

文章编号: 1002-1582(2008)01-0071-04

红外与可见光图像融合的小型实时 DSP 平台实现*

王强^{1,2}, 倪国强¹, 舒先标¹

(1. 北京理工大学 信息科学技术学院, 北京 100081; 2. 中国兵器装备集团 208 研究所, 北京 100089)

摘 要: 综合利用并实时处理红外与可见光图像的互补优势信息, 设计实现了一种新型的以 TMS320DM642——适合视频和图像处理的高性能定点 DSP 为核心的嵌入式硬件平台, 可编程验证多种双波段图像融合算法。叙述了系统的结构设计和工作流程, 板卡各关键组成单元的功能、原理, 功耗计算, 高频电路设计。介绍了系统的软件流程, 包括初始化程序、驱动程序和融合应用程序的实现方法。结果表明, 此高速、小型、低功耗的硬件平台可应用于便携式独立工作的双波段图像融合装置中。

关键词: 图像融合; 实时处理; TMS320DM642; DSP 系统; 高速电路板设计

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A

Realization of a small real-time DSP-based platform for infrared and visual image fusion

WANG Qiang^{1,2}, NI Guo-qiang¹, SHU Xian-biao¹

(1. School of Information Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

(2. China Ordnance Equipment Group 208 Institute, Beijing 100089, China)

Abstract: For preserving and processing in real time all salient complementary information of infrared and visual image, a new embedded hardware platform is proposed which is based on TMS320DM642, a fixed-point DSP with video and imaging integration for high performance applications. On this platform many dual-band image fusion algorithms can be programmed. The structure design and work flow of the solution, the function and principle of key components, the calculation of power dissipation and the design of high-speed printed circuit board are presented. The software flow is introduced, which includes the programs of initialization, device driver and fusion application. The results show that the high-performance, small-size and low-power hardware platform can be used in portable stand-alone dual-band image fusion instruments.

Key words: image fusion; real-time processing; TMS320DM642; DSP system; high-speed PCB design

0 引 言

自然界有温度的物体都会发射电磁波, 在红外图像中很容易看到低可视目标, 特别是当目标内有较大的温度梯度或背景与目标有较大的热对比度。与红外图像相比, 可见光图像提供更多的目标细节, 有利于人眼观察。红外与可见光图像融合综合利用了两个波段图像的优势信息, 可达到对目标或场景更为精确、全面的识别、分析和判决。随着光学、电子学、半导体学、计算机科学的发展以及处理器、传感器技术的进步, 多波段图像融合处理技术得到了迅速地发展, 目前已广泛应用于军事侦察和监控、医疗诊断、遥感探测、计算机视觉、交通导航、数码成像等相关领域^[1,2]。

为满足实时处理的需求, 美国海军实验室、林肯实验室、TI 公司、Equinox 公司^[3], 英国 Octec 公司和 Waterfall Solutions 公司^[4]等研制并应用了不同的双波段融合系统硬件平台。高度集成的专用集成

电路(ASIC)提供最好的性能和最低的功耗, 但缺乏灵活性, 前期投资大, 开发周期长。数字信号处理器(DSP)和现场可编程门阵列(FPGA)具有高速运算和并行处理能力, 其可编程性是系统原型验证很好的选择^[5]。已有的系统存在着板卡尺寸大、逻辑控制复杂或者功耗大等缺点。同时, 适合实时处理融合算法的研究以及海量视频数据的传输和存储也是巨大的挑战。本文设计并实现了一种新型可配置的红外与可见光图像融合平台, 从而减小了板级尺寸, 降低了系统成本和功耗, 提高了可靠性, 并且缩短了开发时间。

1 硬件结构

1.1 组成和结构

整个系统由融合处理板、CCD 摄像机、红外热像仪、监视器和调节支架组成。融合处理板以高性能定点媒体处理器 DM642 为核心处理器, 单板设计, 可脱离计算机独立工作。

* 收稿日期: 2007-03-05; E-mail: fancyrun@163.com
基金项目: 国防科技重点实验室基金项目(51490020105BQ0101)

作者简介: 王强(1979-), 男, 北京人, 北京理工大学博士研究生, 从事图像融合系统和高速图像处理研究。

板卡结构包括 5 个主要模块,如图 1 所示。

- 1) 核心处理器 DM642
- 2) 存储器
- 3) 视频采集
- 4) 视频显示
- 5) DSP 外围电路

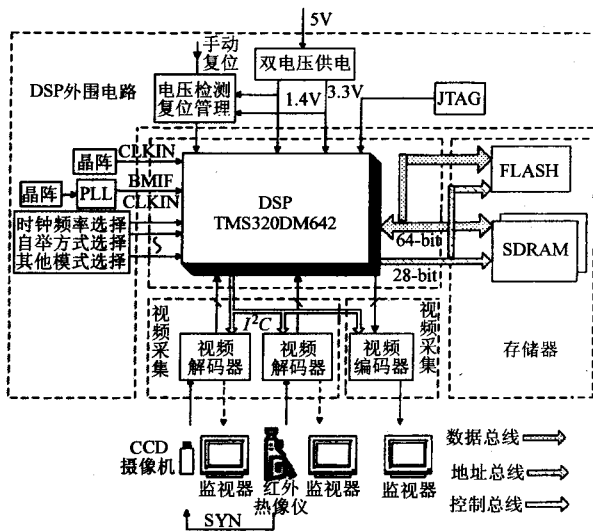


图 1 红外与可见光图像融合系统结构图

系统工作流程为:两路已配准和同步的可见光与红外模拟视频信号经视频解码器形成数字信号;DSP 通过视频口读入并进行融合处理,待处理的图像和中间结果存放在片外大容量 SDRAM 中;融合处理后的数据通过视频口进入视频编码器,输出到监视器上。

DSP 是硬件平台的心脏,完成处理数据运算和管理数据传输的核心功能。DM642 建立在 TI 公司高性能 C64x DSP 核的基础上,采用了第二代先进的超长指令字结构 VelociTI. 2TM, 600MHz 时钟频率下的 DM642 每秒最多完成 48 亿次 8bit 的乘累加,如此高的运算能力适合用来处理大量的视频图像信号。各 16kByte 的一级程序/数据高速缓存工作在 CPU 全速访问状态,分段配置灵活的 256kByte 二级缓存工作在 1/2CPU 工作频率下。增强的直接内存存取(EDMA)可在没有 CPU 参与的情况下高速有效的搬移数据,完成了数据由两个采集视频口到片外存储器的传输,片外存储器与片内存储器的双向传输,片外存储器到显示视频口的传输。DM642 有多种适合视频处理的外围设备接口。

DSP 片内 256kByte 二级缓存远远不能满足海量的视频数据存储,通过外部存储器接口(EMIF)扩展连接大容量存储器。EMIF 有 4 个片使能(CE),可支持 64、32、16、8bit 的同步或异步器件。系统中存储器模块包括两部分:

- 1) 2 片 32bit 宽、共 32MB 大小的 SDRAM 拼接

成 64bit 连接到 DSP 外部存储器映射的 CE0 空间,用来存放程序运行中待处理的视频图像数据。

- 2) 8bit 宽 1M 大小的 FLASH 连接到 DSP 外部存储器映射的 CE1 空间,用来长期存储 DSP 引导程序和融合程序。

视频采集模块包括 2 个灵活可配置的 DSP 视频采集端口(VP0、VP1)以及 Philips 公司的视频专用解码芯片 SAA7111。DM642 的 VP 与视频 A/D、D/A 无缝连接,省去了 FIFO 或 DPRAM、CPLD 等视频缓存和逻辑控制器件,使得系统节约了成本、提高了传输效率、节省了制版空间、增加了可靠性。SAA7111 支持多制式的解码及亮度、对比度和饱和度控制,系统中通过它将模拟视频信号转换成 8bit 的 CCIR656 数字信号,DM642 通过 I²C 接口对其进行配置。VP0、VP1 工作于从模式,时钟和同步信号均由 SAA7111 给出。同时采集两路视频图像信号存在着互相同步的问题,系统中从红外热像仪输出的视频信号中分离提取出信号来同步触发 CCD 摄像机。CCD 摄像机和红外热像仪装配在调节支架上,通过精细调节微调旋钮获得两路图像的粗配准,软件处理后达到精确配准。

视频显示模块包括 DSP 视频显示端口(VP2)和 Philips 公司的多标准编码芯片 SAA7121。SAA7121 可将输入的数据转换成 PAL 或 NTSC 制式的复合视频和 S-视频,DM642 通过 I²C 接口对其进行配置。VP2 工作于主模式,时钟和同步信号均由它给出。处理后 8bit 的 CCIR656 数字信号送到 SAA7121,转换成复合视频信号输出到显示器上。同时,两路原始图像也可输出到监视器上,便于融合效果的比较。

DSP 外围电路包括多电压电源供电电路、DSP 工作电压监测和复位管理电路、JTAG 控制和调试电路、DSP 工作方式选择和管理电路,以及外部时钟电路等。

1.2 功耗估计与供电系统

在设计便携式独立工作装置时,采用低功耗的设计方案和器件尤为重要。DM642 典型功耗 1.9W,单个 SAA7111 典型功耗 0.38W, SAA7121 功耗 0.35W,单个 SDRAM 典型功耗约 0.72W,则整个板卡的最大功耗约为 4.5W。板卡和器件的功耗决定了供电系统的选择,良好的供电系统是系统稳定工作的保证。DM642 需要双电压供电技术,系统采用了 2 片 TPS54310 芯片构成双电压供电模块。TPS54310 支持 3A 稳定输出,0.9~3.3V 可调,精度 1%。板卡采用 5V 电源输入,供 DSP 内核电压 1.4V, DSP I/O 和视频编、解码器电压 3.3V。在 CPU 内核电源与 I/O 电源间加肖特基二极管来保

护 DSP 器件。

1.3 板级 PCB 设计

正确合理的板级 PCB 设计是 DSP 高频电路系统稳定工作的重要保障,需要注意信号完整性、电源完整性、电磁兼容性等多方面的问题^[6]。融合电路板采用层叠设计,8 层结构,包括信号层、电源层、地层。每个信号层与地层相邻,可以保证元器件就近接地,降低了回路阻抗,保证系统有一个稳定的电源基准,同时电源层和地层还可以减小相邻信号层的互相干扰。电路板采用小型设计,尺寸为 9.5cm×9.5cm×0.7cm。DM642 为 BGA548 封装,器件和线的密度高,需要合理的布局布线。为减小串扰,布线相邻层信号线尽量保持彼此垂直,高频信号线尽可能短,串连小阻值电阻减少信号前、后沿的上冲和下冲幅度。输入输出避免相邻平行。为减少噪声对器件的干扰,在 IC 器件的电源和地管脚间连接去耦滤波电容。为减小模拟对数字的干扰,数字地和模拟地分开,通过磁珠一点相连,数/模电源部分设置相同。使用 EDA 工具,对 PCB 的信号完整性、EMC/EMI 性能进行仿真和辅助设计,对布局布线的拓扑结构、接地系统、阻抗匹配等重要环节进行了改进,利用一定的高频传输线模型来处理 PCB 板上的走线,对于一些敏感部位还特别进行了屏蔽和隔离处理,保证 PCB 设计的一次成功。同时注意可测试性设计,为主要信号设置了测试点,以便于调试时使用示波器和逻辑分析仪捕捉波形,测试电路的工作状态和信号特征。电路中还设置了拨码开关,以根据调试的需要灵活地改变电路的工作状态,避免了飞线。

2 软件设计

利用 DSP 的可编程性能能够编制和验证多种融合算法。借助 TI 公司集成开发环境 CCS,采用模块化、层次化设计思想进行融合平台的软件开发。软件包括互相独立的硬件设备初始化、驱动程序和应用程序。软件流程如图 2 所示。

2.1 初始化和驱动程序

初始化程序包括 DSP 运行环境和片上寄存器配置,DSP/BIOS、芯片支持库(CSL)、板卡支持库(BSL)初始化,使能三个视频口和 I²C 模块,通过 EMIFA 配置 SDRAM 工作时钟频率、读写时序参数、存储器访问仲裁方式等,二级缓存设置,设置 EDMA 初始参数,使能 DAT 模块允许快速拷贝。

然后进行视频采集和显示通道的创建和配置,以及视频编/解码器等的配置。在 SDRAM 的外部堆栈中为 2 个采集视频通道和 1 个显示通道开辟 3 个缓冲区队列,每个通道的缓冲区队列都包含 3 个以上的帧缓冲区,轮流存储更新的视频。采集视频

口数据通过 EDMA 存储到采集视频帧缓冲队列,显示视频帧缓冲队列的数据通过 EDMA 搬移到显示视频口。利用 EDMA 链表,在不占用 CPU 资源的情况下,自动实现两场合成。而后启动 DSP/BIOS,按照优先级调度任务线程,否则进入后台空循环(IDL)。

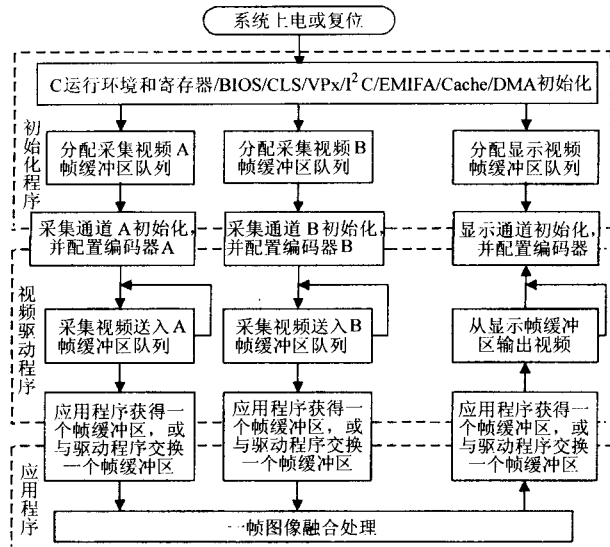


图 2 双波段图像融合系统软件流程图

利用操作系统 DSP/BIOS 调度和同步多个线程,可视化的管理存储器,实时获取、传输和显示分析信息。使用 CSL、BSL 实现标准的方法配置、访问和控制片上板上外设。按照参考构架 5(RF5)与算法标准(XDAIS)设计构架构造应用程序。用驱动开发套件(DDK)的类/微型驱动程序模型开发新的驱动程序。视频驱动程序框架如图 3 所示。视频采

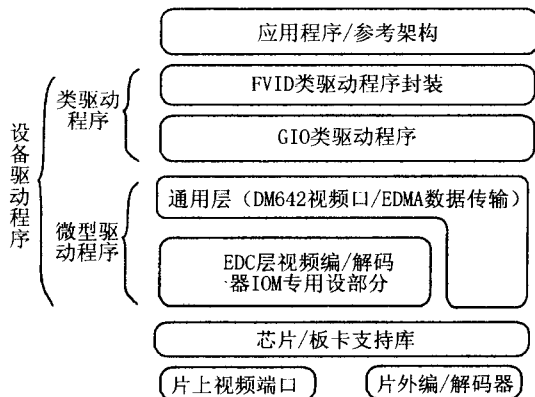


图 3 DM642 视频驱动程序框架

集/显示与外设之间的数据交换是通过帧视频驱动程序(FVID)作为缓冲管理器完成的。FVID 模块位于 GIO 类驱动程序的上层、应用程序的下层。FVID/GIO 类驱动程序连接微型驱动程的通用部分接口,外部器件控制界面(EDC)连接通用部分和特殊层部分,增加了视频驱动的可重用性。

2.2 图像融合应用程序

按照融合的处理体系,图像融合可分为三个层次:像素级(数据级)融合、特征级融合和决策级融合^[7]。系统采用了像素级融合策略。目前像素级图像融合算法主要有加权平均算法、调制算法、金字塔多分辨率法、小波多分辨率法、神经网络法等。基于生物视觉模型的融合算法和彩色融合算法是未来发展的热点。

融合过程为:应用程序从视频帧驱动程序获得一个帧缓冲区,2个采集通道各获得一帧图像,进行图像融合处理,融合结果存入显示帧缓冲区。然后应用程序与驱动程序的交换视频帧缓冲区。具体而言,对于采集通道,应用程序把已处理的帧缓冲区与驱动程序管理的存放已采集图像的一个帧缓冲区进行交换,得到一帧新的图像;对于显示通道,应用程序将待显示的图像放到一个显示帧缓冲区,和显示驱动管理的一个已经显示完毕的帧缓冲区进行交换。新的图像进行融合处理,结果放到显示帧缓冲区,整个过程周而复始。

融合时如果直接对 SDRAM 中的两帧数据进行运算,SDRAM 读写速度慢,数据搬移将消耗大量的时间。DM642 的 L2 内部存储器大小只有 256KB,不可能把两帧图像全部读入片上缓存进行融合处理。每一帧图像分成八个宏块,每次使用一个 EDMA 通道从外部 SDRAM 搬运一个宏块数据到片内缓冲区,与另一个通道的图像宏块进行融合处理。在处理这个宏块的同时,EDMA 通道继续搬运下一个宏块的数据,处理完成后,程序可以直接处理下一个宏块数据,同时使用另一个 EDMA 通道把处理结果搬运到外部 SDRAM 中。在显示帧缓冲区,利用 EDMA 链表把一帧分为两场,数据通过视频显示端口进入编码器。EDMA 在传输数据的同时,不中断 DSP 进行处理,使用乒乓结构的双缓存区分开处理

(上接第 70 页)

中的电子吸收光能,达到一定的能量时就跃迁到导带上。晶体中杂质含量越高,氢氧根取代卤素离子越多,杂质能级越多,也就会吸收更多一定波段的光,从而影响了晶体的透过率。

3 结 论

采用有机材料(聚四氟乙烯)和无机晶体(KBr、CsI),在一定的温度、压力等条件下,通过热合技术研制出样品几何尺寸为 $\Phi 20\text{mm} \times 3 - 5\text{mm}$ 、透射波段分别为 $15 - 38\mu\text{m}$ (PE-KBr)和 $15 - 60\mu\text{m}$ (PE-CsI)的透极远红外复合光学材料。抗腐蚀性能测试结果表明,材料耐强酸、强碱及部分有机溶剂。机械

和传输。每帧图像处理及传输时间小于 40ms,可达实时处理要求。

DSP 采用 C 语言、线性汇编或者两者混合编程,复杂算法需对程序进行优化来达到实时处理。优化策略主要有合理安排流水操作和程序分支;使用 const 关键字、restrict 关键字及 intrinsic 函数;用字、双字访问短型数据进行数据存取;用逻辑运算、加/减/乘运算代替除运算;使用更高级的优化选项;循环展开并改写;用线性汇编改写耗时的 C 代码等。

3 结 论

结合红外与可见光图像互补信息的优势,利用 DM642 适合视频图像处理的特点,设计并实现了一种新型的小体积实时图像融合嵌入式硬件平台,可编程验证多种像素级双波段图像融合算法。分析和实验结果表明,系统达到了小型、实时、通用、低功耗、低成本的目的,可应用于便携式图像融合装置以及双波段图像融合的多个领域。

参考文献:

- [1] David L H, James L. An introduction to multisensor data fusion[J]. Proc. of the IEEE, 1997, 85(1): 6—15.
- [2] Lewis J J, O'Callaghan R J, Nikolov S G, et al. Pixel- and region-based image fusion with complex wavelets[J]. Elsevier Science, Information fusion, 2005, 9: 1—12.
- [3] Lawrence B W, Diego A S, Christopher K E. Versatile low-power multi-spectral video fusion hardware[A]. Bjorn f A, Gabor F F, Paul R N, eds. Infrared Technology and Applications XXXII[C]. Proc. of SPIE, 2006, 6206: 620624-1—620624-6.
- [4] David D, Duncan H, Tom R, et al. Real time implementation of image alignment and fusion on a police helicopter[A]. Jacques G V, Jeff J G, eds. Enhanced and Synthetic Vision 2006[C]. Proc. of SPIE, 2006, 6226: 622607-1—622607-11.
- [5] Cardoso J M, Simoes J B, Correia C M B A, eds. A high performance reconfigurable hardware platform for digital pulse processing [J]. IEEE Trans. on Nuclear Science, 2004, 51(3): 921—925.
- [6] Johnson H, Graham M. High-speed signal propagation: advanced black magic[M]. Prentice Hall PTR, 2003.
- [7] 王红梅, 张科, 李言俊. 基于小波变换的图像融合方法[J]. 红外与激光工程, 2005, 34(3): 328—332.

性能分析表明材料在小于 115°C 范围内可安全使用。极远红外透过率测试结果表明,在 $1 - 15\mu\text{m}$ 波段,平均透过率小于 15%, $15 - 38\mu\text{m}$ 和 $15 - 60\mu\text{m}$ 极远红外波段,平均透过率大于 50%,并分析了影响材料透过率的因素。

参考文献:

- [1] Guiderdoni B, Bouchet F R, Derriert J. The Fir/Submm Window on Galaxy Formation[J]. Kluwer Academic Publishers, 2003, 1: 1—10.
- [2] Maiwald F, et al. Microwave Theory and Techniques society International symposium Digest. IEEE, 2001, 3: 1637—1640.
- [3] 曹莹, 孙晶, 曾繁明, 等. $15 - 50\mu\text{m}$ 宽波段远红外窗口材料的研制[J]. 长春理工大学学报, 2004, 27(4): 27—29.
- [4] Gustin E, Wenseleers W, Leblans M, et al. Influence of OH-impurities on the relaxation of F centers studied with picosecond optical pulse[J]. Radiat. Eff. Defects Solids, 1995, 134: 498—492.