

文章编号: 1007-2780(2013)01-0105-05

# 基于 ADV212 的远程图像采集系统设计

陶宏江, 韩双丽, 张 宇, 郝贤鹏, 金龙旭

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail: hjtao\_ogg@yahoo.com.cn)

**摘 要:** 针对彩色高清图像远程网络传输带宽需求过大的问题, 提出了基于 ADV212 图像压缩芯片结合 FPGA 的压缩、传输解决方案。设计中以彩色高清 Bayer 格式 CMOS 作为图像传感器, 使用 ADV212 实现对图像的快速高质量压缩, 通过 FPGA 实现整个系统的控制逻辑, 实现对 ADV212 的配置、驱动以及压缩前图像的分配和压缩后码流数据的打包处理。实验表明该系统可以保证接收图像具有较高的峰值信噪比, 能够长期稳定地工作在 36 Mbyte/s 的图像输入条件下, 且该系统具有体积小、使用灵活方便、带宽占用低和压缩率可调等优点。

**关 键 词:** ADV212; JPEG2000; FPGA; Bayer Pattern; 以太网

**中图分类号:** TN386.5      **文献标识码:** A      **DOI:** 10.3788/YJYXS20132801.0105

## Design of Remote Image Collection System Based on ADV212

TAO Hong-jiang, HAN Shuang-li, ZHANG Yu, HAO Xian-peng, JIN Long-xu

*(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,**Changchun 130033, China, E-mail: hjtao\_ogg@yahoo.com.cn)*

**Abstract:** To solve the problem of excessive demand for remote network bandwidth when transmit color high-definition image through ethernet, this article gives a compression and transmission solution based on the combination of JPEG2000 Video Codec ADV212 and a FPGA with control logic. This system use a Bayer Pattern CMOS image sensor as data source, use the ADV212 to achieve fast high-quality image compression, the FPGA implements the entire system control logic, such as configuration on the ADV212, pre-distribution image, driving ADV212 under its timing and package the compressed stream. The experiments show that the system can guarantee to receive the image having a high peak signal to noise ratio, long-term stability 36 Mbyte/s image input conditions, and the system is small and easy to use, low bandwidth consumption and the compression ratio is adjustable and so on.

**Key words:** ADV212; FPGA; JPEG2000; Bayer pattern; Ethernet

## 1 引 言

随着科学技术的发展和人类生活水平的日益提高, 远程高清晰度图像采集分析在医疗、科研、监控等方面正面临着越来越广泛的应用和需求。

但是受限于目前的带宽状况, 除了具备特殊条件的特殊行业, 高清彩色图像远程网络传输在应用中遇到了巨大的障碍<sup>[1]</sup>, 对高清彩色图像进行快速高质量的压缩是解决目前带宽瓶颈的最佳方法。

收稿日期: 2012-04-27; 修订日期: 2012-08-08

基金项目: 国防科技预研基金(No. 1040603)

作者简介: 陶宏江(1981—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 硕士, 助理研究员, 主要从事嵌入式及数字图像处理方面的研究。

本系统使用的 ADV212 芯片是 ADI 公司发布的一款用于硬件实现 JPEG2000 静态图像压缩算法专用图像压缩编解码芯片<sup>[2]</sup>，它不仅能实现对图像的有效压缩，同时产生的码流具有分辨率、信噪比可伸缩性、随机访问和处理、抗误码性强等特性<sup>[3-4]</sup>。ADV212 采用 SRAM 工艺，延迟小、功耗和成本低，工作模式通过设置内部寄存器可以灵活控制，且压缩速度快，对于无损格式可以达到 40 Mbyte/s，对于有损格式最大可以达到 65 Mbyte/s，适用于多种视频和静止图像格式的数据压缩处理。本系统有效地利用了 ADV212 强大的图像压缩能力，再以 FPGA 来实现图像的分配、打包和网络传输层及控制应用协议，通过 100 Mbit/s 以太网接口接入网络，从而实现网络内部任意位置的彩色高清图像远程传输。

## 2 系统框架与工作原理

系统使用 Xilinx 公司 Spartan3 系列的 XC3S1500 FPGA 作为控制核心，使用 Aptina 公司的 MT9T001 CMOS 图像传感器作为输入，该图像传感器为 Bayer 彩色格式，最大有效像素数为 300 万像素，最大像素数采集图像时每秒产生 12 帧图像，图像以 10 bits 数字信号格式输出，实际使用高 8 bits 数据，最大数据带宽 288 Mbit/s。

图像数据输入给 FPGA 后，FPGA 中的控制逻辑根据图像使能信号对 Bayer 格式的彩色图像进行分解，通过 SDRAM 控制器模块按颜色分类存储到 SDRAM 中；一帧图像接收结束后，在控制逻辑模块的控制下，ADV212 驱动模块从 SDRAM 控制器模块读取分类后的图像数据，按颜色传输给 ADV212 进行压缩；ADV212 压缩后的数据流传输给 FPGA 的图像封包模块，图像封包模块按照自定义的网络应用层协议对码流数据进行应用层封包，然后再传输数据给网络模块进

行 TCP/IP 层和物理层封包，最终将图像压缩数据流输入到网络中供远程终端接收。系统框架结构如图 1 所示。

## 3 系统设计与实现

### 3.1 图像采集和控制模块

MT9T001 输出的图像为 Bayer 彩色格式，其颜色模式如图 2 所示。

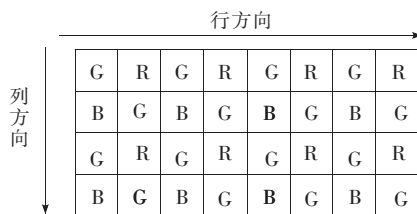


图 2 Bayer 格式

Fig. 2 Bayer pattern

由于在 Bayer 格式中，同一颜色是在行和列方向间隔出现，在进行图像重构时，不利于彩色插值算法的灵活实现<sup>[5-6]</sup>；且在实际应用中，不同颜色的增益和同一亮度下的响应度可能不同，如果把 CMOS 输出图像直接进行压缩将会因引入过多的高频信号而降低压缩率<sup>[7]</sup>。

针对 Bayer 格式在实际应用中存在的缺陷，系统在进行图像压缩前，对传感器图像进行分解，把不同颜色信息组织成独立的子帧。实现中通过 FPGA 中的图像采集和控制模块，根据 CMOS 同步信号输出时序，把 CMOS 图像数据按颜色化分，分别存入 FPGA 4 个 BlockRAM 中<sup>[8]</sup>，然后通过 SDRAM 控制器在一行输入结束后，把相应 BlockRAM 中的数据存储到 SDRAM 的指定区域，如图 3 所示。

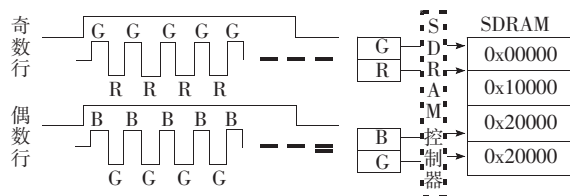


图 3 Bayer 格式颜色分类流程

Fig. 3 Process of Bayer dispatching

### 3.2 ADV212 配置驱动模块

ADV212 是一种低价、单片、低功耗、全数字的 CMOS 超大规模集成电路。内部包括一个专

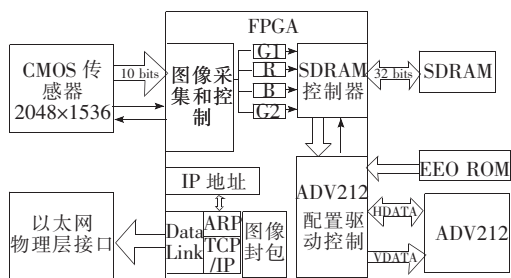


图 1 系统框架结构

Fig. 1 Architecture of system

门的小波变换引擎,3 个熵编码器,一个片内存储器和一个内置精简指令集(RISC)处理器,最大能够达到 65 Mbyte/s 的图像处理速度<sup>[9]</sup>。

在上电后首先由 FPGA 内的配置模块载入固件程序到 ADV212 的 ROM 中,再对 ADV212 中的寄存器进行设置<sup>[10]</sup>,配置需要的工作模式(本系统使用 CUSTOM SPECIFIC 模式)、输入图像的信息和压缩参数,ADV212 配置过程如图 4 所示。配置结束后,由 ADV212 驱动模块传输图像数据给 ADV212 进行压缩处理,最后通过监测 ADV212 的中断信号读取压缩后的码流。

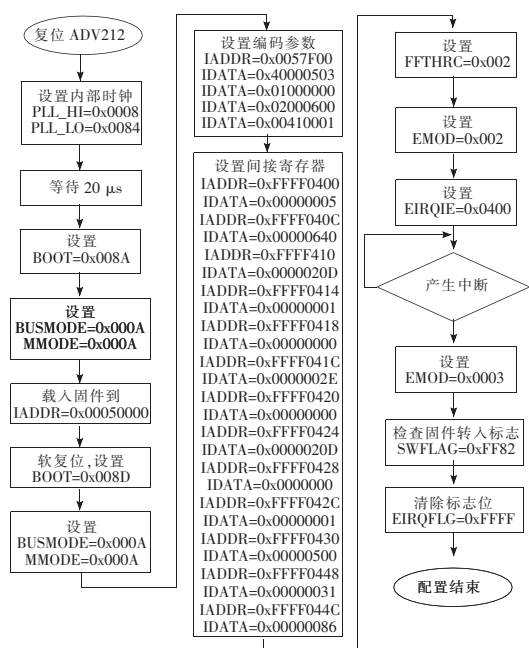


图 4 ADV212 配置过程  
Fig. 4 ADV212 config flow

ADV212 驱动模块通过 SDRAM 控制器模块按颜色顺序读取缓存的图像,然后通过垂直和水平同步信号按照 CUSTOM SPECIFIC 模式下的 ADV212 数据驱动时序控制 ADV212 工作,ADV212 驱动时序如图 5 所示,为保证 ADV212 的正常工作,ADV212 要求每一行和下一行之间留出最小 16 像素的行间间隔,在一帧图像和下一

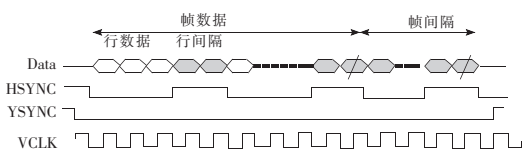


图 5 ADV212 驱动时序  
Fig. 5 Adv212 driving time

帧图像之间留出最小 6 行数据的帧间间隔。

### 3.3 图像封包模块

ADV212 以数据码流的形式输出压缩后的数据,由于 CMOS 的 Bayer 格式数据是按照颜色分别输入 ADV212 进行压缩的,所以一帧 CMOS 输出数据对应 ADV212 的四帧对应不同颜色的压缩输出。如果直接按照码流顺序输出,在网络接收端难以判断哪四帧压缩结果对应同一幅图像,将会引起图像重构错误。

本系统在 FPGA 中依据 CMOS 输出的帧同步信号和 ADV212 输出数据帧帧头信息(如图 6 所示)对各颜色的压缩码流进行应用层组帧打包,以保证具有相同协议的网络接收端设备能够正确的重构图像。

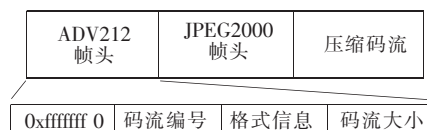


图 6 ADV212 输出帧结构  
Fig. 6 Frame header of ADV212 output stream

由于 ADV212 在每一帧压缩数据的帧头起始位置都放置 0xffffffff 标识,所以图像封包模块通过对码流数据监测,发现 0xffffffff 标识即表示一帧压缩数据的开始,结合 CMOS 帧使能信号对同一 CMOS 图像帧内的数据包添加信息头,同时对数据流以 0xffffffff 位置开始断帧,以保证 0xffffffff 标识出现在网络数据包的起始位置。图像压缩数据封包流程如图 7 所示,在从一种颜色的码流数据输出转换到另一种颜色的码流数据输出时,置位帧头信息中的颜色变更标志;用颜色计数值标识当前的颜色种类;使用包计数来标识数据包的次序关系。在网络上的数据接收端,只

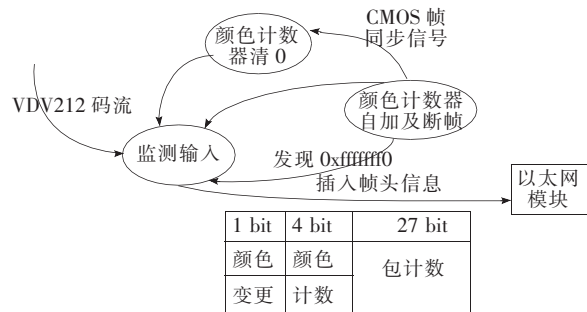


图 7 图像压缩数据封包流程  
Fig. 7 Package encoded image

需要根据应用层帧头信息就可以准确、迅速地接收的数据进行颜色分类、数据包排序和传输错误检测,即保证了数据接收处理的速度又增强了系统的可靠性。

### 3.4 网络接口模块

随着网络的大面积普及,以太网以其网络覆盖范围广、构建网络成本低、网络应用设备丰富和网络接入协议规范应用方便等特点已被大众所接受,本系统出于应用、成本和覆盖范围等方面的考虑选择以太网作为传输信息的载体。

本系统在 FPGA 中加入以太网接口模块实现压缩码流数据和系统控制命令与网络的连接,基于简化设计、降低设计复杂度的考虑,在系统以太网接口模块中仅实现了能够保证系统在网络中正常工作的必要协议。首先针对连续图像传输实时性要求高且不可阻塞的特点,选择了高传输率,无应答的 UDP/IP 协议作为网络的传输层和网络层协议<sup>[11]</sup>;然后针对网络设备应具备可移动、可任意接入网络的要求,选择了 ARP 协议作为网络控制协议,当一个图像采集、压缩设备接入网络后,网络终端将依据 IP 地址以 ARP 协议包在网络中以广播的方式搜索图像采集设备,图像采集设备收到 ARP 控制包后将向请求设备发出 ARP 应答包,从而使网络终端与图像采集设备建立连接<sup>[12]</sup>,以太网模块控制、数据流图如图 8 所示。

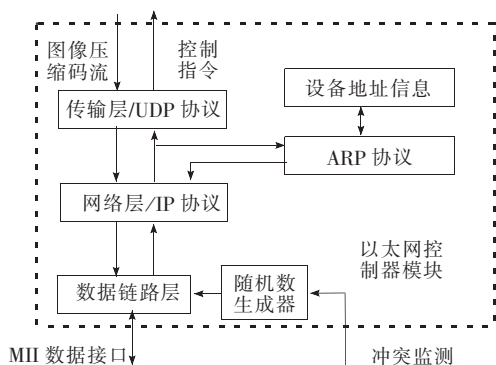


图 8 以太网模块控制、数据流图

Fig. 8 Control and data flow of ethernet module

以太网接口模块首先按照 UDP 协议在应用层数据包前加入源、目的设备的 IP 地址,源、目的设备上的端口号和自加和校验构成 UDP 数据包;然后按照 IP 协议在 UDP 数据包前加入源、目的设备的物理地址和自加和校验构成 IP 数据包;

最后由数据链路层对 IP 数据包执行 32 位 CRC 校验,并添加帧同步头<sup>[13]</sup>,完成以太网数据包组帧,最后通过以太网物理层发送的网络数据包结构如图 9 所示。

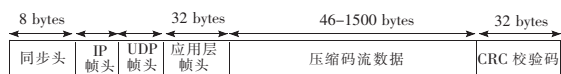


图 9 组帧完毕的以太网数据包

Fig. 9 Ethernet packet after all process

针对同一个网络中的多个网络设备之间可能会因同时传输数据而产生的网络占用冲突的情况,从而导致丢帧的情况,以太网接口模块会根据物理层芯片的冲突检测信号判断是否需要重发数据及何时重发数据。以太网接口模块内建立一个 0~63 的自加循环计数器充当随机数生成器,当发生网络占用冲突时,将中断(20+计数器值) $\mu\text{s}$ 后再次进行尝试。

## 4 实验结果与分析

系统开发完成后,分别通过单幅测试图像和连续动态图像对系统进行了测试。实验连接如图 10 所示,为模拟图像远程采集控制环境,不失一般性图像采集压缩设备与终端计算机间使用 100 Mbyte/s 交换机进行连接,传输线 A、B 均使用 15 m 网线,且根据需要可以使用 50 m 网线或使用 HUB 中继来延长传输距离。

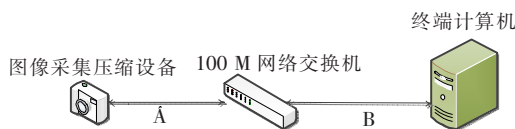


图 10 实验连接关系

Fig. 10 Connection of Test

在单幅图像的实验中使用灰度测试图像按照 Bayer 格式拼成  $2048 \times 1536$  的图像输入源,以确定压缩率对图像进行压缩传输,在终端设备上接收、存储压缩码流,并重建图像,计算峰值信噪比结果如表 1 所示。实验表明,本文提出的系统

表 1 不同压缩率下的测试结果

Table 1 Test result under different compress ratio

测试结果	压缩倍数		
	2	8	20
PSNR/dB	43.26	38.23	35.14

对于彩色 Bayer 格式的图像在较大压缩倍数下, 仍能获得较高的信噪比, 能够充分利用 JPEG2000 算法的压缩效能。

连续图像的实验中, 使系统以 12 帧/秒帧速

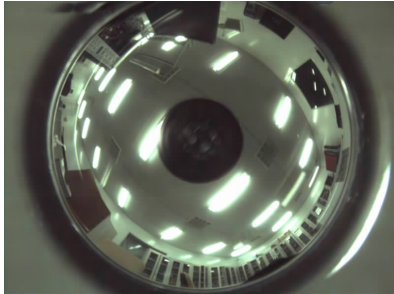


图 11 使用全景镜头时的连续图像截图

Fig. 11 Image of test under panorama camera lens

率和 1/8 的压缩率对实验室环境进行连续长时间摄像, 使用全景镜头的实验室连续图像解码结果截图如图 11 所示。图像主观视觉感觉良好, 较好的保留了环境的纹理和细节, 没有出现“块效应”, 且系统工作稳定, 100 Mbit/s 带宽网络环境下网络占用率低于 40%, 网络数据接收和命令发送正常。

## 4 结 论

介绍了基于 ADV212 和 FPGA 的 Bayer 格式彩色高清图像压缩和网络传输解决方案, 通过实验表明, 该系统工作稳定、使用灵活简便, 能够以较低的网络带宽, 提供高质量的高清图像数据, 解决了彩色高清图像远程网络传输中图像大小与网络带宽的矛盾。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] 董岩, 张涛, 李清军, 等. 基于 PCI 总线的 CMOS 图像传感器 OV6620 的驱动设计[J]. 液晶与显示, 2010, 25(3): 460-465.
- [ 2 ] 赵清, 林宝军, 张善从. JPEG2000 遥感图像实时压缩系统[J]. 计算机仿真, 2007, 24(3): 180-183.
- [ 3 ] International Organization for Standardization. ISO/IEC 15444-1, Information technology-JPEG 2000 image coding system: Core coding system [S]. Switzerland: ISO copyright office, 2004.
- [ 4 ] 范志丽, 徐抒岩, 胡君. 多光谱可见光遥感图像压缩系统设计[J]. 电子设计工程, 2010, 18(9): 46-48.
- [ 5 ] 袁红星, 闵子建, 李锦萍. 一种用于 CMOS 图像传感器的彩色插值算法[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2006, 27(5): 26-29.
- [ 6 ] 刘晓松, 杨新, 文俊, 等. 一种用于数字图像传感器的彩色插值算法[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(5): 516-521.
- [ 7 ] 杜伟娜, 孙军, 倪强. 基于 JPEG2000 的高效率控制算法[J]. 上海交通大学学报, 2006, 40(1): 16-19.
- [ 8 ] 张贵祥, 金光, 郑亮亮, 等. 高速多通道 CCD 图像数据处理与传输系统设计 [J]. 液晶与显示, 2011, 26(3): 397-403.
- [ 9 ] 韩亚娟, 刘学斌, 胡炳操, 等. 基于 ADV212 的光谱数据压缩系统研究[J]. 电子设计工程, 2011, 19(15): 170-175.
- [ 10 ] 杨俊, 鲁新平, 李吉成. 基于 ADV212 芯片的视频压缩系统应用设计技术[J]. 微处理机, 2010, 4(8): 119-122.
- [ 11 ] Kurose J F, Ross K W. Computer Networking: A Top-down Approach Featuring the Internet [R]. New York: Pearson Education company, 2001: 167-182.
- [ 12 ] Behrouz A. Forouzan, Sophia Chung Fegan. TCP/IP Protocol Suite [M]. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc, 2000: 147-199.
- [ 13 ] LAN/MAN Standards Committee. IEEE Std 802. 3, Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications [S]. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2002.