

## 一种基于分类的融合算法

焦子铤<sup>1)</sup> 李小文<sup>1),2)</sup> 王锦地<sup>1)</sup> 阎广建<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(北京师范大学资源与环境科学系遥感与GIS研究中心,北京 100875)

<sup>2)</sup>(波士顿大学地理系与遥感中心,波士顿 MA02215)

**摘要** 提出了一种基于分类的融合算法,可用于融合低分辨率多光谱影像和配准的高分辨率全色波段影像。算法的主要步骤如下:(1)将1m高分辨率全色波段影像和4m低分辨率多光谱影像进行几何配准;(2)采用监督或非监督分类算法对高分辨率影像和配准的多光谱影像进行统一分类;(3)根据每一类所对应的高分辨率全色波段影像直方图和相应的空间关系,对配准后单个波段的多光谱影像进行调整。(4)采用柱状坐标系对调整后的多光谱影像进行HIS(Hue, Intensity, Saturation)变换,并反变换至RGB(red, green, blue)彩色空间,从而得到融合影像。以天安门附近100×100大小IKONOS的1m高分辨率全色波段影像和4m多光谱影像为例,对融合算法进行了验证。实验结果表明:(1)此算法可以融合分类信息、全色波段的高分辨率信息和多光谱波段的光谱信息,突出分类信息作为先验知识的重要性<sup>[1]</sup>;(2)在精确分类的基础上,可部分消除目标物边界的假彩色现象,有较好的目视判读效果;(3)对融合过程中,先验知识与空间关系的加入作了一些有益的尝试。

**关键词** 图象融合 分类 HIS变换 先验知识 图象处理

中图分类号: TP751 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)08-0771-05

## A New Image Fusion Algorithm Based on Classification

JIAO Zi-ti<sup>1)</sup>, LI Xiao-wen<sup>1),2)</sup>, WANG Jin-di<sup>1)</sup>, YAN Gang-jian<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Center for Remote Sensing and Dept. Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875)

<sup>2)</sup>(Center for Remote Sensing and Dept. Geography, Boston University, MA02215)

**Abstract** This paper presents a new classification-based fusion scheme, which is used throughout this paper as a synonym of the "pixel-level fusion". It can be applied to merge low-resolution images and co-registered high-resolution images. The key of this trial is as follows: (1) Geometrical co-registration IKONOS 1-m panchromatic image and 4-m multi-spectral image; (2) Classification of the High-resolution Panchromatic image together with the low-resolution images using supervised or unsupervised algorithms; (3) According to each class histogram of High-resolution image, adjustment of the corresponding spectral values of single multi-spectral image; (4) HIS transformation of the adjusted multi-spectral image using cylindrical coordinates, and acquirement of the fusion images. From this algorithm, we can conclude as follows: (1) The proposed method can merge the class information, spatial information of high resolution image and spectral information of Low-resolution image, accounting for the importance of classification as prior knowledge<sup>[1]</sup>; (2) Based on precise classification, it can effectively eliminate the false color at the edge of objective and have better visual effects; (3) It can try to add classification and spatial relationship to image fusion. In this trial the selected Peking image of IKONOS will be used, which can bring us convenience when verifying our algorithm.

**Keywords** Image fusion, Classification, HIS transform, Prior knowledge, Image processing

基金项目: 国家攀登预选题目(95-预-38); 国家重点基础研究发展规划项目(G2000 077900); 国家自然科学基金资助项目(49971059); 美国NASA项目(NAS5-31369, NAG5-7217); 高等学校骨干教师资助计划

收稿日期: 2001-06-11; 改回日期: 2001-12-11

## 0 引言

现代遥感技术正在进入一个能快速、及时提供多种对地观测遥感数据的新阶段. 新型传感器不断涌现, 已从单一传感器发展到多传感器; 从不同遥感平台获得不同空间分辨率和不同时间分辨率的遥感影像, 形成多级分辨率的金字塔, 提供从粗到精的对地观测数据源. 从多光谱到细分光谱段, 形成了现代遥感技术的特点. 面对如此巨大的信息量, 如何充分利用这些大量的多形式的遥感影像, 目前尚是一大难题, 这直接影响到大量遥感数据的使用效益. 据估计, 人们可能用到的遥感信息仅占全部获取信息的5%左右, 而深层次的信息开发则更少<sup>[2]</sup>. 因此, 如何有效地充分融合这些已有资源, 为遥感影像研究者和用户提供更丰富和更有用的信息, 是目前遥感应用中一个非常有意义的研究课题.

在进行影像分析时, 应尽可能利用一切可以得到的数据(包括存在于人们头脑中的对分析地区的先验知识)来进行综合解释. 数据融合可用于对图象的综合解释, 以降低由于单个数据源所产生的对图象解释的不确定性. 通常, 图象融合技术可以分为光谱组分替代技术(Spectral Component Substitution Techniques)和空域技术(Spatial Domain Techniques)<sup>[3]</sup>. 前者用经过光谱调整的全色波段影像替代多光谱影像的某一组分, 例如 HIS 变换法(Hue-Intensity-Saturation)、PCA 变换法(Principal Component Analysis)等; 后者是采用各种确定性的或统计性的预测器将全色波段影像的高分辨率信息转移到所有的低分辨率多光谱影像中, 其中较为典型的算法有 HPF(High Pass Filtration)法、WT(Wavelet Transformation)法等. 现在一些研究将这两种技术结合起来, 例如将多分辨率小波变换和 HIS 结合起来融合全色波段高分辨率影像和多光谱影像, 取得了一定的进展<sup>[4,5]</sup>. Price<sup>[6,7]</sup>基于 SPOT 全色波段(0.5~0.73)和 TM 多光谱波段 1(0.45~0.52)、波段 2(0.52~0.60)高相关的统计特性, 用全色波段的灰度值估计单个多光谱波段, 这种算法仅限于图象之间具有高相关的统计特性. Zhukov 等利用对多幅高分辨率图象的分类信息及衡量传感器性能的点扩散函数(PSF)来纯化(unmix)多光谱影像的单个波段的光谱值<sup>[3]</sup>, 此算法需要多幅高分辨率影像, 以便能用高分辨率影像的分类结果逐个波

段地反演多光谱影像的光谱值.

基于分类的融合算法可以将作为先验知识的分类信息、高分辨率波段的空间信息及多光谱波段的光谱信息进行有机地融合, 从而探求出一种将分类信息加入融合影像的新方法.

## 1 图象的来源

IKONOS 卫星是高分辨率的商业卫星, 它同时获取 1m 分辨率的全色波段数据和 4m 分辨率的多光谱数据. 前者对应的全色波段为 0.45~0.90 $\mu\text{m}$ , 后者所对应的成像谱段为蓝(0.45~0.52 $\mu\text{m}$ )、绿(0.51~0.60 $\mu\text{m}$ )、红(0.63~0.70 $\mu\text{m}$ )和近红外谱段(0.76~0.85 $\mu\text{m}$ ). 该卫星自重约 720kg, 轨道距地面约 680km, 运动速度约 7km/s, 轨道周期约 98min, 重复周期为 1~3 天. 空间成像公司在 Internet 广告中提供了北京天安门广场附近 1m 和 4m 分辨率的图象数据, 图象为 TIF 格式, 有全色波段和红、绿、蓝 3 个通道, 成像时间未知, 校正状况未知. 从目视角度看(如纪念碑影子的方向与长度)可视为同一时相进行处理. 现将两者融合成为 1m 分辨率的多光谱影像.

## 2 融合算法

基于分类的融合算法将图象的分类信息作为空间约束的先验知识, 从而可以用每一类全色波段的直方图及它们相应的空间关系来调整单个多光谱波段的光谱值. 该融合算法的实施步骤如下:

(1) 将 IKONOS 低分辨率多光谱影像几何配准到全色波段影像上, 并重采样成 1m 分辨率

由于这两幅图象来源于同一传感平台, 因此它们之间的配准较为容易, 通过采用相对平移两幅图象相对位置的方法来实现它们之间的配准. 采用最近邻点法重采样(NN)算法对原始多光谱影像进行重采样, 以充分保留多光谱影像的原始光谱值, 从而有利于在下一步中提高分类的精度.

(2) 将多光谱影像和全色波段的高分辨率影像进行统一分类

各种监督和非监督分类算法都可以用来对全色波段和多光谱波段进行统一分类. 分类算法的选择应该根据特定的应用目的. 采用监督分类算法可以在分类时, 充分利用对实验区的先验知识, 将先验知

识加入分类图中；对于没有先验知识的实验区，采用非监督分类的算法更为适合。值得一提的是，在利用监督分类算法得到分类图后，将其和原始的全色波段图象及多光谱图象进行对比，并将明显错分的类别进行适当的调整，以提高分类精度。

分类的结果得到一张高分辨率的分类图  $k(m, n)$ ，其中分类图中的各个像元值  $k$  相应于不同的类，这些类别可以代表具有不同物理参数的不同地物的面积。按照本地区的实际情况，在采用监督和 非监督分类算法时，分别将实验区分成 6 类和 8 类。

(3) 用分类图和高分辨率影像对相应的单个多光谱波段进行调整，具体步骤为：

- ① 按照分类图，统计高分辨率影像所对应的每一类的直方图和相应灰度值的空间位置；
- ② 按照全色波段每一类的直方图及相应灰度值的空间位置，在单个多光谱波段中寻找相应的光谱值并记录下它们的空间位置关系；
- ③ 计算单个多光谱波段在相应空间位置处的光谱值的均值；
- ④ 按照所记录的空间位置关系，用所求均值替代单个多光谱影像在相应位置处的光谱值；
- ⑤ 分别调整单个多光谱影像，从而得到调整后的多光谱影像。

对单个多光谱波段光谱值进行调整的流程图如图 1 所示。

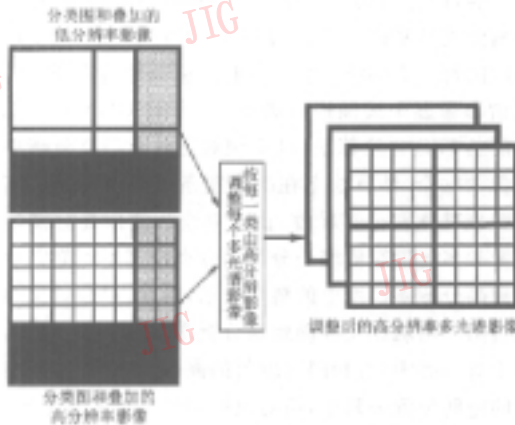


图 1 单个多光谱波段光谱值调整的示意图

图 1 中，假设左上角的低分辨率像元为纯像元，其余的 3 个像元为混合像元。白色区域为第 1 类，灰色区域为第 2 类，黑色区域为第 3 类。在精确分类的基础上，低分辨率影像的混合像元可以按类别分割，从而有：第 1 类包含了多光谱影像的一个纯像元和

其余 3 个混合像元的一部分，第 2 类包含了多光谱影像的 2 个混合像元的一部分，第 3 类同样包含了多光谱影像的 2 个混合像元的一部分。从图 1 中可以看出，多光谱影像尺度上的 1 个像元代表了已配准的有相同空间关系的全色波段尺度上的 16 个像元，在精确分类的基础上，多光谱影像的混合像元按类别被分割开，此时按高分辨率影像的每一类的统计直方图及相应灰度值的空间位置关系对多光谱影像的单个波段进行调整，可以实现对混合像元按类别进行调整。

(4) 采用柱状坐标系对调整后的多光谱波段和配准的高分辨率全色波段进行 HIS 变换

经光谱调整后的 3 个多光谱波段首先从 RGB 彩色空间变换至 HIS 彩色空间，变换公式为

$$I = \frac{1}{\sqrt{3}}(R + G + B) \quad (1)$$

$$H = \tan^{-1}\left(\frac{2R - G - B}{\sqrt{3}(G - B)}\right) + C \quad (2)$$

$$S = \frac{\sqrt{6}}{3} \sqrt{R^2 + G^2 + B^2 - RG - RB - GB} \quad (3)$$

其中

$$C = \begin{cases} 0 & \text{if } G \geq B \\ \pi & \text{if } G < B \end{cases}$$

然后对 IKONOS 高分辨率全色波段进行线性拉伸，从而可以使其与调整后的多光谱波段有相同的均值和方差。用拉伸后的 IKONOS 高分辨率全色波段替代变换后的亮度分量  $I$ ，最后反变换至 RGB 彩色空间，从而得到融合图象。

基于分类的融合算法流程图如图 2 所示。

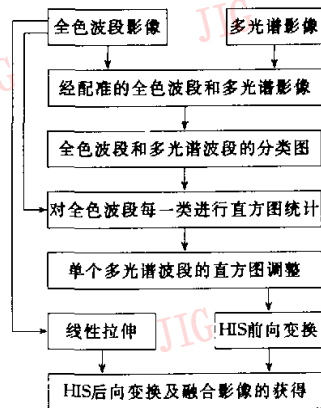


图 2 基于分类的融合算法的流程图

### 3 融合图象定性分析

图象融合的目的是为了充分利用各种可以得到的信息(包括人们头脑中已有的先验知识),以获得单种资源所不可能得到的对图象的综合解释能力。如何评价融合结果的客观性和可信度,也是人们长期以来一直探索的问题。由于没有标准图象可比,评价常常依据目视判定进行。考虑到图象大小的一致性,一方面选择 IKONOS 全色波段影像及与之配准过的多光谱影像作为结果判定的参考影像;另一方面通过和几种传统融合算法,如 HIS 变换融合算法、标准小波变换融合算法(见图版 I 图 1)进行目视判读方面的分析和比较,以评价该算法的优劣。

#### 3.1 图象的目视定性分析

HIS 变换融合算法、标准子波变换融合算法和本文算法这 3 种算法的融合影像都融合了全色波段高分辨率图象的空间信息和多光谱波段的光谱信息,从而在空间分辨力和清晰度上都比原来的多光谱图象有很大程度的提高(见图版 I 的图 1,图 2)。

从光谱特征可以看出:无论采用监督或非监督分类,基于分类的融合算法在色彩上有最好的目视效果,MUNSELL 空间的 HIS 变换融合算法次之,标准小波变换融合算法的色彩失真最大。这说明基于分类的融合算法有较好的目视判读效果。

对这 3 种算法的融合图象感兴趣的标区(如 3 辆红车顶),在放大数倍后可以发现,HIS 变换融合算法和标准小波变换融合算法存在目标边界和其颜色边界不能很好重合的现象,即在目标边界处存在着彩色失真的现象,这是因为 HIS 变换融合算法只对变换后的原始多光谱图象的强度分量进行了简单的替代,其反变换后的融合图象保留了原始多光谱影像混合像元的光谱值;而标准小波变换融合算法则采用了多分辨率分析的原理将全色波段的空间信息叠加到多光谱波段中,从而保留了原始多光谱图象的混合像元的光谱值。基于分类的融合算法用高分辨率尺度上的分类信息对部分混合像元(尤其是目标物边界的混合像元)进行了重新的调整,从而消除了这种边界模糊的现象,使目视效果得到了改善(见图版 I 图 2)。

### 4 结论与讨论

基于分类的融合算法尝试了一种将分类结果及

分类约束下的高分辨率影像灰度值的空间位置关系加入融合图象的新方法,经过对实验区的大量实验和基于目视解译的定性分析与比较,得到如下结论

(1) 算法可以较好地融合全色波段的高分辨率信息、多光谱波段的光谱信息及作为先验知识的分类信息。

(2) 算法在精分类的基础上得到的融合图象有较好的目视量测效果。

(3) 算法可以突出分类及先验知识在融合结果中的作用,在精分类的基础上,可以消除目标边界的假彩色现象,例如对实验区中的目标物车顶就能很好地消除其边界的假彩色现象(见图版 I 图 2)。

(4) 经实验,当将现有的、针对实验区的影像扩展到整幅复杂的遥感影像时,该融合算法是可行的。

有以下两种情况对融合结果的影响是不容忽视的:

(1) 要求有较高的配准精度 其配准精度的误差最好不要超过 0.1~0.2 个粗分辨率像元,否则会影响对全色波段和多光谱波段的统一分类的分类精度。

(2) 分类算法的选择与分类精度的影响 分类算法的选择应根据具体的应用要求而定,但无论采用何种分类算法,分类精度对融合结果的影响是极其重要的。

通过对全色波段的高分辨率影像和多光谱影像精确分类的基础上,以分类图作为空间约束,用全色波段的每一类的统计直方图和均值调整器实现对多光谱影像逐个波段进行调整,并采用 MUNSELL 空间的 HIS 变换算法,以实现全色波段高分辨率影像的融合。该算法存在的限制条件是要求有较高的配准精度和分类精度。由于对全色波段高分辨率影像和多光谱影像统一分类的分类精度不可能完全达到高分辨率尺度上的精度要求,因此,混合像元的光谱值不可能完全准确地被分类图象所分割;其次,对于每一类中,有相同灰度值的高分辨率像元,在相同的空间位置关系中,所对应的多光谱影像的像元,其混合像元和纯像元之比的不确定性,仍会导致融合图象存在少量光谱扭曲现象。因此,进一步的工作是利用直方图的尺度效应,通过尺度变换寻找更严格意义上所对应驻点撕裂的空间变化关系,并用这种空间关系来对多光谱影像逐个波段进行混合像元的分解。

## 参 考 文 献

- 1 Li X W, Wang J D, Hu B X *et al.* On utilization of a priori knowledge in inversion of remote sensing models[J]. *Science in China(Series D)*, 1998,41(6):580~585.
- 2 陈述彭,童庆禧,郭华来. 遥感信息机理研究[M]. 北京:科学出版社,1998,7.
- 3 Zhukov Boris, Dieter Oertel, Franz Lanzl *et al.* Unmixing-based multisensor multiresolution image Fusion [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1999,37(3):1212~1226.
- 4 李军,周月琴,李德仁. 小波变换用于高分辨率全色影像与多光谱影像的融合研究[J]. *遥感学报*,1999,3(2):116~120.
- 5 Jorge Nunez, Xavier Otazu, Octavi Fors *et al.* Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing*, 1999, 37(3):1204~1211.
- 6 John C Price. Combining panchromatic and multispectral imagery from dual resolution satellite instruments [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1987,21(2):119~128.
- 7 John C Price. Combining multispectral data of differing spatial resolution [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1999,37(3):1199~1203.



**焦子锦** 北京师范大学资源与环境科学系遥感与GIS研究中心硕士研究生. 主要研究领域为遥感图象融合、小波分析与尺度效应等.

**李小文** 中国科学院院士,北京师范大学资源与环境科学系遥感与GIS研究中心、美国波士顿大学遥感中心教授,博士生导师. 主要研究领域为植被遥感、遥感建模与反演、多角度遥感与热红外遥感、尺度效应等.

**王锦地** 北京师范大学资源与环境科学系遥感与GIS研究中心教授,博士生导师. 主要研究领域为植被遥感、遥感建模与反演、多角度遥感与热红外遥感等.



**阎广建** 北京师范大学资源与环境科学系遥感与GIS研究中心博士后. 主要研究领域为遥感图象处理、遥感建模与反演及多角度遥感与热红外遥感等.

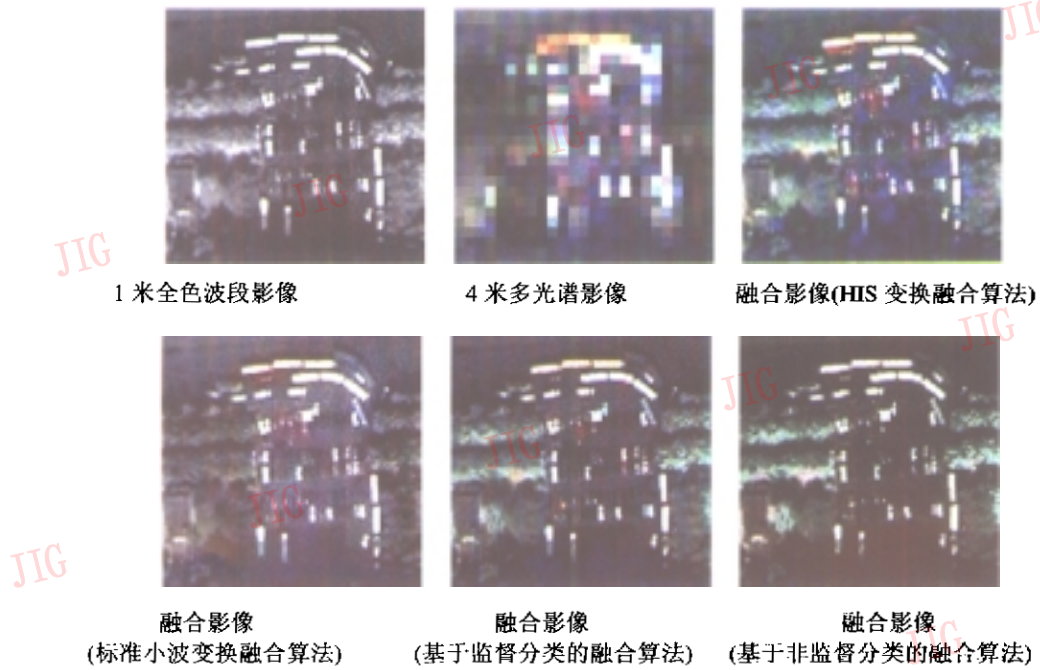


图 1 实验区 IKONOS 影像

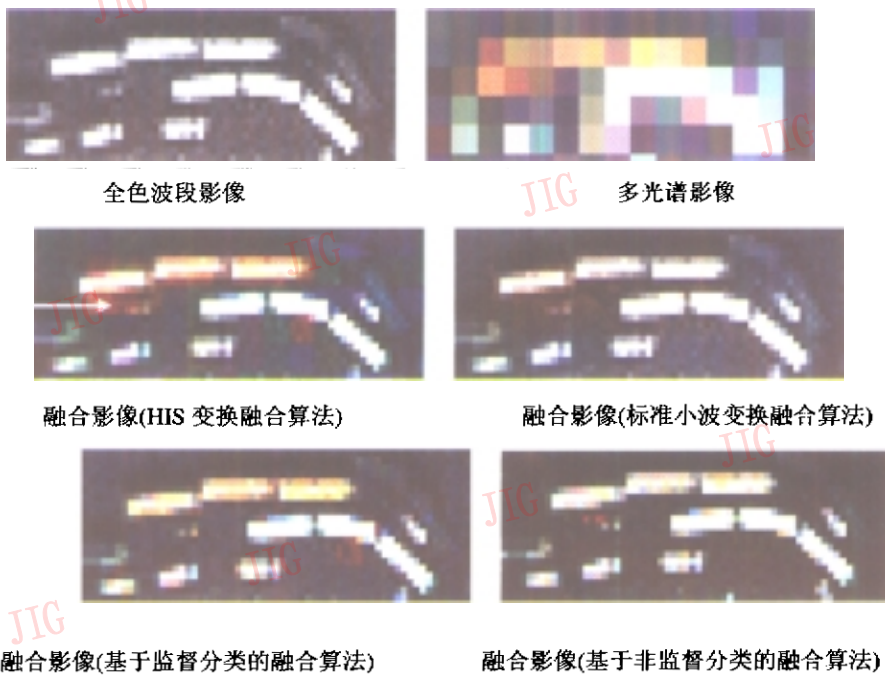


图 2 目标物放大后的影像