

高速双光谱遥感图像传输系统

匡海鹏¹, 王德江^{1, 2}, 周刚¹

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 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要 提出并设计了一种高速双光谱遥感图像传输系统。对该系统所采用的传输策略, 传输帧结构以及时序恢复等问题进行了深入的研究。首先, 将双探测器一行数据中有效部分提取后传输, 采用行有效标志中断发送的方式在接收端恢复时序, 保证了系统输入输出数据、时序的完全一致; 接着, 采用发送与接收缓存机制, 利用时分复用方法将双探测器的数据在单根光纤介质中传输; 然后, 使用内嵌高速数据接口的大规模可编程逻辑器件分别实现了发送与接收分系统, 最后搭建了系统测试与验证平台。结果表明该系统支持全配置的 Camera Link 接口探测器, 单根光纤传输双异步探测器最高像素时钟达 40 MHz, 串行数据最高速率可达 6.25 Gb/s。系统结构紧凑、可靠性高, 非常适合航空、航天遥感设备。

关键词 双光谱系统; 遥感图像; 异速率传输; 高速信号处理

中图分类号: TH761.6 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)06-1654-04

引言

可见与红外探测器组成的多光谱遥感设备能够全天候对目标进行观测, 且能够克服单一光谱引起的目标误判、漏判, 采用多光谱数据融合方法, 有效提高了资源勘探、林业监测等科研任务的技术水平^[1-5]。这类遥感设备中图像存储单元与探测器之间的有一定的空间距离, 这就需要一种传输系统将高速图像数据完整、可靠送达存储单元。该系统必须能够传输两个异步工作的探测器(可见、红外)的数据, 且结构紧凑、可靠性要高。目前高分辨率探测器输出的图像数据主要基于 Camera Link 接口协议^[6, 7], 差分线上的电信号频率最高可到 595 MHz, 一个全配置的 Camera Link 接口相机需要 15 对高速数据差分线, 如用电信号传输, 每个电信号的传输距离在 500 mm 以上, 无论从可靠性, 可实现性, 传统的电信号传输系统实现起来困难很大。光纤传输系统具有可靠性高, 速度快等优点^[8], 文献[9, 10]做了理论上的探讨与试验, 针对 Camera Link 接口的相机 Phrontier Technologies 与 EDT 已经有了相应的产品, 但对于两台异步工作的相机需选用两套现有的传输设备, 这无疑降低了传输系统的可靠性, 增加了系统的体积与功耗, 这对分系统的可靠性、体积、重量与功耗要求非常高的遥感设备显然是不适合的。因此迫切的需要一种光纤传输系统, 能够利用单通道光纤系统

传输两台甚至多台异步工作的探测器数据。以多光谱遥感设备的需求为依据, 综合国际、国内研究现状, 本文提出并设计了一种基于 Camera Link 接口的高速双光谱图像数据传输系统。

1 系统整体结构

系统整体结构如图 1 所示。

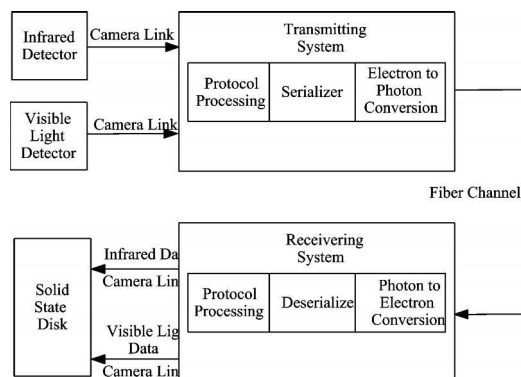


Fig 1 Block diagram of system

系统主要包含两个模块: 传输分系统与接收分系统。传输分系统同时接收可见与红外探测器的 Camera Link 接口形

收稿日期: 2010-06-30, 修订日期: 2010-09-20

基金项目: 国家高技术研究发展(863 计划)项目(2006A A06A 208)资助

作者简介: 匡海鹏, 1971 年生, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所研究员

e-mail: kuanghp@163.com

式的数据, 协议处理模块将两台探测器的数据合并为一个数据流, 然后经串化、光电转换发送到光纤信道中; 接收分系统将接收的信号经光电转换、解串后恢复原始的图像数据, 然后按传输协议将两路数据分别解算出来, 最后恢复成原始的 Camera Link 协议数据, 存储到高速固态电子盘中。

2 系统方案设计

2.1 传输策略

传输以行为单位, 设可见探测器为 CCD1, 红外探测器为 CCD2。对于 CCD 相机 1, 传输顺序为: 首先采集 LVAL 信号高电平内的有效数据, 奇数行的数据写入 CCD 相机 1 对应的奇 FIFO 中, 偶数行数据写入偶 FIFO 中; 然后当奇 FIFO 接收满一行后, 立刻向发送模块提出传输请求, 等待发送模块空闲时连续发送该组 FIFO 中的数据; 最后当偶 FIFO 接收满一行后, 同样立刻向发送模块提出传输请求, 等待发送模块空闲时连续发送该组 FIFO 中的数据。

CCD 相机 2 的传输顺序与 CCD 相机 1 类似, 因为两台 CCD 相机行转移频率是不同步的, CCD1 与 CCD2 的发送请求会产生冲突, 解决方案为: 当数据发送模块处于空闲状态时, 不论 CCD 相机 1 还是 CCD 相机 2 对应行缓存模块, 只要存储满一行, 即提出发送请求。如果发送模块处于空闲状态, 立即响应该请求, 进入该组 FIFO 的传输状态, 直到连续传输完该 FIFO 内缓存的一行数据为止, 在此期间对另一台相机行缓存 FIFO 组提出的传输请求不予响应, 但保存该传输请求。对于保存的传输请求需等待上一次传输任务才能响应; 当两个 CCD 对应的行缓存 FIFO 同时发出传输请求, 优先响应 CCD1 提出的传输请求。

这种传输策略必须保证每个 CCD 相机对应的两个行缓存 FIFO 不能产生溢出。设 CCD1 一行周期为 T_1 , 数据量为 W_1 , CCD2 一行周期为 T_2 , 数据量为 W_2 ; 其中 $T_1 > T_2$, $W_1 > W_2$, 这种假设 CCD1 的行转移周期小于 CCD2, 且 CCD1 一行的数据量大于 CCD2, 即 CCD1 的传输任务要大于 CCD2。对于其中任一相机, 光纤传输系统在时间 T_1 内的数据传输量要大于 $2W_1$ 。

CCD1 相机在 nT_1 时刻传输申请, 如果传输系统能够在 $(n-1)T_1 \sim nT_1$ 时间完成一整行数据的传输, 则 CCD1 相机行缓存 FIFO 不会溢出。下面分两种情况 CCD1 相机能否完成传输进行分析。

(1) 传输系统忙。在这种情况下, CCD1 的传输请求需等 CCD2 传输完成后才能响应, 因为 CCD2 的传输时间小于 $T_1/2$, 则在一个 T_1 周期内, 剩余的 $T_1/2$ 时间内完成 CCD1 传输一行的任务, 如图 2 所示。

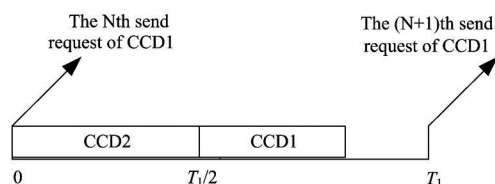


Fig 2 Busy status of data sending block

(2) 传输系统处于空闲。在这种情况下, CCD1 的传输请求立即响应, 在时间 $T_1/2$ 内能够完成, 剩余的 $T_1/2$ 时间能够完成 CCD2 相机传输到任务, 如图 3 所示。

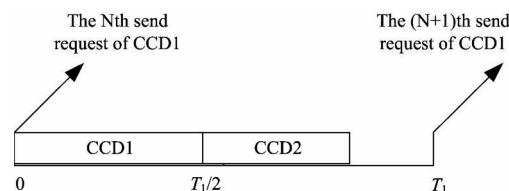


Fig 3 Idle status of data sending block

同样对于 CCD2 的传输请求与以上的任务类似。CCD2 相机在 nT_2 时刻传输申请, 如果传输系统能够在 $(n-1)T_2 \sim nT_2$ 时间完成一整行数据的传输, 则 CCD2 相机行缓存 FIFO 不会溢出。

2.2 Camera Link 时序恢复

为了保证接收分系统恢复的 Camera Link 数据行转移频率与传输卡接收的 Camera Link 数据行转移频率相同。除了需要在接收卡中选择与 CCD1 和 CCD2 相机输出频率相同的晶振, 还需要一行的数据开始传输的同步信号。因此每当传输卡的 CCD1 和 CCD2 缓存 FIFO 组存储满一行时, 需要传输行同步标识, 这组数据的优先级高于所有的信道控制字符与有效数据, 只要有传输行同步标记的请求, 无论信道在传输什么信息, 都会保护好现场, 立即传输该同步标记。

对于 CCD1 相机行同标识的传输请求, 分三种情况分析。

(1) 当信道被 CCD2 相机占用时, 当 CCD1 相机存储满一行时, 虽然不能立即传输 CCD1 对应缓存 FIFO 组中的数据, 但应当中断 CCD2 中的数据传输, 优先传输 CCD1 的同步表示, 然后继续传输 CCD2 的剩余数据, 如图 4 所示。

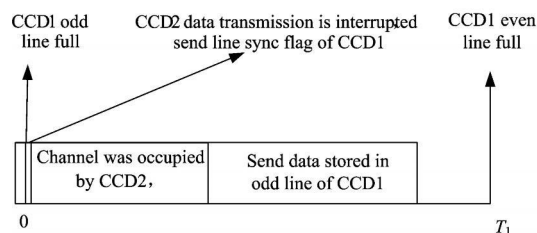


Fig 4 Data channel is occupied by CCD2

(2) 当信道空闲时, 首先传输 CCD1 行同步标识信息, 然后传输 CCD1 缓存 FIFO 组中的一行数据, 如图 5 所示。

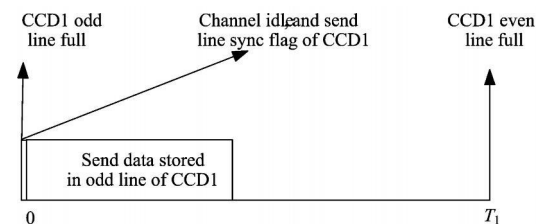


Fig 5 Idle of data channel

(3) 当 CCD1 与 CCD2 同时发出传输行同步标识信号时, 首先发送 CCD1 相机的行同步标识信号, 接着发送 CCD2 相

机的行同步标识信号，然后才传输有效数据。

对于传输 CCD2 的行同步标识，与以上步骤 1 与步骤 2 类似。

2 3 传输帧组成

总体传输协议包括四部分，建立信道通信，自检状态，数据传输状态，空闲状态。

(1) 建立信道通信：每一次电路板上电后，发送 8B/ 10B 编码协议固定的用于建立信道传输到 K 码，自此信道建立连接，进入空闲状态。

(2) 空闲状态：为了保持接收端时钟的稳定，在不传数据时，传输无效的数据，如可以传输某一组 K 码。

(3) 数据传输状态：数据传输以一行为单位，包括帧头，通道识别(CCD 相机 1 还是 CCD 相机 2)，行是否有效(用于判定面阵 CCD 输出的数据是否有效)，行计数器，有效数据信息，填充码(用于一行数据传输时 Camera Link 抽头转换时输出)，有效数据，帧尾等，如图 6 所示。

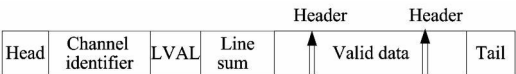


Fig 6 Structure of frame

3 系统实现

发送分系统与接收分系统的两个设计设计难点是高速并串、串并转换与复杂的逻辑处理，FPGA 处理逻辑任务具有先天性优势，且新系列的芯片中植入了高速串并转换收发器^[11]，如 Xilinx 公司的 Virtex V 系列芯片的 RocketIO 模块，最高传输速率可达 6.25 Gb/s⁻¹，且 FPGA 具有可配置的 RAM，因此单独的一颗 FPGA 芯片可完成传输协议的时序逻辑，传输接收的图像缓存与高速数据的串并转换三个任务，这显著提高了系统的集成度，降低开发风险，同时也增强了系统的可靠性。由可完成本系统选用为核心处理芯片，该芯片内置 RAM、RocketIO、可编程逻辑单元，完全满足系统需求^[12]。

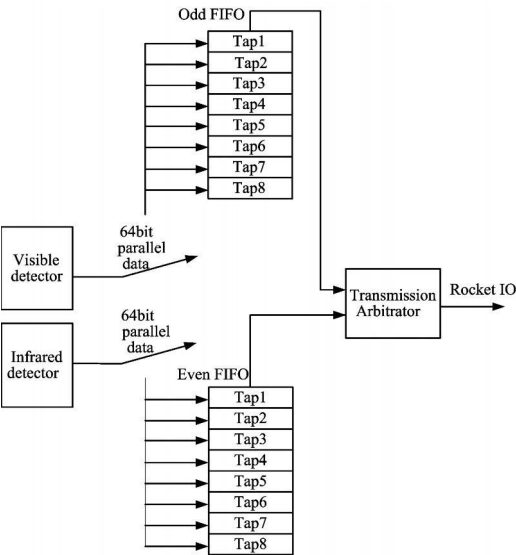


Fig 7 Structure of transmission system

发送系统整体结构如图 7 所示。首先 FPGA 将两台 CCD 相机输出的多抽头数据(最多 8 抽头)，经过一个开关存入 FIFO 组中。每一个抽头对应着一个小 FIFO，容量为 2 048 byte，奇、偶 FIFO 组分别包含 8 个这样的小 FIFO。奇数行存储在奇 FIFO 中，偶数行存储在偶 FIFO 中。传输申请仲裁器负责响应 CCD1 和 CCD2 奇偶 FIFO 提出的传输申请。

表 1 给出了发送分系统所需的 FPGA 资源，芯片型号为 XC5VLX30T，综合工具为 ISE10.0。由于接收分系统与发送分系统为对偶关系，因此其所需资源大致相同。

Table 1 FPGA resource usage and performance

Parameter	Value	Max(% used)
Number of programmabl logic slices	6 324	42 176(14.9%)
Number of 16kbit RAM blocks	312	376(82.9%)
Used for LUT	256	
Used for pattern memory	29	
Number of global clock nets	5	32(15.6%)
Number of DCM	3	8(37.5%)
Minimum period of DSP clock	4.2 ns	7.1 ns

4 实验结果与比较

4 1 系统验证

为了验证实际光纤传输系统是否满足设计要求，选用两款典型的 CCD 相机作为图像数据源^[13, 14]，测试参数设置如表 2 所示。

Table 2 Parameters of experimental camera

Camera type	Resolution	Line frequency / kHz	Configuration
HS-40-04k40	4 096	11, 33	Base, Media, Full
HS-80-08k80	8 192	9.5, 35.5	Base, Media, Full

使两台相机均设置为图像测试工作模式，同时选择三种典型的行转移频率，Camera Link 接口亦选择三种。发送的测试图像，在接收分系统内预先存储内被测试图像，通过逐位比对验证是否发生传输误码。连续测试 10 小时，未发生传输误码。

4 2 与现有系统的比较

表 3 为本系统与现有系统的一些关键指标的比较，从中可以发现，如要传输两台异步 CCD 数据，现有系统至少需要 2 根以上的光纤，而本系统只需要一根光纤即可完成任务，

Table 3 Comparison of system s main parameters

System supplier	Supported detectors	Supported pixel rate(MHz)	Fiber channels
Phrontier	2	66	4
Think logic	2	20~ 85	3
EDT	1	20~ 85	1
Our system	2	20~ 40	1

另一方面从设计的可靠性出发,本系统的支持的 CCD 像素时钟速率要低于以上三个系统,这也是今后工作需要提高的一个方面。

5 结 论

本文设计的高速双光谱图像数据传输系统适用于异步双

探测器的高速数据传输。只用一根光纤作为传输介质,传输接收系统分别使用单片 FPGA 完成了所有的数据缓存、协议实现以及高速并串、串并数据转换,因而结构紧凑、可靠性高,非常适用于航天、航空遥感设备。实验表明该系统最高支持探测器像素时钟可达 40 MHz,满足当前大部分实际需求。

References

- [1] Brekke C, Solberg A H S. Remote Sensing of Environment, 2005, 95(1): 1.
- [2] Khan S I, Hong Y, Vieux B, et al. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(14): 3799.
- [3] ZHANG Ming-chao, ZHOU Yue, YAN Feng, et al(章明朝, 周跃, 闫丰, 等). Optics and Precision Engineering(光学精密工程), 2010, 18(2): 496.
- [4] Andersen H E, McGaughey R J, Reutebuch S E. Remote Sensing of Environment, 2005, 94(4): 442.
- [5] Lee H, Durand M, Jung H C, et al. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(14): 3931.
- [6] ZHENG Geng-feng, ZHANG Ke, HAN Shuang-li, et al(郑耿峰, 张柯, 韩双丽, 等). Optics and Precision Engineering(光学精密工程), 2010, 18(3): 623.
- [7] LIU Yan-yan, ZHANG Xin, XU Zheng-ping, et al(刘妍妍, 张新, 徐正平, 等). Optics and Precision Engineering(光学精密工程), 2009, 17(10): 2620.
- [8] Bottger G, Dreschmann M, Klamouris C, et al. Photonics Technology Letters, 2008, 20(1): 39.
- [9] Sakib M N, Hraimel B, Xiupu Zhang, et al. Journal of Lightwave Technology, 2009, 27(18): 4112.
- [10] Jin Joo Kim, Kyong Hon Kim, Min Hee Lee, et al. Photonics Technology Letters, 2007, 19(5): 297.
- [11] Rabou N A, Ikeda H, Yoshida H. Consumer Electronics, 1994, 40(3): 492.
- [12] SHI Wen-xuan, WU Min-yuan, DENG De-xiang(石文轩, 吴敏渊, 邓德祥). Optics and Precision Engineering(光学精密工程), 2010, 18(1): 266.
- [13] WANG Wen-hua, HE Bin, HANG Shuang-li, et al(王文华, 何斌, 韩双丽, 等). Optics and Precision Engineering(光学精密工程), 2010, 18(6): 1428.
- [14] Watts P, Waegemans R, Click M. Journal of Lightwave Technology, 2007, 25(10): 3089.

High Speed Transmission System for Dual-Spectral Remote Sensing System

KUANG Hai-peng¹, WANG De-jiang^{1, 2}, ZHOU Gang¹

1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract In order to realize dual-spectral aerial camera image data transmission, a novel optical transmission system is proposed, then transmission scheme, structure of data frame and timing recovery method are discussed thoroughly. First, valid data in one line are picked up from two detectors before transmitting, a timing recovery method which makes in-out data timing and format consistent, is proposed using line valid interrupt flag. Second, based on transmitting and receiving buffering mechanism, dual asynchronous detectors data are transmitted in a single fiber. Third, transmitting and receiving systems are implemented using large programmable devices which embeds high speed data interface. Finally, behavioral and system verification method is proposed as well. Experimental results indicate that the system could support full, median and base camera link protocol, serial data transmitting speed could be 6.25 Gb/s, and pixel data rate is 40 MHz at most for two detectors. It is very suitable for space and serial remote sensing equipment due to its compact and high reliable structure.

Keywords Dual-spectral system; Remote sensing image; Asynchronous rate transmission; High speed signal processing

(Received Jun. 30, 2010; accepted Sep. 20, 2010)