

基于 H.264 标准的弹载红外图像压缩系统

张聪颖，孙江辉

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471000)

摘要: 为了对高动态范围弹载红外图像进行有效地压缩, 本文设计了一种基于 H.264 标准的红外图像压缩系统。该系统采用 FPGA+DM368 的硬件架构形式, 通过对 16 位红外图像数据进行拆分, 利用 DM368 内嵌的视频协处理硬核完成对图像数据的压缩。最后, 对路口红外成像数据进行测试, 试验结果表明该系统具有高压缩率、低失真度等特点, 系统工作稳定可靠。

关键词: 图像压缩; 红外图像; H.264

中图分类号: TJ760; TP391.41; TN919.85 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2018)11-1052-04

Missile-Borne Infrared Image Compression System Based on the H.264 Standard

ZHANG Congying, SUN Jianghui

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471000, China)

Abstract: To compress high-dynamic-range missile-borne infrared images, we designed an infrared image compression system based on the H.264 standard. This system adopts the hardware architecture of FPGA+DM368 and uses the video-processing hardcore embedded in the DM368 to compress images by splitting the 16 bit infrared image data. Test results from infrared images of intersection show that this system is stable, reliable, and has a high compression ratio and low distortion.

Key words: image compression, infrared image, H.264

0 引言

随着红外成像技术的飞速发展, 弹载图像的分辨率和帧频越来越高, 数据量呈几何级数增长, 每秒输出的数据量高达百兆位, 远远超出无线通信传输带宽要求^[1]。因此, 为了能够通过弹载遥测系统有效传输图像数据, 研制一种低失真度、高压缩率的红外图像压缩编码系统是十分必要的。

1 系统总体设计

弹载图像压缩系统采用 FPGA+DM368 架构, 主要的功能模块包括图像数据输入模块、FPGA 系统逻辑控制模块、图像数据压缩编码模块、数据存储模块等^[2]。图像数据输入后经过接口芯片完成匹配和电平转化后, 传输给 FPGA 进行接收, FPGA 将接收到的图像数据进行格式转换后传输给 DM368, 由 DM368 完成图像数据压缩编码, DDR2 SDRAM 存储芯片用于缓存图像压缩过程中的数据, 最后 DM368 将压缩后的码流数据输出到 FPGA 中。

2 系统硬件设计

2.1 图像数据输入接口电路

弹上图像数据传输采用 LVDS 高速串行接口, 该接口共 6 路差分信号, 其中 4 路传送数据信号 D1~D4, 一路传送同步信号, 一路传送时钟信号。LVDS 信号通过 DS90LV048 芯片实现接口转换和匹配, 该芯片是一款高速的 4 路 LVDS 数据接收芯片, 可靠性高, 常应用于低功耗、高数据传输率、抗干扰能力强的通信场合^[3]。DS90LV048 将 LVDS 信号转换为 TTL 信号后传输给 FPGA, FPGA 图像接口控制模块依据 LVDS 总线协议, 在同步和时钟信号的控制下从 4 路数据线中采集得到输入的图像数据, 并将其缓存在 FPGA 内部存储器中。图像数据输入接口电路如图 1 所示, 在每对差分传输线之间串接 100 Ω的电阻用于消除传输线末端的信号反射, 接口芯片输入电源端, 对地串接 0.1 μF 去耦电容, 滤除高频噪声, 使芯片稳定工作。

收稿日期: 2018-08-08; 修订日期: 2018-10-24.

作者简介: 张聪颖 (1984-), 女, 河南许昌人, 工程师, 研究方向为视频图像处理。E-mail: 278391222@qq.com.

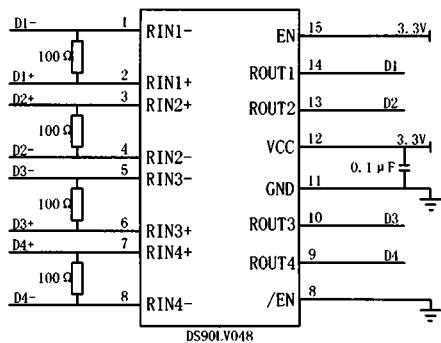


图1 图像数据输入接口电路图

Fig.1 Image data input interface circuit diagram

2.2 FPGA 逻辑控制电路

FPGA 控制系统主要完成图像信号采集接收, 图像数据格式转换, 与 DM368 的数据传输等功能。根据对信号采集处理功能实现所占用资源、芯片尺寸等进行综合评估, 本方案选用 Xilinx Virtex-5 系列 XC5VSX95T 工业级 FPGA 芯片。该芯片集成了丰富的逻辑资源, 同时采用 1.0 V 内核电压, 能够较好的降低系统功耗; 接口电平可选择使用 1.2 V、1.5 V、1.8 V、2.5 V 或 3.3 V 等多种标准。FPGA 的配置芯片选用 Xilinx 公司工业级芯片 XCF128XFTG64C, FPGA 配置电路设计如图 2 所示。

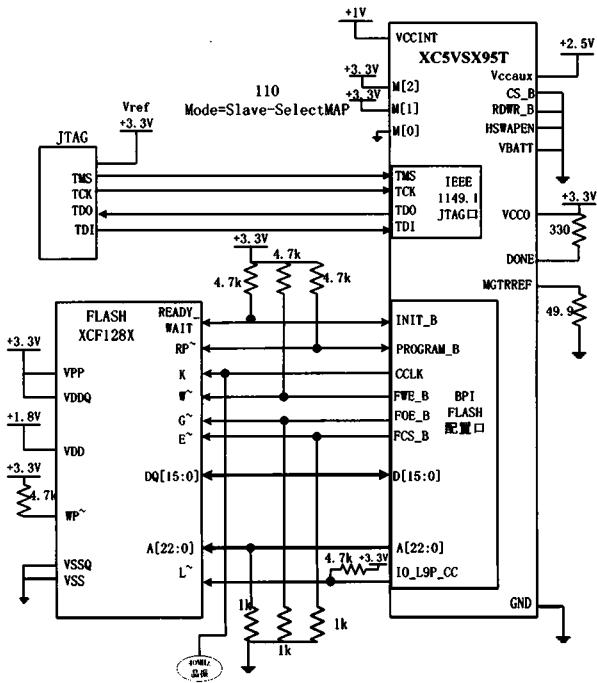


图2 FPGA 配置电路图

Fig.2 FPGA configuration circuit diagram

2.3 图像压缩编码电路

图像压缩编码功能由 DM368 系统实现, 压缩后的码流由 DM368 传输给 FPGA。本方案选用 H.264

压缩标准, 硬件平台选用 TI 公司达芬奇系列芯片 TMS320DM368ZCED。DM368 是一款具备 H.264 编解码硬核的视频图像专用处理器, 采用 ARM9 内核+视频协处理器架构, 最高工作主频为 432 MHz, 该处理器具有体积小、功耗低、编码效率高等优点^[4]。DM368 与 FPGA 连接方式如图 3 所示。

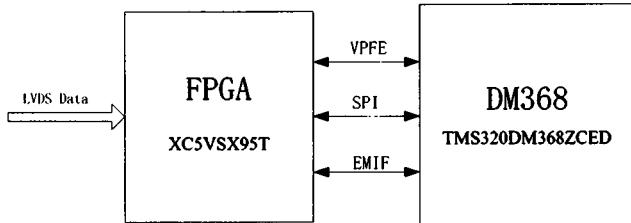


图3 DM368 与 FPGA 连接图

Fig.3 DM368 and FPGA connection diagram

图像数据压缩编码部分的工作流程为: FPGA 接收 LVDS 总线数据, 经过采集模块处理和格式转换后, 将图像数据传输到 DM368 中进行压缩, 压缩完成后 DM368 将压缩码流再传输到 FPGA 中, 用于输出。FPGA 和 DM368 之间使用视频处理前端 (VPFE: Video Processing Front End), 串行接口 (SPI: Serial Port Interface) 和外部存储器接口 (EMIF: External Memory Interface) 3 种总线接口相连接。VPFE 用来传输由 FPGA 采集并格式转换后的图像数据, SPI 用来配置 FPGA 的工作状态以及扩展硬件看门狗应用, EMIF 用来传输 DM368 压缩后的码流数据。

2.4 数据存储单元

本方案是在 DM368 中实现图像压缩算法, 算法运行过程中需要高效地处理大量数据信息, 占用大量缓存空间, 而 DM368 内部 RAM 仅为 32 kB, 为了满足处理大量图像数据的要求, 需要配置高速的 DDR2 SDRAM 芯片作为 DM368 外部数据存储器, 通过 DM368 内部集成的 DDR2 存储控制器实现数据传输。本系统选用 Micron 公司生产的 16 位数据宽度, 总大小为 128 MB 的 DDR-800 芯片 MT47H64M16HR-25E 作为系统的数据存储单元, 该芯片有 8 个数据存储块, 每个数据存储块大小均为 16 MB。DDR2 芯片和 DM368 的 DDR2 存储控制器之间通过数据线、地址线、块选择线和控制线等进行连接, 由于这些均为高速信号线, 且 DDR2 控制器中没有集成终端匹配电阻, 为了减小信号传输时的震荡与反射, 较少电路布局、布线空间, 在 DDR2 和 DM368 之间的信号线上串接 33 欧阻排, 使数据传输更加稳定可靠。该 DDR2 存储器与 DM368 芯片内置的 DDR2 读写控制器连接方式如图 4 所示。

3 系统软件设计

3.1 软件算法选择

图像数据的压缩算法大致可以分为静止图像压缩算法和运动图像压缩算法两类^[5]。静止图像压缩算法只考虑本帧数据而不考虑相邻帧之间的冗余信息，即帧内压缩，常用的静止图像压缩压缩算法有 JPEG 标准和小波变换等；运动图像压缩算法是基于连续视频相邻帧之间的具有冗余信息的特点实现的，即帧间压缩，常用的运动图像压缩算法有 MPEG 标准和 H.264 标准等^[6]。

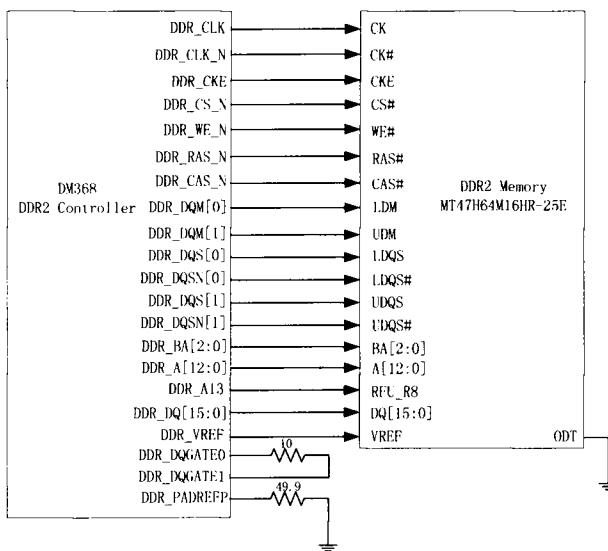


图 4 DM368 与 DDR2 存储芯片的连接方式图

Fig.4 DM368 and DDR2 memory chip connection diagram

H.264 是 ITU 的 VCEG (视频编码专家组) 和 ISO/IEC 的 MPEG (运动图像编码专家组) 的联合视频组开发的一个新的数字视频编码标准^[7]。H.264 标准采用高精度、多模式的位移估计，基于块的整数变换，以及分层的编码语法等技术，这些措施使得 H.264 算法具有很高的编码效率，在相同的重建图像质量下，能够比 H.263 节约 50% 左右的比特率。H.264 的压缩码流结构网络适应能力强，且增加了差错恢复能力，广泛应用在无线网络传输中^[8]。

弹载红外图像在进行无线传输时，需进行 50 倍以上压缩，且解压缩后恢复图像质量要求高，故选用 H.264 标准进行压缩。

3.2 红外图像压缩软件详细设计

弹载红外图像数据通过 LVDS 总线，经过接口电路转换后，数据传输给 FPGA^[9]。红外图像因其动态范围大，每个像素灰度值为 16 位占 2 个字节，而标准的 H.264 算法仅支持 8 位，因此 FPGA 需要将采集到的 16 位图像数据拆分为高低 8 位两路数据。FPGA

采集到两路原始图像数据后，还需要将其分别转换为满足 DM368 视频输入接口要求的视频信号，在本方案设计中，FPGA 将输入视频数据转换为 BT.656 格式，即 FPGA 需要在输入的图像数据中增加每一帧的起始和结束标志，以及每一行有效视频的起始和结束标志等信息。FPGA 完成两路数据采集和处理后，将两路视频流分别送入 DM368，由 DM368 内嵌的视频协处理硬核完成两路视频数据 H.264 压缩编码，编码完成后 DM368 将两路压缩码流数据同步后再输出给 FPGA。弹载红外图像压缩流程如图 5 所示。

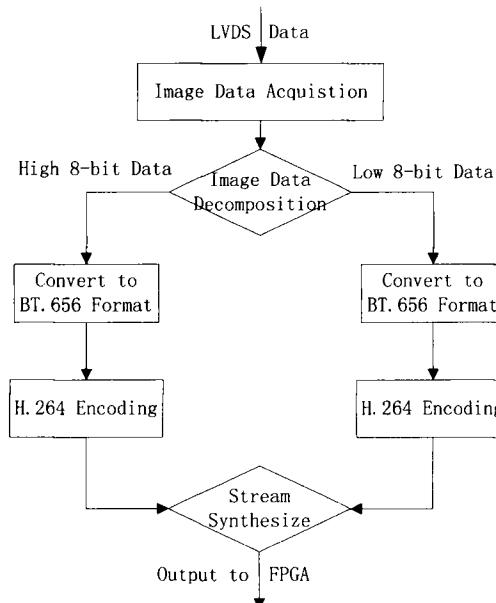


图 5 弹载红外图像压缩流程

Fig.5 Missile-borne infrared image compression process

4 测试结果及分析

为了验证弹载图像压缩系统性能，利用热像仪对路口的成像数据对压缩系统进行测试。图像有效分辨率为 256×240 ，帧频 100 fps，每个像素占 16 位，经过该系统约 70 倍压缩后，通过上位机解码恢复后图像序列平均峰值信噪比达到 43 dB。图 6 所示为原始图像序列中运动目标较多的一帧图像，图 7 所示为该帧图像解压缩后恢复的图像，其峰值信噪比为 32.06 dB。通过试验测试表明，该压缩系统能够完成 16 位红外图像压缩，有效去除了图像的冗余信息，压缩效率高，恢复后图像质量高，整个系统工作稳定可靠。

5 结论

针对弹载红外图像动态范围大、数据量大等特点，为了使其能够在带宽有限的无线信道中有效传输，本文设计了一种基于 H.264 标准的弹载红外图像

的压缩系统,有效利用了H.264编码算法压缩率高、失真度小、恢复图像质量高等特点,可以大大消除图像的冗余信息。利用路口红外成像数据进行测试验证,结果表明,本文设计的压缩系统在对红外图像进行高倍压缩时,仍能保证恢复出高质量的图像。



图6 原始图像 Fig.6 Original image



图7 解压缩后恢复图像 Fig.7 Decompression image

参考文献:

- [1] 张海江. 遥测图像压缩系统的设计与实现[J]. 通信技术, 2011, 10(44): 66-68.
ZHANG Haijiang. Design and Implementation of Remote Sensing Image Compression System[J]. *Communications Technology*, 2011, 10(44): 66-68.
- [2] 石永亮, 张会新, 刘文怡, 等. 基于弹载图像记录器的压缩系统设计[J]. 电子器件, 2015, 38(5): 1105- 1108.
SHI Yongliang, ZHANG Huixin, LIU Wenyi. Compression System Design Based on Missile-Borne Image Recorder[J]. *Chinese Journal of Electron Devices*, 2015, 38(5): 1105- 1108.
- [3] 李学鹏, 李忠, 周罡. 基于DM368的全景成像系统六路视频编码传输设计[J]. 光学与光电技术, 2016, 14(1): 33-37.
LI Xuepeng, LI Zhong, ZHOU Gang. Design of Six-Channel Video Encoding and Transmission in Panoramic System Based on DM368[J]. *Optics and Optoelectronic Technology*, 2016, 14(1): 33-37.
- [4] 袁秋晨, 闵跃军, 丁祝顺, 等. 基于TMS320DM368的光电吊舱视频压缩系统设计[J]. 导航与控制, 2016, 15(2): 69-74.
YUAN Qiuchen, MIN Yuejun, DING Zhushun. Design of Electro-optical Pod Video Encoding System Based on TMS320DM368[J]. *Navigation and Control*, 2016, 15(2): 69-74.
- [5] 毕厚杰. 新一代视频压缩编码标准——H.264/AVC[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005: 97-102.
BI Houjie. *The New Generation of Video Coding Standard —— H.264/AVC*[M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2005: 97-102.
- [6] 余光明, 查日勇, 黄磊, 等. 图像编码标准H.264技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006: 1-10.
YU Zhaoming, ZHA Riyong, HUANG Lei. *Image Coding Standard H.264 Technology*[M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2006: 1-10.
- [7] Kwon Soon-kak, Tamhankar A, Rao K R. Overview of H.264/MPEG-4 Part 10[J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2006, 17(2): 186-216.
- [8] Takahashi Maki. H.264/AVC video coding standard[J]. *Shapu Giho/Sharp Technical Journal*, 2004(90): 21-24.
- [9] 赵盼盼, 孟令军, 文波, 等. 箭载图像压缩与存储系统设计与实现[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(12): 92-96.
ZHAO Panpan, MENG Lingjun, WEN Bo. Design and Implementation of Compression and Storage System for Rocket-borne Image[J]. *Research and Exploration in Laboratory*, 2015, 34(12): 92-96.