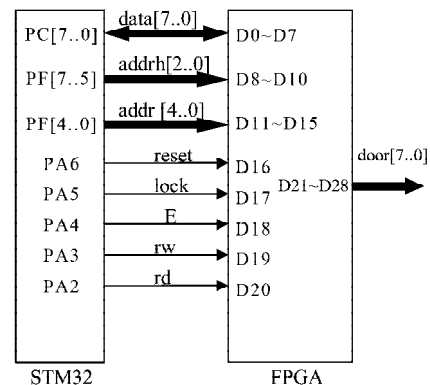


图3 单片机与FPGA的接口电路图

Fig.3 Interface circuit between MCU and FPGA

2.2 单片机控制模块

本系统中，单片机既要分析和处理上位机接收到的命令和数据参数并将结果发送到FPGA，同时也要从FPGA连续不断地读取步进电机运行过程中相应的状态参数。

单片机与FPGA间的通信用到3组I/O口、PA端口、PC端口与PF端口。PA端口配置相应的控制信号，包括系统复位信号（reset）、使能信号（E）、锁存信号（lock，用

于命令FPGA锁存当前参数)、读信号(rd)和写信号(rw)。PC是8位双向数据端口,当 $rw=1$ 时,单片机向FPGA写入数据;当 $rd=1$ 时,单片机从FPGA读取数据。PF是8位地址端口,其高3位地址线($addrh$)通过3-8译码器对控制步进电机通道号进行译码(通道号0~7分别对应8个步进电机);其低5位地址线($addr$)对应FPGA中相应寄存器地址,FPGA通过识别 $addr$ 值存放步进电机相应参数。例如, $PF=0x21$, $PC=0x32$,PF端口高三位是001,表示设置第二个步进电机;低五位是00001,表示此地址的寄存器存放了由单片机发送的步进电机的初始速度(50步/秒)。

3 系统的软件设计

控制系统中,单片机模块开发环境采用Keil uVision4软件,以C语言作为开发语言进行软件测试;FPGA模块开发环境采用Quartus II软件,以Verilog HDL语言进行测试,同时采用Delphi 7软件完成上位机人机交互界面。

3.1 8通道同步控制原理

系统既可控制单个通道电机运行,又可同时控制多通道电机运行,实现8通道的方法是在FPGA执行模块中将单通道进行实例化。利用地址线高3位($addrh[2..0]$)进行3-8译码器译码,通过译码信号、使能信号(E)及全选信号($both$)实现多台电机同步控制,使最终所选择的电机通道号($select_motor$)对应FPGA的脉冲输出通道($door[7..0]$)。程序代码如下:

```
module decoding (E,addrh,select_motor,both);
input E;                //整个系统的使能
input both;             //8通道同步选择信号
input [2:0]addrh;       //8位地址的高3位
output [7:0]select_motor; //8通道步进电机
always @ (addrh or E)
begin
if(E)
begin
case({both,addrh})
4'b0000:select_motor<=8'b0000_0001;
4'b0001:select_motor<=8'b0000_0010;
4'b0010:select_motor<=8'b0000_0100;
4'b0011:select_motor<=8'b0000_1000;
4'b0100:select_motor<=8'b0001_0000;
4'b0101:select_motor<=8'b0010_0000;
4'b0110:select_motor<=8'b0100_0000;
4'b0111:select_motor<=8'b1000_0000;
```

```
4'b1xxx:select_motor<=8'b1111_1111;
default:
select_motor<=8'b0;
endcase    //以上为3-8译码功能
end
else
select_motor<=8'b0;
end
endmodule
```

3.2 单片机与上位机串口通信

控制步进电机运行时,首先由上位机将电机所需要的相关参数数据(包括电机运行步数、速度、加或减速度以及复位、发送、启动、停机、中途调步等电机控制命令)发送给单片机,发送数据时需要定义一个数据头0xFD和一个数据尾0xFE,用于表示数据发送开始和结束。一个字节控制命令的高3位代表电机通道号,低5位是电机控制命令,例如:控制命令0x41,表示向第三通道步进电机发送数据;低5位电机控制命令含义分别为:1—发送数据,2—复位电机,3—停机,4—速度调整,5—步数调整。0~21个字节的数据参数用于步进电机运行状态的设置。单片机对接收到的数据串格式进行分析和处理,并做出相应的操作。由上位机向单片机发送的数据串格式如表2所示。

表2 数据串格式

Tab. 2 Format of data string

数据头	控制命令	数据参数	数据尾
0xFD	1个字节	0~21个字节	0xFE

在电机运行过程中,单片机连续不断地从FPGA读取电机的运行状态(如当前速度和所走的步数),并定时中断上传给上位机,以便于电机频率和步数的调整。

单片机与上位机之间的数据传输通过串口完成。软件部分需要用到UART0中断及定时器中断进行数据的接收与发送。单片机向上位机上传数据的流程如图4所示。

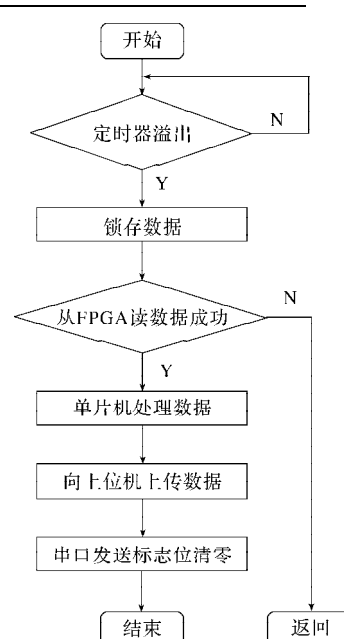


图4 单片机上传数据流程图
Fig. 4 Data-uploading flow chart of MCU

3.3 上位机参数计算

由于步进电机运行所需要的相关参数都是实际的物理量,需经上位机计算和处理、转换成下位机可直接识别的数据后,才能发送给单片机。例如,电机运行所需设定的速度(即脉冲频率)需换算成计数器的计数值、单片机接收后,才能对FPGA进行准确的设置,才能输出频率准确的脉冲信号,以驱动电机运行。

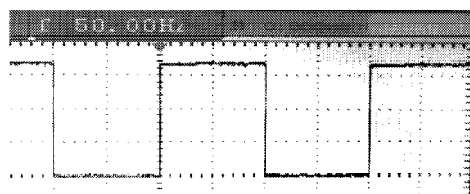
4 试验

对控制系统进行最基本的测试,设置电机初始速度为50 Hz(步/秒),目标速度为5 000 Hz(步/秒),停止速度为30 Hz(步/秒)。在上位机操作界面点击“发送”命令后,电机开始加速,达到目标速度后电机稳定运行,电机继续运行到设定的减速步数后,开始减速到停止速度,总步数为200 000步。试验过程中同时观察上位机操作界面显示的电机运行状态和示波器显示的脉冲输出,其测试结果如图5所示。



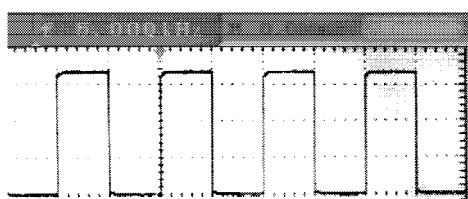
(a) 上位机操作界面

(a) Interface of PC operator



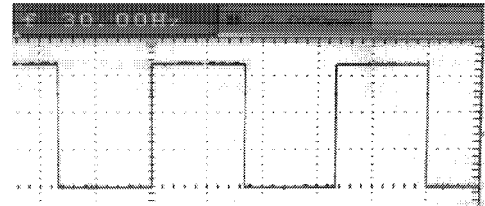
(b) 电机初始速度脉冲输出

(b) Pulse output of motor at initial speed



(c) 电机目标速度脉冲输出

(c) Pulse output of motor at target speed



(d) 电机停止速度脉冲输出

(d) Pulse output of motor at stopping speed

图5 控制系统测试图

Fig. 5 Testing diagram of the control system

在系统测试时,由示波器测得的脉冲信号与实际所需要的脉冲频率有一定的误差。经过测试和计算,误差范围如表3所示。

表3 脉冲频率误差范围

Tab. 3 Error range of pulse frequency

频率范围 / kHz	0.001 ~ 1	1 ~ 10	10 ~ 100
误差范围 / %	0.000 04 ~ 0.004	0.004 ~ 0.4	0.4 ~ 4

由图5和表3可以看出,控制系统输出的脉冲信号驱动步进电机稳步运行,能够满足电机运行所要求的准确性和精确度要求。

5 结语

本文设计的基于单片机与FPGA的多通道步进电机控制系统人机交互界面操作简单、直观性强、控制方便、性能良好,可实现对多台步进电机的准确定速和定位控制,解决了用户对以步进电机作为执行机构的检测设备高效率工作的需求;不仅降低了设备的成本,增强了设备的稳定性和易用性,而且由于使用C语言和Verilog HDL语言编写驱动程序,因此具有很好的可移植性。

参考文献:

- [1] 徐振宇,莫鸿强,田联房,等.基于PC104的步进电机运动控制系统[J].电机与控制应用,2010,37(10): 32-34.
- [2] 王党利,宁生科,马宝吉.基于TB6560的步进电机驱动电路设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2010(1): 41-43.
- [3] 孙小美,高晓蓉,王黎,等.基于DSP的步进电机细分驱动技术[J].机车电传动,2010(4): 21-24.
- [4] 禾苗.多通道滤波分光计控制系统设计[D].成都:西南交通大学,2012.
- [5] 张付祥,刘振宇.多通道步进电机控制器设计及Linux驱动的实现[J].制造业自动化,2011,33(3): 47-49.
- [6] 杨和平,周旋,童军.步进电机的特点及应用[J].黑龙江科技信息,2007(2): 10-11.
- [7] 董晓辉,李国宁.基于CPLD的步进电机控制[J].铁路计算机应用,2007(4): 11-13.
- [8] 刘征东.主动控制受电弓控制系统研究[D].成都:西南交通大学,2012.