

基于 Nios 的微距控制系统的数字设计

毕 阳, 张 涛

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要:设计了一种基于 Nios 处理器的微距控制系统,用于实现虚拟成像设备系统视标位置的精确定位。系统采用现场可编程门阵列(FPGA)实现对步进电机 PWM 的细分驱动和对光栅尺输出信号的鉴相信频,构建了基于 Nios 的微距控制系统的数字设计部分。采用 Altera 公司的 FPGA 设计工具 Quartus II 和嵌入式开发套件 Nios IDE,将可配置的软核处理器与可编程的硬件电路集于一体,既实现了软件处理的灵活性,又具有硬件处理的高速性特点。实验表明,该设计在虚拟成像设备的标视定位中取得了良好的效果,实现了精度为 $1.25\ \mu\text{m}$ 的微距控制。

关 键 词:微距控制;现场可编程门阵列(FPGA);Nios 处理器;脉宽调制;数字设计

中图分类号:TP273.5 **文献标识码:**A

Design of micro distance controller based on Nios

BI Yang, ZHANG Tao

(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*)

Abstract: A micro distance controller based on a Nios processor was designed to locate precisely for a visual indicator in virtual imaging equipment. By using a Field Programming Gate Array(FPGA) to realize the subdividing drive of Pulse Width Modulation(PWM) controller for a stepper motor and to implement the phase identification and frequency doubling of output signals of a grating sensor, the digital system of the micro-distance controller was constructed. With the design tool of Quartus II from Altera's and an Embedded Design Suite Nios, the Nios processor and programming hardware circuits were integrated into one chip, so the system shows excellent flexibility and speediness from the parts of software and hardware. Experimental results indicate that the proposed micro distance controller achieves a good visual indicator position in virtual imaging equipment, and the controlling accuracy of micro distance can reach $2.5\ \mu\text{m}$.

Key words: micro distance control;Field Programming Gate Array(FPGA);Nios processor;Pulse Width Modulation(PWM);digital design

1 引言

在虚拟成像设备中,需要对放置在光学镜头后的视标位置进行精确的定位控制,本文基于光栅尺检测和对步进电机脉宽调制(Pulse Width Modulation, PWM),提出了一种微距控制系统的数字设计方案。

Nios 是 ALTERA 公司推出的一款可配置软核处理器,它可以灵活地配置处理器架构和添加外设,使用其嵌入式开发环境既可以进行软件开发,也可以进行大规模的硬件编程。针对特定的应用,它可以将系统的大部分数字设计集成到一块芯片上,从而减少电路板的体积和布线,在以灵活著称的嵌入式场合具有很大的优势^[1]。本系统设计思想为,构建一个基于 Nios 处理器的嵌入式系统,在一块 FPGA 芯片上提供可编程的硬件和软件操作^[2,3]。系统针对微距控制的应用,用硬件实现步进电机的细分控制和光栅尺检测输出

信号的倍频鉴相,根据位移要求用软件控制步进电机实现位移精确控制。工作步骤为,通过细分控制步进电机的转距角,使其步距角精度达到 0.225° 。通过丝距为 2 mm 的丝杠转换将转距角转化为工作部件的位移,然后使用光栅尺器件精确测量其位置,反馈给微控制器实现电机的闭环控制。在此基础上,设计了一个基于 Nios 的微距控制系统,在 FPGA 上进行软件和硬件处理^[4],最终实现一个具有软件和硬件接口,可将位移精确控制到 $1.25\text{ }\mu\text{m}$ 的系统设计。

2 微距控制系统工作原理

如图 1 所示,微距控制系统设计主要分为 3 个部分。一是由 FPGA 对步进电机进行细分驱动,二是通过 FPGA 实现对光栅尺输出信号的倍频鉴相,三是软件处理,根据位移信息和位移要求控制步进电机。

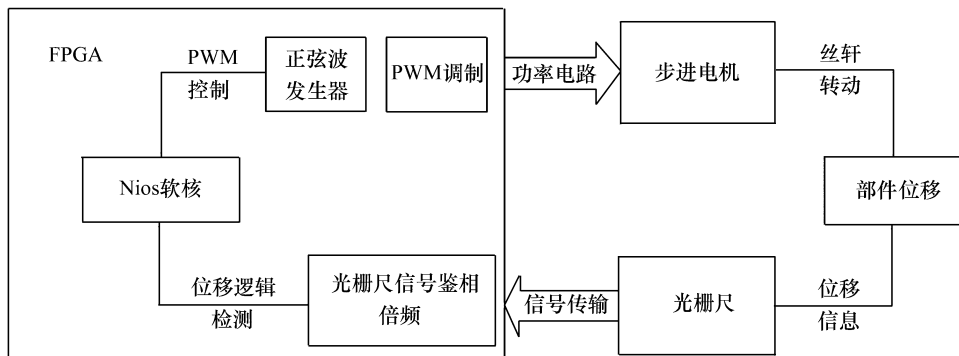


图1 微距控制系统工作原理框图

Fig.1 Schematic diagram of micro distance control system

本设计采用对电机进行 PWM 细分控制的方式来实现位移的精确控制。步进电机细分的本质是通过控制投放到电机各相中的电流大小,即脉宽调制,来达到更精细的控制。FPGA 通过硬件逻辑输出两路能实现 8 细分的 PWM 波形,经过功率电路调制,在两相直流电机中产生随着波形脉冲输出均匀旋转的磁场力距,使电机随着脉冲个数转动若干步^[5]。电机的转动带动丝杠旋转,将角位移转化为丝杠上所载视标的位移。

光栅尺根据莫尔条纹的放大原理来测量微小位移,通过输出两路位相差为 90° 的脉冲信号来表征光栅尺动尺和定尺的相对位移。通过对两路脉冲信号进行鉴相倍频,得到代表位移方向的信号和代表位移大小的脉冲信号。

FPGA 将鉴相位频后的位移信息送到 Nios 软核中进行处理,根据软核中运行的代码,判断当前位置和位移要求,并控制步进电机向指定位置转动。

3 硬件逻辑和软核设计

系统的硬件设计分为步进电机的 PWM 细分,光栅尺信号的鉴相倍频,还有 Nios 处理器的

架构和串口通信。软件设计在 Nios IDE 上开发和调试 C 语言代码,存储 FLASH 到配置中,上电后下载运行。

PWM 细分的硬件逻辑如图 2 所示。

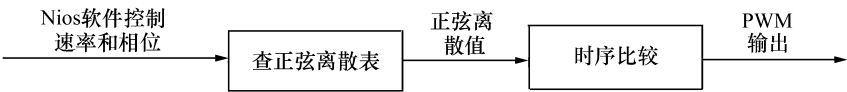


图 2 PWM 细分硬件逻辑
Fig.2 PWM logic design

首先 Nios 输出速率和相位信息,通过查找正弦离散表,输出代表 PWM 波的正弦离散值。其中速率与查表速度有关,查表的方向和间隔与相位和细分精度有关。输出的正弦离散值经过时序比较,输出 PWM 波形。

PWM 细分的硬件逻辑采用 Verilog 语言编写,代码综合后符号模块如图 3 所示。

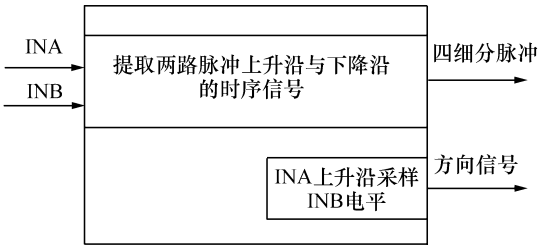


图 4 光栅尺输出信号的鉴相倍频
Fig. 4 Frequency multiplier and phase detector for grating sensor

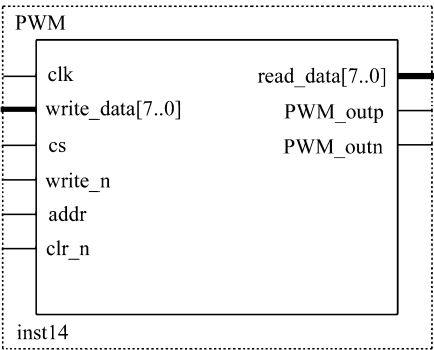


图 3 8 细分拟正弦 PWM 波输出模块
Fig.3 Subdivide PWM output module with eight scale

光栅尺输出信号的鉴相倍频逻辑如图 4 所示。光栅尺输出的是两路位相差为 90°的莫尔条纹,通过判断莫尔条纹的相位可以得到方向信号,分别提取两路脉冲的上升沿和下降沿,可以得到四倍频的脉冲输出^[6]。

鉴相倍频逻辑采用原理图设计,综合后符号模块如图 5 所示。Nios 处理器的架构和串口通信设计采用 SOPC Builder 工具完成。Nios 处理器是基于 Avalon 总线,采用流水线技术,单指令流的

RISC 处理器。本设计选用 Nios/e 型处理器,时钟经过锁相环后输入 50 MHz 的工作频率,系统添加了 JTAG 编程调试模块和 UART 收发模块,通过 GPIO 通用 IO 口对步进电机细分模块进行控制和输入光栅尺细分后的计数数据,采用 RS232 接口与上位机通讯。

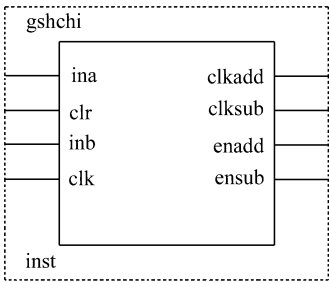


图 5 光栅尺鉴相倍频模块
Fig.5 Module of frequency multiplier and phase detector for grating sensor

Nios 符号模块如图 6 所示。

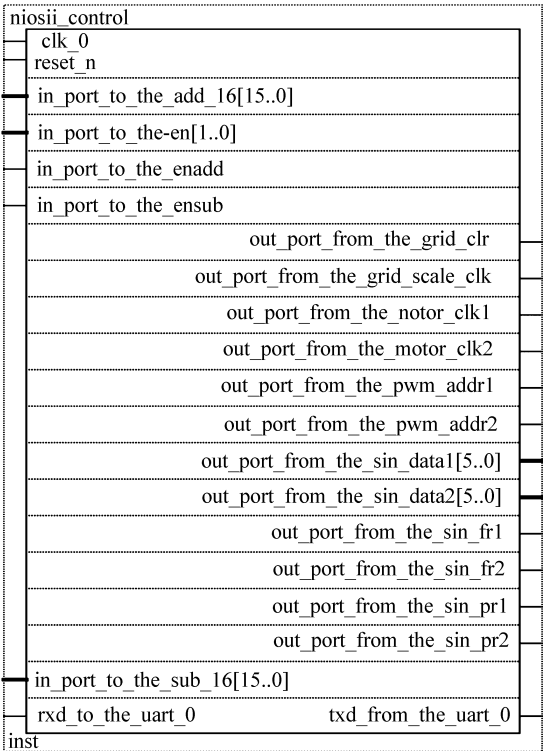


图 6 Nios 处理器与 UART 模块

Fig.6 Module of Nios processor and UART

软件开发^[7]部分代码如下：

```
int main( void)
{
    int i;
    int wait_time;
    Ruler_Zero_Flag = 0;
    Ruler_Zero_Counter = 0;
    Lcd_Position[ 0 ] = 0;
    Lcd_Position[ 1 ] = 3320;
    Lcd_Position[ 2 ] = 45930;
    Lcd_Position[ 3 ] = 49538;

    /* Initialize the StepMotor to the zero positon.
       */
    StepMotorreturn( ) ;
    //reset the counter register of grating sensor
    ClearCounter( ) ;

    /* Initialize the button pio. */
```

```
#ifdef BUTTON_PIO_BASE
    init_button_pio( ) ;
#endif

/* Continue 0 - ff counting loop. */

while( 1 )
{
    switch( cmd_word)
    {
        case 1 : // set the motor to position 0
            motor_turn( )
            Search_Lcd_Position( 3 ) ;

            cmd_flag = 1 ;
            cmd_word = 55 ;
            break ;

        case 2 : //set the motor to position 1
            motor_turn( ) ;
            search_eye_position( 1 ) ;
            Search_Lcd_Position( 2 ) ;
            cmd_flag = 1 ;
            cmd_word = 55 ;
            break ;

        case 3 : // set the motor to position 2
            motor_return( ) ;
            search_eye_position( 8 ) ;
            Search_Lcd_Position( 3 ) ;
            cmd_flag = 1 ;
            cmd_word = 55 ;
            break ;

        case 4 : // set the motor to position 3
            motor_return( ) ;
            search_eye_position( 4 ) ;
            Search_Lcd_Position( 1 ) ;
            cmd_flag = 1 ;
            cmd_word = 55 ;
            break ;
```

```

case 5: // set the motor to position 4
    motor_return();
    search_eye_position(4);
    Search_Lcd_Position(1);
    cmd_flag = 1;
    cmd_word = 55;
    break;

}

return 0;
}

```

4 控制精度分析

本设计采用两相直流步进电机,电机带动丝杠旋转将角位移转化为丝杠上视标的直线位移。全步运行时步距角为 1.8° ,电机转动一周 360° 带动丝杠前进一个丝距,一个丝距为 2 mm。未细分时电机转动一周可以控制为 200 步,一步前进 $10\text{ }\mu\text{m}$,采用 8 细分后步距角达到了 0.225° ,转动一周可以控制为 1 600 步,一步前进 $1.25\text{ }\mu\text{m}$,最小一步可以控制到 $1.25\text{ }\mu\text{m}$ 。

光栅尺输出信号倍频前为一个脉冲光栅尺移动 $5\text{ }\mu\text{m}$,倍频后一次电平跳变代表 $1.25\text{ }\mu\text{m}$,即

最小可以检测到 $1.25\text{ }\mu\text{m}$ 。

试验中的主要误差是电机的过冲误差和累积误差。过冲误差是电机在停止时由于惯性而产生的误差,累积误差是电机过冲误差的多次累积。过冲误差和累积误差只能减小不能消除,本文主要采用软件调速和归零点的方法来减小过冲误差和累积误差。

软件调速是对电机进行减速控制,当视标运行到指定位置附近时,对电机减速,以减少惯性对精度的影响。归零点的方法是在每次设定视标位置时,先让视标回到零点位置,以减小累积误差的影响。

实际的标定试验表明,减小后的误差满足应用的要求。

5 结 论

本文报告了采用 Altera 公司的嵌入式开发套件 Quartus II 和 Nios IDE 在一片 FPGA 芯片上设计实现微距控制系统的数字部分,实现了 PWM 拟正弦波的细分、光栅输出信号的鉴相倍频、Nios 软核处理和与上位机进行异步通信的功能。在虚拟成像设备的视标定位中取得了良好的效果,可实现精度为 $1.25\text{ }\mu\text{m}$ 的微距控制。

参考文献:

- [1] 江国强. SOPC 技术与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
JIANG G Q. *Application of SOPC Technology*[M]. Beijing:China Machine Press,2006. (in Chinese)
- [2] Altera Corp. Nios II Hardware Development Tutorial[EB/OL][2009-01-11] <http://www.altera.com/literature/tt/tt-noisz-hardware-tutorial.pdf>.
- [3] Altera Corp. Nios II Software Development Tutorial[EB/OL][2009-01-11] http://www.altera.com.cn/literature/hb/noisz/nzsw_niisvz.pdf.
- [4] Altera Corp. Altera Embedded Peripherals Handbook[EB/OL][2009-01-11] http://www.ict.kth.se/courses/IL2206/0506/docs/nzcpu_niisv3.pdf.
- [5] 李宁. 基于 FPGA 的步进电机正弦波细分驱动器设计[EB/OL][2009-01-11] http://www.altera.com.cn/education/univ/local/events/articles/june07_1.pdf.
LI N. Design of stepper motor sine-wave subdivision controller base on FPGA[EB/OL][2009-01-11] http://www.altera.com.cn/education/univ/local/events/articles/june07_1.pdf. (in Chinese)
- [6] 但永平,杨雷. 基于 FPGA 的光栅尺信号智能接口模块[J]. 国外电子元器件,2004,(12):4-6.
DAN Y P, YANG L. Intelligent interface module of grating - ruler signal processing base on FPGA[J]. *International Electronic Elements*, 2004, (12):4-6. (in Chinese)
- [7] 蔡伟刚. Nios II 软件架构解析[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2007.

CAI W G. *Nios II Software Framework*[M]. Xi'an: Xidian University Press 2007. (in Chinese)

作者简介: 毕 阳(1985—), 男, 陕西宝鸡人, 硕士研究生, 主要从事 SOPC 嵌入式应用方面的研究。E-mail: ibiy@live.cn

《发光学报》(双月刊)

中文核心期刊(物理学类; 无线电电子学、电信技术类)

《发光学报》是中国物理学会发光分会与中国科学院长春光学精密机械与物理研究所共同主办的中国物理学会发光分会的学术会刊。该刊是以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于1980年创刊, 曾于1992年, 1996年, 2000年和2004年连续四次被《中文核心期刊要目总览》评为“物理学类核心期刊”, 并于2000年同时被评为“无线电电子学、电信技术类核心期刊”。2000年获中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA)自1999年; 美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ)自2000年; 美国《剑桥科学文摘社网站》自2002年; 日本《科技文献速报》(CBST, JICST)自2003年已定期收录检索该刊论文; 2008年被荷兰“Elsevier Bibliographic Databases”确定为源期刊。2001年在国家科技部组织的“中国期刊方阵”的评定中, 《发光学报》被评为“双效期刊”。2002年获中国科学院2001~2002年度科学出版基金“择重”资助。2004年被选入《中国知识资源总库·中国科技精品库》。

本刊内容丰富、信息量大, 主要反映本学科专业领域的科研和技术成就, 及时报道国内外的学术动态, 开展学术讨论和交流, 为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》为双月刊, A4开本, 144页, 国内外公开发行。国内定价: 40元, 全年240元, 全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用, 踊跃投稿。

主管单位: 中国科学院

主办单位: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地 址: 长春市东南湖大路3888号 《发光学报》编辑部

邮 编: 130033

电 话: (0431) 86176862, 84613407

E-mail: fgxbt@126.com

国内统一刊号: CN 22-1116/O4

国际标准刊号: ISSN 1000-7032

国内邮发代号: 12-312

国外发行代号: 4863BM

http://www.fgxb.org