

基于 \grave{a} trous 小波变换的 Landsat 7 ETM⁺ 图像融合研究

刘佳佳, 管磊, 李乐乐

(中国海洋大学海洋遥感研究所海洋遥感教育部重点实验室, 青岛 266003)

摘要: 以胶州湾及周边海岸带为研究区, 采用 Landsat 7 ETM⁺ 数据, 提出一种基于 \grave{a} trous 小波变换的全色图像和多光谱图像融合改进算法。对全色图像和多光谱图像进行适当层数的小波分解, 多光谱图像的低频部分采用全色图像和其低频分量的比来调制; 最高分解层外的其余分解层采用多光谱图像和全色图像在该层分解系数的加权和, 加权系数由局部区域能量比来确定; 最高分解层则采用绝对值最大准则。实验表明, 该方法得到的图像可提高空间分辨率, 对多光谱图像的光谱信息扭曲也较小, 为提高海岸带地物分类和信息提取精度奠定了基础。

关键词: Landsat 7 ETM⁺; 图像融合; 图像金字塔; \grave{a} trous 小波变换; 局部能量比

中图分类号: TP 751.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2007)02-0050-03

0 引言

遥感影像融合是将不同平台(卫星与机载)上的同一或不同传感器获取的不同空间与不同光谱分辨率图像按特定的算法进行处理, 以使所产生的新图像同时具有原来图像的多光谱特性及高地面分辨率, 来实现不同应用需求的过程^[1]。图像融合一般分为像素级、特征级和决策级 3 种类型, 其中像素级融合要求算法尽可能多地保留准确的空间信息和光谱信息。目前常用的算法有 IHS 变换融合、SFIM 融合、基于塔形分解的图像融合和基于小波变换的图像融合等。随着小波技术的发展, 小波变换在图像融合中的作用越来越大: 多分辨率小波变换将影像分解为一个低频分量和一系列的高频分量, 低频分量为近似影像, 高频分量则分别集中了水平、垂直及对角线方向的细节特征; \grave{a} trous 算法通过有限滤波器的内插近似, 达到无抽取离散小波变换, 具有不需要进行抽样和插值、有利于获取影像的细节特征等特点^[2]。

Landsat 7 卫星由美国航空航天局于 1999 年发射, 携带增强型主题成像传感器 ETM⁺。在保持 TM 数据延续性的基础上, ETM⁺ 增加了分辨率为 15 m 的 PAN(全色)波段, 并采用双增益技术, 使远红外波段的分辨率从 120 m 提高到 60 m。ETM⁺ 全色波段与多光谱波段来自同一传感器, 有相同的太阳高度角和其它环境条件, 获取影像时间也一致, 所以可以不经配准而实现高精度融合^[3], 为地物分类、目标识别等处理提供精度保证。

本文以胶州湾海岸带为研究区, 该区位于北纬 36°1'24.54" ~ 36°18'0.01", 东经 120°2'34.83" ~ 120°24'9.18" 之间, 面积约 943.7 km²。采用 Landsat 7 ETM⁺ 多光谱图像和全色图像进行融合, 提出了一种基于 \grave{a} trous 小波变换的改进方法, 为提高海岸带地物分类精度提供方法技术。

1 传统图像融合算法

以 IHS 变换融合为例。一般来说, 由于图像通道的相关性表达不清楚, 图像的 RGB 颜色空间不适用于融合处理。IHS 变换将 RGB 彩色空间变换到 IHS 空间。一般的 IHS 图像融合方法是: 首先将多光谱图像从 RGB 空间变换到 IHS 空间, 然后将与 I 分量进行过直方图匹配的全色图像作为新的 I 分量, 再与 H、S 进行反变换到 RGB 空间。

2 基于 \grave{a} trous 小波分解的图像融合

源图像记为 $C_0(k)$, 经过尺度函数滤波后所得图像记为 $C_1(k)$, 则 $C_0(k) - C_1(k)$ 表示两尺度图像的信息差, 即小波面, 记为 $D_1(k)$ 。多次分解后, 源图像被分解为一个近似分量 $LL(k)$ 和多个细节分量 $D_j(k)$, 图像的细节特征集中在小波面中。 N 是分解次数, j 表示是第 j 次分解。源图像为近似分量和各细节分量的叠加, 由此得到重构公式为

$$C_0(k) = LL(k) + \sum_{j=1}^N D_j(k) \quad (1)$$

$$D_j(k) = C_{j-1}(k) - C_j(k) \quad (2)$$

3 改进融合系数的 à trous 小波分解融合

融合系数的选择是影响融合结果的重要因素之一。本文对3次 à trous 小波分解后所得到的多光谱图像的低频部分采用归一化了的彩色图像与其低频分量之比来调制;非最高尺度的小波面则由多光谱图像与彩色图像对应小波面的加权和来决定,而不是直接选用彩色图像该尺度的小波面,避免了较大的光谱失真;最高分解层则按照取绝对值较大来确定;小波重构得到融合后图像。其过程如下:

(1)选取 B_3 -spline 样条函数作为尺度函数,分别对彩色影像 $\{C_{0,H}(k)\}$ 和 $\{C_{0,L}(k)\}$ 多光谱影像进行3次滤波,得到近似分量 $LL_H(k)$ 、 $LL_L(k)$ 和细节分量 $\sum_{j=1}^N D_{j,H}(k)$ 、 $\sum_{j=1}^N D_{j,L}(k)$;

$$\{D'_{j,L}(k)\} = \frac{WE[D_{j,H}(k)]}{WE[D_{j,H}(k)] + WE[D_{j,L}(k)]} \times D_{j,H}(k) + \frac{WE[D_{j,L}(k)]}{WE[D_{j,H}(k)] + WE[D_{j,L}(k)]} \times D_{j,L}(k) \quad (4)$$

式中, $WE(f) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f(i,j)^2}{m \times n}$, 为某一区域内的平均能量; m, n 分别为所选窗口的行、列数;

(4)最高分解层上,由于绝对值较大的系数对应亮度突变之处,即对应源图像中的显著特征(如边缘、区域边界等)^[5],所以,选取绝对值较大的作为融合图像的小波系数;

(5)进行小波重构。

4 评价参数

好的融合图像应当层次丰富,同时保持源影像的光谱性质。本文选取平均梯度、相关系数和相对偏差来分别从融合后图像的细节特征和光谱相似度、光谱匹配度来评价融合效果。

(1)平均梯度。该参数反映图像中微小细节反差和纹理变化的特征^[6],其值越大则说明图像层次越多,空间分辨率越高。计算公式为

$$G = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M [\Delta x f(i,j)^2 + \Delta y f(i,j)^2]}}{L \times M} \quad (5)$$

式中, G 为平均梯度; $\Delta x f(i,j)$ 、 $\Delta y f(i,j)$ 分别表示像素 (i,j) 在 x, y 方向上的一阶差分; M, L 分别为图像的行、列数。

(2)相关系数。融合图像与源图像的相关系数反映两幅图像光谱特征的相似程度^[7]。

(2)对彩色图像进行低通滤波,得出 $Low_H(k)$ 。 $C_{0,H}(k)$ 与 $Low_H(k)$ 的比集中了彩色影像的纹理特征,归一化后作为系数调制 $LL_L(k)$, 可得:

$$LL'_L(k) = LL_L(k) \times \frac{C_{0,H}(k)}{Low_H(k)} \quad (3)$$

(3)对 $D_{j,L}(k)$ ($2 \leq j \leq N$) 进行确定。传统 à trous 小波融合单纯采用彩色图像在该层的小波系数,而本文为保持较高的光谱分辨率,采用彩色图像与多光谱图像在该层小波系数的加权和。同时考虑到图像的局域特征往往并不是孤立地由单一像素所能表征的,而是由某一区域的多个像素共同体现;且一般情况下,某一区域内的像素都具有较强的相关性,并非是各自独立的^[4],所以选择以当前处理像素为中心的 $3 \text{ 像元} \times 3 \text{ 像元}$ 窗口,分别计算高、低分辨率图像在该窗口内的平均能量,依据能量比来确定加权系数,即

$$r = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^L [F(i,j) - \bar{f}][A(i,j) - \bar{a}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^L [F(i,j) - \bar{f}]^2 [A(i,j) - \bar{a}]^2}} \quad (6)$$

式中, r 为相关系数; $A(i,j)$ 、 $F(i,j)$ 分别为源图像与融合图像在 (i,j) 处的灰度值, \bar{a} 、 \bar{f} 则分别为源图像与融合图像的灰度均值。

(3)相对偏差。该参数的大小表示融合图像与源图像平均灰度值的相对差异,它用来反映融合图像与源图像在光谱信息上的匹配程度^[7]。

$$D = \frac{1}{ML} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^L \frac{|F(i,j) - A(i,j)|}{A(i,j)} \quad (7)$$

5 试验及结果评价

本文选取2000年9月16日的 Landsat 7 ETM⁺ 数据,经过几何配准、大气校正后,通过双线性插值使校正后的多光谱图像空间分辨率与彩色图像空间分辨率一致。插页彩片22为研究区域全景图及经过各种融合后的合成图,插页彩片23为插页彩片22红色框中局部区域图。

分别从目视判读与定量参数两方面来评价融合结果。首先,从插页彩片22中可以看出,彩片(b)的色调与彩片(a)最接近,而彩片(c)中海域及植被的色调较(a)中对应区域偏黄,彩片(d)则明显与(a)有较大颜色偏差;其次,从插页彩片23中可以看出,对于(a)中不能分辨的纹理细节,在(b)、

(c)、(d)中都能清楚分辨,即3种方法得到的图像在空间分辨率上都比源图像有明显提高,且在22-1的红色框中,两条白色的边界线间较浅的线条,在22-1(b)中较为清晰,而在22-1(c)则难以辨出,在22-2红色框内的小块黄色裸露土地,其边界在22-2(b)中表现为锯齿状,而在22-2(c)中较模糊,所以从目视判读来说,彩片(b)较(c)纹理

更丰富。

(2)选取平均梯度、相关系数和相对偏差来分别从纹理特征和光谱特征上对整幅融合图像做定量比较,结果如表1所示。可以看出,本文方法所得图像的平均梯度比其它两种融合方法所得图像的都要略高,同时相关系数最高,相对偏差最小,即与源图像光谱特征最相似。

表1 Landsat 7 ETM⁺数据融合前后平均梯度、相关系数及相对偏差

波段	平均梯度				相关系数			相对偏差		
	原图	融合后			融合后			融合后		
		本文方法	à trous	IHS	本文方法	à trous	IHS	本文方法	à trous	IHS
TM1	11.568	50.734	49.385	48.621	0.876	0.869	0.769	0.147	0.149	0.395
TM2	15.146	46.731	43.624	43.752	0.882	0.878	0.771	0.138	0.159	0.356
TM3	22.891	42.947	37.176	36.567	0.890	0.872	0.778	0.131	0.146	0.314

6 结语

本文所采用的方法在基本保留了多光谱图像的光谱特征的同时,提高了空间分辨率。本文研究区域为胶州湾海岸带,集中了较多的养殖场、盐田等海岸带典型地物,通过多光谱图像与全色图像融合,为该区地物分类、目标识别、信息提取等应用提供了更可靠的依据。

参考文献

[1] 许榕峰,徐涵秋. ETM⁺全色波段及其多光谱波段图像的融合应用[J]. 地球信息科学,2004,6(1):99-103.

[2] Anne H, Anil K A Markov. Random Field Model for Classification of Multisource Satellite Imagery[J]. IEEE Transaction Geoscience and Remote Sensing,1996,34(1):100-113.

[3] 刘修国,高伟. 基于à trous小波的影像融合[J]. 地球科学-中国地质大学学报,2002,27(3):338-3402.

[4] 刘贵喜,刘纯虎,凌文杰. 一种基于小波多分辨率分解的图像融合新算法[J]. 光电子·激光,2004,15(3):344-347.

[5] 吴艳,杨万海,李明. 多光谱与高分辨率图像融合算法研究[J]. 光子学报,2003,32(2):174-178.

[6] 孙家柄. 遥感原理与应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.

[7] 李存军,刘良云,王纪华. 两种高保真遥感影像融合方法比较[J]. 中国图象图形学报,2004,9(11):1376-1385.

IMAGE FUSION OF LANDSAT 7 ETM⁺ DATA BASED ON à TROUS WAVELET TRANSFORM

LIU Jia-jia, GUAN Lei, LI Le-le

(Key Laboratory of Ocean Remote Sensing of Ministry of Education, Ocean Remote Sensing Institute, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: An improved image fusion method based on à trous wavelet decomposition is presented in this paper. The method was applied to panchromatic and multispectral images from Landsat 7 ETM⁺ in the Jiaozhou Bay. The multispectral images and panchromatic image were decomposed by à trous wavelet transform. The low frequency parts of multispectral images were modulated by texture properties of the panchromatic image. The wavelet coefficients were obtained by using the fusion rules based on the area-based energy ratio and maximum absolute value. At last, the fused image was reconstructed by inverse wavelet transform. Quantitative assessment of the results shows that the fused image obtained by the method has the merits of better preservation of image definition and less loss of spectral information. The fused image with high spatial and spectral information can increase the accuracy of classification.

Key words: Landsat 7 ETM⁺; Image fusion; Image pyramid; à trous wavelet transform; Area-based energy ratio

第一作者简介:刘佳佳(1979-),女,硕士研究生,研究方向为遥感数据融合及在海岸带上的应用。

(责任编辑:李瑜)