

基于 HIS 变换与 àtrous 小波分解的遥感影像融合

后斌¹, 乔伟峰², 孙在宏²

(1. 武汉大学遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430079)

(2. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210097)

[摘要] 针对多光谱影像与全色影像的融合, 本文在分析 HIS 变换及基于 Mallat 小波算法的影像融合方法的基础上, 提出了一种基于 HIS 变换与 àtrous 小波分解相结合的遥感影像融合方法, 并给出了实现的过程. 通过主观视觉效果分析与客观性能参数分析, 新方法的性能优于 HIS 变换融合法、PCA 变换融合法、小波变换融合方法, 不仅较大地提高了融合影像的空间细节表现能力, 并保留了多光谱影像的绝大部分光谱信息.

[关键词] HIS 变换, àtrous 小波, 影像融合, 遥感影像

[中图分类号] P237 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2006)01-0116-05

Remote-Sensing Image Fusion Based on HIS Transform and àtrous Wavelet Decomposition

Hou Bin¹, Qiao Weifeng², Sun Zaihong²

(1. College of Remote-Sensing Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

(2. School of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: Remote-sensing image fusion is widely used in object recognition because of complementary nature of images from different sensors. In the past few years, many fusion methods have been introduced, where principal component analysis (PCA)-based fusion method, intensity-hue-saturation transform (HIS)-based one and wavelet transform (WT)-based one are commonly used. This paper presents a new remote-sensing image fusion method and its utilizing process based on HIS Transform and àtrous Wavelet Decomposition to fusion a multi-spectral image and a panchromatic image on the basis of analyzing HIS and Mallat wavelet. Visual result and statistical parameters indicate that the performance of the new method is better than those of HIS-based fusion method, WT-based one and PCA-based one. It enhances spatial detail information of the fused image largely and reserves spectral information of the original multi-spectral image well.

Key words: HIS transform, àtrous wavelet, image fusion, remote-sensing image

0 引言

遥感影像融合就是将不同类型传感器获取的同一地区的影像数据进行空间配准, 然后采用一定方法将各影像的优点或互补性有机结合起来产生新影像的技术. 一般地, 多光谱影像的光谱分辨率较高, 但空间分辨率比较低, 即空间的细节表现能力比较差; 全色影像具有高空间分辨率, 但光谱分辨率较低. 因此, 人们将多光谱影像和全色影像进行融合, 使融合后的影像具有较高的空间细节表现能力且同时保留多光谱影像的光谱特性^[1], 影像融合方法主要有 HIS 变换融合方法、PCA 变换融合方法、小波变换融合方法与高通滤波融合方法等, 其中, 前三种方法最具代表性, 也最常用.

在传统的 HIS 变换融合方法中, 由于直接采用全色影像替换多光谱影像的亮度分量, 从而在增强多光

收稿日期: 2004-11-25.

基金项目: 武汉大学青年博士基金资助项目(207980176).

作者简介: 后斌, 1975—, 博士研究生, 主要从事遥感图像处理与智能化研究. E-mail: bin. hou@163. com

谱影像的空间细节表现能力的同时,也带来了较大的光谱失真.因此,本文改变用全色影像直接替代多光谱影像的亮度分量的方式,利用 àtrous 小波分解的融合方法来融合多光谱影像的亮度分量与全色影像,提出了一种基于 HIS 变换和 àtrous 小波分解的遥感影像融合方法.

1 基于 HIS 变换与 àtrous 小波分解的遥感影像融合方法

1.1 àtrous 小波算法

小波分析是近年来影像分析的热点,由于它在时-频域都可局部化,通过变换能将影像的能量集中于特征附近,从而有效地探测影像的特征信息,因而可利用这一特性进行影像融合^[2].小波分析的关键是小波变换,常用的小波变换算法有 Mallat 算法和 àtrous 小波算法等^[3].Mallat 算法是多尺度分析算法,它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,影像的显著细节特征分布在高频分量部分;由于影像分解和重建过程中具有抽取和插值,这大大增加了计算的负担,同时也可能使得融合结果出现相位失真^[4].而 àtrous 小波算法是通过有限滤波器的内插近似,从而达到无抽取离散小波变换,相对于其他小波算法它具有以下特点:(1) 计算的空间和时间需求较合理,易于编程实现;(2) 具有二维等方向性,变换过程可通过滤波器滤波实现;(3) 计算不需进行抽样和插值,有利于获取影像的细节特征.因此适用于影像的数据融合^[5].

àtrous 小波算法的具体描述如下:假设原影像数据为 $\{C_0(k)\}$,经过尺度函数 $\phi(x)$ 的一次滤波后所得数据为 $\{C_1(k)\}$,则 $\{C_0(k)\} - \{C_1(k)\}$ 包含两尺度影像间的信息差,即细节信号(小波面),而在 j 次滤波后所得到的影像数据可由式(1)表示^[3]:

$$C_j(k) = \frac{1}{2^j} \phi(x), \Phi\left(\frac{x-k}{2^j}\right) > 0. \quad (1)$$

该过程也可用卷积运算代替,其公式为:

$$C_j(k) = \sum h(l) C_{j-1}(k + 2^{j-1} \cdot l). \quad (2)$$

而小波系数 $W_j(k) = \{C_{j-1}(k)\} - \{C_j(k)\}$,式(2)中的 $h(l)$ 为低通滤波算子,它与尺度函数 $\phi(x)$ 间的关系可表示为:

$$\frac{1}{2} \phi\left(\frac{x}{2}\right) = \sum h(l) \phi(x-l). \quad (3)$$

这样小波函数 $\phi(x)$ 可定义为:

$$\frac{1}{2} \phi\left(\frac{x}{2}\right) = \phi(x) - \frac{1}{2} \phi\left(\frac{x}{2}\right). \quad (4)$$

àtrous 小波变换实际上将输入影像数据分解为多个细节信号与一个背景信号,影像的细节特征集中于小波面中,而原影像即为各细节信号与背景信号的叠加,由此即可得到 àtrous 小波的重构公式^[6]:

$$C_0(k) = C_p = \sum_{j=1}^p w_j(k). \quad (5)$$

àtrous 小波算法可以很容易地扩展到二维空间.在二维空间其算法类似于用卷积核对影像进行滤波,由于 B_3 -spline 对不规则样本数据具有很好的插值性,通常选择 B_3 -spline 作为尺度函数,其二维卷积核 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} \frac{1}{256} & \frac{1}{64} & \frac{3}{128} & \frac{1}{64} & \frac{1}{256} \\ \frac{1}{64} & \frac{1}{16} & \frac{3}{32} & \frac{1}{16} & \frac{1}{64} \\ \frac{3}{128} & \frac{3}{32} & \frac{9}{64} & \frac{3}{32} & \frac{3}{128} \\ \frac{1}{64} & \frac{1}{16} & \frac{3}{32} & \frac{1}{16} & \frac{1}{64} \\ \frac{1}{256} & \frac{1}{64} & \frac{3}{128} & \frac{1}{64} & \frac{1}{256} \end{bmatrix}$$

1.2 HIS 变换融合方法

HIS 变换融合方法首先将空间分辨率低的 3 波段多光谱影像变换到 HIS 空间,得到色别 H、明度 I、饱和度 S 三分量;然后将高空间分辨率影像进行对比度拉伸,使之与 I 分量有相同的均值和方差;最后用拉伸后的高空间分辨率影像代替 I 分量,把它同 H、S 进行 HIS 逆变换得到融合影像^[7]。

HIS 变换融合法作为一种最常用的方法,融合影像不仅在空间分辨率和清晰度上比原多光谱影像都有相当大的提高,且较大程度上保留了多光谱影像的光谱特征。因而判读和量测能力都有很大提高,有利于改善判读、分类和制图精度等。对于城区资源调查和视觉分析尤其使用^[8]。但由于高空间分辨率影像与低分辨率多光谱影像获取时光照条件(气候、季节、时间等)、成像特征(光谱范围、光谱敏感性等)、地形起伏和地物变化等因素的影响,全色影像与明度影像不可能完全相关,因此融合影像光谱特性的扭曲是可察觉的,且 HIS 融合法只能同时对 3 个波段的多光谱影像与高空间分辨率影像进行融合。

1.3 基于 HIS 变换与 àtrous 小波分解的影像融合方法

为了克服 HIS 变换融合方法中光谱失真较大及 Mallat 小波变换算法融合影像会出现相位失真^[2]的缺点,本文采用基于 àtrous 小波分解融合方法来融合多光谱影像的亮度分量与全色影像,提出了一种基于 HIS 变换与 àtrous 小波分解的影像融合方法。新方法的具体步骤如下:

- (1) 对多光谱影像进行 HIS 变换,得到亮度、色度与饱和度三个分量;
- (2) 将配准后的高分辨率影像按式(2)进行 3~5 层 àtrous 小波分解得到的一组不同分辨率的小波面,在每一小波面中,绝对值较大的系数对应于原始影像中的显著特征(如边缘、线、区域边界等);
- (3) 将高分辨率影像经小波分解得到的各小波面叠加到低分辨率多光谱影像中,利用基于 àtrous 小波分解融合方法来融合多光谱影像的亮度分量与全色影像,把融合结果替代多光谱影像的亮度分量;
- (4) 对多光谱影像的亮度、色度和饱和度三个量 HIS 逆变换就得到融合影像。

2 影像融合结果分析

为了验证新方法的有效性,本文以 Landsat ETM 多光谱影像与 SPOT 全色影像融合为例,采用的影像为江苏省某城区已经过配准的 SPOT PAN(全色波段)与 Landsat ETM743 波段,影像大小为 500×500,如图 1、2 所示,新方法、HIS 变换、PCA 融合方法、基于特征的小波变换融合方法等 4 种融合方法的融合影像如图 3~6 所示。

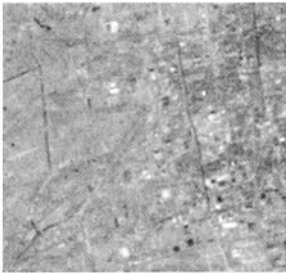


图 1 ETM 影像



图 2 SPOT 影像



图 3 新方法融合图像



图 4 HIS 变换融合影像



图 5 PCA 变换融合影像



图 6 特征 WT 融合影像

对于遥感影像融合效果的评价,应综合考虑空间细节信息的增强与光谱信息的保持。所以,一般应考

考虑两类统计参数:一类反映空间细节信息,如方差、信息熵和清晰度;另一类反映光谱信息,如扭曲程度、偏差指数与相关系数^[1].各种统计参数的定义如下:

(1) 方差.在统计理论中,方差 $\hat{\sigma}^2$ 定义为

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left[x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right]^2. \quad (5)$$

方差越大,则灰度级分布越分散,从而包含的信息量越大.

(2) 信息熵.对于灰度范围 $\{0, 1, \dots, L-1\}$ 的影像直方图, p_i 为灰度值等于 i 的像素数与影像总像素数之比, L 为灰度级总数,其信息熵定义为

$$H = - \sum_{i=0}^{L-1} p_i \ln p_i. \quad (6)$$

影像信息熵反映了影像携带的信息量的多少.影像的熵值越大,说明携带的信息量越大.

(3) 清晰度.影像清晰度采用剃度法来衡量,影像的剃度计算如下

$$\bar{g} = \frac{1}{n} \sum (\Delta I_x^2 + \Delta I_y^2) / 2. \quad (7)$$

其中: ΔI_x 与 ΔI_y 分别为 x 与 y 方向上的差分; n 为影像的大小.

(4) 扭曲程度.影像光谱扭曲程度直接反映了多光谱影像的光谱失真程度,其定义为

$$D = \frac{1}{n} \sum_i \sum_j |V'_{i,j} - V_{i,j}|. \quad (8)$$

其中: n 为影像的大小, $V'_{i,j}$, $V_{i,j}$ 分别为融合后和原始影像上 (i, j) 点的灰度值.

(5) 偏差指数.偏差指数由融合前的亮度值 I 和融合后的亮度值 I' 经下式计算

$$D_{\text{index}} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{|I(i, j) - I'(i, j)|}{I(i, j)}. \quad (9)$$

偏差指数用来表示融合影像和低分辨率多光谱影像的偏离程度.

(6) 影像的相关系数.影像的相关系数反映了两幅影像的相关程度,可用来表示多光谱影像的光谱信息的改变程度.两幅影像的相关系数定义为

$$C(f, g) = \frac{\sum_{i,j} [(f_{i,j} - e_f) \times (g_{i,j} - e_g)]}{\sum_{i,j} [(f_{i,j} - e_f)^2] \times \sum_{i,j} [(g_{i,j} - e_g)^2]}. \quad (10)$$

其中: $f_{i,j}$ 和 $g_{i,j}$ 分别为融合前、后影像 (i, j) 点的灰度值; e_f 与 e_g 分别为两幅影像的均值.

我们分别计算出各影像的性能统计参数,如表 1 所示:

表 1 各影像的性能统计参数(特征 WT 表示基于特征的小波变换融合方法)

影像	方差	信息熵	清晰度	扭曲程度	偏差指数	相关系数
ETM 影像	33.060	4.621	3.994			
SPOT 影像	46.703	5.007	11.635			
HIS 变换融合	43.390	4.974	11.027	33.362	0.339	0.251
PCA 变换融合	43.652	4.867	10.952	33.095	0.333	0.261
特征 WT	47.852	5.052	12.827	26.131	0.284	0.630
新方法	44.820	5.168	12.675	23.771	0.261	0.653

从表 1 的性能参数可以看出,与 HIS 变换融合方法以及 PCA 变换融合方法相比较,新方法的融合影像的方差、信息熵、清晰度与相关系数最大,而扭曲程度与偏差指数最小,说明新方法在光谱信息的保持与空间信息的增强上均优于这两种方法.与基于特征的小波变换融合方法的融合影像相比较,新方法在方差与清晰度上较弱,在信息熵上相当,说明新方法的融合影像在空间细节信息的表现能力上相当,而且光谱信息的保持上有改善.

从视觉效果上看,新方法的结果影像保留了多光谱影像的绝大部分光谱信息,在细节信息上具有明显的改善.与 HIS 变换融合方法以及 PCA 变换融合方法相比较,新方法的融合影像有明显的改善,在空间细节信息的表现能力上有了很大程度的提高.与基于特征的小波变换融合方法的融合影像相比较,新方法在空间细节信息的表现能力上相当,而光谱信息保留上均优于前者,总体效果优于前者.

3 结束语

影像融合结果的好坏主要是看融合影像是否保持了参与融合的原影像的光谱特征和细节特征,为融合效果的定性分析一般可采用清晰度、信息熵值等作为准则。清晰度是用来评价影像的模糊程度,它反映影像中微小细节反差与纹理变化特征。在影像平面上,某一方向的灰度级变化率大,它的梯度也就大,其清晰度也就高,信息熵值反映影像表达信息的多少,决定影像的复杂程度,熵值低则说明影像像素组合方式的种类单调,影像表达的信息量少;反之,影像表达的信息量多。

利用基于 HIS 变换与 \hat{a} trous 小波分解的融合算法对同一地区的两幅 TM 影像和 SPOT-PAN 影像进行融合处理,融合前后影像信息统计值如表 1 所示,通过对融合结果的统计值进行分析,笔者发现,融合影像的熵值比原多光谱影像有所增加,这说明融合达到了影像信息富集的目的;影像的清晰度值提高较为明显,说明融合影像的细节特征得到增强;而影像的像元值的范围基本保持不变,说明融合后影像基本保持原多光谱影像的光谱影像的光谱特性。利用清晰度等统计值评价只是从定量方面来考虑融合影像的质量,定性分析可以更直观地判断融合结果是否符合实际工作要求。作为对定量评价的有效补充,通过对各种方法融合前后影像的对比(图 3—图 6),可以看到新方法在清晰度上提高了很多;在原影像中城镇部分较模糊,道路的轮廓也不清晰,而在利用新方法融合后的影像中可较清楚地观察到城镇结构比较清楚,道路的边缘部分也容易辨别,同时还可以观察到原多光谱影像中看不到的细节特征。在影像的光谱特性方面,新方法融合影像相对多光谱影像从人的视觉效果来说没有明显的变化,而相对高分辨率影像则增加了光谱信息,从而有利于地物的判别。因此,本文提出的基于 HIS 变换与 \hat{a} trous 小波分解的影像融合方法,不仅较大地增强了融合影像的空间细节表现能力,而且很好地保留了多光谱影像的光谱信息。

[参考文献]

- [1] 孙家柄,刘继琳,李军. 多源遥感影像融合[J]. 遥感学报, 1998, 2(1): 47—50.
- [2] Núñez J, Fors X O, Prades A, et al. Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37(3): 1204—1210.
- [3] 崔锦泰. 小波分析导论[M]. 程正兴译. 西安: 西安交通大学出版社, 1995.
- [4] 陆关祥,周鼎武,王居里,等. 复杂结构构造区遥感图像的地质信息提取方法——基于小波变换的多层次图像分割[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(1): 50—54.
- [5] 陈建国,夏庆霖. 利用小波分析提取深层次物化探异常信息[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24(5): 509—511.
- [6] 张晓东. \hat{a} trous 小波分解在边缘检测中的应用[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2002, 26(1): 31—32.
- [7] 王润生. 图像理解[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1995.
- [8] 陈延标,夏良正. 数字图像处理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1990.

[责任编辑:陆炳新]