

引用格式: Lin Zhilei, Zhang Guicheng. Research on ALI Image Fusion Algorithm based on Improved Brovey Transform [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2020, 35(4): 893-900. [林志垒, 张贵成. 基于改进 Brovey 变换的 ALI 影像融合算法研究[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(4): 893-900.]  
doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2020.4.0893

## 基于改进 Brovey 变换的 ALI 影像融合算法研究

林志垒<sup>1,2</sup>, 张贵成<sup>1,2</sup>

(1. 福建师范大学 地理科学学院, 福建 福州 350007;

2. 福建师范大学 福建省陆地灾害监测评估工程技术研究中心, 福建 福州 350007)

**摘要:** 针对传统 Brovey 变换 (Brovey Transform, BT) 融合存在的光谱信息丢失及光谱扭曲等问题, 引入自适应加权平均对其进行改进, 并以 EO-1 ALI 多光谱影像为例, 提出一种新的基于改进 BT 的多光谱影像融合算法。并分别选用信息熵、平均梯度、相关系数、均方根误差等参数对影像融合效果进行综合评价与对比分析, 从而验证该算法的有效性和优越性。结果显示: 采用改进后的 BT 融合算法的多光谱融合影像具有较好的光谱信息和空间分辨率, 其视觉效果和空间纹理特征都有显著改善, 并且较好地延续了源影像的色彩信息, 亮度相对适中; 能减少融合过程中光谱信息的损失和畸变, 在保持光谱信息和清晰度方面与传统 BT 融合算法相比具有明显优势。

**关键词:** 多光谱影像; 数据融合; Brovey 变换; EO-1

**中图分类号:** TP751.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-0323(2020)04-0893-08

### 1 引言

遥感影像融合是将那些在空间或时间上冗余或互补的多源遥感影像数据按一定的规则 (或算法) 进行运算处理, 以获得比任何单一数据更精确、更丰富的信息, 从而生成一幅具有新的空间、波谱、时间特征的合成图像<sup>[1-3]</sup>。其目的在于提高影像的空间分辨率, 并能最大限度地保留影像原有的光谱信息, 提供更佳的地物细微特征, 从而增强对目标地物的识别能力, 提高地物分类精度<sup>[4-7]</sup>。遥感影像融合的方法有 IHS 变换融合法、PCA 变换融合法、Gram-Schmidt 光谱锐化融合法、加权平均融合法、Brovey 变换融合法、高通滤波融合法、平滑调节滤波融合法、金字塔分解融合法、小波变换融合法等。其中, Brovey 变换 (Brovey Transform, BT) 融合算法由于算法简单、运算速度快, 并能有效地提高源影像的空间分辨率, 故在国内外得到了较广泛的应用。比如, 王建等<sup>[8]</sup>利用 Brovey 图像融合方法对灌

区的 SPOT 全色波段和 TM 多光谱波段进行图像融合, 并对融合的图像进行精度验证, 保证图像应用的可行性; Zhang 等<sup>[9]</sup>利用 Brovey 变换和小波变换融合法对 SPOT-5 影像进行融合处理, 结果表明, Brovey 变换融合的图像显示出更高的空间分辨率和更好的光谱特征; 秦鹏等<sup>[10]</sup>分别采用 Brovey 融合与 HSV 锐化方法对同一景 ASTER 遥感影像进行处理, 用相同分类方法提取城市绿地信息, 结果表明, Brovey 方法较好地显示城市绿地的分布状况, 融合后的影像能够清晰地显示绿地的分布结构及毗邻关系。

但是传统的 BT 融合算法只能进行 3 个波段的图像融合, 并会造成融合图像局部明暗产生显著偏差, 进而引起光谱信息丢失及光谱扭曲等问题, 在一定程度上降低了该算法的使用潜力。虽然已有一些学者提出不同的改进 BT 融合算法<sup>[11-16]</sup>, 但针对多光谱遥感影像的融合研究还是很少。因此, 本文探究 BT 融合的基本原理, 针对传统 BT 融合算法所

收稿日期: 2019-04-22; 修订日期: 2020-06-09

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0502901), 福建省自然科学基金项目 (2017J01463) 资助。

作者简介: 林志垒 (1976—), 女, 福建长乐人, 博士, 副教授, 主要从事遥感原理与应用研究。E-mail: zllin99@163.com

存在的光谱信息丢失及光谱扭曲等问题,引入自适应加权平均对其进行改进,并以EO-1 ALI多光谱影像为例,提出一种新的基于改进BT的多光谱遥感影像融合算法。在理论分析的基础上,通过融合实验对影像融合效果进行综合分析评价,以验证该算法的有效性和优越性。

## 2 研究方法

### 2.1 BT融合算法

#### 2.1.1 BT融合的基本原理

BT融合是美国学者Brovey提出的一种基于乘积变换的融合方法,也称为色彩正规化变换融合法<sup>[17]</sup>。它将归一化后的3个波段图像与高空间分辨率全色图像进行乘积运算,既简化了图像融合运算系数,也较大程度地保留源图像的光谱信息。其运算公式如式(1)所示:

$$\begin{cases} BT_{red} = Pan \cdot \frac{R}{R+G+B} \\ BT_{gre} = Pan \cdot \frac{G}{R+G+B} \\ BT_{blu} = Pan \cdot \frac{B}{R+G+B} \end{cases} \quad (1)$$

其中: $R$ 、 $G$ 、 $B$ 分别为多光谱图像中红、绿、蓝波段的像元值, $Pan$ 为高空间分辨率图像全色波段的像元值, $BT_{red}$ 、 $BT_{gre}$ 、 $BT_{blu}$ 分别为融合后图像红、绿、蓝波段的像元值。

由于Brovey融合算法简单、易于实现、运算速度快、并能有效地提高融合图像空间分辨率,因此在国内外得到了广泛的应用。

#### 2.1.2 BT融合的不足

在传统的BT融合算法中,只能进行3个波段的图像融合,而且要求全色波段图像的光谱响应范围要与多光谱图像相一致或相近,如果光谱范围相差较大,会造成融合图像局部明暗产生显著偏差。多光谱各波段光谱信息虽然按照不同比例参与融合运算,但高分辨率全色波段和多光谱波段之间的运算也仅是简单相乘。因此传统的BT融合算法在有效地提高融合图像空间分辨率的同时不可避免地造成了光谱信息的丢失,存在较严重的光谱扭曲现象,从而在一定程度上限制了该算法的应用。

### 2.2 改进的BT融合算法

#### 2.2.1 现有的改进算法

针对传统BT融合算法的不足,已有不少学者提出不同的改进BT融合算法。陈思锦等<sup>[11]</sup>在小波多分辨率基础上对高分辨率影像进行去噪及边缘

增强,然后在小波分析基础上与多光谱影像进行Brovey变换融合。聂倩等<sup>[13]</sup>提出了一种新的基于Brovey变换、对数变换亮度调整的图像融合方法,试验数据的对比和分析证明了该方法较好地保持了原始多光谱影像的光谱信息。沈明霞等<sup>[14]</sup>提出主成分分析PCA与Brovey变换相结合的影像融合方法,将主成分和归一化植被指数作为Brovey变换融合时的波段,实验结果显示融合后的影像更利于后期植被信息提取。陆冬华等<sup>[15]</sup>利用高通滤波算法对Brovey融合算法进行了改进,用高通滤波替换掉全色波段数据的低频成分,同时保持全色数据的高频成分,再与多光谱数据进行融合,取得了较好的融合效果。周会珍等<sup>[16]</sup>考虑不同卫星传感器数据的光谱范围差异和光谱响应差异,基于Brovey融合的思想提出了一种新的适合于不同卫星传感器数据融合的方法。

#### 2.2.2 本文的改进算法

从传统BT融合的运算公式(见式(1))可以看出, $Pan$ 反映了高分辨率图像全色波段在融合过程中的作用, $R/(R+G+B)$ 、 $G/(R+G+B)$ 、 $B/(R+G+B)$ 分别反映了多光谱图像各波段在融合过程中的作用,但由于二者是直接相乘,如果二者的光谱响应范围相差较大,就会造成融合图像局部明暗产生显著偏差。

因此本文通过加权平均对Brovey融合算法进行改进:先对多光谱影像的各波段与高分辨率全色影像通过加权平均进行融合处理,引入自适应优化方法对权重参数进行调整,再利用多波段BT运算将加权平均后的高分辨率全色影像与原始多光谱影像进行转换生成最终的融合影像,在保留多光谱源影像光谱物理特性的同时,还可改善影像的空间解析特征。

改进BT变换的多光谱影像融合算法的主要步骤包括如下:

(1)空间配准。以高空间分辨率全色影像为参考影像,对同区域的多光谱影像进行配准,采用双线性插值的方法对多光谱影像进行重采样。

(2)直方图匹配。为减少在融合过程中出现的光谱扭曲,以多光谱影像作为参考,对高空间分辨率全色影像进行直方图匹配。

(3)加权平均。将高空间分辨率全色影像与对应的多光谱影像进行加权平均,其公式为:

$$MPan_k(i,j) = c_k Pan(i,j) + d_k X_k(i,j) \quad (2)$$

其中, $MPan_k(i,j)$ 为加权平均后高空间分辨率全色

影像的第 $k$ 波段第 $i$ 行、第 $j$ 列的像元值, $c_k$ 为 $k$ 波段高空间分辨率全色影像的权值, $Pan(i,j)$ 为高空间分辨率全色影像第 $i$ 行、第 $j$ 列的像元值, $d_k$ 为 $k$ 波段多光谱影像的权值, $X_k(i,j)$ 为多光谱影像第 $k$ 波段第 $i$ 行、第 $j$ 列的像元值。加权平均处理的优劣与权重参数的取值密切相关,传统的参数值选取是根据数据源的实际情况手动调整权重值,难以达到满意的效果,故采用自适应权重参数 $c_k$ 、 $d_k$ 进行优化。本文使用最小均方误差自适应算法。

(4)多波段BT运算。将加权平均后的高空间分辨率全色影像与原始多光谱影像进行多波段BT运算,其公式为:

$$BT_k(i,j) = MPan_k(i,j) \cdot X_k(i,j) / \sum_{k=1}^n X_k(i,j) \quad (3)$$

其中, $BT_k(i,j)$ 为改进BT融合后影像的第 $k$ 波段第 $i$ 行、第 $j$ 列的像元值, $k=1,2,\dots,n$ , $MPan_k(i,j)$ 为加权平均后高空间分辨率全色影像的第 $k$ 波段第 $i$ 行、第 $j$ 列的像元值, $X_k(i,j)$ 为多光谱影像第 $k$ 波段第 $i$

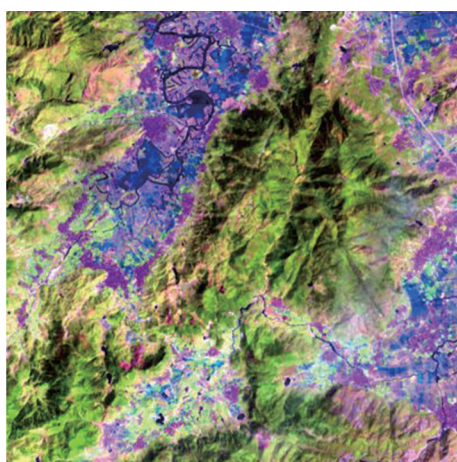
行、第 $j$ 列的像元值。

### 3 ALI影像融合实验

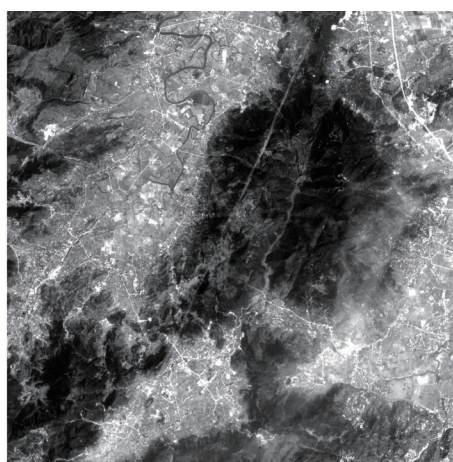
#### 3.1 实验数据

美国航空航天局2000年发射的EO-1卫星上装载3个传感器,即ALI、Hyperion和LAC。其中,Hyperion是高光谱成像仪,光谱范围覆盖400~2500 nm,光谱分辨率10 nm,空间分辨率30 m,242个波段;ALI是高级陆地成像仪,光谱范围覆盖400~2400 nm,共10个波段,多光谱波段空间分辨率30 m,全色波段空间分辨率10 m;LAC是大气校正仪<sup>[18-19]</sup>。

本文使用同一时间、同一区域的ALI多光谱数据(空间分辨率30 m)和ALI全色波段数据(空间分辨率10 m)作为实验数据,如图1所示。多光谱影像大小为400×400像素,全色波段影像大小为1200×1200像素。在融合之前分别对其进行数据预处理,包括辐射定标、大气纠正和几何纠正。



(a) ALI多光谱数据(RGB:9/6/5)



(b) ALI全色波段数据

图1 ALI实验数据影像

Fig.1 ALI experimental data image

#### 3.2 多光谱影像与全色影像的融合

为了分析改进BT融合算法的融合效果,本文分别采用传统BT融合算法、改进BT融合算法、ENVI中的HSV融合算法、PCI中的Pansharp融合算法对实验区的ALI多光谱影像和全色波段影像进行融合处理,融合实验结果如图2所示。

### 4 融合算法评价

将传统BT融合、改进BT融合、HSV融合和Pansharp融合4种融合算法的融合实验结果与ALI多光谱源影像进行对比,可以看到:融合后的影像

清晰了很多,能分辨出主要的道路和建筑物,在空间分辨率上都有了一定的提高,其视觉效果和空间纹理特征都有显著改善。但传统BT融合算法的融合影像亮度偏低,整体图像很暗,存在较为明显的色彩失真现象;而改进BT融合算法的融合影像较好地延续了源影像的色彩信息,其整体视觉与源影像比较接近,比如道路、水体的色调亮度相对适中,居民点、林地、水田、火烧迹地等地物十分清晰。为了更好地比较各种融合算法的目视效果,图3给出了融合结果局部细节对比图。

为了进一步评价改进BT融合算法的融合效



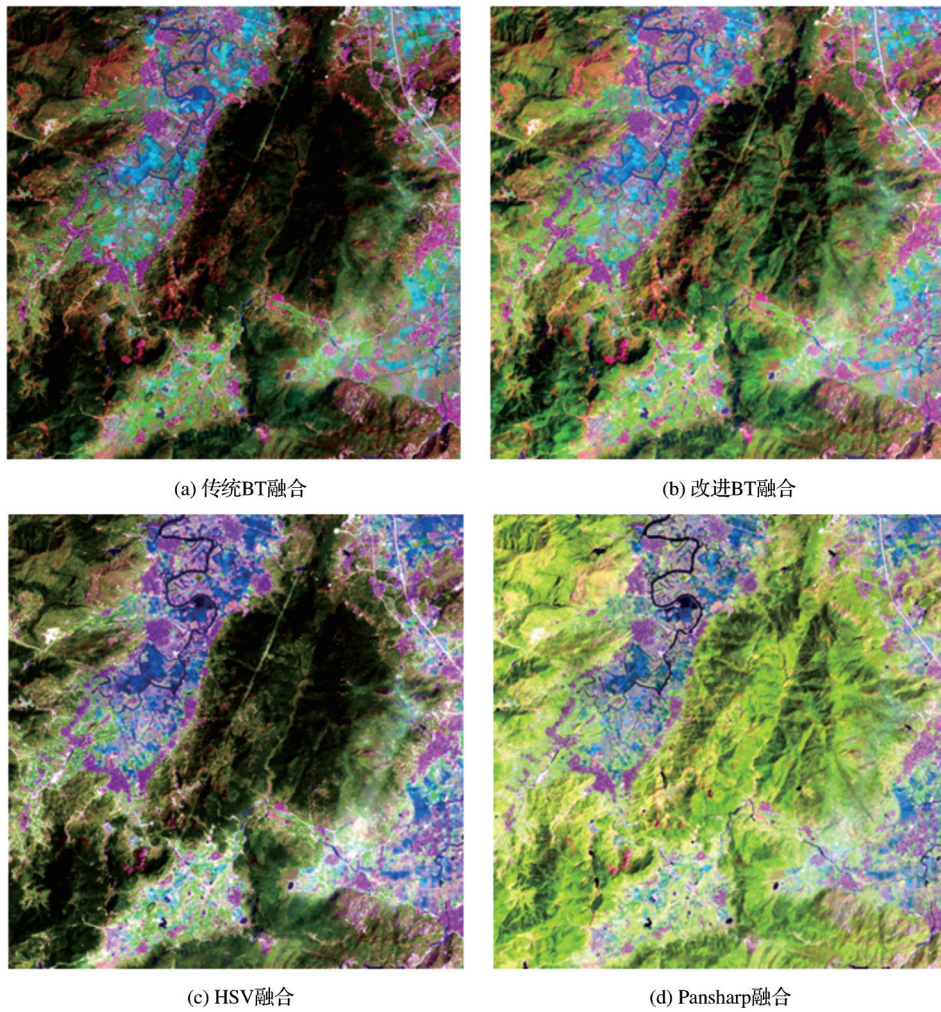


图 2 实验区融合结果(RGB:9/6/5)

Fig. 2 The fusion results of the experimental area

果,本文选用信息熵、平均梯度、相关系数、均方根误差、偏差指数和运算时间 6 个评价参数进行定量评价<sup>[1,20-22]</sup>。

(1)信息熵。信息熵是衡量影像信息丰富程度的一个指标。其运算公式如下:

$$E = - \sum_{x=0}^h p_x \log_2 p_x \quad (4)$$

其中, $Z$ 为平均梯度, $M$ 、 $N$ 分别为融合图像的行数和列数, $BT(i,j)$ 为融合图像第 $i$ 行、第 $j$ 列的像元值。平均梯度值越大,图像反差越大,对比度越大,表明图像越清晰,融合效果越好。

$$Z = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} \sqrt{\frac{[BT(i,j) - BT(i+1,j)]^2 + [BT(i,j) - BT(i,j+1)]^2}{2}} \quad (5)$$

其中: $E$ 为信息熵, $p_x$ 为影像像元灰度值为 $x$ 的概率, $x=0,1,\dots,h$ 。信息熵值越大,表示融合影像中包含的信息越丰富,融合效果越好。

(2)平均梯度。平均梯度反映影像微小细节反差变化的速率,可以用来评价影像的清晰程度。其运算公式如下:

(3)相关系数。相关系数是融合影像与源影像相关性的量度,可以反映出融合影像光谱信息的保真程度。其运算公式如下:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [X(i,j) - \bar{X}(i,j)][BT(i,j) - \overline{BT}(i,j)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [X(i,j) - \bar{X}(i,j)]^2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [BT(i,j) - \overline{BT}(i,j)]^2}} \quad (6)$$

其中: $C$ 为相关系数, $BT(i,j)$ 、 $X(i,j)$ 分别为融合影

像和源影像第 $i$ 行、第 $j$ 列的像元值。相关系数值越

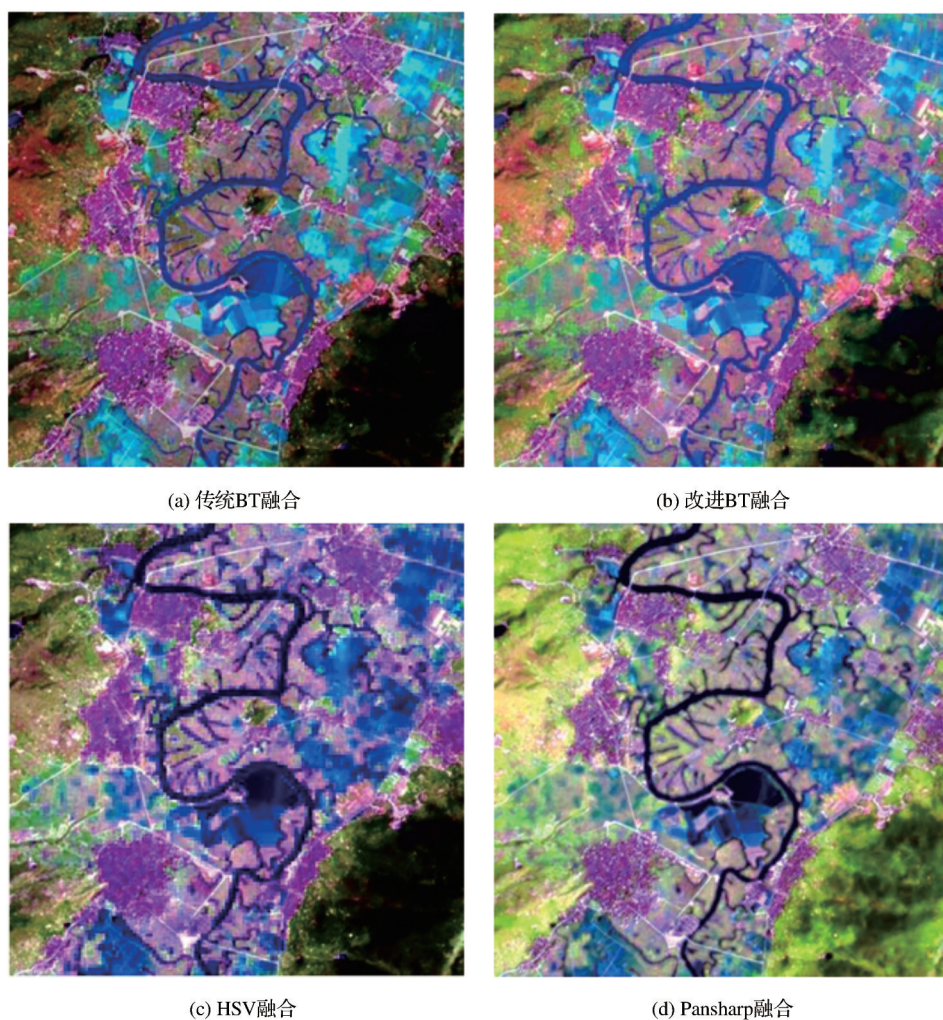


图3 实验区融合结果局部细节(RGB:9/6/5)

Fig.3 Local details of fusion results in experimental area

大,融合影像与源影像的相关性越高,表示融合影像光谱信息的保真程度越好。

(4)均方根误差。均方根误差是融合影像与源影像的标准偏差,可以用来评价反映融合影像与源影像之间的差异程度。其运算公式如下:

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [BT(i,j) - X(i,j)]^2}{M \times N}} \quad (7)$$

其中: $R$ 为均方根误差, $BT(i,j)$ 、 $X(i,j)$ 分别为融合影像和源影像第*i*行、第*j*列的像元值。均方根误差值越大,说明融合影像与源影像的差异性越大,融合影像的光谱畸变也越大。

(5)偏差指数。偏差指数是指融合影像与源影像的偏离程度,可以反映出融合影像的光谱信息丢失程度。其运算公式如下:

$$D = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \left| \frac{BT(i,j) - X(i,j)}{X(i,j)} \right| \quad (8)$$

其中: $D$ 为偏差指数, $BT(i,j)$ 、 $X(i,j)$ 分别为融合影像和源影像第*i*行、第*j*列的像元值。偏差指数值越大,说明融合影像与源影像在光谱信息上的差异也就越大,融合影像的光谱信息丢失程度越大,光谱畸变也越大。

(6)运算时间。运算时间是指整个融合过程的运行时间,可以反映出融合算法的运行速度。

选取上述评价参数对多光谱源影像及4种算法的融合影像的9个波段进行计算,并取其平均值,得出影像融合定量评价结果(见表1)。

从表中可以看出,多光谱源影像的信息熵最小(值为3.42),说明包含的信息较少;HSV、传统BT和Pansharf融合图像的信息熵(值分别为3.57、4.74和4.91)有些增大,说明其信息量比多光谱影像信息量丰富;改进BT融合图像的信息熵最大(值为4.95),融合图像包含的信息最丰富。

在平均梯度方面,Pansharf、改进BT和传统



表 1 实验区影像融合定量评价结果

Table 1 Quantitative evaluation results of image fusion in experimental area

	信息熵		平均梯度		相关系数		均方根误差		偏差指数		运算时间	
	数值	排名	数值	排名	数值	排名	数值	排名	数值	排名	数值/s	排名
多光谱源影像	3.42	⑤	3.23	⑤								
传统 BT 融合	4.74	③	4.65	③	0.83	④	31.04	④	0.40	④	2.34	①
改进 BT 融合	4.95	①	4.71	②	0.92	①	11.43	①	0.19	①	3.56	②
HSV 融合	3.57	④	4.27	④	0.85	②	19.86	②	0.35	②	4.57	③
Pansharp 融合	4.91	②	4.85	①	0.84	③	21.45	③	0.38	③	7.32	④

BT 融合图像的平均梯度(值分别为 4.85、4.71 和 4.65)较大,即用这 3 种方法融合的图像清晰度较高;HSV 融合图像的平均梯度(值为 4.27)次之;多光谱源影像的平均梯度(值为 3.23)最小,即清晰度最低。

在相关系数方面,传统 BT 融合图像最小(值为 0.83),即传统 BT 融合图像与原图像相关性较差,融合图像与原图像有较大的差异;Pansharp 和 HSV 融合图像次之(值为 0.84 和 0.85),融合图像与原图像的相关程度有些提高;改进 BT 融合图像最大(值为 0.92),融合图像较好地保留了源图像的光谱信息。

在均方根误差与偏差指数方面,改进 BT 融合图像最小(值分别为 11.43 和 0.19),融合图像光谱与源图像光谱的偏离度小,保真度较高;HSV 和 Pansharp 融合图像的均方根误差(值分别为 19.86 和 21.45)有些增大,其偏差指数(值分别为 0.35 和 0.38)也有增大;传统 BT 融合图像的均方根误差与偏差指数(值分别为 31.04 和 0.40)最大,与源图像光谱的偏离程度较大。

在运算时间方面,传统 BT 融合和改进 BT 融合花费的时间最少(值分别为 2.34 和 3.56),即用这两种方法融合的运行速度最快;HSV 融合(值为 4.57)次之;Pansharp 融合(值为 7.32)花费时间最多。

综合以上分析可以发现,改进 BT 融合图像在六项参数比较中综合表现最好:其信息熵最大,表明融合图像包含的信息最丰富;其平均梯度值第二,表明融合图像的清晰度较高;其相关系数值最大,表明融合图像与源图像的相似程度最高,较好地保留了源图像的光谱信息;其均方根误差和偏差指数均最小,表明融合图像与源图像的光谱偏离度最小,保真度最高;其运算时间第二,表明融合算法的运行速度较快。因此,对于 EO-1 ALI 多光谱影像,改进的 BT 融合算法是一种较好的多光谱和高空间分辨率全色影像的融合方法,能减少融合过程

中光谱信息的损失和畸变,在保持光谱信息和清晰度方面与传统 BT 融合法具有明显优势,能够很好地保持和增强可见光、近红外波段的信息,有利于图像的分类和地物识别。

5 结 论

传统的 Brovey 变换融合算法只能进行 3 个波段的影像融合,并会造成融合图像局部明暗产生显著偏差,进而引起光谱信息丢失及光谱扭曲等问题。因此本文着眼于多光谱影像和高空间分辨率全色影像各自的特点,引入自适应加权平均对传统 BT 融合算法进行改进,并以 EO-1 ALI 多光谱影像为例,提出一种新的基于改进 BT 的多光谱遥感影像融合算法。实验结果表明,在所采用的 4 种融合算法中,改进的 BT 融合算法的融合效果较好,该算法不仅能进行多波段的影像融合,而且能较好地延续了源影像的色彩信息,能显著改善影像的视觉效果和空间纹理特征,融合后的图像具有最强的光谱信息特征的保持能力和最高的清晰度,由此可为多光谱影像的地物识别和分类的准确性提供有力的支持。

参考文献 (References):

[1] Zhao Yingshi. Principles and Methods of Remote Sensing Application Analysis [M]. Beijing: Science Press, 2003. [赵英时. 遥感应用分析原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.]

[2] Ehlers M. Multisensor Image Fusion Techniques in Remote Sensing [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1991, 46(1): 19-30.

[3] Simone G, Farina A, Morabito F C, et al. Image Fusion Techniques for Remote Sensing Applications [J]. Information Fusion, 2002, 3(1): 3-15.

[4] Gevaert C M, Garcia-Haro F J. A Comparison of STARFM and An Unmixing-based Algorithm for Landsat and MODIS Data Fusion [J]. Remote Sensing of Environment, 2015, 156: 34-44.

- [5] Li Shengyang, Zhang Wanfeng, Yang Song. Intelligence Fusion Method Research of Multisource High-resolution Remote Sensing Images[J]. Journal of Remote Sensing, 2017, 21(3): 415-424.[李盛阳, 张万峰, 杨松. 多源高分辨率遥感影像智能融合[J]. 遥感学报, 2017, 21(3): 415-424.]
- [6] Yuhendra, Alimuddin I, Sumantyo J T S, *et al.* Assessment of Pan-sharpening Methods Applied to Image Fusion of Remotely Sensed Multi-band Data[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2012, 18: 165-175. doi:10.1016/j.jag.2012.01.013.
- [7] Zheng Mingliang, Huang Fang, Zhang Ge. Land Surface Temperature Data Fusion of Landsat ETM and MODIS by Combing TsHARP and STITFM Model[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2018, 33(2): 275-283.[郑明亮, 黄方, 张鸽. 基于 TsHARP 模型和 STITFM 算法的地表温度影像融合研究[J]. 遥感技术与应用, 2018, 33(2): 275-283.]
- [8] Wang Jian, Lu Anxin, Guo Tingtian, *et al.* An Application of Brovey Image Fusion in Land Cover Investigation in Yinda Irrigated Region[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2001, 16(3): 173-177.[王建, 鲁安新, 郭庭天, 等. Brovey 图像融合在引大灌区土地覆盖调查中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2001, 16(3): 173-177.]
- [9] Zhang N, Wu Q. Effects of Brovey Transform and Wavelet Transform on the Information Capacity of SPOT-5 Imagery [C]// International Symposium on Photoelectronic Detection & Imaging: Technology & Applications, 2007.
- [10] Qin Peng, Chen Jianfei. Comparison between Color Normalized and HSV Sharpening Methods in Extracting Urban Vegetation Information from ASTER Image[J]. Journal of Geo-Information Science, 2009, 11(3): 400-404.[秦鹏, 陈健飞. 基于 Brovey 融合与 HSV 锐化的 ASTER 影像绿地信息提取分析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(3): 400-404.]
- [11] Chen Sijin, Qin Qiming, Wang Wenjun. An Improvement of Brovey RS Image Fusion by Using Wavelet Signal Analysis [J]. Journal of Institute of Surveying and Mapping, 2004, 21(2): 118-120.[陈思锦, 秦其明, 王文君. 利用小波分析改进 Brovey 遥感影像融合方法[J]. 测绘学院学报, 2004, 21(2): 118-120.]
- [12] Ke Hongxia, Gao Jianping. A Remote Sensing Image Fusion Method based on KPCA and Brovey Transform[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science Edition), 2019, 38(2): 72-78.[柯宏霞, 高建平. 一种基于 KPCA 和 Brovey 变换的遥感影像融合方法[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2019, 38(2): 72-78.]
- [13] Nie Qian, Yan Li, Cai Yuanbo. Improved Brovey Transform Image Fusion Method[J]. Journal of Geomatics, 2008, 33(3): 38-39.[聂倩, 闫利, 蔡元波. 一种 Brovey 变换图像融合法的改进算法[J]. 测绘信息与工程, 2008, 33(3): 38-39.]
- [14] Shen Mingxia, He Ruiyin, Cong Jinghua, *et al.* Study on Extraction of Vegetation Information of ETM+ by Using PCA Method and Brovey Transform[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2007, 38(9): 87-89.[沈明霞, 何瑞银, 丛静华, 等. 基于主成分分析与 Brovey 变换的 ETM+ 影像植被信息提取[J]. 农业机械学报, 2007, 38(9): 87-89.]
- [15] Lu Donghua, Zhao Yingjun. Fusing Hyperion and Pan Data by An Improved Brovey Algorithm[J]. World Nuclear Geoscience, 2006, 23(3): 177-180.[陆冬华, 赵英俊. 基于改进型 Brovey 算法的高光谱数据融合技术[J]. 世界核地质科学, 2006, 23(3): 177-180.]
- [16] Zhou Huizhen, Wu Shuang, Mao Defa, *et al.* Improved Brovey Method for Multi-sensor Image Fusion[J]. Journal of Remote Sensing, 2012, 16(2): 343-360.[周会珍, 吴双, 毛德发, 等. 多卫星传感器数据的 Brovey 融合改进方法[J]. 遥感学报, 2012, 16(2): 343-360.]
- [17] Vrabel J. Multispectral Imagery Band Sharpening Study[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1996, 62(9): 1075-1083.
- [18] Ungar S G, Pearlman J S, Mendenhall J A, *et al.* Overview of the Earth Observing One (EO-1) Mission [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(6): 1149-1159.
- [19] Middleton E M, Ungar S G, Mandl D J, *et al.* The Earth Observing One (EO-1) Satellite Mission: Over A Decade in Space[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2013, 6(2): 243-256.
- [20] Toet A. Multiscale Contrast Enhancement with Applications to Image Fusion [J]. Optical Engineering, 1992, 31(5): 1026-1031.
- [21] Jagalingam P, Hegde A V. A Review of Quality Metrics for Fused Image[J]. Aquatic Procedia, 2015, 4: 133-142.
- [22] Liu Kun, Fu Jingying, Li Fei. Evaluation Study of Four Fusion Methods of GF-1 PAN and Multi-spectral Images [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2015, 30(5): 980-986.[刘锟, 付晶莹, 李飞. 高分一号卫星 4 种融合方法评价[J]. 遥感技术与应用, 2015, 30(5): 980-986.]

## Research on ALI Image Fusion Algorithm based on Improved Brovey Transform

Lin Zhilei<sup>1,2</sup>, Zhang Guicheng<sup>1,2</sup>

(1.School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;

2.Fujian Provincial Engineering Research Center for Monitoring and Assessing Terrestrial Disasters, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of spectral information loss and spectral distortion in traditional Brovey Transform (BT) fusion, the adaptive weighted average is introduced to improve it. Taking EO-1 ALI multispectral imagery as an example, a new multispectral image fusion algorithm based on improved BT is proposed. Information entropy, average gradient, correlation coefficient and root mean square error are used to comprehensively evaluate and compare the fusion effects of this algorithm, so as to verify the effectiveness and superiority of the multispectral image fusion algorithm based on improved BT. Experimental results show the multispectral fusion image using this improved algorithm has better spectral information and spatial resolution, and its visual effects and spatial texture features have been significantly improved, and the color information of the source image has been well extended, and the brightness is relatively moderate; this improved algorithm can reduce the loss and distortion of spectral information in the fusion process, and has obvious advantages in maintaining spectral information and clarity compared with the traditional BT fusion method.

**Key words:** Multispectral imagery; Data fusion; Brovey Transform; EO-1