

## 面向林地分类的 GF-2 影像融合算法评价

胡 曼, 彭道黎

(北京林业大学 林学院, 北京 100083)

**摘要:** 针对林业部门目前常用的遥感影像融合算法, 探究适合于林地信息提取的 GF-2 影像融合算法。以 GF-2 卫星 1 m 全色/4 m 多光谱分辨率平面影像为数据源, 采用 HSV 变换(hue-saturation-value, 颜色空间变换), Brovey 变换(彩色标准化变换), PC 变换(principle components, 主成分变换), HPF 变换(high-pass fusion, 高通滤波变换), GS 变换(gram-schmidt, 正交化变换), Pansharp 变换(超分辨率贝叶斯变换)等 6 种常用融合算法, 通过目视和定量特征分析对融合效果进行评价, 并结合面向对象分类方法对融合后影像进行地类信息提取和分析, 探讨 6 种融合算法对 GF-2 影像在林区地类提取的适宜性。研究表明: 基于 Brovey 和 HSV 算法的融合结果目视效果良好, 清晰度与纹理增强明显; 这 2 种融合算法影像在不同地类信息的提取上各有优势, HSV 算法融合结果在不同地类的提取上效果最好, 分类总精度可达 85.14%, Brovey 算法融合结果则在森林类型的提取上具有最高的分类总精度, 为 75.72%; 其余 4 种融合算法在图像质量及其他地类提取中各有优势, 具体融合算法的选取需根据应用目的和影区应用区域的实际情况而定。该研究可为林业部门提高 GF-2 卫星的适用性及大规模应用提供参考。图 4 表 4 参 19

**关键词:** 森林经理学; 影像融合; 林地提取; GF-2 影像; 面向对象分类

中图分类号: S757.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2017)02-0340-09

## Comparison of fusion algorithms for GF-2 data from extracted forestland information

HU Man, PENG Daoli

(College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** To obtain an optimal method for image enhancement of GF-2 forestry area data, six frequently-used methods were analyzed: Brovey transformation; hue, saturation, and value (HSV) transformation; Principle Component (PC) spectral sharpening; high pass filter (HPF) spectral sharpening; Gram-Schmidt spectral sharpening; and Pansharp transformation. Qualitative and quantitative analyses were used to assess the effect and quality of the fusion images. Indexes include mean, average gradient, high-frequency information integration, correlation index, entropy index and second moment index. Among them, correlation index and second moment index were calculate by ENVI, other indexes were all by Matlab. Furthermore, to access an appropriate fusion method for GF-2 forestland data extraction, fusion images were classified by performance of fusion methods at two information extraction levels based on an object-oriented classification method. All the transformations used the same parameter and methods on each level, and use the same samples to classify and accuracy check. Results showed that correlation index and high-frequency information integration of HSV transformation could reach 0.823 and 0.570, respectively. In addition, the entropy index and second moment index could improved 25% and 50% compared to original multiple image, respectively. It had a better visual effect with obvious enhanced clarity and texture features. For classification experiments, HSV and Brovey transformations had their own superiority for the extraction of different classes with the HSV transformation having the highest over-

收稿日期: 2016-04-14; 修回日期: 2016-06-28

基金项目: 国家重点林业工程监测技术示范推广项目(2015-02)

作者简介: 胡曼, 从事森林资源监测与评价的研究工作。E-mail: humanamanda@163.com。通信作者: 彭道黎, 教授, 从事森林资源监测、森林经营管理以及林业信息领域研究。E-mail: dlpeng@bjfu.edu.cn

all classification accuracy of 85.1% and the Brovey transformation having the highest accuracy on the second level of 75.7%. The other four methods had different advantages for quality and information extraction of the fusion images. Thus, the final selection of fusion methods should consider practical forestry application and image information which could provide a reference for GF-2 images to be applied on a large scale in forested areas. [Ch, 4 fig. 4 tab. 19 ref.]

**Key words:** forest management; image fusion; forestland; GF-2 data; object-oriented image classification

GF-2 卫星是中国第 1 颗空间分辨率优于 1 m 的民用光学遥感卫星, 卫星可提供 1 m 全色/4 m 多光谱分辨率平面影像, 在森林资源调查、土地利用动态监测、环境保护与监测等领域提供服务支撑, 发挥重要作用。目前, 中国已经成功绘制全国林地“一张图”, 是通过高分辨率遥感影像、全国林地落界数据、二类调查资料、基础地理信息等多源数据集合, 以林地界线为核心内容, 构建的中国林业有史以来可动态监测、及时决策的林地资源管理系统<sup>[1]</sup>, 取得了较好的应用效果, 高分辨率遥感影像作为其中重要的一部分, 主要用来提取林地及林木参数等信息, 为林业数据库的建设提供了重要的基础数据支撑。因此, 应用高分辨率国产卫星数据解决实际问题成为林业发展的重要趋势。影像融合是对遥感影像数据高效利用的重要手段, 它综合了影像在光谱分辨率和空间分辨率上的优势, 既提高了多光谱影像的分辨率, 又保留其多光谱特性, 从而增强解译的可靠性, 提高分类精度<sup>[2]</sup>。在以往的研究中, 遥感影像融合算法主要包括彩色技术、数学运算、图形变换等 3 种。彩色技术包括 HSV 变换(hue-saturation-value, 颜色空间变换)等; 数学运算包括 Brovey 变换(彩色标准化变换)等; 图形变换包括 PC 变换(principle components, 主成分变换)、HPF 变换(high-pass fusion, 高通滤波变换), GS 变换(gram-schmidt, 正交化变换)、Pansharp 变换(超分辨率贝叶斯变换)等<sup>[3]</sup>。HSV 算法采用全色影像替换多光谱影像的亮度分量, 使 HSV 变换在增强多光谱影像空间细节表现能力的同时, 也带来了较大的光谱失真; Brovey 变换只能而且必须同时对 3 个波段进行融合运算, 该变换在增强影像的同时保持了原多光谱影像的光谱信息<sup>[4]</sup>; PC 变换可以使所有的波段参与融合, 可以更好地保留图像的光谱信息<sup>[5]</sup>; HPF 变换对于影像纹理和细节处理方面效果较好, 但色彩的层次感一般<sup>[6]</sup>; GS 变换有明确的数学意义, 对待融合的遥感影像无波段数限制, 并且具有较高的光谱信息保持度; Pansharp 变换对人为主观因素与数据本身质量的依赖性较小, 光谱和细节特征保真度高<sup>[7]</sup>。针对不同的数据源, 郑中等<sup>[8]</sup>, 郭会敏等<sup>[9]</sup>, 王海江等<sup>[10]</sup>, 王华斌等<sup>[11]</sup>, 陈春华等<sup>[12]</sup>分别对 QuickBird, GF-1, 资源一号 02C 星, 资源三号, WorldView-2 卫星数据全色和多光谱数据进行影像融合试验, 并通过质量评价选择出适宜于影像的最优融合方法。目前研究中对于 GF-2 影像的融合基本未见报道, 其影像数据特征与 QuickBird, WorldView-2 等卫星数据不完全一致, 适合于现有卫星影像的融合方法不一定适合于 GF-2 卫星影像。因此, 针对目前常用的融合方法, 探究适合于林地信息提取的 GF-2 影像融合算法, 为林业行业中大范围使用 GF-2 影像融合应用提供参考具有重要意义。本研究以 GF-2 高分辨国产卫星数据为数据源, 采用 6 种常用的影像融合算法针对林区样地影像进行融合试验, 通过目视分析和定量比较进行影像融合质量评价, 并通过面向对象分类方法对不同地类进行提取分析, 研究不同影像融合算法在地类信息提取上的适用性, 最终选择出适宜于 GF-2 影像林地信息提取的融合算法, 为林地信息提取、林地变化动态监测等应用提供参考。

## 1 研究方法

### 1.1 研究数据及预处理

本研究区位于北京市延庆县, 经纬度范围为 40°27'~40°32'N, 115°44'~115°52'E, 研究范围为 10 km × 10 km。数据使用 GF-2 遥感数据, 采集时间 2015 年 5 月 2 日, 基本无云, 影像质量较好。包括有林地、灌木林地、水体、耕地、未利用地等多种地物类型, 且各种地物所占比例相当。

为保证影像融合的质量, 全色影像与多光谱影像对应像元需保证较高的一致性, 因此, 试验在 GIS 中进行几何校正, 并使用 ENVI 以 1:10 000 数字高程模型(DEM)及 0.5 m 航片作为基准影像进行正射校正, 校正误差控制在 1 个像素以内。

## 1.2 融合算法

本研究采用高分辨影像应用较多的6种融合算法对GF-2全色和多光谱影像进行融合试验: HSV变换<sup>[4]</sup>、Brovey变换<sup>[4,13]</sup>、PC变换<sup>[14]</sup>、HPF变换<sup>[6]</sup>、GS变换<sup>[15]</sup>和Pansharp变换<sup>[16]</sup>。其中HPF变换由ERDAS IMAGINE 2014软件实现, Pansharp变换基于PCI Geomatica 2013软件平台, 其余融合算法均由ENVI 5.0软件实现。由于HSV变换和Brovey变换融合多光谱影像只能由3个波段参与, 因此, 本研究分别选择BAND2(G), BAND3(R), BAND4(NIR)与全色波段进行融合, 其余融合算法均采用四波段多光谱影像和全色影像融合。

## 1.3 融合质量评价指标

为了比较不同方法的融合效果, 用2种方法进行评价<sup>[16-18]</sup>: 一是基于视觉效果定性分析, 关注影像的整体亮度、光谱保真度、清晰度和空间纹理特征等, 这种方法简单且具有主观性, 依赖于评价者的经验; 二是基于数理统计的定量特征分析, 能减少对融合影像评价的随机性使评价结果更客观, 主要从整体影像特征和不同地类纹理特征等方面进行评价分析, 整体影像特征主要包括均值、平均梯度、光谱相关系数、高频信息融入度等指标, 纹理特征包括熵值、二阶矩等指标。为了更好地判断融合影像的纹理特征, 本研究参照参考文献[3], 选择水域、建筑用地、耕地、林地等4块不同的区域进行熵值与二阶矩指标分区分析。本研究中, 光谱相关系数和二阶矩指标的计算由ENVI软件实现, 其余指标的计算都由Matlab实现。定量分析指标公式<sup>[15-19]</sup>如下。均值:

$$v = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N F_{(i,j)} \quad (1)$$

式(1)中:  $M, N$ 为图像的行列数,  $F_{(i,j)}$ 为融合后影像的灰度值。平均梯度:

$$\bar{G} = \frac{1}{(M-1) \times (N-1)} \times \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} \sqrt{\frac{(F_{(i,j)} + F_{(i+1,j)})^2 + (F_{(i,j)} + F_{(i,j+1)})^2}{2}} \quad (2)$$

式(2)中:  $M, N$ 为图像的行列数,  $F_{(i,j)}$ 为融合后影像的灰度值。光谱相关系数:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \{ |R_{(i,j)} - v_R| \times |F_{(i,j)} - v_F| \}}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \{ |R_{(i,j)} - v_R|^2 \} \times \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \{ |F_{(i,j)} - v_F|^2 \}}} \quad (3)$$

式(3)中:  $R_{(i,j)}$ 为融合前多光谱影像的灰度值,  $v_R, v_F$ 分别为融合前后2幅多光谱影像的均值。高频信息融入度:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \{ |P_{(i,j)} - v_P| \times |F_{(i,j)} - v_F| \}}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \{ |P_{(i,j)} - v_P|^2 \} \times \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \{ |F_{(i,j)} - v_F|^2 \}}} \quad (4)$$

式(4)中:  $P_{(i,j)}$ 为重采样到融合后影像像元大小的全色影像的灰度值,  $v_P$ 分别为重采样后全色影像的均值。熵值:

$$E = - \sum_{i=1}^L P_i \log_2 P_i \quad (5)$$

式(5)中:  $P_i$ 为影像中灰度值为 $i$ 的概率密度,  $L$ 为图像灰度级数。二阶矩:

$$S_M = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N G(X_{i,j})^2 \quad (6)$$

式(6)中:  $G(X_{i,j})$ 为灰度共生矩阵元素。

## 1.4 融合影像分类方法

为探讨各方法对林区影像的适用性, 研究基于eCognition软件采用面向对象的KNN分类方法, 通过多尺度分割, 利用对象的灰度信息、空间特征、纹理信息等, 进行地类提取分析, 对6种融合算法的效果进一步对比, 并建立基于地类提取结果与外业实地调查结果面积的混淆矩阵, 进行定量评估, 评估指标包括总体精度、生产者精度、使用者精度及Kappa系数。为了进一步探究不同融合算法对不同森林

类型的提取效果，研究增加有林地地类的分类结果。

## 2 结果及分析

### 2.1 基于视觉效果定性分析

从各融合影像中截取 1 块包含多种地类的子区域(图 1)。6 种算法融合后的影像空间分辨率较原始多光谱影像都有了较大的提高，更容易判读。其中 HSV 和 HPF 融合影像中建筑物、道路及水体轮廓最为清晰，更利于该地类的提取；Brovey 和 HSV 融合算法的植被区纹理更清晰，层次感和对比度更好。PC 融合算法在纹理效果上没有得到明显提高，林区边缘清晰度较低，融合效果较差；GS 融合算法则在色调上有较大的改变，目视效果不佳；Pansharp 融合影像颗粒感较强，目视效果一般。因此，从目视经验角度认为，对于 GF-2 卫星影像，使用 Brovey 和 HSV 融合算法在林地信息提取上较另外 4 种算法更为适合。

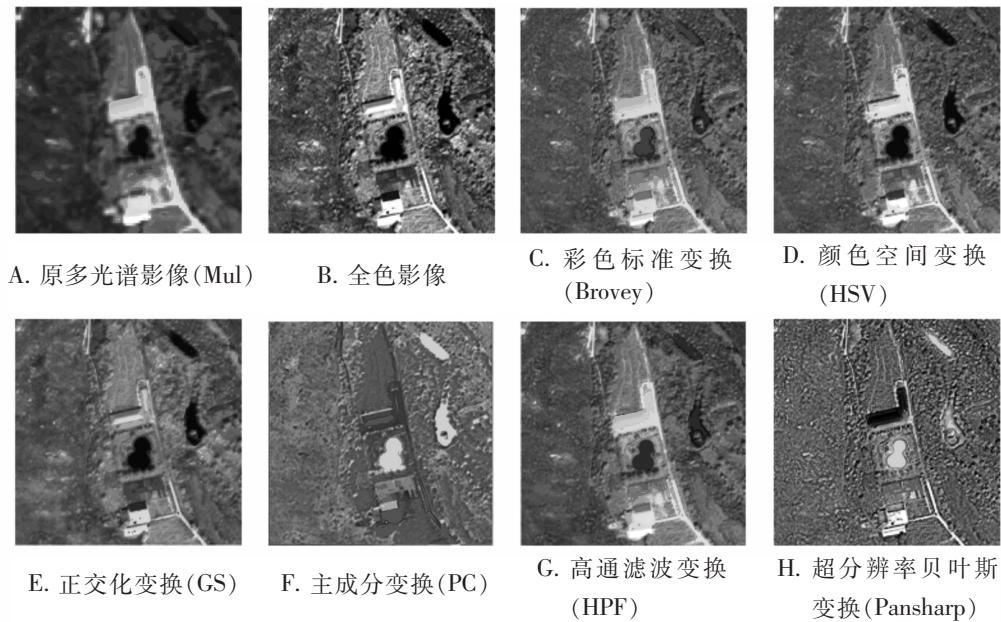


图 1 融合影像目视对比图

Figure 1 Visual contrast on fusion images

### 2.2 基于数理统计的定量分析

**2.2.1 整体影像特征分析** 均值反映影像像素的平均灰度值即平均亮度，均值适中则色调自然。除了 Brovey 和 HSV 方法，其余 4 种方法各波段均值与原始影像均值接近，说明 Brovey 和 HSV 算法光谱信息损失较为严重，其余融合结果亮度适中(表 1)。平均梯度反映影像的清晰度，其值越大表示影像层次越丰富、对比度越大。在本次试验中 6 种方法各波段平均梯度在原始影像上都有了较大程度的提升，除了 HSV 融合结果的 B 波段外平均梯度增幅均在 50%以上，说明其融合结果的清晰度和对比度提高显著。光谱相关系数反映影像光谱信息的保持性，相关系数越高说明融合对于原始影像光谱信息改变越小。HPF 融合结果在 R, G, B 波段上的值最大( $>0.4$ )；在 NIR 波段上，HSV 算法的值高达 0.8，保持光谱特征上优于其他算法。高频信息融入度反映融合影像波段与全色波段的相关性，其值越大表示融合影像更好地继承了全色波段的空间信息特征。Pansharp 和 GS 算法在 R, G, B 波段的值都远高于其他几种算法，NIR 波段上 HSV 和 Pansharp 算法的值超过 0.5，更好地继承了全色波段的空间信息。另外，植被反射率极高的 NIR 波段对于林地信息提取具有重要的意义，除 HPF 算法在 NIR 波段光谱相关系数低于其他波段，GS 算法在 NIR 波段高频信息融入度低于其他波段，其余各算法在光谱相关系数和高频信息融入度上均优于其他波段，表明 NIR 波段在继承光谱信息和全色波段的空间信息特征上比其他波段更有优越性。HSV 算法下光谱相关系数和高频信息融入度分别达到 0.823 和 0.570，Pansharp 算法次之，分别为 0.603 和 0.501。由此推测，这 2 种影像融合算法在林地信息提取上具有更大的潜力。

表1 原多光谱影像各波段与融合影像整体影像特征对比表

Table 1 Contrast on indexes of each band between multi-spectral image and fusion images

影像/方法	波段	均值	平均梯度	相关系数	高频信息融入度
原始影像	R	1 198.725	3.124		
	G	1 295.094	3.679		
	B	1 203.466	4.255		
	NIR	2 006.270	6.043		
	PAN	305.893	12.847		
彩色标准变换 (Brovey)	G	106.712	13.285	0.105	0.328
	B	86.911	9.939	0.215	0.298
	NIR	112.739	12.815	0.740	0.373
颜色空间变换 (HSV)	G	103.394	6.254	0.261	0.207
	B	83.878	4.257	0.240	0.223
	NIR	108.964	4.961	0.823	0.570
正交化变换 (GS)	R	1 197.940	54.319	0.210	0.475
	G	1 294.331	55.066	0.204	0.474
	B	1 202.743	54.543	0.242	0.479
	NIR	2 007.082	57.072	0.279	0.376
高通滤波变换 (HPF)	R	1 120.665	54.261	0.403	0.287
	G	1 217.212	54.707	0.404	0.293
	B	1 125.426	55.394	0.403	0.297
	NIR	2 011.079	21.692	0.111	0.481
主成分变换 (PC)	R	1 117.781	41.135	0.170	0.357
	G	1 214.369	42.257	0.172	0.356
	B	1 122.488	41.237	0.166	0.361
	NIR	2 011.442	50.553	0.181	0.375
超分辨率贝叶斯变 换(Pansharp)	R	1 086.786	53.438	0.103	0.427
	G	1 091.470	53.829	0.358	0.437
	B	1 183.465	55.879	0.358	0.432
	NIR	2 011.589	60.308	0.603	0.501

说明：相关系数表示融合后波段与原始多光谱对应波段的相关性。

2.2.2 纹理分析 随机选择水域、建筑用地、耕地、林地等4块区域分析其熵值与二阶矩指标，其中，林地、耕地与建筑用地50 m×50 m样地各30块，水域50 m×50 m样地15块，10 m×10 m样地10块。熵值表示影像所包含的信息量，熵值越大则影像空间细节丰富。分析熵值指标统计图(图2)，影像融合对于林地的熵值增加最为明显，HSV、Pansharp等2种融合算法信息熵分别为2.10、1.82，较原多光谱影像信息熵(1.45)均提高达25%以上，信息量改善良好。二阶矩又叫能量，二阶矩越小说明影像灰度分布均匀、纹理细致。分析二阶矩指标统计图(图3)发现林地的二阶矩增益较为明显。在林地中，HSV和Pansharp融合影像的二阶矩分别为0.13、0.19，较原始多光谱影像二阶矩(0.31)均有显著改善，其中HSV改善效率超过50%。综合2个纹理特征指标，HSV和Pansharp算法对纹理具有稳定和显著的改善，其中HSV在增益效果上更具优势，融合影像信息量最大，纹理最为细致。

### 2.3 面向对象分类结果分析

为了探究各融合算法下的影像质量及在林地信息提取上的应用效果，本研究利用面向对象多尺度分割的方法，结合光谱、纹理和空间信息等特征值进行KNN分类，分割尺度为220，形状因子0.1，紧实度因子0.5，分类结果部分区域如图4所示。本研究利用原始多光谱影像，结合2014年森林资源二类调查数据，选择7种地类的典型样本共274个作为分类样本，并实测全球定位系统(GPS)点148个作为验证样本(表2)。使用eCognition软件建立基于样本的混淆矩阵，分类精度见表3。

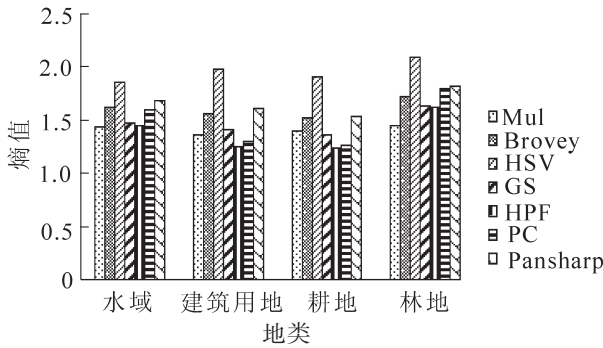


图 2 熵值指标统计图

Figure 2 Statistical chart of entropy indexes

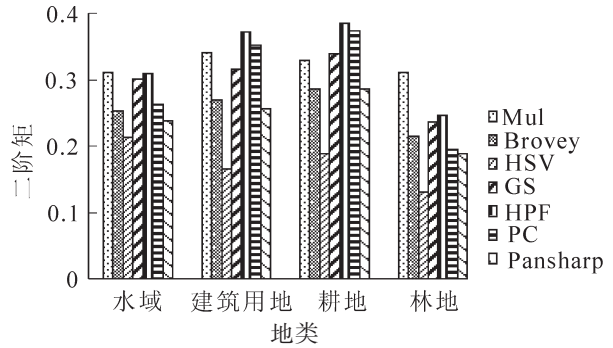


图 3 二阶矩指标统计图

Figure 3 Statistical chart of second moment indexes

从总体精度和 Kappa 系数指标来看，HSV 变换融合结果分类精度最高，总精度为 85.14%，Kappa 系数 0.82，较原始多光谱影像分类精度提高了约 13%，其次是 Brovey，HPF 及 Pansharp 变换，PC 变换融合影像分类精度为 63.51%，低于原始多光谱影像分类精度(72.30%)，说明对于 GF-2 影像来说并不是所有融合变换都能增强影像信息提取的能力。

在对有林地信息提取精度上，HSV 和 Brovey 变换生产者精度分别为 97.67%，86.05%，使用者精度分别为 87.50%，90.24%，较其他融合变换有明显的优势，GS 变换和 PC 变换不适宜提取林地，生产者角度和使用者精度均较低。

表 2 研究区各地类样本数量表

Table 2 Sample's number of surface features on the study area

地类	分类样本	验证样本
有林地	80	43
草地	36	20
耕地	40	21
苗圃	20	7
水域	25	16
城矿居民用地	38	21
未利用地	35	20
总数	274	148

表 3 研究区地类分类精度对比表

Table 3 Contrast on classification accuracy of surface features on study area

地类	精度(生产者精度/使用者精度)/%						
	Mul	Brovey	HSV	GS	HPF	PC	Pansharp
有林地	83.02/71.43	86.05/90.24	97.67/87.50	79.60/66.67	83.72/90.70	75.12/66.37	86.05/67.27
草地	95.00/86.36	99.61/99.36	95.00/99.80	77.17/79.93	99.16/76.92	99.31/86.96	95.00/99.20
耕地	33.33/87.5	57.14/99.80	61.90/92.86	29.05/50.00	47.62/99.24	66.67/60.87	57.14/75.00
苗圃	86.71/54.54	99.03/50.00	85.71/85.71	71.43/45.45	57.14/57.14	71.43/71.43	98.79/50.00
水域	43.75/98.17	87.50/98.00	93.75/99.62	99.05/94.12	93.75/93.75	93.75/88.23	93.75/93.75
城矿居民用地	85.71/60.00	90.48/59.38	66.67/58.33	71.43/53.57	80.95/56.67	57.14/35.3	52.38/68.75
未利用地	50.00/71.43	70.00/93.33	80.00/80.00	35.00/75.00	75.00/88.24	30.62/8.53	40.00/66.67
总精度/Kappa 系数	72.30/0.66	83.10/0.79	85.14/0.82	71.52/0.62	80.40/0.76	63.51/0.56	78.75/0.68

对草地分类中，除 GS 变换和 HPF 变换使用者精度较低外，其余变换均较高，Brovey，HSV 和 Pansharp 变换使用者精度都超过 90%，适宜草地的提取。对耕地提取中，除 GS 变换外，其余 5 种变换都较原始多光谱影像分类有所提高，其中 Brovey 变换使用者精度最高，PC 变换生产者精度最高，适于耕地提取。苗圃地提取分析中，Brovey 和 Pansharp 变换生产者精度较高都在 95%以上，HSV 变换使用者精度最高约 85.71%。其他 3 种方法不适宜苗圃地类提取。水域提取分析中，对比其他地类提取，6 种融合图像的生产者精度和使用者精度均较高。相比较而言 PC 变换不适宜提取水体，生产者精度较低。城矿居民用地提取分析中仅 Brovey 变换在生产者精度上有了显著的提升，适于城矿居民用地的提取。

为了进一步研究不同融合变换影像对有林地地类中森林类型信息提取效果，本研究利用上一步中有林地地类矢量与影像中 NDVI 大于 0.35 且 Brightness 小于 1 500 的矢量叠加，重叠区作为有林地范围，进行再次分割和 KNN 分类，分为阔叶林、针叶林、混交林 3 个地类。分割尺度为 100，形状因子 0.1，紧实度因子 0.5。分类样本共 128 个，并实测 GPS 点阔叶林 30 个、针叶林 30 个以及混交林 30 个作为

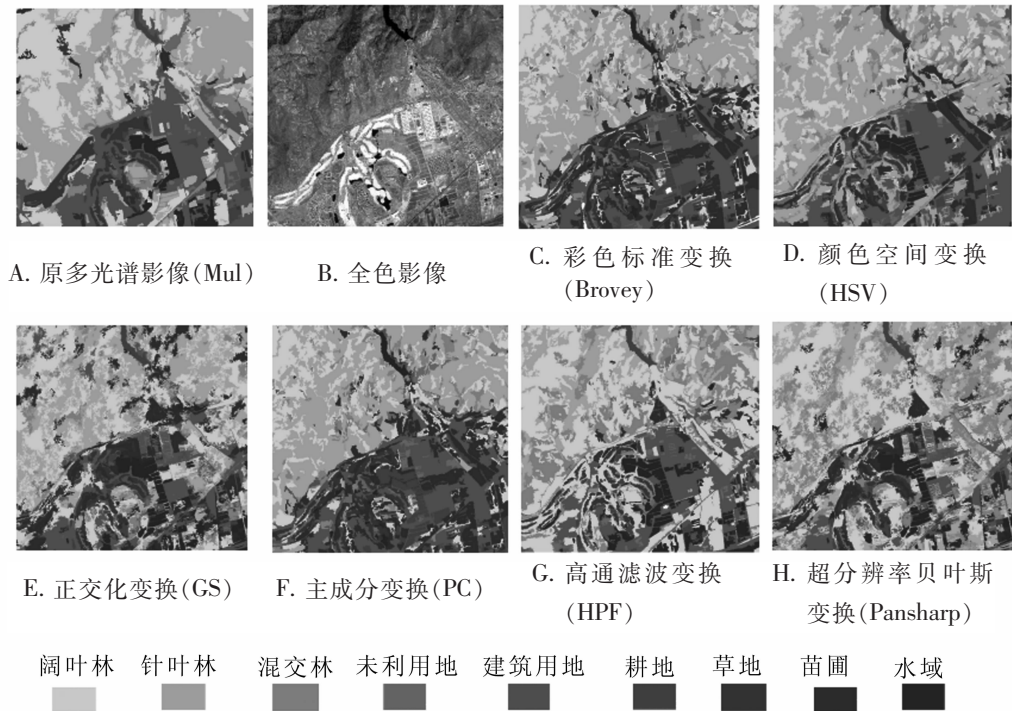


图4 融合影像分类结果图

Figure 4 Classification results of fusion images

验证样本，使用 eCognition 软件建立基于样本的混淆矩阵，分类精度见表 4。

表 4 研究区有林地内分类精度对比表

Table 4 Contrast on classification accuracy of woodland on study area

林分	精度(生产者精度/使用者精度)/%						
	Mul	Brovey	HSV	GS	HPF	PC	Pansharp
阔叶林	73.33/62.86	86.67/76.92	73.44/59.10	90.00/71.05	80.00/55.26	76.67/64.52	83.33/70.37
针叶林	57.70/60.00	80.77/84.00	67.70/48.39	61.54/69.57	63.85/63.63	54.30/54.17	65.54/57.12
混交林	22.45/33.33	70.00/46.67	54.30/38.46	32.64/40.00	44.56/50.00	32.64/27.27	40.00/36.36
总精度/Kappa 系数	59.10/0.47	75.72/0.63	66.67/0.51	68.18/0.54	71.10/0.59	64.54/0.51	72.58/0.60

可见，Brovey 和 Pansharp 变换融合结果在有林地内分类精度最高，总体精度分别达到 75.72% 和 72.58%，Kappa 系数分别达到 0.63 和 0.60，其次是 HPF 和 GS 变换，PC 变换融合结果分类精度最低。阔叶林分类生产者精度普遍高于针叶林，GS, Brovey, Pansharp 和 HPF 变换均达到 80% 以上，混生林总体分类精度低，仅有 Brovey 和 HPF 变换融合结果在生产者精度及使用者精度均能达到 50% 以上。因此，在森林类型层次的林地信息提取中采用 Brovey 或 Pansharp 融合算法更为适宜。

### 3 结论及讨论

影像融合是为了使不同数据源实现优势互补，从而对影像数据高效利用。针对基于 GF-2 影像面向林地信息提取的遥感影像融合算法选择问题，本研究选择 6 种具有代表性的融合算法(HSV 变换，Brovey 变换，PC 变换，HPF 变换，GS 变换，Pansharp 变换)，在采用目视与定量特征分析的传统影像质量评价基础上，辅助面向对象分类林地信息效果分析。在融合影像整体质量方面，HSV 和 Pansharp 变换目视效果较好，其中 Pansharp 变换在在光谱继承和增强信息纹理方面取得了较好的平衡，光谱相关系数及高频信息融入度都较高，对纹理具有稳定和显著的改善。传统的目视及定量指标分析有一定的合理性，但也缺乏针对性，难以对不同层次的森林类型的信息提取作出比较，具有局限性。

在基于融合影像的面向对象分类中，HSV, Brovey, HPF 变换总体分类精度较高，其余 3 种方法在个别类型中具有明显劣势。对于林地信息提取的最优融合算法需根据应用的具体层次来选择，在有林地

层次的信息提取中 HSV 变换较为适宜, 在森林类型信息提取则采用 Brovey 和 Pansharp 变换更为有效。因此, 综合融合影像整体质量及分类精度, 针对 GF-2 影像的林地信息提取, HSV 及 Pansharp 变换的融合效果优于其他 4 种算法, 可为 GF-2 影像在林业行业大规模融合提供参考。不同融合方法对不同地类信息的提取各有优势。在进行森林动态监测、地类信息提取、地块变化等不同林业遥感工作中, 需考虑具体情况及地类信息比例选择合适的融合方法。

## 4 致谢

感谢中国林业科学研究院资源信息研究所为本研究提供的 GF-2 卫星影像数据。

## 5 参考文献

- [1] 梅青. 全国林地“一张图”大数据时代的经典力作[EB/OL]. [http://www.greentimes.com/green/news/yaowen/zhxw/content/2013-10/23/content\\_235974.htm](http://www.greentimes.com/green/news/yaowen/zhxw/content/2013-10/23/content_235974.htm), 2013-10-23.
- [2] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 251 - 262.
- [3] 李霖, 余梦媛, 罗恒. ZY-3 卫星全色与多光谱影像融合方法比较[J]. 农业工程学报, 2014, **30**(16): 157 - 165.  
LI Lin, SHE Mengyuan, LUO Heng. Comparison on fusion algorithms of ZY-3 panchromatic and multi-spectral images [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2014, **30**(16): 157 - 165.
- [4] 杨丽萍, 夏敦胜, 陈发虎. Landsat 7 ETM+全色与多光谱数据融合算法的比较[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2007, **43**(4): 7 - 11.  
YANG Liping, XIA Dunsheng, CHEN Fahu. On fusion algorithms of Landsat 7 ETM+PAN and multi-spectral images [J]. *J Lanzhou Univ Nat Sci*, 2007, **43**(4): 7 - 11.
- [5] 高志雄. 基于 ZY-3 卫星的森林分类及郁闭度提取方法研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2015.  
GAO Zhixiong. *Study on the Forest Classification and Crown Density Extraction Method Based on ZY-3 Image Data* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2015.
- [6] 郑著彬, 李俊, 任静丽. HPF 图像融合技术在大理市遥感影像中的运用探讨[J]. 云南地理环境研究, 2007, **19**(6): 96 - 98.  
ZHENG Zhubin, LI Jun, REN Jingli. Discussion for technology of HPF resolution merge using in Dali's remote sensing image [J]. *Yunnan Geogr Environ Res*, 2007, **19**(6): 96 - 98.
- [7] 赵珍梅, 马伟, 王润生. 3 种高保真遥感影像融合方法效果评价与分析[J]. 地址与勘探, 2010, **46**(4): 705 - 710.  
ZHAO Zhenmei, MA Wei, WANG Runsheng. Evaluation and analysis of there methods of fusion remote sensing images with high fidelity of information [J]. *Geol Explor*, 2010, **46**(4): 705 - 710.
- [8] 郑中, 祁元, 张金龙. 基于光谱角和光谱距离评价指标的遥感影像融合算法比较研究: 以 QuickBird 数据为例[J]. 遥感技术与应用, 2013, **28**(3): 437 - 443.  
ZHENG Zhong, QI Yuan, ZHANG Jinlong. Comparing with different remote sensing image fusion method based on evaluation index of spectral angle and spectral distance: taking Quickbird datas as example [J]. *Rem Sens Technol Appl*, 2013, **28**(3): 437 - 443.
- [9] 郭会敏, 洪运富, 李营, 等. 基于高分一号卫星影像的多种融合算法比较[J]. 地理与地理信息科学, 2015, **31**(1): 23 - 26.  
GUO Huimin, HONG Yunfu, LI Ying, et al. Comparison of fusion methods used for GF-1 satellite image [J]. *Geogr Geo-Inf Sci*, 2015, **31**(1): 23-26.
- [10] 王海江, 王周龙, 李丽宏, 等. 基于高平衡阶多进制多小波包变换的遥感影像融合[J]. 农业工程学报, 2015, **31**(1): 178 - 186.  
WANG Haijiang, WANG Zhoulong, LI Lihong, et al. Remote sensing image fusion based on high-balanced multi-band multiwavelet packet transform [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2015, **31**(1): 178 - 186.
- [11] 王华斌, 李国元, 张本奎, 等. 资源三号卫星影像融合算法对比分析[J]. 测绘科学, 2015, **40**(1): 47 - 51.  
WANG Huabin, LI Guoyuan, ZHANG Benkui, et al. Construct and analysis of different fusion algorithms for ZY-3



- satellite images [J]. *Sci Surv Mapp*, 2015, **40**(1): 47 – 51.
- [12] 陈春华, 苏逸平, 邹崇尧. WorldView-2 遥感影像融合算法实验研究[J]. 地理空间信息, 2013, **11**(6): 72 – 74.  
CHEN Chunhua, SU Yiping, ZOU Chongyao. Study on remote sensing image fusion algorithm [J]. *Geospat Inf*, 2013, **11**(6): 72 – 74.
- [13] 许民. 高分辨率遥感影像融合方法研究及融合效果评价: 以 ALOS 和 SPOT 的全色与多光谱影像为例[D]. 兰州: 兰州大学, 2010.  
XU Min. *Research on High Resolution Remotely Sensed Image Fusion Methods and Evaluation of Fusion Quality: A Case Study of Multi-spectral and Panchromatic Data of ALOS and SPOT* [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2010
- [14] 黄先德, 周群, 王兴. 资源三号卫星全色与多光谱影像融合算法[J]. 测绘通报, 2015(1): 109 – 114.  
HUANG Xiande, ZHOU Qun, WANG Xing. Fusion of resources satellite-3 remote sensing panchromatic and multi-spectral Images [J]. *Bull Surv Mapp*, 2015(1): 109 – 114.
- [15] 郑丽. SPOT 多光谱影像与全色影像融合研究[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2015, **33**(6): 868 – 871.  
ZHENG Li. Research on the SPOT multi-spectral image and panchromatic image fusion [J]. *J Jiamusi Univ Nat Sci Ed*, 2015, **33**(6): 868 – 871.
- [16] 任德智, 潘刚, 葛丽雯. 基于 Titan Image 软件的 QuickBird 影像融合[J]. 东北林业大学学报, 2013, **41**(3): 131 – 134.  
REN Dezhi, PAN Gang, GE Liwen. Image fusion of QuickBird based on Titan Image software [J]. 2013, **41**(3): 131 – 134.
- [17] 王乐, 牛雪峰, 魏斌, 等. 遥感影像融合质量评价方法研究[J]. 测绘通报, 2015(2): 77 – 79.  
WNAG Le, NIU Xuefeng, WEI Bin, *et al.* Study on quality evaluation methods for remotely sensed images fusion[J]. *Bull Surv Mapp*, 2015(2): 77 – 79.
- [18] 孟京辉, 陆元昌, 刘刚, 等. 基于 ETM+遥感图像的图像融合试验及评价方法[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2010, **34**(1): 69 – 72.  
MENG Jinghui, LU Yuanchang, LIU Gang, *et al.* Trail of image fusion methods and quality assessment for ETM+ image [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2010, **34**(1), 69 – 72.
- [19] 王广杰, 周介铭, 杨存建, 等. 基于不同算法的遥感影像融合分析[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2011, **34**(2): 255 – 259.  
WANG Guangjie, ZHOU Jieming, YANG Cunjian, *et al.* Analysis of remote sensing image fusion based on different algorithms [J]. *J Sichuan Norm Univ Nat Sci*, 2011, **34**(2): 255 – 259.