

基于高速 LED 的非接触数据传输系统的实现*

邹盼盼 陈仁文

(南京航空航天大学 机械结构力学及控制国家重点实验室 南京 210016)

摘要:直升机的智能旋翼是航空领域中一种典型的旋转机械,在对其进行数据采集和实时控制的过程中,设计信息传输通道有着重要的意义。设计了一种可同步双向、高速、实时进行非接触信息传输的系统。该系统采用了一种同步收发单光环耦合结构,克服了传统传输手段的诸多不足,并依靠高调制带宽的 LED 和 PIN 器件设计了高速收发电路,电路能在 100 MHz 的频率下工作。系统中使用了 FPGA 作为控制核心对数据进行处理。仿真实验表明,该系统传输速度快、误码率低。

关键词:旋转机械;非接触测量;光电耦合;FPGA

中图分类号: TN303 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.4030

Implementation of a non-contact data transmission system based on high-speed LED

Zou Panpan Chen Renwen

(State Key Laboratory of Mechanics and Control of Mechanical Structures, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Helicopter's smart rotor is a typical kind of rotary machine in the aerospace industries. In the process of data acquisition and real-time control, the design of its information transmission channel is of great significance. A kind of non-contact information transmission system is designed, which can be synchronized with two-way, high speed and real time. This system uses a synchronous receive single ring coupling structure, overcoming the shortcomings of traditional transmission means. Also, the high speed transceiver circuit is designed based on LED and PIN devices with high modulation bandwidth. The circuit can work at the frequency of 100 MHz. In the system, FPGA is used as the control core to deal with data. Simulation results show that the system is of high transmission speed and low bit error rate.

Keywords: rotary machine; non-contact transmission; photoelectric coupling; FPGA

1 引言

直升机旋翼系统的技术发展对推动直升机的发展进步起着至关重要的作用,为优化旋翼系统的性能,如何高速、准确、安全地获得旋翼上的测量参数是一个技术难题。现有的测量手段有接触式滑环、无线电遥测和红外传输等,但都存在一定的不足:接触式滑环磨损大,传输信号不可靠;无线电遥测系统复杂,抗干扰能力和保密性能差;红外传输由于其自身频率限制,难以满足现代测量系统中对速度的高要求。

可见光因其更高的带宽潜力、更简单的系统构成和更强的保密性能,在旋转机械的测量中有着越来越高的地

位。将光纤作为传输媒介应用在旋转机械的测量系统中能有效地控制光路传输通道。已经商业化的光纤旋转接头为旋转平台的数据传输问题提供了较好的解决方案,但它也有着不容忽视的问题:对装配误差的严苛性以及只能安装在轴心处的局限性。

本文以可见光为载波,以光纤为传输媒介,设计了一种可以直接装配在转轴外侧的同步收发单光环耦合结构,并验证其性能可满足系统需求。为高调制速率的 LED 和 PIN 器件设计了高速发送和接收电路,以现场可编程门阵列(field-programmable gate array, FPGA)为控制核心,实现了非接触系统数据的高速传输。

收稿日期:2016-11

* 基金项目:航空科学基金项目(2014ZC52039)、江苏高校优势学科建设工程项目资助

2 系统整体结构设计

系统中的数据传输有两个方向:1)从旋翼上的传感器到上位机,该方向传输测试信号,数据量大,将其称为上行通道;2)从上位机到旋翼上的传感器,该方向传输控制信号,称其为下行通道。双向传输通道在结构上具有高度的对称性,因此以上行通道为例介绍整个系统的实现。

上行通道的结构示意图如图1(a)和图1(b)所示。系统工作过程为:A/D采集控制模块从多路A/D采集器中读取数据后在同步FIFO中缓存,然后对数据进行校验、编码、并/串转换等处理后发送给后续的LED驱动电路,将电信号转化为光信号通过同步收发单光环耦合结构发送给固定侧。在接收端,PIN检测到有效的光信号后转化为电信号,送入FPGA中处理后通过USB控制芯片68013A^[1]将数据传送到上位机中。

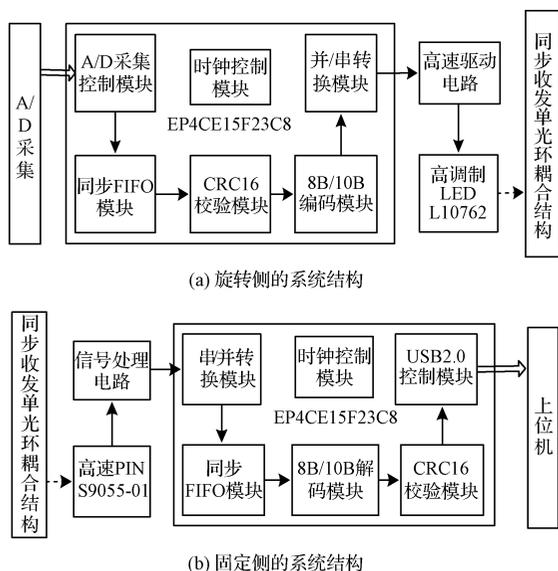


图1 上行通道的系统结构示意图

3 系统硬件模块的实现

3.1 耦合结构的设计

耦合结构设计的第一步是光纤材料的选型,在满足传输效果的前提下,本设计选用质量更轻、性价比更高、挠度更好、数值孔径NA更大的塑料光纤,所设计的同步收发单光环耦合结构总体示意如图2所示。整个结构为圆环状,旋转侧的耦合结构可以直接与转轴相连,而固定侧的则固定在基座上,两者如图2(d)所示同轴安装。单光环4中的塑料光纤在内腔3中被硅胶固定后分成了两束,一束为与LED相连的发送光纤6,一束为与PIN管相连的接收光纤2,两者之间的直径比例为2.16:1。在单光环4中,接收光纤束2是均匀的分布在发送光纤6中的,如图2(c)所示,这样可以保证在旋转过程中发送光和接收光都能连

续不间断,从而消除了旋转对系统传输性能的影响。LED与PIN固定在安装图2所示的7和1中,可以保证光束被有效地发送和接收。

塑料光纤的数值孔径大于0.5,光束从图2(c)所示的表面A发射出来后,以扩散的光束传输到固定侧的表面B,形成一个环形光斑,这个光斑的宽度大于d,因此保证了在有旋转作用的影响下,光的传输通道仍然是连续不间断的,提高了结构对安装误差的容错性。实验证明,两个耦合结构在轴向距离为1cm的范围内,传输的光强能被有效检测。

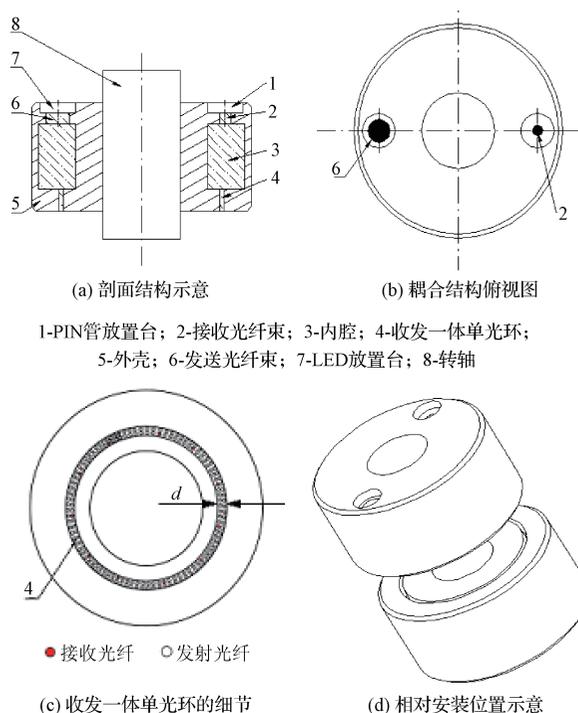


图2 同步收发单光环耦合结构示意图

3.2 系统硬件设计

为了实现高速传输,对发光二极管LED的调制特性和驱动电路有很高的要求。本设计选用滨松公司型号为L10762的LED,这种红光LED在塑料光纤通信的应用中有着突出的优势。L10762的发射波长高度集中在660nm处,光纤终端输出功率比普通LED提高了7倍左右^[2]。L10762的-3dB调制带宽高达70MHz,而其他型号的红光LED带宽远远不如它,如L3882只有2.2MHz,CREE公司的红光LED也只有3MHz左右的带宽^[3]。实验也验证了,L10762的传光效果和调制带宽比市售的普通LED更好。

系统中设计的LED高速驱动电路如图3所示,该电路的响应速度主要由晶体管 T_{r1} 和 T_{r2} 的响应时间来决定。电路中优化后的参数选择为: $R_1=R_4=R_5=510\Omega$, $R_2=R_3=40\Omega$, T_{r1} 和 T_{r2} 选择型号为2SC4308的晶体管。参数优化后,电路的响应速度可以达到100MHz。

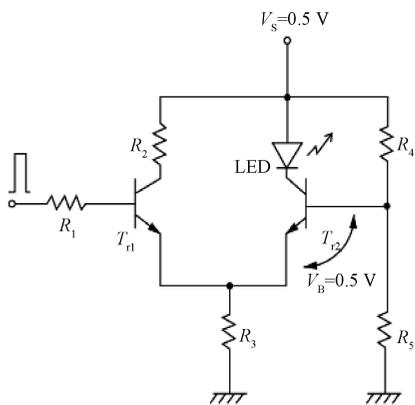


图3 高速LED驱动电路

在接收端,从光电二极管的频率特性和电路复杂程度出发,选择PIN管作为光接收器件,而考虑到与LED的光谱匹配问题,最终选择滨松公司的S9055-01。虽然PIN比雪崩光电二极管APD的感光灵敏度低,但其成本更低,不需要温度补偿电路和升压电路,且这一款S9055-01的-3 dB调制带宽到达2 GHz,完全可以满足本设计的需求。S9055-01的峰值波长为700 nm,在660 nm处的光探测灵敏度为0.38 A/W,能和L10762配合使用^[4]。系统中设计的接收电路如图4所示,其中 R_L 、 R_f 和 R 由运算放大器决定。当选用合适的放大器时该电路的响应频率可高达100 MHz以上。

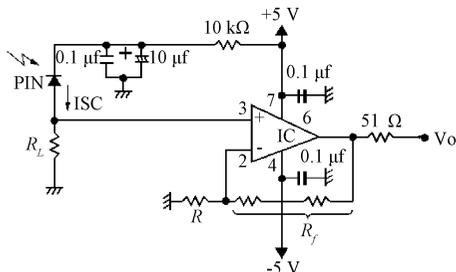


图4 接收电路示意

4 系统软件设计

系统的控制芯片选用的是ALTERA公司的CYCLONE IV系列的FPGA,具体型号为EP4CE15F23C8。FPGA的程序由Verilog语言编写,采用模块化设计方法^[5]。整个系统分为时钟控制模块、通信控制模块、同步FIFO模块、CRC校验模块、8B/10B编码模块和串并转换模块。旋转侧的通信控制模块主要完成对前端的A/D转换器中的数据进行读取的功能,固定侧的通信控制模块主要完成与上位机之间的数据交换功能。CRC校验模块用来验证数据传输是否准确,当发生错误时则舍掉该组数据。

FPGA与上位机之间采用USB通信^[6],因为USB 2.0的速度可以高达480 Mbps,完全能够满足本系统对速度的高要求。USB控制芯片选用的是Cypress公司EZ-

USB FX2LP系列的CY7C68013A,这款芯片含高速USB 2.0通信协议,数据传输是通过对其内部集成的4个FIFO(EP2、EP4、EP6、EP8)的读写来完成的。68013A有Slave FIFO和GPIF两种接口方式,Slave FIFO是从机方式,数据传输不需要内部CPU的参与,因此传输速度也就不受8051工作频率的限制^[7],本设计采用同步Slave FIFO模式。在USB固件程序的初始化函数void TD Init(void)中正确配置FX2的相关寄存器,然后用状态机的方法进行Verilog程序的编写。图5所示为FPGA对68013A同步Slave FIFO读的原理,各端口作用如表1所示。

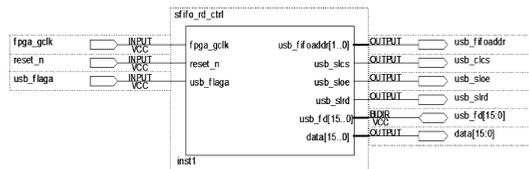


图5 同步Slave FIFO读模块

表1 同步Slave FIFO读模块的端口说明

端口名称	数据方向	作用
fpga_clk	input	系统时钟
reset_n	input	复位信号
usb_flg_a	input	端口EP2的状态信息
usb_fifoaddr	output	选择四个FIFO端点的地址线
usb_slcs	output	FIFO的片选信号
usb_sloe	output	FIFO输出使能
usb_slrd	output	FIFO读信号
usb_fd[15:0]	inout	68013A中待读取的数据
data[15:0]	output	输出数据

循环冗余校验码具有编码和解码方法简单以及检错和纠错能力强等特点^[8],是进行数据传输差错检测的一种很好的手段。CRC校验码有串行算法和并行^[9]算法两种,前者1个时钟周期只能处理1个数据,不适用于高速场合,本文基于并行算法编写了16位并行数据的CRC-16校验码,生成的模块和仿真如图6所示。

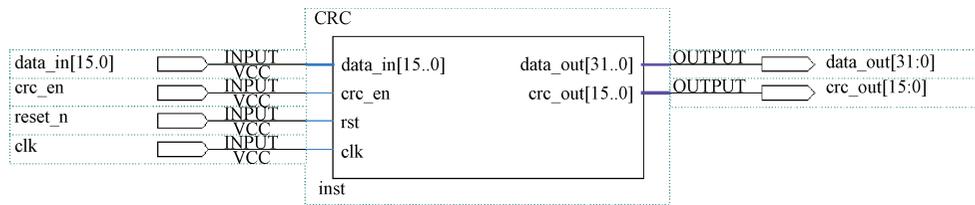
5 系统仿真结果

在100 MHz的工作频率下,电路仿真运行结果如图7所示。

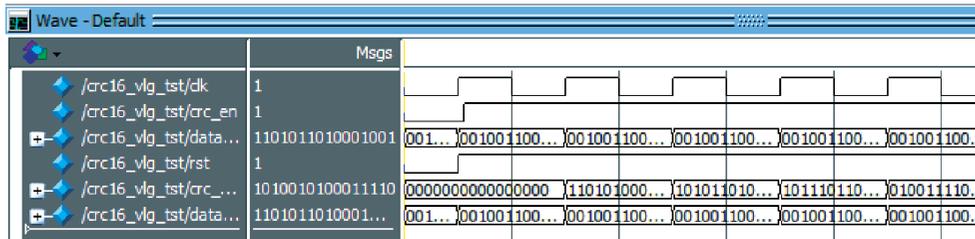
在USB同步Slave FIFO模式下进行读写数据测试,传输结果如图8所示。

用LabVIEW设计^[11]的数据采集软件对系统的性能进行测试,用信号发生器代替传感器产生频率为10 MHz的信号,接收到的结果如图9所示。

由测试结果可知,系统传输性能良好,可以广泛使用在如直升机智能旋翼、工业转轴等旋转机械上。



(a) CRC16校验模块



(b) CRC16校验仿真波形

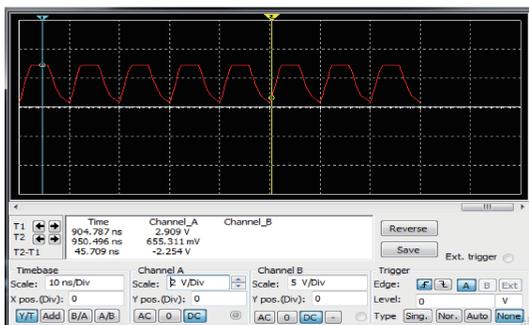
图6 CRC16 校验模块



(a) 发射电路仿真输出



图8 USB同步Slave FIFO读写测试



(b) 接收电路仿真输出

图7 电路仿真结果

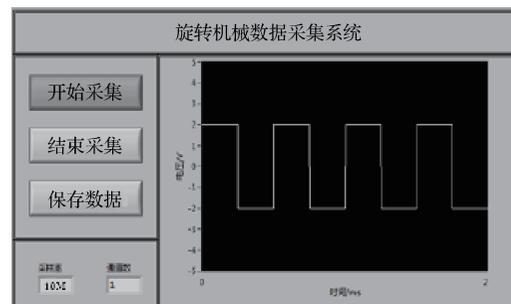


图9 数据采集系统采集的结果

6 结 论

本文研究设计了一种可应用于旋转测量平台的光耦合通道,可以实现光路连续不间断地稳定传输。在此基础上,基于 ALTERA 公司的 CYCLONE IV 系列的 FPGA 芯片 EP4CE15F23C8 和滨松公司的光收发器件,研究设计了一种双向、高速、同步的数据传输系统,满足了直升机智能旋翼测量系统中数据量大、实时测量的需求。

参 考 文 献

- [1] 张少真,崔小虹,殷聪,等. 激光汇聚原子系统中基于 USB 接口的数据采集[J]. 电子测量技术, 2015, 38(4):136-140.
- [2] Hamamatu. Red LED L10762 [EB/OL]. (2016/02/10) http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/l10762_kled1054e.pdf
- [3] 曹捷. 可见光通信系统的光源特性与调制技术研究[D]. 南京邮电大学, 2012.
- [4] Hamamatu. Si PIN photodiode S9055 series [EB/OL]. (2015/05/12) http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/s9055_series_kpin1065e.pdf.
- [5] 张松,李筠. FPGA 的模块化设计方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(5):560-565.
- [6] 张世伟,印世平,何运桃. USB2.0 接口传输的FPGA控制与实现[J]. 国外电子测量技术, 2009, 28(11):74-76.
- [7] CY7C68013 EZ-USB FX2 USB Microcontroller and High Speed USB Peripheral Controller [EB/OL]. <http://www.cypress.com>
- [8] 李晓珍,苏建峰. 循环冗余校验 CRC 算法分析及实现[J]. 中国科技信息, 2010(13):100-101.
- [9] 毕占坤,张羿猛,黄芝平,等. 基于逻辑设计的高速 CRC 并行算法研究及其 FPGA 实现[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(12):2244-2249.
- [10] 陈福彬,柴海莉,高晶敏. 基于 LabVIEW 的自动化测试平台的设计[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(11):9-14.

作 者 简 介

邹盼盼,1991年10月出生,硕士研究生,主要研究方向为测试计量技术及仪器、非接触数据传输等。
E-mail:zoupan2pan@126.com