

一种有效的 SAR 图像水陆分割方法^{*}

文江平¹, 胡岩峰^{1,2}, 王无敌¹, 张利利²

(1. 北京遥感信息研究所, 北京 100085; 2. 中国科学院电子学研究所, 北京 100190)

摘要:针对合成孔径雷达(SAR)图像中的水陆分割,提出了一种基于小波能量的自适应水域分割方法.算法首先以小波能量为特征,采用快速模糊聚类算法(FCM)将图像粗分割为3类,结合原图信息从中判断并选择水域区域,然后计算水域区域对应于原图的平均梯度,以此作为特征,自适应地确定梯度阈值,从而实现水域的细分割.实验结果表明:基于小波能量的自适应水域分割方法分割水域结果准确、适用性好.

关键词:水陆分割;小波能量;梯度;SAR 图像

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2010)02-0108-03

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,随着合成孔径雷达技术的发展,它在我国国民经济和国防建设中发挥着越来越重要的作用.水域是 SAR 图像中一种重要的天然目标,在检测和监视水上目标(例如航母、舰船等)时,一般首先需要进行水陆分割,所以它的分割和检测对水上目标检测、航运管理等具有重要意义.现有的水域分割方法^[2-5]一般是利用灰度作为特征,直接进行阈值化分割,然后再进行后处理.这种方法简单易于操作,对于比较简单的图像一般效果较好.但是,由于 SAR 成像的特殊性,SAR 图像受斑点噪声影响,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,且由于 SAR 图像中地物阴影及某些具有低雷达波反射率的地物存在,容易造成误分割,因此基于灰度信息的水域分割方法局限性很大,很难适用于 SAR 图像.针对这个问题,提出了小波能量和梯度相结合的水域分割方法.

1 SAR 图像中水陆的自适应分割

平静的水面容易造成镜面反射,因此它的反射率在整个波段内都很低,在雷达图像上呈现较暗、较均匀的黑色,没有明显的纹理.因此,本文中的水陆分割方法有2个部分:水域粗分割,水域细分割.首先以小波能量为特征对水域进行快速的粗分割,之后采用一个较小的面积阈值对粗分割后的水域进行后处理,去除一些小的噪声点;最后计

算各区域的平均梯度,并自适应地确定平局梯度的阈值,实现对水域的细分割.

1.1 水陆的粗分割

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^[6].由于小波变换^[1,8]具有良好的时频局部特征、尺度变化特征和方向特征等,在计算机视觉、数字图像处理等方面有广泛的应用,本文中采用小波能量计算 SAR 图像纹理特征,计算公式为

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

其中: $M \times N$ 代表子图像的大小; $s(x,y)$ 为子图像系数. Daubechies 小波是小波的一种,它具有很好的纹理性、正交性、紧支性和低复杂性,因此选用 Daubechies3 小波,对原始 SAR 图像每个像素的 $M \times N$ 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,然后用式(1)分别计算各子图像能量特征,作为当前中心象素点特征.

含有水域的图像一般都包含水域和陆地2部分,陆地上的地物一般比较复杂,包含植被、建筑物等,而且陆地上存在着与水域严重混淆的区域——地物的阴影,因此将图像分割成2类,陆地上会存在大量的误分割区域,尤其是当陆地上的阴影或者灰度和水域比较接近的地物大量存在时;如果将图像分割成4类,分割又过于精细,增加了分割水域的复杂度和运算量,因此,将原图粗分割成3类,水域的误分割最少,且计算量简单,对分割水域是最有利的.

* 收稿日期:2009-12-20

基金项目:国家“863”计划基金资助项目(2006AA12Z149);国家自然科学基金资助项目(40871209).

作者简介:文江平(1957—),男,研究员,博士生导师,主要从事雷达处理、应用技术研究.

对每一像素的小波能量特征^[9],采用快速模糊 C 聚类算法(FCM)将图像分成 3 类,得到水域的粗分割结果.

1.2 水陆的细分割

基于灰度阈值的分割方法,也往往会有误分割区域的存在,需要通过一些后处理来去除误分割区域.水域一般是面积较大的连通区域,有些学者^[3,5,7,10]提出了运用数学形态学的方法去除误分割区域,但该方法很难自适应选取形态学操作的基元,而且不能解决存在大片误分割区域的情况;还有些学者^[4]提出了设置面积百分比阈值剔除虚假水域区域的方法,但此方法也存在一些问题,如何选取阈值将直接影响分割结果,因为较大的阈值会在去除虚假水域区域的同时而可能去除掉真正的水域区域,反之,较小的阈值则不能完全剔除虚假区域,并且当陆地有大片区域被误分割为水域时,此方法失效.本文中利用小的面积百分比阈值剔除掉小的噪声点,然后对照原图,计算每个连通区域平均梯度,以平均梯度作为特征,利用类内方差最小的原则求得梯度阈值,实现对水域的细分割.

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

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{模板 A} & \text{模板 B} \end{matrix}$$

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 $f(x, y)$ 为点 (x, y) 处在原图中的灰度值.同理,垂直方向梯度幅值为

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

则点 (x, y) 处的梯度幅值为 $G(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$.

对粗分割得到的水域区域进行连通区域标记,计算每一个区域的平均梯度 $\text{avgGrads}[i]$,设待分类区域的平均梯度 avgGrads 的范围在 $[\text{gradsLow}, \text{gradsHigh}]$,阈值 T 将区域划分为 2 类,

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

则, $C_1 = [\text{gradsLow}, T]$, $C_2 = [T+1, \text{gradsHigh}]$. 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 2 类的类内方差为

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

使 σ^2 最小的 T 即为最佳平均梯度阈值 T^* .

如果某区域的平均梯度大于最佳阈值,则此区域不属于于水域区域;如果小于等于最佳阈值,则此区域属于于水域区域,从而实现了对于水域的细分割.

2 实验结果分析

SAR 图像 A 如图 1 a) 所示,来自美国 Sandia 实验室,大小为 1586×620 像素,是美国华盛顿地区 1m 分辨率 SAR 图像,图中地物情况比较复杂,水上有座桥梁、港口,陆地有复杂的人工建筑和植被等,其中包括很多地物的阴影,图 1 b) 是其水陆分割和原图叠加结果,其中白色区域即为水域区域,从结果可以看出,水陆分割较为准确,且陆地上不存在误分割.文献[11]中提出了一种改进的 OTSU 河流分割方法,对 OTSU 得到的阈值进行处理和偏移,得到一个最终阈值,采用单阈值法分割 SAR 图像中的河流.



a) SAR 图像 A 原图



b) SAR 图像 A 水陆分割结果和原图叠加



c) 改进的 OTSU 方法

图 1 SAR 图像 A 的检测结果及比较



图2 SAR 图像 B 的检测结果及比较

采用目标均匀性测度来衡量本文中分割方法的性能及抗噪能力^[12]。被分割图像的均匀性测度越大,分割的性能就越好。表1给出了本文中方法分割河流的均匀性测度和运行时间,从中可以看出,此分割方法分割性能好,均匀性测度均在0.9以上,高于文献[11]中提出的改进的 OTSU 方法;且速度较快,容易满足实时性要求。

表1 本文中方法分割性能及均匀性测度

图号	图像大小 (像素)	均匀性测度	
		本文中方法	改进的 OTSU
A	1 586 × 620	0.94	0.92
B	407 × 375	0.92	0.91
C	411 × 417	0.98	0.96
D	497 × 495	0.91	0.90

从分割及比较结果可以看出,本文中提出的方法不仅适用于地物情况比较简单、分辨率较低、噪声比较大的 SAR 图像,也适用于分辨率比较高、地物比较复杂的 SAR 图像,且分割结果准确,速度快实时性好,克服了噪声和阴影对水域分割的影响,为 SAR 图像水上目标的研究打下了很好的基础。

3 结束语

针对 SAR 图像中的水陆分割问题,提出了基于小波能量结合原图信息的自适应分割方法。方法的实验结果表明,本文中方法取得了较好的水陆分割效果,且适用于地物情况复杂的 SAR 图像,为 SAR 图像水上目标的研究提供了良好的基础。

参考文献:

[1] Daubechies I. The wavelet transform; time - frequency localization and signal analysis[J]. IEEE Trans On Information Theory, 1990,36(5):961 - 1005.
 [2] 聂短,赵荣椿,张艳宁. 一种从航空图片中自动检测桥梁的方法[J]. 西北工业大学学报,2003,21(5):599 - 602.

[3] 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[J]. 武汉理工大学学报,2005,29(2):230 - 233.
 [4] 吴樊,王超,张红,等. 基于知识的中高分辨率光学卫星遥感影像桥梁目标识别研究[J]. 电子与信息学报,2006,28(4):587 - 591.
 [5] 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[J]. 信号处理,2004,20(4):427 - 430.
 [6] 李映,史勤峰,张艳宁,等. SAR 图像的自动分割方法研究[J]. 电子与信息学报,2006,28(5):932 - 935.
 [7] 翟辉琴. 基于数学形态学的遥感影响水域提取方法[J]. 测绘科学,2006,31(1):22 - 24.
 [8] 王振华,陈杰,窦丽华. 基于空间多分辨率分析的小波变换图像分割方法[J]. 模式识别与人工智能,2008,21(2):193 - 198.
 [9] 薛笑荣,曾琪明,赵荣椿. 一种快速的 SAR 图像分类方法[J]. 计算机科学,2007,34(5):222 - 223,239.
 [10] 肖利平,曹炬,高晓颖. 复杂海地背景下的舰船目标检测[J]. 光电工程,2007,34(6):6 - 10.
 [11] 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[J]. 红外与毫米波学报,2002,21(5):385 - 398.
 [12] Lee S U, Chung S Y, Park R H. A comparative performance study of several global thresholding techniques for segmentation[J]. Computer Vision, Graphics, Image Processing, 1990,52:171 - 190.
 [13] 李禹,计科峰,粟毅. 合成孔径雷达图像分割技术综述[J]. 宇航学报,2008,29(2):407 - 412.
 [14] 窦建方,陈鹰,翁玉坤. 基于序列非线性滤波 SAR 影像水体自动提取[J]. 测绘通报,2008,9:37 - 45.
 [15] 谢刚,周成平,彭晓明,等. 基于区域能量特征的红外图像分割方法[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2003,31(9):80 - 81.
 [16] 左震,张天序,汪国有. 远距红外图像中桥梁目标识别方法研究[J]. 电子学报,1998,26(11):6 - 9.