

A miniaturized optical fiber data interface of miniaturized recorder

Zhanfu Shi Xuelei Zhan

Xi'an Institute of Mechanical and Electrical Information Technology, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

Abstract

Aiming at the problem that the transmission rate of the miniaturized high overload data recorder interface can not adapt to the optical fiber data recording, designed a data interface with 12.5Gbps optical fiber data reception capability, the data interface adopts Aurora protocol 8B/10B code reception, photoelectric conversion, FPGA high-speed serial GTX reception, DDR3 cache, then send it to the data logger with CML interface.

Keywords

data recorder; Aurora protocol; HTG8503 module

一种小型化记录仪光纤数据接口

史占付 展学磊

西安机电信息技术研究所, 中国·陕西 西安 710065

摘要

针对小型化抗高过载数据记录仪接口传输速率慢无法适应光纤数据记录的问题, 设计了一款具有 12.5Gbps 光纤数据接收能力的接口, 接口采用了 Aurora 协议 8B/10B 编码接收、光电转换、FPGA 高速串行 GTX 接收、DDR3 缓存, 再以 CML 接口发送给数据记录仪。

关键词

数据记录仪; Aurora 协议; HTG8503 模块

1 引言

图像识别技术的应用需要高清图片数据传输, 传统的 RS485、1553B 和 CAN 总线等在带宽很难满足需求, 大功率部件的频繁动作和天线辐射等干扰源通过传导和辐射等方式对通信系统造成干扰, 光纤通信因其具备通信速率高、传输距离远和抗电磁干扰等特点被广泛应用。现有小型化抗高过载数据记录仪接口不能满足光纤通信要求, 具有高速串行收发器的 FPGA 多采取 BGA 封装, 无法满足数据记录仪抗高过载的需求^[1]。

针对光纤通信系统的特点, 开发并设计一款光纤数据接口, 满足抗高过载数据记录仪需求, 论文详细描述了光纤数据接口的实现方法、系统组成、原理框图、程序流程、试验验证和原理样机等。

2 方案

光纤数据接口接收 4 路 3.125Gbps 光纤数据, 通过 HTG8503 将多模光纤信号转换成高速差分电信号, 该信号经过 FPGA 高速串行收发器 GTX 接收, GTX 接收来的数据因速率较高不能被数据记录仪存储, 经两片 DDR3 缓存, 再以 CML 接口形式发送给数据记录仪记录。CML 接口采用 TI 公司 TLK1501 芯片, 数据记录仪也采用该芯片, 该芯片采取 64 脚 VQFP 封装 (非 BGA 封装), 经灌封后具有较强的抗过载能力, CML 接口简单只有一路双绞差分输入线和一路双绞差分输出线 (读数用)^[2]。

光纤数据信号记录后弹体落地, 光纤数据接口因有 BGA 封装器件抗冲击能力较弱直接损坏, 数据记录仪抗过载能力强, 回收后只需连接几根线更换一个新的光纤数据接口就能实现高速数据读取。

3 光纤数据接收和转发

光纤数据接口使用的是多模光纤，HTG8503 模块实现高速光电转换，XC7K420T 利用高速串行收发器 GTX 接收数据，2 片 DDR3 缓存数据，TLK1501 芯片以 CML 接口形式将数据发送给数据记录器。光纤数据接口原理框图如图 1 所示。

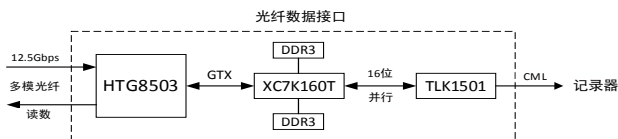


图 1 光纤数据接口原理框图

光纤数据接口有 4 个通道，每通道码率 3.125 Gbps，总的码率为 3.125x4=12.5Gbps，数据传输采用 Aurora 协议 8B/10B 编码协议接收，接收速度换算成字节速度为 1.25GBps。单包光纤传输最大容量为 5Gb (625MB)，镁光 MT41K512M16 芯片 16 位数据带宽存储速度为 1.6GBps，采用两片 DDR3 缓冲速度可达 3.2GBps，满足光纤传输最大速率为 1.25GBps 的要求，2 片 DDR3 的存储容量为 1GB，满足单包光纤传输最大容量为 5Gb (625MB) 的需求，采取 2 片 DDR3 缓存的设计方案有一定的设计余量，方便以后的需求扩展^[3]。

光纤数据接口按 Aurora 协议接收光纤数据，Aurora 协议是由 Xilinx 公司提供的的一个开放的、免费的链路层协议，按 Aurora 协议接收到的光纤数据为 32 位并行数据保存在 2 个 FIFO (宽度为 32 位) 中，每两路光纤数据保存在一个 DDR3 中，当第一个 FIFO 存储满以后就开始向第二 FIFO 保存数据，控制逻辑将第一个 FIFO 中的数据保存在 DDR3 中，依次循环将接收到的所有数据保存在 DDR3 中。向 FIFO 写入的时钟频率速度为 78.125MHz， $78.125 \times 4 = 312.5\text{MB/s}$ ，即一路光纤向 FIFO 写入的速度为 312.5MB/s，两路光纤信号总的写入速度为 625MB/s，一个 DDR3 缓存两路光纤数据。选择 DDR3 时钟频率为 312.5MHz，其写入数据的速度为 $312.5 \times 4 = 1250\text{MB/s}$ ，这样向 DDR3 写入的速度是接收数据速度的两倍，可以留出时间对 DDR3 进行刷新。操作 DDR3 接口逻辑电路的时钟频率按照 2:1 配置即为 156.25MHz，数据宽度为 64 位，接口逻辑以 156.25MB/s 的速度从两个 FIFO 中读取数据并写入到 DDR3 中。光纤数据接口 FPGA 链路逻辑配置如图 2 所示。

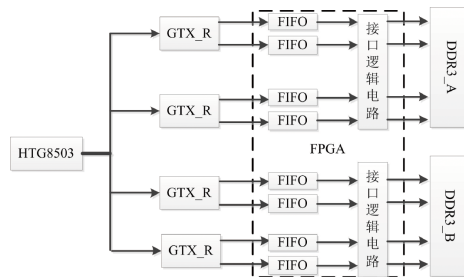


图 2 光纤数据接口 FPGA 链路逻辑配置图

光纤平均存储速率为 1Gbps (125MBps)，采用 2 通道 CML 信号发送，发送时钟频率为 40MHz，16 位数据宽度，总的发送速度为 160MB/s，满足转发速度要求。建立 4 个大小为 2K 的缓冲区 (数据宽度 64 位)，每个 DDR3 对应两个缓冲区，2 个缓冲区对应一个 CML。从 DDR3 读取数据的时钟频率为 156.25MHz，读取 1 页的时间为 1.6384μs，CML 发送 1 页数据 (大小为 2k) 的时间为 25.6μs，读取 1 页后关闭该页，然后等间隔刷新 16 次^[4]。2 个传输通道并行独立工作。DDR3 软件转发逻辑图如图 3 所示。

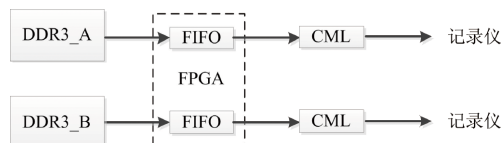


图 3 DDR3 数据转发软件逻辑图

光纤数据总容量为 32GB，要求数据存储速度为 1Gbps，存储速度换算成字节为 125MBps，镁光工业级 SLC 颗粒 FLASH 存储器同步存储速度可达 200MBps，但该芯片采取 BGA 球删封装，抗过载能力较弱，故不能采用。数据记录器采取 4 片 48 引脚 TSSOP 的 FLASH 芯片设计，该存储芯片异步存储速度最大为 50MBps，留有一定设计余量实际使用为 40 MBps，4 片存储速度为 160MBps 总容量满足需求。光纤数据接口速率满足情况见表 1。

表 1 光纤数据接口速率满足情况

指标要求		指标达到	
光纤速率	1.25GBps	DDR3 缓存速率	3.2GBps
光纤缓存容量	625MB	DDR3 缓存容量	1GB
光纤存储速率	125MBps	FLASH 存储速率	160MBps
数据总容量	32G	FLASH 存储容量	64G

光纤数据接口识别上电后首先识别是否系统供电，如果是系统供电，则进入采集状态，否则是地面供电，则进入读数状态。系统供电时，同步接收光纤通道的数据，接收有效的光纤数据后，光纤数据存储模块进入数据存储状态，直到

记录满或者断电；地面供电时，接收到有效的地面命令后，进入地面控制状态，可以读取记录的数据、擦除已存储的数据、读取状态等。光纤数据接口进入存储状态后不再接收地面发送的命令，进入地面控制状态后也不再接收光纤通道的数据。解码用 FPGA 软件流程图如图 4 所示。

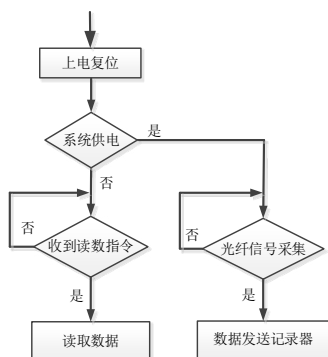


图 4 光纤数据接口 FPGA 软件流程图

4 仿真测试

DDR3 单个数据写操作时地址控制信号与写数据信号严格按照时序图对齐。判定写允许信号可以设定为：

$$\text{app_rdy} \ \& \ \text{app_wdf_rdy}, \ \text{app_wdf_end} = \text{app_wdf_wren}$$

这里 app_en 信号有效时间为 1 个 clock，不能随意延长。如果单个写操作都是写入 128 个数据，要求 app_en 信号和 app_addr 信号有效时间均为 128 个 clock，需要完全对齐，不能随意延长^[5]。

连续写操作时写数据可以不受写指令时序的制约，地址控制信号和写数据控制信号可以完全独立。可以分别使用独立的计数器。实际调试过程中发现：app_wdf_rdy 有效时间比 app_rdy 有效时间更连续。

在实际使用测试可知，一直单个数据写操作效率理论上低于连续的写操作效率，但实际使用效率相差很少，而且前者方法更容易理解，编程更容易一些。图 5 为单个数据写操作时序图，图 6 为连续数据写操作时序图。

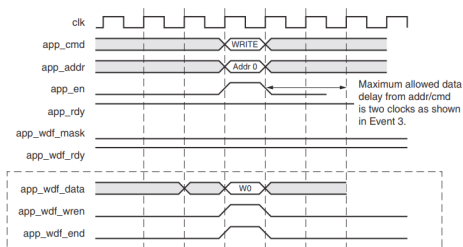


图 5 单个数据写操作时序图

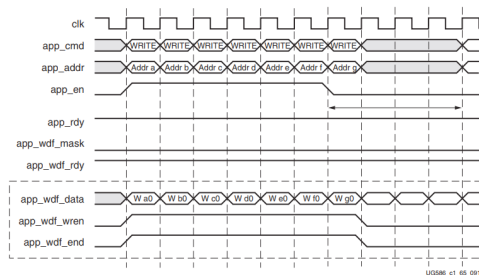


图 6 连续数据写操作时序图

5 原理样机

由设计方案利用 candence 软件绘制原理图，并制成 12 层 PCB 版图，焊接调试后板载 GTX 在线 ibord 外环仿真测试速率可以达到 6.5Gbps，满足设计需求，DDR3 时钟频率为 800M，程序运行半个小时，DDR3 写入和读取误码率基本为 0，图 7 为光纤数据接口原理样机。



图 7 光纤数据接口原理样机

6 结论

采用 Aurora 协议 8B/10B 编码接收、光电转换、FPGA 高速串行 GTX 接收、DDR3 缓存再以 CML 接口发送给数据记录仪的由光纤数据接口，方案设计合理、在线仿真正确、原理样机验证可行。

参考文献

- [1] 何宾 .Xilinx FPGA 数字信号处理权威指南 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
- [2] 何宾 .Xilinx All Programmable Zynq-7000SoC 设计指南 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [3] 张锋 . 嵌入式高速串行总线技术: 基于 FPGA 实现与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.
- [4] 何宾 .XilinxFPGA 设计权威指南:vivado 集成设计环境 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
- [5] 杜正阔, 高宝君, 何宗明 .Cadence Allegro 实战攻略与高速 PCB 设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2016.