

# 一种改进 IKONOS 融合影像中植被色偏的 IHS 算法

王万同, 刘鹏飞

(河南大学 环境与规划学院, 开封 475001)

**摘要:** 在分析几种改进 IHS 算法的基础上, 针对 IKONOS 影像融合后植被区出现的色偏问题, 提出一种改进算法。该算法采用缨帽变换的方法提取植被信息, 并对植被区与非植被区分别采用不同的融合策略, 最终得到融合影像。实验结果表明, 该算法在保持光谱和提高空间细节之间获得较好均衡的同时, 植被区的色偏问题也得到改善, 具有更好的目视效果, 与几种改进的 IHS 算法对比分析, 该算法均优于其他几种改进算法。

**关键词:** IHS; 缨帽变换; IKONOS 影像; 影像融合; 植被色偏

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.04.014

**中图分类号:** TP751    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-3177(2011)116-0071-05

## An IHS Algorithm Improving the Vegetation Color Distortion of the Fused IKONOS Image

WANG Wan-Tong, LIU Peng-Fei

(College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475001)

**Abstract:** This paper proposes an improved algorithm, which is dealing with the color distortion problem of the vegetation region after the IKONOS image fusion, based on the analysis of some other improved algorithms of Intensity-Hue-Saturation (IHS). The proposed algorithm adopts the method of Tasseled Cap Transform to extract the vegetation information and employs the different fusion strategies to analyze the vegetation region and non-vegetation region separately in order to get a final fused image. Experiment result demonstrates that while the algorithm keeps the balance between spectrum and the improving details of spatial resolution, and, at the same time, improve the color distortion to have the better visual effect. Comparing with some other improved algorithms of IHS, the proposed algorithm is better than them.

**Key words:** IHS; tasseled cap transformation; IKONOS; image fusion; vegetation color distortion

### 1 引言

高分辨率影像上地物的光谱特征更加明显, 其景观的结构、形状、纹理等信息也更加突出, 为影像的目视解译、信息提取、分类和目标识别带来很大的便利。但空间分辨率的提高使得影像的尺寸或相同地面面积的像元数目随之增加, 数据量也随之剧增, 细节更加复杂。同时, 这些高分辨率影像的全色波段具有更宽的光谱范围(从可见光延伸到近红外)。在对高分辨率影像进行融合处理的过程中, 传统的

融合算法如 IHS、BT、PCA 等受到挑战, 这类融合算法虽计算量较小, 能够有效提高影像分辨率, 但同时也会损失较多的光谱信息<sup>[1]</sup>。也有针对光谱失真的改进方法如 Wavelet, SFIM, Gram-schmidt, 但都存在着计算复杂和不同程度空间细节失真的缺陷。有不少学者把目光转向了基于 IHS 色彩转换融合算法的改良上, 其代表有 Tu 等人的 FIHS 算法<sup>[2-4]</sup>, 韩国学者 Choi 的算法<sup>[5-6]</sup>, 此类 IHS 算法不通过色彩转换模型, 具备较高的计算效率, 光谱失真(色偏)有所减少, 但仍不能让人满意。本文在 FIHS 算法基

收稿日期: 2010-05-06    修订日期: 2010-06-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(40771146)资助。

作者简介: 王万同(1974-)男, 博士生, 研究方向为遥感影像处理。

**E-mail:** advkwo@163.com

基础上,以 IKONOS 影像为例,提出一种基于缨帽变换的方法,将影像分为植被区与非植被区,分别采用不同的融合策略进行融合。

## 2 几种 IHS 算法及存在的问题

### 2.1 IHS 融合算法

IHS 融合算法通过 IHS 色彩转换将多光谱影像从 RGB 色彩模型转换到 IHS 色彩模型中,将 RGB 影像分解成 I(亮度)分量、H(色度)分量、S(饱和度)分量。在 I 分量中,存储着影像的空间细节信息。基于这一特点,用全色影像来替换 I 分量(可在替换前和 I 分量进行直方图匹配以保证有相同的灰度曲线),然后将替换过的 I 分量与原来的 H 分量、S 分量转换回 RGB 模型,融合后的影像就保留了全色影像高分辨率的空间细节。

### 2.2 几种 IHS 改进算法

IHS 融合算法通过用全色影像替换强度分量来实现,会导致在空间细节注入上没有选择性,过量空间细节的注入往往超出实际的要求,并导致严重的光谱失真。针对这一问题,众多学者提出一些改进算法,如将小波变换引入到 IHS 变换中,虽然减弱了一定程度的光谱失真,却带来算法复杂、计算效率低、小波变换形式和小波基的难以合适选取等弊端,尤其对大数据量的高分辨率影像来说更是难以胜任。

鉴于传统算法以及多分辨率分解算法难以满足高分辨率影像融合的要求,基于非多分辨率分解的算法随之得到发展。该领域的代表学者 Tu 提出一种不需要进行 RGB-IHS 色彩转换的快速 IHS 影像融合方法(FIHS)<sup>[2]</sup>,使得在处理大数据量的高分辨率影像时具备更加高的计算效率。FIHS 表示如式(1):

$$\begin{bmatrix} R_{new} \\ G_{new} \\ B_{new} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Pan \\ v1 \\ v2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_0 + \delta \\ G_0 + \delta \\ B_0 + \delta \end{bmatrix} \quad (1)$$

这里  $\delta = Pan - I, I = (R + G + B)/3$ 。

FIHS 算法保持了最大的高分辨率空间细节,同时具有较高的计算效率,但是同样也存在光谱失真,尤其是在植被区域,色偏更严重。究其原因,从图 1 可以看出,IKONOS 全色光谱延伸到了近红外波段,植被在进行光合作用时,有吸收蓝光、红光,并反射红外光的特性<sup>[7]</sup>,所以在 IKONOS 全色波段和

近红外波段表现为高亮度,而在可见光影像上表现为较暗色调。这种差异如果在融合全色和多光谱影像时没有考虑到,则光谱失真的问题难以避免和减弱。

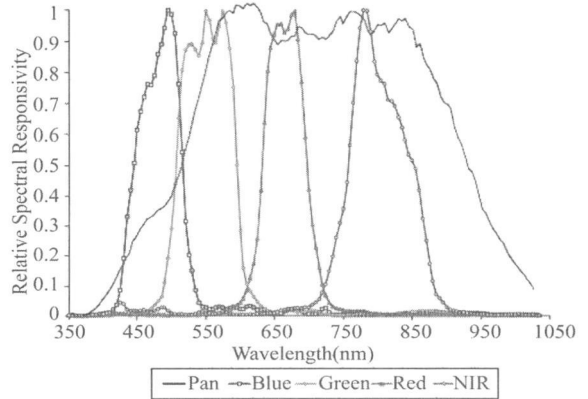


图 1 IKONOS 光谱响应曲线

为了解决这个问题, Tu 等又将近红外波段纳入进来,提出了改进算法(eFIHS),  $I_{eFIHS} = (R + G + B + NIR)/4$ 。随后又考虑到 G、B 波段光谱差异,提出更进一步的改进(eFIHS-sa)<sup>[3]</sup>,  $I_{sa} = (R + a^* G + b^* B + NIR)/3$ ,并通过 92 组 IKONOS 影像融合实验得到最佳权重值  $a$  为 0.75,  $b$  为 0.25。

韩国学者 Choi 进一步提出改进(eFIHS-choi)<sup>[5]</sup>,  $I_{choi} = (a^* R + 0.75^* G + 0.25^* B + b^* NIR)/3$ ,权重值  $a$  为 0.3,  $b$  为 1.7。

但是在 FIHS 算法中, Tu 分析出当 Pan 值小于 I 值时,融合影像的饱和度将被拉伸,反之当 Pan 值大于 I 值时,饱和度值则将被压缩,拉伸或压缩的程度由  $\delta$  决定。由此 Choi 提出了一种可调参数的算法<sup>[6]</sup>,简写如式(2):

$$\begin{bmatrix} R_{new} \\ G_{new} \\ B_{new} \\ NIR_{new} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_0 + \gamma^* \delta \\ G_0 + \gamma^* \delta \\ B_0 + \gamma^* \delta \\ NIR_0 + \gamma^* \delta \end{bmatrix} \quad (2)$$

这里  $\delta = Pan - I, I = (R + G + B)/3, \gamma = (t - 1)/t$ 。  $t$  为权重,用来控制融合影像在光谱和空间细节上的失真程度。Choi 藉由  $\gamma$  来减小 Pan 和 I 之间的差异。

Tu 等指出 Choi 的折中算法并非一个两全其美的方法,无法同时保留最大的空间细节和光谱信息,他们在 Choi 的基础上加入一个可控制 Pan 及 I 比值的调整因子,来正规化其能量分布<sup>[4]</sup>如式(3)。

$$\begin{bmatrix} R_{new} \\ G_{new} \\ B_{new} \\ NIR_{new} \end{bmatrix} = \frac{Pan}{\frac{t-1}{t}Pan + \frac{1}{t}I'} \begin{bmatrix} R_{0+} \frac{t-1}{t} \delta \\ G_{0+} \frac{t-1}{t} \delta \\ B_{0+} \frac{t-1}{t} \delta \\ NIR_{0+} \frac{t-1}{t} \delta \end{bmatrix} \quad (3)$$

这里  $\delta = Pan - I'$ ,  $I' = I_{SA} = (R + 0.75 * G + 0.25 * B + NIR) / 3$ 。当  $t = 1$  时, 式(3) 相当于 BT 融合算法,  $t$  趋近无穷大时, 则相当于 IHS 融合算法。该算法从一定程度上改善了色偏现象, 但是其中的权重值是人为指定, 具有随机性, 并且需要经过大量的实验分析才能得到合适值。

### 3 缨帽变换提取植被信息

缨帽变换是由 Kauth 及 Thomas 于 1976 年提出用于 Landsat MSS 植被信息提取<sup>[8]</sup>, 并于 1984 年由 Crist 及 Cicone 改进适用于 TM 传感器<sup>[9]</sup>。缨帽变换是线性变换, 变换公式如式(4):

$$U = R \cdot X + r \quad (4)$$

其中,  $R$  为缨帽变换矩阵,  $X$  代表不同波段的灰度值,  $r$  为避免出现负值而加的常数, 一般取值为零。

相对于目前常用的高分辨率 IKONOS 影像, Horne 籍由分析 195 组不同区域的 IKONOS 影像, 求得 IKONOS 卫星的  $R$  变换矩阵如式(5) (该矩阵已被 ERDAS 遥感影像处理软件所采用并开发成一个独立模块, 可直接对 IKONOS 影像进行缨帽变换)<sup>[10]</sup>:

$$R = \begin{bmatrix} 0.326 & 0.509 & 0.560 & 0.567 \\ -0.311 & -0.356 & -0.325 & 0.819 \\ -0.612 & -0.312 & 0.722 & -0.081 \\ -0.650 & 0.719 & -0.243 & -0.031 \end{bmatrix} \quad (5)$$

变换后的第一分量  $U_1$  可看做是多光谱影像各波段的和, 与全色波段非常接近, 所以也有学者研究利用全色影像替换此分量来进行影像融合增强。第二分量  $U_2$  可看做是近红外光减去可见光, 在植被区域表现为高亮度, 在道路或建筑物等则表现较暗, 这个特性对区分不同地表类型是极其有用的。第三分量  $U_3$  可看做是红光减去蓝光波段, 对进一步鉴别植被与土壤区域有一定作用。第四分量  $U_4$  可看做是绿光减去蓝光波段, 通常将此分量看做噪声, 大部分情况下可将其忽略。高分辨率 IKONOS 影像经过改进的缨帽变换后, 可以提高对植被的识别效

率, 特别是对乔木、灌木、草和农田的区分, 另外对于区分植被和人工地物的效果也不错。

基于  $U_1$ 、 $U_2$  和  $U_3$  的特性, 为了增强植被信息, 采取强化  $U_2$ , 减弱  $U_1$ 、 $U_3$  的原则, 可采用式(6) 来提取植被信息:

$$VI = a * U_2 - b * U_1 - c * U_3 \quad (6)$$

其中,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  分别为权重系数, 可以通过伪主成分变换 PKLT<sup>[11]</sup> 求取。PKLT 转换矩阵为:

$$\begin{bmatrix} PC_1 \\ PC_2 \\ PC_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1/2 & 0 & -1/2 \\ -1/4 & 1/2 & -1/4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

权重系数  $a$ 、 $b$ 、 $c$  的值取  $1/2$ 、 $-1/4$ 、 $-1/4$ 。则  $VI = 1/2 * U_2 - 1/4 * U_1 - 1/4 * U_3$  通过设定阈值  $\theta = 0$ , 采用半阈值法得到植被图  $V$ 。

### 4 融合方法

首先将 IKONOS 多光谱影像重采样到 1m 分辨率, 并与 Pan 进行配准; 然后按 Choi 提出的  $I_{Choi} = (0.3 * R + 0.75 * G + 0.25 * B + 1.7 * NIR) / 3$  得到  $I$  分量; 将  $Pan$  与  $I$  分量作直方图匹配, 使之具有和  $I$  相同的灰度分布, 得到  $Pan'$ ,  $\delta = Pan' - I$ ; 按式(3), 分别由  $t = 1$  和  $t \rightarrow \infty$  得到融合影像 1 和 2; 引入通过缨帽变换得到的植被图  $V$ , 提取影像 1 的植被区与影像 2 的非植被区进行融合, 得到最终的融合影像。

### 5 实验研究

实验选用了 IKONOS 卫星 1m 分辨率全色影像 (大小为  $400 \times 400$  像素),  $R$ 、 $G$ 、 $B$ 、 $NIR$  波段 4m 分辨率原始多光谱影像 (大小为  $100 \times 100$  像素) 进行融合实验。所有算法和实验均在 ERDAS 和 Matlab 上实现。实验同时采用了 eFIHS-sa、eFIHS-choi、Choi、Tu4 种算法。其中, Choi、Tu 算法中  $t$  的取值按照文献中提供的 1.25 与 5 这两个值。

#### 5.1 主观目视评价

通过对图 2 所示的实验结果进行目视分析可以看出: 色调保持最好的是图 2(e), 但是空间细节出现较大的失真, 表现为影像细节模糊; 其次为图 2(d)、图 2(g)、图 2(i); 最差的是图 2(c), 原因是对于红光、近红外波段贡献值没有充分考量。在空间细节上图 2(c)、图 2(f)、图 2(h)、图 2(i) 最好, 图 2(e)、图 2(g) 出现建筑物边缘不够清晰并出现蓝色伪轮廓。总体上来看, 本文算法图 2(i) 融合影像色偏程

度较小,尤其是植被区色偏问题得到改善,纹理结构和地物界线突出,地物差异明显,清晰度较高,在保持光谱和空间细节上均优于其他几种算法。

### 5.2 客观定量评价

实验中所采用的客观评价指标有:信息熵、平均梯度、边缘强度、均值差、标准差、相关系数<sup>[12-13]</sup>。

相关系数是描述影像间相关程度的统计量,反映了两个波段影像所包含信息重叠程度。通过相关系数可以看出影像光谱信息在融合前后的改变程度,值越大则融合影像越能保持多光谱影像的光谱特征;均值差也称为相对偏差或者光谱扭曲程度,直接反映了影像的光谱失真程度,通过比较融合后影

像和多光谱影像各个波段的均值偏差可以来衡量融合影像的光谱失真程度。

熵是衡量影像信息丰富程度的重要指标,表示影像包含的信息量的多少,同时也反映了影像的细节表现能力。熵值越大,影像信息量就越大;标准差是衡量影像信息量的重要指标,反映了影像像元灰度值偏离灰度均值的程度,值越大则灰度级分布越分散。

梯度反映了影像对微小细节反差的表达能力,可以用来评价影像的清晰程度。一般来说,平均梯度越大,影像就越清晰;边缘强度反映了影像地物差异程度,值越大则地物轮廓和边缘越清晰。

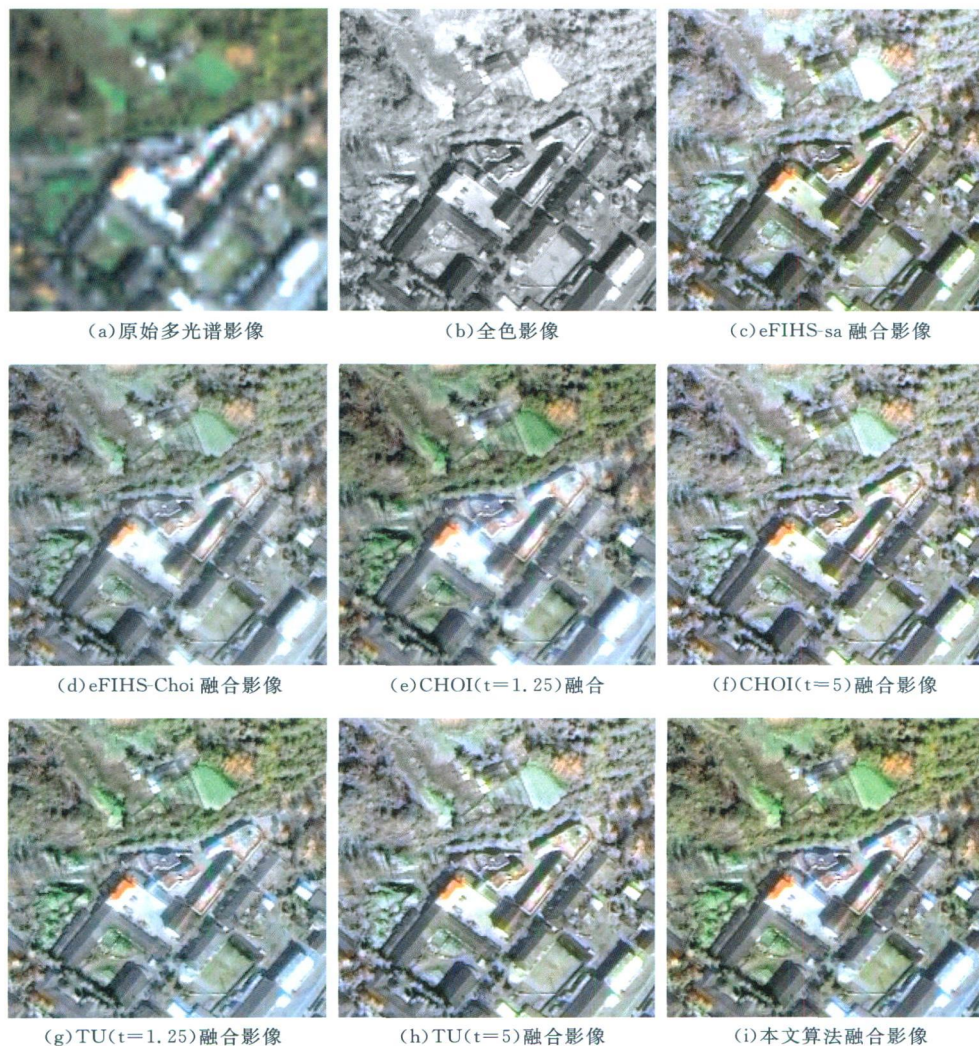


图2 原始影像和几种算法的融合结果

表1给出了实验得到的客观评价结果。限于篇幅,仅给出了R、G、B、NIR波段的平均值。由表1可以看出,信息熵和标准差最好的是Tu的算法,平均梯度和边缘强度最好的是eFIHS类算法,均值差

和相关系数最好的是本文算法,Choi的算法在各项指标都较低。总体上来看,本文算法的改进也带来最好的光谱保持能力,在信息量、边缘特征等方面也接近于Tu的算法,综合评价指标最好。

表1 几种算法融合影像的客观评价结果

	信息熵 Entropy	平均梯度 g	边缘强度 Edge	标准差 St dev	均值差 SSD	相关系数 sCC	相关系数 CC
原始影像	8.091	12.437	132.129	78.074	-	0.379	1.000
eFIHS-sa	8.234	27.343	273.080	103.427	2.427	0.961	0.622
eFIHS-choi	8.132	28.544	279.624	97.479	38.540	0.811	0.795
Choi(t= 1.25)	7.866	13.736	135.245	74.380	12.330	0.653	0.940
Choi(t= 5)	8.354	23.673	212.535	85.912	55.827	0.923	0.671
Tu(t= 1.25)	8.564	27.698	254.532	97.323	2.569	0.873	0.860
Tu(t= 5)	8.451	27.836	269.435	100.518	3.432	0.968	0.731
本文算法	8.363	25.221	256.612	97.397	3.479	0.925	0.850

## 6 结束语

在分析几种改进的IHS融合算法的基础上,以IKONOS影像为例,针对融合过程中出现的植被区色偏问题,提出了一种改进的融合算法。该算法通过缨帽变换提取植被信息,将影像分为植被区和非

植被区,分别采取不同的融合策略进行融合,在保持光谱和提高空间分辨率之间获得了较好的均衡,改善了植被区的色偏问题,具有更好的目视效果,同时还具备了高计算效率、避免人为指定权重带来的主观因素偏差等特点,适合于高分辨率遥感影像的融合增强应用。

## 参考文献

- [1] Wang Z, Ziou D, Armenakis C, et al. A comparative analysis of image fusion method[J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2005, 43(6): 1391- 1402.
- [2] Tu T M, Su S C, Shyu H C, et al. A new look at IHS-Like image fusion method[J]. Information Fusion, 2001(2): 177- 186.
- [3] Tu T M, Huang P S, Hung C L, et al. A fast Intensity-Hue-Saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2004, 1(4): 309- 312.
- [4] Tu T M, Cheng W C, Chang C P, et al. 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.
- [5] Choi M, Kim H C. An improved Intensity-Hue-Saturation method for IKONOS image fusion[EB/OL]. <http://amath.kaist.ac.kr/research/paper/06-9.pdf>. 2006.
- [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] 韦玉春, 汤国安, 杨昕, 等. 遥感数字图像处理教程[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [8] Kauth R J, Thomas G S. The Tasseled Cap—a graphical description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat[C]//Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, 1976: 4B41- 4B51.
- [9] Crist E P, Cicone R C. A physically-based transformation of thematic mapper data—the T M Tasseled Cap[J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 1984(GE-22): 256- 263.
- [10] Horne J H. A Tasseled Cap transformation for IKONOS images[C]//Proceeding of ASPRS 2003 Annual Conference. 2003: 184- 193.
- [11] Haralick R M, Shapiro L G. Computer and Robot Vision[M]. Boston, Mass: Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [12] Shi W Z, Zhu C Q, Tian Y. Wavelet-based image fusion and quality assessment[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2005(6): 241- 251.
- [13] Maria G A, José L S, Raquel G C. Fusion of multispectral and panchromatic images using improved IHS and PCA mergers based on wavelet decomposition[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42(6): 1291- 1299.