

# GF-2 Satellite Remote Sensing Image Fusion Method and Evaluation

Duan Yanchao, Ma Jun

School of Computer and Information Engineering, Henan University, Kaifeng 457000, China

Email: j807977512@gmail.com

## Abstract

Remote sensing images taken by different satellites have the different adaptability to fusion algorithms, and different fusion algorithms need to be selected according to the actual needs. With GF-2 satellite remote sensing image as the research object, through the construction area, vegetation area, water area of the panchromatic image and multispectral image were fused. Choose Brovey, Gram-Schmidt, HCS, HPF, NNDifuse, PCA, a total of six kinds of image fusion method, after adjustment for GF-2 multispectral image and panchromatic image fusion processing, and the fusion results are comprehensive quantitative evaluation and qualitative evaluation. The experimental results show that NNDifuse fusion method is more suitable for GF-2 image fusion, the second respectively HCS, Gram - Schmidt, PCA fusion method, and Brovey and HPF fusion method is used for GF-2 image fusion effect is poorer.

**Keywords:** GF-2; Image Fusion; Image Processing

## 高分二号遥感影像融合方法与评价

段延超, 马骏

河南大学计算机与信息工程学院, 河南省 开封市 457000

**摘要:** 不同卫星所拍摄的遥感影像对融合算法具有不同的适应性, 需要根据实际需求选择不同的融合算法。以高分二号卫星遥感影像为研究对象, 通过对建筑区域、植被区域、水体区域进行全色影像和多光谱影像的融合。选择 Brovey、Gram-Schmidt、HCS、HPF、NNDifuse、PCA 共六种影像融合方法, 对校正后的高分二号多光谱影像和全色影像进行融合处理, 并对融合结果进行综合的定性评价和定量评价。实验结果证明, NNDifuse 融合方法较为适合于高分二号影像融合, 其次分别为 HCS、Gram-Schmidt、PCA 融合方法, 而 Brovey 和 HPF 融合方法用于高分二号影像融合时效果较差。

**关键词:** 高分二号; 影像融合; 图像处理

## 引言

高分二号 (GF-2) 卫星是我国研制的首颗空间分辨率优于 1 米的民用遥感卫星, 运行在 631.569km 的太阳同步轨道上, 装载了 2 台 1m 全色/4m 多光谱相机, 提供最高全色分辨率为 0.8m、多光谱分辨率为 3.2m、幅宽为 45km 的影像数据, 标志着我国遥感卫星进入了亚米级“高分时代”<sup>[1]</sup>。

GF-2 卫星全色相机可以获取 0.45~0.90  $\mu\text{m}$  波段的信息, 多光谱相机可以获得 0.45~0.52、0.52~0.59、0.63~0.69、0.77~0.89 共四个波段的信息。全色相机拍摄的影像空间分辨率高, 但无法显示地物色彩。多光谱相机拍摄影像虽然可以显示地物色彩和丰富光谱信息, 但是空间分辨率较低。为了得到高空间分辨率、高光谱分辨率的影像, 通常需要影像融合技术。融合后的影像既提高了多光谱影像的分辨率, 又保留其多光谱的特性。融合后的影像比源影像有更好的目视效果, 所以可以更好地应用于地物识别、土地利用现状调查等遥感应用中<sup>[2]</sup>。

为得到适合 GF-2 卫星影像的融合方法，以 GF-2 卫星影像为实验数据，选择 Brovey、Gram-Schmidt、HCS、HPF、NNDiffuse、PCA 六种融合方法，对实验数据进行融合处理和质量评价，并参考不同的评价指标，对比得到适合 GF-2 卫星影像融合方法。

## 1 影像融合方法介绍

随着多种遥感卫星的成功发射，不同空间分辨率、光谱分辨率以及时间分辨率的影像被获得，影像融合技术得到了快速的发展。全色影像与多光谱影像具有一定的互补性，经过影像融合技术，融合后的影像不仅具有全色影像的高空间分辨率的特性，而且还带有多光谱的颜色特性<sup>[3]</sup>。通过不同的融合方法获取的融合影像的效果也不尽相同。

### 1.1 Brovey 融合

Brovey 变换又称色彩标准化(Color Normalization)变换，是一种典型的比值型多光谱图像融合增强方法，可以用来增强图像的对比度，对于生成高对比度的彩色图像特别适用。变换公式：

$$I_i = (XS_i \times PAN) / \sum_{k=1}^n XS_k \quad (1)$$

(1)式中， $I_i$  为融合后的第  $i$  波段影像； $XS_k$  为第  $k$  波段多光谱影像；PAN 为高分辨率全色波段影像<sup>[4]</sup>。算法过程先采用色彩标准化变换对多光谱图像进行变换，将其分离为色彩和亮度分别进行分析处理；然后将高空间分辨率的全色图像与多光谱图像的各个波段利用乘积变换公式进行融合计算，得到融合结果。基于 Brovey 变换的融合算法简单、快捷，能有效地提高影像上亮暗目标的对比度，但是会造成较大的色彩畸变。

### 1.2 PCA 融合

PCA(principal components analysis)主成分变换，是基于统计基础上的多维正交线性变换，其中参与变换不受波段数限制，可以接受 3 个以上波段的多光谱数据和高分辨率数据进行交换，从而分离各个波段的纹理信息。PCA 变换融合是将  $N$  个波段的 MS 图像进行 PCA 变换，将单波段的 PAN 图像进行灰度拉伸，使其灰度的均值和方差同 PCA 变换的第一分量图像一致；然后以拉伸过的 PAN 图像代替第一分量图像，经过 PCA 逆变换还原到原始空间。经过融合的图像不仅包含了原始图像的高分辨率与高光谱分辨率特征，而且保留了源图像的高频信息。融合后的图像使得目标的细节特征更加清晰，光谱信息更加丰富。

### 1.3 Gram-Schmidt 融合

Gram-Schmidt (GS) 变换是线性代数和多元统计中常用的多维线性正交变换，在任意可内积空间，任一组相互独立的向量都可通过 GS 变换找到该向量的一组正交基。设  $\{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$  是一组相互独立的向量，GS 变换构造正交向量  $\{v_1, v_2, u_3, \dots, v_n\}$  的方式如下：

假设  $v_1 = u_1$ ，依次计算第  $i+1$  个正交向量： $v_{i+1} = u_{i+1} - \text{proj}_{w_i} u_{i+1}$ ，

$$\text{proj}_{w_i} u_{i+1} = \frac{\langle u_{i+1}, v_i \rangle}{\|v_i\|^2} v_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

(2)式中： $w_i$  为已经计算的前  $i$  个正交向量跨越的空间， $\text{proj}_{w_i} u_{i+1}$  是  $u_{i+1}$  在  $w_i$  的正交投影<sup>[5]</sup>。

GS 变换算法类似 PCA 变换，它是基于数学算法 Gram-Schmidt 变换的一种算法，与 PC 变换的区别在于：PC 变换的第一分量 PC1 包含信息最多，而后面的分量信息含量依次减少，而 GS 变换产生的各个分量只是正交，各分量信息量没有明显的多寡区别。

### 1.4 HCS 融合

HCS (Hyperspherical Color Sharpening) 超球体色彩空间变换融合算法能够对包含 3 个以上波段的多光谱数据进行融合：首先将多光谱影像转换到超球面颜色空间(HCS)，分离出多光谱影像的 I 分量；其次将全色

影像与 I 分量进行匹配, 获得一个全色锐化后的 I 分量并替换掉多光谱影像的 I 分量; 最后, 进行色彩空间的逆变换获得融合影像。

## 1.5 HDF 融合

HDF 融合算法是指高通滤波融合算法。对于遥感图像来说, 高频分量包含了影像的空间结构, 低频部分则包含了光谱信息。高通滤波器算子提取出高分辨率全色影像的细节信息, 采用相元相加的方法, 将提取出的高分辨率的细节信息添加上多光谱所具有的颜色信息, 实现多光谱的低分辨率遥感影像和高分辨率全色影响之间的数据融合。HPF 融合算法对光谱信息保持的非常好, 但是在增强多光谱图像的空间细节表现能力的同时, 也容易增加噪声, 影响视觉效果<sup>[6]</sup>。

## 1.6 NNDifuse 融合

NNDifuse(Nearest Neighbor Diffusion) Pan Sharpening 是由美国罗彻斯特理工学院 (RIT) 提出的一种新的融合算法。该算法利用像素作为最小的操作单元, 利用混合模型生成分辨率增强的光谱图像。高分辨率融合图像中的每一个新光谱都是低分辨率光谱图像中相邻的超像素光谱的加权组合。权重是根据全色影像中推断出的扩散模型控制, 该模型将像素与相邻的超像素的相似性联系起来。该算法能够在保留多光谱影像中无法识别的非常清晰的空间特征的同时, 又能保留多光谱图像中的光谱信息。这对于依赖传统视觉检查之外的精确光谱信息的应用(例如地物分类)尤其重要。该算法支持众多传感器类型, 并且融合结果对于色彩、纹理和光谱信息, 均能得到很好保留。该算法也可以使用 OpenMP 和 compute unified device architecture (CUDA) 并行处理技术实现, 这大大减少了处理时间, 使其实现了高性能处理<sup>[7]</sup>。

## 2 实验结果

本次实验 Brovey 算法多光谱选择 3、2、1 波段组合与全色影像进行融合, 其余算法均是对 4 个波段进行融合。原始影像以及所有融合结果统一在 ENVI 中按照 3、2、1 波段组合显示, 显示结果进行 2% 线性拉伸, 并且分别按照水体、植被、建筑将结果分为三组, 结果如下图所示:

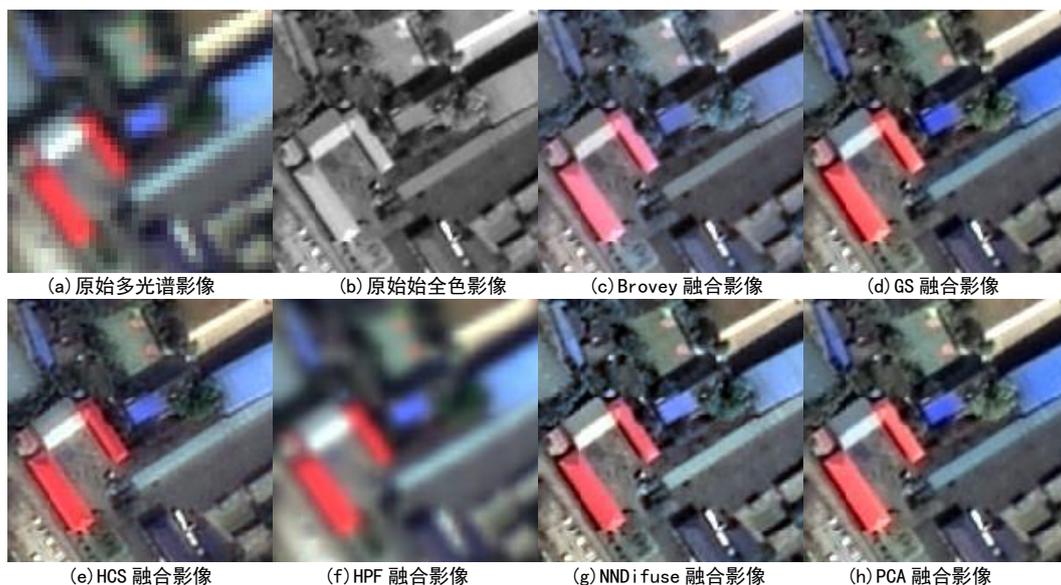


图 1 建筑区域融合结果对比

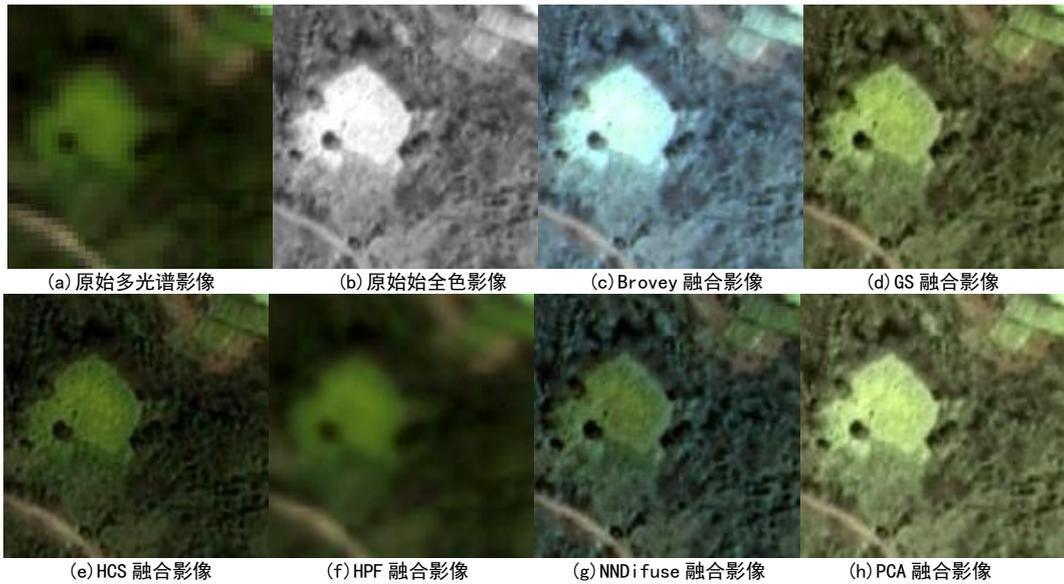


图 2 植被区域融合结果对比

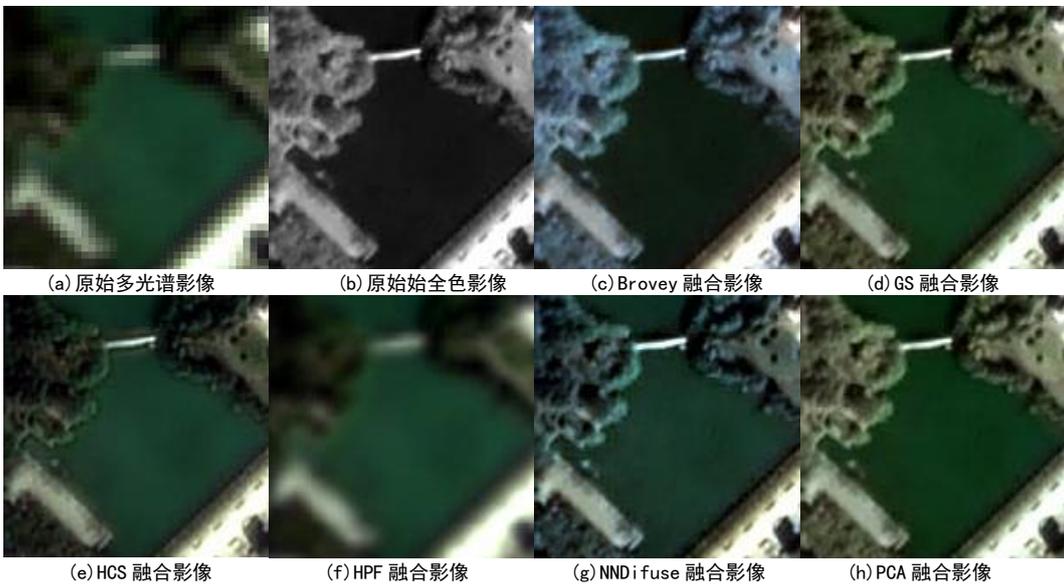


图 3 水体区域融合结果对比

### 3 实验结果评价

对影像融合结果进行质量评价也是影像融合中的尤为重要的一个环节，质量评价方法主要分为基于目视判读的主观定性评价和基于统计方法的客观定量评价。通过对融合结果进行主观评价和客观评价，可以进一步分析影像融合结果，对比各种融合方法的优缺点，找出适合高分二号影像的最优融合方法。本次试验综合考虑了融合后影像的清晰度、光谱特性以及信息量三个方面的因素，首先采用目视判别方法对融合结果进行对比分析，进行定性评价。然后选择了基于单一图像统计量的信息熵、平均梯度和基于原始图像统计量的相关系数、偏差指数和扭曲程度这 5 种评价指标对影像进行客观定量评价<sup>[8-10]</sup>。

#### 3.1 定性评价

将本次试验结果按照地物分成三组，分别与原始的多光谱影像和全色影像作对比，从目视效果看，用 6 种融合算法处理后的影像与原始影像对比在空间细节的辨识度方面都有明显的提高，而且都能够在一定程度上保留原始影像的光谱信息。

在建筑区域，HCS 算法和 HPF 算法虽然能够保留原始多光谱影像的色彩信息，但是融合结果比较模糊，边缘清晰度不高，Brovey 算法明显增强了影像的纹理细节，结果却存在一定程度的光谱失真，而 NNDifuse 算法、PCA 算法和 Gram-Schmidt 算法能够在提高空间分辨率的同时较大程度的保留影像的光谱信息。

在植被区域，Brovey 算法存在严重的光谱畸变，绿光部分明显偏蓝，HPF 算法边缘模糊，不能很好的提高影像的清晰度，PCA 变换算法、Gram-Schmidt 变换算法以及 NNDifuse 算法存在轻微的光谱扭曲，HCS 算法既保留了原始多光谱影像的光谱特征又提高了影像的纹理细节。

在水体区域，HCS 算法、HPF 算法和 NNDifuse 算法保留光谱信息水平较高，PCA 变换算法、Gram-Schmidt 变换算法和 Brovey 算法保留水平稍低，并且融合结果图像偏亮，空间分辨率提高方面 NNDifuse 算法最优，HPF 算法最差。

综合分析建筑、植被以及水体区域融合效果，可以看出本次试验中，视觉效果上 Brovey 算法融合结果最差，HCS 算法和 NNDifuse 算法融合效果相对较好，既可以保留光谱特征，又能提升影像的空间分辨率，明显优于其他几种算法。

### 3.2 定量评价

本次试验选择的 5 种定量评价指标的统计值特性如表 1 所示：

表 1 评价指标特性

评价指标	评价结果	指标特性
信息熵	反映图像的信息量的大小	信息熵越大，说明融合结果所携带的信息量越大，融合结果质量越好
平均梯度	衡量图像的清晰度，反映融合前后影像的纹理变化	平均梯度越大，融合结果清晰度越高，视觉效果越好
相关系数	反映融合结果与原始影像之间的相似程度	相关系数越大，表示相似度越高，融合效果越好
偏差指数	反映融合结果与原始图像之间的相对偏离差异	偏差指数越大，表示融合结果与原图像信息匹配程度越低
扭曲程度	反映融合结果与原始图像之间的相对偏离差异	扭曲程度值越小，表示融合结果与原图像相比失真程度越小，效果越好

通过 GDAL 库函数结合 C++语言的方法，编程计算每个算法融合结果的各个定量评价指标，得到的计算结果如表 2 所示：

表 2 质量评价结果

	波段	信息熵	平均梯度	相关系数	扭曲程度	偏差指数
全色	Band1	8.282	13.5623			
	Band3	8.0364	16.0534			
	Band2	7.7883	14.8709			
多光谱	Band1	7.8421	13.5639			
	Band3	6.9117	5.8802	0.6073	146.7564	0.5211
	Band2	6.6354	4.1366	0.7097	255.1302	0.7436
Brovey	Band1	6.5689	3.4045	0.6313	429.8506	0.8598
	Band3	8.0071	11.5999	0.8070	30.0615	0.1112
GS	Band2	7.7666	10.1809	0.8021	25.9987	0.0749

HCS	Band1	7.6939	9.7483	0.8115	25.5662	0.0506
	Band3	8.0618	8.3941	0.9286	11.7621	0.0409
	Band2	7.8534	9.7425	0.9078	13.4860	0.0378
HPF	Band1	7.9749	13.292	0.8699	18.5992	0.0359
	Band3	7.9576	3.7769	0.9383	8.3924	0.0304
	Band2	7.7130	3.5040	0.9292	7.6424	0.0218
NND	Band1	7.7694	3.2592	0.9134	7.4913	0.0145
	Band3	8.1665	12.2321	0.8769	27.0701	0.0995
	Band2	8.1120	14.5966	0.8269	33.3093	0.0979
PCA	Band1	8.3560	20.0760	0.7536	47.9003	0.0958
	Band3	8.0457	11.8060	0.7719	109.7328	0.4358
	Band2	7.8238	10.4022	0.7674	94.7827	0.2889
	Band1	7.7304	10.1100	0.7726	94.3015	0.1995

从表 2 中可以看出, Brovey 算法的信息熵以及相关系数最小, 扭曲程度和偏差指数最大, 这表明用 Brovey 算法融合高分二号影像效果最差, 存在较大的光谱扭曲和地物边缘模糊现象, 与原始影像相比反差较大; HPF 算法融合结果相关系数最大, 扭曲程度和偏差指数最小, 平均梯度最小, 说明虽然 HPF 算法在色彩上能最大程度的与原始多光谱影像保持一致, 但是影像细节信息方面损失较为严重, 存在边缘严重模糊现象; PCA 变换算法信息熵和平均梯度较大, 相关系数较小, 扭曲程度和偏差指数较大, 说明 PCA 变换算法融合结果与原始影像存在较大的反差, 光谱信息明显失真; NNDifuse 算法信息熵和平均梯度最大, 说明融合后影像在空间细节增强方面有何大的优势, HCS 算法的相关系数相对较大, 扭曲程度和偏差指数相对较小, 说明融合结果与原始影像反差较小, 光谱保真度较高, 综合分析五种指标, 可以看出 NNDifuse 算法最优, 其次分别为 HCS 算法和 Gram-Schmidt 变换算法。

## 4 结论

本文基于 GF-2 卫星所拍摄 1m 全色和 4m 多光谱遥感影像, 选择六种影像融合方法对实验数据进行融合处理, 然后将融合结果分为建筑、植被、水体三组进行对比分析, 首先采用主观定性评价对三组结果进行分析比较, 然后选择五种经典定量评价指标对融合结果进行质量评价。

实验结果综合表明: 六种融合方法都能提高原始影像的视觉效果和空间分辨率, 其中 NNDifuse 明显最优, 较适合用于高分二号影像的融合; 其次分别为 HCS、Gram-Schmidt 和 PCA, 可结合需要灵活选择; Brovey 存在严重的光谱畸变 (尤其是在植被区域), 而 HPF 则细节模糊比较严重, 因此在做 GF-2 影像融合处理时不建议选择。

## REFERENCES

- [1] 潘腾. 高分二号卫星的技术特点[J]. 中国航天, 2015(01):3-9.
- [2] Wald L. Some terms of reference in data fusion[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 1999, 37(3):1190-1193.
- [3] 李艳芳, 程新文, 金彪, 孙华, 范巍. 几种常见影像融合方法的比较[J]. 地理空间信息, 2009, 7(02):102-105.

- 
- [4] Harry N. Gross, John R. Schott. Application of Spectral Mixture Analysis and Image Fusion Techniques for Image Sharpening[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 63(2).
- [5] 于海洋, 闫柏琨, 甘甫平, 迟文学, 武法东. 基于 Gram Schmidt 变换的高光谱遥感图像改进融合方法[J]. 地理与地理信息科学, 2007(05):39-42.
- [6] 魏俊, 李弼程. 基于 IHS 变换、小波变换与高通滤波的遥感影像融合[J]. 信息工程大学学报, 2003(02):46-50.
- [7] Sun W, Messinger D. Nearest-neighbor diffusion-based pan-sharpening algorithm for spectral images[J]. Optical Engineering, 2013, 53(1):013107.
- [8] 陈雪洋, 袁超. ZY-102C 卫星影像融合方法评价[J]. 测绘与空间地理信息, 2013 36(2):50-53.
- [9] 夏健爽. 遥感数据融合后图像质量评价的研究[D]. 昆明理工大学, 2011.
- [10] 邢元军, 刘晓农, 宋亚斌, 等. 国产高分辨率遥感影像融合方法比较与分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, (10):83-88+2+147.