

文章编号:1001-5078(2007)11-1204-02

基于 Microblaze 的实时红外直方图均衡器

童 鹏, 胡以华

(中科院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘 要:直方图均衡算法是红外图像处理中一种很有效的图像增强方法。在传统实时红外系统中,一般采用 DSP + FPGA 的硬件结构实现该算法。以某红外系统为应用背景,利用 Xilinx 公司的 SOPC 技术——Microblaze 软核微处理器,提出了一种 SOC 解决方案。

关键词:直方图均衡;红外图像处理;DSP + FPGA;Microblaze

中图分类号:TP391.1

文献标识码:A

Real-time Infrared Histogram Equalization Based on Microblaze

TONG Peng, HU Yi-hua

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: Histogram equalization is a very effective method to enhance an infrared image. The algorithm was realized by the hardware structure of DSP + FPGA in the traditional infrared system generally. Some infrared system was taken as the applied background and after the SOPC technique named Microblaze IP core microprocessor from Xilinx corporation was used, a SOC solution was put forward.

Key words: histogram equalization; infrared image processing; DSP + FPGA; Microblaze

1 引 言

直方图均衡是红外图像处理中简单有效的一种图像增强方法^[1]。受电子器件发展水平的限制,以往实时红外系统多采用 DSP + FPGA 的硬件结构实现该算法。两个器件的分工非常明确, FPGA 作为 DSP 的协处理器,实现数据流量比较大的硬件算法和相关的逻辑控制, DSP 做系统管理和 FPGA 比较难实现的算法处理。随着 FPGA 器件容量的不断增大和 SOPC 技术的飞速发展,这种传统的硬件结构受到了很大的冲击和挑战。

某课题中使用了法国 Sofradir 公司 480 × 6 的线阵红外探测器,该探测器每列输出 480 个图像数据, 12 位图像数据的传输速率为 64MHz,每秒大约输出 5 万多列数据,实时进行灰度变换是课题的基本要求。在对直方图均衡算法和 Xilinx 公司的 SOPC 技术——Microblaze 软核微处理器深入研究后,提出了一种 SOC 解决方案。

2 Microblaze 软核微处理器简介

2.1 Microblaze 的体系结构

Microblaze 是 Xilinx 公司推出的一款 32 位嵌入式微处理器 IP 核,该处理器采用 IBM 的 Core Con-

nect 总线与其他外设 IP 核互连,可以灵活地构建嵌入式系统,完成 SOPC 设计^[2-3]。该处理器采用 RISC 指令集,哈佛体系结构,32 位指令和 32 位数据总线分离,最高处理速度能达到 150MHz,支持标准 C、C++ 语言编程,软件开发环境提供大量的库函数供用户调用,支持嵌入式操作系统的移植,支持 JTAG 调试^[2],其内核结构如图 1 所示。

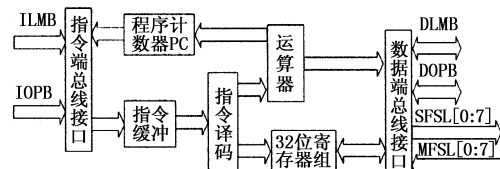


图 1 Microblaze 内核结构框图

图 1 中,指令端总线接口和数据端总线接口的功能如下:

(1) ILMB:该总线与片内的指令存储器 BRAM 相连,用于高速指令存取;

(2) IOPB:当程序相当大时,程序可以放在外部

作者简介:童 鹏(1977 -),男,博士,主要从事光电信号处理,图像处理,嵌入式开发等领域的研究。E-mail:tp9717@163.com

收稿日期:2007-06-02

存储器中,利用该总线可以实现对外部指令存储器的存取操作;

(3)DLMB:该总线与片内的数据存储器 BRAM 相连,用于实现高速数据存取;

(4)DOPB:器件片上外围设备数据接口总线,用于处理器与片内非 BRAM 设备和片外设备进行数据交换;

(5)MFSL[0:7]:主设备数据接口,提供点对点的通信通道;

(6)SFSL[0:7]:从设备数据接口,提供点对点的通信通道。

2.2 Microblaze 的开发流程

针对 Microblaze 的开发,Xilinx 公司提供了专门的开发工具 EDK。EDK 工具集成了硬件平台产生器、软件平台产生器、仿真模型生成器、软件编译器和软件调试器等工具^[2]。Xilinx 公司提供了大量常用的免费 IP 核,例如 LMB、OPB 总线桥,FLASH、SBRAM、SDRAM 控制器,中断控制器,串口控制器,定时/计数器等^[3]。利用其集成开发环境 XPS 调用需要的 IP 核可以方便、快速地构建嵌入式系统。图 2 是 Microblaze 软硬件的开发流程^[2]。

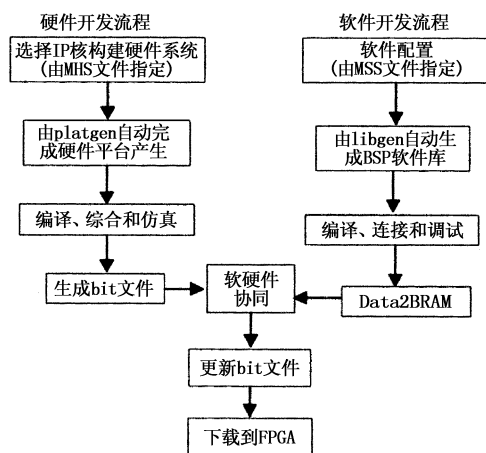


图2 Microblaze 软硬件开发流程

图2中,Data2RAM的作用是把软件代码文件(*.elf)、FPGA位流文件(*.bit)和块存储器(BRAM)初始化数据文件(*.bmm)转换成新的FPGA位流文件(*.bit)和存储器数据文件(*.mem)。

3 直方图均衡算法的原理

图像的灰度直方图就是图像中每一个灰度级与其出现频数间的统计关系:

$$p(k) = n_k/n, k=0,1,2,\dots,L-1$$

式中, L 为该幅图像中的灰度等级数; $p(k)$ 为第 k 个灰度级的概率密度; n_k 为第 k 个灰度级中所包含的像素数; n 为该幅图像中的总像素数。

将 L 级灰度变换到 M 级灰度的直方图均衡算

法原理如下^[1]:

(1)列出原始图像的灰度级 $f_k, k=0,1,2,\dots,L-1$,其中 L 是灰度级的个数;

(2)统计各灰度级的像素个数 $n_k, k=0,1,2,\dots,L-1$;

(3)计算原始图像直方图各灰度级的频数 $P_f(f_k) = n_k/n, k=0,1,2,\dots,L-1$,其中 n 为原始图像总的像素数;

(4)计算累积分布函数 $CDF(F) = \sum_{j=0}^k P_f(f_j), k=0,1,2,\dots,L-1$;

(5)应用公式 $(M-1) \times CDF(f)$ 即可求出变换后的灰度值。

4 直方图均衡器的实现

根据算法的原理,像素灰度个数的实时统计是课题的难点之一。图3是像素灰度个数统计的FPGA实现原理框图。

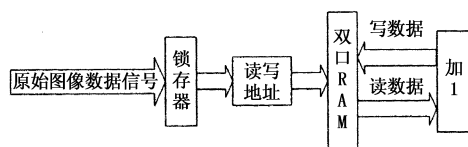


图3 灰度个数统计FPGA实现原理框图

图3的工作原理如下:将原始图像数据经锁存器锁存后,作为双口RAM的读写地址线,配合输入的同步信号,产生相关的控制逻辑,将对应地址的数据读出,然后将该读出数据加1,并将作加1处理的数据写入双口RAM对应地址的存储单元中,即可完成一次灰度个数统计工作。

根据应用,系统需要两个如图3所示的处理单元和两个灰度查找表,采用乒乓结构,将原始图像数据分奇偶两帧进行处理,当一个处理单元完成该帧的灰度个数统计工作时,向微处理器发中断信号,微处理器接到中断信号后,读出对应双口RAM中的统计值,完成灰度查找表的解算,并将查找表写入工作在乒乓方式下的灰度查找表中,然后将原始图像的数据线作为灰度查找表的地址线,实时查找对应的灰度值,即可实现实时灰度变换,图4是直方图均衡器的硬件实现框图。

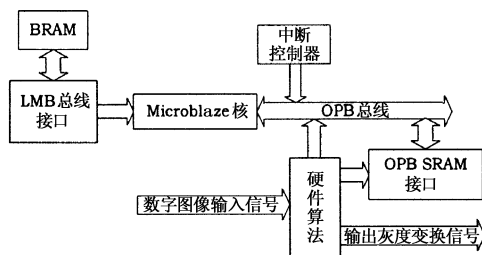
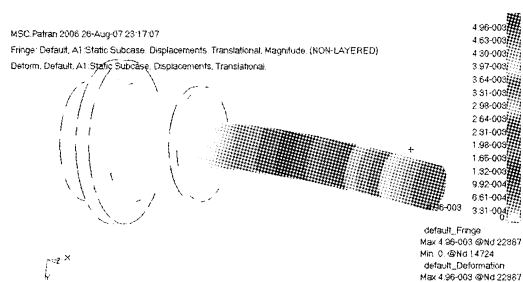
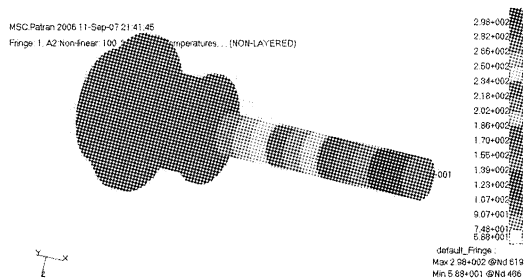


图4 直方图均衡器硬件实现框图

(下转第1208页)



(a) 位移云图



(b) 温度场分布

图4 TC4材料计算结果

5 实测结果

根据优化设计结果,我们选用 TC4 和为冷指材料,并确定冷指薄壁部分的壁厚为 $\delta = 0.2\text{mm}$ 。根

据这个设计方案,研制了微杜瓦样品,对冷台在 60g 载荷力条件下的最大位移进行了精确测量;微杜瓦和制冷机耦合后对冷台的工作温度进行了大致的测量,有限元分析结果和实际测试结果如表 4 所示。

表 4 TC4 冷指结构有限元分析结果和实际测试结果比较(载荷:60g,热源:-115mW)

	有限元计算结果	实际测试结果
冷头最大位移/ μm	4.56	4.88
冷台最高温度/K	59.4	≤ 77

6 结论

根据优化设计方案选用的材料和设计的壁厚,我们研制了用于封装红外焦平面探测器的微杜瓦产品,通过了相关的力学环境试验,微杜瓦的漏热也满足制冷机正常工作的要求。

参考文献:

- [1] MSC. SOFTWARE. E 大型通用有限元系统 MSC. NASTRAN[Z].
- [2] 郭乙木. 线性与非线性有限元及其应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004.

(上接第 1205 页)

5 设计中应该注意的问题和实验结果

设计中,有两个问题必须引起注意:

(1) 统计表和灰度查找表的读写端口信号受数字图像输入信号和 Microblaze 的切换控制,如果控制不当,很容易产生逻辑混乱。建议每次切换时先将各电路模块的使能控制信号置为无效状态,然后将时钟信号置为一个固定的高电平,然后切换使能控制信号,最后切换时钟驱动信号和其他信号。

(2) 图 3 中 24bit 的加法器是制约系统速度性能的关键电路,必须使用流水线技术对加法器的速度性能进行优化设计。

根据应用需要,系统最后选择了 Microblaze、LMB 总线桥、OPB 总线桥、中断控制器、SBRAM 控制器等 IP 核和 $36 \times 16\text{Kbit}$ 的存储器资源构建了硬件系统。选用 Xilinx 公司刚推出的 Virtex4LX 系列中硬件资源最少的 XC4VLX15-10FF668C,将所有设计集成在该器件中,经过代码优化和综合布线优化,在消耗 1439 个 Slices 的情况下,实时直方图均衡器能以 225.4MHz 的速度工作。图 5 是直方图均衡算法外场实验的实验结果,从图像显示的效果可以看出,设计是很成功的。

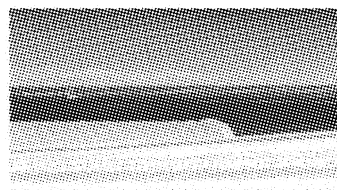


图5 直方图均衡算法外场实验图像显示的结果

6 结束语

本文不仅给出了一种模块化程度高、硬件可移植、体积小、功耗低、可靠性高、使用灵活的实时直方图均衡器的实现方法,更重要的是,本文以片上系统的方式对 FPGA 的应用作出了深入的探讨,该设计思路给嵌入式应用工程师提供了新的解决方案,本文的设计思路完全可以移植到网络、通信、消费类产品等应用领域中。

参考文献:

- [1] 顾东升,杨南生,皮德富,等. 一种基于 DSP + FPGA 技术的实时红外图像直方图均衡器[J]. 红外技术, 2004, 24(3): 15-19.
- [2] 81 MicroBlaze Processor Reference Guide[Z]. Xilinx corporation, 2007.
- [3] 111 Processor IP Reference Guide[Z]. Xilinx corporation, 2005.