

# 基于二进小波变换的遥感影像镶嵌方法

李 军 林宗坚

(武汉测绘科技大学遥感与信息工程学院, 武汉市珞喻路39号, 430070)

**摘 要** 提出了一种新的影像镶嵌方法。通过与经典的直方图色调匹配方法实验结果比较, 证明该方法克服了相邻影像中局部灰度差异大的问题, 保证了接缝邻域处的图像清晰度和光滑度两个方面的要求。

**关键词** 二进小波变换; 多分辨率分析; 影像镶嵌; 色调匹配; 接缝点

**分类号** TP751

本文依据小波变换的特点, 将小波变换理论应用于图像镶嵌技术, 提出了一种新的影像镶嵌方法。相邻图像的色调匹配及镶嵌接缝点选取是影像镶嵌中的重要步骤, 也是本文研究的重点。图像的几何纠正和配准, 文献[1]已作了详细讨论, 本文不再赘述。

## 1 小波变换及影像多分辨率分解

### 1.1 小波变换

小波变换的基本思想是将原始图像(或信号)分解成一系列具有良好时频域定位性的细节信号, 利用细节信号的各种特征来表征原始图像(或信号)的局部特性, 实现对图像(或信号)的时频域局部化分析。

设  $f(x)$  为一维信号或函数, 则其小波变换定义为:

$$Wf(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot |a|^{-1/2} \overline{\psi[a^{-1} \cdot (x - b)]} dx \quad (1)$$

其中,  $\psi(x)$  称为小波(Wavelet);  $a(a \neq 0)$  为尺度因子;  $b$  为平移因子。

设  $\psi_{a,b}(x) = |a| \cdot \psi[a^{-1} \cdot (x - b)]$ ,  $\bar{\psi}_{a,b}(x) = \psi_{a,b}(-x)$ ,  $a, b \in R$ , 且  $a \neq 0$ , 则上式写成内积形式为:

$$Wf(a, b) = \langle f(x), \bar{\psi}_{a,b}(x) \rangle \quad (2)$$

为了保证从  $Wf(a, b)$  恢复出原始信号  $f(x)$ , 其  $\psi(x)$  的傅里叶变换  $\hat{\psi}(w)$  必须满足条件:

$$C_{\psi} = 2\pi \int_0^{+\infty} \frac{|\hat{\psi}(w)|^2}{|w|} dw \rightarrow +\infty \quad (3)$$

$$\text{或} \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(x) dx = 0 \quad (4)$$

当  $\psi(x)$  满足式(3)或式(4), 并能较快收敛时, 我们称  $\psi(x)$  为基本小波(Basic Wavelet),  $\psi(x)$  可视为一带通滤波器的冲激响应。则

$$Wf(a, b) = f(x) * \bar{\psi}_{a,b}(x) \quad (5)$$

由(5)式可知, 小波变换可看成是用一组不同尺度的带通滤波器进行滤波, 将原始信号分

解到一系列频带上进行分析处理。这一思想与人类视觉系统早期信息处理的多频道理论是一致的,能够使人们根据各频道图像的各种特征对图像进行分析。

从(1)式知,小波变换  $Wf(a,b)$  是尺度因子  $a$  和平移因子  $b$  的函数。当  $a = 2^j, b = m \cdot 2^j (m, j \text{ 为整数})$ , 且小波函数集  $\psi_{2^j}(x)$  的傅里叶变换满足:

$$\sum_{j=-\infty}^{+\infty} |\hat{\psi}(2^j \omega)|^2 = 1 \quad (6)$$

则称小波函数  $\psi(x)$  为二进小波函数(Dyadic Wavelet Function)。

## 1.2 二进小波变换的影像多分辨率分解

Mallat 首先将小波理论应用于信号处理,提出了多分辨率分析。为了建立二进小波变换的多分辨率分解表示,引入尺度函数  $\varphi(x) \in L^2(R)$ , 其傅里叶变换满足:

$$|\hat{\varphi}(\omega)|^2 = \sum_{j=1}^{+\infty} |\hat{\varphi}(2^j \omega)|^2 \quad (7)$$

由(6)、(7)式可知,尺度函数  $\varphi(x)$  相当于一低通滤波器,信号  $f(x)$  的低通滤波分量为:

$$Sf(2^j, x) = f(x) * \varphi_{2^j}(x) \quad (8)$$

式中,

$$\varphi_{2^j}(x) = 2^{-j/2} \cdot \varphi(2^{-j} \cdot x)$$

在实际应用中,我们只能计算信号有限尺度  $2^j$  的小波变换。设原始信号的二进小波变换尺度为  $2^1$ , 最低分辨率的尺度为  $2^J$ , 则尺度  $2^1$  和  $2^J$  之间的各阶小波变换为  $\{Wf(2^j, x), 1 \leq j \leq J, J \text{ 为整数}\}$ 。

根据 Parseval 能量守恒定理,对于信号  $Sf(2^j, x)$  在尺度为  $2^j$  时被平滑掉的高频成份,可以通过尺度  $2^j$  和  $2^{j-1}$  之间的二进小波变换来恢复,此时称集合  $\{\{Wf(2^j, x)\}, \{Sf(2^j, x)\}, 1 \leq j \leq J\}$  为信号的离散二进小波多分辨率分解表示,其中  $\{Wf(2^j, x)\}$  为细节信号(Detail Signal),  $\{Sf(2^j, x)\}$  为近似信号(Approximation Signal)。据此,可得基于二进小波变换的信号多分辨率表示。这是一种介于频域和时域的表达,为图像处理与分析提供了一个清晰的分层框架。

## 2 基于二进小波变换的影像镶嵌原理

### 2.1 基于二进小波变换的色调匹配

相邻影像的色调匹配是遥感数字影像镶嵌的一个关键环节。本文提出由粗到精的色调匹配方法,以消除相邻影像色调差异。

#### 2.1.1 近似影像及细节影像的生成

对遥感影像进行影像分解,可由一对适当的低通和高通滤波器  $H(\omega), G(\omega)$  来完成,如图1所示。先将影像  $f(x, y)$  的每一行用  $H$  作卷积并二取一抽样,再将结果的每一列用  $G$  作卷积

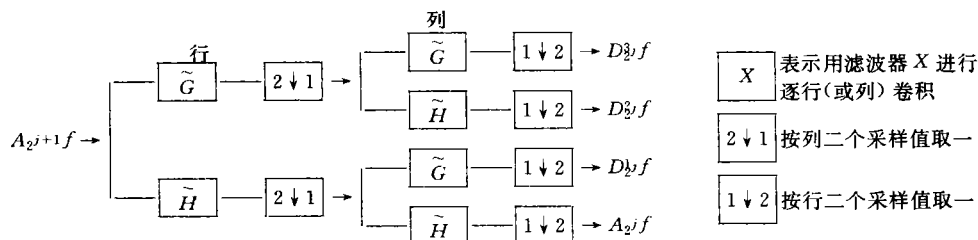


图1 基于二进小波变换的影像分解

并作二取一抽样,由此得到相应层的近似影像( $A_{2^j}f$ )及细节影像( $D_{2^j}^1f, D_{2^j}^2f, D_{2^j}^3f$ )。设要镶嵌的两幅相邻遥感影像数据分别为  $A_L^0f = A_L^0f(x, y), A_R^0f = A_R^0f(x, y)$ , 按图1进行影像分解, 可得到各小波分量:

$$L: \{(D_L^{M1}, D_L^{M2}, D_L^{M3}), \dots, (D_L^{N1}, D_L^{N2}, D_L^{N3}), A_L^N\}$$

$$R: \{(D_R^{M1}, D_R^{M2}, D_R^{M3}), \dots, (D_R^{N1}, D_R^{N2}, D_R^{N3}), A_R^N\}$$

### 2.1.2 多分辨率色调匹配

色调匹配首先在最低分辨率层进行,然后逐层推进直至图像的最高分辨率层。这种由粗到精的控制策略,可以处理镶嵌影像的局部区域。

在理想情况下,相邻影像的重叠区域,其局部熵应相同。由于实际相邻同名影像存在一定的辐照度差异,因此,它们对应的局部熵不完全相同。为此,本文建议用基于熵的色调匹配方法分别处理不同尺度下的细节影像。

设在分辨率  $2^j$  时,灰度级为  $K$  的相邻两幅图像重叠区的局部熵分别为:

$$\begin{cases} H(2^j, L_k) = - \sum_{i=0}^K P_L(2^j, i) \cdot \log_2 P_L(2^j, i) \\ H(2^j, R_k) = - \sum_{i=0}^K P_R(2^j, i) \cdot \log_2 P_R(2^j, i) \end{cases} \quad (9)$$

其中,  $P_L(2^j, i), P_R(2^j, i)$  分别为两幅影像在分辨率  $2^j$  时第  $i$  灰度级的百分率。

在分辨率  $2^j$  时,两幅图像重叠区的局部熵差  $\Delta H_{2^j}$  为:

$$\Delta H_{2^j} = H(2^j, L_K) - H(2^j, R_K) \quad (10)$$

因此,相邻两幅遥感图像的色调匹配根据局部熵差  $\Delta H_{2^j}$  在不同分辨率下进行。在最低分辨率层中,把相邻两幅遥感影像的近似影像数据按(10)式进行色调匹配;再把它们对应的所有分辨率层的细节影像按(10)式进行色调调整。由于细节影像与近似影像的镶嵌是分别处理的,这样可有效防止相邻影像局部灰度差异大的问题,保证相邻影像色调一致。

### 2.2 不同分辨率下影像镶嵌接缝点的选取

影像接缝点选取的常用方法为多边形折线方法。这种由多边形定义出的接缝点位置,并不能保证获得最佳镶嵌质量。下面采用不同分辨率下的灰度差最小原则<sup>[4]</sup>选取镶嵌接缝点,使相邻影像在该接缝处的灰度差别为最小。

如图2所示,分辨率为  $2^j$  时按灰度差绝对值和最小原则选取接缝点,\*表示接缝点。设在分辨率为  $2^j$  时,左右影像的像素灰度值分别用  $L_{2^j}$  和  $R_{2^j}$  表示,  $WD_{2^j}$  为相应重叠区的宽度,计算以  $(p, q)$  为中心  $1 \times w$  邻域的像元灰度差绝对值和  $V_{2^j}(p, q)$ 。

对于第  $p$  扫描行,使

$$V_{2^j}(p, q) = \sum_{k=-w/2+1}^{w/2} |L(2^j, q+K) - R(2^j, q+K)| \quad (11)$$

其中,  $w/2 < q < WD_{2^j} - w/2$

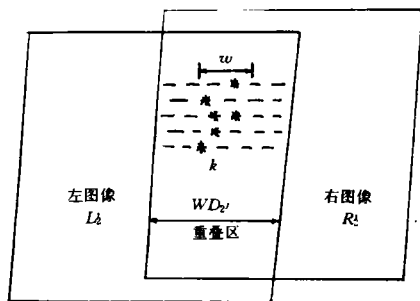


图2 接缝点的选取

由小波变换的性质可知, 当小波函数的时窗宽度为  $2\sigma_\psi$  时, 小波变换的能量主要集中在  $(x - 2^j\sigma_\psi, x + 2^j\sigma_\psi)$  的区域内, 故取  $w = 2^{j+1}\sigma_\psi$ . 当  $\min[V_{2^j}(p, q)]$  时, 则第  $q$  个像素将选作在分辨率  $2^j$  下的接缝点. 对于上下镶嵌, 选择接缝点是逐列进行的, 方法同上.

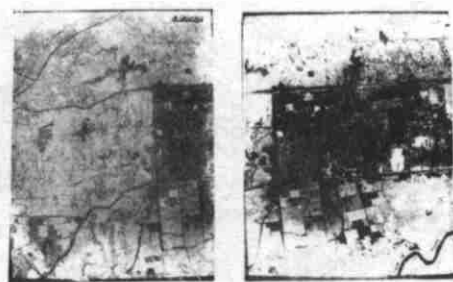
在不同分辨率下, 相邻影像的重叠宽度随  $2^j$  变化, 各小波分量按 (11) 式选取接缝点进行镶嵌. 因此, 在色调匹配的基础上, 避开那些灰度差异较大的区域, 寻找灰度值差异最小的区域进行镶嵌, 可消除镶嵌时产生的人为边缘或接缝.

取  $\{(D_2^{N1}, D_2^{N2}, D_2^{N3}), \dots, (D_2^{Nj}, D_2^{Nj}, D_2^{Nj}, A_2^{Nj}), J \text{ 为整数}\}$  为镶嵌后图像的小波变换, 则利用 Mallat 恢复算法<sup>[2,3]</sup>, 就可得到镶嵌图像.

### 3 实验与分析

为了验证上述方法的正确性及有效性, 本文利用不同时相的两幅 TM 影像进行镶嵌实验 (如图 3). 如直接将这两幅图像进行镶嵌, 如图 4, 镶嵌后的影像产生明显可见的人为边缘, 并且左右两边影像反差大, 这是人们所不能接受的.

利用本文提出的方法, 把要镶嵌的相邻两幅 TM 影像先按小波分解的方法, 分解为不



(a) 左影像 (b) 右影像

图 3 左右两幅原始 TM 影像

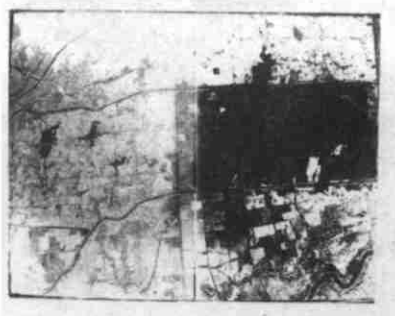
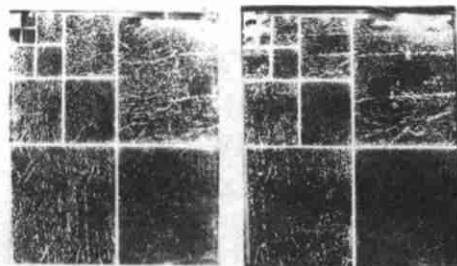


图 4 未经色调匹配得到的镶嵌影像



(a) 左影像 (b) 右影像

图 5 左右两幅金字塔影像 (小波分解)

同频带的小波分量(如图5,分解层数 $J=4$ )。在最低分辨率层下,把相邻两幅TM影像的近似影像按(10)式进行色调匹配;对于各尺度下的细节图像也按(10)式进行色调匹配,再按(11)式进行接缝,然后用恢复算法,恢复得到整幅镶嵌图像(如图6)。

从图5可看出,随着分辨率从1、1/2、1/4、1/8到1/16,影像局部细节逐渐消失,结构较大的轮廓仍能清晰地反映出来。对不同分辨率的相邻两幅细节影像分别进行色调匹配,保证了相邻影像边缘色调匹配一致。与图7显示的直方图匹配方法<sup>[5]</sup>相比较,证明了本文描述的方法具有明显的优越性。利用直方图色调匹配是在原始图像上进行的,只能使相邻影像重叠区的整体直方图分布趋于一致,无法聚焦到图像的局部细节。从图7的镶嵌影像可看出,某些局部区域的灰度差异仍然存在。

感谢中国科学院院士李德仁教授的热情指导及张继贤博士的大力帮助。

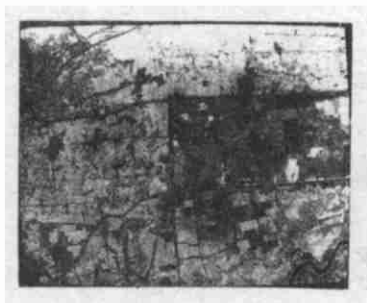


图6 利用本文方法得到的镶嵌影像



图7 用直方图匹配方法得到的镶嵌影像

### 参 考 文 献

- 1 杨 凯,孙家柄,卢 健. 遥感图像处理原理与方法. 北京:测绘出版社,1988.
- 2 Mallat S G. A Theory for Multiresolution Signal Decomposition; The Wavelet Representation. IEEE Trans. PAMI, 1989, 11(7): 674~693
- 3 Mallat S G. Multi/frequency Channel Decompositions of Images and Wavelet Mades. IEEE Trans. ASSP, 1989, 37(12): 2091~2110
- 4 David L. Milgram. Computer Methods for Creating Photomosaics. IEEE Trans. Computer, 1975, c-24: 1113~1119
- 5 Bidasaria H B. A Mehtod for Almost Exact Histogram Matching for two Digitized Images. CVGIP, 1986, 34(1): 356~362

(下转第347页)