

SAR图像的边沿检测方法研究

赵志钦* 王建国 黄顺吉

(电子科技大学电子工程系 成都 610054)

【摘要】 针对合成孔径雷达(SAR)图像的特点, 利用小波变换的高频分量能反映边沿细节的特性, 提出了一种结合小波变换、中值滤波、自适应门限判决和微分梯度算子的边沿检测方法。实验结果表明, 该方法具有良好的边沿检测效果和稳定性。

关键词 合成孔径雷达; 小波变换; 中值滤波; 边沿检测

中图分类号 TN957

合成孔径雷达(SAR—synthetic aperture radar)具有高分辨力、全天候、强透射等优点, 其图像的应用研究已成为该领域的研究热点, 对SAR图像的边沿检测则是该应用领域的一个重要方面。由于SAR是一种相干成像系统, 因此SAR图像要受其固有的相干斑噪声的严重影响^[1-4]。这种噪声的存在降低了SAR图像的质量, 使其边沿检测变得更为困难, 目前对SAR的边沿检测还没有固定的方法。随着SAR应用的推广, 国际上正在广泛开展SAR目标的自动识别研究, 如自动识别桥梁、河流、道路等。另外, 海洋中的内波检测也变得越来越重要, 而边沿检测则是开展这方面研究的基础。本文结合小波变换、中值滤波、门限判决和在光学图像边沿检测中采用的Sobel微分算子, 提出了一种组合式的边沿检测方法, 并利用真实的SAR图像进行了实验研究, 结果表明该方法具有良好的边沿检测性能。

1 小波变换的应用

小波变换(WT)具有多尺度分析等优点, 特别是在给出小波的Mallat塔式算法后, WT在信号处理领域占据了很重要的位置^[5, 6]。

如果信号 $f \in L^2(R)$, 则信号 f 的连续小波变换 $W_f(a, b)$ 定义为

$$W_f(a, b) = \langle f, \psi_{a,b} \rangle = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_R f(t) \overline{\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt \quad (1)$$

式中 ψ 为基本小波, 在实际工程中应用最广泛的是离散的二进制小波。

SAR图像 I 是可测且具有有限能量, $I \in L^2(R)$, 设 I 为二维的离散信号 $I(m, n)$, 在适当选择一组小波基时, 可以对 $I(m, n)$ 进行多尺度的二维离散小波分解。由于不可分离的二维小波变换还不够成熟, 目前在图像处理中主要采用可分离的二维离散小波变换。设二维小波的镜像滤波器为 $h(m, n)$ 和 $g(m, n)$, m 表示行, n 表示列, 二维可分离时, 有

$$h(m, n) = h(m)h(n) \quad (2a)$$

$$g(m, n) = g(m)g(n) \quad (2b)$$

令

$$g^1(m, n) = h(m)g(n) \quad (3a)$$

$$g^2(m, n) = g(m)h(n) \quad (3b)$$

$$g^3(m, n) = g(m)g(n) \quad (3c)$$

$$h_j(m, n) = 2^j h(2^j m, 2^j n) \quad (3d)$$

$$g_j^k(m, n) = 2^j g^k(2^j m, 2^j n) \quad k=1, 2, 3 \quad (3e)$$

因此，对信号空间的分解可表示为

$$V_j = V_{j+1} \oplus W_{j+1}^1 \oplus W_{j+1}^2 \oplus W_{j+1}^3 \tag{4}$$

其中

$$V_j[I(m,n)] = \langle I(m,n), h_j(m,n) \rangle \tag{5a}$$

$$W_j^1[I(m,n)] = \langle I(m,n), g_j^1(m,n) \rangle \tag{5b}$$

$$W_j^2[I(m,n)] = \langle I(m,n), g_j^2(m,n) \rangle \tag{5c}$$

$$W_j^3[I(m,n)] = \langle I(m,n), g_j^3(m,n) \rangle \tag{5d}$$

根据以上各式，可以对信号进行多层分解，

$W_j^1[I(m,n)]$ 、 $W_j^2[I(m,n)]$ 、 $W_j^3[I(m,n)]$ 分别对应

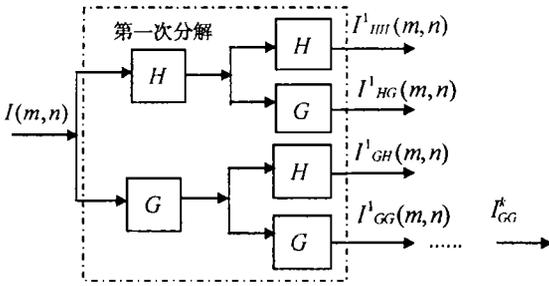


图 1 小波变换的多尺度分解

二维信号 $I(m,n)$ 的离散小波变换，将这三个分量分别称为HG、GH和GG分量： $V_j[I(m,n)]$ 则称为H分量。HH代表 $I(m,n)$ 的低频分量的小波分解系数；HG代表 $I(m,n)$ 垂直方向的高频分量的小波分解系数；GH代表 $I(m,n)$ 水平方向的高频分量的小波分解系数；GG代表 $I(m,n)$ 对角线的高频分量的小波分解系数，GG包含了图像更多的细节。SAR图像中的边沿含有丰富的高频成分，其边沿检测的第一步是利用SAR图像小波变换后的GG分量，得到主要的边沿信息。由于SAR存在严重的相干斑噪声，使分解后的图像存在大量的奇异点，影响了边沿的检测。因此，对GG分量应先进行滤波处理，这样不仅能滤除大部分的奇异点，而且不会过多损失边沿，对此本文采用了中值滤波的方法。

2 中值滤波

中值滤波是一种非线性滤波，不仅能滤除杂波，而且有很好的边沿保持能力^[7]。假设输入信号矢量 $x(t)$ 为

$$x(t) = [x(i-N), \dots, x(i), \dots, x(i+N)] \tag{6}$$

式中 N 的大小与处理所取窗口的大小有关。假设 $x(i)$ 有 M 个值， $0 \leq x(i) \leq M-1$ 。根据门限， $x(i)$ 可以分解为 $x^{(1)}(i), \dots, x^{(M-1)}(i)$ ，分解准则为

$$x^{(m)}(i) = \begin{cases} 1 & x(i) \geq m \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \tag{7}$$

定义 $R^{(m)}(i)$ 为

$$R^{(m)}(i) = \frac{\sum_{j=-N}^N W_j x^{(m)}(i+j)}{\sum_{j=-N}^N W_j} \tag{8}$$

式中 $x^{(m)}(i)$ 的定义由式(7)给出； W_j 为加权因子。

对应的Boolean函数为

$$f[R^{(m)}(i)] = \begin{cases} 1 & R^{(m)}(i) \geq 0.5 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \tag{9}$$

加权中值滤波的输出为

$$y(i) = \sum_{m=0}^{M-1} f^{(m)}(i) \tag{10}$$

如果加权因子 W_j 为定值，则为通常的中值滤波，否则为加权中值滤波。

3 门限判决和边沿检测

将中值滤波后的信号 $y(i)$ 进行门限判决、二值化处理，门限定义为

$$y_o(i) = \begin{cases} 1 & y(i) \geq T \\ 0 & y(i) < T \end{cases} \quad (11)$$

式中 T 的选择与所检测的边沿类型有关, 因此 T 应由统计分析得到。在实验研究中, 为检测出陆地和海洋边沿, T 选择为 $E[y(i)]$, $E[y(i)]$ 表示一个统计区域中的均值。如果检测的边沿不是陆地和海洋边沿, T 值应当改变。

图像经二值化处理, 通过微分梯度算子即可得到相应的边沿。选择Sobel梯度算子做边沿检测, 由水平模板和垂直模板组成, 如图2所示。经Sobel算子后的输出信号幅度为^[8]

$$I_{\text{输出}} = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

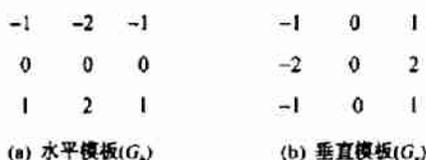


图2 Sobel算子模板

4 边沿检测的实验研究

经以上分析, 本文提出了一种组合的边沿检测的方法, 如图3所示。小波变换采用的小波基为Haar小波, 中值滤波的窗口大小为 5×5 。

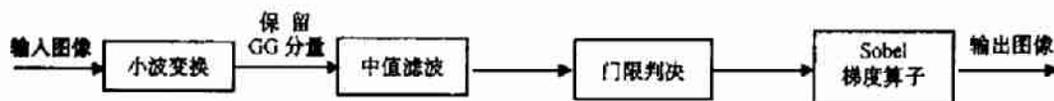


图3 边沿检测的总框图

为了验证方法的可行性, 我们利用真实的数据进行了研究, 目标是检测出水域和陆地的边沿。

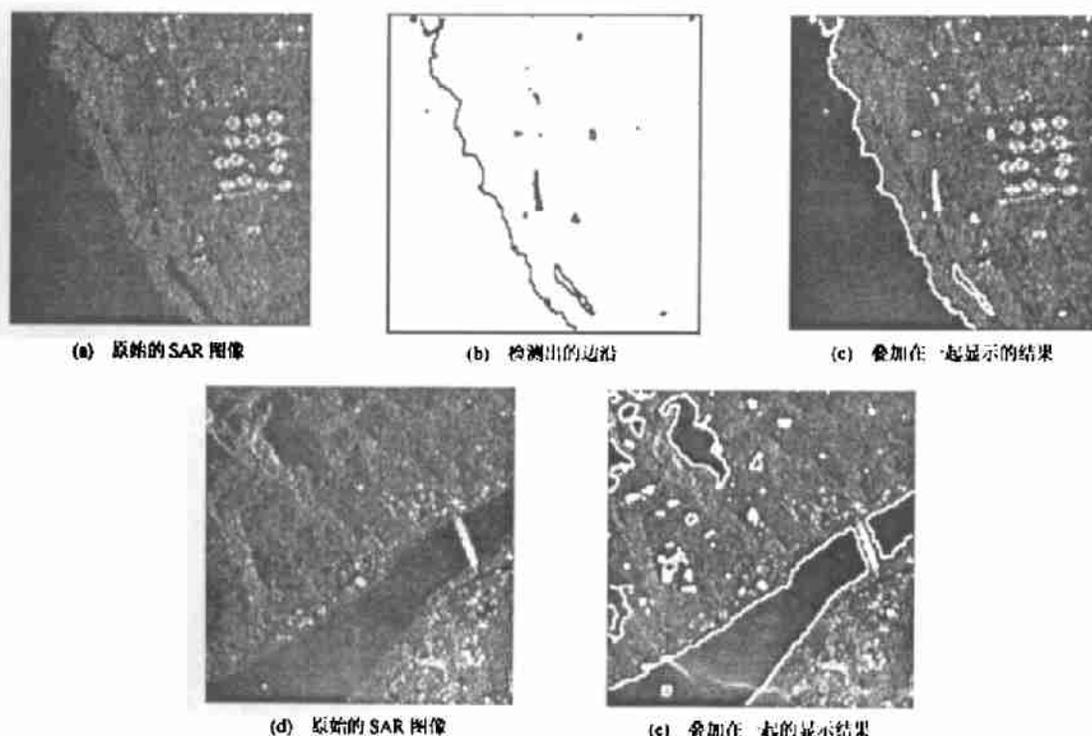


图4 SAR图像的实验研究结果

图4a是SAR原始的图像, 图4b是利用本文方法得到的边沿(图中的黑线是检测出的边沿)。由图可以看出, 检测后边沿的奇异点很少。图4c是将检测后的边沿与原图像叠加在一起的结果(图中的

亮白线是检测出的边沿)。由图可以看出,检测出的边沿与原图像的边沿吻合得很好。图4d、4e是另一场景的检测结果,图4d是SAR原始的图像,图4e是检测之后的结果与原始图像的叠加(图中的亮白线是检测出的边沿)。

5 结束语

小波变换后的高频分量反映了图像的细节,中值滤波具有较好的滤波效果及边沿保持能力。本文针对合成孔径雷达(SAR)图像的特点,提出了一种结合小波变换、中值滤波、门限判决和微分梯度算子的边沿检测的算法。通过真实的SAR图像的实验研究表明,该方法具有良好的边沿检测能力,较完整地区分出水域和陆地边沿。如果在门限判决时改变门限,还可以较好地检测出其他的边沿。

参 考 文 献

- 1 Zaitsev Valentin V. Analysis of the Speckle suppression algorithms based on the MAP approach. EUSAR, Germany. 1996: 159~162
- 2 Yang Jinhao, Wang Jianguo, Huang Shunji, *et al.* Speckle filtering for SAR images based on orthonormal wavelet transform. EUSAR, Germany. 1996: 151~154
- 3 Samuel Foucher, Benie G B, Bowcher J M, *et al.* Unsupervised multiscale Speckle filtering. IEEE Int Conference on Image Processing. 1996: 391~394
- 4 汤志伟, 王建国, 黄顺吉. 使用小波分析的图像融合算法. 电子科技大学学报, 2000, 29(2): 122~125
- 5 李建平. 小波分析与信号处理. 重庆: 重庆出版社, 1997
- 6 秦前清, 杨宗凯. 实用小波分析. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1994
- 7 Akira Taguchi. A design method of fuzzy weighted median filter. IEEE Int Conference on Image Processing. 1996: 423~426
- 8 王建国, 杨晋浩, 黄顺吉. 一种新的SAR图像Speckle滤波算法. 电子科技大学学报, 1995, 24(5): 415~416

Research on Edge Detection of SAR Image

Zhao Zhiqin Wang Jianguo Huang Shunji

(Dept of Electronic Eng., UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Based on the analysis of the characteristics of synthetic aperture radar (SAR) images, this paper puts forward a combined method for edge detection of SAR images, which is composed of wavelet transform, median filter, adaptive thresholding and differential gradient operator. The experimental results show the effectiveness and stability of the method.

Key words synthetic aperture radar; wavelet transform; median filter; edge detection