

大面阵 CCD 相机高速图像压缩系统设计*

刘妍妍¹, 李国宁², 王文华², 张然峰², 金龙旭²

(1. 长春理工大学 电子信息工程学院, 吉林 长春 130022;

2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 针对大面阵 CCD 相机高分辨率、高帧频等特点, 提出了一种适用于大面阵 CCD 相机高速实时图像压缩的系统。实验结果表明, 该方案在压缩比为 53:1 时峰值信噪比可以达到 36 dB, 取得了很好的压缩性能。

关键词: 面阵 CCD; 图像压缩; JPEG2000; FPGA

中图分类号: TN386.5

文献标识码: A

文章编号: 0258-7998(2011)12-0044-03

The design of high speed image compressed system for the big area CCD camera

Liu Yanyan¹, Li Guoning², Wang Wenhua², Zhang Ranfeng², Jin Longxu²

(1. School of Electronic and Information Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China;

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

Abstract: According to the area CCD camera of the characteristics such as high resolution capacity and high frame frequency, this paper have put forward a kind of image compressed system of real time for the big area CCD camera. Experiment result shows that this scheme can realize the signal-to-noise ratio of peak value can reach 36 dB at compression ratio of 53:1 and have gotten very good compressibility.

Key words: area CCD; image compression; JPEG2000; FPGA

目前有很多常用的压缩算法, 其中 JPEG2000 图像压缩标准可以在获得高压缩比的同时确保高图像质量, 另外还具有非常好的抗误码性能, 在大面阵 CCD 相机图像压缩领域得到了广泛的应用。JPEG2000 压缩的实现方法有多种, 通常采用专用 DSP 芯片和 FPGA 芯片编程实现^[1-3], 两者分别利用各自的优点完成不同的功能。其中, 专用 DSP 主要完成 DWT 变换等高速整型和浮点型运算功能, FPGA 主要完成 EBCOT 等高效并行编码算法功能^[4-5], 但这种实现方法 JPEG2000 需要处理的数据量比较大, 还需要外扩 SRAM 等大容量数据存储器, 从而使系统的集成度降低, 而且其实时性受编程方法所制约。同时, 目前大面阵 CCD 相机的成像和图像压缩存储是两个独立的部分, 中间连接包括复杂的接口和繁重的线缆, 增加了相机的复杂度和重量。

本文提出了一种基于 FPGA 嵌入式处理器 MicroB-

laze 和 ADV212 压缩芯片相结合的高速、实时图像压缩系统^[6-7], 系统中图像采集和图像压缩等功能均由同一个核心处理器 FPGA 来完成, 使系统的处理速度和集成度都有所提高。

1 大面阵 CCD 相机高速图像压缩系统组成

本系统以 Analog 公司生产的 AD212 作为图像压缩芯片, 采用内有嵌入式处理器的高性能 FPGA 作为核心处理器, 完成大面阵 CCD 模拟信号处理、视频信号采集、图像数据缓存、ADV212 初始化、固件程序和参数注入、数字图像传输等功能。考虑到卫星平台对系统稳定性的要求, 系统应用 FPGA 和专用图像压缩集成芯片 ADV212 的高速、实时图像压缩方案, 将压缩后数据流送给图像采集卡, 由上位机对图像压缩性能进行分析。该方法实时性强, 硬件接口电路设计简单^[8-10], 其系统组成框图如图 1 所示。

* 基金项目: 国家 863 计划基金资助项目 (No. 863-2-5-1-13B)

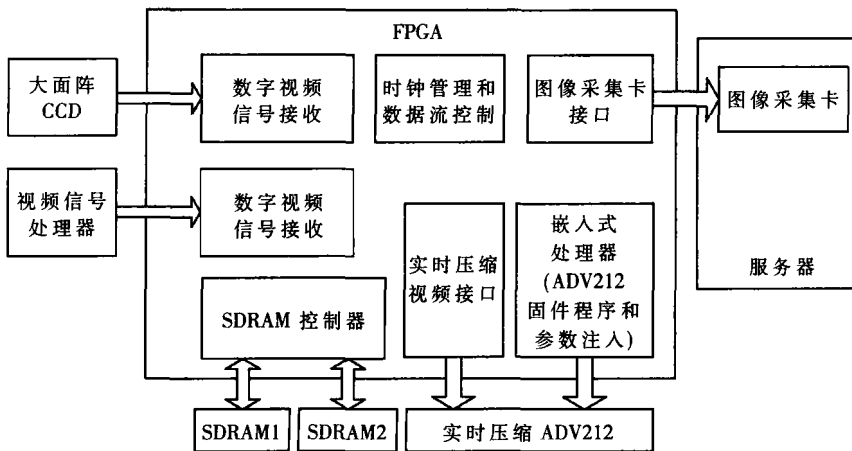


图1 实时压缩方案的功能框图

2 FPGA 嵌入式处理器设计

Microblaze 是 Xilinx 公司推出的 32 bit 软处理器核, 支持 CoreConnect 总线的标准外设集合, 具有兼容性和重复利用性。Microblaze 在 Virtex II Pro FPGA 中的工作频率可达到 200 MHz, 处理速度超过 166 MIPS, 是用途广泛的 CPU 软核。作为完整的 CPU 软核, Microblaze 允许用户根据需要进行配置。了解 Microblaze 结构不但有助于用户了解配置, 还可以辅助分析 Microblaze 应用软件的效率。

FPGA 片外晶振为 50 MHz, Microblaze 软核主频为 100 MHz, 使用片外低复位, 支持硬件调试方式, 并使用 16 KB 片内 BlockRAM 作为 CPU 核的数据和指令暂存, 同时还包括看门狗和定时器等基本外设。添加完硬件后, 系统自动生成每个硬件模块的地址范围, 如图 2 所示。

dlmb_cntlr 和 ilmb_cntlr 作为 CPU 核的数据和指令暂存, 分配 16 KB 空间。Opb_central_dma_0 作为读取 ADV212 压缩数据流的 DMA 控制器, Generic_External_Memory_1 和 Generic_External_Memory 作为访问 SDRAM 控制器的寻址空间。由于 SDRAM 控制器的 SYS_ADDR 共 25 bit 地址, 所以这里分配 32 MB 寻址空间。其他还包括定时器、WDT、调试空间等。

3 压缩处理器设计

JPG2000 算法的硬件实现方法有多种, 其中 Analog

Devices 公司的 ADV212 系列性能比较高, 实际应用广泛。ADV212 完全符合 ISO/IEC15444-1 标准, 内部集成了专用小波变换单元、3 个熵编码器、RISC 处理器以及多种存储器, 内部功能框图如图 3 所示。

通常情况下, 采集的原始图像数据通过 VDATA 总线输入, 像素接口根据帧同步信号 VSYNC、行同步信号 HSYNC 和场同步信号 FIELD 接收数据, 并传送给小波变换模块, 经小波变换后的小波系数被存储到内部存储器中。从内部存储器读出的小波系数被送进 3 个熵编码器进行并行处理, 处理过程包括量化、率失真控制、上下文编码和码流组织等, 并将最后的码流送回内部存储器。编码后的 JPEG2000 码流通过高速数据总线送给编码 FIFO, 编码 FIFO 用来解决内部高速总线和低速主机接口之间的冲突。最后的 JPEG2000 码流通过 HDATA 总线结合 DREQ 和 DACK 输出。

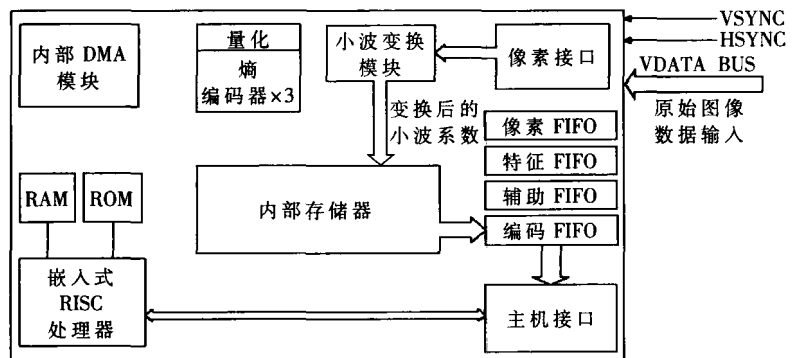


图3 ADV212 内部功能框图

4 实验及结果分析

本文在不同的压缩码流速率条件下, 对大面阵 CCD 图像进行实时压缩, 调试过程中, 先将压缩后的数据流传送到上位机, 由上位机专用解压缩软件进行解压, 查看测试图像和文件格式是否正确。如果正确, 则说明图像压缩过程正常, 可进一步把压缩后的数据流交由解压缩部分进行解压。由于图像很大, 所以解压缩后截取

Instance	Name	Address	Base Address	High Address	Size	Lock	ICache	DCache	Bus Connection	IF Type
mb_opb					U	<input type="checkbox"/>				
dlmb_cntlr	SLMB	0x00000000	0x00003fff		16K	<input type="checkbox"/>			dlmb	
ilmb_cntlr	SLMB	0x00000000	0x00003fff		16K	<input type="checkbox"/>			ilmb	
debug_module	SOPB	0x41400000	0x4140ffff		64K	<input type="checkbox"/>			mb_opb	
opb_timebase_wdt_1	SOPB	0x41a00000	0x41a0ffff		64K	<input type="checkbox"/>			mb_opb	
opb_timer_1	SOPB	0x41c00000	0x41c0ffff		64K	<input type="checkbox"/>			mb_opb	
opb_central_dma_0	SOPB	0x41e00000	0x41e0ffff		64K	<input type="checkbox"/>			mb_opb	
Generic_External_Memory_1	SOPB	MEM0	0x24000000	0x25ffffff	32M	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mb_opb	
Generic_External_Memory	SOPB	MEM0	0x26000000	0x27ffffff	32M	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mb_opb	

图2 FPGA 嵌入式处理器硬件定制及其地址分配

图中的左上象限进行显示。在压缩比特率为 1.5 bit/pixel、0.6 bit/pixel、0.3 bit/pixel 和 0.15 bit/pixel 等几种情况下进行图像压缩,图 4 和图 5 分别为压缩比特率为 1.5 bit/pixel 和 0.15 bit/pixel 时的压缩结果。其中,压缩比特率为 0.15 bit/pixel 时,压缩比近似 53:1,此时图像已经模糊。

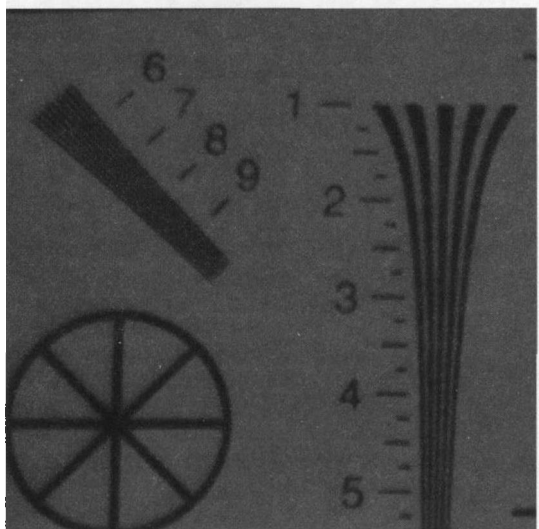


图 4 压缩比特率为 1.5 bit/pixel 的压缩结果

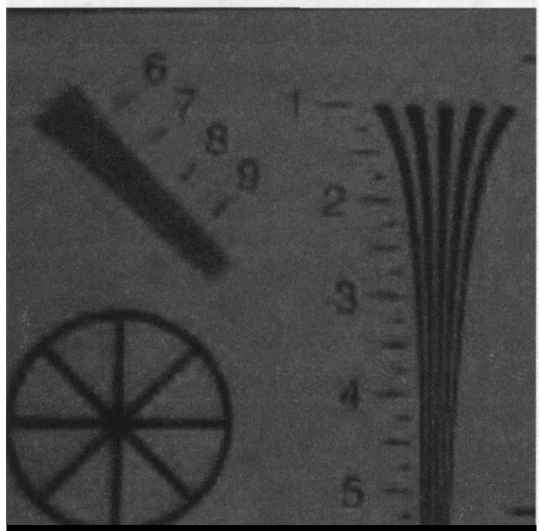


图 5 压缩比特率为 0.15 bit/pixel 的压缩结果

图像压缩性能通常用峰值信噪比 PSNR 来表示,好的重建图像 PSNR 值一般为 30 dB 以上。本文分别对几种不同压缩比特率下得到的压缩图像进行了 PSNR 计算,结果如表 1 所示。从表 1 可以看出,即使在压缩比特率为 0.15(压缩比接近 53:1)的情况下得到图像的 PSNR 值也达到了 36 dB,可见此图像压缩方案的压缩性能非常好^[11-12]。

本文提出了一种基于 FPGA 嵌入式处理器 MicroBlaze 和 ADV212 压缩芯片相结合的高速、实时图像压缩方案。结合大面阵 CCD 输出的图像数据,详细阐述了 ADV212 的工作流程、固件程序和参数注入以及视频处

表 1 不同压缩比特率下图像压缩的 PSNR 值

压缩比特率/(bit/pixel)	峰值信噪比 PSNR/dB
1.5	48.36
1.2	46.36
0.9	45.23
0.6	43.34
0.3	39.87
0.15	36.05

理等功能,并介绍了 FPGA 内部嵌入式处理器 MicroBlaze 的开发过程。实验表明,当压缩比为 53:1 时,重建图像的 PSNR 值可以达到 36 dB。此方案不仅提高了处理速度而且增加了系统的集成度,为今后大面阵 CCD 图像的高速、实时压缩提供了更好的解决方案。

参考文献

- [1] 商小川,周辉,张星祥,等.基于 FPGA 的大面阵 CCD 高频驱动电路设计[J].液晶与显示,2009,24(5):735-739.
- [2] 齐春东,陈亮,曾涛.多通道 CCD 图像数据实时记录系统[J].光电工程,2009,36(12):147-150.
- [3] 苏宛新,程灵燕,程飞燕.基于 DSP+FPGA 的实时视频信号处理系统设计[J].液晶与显示,2010,25(1):145-148.
- [4] 张学全,顾晓东,孙辉先.CCSDS 星载图像压缩模块的 FPGA 设计与实现[J].半导体光电,30(6):935-939.
- [5] 武文波,王琨,陈大羽,等.CCSDS 在遥感图像压缩中的应用研究[J].航天返回与遥感,2010,31(2):46-50.
- [6] 郑成林,龚俊斌,刘福学,等.基于 ADV202 的无人机序列图像压缩系统设计[J].计算机与数字工程,2010,38(11):136-141.
- [7] 刘永征,刘学斌,胡炳梁,等.基于 ADV212 的 JPEG2000 静态图像压缩系统设计[J].电子器件,2009,32(3):504-508.
- [8] 孙红进.FPGA 实现的视频图像缩放显示[J].液晶与显示,2010,25(1):130-133.
- [9] 张达,徐抒岩.高速多通道 CCD 信号并行处理系统[J].吉林大学学报:信息科学版,2008,26(3):281-286.
- [10] 王明富,杨世洪,吴钦章.大面阵 CCD 图像实时显示系统的设计[J].光学精密工程,2010,18(9):2053-2059.
- [11] 苏令华,李纲,衣同胜.一种稳健的高光谱图像压缩方法[J].光学精密工程,2007,15(10):1609-1615.
- [12] 赵峰,袁东风,张海霞.多 DSP 图像压缩实时并行处理系统[J].光学精密工程,2007,15(9):1451-1455.

(收稿日期:2011-08-10)

作者简介:

刘妍妍,女,1981年生,讲师,硕士学位,主要研究方向:光电成像技术、数字图像处理等。