

基于 GTX 串行收发器的高速 Cameralink 数字图像光纤传输

张甫恺, 崔明, 张维达

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 针对目前 Cameralink 数字图像光纤传输系统当中的不足, 以实现高带宽的 Cameralink-Full 模式数字图像实时远距离传输为目的, 对基于 GTX 串行收发器的数字图像光纤传输系统进行了研究; 系统采用 GTX 串行收发器代替编解码芯片实现数据的串并转换功能, 再通过数据通道的时分复用提高 GTX 串行收发器的传输带宽以及利用异步 FIFO 数据缓存处理等提高数字图像光纤传输系统的适应性; 实验结果表明, GTX 串行收发器的数据误码率达到 10^{-12} 以下, 光纤传输系统传输带宽达到 4.19 Gb/s。

关键词: Cameralink; GTX 串行收发器; 图像传输; 光纤通讯

Optical Fiber Transmission for High-speed Cameralink Digital Image Based on GTX Series Transceiver

Zhang Fukai, Cui Ming, Zhang Weida

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

Abstract: In order to achieve high-bandwidth real-time Cameralink-Full mode digital image for the purpose of long-distance transmission, the Cameralink digital image optical fiber transmission system based GTX serial transceiver is provided for the shortcomings of current systems. Increase the transmission bandwidth and the suitability of the digital image optical fiber transmission system by using GTX serial transceiver replace encoding and decoding chip to realize the serial data conversion function, time division multiplexing of channels and asynchronous FIFO. Experimental results show that, GTX serial transceivers data error rate of 10^{-12} or less, the transmission bandwidth of the optical fiber transmission system reach 4.19 Gb/s.

Keywords: Cameralink; GTX serial transceiver; image transmission; fiber optic

0 引言

随着光电技术的发展, 工业相机拍摄的数字图像数据量越来越大, 这对数字图像传输系统的带宽以及传输速率提出了更高的要求。光纤技术具有抗干扰、保密性好以及通信容量大等优点, 适用于图像数据的远距离传输, 采用光作为传输介质被广泛应用于数据通信中。采用高性能的 FPGA 设计高速光收发器具有体积小、功耗低以及设计生产周期短等优点, 近来受到广泛关注^[1-2]。Xilinx 公司在 FPGA 内部集成的 GTX (Giga-bit Transceiver) 串行收发器, 采用 CDR、线路编码、预加重及相位补偿等技术, 可以极大地减小线路噪声、时钟失真和信号衰减对数据的影响, 设计实现的光纤收发器串行速率可以达到 12Gb/s^[3]。

Cameralink 接口是目前工业数字相机的主要输出接口之一, 已广泛应用在航空航天、医疗、军事等领域。目前国内针对 Cameralink 接口的光纤传输系统普遍集中在 Cameralink-Base 这种工作模式上, 且串行传输常采用 TLK2711、DS90UR241 这些编解码芯片实现, 其传输带宽低且设计不灵活, 对于图像位数较高的相机还需要增加光纤数量来扩展数据

位数^[4-6]。本文提出利用 GTX 高速串行收发器设计数字图像光纤传输系统, 通过异步 FIFO 数据缓存、数据通道时分复用、图像数据重建等处理, 最大限度的提高传输带宽, 实现 Cameralink-Full 模式的数字图像传输, 传输带宽达到 4.19 Gb/s。

1 系统硬件结构设计

数字图像光纤传输系统以 Kintex7 XC7K325T FFG900 作为核心, 其包含的 GTX 高速串行收发器通道速率最大可达到 XXX XGb/S; 采用 125 MHz 的差分晶振为高速串行收发器提供高质量的时钟, 100 MHz 的普通时钟作为系统的参考时钟; 发送端外接芯片 DS90CR288 将 Cameralink 接口中的 LVDS 信号转换成 TTL 信号, 接收端对应采用 DS90CR287 再将 FPGA 的输出恢复成 LVDS 数据, 相机触发信号及串行通信信号直接利用 FPGA 的 LVDS 专用接口进行转换, 系统发送端的系统结构如图 1 所示。

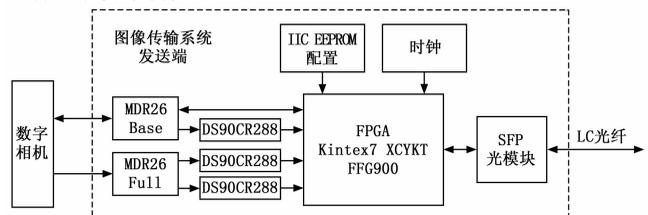


图 1 数字图像光纤传输系统发送端结构

收稿日期: 2015-12-14; 修回日期: 2016-01-07。

基金项目: 中国科学院三期创新工程(Y10532B110)。

作者简介: 张甫恺(1989-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 硕士, 主要从事激光及光电通讯技术方向的研究。

2 光纤传输方案设计

图 2 所示为 Cameralink 数字图像的光纤传输设计方案。在发送端, 经 DS90CR288 转换后的 Cameralink 图像数据通过异步 FIFO 进行数据缓存重建, 将图像数据从相机时钟转换到串行收发器同步时钟的时钟域; 由于 GTX 收发器的输入时钟频率较高, 直接利用其读取数据会造成带宽的浪费, 在 FIFO 之后加入数据通道时分复用模块, 经过处理后的数据流经 GTX 串行收发器其转化成高速串行数据送入到 SFP 光模块中; 在接收端, 利用高速串行收发器依照协议将 SFP 光模块传输过来的高速串行数据转换成并行数据, 从时分数据中恢复出图像数据, 再经异步 FIFO 将图像数据从串行收发器的同步时钟转换到接收端本地系统时钟, 完成了数字图像数据的光纤传输。

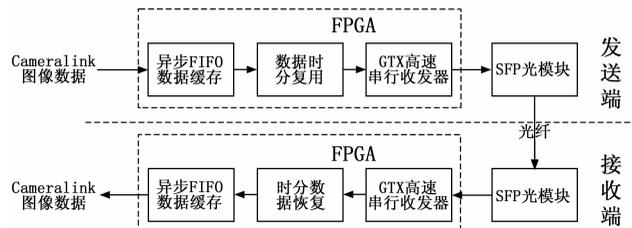


图 2 Cameralink 数字图像光纤传输设计方案

2.1 GTX 串行收发器

GTX 收发器是 Xilinx 公司在 FPGA 内部集成的高速串行收发模块, 其能提供 600 Mbps 到 12 Gbps 的数据线路速率, 支持各种物理层协议, 包括光纤、以太网、PCIE 等常用接口; GTX 收发器由 PMA (物理媒介适配层) 和 PCS (物理编码子层) 构成, 其内部结构原理如图 3 所示。其中, PMA 子层主要用于数据的串行化及解串、PCS 子层主要用于 CRC 校验及线路编码, 外部提供的 GTX 参考时钟经过锁相环为整个模块提供工作时钟。

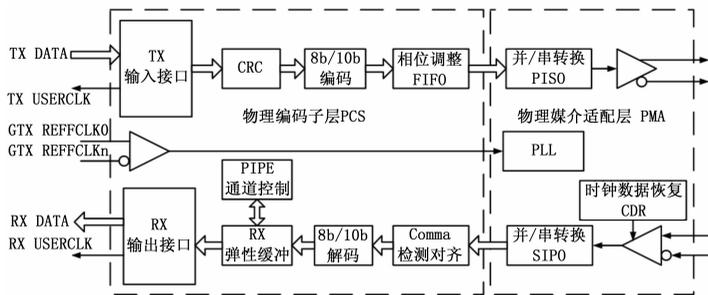


图 3 GTX 串行收发器内部结构原理

设计中设置 GTX 串行收发器的数据线路速率为 10 Gbps, 配置的协议格式为 Aurora 协 8b10b 协议的 4 字节单通道模式, 收发器的参考时钟为 125 MHz (GTX REFFCLK); 设置外部数据写入为 32 位数据, 外部数据写入时钟为 250 MHz (TX USERCLK), Comma 检测及对齐使用 K28.5, 使能 RX 缓冲功能等。光纤收发器的接收和发送端口直接与 GTX 串行收发器的发送端和接收端相连, 使用时只需要编写接口及复位程序即可完成光纤通讯。

2.2 异步 FIFO 数据缓存

由于 GTX 串行收发器的参考时钟需要高精度外部差分晶振布线至专用的 GTX 时钟输入管脚提供, 不同数字相机输出的像素时钟往往不同且像素时钟的精度不高, 所以为了提高稳定性以及适应不同像素时钟相机, 系统采用异步 FIFO 数据缓存的方法来解决图像数据到 GTX 串行收发器之间的时钟域匹配问题。

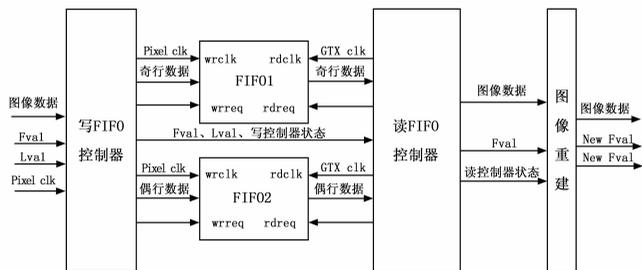


图 4 异步 FIFO 数据缓存原理

图 4 所示为异步 FIFO 数据缓存原理框图, 异步 FIFO 缓存模块以相机输出的像素时钟作为 FIFO 的写输入时钟, 将奇数及偶数行图像数据分别写入两个 FIFO 中; 读 FIFO 控制器再根据行、场同步信号以及写 FIFO 控制器状态产生读控制信号, 以 GTX 高速串行收发器的时钟作为 FIFO 的读时钟, 读出的图像数据再经过图像重建后产生新的行场数据, 完成了图像数据的时钟域匹配。

2.3 数据通道时分复用

目前使用的大部分工业相机像素时钟低于 80 MHz, 在异步 FIFO 缓存中, 如果直接采用 GTX 串行收发器的外部数据写入时钟 (250 MHz) 读取数字图像数据的话, 会造成带宽极大的浪费; 并且 Cameralink-Full 工作模式下一个像素时钟需要传输 64 位图像数据、行有效信号、列有效信号、数据有效信号、以及相机触发信号和串行通信信号, 共计 74 位数据; GTX 串行收发器的外部数据写入位数为 32 位, 直接传输数据位数不够, 所以设计在 FIFO 异步缓存之后需要加入数据时分复用模块, 通过数据通道的时分复用, 达到数据位数的扩展, 时分复用的原理如图 5 所示。

以 Cameralink-Base 数据发送端时分复用为例, 采用数字锁相环将数据写入时钟 (TX USERCLK) 三分频产生异步 FIFO 读时钟 (TX DIVCLK), 利用这个时钟读取出图像数据, BASE 的数据一共为 28 位, 除第 23 位为空闲位不用之外, 在连续的 3 个写入时钟中分别发送低、中、高 9 位数据, 再加上一位指示位 (1 表示当前数据为高 9 位数据), 通过这样的数据通道时分复用, 可以实现用 10 位数据通道来传输 Cameralink-Base 图像数据, 接收端时分数据恢复的功能

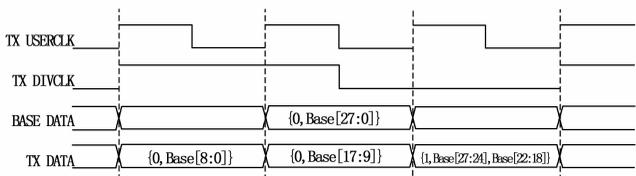


图 5 数据通道时分复用原理

就是在连续 3 个读出周期中读出数据，根据指示位将他们合成，再以分频时钟输出；由于分频之后的时钟为 83.3 MHz，这样像素时钟不大于 80 MHz 的图像均可传输；而且对于 Camera-Full 模式的图像数据，通过数据通路时分复用之后，需要 30 位的数据通道，GTX 串行收发器完全能够完整传输数据，这样代表着使用 GTX 串行收发器的光纤传输系统仅需要单根光纤即可完成图像数据的传输。

3 实验结果分析

实验首先测试 GTX 串行收发器的性能，利用 10G 带宽的 SFP 光模块连接收发器的发送端与接收端；编写计数器模块，以 250 MHz 的系统频率产生 0x00000000—0x7FFFFFFF 的 32 位递增序列码，该序列码经串转换后发出，经过光纤后，在接收端编写测试模块测试所接数据是否按照协议递增，并给出序列码状态指示位；采用分析工具 ChipScope 观测 FPGA 内部数据，得到的实验结果如图 6 所示。

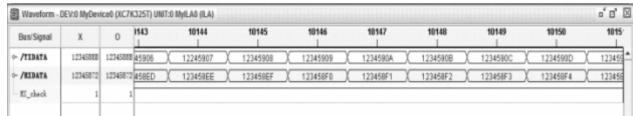


图 6 自定义协议 GTX 串行收发器传输实验测试

从图 6 中可以看出，GTX 串行收发器接收端的数据与发送端的序列码完全相同，说明功能正确，测试时间为 10 分钟，一共发送 4.8×10^{12} bit 数据，序列码状态指示位正常，未见误码，可以得到 GTX 串行收发器的误码率低于 10^{-12} 。

利用本设计实现型号为 MC1362 的 MIKROTRON 可见相

机的 Cameralink 数字图像的光纤传输，实验中设置相机的帧频为 500 Hz，分辨率为 $1\ 024 \times 1\ 024$ ，相机工作模式为 8×8 bit，数字图像的传输带宽为 4.19 Gb/s；将相机输出的 Cameralink-Full 的接口连接在图像发送端上，利用 DALSA 采集卡采集图像接收端输出的图像，输出图像清晰稳定。

4 结束语

本文利用 GTX 串行收发器代替光纤传输系统中常用的编解码芯片设计实现了数字图像的光纤传输，并通过数据通道的时分复用、异步 FIFO 数据缓存技术等提高了系统的传输带宽，适应性；实验结果表明，GTX 串行收发器的传输通道误码率低，数字图像光纤传输系统工作稳定，传输图像效果