

面向森林资源调查应用的天绘一号数据影像融合算法评价分析

王晓晶¹, 王 蓉², 郑团结², 李胜利², 徐苑君²

(1. 北京东方泰坦科技股份有限公司, 北京 100083; 2. 中国天绘卫星中心, 北京 102102)

摘要:面向森林资源调查需求, 应用 IHS 变换融合、主成分变换融合、乘积变换融合和全色锐化融合等 4 种方法对天绘一号 2m 全色和 10m 多光谱数据进行融合, 并应用目视判断和数学统计方法对融合后影像进行评判。结果表明: 全色锐化融合地物纹理清晰, 又具有较好的光谱保持能力, 适合于森林资源调查应用。

关键词:天绘一号; 森林资源调查; 融合方法; 融合评价

中图分类号:S771.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-6622(2013)03-0138-05

Evaluation Analysis of Fusion Algorithms for TH Mapping Satellite-I Data Which is oriented to the Application of Forest Resource Investigation

WANG Xiaojing¹, WANG Rong², ZHENG Tuanjie², LI Shengli², XU Yuanjun²

(1. Beijing Oriental TITAN Technology Co., LTD, Beijing, 100083, China; 2. China TH Satellite Centre, Beijing, 102102, China)

Abstract: Facing the need of forest resource investigation, we fused the high spatial panchromatic of 2 m and the multispectral data of 10 m by using four methods: IHS transform, principal component transform, multiplicative transform and pansharpening. The fusion images were compared and analysed by using both visual judgments and statistical method. The result indicated that pansharpening fusion image has more clear texture and the best ability of spectral preservation. Therefore, the pansharpening fusion is suitable for the forest resource investigation.

Key words: TH Mapping Satellite-I, forest resource investigation, fusion algorithm, fusion evaluation

天绘一号卫星(简称天绘一号)于 2010 年 8 月 24 日发射成功, 这是我国第一颗具有立体测绘能力的高分辨率军民两用遥感卫星, 提供高分辨率全色(以下简称高分全色)、三线阵、多光谱影像, 发射近 2 年来获取了大量国内外地区的影像数据。

利用遥感技术结合 GIS 和 GPS 技术是森林资源调查的一种重要方法^[1]。森林分类是遥感技术在森林资源调查中应用中最为关键的技术^[2], 森林资源分类要求中高分辨率遥感融合数据具有纹理细节清晰、多光谱信息丰富、自然真彩色影像接近地表真实状况的特征。2003 年, 国家林业局作出了采用 SPOT5 卫星数据在全国范围开展森林资源调查的决定^[3], 该数

据在森林资源调查中已经积累了大量的应用实例和经验, 天绘一号数据的参数与特征和 SPOT5 数据相近。本文针对在森林资源调查中遥感影像的应用需求, 对天绘一号高分全色与多光谱数据融合的不同方法进行比较分析, 旨在为天绘一号数据在森林资源调查中推广应用提供参考依据。

1 研究区概况

研究区选择贵州省贵阳市西南地区, 贵阳市地处东经 106°07' ~ 107°17', 北纬 26°11' ~ 26°55' 之间, 东南与黔南布依族苗族自治州的瓮安、龙里、惠水、长顺 4 县接壤, 西靠安顺地区的平坝县和毕节地区的织金县,

北邻毕节地区的黔西、金沙两县和遵义市的遵义县。贵阳市是全国知名的“林城”,林业具有举足轻重的地位,利用卫星数据进行森林资源调查已经实施多年。

2 研究方法

2.1 技术路线

以贵阳市西南地区天绘一号高分全色和多光谱影像为数据源,时相为2010年11月5日,成像质量较好。利用Titan Image遥感图像处理软件对该数据进行融合前预处理,在贵阳市1:1万DLG线划图上采集12个控制点对天绘一号高分全色数据进行正射校正,相对误差小于1m,再利用多光谱数据与正射校正后高分全色数据进行几何配准,相对误差小于1m,重采样方式为双线性差值。选择IHS融合变换、PCA融合变换、Brovey融合变换和全色锐化融合4种融合方法进行融合实现。选取均值、方差、信息熵、平均梯度、均值偏差5个参数作为影像融合评价指标对以上4种融合结果分别计算获得相关指标值并对其进行分析,技术路线如图1所示。

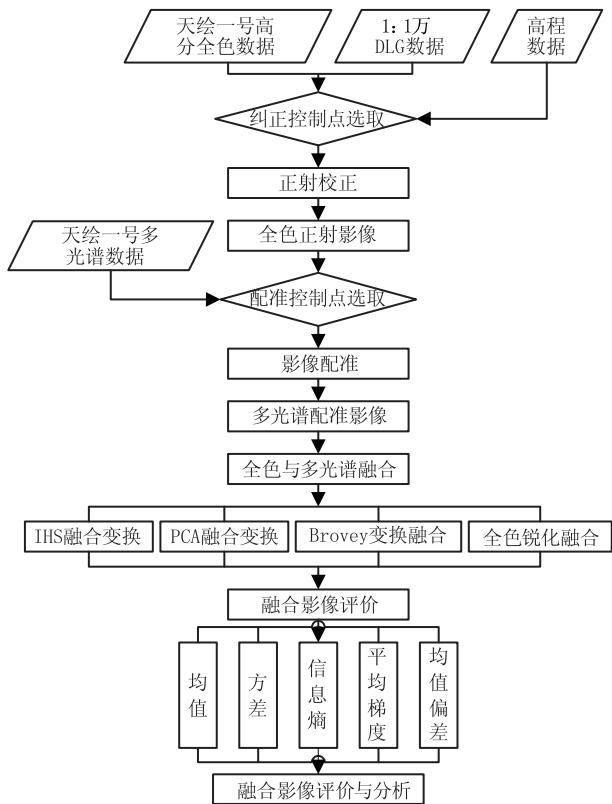


图1 天绘一号影像融合评价技术路线

2.2 融合方法选择及实现

融合数据选择天绘一号高分2m全色和10m多光谱影像数据,数据参数特征如表1所示。融合方法选择IHS融合、PCA融合、Brovey融合和ImgSharp(全色锐化)融合4种方法。

表1 天绘一号数据基本特征描述

| 影像种类 | 分辨率/m | 光谱范围/ μm | 量化等级/bit | 幅宽/($\text{km} \times \text{km}$) |
|------|-------|-------------------------|----------|-------------------------------------|
| 全色 | 2 | 0.51 ~ 0.69 | 8 | 60 × 60 |
| 多光谱 | 10 | band1: 0.61 ~ 0.69 (红) | 8 | 60 × 60 |
| | | band2: 0.52 ~ 0.61 (绿) | | |
| | | band3: 0.43 ~ 0.52 (蓝) | | |
| | | band4: 0.76 ~ 0.90 (近红) | | |

2.2.1 IHS融合变换

IHS变换属于色度空间变换,使用比较广泛,是影像融合成熟的方法。IHS变换从多光谱彩色影像上分离出代表空间信息的亮度(I)和代表光谱信息的色别(H)、饱和度(S)3个分量,将高分辨率全色波段与 I 分量图像进行直方图匹配,使其灰度的均值与方差和IHS空间中亮度分量 I 图像一致。用匹配后的全色波段图像代替 I 分量,并与 H 和 S 一起采用IHS逆变换至RGB系统,得到融合后的图像^[4]。

2.2.2 PCA融合变换

PCA变换是建立在影像统计特征基础上的多维线性变换,具有方差信息浓缩、数据量压缩的作用,数学上又称K-L变换^[4]。通过对多光谱图像的所有波段进行主成分分析,用多个主成分表示原始多光谱图像的信息,转换后的各主成分互不相关,各自独立,其中,第一主成分(PC1)反映了整幅图像的亮度即空间信息;将全色波段图像与第一主成分分量图像进行直方图匹配,使之与第一主成分分量图像具有相同的均值和方差,然后将匹配后的高分辨率全色图像代替第一主成分分量,再把他同其他主成分分量一起进行反变换,即可得到融合后的图像^[5]。

2.2.3 Brovey变换融合

Brovey变换是一种对遥感数据进行融合的较为简单的方法。该方法通过归一化后的多光谱波段

与高分辨率影像乘积来增强影像的信息^[6]。

2.2.4 全色锐化融合

全色锐化融合也是基于统计原理的,它利用最小方差技术对参与融合的波段的灰度值进行最佳匹配并利用此原理调整单个波段的灰度分布以减少融合结果的颜色偏差,另外还对所有输入波段进行一系列的统计运算并以此来消除融合结果对数据集的依赖性和提高融合过程的自动化程度^[7]。本文在进行全色锐化过程中,经过多次融合试验,参考波段选择 1,2,3,4 波段融合效果最好。

在融合过程中,IHS 融合和 Brovey 融合多光谱数据选用 1,2,3 波段,PCA 融合和全色锐化融合选用 1,2,3,4 波段。除 PCA 融合在 ERDAS 中实现外,其余融合都是在 Titan Image 中实现。

2.3 融合评价指标

采用以下 5 个参数作为影像融合分析和评价的指标:反映图像亮度信息指标的均值和方差,反映图像信息量的指标信息熵,反映图像细节信息的指标平均梯度,反映融合前后图像光谱保持程度的指标均值偏差。

1) 均值。均值为图像中像素的灰度平均值,对人眼反映为平均亮度。如果均值适中,则视觉效果良好^[8]。

2) 方差。方差反映了灰度相对于灰度均值的离散情况,方差越大,则灰度级分布越分散。此时,图像中所有灰度级出现的概率越趋于相等,从而包含的信息量越趋于最大。

3) 信息熵。图像的熵值是衡量图像信息丰富程度的一个重要指标^[8]。一般融合图像的熵越大,表示融合图像所包含的信息越丰富,融合质量越好。

4) 平均梯度。平均梯度可敏感地反映图像对微小细节反差表达的能力,可用来评价图像的清晰程度,还同时反映出图像中微小细节反差和纹理变换特征。一般来说,平均梯度值越大,图像层次越多,表示图像越清晰,因此可以用来评价融合图像在微小细节表达能力上的差异^[8]。

5) 均值偏差。指融合图像像素灰度平均值与

源图像像素灰度平均值之差,也可以说是融合图像与源图像的差值图像的灰度平均值。它反映融合图像和源图像在光谱信息上的差异大小和光谱特性变化的平均程度,值越小表明差异越小。此外,在遥感应用中,还可以用它来反映每一个地物覆盖类型融合后的光谱变异程度^[8]。

3 结果与分析

利用 Titan Image 融合影像评价功能,对以上参数进行统计计算,统计结果如表 2 所示。

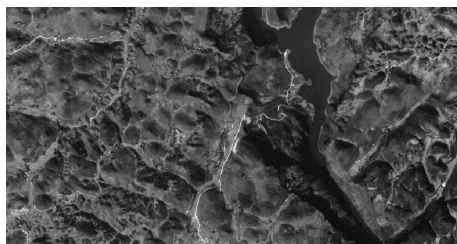
表 2 天绘一号数据融合结果统计值

| 评价指标 | 融合方法 | 波段 1 | 波段 2 | 波段 3 | 波段 4 |
|------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 均值 | 原始多光谱影像 | 21.62 | 25.36 | 41.05 | 48.02 |
| | IHS 融合 | 22.55 | 26.45 | 43.00 | |
| | PCA 融合 | 14.59 | 17.51 | 34.78 | 6.44 |
| | Brovey 融合 | 8.42 | 9.69 | 15.06 | |
| | 全色锐化融合 | 21.04 | 24.75 | 40.46 | 47.46 |
| 方差 | 原始多光谱影像 | 4.54 | 4.81 | 5.38 | 7.54 |
| | IHS 融合 | 5.08 | 5.56 | 7.00 | |
| | PCA 融合 | 3.97 | 4.32 | 5.19 | 3.58 |
| | Brovey 融合 | 1.88 | 2.02 | 2.51 | |
| | 全色锐化融合 | 6.49 | 7.57 | 12.17 | 6.31 |
| 信息熵 | 原始多光谱影像 | 4.20 | 4.24 | 4.27 | 5.65 |
| | IHS 融合 | 4.74 | 4.83 | 5.08 | |
| | PCA 融合 | 4.31 | 4.36 | 4.40 | 3.95 |
| | Brovey 融合 | 3.20 | 3.28 | 3.51 | |
| | 全色锐化融合 | 4.32 | 4.37 | 4.45 | 5.62 |
| 平均梯度 | IHS 融合 | 0.12 | 0.13 | 0.18 | |
| | PCA 融合 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.12 |
| | Brovey 融合 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | |
| | 全色锐化融合 | 0.10 | 0.10 | 0.12 | 0.17 |
| 均值偏差 | IHS 融合 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | |
| | PCA 融合 | 0.37 | 0.34 | 0.17 | 0.88 |
| | Brovey 融合 | 0.64 | 0.65 | 0.65 | |
| | 全色锐化融合 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |

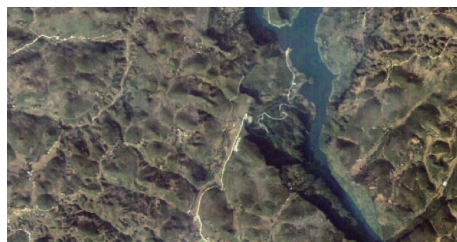
在图 2 中,(a)为天绘一号原始高分全色影像,影像纹理清晰、边界清楚;(b)为多光谱 1,2,3 波段组合的真彩色影像,影像接近地表真实情况;(c)为 4,2,3 波段组合的假彩色影像,植被信息丰富。融合结果来看,(d)为 IHS 融合影像、(e)为 PCA 融合影像、(f)为 Brovey 融合影像、(g)为全色锐化融合真彩色影像、(h)为全色锐化融合假彩色

影像,其中 IHS 和全色锐化融合 1,2,3 波段组合结果最接近自然真彩色,纹理较为清晰,全色锐化融合影像地物层次更清楚,亮度适中;PCA 融合地物边界模糊,自然真彩色颜色和地表实际情况存在较大差异,影像几何结构信息也有丢失;Brovey 融合边界较为清晰,但是自然真彩影像颜色整体失真,偏品、偏暗。

从表 2 中可以看出,IHS 融合和全色锐化融合统计的均值、方差都比较高,影像视觉效果较好,而 PCA 融合均值和方差都较低,Brovey 融合是这 4 种算法中最低的,这与实际图面效果也是相吻合的;融合后影像信息熵 IHS 最大,全色锐化融合次之,PCA 融合略低于全色锐化,这 3 种融合结果的 1,2,3 波段信息熵都高于原始多光谱影像的信息熵,Brovey 融合信息熵最低,低于原始影像信息熵,说明其信息衰减较大,融合后损失信息较多,没有达到融合影像信息增强的基本目的,据此 IHS 和全色锐化融合后信息量丰富,效果最好,需要说明的是 IHS 融合只允许 3 个波段参与融合运算,而全色锐化融合允许多波段同时参与运算,另外全色锐化融合对近红外波段信息保留远高于 PCA 融合,因此全色锐化融合结果更能满足森林资源调查中植被信息提取对影像光谱分辨率的要求;4 种融合算法从平均梯度上来看,PCA 和 Brovey 融合没有明显差异,均低于 IHS 和全色锐化融合,IHS 和全色锐化融合具



(a) 原始高分全色影像



(b) 原始多光谱真彩色影像



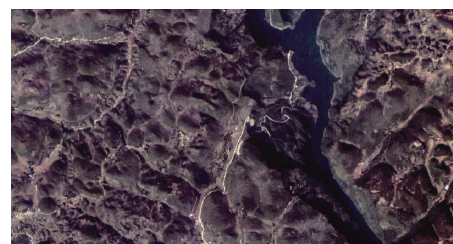
(c) 原始多光谱假彩色影像



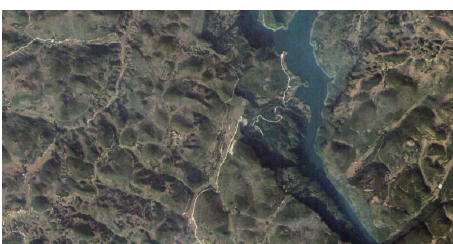
(d) IHS 融合影像



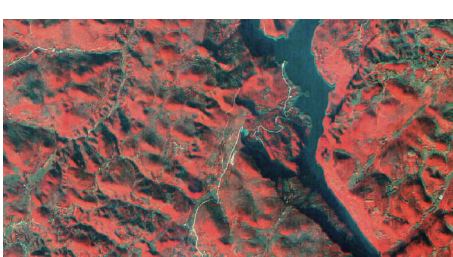
(e) PCA 融合真彩色影像



(f) Brovey 融合影像



(g) 全色锐化融合真彩色影像



(h) 全色锐化融合假彩色影像

图 2 天绘一号数据不同融合方法影像效果比较

有更好纹理的细节;融合后影像对原始多光谱影像的光谱保持能力,全色锐化融合最好,IHS次之,PCA和Brovey融合整体光谱变异较其他两个融合大。另外,天绘一号原始多光谱影像均值、方差和信息熵在近红外波段表现更好,说明其原始多光谱影像近红外波段光谱信息较丰富,而近红外波段是植被研究的重点光谱区域,据此,认为天绘一号影像能够较好地满足森林资源调查需要。

4 结论

1) 基于现有4种融合方法,传统的IHS融合优势明显,但受限于光谱分辨率,而天绘数据全色锐化融合从纹理细节、光谱保持、图面色彩等方面都表现良好,既为影像分类提供丰富纹理信息和光谱信息,也能满足人机交互解译需要,具有较好的应用前景;

2) 天绘数据的空间分辨率、时间分辨率、光谱分辨率和幅宽等特征能充分满足森林资源调查的相关尺度需求,同时可为高分辨率遥感影像的分类研究提供数据保证(如面向对象分类),具有进一步

研究和应用价值;

3) 随着融合算法的不断改进,天绘一号数据的融合方法还有进一步探索空间。

参考文献:

- [1] 孙华. SPOT5 在森林资源调查中的应用研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2006:1-5.
- [2] 李春干. 面向对象的 SPOT5 图像森林分类研究[D]. 北京:北京林业大学,1991:1-2.
- [3] 郑天水. SPOT5 卫星遥感信息在森林资源调查中的应用现状与解决思路[J]. 林业调查规划,2006,131(5):24-28.
- [4] 孙丹峰. IKONOS 全色与多光谱数据融合方法的比较研究[J]. 遥感技术与应用,2002,17(1):41-45.
- [5] Ehlers M. Multisensor image fusion techniques in remote sensing [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,1991,46:19-30.
- [6] 许榕峰,徐涵秋. ETM+全色波段及其多光谱波段图像的融合研究[J]. 地球信息科学,2004,6(1):99-102.
- [7] 谭永生,沈掌泉,贾春燕,等. 中高分辨率遥感影像融合研究[J]. 遥感技术与应用,2007,22(4):536-542.
- [8] 王海晖,彭嘉雄,吴巍,等. 多源遥感图像融合效果评价方法研究[J]. 计算机工程与应用,2003,25(2):33-37.

(上接第133页)

采伐图斑面积与实际采伐量之间相关性显著,相关系数(R^2)为0.90。利用2.5~5m分辨率遥感影像判读的森林采伐图斑面积估测森林采伐量从技术方法上可行。

5) 由于受到研究区域和现有调查数据的限制, $y = 11.127x^{0.8959}$ 模型,对于估测东北内蒙古国有林区森林采伐量具有一定的作用。但受到遥感影像对森林采伐地块判出率(判出率受遥感数据分辨率、采伐强度和采伐方式等影响),以及各地森林植被情况(树种、密度、立地条件)差异的综合影响,适合不同地区、不同分辨率的基于遥感判读森林采伐面积估测模型森林采伐量的模型,还需要进一步研究。

志谢:本文在有关调查资料收集整理中得到了国家林业局调查规划设计院设计院王威、李利伟,国家林业局驻内蒙古、长春、黑龙江、大兴安岭专员办的刘晓军、王培忠、田健、刘震等同志的大力帮助,在此表

示衷心感谢。

参考文献:

- [1] 邬建国. 景观生态学——格局 过程 尺度与等级[M]. 第二版. 北京:高等教育出版社,2007.
- [2] 赵磊. 基于多源遥感数据的区域景观格局尺度效应[J]. 遥感信息,2009(4):55-60.
- [3] 赵文武,傅伯杰,陈利顶. 尺度推绎研究中的几点基本问题[J]. 地球科学进展,2002,17(6):905-911.
- [4] HE Yingbin, Luca Ongaro. Land suitability evaluation of food crops in vulnerably ecological area based upscaling method[J]. Agricultural Science & Technology,2009,10(6):168-174.
- [5] 黄慧萍,吴炳方. 地物提取的多尺度特征遥感应用分析[J]. 遥感技术与应用,2003(5):276-281.
- [6] 张云霞,李晓兵,陈云浩. 草地植被盖度的多尺度遥感与实地测量方法综述[J]. 地球科学进展,2003,18(1):85-93.
- [7] 陈佑启,何英. 论土地利用/覆盖变化研究中的尺度问题[J]. 经济地理,2005,25(2):152-156.
- [8] 王陶,刘衍宏,王平,等. 多源多时相遥感分类技术在赣州稀土矿区环境变化检测中的应用[J]. 中国矿业,2009(11):88-91.