

# 基于 ETM + 遥感图像的图像融合试验及评价方法

孟京辉<sup>1</sup>, 陆元昌<sup>1\*</sup>, 刘刚<sup>1,2</sup>, 王懿祥<sup>1,3</sup>

(1. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091; 2. 华中农业大学园艺林学学院, 湖北 武汉 430070;  
3. 浙江林学院环境科技学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 为了对比分析不同方法在融合 ETM + 遥感图像的高空间分辨率全色波段和多光谱波段的效果, 选取基于彩色技术的 IHS 和 RGB 变换、基于图像变换技术的 PC 变换、Gram-schmidt 变换和基于算数技术的 Brovey 变换 4 种融合方法, 对研究区域 ETM + 图像进行了融合, 并采用衡量信息量的信息熵、标准差及衡量光谱保真能力的偏差指数和相关系数进行了融合效果评价。融合结果表明: 依 Brovey、IHS、PC、Gram-Schmit 方法融合后的图像, 其光谱保真程度逐渐降低。Brovey 变换最大限度保持了原始图像的光谱信息, 而空间信息的详细程度较差; IHS 变换空间融合后的图像空间细节信息最大, 但光谱保真能力差; PC 变换和 Gram-schmidt 变换后融合图像的光谱保真和空间信息详细程度介于 Brovey 和 IHS 之间; Brovey 和 IHS 有较好的融合效果。

**关键词:** 图像融合; 融合方法; 效果评价

**中图分类号:** S757

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000 - 2006(2010)01 - 0069 - 04

## Trial of image fusion methods and quality assessment for ETM + image

MENG Jing-hui<sup>1</sup>, LU Yuan-chang<sup>1\*</sup>, LIU Gang<sup>1,2</sup>, WANG Yi-xiang<sup>1,3</sup>

(1. Institute of Forest Resource Information Techniques, CAF, Beijing 100091, China; 2. College of Horticulture and Forestry Science, Huazhong Agricultural University, Wuhan, 430070, China;  
2. School of Environmental Technology, Zhejiang Forestry College, Lin'an, 311300, China)

**Abstract:** In order to evaluate different fusion methods in merging pan band and multispectral band for ETM + image, fusion methods such as color based technique, nominal technique and image transformation were used and tested. For the quality assessment of fusion methods, quantitative analysis was done using the following criteria: standard variation, information entropy, bias index, correlation coefficient. The result showed that there was an obvious improvement of the spatial resolution for all fusion methods. For the spectral fidelity, it was decreasing following such an order: Brovey, IHS, PC and Gram-Schmit. Brovey kept the maximum spectral information of the original image but the details of spatial information were the lowest. In contrast, IHS had the highest spatial information but the spectral fidelity was not encouraging. PC and Gram-Schmit were in the middle level concerned with the detail of spatial information and spectral fidelity. Brovey and IHS were the two best fusion methods for this study and the results made significant sense for work related with remote sensing in the study area.

**Key words:** image fusion; fusion methods; quality assessment

随着遥感技术的不断进步, 遥感图像向着高空间分辨率、高光谱分辨率、高时间分辨率发展, 不同的图像有自身的优势和不足, 但就同一数据而言, 往往很难得到高空间分辨率和高光谱分辨率的统一。遥感图像融合是对多遥感器的图像数据和其他信息的处理过程, 着重于把那些在空间或时间上

冗余的多元数据按一定的规则进行运算处理, 获得比任何单一数据更精确、更丰富的信息, 生成一幅具有新的空间、波谱、时间特征的合成图像<sup>[1]</sup>。图像融合有以下几个优点: 节省计算机存储空间; 增加空间分辨率; 增加图像的解译度<sup>[2]</sup>。融合后的图像具有全色波段图像数据的高空间分辨率, 同时

收稿日期: 2009 - 03 - 17

修回日期: 2009 - 10 - 25

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划(2006BAD23B01); 国家自然科学基金项目(30671679)

作者简介: 孟京辉(1980—), 博士生。\* 陆元昌(通信作者), 研究员。E-mail: ylu@caf.ac.cn。

引文格式: 孟京辉, 陆元昌, 刘刚, 等. 基于 ETM + 遥感图像的图像融合试验及评价方法[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34(1): 69 - 72.

保持最初的多光谱数据的光谱分辨率,因此有利于地物的提取<sup>[3-4]</sup>。与 TM 遥感图像相比较,ETM + 遥感图像增加了光谱分辨率为 15 m × 15 m 的全色波段,从而使得在同一遥感器图像的基础上,增加多光谱图像的空间分辨率成为可能。笔者主要探求地物覆盖信息提取过程中 ETM + 遥感数据的融合方法及融合效果的评价方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

保定市位于河北省中西部,西靠太行山,东临白洋淀,属暖温带亚湿润气候,春季干燥多风,夏季炎热多雨,秋季湿润凉爽,冬季寒冷少雪,四季分明。年平均气温 12.7 °C,年平均风速 1.8 m/s,年降水量 575.4 mm,无霜期 165 ~ 210 d。考虑到试验区应有足够的典型性和代表性,研究中选取以保定市北部涵盖林地、河流、裸岩、建筑、不同农作物等地物的特定区域进行不同融合效果的分析评价。

### 1.2 图像融合方法

从融合的技术角度来分,图像融合可以归结为彩色相关技术、算术运算和图像变换<sup>[1]</sup>。

#### 1.2.1 彩色技术

(1) RGB 彩色合成。RGB 彩色合成是应用最为广泛的方法,有利于对多波段进行解译,即通过指定 3 个不同波段的图像,再给予 RGB 三原色对其彩色合成,从而使目的物从视觉上容易得到区分。

(2) IHS 变换。IHS 彩色变化是将标准 RGB 图像分离为代表空间信息的明度(I)、代表波谱信息的色别(H)、饱和度(S)这 3 个分量,然后以明度分量为依据,对全色高分辨率图像进行对比度拉伸操作,使其能够达到明度分量相同的方差和均值,从而替换明度分量,再做 IHS 反变换从而得到融合后图像。

#### 1.2.2 算术运算

Brovey 变换法对 RGB 空间的多光谱波段进行归一化处理,处理的结果和高分辨率的图像进行乘运算,从而完成融合。该方法最大限度地保留了多光谱的信息,同时融合后的直方图两端差异明显,所以增加了高低亮度之间的对比,有利于遥感信息的提取。

#### 1.2.3 图像变换

(1) 主成分变换(PCA)。主成分变换(PCA)又称为 K-L 变换或霍特林变换,是基于变量之间的相关关系,在尽量不丢失信息的前提下的一种线性变换方法,主要用于数据压缩和信息的增强<sup>[5]</sup>。在图像融合中,主成分变换通常分两种方式:第 1

种是通过对高空间分辨率图像进行拉伸,使之达到多波段图像的第 1 主成分的方差和均值,从而替代多波段图像的第 1 主成分。由于第 1 主成分的方差最大,所以包含的信息最多,因而融合之后的图像不但提高了空间分辨率同时还具有多光谱信息。第 2 种方法是对多波段数据的所有波段进行主成分变换,从而生成一幅图像,进而减少数据的冗余<sup>[1]</sup>。该研究采用第 1 种方法。

(2) Gram-schmidt 变换法。Gram-schmidt 变换法和主成分变换存在一定的共同性,所不同的是,进行 Gram-schmidt 变换所得到的各个分量的信息量大小并没有较大的差别,而主成分变换后的图像,其第 1 主成分包含的信息量最大,后面分量的信息则逐渐减小。此外,该方法对融合波段的数量没有限制,可以对所有多光谱波段进行融合<sup>[6-7]</sup>。

### 1.3 融合算法评价

图像的质量是对图像的光谱信息和空间信息的衡量,图像融合就是在增加多光谱图像空间分辨率的基础上同时保持原有的光谱信息,进而改善图像的质量,利于信息的提取<sup>[8-10]</sup>。所以对不同融合算法的评价准则就是在增加空间分辨率的前提下其光谱保真能力的强弱。目前评价融合的方法有主观定性评价法和客观定量评价法。主观评价法简单易行,但由于主观性势必会导致图像解译的下降;客观定量评价法则是基于统计学特性,不受人为主观的干涉,进而客观地反映融合效果的好坏<sup>[11]</sup>,对于由不同融合算法所得的图像常常从空间信息详细程度、光谱信息量方面进行评价。

#### 1.3.1 图像空间信息指标

(1) 标准差。图像标准差反映了整幅图像灰度值和其均值偏离程度,标准差越大则灰度值之间的差异也就越大,图像的反差也就越大,也就更利于信息的提取<sup>[12]</sup>,影响因素包含像元行列数和图像灰度值。

(2) 熵。图像中信息量的多少通常用熵来进行衡量,如果熵值越大,则表明此图像中的信息量越多,反之则越少。融合后的图像,熵值越大,则说明融合的图像中所蕴含的信息越多,融合的效果也就越好<sup>[1]</sup>,熵的影响因子包括像元数及灰度级。

#### 1.3.2 图像光谱信息指标

(1) 偏差指数。偏差指数为原始图像和融合后图像灰度均值之差,从一定程度上反映了融合图像对原始图像光谱信息的保存能力,偏差指数越小,则说明融合后图像光谱保真能力越强<sup>[12]</sup>,其主要影响因子为原始图像和融合图像的灰度值。

(2)相关系数。图像之间的相关性采用相关系数进行衡量。融合后的图像与相应的多光谱图像之间的相关性可以反映出融合后图像对原多光谱图像的光谱信息的保存能力,相关系数越大,融合图像的光谱保真能力就越强<sup>[12]</sup>,它的主要影响因素为图像及其灰度值。

2 结果与分析

2.1 图像融合试验结果

选取试验区 2000 年 5 月 7 日的 ETM + 遥感图像进行融合试验。对 ETM + 遥感图像而言,3 个可见光波段(即第 1、2、3 波段)、2 个中红外波段(即

第 5、7 波段)之间的相关性很高,而第 4 波段相与其他波段的相关系数都较小。为了避免信息的重复与冗余,应从 1、2、3 波段中选择一个,5 和 7 波段中选择一个,然后与第 4 波段进行假彩色图像合成<sup>[13-14]</sup>。由于该研究试验区域包括:农田、水体、建筑物等地物,而农田和林地在 ETM + 4 波段上(近红外波段)有很好的区分性,水体、建筑物和植被(林地和农田)在 ETM + 3、5 波段上也有较好的区分性<sup>[15]</sup>,所以该研究选择 5、4、3 波段,并分别采用 IHS 变换、PCA 变换、Brovey 变换和 Gram-Schmit 变换对 ETM + 30 m 分辨率和 15 m 分辨率的 Pan 数据进行融合,再对不同融合方法进行比较,结果见图 1。

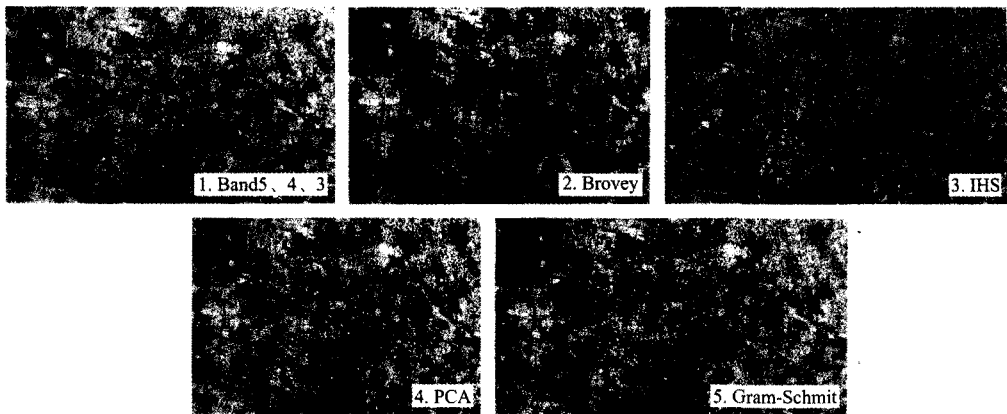


图 1 不同融合方法的图像融合效果  
Fig. 1 The result of different fusion methods

2.2 不同融合方法比较

从目视效果上看,4 种方法融合后的图像空间分辨率都有了一定的提高,融合后使得图像比原图像更清晰,更容易判读。其中,Brovey 最大限度地保持了原有多光谱图像的 5、4、3 波段的假彩色光谱信息,而 IHS、PCA、Gram-Schmit 方法融合后的图像,其光谱保真程度逐渐降低。从定量的角度分别计算了不同融合方法的评价指标可知(表 1);Brovey 的偏差指数和

相关系数都是最优的,所以最好地保留了多光谱波段的光谱分辨率,但是标准差和信息熵则是所用融合方法中最低的,即空间信息的详细程度较低。IHS 融合方法后的图像具有最优的标准差和信息熵,所以最大限度地反映了空间细节信息,但是波谱信息的保真则较 Brovey 方法差。PCA 融合方法各项指标都处于中等位置。Gram-Schmit 方法,偏差指数和相关系数在所有融合方法中较差,光谱保真能力较差。

表 1 4 种不同融合方法的定量分析和比较  
Table 1 Comparisons and quantity analyses of four different fusion methods

评价指标 index	波段 band	原始光谱图像 original image	均值 mean	Brovey 变换 Brovey	均值 mean	IHS 变换 IHS	均值 mean	PC 变换 PC	均值 mean	Gram-Schmit 变换 Gram-Schmit	均值 mean
标准差	R(5)	30.260		5.202		55.183		31.329		28.536	
	G(4)	28.235	24.278	6.712	5.678	41.536	48.864	9.750	22.993	11.387	21.730
	B(3)	14.337		5.119		49.872		27.898		25.266	
信息熵	R(5)	4.715		3.241		4.710		4.836		4.748	
	G(4)	4.078	4.461	3.238	3.147	4.754	4.884	3.688	4.409	3.847	4.400
	B(3)	4.589		2.962		5.188		4.703		4.606	
偏差指数	R(5)			0.000		1.136		1.162		1.195	
	G(4)			0.000	0.000	1.250	1.276	1.324	1.320	1.305	1.339
	B(3)			0.000		1.441		1.475		1.516	
相关系数	R(5)			0.886		0.690		0.505		0.575	
	G(4)			0.891	0.894	0.664	0.685	0.843	0.609	0.934	0.692
	B(3)			0.905		0.701		0.478		0.565	

注:R、G、B 分别为多光谱图像的 3 个波段。

Brovey 方法和 IHS 在该试验中是 5 类图像融合方法中相对较好的方法,具有较好的应用前景。相关研究同样表明这两类方法具有的优势性。王建等<sup>[16]</sup>选择引大灌区的 SPOT 全色波段和 TM 多光谱波段,利用 Brovey 图像融合方法进行图像融合,其研究结果同样表明,Brovey 方法最大限度地保留多光谱数据的信息,从而准确地提取覆盖信息。秦鹏等<sup>[17]</sup>对广州市部分地区的 ASTER 遥感图像进行 Brovey 融合处理,结果发现该方法较好地呈现了城市绿地分布信息,同时绿地的分布结构及相邻关系也得到了突出显示。

与 Brovey 方法相比,IHS 方法可以与其他方法相结合,表现出较为广阔的应用前景。武文波等<sup>[18]</sup>应用主成分变换对 IHS 变换法进行了改进,改进后的方法不仅在地物细节信息表达上表现出一定的优势,同时还保留了图像的光谱信息。张跃进和徐建达等<sup>[19-20]</sup>基于 IHS 变换法和小波变换法,提出一种新的图像融合方法,即利用 IHS 变换法增强空间细节表现能力和小波变换法保留图像的光谱特性,不仅最大限度地保留了光谱信息,同时还提高了空间分辨率。

### 3 结 语

采用 Brovey、IHS、PC、Gram-Schmit 方法融合后的图像,其光谱保真程度逐渐降低。Brovey 变换最大限度保持了原始图像的光谱信息,而空间信息的详细程度最差。IHS 变换空间融合后的图像空间细节信息最大,但光谱保真能力差。PC 变换和 Gram-Schmit 变换后融合的图像,光谱保真和空间信息详细程度介于 Brovey 和 IHS 之间。Brovey 和 IHS 在该研究中的融合效果较好。

#### 参考文献:

- [1] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [2] Ranchin T, Aiazzi B, Alperone L, et al. Image fusion—the ARSIS concept and successful implementation schemes[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2003, 58(2): 391–399.
- [3] 李园园,宋于洋,李均力,等. 基于 ETM+ 遥感图像的荒漠公益林融合方法研究[J]. 西北林学院学报,2008,23(4):145–148.
- [4] 沈明霞,何瑞银,丛静华,等. 植被信息提取过程中 ETM+ 遥感图像融合和分类试验[J]. 农业机械学报,2007,38(8): 109–112.
- [5] 杨昕,汤国安,邓东风,等. ERDAS 遥感数字图像处理实验教程[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [6] 谭永生,沈掌泉,贾春燕,等. QuickBird 全色与多光谱图像融合方法比较研究[J]. 科学通报,2008,24(4):498–503.
- [7] 许领,杨馨蕊,陈剑. 地质灾害调查中 ETM+ 与 SPOT25 Pan 融合方法比较[J]. 遥感技术与应用,2008,23(5):551–556.
- [8] Wald L, Ranchin T, Mangolini M. Fusion of satellite images of different spatial resolutions: Assessing the quality of resulting images[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1997, 63(6): 391–399.
- [9] 李春华,徐涵秋. 高分辨率遥感图像融合的光谱保真问题[J]. 地理信息科学,2008,10(4):520–526.
- [10] 张登荣,张霄宇,俞乐,等. 基于小波包移频算法的遥感图像融合技术[J]. 浙江大学学报:工学版,2007,41(7):1097–1100.
- [11] Shi W Z, Zhu C Q, Tian Y, et al. Wavelet-based image fusion and quality assessment[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2005, 6(3): 241–251.
- [12] 史榕,许惠平,陈华根. 遥感影像图像融合技术及融合质量评价研究[J]. 鲁东大学学报:自然科学版,2008,24(2):130–134.
- [13] 张韬,吕洪娟,孙美霞,等. 遥感多光谱数据在内蒙古西部湿地监测中最佳波段选取的应用研究[J]. 干旱资源与环境, 2007,21(4):102–106.
- [14] 李谢辉,郑奕. 基于最优波段组合的土地利用/覆盖遥感信息提取研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(14):6696–6699.
- [15] 董慧君,刘艳芬. 基于 PCA 变换与 IHS 变换相结合的 Landsat7 遥感图像融合方法及其评价[J]. 信息技术与信息化, 2007,4:109–110.
- [16] 王建,鲁安新,郭庭天,等. Brovey 图像融合在引大灌区土地覆盖调查中的应用[J]. 遥感应用技术与研究,2001,16(3): 173–177.
- [17] 秦鹏,陈健飞. 基于 Brovey 融合与 HSV 锐化的 ASTER 图像绿地信息提取分析[J]. 地球信息科学学报,2009,11(3): 400–404.
- [18] 武文波,康停军,姚静. 基于 IHS 变换和主成分变换的遥感图像融合[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2009,28(1):28–31.
- [19] 张跃进,谢昕. 基于 IHS 和小波变换的遥感图像融合方法研究[J]. 华东交通大学学报,2008,25(1):49–52.
- [20] 徐建达,王洪华. 基于 IHS 变换和小波变换的遥感图像融合[J]. 测绘学院学报,2002,19(3):198–202.

(责任编辑 郑琰琰)