

基于 DM642 的红外图像处理系统的优化策略

宋 乐 林玉池 周 欣 黄银国

(天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072)

摘 要 提出了一种面向红外图像处理系统的优化设计方法。采用美国 INFRARED-2500AS 型红外探测器, 以高性能数字媒体处理器 DM642 为核心搭建系统平台, 对采集得到的红外图像进行图像插值、直方图均衡等处理, 并通过视频编码器进行显示输出。在阐述了系统的体系结构和指令执行流程的基础上, 从硬件和软件两方面介绍了相应的优化策略, 包括系统电路设计的改进和存储器结构的调整, 并利用 DM642 多媒体指令集等技术进行了代码优化。实验结果表明, 经过优化的系统在速度和稳定性等方面均得到了明显的提高, 可满足红外图像处理算法大数据量、高速传输、复杂运算的实际需求, 并能够适用于野外较为恶劣的工作环境, 可以在军事和民用等诸多领域发挥较大作用。

关键词 DM642 红外图像 优化 高速电路 存储器分配

中图分类号: TN7 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)10-1901-04

Optimizing Method for Infrared Image Processing System Based on DM642

SONG Le, LIN Yu-chi, ZHOU Xin, HUANG Yin-guo

(State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract An optimized design method of the infrared image processing system is proposed in this paper. The system adopts INFRARED-2500AS as the infrared detector. Based on a high performance digital media processor DM642, the captured infrared images are processed with several algorithms, such as image interpolation and histogram equalization. Video encoder is used in order to output infrared images. After explaining the system structure and the instruction process flow, the corresponding optimizing strategies of the hardware and the software is introduced, including system circuit design and an improved memory structure allocation. The multimedia instruction set of DM642 is also used for code optimization. Experimental results show that the speed and stability of the system have been remarkably improved, which could meet the requirements of large data volume, high-speed transmission and complex operations of the infrared image processing algorithm. The system can be applied in poor environments and will play an important role in the military and civilian fields, etc.

Keywords DM642, infrared image, optimization, high-speed circuit, memory allocation

1 引 言

近年来,随着红外成像技术^[1]的快速发展和硬件性能不断提升,在嵌入式系统中实现全实时的红外热成像已经成为现实。采用高性能的数字信号处理器,不仅可实现基本的图像采集和图像输出,更可以通过高效率的软件算法,使原有的图像质量得

到提高,使系统获得更优的输出。TMS320C6000 系列 DSP 是 TI 公司开发的高性能 DSP,特别是以 C64x 为核心的 DM64x 数字媒体处理器,其强大的处理能力和通道传送能力非常适合需要大数据量、高速传输和复杂运算的红外图像处理。本文针对 DM642 所搭建的硬件平台,利用数字媒体处理器所特有的优势,结合红外图像处理中的具体问题,提出了系统的优化设计方案。

收稿日期:2007-07-05; 改回日期:2007-07-19

第一作者简介:宋乐(1981-),男,天津大学精仪学院博士研究生。主要研究方向为红外图像处理和 DSP 开发。E-mail: songle@tju.edu.cn

2 红外图像处理系统概述

红外图像实时处理的特点是要求有很高的处理速度和大量的运算操作,而且红外系统热敏感性高,易受温度等环境因素的影响,在不同的应用场合需要不同的处理方法。因此需要设计一种高性能而又可编程的灵活可靠的硬件系统。本文采用的基于高速 DSP 的方法相对于传统的 DSP + FPGA 结构,具有更强的通用性,可根据环境的变化而采用不同的算法和相应的参数,而且硬件电路结构比较简单,系统的可靠性更有保障,更加适合于对硬件灵活性要求苛刻的红外图像实时处理应用^[2]。基于 DM642 的红外图像实时处理系统硬件结构如图 1 所示。

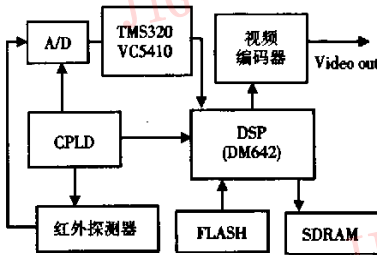


图 1 红外图像处理系统框图
Fig. 1 Principle diagram of infrared video system

红外探测器的图像的刷新频率是 20Hz,分辨率为 160 × 120。红外探测器由 CPLD 进行驱动,其读出电路输出的模拟信号经过 A/D 转换器转换为 8 位的数字信号后,输入 TMS320VC5410(以下简称 5410)的 DSP。图像数据在 5410 中完成非均匀性校正后传送至 DM642 的片内 RAM 中。通过 DM642 的视频口转换为 YCbCr 4:2:2 格式的数字视频信号,并输入视频编码器,生成 PAL 或 NTSC 制的复合视频信号。采用了 CPLD 作为整个系统时序控制的中心。CPLD 主要完成时钟信号的产生、变换和分配,红外探测器的驱动及其与 A/D、DSP 和视频输出之间的同步。在 DSP 子系统中,SDRAM 作为片内存储器的扩展,主要用作图像处理前和处理后的帧缓存,FLASH 则用于固化参数和代码,并引导系统的启动。

3 硬件电路优化设计

3.1 DM642 简介

DM642 建立在 C64x DSP 核基础上,采用第二代

高性能超长指令字结构 VelociTI. 2™,其每个乘法器在每个时钟周期内可执行 2 个 16 × 16 位的乘法或 4 个 8 × 8 位的乘法。DM642 内含 6 个算术逻辑单元,在每个时钟周期内都可执行 2 个 16 位或 4 个 8 位的加减、比较、移位等运算。在 600MHz 的时钟频率下,DM642 每秒可以进行 24 亿次 16 位的乘累加或 48 亿次 8 位的乘累加。这样强大的运算能力,使得 DM642 可以进行实时的多视频处理和图像处理。DM642 还在 C64x 的基础上增加了很多外围设备和接口。

3.2 硬件系统结构优化布局

考虑到信号输入输出顺序以及实现系统的小型化、模块化,降低电路走线的复杂度,采用了 2 块子板对接的设计结构。Board_1 主要用于图像采集和非均匀性校正,Board_2 主要用于数字图像的实时处理。系统的组成及结构布局如图 2 所示。

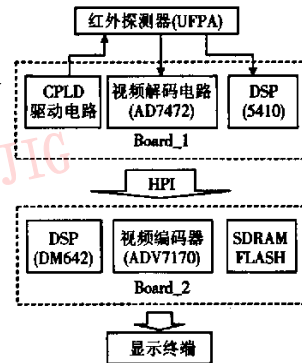


图 2 系统硬件结构设计
Fig. 2 Hardware configuration of the infrared video system

图像处理板(Board_2)使用 DM642 作为图像处理单元,并将处理好的数据通过视频编码器 ADV7170 进行输出。考虑到 DSP 和 SDRAM 之间的总线频率为 100MHz,在布局时把 DSP 和 SDRAM 尽量靠近,而由于二者之间的总线连线较短,处于集总与离散的临界状态,因此对总线加入 33Ω 的源端端接电阻,以避免信号产生振铃^[3]。另外,由于 FLASH 和视频编码器 ADV7170 属于相对低速部分,可选择较远位置布局。考虑到 FLASH 数据线的分支较长,在 FLASH 总线分支末端加入终端 RC 端接,可降低端接电阻的直流功耗。为了将数字部分和模拟部分最大限度地分割开,将该电路板设计为 6 层,依次为表层信号层、数字地层、中间信号层、模拟地层、电源层以及底层信号层。表层走线形成微带线,走高速数字信号;中间信号层抗干扰效果好,

布关键走线。模拟、数字分开设计,特别是高速数字部分要远离模拟电路,尽量将模拟信号和数字信号分开,用地线和电源线把较高速的数字信号线隔开。

4 缓存与存储器结构优化

4.1 DM642 的 Cache 与 EDMA 结构

DM642 的片内 RAM 采用 2 级高速缓存结构,分别为 L1P、L1D、L2。L1 只能作为高速缓存被 CPU 访问,L2 共 256KB,可以按一定比例配置为 L2-Cache 和 SRAM,如图 3 所示。Cache 的增大可以明显地提高性能,但同时减小了实际的片内可用空间。因此,设计时需要根据不同算法调整两者之间的比例,以达到最优化的效果。

All SRAM		
4-way Cache	7/8 SRAM	
4-way Cache	3/4 SRAM	
4-way Cache	1/2 SRAM	
All Cache		
32KB	64KB 32KB	128KB

图 3 DM642 的 2 级缓存分配
Fig. 3 DM642 L2-Cache allocation

在红外视频处理中,经常有大量的块数据的搬移。C64 系列 DSP 提供的 EDMA 技术,非常适用于大批量数据传送,且在传送时不占用 CPU 资源,对优化系统可起到非常重要的作用。EDMA 可用于片内 L2 存储器与其他外设之间的数据传输,逻辑上有 64 个独立通道,分为 4 个优先队列。由于支持 1 维和 2 维数据传输,DM642 的 EDMA 非常有利于在片外存储器 and 片内存储器之间搬运图像数据,同时 CPU 可以执行自己的任务。把常用的程序和数据放入片内 RAM 中,再通过 EDMA 技术搬移数据,尽量保证当前处理的数据已经在片内,并合理规划 Cache 的大小,使其既能够充分发挥作用又不会过多的占用 SRAM 资源^[4]。

DM642 还支持 QDMA 的数据传输方式,该方式与 EDMA 类似,但是传输效率更高。QDMA 的第一

个申请一般在 5 个周期后就可以发出,后续申请的发出最快只需要 1 个周期。因此,QDMA 特别适合于需要快速传递数据的应用场合。

4.2 存储器访问优化

存储器用作缓冲区时使用乒乓结构在进行图像处理的算法中,常将存储器作为临时数据缓冲区时,可以采用乒乓缓冲技术进一步节约时间,如图 4 所示。

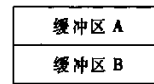


图 4 乒乓式缓冲结构
Fig. 4 Ping-pong memory buffers structure

乒乓缓冲技术是数字图像处理中常用的一种技术之一,其主要原理就是提前将需要处理的数据读到缓冲区 A 中,CPU 在处理缓冲区 A 中的数据时,用 EDMA 将下一步编码的图像读取到缓冲区 B 中,CPU 处理完缓冲区 A 的数据后,直接处理缓冲区 B 中的数据,在这个过程中再将下一步的处理数据读到 A 中,如此反复的循环进行,既不必等待 EDMA 的读取,又保证了处理速度。

5 代码优化方法

传统的 DSP 软件优化流程,在 PC 上验证 C 代码的正确性,然后将 C 代码手工翻译为汇编语言。这种方法既耗时间,又消耗大量的人力,且容易出错,为系统的维护和升级带来了很大的难度。本文结合 TI 公司针对 DSP 软件开发所提供的解决方案,设计了一系列代码优化策略^[5],包括优化 CCS 编译选项,扩展读写带宽,减少判断和跳转语句、内联函数的使用、TI 图像处理库、线性汇编和软件流水等。以下重点介绍关于利用内联函数和 DM642 图像库进行优化的方法。

5.1 内联函数的使用

DM642 的指令集提供了很多多媒体专用指令,而在 C 语言中,这些指令的优势是很难体现出来的,而且编译器也不能够很好的应用这些多媒体专用指令,无法体现 DM642 的优势。所以 TI 推出了大量的内联函数,这些内联函数与那些特有的多媒体指令直接影射,通过这种办法把多媒体的专用指令嵌入到 C 代码中,发挥 DM642 的优势。如数据的打包指令,在 C 中需要多次移位和逻辑操作才能完

成,而利用专用的 PACKL4 指令可以很容易的把存在 4 字的低 8 位组成 1 个 32 位的双字。半像素搜索也是红外图像算法的重要组成部分,半像素搜索的前提就是要插值生成半像素图像。实际的半像素插值包括水平方向的插值,垂直方向的插值,斜线方向的插值。在水平插值的过程中,由于每个像素值是以字节为单位存储的,一个双字存储了 4 个像素值。在水平插值过程中,需要一个像素值和右边的像素值求均值,这个就可以利用 SHLMB 函数来可以构造偏移一个像素值的双字。再引用 AVGU4 直接对每个像素求均值,大大降低了函数的复杂度。

5.2 图像库函数的调用

红外图像和视频处理中一些常见的数据处理操作,有图像插值、直方图均衡、伪彩色编码等。TI 的 C6000 系列 DSP 作为专门为多媒体应用而开发的 DSP, TI 公司专门提供了视频、图像处理常用的函数。这些函数已经经过优化,运行效率非常高,所消耗的时间最短。由于还提供了源码,我们可以借鉴这些函数的方法,用到 MME (multimedia extensions) 库函数中。然而,虽然 TI 函数的库函数运行效果很高,但是在像素的存储上安排比较特别,传入的参数要特别地处理,使用时要根据其物理位置进行具体的设置^[6]。

5.3 代码优化结果

对于目前常用的多种红外图像处理算法,优化的思路在于尽量增加每次循环处理像素的个数。此处令每次循环同时对 4 个像素进行操作,由于每个像素占用一个字节,因此可将 4 个像素值存储在一个 32 位寄存器中,每次对这个寄存器操作就是对 4 个像素值同时进行操作。在这种情况下,对于指令的选择也是优化的一个重要方式。例如在图像插值过程中要用到的几个关键的指令,包括 SHLMB, AVGU4 等等。表 1 是采用上述优化方法之后,不同红外图像处理算法优化前后的结果对比。

表 1 不同算法优化前后的效果对比

Tab.1 Effect of the optimization with several image processing methods

红外图像算法	优化前帧率 (fps)	优化后帧率 (fps)
图像插值	37.42	52.09
直方图均衡	30.28	45.63
伪彩色编码	42.71	58.81
综合算法	22.30	34.51

6 结 论

本文提出的基于 DM642 的红外图像处理系统优化策略,在硬件设计与软件算法方面均对现有系统进行了改进,使之能更好地适合红外图像处理算法的实现,提高了系统的运行效率。本系统具有结构紧凑、调节灵活、实时性强等特点,具有很强的应用价值。

参考文献 (References)

- 1 Mao Yu-xing, Hu Xu. The design of real-time processing system of infrared image [J]. Infrared Technology, 2003, 25(5): 50 ~ 53. [毛玉星, 胡旭. 红外图像实时处理系统设计 [J]. 红外技术, 2003, 25(5): 50 ~ 53.]
- 2 Geng Lei, Wu Xiao-juan, Peng Zhang. Enhanced fatigue detecting system based on TMS320DM642 [J]. Foreign Electronic Components, 2005, (8): 4 ~ 7. [耿磊, 吴晓娟, 彭彰. 改进的基于 TMS320DM642 的疲劳检测系统 [J]. 国外电子元器件, 2005, (8): 4 ~ 7.]
- 3 Iain Richardson. Video Codec Design: Developing Image and Video Compression Systems [M]. Chichester, England: John Wiley & Sons, 2002.
- 4 Scribner D A, Kruer M R, Gridley C J. Measurement, characterization and modeling of noise in staring infrared focal plan array [J]. Proceedings of SPIE, 1987, 782: 157 ~ 160.
- 5 Li Ying-wen, Yi Xin-jian, He Zhao-xiang. Study on miniature design of the drive circuit of 320 × 240 infrared focal plane array [J]. Infrared and Laser Engineering, 2001, 30(3): 230 ~ 234. [李颖文, 易新建, 何兆湘. 320 × 240 红外焦平面阵列驱动电路的小型化设计研究 [J]. 红外与激光工程, 2001, 30(3): 230 ~ 234.]
- 6 Yin Li-ming, Wang Ling. Motion estimation and its optimization on DSP [J]. Journal of Xianning College, 2005, 25(3): 96 ~ 98. [尹黎明, 王玲. 运动估计算法及其 DSP 优化 [J]. 咸宁学院学报, 2005, 25(3): 96 ~ 98.]