

基于遥感图像的颜色保真融合方法的研究 *

吴连喜

(东华理工大学 3S 中心, 江西 抚州 344000)

摘要: 针对遥感图像融合 Brovey 变换法存在颜色失真的现象, 提出了一种低通比值融合法。该融合法首先对高几何分辨率的全色波段进行低通滤波, 然后将低分辨率多光谱图像与全色波段图像相乘, 再除以滤波后的全色波段图像, 便得到融合图像。从辐照的角度证明了该低通比值融合法具备理论基础, 并从目视评价、定量分析、分类精度证实了该低通比值融合法优于 Brovey 变换法, 该低通比值融合法是一种能较好地保全低分辨率多光谱图像颜色的融合方法。

关键词: 融合; 颜色; 保真; 低通比值融合法

中图分类号: P208; TP79

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2010)03-1173-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.03.0103

Fusion method of remotely sensed image for retaining color

WU Lian-xi

(3S Centre, East China Technical University, Fuzhou Jiangxi 344000, China)

Abstract: This paper analyzed the Brovey transform, and then proposed an improved method called panchromatic image low-pass filter based ratio fusion (Low-pass RF), that production's color was accordant with that of the multi-spectral image. This paper discussed its theory mechanism at terms of radiancy. Also, the results of visual interpretation and quantitative analysis to gray variance index show that the Low-pass RF transform have a capability of retaining color from multi-spectral image. Classification accuracy of the fused image by Low-pass RF transform is higher than the Brovey image. Therefore, Low-pass RF transform is more excellent than Brovey transform.

Key words: fusion; color; retaining; Low-pass RF

随着遥感技术的发展, 特别是 20 世纪 90 年代中后期, 多颗高几何分辨率卫星如 SPOT-5、IKONOS、Quickbird、Orbview 和雷达卫星 JERS-1、ERS-1、Radarsat 相继发射升空, 可见光、近红外、短波红外、热红外、微波等不同类型的卫星传感器获取同一地区的遥感图像数据日益增多^[1-6]。如何高效地使用各类数据一直是遥感应应用研究的课题, 对不同几何分辨率的遥感数据进行融合, 可以得到既有高几何分辨率, 又有丰富的多光谱信息的融合图像^[3,4,7], 这是单一遥感数据不具备的优势。常用的遥感图像融合的方法有 IHS 变换法^[8,9]、代数变换法如 Brovey 法^[10]和主成分变换法 (PCA 变换法)^[11]等, 然而这些融合方法进行融合时极易引起融合图像颜色的变化, 进而影响了融合效果。近年发展起来的小波变换法在融合不同来源的遥感数据方面取得了较好的效果, 而且颜色保真性能也较好, 但算法较为复杂。本文拟探讨一种光谱保持型 (或颜色保真型) 融合方法, 使融合后的图像色彩与融合前多光谱图像的颜色一致, 从而有效地提高图像的质量和可读性。

1 光谱保持型融合方法的提出

在诸多融合方法中, 代数变换法的算法最为简单, 其中又以 Brovey 变换法应用最广, 堪称代数变换法的典型之一。

Brovey 变换法也称为色彩归一化 (color normalization) 变换法^[10], 是由美国学者 Brovey 推广而得名, 其算法 (如式 (1)) 是将多光谱影像空间 (multi-spectral image space) 分解为色度和亮度成分并进行计算, Brovey 变换法简化了影像转换过程的系数, 以最大限度地保留多光谱数据的信息。

$$\text{Band}_i = \frac{\text{MS}_i}{(1/n) \sum_{i=1}^n \text{MS}_i} \times \text{PAN} \quad (1)$$

其中: $n=3, i \leq 3 (i=1, 2, 3)$; Band_i 为融合后图像的第 i 波段当前像元的灰度值; MS_i 为多光谱图像的第 i 波段对应像元的灰度值; PAN 为高分辨率图像的全色波段对应像元的灰度值。

Brovey 变换法算法简单, 从理论上分析, 这种方法能够起到提高多光谱图像的几何分辨率的效果, 许多研究结果也证明了这一点^[12-15]。但由于融合过程中只使用了三个波段, 故该融合方法只局限于三个波段。

通过对 Brovey 变换方法进行分析可以清楚地看出, MS_i 体现了多光谱影像在融合过程的作用, 而 PAN 则是高分辨率影像在融合过程中的贡献。由于两者直接相乘, 故融合后的图像既有低分辨率图像的光谱信息, 也包括高分辨率全色波段 PAN 图像的空间细节。从融合前后图像的对比度来看, 融合后图像的对比度更接近高分辨率影像 PAN 的对比度^[12], 说明融合后的图像还包含了高分辨率全色波段 PAN 的光谱信息, 这便是

Brovey 变换法产生颜色失真的原因。从物理量纲的角度来看,如果仅用 MS_i 与 PAN 相乘,那么融合表达式显然不能成立,因此须除以某一项,在 Brovey 变换法中这一项是式(1)中的分母项,其实式(1)中的比值项便是归一化处理。但是式(1)中的比值项使低分辨率图像的光谱信息产生较大的损失,致使融合后的图像颜色失真较为严重。

针对这一情况,本文拟将式(1)中的分母作改变,即对 PAN 图像进行低通滤波,把滤波后的结果作为式(1)的分母,即

$$Band_i = \frac{MS_i \times PAN}{Low_{PAN}} \quad (2)$$

改变后的式(2)中, i 不受 $i \leq 3$ 的限制,对于 Landsat-5 TM 或 Landsat-7 ETM+, MS_i 可以是 TM_1 、 TM_2 、 TM_3 、 TM_4 、 TM_5 、 TM_7 等波段; PAN 是高分辨率图像; Low_{PAN} 是高分辨率图像 PAN 经低通滤波处理后的图像。为方便起见,本文将式(2)称为低通比值融合法(Panchromatic image low-pass filter based ratio fusion, Low-pass RF)。

2 应用实例

本研究以北京市大兴区的西部、房山区东部作为研究区域,该区域是纬度 $39^{\circ}47'47.25''N \sim 39^{\circ}43'43.20''N$, 经度 $116^{\circ}16'53.10''E \sim 116^{\circ}23'35.30''E$, 面积为 $9\,523.6\,m \times 7\,603.8\,m$, 该区域内的遥感数据源有 Landsat-5 TM 和 IRS-1C 的全色波段 (IRS-1C PAN)。

Landsat-5 TM 图像包括 band 1、band 2、band 3、band 4、band 5、band 7 六个波段,获取的时间为 2007-05-10; IRS-1C PAN 的获取时间为 2007-05-23。以 IRS-1C PAN 为基准,对 Landsat-5 TM 进行几何配准,配准后的 TM 图像几何分辨率与 IRS-1C PAN 一致,即 $5.8\,m \times 5.8\,m$ 。

用上述低通比值融合方法 (Low-pass RF) 对 TM 图像与 IRS-1C PAN 图像进行融合,融合图像称为 Low-pass RF 图像,同时用 Brovey 法进行融合作为对照 (图 1~4)。



图 1 全色波段图像



图 2 重采样后 TM 743 合成图

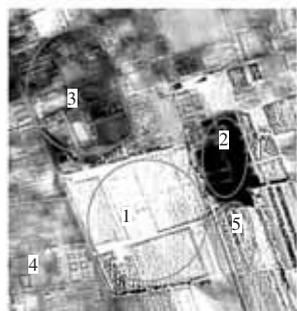


图 3 Low-pass RF 融合图像



图 4 Brovey 融合图像

3 融合效果评价

3.1 目视判断

融合效果的优劣可以从两个方面判断:a)融合后图像的颜色是否与融合前的低分辨率图像的颜色相同;b)融合后图像是否有全色波段图像的纹理。对图 3、4 中对应的五个图斑分别进行比较分析:图斑 1 表明 Low-pass RF 图像中绿色植物的颜色比 Brovey 更接近 TM 图像中绿色植物的颜色,纹理也更清晰,颜色与纹理均比 Brovey 表达得更为细致(如图斑 5),在 Brovey 图像中绿色植物与裸土或建筑物的边缘处的颜色有较为明显的扭曲(如图斑 4),而 Brovey 图像中绿色植物的颜色更多受全色波段 PAN 影响;Low-pass RF 图像中建筑物的颜色与外业调查的结果相比虽有点扭曲(如图斑 3),但却与 TM 图像接近,所以不能说 Low-pass RF 融合对建筑物有扭曲,这与 TM 数据本身(TM 数据中有云)有关;从水体的颜色与纹理来看(如图斑 2),Brovey 比 Low-pass RF 更清晰。总体来说,Low-pass RF 变换法比 Brovey 变换法更好。

3.2 精度分析

由于上述目视判断只是定性评价指标,本文采用分类精度来定量地评价融合效果,比较分析两种融合后的图像的分类精度。

在本研究区域,将土地利用类型分成五类,如表 1 所示。

表 1 土地利用类别

地物名称	地类代码	备注
建筑	252、253	城镇、农村的房屋建筑
耕地	11	指水浇地、旱地和菜地
园地	12	果树园
林地	13	有林地
水体	154、155、272、32	包括农用地的水域、建设用地的水域和其他用的水域

根据实地勘测,对上述五类地物分别选取 10 组样本,将其 5 组作为训练样本,另 5 组作为检验样本,各地类样本数量如表 2 所示。

表 2 样本数量 m^2

样本	地类				
	建筑	耕地	园地	林地	水体
训练样本	46 389.6	20 004.6	18 075.9	2 455.7	3 935.9
检验样本	47 989.2	20 694.4	18 699.2	2 540.4	4 071.6

用最大似然法分别对 Low-pass RF 图像、Brovey 图像进行分类,用检验样本对分类结果进行检验,计算各类别的分类精度和总体分类精度,结果如表 3 所示。

表 3 分类精度 %

地类	Low-pass RF 图像	Brovey 图像	Low-pass RF 图像比 Brovey 图像增加量
建筑	77.91	73.14	4.77
耕地	89.43	84.57	4.86
园地	85.49	76.76	8.73
林地	72.02	65.93	6.09
水体	93.07	86.62	6.45
总体分类精度	82.45	76.77	5.69

由表 3 可见,建筑、耕地、园地、林地、水体等地物的分类精度均以 Low-pass RF 图像高于 Brovey 图像。Low-pass RF 图像的总体分类精度为 82.45%, Brovey 图像的总体分类精度为

76.77%, Low-pass RF 图像的总分类精度比 Brovey 图像高 5.69%。

4 结束语

数字图像的 DN(digital number)值记录的是地物的波谱信息,包括地物反射或辐射。Elachi^[17]的研究认为:

$$DN(\lambda) = \rho(\lambda) \times E(\lambda) \quad (3)$$

其中: $\rho(\lambda)$ 表示 λ 波段的反射比; $E(\lambda)$ 表示 λ 波段的辐照度(在可见光及近、短红外波段, $\rho(\lambda)$ 、 $E(\lambda)$ 分别为反射比和辐照度)。

如果用 $DN(\lambda)_{low}$ 表示低分辨率多光谱数据 λ 波段图像的 DN 值, $DN(\gamma)_{high}$ 表示高分辨率全色波段数据 γ 波段图像的 DN 值,则有

$$DN(\lambda)_{low} = \rho(\lambda)_{low} \times E(\lambda)_{low} \quad (4)$$

$$DN(\lambda)_{high} = \rho(\gamma)_{high} \times E(\gamma)_{high} \quad (5)$$

其中: $\rho(\gamma)_{low}$ 表示低分辨率多光谱 λ 波段的反射比; $\rho(\gamma)_{high}$ 表示高分辨率全色波段(即 γ 波段)的反射比; $E(\lambda)_{low}$ 表示低分辨率多光谱数据 λ 波段的辐照度; $E(\lambda)_{high}$ 表示高分辨率全色波段(即 γ 波段)的辐照度。

对于同一太阳辐射而言,辐照度主要受数据获取时间与地形地貌的影响,虽然多光谱图像与全色波段图像的几何分辨率不同,但两者获取的地物所在地理位置相同、地形地貌也相同。如果两者的获取时间相同,则可以认为多光谱数据与高分辨率全色波段数据的太阳辐照度相同。由于多光谱数据与高分辨率全色波段数据的 DN 值取值范围相同,故有^[18]

$$E(\lambda) = E(\gamma) \quad (6)$$

由于低通滤波对全色波段的反射比影响不大,故可以假设:

$$\rho(\gamma)_{low} \approx \rho(\gamma)_{high} \quad (7)$$

其中: $\rho(\gamma)_{low}$ 表示 γ 波段中低频部分的反射比。

将式(4)(5)代入式(2):

$$DN_{Low-passRF} = \frac{DN(\lambda)_{low} \times DN(\gamma)_{high}}{DN(\gamma)_{low}} = \frac{\rho(\lambda)_{low} \times E(\lambda)_{low} \times \rho(\gamma)_{high} \times E(\gamma)_{high}}{\rho(\gamma)_{low} \times E(\gamma)_{low}} \quad (9)$$

其中: $DN_{Low-passRF}$ 表示融合后图像的 DN 值; $DN(\gamma)_{low}$ 表示全色波段 γ 经低通滤波处理后的 DN 值; $E(\gamma)_{low}$ 表示 γ 波段中低频部分的辐照度。

将式(6)(7)代入式(8),则有

$$DN_{Low-passRF} \approx \rho(\lambda)_{low} \times E(\gamma)_{high} \quad (9)$$

由式(9)可以看出,融合后的遥感图像包括了多光谱波段与全色波段的高分辨率的信息,Low-pass RF 融合只将高分辨率卫星图像的高频边缘信息调制到低分辨率卫星图像里去得到融合图像,与高分辨率的对比度和光谱变化无关,故 Low-pass RF 融合法可有效地避免全色波段低频信息的干扰,因此 Low-pass RF 变换法可保持多光谱图像的光谱信息。但式(6)与(7)成立,应满足两个条件:a)参与融合的多光谱数据与高分辨率全色波段数据的接收时间相同、光谱响应范围也相同;b)对全色波段的低通滤波程度应轻,以使更多的低频成分不被滤掉,可以考虑用均值平滑滤波。由于本文是对 Landsat-5 TM 多光谱数据与 IRS-1C PAN 全色波段数据进行融合,两者

的获取时间相近,光谱范围也接近,融合较好,但此法不适于多光谱数据与雷达数据的融合,因为两者的光谱范围相差极大。

上文对 Low-pass RF 融合后的图像进行目视和定量分析的结果皆表明:Low-pass RF 融合法能有效地屏蔽由于全色波段对融合后图像的影响,致使融合后图像的颜色与融合前多光谱图像接近;试验结果也证明 Low-pass RF 融合法的光谱保持性能优于 Brovey 变换法,分类精度结果也证明 Low-pass RF 融合后的图像优于 Brovey 融合后的图像。由此可见,Low-pass RF 融合法是一种光谱保持型的融合方法。

参考文献:

- [1] XIE D, SHAO J, NI J, *et al.* Land use change and its corresponding ecological responses: a review [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2005, 15(3): 305-328.
- [2] 乔润生, 张黎, 王先春. 遥感图像融合方法研究[J]. *计算机工程与应用*, 2009, 45(8): 182-189.
- [3] 陈超, 江涛, 刘祥磊. 基于缨帽变换的遥感图像融合方法研究[J]. *测绘科学*, 2009, 34(3): 105-106, 163.
- [4] 何海鹏, 何国金. IKONOS 高分辨率遥感影像融合方法比较研究[J]. *科技导报*, 2009, 27(5): 33-37.
- [5] CHU Heng, CHEN Hua-gang, ZHU Wei-le. A new remote sensing image fusion algorithm in the decimated wavelet domain [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2009, 36(2): 91-95.
- [6] 万幼川, 张永军. 摄影测量与遥感学科发展现状与趋势[J]. *工程勘察*, 2009(6): 6-12.
- [7] 吴连喜, 王茂新. 一种基于 IHS 变换的改进型图像融合的算法[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(6): 163-166.
- [8] PELLEMANS A, JARDANS R, ALLEWIJN R. Merging multi-spectral and panchromatic SPOT image with respect to the radiometric properties of the sensor [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1993, 12(1): 81-87.
- [9] JIM V. Multi-spectral imagery band sharpening study [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1996, 62(9): 1075-1083.
- [10] VRABEL J. Multi-spectral imagery advanced band sharpening study [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2000, 66(1): 73-79.
- [11] SHEFFIGARA V K. A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1992, 58(5): 561-567.
- [12] 吴连喜. 多源遥感数据融合评价的理论与实践[D]. 中国农业大学, 2002: 12-29, 42-51.
- [13] 吴连喜, 王茂新. 一种光谱保持型的图像融合方法[J]. *遥感学报*, 2004, 8(4): 356-361.
- [14] WU L, SUN B, ZHOU S, *et al.* Application of fusion technique of remotely sensed imagery of preservation spectral information to land use/land cover [J]. *Pedosphere*, 2004, 14(2): 187-194.
- [15] 陈思锦, 秦其明, 王文君. 利用小波分析改进 Brovey 遥感影像融合方法[J]. *测绘学院学报*, 2004, 21(2): 118-120.
- [16] EHLERS M. Multi-sensor image fusion techniques in remote sensing [J]. *ISPRS J Photogrammetry and Remote Sensing*, 1991, 46(1): 19-30.
- [17] LIU J G. Smoothing filter-based intensity modulating: a spectral preserve image fusion for improving spatial details [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(18): 3461-3472.