

遥感影像数据融合方法的比较和分析

——以开封地区 SPOT 影像数据为例

泮雪芹¹, 钱乐祥², 宫少燕¹

(1. 临沂师范学院环境与旅游学院, 山东 临沂 276005) (2. 广州大学地理科学学院, 广东 广州 510006)

[摘要] 遥感数据融合技术一直是近几年国际遥感界研究的热点, 目前有关融合效果的评价还没有一致的评价准则和标准, 因此, 如何评价融合结果的客观性和可信度, 成为人们长期探索的问题。本文分别对 5 种基本融合方法进行定性和定量对比分析, 从地物光谱的统计特性、相关特性等方面, 来分析融合图像的空间分辨率及其与原多光谱影像的光谱一致性, 比较得出在光谱特征上扭曲较小和空间分辨率较高的融合方法, 为融合算法的应用和完善提供基础。

[关键词] 遥感数据, 融合, 比较和分析, 开封

[中图分类号] P208 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2007)04-0099-05

Comparison and Analysis on Remote Sensing Data Fusion Methods

——A Case of SPOT Image Data of Kaifeng Region

Pan Xueqin¹, Qian Lexiang², Gong Shaoyan¹

(1. Environment & Tourism College, Linyi Teachers College, Linyi 276005, China)
(2. School of Geographical Science, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Data fusion technology of remote sensing has always been a focus in the international remote sensing field in recent years. But there are no unanimous appraisal criterion and standard about the result of data fusion at present. So, the objectivity and credibility of data fusion appraising is the question that people have been exploring all the time. This article has analyzed and evaluated each of the five basic fusion models qualitatively and quantitatively. It has analyzed the aspects of basic statistics characteristics, relevant characteristic, etc., to evaluate their spectral integrity and spatial characteristics. The analysis and results can offer the foundation for the perfection of the fusion algorithm.

Key words: remote sensing data, fusion, comparison and analysis, Kaifeng

0 引言

数据融合技术一直是近几年国际遥感界研究的热点。将高分辨率遥感影像与多光谱影像进行融合^[1-3] (TM 和 SPOT5 全色波段、SPOT5 多光谱和全色波段等) 的主要目的是提高多光谱波段的空间分辨率, 增强图像的清晰度和解译能力; 然而光谱的完整保持时常被疏忽。遥感影像融合算法都在一定程度上扭曲了原始多光谱信息, 针对不同的融合算法, 不同应用领域需要不同的影像特征; 因此, 在选用融合模型进行融合处理之前需要考虑选择最合适的融合模型。本文选取 5 个融合模型在空间分辨率和光谱特性上进行评价, 能够为日后分析者选择最佳融合模型提供一些参考意见。

本文采用影像数据为 2003 年 10 月 21 号获得的 SPOT5 全色和多光谱影像, 研究地区为开封地区。选用较为简单的同一种卫星系统的 SPOT5 全色 (PAN) 与 SPOT5 多光谱 (XS) 数据进行融合分析, 这样同种卫星系统的数据融合, 所获取影像时间相同, 许多系统参数较为一致, 避免影像数据源类型不同, 影像特征

收稿日期: 2007-04-10. 修回日期: 2007-06-10.
基金项目: 国家科技部中国地球科学数据共享网黄河中下游区域分中心建设 (2004DKA20180 - 02 - 08) 资助项目.
作者简介: 泮雪芹 (1977—), 女, 硕士, 讲师, 主要从事遥感应用的教学与研究. E-mail: panxueqin165@sina.com

相差很大,产生很多噪音和大的误差,因而融合效果差,达不到比较和分析融合模型的目的.

1 遥感数据融合算法及其融合处理

有关遥感影像融合方法也多种多样.从融合的层次上可分为像元级融合、特征级融合和决策级融合 3 个层次.像元级融合从图像处理层次上来说是最基本的处理手段,是特征级与决策级融合的基础,发展也较为成熟,已形成了多种较有效的融合算法.

本文只针对像元级融合层次来分析,选取 3个领域中 5个融合模型来进行分析.这些模型发展较为成熟.5个融合模型包括:1个频率域上的模型、2个代数模型和 2个光谱领域的模型.频率域选取模型为高通滤波 (HPF).代数模型就是对数据集进行像元对应像元之间的代数操作,选取两个模型是乘积法和 Brovey 变换.光谱领域的模型主要分析 HS 与 PCT

主成分 (Principal Components Transform, PCT)变换:主成分变换是一种多维 (多波段)正交线性变换.其算法是将输入波段中共有的信息编制到第一主成分,再把全色数据拉伸使其和主成分第一分量有着相同的均值和方差,并把全色数据代替 PCT的第一分量进行主成分逆变换完成影像融合.

乘积法 (Multiplicative, MLT):乘积法是一种简单的代数运算,对 2幅影像的像元值相乘得融合图像.这样会使融合图像的亮度值高速增长,本文采取对 2幅像元乘积值开方得融合图像像元值.

Brovey 变换 (Brovey Transform, BT):是将多光谱波段颜色 (红、绿、蓝)归一化,将高分辨率影像与多光谱各波段 (通常取三波段)相乘完成融合^[4].

高通滤波 (High - Pass Filter, HPF):该方法是把高分辨率影像进行傅立叶变换从空间域转换到频率域,然后在频率域内对傅立叶图像进行高通滤波,获取图像的高频分量,将高频部分融合到多光谱图像中,以突出高频部分,获取最后融合图像.

HS (Intensity-Hue-Saturation)变换:将遥感影像从彩色空间红、绿、蓝转换到以亮度 (I)、色调 (H)、饱和度 (S)作为定位参数的彩色空间^[5].该模型的缺陷是只能针对 3个 RGB 通道进行变换.

2 影像波段组合优化

波段组合是融合技术上关键的一步,选择最佳波段组合能充分利用数据以达到最好融合效果;尤其在 一些融合模型上如 Brovey、HSI变换等只能选用 3个波段^[6],这样进行波段特征分析,波段优化组合尤为重要.

波段组合优化要遵循两个原则:一是所选波段要物理意义良好并尽量处在不同光区,也就是各波段的相关性要尽量的小;二是要选择信息量大的波段.

本文试验进行了开封市 SPOT5 多光谱影像间的相关系数分析,可见光区 band 2与 band 3相关性特高,为 0.960 419;近红外和中红外波段表现相对高的独立性,信息质量高.因此,仅采用 3个波段融合时,需要在 band 2与 band 3间选择其一,即需要在波段组合 1、2、4和 1、3、4之间进行进一步的定量分析.

美国查维茨 Chavez等 (1984年)提出最佳指数因子法 (Optimum Index Factor, OIF)用来进行波段组合优化^[7],公式为:

$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 S_i / \sum_{j=1}^3 R_j}{R_j}$$

(1)

式中 S_i 为第 i 个波段的标准差, R_j 为 3个波段中任意两波段之间的相关系数.

该公式计算的 OIF 值越大,相对应的波段组合信息量越大,组合方案越优.本文试验的波段组合优化方案如表 1,因此在本文研究中采用波段组合 1、2、4.

表 1 波段组合优化

Table 1 Optimization of bands combination

波段组合	OIF
1、2、4	19.2659
1、3、4	19.1830

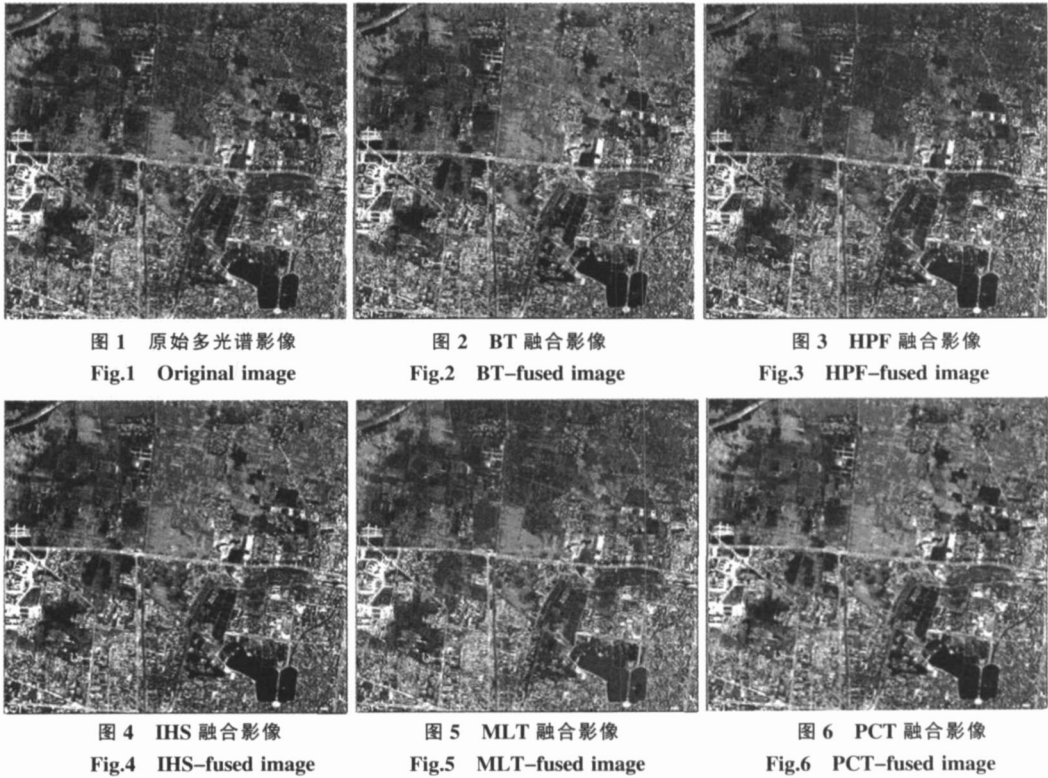
3 融合影像的图像质量评价分析

3.1 定性分析与比较

从空间分解力、清晰度和极限放大倍数来分析^[8].
从空间分解力、清晰度上来分析.分别对 5种融合算法得到的影像彩色组合显示并与原始多光谱影像

比较,影像图参见图 1~图 6 5幅融合影像上地物与地物之间的分界线都能清晰辨认,像道路、河渠、城墙等线状物都比原始多光谱影像清晰;尤其从开封城镇、村镇居民地内部结构上分析,更能突出融合效果,内部折线很清楚,形状规则清晰。

从极限放大倍数来分析,对融合影像放大相同的倍数,切割出结构比较复杂的开封市市区一部分来比较,5种融合影像彩色组合显示与原始多光谱影像比较。



从视觉效果上分析得出:融合效果在空间分辨能力上,提高空间分辨效果最好的为 IHS法,再依次为 PCT、BT、MLT法,效果最差的是 HPF法;融合效果在光谱特征上,光谱变化最小的为 HPF法,再依次为 BT、PCT、MLT法,光谱变化最大的为 IHS方法。

3.2 定量分析和比较

定性比较与分析有主观性,细节信息很难分辨,还需要客观的定量分析评价.本文对光谱特征进行客观定量的评价是基于图像的灰度值作出统计分析;空间结构客观定量分析是基于影像灰度值相关性作出统计。

3.2.1 基本影像统计特性

遥感影像的基本统计特征是均值 (Mean)与标准差 (SD).均值为像素的灰度平均值,对人眼反映为平均亮度,本文主要是对比融合影像相对于原始影像的光谱变化,因此采用融合前后 2幅影像均值之差来反映.标准差则反映了灰度相对于灰度均值的离散情况^[9].评价的指导思想是融合影像的均值和标准差应该与原始影像的相近(或多或少),相差越小,融合对光谱的改变越小,最为理想的是与 XS影像完全相等^[10],尽管这几乎是不可能实现的。

表 2 融合影像和原始影像的平均值和标准差

Table 2 Means & standard deviations for original & fused images

影像	波段 1均值	波段 2均值	波段 3均值	波段 4均值	标准 1方差	标准 2方差	标准 3方差	标准 4方差
XS	64.636	62.441	58.652	38.523	15.372	12.302	8.641	8.808
PCT	53.503	53.851	52.807	32.141	14.203	16.255	11.378	8.979
MLT	59.819	59.129	57.302	46.204	11.245	11.582	9.836	8.877
HPF	67.068	64.873	61.084	40.955	17.176	15.755	12.425	11.090
IHS	17.020	34.708	...	34.502	8.411	20.831	...	16.145
BT	11.584	18.990	...	19.337	2.845	5.008	...	4.327
PAN	56.162	56.162	56.162	56.162	11.997	11.997	11.997	11.997

均值和标准差参量是对整幅影像融合效果的整体评价,用来整体地评价每一种融合算法对融合影像特征的变化.统计值见表 2

从表 2分析,HPF法融合影像和 XS影像在各个波段上均值大小很相近,保留了 XS影像的整体光谱特性,依次是 PCT、MLT算法对光谱特性变化也不大. BT、HS算法对 XS影像光谱特性保留极少.

遥感影像出现的同物异谱,异物同谱现象,导致同一张影像不同地物的灰度均值和标准差可能相同或很接近;而在不同的影像之间,同一地物的灰度均值和标准差有可能相差较大甚至完全不同.因此,均值和标准差的基本统计对融合效果的评价不能视为惟一标准,还需要从多方面入手来进行补充.

3.2.2 相关统计分析

相关系数是测度两变量间相关程度强弱的一种指标,相关系数绝对值愈大,两者相关的程度愈强^[11].

(A)为了分析融合影像的空间纹理信息,本文采用对全色影像和融合影像间求相关系数.相关程度越高,表明越多的高分辨率影像的纹理信息被融入相应波段中,理想值为 1.数据见表 3.

从表 3中分析,XS影像与 PAN的相关系数最低,其余的每一种融合影像与 PAN间的相关系数都要高.这表明每种融合方法在提高空间分辨率上都有一定的效果,这与主观定性评价的结论一致.

表 3 融合与原始影像与 PAN影像的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of fused & original images with PAN image

	波段 1	波段 2	波段 3	波段 4
XS	0.405	0.831	0.825	0.474
PCT	0.887	0.931	0.911	0.857
MLT	0.813	0.960	0.970	0.829
HPF	0.621	0.936	0.938	0.777
IHS	0.935	0.967	...	0.966
BT	0.780	0.963	...	0.802

从整体上得出结论:在变换域 (PCT、HS)对影像空间分辨率有较好的效果,在频率域 (HPF)上效果最差,在代数领域 (MLT)上的效果居于两者中间.

(B)同理,为了比较融合影像对光谱特性的保留程度,也采用与原始多光谱波段的相关系数来分析^[12].相关系数越大,对光谱扭曲的越小,理想的是对 XS影像没有光谱变化,相关系数为 1.但相关系数近似为 1,并不能说明 2幅影像完全吻合,只能说明 2幅影像之间存在着线性关系,有关线性关系的详细资料见文献 [13].就整体而言,可用这一指标来分析光谱改变量的大小 [Caper et al.,1990].

用该指标评估从整体上来分析是 HPF、MLT法效果较好,BT、HS法较差,对光谱扭曲程度较大.

3.2.3 光谱信息的继承

偏差度 (Difference Index)^[6]主要是用来分析融合影像相对于原始多光谱影像光谱的偏离程度,计算的值越大,反映了对光谱特性的继承性要差.最为理想的值为 0.计算公式为:

$$D = (1/MN) \times \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{|BV_{fusi(i,j)} - BV_{orig(i,j)}|}{BV_{orig(i,j)}}, \tag{2}$$

式中 D 为偏差度,M、N 分别为影像的行、列数,BV_{fusi(i,j)}、BV_{orig(i,j)} 分别为融合影像和融合前原始多光谱影像的像元亮度值.各融合影像偏差度统计见表 4

在表 4中显而易见,偏差度最低的为 HPF法,光谱变化最少;其次,MLT法的偏差度也较低;BT、HS法的偏差度很高,光谱变化最大.这与前面融合影像与原始影像间相关系数所评价的结论较一致.不一致的地方是在偏差度法中 BT融合影像的偏差度最大,而在相关系数法中 IHS的相关系数最小.检查两评价法的计算公式,在相关系数公式中,将影像灰度值都平移 (升高或降低)并不影响相关系数的计算;但是在偏差度指标里却会随着影像灰度值的平移而发生变化,所以两者所显示的结果有所不同.

表 4 融合影像偏差度

Table 4 Difference index of fused images

	波段 1	波段 2	波段 3	波段 4	平均值
PCT	0.205 1	0.171 5	0.121 7	0.197 2	0.173 9
MLT	0.105 7	0.059 3	0.044 6	0.226 3	0.109 0
HPF	0.036 0	0.033 7	0.036 7	0.061 2	0.041 9
IHS	0.736 3	0.485 5	...	0.290 7	0.504 2
BT	0.816 0	0.696 5	...	0.485 1	0.665 9

4 评价方法的比较与分析

本文主要是对 5种融合方法、评价方法进行理解解释,尝试着从空间分辨率和光谱特征两方面分别对 5种融合方法进行定性和定量对比分析评价,综合得出在光谱特征上扭曲较小和空间分辨率较高的方法.空间分辨率上的评价相对要简单,用目视效果也能很好的判别.除全色影像和融合影像间的相关系数是用

来评价空间分辨率提高的程度之外,其余的定量评价都是针对光谱特性来分析相对原始多光谱的光谱扭曲.为了对各种定量评价方法评价的结果有一个较好的理解,总结如下表 5:(表中的名次为对空间分辨率提高的程度或维持光谱特性一致性的程度.)

结合表 5 评价结果及其在评价过程中的发现,得出结论:

(1)影像的基本统计特性均值和标准差也只能从整体上对影像一个大体上的评价,评价效果不明显,很难对一些变化现象做出解释.相关系数及偏差度评价法也有不完善的地方,因为相关系数法只跟整幅影像的灰度值整体趋势有关,跟影像灰度值的单位大小不相关;但是偏差度评价法跟像元灰度值单位大小有关.在融合影像的应用中,应用领域不同,对融合影像效果要求也不同,在评价的时候,综合这两种评价方法能得出较为完善的结论.

(2)以上对 3 个领域融合处理的影像进行评价分析.在简单的代数领域上(MLT、BT法),融合影像的空间分辨率有提高但不很高,光谱特性有变化也不很严重.在变换领域(PCT、HS法),将高分辨率影像特征均匀地融入到多光谱的各个波段,从而对提高空间分辨率上有着显著的效果;但是在融合变换的过程中,对多光谱影像进行了色彩(或是主成分)变换,将高分辨率影像特征替代了 1 分量(或第一主成分),这样也就对多光谱影像光谱所具有的物理意义有很大的改变,导致了光谱扭曲程度很大.频率域(HPF法)融合算法能够很好地将空间信息与光谱信息分开,这样在融合的过程中,可只提取高空间分辨率的空间信息融入到全色影像,替代全色影像的空间信息,而对光谱信息则保持原来的性质.

(3)综合各评价结果分析得出,在提高空间分辨率能力上效果较好的为 HS、PCT法;在保持光谱特征的完整性上,HPF法较好.每一种融合方法都在一定程度上扭曲了原始多光谱信息,在具体的应用中融合方法是否适合还有待于进一步地探讨分析.

表 5 评价结果

Table 5 Results of assessment

名次	相关统计分析		均值和标准差	偏差度
	与 PAN 相关系数	与 XS 相关系数		
1	HS	HPF	HPF	HPF
2	PCT	MLT	PCT	MLT
3	BT	PCT	MLT	PCT
4	MLT	BT	HS	HS
5	HPF	HS	BT	BT
6	XS

[参考文献]

[1] 张炳智,张继贤,张丽.土地利用动态遥感监测中多源遥感影像融合方法比较研究[J].测绘科学,2000,25(3):46-50.

[2] 楼立明,刘卫东,冯秀丽.基于高分辨率遥感影像的土地利用变化监测[J].遥感技术与应用,2004,19(1):30-33.

[3] 贾永红,孙家柄.遥感多光谱影像数据与航片数字化影像融合方法的研究[J].测绘通报,1997(5):10-12.

[4] 孙丹峰. IKONOS全色与多光谱数据融合方法的比较研究[J].遥感技术与应用,2002,1(17):41-44.

[5] 霍宏涛.数据融合技术在植被信息提取中的应用研究[D].北京:北京林业大学,2001,6:31-33.

[6] 施拥军.森林遥感分类技术研究——以浙西北山区为例[D].杭州:浙江大学,2003:36-50.

[7] 赵英时.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003,6:254-258.

[8] 贾永红.基于像元的遥感影像融合方法的比较[J].测绘信息与工程,1997,29(4):29-31.

[9] 崔岩梅,倪国强,钟堰利,等.利用统计特性进行图像融合效果分析及评价[J].北京理工大学学报,2000,20(1):102-105.

[10] Marfa Gonzalez-Audicana, Jose Luis Saleta, Raquel Gacaia. Fusion of multispectral and panchromatic images using improved HIS and PCA merges based on wavelet decomposition[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42(6):1291-1298.

[11] 陈德超,周海波,陈中原,等. TM 与 SPOT 影像融合算法比较研究[J].遥感技术与应用,2001,16(2):110-115.

[12] Duane B. Carter Analysis of Multiresolution Data Fusion Techniques[D]. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University, 1998.

[13] 高云柱,张继兵.两个随机变量间线性关系的再讨论[J].北华大学学报:自然科学版,2002,3(6):474-476.

[责任编辑:孙德泉]