

文章编号 1004-924X(2008)10-2045-06

# 基于 DM642 融合系统的 A Trous 小波实时图像融合算法

许廷发, 秦庆旺, 倪国强

(北京理工大学 信息科学技术学院 光电工程系, 北京 100081)

**摘要:**给出了一种基于 DM642 融合系统的 A Trous 小波实时图像融合算法。选用适合视频图像处理的 TI 最新高性能定点数字信号处理器 DM642 作融合系统核心处理器, 利用 DM642 的 600 MHz 高速运算能力, EDMA 和 EMIF 的高速数据传输能力, 以及它的视频编/解码单元无缝连接的灵活可配置的视频端口, 构建了双波段图像融合系统平台。在此系统上对可见光图像进行 A Trous 小波变换, 提取出不同分解层的特征信息, 将特征信息与红外图像进行融合。融合后的图像保持了可见光图像的线条及边缘特征, 还融合了红外图像的目标特征。仿真实验结果表明, 在融合系统平台上实现双波段图像实时融合算法只需 39.46 ms 左右, 满足 25 frame/s 的工程需求。

**关键词:** 图像融合; A Trous 小波; 实时处理; DM642 融合系统

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A

## A Trous wavelet real-time image fusion algorithm based on DM642 fusion system

XU Ting-fa, QIN Qing-wang, NI Guo-qiang

(*Department of Photo-electronic Engineering, School of Information Engineering,  
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China*)

**Abstract:** A Trous wavelet real-time image fusion algorithm based on DM642 fusion system is presented in this paper. By taking the DM642, a high performance fixed-point DSP for video and image processing, as the kernel processor in this fusion system, a dual-band image fusion system platform with the advantages of the high operation speed of 600 MHz, the high data transfer rates with EDMA and EMIF, and the configurable video ports capable of glueless I/F to video decoder/encoder is constructed. A Trous wavelet transform is used to perform the decomposition of visible image at several scales in the system, from which the image details are extracted to fuse into the infrared image. The fused image shows that the discriminating lines and feature edges of visible image are preserved, also the point target features of infrared image are fused. The experimental simulation results indicate that the dual-band image fusion algorithm expends time of 39.46 ms, which meets the engineering requirement of 25 frame/s.

**Key words:** image fusion; A Trous wavelet; real-time processing; DM642 fusion system

收稿日期: 2008-02-22; 修订日期: 2008-03-27.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 60672082); 武器装备预研基金项目 (No. 51476040305BQ0101)

# 1 引言

图像融合是通过某种融合系统,将两个或多个互补的波段、传感器的有用信息综合成统一图像或综合图像特征以供观察或进一步处理,达到对目标或场景更为精确、全面的识别、分析和判决的图像处理方法。近几年,随着红外探测器的发展,大多场合都已经运用 25 frame/s 或者更高帧频的探测器,这对融合系统中的硬件平台和软件算法提出了更高的要求<sup>[1-2]</sup>。

国内外的图像融合系统核心处理器通常采用通用可编程数字信号处理器(DSP)或现场可编程门阵列(FPGA)来处理海量数据的图像。主要有单片高性能 DSP<sup>[3]</sup>,或几片并行 DSP<sup>[4]</sup>,或 DSP + FPGA<sup>[5-6]</sup>的板级系统。同时,针对融合系统研究者也研究了大量的双波段图像融合算法,其中文献[7]给出了一种像素级的图像融合算法。文献[8]给出基于整型提升小波变换的图像处理及 DSP 实现。文献[9]对近几年的融合算法进行了

回顾,指出了小波变换图像融合算法是未来几年的研究重点。但是,以上文献涉及的系统和融合算法实时性很差,不能满足实时性的要求。

本文根据实际工程的要求,使用 A Trous 小波实时图像融合算法设计并实现了一种基于 DM642 的融合系统。该系统减小了板级尺寸、降低了系统成本和功耗,融合算法达到了实时性要求。

# 2 DM642 融合系统平台

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 TI 公司高性能定点媒体处理器 TMS320DM642 为核心处理器,单板设计,可独立工作。

系统结构包括 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

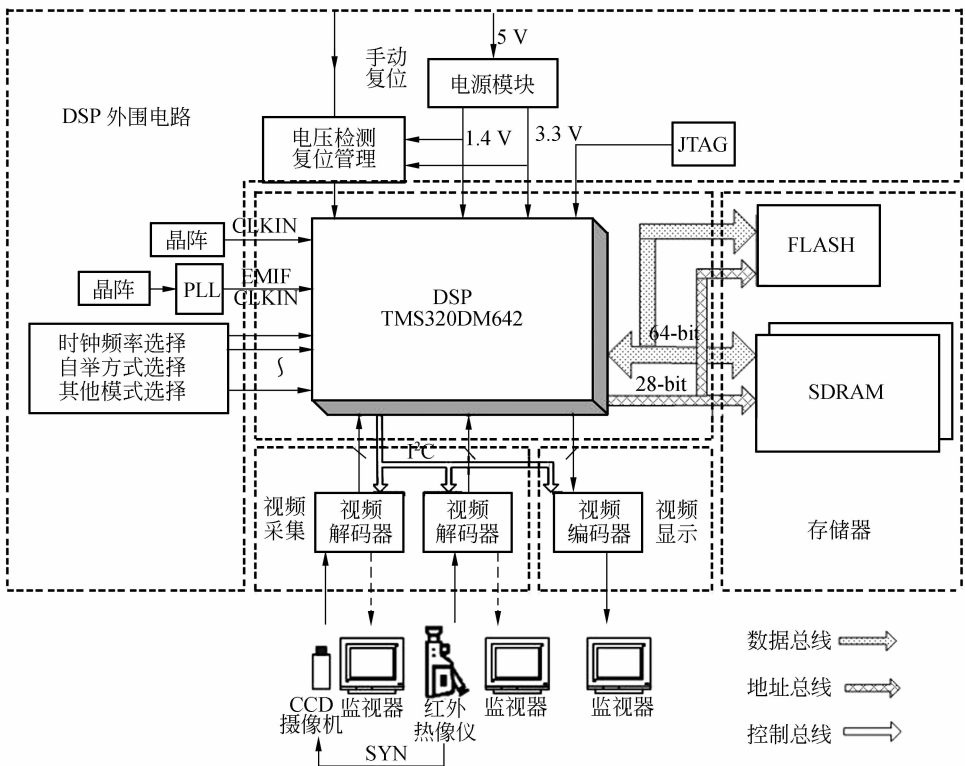


图 1 双波段图像融合系统

Fig. 1 Dual-band image fusion system

系统工作流程为:两路经过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连接视频编码器输出到监视器上。

视频采集模块包括两个灵活可配置的 DSP 视频端口 (VP0, VP1) 以及 Philips 公司的视频专用解码芯片 SAA7111。DM642 的 3 个 VP 可与视频 A/D、D/A 无缝连接,省去了 FIFO 或 DPRAM、CPLD 等,可节约成本、提高传输效率、节省制板空间、增加可靠性。SAA7111 支持多制式的解码及亮度、对比度和饱和度控制,系统中该芯片将模拟视频信号转换成 8 bit 的 CCIR656 数字信号。DM642 通过 I<sup>2</sup>C 接口对 SAA7111 进行配置,DSP 的视频口工作于从模式,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同步的问题,CCD 摄像机允许外同步信号来触发工作,系统中从红外热像仪输出的视频信号中分离提取出同步信号来同步 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,通过软件处理达到严格配准。

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 I<sup>2</sup>C 接口对 SA7121 进行配置。频口 VP2 工作于主模式,时钟和同步信号均由视频口给出。处理后 8 bit 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。

### 3 基于融合系统的双波段图像实时融合算法

#### 3.1 融合算法的硬件实现过程和优化策略

融合过程为: DSP 视频口输入缓存超过阈值

后触发 EDMA 中断送入 SDRAM。每场图像采集完成后触发中断,中断服务程序更新图像存储区,继续进行下一场图像采集;一帧图像采集完成后,发出中断请求进行融合处理。每个通道在存储器中开辟 3 个视频缓冲区存放待处理数据。在融合处理子程序中,每一帧图像分成 8 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。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。每场图像输出完成后发出中断请求,中断服务程序更新图像存储区,继续下一场的图像输出,一帧输出完后进入下一帧的输出。整个过程周而复始,由于处理系统红外的频率是 50 Hz,因此,每帧图像处理时间 < 20 ms,可达到实时处理要求。

算法实现采用 C 语言。采用了优化策略: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长的 C 代码等。

#### 3.2 A TrouS 小波变换<sup>[10]</sup>

A TrouS 采用小波变换的多孔算法,类似于没有次采样的快速双正交小波变换,具有以下特点:

- (1) 具有二维等方向性,变换过程可通过滤波器滤波实现;
- (2) 计算时不需进行抽样和插值,有利于获取图像的细节特征;
- (3) 计算的空间和时间需求较合理,易于编程实现。

变换后 A TrouS 小波系数  $\omega_j^R(k, l)$  由下式得到:

$$\omega_j^R(k, l) = R_{j-1}(k, l) - R_j(k, l), \quad (1)$$

式中,  $j=1, \dots, N$ ,  $N$  表示分解水平。  $R_0(k, l)$  即原图像  $R(k, l)$ ,  $R_j(k, l)$  指分解后的图像低频信息,由下式得到:

$$R_j(k, l) = \sum_m \sum_n h(n, m) R_{j-1}(n + 2^{j-1}k, m + 2^{j-1}l), \quad (2)$$

式中,  $h(n, m)$  表示滤波器系数。

A Trous 小波变换实际上就是将图像分解为多个高频信息和一个低频信息, 图像的细节特征集中于高频信息, 而原始图像即为各高频信息与低频信息的叠加, 其重构过程可简单实现, 见式 (3):

$$R(k, l) = R_N(k, l) + \sum_{j=1}^N \omega_j^R(k, l), \quad (3)$$

其中,  $R_N(k, l)$  为 A Trous 小波变换最后尺度上的近似系数。

### 3.3 双波段融合算法的实时实现

首先, 采用 A Trous 小波变换将可见光图像进行 3 层分解, 提取出可见光图像不同尺度上的细节特征, 然后, 将这些细节特征与红外图像进行融合。

为了突出不同尺度上的特征信息, 算法在融合过程中加入了权重因子, 其融合过程见下式:

$$F(k, l) = p(k, l) + \sum_{j=1}^N \alpha_j \omega_j^R(k, l), \quad (4)$$

式中,  $p(k, l)$  为红外图像,  $F(k, l)$  为融合后的图像,  $\omega_j^R(k, l)$  为 A Trous 小波变换后可见光图像的小波系数,  $\alpha_j \in [0, 1]$ 。由于  $B_3$ -spline 对不规则样本数据具有很好的插值性。因此, 选择  $B_3$ -spline 作为尺度函数, 其二维卷积核  $R$  为:

$$R = \frac{1}{256} \begin{pmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

对可见光图像进行了 3 层 A Trous 小波分解, 权重因子分别为:  $\alpha_1 = 1.0, \alpha_2 = 0.8, \alpha_3 = 0.5$ 。

## 4 仿真实验结果与分析

在设计硬件系统平台上, 对已配准好的可见光图像(图 2  $360 \times 270$ )和红外图像(图 3  $360 \times 270$ )进行了仿真实验。运用 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软件开发。经过 A Trous 小波变换后, 可见光图像被分解为一个近似图像和一系列的小波面系数。原始图像中的显著特征信息(如边缘、线、区域边界等)集中于相应小波面系数中, 将细节特征按一定准则和红外图像进行融合, 融合结果如图

4 所示。融合图像既较好地保持可见光图像特征, 又有红外特征信息的融合图像。



图 2 可见光源图像

Fig. 2 Visible original image

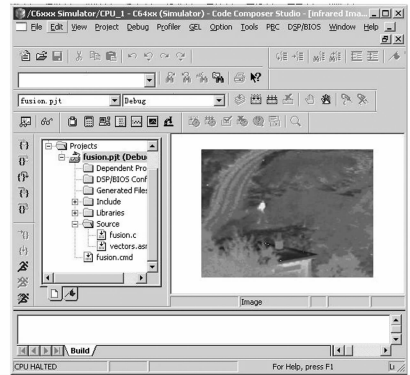


图 3 红外图像源

Fig. 3 Infrared original image

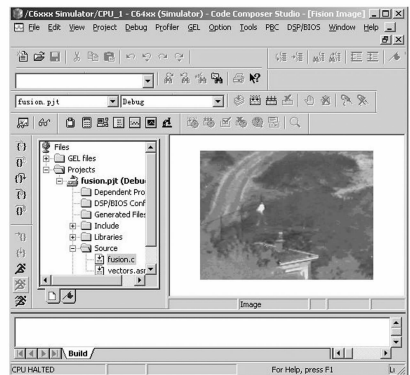


图 4 本文算法的融合图像

Fig. 4 Fusion image by proposed algorithm

测试了融合算法的运行时间, 达到 39.46 ms, 基本满足实际工程需求。同时, 对融合算法的融合图像效果进行了评价, 以图像的均值、标准差、熵等参数进行评价<sup>[1]</sup>, 表 1 给出了评价结果。

表 1 图像融合结果与原始图像统计分析

Tab.1 Image fusion results and statistic analysis of original images

图像	均值	标准差	熵	运算时间(ms)
可见光图像	92.090 2	37.919 2	7.103 7	
红外图像	102.706 9	26.379 4	6.666 6	
3 层拉普拉斯金字塔融合	96.792 0	28.581 1	6.857 6	128.65
3 层 A Trous 小波融合	99.507 6	29.782 4	7.100 2	39.46

从表 1 的数据可以看出,3 层金字塔融合结果平均灰度适中,改善了视觉效果;熵值增大,从原图像中获取的信息量较大。但是,对于实时性要求来说,在保证原图像的信息量的同时,本文方法的运算时间比传统的金字塔融合算法快 3 倍,基本达到实际系统工程需要。

## 5 结 论

作者利用 DM642 适合视频图像处理的特

点,设计并实现了一种实时双波段小波图像融合系统和算法。实验结果表明,该系统能够实时实现双波段图像融合算法,设计方案能达到预期的工程设计指标。

目前高帧频的双波段图像融合技术发展迅速,25 frame/s 及更高速率的红外图像传输技术已经取得了突破性进展。采用本文设计的系统平台,基本满足实际双波段图像融合系统工程的要求,为高帧频的双波段图像融合系统及其算法的研究和设计奠定了坚实的理论和技術基础。

## 参考文献:

- [1] 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.  
WANG H M,ZHANG K,LI Y J. Image fusion algorithm based on wavelet transform[J]. *Infrared and Laser Engineering*,2005,34(3):328-332. (in Chinese)
- [2] DAVID L H,JAMES L. An introduction to multisensor data fusion[J]. *IEEE*,1997,85(1):6-15.
- [3] 王毅,倪国强,李勇量. 高性能双波段图像融合处理机[J]. 高技术通讯,2002,05: 103-106.  
WANG Y,NI G Q,LI Y L. A high performance dual-band image fusion system[J]. *High Technology Letters*,2002,05:103-106. (in Chinese)
- [4] 刘卫光,郭师红,周利华. 红外与可见光图像实时配准融合系统[J]. 红外技术,2004, 26(5):66-71.  
LIU W G,GUO SH H,ZHOU L H. A real-time multisensor image registration and fusion system[J]. *Infrared Technology*,2004,26(5):66-71. (in Chinese)
- [5] 朱明,鲁剑锋. 基于 DSP+FPGA 结构图像处理系统设计与实现[J]. 计算机测量与控制,2004,12(9):866-869.  
ZHU M, LU J F. Design and implementation of digital image processing system based on DSP+FPGA architecture [J]. *Computer Automated Measurement & Control*,2004,12(9):866-869. (in Chinese)
- [6] 马姝琳,钟先信,姚富光. 基于 DM642EVM 的 PCI 总线实时数据通信技术[J]. 光学精密工程,2005,13(增):196-200.  
MA SH L,ZHONG X X,YAO F G. Real-time data communication based on PCI of DM642EVM [J]. *Opt. Precision Eng.*,2005,13(Supp.):196-200. (in Chinese)
- [7] 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.

- [8] 陈生来,黄廉卿,郭静寰. 基于整型提升小波变换的图像处理及 DSP 实现[J]. 光学 精密工程, 2006, 14(3): 498-503.  
CHEN SH L, HUANG L Q, GUO J H. Image processing based on integral lifting scheme and its implementation by DSP[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(3): 498-503. (in Chinese)
- [9] SMITH M I, HEATHER J P. A review of image fusion technology in 2005[J]. *SPIE*, 2005, 5782: 29-45.
- [10] CHIBANI Y. Radar and panchromatic image fusion by means of the  $\hat{a}$  trous algorithm[J]. *SPIE*, 2004, 5238: 543-550.

作者简介: 许廷发(1968—), 男, 博士(后), 副教授, 主要从事光电成像探测与识别、高速图像和视频处理应用技术、红外/可见目标跟踪与识别等方面的研究工作。E-mail: ciom\_xtf1@bit.edu.cn

(本栏目编辑 白雨虹)

## ● 下期预告

# 面向对象的大尺寸测量不确定度分析

张福民, 曲兴华, 叶声华

(天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072)

常规尺寸的不确定度评价方法不适用于大尺寸测量, 尤其是特定拟合任务的不确定度评价。针对大尺寸测量的特殊性, 研究了基于蒙特卡罗的方法, 随机仿真各项测量误差源, 得到测量结果的仿真样本, 并用计算机可视化直观表示该样本, 形成离散不确定度点云, 评价大尺寸特定测量对象的不确定度。以激光跟踪仪测量大型圆形截面工件为例, 给出测点对称、均匀分布和半径约束等优化测量思想, 减小测量不确定度。最后应用于激光跟踪仪测量隧道构件的实例当中, 常规圆心拟合不确定度为 2.552 5 mm, 加入半径约束优化测量方案后, 不确定度减小至 0.032 6 mm。仿真和实际实验表明, 蒙特卡罗评价和离散点云表示法可准确、直观评价特定大尺寸测量对象的不确定度, 制定的最优测量方案可提高测量精度。