

## 基于小波变换的 IRS 与 TM 遥感卫星影像融合

薛天民 张玮 严泰来 吴连喜

(中国农业大学 信息与电气工程学院,北京 100083)

**摘要** 本研究在整体小波变换融合方法基础上,提出了基于对比度的局部特征选择加权小波变换影像融合方法,并以多光谱 TM 和高空间分辨率 IRS-1C 全色波段图像为例,与色彩空间变换 HIS 融合方法进行图像融合效果的比较分析试验。试验表明基于对比度的局部特征选择加权小波变换影像融合方法能在最大限度保持多光谱影像光谱信息的同时,增强了影像的纹理信息。

**关键词** 影像融合;小波变换;对比度

中图分类号 P 237; TP 751

文章编号 1007-4333(2003)01-0047-04

文献标识码 A

### IRS and TM remote sensing image fusion based on wavelet transform

Xue Tianmin, Zhang Wei, Yan Tailai, Wu Lianxi

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** By image fusion, many kinds of remote sensing data can be synthesized, and supplementary mutual advantage can be realized by obtaining the exact information efficiently. This paper introduced the principles and characteristics of wavelet transform in fusion of remote sensing satellite image, and a new fusion method was then presented which is called partial selected weight mallat wavelet transform, based on contrast, after improving traditional wavelet transform. IRS-1C panchromatic and TM multi-spectral image data were used in comparative experiment; the result was compared with HIS method in terms of image quality. It is showed that the proposed method maximizedly preserves the Texture information of the original IRS panchromatic data, as well as the spectral content of the TM data, and is better than other conventional methods.

**Key words** image fusion; wavelet transform; contrast

遥感卫星影像融合是目前遥感影像处理与分析中的热点研究领域,它是将同一地区不同空间分辨率、光谱分辨率的卫星影像进行空间配准并用一定的算法加以综合,产生融合影像,达到不同影像中的信息优势互补目的,从而提高信息获取的有效性和准确性,形成对地物更完整的信息描述。

遥感卫星影像融合常用的方法为线性代数加权法、色彩空间 HIS 变换、Brovey 变换、PCA 变换、高通滤波 HPF 法等;按影像融合方法的层次可划分为像素级、特征级、分类决策级 3 个层次<sup>[1]</sup>。随着遥感卫星影像融合研究的深入,有关小波变换的影像融合成为一个研究热点<sup>[2~4]</sup>。

小波变换是一种时频信号分析工具,其多分辨率分析功能可将图像分解成一系列不同尺度下具有不

同局部时频特性的低频图像和高频图像,实现了对图像的时频局部化分析。基于对比度的局部特征选择加权小波变换影像融合方法(LSWMWIBC)属于特征级层次,使用该方法对高空间分辨率卫星 IRS-1C 全色波段影像和 TM 多光谱波段影像进行融合,并与 HIS 融合方法作对比,分析评价了融合效果。

### 1 小波的多分辨率分析与 Mallat 算法

二维空间  $L^2(R^2)$  的小波多分辨率分析是指存在一空间序列  $\{V_j^2\}_j$ ,  $V_{j+1}^2 = V_j^2 \oplus W_j^2$ , 其中:  $V_j^2$  可以理解为  $L^2(R^2)$  在分辨率  $2^j$  上的近似信号即低频部分,  $W_j^2$  为  $V_{j+1}^2$  和  $V_j^2$  之间的差别细节信号即高频部分<sup>[5]</sup>。我们用二元函数  $f(x, y) \in L^2(R^2)$  表示图

收稿日期: 2002-05-20

基金项目: 国家基础研究资助项目 973- G1999045708

作者简介: 薛天民, 硕士研究生; 张玮, 教授, 导师, 主要从事遥感制图研究, E-mail: zhwei888 @263. net. cn

像信号,其在  $V_j^2$  空间的投影为  $A_j f(x, y)$ , 有  $f(x, y) = A_j f(x, y) = A_{j-1} f + D_{j-1}^1 f + D_{j-1}^2 f + D_{j-1}^3 f$  成立, 其中  $A_{j-1} f = \sum_{m,n} C_{j-1,k,l} f_{j-1,k,l}$ ,  $D_{j-1}^i f = \sum_{m,n} D_{j-1,k,l}^i f_{j-1,k,l}$  ( $i=1,2,3$ )。定义  $H_r, G_r$  和  $H_c, G_c$  分别为低通和高通滤波器  $H, G$  算子作用于行、列的算子。 $H^*$  和  $G^*$  分别为  $H$  与  $G$  的对偶算子。则 Mallat 分解算法有:  $C_{j-1} = H_r H_c C_j, D_{j-1}^1 = H_r G_c C_j, D_{j-1}^2 = G_r H_c C_j, D_{j-1}^3 = G_r G_c C_j$ 。重建算法为  $C_j = H_r^* H_c^* C_{j-1} + H_r^* G_c^* D_{j-1}^1 + G_r^* H_c^* D_{j-1}^2 + G_r^* G_c^* D_{j-1}^3$ 。式中  $C_{j-1}$  是低频成分,  $D_{j-1}^1$  是图像的水平边缘高频成分,  $D_{j-1}^2$  是图像的垂直边缘高频成分,  $D_{j-1}^3$  是图像的对角边缘高频成分<sup>[6]</sup>。通过 Mallat 算法就可将图像分解成在特定分辨率的情况下不同频率成分、不同方向的 4 个子图像。

## 2 基于对比度的局部特征选择加权融合算法

传统标准小波变换融合方法的基本思想是对不同分辨率的图像进行多尺度小波分解,得到不同尺度各自图像的低频近似分量和高频细节分量,然后在同一尺度下用高分辨率图像的高频细节分量替换低分辨率图像的对应分量,和低分辨率图像低频近似分量一起进行逐级小波逆变换,最终获得融合图像。但是这种方法存在 2 个不足:一个是没有考虑到图像的低频近似分量与高频细节分量相互关系,另一个是用高分辨率图像的高频细节分量替换低分辨率图像的高频细节分量则完全丢失了低分辨率图像的高频细节信息,没有考虑到局部情况。基于上述 2 点,本研究提出了改进的小波变换图像融合方法。一般而言,单波段黑白图像的对比度反映了图像的亮度信息相对于其背景的程度。人类的视觉系统对灰度图像的对比度敏感。因此,以图像的对比度作为融合的基本依据既考虑了图像近似分量与细节分量的相互关系也符合人的生理视觉。根据图像对比度的一般定义给出不同尺度下的方向对比度定义:  $C_j^i = D_j^i / A_j$  ( $i=1,2,3$ )。其中  $D_j^i$  是高频细节系数,  $A_j$  为低频近似系数;  $C_j^1$  是垂直对比度,  $C_j^2$  是水平对比度,  $C_j^3$  是对角对比度。另外,设以  $(x, y)$  为中心窗口大小为“5 × 5”的影像局部区域,并且用方向对比度的标准差作为局部区域的特征,标准差值越大则表示偏离均值的程度越大,可以用标准差度量影像的信息量,定义  $\text{Std} V_i^j(x, y)$  和  $\text{Std} V_p^j(x, y)$  分别为多光谱影像和高空间分辨率影像在  $(x, y)$  处不同

尺度下的方向对比度标准差,用  $\overline{M_i^j}$  表示多光谱影像局部区域的对比度均值,  $\overline{M_p^j}$  表示高空间分辨率影像局部区域的对比度均值,  $w$  表示窗口大小,则有:

$$\text{Std}_i^j(x, y) = \sqrt{\frac{1}{w^2} \sum_{m,n=-k}^k (C_i^j(x+m, y+n) - \overline{M_i^j})^2}$$

$$\text{Std}_p^j(x, y) = \sqrt{\frac{1}{w^2} \sum_{m,n=-k}^k (C_p^j(x+m, y+n) - \overline{M_p^j})^2}$$

( $k=1,2$ )

由数理统计学可知相关系数是衡量两个随机变量相关程度的一个指标,因此用相关系数

$$\text{Cor}^j(x, y) = \frac{1}{w^2} \sum_{m,n=-k}^k (C_i^j(x+m, y+n) - \overline{M_i^j}) \times (C_p^j(x+m, y+n) - \overline{M_p^j}) / \text{Std}_i^j(x, y) \times \text{Std}_p^j(x, y)$$

作为多光谱影像和高空间分辨率影像在  $(x, y)$  处局部区域的相似性度量。显然,当两幅影像在  $(x, y)$  处局部区域特征完全相同时,  $\text{Cor}^j(x, y) = 1$ ; 当影像在  $(x, y)$  处局部区域特征完全不相关时,  $\text{Cor}^j(x, y) = 0$ ; 其他情况下取值范围是  $-1 < \text{Cor}^j(x, y) < 1$ 。

根据上述 3 个概念,提出一种新的融合方法即基于对比度的局部特征选择加权小波变换融合方法,规则如下:对于低频近似表示部分,取 TM 多光谱影像的低频部分作为融合估计结果。对于高频纹理/细节部分,可按下面的方法进行融合估计:首先确定“5 × 5”大小的局部窗口;其次分别计算 TM 影像和 IRS 全色波段影像在不同尺度下  $(x, y)$  处的方向对比度标准差  $\text{Std}_i^j(x, y)$ 、 $\text{Std}_p^j(x, y)$  以及它们之间的相关系数  $\text{Cor}^j(x, y)$ ; 然后,确定一个阈值,并按下面的规则确定融合影像在  $(x, y)$  处的估计值  $D_f^j(x, y)$ :

如果  $\text{Cor}^j(x, y) < \theta$ , 那么

$$D_f^j(x, y) = \begin{cases} D_i^j(x, y), & \text{Std}_i^j(x, y) > \text{Std}_p^j(x, y); \\ D_p^j(x, y), & \text{else} \end{cases}$$

否则

$$D_f^j(x, y) = \alpha D_i^j(x, y) + (1 - \alpha) D_p^j(x, y),$$

其中,权重  $\alpha$  为

$$\alpha = \begin{cases} \frac{1}{2} + \frac{1 - |\text{Cor}^j(x, y)|}{2 + |\text{Cor}^j(x, y)|}, & \text{Std}_i^j(x, y) > \text{Std}_p^j(x, y) \\ \frac{1}{2} - \frac{1 - |\text{Cor}^j(x, y)|}{2 + |\text{Cor}^j(x, y)|}, & \text{else} \end{cases}$$

以高分辨率卫星 IRS 全色波段和多光谱 TM7、4、3 波段影像为例,利用改进的小波变换即基于对比度的局部特征选择加权融合方法。其融合过程

为：

- 1) 以 IRS 全色波段影像为参考,对 TM7、4、3 波段影像进行二次多项式图像空间配准、象元分割和 3 次卷积重采样处理。
- 2) 分别以 TM7、4、3 三个波段影像为依据,对 IRS 全色波段影像进行直方图匹配,得 IRS-PAN-7、IRS-PAN-4、IRS-PAN-3 共 3 幅影像。
- 3) 根据选定的正交小波,按一定分解层次对 TM7、4、3 的三个波段的图像和 IRS-PAN-7、IRS-PAN-4、IRS-PAN-3 共 6 幅图像分别进行小波分解,取得各图像近似分量和细节分量。
- 4) TM 和 IRS 对应图像的近似分量和细节分量

按照融合规则计算融合后影像的小波系数。

- 5) 经小波逆变换获得融合后影像对应于 TM7、4、3 的三个波段的图像,并以 RGB 方式彩色合成得到融合影像。

### 3 结果与分析

本次试验的研究区域是在北京市大兴区。采用的遥感影像数据有：2000-05-23 印度卫星 IRS 全色波段和 1999-09-13 美国陆地卫星 LandSat5 TM 遥感影像数据,本研究使用 TM7、TM4、TM3 波段,采用二进制 sym 4 小波基,经过试验,小波分解层次取值为 4, 阈值 = 0.8。

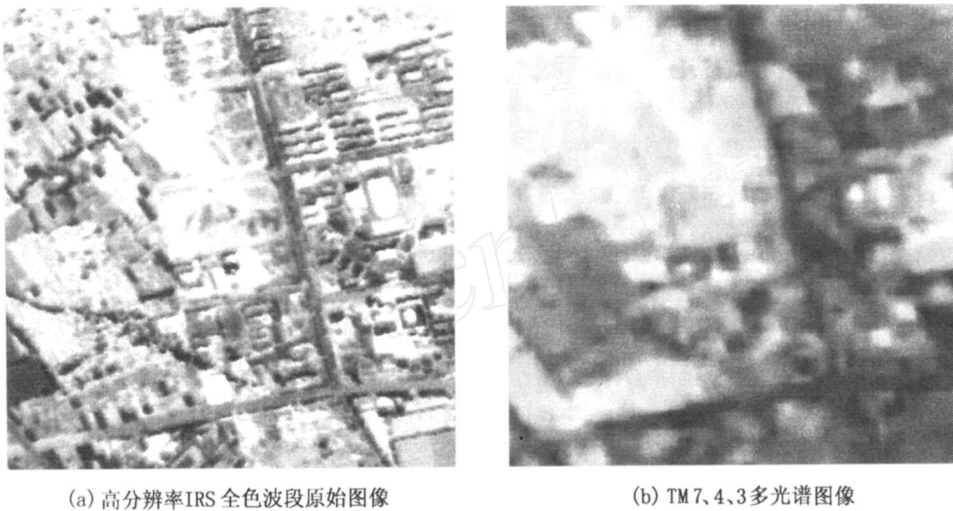
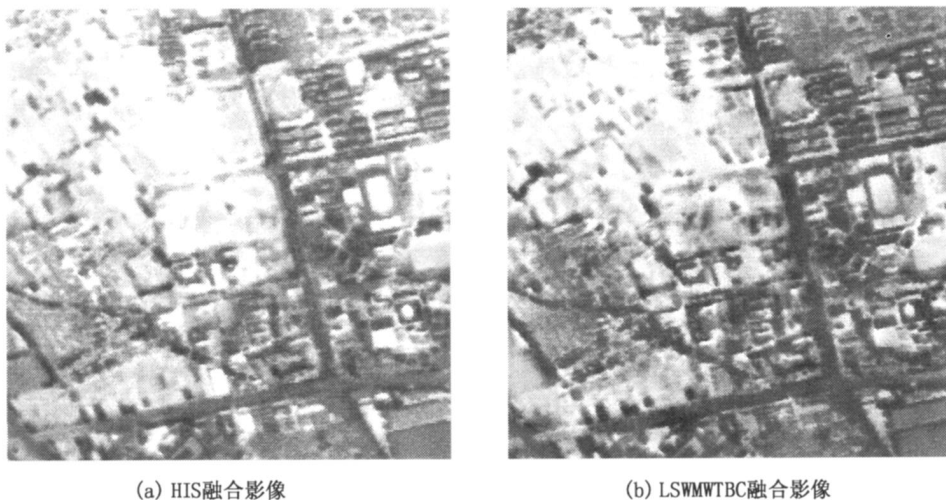


图 1 融合前的 IRS 和 TM 图像  
Fig. 1 IRS and TM images before fusion



TM影像与IRS影像用HIS变换融合方法得到

TM影像和 IRS 影像用对比度的局部特征选择加权小波变换融合,256 ×256 像素

图 2 融合后的图像

Fig. 2 Images after fusion

表 1 统计指标数据表  
Table 1 Statistic indicator

图像名称	波段	均值	标准差	与 TM 相关系数	平均梯度	光谱偏离值
配准后的 TM 图像	R	105.850 503	64.221 175		5.648 8	
	G	115.155 051	58.444 463		4.610 1	
	B	112.944 543	69.044 892		5.497 0	
IRS 图像	PAN	111.446 707	52.844 924	11.483 7		
HIS 融合图像	R	117.962 451	78.207 663	0.761 0	14.021 5	40.410 9
	G	118.694 291	74.613 914	0.439 1	17.310 9	56.422 8
	B	125.181 138	82.004 590	0.778 5	13.832 9	39.693 6
LSWMTWBC 融合图像	R	104.726 380	69.691 153	0.862 8	15.939 4	25.609 0
	G	116.432 185	66.490 880	0.805 0	17.226 0	31.289 5
	B	112.390 043	76.475 443	0.835 7	18.668 4	29.962 5

本研究的图像融合效果评价标准是在保持多光谱影像光谱信息的同时,增强影像的空间纹理信息,采用的统计指标有:均值、标准差、相关系数、平均梯度和光谱偏离值,其中平均梯度定义为

$$\nabla G = \frac{1}{(m-1)(n-1)} \sum_{m,n} \sqrt{(\nabla f_x^2 + \nabla f_y^2)/2},$$

在整体上反映影像边缘、纹理细节等结构清晰程度的指标,值越高影像越清晰;光谱偏离值定义为

$$D = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |F(i, j) - T(i, j)|,$$

表示融合图像的灰度值偏离 TM 多光谱图像灰度值的平均程度,值越小越好;融合影像与 TM 影像相关系数的值越大表示融合影像与 TM 影像的相关程度越高,融合效果也越好。均值与标准差是图像的基本统计指标,融合影像均值与标准差的值越接近 TM 影像相应的值,说明融合效果越好。从表 1 可知,基于对比度的局部特征选择加权小波变换融合影像的统计指标值优于 HIS 融合影像相应的值。

## 4 结 论

试验证明,基于对比度的局部特征选择加权小波变换融合方法取得较好的影像融合效果。通过本研究得到如下结论:

1) 基于对比度的局部特征选择加权小波变换的融合方法在保持多光谱影像光谱信息的同时,能增强影像的空间纹理细节信息。

2) 基于对比度的局部特征选择加权小波变换融合方法效果好于色彩空间 HIS 变换融合方法。

3) 基于对比度的局部特征选择加权小波变换的融合方法可以根据需要针对不同频段的影像进行合理选择局部特征,具有较大的灵活性;其优化能力强于传统标准小波变换融合方法。

## 参 考 文 献

- [1] 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]. 中国图像图形学报, 1999, 9: 744 ~ 749
- [2] 李德仁, 邵巨良. 影像融合与复原的小波模型 [J]. 武汉测绘科技大学学报, 1996, 9: 213 ~ 217
- [3] Yocky D A. Multi-resolution Wavelet decomposition image Merger of landsat thematic mapper and SPOT panchromatic data [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1996, 62(9): 1067 ~ 1074
- [4] Kumar A S, Kartikeyan B, Majumdar KL. Band sharpening of IRS multispectral imagery by cubic spine wavelets [J]. INTJ Remote Sensing, 2000, 21(3): 581 ~ 594
- [5] 秦前清, 杨宗凯. 实用小波分析 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1994
- [6] Mallat, et al. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11(7): 674 ~ 693