

# 不同景观特征遥感图像融合的最佳 分解层数选取分析

郭冠华<sup>1</sup>, 陈颖彪<sup>1\*</sup>, 吴志峰<sup>1,2</sup>, 魏建兵<sup>2</sup>

(1. 广州大学 地理科学学院, 广州 510006; 2. 广东省生态环境与土壤研究所, 广州 510650)

**摘要:** IHS 和小波变换相结合的融合方法是一种高效的融合算法。影响该算法性能的因素有很多, 其中分解层数的选取对融合图像质量有重要影响, 故针对不同景观特征影像选取最佳分解层数的问题有待深入探讨。本文以 SPOT 全色影像和 TM 多光谱影像, 选取信息熵、平均梯度和相关系数 3 个质量指标, 就不同景观特征影像对小波分解层数的响应问题开展了研究。结果表明: 融合图像质量与原影像地物景观特征有密切关系; 不同景观融合图像信息熵在分解层数下表现出较强的变异, 相关系数变异较弱, 就单一景观影像而言, 林地景观对分解层数更为敏感; 各质量指标的变异规律差异明显, 不同景观影像临界层数也各异, 可根据其变异曲线特征针对不同景观特征影像确定最佳分解层数。

**关键词:** 影像融合; 景观特征; 小波变换; 最佳层数

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2011.00556

## 1 引言

多源遥感影像信息融合是遥感影像处理的热点问题<sup>[1-2]</sup>。在众多的影像融合算法中, IHS 和小波变换融合方法是提高融合图像质量的有效途径<sup>[3-4]</sup>。小波变换的多分辨率分析特性是信息和图像处理等的热点问题。已有学者运用小波变换或结合相关的图像变换方法开展了多源遥感影像融合研究<sup>[5-8]</sup>。除上述有关小波变换融合方法的研究外, 一些专家学者已关注到小波变换中参数的选取对融合图像质量影响的问题。如陈木生<sup>[9]</sup>探讨了多聚焦图像融合中最佳小波分解层数的问题, 杨飒<sup>[10]</sup>从图像信息熵出发构建了医学图像融合最佳分解层数选择法, 龚建周<sup>[11-12]</sup>就小波 IHS 变换中小波基和分解层数的选取对多源影像融合图像质量的影响作了深入探讨。对此, 不同景观特征(图像特征)与小波分解层数间的互动关系研究鲜有报道。

包含不同景观特征(地物信息)影像在空间纹理及图像内容分布特征上存在差异, 经小波变换后

各自小波系数分布特征也不尽相同, 加上不同分解层数的设定能影响变换后小波系数的时频特征及变化范围, 最终影响小波重构后的融合图像质量。所以, 应针对不同景观特征遥感影像设定不同的分解层数, 使得融合效果达到最佳状态。本文以 TM 多光谱和 SPOT 全色影像为数据源, 选取城市景观、城镇景观、农田景观和林地景观 4 种典型特征影像, 从遥感影像景观特征角度出发针对小波分解层数对小波 IHS 融合算法性能的影响进行探讨, 并通过分析其中的差异提出适合于不同景观特征影像融合的最佳分解层数。本研究有利于补充小波变换参数选取与不同图像特征影像融合效果之间关系的研究, 同时为针对不同景观特征影像快捷选取最佳融合规则提供参考。

## 2 数据处理与融合方法

### 2.1 数据的处理

本文选取覆盖广州市中部地区的 SPOT 全色影像(2009.01.01)和 Landsat TM 影像(2008.12.17)。

**收稿日期:** 2011-03-23; **修回日期:** 2011-06-07.

**基金项目:** 中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室开放研究基金(A0710, 2010KF0006SA); 国家自然科学基金项目(40871229); 广东省自然科学基金项目(9151065003000000)。

**作者简介:** 郭冠华(1986-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事景观生态学与 GIS 应用研究。E-mail: gghgiser@qq.com

\* **通讯作者:** 陈颖彪(1969-), 吉林人, 男, 博士, 教授, 主要从事遥感和 GIS 技术应用研究。E-mail: chenyingb@21cn.com

具体处理流程如下:(1)以 SPOT 全色影像为基准对 TM 影像进行相对几何精校正。为保证融合效果,本文对 TM 影像进行了两次精校正,即先将整幅影像校正到 SPOT 的投影空间上,后裁剪 TM 影像上的研究区部分,再对其进行几何精校正,两次校正配准误差控制在 2.5m 以内;(2)选取 TM5、

TM4 和 TM3 作假彩色合成,得到 RGB 合成影像;(3)对合成后 TM 影像和 SPOT 全色影像分别裁剪出大小为 817 行和 817 列(30m 分辨率)的城市景观影像、城镇景观影像、农田景观影像和林地景观影像,作为融合原数据(原数据及融合图像效果见图 1)。



图 1 4 种景观原多光谱影像及其融合图像  
Fig. 1 Mutli-spectral images of four kinds of landscapes and their fusion images

除影像的几何精校正、彩色图像合成和裁剪在 ERDAS 9.1 里完成外,融合算法的实现和相关图像质量指标计算均在 Matlab 中编程完成。

2.2 融合方法与质量评价

(1)IHS 和小波变换结合的融合方法  
IHS 变换中,首先把图像分解为 3 个相关性较小的分量,即明度(I)、色度(H)和饱和度(S),然后用全色影像代替 I 分量,最后经 IHS 反变换得到融合影像。通过 IHS 变换得到的融合图像的空间信息有很大的提高,但由于原始多光谱影像中代表空间信息的 I 分量被完全替换,融合后的影像会产生较大的光谱扭曲,在很大程度上降低了融合质量。IHS 和小波变换结合的融合方法能够有效平衡高空间、低光谱分辨率和低空间、高光谱分辨率影像之间的信息权衡关系<sup>[5]</sup>。首先分别对 IHS 变换后的 I 分量和全色影像进行一定尺度下的小波分解,

用小波变换后的全色影像细节信息代替 I 成分的细节信息,重新组合新的 I 分量小波系数,而后经小波重构得到融合图像。在系数替代过程中,由于多光谱图像变换而来的 I 分量的近似信息得到保留,所以,原多光谱影像的光谱信息在很大程度上得到保留,使融合图像光谱扭曲程度大大降低。  
小波变换的融合方法实际上是对影像进行不同层次的小波分解,应用不同的分解层数决定了对图像信息的处理层次。小波变换可以对影像进行任意层数的分解,所有层数分解的信息总和逼近原始信息<sup>[11]</sup>,一般而言,小波分解层数越多,越能有效地剔除大量不重要的系数<sup>[13]</sup>,融合图像的细节信息更加丰富,提高了融合图像质量。但是分解层数越多意味着级别间的滤波器越多,经小波反变换后信号移位的几率就越大,而且分解层数过多会因小波反变换时进行边界延拓导致融合图像失真<sup>[14]</sup>。所以,小波分解层数的设定,应与图像地物景观特

征相一致,最佳分解层数也需以影像的具体特征和实际应用来确定。

(2) 融合图像的质量评价

融合质量定量评价是多源遥感影像融合的重要步骤,本文从图像信息量、清晰度和光谱保证度三个角度出发选取信息熵、平均梯度、相关系数对融合图像进行定量评价。所选取指标的计算公式详见相关文献 [3,15]。

3 景观特征图像融合的最佳分解层数选取分析

通过对 4 种景观特征影像的 3 层分解小波融合(表 1)。

表 1 遥感影像及融合图像质量指标(分解层数:3)

Tab. 1 Quality of images fusion (according to 3 decomposition levels)				
		信息熵	平均梯度	相关系数
城市景观	TM	18.3911	2.9995	\
	Pan	5.6898	14.9548	\
	Fusion	15.4537	14.7845	0.3585
城镇景观	TM	18.6407	2.4550	\
	Pan	6.1453	13.9399	\
	Fusion	16.2566	13.7952	0.4560
农田景观	TM	18.4296	2.2468	\
	Pan	5.4430	10.6983	\
	Fusion	15.5356	10.5247	0.4113
林地景观	TM	18.6045	2.5136	\
	Pan	4.0421	16.4602	\
	Fusion	16.0198	16.2530	0.4646

从表 1 可以看出,IHS 和小波变换结合的融合方法能有效提高融合图像质量。融合图像质量与原始影像所含地物覆盖类型密切相关。4 种景观中原始影像信息熵和平均梯度最高的是城镇景观和林地景观,其融合后的信息量和清晰度仍然保持优势。融合后的城市景观影像信息量较全色影像提高 171.60%,农田景观提高 185.42%;在清晰度方面,城市景观改进程度比农田景观大,城市景观平均梯度较 TM 影像提高 11.7850,农田景观提高 8.2779。表 1 中的相关系数差异显示,林地景观融合影像与原始多光谱影像的相关性最大,表明林地景观影像在光谱保真性方面更有优势,城镇景观保

真性次之,为 0.4560,城镇景观光谱保真性最差,仅为 0.3585。融合图像的光谱保证度可能与影像所含地物植被覆盖情况有关。

3.1 不同景观类型影像在不同分解层数的变异规律

3.1.1 变异系数

利用变异系数表征不同景观融合图像质量的统计指标的相对变化范围。表 2 为不同景观融合图像质量指标在不同分解层数下(1-10 层)的变异系数,反映不同景观影像对分解层数的敏感性差异。

表 2 不同景观融合图像各质量指标变异系数

Tab. 2 Coefficients of variation of three indices in different images

景观类型	信息熵	平均梯度	相关系数
城市景观	0.000285	8.99E-06	3.18465E-05
城镇景观	0.000184	3.62E-06	2.04441E-05
农田景观	0.000594	1.03E-05	5.25867E-05
林地景观	0.000911	7.5E-06	2.9746E-05

不同质量指标对分解层数的变化响应是不同的,而同一质量指标变异性也因不同景观影像而异。从表 2 可看出,表征融合图像信息量的信息熵变异性最强,其变异系数远高于其他两个指标。而表征光谱保真度的相关系数变化最小,相关系数较大的农田景观也只有 5.25867E-05,可见,相关系数对分解层数的响应不敏感。从不同景观的融合图像质量指标变异系数来看,林地景观信息熵变化最大,远高于其他景观类型,且其表征图像清晰度的平均梯度变异性也较强,仅次于城市景观的 8.99E-06,可见林地景观整体上对分解层数的敏感性较强。农田景观信息熵变化也比较大,而平均梯度变化较小。城市景观平均梯度变化最大,相关系数变异程度仅次于农田景观。

3.1.2 各融合图像质量指标的变异规律

在小波 IHS 融合过程中,不同景观类型影像和分解层数的选取会对融合图像质量产生影响,为比较分析不同景观特征影像融合质量对分解层数的敏感性差异,对 4 种景观特征分别进行 1-10 层小波分解融合,对融合后各质量指标进行线性归一化转换(公式 1)。

$$Y = (X - \text{Min}V) / (\text{Max}V - \text{Min}V) \quad (1)$$

式中,X 和 Y 分别是转换前和转换后的值,MinV

和 MaxV 分别是各质量指标的最小值和最大值。图 2 为归一化处理后各类景观融合图像质量指标曲线,从中可看出归一化后的各景观特征图像曲线特征差异十分明显。

(1)信息熵

表示信息含量,信息熵越大反映图像信息量越多,影像融合质量越好。根据图 2(a)信息熵曲线变化特征,可以将 4 类景观分成两组分别予以讨论。一组是城市景观和农田景观,曲线峰值分别出现在第 5 层和第 6 层上,两端曲线较低水平波动变化。其中,第 7 层可视为农田景观融合图像信息熵指标下降的临界层数,等于或大于 7 层后融合图像信息量非常小。第二组是城镇景观和林地景观,信息熵最大值分别出现在分解层数两端。当分解层数为 1 时,城镇景观信息量最大,其后熵值急速下降,在 2-7 内波动变化,分解层数为 5 时熵值最小,当分解层数大于 7 时信息熵稳定地保持在较低水平。林地景观信息熵最大值出现在第 7 层上,并且在第 7 层后信息熵仍然保持在较高水平。

(2)平均梯度

反映图像清晰度,平均梯度越大,图像清晰度越高,融合质量越好。分析图 2(b)发现不同景观特征影像平均梯度对分解层数的响应曲线差异明显。根据曲线总体波动特征可将 4 类景观特征影像分为增加趋势和减少趋势两组。城市景观和农田景观属于增加趋势组:分解层数为 1 时,二者平均梯度最小,随分解层数的增加图像清晰度持续增强;城市、农田景观分别在第 5、6 层达到最大值,其后城市景观稍有下降后基本保持不变,而农田景观在第 6 层后快速下降,在第 8 层后有所回升。城镇景观和林地景观属于减少趋势组:分解层数为 1 时,城镇景观平均梯度最大,融合图像清晰度最高,当层数为 2 时平均梯度迅速下降至最小值,在第 3 层上有所提升,平稳下降至第 7 层后曲线保持平直状态;林地景观在分解层数为 2 时平均梯度最大,随着分解层数的增加,清晰度持续下降,第 6 层上平均梯度出现剧降。第 6 层是林地景观清晰度的临界层数,超过 6 层,融合图像清晰度变得很差。

(3)相关系数

表征融合图像与原始多光谱影像的相关性,相关系数越大,融合图像能较好地保留多光谱影像的光谱信息,图像质量越好。从图 2(c)可以看出,相关系数波动曲线与熵值曲线较为相似,4 类景观影

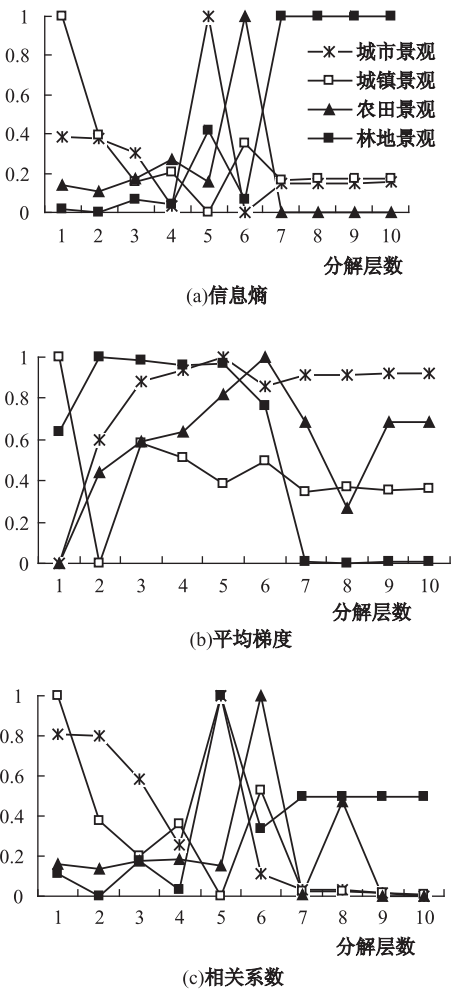


图 2 4 种景观类型影像融合质量对分解层数的响应曲线

Fig. 2 Response curves of fusion quality with various images

像在 1、5、6 层数上光谱保真度较好。其中,城市景观在层数 1 上相关系数较高,随分解层数的增加相关系数整体上呈下降趋势,在第 5 层上相关系数为最大值,当分解层数大于 6 时融合图像的相关系数变得十分低,因此,层数 6 可认为是城市景观融合的临界层数。当分解层数为 1 时城镇景观相关系数最大,在第 2 层上急速下降后波动变化,第 7 层后系数值平稳保持在较低水平。农田景观在层数 6 上光谱保真度最高,在 1-5 层上相关系数较低,且变化平稳,在层数 8 上出现次高值。因此,层数 9 是农田景观的临界层数。林地景观在分解层数 5 上相关系数最大,在两侧分解层数上系数值波动变化。

3.2 不同景观特征影像最佳分解层数选取分析

根据上节各景观融合图像质量指标数据,统计



各景观特征影像的信息熵、平均梯度和相关系数指标最高值和次高值,得到表 3,分析不同景观影像融合质量的最佳分解层数。

表 3 不同景观影像融合质量的最佳层数

Tab. 3 Best number of decomposition levels for fusion of different landscape images

特征影像	信息熵		平均梯度		相关系数		最佳层数
	最高值	次高值	最高值	次高值	最高值	次高值	
城市景观	5	1	5	4	5	1	5
城镇景观	1	2	1	3	1	6	1
农田景观	6	4	6	5	6	5	6
林地景观	≥7	5	2	3	5	7	5

从表 3 可以看出,不同景观特征影像最佳分解层数是不同的,同时也因质量指标而异。城市景观在 5 层分解上融合图像无论在信息量、清晰度和光谱保证度方面都达到最优,表示 5 层是城市景观影像的最佳分解层数。当分解层数为 1 时,城镇景观融合图像 3 个质量指标同为最大值,显示城镇景观的最佳分解层数为 1 层。对于农田景观,设定分解层数为 6 能得到效果最优的融合图像,在第 4、5 层上,融合质量也较好。当分解层数≥7 时,林地景观融合图像信息量最高,但平均梯度和相关系数的最大值分别为第 2 层和第 5 层,其次高值分别为第 3 层和第 5 层。分析图 2 可知,当分解层数大于 7 时,林地景观的清晰度已变得很低,它是其平均梯度的临界层数,不适合设定为分解层数。而在第 5 层上,林地景观即使不是平均梯度的次高值,但也处于较高水平,且与最高值相差不大。所以,结合相关系数曲线变化特征,可以得出林地景观的最佳分解层数为 5。

4 结论

上述研究表明,小波 IHS 的融合方法能明显改善融合图像质量,并且融合质量与影像地物信息特征密切相关,如对林地景观进行融合时,各质量指标都优于其他景观影像。在不同分解层数下各景观融合图像质量的相对变化特征是不同的,相对而言林地景观整体上对分解层数更为敏感,对比各质量指标可知信息熵对分解层数的变异性最强,平均梯度最弱。不同景观特征影像融合质量对小波分解层数的响应特征差异明显,并且不同质量指标的

曲线波动特征也不同,这种差异与特定景观特征影像本身所含的地物特征密切相关。根据这些质量指标曲线,可以得到针对不同景观特征影像的最佳分解层数,如对于农田景观,设定分解层数为 6 能使各质量指标达到最佳状态。

IHS 和小波变换结合的融合算法能够通过小波变换中参数的设定来灵活调节不同景观特征影像融合图像各质量指标的表现,其中设定最佳的分解层数就是一种有效的方法。分解层数并不是越多越好,而是以某一层数为阈值,一旦超过阈值融合效果就会变差。最佳分解层数选取与原始影像数据所含地物特征密切相关,所以,应针对不同景观特征影像动态设定最佳层数。

参考文献:

[1] Tison C, Tupin F and Maltre H. A Fusion Scheme for Joint Retrieval of Urban Height Map and Classification from High-resolution Interferometric SAR Images[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41( 11 ): 2540 - 2556.

[2] Pohl C, Van Genderen J L. Review Article Multisensor Image Fusion in Remote Sensing Concepts, Methods and Applications[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998,19(5):823 - 854.

[3] 胡子付,曾志远,张振龙,等. 小波和 IHS 变换结合实现 ETM 图像波段融合[J]. 地球信息科学,2005,7(4): 29 - 32.

[4] 龚建周,陈健飞. 多源遥感影像融合的图像质量评价及变化区域识别[J]. 广州大学学报(自然科学版),2009, 8(6):37 - 42.

[5] Zhou J, Civco D L, Silander J A. A Wavelet Transform Method to Merge Landsat TM and SPOT Panchromatic Data [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998,19(4):743 - 757.

[6] 李军,周月琴,李德仁. 小波变换用于高分辨率全色影像与多光谱影像的融合研究[J]. 遥感学报, 1999, 3 (2):116 - 121.

[7] Zhang Yun, Hong Gang. An IHS and Wavelet Integrated Approach to Improve Pan-sharpening Visual Quality of Natural Colour IKONOS and QuickBird Images [J]. Information Fusion,2005,6(3):225 - 234.

[8] Chibani Y, Houacine A. The Joint Use of IHS Transform and Redundant Wavelet Decomposition for Fusing Multispectral and Panchromatic Images[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23 (18): 3821 - 3833.

[9] 陈木生,狄红卫. 多聚焦图像融合的最佳小波分解层研究[J]. 光电工程,2004,31(3):64-67.

[10] 杨飒. 医学图像融合中最佳小波分解层数的选择[J]. 计算机工程与设计,2008,29(20): 5265-5268.

[11] 龚建周,刘彦随,夏北成,等. 小波基及其参数对遥感影像融合图像质量的影响[J]. 地理与地理信息科学, 2010,26(2):6-10.

[12] 龚建周,刘彦随,夏北成,等. IHS 和小波变换结合多源遥感影像融合质量对小波分解层数的响应[J]. 中国

图象图形学报, 2010,15(8):1269-1277.

[13] 毕迎春,王相海. 小波基和图像分解层数对不同类型图像 EZW 算法的性能的影响[J]. 计算机科学,2006,33(6):232-235.

[14] 杨飒. 医学图像融合中最佳小波分解层数的选择[J]. 计算机工程与设计,2008,29(20): 5265-5268.

[15] 韩玲, 吴汉字. 像素级多源遥感影像信息融合的客观分析与质量评价[J]. 遥感信息,2005(5):40-44.

Optimal Number of Decomposition Levels for Fusion of  
Different Landscape Images

GUO Guanhua<sup>1</sup>,CHEN Yingbiao<sup>1</sup>,WU Zhifeng<sup>1,2</sup>,WEI Jianbing<sup>2</sup>

(1. School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China;

2. Guangdong Institute of Eco-environment and Soil Sciences, Guangzhou 510650, China)

**Abstract:** The joint use of IHS and wavelet transforms is a popular fusion method to incorporate multi-spectral remote data and high-resolution panchromatic data. However, some important factors have been directly neglected when this method is adopted. In these factors, number of decomposition levels is the key to influence the effect of the fusion images, and the problem about how to choose the optimal number of decomposition level according to remote images with different landscape characteristics should be focused on. In this paper, SPOP panchromatic data with 2.5×2.5m and TM mutli-spectral data with 30×30 m were used, entropy, average gradient and correlation coefficients were calculated as the evaluation indices for fusion images. The object of this paper was to explore the response of fusion images performances from different landscape characteristics to the choice of number of decomposition levels, and according to those results from the fusion treatments we found the optimal number of the levels to the given remote images. The results showed that the performances of fusion images had a close relationship with land-cover information and landscape types included in the remote images obviously. Entropy of different landscape images displayed very strong variance with changing decomposition levels, but those with correlation coefficients were slight. Comparing with other types of remote images, forest landscape images showed the most sensitive relationship with number of decomposition levels. Different indices exhibited different characteristics to decomposition levels, and images with different landscape information had their specific critical decomposition levels. According to the analysis given above, the optimal number of the levels to a given remote image could be confirmed. For example, five was the optimal number of the levels of urban landscape image. With this choice, fusion image exhibited the best performance in three evaluation indices. This paper tries to provide helpful information when we use the integration of wavelet transforms and IHS as the method in multiple sources remotely sensed data fusion.

**Key words:** images fusion; landscape characteristics; wavelet transform; optimal number of levels