

一种基于 IHS 变换的改进型图像融合的算法

吴连喜¹, 王茂新²

(1. 东华理工学院测量系, 抚州 344000; 2. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要: 常用的遥感图像融合的方法如 IHS 变换法、Brovey 变换法和主成分变换法实施图像融合时, 都会有不同程度的光谱扭曲的现象, 该文探讨了一种新的光谱保持型的 DFF 融合算法。DFF 融合法先对参与融合的全色波段进行方向滤波, 而后将滤波后的全色波段替换 IHS 正变换后的明度分量, 再进行 IHS 逆变换便得到融合图像。DFF 融合后的图像色彩与 TM 影像一致, 光谱保持性能也优于 IHS 变换法, DFF 融合图像的分类精度也高于 IHS 融合图像。

关键词: DFF 融合; 遥感图像融合; 光谱保持

中图分类号: TP79; P208

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)06-0163-04

1 引言

随着遥感技术的发展, 特别是 20 世纪 90 年代中后期多颗雷达卫星 ERS-1、Radarsat 和高几何分辨率卫星如 IRS-1C/1D、Spot-5、Ikonos、Orbview、Eyeglass、Quickbird 的发射升空, 可见光、近红外、短波红外、热红外、微波等不同类型的卫星传感器获取同一地区的遥感影像数据日益增多^[1~5], 对不同平台的遥感数据源进行融合, 得到的融合图像既有高几何分辨率, 又有丰富的光谱信息; 基于遥感融合图像的分类可提高土地利用的识别精度^[6,7], 因此, 研究有效地融合多种类型的遥感数据, 便具有非常重要意义^[8]。

常用的融合的方法有 IHS 变换法^[9~11], Brovey 变换法^[12]和 PCA 变换法^[13~15], 通过对同一遥感平台、不同平台的全色波段与多光谱波段进行融合, 得到既有高几何分辨率, 又有丰富的多光谱信息的融合图像, 许多研究这些方法均要求高分辨率的全色波段与多光谱波段的光谱响应范围要一致或相近^[16,17], 从而限制了许多不同类型的遥感数据的融合。针对高分辨率的全色波段与多光谱波段的光谱响应范围不一致, 本文探讨一种信息保持型融合方法, 使融合后的图像的色彩与融合前多光谱图像的色彩一致, 从而有效地提高土地利用的识别精度。

2 DFF 融合算法

IHS 正变换把 RGB 系统变换到色度 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, IHS 正变换如下^[18]:

$$\text{令 } I = R + G + B,$$

$$\text{则 } I = \frac{1}{3} I;$$

当 B 为最小时,

$$\begin{cases} H = \frac{G - B}{I - 3B} \\ S = \frac{I - 3B}{I} \end{cases} \quad (1)$$

当 R 为最小时,

$$\begin{cases} H = \frac{B - R}{I - 3B} + 1 \\ S = \frac{I - 3B}{I} \end{cases} \quad (2)$$

当 G 为最小时,

$$\begin{cases} H = \frac{R - G}{I - 3G} + 2 \\ S = \frac{I - 3G}{I} \end{cases} \quad (3)$$

式中 I ——明度; H ——色调; S ——饱和度。

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, 简称 IHS 融合影像。

IHS 反变换式如下

当 B 为最小时,

$$\begin{cases} R = \frac{1}{3} I (1 + 2S - 3SH) \\ G = \frac{1}{3} I (1 - S + 3SH) \\ B = \frac{1}{3} I (1 - S) \end{cases} \quad (4)$$

当 R 为最小时,

$$\begin{cases} R = \frac{1}{3} I (1 - S) \\ G = \frac{1}{3} I (1 + 5S - 3SH) \\ B = \frac{1}{3} I (1 - 4S + 3SH) \end{cases} \quad (5)$$

当 G 为最小时,

$$\begin{cases} R = \frac{1}{3} I (1 - 7S + 3SH) \\ G = \frac{1}{3} I (1 - S) \\ B = \frac{1}{3} I (1 + 8S - 3SH) \end{cases} \quad (6)$$

收稿日期: 2003-04-24 修订日期: 2003-09-05

基金项目: 国家留学基金 (2003836044); 江西省科技项目“南方红壤荒漠化遥感调查”课题

作者简介: 吴连喜 (1966 -), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师。主要从事遥感图像融合的研究。江西抚州 东华理工学院测量系, 344000。

Email: pkwx@sina.com

本文在此基础上进行如下改进:首先设计一个方向滤波模板,在此,本文把方向滤波模板设计成通用模式,如 3 × 3 东南向模板为

$$\begin{bmatrix} -c & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ -0 & 1 & c \end{bmatrix}$$

图 1 3 × 3 东南向方向滤波模板
Fig. 1 Southeast directional filter convolution template (size 3 × 3)

在图 1 中, c 取值为 $c = 2, 3, 4, \dots$, 在设计滤波模块时,加入预览功能,可对不同的 c 的取值在卷积后所得的图像进行比较,根据卷积后图像的边缘清晰与否确定 c 值与方向滤波模板,再进行卷积运算,尔后用上述方法进行融合,具体算法如下:

1) 以 PAN 图像为基准,对 TM 图像进行几何配准,将配准后的 TM band 5、band 4、band 3 进行 RGB 合成,把 RGB 合成后的 TM 图像从 RGB 空间变换到 IHS 空间,得到 H, S, I 三个分量。

2) 用图 1 所示的方向滤波模板对 PAN 图像进行卷积运算 ($c = 4$),以增强图像的边缘信息。这一步运算主要用 Matlab 语言的 LOG 函数来实现,所得结果(如图 2)参与下一步运算。

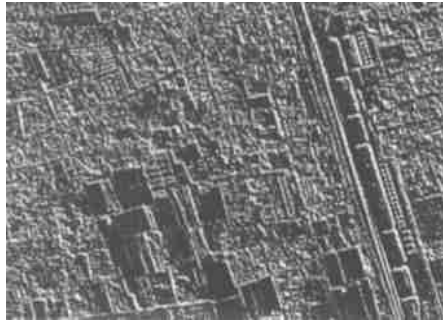


图 2 方向滤波卷积后的 IRS PAN 图像
Fig. 2 The directional filter convoluted PAN image

3) 把卷积后的 PAN 与 I 分量进行直方图匹配(如图 3),使频率域中卷积后的 PAN 和 I 分量的幅度值保持一致,并将直方图匹配后的 PAN 替换 I 分量,记为 I' 分量。

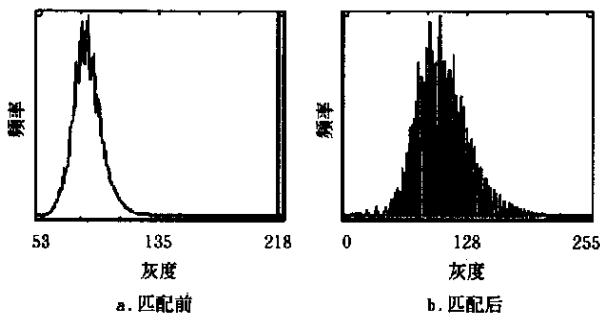


图 3 滤波卷积后的 PAN 图像匹配前后的灰度直方图
Fig. 3 Histogram of the convoluted PAN before and after matching

4) 利用 IHS 逆变换,将 IHS 变换为 RGB,经 RGB 合成后得融合后的影像。

本文将上述融合法称为 DFF (Directional Filter Fusion) 融合法,用此法融合后的图像称为 DFF 融合图像即 DFF 影像。由于本研究区域图像多以西北 - 东南向纹理为主,使用东南向的方向滤波模板可有效增强本图像的地物边缘,进而使图像清晰化。所以, DFF 融合图像不仅边缘信息突出,而且整个图像也比较清晰。

由于方向滤波后影像,在保留并强化了东南向地物边缘高频信号的同时,也减弱了 PAN 图像的低频信息,从而减少了 PAN 图像中明度成分的影响程度。所以,融合后的影像不仅保全了高分辨率图像的边缘信息,而且 PAN 的低频信息对融合图像影响变小,故保持了低分辨率影像的丰富的色彩。

3 试验结果

本研究以北京市大兴区西部、房山区东部作为研究区域,纬度是从 39°47'47.25" 到 39°43'43.20",经度从 116°16'53.10" 到 116°23'35.30",面积为 9523.6 m × 7603.8 m,以该区域内的遥感数据作为数据源。

Landsat-5 TM 影像包括 band 1、band 2、band 3、band 4、band 5、band 6、band 7 等 7 个波段,获取的时间为 2000 年 5 月 10 日。

IRS-1C 的全色波段 (PAN) 影像,其获取时间为 2000 年 5 月 23 日。

将 Landsat-5 TM band 5、band 4、band 3 进行 RGB 合成,得 RGB 合成图像(简称 TM 图像,见图 4a),以 IRS-1C PAN 为基准(见图 4b),对 TM 图像进行几何配准。

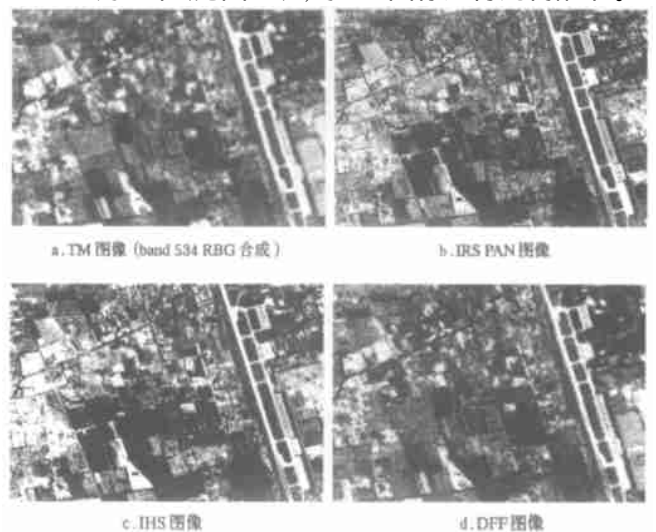


图 4 不同方法的图像处理结果
Fig. 4 Image obtained by different fusion methods

用上述 DFF 算法对 TM 图像与 IRS-1C PAN 图像实施融合,结果如图 4d,同时与 IHS 融合进行对比(简称 IHS 图像,见图 4c),融合后图像的几何分辨率和融合前 PAN 图像的分辨率大小一致,即 5.8 m × 5.8 m。

4 结果分析

4.1 灰度变化程度分析

评价融合效果的一个重要方面是,融合图像能较好地保留融合前多光谱图像的波谱特性,光谱保持性能,即融合前后图像的色彩是否相近或一致^[19]。对融合前后图像进行目视比较,DFE 融合图像的色彩与 TM 图像接近,而 IHS 融合图像的色彩与 TM 图像相差较大。

光谱保持性能的定量分析,可通过以下方法进行。分析融合前后图像的对应波段的同名像素灰度值的变化程度,融合前后图像的对应波段的同名像素灰度值的变化程度越小,说明光谱保持性能越好^[19]。

由于一幅单色图像实质上是一个二维矩阵^[20],因此,将融合前后的每一波段图像分别看作是一个二维矩阵,将融合后图像的灰度矩阵记为 A_{Fi} (i 为波段号,下同),将融合前图像的灰度矩阵记为 A_{Ri} ,把波段号 i 相同的两个对应的矩阵 A_{Fi} 与 A_{Ri} 相减,得到一个差值矩阵 D_i ,矩阵 D_i 中的每个元素即为 A_{Fi} 与 A_{Ri} 两矩阵中对应元素的差,所以,矩阵 D_i 可以反应灰度变化的情况,而在矩阵 D_i 中,元素的值有正数、负数和零这三种类型。为此,本文引入线性代数的 F 范数概念,将矩阵 D_i 中的每个元素求平方和,然后再开方,即

$$A = \sqrt{\sum_{jk} K_{ijk}^2} \quad (7)$$

式中 A ——矩阵 D_i 的 F-范数; j, k ——矩阵 D_i 的行号、列号, $j = 1 \dots m, k = 1 \dots n, m, n$ 分别为图像的行列数。

由于 D_i 为一矩阵,将式(7)进一步计算,得

$$C = \frac{1}{m \times n} \cdot \sqrt{\sum_{jk} D_{ijk}^2} \quad (8)$$

这一表达式目前还没有专业术语,本文称之为差值矩阵 F 范数。由式(8)可知,当差值矩阵 F 范数大于 0 时,说明有灰度变化现象,当差值矩阵 F 范数等于 0 时,说明没有灰度变化现象。以上算法,用 Matlab 编程实现,结果如表 1。

表 1 融合前后差值矩阵 F 范数

Table 1 Frobenius norm of difference matrix between the fused image and TM image

| 方法 | 波段 | 差值矩阵 F 范数 | 3 个波段之和 |
|---------|--------|-----------|---------|
| DFE 融合法 | Band 5 | 0.022 | 0.070 |
| | Band 4 | 0.029 | |
| | Band 3 | 0.019 | |
| IHS 融合法 | Band 5 | 0.038 | |
| | Band 4 | 0.040 | |
| | Band 3 | 0.042 | |

由表 1 可见,上述融合方法的差值矩阵 F 范数均不等于 0,说明这两种融合方法均会产生灰度变化现象,但 IHS 融合法的差值矩阵 F 范数大于 DFE 融合法,说明 IHS 融合法的灰度变化程度比 DFE 融合法严重。由于色彩是 R、G、B 三个波段合成的结果,灰度变化的结果表现为色彩变化,即 IHS 融合图像的色彩变化程度比

DFE 融合图像严重。

4.2 分类精度分析

在本研究区域,将土地利用类型分成 5 类,如表 2。

表 2 土地利用类别

| 地物名称 | 地类代码 | 备注 |
|------|----------------|--------------------------|
| 建筑 | 252、253 | 城镇、农村的房屋建筑 |
| 耕地 | 11 | 指水浇地、旱地和菜地 |
| 园地 | 12 | 果树园 |
| 林地 | 13 | 有林地 |
| 水体 | 154、155、272、32 | 包括农用地的水域、建设用地的水域和其它用地的水域 |

根据实地勘测,对上述 5 类地物分别选取 10 组样本,将其中 5 组作为训练样本,另 5 组作为检验样本,各大地类样本数量见表 3。

表 3 样本数量

| 地类 | 建筑 | 耕地 | 园地 | 林地 | 水体 |
|------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 训练样本 | 46389.6 | 20004.6 | 18075.9 | 2455.7 | 3935.9 |
| 检验样本 | 47989.2 | 20694.4 | 18699.2 | 2540.4 | 4071.6 |

用最大似然法分别对 DFE 图像、IHS 图像进行分类,用检验样本对分类结果进行检验,计算各类别的分类精度和总体分类精度^[21],结果如表 4。

表 4 分类精度

Table 4 Classification accuracy %

| 地类 | DFE 图像 | IHS 图像 | DFE 图像比 IHS 图像增加量 |
|--------|--------|--------|-------------------|
| 建筑 | 77.91 | 73.14 | 4.77 |
| 耕地 | 89.43 | 84.57 | 4.86 |
| 园地 | 85.49 | 76.76 | 8.73 |
| 林地 | 72.02 | 65.93 | 6.09 |
| 水体 | 93.07 | 86.62 | 6.45 |
| 总体分类精度 | 82.45 | 76.77 | 5.69 |

由表 4 可见,建筑、耕地、园地、林地、水体等地物的分类精度均以 DFE 图像高于 IHS 图像。DFE 图像的总体分类精度为 82.45%,IHS 图像的总体分类精度为 76.77%,DFE 图像的总体分类精度比 IHS 图像高 5.69%。

5 结论与讨论

本文探讨了 DFE 融合的算法,IRS-1C PAN 的光谱响应范围为 0.50 ~ 0.75 μm ,TM band3 为 0.63 ~ 0.69 μm ,band4 为 0.76 ~ 0.90 μm ,band5 为 1.55 ~ 1.75 μm ,显然,二者的光谱响应范围不一致,对 DFE 融合后的图像进行分析,结果表明 DFE 融合后的图像既有丰富的边缘信息,又较好地保留了多光谱数据的波谱信息,对分类精度分析结果表明,DFE 融合后图像的分类精度均高于 IHS 融合图像。所以,DFE 融合法是对不同平台、不同光谱响应范围的遥感数据源进行融合的较好的方法之一,DFE 的光谱保持性能优于 HIS 变换法。

由于本研究区内图像的图像纹理主要呈现西北 -

东南方向,故本文使用的方向滤波器为东南向滤波模板,但随着研究区域不同,地物的纹理方向可能会有所变化,因此在选用何种方向的滤波器因根据实际情况来确定。当然,也可在设计滤波器时,将滤波器的方向与大小设计为可选项,根据滤波后图像是否变得更为清晰来确定滤波器的方向与大小,从而使这一操作通用化。

[参 考 文 献]

- [1] Van Genderen. Multi-sensor image fusion in remote sensing: concept, methods and application[J]. *Int J Remote Sensing*, 1998, 19(5):823~854.
- [2] Christine Pohl. Enhanced image analysis through multilevel data fusion techniques[J]. *Proceedings SPIE Signal Processing*, 1997, 3068:21~24.
- [3] Solberg S, Jain A K, Taxt T. Multisource classification of remotely sensed data: Fusion of Landsat TM and SAR Images[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1994, 32(4): 768~777.
- [4] Solberg S, Jain A K, Taxt T. A markov random field model for classification of multisource satellite imagery[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing*, 1996, 34(1): 100~113.
- [5] Costantini M, Farina A, Zilli F. The fusion of different resolution SAR images[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing*, 1997, 35(1): 139~146.
- [6] Wu Lianxi, Yan Tailai, Zhang Wei. Classification for RS fused image applying neural network[C]. In: *Proceedings of international Conference on Land Use/ Cover Change Dynamics*, Beijing, 2001, 231~238.
- [7] 吴连喜,严泰来,张 玮. 基于 TM 和 IRS 融合图像对土地覆盖进行分类[J]. *中国农业大学学报*, 2001, 6(5):76~80.
- [8] 李德仁. 摄影测量与遥感的现状及发展趋势[J]. *武汉测绘科技大学学报*, 2000, 25(1): 1~6.
- [9] Pellemans A, Jardans R, Allewijn R. Merging multi-spectral and panchromatic SPOT image with respect to the radiometric properties of the sensor[J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1993, 12(1):81~87.
- [10] Jim V. Multi-spectral imagery band sharpening study[J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1996, 62(9): 1075~1083.
- [11] Jia Yonghong, Li Deren, Sun Jiabing. An approach of fusing remotely sensed multi-spectral images with aerial photos[A]. In: *Proceedings of 'Geoinformatics '96 Wuhan International Symposium on the Occasion of the 40th [C]*. 1996.
- [12] Vrabel J. Multi-spectral imagery advanced band sharpening study [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2000, 66(1):73~79.
- [13] Fan H, Yang X, Du Y. Application of principle component transform and inverse transform for image fusion of ADEOS AVNIR XS and PAN[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 1998, 13(3).
- [14] Yesou H, Besnus Y, Rolet Y. Extraction of spectral information from Landsat TM data and merger with SPOT panchromatic imagery—A contribution to the study of geological structures[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1993, 48(5):23~36.
- [15] Ehlers M. Multi-sensor image fusion techniques in remote sensing[J]. *ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing*, 1991, 46:19~30.
- [16] Liu J G. Smoothing filter-based intensity modulating: a spectral preserve image fusion for improving spatial details[J]. *Int J Remote Sensing*, 2000, 18, 3461~3472.
- [17] Sheffigara V K. A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set[J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1992, 58(5):561~567.
- [18] 章孝灿,黄智才,赵元洪. 遥感数字图像处理[M]. 浙江:浙江大学出版社,1997,51~92.
- [19] 吴连喜. 多源遥感数据融合与评价[M]. 南昌:江西科学技术出版社,2003,22~26.
- [20] Kenneth R C. *Digital image processing* [M]. Prentice Hall International, Inc. 1998, 487~512.
- [21] 吴连喜,王茂新. 一种改进的最大似然法用于地物识别[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(4):54~57.

Improved algorithm of image fusion based on IHS transform

Wu Lianxi¹, Wang Maoxin²

(1. East China Technical University, Fuzhou 344000, China;

2. Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081, China)

Abstract: These fusion methods such as IHS transform, Brovey transform and principal components transform could merge two optical image data of different resolutions—a high spatial resolution panchromatic image and a low spatial resolution but multi-spectral image. But these fusion methods required the spectral response range of the high spatial resolution panchromatic image was same equal or approximate to the spectral response range of the multispectral image. This paper puts forward a kind of new fusion method called directional filter fusion (DFF) that could merge two optical image data of different spectral characteristics. This paper proposed its algorithm, firstly filtering on the panchromatic image, and then fusing the remote sensing data applying IHS transform. The classification precision by DFF is much higher at spectrum preservation than that by IHS transform.

Key words: directional filter fusion; remote sensing image fusion; spectral preservation