



基于IHS变换的高分辨率遥感图像融合 研究与发展*

Research and Development of IHS-Based Pansharpening for High-Resolution Remote Sensing Images

李旭 / 西北工业大学电子信息学院

摘要:介绍了IHS变换方法和融合原理,以及几种典型的基于IHS变换的融合方法。融合实验采用IKONOS遥感图像,通过对不同融合方法进行比较,总结归纳了基于IHS变换融合方法的发展趋势。

关键词: IHS; 融合; 遥感图像; 高分辨率

Keywords: intensity-hue-saturation; fusion; remote sensing images; high-resolution

0 引言

随着传感器技术的快速发展,获取高空间分辨率、高光谱分辨率以及高时间分辨率的遥感数据已成为可能。近几年IKONOS、QuickBird、GeoEye-1、WorldView-2等商业卫星相继发射升空,它们可以同时提供具有高空间分辨率的全色光图像和高光谱分辨率的多光谱图像。因此,针对高分辨率全色光图像和多光谱图像的融合——Pansharpening研究已经成为高分辨率对地观测领域中的热点。Pansharpening技术通过融合全色光图像和多光谱图像,得到高空间分辨率的多光谱图像,具有广泛的应用前景,例如Google Earth、城市规划、地物分类、变化检测等。

目前,Pansharpening技术主要有成分替换技术和多分辨率分析技术两大分支。基于IHS变换的融合方法具有速度快、便于实现等优势,已迅速成为成分替换技术中最广泛使用的一类^[1]。

1 IHS变换及其融合原理

1.1 IHS变换

IHS变换是面向彩色图像处理的最常用变换,其中I表示亮度(Intensity),H表示色调(Hue),S表示饱和度(Saturation)。该变换有其独特的优点:1)亮度分量与色度分量是分开的,即亮度分量与图像的彩色信息无关;2)色调和饱和度的概念相互独立并与人的感知紧密相连。IHS空间与RGB(Red-Green-Blue)空间的数学描述如下^[2]:

$$\begin{bmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ -1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{6} & 2/\sqrt{6} \\ 1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{6} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中 $H = \tan^{-1}\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$, $S = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$ 。

1.2 基于IHS变换的图像融合原理

IHS变换简单、快速、便于实现,因此

被广泛应用于图像融合技术。基于IHS变换的图像融合原理如图1所示,其实施步骤主要分为三个阶段:1)R、G、B图像经IHS变换得到亮度分量I、色调H和饱和度S;2)将全色光图像PAN与亮度分量I进行匹配,得到 I_{new} ;3)用 I_{new} 替换I,经IHS反变换得到融合结果 R_{new} 、 G_{new} 、 B_{new} 。

2 几种典型的IHS融合方法

2.1 GIHS方法^[2]

GIHS(Generalized IHS)方法是2001年Tu等人在传统IHS融合方法基础上提出的一种推广性更强、运算更简便的融合方法。针对Landsat、IKONOS、QuickBird等新型遥感图像的特点,GIHS方法不但突破了传统IHS融合输入波段数仅限于R、G、B的限制,同时也避免了公式(1)和(2)中涉及到的大量运算,其数学描述如下:

$$\begin{bmatrix} R_{new} \\ G_{new} \\ B_{new} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + \delta \\ G + \delta \\ B + \delta \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中 $\delta = I_{new} - I = PAN - I$ 。可以看出,各波段融合结果 $[R_{new}, G_{new}, B_{new}]^T$ 经线性变

* 基金项目:航空科学基金(2009ZD53047)、西北工业大学基础研究基金(JC20110263)。

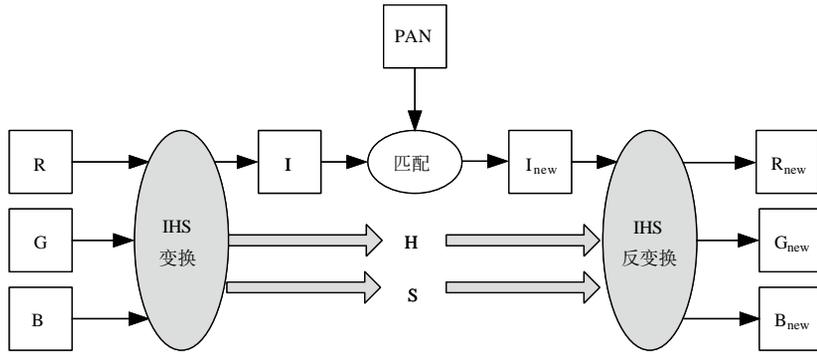


图1 IHS融合框图

换直接从原始输入波段 $[R, G, B]^T$ 得到, 运算速度明显提高。

2.2 FIHS—SA方法^[3]

2004年, Tu等人在GIHS方法基础上针对IKONOS遥感图像提出了FIHS—SA (Fast IHS with Spectral Adjustment) 融合方法。考虑到IKONOS各波段光谱响应的特点, 特别是全色光与蓝波段B、近红外波段NIR之间的匹配差异, FIHS—SA方法将式(3)中的 δ 修改为

$$\delta = \text{PAN} - \frac{(R + a \cdot G + b \cdot B + \text{NIR})}{3} \quad (4)$$

其中 $a+b=1$, 且 $a=0.75$, $b=0.25$ 。该方法克服了IKONOS传感器光谱响应的物理局限性, 有效降低了融合结果中, 特别是在植被部分出现的光谱失真现象。

2.3 FIHS—SRF方法^[4]

FIHS—SRF方法同样是在GIHS方法基础上, 结合了IKONOS各传感器的光谱响应函数(Spectral Response Function), 对式(3)中的 δ 进行修改, 其融合方法描述如下:

$$\begin{bmatrix} R_{\text{new}} \\ G_{\text{new}} \\ B_{\text{new}} \\ \text{NIR}_{\text{new}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + (\delta \cdot R / \bar{n}) \\ G + (\delta \cdot G / \bar{n}) \\ B + (\delta \cdot B / \bar{n}) \\ \text{NIR} + (\delta \cdot \text{NIR} / \bar{n}) \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中 $\bar{n} = \frac{1}{4} (R + G + B + \text{NIR})$, $\delta = \frac{1}{4} \cdot \gamma \cdot \text{PAN} - \bar{n}$, γ 取值0.8。

2.4 TIHS—B方法^[5]

2007年, Tu等人又提出了TIHS—B (Tunable IHS—Broyevy)方法, 通过调节参数达到融合过程中的空间细节注入与光谱信息保真平衡, 其数学描述为:

$$\begin{bmatrix} R_{\text{new}} \\ G_{\text{new}} \\ B_{\text{new}} \\ \text{NIR}_{\text{new}} \end{bmatrix} = \frac{\text{PAN}}{\frac{(l-1)}{l} \text{PAN} + \frac{1}{l} I_{SA}} \begin{bmatrix} R + \delta \\ G + \delta \\ B + \delta \\ \text{NIR} + \delta \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中 $l=5$ 或 1.25 为可调节参数,

$$I_{SA} = (R + 0.75 \cdot G + 0.25 \cdot B + \text{NIR}) / 3,$$

$$\delta = \frac{(l-1)}{l} \cdot (\text{PAN} - I_{SA}).$$

该方法突破了选择合适折中参数的局限性, 是对Choi方法^[6]的有效改进。

2.5 IHS—LV方法^[7]

为进一步克服GIHS方法在融合IKONOS、QuickBird图像时出现的光谱失真, Chu等人

于2008年提出了IHS—LV (IHS based on Local Variation) 融合方法。该方法在计算亮度分量时考虑到像素点 (i, j) 的灰度值与其邻域均值之间的差异, 优化了空间信息的注入, 数学描述(7)式:

$$I_{\text{new}}(i, j) = \frac{E[I_0(i, j)]}{Q} + \left\{ \text{PAN}(i, j) - \frac{E[\text{PAN}(i, j)]}{Q} \right\} \quad (7)$$

其中 $E[\cdot]$ 为数学期望, $I_0 = \frac{1}{4} [R + B + G + \text{NIR}]$, Q 为像素点 (i, j) 的局部邻域。融合方法在式(3)的基础上, 进一步修改为:

$$\begin{bmatrix} R_{\text{new}}(i, j) \\ G_{\text{new}}(i, j) \\ B_{\text{new}}(i, j) \\ \text{NIR}_{\text{new}}(i, j) \end{bmatrix} = \begin{cases} \begin{bmatrix} R(i, j) + \delta_1 \\ G(i, j) + \delta_1 \\ B(i, j) + \delta_1 \\ \text{NIR}(i, j) + \delta_1 \end{bmatrix} & I_{\text{new}}(i, j) \leq \text{PAN}(i, j) \\ \begin{bmatrix} R(i, j) + \delta_2 \\ G(i, j) + \delta_2 \\ B(i, j) + \delta_2 \\ \text{NIR}(i, j) + \delta_2 \end{bmatrix} & I_{\text{new}}(i, j) > \text{PAN}(i, j) \end{cases} \quad (8)$$

其中 $\delta_1 = I_{\text{new}}(i, j) - I_0(i, j)$, $\delta_2 = \text{PAN}(i, j) - I_0(i, j)$ 。

2.6 IHS—VI方法^[8]

针对IKONOS传感器光谱响应匹配差, 特别是蓝波段B和绿波段G, Miloud等人在2011年将植被指数(VI, vegetation indexes)引入GIHS方法中, 提出了IHS—VI融合方法, 减少了融合结果中植被区域的光谱失真。在式(3)的基础上, 该方法变形为:

$$\begin{bmatrix} R_{\text{new}} \\ G_{\text{new}} \\ B_{\text{new}} \\ \text{NIR}_{\text{new}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + \alpha \delta_4 \\ G + \alpha \delta_4 \\ B + \alpha \delta_4 \\ \text{NIR} + \alpha \delta_4 \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中 $\alpha=0.6$, $\delta_4 = \text{PAN} - (R + G + B + \text{NIR}) / 4$ 。对植被部分的增强

还可将 B_{new} 和 G_{new} 波段按(10)式作进一步调整

$$\begin{bmatrix} G'_{new} \\ B'_{new} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{new} + \beta\delta_4 \\ B_{new} - \beta\delta_4 \end{bmatrix}, \quad HRNDVI > \theta \quad (10)$$

其中 $\beta=0.12$ 或 0.25 ,

$$HRNDVI = 2 \frac{NIR - R}{NIR + R - B + 4PAN - G}, \quad \theta = 0.15。$$

3 融合实验与结果分析

3.1 实验数据

本文采用IKONOS遥感数据集,包含空间分辨率为4m的四波段多光谱图像(R、G、B和NIR)和1m的全色光图像。图像原始尺寸 2000×2000 像素,拍摄场景为2001年6月的美国加州San Diego市区。为便于显示,图2仅给出 400×400 像素的部分场景。

3.2 主观评价

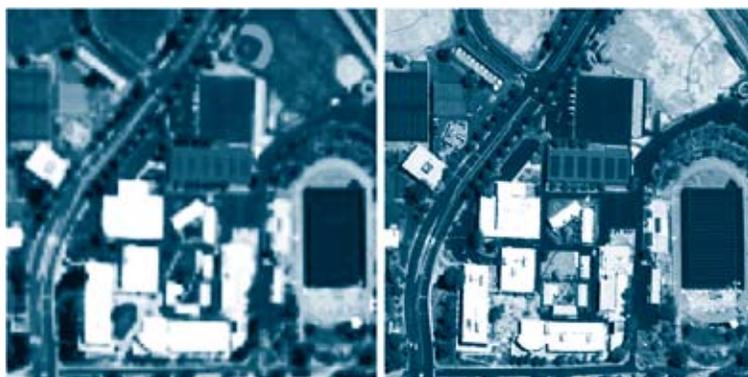
由图2可以看出,各种融合结果与原始多光谱图像相比,空间分辨率均有不同程度的增强。在RGB真彩色显示时相比原始多光谱图像来说,GIHS方法和FIHS-SA方法融合结果中绿色植被部分出现了明显的光谱失真,FIHS-SRF融合结果中色彩不够自然,过于鲜艳。TIHS-B融合结果植被部分光谱保真较好但不及IHS-LV融合方法。IHS-VI方法通过调节参数增强了绿色植被区域的可视化。

3.3 客观分析

本文采用相关系数CC、空间相关系数sCC、整体质量指数Q4、光谱角映射SAM以及相对全局维数综合误差ERGAS五个常用评价指标对各种融合结果进行评价^[1,8]。从表1可以看出,GIHS和FIHS-SA方法的sCC数值较高,然而其他指标的数值优势并不明显,特别是CC值,这说明尽管空间分辨率有明显提高,但是出现了严重的光谱失真。IHS-LV方法与IHS-VI方法的总体客观评价最好,融合结果在空间分辨率提高与光谱信息保持两方面达到了更好的平衡。

4 结束语

本文以高分辨率遥感图像融合研究为背景,选择并介绍了几种典型的基于IHS变换的图像融合方法,经实验分析可以看出,追求空间分辨率提



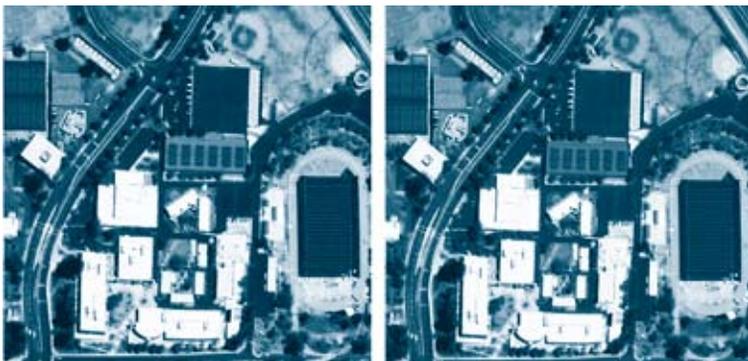
(a) 多光谱图像(R-G-B)

(b) 全色光图像



(c) GIHS方法

(d) FIHS-SA方法



(e) FIHS-SRF方法

(f) TIHS-B方法



(g) IHS-LV方法

(h) IHS-VI方法

图2 IKONOS图像及其融合结果

表1 各种融合方法的客观评价

		CC (ideal value:1)	sCC (ideal value:1)	Q4 (ideal value:1)	SAM (ideal value:0)	ERGAS (ideal value:0)
GIHS	R	0.8389	0.9958	0.8431	1.2951	1.4920
	G	0.8286	0.9974			
	B	0.8122	0.9962			
	NIR	0.9333	0.9861			
FIHS-SA	R	0.8717	0.9955	0.8466	1.2084	1.4401
	G	0.8639	0.9961			
	B	0.8544	0.9939			
	NIR	0.9364	0.9888			
FIHS-SRF	R	0.8724	0.9692	0.7941	1.4236	2.8531
	G	0.8547	0.9758			
	B	0.8889	0.9568			
	NIR	0.8797	0.8263			
TIHS-B	R	0.8839	0.9797	0.8177	0.9269	1.4949
	G	0.8747	0.9784			
	B	0.8892	0.9625			
	NIR	0.9219	0.9169			
IHS-LV	R	0.9425	0.9734	0.8861	1.0841	1.2686
	G	0.9363	0.9761			
	B	0.9354	0.9753			
	NIR	0.9522	0.9662			
IHS-VI	R	0.9394	0.9752	0.9373	0.9601	1.2274
	G	0.9059	0.9906			
	B	0.9563	0.9695			
	NIR	0.9695	0.9657			

高与光谱保真二者的平衡是融合技术研究与发展的目标。近十年来,基于IHS变换的融合方法专注于克服IKONOS数据的局限性,其研究思路与方法可进一步推广到QuickBird、GeoEye-1或WorldView-2等遥感数据。

AST

参考文献

[1] Alparone L, Wald L, Chanussot J, Thomas C, Gamba P, Bruce L M. Comparison of pansharpening algorithms: Outcome of the 2006 GRS-S Data-Fusion Contest [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2007, 45(10): 3012-3021.

[2] Tu T M, Su S C, Shyu H C., Huang P S. A new look at IHS-like image fusion methods [J]. Information Fusion, 2001 (3): 177-186.

[3] Tu T M, Huang P S, Hung C L, Chang C P. A fast intensity-hue-saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2004(4): 309-312.

[4] Gonzalez-Audicana M, Otazu X, Fors O, Alvarez-Mozos J. A low computational-cost method to fuse IKONOS images using spectral response function of its sensors [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote

Sensing, 2006, 44(6): 1683-1691.

[5] Tu T M, Cheng W C, Chang C P, Huang P S, Chang J C. Best tradeoff for high-resolution image fusion to preserve spatial details and minimize color distortion [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2007, 4(2): 302-306.

[6] Choi M. A new intensity-hue-saturation fusion approach to image fusion with a tradeoff parameter [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(6): 1672-1682.

[7] Chu H, Zhu W. Fusion of IKONOS satellite imagery using IHS transform and local

variation [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2008, 5(4): 653-657.

[8] El-Mezouar M C, Taleb N, Kpalma K, Ronsin J. An IHS-based fusion for color distortion reduction and vegetation enhancement in IKONOS imagery [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49(5): 1590-1602.

作者简介

李旭, 博士, 讲师, 主要研究方向为多传感器信息获取与处理。