

基于片上系统的红外直方图实时处理架构

邱宏, 赵馨瑶, 刘纪洲
(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要:采用 Altera 公司的 NIOS II 软核 CPU 技术, 提出并实现了基于片上系统的红外直方图实时处理架构。通过与目前工程上流行的单 FPGA 和 FPGA + DSP 这两种架构进行综合对比, 说明了本架构的特点和优势。

关键词:片上系统; 直方图; NIOS II

中图分类号: TN929.11; TN492 **文献标识码:** A

Infrared histogram real-time processing structure based on SOPC

QIU Hong, ZHAO Xin-yao, LIU Ji-zhou
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: This article adopts the NIOS II soft core CPU technology to design and implement infrared histogram real-time processing structure based on the SOPC. In this article, by comparing single FPGA structure which is widely used in current project with FPGA + DSP structure to introduce characteristic and advantage of this structure.

Key words: SOPC; histogram; NIOS II

1 引言

红外图像原始信号动态范围大, 对比度弱, 直接成像的效果较差, 因此使用直方图对红外图像进行均衡和优化是热像仪必备的功能, 也直接影响红外成像质量。随着热像仪技术的不断发展以及对高质量成像效果的追求, 着眼于热像仪大面阵器件、高帧频的发展趋势, 一个合理的直方图处理架构必须具备 25 Mpixel/s 以上的数据流处理能力, 50 Hz 以上的直方图更新速率, 并能够适应灵活、复杂的直方图处理算法以及便于对直方图算法和结构进行调整。

2 红外直方图实时处理流程及实现现状

典型的直方图处理流程^[1-2]如图 1 所示。其中, 灰度统计部分统计出单幅图像或多幅图像的原

始灰度分布, 直方图灰度映射算法根据灰度统计结果生成灰度映射表, 灰度映射部分根据算法生成的灰度映射表实时地完成对输入数据的灰度变换, 最终形成数据输出。通过直方图处理流程各模块的功能介绍可以看出: 灰度统计和灰度映射处理模块需要处理的数据量和数据速度较大, 按热像仪发展趋势评价, 需要达到 25 M 的数据速率, 但是其实现简单, 基于查找表的算法就可以实现; 直方图灰度映射算法模块需要处理的数据较少, 按热像仪使用的 14 bit 原始数据计算, 每场仅需处理 16384 个数据, 但其算法灵活多变, 不易实现。

目前利用在工程上的直方图处理架构主要有以下几类:

(1) 单 FPGA 架构

该架构硬件实现简单可靠, 直方图全部由硬件描述语言实现, 充分发挥了 FPGA 在处理并行数据、

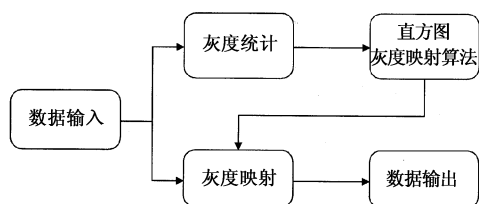


图1 直方图处理流程

作者简介: 邱宏 (1975 -), 男, 主要从事红外方面研究。
E-mail: xiaorou ding2248@sina.com.cn

收稿日期: 2009-08-05

流水数据上的优势,基本不用考虑硬件资源的速度瓶颈给直方图算法带来的影响。缺点是硬件描述语言不利于实现复杂、灵活的直方图灰度映射算法,与利用C语言进行算法开发相比,大大增加了该架构的实现难度和研发周期。

(2)单 DSP 架构

该架构软件实现简单,开发周期较短,一般出现在各类实时直方图算法论文中用于算法实现、输入数据为仿真图像或标准热像仪的数字视频输出接口。但在实际工程设计中,热像仪工作还需要时序驱动、采样,进行非均匀性校正、边缘增强、字符叠加等有实时处理能力需要的功能模块,利用单 DSP 综合处理这些并行、流水任务的难度不亚于单 FPGA 架构。即使单 DSP 只用于实现直方图架构,随着热像仪图像规模、帧频的不断提高,DSP 用于灰度统计和灰度映射的时间成倍增加,必须提高 DSP 的运算速度才能保证实时性,但这样做会提高功耗、成本,降低可靠性,不满足工程化的要求。

(3)FPGA + DSP 架构

目前该方案在工程上较为普遍,FPGA 用于进

行灰度统计和灰度映射,DSP 用于直方图映射算法的实现。该方案最大限度地发挥了 FPGA 和 DSP 这两类处理器件各自的优势,达到了资源的有效利用。但是,双处理器的设计给硬件电路的可靠性和设计难度带来了一定的负面影响,同时处理器间的通讯接口性能制约了协同工作的能力,固化的硬件电路也不利于处理架构的变化,影响了它的可扩展性。

3 基于片上系统的红外直方图实时处理架构

随着电子技术的不断发展,片上系统的概念逐步走入了系统的设计之中,它们使得传统的 FPGA 设计具备了单片机的设计方法和处理能力,弥补了 FPGA 设计中的不足,将最终成为电子系统设计的发展趋势。各大 FPGA 厂商纷纷提出了各自的片上系统解决方案,例如 Altera 公司的 NIOS II 软核 CPU, Avalon 交换架构及 DSP Builder, SOPC Builder 开发工具; Xilinx 公司的 Power PC 硬核 CPU, MicroBlaze 软核 CPU, OPB 总线,等等。本文以 Altera 公司的 FPGA 设计为基础,说明这种处理架构的组成方式及其优势。

基于片上系统的直方图处理架构如图 2 所示。

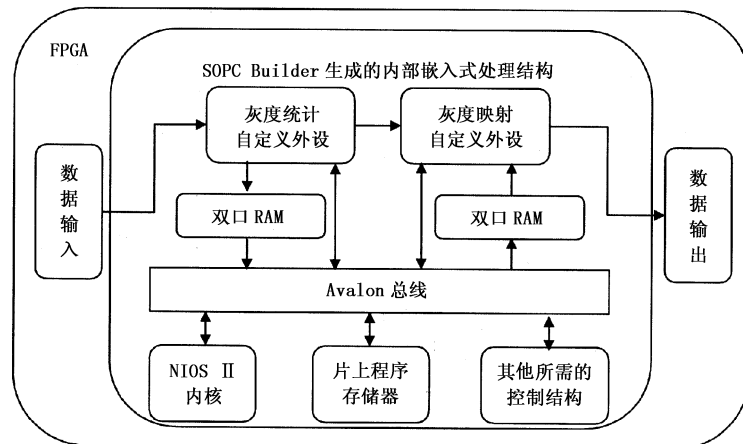


图 2 基于片上系统的直方图设计框图

该架构结合了单 FPGA 设计的低成本、高可靠性的特点,又符合 FPGA + DSP 架构便于开发的特性,其适应性之强是传统直方图架构完全不具备的。下面详细分析该架构的特点。

(1)硬件资源

在该架构中,所有直方图处理需要的硬件资源包括 NIOS II 软核 CPU 在内均为 FPGA 内部资源,从硬件角度看,该架构属于单 FPGA 架构,并可在具备 FPGA 的现有硬件环境中直接升级实现,不需要额外的硬件投入,具备在成本、空间、功耗、可靠性等多个方面的优势。

(2)程序模块接口

借助 SOPC Builder 设计软件中的自定义外设功能,将灰度统计、灰度映射这两个耗时较多且实现简单的功能分别制作成为 NIOS II 软核 CPU 的标准外设,再利用 SOPC Builder 强大的模块互联能力将它们与 CPU 内核、双口内存按照设计的处理架构进行互联,之后它们就可以像串口控制器、DMA 控制器这种常用外设一样,在 CPU 指令的控制下,按照程序运行过程中所给出的参数,自主地完成预先设定的功能,使 CPU 从耗时的简单循环中脱离出来,集中资源完成灰度映射算法。

利用自定义外设功能,本研究组设计出了一款直方图专用 CPU,具备了市面上所有通用处理器不

具备的特殊配置,这使得它可以以 SOPC Builder 生成的专用 CPU 处理器这一面貌出现在系统顶层设计当中,接口清晰明确,便于系统联调,而具有同样处理能力的 FPGA + DSP 设计方案在顶层设计中却具有繁琐的通信接口和同步机制,不便于系统联调。

(3) 处理性能

基于片上系统的直方图实现方案中,CPU 的大部分运算时间用于执行灰度映射算法功能,故其需要一定的处理能力。按照 Altera 公司的官方说法,NIOS II 软核 CPU 的处理能力可以达到 250DMIPs 以上。实际工作中,考虑到处理架构的复杂程度和芯片的速度等级,NIOS II 软核 CPU 在本应用中可以以 100M 以上的主时钟运行。按照原始数据 14bit、帧频 50Hz 计算,平均每个灰度等级拥有 122 个时钟周期,完全可以满足处理算法的需要。

相比 DSP,软核 CPU 的运算性能并不是其强项,但是基于片上系统设计中的某些优势却可以弥补这方面的不足。首先,依靠 Avalon 交换架构和 SOPC Builder 的强大功能,可以调节各处理资源间的连接关系,设计出最适合直方图使用的片上系统,使总线上的数据传递更加合理有效。例如本设计中,对自定义外设所使用内存结构进行优化,避免了传统 DSP 设计中各处理器资源征用总线上共享内存所造成的系统瓶颈;其次,Avalon 交换架构支持多主对多从的并行总线访问结构而并不是传统总线结构中单主对单从的总线征用型结构,利用这一特点,便可以更加有效地进行多 CPU 的协同操作,提高处理性能,而硬件化的 DSP 很难做到这一点;最后,利用软核 CPU 的定制指令功能可以更好地发挥片上系统的优势,大幅提高处理效率,例如在多平台直方图对灰度分布进行量化时,往往需要 CPU 采用多级比较语句逐级判断平台值,最后得出平台量化后的统计值,此操作期间会进行大量的比较、判断、跳转指令,程序执行效率不高,为此,可以设计出专用的多平台直方图灰度分布量化指令,将顺序执行的各级比较判断指令转化为指令中并行执行的多路比较判断结构和数据仲裁结构,并将其和加减乘除等运算指令一起编入 NIOS II 软核 CPU,利用 2~3 个时钟周期的单指令操作完成原来需要几十个时钟周期的指令串,处理效率的提高显而易见,而这种效率的提升在 DSP 等通用处理器上是不可能出现的。

(4) 软件实现

本架构的软件实现与 FPGA + DSP 设计方案所涉及的工作内容基本相同,自定义外设、自定义指令

的设计和 FPGA 的设计基本类似,均采用硬件描述语言;NIOS II 软核 CPU 的程序设计和 DSP 类似,均使用 C 语言或汇编进行。因此,早期的设计也可以方便地移植到基于片上系统的处理架构中,所增加的工作量仅仅是利用 SOPC Builder 设计软件完成整个片上系统的构建,而这部分工作在人性化、智能化的 SOPC Builder 软件中也十分轻松,因此,基于片上系统的直方图处理架构完全保留了 FPGA + DSP 方案中软件易于开发的特性。

(5) 可扩展性

由于基于片上系统的设计其处理结构全部是“活”的,只要在 FPGA 资源允许的条件下可以根据系统和算法更新的需要随时进行改动,例如增加数据宽度、增加协处理器甚至是完全改变处理架构,而传统的基于 DSP 的处理架构则完全没有这样的优势,其硬件结构决定了可以使用的处理算法。

4 工程实现

本设计已通过实际工程的验证,在原来单 FPGA 硬件处理电路的基础上,通过全新的设计方法,直接实现了基于片上系统的直方图处理功能,并通过软件算法上的灵活变化,改善了成像质量。基于同一硬件结构不同处理架构的成像效果对比如图 3 所示,可以看出图像细节的分辨能力得到改善,画面中虚焦状态的树枝也得到了增强。



图2 实现效果对比

(左图为单 FPGA 架构,右图为经过算法改进的片上系统架构)

5 结论

本文给出了一种基于片上系统的红外直方图处理体系架构,设计出了具备自定义外设和自定义指令的直方图专用 CPU。对比目前整机工程上流行的两种处理架构,它既保留了单 FPGA 架构的低功耗、稳定性和可扩展性高、尺寸小等特点,又具备了 FPGA + DSP 架构中处理资源分布合理、软件开发灵活的特色。

参考文献:

- [1] 童鹏,胡以华. 基于 Microblaze 的实时红外直方图均衡器[J]. 激光与红外,2007,37(4):1204-1205.
- [2] 顾国华,等. 灰度冗余均衡与受限空域锐化的图像增强技术[J]. 激光与红外,2006,36(4):318-320.