

## 地基大型望远镜数字通信系统的设计

贾建禄<sup>1</sup>, 赵金宇<sup>1</sup>, 杨轻云<sup>1</sup>, 陈璐<sup>1,2</sup>

- (1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 数据通信系统是大型望远镜的数据传输中枢。针对地基大型望远镜分系统多, 信号种类繁杂、分布不均匀和分布距离较远等特点, 设计了一种基于大规模集成电路 FPGA 的数据通信系统。系统分为机上数据通信系统和机下数据通信系统两部分, 机上与机下数据通信系统通过单根光纤进行连接。系统最多可提供 60 路 RS422、32 路 TTL、10 路 RS485 和 4 路 RS232 同步传输。同时, 系统以 GPS 时钟频率为基准频率产生多种工作时序, 为望远镜提供同步工作脉冲; 通过采集曝光脉冲对应时刻的时间数据和编码器数据锁存当前的时空信息。硬件方面采用 XILINX 公司的 Virtex-5 系列 FPGA 为核心处理芯片完成该系统的设计, 实验结果表明系统可满足大型望远镜数据通信的需求。

**关键词:** 地基大型望远镜; FPGA; 数字通信系统

**中图分类号:** TN911.73 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)02-0596-05

## Data communication system for large ground-based telescope design

Jia Jianlu<sup>1</sup>, Zhao Jinyu<sup>1</sup>, Yang Qinyun<sup>1</sup>, Chen Lu<sup>1,2</sup>

- (1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The communication system which was the point of large ground-based telescope was presented, for meeting partial systems' large number, data classes' variety, data transmitting long distance and data's uneven distribution. The system was made up by up data communication system and the bottom one. By using FPGA, the maximal communication capability of system was promoted to transmit 60 paths of RS422, 32 paths of TTL, 10 paths of RS485 and 4 paths of RS232 in one time, while the connection between up and bottom system was single optical fiber. In addition, the telescope's working clock was supported by GPS, and the real-time spatial and time information was given by catching exposure signal's time and encoder data. The XILINX's Virtex-5 FPGA was designed in the heart place. The experiment results indicate that the system is valuable for large ground-based telescope.

**Key words:** large ground-based telescope; FPGA; communication system

收稿日期: 2014-06-17; 修订日期: 2014-07-20

基金项目: 国家高技术 863 计划(2009AA8080603)

作者简介: 贾建禄(1982-), 男, 助理研究员, 博士, 主要从事基于 FPGA 的硬件开发与设计, 自适应光学系统波前处理技术及大型望远镜数字通信系统的设计。Email: jianlucimp@163.com

### 0 引言

地基大型望远镜的数字通信系统主要完成数据采集和控制,是主控计算机与其他分系统之间的通信桥梁。其接收秒信号为其他分系统提供需要的频率信号;接收时间统一系统的时间信息,并对接收到的时间信息进行细分从而产生毫秒信息;接收气象数据;接收和转发调焦调光命令;接收其他状态信息。将所接收的数据和设备状态信息转发给主控计算机,进行数据的存储和转发。同时,为解决系统不同步从而带来的时空对应关系的影响,数据通信系统需具有时间和空间位置的锁存功能,从而保证所观测目标的时空严格对齐,便于进行数据融合和跟踪。同时,国内外地基大型望远镜的终端类型大多都是光学相机,这些相机用于粗跟踪,精密跟踪,成像测量,自适应光学成像等。所有的光学相机都需要数字通信系统为其提供曝光触发信号和接收其曝光脉冲。应用与大型地基望远镜的数据通信种类主要有组网类和串口类两大类。其中组网类是由网口,CAN 总线等接口将望远镜系统与其他系统相连,这种模式的特点在于可提供大数据量远距离传输,但不能提供实时数据传输,同时也不能提供脉冲信号的传输。

文中设计了一种基于 FPGA 的数字光纤通信系统<sup>[1-4]</sup>。整个系统由机上和机下两部分通过光纤连接而成。而接口大多采用实时型强的串口通信作为通信接口,在满足系统功能需求的前提下,减少了望远镜配线的电缆数量,提高了系统的可靠性和实时性。具有很高的实用价值<sup>[5-6]</sup>。

### 1 实验

#### 1.1 系统设计

图 1 为大型地基望远镜数据通信系统结构框图。系统分为机上数据通信系统和机下数据通信系统两部分,分别与机上和机下各分系统进行互连。同时接收 GPS 的时间信息和秒脉冲信号,为整个望远镜提供工作时钟频率。

系统同时采用高精度晶振对时间信息进行细分,其分辨率可达到 10 μs。系统的核心器件为 XILINX 公司的 Virtex-5 FPGA 芯片。其内置的 Aurora 核可实现高速串行数据通信,最高传输速率可达 3.75 Gbps。系

统通过光纤将机上和机下两部分连接起来。使得整个望远镜系统的数据通信部分机上机下连接部分仅有一根光纤电缆,减少了在系统配线过程中的工作量和整个望远镜系统的数据通信电缆数量。

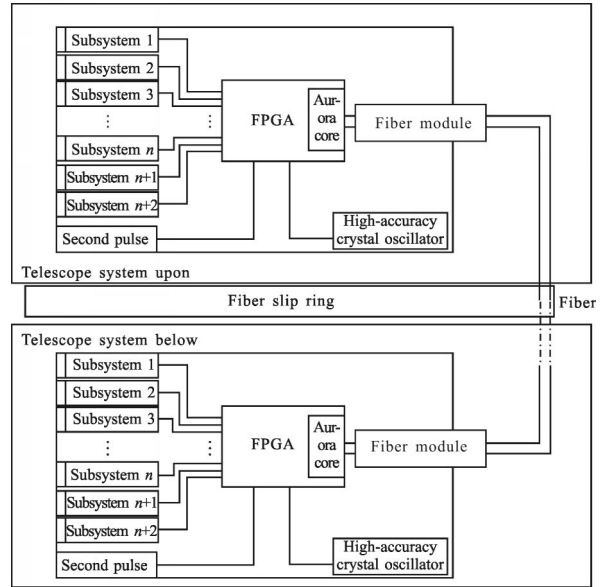


图 1 大型地基望远镜数据通信系统结构框图

Fig.1 Block diagram of large ground telescope data communication system

#### 1.2 硬件设计

系统采用核心处理底板和接口扩展板组合的方式,其中核心处理底板选用 XILINX 公司的 Virtex-5 系列 FPGA 作为核心处理芯片,设计的接口种类和数量分别为:

- (1) RS422 串行接口 60 个;
- (2) RS232 串行接口 4 个;
- (3) RS485 串行接口 10 个;
- (4) TTL 电平信号 32 个;
- (5) SFP 光纤接口 2 个。

核心底板原理设计框图如图 2 所示,其中接口

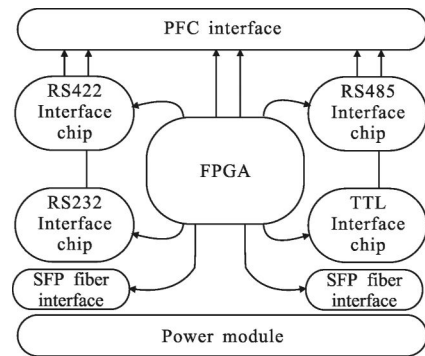


图 2 核心处理底板原理设计框图

Fig.2 Structure design of center bottom board

电路均采用接口芯片的设计方式,选用的接口芯片具有防冲击和静电保护的功能。核心处理底板与接口转换板采用高密度的柔性扁平电缆(FPC)进行连接。设计完成核心处理底板的 PCB 电路图如图 3 所示。

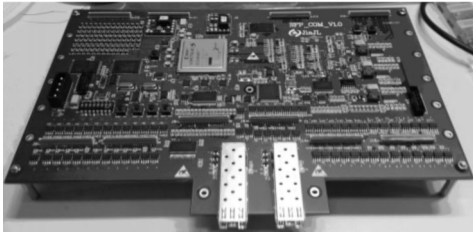


图 3 核心处理底板 PCB

Fig.3 PCB design of center bottom board

### 1.3 系统软件设计

整个系统采用基于 Verilog 的硬件描述语言进行编程设计。系统各分系统与数字通信系统进行通信的类型主要分为数据类型和脉冲信号两种。设计流程框图如图 4 所示。

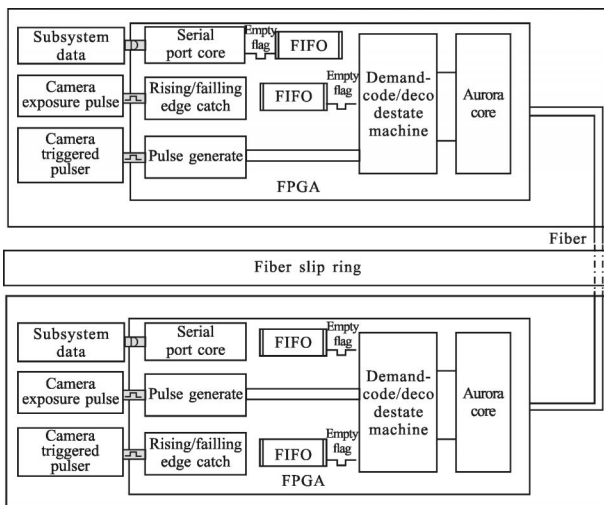


图 4 算法设计流程框图

Fig.4 Flow chart of algorithm design

设计算法流程如下:

(1) 针对机下系统发送至机上的数据信息,首先通过串口接收核,将接收到的串行 Bit 流整合成 8 bit 的字节数据,并将字节数据写入到串口数据发送 FIFO 中;

(2) 针对机下系统发送至机上的相机脉冲触发信号,该脉冲信号为异步信号,采用较高时钟频率对该脉冲的上升沿和下降沿进行捕获,将捕获到的上升沿和下降沿进行编码,将编码后的数据写入脉冲

信号发送 FIFO 中;

(3) 查询-编/解码状态机采用较快频率的循环模式对串口数据发送 FIFO 和脉冲信号发送 FIFO 的 Empty 状态标识进行查询,当查询到某个 FIFO 的 Empty 标识为非空时,将该 FIFO 中的数据进行读取,并进行编码后写入 Aurora 核的用户接口电路中,经由光纤传输到机上数据通信系统。

(4) 针对机上数据接收,若解码后为数据类型则写入相应通道的串口数据 FIFO 中,后经串口发送核发送到相应的分系统中。

(5) 针对机上脉冲信号接收,若解码后为脉冲信号则根据其上升沿编码识别符将脉冲设为高电平,根据其下降沿的编码识别符将该脉冲设为低电平,从而形成所需要的脉冲信号。

(6) 机上到机下的数据和脉冲传输与机下到机上的传输原理相同,方向相反。

上述算法的优点在于:

(1) 可实现多路串口数据和 TTL 电平的编/解码,实现机上机下的数据传输。

(2) 所有通信的编码、解码和光纤发送接收电路均在 FPGA 内部逻辑实现,减少了外围电路的设计难度和开发成本。

### 1.4 Aurora IP 核的设计

该系统中光纤的数据传输是设计的难点,光纤的数据传输采用的是 Aurora IP 核。

Aurora IP 是一个可裁剪,轻量级,链路层的协议,用作通过一个或多个高速串行通道点对点的数据传输。XILINX 公司的 Virtex-5 FPGA 中的 Aurora IP 核对 Rocket I/O GTP 收发器进行了封装<sup>[7-8]</sup>。Rocket I/O 具有如下特点:

(1) 速率范围介入 100 Mbps 到 3.75 Gbps 之间;

(2) 较低的功耗,在 3.2 Gbps 下每个通道的功耗低于 100 MW;

(3) 可在 FPGA 中实现多个协议(标准和定制的);

(4) 先进的 Tx/Rx 均衡技术,保证了数据传输的稳定和可靠性。

Aurora IP 核的设计原理框图如图 5 所示,ISE14.1 版本开放了 Aurora 核的使用权限,用户可以直接在 XILINX 公司的 Virtex-5 FPGA 平台上定制自己的 Aurora 核。选择合适的传送频率、传输通道以及传输位数。通过用户接口将用户应用程序与

Aurora 核连接起来。

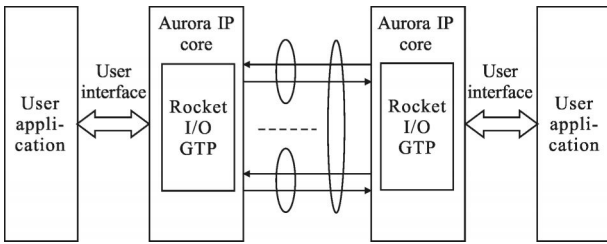


图 5 Aurora IP 核设计原理框图

Fig.5 Aurora IP core design schematic diagram

其中用户接口是用户设计的关键,图 6 给出了 Aurora 光纤传输发送的时序图,其中 USER\_CLK 为时钟频率,上升沿有效;TX\_SOF\_N 为发送开始有效标识,低电平有效;TX\_EOF\_N 为发送接收有效标识,低电平有效;TX\_SRC\_RDY\_N 为发送端数据有效标识,低电平有效;TX\_DST\_RDY\_N 为接收端是否准备好标识,低电平有效;TX\_D 为发送数据。

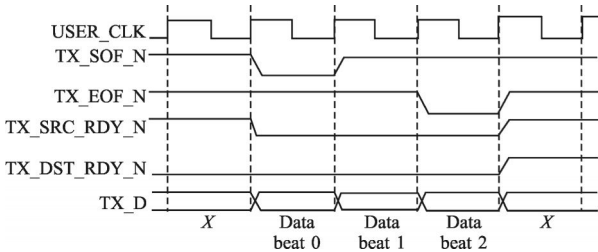


图 6 Aurora 光纤传输发送时序

Fig.6 Aurora fiber transmit timing

针对图 6 的发送时序图,设计如图 7 所示的逻辑电路,在发送端将发送 FIFO 充满后,Full 标识

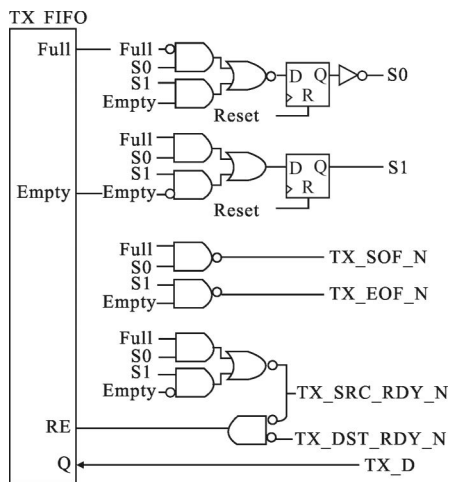


图 7 Aurora 光纤传输发送逻辑

Fig.7 Aurora fiber transmit logic

有效,触发 TX\_SOF\_N 信号,开始数据的传输,当将 FIFO 中的数据发送完毕时,Empty 标识有效,触发 TX\_EOF\_N 信号,结束数据的传输。

图 8 给出了 Aurora 光纤传输接收的时序图,其中 USER\_CLK 为时钟频率,上升沿有效;RX\_SOF\_N 为接收数据开始有效标识,低电平有效;RX\_EOF\_N 为接收数据结束有效标识,低电平有效;RX\_SRC\_RDY\_N 为接收端数据有效标识,低电平有效;RX\_D 为接收数据。

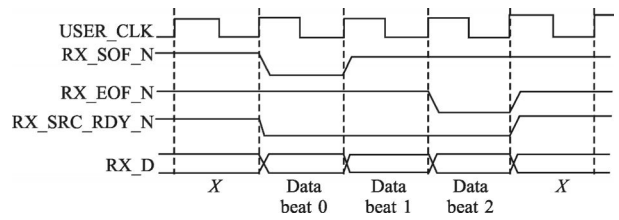


图 8 Aurora 光纤传输接收时序

Fig.8 Aurora fiber receive timing

针对图 8 的接收时序图,设计如图 9 所示的逻辑电路,接收端相对设计较为容易,将接收数据有效标识 RX\_SRC\_RDY\_N 取反后作为接收 FIFO 的写有效信号,将接收到的数据写入 FIFO 中即可。

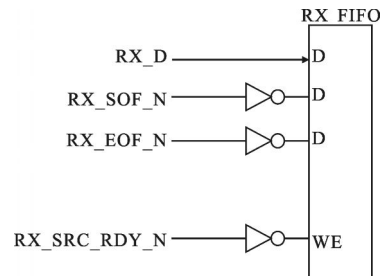


图 9 Aurora 光纤传输接收逻辑

Fig.9 Aurora fiber receive logic

## 2 实验结果与分析

图 10 给出了设计完成的数据通信系统硬件连

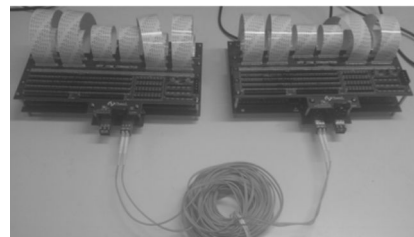


图 10 数据通信系统硬件连接图

Fig.10 Data communication system hardware connection

接图,在该平台上分别对数据类型和脉冲信号采用上述方法进行了发送编码和接收解码的实验验证。

针对机下与机上数据通信系统的数据传输设计了如下实验,采用 PC 机的串口以一定的波特率发送数据,进入 FPGA 内部的串口接收模块,采用文中上述所述的数据编码传输方式,经光纤发送端发送,接收端接收后通过串口发送模块发送自 PC 机。图 11 给出了实验结果,从图中可以看出实现了数据无损的编解码传输。



图 11 串口测试实验结果

Fig.11 Serial test results

针对机下与机上数据通信系统的脉冲传输设计了如下实验,在 FPGA 内部产生如同 12 所示的 1 通道的发送脉冲,采用文中上述的脉冲编码传输方式,经光纤发送端发送,接收端接收后生成图 12 中的 2 通道的接收脉冲。从图中可以看出实现了脉冲信号的机上与机下系统的稳定传输。

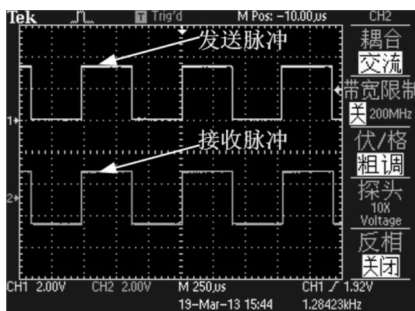


图 12 TTL 测试实验结果

Fig.12 TTL test results

### 3 结 论

文中设计了一种适用于大型地基望远镜系统的数据通信系统,文中给出了原理设计、硬件设计以及软件设计。并在设计完成的硬件平台上进行了串口数据和 TTL 脉冲信号的传输实验,实验结果表明所设计的硬件电路满足实现了系统功能。后续进行相关软件的设计和细化,实现工程化

### 参考文献:

- [1] Jia Jianlu, Wang Jianli, Zhao Jinyu, et al. Technology for adaptive optical wave-front processor based on FPGA [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2011, 19(8): 1716–1722. (in Chinese)
- [2] Jia Jianlu, Wang Jianli, Zhao Jinyu, et al. 961 –element adaptive optical wave-front processor [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(6): 1388–1393. (in Chinese)
- [3] Jia Jianlu, Wang Jianli, Zhao Jinyu, et al. The optimization of AO wave-front algorithms [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(4): 1026–1031. (in Chinese)
- [4] Jia Jianlu, Wang Jianli, Guo Shuang, et al. High speed image grabber and processor based on camera link [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010, 25(6): 914–918. (in Chinese)
- [5] Wang J L, Chen T, Zhang J X. General requirements and key technologies for the ground –based high resolution EO imaging telescope [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2008, 5(16): 2–16. (in Chinese)
- [6] Peng Xiaofeng, Li Mei, Rao Changhui, et al. A kind of FPGA –based correlating Shack-Hartmann wave-front processor[C]//SPLE, 2008, 7130: 1–6.
- [7] Liu Xi, Xue Yuan, Xu Hongchun, et al. Design and test of 4.25 Gbps SFP optical transceiver [J]. *Chinese Journal of Optics*, 2012, 5(1): 77. (in Chinese)
- [8] Tan Zhenyu, Zhang Feng, Chen Changming, et al. Design of wavelength division multiplexer of polymer arrayed waveguide grating at 650 nm[J]. *Chinese Journal of Optics*, 2012, 5(1): 71. (in Chinese)