

基于小波变换的遥感数据融合与边缘检测

田养军¹, 薛春纪²

(1. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054;

2. 中国地质大学 地质工程与矿产资源图像重点实验室, 北京 100083)

摘要: 介绍了小波图像的分解和重构方法以及小波融合过程。采用 Symlet 小波变换融合方法对西安地区鲸鱼沟水库的 TM4、TM5 子图进行单尺度二维离散小波变换融合, 并进行水库的边缘检测。对图像通过 TM4 分解的低频图与 TM5 分解的高频图像融合再与 TM4 影像原图比较, 融合图像提取细节效果明显优于 TM4 原图像。

关键词: 小波变换; 遥感; 数据融合; 影像检测; 鲸鱼沟

中图分类号: P231.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2007)04-0103-04

Remote Sensing Data Fusion Algorithm and Image Edge Detection Based on Wavelet Transform

TIAN Yang jun¹, XUE Chun ji²

(1. School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054,

Shaanxi, China; 2. Key Laboratory of Mining Resources Remote Sensing Image and Geological Engineering, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract This paper introduces wavelet decomposing and composing in image, and the process of wavelet transforms fusion in two images. Fusion and edge detection of Jingyugou reservoir remote image in Xi'an area made based on Symlet wavelet transform. The low frequency of TM4 is fused with high frequency of TM5. Edge detection of the reservoir show the remote sensing fusion image of TM4 and TM5 is better than the one of TM4.

Key words: wavelet transform; remote sensing; data fusion; edge detection; Jingyugou

0 引言

融合技术产生于 20 世纪 80 年代, 而遥感数据的融合是一种通过高级图像处理技术来复合多源遥感影像技术, 其目的是将单一传感器的多波段信息或不同类型传感器所提供的信息加以综合, 消除多传感器信息之间可能存在的冗余和矛盾, 加以互补, 降低其不确定性, 减少模糊度, 以增强影像中心透明度, 改善解译的精度、可靠性以及使用率, 以形成对目标的完整一致的信息描述, 并在各方面显示明显的优越性^[1]。目前小波变换融合是图像融合热点之一, 除小波变换融合法外还有 HIS 融合法、KL 融合法、高通滤波融合法、金字塔变换融合法、

样条变换融合法。如 Broussard 的脉冲耦合神经网络影像心里融合^[2]。韩玲等多源遥感影像数据融合方法在地质学中的应用^[3]。孙文锋等改进多尺度融合结合小波域 HMT 模型的遥感图像分割^[4]。陶洪久等基于小波变换和数学形态学的遥感图像边缘检测^[5]。Tupin F 等用几组结构滤波器对合成孔径测试雷达影像融合的进一步自动解译^[6]。笔者用小波变换融合方法对西安地区鲸鱼沟水库影像进行融合, 并进行水库的边缘检测。

1 影像小波分解与重构算法

小波变换是突破了传统的信号分析傅立叶变换的限制, 实现了对信号不同空域、频域、不同分辨

率的分析^[7], 这种特性使得它可广泛应用于信号处理、地震勘探、流体力学、图像分析等领域。若对一维信号 $f(x)$ 进行小波变换, 小波变换系数 $F(j, k)$ 可以表示为信号 $f(x)$ 与小波函数 $\psi_k(x)$ 内积, 即

$$F(j, k) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{k,j}(x) f(x) dx \quad (1)$$

这里, $\psi_{k,j}(x)$ 是基本小波, 将其在时间轴上平移, 频率伸缩而得到所有的基波

$$\psi_{k,j}(x) = 2^{j/2} \psi(2^j x - k) \quad (2)$$

小波逆变换为

$$f(x) = \sum_j \sum_k F(j, k) \bar{\psi}(2^j x - k) \quad (3)$$

式中: j, k 分别表示尺度、位移的参数。式(3)中的二重和中的内项为

$$g_j(x) = \sum_k F(j, k) \psi(2^j x - k) \quad (4)$$

第 j 层的 $f_j(x)$ 由式(3)、式(4)得到递推形式

$$f_j(x) = g_{j-1}(x) + f_{j-1}(x) \quad (5)$$

由式(4)知, 函数 $f_j(x)$ 的分辨率为 2^{-j} , 如果 $f_j(x)$ 的层数降低一层, 则分辨率就变为一半。这个操作反复进行, j 变大, $f(x)$ 的层数依次降低, 可构成 $\{f_j(x)\}$ 分辨率的层次结构。

将一维离散小波推广到二维小波, 在尺度函数可分离的情况下, 即

$$\varphi(x, y) = \varphi(x)\varphi(y) \quad (6)$$

式中: $\varphi(x), \varphi(y)$ 是一维尺度函数, 其相应小波是 $\psi(x), \psi(y)$, 二维基本小波是建立二维小波变换的基础

$$\left. \begin{aligned} \psi(x, y) &= \varphi(x) \psi(y) \\ \psi(x, y) &= \varphi(y) \psi(x) \\ \psi(x, y) &= \psi(x) \psi(y) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

其构成二维平方可积函数空间 $L^2(R^2)$ 的正交归一基

$$\psi_{m,n}^j(x, y) = 2^j \psi(x - 2^j m, y - 2^j n) \quad (8)$$

式中: $j \geq 0, l = 1, 2, 3$, 且 j, l, m, n 都为整数。

图像信号从一幅 $N * N$ 的图像 $f(x, y)$ 开始, 可使用一维递推分解算法。对于一个层次($j=1$), 写成

$$\left. \begin{aligned} f_0^2 &= [f_1(x, y), \varphi(x - 2m, y - 2n)] \\ f_1^1 &= [f_1(x, y), \psi(x - 2m, y - 2n)] \\ f_2^2 &= [f_1(x, y), \psi(x - 2m, y - 2n)] \\ f_3^2 &= [f_1(x, y), \psi(x - 2m, y - 2n)] \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

后续的层次($j > 1$) 以此类推, 图 1 为图像的分解过程。可以看出: 二维图像的小波分解可以按行、按列与一维的低通(H)和高通(G)滤波器做卷积来实现, 在卷积之后进行相应的降 2 采样。图 2 为图像

的重构过程, 小波重构是先对行或列进行升 2 采样, 在相邻列和行插入一零列或零行, 然后再按行、按列与一维的低通或高通滤波器进行卷积, 这样递推下去, 便可以重构原图像。

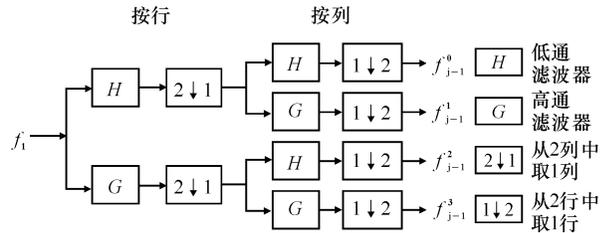


图 1 图像的小波分解算法

Fig. 1 Process of Wavelet Decomposing in Image

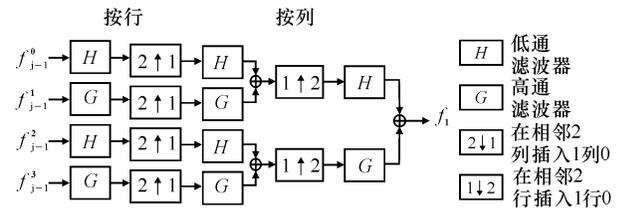


图 2 图像的小波重构算法

Fig. 2 Process of Wavelet Composing in Image

2 小波变换的多元数据融合方法

2.1 小波变换融合法

遥感影像二维数字图像, 利用离散小波变换, 以 2 幅待融合图像的一级分解和一级融合为例来说明小波变换的多元数据融合方法。每 1 幅分解成 4 幅子图像, 即低频图像、高频水平分量图像、高频垂直分量图像、高频对角分量图像。2 幅就可以解 8 幅子图像, 据提取信息的需要, 从 8 幅图像中选取 4 幅重新组合, 可进行分解子图滤波处理后融合或直接将分解子图进行融合, 然后通过小波重构形成一幅融合图像。图 3 是 2 幅小波变换的图像数据融合流程。如要得到更细效果, 可进行二级、三级分解, 也可选择 3 幅、4 幅图像根据需要进行融合。

2.2 小波变换融合步骤

- (1) 取统一待融合子图区域。
- (2) 对待融合子图进行逐级分解为低频图像、高频水平分量图像、高频垂直分量图像、高频对角分量图像。
- (3) 可进行分解子图滤波处理后融合或直接将分解子图进行融合。
- (4) 根据需要子图逐级融合出清晰满意的融合图像。

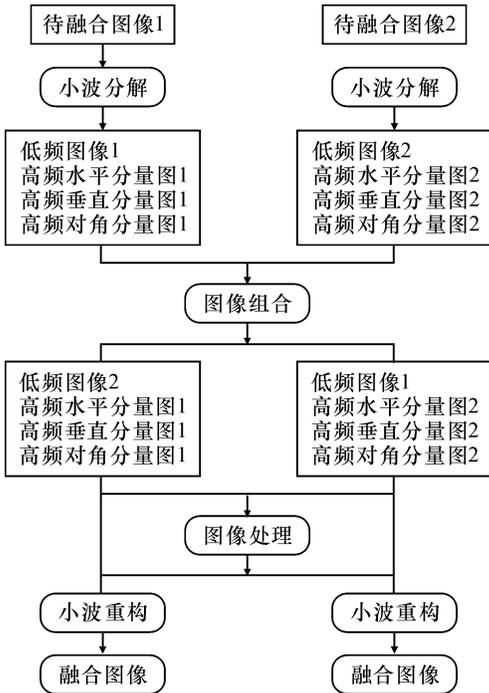


图 3 2 幅影像小波变换融合流程

ig.3 Process of Wavelet Transforms Fusion in Two Images

2.3 边缘检测

遥感图像的边缘检测是图像分割、目标区域识别、区域形状提取等图像分析领域十分重要的基础,是图像识别中提取图像的一个重要属性。边缘检测是对图像进行处理,如小波融合、二值处理后,对图像边缘提取的过程。边缘检测方法很多,常用的边缘检测方法有:微分算子、Canny 算子、基于数学形态学算法等,笔者使用的是 Canny 算法。

3 鲸鱼沟水库遥感影像的融合

3.1 融合试验

本次用 2000 年 4 月 26 日 ETM+西安地区鲸鱼沟水库影像进行融合。首先在 ERDAS 上获取 1 024 × 1 024 的 TM2~TM5、TM7 子图。用 TM2~TM5 进行假彩色合成得到水库影像图。用 MATLAB 中 Symlet(symN)小波对图像 TM4~TM5 子图进行单尺度二维离散小波变换即 dw t2 小波分解,将 TM4 分解为 I11、H11、V11、D11, TM5 分解为 I21、H21、V21、D21, …, 将 TM4 的低频分别与 TM5 的高频进行图像恢复。同理 TM4~TM5、TM7 的低频分别与其他的高频进行图像恢复,这样就形成一些新的融合图像(图 4~图 8),编程步骤为:

(1)取子图。分割 TM2~TM5、TM7 中鲸鱼沟 1 024 × 1 024 子图取名 jy g 2~jy g 5、jy g 7,扩展名.tif。

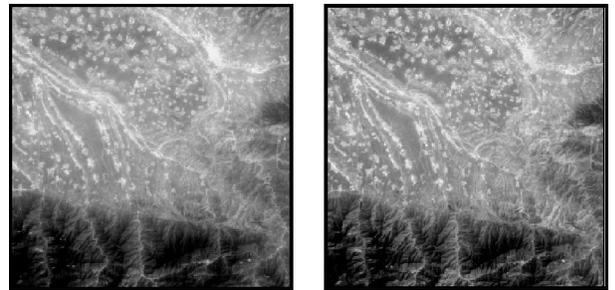
(2)读入图像。在 matlab 中 imread()读入子图,如 j4=imread('jy g 4.tif'); %读入图像。

(3)用小波分解函数 dwt2 分解各子图像,如: [i11 ih1 iv1 id1] = dwt2(double(j4),'sym8'); %分解图像,使用 sym8 小波,i11 为低频图像,ih1 为高频水平分量,iv1 为高频垂直分量,id1 为高频对角分量。

(4)用小波重构函数 idwt2 重构图像,如 jy 45 = idwt2(i11/255, ih2/255, iv2/255, id2/255,'sym8')。

(5)保存图像。用 imwrite()命令,如 imwrite(jy 23,'jy g 23.tif')。

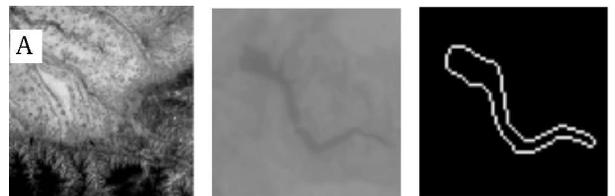
(6)显示图像。imshow()命令。



a - jy g 2、jy g 3、jy g 4 合成 b - jy g 2、jy g 3 jy g 45 合成

图 4 原始的合成图与融合图的合成图对比

Fig.4 Contrast of Original Map to Fusion Map

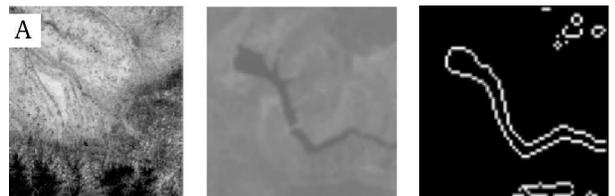


a - jy g 4 原始图 b - jy g 4A 区放大图 c - jy g 4 A 区分割图

图 5 鲸鱼沟 4 波段原始图、A 区放大图和分割图

Fig.5 4 Band Images of Original, Magnify

and Segmentation in Jingyugou Area



- jy g 45 融合图 b - jy g 45A 区放大图 c - jy g 45A 区分割图

图 6 鲸鱼沟波段 4、5 融合图、A 区放大图和分割图

Fig.6 4 and 5 Fusion Images of Original Magnify

and Segmentation in Jingyugou Area

3.2 边缘检测的 Matlab 实现

对遥感图像进行二值处理后对图像进行边缘检测处理,采用 Matlab 工具箱中提供的 Canny 边

缘检测器来实现边缘处理:

```
i = imread('jyg45.tif');
bw = edge(i, 'canny');
imshow(bw); % 识别边界见图 6c.
```



图 7 鲸鱼沟 4 波段的二值图像

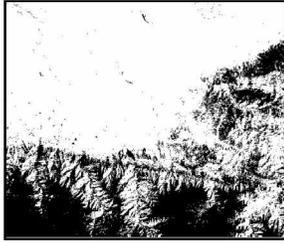


图 8 鲸鱼沟 4、5 合成波段的二值图像

Fig. 7 4 Band Image of Binary in Jingyugou Area

Fig. 8 4 and 5 Fusion Images of Binary in Jingyugou Area

4 结语

从图 4~图 8 可以看出,图 4a 与图 4b 影像变化彩色效果比较明显,图 7 和图 8 分别是 jyg4 原图像图 5a 与 jyg45 融合的图像图 6a 都进行取阈值 0.35 的二值化处理。为了看清更细微的差别,取两图鲸鱼沟水库 A 区 64×64 子图并进行放大和边缘检测,结果两图细节上差别明显,图 6b 库区后部分长,图 5b 库区后部丢失。图 6b 与图 6c 相比细节要比图 5b 与图 5c 效果要好一些,但图 6b 周围也出现一些阴影噪声。

小波变换融合方法对西安地区鲸鱼沟水库影像进行融合,并进行水库的边缘检测试验,可以看到,小波变换在遥感影像融合应用可以获取清晰影像。还可将不同传感器、不同时段、不同分辨率遥感影像,经小波变换后将遥感影像分解为 4,经处理组合,可以融合成所需要的图像,这对遥感影像的特征提取和模式识别研究起很大的作用。

参考文献:

- [1] 李德仁,周月琴,金为铄. 摄影测量与遥感概论[M]. 北京:测绘出版社, 2003.
- [2] Broussard R B, Rogers S K, Oxley M E. Physiologically Motive Image Fusion for Object Detection Using a Pulse Coupled Neural Network[J]. IEEE Trans: Neural Networks, 1999, 10(3): 624-625.
- [3] 韩玲,武汉宁,杜子涛. 多源遥感影像数据融合方法在地质中的应用[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(3): 78-81.
- [4] 孙文锋,孙强,焦季成. 改进多尺度融合结合小波域 HMT 模型的遥感图像分割[J]. 红外与激光工程, 2004, 33(5): 528-532.
- [5] 陶洪久,柳健,田金文. 基于小波变换和数学形态学的遥感图像边缘检测[J]. 红外与激光工程, 2002, 31(2): 154-157.
- [6] Tupin F, Bloch I, Maiter H. A First Step Toward Automatic Interpretation of SAR Images Using Evidential Fusion of Several Structure Detectors[J]. IEEE Trans: Geosciences Remote Sensing, 1999, 37(3): 1327-1343.
- [7] [日]谷口庆治. 数字图像处理[M]. 朱虹,译. 北京:科学出版社, 2002.

(上接第 98 页)

- [3] Hagrey S A, Michaelsen J. Resistivity and Percolation Study of Preferential Flow in Vadose Zone at Bokhorst, Gemany [J]. Geophysics, 1994, 64(3): 746-753.
- [4] White P A. Electrode Arrays for Measuring Groundwater Flow Direction and Velocity[J]. Geophysics, 1994, 59(2): 192-201.
- [5] Zhou Q Y, Shimada J, Sato A. Three Dimensional Spatial and Temporal Monitoring of Soil Water Content Using Electrical Resistivity Tomography [J]. Water Resources Research, 2001, 37(2): 763-769.
- [6] 周启友. 从高密度电阻率成像法到三维空间上的包气带水文学[J]. 水文地质工程地质, 2002, 29(6): 97-104.
- [7] 郝锦琦,冯锐,周建国,等. 岩石破裂过程中电阻率变化机理的探讨[J]. 地球物理学报, 2002, 45(3): 426-434.
- [8] Chambers J E, Loke M H, Ogilvy R D, et al. Noninvasive

- Monitoring of DNAPL Migration through a Saturated Porous Medium Using Electrical Impedance Tomography [J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2004, 68: 1-22.
- [9] 伍开江,周启友. 岩柱中水体入渗过程的高密度电阻率成像法研究[J]. 水文地质工程地质, 2005, 32(2): 76-81.
- [10] 伍开江,周启友. 基于序列二次规划方法的高密度电阻率反演[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(3): 63-67.
- [11] Zhou Q Y. Study on Groundwater Movement Around Cavity in Fractured Rocks Using Electrical Resistivity Tomography [R]. Tono Geoscience Center, Japan Nuclear Cycle Development Institute. JNC Report, JNC TN7400 2002 001, 2002.
- [12] Archie G E. The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics [J]. Trans AIME, 1942, 146: 54-62.