

·光电系统·

高精度高速振镜控制系统设计

王守辉

(中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300000)

摘要: 针对目前扫描成像中的振镜控制系统功耗高、体积大、控制精度低和控制复杂等缺点, 设计出一种高速、高精度振镜控制系统。分析了系统的工作原理, 叙述了系统的硬件设计和软件算法设计, 详细介绍了振镜控制系统的数字控制电路设计和驱动电路设计, 并研制出了振镜控制系统。实验结果验证了振镜控制系统的可行性, 系统运行稳定可靠, 成功应用于动态稳像系统, 有较大的应用前景。

关键词: 扫描成像; 振镜控制; 位置随动控制; 闭环控制; 反馈校正

中图分类号: TH74

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2015)-02-0007-04

Design of High Precision and Speed Galvanometer Control System

WANG Shou-hui

(Academy of Opto-electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300000, China)

Abstract: For the disadvantages of a galvanometer control system in a scanning imaging system such as high power, large volume, low control precision and complex control, a high speed and precision galvanometer control system is designed. The operation principle of the system is analyzed. The design of hardware and software algorithm in the system is described. The design of numerical control and driving circuits of the system is introduced in detail. And a galvanometer control system is developed. The feasibility of the system is tested. Experimental results show that the system is in stable and reliable operation state to be applied in dynamic stable imaging system successfully and has widely application prospect.

Key words: scan imaging; galvanometer control; position control; closed loop control; feedback compensation

目前扫描成像系统中, 因探测器成像体制原因, 需要采用相关稳像系统来保证探测器采集清晰图像。振镜是一种高速、高精度光学扫描器, 可以补偿由于系统扫描所带来的像位移。振镜控制是扫描成像的关键环节, 传统的振镜控制系统由计算机控制, 振镜驱动电路较复杂、体积大、功耗高、偏转角度精度低、控制不灵活等缺点^[1-5], 无法满足现代高精度、小型化、低功耗振镜控制系统设计要求。文中设计了一款小型化、低功耗、高速、高精度振镜控制系统, 系统采用集成化设计, 减小了控制系统的尺寸以及功耗, 采用小体积的振镜电机取代同样力矩的大体积电机, 使得整套振镜系统功耗体积成

倍缩减, 弥补目前振镜控制系统中的不足, 满足扫描成像系统的要求。

1 振镜控制系统工作原理

振镜是一种矢量扫描器件, 因振镜的偏转角与电流成正比, 类似于电流计, 也称电流计扫描振镜, 它是一种特殊的摆动电机, 其原理是通电线圈在磁场中产生力矩, 其转子上通过机械组簧或电子的方法加有复位力矩, 其大小与转子偏离平衡位置的角度成正比, 当线圈通以一定的电流而转子发生偏转到一定的角度时, 电磁力矩与回复力矩大小相等,

收稿日期: 2015-01-30

作者简介: 王守辉(1977-), 男, 本科, 信息工程专业, 主要研究方向为光电工程。

即摆出所需角度,但其不能像普通电机一样旋转,只能偏转,偏转角与电流成正比^[2-5]。

振镜控制系统主要由数字控制电路和驱动电路组成,系统组成框图如图1所示。数字控制电路输出振镜摆角的数字信号,驱动电路接收数字控制电路的数字信号,经内部模拟电路产生驱动振镜的模拟信号,驱动电机摆动,同时接收电机反馈的摆角信息,形成反馈,完成驱动振镜摆动。

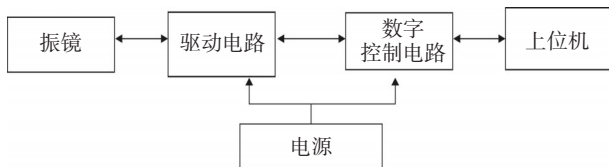


图1 振镜控制系统框图

2 系统硬件设计

目前的振镜数字控制系统采用PC机硬件架构形式,但其功耗高、体积大,而且控制电路与驱动电路通信速率较低,振镜控制位置精度低,无法达到

高精度高速振镜控制的要求,文中设计的振镜控制系统采用CPLD+MCU双处理器模式,CPLD的高速逻辑处理能力对振镜的驱动频率达到几百千赫兹,实现高精度高速振镜控制要求,整个数字控制电路体积与PC机控制系统相比成倍减小。系统硬件设计包括数字控制电路设计和驱动电路设计,数字控制电路负责接收上位机命令,同时与驱动电路通信,驱动电路负责驱动振镜摆动。

2.1 数字控制电路设计

因振镜摆角精度为角秒级,摆角频率可达上百赫兹甚至更高,数字控制电路需要输出高速、稳定、精确的数字控制信号,并且要求数字控制信号具有可调节步长功能,这就要求数字控制电路具有高速数字处理能力和通信能力。

数字控制电路采用CPLD+MCU的双处理器架构,CPLD解算振镜摆角所需的数字控制信息,MCU负责与上位机通信及对CPLD的控制。数字控制电路框图如图2图所示。

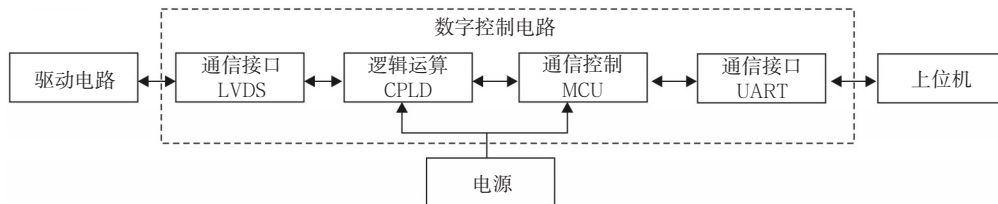


图2 数字控制电路框图

因需要快速计算振镜的数字控制信号,系统选用CPLD作为逻辑运算芯片,因其高速的逻辑处理能力以及低信号传输延迟,完全满足系统应用要求,在此选用Altera公司的MAX II系列EMP1 270芯片,该芯片供电电压为3.3 V,包含1 270个逻辑单元,212个可用I/O引脚。与驱动电路通信要求具有高速率、抗电磁干扰能力强的数据传输能力,系统采用高传输速率、低噪声、远距离、高准确度的低压差分技术接口(LVDS),通信芯片选用支持LVDS接口的DS90LV047A,该芯片支持CMOS电平与LVDS电平转换,可实现几百Mbit/s的速率传输,数据传输延迟时间小于5 ns。

振镜控制系统需与上位机进行通信,对上位机下发的指令解码并执行相应操作,要求通信控制芯片具有一定的通信能力及数据处理能力,在此选用

新华龙系列单片机C8051F120芯片,该芯片具有64个数字I/O引脚,128 K字节系统编程的FLASH存储器,8 K字节的片内RAM,硬件接口包含SPI、SMBus/I²C和两个UART串行接口,5个通用的16位定时器,与上位机通信采用RS232通信接口,与CPLD采用并行数据通信总线。

振镜控制系统电路详细设计如图3图所示。MCU两个I/O引脚与MAX3077串口芯片的R1和T1相连,经MAX3077转换为422电平标准串口与上位机通信,MCU的数据口和地址口与CPLD的数据和地址口相连,作为并行通信口,用于两者之间通信,CPLD的IO1和IO2与DS90LV047A的R0和R1相连,经该芯片转换为LVDS电平与驱动电路板通信,AMS1117-3.3为各个芯片提供3.3 V电源。

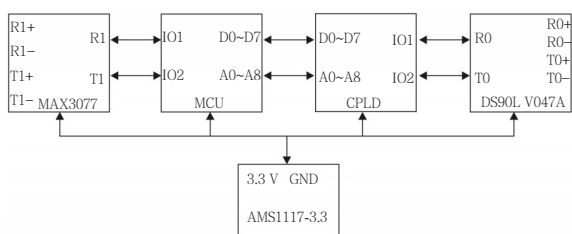


图3 数字控制电路图

2.2 驱动电路设计

驱动电路接收数字控制电路的控制指令,并执行相应操作,同时输出一定模拟电压驱动振镜摆

动,并将振镜摆动状态反馈给数字控制电路。驱动电路与数字控制电路通信采用差分信号传输数据,采用D/A转换芯片输出指定模拟信号,模拟信号经功放功率放大,驱动振镜摆动。驱动电路输出模拟电压范围为-5 V~+5 V,对应振镜摆动角度为-15°~+15°。

驱动电路内部包含通信模块、D/A转换模块和功率放大模块等,系统框图如图4所示。通信模块采用CPLD作为通信芯片,用I/O引角模拟差分信号与数字控制电路通信,D/A为16位数模转换芯片,功率放大模块输出峰值电流可达到4 A。

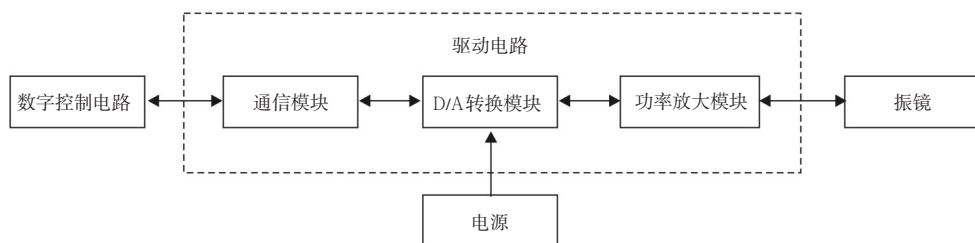


图4 驱动电路框图

为了保证振镜系统的摆动精度和响应速度,必须保证电机中线圈电流的稳定,减少电流超调,系统采用了角度反馈和电流反馈的双闭环结构,应用位置环串联校正和速度反馈校正来改造控制系统结构,提高振镜摆动精度及响应速度,实现振镜准确、快速、稳定地跟随输入位置信号摆动。驱动控制框图如图5所示。

出驱动电压给振镜,同时将振镜摆动状态信息反馈给数字控制电路,实现对振镜控制。

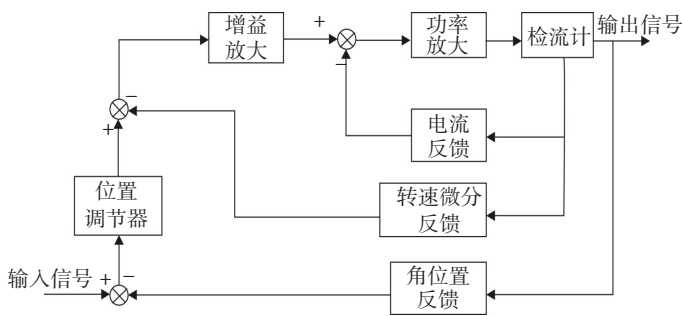


图5 驱动控制框图

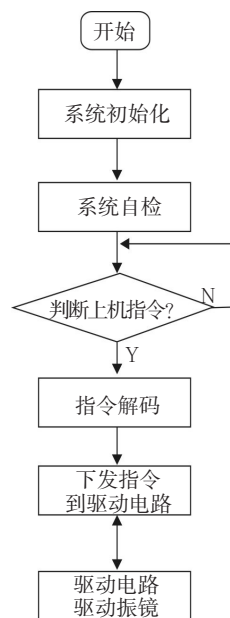


图6 系统软件流程图

3 系统软件设计

下面以整体流程图方式(如图6)进行软件设计的说明。系统初始化并自检,待机等待上位机发送控制指令,当上位机发送控制指令给振镜控制系统,数字控制电路对指令解码,并输出相应数字信息给驱动控制电路,驱动电路按照预定摆角信息输

3.1 数字控制电路软件设计

数字控制电路功能包括自检、接收上位机指令、指令解码和对驱动电路实施功能控制等。图7

是数字控制电路软件流程图。首先数字控制电路的MCU和CPLD自检,自检成功后MCU等待上位机

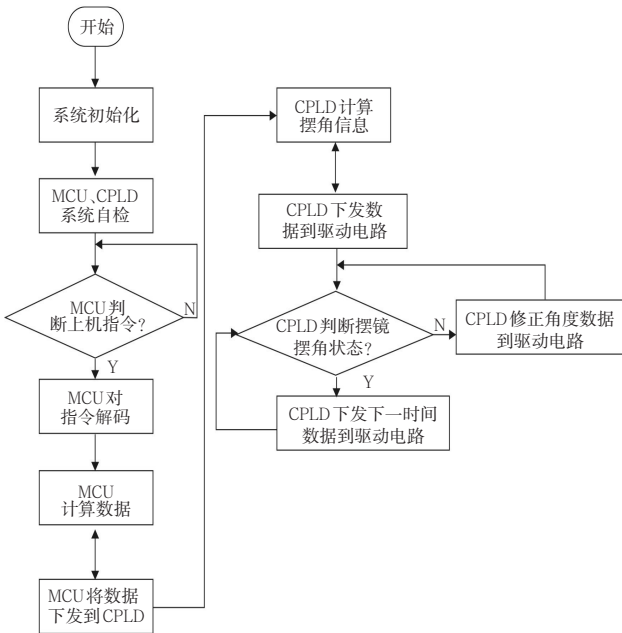


图7 数字控制电路软件流程图

指令,当接收到上位指令后,按照指令要求计算控制摆镜摆角所需要的位置数据、摆动频率数据以及摆角步长数据,将上述数据信息传递给CPLD,CPLD按照时间轴方向不断将位置数据信息下发到驱动电路,并实时监测驱动电路上报的摆镜摆角状态,根据摆镜状态修正相关参数,实现对摆镜的随动控制及连续控制。

3.2 驱动电路软件设计

驱动电路接收到数字控制电路摆角信息后,控制AD输出相应模拟电压驱动摆镜摆动,驱动电路与数字控制电路采用LVDS通信电平标准,通信接口包括时钟信号CLK,使能信号FS,X轴摆镜信号DATA-X,Y轴摆镜信号DATA-Y,摆镜状态信号STATUS,CLK时钟频率为2MHz,DATA-X和DATA-Y的数据位均为19位,前三位为固定标志位,后16位为位置数据,STATUS为摆镜状态位,包含摆镜的瞬时状态信息。通信格式如图8所示。

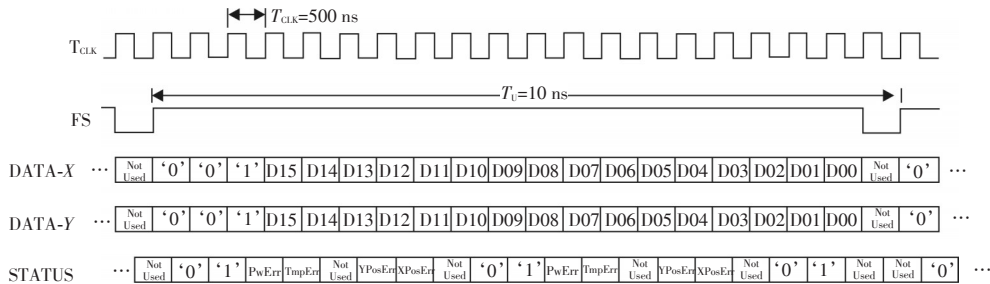


图8 数字控制电路与驱动电路通信格式

4 实验测试

上位机设定好摆镜摆动角度及频率,并下发给数据控制电路,数字控制电路计算摆镜摆动角度数据并按时间轴方向传递给驱动电路,因数字控制电路与驱动电路通信周期为10μs,所以其通信频率可达到几十千赫兹,不会因为通信速率而影响摆镜摆动速率,因摆镜摆动角度范围为-15°~15°,数字控制电路与控制电路的通信位置数据为16位,摆动角度30°经65535细分之后,可得摆镜摆动角度间隔为4.6×10⁻⁴度,可达到μmrad量级,对应关系如图9所示。经实际测试摆镜摆动角分辨率可达到5×10⁻⁴度,摆动频率达到千赫兹。

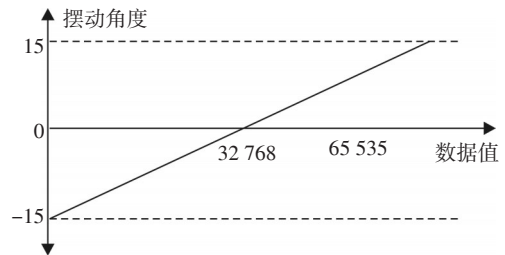


图9 位置数值与度数关系图

数字控制电路发送位置数据到驱动电路后,驱动电路产生模拟电压驱动摆镜,图10中的(a)为驱动波形;(b)为反馈波形。从图10中可看出,电机摆动会有一定时间上的延迟,在驱动摆镜时需要做好提前量,以达成稳像系统的精度要求。

(下转第69页)

方法,将嵌入式计算机、多功能合成便携虚拟实验室高度集成,形成一套一体化便携式自动测试、维修设备。软件上采用“通用开发与执行平台+专用测试诊断流程TPS”的方式,提供自动化接口,使用TPS-COM的封装与加载技术实现交互式操作。该套设备体积小、质量轻、可靠性高、数据分析快速准确,有效降低了维修测试的工作强度,提高了维修测试的效率,有一定的推广价值。

参考文献

- [1] 苏建军,朱红,刘继伟,等.便携式维修检测组合(PMAPIP)系统的设计[J].计算机测量与控制,2009,17(12):2394-2399.
- [2] 薛文虎,许炎义,徐红华.舰船电子装备舰员级维修通用PMA设计方案[J].舰船电子工程,2012,12(10):154-158.
- [3] 吴永明,叶海生.基于IETM的装备故障诊断系统技术研

究[J].计算机测量与控制,2011,19(10):2377-2379.

- [4] 叶玮.基于IETM的飞行器维修信息化研究[J].教练机,2013,4(4):65-68.
- [5] 刘松风,林志文,杨士元.基于IETM驱动的智能便携诊断设备[J].计算机测量与控制,2009,17(6):1030-1032.
- [6] 刘双双.嵌入故障诊断策略的IETM的研究与实现[J].计算机测量与控制,2010,18(9):1964-1966.
- [7] AIMSS用户手册[Z].北京天健志行科技有限公司,2006.
- [8] 赵秀丽.基于COTS的某导航雷达PMA设计[J].学术研究,2011(9).
- [9] 陈龙,曹伟洲,邢千里.便携式维修辅助工具在船舶维修中的应用研究[J].舰船电子工程,2008(12):161-163.
- [10] 李效辉,黎琼炜.基于嵌入式系统的智能探伤PMA[J].测控技术,2006(1):55-58.
- [11] 申莉,沈士团.自动测试系统中可互换仪器驱动研究[J].电子测量技术,2008,31(4):5-7.

(上接第10页)

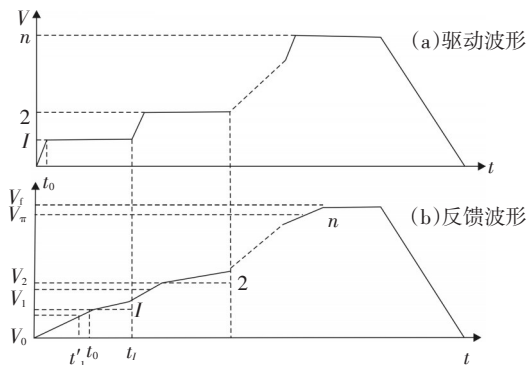


图10 驱动波形和反馈波形关系图

5 结论

设计了一款小型化、低功耗、高精度振镜控制系统,采用高速逻辑处理电路实现对振镜的高速、高精度逻辑控制,成功应用于动态稳像系统,解决目前功耗高、体积大、控制复杂的振镜控制问题,系统可实现上千赫兹的重复扫描频率,摆角分辨率达到微弧度量级,实现了对振镜的高精度、高速度控制,满足目前扫描成像系统的应用要求。

参考文献

- [1] 许亚平,陶霞虹.振镜电路的设计考虑[J].应用激光,1999,19(1):39-40.
- [2] 王先起,廖胜,黄建明.扫描振镜幅频特性测试及位置标定的研究[J].光电工程,2004(12):74-75.
- [4] 李瑾瑜,徐惠仁,顾培德,等.高精度伺服控制偏转振镜[J].应用激光,1981(1):48-52.
- [3] 王先起,廖胜,沈忙作,等.一种采用扫描振镜的背景实时扣除方法[J].光电工程,2005,32(5):10-11.
- [5] 杨少辰,刘夏萍,李志娟,等.振镜式光束扫描/偏转系统及成像过程的研究[J].激光与红外,1997,27(2):95-99.
- [6] 夏宇闻.Verilog数字系统设计教程[M].2版.北京:航空航天大学出版社,2003.
- [7] 张逸新,陈玲华.多面转镜双光束远场扫描规律研究[J].激光技术,2000,24(5):39-40.
- [8] 王兴龙.单模光纤共焦扫描显微成像系统总体设计与平面扫描技术研究[D].南京:南京理工大学,2002.
- [9] 罗建勇.压电器件的驱动技术研究[D].杭州:浙江大学,2002.
- [10] 叶乔,汪盛烈,赵学民.高速扫描振镜伺服电路设计[J].中国激光:增刊,2004,31(2):351-354.
- [11] 曾庆勇.微弱信号检测[M].杭州:浙江大学出版社,1996.