

基于 FPGA 的多路数据单信道传输方法研究

刘欢^{1,2}, 肖志河^{1,2}, 石志强²

(1. 北京环境特性研究所, 北京 100854; 2. 电磁散射重点实验室, 北京 100854)

摘要: 为了解决图像数据远距离快速传输的问题, 以光纤作为传输媒介, 对基于 FPGA 平台的图像数据传输方法进行了研究; 对图像数据的特点及远距离传输面临的问题进行了分析; 设计了运行在 FPGA 上的多路图像数据时分复用系统; 从算法设计的角度展开, 对系统的整个运行框架、时分复用模块工作原理、优缺点进行了分析, 提出了一种结合优先级的时间轮片通道复用方式, 重点对通道复用模块核心算法进行了介绍, 详述了编码单元、发送请求模块的设计方法及特点; 最后, 在仿真环境下, 对整个算法进行了验证, 实验仿真分析表明数据得到有效传输, 实验结果证明多路数据单信道传输方法有效合理。

关键词: 高分辨率; 图像传输; 时分复用; 优先级; 时间轮片

Research on Method for Single Channel Transmitting Multi-channel Data Based on FPGA

Liu Huan^{1,2}, Xiao Zhihe^{1,2}, Shi Zhiqiang²

(1. Beijing Institute of Environment Characteristics, Beijing 100854, China;

2. National Electromagnetic Scattering Laboratory, Beijing 100854, China)

Abstract: In order to solve the problem of fast and long-distance transmission for image data, using optical fiber as medium, optimization for the method of image transmission based on the FPGA was studied. Characteristic and the long-distance transmission difficulties of image data were also analysed. We designed a time-division multiplexing (TDM) transmission system running on the FPGA. To begin with algorithm design, this paper analyses the advantages and disadvantages of the operating framework and operating principles of reused-module. Meanwhile, a reused-module based on the time-slice was proposed. This paper introduces the core algorithms of reused-module, details the coding unit and the design method and characteristics of the transmission requiring module. Finally, the effectiveness of the image transmitting method was verified by the experiment, and the results demonstrate that the method for single channel transmitting multi-channel data is efficient and reliable.

Keywords: high resolution; image transmission; TDM; priorities; time-slice

0 引言

目前, 图像数据传输的方式主要有 3 种: 第一种是基于数据压缩的传输方式, 典型方案是将前端记录的图像数据采用编码的方式进行压缩, 降低数据率, 然后通过以太网、无线信道等进行传输。其优点是技术较为成熟、传输距离不受限制, 但缺点是随距离增加传感器的图像质量下降, 实时性也较差。因此, 压缩传输只适合作为一般观测类应用, 不适合对图像实时性要求较高的应用; 第二种是基于模拟信号的 PAL (NTFS) 制式传输方式, 这种视频信号常采用同轴 75 欧姆电缆进行传输, 传输距离很容易达到 200 m 以上, 具有实时性强, 传输距离远的优点, 但其不足是传输方式决定分辨率有上限, PAL 制式的分辨率最高为 576 行, 因此无法满足高分辨率图像的传输需求; 第 3 种是以 VGA、DVI、HDMI 以及 cameralink 为代表的一类视频传输方式, 其中 VGA、DVI、HDMI 等传输

方式在消费领域较为常见, cameralink 传输方式则在工业领域应用广泛, 它们的共同点是传输视频分辨率适应范围较广, 能够实时传输高分辨率高帧频的数据流, 但缺点是只能进行近距离传输, 例如 VGA、DVI 和 HDMI 传输方式的传输距离不会超过 15 m, cameralink 传输方式的传输距离不会超过 10 m。并且随着分辨率的提高, 传输距离和传输质量还会进一步下降。

一种常见的改进方式是将 VGA、DVI、HDMI、cameralink 通过光电转换单元转换为光信号, 通过光纤进行传输, 这样即解决了实时性的问题, 又由于光通道有传输距离远, 不易受外界影响的特点, 解决了远距离传输的问题^[1-2], 目前大部分视频采用单路光纤来传输单路信号, 用该方式传输多路视频信号就需要多根光纤, 很高的光纤带宽没有得到充分利用, 信道利用率低, 系统成本高。因此, 有文章提出基于时间轮片的时分复用数据传输方案, 实现单路光信道传输多路数据, 但该方案在总数据率达到或超过信道带宽或者某一通道的图像数据出现异常时, 会使整个传输信道出现错乱, 可靠性较差。

为提高光信道利用率和传输的可靠性, 本文设计一种结合时间轮片和基于优先级调度算法的多路数据单信道传输的时分复用方法, 该方法通过将单路图像进行压缩编码并合理设计多路视频传输策略, 最终实现了一个可以将多路视频流通过单信

收稿日期: 2016-01-26; 修回日期: 2016-03-07。

作者简介: 刘欢(1985-), 男, 河北廊坊人, 硕士研究生, 主要从事信号处理方向的研究。

肖志河(1966-), 男, 北京人, 研究员, 硕士研究导师, 主要从事电磁场散射、信号处理等方向的研究。

道进行传输。

1 系统功能、结构及工作原理

整个复用模块结构如图 1 所示。

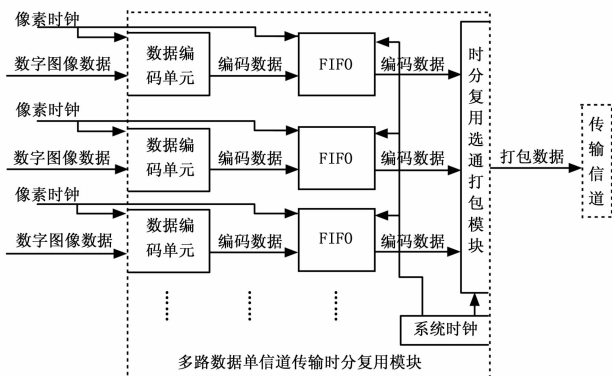


图 1 多路数据单信道传输时分复用模块

从图 1 可以看到, 数据编码单元对输入视频流进行无损编码, 减少视频流的数据量。在这一部分中, 本文将行场同步信息复合进图像数据流中, 然后对消隐期时序进行压缩, 通过计数的方式, 将消隐期的时序信息完整保留进编码后的数据流中, 达到既压缩视频传输带宽, 又能完整保留数字图像时序信息的目的。同时, 针对本文最终要处理的 14 位图像的特点, 设计了一种简单合理的奇偶校验恢复方式。

时分复用选通打包模块作为系统的重要组成部分由发送请求模块和发送决策以及状态机编码模块组成。模块结构如图 2 所示。

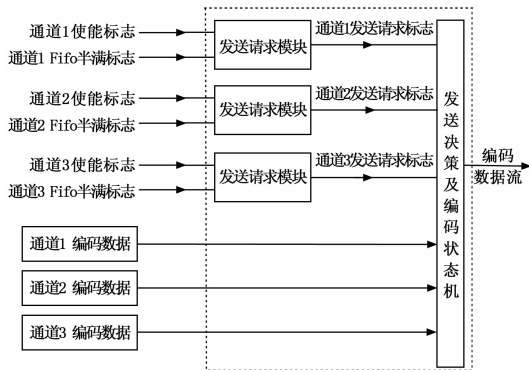


图 2 时分复用打包模块

发送请求模块检测通道使能信号并通过 fifo 标志信号产生发送请求, 在内部计时模块的参与下输出超时发送请求标志。

发送决策及编码状态机实现对经过编码后的选通通道数据二次打包, 添加通道信息后通过单通道发送出去, 实现多通道数据信道复用。

为了体现通道的可扩展性, 本设计在每个通道发送请求模块上添加了通道使能标志, 可以通过通道使能标志来决定是否使能相应的通道发送。经过压缩的数据在数据有效时, 一般采用固定发送包大小的传输方式连续的传输数据, 但在行消隐或者场消隐期间, 编码后的数据量少, 如果采用该方式可能导致信号得不到及时的传输, 严重情况下会打乱接收端对图像数据

的时序恢复。因此, 发送端采用 fifo 的半满标志去触发数据传输请求, 并且通过内部计时设置一个超时传送机制。以此解决传输的时效性问题。

发送决策机制采用具有优先级的决策模型。即在不同通道的发送请求同时到达时, 优先处理通道号小的发送请求。这样, 在通道带宽不够的情况下, 能够优先保证通道号小的通道进行传输, 最大限度的保证通道传输的完整性。

本文中复用通道的数量取决于信道带宽, 对于 2.5 Gbps 的信道, 最多可以复用 2 Gbps 的传输数据, 这要求各通道的带宽之和不超过 2 Gbps, 整个模块的发送速率取决于串行收发器的收发速率。

2 通道复用模块核心算法设计

本系统针对的实际工程图像数据为 14 位位深。通过高位添加 2 位数据, 采用 16 位数据进行编码传输。其中, 数据的第 15 位作为系统的控制字/数据标识的区分, 这里定义 1: 控制; 0: 数据。将信道的 14 位作为单字节数据的校验位来使用。

2.1 编码单元

标准的视频图像流如图 3 所示, 其中有效视频流数据只在行有效期间进行传输。实际只需要传输行有效期间的视频数据, 对于行消隐以及场消隐, 可以通过传输一个标志位以及表示时序的信息即可。

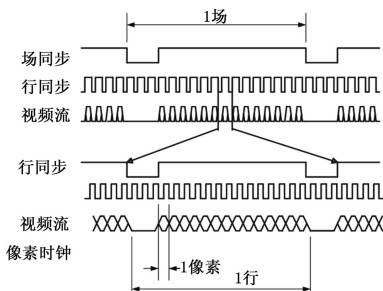


图 3 图像数据一般格式

由时序图可知, 传输状态分为场消隐、行消隐(场有效)和数据有效。因此, 设计了如表 1~2 帧结构。

表 1 数据有效帧结构

Bit 位	包结构				
	编码控制字开始	有效数据	...	有效数据	编码控制字结束
15	1	0	...	0	1
14	偶校验	偶校验	...	偶校验	偶校验
13~0	数据有效控制字	有效像素数据	...	有效像素数据	包尾控制字

表 2 场/行消隐帧结构

Bit 位	包结构						
	编码控制字开始	控制字/数据		...	控制字/数据		编码控制字结束
15	1	1/0		...	1/0		1
14	偶校验	校验		...	校验		偶校验
13~0	场/行消隐控制字	计数满标志	计数	...	计数满标志	计数	包尾控制字
		标志	计数		标志	计数	

对于有效数据，首先输出一个数据有效控制字，然后顺序输出带校验的有效行数据，在有效行结束后，输出包尾控制字，完成一组数据的编码。对于行/场消隐，则首先输出对应的行消隐或者场消隐开始标志，然后按照像素时钟进行计数。计数值大于 0x7F 输出一个计数满标志，重新开始计数，从输入视频流中检测出对应的行场消隐状态改变候，结束计数，输出对应的计数值，并输出包尾控制字。

因为图像传输对误码率的容忍度较高。因此，在图像数据传输过程中，采用较为简单的偶校验，如果接受部分检测到图像数据的误码，则利用前一位有效像素直接代替本位像素进行显示。但是对于行/场帧计数，因为会影响到图像的整个时序，则采用冗余码，计数限定在 7 位，在一个 16 位传输数据中，分别利用低 14 位，同时传输计数结果，第 14 位则对计数值进行一次偶校验^[3]。这样，在接收端，首先利用 0~6 位加校验位来判断传输计数结果的有效性，如果计数值无效，则利用 7~13 位计数结果进行后续恢复。

2.2 发送请求模块

通常通过光纤等串行信道发送的数据包具有固定的包长，这种方式缺点明显，主要表现在低码率的通道，对于数据率差异很大的两个通道，低码率通道发送延迟要明显高于高码率通道，多路传输不同步。

对于单路图像数据，由于编码后的图像流在传输过程中具有突发传输的特点。即有效数据流传输时，码率高，只传输消隐期数据，则码率很低。如果只是凑够了一定的数据包大小才启动一次传输，则会造成消隐期数据发送迟滞，严重情况下会打乱接收端时序，最终传输失败。

这里，采用一种类似时间轮片的方法，一方面采用 fifo 状态标志来产生发送请求，即当 fifo 中数据达到发送长度时，发送请求模块产生一次发送请求；另一方面，如果 fifo 不空的时候，启动一个内部计时机制，在达到超时的情况下，虽然 fifo 内的数据达不到发送正常包的长度，依然去请求一次发送，来满足系统实时性的要求。

发送决策及编码状态机的工作流程是首先对不同模块产生的请求进行排序。如果当前只有一个通道产生发送请求，则对产生发送请求通道的数据进行一个打包发送。如果两个通道同时产生发送请求，则首先响应通道号较小的通道，当发送完通道号较小的通道缓存 fifo 数据后，然后再发送其它。在正常情况下，这种方式显现不出太大优点。但是如果视频通道的总数据率达到或超过信道带宽或者某一通道的图像数据出现异常时，这种方式，只阻塞通道号大的通道即低优先级的通道，通道号小的通道图像即高优先级的通道正常传输，而不是整个传输信道出现错乱，从而提高传输的可靠性。

在通道编码过程中，分别定义如下控制字：

- 通道 1 包头：0xC077
- 通道 2 包头：0xC877
- 通道 3 包头：0xD177
- 通道 4 包头：0xD977
- 包尾：0xD277
- 空字节 1：0xFFFF
- 空字节 2：0xFFFE

其中空字节 1 和 2，主要的目的是给后面串行发送模块预留出来时钟校正和字节排序码的时序。

整个包格式如表 3 所示。

表 3 整个包格式

空字节 1×8	空字节 2	包头	通道数据	包尾
---------	-------	----	------	----

当发送状态机相应某一通道发送请求后，首先发送 8 个空字节 1，接着发送 1 个空字节 2。然后，开始发送添加了包头和包尾的一段通道数据，当发送 fifo 的数据为空时，结束发送。

3 实验仿真验证与分析

整个工程是在 quartus 环境下进行设计，目标器件是 WP4CGX110T^{[4][5]}，使用的仿真开发平台为 modelsim 10.1d。

在设计中，为了仿真结果更接近实际，分别对 3 个通道输入如下仿真激励信号：通道 1 和 3：320×256×50 Hz，通道 2：640×512×100 Hz，时钟均为 50 MHz。图 4 为输入的三路激励波形。图 5 是数据编码模块的仿真。

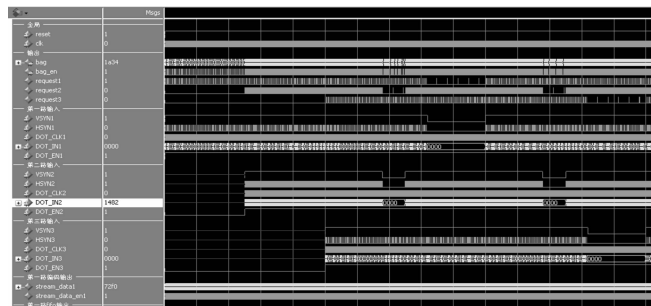


图 4 仿真激励波形

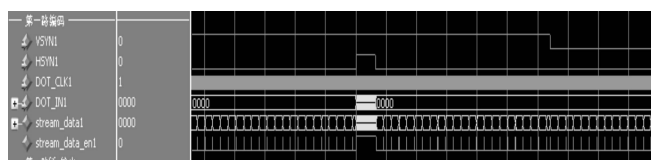


图 5 数据编码模块仿真结果

图中 VSYN1、HSYN1 分别指代的是场有效及行有效信号，stream_data1 为编码后的数据流，stream_data_en1 为编码后的数据有效标志，由图中 stream_data_en1 可知，编码后的数据流只包含有效行的数据以及少量的消隐期计数数据，整个对传输数据流的压缩效果较好。

优先级编码传送结果如图 6~8 所示。

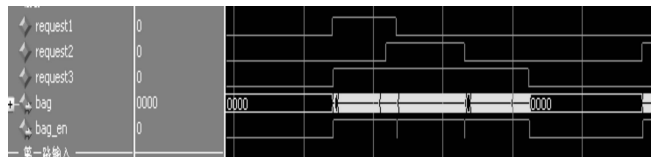


图 6 不同优先级请求同时到达

图中 bag_en 指示的是不同通道打包发送的一组数据，可以用来估计不同时刻到底是打包的哪个通道数据。由图中看出，在不同请求同时到来的情况下，程序先满足通道数小的通道，

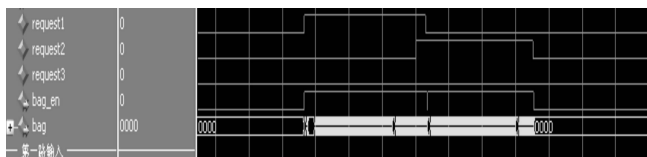


图 7 高优先级抢占低优先级传输



图 8 低优先级抢占高优先级

进行数据包的发送,而在不同通道包发送过程中,程序不会去响应其他通道发送请求,能够达到设想的效果。

最终的发送请求和传输细节可由图 9 看出。

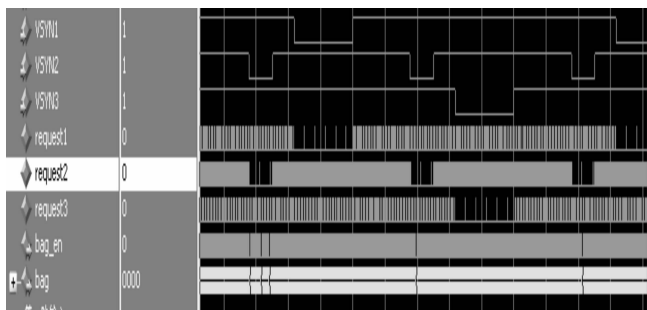


图 9 信道发送综合效果图

在图中,当视频信号处于消隐期的时候,模块依然可以通

(上接第 275 页)

我们详细探讨了初始聚类中心的优化选择问题,并提出全新的 DM Canopy-Kmeans 算法。为提高算法的运行效率,在 MapReduce 的平台下对改进聚类算法进行实现。并通过实验对其进行对比分析,验证了基于并行模型下的改进算法更优于传统的算法,提高了算法的执行效率。下一步的主要工作是进一步改进抽样数据的样本质量,可以用来更精确地代表全局数据对象。

参考文献:

[1] Dean J, Ghemawat S. MapReduce: simplified data processing on large clusters [J]. Communications of the ACM, 2008, 51 (1): 107 - 113.

[2] Han J, Kamber M. Data Mining: Concepts and Techniques [M]. Fan Ming, Meng Xiaofeng, translation. 2 edition. Beijing: Mechanical Industry Press, 2007.

[3] 邓海,覃华,孙欣.一种优化初始中心的 K-means 聚类算法 [J]. 计算机技术与发展, 2013, 23 (11): 42 - 45.

[4] 王玲,薄列峰,焦李成.密度敏感的普聚类 [J]. 电子学报, 2007, 35 (8): 1577 - 1581.

[5] 马帅,王腾蛟,唐世渭,等.一种基于参考点和密度的快速聚类算法 [J]. 软件学报, 2003, 14 (6): 1089 - 1095.

[6] 毛典辉.基于 MapReduce 的 Canopy-Kmeans 改进算法 [J]. 计算

过内部定时产生等间隔的超时发送请求,满足实时传输的要求。而且由请求信号和 bag_en 信号的疏密可知,3 路视频已经完整的复用在了最终的数据流 bag 中,达到了实时复用的目的。

由仿真结果可以看出,数据编码、时分复用打包模块达到了设计的效果,整个多数据单信道复用的传输方法算法有效可行,达到了预期的目的。

4 结论

本文所设计的多路数据单信道传输时分复用模块,很好地解决了多路视频同时传输的问题。尤其是发送请求模块,结合时间轮片和基于优先级的调度算法,在满足各通道实时传输的条件下,为尽可能多的时分复用信道提供一种可靠方法,理论上可以复用接近一个串行通道的传输极限,对于 2.5Gbps 的信道,最多可以复用接近 2Gbps 的传输数据,是一种经济、实用的图像数据传输方式,可以应用于多路视频同时传输系统。

参考文献:

[1] 吴贺.多通道数字光电转换系统的设计与实现 [D].西安:西安电子科技大学,2013.

[2] 肖儿良,韦荣明,颜文超.基于 Aurora 及 CameraLink 的高速数字图像传输 [J]. 信息技术, 2015 (4): 94 - 97.

[3] 姚七栋,张春玉. CRC 校验及其软件实现 [J]. 现代电子技术, 2006 (13): 67 - 68.

[4] 陈忠平,高金定,高见芳.基于 Quartus II 的 FPGA/CPLD 设计与实践 [M].北京:电子工业出版社,2010.

[5] 王诚,蔡海宁,吴继华. Altera FPGA/CPLD 设计 (基础篇) [M].北京:人民邮电出版社,2011.

[6] 机工程与应用, 2012, 48 (27): 22 - 26.

[7] 虞倩倩,戴月明,李晶晶.基于 MapReduce 的 ACO-K-means 并行聚类算法 [J]. 计算机工程与应用, 2013, 49 (16): 117 - 120.

[8] 马汉达,郝晓宇,马仁庆.基于 Hadoop 的并行 PSO-kmeans 算法实现 Web 日志挖掘 [J]. 计算机科学, 2015, 42 (6A): 470 - 473.

[9] 贾瑞玉,管玉勇,李亚龙.基于 MapReduce 模型的 K-means 并行遗传聚类算法 [J]. 计算机工程与设计, 2014, 35 (2): 657 - 660.

[10] Isard M, Buidi M, Yu Y, et al. Dryad: Distributed data-parallel programs from sequential building blocks [A]. Proc. of the 2nd European Conf. on Computer Systems (EuroSys) [C]. 2007: 59 - 72.

[11] 刘远超,王晓龙,刘秉权.一种改进的 K-means 文档聚类初值选择算法 [J]. 高技术通讯, 2006 (1): 11 - 15.

[12] 孙吉贵,刘杰,赵连宇.聚类算法研究 [J]. 软件学报, 2008, 19 (1): 48 - 61.

[13] 李应安.基于 MapReduce 的聚类算法的并行化研究 [D].广州:中山大学,2010.

[14] Han Jiawei, Kamber. Data mining: Concepts and techniques [M]. Beijing: Mechanical Industry Press. 2008: 288 - 375 (in Chinese).

[15] Apache. Hadoop [EB/OL]. [2012 - 10 - 10]. http://hadoop.apache.org.