

# 基于传感器光谱特性的全色与多光谱图像融合

徐佳<sup>1,2</sup>, 关泽群<sup>2</sup>, 何秀凤<sup>2</sup>, 胡俊伟<sup>3</sup>

1. 河海大学 土木工程学院, 江苏 南京 210098

2. 武汉大学 遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430079;

3. 武汉军事代表局, 湖北 武汉 430022

**摘要:** 提出了一种基于传感器光谱特性的全色与多光谱影像融合方法。该方法主要基于快速 IHS 融合方法的思想, 在充分考虑各波段成像传感器的相对光谱响应的基础上, 对强度分量的构造和空间细节信息的注入方式 2 个方面进行了改进。改进后的方法有效地改善了光谱畸变问题, 且能同时对所有的光谱波段进行融合。分别对 IKONOS、ETM+ 影像进行融合实验, 结果表明该方法在光谱信息损失最少的情况下, 较大地提高了影像的空间分辨率, 与其他方法相比具有更好的综合性能。

**关键词:** 图像融合, IHS 变换, 光谱响应, 光谱保持

**中图分类号:** TP751 **文献标识码:** A

## 1 引言

大多数的资源卫星同时提供了高分辨率的全色影像 (Pan) 和低分辨率的多光谱影像 (MS), 如 Landsat7, SPOT, IRS, IKONOS, Quickbird 等等。越来越多的遥感应用需要综合利用多光谱影像与全色影像各自的优势, 图像融合技术正是解决此问题的有效途径。现有的图像融合方法种类繁多, 基于 IHS 变换的融合方法计算简单, 且能极大地提高影像的空间分辨率, 改善视觉效果, 因而得到了广泛的应用。然而, 传统的 IHS 融合方法在提高多光谱影像空间分辨率的同时, 往往扭曲了其原有的光谱特性。

针对这一问题, 不少学者相继提出了一些改进方法 (Xiao *et al.*, 2003; 黄金等, 2005; 李均力 & 贾永红, 2005; Zhang & Hong, 2005; Tu *et al.*, 2001, 2004), 绝大多数是基于以下两种方式来构造新的强度分量 (I 分量): (1) 对 Pan 影像和 I 分量进行加权组合得到新的 I 分量, 加权系数可人为指定并用于整幅影像 (Xiao *et al.*, 2003), 或根据区域统计特性来定义 (黄金等, 2005); (2) 基于多分辨率分析对 Pan 影像、I 分量或两者进行处理, 然后融合处理后的 Pan 与 I 得到新的 I 分量, 基于此思想的方法有很多, 根

据处理方法和融合规则的不同, 构造的 I 分量也各不相同 (李均力 & 贾永红, 2004; Zhang & Hong, 2005)。这些方法虽然在一定程度上改善了光谱扭曲, 却由于对 Pan 影像的处理, 融合影像的空间分辨率往往不如传统的 IHS 融合方法。此外, 它们往往从图像的统计特性出发, 没有考虑到遥感的物理基础和影像特征。与上述方法不同, Tu 等 (2001, 2004) 对 IHS 方法的实质进行了探讨, 提出了一种快速 IHS 融合方法。然而文献 (Tu *et al.*, 2004) 中针对 IKONOS 影像, 仅通过大量实例研究提出了光谱调整策略, 缺乏理论探讨, 不具有推广性。本文从遥感的物理基础和影像特征出发, 基于快速 IHS 融合的思想, 提出了一种新的光谱保持型遥感影像融合方法, 并分别对 IKONOS 影像和 ETM+ 影像进行融合实验, 实验结果表明该方法在损失光谱信息最少的情况下, 最大限度地提高了多光谱影像的空间分辨率。

## 2 传感器的光谱特性

目前, 大多数的资源卫星同时提供了高分辨率的全色影像 (Pan) 和低分辨率的多光谱影像 (MS), 如 Landsat7, SPOT, IRS, IKONOS, Quickbird, EO-1 ALI, ALOS 等等。将高分辨率的 Pan 影像和低分辨

收稿日期: 2007-11-05; 修订日期: 2008-03-21

基金项目: 教育部长江学者和创新团队发展计划项目 (编号: IRT0438) 和河海大学自然科学基金资助项目 (编号: 2008428111)。

第一作者简介: 徐佳 (1983—), 女, 湖北荆州人, 博士, 主要从事遥感图像处理与图像解译方面研究。

率的 MS 影像进行融合,以获取高分辨率的 MS 影像是遥感影像融合的一个重要方向。传统的融合技术往往存在光谱畸变问题,其主要原因与传感器的光谱特性以及遥感影像的光谱特征密切相关。

## 2.1 全色传感器的光谱范围

全色传感器光谱范围的改变是引起光谱畸变的主要原因之一,表 1 给出了不同卫星全色传感器对应的光谱范围。可以看出不同卫星其全色传感器的光谱范围各不相同,IKONOS 和 Quickbird 的 Pan 波段光谱范围最宽,与 SPOT, IRS, ALI 以及 ALOS 的 Pan 波段不同,从可见光波段扩展到了近红外波段,比 Landsat 7 的 Pan 波段多了蓝光波段。光谱范围的差异导致了 Pan 影像特征的差异,IKONOS 或 Quickbird 的 Pan 影像与其他卫星的 Pan 影像有较大不同,例如在 IKONOS 或 Quickbird Pan 影像上,由于植被在近红外波段具有很高的反射峰值,因此植被往往要比道路亮;而在其他全色波段不包括近红外波段的卫星影像上,如 SPOT 或 IRS Pan 影像,植被则要比道路暗。

表 1 全色传感器的光谱范围

Table 1 Spectral ranges of PAN sensors

传感器	光谱范围/ $\mu\text{m}$	对应的多光谱波段
Landsat 7 (ETM +)	0.52—0.90	2(G), 3(R), 4(NIR)
IKONOS	0.45—0.90	1(B), 2(G), 3(R), 4(NIR)
Quickbird	0.45—0.90	1(B), 2(G), 3(R), 4(NIR)
SPOT 5	0.48—0.71	1(G), 2(R)
IRS P6	0.50—0.85	1(G), 2(R), 3(NIR)
EO1 (ALI)	0.48—0.69	2(B), 3(G), 4(R)
ALOS	0.52—0.77	2(G), 3(R)

## 2.2 传感器的光谱响应

大多数资源卫星上同时搭载有全色和多光谱传感器。理想情况下,各个 MS 波段较好地分离且恰好与 Pan 波段覆盖相同的光谱范围(图 1(a),以 IKONOS 为例),理论上 Pan 波段的辐射能量等于各 MS 波段的辐射能量之和。然而,传感器的实际光谱响应并非如此(图 1(b)),传感器记录的辐射能量是入瞳处的辐射能量与传感器的光谱响应共同作用的结果 (<http://www.geoeeye.com/products/imagery/ikonos/spectral.htm>),即:

$$L_k = \int L(\lambda)R_k(\lambda)d\lambda \quad (1)$$

式中, $\lambda$  为波长, $L_k$  为  $k$  波段记录的辐射亮度值(in-band radiance), $L(\lambda)$  为入瞳处的辐射能量(at-aperture spectral radiance), $R_k(\lambda)$  为在波长  $\lambda$  处的光谱响应。因此,可以定义 4 个权值来估计全色波段的辐射值,即:

$$\text{Pan} = w_B B + w_G G + w_R R + w_{\text{NIR}} \text{NIR} + (\text{other}) \quad (2)$$

式中,Pan, B, G, R, NIR 分别对应全色、蓝、绿、红、近红外波段的辐射值; $w_B, w_G, w_R, w_{\text{NIR}}$  分别为相应波段的加权系数;由于实际上 Pan 波段比 MS 波段覆盖了更大的范围,因而考虑将这部分加上,在公式(2)中用 other 表示。类似地,对于 Landsat 7,其全色与多光谱波段满足以下关系:

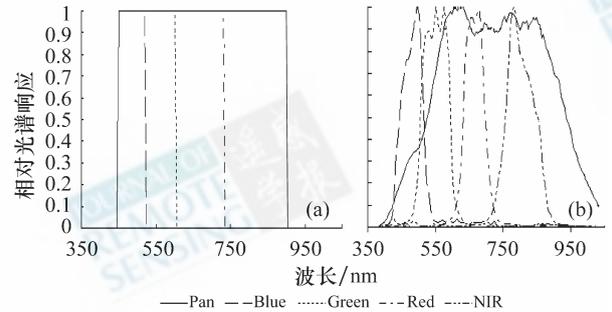


图 1 IKONOS 卫星的传感器光谱响应

(a) 理想情况;(b) 实际情况

Fig. 1 Relative spectral response of IKONOS

(a) theoretical spectral response;(b) actual spectral response

$$\text{Pan} = w_G G + w_R R + w_{\text{NIR}} \text{NIR} + (\text{other}) \quad (3)$$

式中,Pan, G, R, NIR 分别对应全色、绿、红、近红外波段的辐射值; $w_G, w_R, w_{\text{NIR}}$  分别为相应波段的加权系数。进一步推广,全色波段与其光谱范围覆盖下的多光谱波段近似满足线性关系:

$$\text{Pan} = \sum_i w_i \text{MS}_i + (\text{other}) \quad (4)$$

式中, $\text{MS}_i$  为全色波段光谱范围覆盖下的多光谱波段, $w_i$  为相应波段的加权系数。

## 3 本文的融合方法

### 3.1 快速 IHS 变换融合方法

IHS 变换融合方法是图像融合领域中一种比较成熟的经典方法,其基本思想是:将低分辨率多光谱影像从 RGB 空间变换到 IHS 空间中。由于 IHS 彩色系统中,明度 I、色度 H 和饱和度 S 3 种分量之间的相关性很低,且 I 分量反映了图像的几何特征,因此用高分辨率的 I 分量替换原来的 I 分量后,再

通过逆变换得到融合影像,可以达到提高其空间分辨率的目的。IHS 彩色空间模型有多种,因而 IHS 变换融合方法也有多种形式。

Tu 等对 IHS 方法的实质进行了探讨,提出了一种快速 IHS 融合方法(Tu *et al.*, 2004),考虑从 RGB 空间到 IHS 空间的彩色转换为线性变换,依据 IHS 变换融合思想,利用新的强度分量  $I_{\text{new}}$  替换  $I$  分量,再通过逆变换得到融合影像  $F$ ,即有:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} F(R) \\ F(G) \\ F(B) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I + (I_{\text{new}} - I) \\ v1 \\ v2 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I + \delta \\ v1 \\ v2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + \delta \\ G + \delta \\ B + \delta \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

式中,  $\delta = I_{\text{new}} - I$ ,  $I = (R + G + B)/3$ 。

依照式(5),融合影像  $[F(R) \ F(G) \ F(B)]^T$  可以通过对原始影像  $[R \ G \ B]^T$  进行简单的加法运算获得。针对 IKONOS 影像,考虑到其全色波段的光谱范围覆盖了 4 个多光谱波段,Tu 等引入近红外波段 NIR 来构造  $I$  分量,同时将快速 IHS 融合方法从 3 个波段扩展到 4 个波段,即:

$$\begin{bmatrix} F(R) \\ F(B) \\ F(G) \\ F(\text{NIR}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + \delta \\ G + \delta \\ B + \delta \\ \text{NIR} + \delta \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中,  $\delta = I_{\text{new}} - I$ ,  $I = (R + G + B + \text{NIR})/4$ 。通过对多幅 IKONOS 影像进行实验,Tu 等进一步提出了光谱调整策略,即取:

$$I = (R + 0.75 G + 0.25 B + \text{NIR})/3$$

### 3.2 考虑传感器光谱特性的融合方法

快速 IHS 变换融合方法操作简单、计算量小,因而得到了广泛地应用(González-Audicana *et al.*, 2006; Choi, 2006)。然而,其调整策略仅针对 IKONOS 影像,推广性较差。本文在充分考虑传感器光谱特性的基础上,从 2 个方面对快速 IHS 变换融合方法进行了改进。

#### 3.2.1 重新构造 $I$ 分量

对于传统的 IHS 方法而言, $I$  分量等于参与融合的 3 个多光谱波段的平均。根据上一节的分析,全色波段与其光谱范围覆盖下的多光谱波段近似满足线性关系。因此,无论参与融合的波段为哪些多光谱波段,均利用全色波段光谱范围覆盖下的多光谱波段来构造  $I$  分量,且根据各波段的光谱响应不同采用不同的加权系数,即有:

$$I = \sum_i w_i \text{MS}_i \quad (7)$$

式中, $\text{MS}_i$  为全色波段光谱范围覆盖下的多光谱波段, $w_i$  为相应波段的加权系数。对于 IKONOS, $i$  为 1,2,3,4 波段,Landsat 7 (ETM+) 为 2,3,4 波段,其他卫星可参考表 1。

加权系数  $w_i$  的确定至关重要,对于 IKONOS 影像,Dou 等(2007)通过对全色与多光谱传感器的光谱响应函数进行线性回归,得到适用于辐射值的系数  $w = [0.19708371, 0.80105230, 1.1355215, 1.3615748]$ ;对于 ETM+ 影像,Boggione 等(2003)依据全色与多光谱传感器的光谱响应曲线覆盖的面积,得到系数  $w = [0.25, 0.23, 0.52]$ ,具有一定的参考价值。然而,实际应用中获得的遥感影像往往受到卫星工作状态、大气效应、成像误差等因素的影响,直接依据光谱响应函数得到的加权系数并不适用于所有影像,特别是受大气影响严重的影像。因此,本文在考虑传感器光谱响应的基础上,通过多元线性回归来获取加权系数。首先对 Pan 影像进行低通滤波和下采样将其退化到与 MS 影像相同的分辨率,然后假定其满足公式(4),通过线性回归得到回归系数,将之作为构造  $I$  分量时的加权系数  $w_i$ 。对于 IKONOS 影像,即依据公式(2)求得系数  $[w_B, w_G, w_R, w_{\text{NIR}}]$  作为加权系数。考虑到公式(4)中的常数项 other,在提取空间细节分量  $\delta$  时对其进行均值调整。

#### 3.2.2 对空间细节分量 $\delta$ 进行调制

传统的 IHS 方法将空间细节分量同等地注入参与融合的各个多光谱波段。本文方法将提取的空间细节分量  $\delta$  经过调制后再注入各波段,则公式(5)可改写为:

$$F(\text{MS}_k) = \text{MS}_k + a_k \delta = \text{MS}_k + a_k (I_{\text{new}} - I) \quad (8)$$

式中: $\text{MS}_k$  为参与融合的多光谱波段  $k$ ,  $I_{\text{new}} = \text{Pan}$ ,  $I$  分

量依照公式(7)构造;为了保持光谱特性,考虑注入的空间细节与原始多光谱波段成比例,则  $a_k = MS_k/I$ 。

以 IKONOS 为例,传统 IHS 融合方法、快速 IHS 融合方法(FIHS)、经过光谱调整的快速 IHS 融合方法(FIHS-SA)与本文方法区别如表 2。可以看出,本文提出的方法依据全色传感器光谱范围选择合适的多光谱波段来构造  $I$  分量,根据全色与多光谱波段的近似线性关系,通过多元线性回归来获取加权系数  $w_i$ ,充分地考虑了传感器的光谱特性。此外,将空间细节分量有区别地注入各个波段。因而,本文方法能更好地保持光谱特性,且将 IHS 融合方法扩展到任意波段,即能同时融合所有的多光谱波段,如 IKONOS 1—4 波段,ETM + 1—5、7 波段。

表 2 不同融合方法比较(以 IKONOS 为例)

Table 2 Comparisons of different fusion methods

融合方法	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$a_k$
IHS	1/3	1/3	1/3	0	1
FIHS	1/4	1/4	1/4	1/4	1
FIHS-SA	1/12	1/4	1/3	1/3	1
本文方法	$w_B$	$w_G$	$w_R$	$w_{NIR}$	$MS_k/I$

## 4 融合实验与分析

为验证本文方法的正确性和有效性,采用退化后的 IKONOS 卫星影像进行实验。将原始的 IKONOS 多光谱影像(4m)作为参考图像;对多光谱和全色影像进行低通滤波和下采样分别退化到 16m 和 4m 分辨率,并进行几何配准(图 2(a)—(c),部分影像)。同时利用本文所提出的方法、传统的 IHS 融合方法、快速 IHS 融合方法(FIHS)、Xiao 等(2003)提出的改进的 IHS 融合方法(IIHS)以及 ERDAS 中提供的 IHS 变换与小波变换相结合方法(IHS-WT)对其进行融合处理。本文方法在采用反射率进行融合实验时,构造  $I$  分量的加权系数为  $[0.0611, 0.1983, 0.2284, 0.3512]$ ,在采用辐射值进行融合实验时,构造  $I$  分量的加权系数为  $[0.1917, 0.8972, 1.2763, 1.9916]$ 。尽管采用的加权系数不同,利用本文提出的融合方法均能得到很好的融合效果。此处对反射率融合实验结果进一步探讨,截取部分影像以 3,2,1 彩色合成显示如图 2。

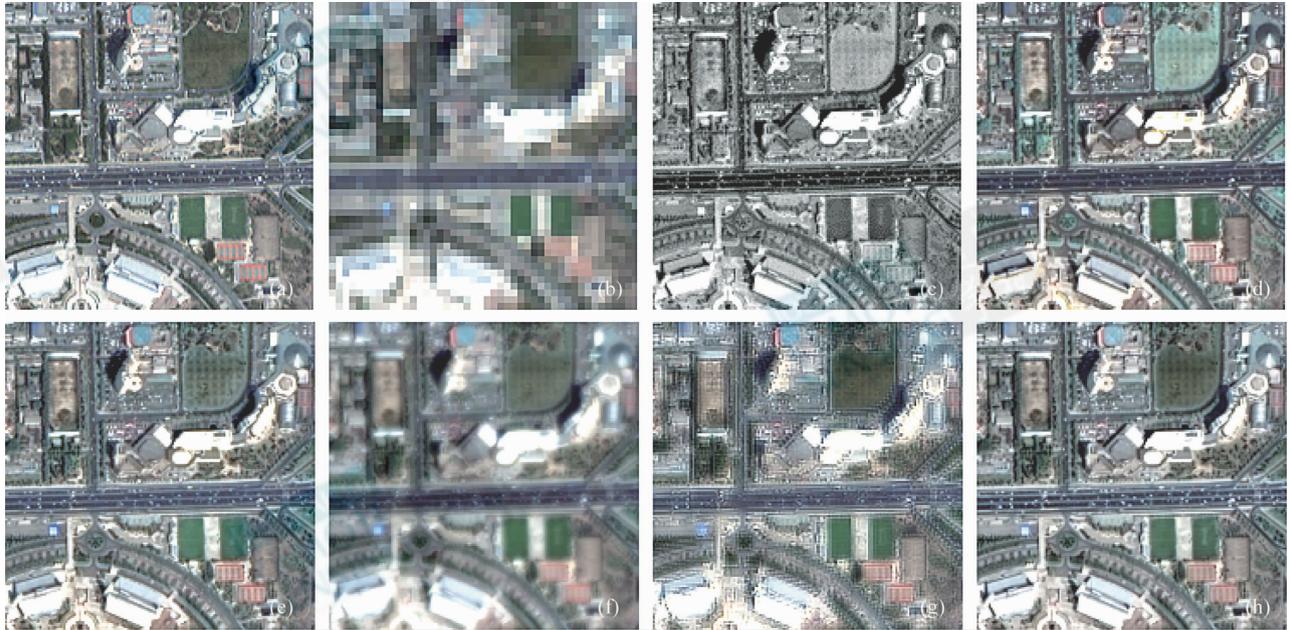


图 2 IKONOS MS 与 Pan 部分影像(反射率)及其融合结果(3,2,1 真彩色合成)

- (a)原始 MS 影像(4m);(b)退化后的 MS 影像(16m);(c)退化后的 Pan 影像(4m);(d)IHS 融合结果;  
(e)FIHS 融合结果;(f)IIHS 融合结果;(g)IHS-WT 融合结果;(h)本文方法融合结果

Fig. 2 Part of IKONOS MS, Pan images (Reflectance) and fusion results (RGB (321) combination)  
(a)original MS image(4m);(b)degraded MS image(16m);(c)degraded pan image(4m);(d)IHS fusion result;  
(e)FIHS fusion result;(f)IIHS fusion result;(g)IHS-WT fusion result;(h)fusion result of proposed method

从目视效果来看, IHS 方法的融合结果存在较明显的色彩畸变, 光谱信息损失较大; FIHS 方法的融合结果光谱质量有一定提高, 但图像右上方及左下方的植被区仍存在色彩畸变; IIHS 方法与 IHS-WT 方法较好地保留了光谱信息, 但在空间分辨率上不如其他方法, 地物的边缘、纹理不清晰, 且后者的融合影像中还存在斑块现象; 本文方法在很好地保持光谱信息的同时, 较大地提高了多光谱影像的空间分辨率, 融合结果与参考影像最接近。

表 3 不同融合方法定量评价

Table 3 Quantitative analysis of different fusion methods

评价指标	波段	IHS	FIHS	IIHS	IHS-WT	本文方法
Bias	B	1.0240	0.8411	0.9169	0.5093	0.4856
	G	0.9307	0.8223	0.8656	0.5016	0.4660
	R	1.0271	0.8168	0.8912	0.5309	0.4818
	NIR	—	0.8808	—	—	0.5120
Entropy	B	6.0853	5.9662	5.9215	6.1524	6.3735
	G	6.3541	6.2014	6.1014	6.3022	6.5240
	R	6.5831	6.5502	6.4322	6.6241	6.7760
	NIR	—	6.8752	—	—	6.9406
CC	B	0.6567	0.7749	0.8693	0.8719	0.8632
	G	0.7021	0.8200	0.8882	0.8802	0.8733
	R	0.7843	0.8561	0.9038	0.8958	0.8976
	NIR	—	0.8607	—	—	0.8723
sCC	B	0.9927	0.9916	0.9242	0.6297	0.9818
	G	0.9942	0.9921	0.9097	0.6311	0.9887
	R	0.9897	0.9836	0.8774	0.6326	0.9840
	NIR	—	0.9854	—	—	0.9843
UIQI	B	0.6396	0.7443	0.8333	0.8530	0.8620
	G	0.6870	0.7856	0.8556	0.8586	0.8710
	R	0.7607	0.8186	0.8713	0.8712	0.8910
	NIR	—	0.8535	—	—	0.8676

为了更客观地比较融合图像, 本文采用以下 5 种指标来对融合结果进行定量评价: 均值偏差 (Bias), 信息熵 (Entropy), 相关系数 (CC), Zhou 提出的空间相关系数 (sCC) (Zhou *et al.*, 1998) 以及通用图像质量指数

(UIQI) (Wang & Bovik, 2002), 结果如表 3。其中, Bias 反映了融合影像与参考 MS 影像光谱特征变化的平均程度, 理想情况下为 0; CC 反映了融合影像光谱特征保持程度, 光谱信息保持越多其取值越接近于 1; Entropy 从信息测度的角度出发对图像的信息量进行评价, Entropy 值越大表明信息量越大, 则图像细节信息越丰富; sCC 为经过拉普拉斯滤波后的融合影像各波段与拉普拉斯滤波后的 Pan 影像的相关系数, sCC 值越高表明在融合过程中有越多的空间信息注入 MS 影像; UIQI 反映了融合影像的光谱质量, UIQI 值越高, 融合影像与参考 MS 影像的相似程度越高。从表 3 可以看出, 在光谱特性方面, 采用本文方法得到的融合结果除 CC 指标略低于 IHS-WT 方法以外, Bias 指标与 UIQI 指标均为最佳, 这表明本方法具有较好的光谱保持特性, 光谱信息损失较少; 在空间特性方面, 本文方法得到的融合影像 Entropy 值最大, 表明其细节信息最丰富, sCC 指标与 IHS 方法和 FIHS 方法很接近, 远高于 IIHS 方法和 IHS-WT 方法。从综合性能来看, 本文方法在光谱信息损失最少的情况下, 较大地提高了影像的空间分辨率, 性能最佳。

除了 IKONOS 影像以外, 本文还利用 Landsat7 ETM + 的 MS 及 Pan 影像进行了一组实验, 影像几何配准后对 DN 值进行融合。为便于比较, 截取部分影像及融合结果并以 7, 4, 3 彩色合成如图 3。可以看出, 利用传统 IHS 融合方法得到的融合影像存在光谱失真, 居民地、机场跑道及水域的色彩均有较大变化; 与 IHS 方法相比, 利用本文提出的方法得到的融合影像在保持影像空间分辨率的同时, 较好地保留了原始 MS 影像的光谱信息。此外, 利用本文方法可同时对所有的光谱波段进行融合, 一次性得到 ETM + 1—5, 7 六个波段的理想融合影像。



图 3 Landsat7 ETM + MS 部分影像 (DN 值) 及其融合结果 (7, 4, 3 彩色合成)

(a) 原始 MS 影像; (b) IHS 融合结果; (c) 本文方法融合结果

Fig. 3 Part of Landsat7 ETM + MS image and fusion result (RGB (7, 4, 3) combination)

(a) original MS image; (b) IHS fusion result; (c) fusion result of proposed method

## 5 结 论

本文从遥感的物理基础和影像特征出发,基于快速 IHS 融合的思想,提出了一种新的光谱保持型遥感影像融合方法。该方法对快速 IHS 融合方法进行了两点改进,一方面考虑全色传感器的光谱范围以及全色与多光谱波段之间的关系,重新构造了  $I$  分量;另一方面对待注入的空间细节分量  $\delta$  进行了调制,可以同时对所有的光谱波段进行融合。融合实验表明,本文提出的改进方法在光谱信息损失最少的情况下,较大地提高了影像的空间分辨率,综合性能优于其他方法。此外,该方法不仅简单易行,而且具有较好的普适性,适用于现有的各种资源卫星影像,且对于辐射值、DN 值或反射率均适用。

## REFERENCES

- Boggione G A, Pires E G, Santos P A, *et al.* 2003. Simulation of a panchromatic band by spectral combination of multispectral ETM + bands. Proceedings of International Symposium on Remote Sensing of Environmental (ISRSE), Hawaii
- Choi M. 2006. A new intensity-hue-saturation fusion approach to image fusion with a tradeoff parameter. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **44**(6): 1672—1682
- Dou W, Chen Y H, Li X B, *et al.* 2007. A general framework for component substitution image fusion: An implementation using the fast image fusion method. *Computer & Geosciences*, **33**: 219—228
- González-Audicana M, Otazu X, Fors O, *et al.* 2006. A low computational-cost method to fuse IKONOS images using the spectral

- response function of its sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **44**(6): 1683—1691  
<http://www.geoeeye.com/products/imagery/ikonos/spectral.htm>
- Huang J, Pan Q, Pi Y N, *et al.* 2005. An IHS image fusion method based on weighted regional features. *Computer Engineering and Applications*, (6): 39—43
- Li J L, Jia Y H. 2004. A new fusion method based on resolution degradation model for panchromatic and multi-spectral images. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, **29**(4): 302—306
- Tu T M, Huang P H, Hung C L, *et al.* 2004. A fast intensity-hue-saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, **1**(4): 309—312
- Tu T M, Su S C, Shyu H C, *et al.* 2001. A new look at IHS-like image fusion methods. *Information Fusion*, (2): 177—186
- Wang Z, Bovik A C. 2002. A universal image quality index. *IEEE Signal Process. Lett.*, **9**(3): 81—84
- Xiao G, Jing Z L, Li J X, *et al.* 2003. Analysis of color distortion and improvement for IHS image fusion. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Proceedings*, (1): 80—85
- Zhang Y, Hong G. 2005. An IHS and wavelet integrated approach to improve pan-sharpening visual quality of natural colour IKONOS and QuickBird images. *Information Fusion*, (6): 225—234
- Zhou J, Civco D L, Silander J A, *et al.* 1998. A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic Data. *International Journal of Remote Sensing*, **19**(4): 743—757

## 附中文参考文献

- 黄金, 潘泉, 皮燕妮等. 2005. 基于区域特征加权的 IHS 图象融合方法. *计算机工程与应用*, (6): 39—43
- 李均力, 贾永红. 2004. 基于分辨率退化模型的全色和多光谱遥感影像融合方法. *武汉大学学报·信息科学版*, **29**(4): 302—306

# Novel method for merging panchromatic and multi-spectral images based on sensor spectral response

XU Jia<sup>1,2</sup>, GUAN Ze-qun<sup>2</sup>, HE Xiu-feng<sup>2</sup>, HU Jun-wei<sup>3</sup>

1. Institution of Civil Engineering, HoHai University, Jiangsu Nanjing 210098, China;

2. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Hubei Wuhan 430079, China;

3. Mathematics Department, Wuhan Military Representative Bureau, Hubei Wuhan 430022, China

**Abstract:** For most of the traditional image fusion methods, the spectral distortion of the fused images is a common problem. The major reason relates closely to the different spectral characteristics of sensors. In this paper, a novel spectral preservation fusion method for remotely sensed images is presented by considering the spectral characteristics of sensors. The method is mainly based on the fast IHS transform. After analyzing the spectral response of the multispectral and panchromatic sensors, the IHS fusion method has been improved in two parts: the construction of intensity component and the injection method of detail information. In the proposed method, the spectral distortion is reduced significantly and all the multispectral bands can be fused at the same time. To evaluate the performance and efficiency of the proposed method, two experiments are carried out on IKONOS and ETM + images respectively. The results show that the proposed method is better than other methods. It can keep almost the same spatial resolution as the panchromatic images and minimize color distortion.

**Key words:** image fusion, intensity-hue-saturation (IHS) transform, spectral response, spectral preservation