

Matlab 在遥感图像融合算法及质量评价中的应用^①

Application of Matlab in Remote Sensing Image Fusion Algorithm and Quality Evaluation

徐胜祥 徐运清 (孝感学院生命科学技术学院 湖北 孝感 432000)

摘要: Matlab 是一种基于向量的高级程序语言,从本质上提供了对图像的支持。本文试图借助其图像处理工具箱函数的支持从工程和实验角度出发,较为直观地探讨了 Matlab 在遥感图像融合及质量评价中的应用。文章首先讨论了两种常见的图像融合方法,并给出 Matlab 平台上实现其算法的程序代码,然后提出对融合图像进行质量评价的指标,最后通过相关程序予以实现并得出评价结果。

关键词: 图像融合 评价指标 Matlab IHS 变换 PCA 变换

1 引言

遥感图像融合就是将不同类型传感器获取的同一地区的图像数据进行空间配准,然后采用一定方法将各图像的优点或互补性有机结合起来产生新图像的技术。它是遥感图像应用和分析的一种重要的手段,特别是当前遥感技术的迅速发展,多源遥感数据(多传感器、多时相、多波段、多平台、多分辨率)的获取变得越来越方便,多源图像之间融合的意义也就显得越来越重要。将高分辨率的图像和低分辨率多光谱图像进行融合,已成为遥感应用研究领域的重要主题。研究者们从各个不同的应用领域,提出了多种不同的图像融合方法,具有代表性的方法有: IHS 变换法、PCA(主成分分析)变换法、HPF(高通滤波)方法、多分辨率小波分析法等^[1,2]。

然而融合层次多种多样,融合技术千差万别,如何评价融合效果,即如何评价融合图像的质量,是图像融合的一个重要步骤。对具体融合算法,为了得到最优参数设置,效果评价也是必须的。虽然很多学者对上述融合方法及评价作了大量研究工作^[3,4],但对具体的实现过程介绍得比较少。另外,虽在一些常用的遥感图像处理软件(如 Erdas Imagine)中可以实现一些融合方法,但不够灵活,也未提供直接 IHS 变换融合这一功能,研究者较难结合自己的应用需求去修改或实现相应的融合算法,且不易进行融合图像的质量评价。

鉴于上述问题的存在及数字图像的矩阵表示,结合 Matlab 强大的矩阵运算能力和丰富的图像工具箱函数^[5],文章详细介绍了在 Matlab 平台上完成相关融合算法及其质量评价的具体过程。在此基础上,还可提出和实现新的融合算法及评价。

2 遥感图像融合算法及 Matlab 实现

IHS 和 PCA 变换法是目前人们最为常用的两种融合方法之一,在图像分析领域中已经成为一种标准过程,并且已得到广泛的应用^[6]。本文主要介绍这两种融合方法在 Matlab 中的实现过程。两种融合算法主要是通过将多光谱图像变换到其它的空间,然后用高分辨率图像对多光谱图像某一分量进行替换或在两幅图像间通过某种算法取一定的权值进行叠加,再反变换回到原空间,得到新的融合图像。

2.1 基于 IHS 变换的融合算法

IHS 变换是融合多源遥感数据最常用的方法,可以实现不同空间分辨率的遥感图像之间的几何信息的叠加。IHS 变换融合算法为:先将 RGB 空间的图像变换到色度 H(Hue)、明度 I(Intensity)、饱和度 S(Saturation)系统,将明度 I 与光谱信息 H、S 分离;然后将 PAN 图像与 I 分量进行灰度直方图匹配,并将直方图匹配

① 基金项目:1)孝感学院自然科学基金项目“高等学校数字校园建设探讨与研究(z2007010)”资助。

后的 PAN 替代 I 分量,再进行 IHS 逆变换,得 R、G、B 分量,经 RGB 合成后的影像即为 IHS 融合后的影像。RGB 与 IHS 彩色空间的互变换采用圆柱体变换公式^[5], Matlab 中 IHS 变换算法的主要步骤如下:

(1) 调用 `imread` 函数读取原始多光谱和全色图像文件,并存入相应的矩阵数组;

(2) 将多光谱图像进行 IHS 变换,分别得到 I、H 和 S 三个分量;

(3) 调用 `histeq` 函数将全色图像和 I 分量进行灰度直方图匹配,然后用全色图像替代 I 分量作为新的 I' 分量;

(4) 利用新的分量 I' 和原来的 H、S 分量作 IHS 逆变换即得到融合图像;

(5) 调用 `imwrite` 函数写入融合图像文件,并对融合图像进行质量评价。

2.2 基于 PCA 变换的融合算法

PCA 变换即主成分分析,是在图像的统计特征基础上进行的一种多维(多波段)正交线性变换,数学上称为 K-L 变换。PCA 融合算法为:首先由多光谱图像数据求得影像数据的相关系数矩阵,由相关系数矩阵计算特征值和特征向量,求得各主分量影像;然后将高空间分辨率影像数据进行直方图匹配,使之与第一主分量影像数据具有相同的直方图;最后用直方图匹配生成的高空间分辨率影像代替第一主分量,将它同其他主分量经 K-L 逆变换得到融合影像。融合影像保留了主要信息,降低了数据量,从而达到增强或提取某些有用信息的目的^[1]。Matlab 中 PCA 变换算法的主要步骤如下:

(1) 调用 `imread` 函数读取原始多光谱和全色图像文件,并存入相应的矩阵数组;

(2) 计算 TM 图像(Thematic Mapper, 专题绘图仪传感器所获取的图像)的相关矩阵;

(3) 调用 `corrcoef`、`eig` 函数对上述相关矩阵计算特征值 λ_i 和相应的特征向量 φ_i ;

(4) 将特征值按由大到小的次序排列,即 $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_n$, 同时特征向量也作相应变动;

(5) 按公式计算主分量图像: $PC_k = \sum_{i=1}^n x_i \varphi_i$;

(6) 将 SPOT 全色图像(法国史波特卫星的全色波段 $0.61 \sim 0.68 \mu\text{m}$ 所成的图像)与第一主分量作直方图匹配,然后用直方图匹配生成的全色图像代替第一

主分量,并将它与其余主分量作 PCA 逆变换,即获得高分辨率的多光谱融合图像;

(7) 调用 `imwrite` 函数写入融合图像文件,并进行融合图像的质量评价。

2.3 Matlab 中不同变换融合算法的实现

仅以 IHS 变换融合为例说明 Matlab 中实现多光谱和全色图像的融合过程。实验所使用的遥感图像为 ERDAS 软件附带的低分辨率的 TM 多光谱图像 `dmtm.img` 和高分辨率的 SPOT 全色图像 `spots.img`, 两图像已经进行了严格的几何配准。Matlab 中实现 IHS 变换的主要程序如下^[7]:

```
% 读取并显示原始多光谱和全色图像数据
imgPan = imread('spots.bmp'); //使用 imread
函数读取图像文件
imgMul = imread('dmtm.bmp');
subplot(1,4,1), imshow(imgPan), xlabel('(a)
高分辨率灰度图像'); //使用 imshow 显示读取的图像
文件
subplot(1,4,2), imshow(imgMul), xlabel('(b)
低分辨率彩色图像');
% 获取图像行列数
[rows,cols] = size(imgMul);
for(i=1:rows)
m = (i-1) * cols + 1;
mulRGB(1, m:m + cols - 1) = imgMul(i, :, 1);
//读取多光谱图像的各波段数据
mulRGB(2, m:m + cols - 1) = imgMul(i, :, 2);
mulRGB(3, m:m + cols - 1) = imgMul(i, :, 3);
end
% IHS 正变换
IHS = [1/3, 1/3, 1/3; 1/sqrt(6), 1/sqrt(6), -
2/sqrt(6); 1/sqrt(2), -1/sqrt(2), 0];
imgI = IHS * double(mulRGB);
% 直方图匹配,全色图像替代 I 分量
imgI_m = histeq(imgI,256) //使用 histeq 函数
进行直方图匹配
imgPan_m = histeq(imgPan,256)
for(i=1:rows)
m = (i-1) * cols + 1;
imgI_m(1, m:m + cols - 1) = imgPan_m(i, 1:
```

```

cols);
end
% IHS 逆变换
IHS_REVS = [1, 1/sqrt(6), 1/sqrt(2); 1, 1/sqrt(
(6), -1/2; 1, -2/sqrt(6), 0];
mulRGB = IHS_REVS * imgI_m;
for(i=1:rows)
m = (i-1) * cols + 1;
imgIHS(i,:,1) = mulRGB(1, m:m+cols-1); //
将变换后各波段数据复合成多波段图像
imgIHS(i,:,2) = mulRGB(2, m:m+cols-1);
imgIHS(i,:,3) = mulRGB(3, m:m+cols-1);
end
% 写入并显示融合后图像文件
imwrite(uint8(imgIHS), 'merge_ihs.bmp');
subplot(1,4,3), imshow(uint8(imgIHS), xlabel
('c) IHS 变换融合图像');

```

根据 PCA 变换的融合算法,分别调用相关函数同样可得到变换融合后的图像。两种变换融合前后的图像如图 1 所示。

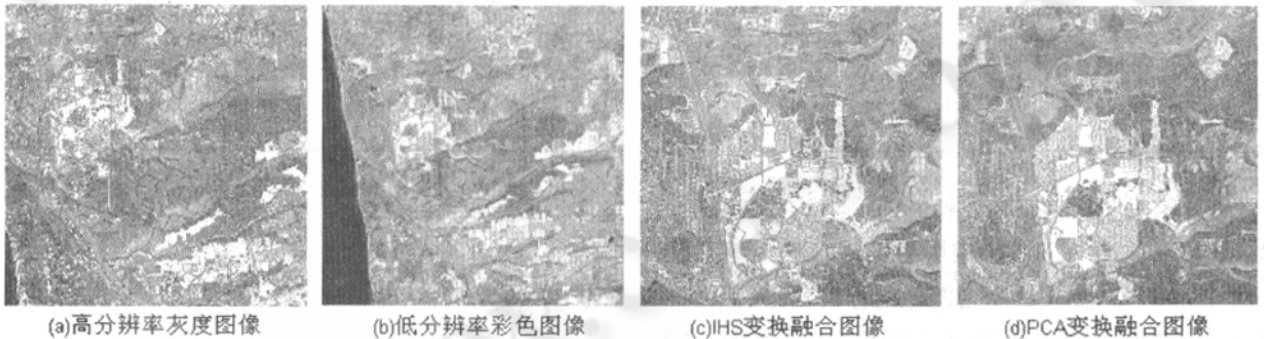


图 1 IHS 和 PCA 变换融合前后的图像

从主观视觉效果上看,两种不同变换融合方法得到的多光谱图像比原始的 TM 多光谱图像的空间分辨率和清晰度都有了较大的提高,一些地物的边缘和轮廓清晰可见,有助于地物目标信息的分类和提取。

3 遥感图像融合质量评价

选择和确定何种融合方法通常取决于应用目的,因此很难对一种融合技术进行质量评价。目前,常用

的融合质量评价标准有主观和客观两类。主观评价标准是目视判别,由人主观评判图像是否清晰、图像的光谱是否畸变。客观评价标准主要是结合数理统计和信息量进行的。而当前图像融合效果的客观评价问题一直未得到很好地解决^[8],原因是:同一融合算法,对不同类型的图像,其融合效果不同;同一融合算法,对同一图像,观察者感兴趣的部分不同,则认为效果不同;不同的应用方面,对图像各项参数的要求不同,导致选取的融合方法不同。因而,有必要需要寻找一种比较客观评价融合图像效果的方法,使计算机能够自动选取适合当前图像的、效果最佳的算法,从而为不同场合下选择不同的算法提供依据。

本文从信息论和图像处理的角度,采用灰度均值(ν)、标准差(σ)、均方根误差(RMSE)、峰值信噪比(PSNR)、扭曲程度(D)、偏差指数(D_{index})、信息熵(EN)、交叉熵(CEN)、平均梯度(g)和空间频率(SF) 10 个指标对 IHS 变换融合的遥感图像进行客观的定量分析。各指标定义如下面公式^[9-10]。

$$\nu = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N F(i,j)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [R(i,j) - \nu]^2}{M \times N}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [R(i,j) - F(i,j)]^2}{M \times N}}$$

$$PSNR = 10 \lg \frac{L^2}{RMSE^2}$$

$$D = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |F(i,j) - R(i,j)|$$

$$D_{index} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{|F(i,j) - R(i,j)|}{R(i,j)}$$

$$EN = - \sum_{i=1}^L p_i \log_2 \frac{p_i}{q_i}$$

$$g = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sqrt{(\Delta I_x^2 + \Delta I_y^2) / 2}$$

$$RF = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N [F(i,j) - F(i,j-1)]^2}$$

$$CF = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N [F(i,j) - F(i-1,j)]^2}$$

$$SF = \sqrt{RF^2 + CF^2}$$

其中 R 为源图像, F 为融合图像; M、N 为图像的行列数, L 为图像灰度级数; p_i 表示源图像 R 中灰度值为 i 的概率密度, q_i 表示融合图像 F 中灰度值为 i 的概率密度; ΔI_x 、 ΔI_y 分别为 x 和 y 方向上的一阶差分; $R(i,j)$ 、 $F(i,j)$ 分别为融合前后同一波段相同位置对应像元的灰度值。

在 Matlab 中运用相关函数对上述指标分别计算出不同变换融合图像的客观评价指标值, 见表 1 所示。

表 1 不同变换融合质量评价指标对比

参数	波段	灰度均值 μ	标准差 σ	均方根误差 RMSE	峰值信噪比 PSNR	扭曲程度 D	偏差指数 D_{index}	信息熵 EN	交叉熵 CEN	平均梯度 g	空间频率 SF
SPOT 图像	-	126.1577	54.4857	-	-	-	-	7.4692	-	22.6803	43.0685
TM 图像	4	127.9798	58.3791	-	-	-	-	7.2145	-	13.8989	26.5369
	3	125.7347	57.5040	-	-	-	-	7.4779	-	13.4867	25.9914
	2	124.2946	55.3187	-	-	-	-	7.2145	-	13.0046	25.0682
IHS 融合	R	131.6560	59.5295	73.5391	10.8004	58.4466	1.3433	7.6571	0.5679	25.4009	36.6432
	G	130.1316	54.9588	74.8550	10.6464	59.2730	0.9049	7.4942	0.5025	24.8747	36.1468
	B	128.4162	54.5903	74.2603	10.7157	58.9391	0.7634	7.5950	0.2525	24.8275	36.0172
PCA 融合	R	139.3604	60.0887	82.8306	9.7670	67.2411	1.7824	7.7689	0.1108	28.1867	38.7602
	G	127.7139	59.5636	79.3698	10.1377	63.7806	0.9880	7.9091	0.2737	20.7034	38.8825
	B	129.5049	57.8024	78.7777	10.2027	62.7821	0.8119	7.6130	0.3839	18.7169	35.1225

表 1 给出了两种不同变换方法得到的图像和原图像间差异的定量情况。由表中各评价指标数据来看, 采用 IHS 和 PCA 变换的融合图像的标准差、熵、平均梯度和空间频率均要高于原始多光谱各波段图像, 这表明融合后图像的信息量比原始图像有明显增加, 而且图像的细节反差、纹理和清晰度得到较大的提高, 融合图像质量较好。综合上述评价指标来看, PCA 变换融合图像较 IHS 变换保留的光谱信息相对较多和较完整。这主要是由于 IHS 变换法扭曲了原始的光谱特性, 产生了光谱的退化; 而 PCA 变换法能够保留原始图像的空间分辨率和多光谱特征, 使得融合图像上的目标的细部特征更加清晰, 光谱信息更加丰富。

实际应用时, 需要对这些评价指标进行综合比较, 从中选择出容易与主观评价方法取得一致的、简单实用的、具有较强抗干扰性和鲁棒性的客观评价指标来

评价图像融合的效果。

4 结论

利用 Matlab 所提供的图像处理与分析工具, 结合其强大的矩阵计算能力, 研究人员可利用前人已取得的研究成果, 可以把精力集中在图像融合技术理论的研究上, 而不必关心图像文件的格式、读写、显示和已有成果的技术细节, 并快速测试其图像融合与质量评价的新方案。测试时既可方便地得到统计数据, 又可得到直观图示, 免去了许多编程的烦恼, 取得了事半功倍的效果。

遥感图像融合涉及到复杂的融合算法、概念、实时图像数据库技术和高速、大吞吐量数据处理等软硬件

(下转第 99 页)

(上接第 94 页)

支撑技术。怎样进行稳健图像融合、提高可靠度一直是人们关心的问题。本文在 Matlab 平台支持下,从实际应用的角度探讨了两种常见图像融合方法的具体实现过程,试图为遥感图像融合及质量评价提供一种算法实验平台。图像融合的理论方法研究是一项有意义的工作,需要研究者付出艰辛的劳动,做有益的探索,并付诸实践。

参考文献

- 1 刘哲、郝重阳、刘晓翔等,多光谱图像与全色图像的像素级融合研究,数据采集与处理,2003,18(3).
- 2 贾永红、李德仁、孙家柄,多源遥感影像数据融合,遥感技术与应用,2000,15(1).
- 3 C. Y. Wen, J. K. Chen. Multi-resolution image fusion technique and its application to forensic science. Forensic Science International, 2004, 140.
- 4 Wu Yan, Li Ming, Yang Wanhai. A new algorithm for

the fusion of multi-spectral and high-resolution panchromatic images. Acta Photonica Sinica, 2002, 31 (11).

- 5 贾伟、王小玲,基于 Web 环境与 Matlab 技术的图像检索系统的实现,计算机系统应用,2004,4.
- 6 Te Ming, Shun Chi, Hsuen Chyun Shyu, et al. A new look at IHS-like image fusion methods. Information Fusion, 2001, (2).
- 7 王家文、李仰军, Matlab 7.0 图形图像处理,国防工业出版社,北京:2006.
- 8 姜庆娟、谭景信,象素级图像融合方法与选择,计算机工程与应用,2003,25.
- 9 曹闻、张勇,基于小波包变换与 IHS 变换的遥感图像融合,测绘学院学报,2004,21(2).
- 10 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,计算机工程与应用,2003,25.