

文章编号: 0258-7025(2005)03-0351-05

# 一种基于目标区域的图像融合新方法

王 宏, 敬忠良, 李建勋

(上海交通大学航空航天信息与控制研究所, 上海 200030)

**摘要** 提出了一种基于目标区域的融合方法。将原图像分为目标区域和背景区域, 在利用  $\hat{a}$  trous 小波算法分解图像的基础上, 分别对目标区域、背景区域以及两区域间的边界部分进行不同的融合处理得到融合后小波系数, 最后经过小波逆变换得到融合图像。实验结果表明该方法可获得较理想的融合图像, 其融合结果优于基于像素和基于窗口的融合方法。

**关键词** 图像处理; 图像融合; 小波变换;  $\hat{a}$  trous 算法

**中图分类号** TP 391.4      **文献标识码** A

## An Image Fusion Approach Based on Object Region

WANG Hong, JING Zhong-liang, LI Jian-xun

(Institute of Aerospace Information and Control, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

**Abstract** A novel approach using some information to define the regions of interest is proposed for combining multisensor images. Firstly, the original images are separated into object region and background region. Then based on using the  $\hat{a}$  trous wavelet transform to decompose the original images, the fused coefficients are obtained by performing different fusion process to object region, background region and region boundaries between object region and background region. Finally, the fused image can be constructed by applying the inverse transformation. Experiments results show that the proposed approach outperforms the pixel-based and window-based image fusion methods.

**Key words** image processing; image fusion; wavelet transform;  $\hat{a}$  trous algorithm

## 1 引 言

图像融合就是利用各种成像传感器得到的不同图像, 综合不同图像的互补信息和冗余信息, 以获得更为全面准确的图像描述。图像融合已成为一种十分重要的图像分析与计算机视觉技术。它在自动目标识别、计算机视觉、遥感、机器人、医学图像处理以及军事应用等领域有着广泛的应用前景。

自 20 世纪 80 年代以来, 人们已发展了多种图像融合方法, 其中, 多分辨率图像融合算法作为一类非常重要的融合算法已广泛应用于图像融合领域中。其基本思想就是在将输入原图像分解得到不同

分辨率表示的基础上, 分别对它们进行基于融合规则的融合运算后, 经多分辨率重构获得融合后图像。

一般将多分辨率图像融合方法分为分解、重构和融合规则两大部分。图像的多分辨率分解和重构部分是图像融合的基础, 有关多分辨率图像融合的研究, 最初始于 Burt 和 Adelson<sup>[1]</sup> 提出的拉普拉斯金字塔算法。是在得到一系列高斯滤波图像(即高斯金字塔)的基础上, 与其预测所得到的预测图像之差形成的一系列误差图像。Toet<sup>[2]</sup> 在考虑人类的视觉系统对局部对比度的敏感性这一事实的基础上, 提出了对比度金字塔算法。Burt 等<sup>[3]</sup> 又提出了梯

收稿日期: 2003-10-27; 收到修改稿日期: 2004-03-30

基金项目: 国家 863 计划(2001AA135091), 上海市科技攻关重大项目(02DZ15001), 高校博士点基金(20020248), 航空科学基金(02D57003)和国家教育部科学技术研究重点项目(01072)资助课题。

作者简介: 王 宏(1972—), 男, 河北省邢台市人, 博士, 主要从事图像融合、多分辨率分析方面的研究。

E-mail: wangh@sjtu.edu.cn 或 hongwmy@yahoo.com.cn

度金字塔算法,它是通过对高斯金字塔中的每层图像进行梯度算子运算而获得的金字塔图像分解。梯度金字塔分解能很好地提取出图像的边缘信息,但算法相对复杂。随着小波变换理论的兴起和完善,小波变换在图像融合领域得到了广泛的应用。Li<sup>[4]</sup>和 Chipman<sup>[5]</sup>等分别提出了基于小波的图像融合方法,他们均采用 Mallat 二进制离散小波进行图像分解和重构;Zhang 和 Blum<sup>[6]</sup>提出了采用小波框架的融合算法。

图像的融合规则是图像融合的核心,规则的好坏直接影响融合图像的速度和质量。图像的低频部分包含的是平滑概貌信息,也就是大尺度特征,诸如物体的位置、地貌、大的物体以及图像中环境的大体描述等。对低频部分系数的融合运算绝大多数采用的是加权平均的方法。图像的“高频”部分包含的是细节信息,也就是小尺度特征,诸如边缘、形状及小目标等。对高频部分系数的融合运算可分为基于像素、窗口<sup>[3,4]</sup>以及区域的融合规则<sup>[6]</sup>。

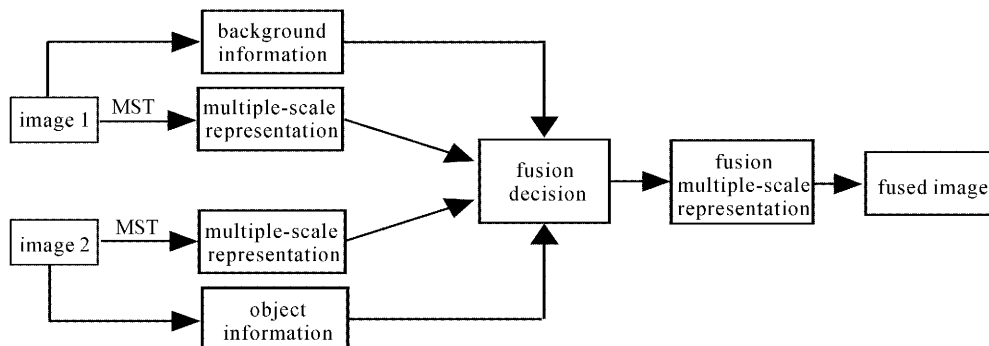


图 1 基于目标区域的融合方法示意图

Fig. 1 Diagram of image fusion approach based on object region

### 2.1 à trous 小波算法

小波变换在时频域同时具有良好的局部化特性,然而并不是所有的小波变换方法都适合图像融合领域,例如广泛采用的 Mallat 算法,由于其不具有平移不变性,从而使它不能很好地适合图像融合领域。本文采用 à trous<sup>[10]</sup>小波算法来分解图像,其原因如下:1) 此算法具有平移不变性,在融合时可减小融合系数的错误选取及配准误差对融合结果的影响;2) 在小波变换过程中,所得的小波面具有相同的大小,因此较容易找到各个小波面系数之间的对应关系,有利于融合运算;3) 由于 à trous 小波算法在重构时不涉及卷积运算,在基于区域或对象的融合运算时,有利于减少对区域间边缘部分的影响。

à trous 小波算法的基本思想是将信号或图像

对于以往的融合算法研究<sup>[7~9]</sup>,绝大多数算法在进行融合运算时,均未考虑利用诸如原图像成像特点等信息来提高和改进融合算法。为此,在利用这些信息来确定图像感兴趣区域的基础上,提出一种基于目标区域的融合方法。实验结果显示,该融合方法是非常有效的。

## 2 基于目标区域的图像融合

本文采用多尺度的方法来分解与重构图像,特性之间过渡自然,并能同时表现出原图像的特征。图 1 为基于目标区域融合方法的示意图。在原图像配准的基础上,对原图像分别进行多尺度变换(MST),通过从原图像中所得到的“目标”信息和“背景”信息(相对而言)来指导融合决策,以获得融合的多尺度表示。采用多尺度逆变换(IMST)得到融合图像。

分解为不同频带上的细节信息和最低频带的近似信息。该细节信息称为小波面,其大小与原图像大小相同。对于图像  $f(x, y)$  可逐级得到以下图像序列

$$\begin{cases} L_1[f(x, y)] = f_1(x, y) \\ L_2[f_1(x, y)] = f_2(x, y) \\ \vdots \\ L_N[f_{N-1}(x, y)] = f_N(x, y) \end{cases}, \quad (1)$$

其中  $f_k(x, y)$  为尺度  $k$  下的近似图像,  $L_k$  为低通滤波,  $k = 1, 2, \dots, k, \dots, N$ 。

相邻尺度的近似图像间的差异构成小波变换的系数即小波面

$$\omega_k(x, y) = f_k(x, y) - f_{k-1}(x, y), \quad k = 1, 2, \dots, k, \dots, N. \quad (2)$$

图像的重构为

$$f(x,y) = \sum_{k=1}^N \omega_k(x,y) + f_N(x,y). \quad (3)$$

### 2.2 基于目标区域的融合规则

对输入原图像而言,在多种情况下,能将原图像人为地划分为目标图像和背景图像。所谓目标图

像,就是以包含“目标信息”为主的输入原图像;背景图像就是以“背景信息”为主的输入原图像。我们采用一种新的融合规则以进一步扩展基于区域的融合方法。图 2 为相应的融合决策流程图。

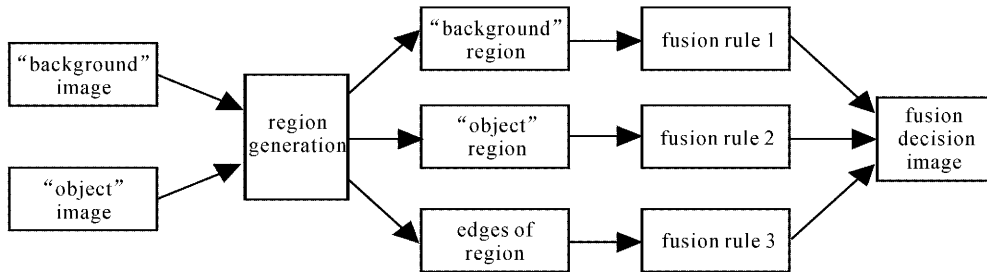


图 2 融合决策流程图

Fig. 2 Flowchart of the fusion decision

对于背景图像,可不必对其进行区域分割,而是将它看作一个整体区域,以此来反映相关的背景信息;对于目标图像,首先进行区域分割,然后根据成像特性和目标图像特征(包括灰度信息,纹理信息,轮廓信息等特征)等信息来确定目标区域。当然,在实际划分时,不排除其他非目标区域被当作目标区域划分,在不能确定其是否为目标区域的情况下,仍将其看作感兴趣区域确定下来。因此,目标区域选定的优先级要优于其他任何区域的选定。在确定目标图像的目标区域后,可将原图像划分为背景区域、目标区域以及它们之间的边缘部分。设目标图像为  $A$ ,背景图像为  $B$ , $X$  表示目标区域, $\bar{X}$  表示背景区域, $E$  表示为两区域间的边缘部分。具体融合规则如下:

#### 1) “高频”系数的融合

目标区域内的像素具有基本相同的灰度值或纹理信息,所要作的不是比较“高频”的大小,而是最大限度地保持该区域的目标信息。为此,融合系数选取为

$$C_F^H(m,n) = C_A^H(m,n), \quad (m,n) \in X. \quad (4)$$

相对目标区域而言,背景区域含有丰富的边缘和细节信息,为了更好地表现该区域的细节信息,以及考虑目标区域的某些细节信息未被提取,采用一种新的融合量测指标来确定融合系数。该融合量测指标同时考虑系数本身以及其与邻域内系数的相关性

$$PI_X(m,n) = C_p(m,n) \cdot I_t(m,n), \quad (5)$$

其中  $PI_X(m,n)$  衡量该系数所包含的信息; $C_p(m,$

$n)$  反映该系数的特征信息; $I_t(m,n)$  反映邻域内系数的相关性

$$C_p(m,n) = |C_X^H(m,n)|, \quad (6)$$

其中  $C_X^H(m,n)$  为图像的高频系数。

对于邻域内系数的相关性,首先确定图像高频系数的符号值

$$S_{\text{sign}} = C_X^H(m,n). \quad (7)$$

如果高频系数的值大于或等于零,那么  $S_{\text{sign}}$  为 1;否则  $S_{\text{sign}}$  为 0。对  $I_t(m,n)$ ,可表示为

$$I_t(m,n) = p_X(m,n) \cdot [1 - p_X(m,n)], \quad (8)$$

其中  $p_X(m,n)$  为  $(m,n)$  点系数与邻域内系数具有相同符号值的概率值。若  $(m,n)$  点系数与邻域内系数均相同, $p_X = 1$ ;若与邻域内系数均不相同, $p_X = 0$ 。对该部分的融合系数选取为

$$C_F^H(m,n) = \begin{cases} C_A^H(m,n) & PI_A \geq PI_B \\ C_B^H(m,n) & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (m,n) \in \bar{X}. \quad (9)$$

对于两区域间的边缘部分,为了更好地表现边缘信息,对该部分的融合系数选取为

$$C_F^H(m,n) = \begin{cases} C_A^H(m,n) & |C_A^H(m,n)| > |C_B^H(m,n)| \\ C_B^H(m,n) & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (m,n) \in E. \quad (10)$$

#### 2) 低频系数的融合

$$C_F^L(m,n) = \begin{cases} C_A^L(m,n) & (m,n) \in X \\ C_B^L(m,n) & (m,n) \in \bar{X}. \end{cases} \quad (11)$$

### 3 实验与评价

对不同传感器融合算法的融合结果进行定量的评价,是一件比较困难的事情。目前无法找到一个理想的融合结果作为参考图像来衡量所得结果的好坏。为了能够较客观地评价融合结果,采用以下两种评价准则。

文献[11]采用共有信息作为评价指标,对融合图像的整体效果进行定量评价,共有信息能够描述图像间所包含信息的相似程度。

文献[12]提出在对输入图像和融合图像进行边缘提取的基础上,计算边缘信息的保存量,将加权的边缘信息保存量作为评价融合结果的衡量指标。该方法相对较复杂,具体见文献[12]。在具体评价计算时,为了消除孤立的突变点对融合结果的影响<sup>[14]</sup>,在边缘提取之前,对图像进行中值滤波,实现

消除突变点的同时保留边缘信息<sup>[13]</sup>。

现将基于目标区域的融合方法用于下面三组不同传感器图像,并且与基于像素和两种基于窗口的融合方法<sup>[3,4]</sup>进行了评价比较。在此,采用简单的阈值法来分割图像,确定目标区域。小波变换的分解层数为3。

图3(a)和(b)分别为可用于位置感知的可见光图像和红外图像。分别采用基于目标区域、像素和窗口的融合方法,所得结果如图3(c)~(f)所示,融合结果的共有信息和边缘信息如表1所示。可以看出,相对于基于像素和窗口的融合方法,基于目标区域所得结果的共有信息和边缘信息均较大,这表明此方法的融合结果包含更多原图像的信息。从图像融合结果的定性和定量评价比较中可知,基于目标区域的融合方法所得结果有较大幅度的提高,能较好地保留输入原图像的边缘信息和概貌信息。

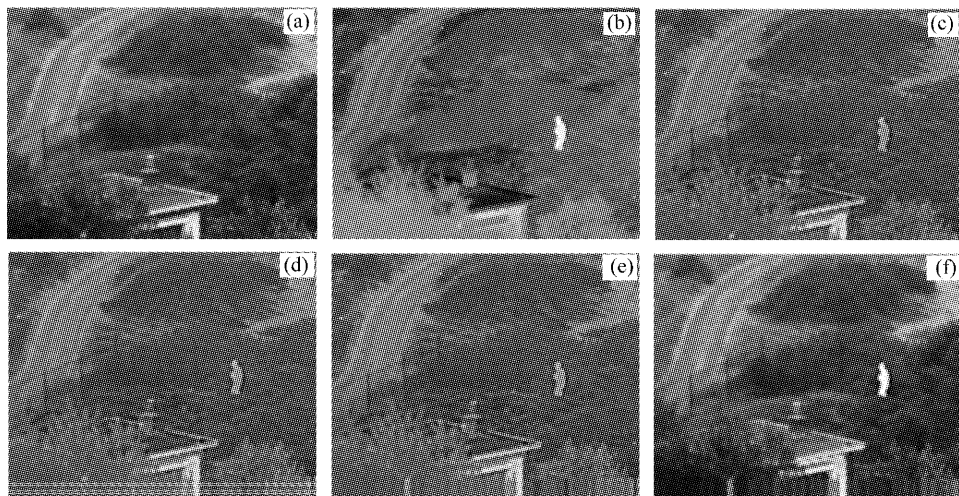


图3 (a) 可见光图像;(b) 红外图像;(c) 基于像素的融合结果;

(d) 基于窗口(文献[3])的融合结果;(e) 基于窗口(文献[4])的融合结果;(f) 基于目标区域的融合结果

Fig.3 (a) visible image; (b) infrared image; (c) fusion results based on pixel-based fusion approach;

(d) fusion results based on window based fusion approach (proposed by Burt); (e) fusion results based on window-based fusion approach (proposed by Li); (f) fusion results based on object region-based fusion approach

表1 图像融合结果指标评价

Table 1 Evaluation of image fusion results

	Based on object region	Based on pixel	Based on window <sup>[3]</sup>	Based on window <sup>[4]</sup>
Mutual information	3.5953	1.4415	1.4479	1.4468
Edge information	0.3228	0.3091	0.3193	0.3106

### 4 结 论

提出了一种基于目标区域的不同传感器图像融合方法。将图像分为目标区域和背景区域,针对这

两个区域进行不同的多尺度融合运算。实验结果表明该方法可获得较理想的融合图像,其融合结果优于基于像素和基于窗口的融合方法。图像中目标区

域的确定对融合性能好坏是比较关键的,为此,应根据不同的应用场合和原图像成像特性来制定合适的目标区域分割方法。

### 参 考 文 献

- 1 P. J. Burt, E. H. Adelson. The Laplacian pyramid as a compact image code [J]. *IEEE Trans. on Communications*, 1983, **COM-31**(4):532~540
- 2 A. Toet. Image fusion by a ratio of low-pass pyramid [J]. *Pattern Recognition Letters*, 1989, (9):245~253
- 3 P. J. Burt, R. J. Kolczynski. Enhanced image capture through fusion [C]. *Proc. 4th Int. Conf. on Computer Vision*, 1993. 173~182
- 4 H. Li, B. S. Manjunath, S. K. Mitra. Multisensor image fusion using the wavelet transform [J]. *Graphical Models and Image Process*, 1995, **57**(3):235~245
- 5 L. J. Chipman, T. M. Orr, L. N. Graham. Wavelets and image fusion [C]. *Proc. Int. Conf. on Image Processing*, 1995. 248~251
- 6 Z. Zhang, R. S. Blum. A categorization of multiscale-decomposition-based image fusion schemes with a performance study for a digital camera application [J]. *Proceedings of the IEEE*, 1999, **87**(8):1315~1326
- 7 Hong Wang, Zhongliang Jing, Jianxun Li. Image fusion using non-separable wavelet frame [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(9):523~526
- 8 Zhehua Li, Zhongliang Jing, Shaoyuan Sun. Pixel-clarity-based multifocus image fusion [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(2):82~85
- 9 Gang Liu, Zhongliang Jing, Shaoyuan Sun *et al.*. Image fusion based on expectation maximization algorithm and steerable pyramid [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(7):386~389
- 10 J. Nùñez, X. Otazu, O. Fors *et al.*. Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition [J]. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 1999, **37**(3):1204~1211
- 11 Guihong Qu, Dali Zhang, Pingfan Yan. Information measure for performance of image fusion [J]. *Electron. Lett.*, 2002, **38**(7):313~315
- 12 C. S. Xydeas, V. Petrovic. Objective image fusion performance measure [J]. *Electron. Lett.*, 2000, **36**(4):308~309
- 13 T. A. Nodels, N. C. Gallagher. Median filters: some modifications and their properties [J]. *IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 1982, **ASSP-30**(5):739~746
- 14 V. Petrovic, C. Xydeas. On the effects of sensor noise in pixel-level image fusion performance [C]. *Proc. Int. Conf. on Information Fusion*, 2000, WeC3-14~WeC3-19