

利用分水岭分割的多分辨率遥感图像融合算法

胡学龙^{1),2)} 沈洁¹⁾

¹⁾(扬州大学信息工程学院, 扬州 225009) ²⁾(南京邮电大学江苏省图像处理与图像通信重点实验室, 南京 210003)

摘要 对全色图像和多光谱图像进行融合可以获得更加清晰的图像信息。提出了一种基于分水岭分割和小波变换的多分辨率图像融合算法。利用正交小波变换得到原图像的小波金字塔表示。对近似图像进行分水岭分割,并且用小波逆变换把原始分割结果逐步映射回更高的分辨率层。通过联合区域分析,得到各层的联合区域分割图,并用此图来指导各层小波系数的融合。对融合系数进行小波逆变换,得到融合的图像。实验结果表明,该法对遥感图像的融合十分有效,能很好地兼顾融合图像的光谱质量和空间清晰度。

关键词 图像融合 分水岭分割 多分辨率 小波变换

中图法分类号: TN911.73 TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)05-820-04

Algorithm on Multiresolution Remote Image Fusion with Watershed Segmentation

HU Xuelong^{1),2)}, SHEN Jie¹⁾

¹⁾(School of Information Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009)

²⁾(Jiangsu Province Key Laboratory for Image Processing and Image Communication, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003)

Abstract Confusing panchromatic image and multispectral image can obtained clearer image the multispectral image alone. A multiresolution image fusion algorithm based on watershed segmentation and wavelet transform is proposed. Firstly, we obtain the wavelet pyramid using the orthogonal wavelet transform. Then, watershed segmentation of the approximation image is computed, and the inverse wavelet transform is used to project this original segmentation up to the higher resolutions. After joint region analyzed, the joint region segmentation map is obtained, which is further used to guide the fusion of the wavelet coefficients. Finally, the inverse transform of the fused coefficients is implemented in order to obtain the final fusion image. The experimental results indicate that the algorithm is effective for the remote sensing image fusion, which can give consideration well to the spectral quality and spatial definition.

Keywords image fusion, watershed segmentation, multi-resolution, wavelet transform

0 引言

利用多个传感器的互补信息进行融合是获取高分辨率遥感图像的重要手段。图像融合的处理通常在3个不同层次上进行。像素级图像融合是特征级和决策级融合的基础^[1]。目前像素级融合的主要规则有基于单个像素和基于局部窗口的融合。融合

的重点应是不规则的目标所在的区域,而不是单个像素或局部窗口。Piella给出了从像素到区域融合的一般框架^[2]。Jung提出了基于小波和分水岭的多分辨率分割方法^[3]。以此为基础,给出一种介于像素级和特征级融合之间的基于区域分割的图像融合方法。利用小波变换(WT)得到图像的多分辨率分解^[4],在此基础上做多分辨率分水岭分割,并用这种分割进一步指导图像的融合,使感兴趣目标的

基金项目:江苏省图像处理与图像通信重点实验室开放课题(ZK206008)

收稿日期:2009-05-19;改回日期:2009-08-07

第一作者简介:胡学龙(1960—),男,教授。中国图象图形学学会常务理事、IEEE SPS会员。主要研究方向为图像处理与多媒体技术等。E-mail:huxuelong@126.com

轮廓和区域更为清晰。

1 基于分水岭变换的多分辨率分割

在基于区域分割的图像融合算法^[3]中,区域分割是融合过程中的一个准备步骤,应尽可能地快。改进的多分辨率分割方法分为以下5个步骤:

1) 使用正交性、紧支撑性和低计算复杂度的小波变换得到一幅图像的多分辨率表示。

2) 计算梯度图像:选定某一 2^J (J 为分解层数)分辨率层,改用检测斜向阶跃边缘效果较好、较精确的边缘方向估计的 Sobel 算子对低分辨率空间中的近似图像 A_{2^J} 操作。水平和垂直方向的梯度图像为 $A_{2^J}^h$ 和 $A_{2^J}^v$,计算出代表边缘幅值的梯度图像 A_g 。

3) 有一些 A_g 值和噪声有关。改用小波软阈值方法对 A_g 去噪,得到阈值梯度图像 A_{lg} ,并可有效避免边缘的间断。

4) 分水岭变换^[5]:对图像 A_{lg} 进行分水岭变换,可以得到 2^J 分辨率层上近似图像的初始分割图像,每一分割区域有不同的标记值。

5) 分割图像向高分辨率层的映射:利用小波逆变换(IWT)将初始分割图像逐次映射回高一级的分辨率层上,该过程可分为以下3步进行:

(1) 计算简化图像 S_{2^J} : A_{2^J} 的简化图像 S_{2^J} 。对于初始分水岭分割区域中的每个标记值,都用 A_{2^J} 中相应区域的平均灰度值代替,这样 S_{2^J} 就能成为由分水线分隔的分段常数的表示。分水线上的像素值设置为 $S_{2^J} = A_{2^J}$ 。

(2) 运用 IWT 进行映射:为了防止把噪声引入到上采样图像中,只需要更新那些在区域边界上的细节系数值。更新后的细节图像系数定义为

$$NW_{2^J}^\varepsilon[n, m] = \begin{cases} W_{2^J}^\varepsilon[n, m] & [n, m] \text{ 在边界上} \\ 0 & [n, m] \text{ 在边界内} \end{cases} \quad (1)$$

式中, $\varepsilon \in \{h, v, d\}$ 。这时,把 S_{2^J} 作为近似系数,结合更新的细节系数 $NW_{2^J}^h, NW_{2^J}^v, NW_{2^J}^d$,应用 IWT,可以得到 $S_{2^{J-1}}$ 。映射图像 $S_{2^{J-1}}$ 绝大部分由均匀常数组成,但一些接近区域边缘的像素未被指定属于任一区域,把这些像素称为丢失像素,它们必定位于映射图像 $S_{2^{J-1}}$ 的分水线位置上。

(3) 归并丢失像素。考虑一个丢失像素 $[n, m]$ 和它的8连通邻域。这些邻域中的一些像素属于现存的均匀区域,另一些可能仍是丢失像素。用 $N \leq 8$

代表属于现存均匀区域中的邻域像素数,表示为 $[n_k, m_k], k = 1, \dots, N$ 。丢失像素 $[n, m]$ 与邻域像素 $[n_k, m_k]$ 之间的强度差计算为

$$d_k = |S_{2^{J-1}}[n, m] - S_{2^{J-1}}[n_k, m_k]| \quad (2)$$

当 $l = \arg \min_k d_k$ 时, $S_{2^{J-1}}$ 在 $[n, m]$ 的像素值定义为

$$S_{2^{J-1}}[n, m] = S_{2^{J-1}}[n_l, m_l] \quad (3)$$

此时,已得到 2^{J-1} 分辨率上更新的简化图像 $S_{2^{J-1}}$ 。归并完丢失像素后,计算 $S_{2^{J-1}}$ 的区域边界,并把这个区域边界上的像素值用 $A_{2^{J-1}}$ 代替,然后继续进行 IWT 和归并像素操作。重复这个过程,直至达到 2^0 分辨率,即原始图像大小为止。

2 基于区域分割的图像融合算法

基于区域分割和小波变换的图像融合算法框架分区域分析和融合两大步骤。

2.1 区域分析

两幅图像的区域分割图像通常是不同的,因此有必要在融合前进行联合区域分析以指导下一步的融合。两幅原图像进行各自的分割后,对小波金字塔每一层的两幅分割图像进行区域重叠,从而得到联合区域分割图像。

2.2 融合规则

选择融合因子以及融合规则将直接影响最后的图像融合质量。采用基于区域特性量测的选择及加权因子构造融合图像的小波系数。

1) 对分解后的低频子图像采用平均算子:

$$\delta = d^{(k)}(n) = 1/2 \quad (4)$$

式中, δ 即决策因子, n 表示各像素点坐标 $[n, m]$, K 表示小波分解的层数。融合的低频系数忽略了区域信息,是基于像素的平均。

2) 对于各层高频子图像,通过联合分割区域,进行基于活性测度和匹配测度的融合。采用 Burt 和 Kolzynski^[6]提出的基于像素的活性测度和匹配测度,并扩展到区域的应用中。当取矩形窗口大小为 1×1 时,定义活性测度和匹配测度为

$$a_s^{(k)}(n|p) = |y_s^{(k)}(n|p)|^2 \quad (5)$$

$$m_{AB}^{(k)}(n|p) = \frac{2 \times y_A^{(k)}(n|p) y_B^{(k)}(n|p)}{a_A^{(k)}(n|p) + a_B^{(k)}(n|p)} \quad (6)$$

式中, S 为输入图像 A 或 $B, k = 1, \dots, K, p = 1, 2, 3$ 分别表示水平、垂直和对角线3个方向。 $y_A^{(k)}(n|p)$ 和 $y_B^{(k)}(n|p)$ 分别表示原图像 A 和 B 在第 k 层, p 方向,

区域 R 内 n 位置上的小波系数。把式(5)和式(6)扩展到区域,可得到区域的活性测度和匹配测度^[2]

$$a_s^{(k)}(R|p) = \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} a_s^{(k)}(n|p) \quad (7)$$

$$m_{AB}^{(k)}(R|p) = \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} m_{AB}^{(k)}(n|p) \quad (8)$$

式中, $a_s^{(k)}(R|p)$ 和 $m_{AB}^{(k)}(R|p)$ 分别表示在 p 方向、第 k 层的区域 R 中的活性测度和匹配测度。 $|R|$ 表示区域 R 的面积,即像素总数。决策因子 $d^{(k)}(R|p)$ 与式(7)、式(8)和匹配度阈值 T 相关^[1]。系数融合公式为

$$y_F^{(k)}(n|p) = d^{(k)}(R|p) \times y_A^{(k)}(n|p) + (1 - d^{(k)}(R|p)) \times y_B^{(k)}(n|p), n \in R \quad (9)$$

3 实验结果及评价

对 PAN 全色图像和 TM 多光谱图像进行仿真实验。原图像如图 1 所示,大小为 600×400 像素。参数选择如下:选用 haar 小波,分解层数为 2 层,软阈值取 0.75,匹配度阈值 T 取为 0.85。

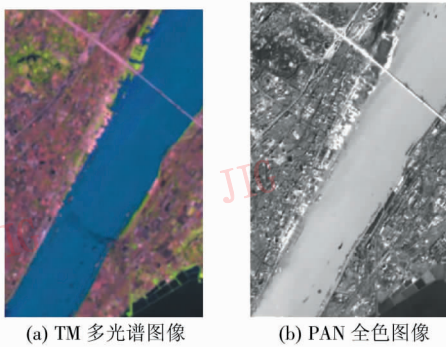


图 1 原始遥感图像

Fig. 1 Original remote sensing images

将 TM 图像进行 RGB-IHS(HIS)空间转换;分别对 PAN 图像和 TM 图像的 I 分量进行两次 WT;对低频子图像进行分割(图 2)并进行联合区域分析(图 3),在 2^2 分辨率上得到 291 个区域,而 2^1 分辨率上得到 539 个区域;计算各层高频子图像的区域决策因子;计算融合图像的低频以及各层高频小波系数;对融合系数进行 IWT,所得的图像作为新的 I 分量。结合 H 和 S 两个分量,进行 IHS-RGB 逆变换,得到融合图像。把实验结果同传统的 IHS 方法^[7]、局部窗口大小为 3×3 、基于窗口能量测度的融合方法^[8]进行了比较(图 4)。

使用空间频率 F_s ^[9]、光谱扭曲程度 D ^[10] 和相关

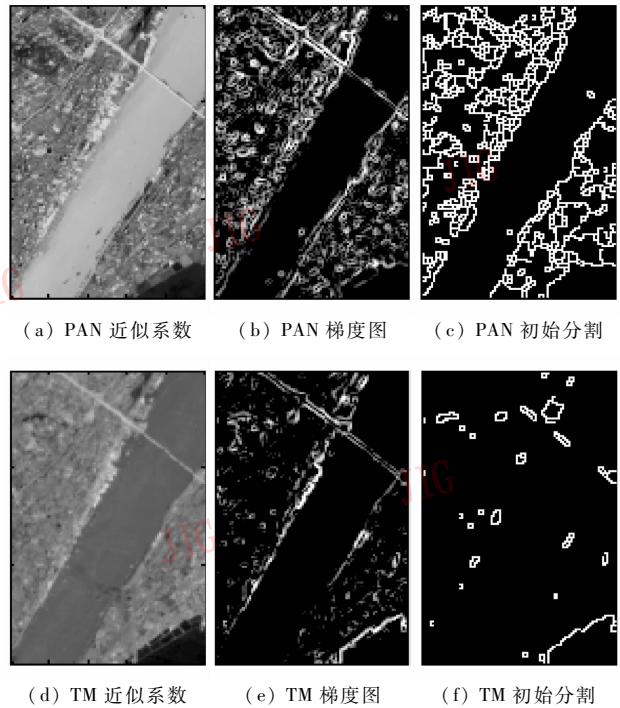


图 2 PAN 和 TM 图像 I 分量的分水岭分割

Fig. 2 Watershed segmentation of the PAN image and I component of the TM image

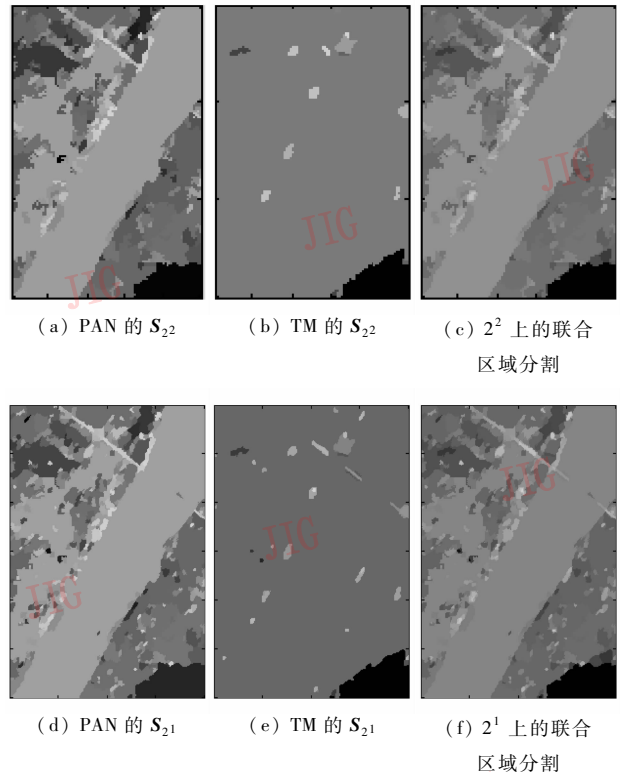


图 3 PAN 和 TM 图像 I 分量的联合区域分割

Fig. 3 Joint region segmentation of the PAN image and I component of the TM image

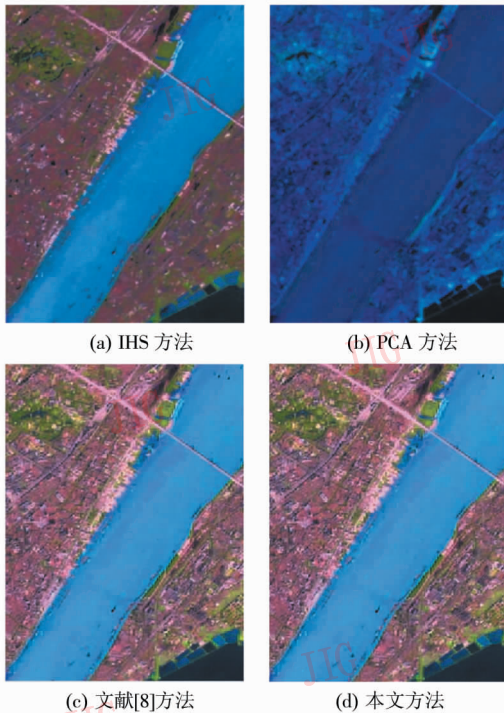


图 4 几种融合方法的实验结果

Fig. 4 Experimental results of several fusion methods

系数 $C^{[11]}$ 3 个评价指标评价融合结果。空间频率值越大,图像越清晰。光谱扭曲程度值越大,失真也越大。相关系数反映多光谱图像的光谱信息改变程度。表 1 为融合结果评价表。IHS 方法用高分辨率图像直接替代多光谱图像的 I 分量,光谱在很大程度上产生了扭曲。文献[8]方法在保持图像清晰度的基础上,大大减小了颜色畸变,且提高了相关系数。本文方法的主观效果和运行时间与文献[8]方法差不多。在同一环境下,本文方法耗时 14.188 s,文献[8]方法耗时 10.047 s。但本文方法的统计参量要略优于前者。

表 1 不同融合方法统计参量对比

Tab. 1 Contrast of statistic parameter of different fusion methods

算法	F_s	D			C		
		R	G	B	R	G	B
IHS 方法	14.6466	18.8014	24.7969	31.7753	0.9269	0.3012	0.8396
文献[8]方法	21.2369	19.1828	34.3954	48.8962	0.9310	0.4435	0.8811
本文方法	21.2644	19.1117	34.3142	48.8247	0.9315	0.4476	0.8821

4 结 论

作为一种特征选取,感兴趣区域的提取是图像

融合领域中的关键技术。本文提出的算法能有效地提取出分割区域,并能获得较好的融合效果。下一步的工作需要加强对原始图像信息的研究,提出新的算法并设置更合理的参数,以便取得更好的光谱质量和空间清晰度的均衡。

参考文献 (References)

- [1] Wang Runsheng. Information Fusion [M]. Beijing: Science Press, 2007: 1-9. [王润生. 信息融合[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1-9.]
- [2] Piella G. A general framework for multiresolution image fusion: from pixels to regions[J]. Information Fusion, 2003, 4(4): 259-280.
- [3] Jung C R. Combining wavelets and watershed for robust multiscale image segmentation [J]. Image and Vision Computing, 2007, 25(1): 24-33.
- [4] Gonzalo Pajares, Jesús M. Manuel de la Cruz. A wavelet-based image fusion tutorial [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(9): 1855-1872.
- [5] Kim J B, Kim H J. Multiresolution-based watershed for efficient image segmentation [J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(1-3): 473-488.
- [6] Burt P J, Kocolzynski R J. Enhanced image capture through fusion [EB/OL]. [2009-01-08]. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp.jsp?tp=&number=378222>.
- [7] Lu Chaoxia, Pan Quan, Cheng Yongmei, et al. New image fusion method based on HIS and wavelet transform [J]. Application Research of Computers, 2008, 25(2): 450-457. [陆朝霞, 潘泉, 程咏梅, 等. 一种新的基于 HIS 和小波变换的图像融合方法[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(2): 450-457.]
- [8] Liu Guixi, Yang Wanhai. A wavelet-decomposition-based image fusion scheme and its performance evaluation [J]. Acta Automatica Sinica, 2007, 28(6): 927-934. [刘贵喜, 杨万海. 基于小波分解的图像融合方法及性能评价[J]. 自动化学报, 2007, 28(6): 927-934.]
- [9] Eskicioglu A M, Fisher P S. Image quality measures and their performance [J]. IEEE Transactions on Communities, 1995, 43(12): 2959-2965.
- [10] He Guojin, Li Kelu, Hu Deyong, et al. Information fusion of multisensor satellite remote sensing data: theory, methodology and experiment [J]. Journal of Image and Graphics, 1999, 4(9): 744-750. [何国金, 李克鲁, 胡德永, 等. 多卫星遥感数据的信息融合: 理论、方法与实践[J]. 中国图象图形学报, 1999, 4(9): 744-750.]
- [11] Choi M, Kim R Y, Myeong-Ryong Nam M R, et al. Fusion of multispectral and panchromatic satellite images using the curvelet transform [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2005, 2(2): 136-140.