

SAR 图像中水域的检测与分割*

张利利, 张艳宁

西北工业大学, 西安 (710072)

E-mail: zhanglili86@126.com

摘 要: 本文针对 SAR (Synthetic Aperture Radar) 图像中的河流分割问题, 提出了基于小波能量和梯度的河流分割方法。首先利用小波能量特征, 采用快速模糊聚类算法 (FCM) 对河流区域进行粗分割; 在此基础上, 将区域梯度作为特征, 自适应的确定梯度阈值, 从而实现河流的细分割。实验结果表明, 本文方法分割河流结果准确, 适用性和实时性强, 为 SAR 图像水上目标的研究打下了基础。

关键词: SAR 图像, 河流检测, 小波能量, 梯度

1. 引言

合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar, SAR) 是一种高分辨率雷达, 具有全天候、全天时、高穿透性的特点, 在电子侦察、海洋监测、全球观测和农业等遥感领域有广泛的应用。

河流是 SAR 图像中一种重要的 (自然目标) 非人工目标, 它的分割和检测对水土流失监测、水土保持等环境要素监测有重要意义。现有的河流分割方法可归为两类, 基于灰度阈值的分割方法^[3-9]和基于特征的建模方法^[10]。基于特征的建模方法利用了图像的灰度信息和灰度方差等信息作为特征建模。但是, 基于灰度信息的河流分割方法局限性很大, 很难适用于 SAR 图像。因为 SAR 图像受斑点噪声影响, 且目标和背景的灰度差别不是很大, 直方图不呈明显的双峰分布, 此时阈值法失效。针对以上问题, 本文提出了小波能量和梯度相结合的河流分割方法。

2. SAR 图像中河流的快速分割

水体反射率 (除镜面反射方向外) 在整个波段内都很低, 在雷达图像上呈黑色而显著区别于其他地类。所以, 对于水体而言, 水体的微波特征决定了 SAR 图像能有效地获取水体分布信息。因此, SAR 图像中的水域一般具有如下的特征: (1) 水域形状不规则; (2) 水域一般为连通区域; (3) 水域灰度值偏低, 灰度变化缓慢, 即灰度一致性; (4) 水域没有较明显的纹理特征, 即纹理一致性。

基于对 SAR 图像中水域的特性分析, 本文的河流分割方法有两个部分: 河流粗分割, 河流细分割。首先采用小波能量为特征对河流进行快速的粗分割, 之后采用一个较小的面积阈值对粗分割后的河流进行后处理, 去除一些小的杂点; 最后计算各区域的平均梯度, 并自适应的确定平滑梯度的阈值实现对河流的精细分割。

2.1 河流的粗分割^[1]

SAR 图像具有丰富的纹理信息, 在分割时引入纹理会有较高的分割精度。由于小波^[2]具有良好的时频局部特征、尺度变化特征和方向特征, 在图像处理、计算机视觉、纹理分析等方面有良好的应用, 本文采用小波能量计算 SAR 图像纹理特征, 计算公式如下:

*本课题得到博士点基金 (No.20040699034) 的资助。

$$e = \frac{1}{M * N} \sum_{x,y=0}^{M*N-1} |s(x,y)|^2 \quad (1)$$

$s(x, y)$ 为子图像系数, $M*N$ 代表子图像的大小。考虑到 Daubechies 小波的高纹理性能及其正交性、紧支性和低复杂性, 本文选用 Daubechies3 小波, 对原始 SAR 图像每个像素的 $N \times N$ 邻域进行小波变换, 采用了 4 个小波子图像, 分别是第一次小波分解所得的 3 个高频图像、第一次小波分解所得的低频图像, 然后用公式 (1) 分别计算各子图像能量特征, 作为当前中心像素点的纹理特征。

对每一像素的纹理特征, 采用快速模糊 C 聚类算法 (FCM) 将图像分成目标和背景两类, 得到河流的粗分割结果。但是, 由于 SAR 图像受斑点噪声影响, 存在着部分灰度值和河流比较接近、有细微纹理的非河流区域, 例如建筑物或其他自然景物的阴影, 被误分割为河流的现象, 因此需要对河流进一步的细分割。图 1 显示了 SAR 图像 A 粗分割的结果, 从图 1 (b) 可以看到分割结果中存在着大量的误分割区域。

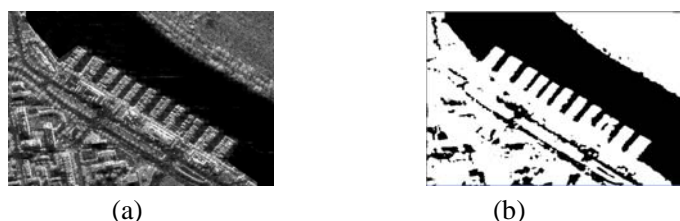


图 1 基于小波能量的河流分割结果图, (a) 实际 SAR 图像 A; (b) 粗分割结果

2.2 河流的细分割

河流是由较大的连通区域构成, 基于这一点, 有些学者^[7,9]提出了运用数学形态学来去除误分割区域, 但是该方法不能解决存在大片误分割区域的情况, 且很难自适应选取形态学操作的基元; 还有些学者^[3,4,8]提出了设置面积百分比阈值剔除虚假河流区域的方法, 但是此方法没有解决面积阈值的自适应选取问题, 因为较大的阈值会在去除虚假河流区域的同时而可能丢掉真正的河流区域, 反之, 较小的阈值则不能完全剔除虚假区域。因此本文提出了将小面积百分比阈值和局部梯度相结合的方法对河流进行细分割, 小面积百分比阈值 (一般选取 0.2% 或者 0.1% 或更小) 剔除小杂点的同时保证了真正的河流区域不会被错误的剔除, 局部梯度的方法又保证了对河流准确的细分割。

(1) 计算各区域平均梯度

在去除细小区域之后, 对每个区域用图 2 的模板计算其梯度, 从水平和垂直两个方向考察当前区域灰度值的变化。

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(a) 水平梯度算子模板 A (b) 垂直梯度算子模板 B

图 2 梯度算子模板

模板中心点 (x, y) 水平方向梯度幅值为:

$$G_x = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 A(i+2, j+2) \times f(x-i, y-j) \quad (2)$$

其中 $f(x, y)$ 为 (x, y) 处的灰度值。同理，垂直方向梯度幅值为：

$$G_y = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 B(i+2, j+2) \times f(x-i, y-j) \quad (3)$$

(x, y) 处的梯度幅度为： $Grad(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$

(2) 自适应选取阈值

对粗分割得到的河流区域进行连通区域标记，计算每一个区域的平均梯度 $avgGrads[i]$ ，设待分类的区域的平均梯度 $avgGrads$ 的范围在 $[gradsLow, gradsHigh]$ 之间，阈值 T 将区域划分为两类，

$$\begin{cases} \text{if } avgGrads[I] \leq T, I \in C_1 \\ \text{if } avgGrads[I] > T, I \in C_2 \end{cases} \quad (4)$$

则， $C_1 = [gradsLow, T]$ ， $C_2 = [T+1, gradsHigh]$ 。 C_1 类的区域个数为 N_1 ， C_2 类的区域个数为 N_2 ， C_1 、 C_2 每类的梯度的平均值分别为 μ_1 ， μ_2 ，方差分别为 σ_1^2 ， σ_2^2 ，则按照模式识别理论，这两类的类内方差为：

$$\sigma^2 = (N_1 \times \sigma_1^2 + N_2 \times \sigma_2^2) / (N_1 + N_2) \quad (5)$$

使 σ^2 最小的 T 即为最佳平均梯度阈值 T^* 。

$$\begin{cases} \text{if } (avgGrads[I] > T^*), I \notin \text{River Region} \\ \text{if } (avgGrads[I] \leq T^*), I \in \text{River Region} \end{cases} \quad (6)$$

如果某区域的平均梯度大于最佳阈值，则此区域不属于河流区域；如果小于等于最佳阈值，则此区域属于河流区域，从而实现了河流的细分割。

3. 实验结果分析及比较

SAR 图像 A、B，如图 1、图 4 所示，均来自美国 Sandia 实验室，A、B 的河流和地物分布情况依次复杂。其中，图像 A（为 600×400）的河流上没有人工建筑物，岸边有港口，陆地上有复杂的人工建筑和植被等，其中有很多灰度值比较低的阴影。图像 B（256×256）的河流上有两座桥梁，且河流分成两个支流，陆地上有人工建筑和植被并存在阴影。文献[5]提出了一种改进的 OTSU 河流分割方法，我们选择此方法与本文方法进行比较。图 3、图 4 分别显示了两种方法的河流分割结果，其中白色区域即为河流区域。

从分割结果和对比可以看出，本文提出的方法，适用于复杂的 SAR 图像，河流分割准确，且速度快实时性好，克服了噪声和阴影对河流分割的影响，并且本文算法全部由 VC++ 实现，实用性好，本文方法的研究为 SAR 图像水上目标的研究打下了很好的基础。

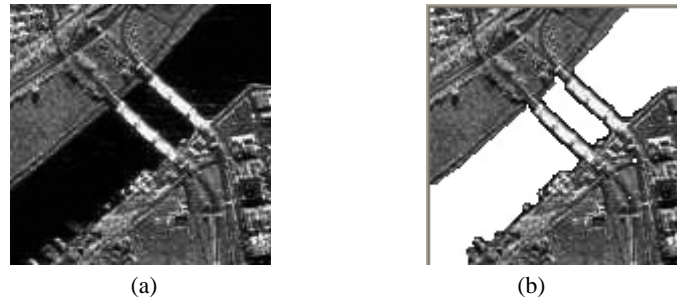


图 3. SAR 图像 A 的检测结果及比较, (a)本文方法分割河流结果 (面积阈值 0.2%), (b)文献[5]方法分割结果

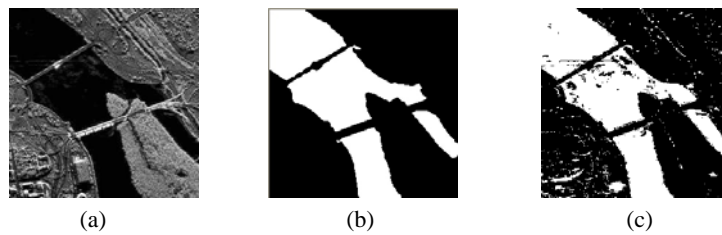


图 4. SAR 图像 B 的检测结果及比较, (a)实际 SAR 图像 B, (b)本文方法检测结果, (c)文献[5]方法分割结果

4. 小结

本文针对 SAR 图像中河流分割问题, 提出了粗分割, 细分割的方法, 实验结果表明, 本文方法检测河流取得了很好的结果, 但是, 由于本文方法是根据连通区域来判别真伪河流区域的, 因此当陆地上的比较明显的阴影区域和河流区域连通成一个区域时, 将会出现虚假的河流区域, SAR 图像中的阴影在图像分割识别中仍然是一个值得研究的问题。

参考文献

1. 李映, 史勤峰, 张艳宁, 赵荣椿. SAR 图像的自动分割方法研究. 电子与信息学报. 2006.28(5):932-935
2. Daubechies I. The wavelet transform: time-frequency localization and signal analysis. IEEE Trans. On Information Theory. 1990. 36(5):961-1005
3. 吴樊, 王超, 张红等. 基于知识的中分辨率光学卫星遥感影像桥梁目标识别研究. 电子与信息学报. 2006.28(4):587-591
4. 杜宗岗, 卢凌, 梁军等. 基于知识的航空图像中大型水上桥梁目标识别. 武汉理工大学学报. 2005.29(2):230-233
5. 侯彪, 刘芳, 焦李成. 基于小波变换的高分辨率 SAR 港口目标自动分割. 红外与毫米波学报. 2002.21(5):385-398
6. 吴皓, 刘政凯, 张荣. TM 图像中桥梁目标识别方法研究. 遥感学报. 2003.7(6):478-484
7. 聂烜, 赵荣椿, 张艳宁. 一种从航空图片中自动检测桥梁的方法. 西北工业大学学报. 2003.21(5):599-602
8. Chen H, Shen Z K, Shen J J. Method for searching bridge in IR images. IEEE AES System Magazine, 1998, 7: 21-24
9. 刘伟, 蒋咏梅, 雷琳等. 一种基于多源遥感图像融合的桥梁目标识别方法. 信号处理. 2004.20(4):427-430
10. 程辉, 于秋则等. 基于 SVM 的 SAR 图像中水上桥梁目标的检测. 宇航学报. 2005.26(5):600-605

Adaptive segmentation of River in SAR Images

Zhang Lili, Zhang Yanning

School of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an (710072)

Abstract

A method of river segmentation based on wavelet energy and gradient is proposed in this paper. Firstly, the river region was coarsely segmented by FCM according to the wavelet energy features, and then the river was refined segmented accurately by the gradient threshold which was got adaptively. The experiment results show that this method not only can detect the river accurately but also has good practicability. The method proposed by this paper provides a foundation for the target detection above the river.

Keywords: AR image, river detection; wavelet energy; gradient

作者简介: 张利利, 女, 1982 年生, 计算机学院 05 级硕士生。研究方向为 SAR 图像处理。