

基于 Trous 小波的影像融合

刘修国¹, 高 伟²

(1. 中国地质大学信息工程学院, 湖北武汉 430074; 2. 中国地质大学研究生院, 湖北武汉 430074)

摘要: 基于 Mallat 小波算法的影像融合, 由于存在抽取和插值运算, 其结果存在一定的相位失真. Trous 小波算法通过有限滤波器内插近似, 实现对影像数据的无抽取离散小波变换, 较好地解决了上述问题. 在阐述影像数据融合原理的基础上, 给出了基于 Trous 小波变换的影像融合处理方法和过程. 通过对遥感影像数据融合结果的定性定量分析, 认为基于 Trous 小波的遥感影像数据融合方法, 能保持参与融合影像的信息特征, 从而获得较好的融合处理结果.

关键词: 小波分析; Trous 小波; 影像融合; 遥感影像.

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2002)03-0338-03

作者简介: 刘修国(1969-), 男, 副教授, 1999 年获中国地质大学计算机及应用硕士学位, 现主要从事 GIS 及虚拟现实方面的教学、科研及应用开发工作.

E-mail: liuxg@public.wh.hb.cn

小波分析是近年来影像分析的热点, 由于它在时-频域都可局部化, 通过变换能将影像的能量集中于特征附近, 从而有效地探测影像的特征信息^[1], 因而可利用这一特性进行影像融合. 小波分析的关键是小波变换, 常用的小波变换算法有 Mallat 算法和 Trous 算法等. Mallat 算法是多尺度分析算法, 它将影像分解为一个低频分量和一系列的高频分量, 低频分量为近似影像, 影像的显著细节特征分布在高频分量部分^[2], 由于影像分解和重建过程中具有抽取和插值, 这大大增加了计算的负担, 同时也可能使得融合结果出现相位失真^[1]. 而 Trous 算法是通过有限滤波器的内插近似, 从而达到无抽取离散小波变换. 相对于其他小波算法它具有以下特点: (1) 计算的空间和时间需求较合理, 易于编程实现; (2) 具有二维等方向性, 变换过程可通过滤波器滤波实现; (3) 计算不需进行抽样和插值, 有利于获取影像的细节特征. 因此适用于影像的数据融合^[3].

1 Trous 小波算法

Trous 小波算法的具体描述如下: 假设原影像

数据为 $\{C_0(k)\}$, 经过尺度函数 $\phi(x)$ 的一次滤波后所得数据为 $\{C_1(k)\}$, 则 $\{C_0(k)\} - \{C_1(k)\}$ 包含两次尺度影像间的信息差, 即细节信号(小波面), 而在 j 次滤波后所得到的影像数据可由式(1)表示:

$$C_j(k) = \frac{1}{2^j} < f(x), \phi\left(\frac{x-k}{2^j}\right) >. \quad (1)$$

该过程也可用卷积运算代替, 其公式为:

$$C_j(k) = \sum_l h(l) C_{j-1}(k + 2^{j-1} \cdot l). \quad (2)$$

而小波系数 $W_j(k) = \{C_{j-1}(k)\} - \{C_j(k)\}$, 式(2)中的 $h(l)$ 为低通滤波算子, 它与尺度函数 $\phi(x)$ 间的关系可表示为:

$$\frac{1}{2} \phi\left(\frac{x}{2}\right) = \sum_l h(l) \phi(x-l). \quad (3)$$

这样小波函数 $\varphi(x)$ 可定义为:

$$\frac{1}{2} \varphi\left(\frac{x}{2}\right) = \phi(x) - \frac{1}{2} \phi\left(\frac{x}{2}\right). \quad (4)$$

Trous 小波变换实际上将输入影像数据分解为多个细节信号与一个背景信号, 影像的细节特征集中于小波面中, 而原影像即为各细节信号与背景信号的叠加, 由此即可得到 Trous 小波的重构公式:

$$C_0(k) = C_p + \sum_{j=1}^p w_j(k). \quad (5)$$

Trous 小波算法可以很容易地扩展到二维空间. 在二维空间其算法类似于用卷积核对影像进行

滤波,由于 B_3 -spline 对不规则样本数据具有很好的插值性,通常选择 B_3 -spline 作为尺度函数,其二维卷积核 R 为:

$$R = \begin{pmatrix} \frac{1}{256} & \frac{1}{64} & \frac{3}{128} & \frac{1}{64} & \frac{1}{256} \\ \frac{1}{64} & \frac{1}{16} & \frac{3}{32} & \frac{1}{16} & \frac{1}{64} \\ \frac{3}{128} & \frac{3}{32} & \frac{9}{64} & \frac{3}{32} & \frac{3}{128} \\ \frac{1}{64} & \frac{1}{16} & \frac{3}{32} & \frac{1}{16} & \frac{1}{64} \\ \frac{1}{256} & \frac{1}{64} & \frac{3}{128} & \frac{1}{64} & \frac{1}{256} \end{pmatrix}$$

2 基于 Trous 小波的影像融合方案

基于小波变换的影像融合是利用小波变换将影像原始数据转换到频域上,通过对影像特征的选取来获得影像数据的有效融合,实现特征互补.而 Trous 小波变换将原始影像分解为一个背景影像和一系列的小波面系数,背景影像是原始影像的近似,原始影像中的显著特征信息(如边缘、线、区域边界等)集中于相应小波面系数中.基于以上特点,将原始高分辨率影像数据经 Trous 小波变换后获得的细节特征按一定准则和多光谱影像的光谱特征进行融合,再经过小波逆变换即可得到较好的保持原始影像特征的融合影像.其具体步骤如下:(1)将配准后的高分辨率影像按式(2)进行 3~5 层 Trous 小波分解,获取该影像的近似影像 C 和一组小波面系数 $\{W_j\}$;(2)用配准的多光谱影像 C' 替换高分辨率影像分解后的近似影像 C ,由于高光谱影像中富集光谱特征,替换使得融合后的影像能较好地保持原有影像的光谱特征;(3)利用 Trous 小波变换公式(5)将 C' 和小波面系数 $\{W_j\}$ 重构即得到融合后的影像.

3 影像融合结果分析

影像融合结果的好坏主要是看融合影像是否保持了参与融合的原始影像的光谱特征和细节特征,为此笔者从定性分析和定量分析两方面来评价.融合效果的定性分析一般可采用清晰度、信息熵值等作为准则^[4].清晰度是用来评价影像的模糊程度,它反映影像中微小细节反差与纹理变化特征.在影像平面上,某一方向的灰度级变化率大,它的梯度也就大,

其清晰度也就高.影像的清晰度的计算公式如下:

$$g = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{x=1}^{(M-1)} \sum_{y=1}^{(N-1)} \left\{ \frac{1}{2} [(f(x,y) - f(x,y+1))]^2 + [(f(x,y) - f(x+1,y))]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

均值是一幅影像中所有像元值的算术平均值,它反映了像元值分布的数值范围.标准差用来评价影像反差的大小.标准差小,影像反差小,影像看上去比较柔和,内容较单一;标准差大,则表示影像内容复杂,这样标准差在一定程度上可以表示出影像信息量的大小.信息熵值反映影像表达信息的多少,决定影像的复杂程度,熵值低则说明影像像素组合方式的种类单调,影像表达的信息量少;反之,影像表达的信息量多.

利用基于 Trous 小波变换的融合算法对同一地区的两幅 TM 影像和 SPOT-PAN 影像进行融合处理,融合前后影像信息统计值如表 1 所示.通过对融合结果的统计值进行分析,笔者发现,融合影像的标准差和熵值比原多光谱影像有所增加,这说明融合达到了影像信息富集的目的;影像的清晰度提高较为明显,说明融合影像的细节特征得到增强;而影像的像元值的范围基本保持不变,说明融合后影像基本保持原多光谱影像的光谱特性.

利用清晰度等统计值评价只是从定量方面来考虑融合影像的质量,定性分析可以更直观地判断融合结果是否符合实际工作要求.作为对定量评价的有效补充,通过对融合前后影像的对比(图 1),可以看到融合后的影像比原多光谱影像在清晰度上提高了很多:在原影像中坝区部分较模糊,道路的轮廓也不清晰,而在融合后的影像中可较清楚地观察到坝区的结构,道路的边缘部分也容易辨别,同时还可以观察到原多光谱影像中看不到的细节特征.在影像的光谱特性方面,融合影像相对多光谱影像从人的视觉效果来说没有明显的变化,而相对高分辨率影像则增加了光谱信息,从而有利于地物的判别.

表 1 影像信息统计值

Table 1 Information statistics of image

	波段	均值	标准差	信息熵	清晰度
TM 影像	1	91.255	59.184	5.1375241802111	5.4609728851569
	2	86.397	55.662	5.1636242246130	5.4894308687823
	3	73.231	53.802	5.1284287880347	5.7318237599467
融合影像	1	91.158	68.453	10.397623880924	14.039624924715
	2	86.298	65.401	10.389753926787	14.053531527828
	3	73.132	63.774	10.343127103917	14.163091741490

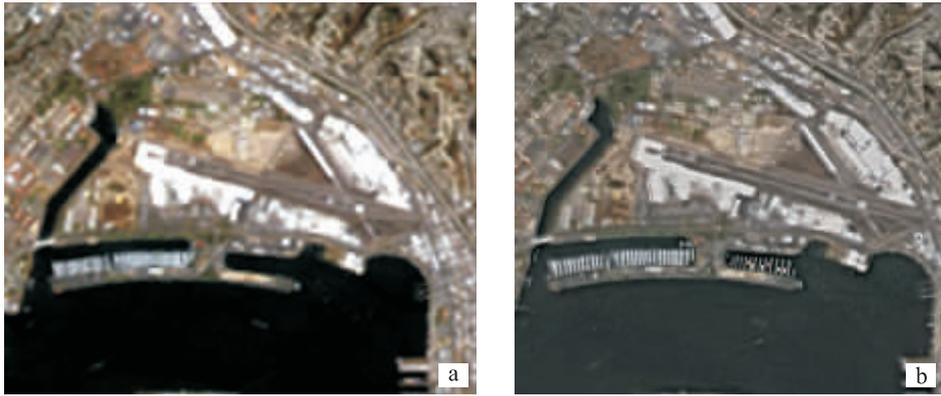


图 1 SPOT 影像与 TM 影像融合结果

Fig. 1 Fusion results of SPOT imagery and TM imagery

a. TM 原始影像; b. 融合结果

参考文献:

- [1] 陆关祥, 周鼎武, 王居里, 等. 复杂结构构造区遥感图像的地质信息提取方法——基于小波变换的多层次图像分割[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(1): 50—54.
LU G X, ZHOU D W, WANG J L, et al. Geological information extracting from remote sensing image in complex area: based on Wavelet analysis for automatic image segmentation [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(1): 50—54.
- [2] 陈建国, 夏庆霖. 利用小波分析提取深层次物化探异常信息[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24(5): 509—511.

- CHEN J G, XIA Q L. Wavelet-based extraction of geophysical and geochemical anomaly information [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1999, 24(5): 509—511.
- [3] Starck J L, Murtagh F, Bijaoui A. Multiresolution and astronomical image processing [A]. Astronomical data analysis software and system IV ASP conference series [C]. [s. l.]: [s. n.], 1995. 77.
- [4] 孙加柄, 刘继琳, 李军. 多源遥感影像融合[J]. 遥感学报, 1998, 2(1): 47—50.
SUN J B, LIU J L, LI J. Multi-source remote sensing image data fusion [J]. Journal of Remote Sensing, 1998, 2(1): 47—50.

Image Fusion Based on Trou Wavelet Transform

LIU Xiu-guo¹, GAO Wei²

(1. Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;
2. The Graduate School, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Wavelet transform is widely used in image fusion with its good features. But the algorithm based on Mallat has a major disadvantage for it contains interpolation and decimation. The new Trou algorithm, formed by convolving with an increasingly dilated Wavelet function, doesn't have the procedure of interpolation and decimation, and so it can solve the problem. This article firstly introduce representation of information and algorithms and applications of fusion and emphasize the algorithm based on Trou Wavelet transform. In the end, it indicate that visual effects, average gradient and standard deviation could implement the image quality evaluations after fusion. The results show that the images after fusion can keep the information of the raw image.

Key words: Wavelet transform; Trou Wavelet; image fusion; remote sensing imagery.