文章编号:1671-4598(2016)06-0192-03 DOI:10.16526/

文献标识码:A

设计与应用

基于 GTX 串行收发器的高速 Cameralink 数字图像光纤传输

税甫恺,崔 明,张雍达

(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 申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 申行收发器代替编解码芯片实现数据的申并转换功能,再通过数据通道的时分复用提高 GTX 申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 (Gigabit 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

基金项目:中国科学院三期创新工程(Y10532B110)。

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 XCYK325T 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。

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。





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



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 0x0000000-0x7FFFFFF 的 32 位递增序列码,该序列码经并串转换后发出,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。

| Bus/Signal | х | 0 | 143 | | 10144 | | 10145 | | 10146 | | 10147 | | 10148 | | 10149 | | 10150 | | 1015 |
|------------|----------|----------|-------|---|----------|---|----------|----|----------|----|----------|---|----------|---|----------|---|----------|---|--------|
| ∽ /TIDATA | 12345888 | 12345888 | 45906 | X | 12245907 | X | 12345908 |)(| 12345909 |)(| 1234590A | X | 1234590B | X | 1234590C | Х | 1234590D | X | 123459 |
| ~ /RIDATA | 12345872 | 12345872 | 458ED | X | 123458EE | | 123458EF | | 123458F0 | | 123458F1 | 7 | 123458F2 | 7 | 123458F3 | X | 123458F4 | X | 123458 |
| -EL_check | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | _ |

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 4.8×10¹² 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 * 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,传输图像效果较 好, 传输带宽达到 4.19 Gb/s。

参考文献:

- [1] 肖儿良,韦荣明, 彦文超,等. 基于 Aurora 及 CameraLink 的高 速数字图像传输 [J]. 信息技术, 2015, 4 (25): 94-101.
- [2] 吴 宾,刘安良,赵 楠,等. 基于 RocketIO 的高速光收发器的 设计和实现 [J]. 光器件, 2014, 11 (4): 1-4.
- [3] Xilinx. LocalLink Interface Specification [R]. SP006 (v2. 0), 2005.
- [4] 何家维,何 昕,魏仲慧. 高速 Cameralink 图像数据光纤传输系 统设计 [J]. 信息技术, 2011, 10 (04): 9-12.
- [5] 曹伟军,袁 泉. Cameralink 图像数据光纤传输技术 [J]. 光传 输, 2014, 7 (2): 44-45.
- [6] 汝海滨,任勇峰,李辉景,等. 基于 Cameralink 的高速图像传输 模块及时序优化设计 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (7): 2546 - 2548.

(上接第191页)

表2给出实验1的分配结果,表3为对应的UAVs初始状 态。在相同的仿真场景下,任务规划开始后 50 s 在位置(20, 30,10)和(120,65,10)分别出现突发任务 T₁和 T₂,三维 仿真结果如图 5 所示。对比后可以看出,为实现全局最优, UAVs 在后续阶段分配进行了调整。UAV₃将执行的任务由 {Task₁₂, Task₂} 调整为 {Task₁₂, T₁}, Task₂ 在第二阶段的 任务规划中分配至 UAV2。T2 被分配至 UAV5,其任务执行 顺序由 {Task₈, Task₆, Task₄} 调整为 {Task₈, T₂, Task₆, $Task_4$ }.

4 结论

本文提出了一种多阶段航迹预测算法,应用于包含任务分 配和航迹规划的分布式实时任务规划中。航迹预测算法由3个 阶段组成:基于A*算法的路径估计、任务分配后的路径规划 以及基于三次 B 样条的航迹平滑算法。任务分配过程采用聚 类算法修改任务价值函数。仿真结果表明算法能够逼近最优分 配结果,并且分布式控制方式可有效处理突发任务目标,控制 量满足约束,验证了规划航迹的可行性。

参考文献:

[1] Luca D F, Giorgio G, Fulvia B Q. A novel approach for trajectory tracking of UAVs [J]. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 2014, 86 (3): 198-206.

- [2] Sun T, Huo C, Tsai S, et al. Intelligent flight task algorithm for unmanned aerial vehicle [J] . Expert Systems with Applications. 2011, 38 (8): 10036 - 10048.
- [3] Ren W, Beard R W, Atkin E M. Information consensus in multivehicle cooperative control [J]. IEEE Control System Magazine, 2007, 27 (2): 71-82.
- [4] Choi H L, Brunet L, How, J P. Consensus-based decentralized auctions for robust task allocation [J]. IEEE Transactions on Robotics, 2009, 25 (4): 912-926.
- [5] Sahingoz O K. Generation of Bezier curve-based flyable trajectories for multi-UAV systems with parallel genetic algorithm [J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory & Applications, 2014, 74: 499-511.
- [6] Moon S, Oh E, Shim D H. An integral framework of task assignment and path planning for multiple unmanned aerial vehicles in dynamic environments [J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2013, 70 (1-4): 303-314.
- [7] Wang Y, Wang S, Tan M, et al. Real-time dynamic Dubins-helix method for 3-D trajectory smoothing [J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2015, 23 (2): 730-736.
- [8] Abbas A, Nasri A, Maekawa T. Generating B-spline curves with points, normals and curvature constraints: a constructive approach [J] . Visual Computer, 2010, 26: 823-829.