

SAR 图像海岸线检测算法综述

欧阳越, 种劲松

(中国科学院电子学研究所微波成像技术国家重点实验室, 北京 100080)

摘要: 回顾近年来应用 SAR 图像进行海岸线及物体边界检测的几种方法, 并对各种方法进行了综述、总结和对比。

关键词: SAR; 海岸线检测; 边界检测

中图分类号: TN 958; TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2006)02-0001-03

0 引言

近年来,随着海岸线检测算法的不断发展,利用自动检测算法对 SAR 图像进行海岸线检测,使得可以用计算机来描述沿海区域、自动导航及地图绘制等工作。然而,从 SAR 图像中提取海岸线并非易事,由于风和海浪的影响,海面回波信号有时甚至大于陆地附近的回波信号,导致陆地与海洋对比度不强,边界不清晰。此外,斑点效应等其它因素的影响,也使得图像中海洋与陆地的对比度下降。这样,如果使用简单的方法(如设定灰度门限等)对海岸线进行检测,势必造成很大的困难^[1]。

1 各种方法简介

1.1 边界追踪算法

边界追踪算法由 J. Lee 和 I. Jurkevich 于 1990 年提出^[1]。这是一种较早的对 SAR 图像具有合理精确度的海岸线检测方法。在此方法中,首先分析海洋与陆地像素在图像中的正态分布,再根据均值与标准差设定一个阈值,区分图像中的海洋与陆地,得到二值图像;然后,设定边界追踪算法,从某一海岸线点出发,将海洋与陆地的边界轮廓标绘出来。

边界追踪算法是一种比较直观、简便易行的算法,而且可以得到连续的海岸线。但是,算法中得到的海岸线依赖于对图像中陆地、海洋的分离(即进行平滑、滤波的操作以及对阈值的选取),因此,存在相当大的局限性,一般在精度要求不高的情况下应用。但是,其检测海岸线点的思想却得到广泛的应用,有时也可作为高精度提取的步骤之一。

1.2 Markovian 分割法

Markovian 分割法是由 X. Descombes 等人于 1996 年提出的^[2],它是利用 Markovian 随机场的概念和模拟退火法提取海岸线。该算法先降低图像的分辨率,利用模拟退火法求解能量函数的最小值^[3],将图像中各像素点进行分类(海、陆地、低海浪地带、海滩),进而定义直角梯度算子,得到一个近似的粗边界,然后,恢复图像分辨率,继续在高分辨率图像中应用如上步骤,最终得到图像中的海岸线。

在此方法中,先对低分辨率的图像进行操作,这样可以降低斑点噪声的影响,使海洋和陆地进行较快的粗略分离。但是,用 Markovian 随机场的方法及模拟退火法对图像中的像素点进行分类,仍存在误差,而且计算量也比较大。

1.3 活动轮廓法

活动轮廓法(Active Contour),也称 Snake 算法,是一种基于人类视觉特性提出的一种算法^[4]。在算法中,先人为地在图像感兴趣区给出一条初始轮廓(这条轮廓线是由若干个点相连而成),然后,再设计一个算法使轮廓线在图像中运动,最终逼近图像中物体的边界。驱使轮廓线运动机理在于最小化一个能量泛函,该泛函由两部分组成:一部分控制轮廓线的光滑性,另一部分则控制轮廓线向图像中的物体边缘运动。经过若干次迭代,不断地改变轮廓线,就可以使轮廓线与图像中物体的边缘重合。活动轮廓算法的提出,为图像中物体边缘检测研究,提出了一种新思路。活动轮廓法原理如图 1 所示。

活动轮廓算法可以得到图像中各个物体的轮廓,并且最后的轮廓是受较高层的过程控制的。但是,由于活动轮廓法的稳定性不佳、对初始轮廓线的位置要求比较高等缺点,只能应用于简单图像的

检测。因此，在后来若干年间，很多人都对它在检测效果和检测速度上进行了改进^[5-7]，取得了较好的效果。

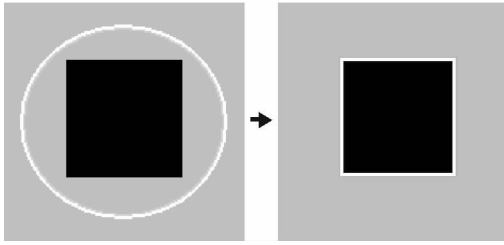


图 1 活动轮廓法原理示意图
(左: 初始轮廓线; 右: 最终检测结果)

1.4 水平截集算法

1995 年, Ravikanth Malladi, James Sethian 和 Baba Vemuri 根据 1988 年 Stanley Osher 和 James Sethian 给出的界面传播^[8]理论, 提出了“水平截集”(Level Set)^[9]算法。此算法沿袭了活动轮廓法的特点, 因此, 也被称为几何型活动轮廓法。在此算法中, 同样需要给出初始轮廓线, 而且对初始轮廓线位置的要求比活动轮廓法要求的低。在迭代计算中, 二维的轮廓线被映射到三维的曲面中, 如图 2 所示, 控制三维曲面运动, 以达到控制二维曲线运动的目的。

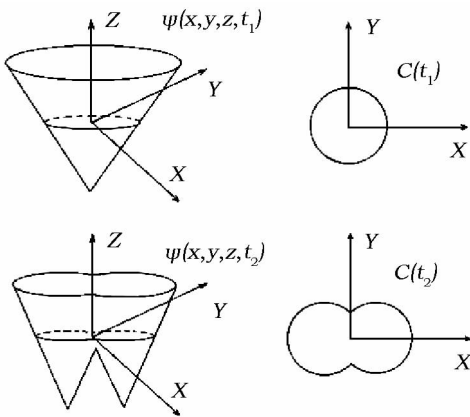


图 2 水平截集法原理示意图
(上: 三维曲面和对应的二维曲线;
下: 三维曲面和对应的二维曲线)

虽然映射使计算方式变得复杂, 但却解决了活动轮廓法中拓扑自适应能力差(即: 轮廓曲线不能合并分离)的缺点, 有更强的实用性。水平截集算法也被应用于 SAR 图像海岸线检测^[10]、医学图像检测及人脸特征提取等方面^[11]。

水平截集算法拓扑自适应能力强, 轮廓曲线可以自动地分离或合并, 无需额外处理。给出一个简单的初始轮廓, 就可以得到图像中物体的边界。并且由于二维曲线被镶嵌到三维曲面中去, 使方法中

数值计算的求解是稳定的, 存在唯一解。但是, 由于算法在三维曲面中迭代, 导致计算量大, 复杂度高。

1.5 Mumford - Shah 方法

21 世纪, 图像中边界检测方法在检测效果上有了新的发展。2000 年和 2001 年 A. Tsai、A. Yezzi 和 A. Willsky 提出了利用 Mumford - Shah 泛函进行边界检测方法^[12,13]。Mumford - Shah 泛函是由 Mumford 和 Shah 利用 Bayes 定理^[14], 给出的分片光滑图像模型应满足的全局能量泛函。该能量泛函包含了图像估计、图像光滑和图像分割任务的含义。在 Mumford - Shah 函数法中, 除了具有水平截集算法的优点外, 还弥补了水平截集算法的不足, 即初始轮廓线可以任意给出。轮廓线不再单一朝一个方向运动, 而是可以根据图像的具体情况, 自动地向图像中物体的边界运动。

Mumford - Shah 方法抗噪能力强, 其中有一个图像光滑的过程, 曲线进化是在该光滑图像上进行。方法中大大降低了对初始轮廓位置的限定, 而且轮廓曲线具有拓扑自适应能力, 可以自动分离或合并, 无需额外处理。但是, 由于在找边界的同时去掉了图像的噪声, 虽然提高了抗噪性能, 却降低了边界定位的精度, 导致边界定位不准确。噪声越大, 边界定位的精度越差。此外, 此方法计算量较大, 影响检测的速度。该方法只能处理背景比较简单的图像(因为当背景复杂时, 光滑图像所形成的 Mumford - Shah 流可能不能正确引导轮廓曲线的运动), 影响了方法的实用性。

1.6 平均密度法

2001 年, Tony F. Chan and Luminita A. Vese 又根据水平截集算法及 Mumford - Shah 函数法的思想提出了平均密度法^[15]。该方法检测边界时不是采用梯度检测, 而是计算曲线内外的平均灰度控制曲线的运动。因此, 可以很好地检测出那些梯度变化不明显的边界。此方法对于噪声较大的图像, 检测的效果仍非常好。由于在检测边界时不是采用梯度检测, 因此, 可以很好地检测出那些梯度变化不明显的边界。在检测过程中, 采用一条初始曲线, 也可以检测出图像中物体的内边界, 而无需将初始曲线包围被检测的物体。

2 各种方法比较

从上述各种方法的介绍, 我们可以比较各种方法的特点, 如表 1 所示。

表 1 各种方法特点比较

方法名称	应用范围	抗噪能力	复杂度
边界追踪算法	一般应用于精度要求不高的情况	较低	较低
Markovian 分割法	一般应用于精度要求不高的情况	较低	较高
活动轮廓法	仅能检测比较简单的图像	较低	较低
水平截集法	可应用于比较复杂的 SAR 图像中	一般	较高
Mumford - Shah 函数法	处理背景比较简单的图像	较高	很高
平均密度法	仅能检测两种分类情况的图像	较高	很高

对于 SAR 图像海岸线检测而言,每种检测算法对不同类型的图像都会产生不同的检测效果。对于某种类型的图像,可能某种复杂度较高算法的检测速度还要优于某种复杂度较低的算法。因而,在实际应用中,可对检测图像的特点、检测精度的要求等方面进行分析,选择适合的检测算法。

3 结论

从各种方法在检测效果、抗噪能力和复杂度等方面来看,各种方法有着各自不同的应用特点,在实际检测过程中,应根据检测的要求选择不同的方法。一般来说,边界追踪算法、Markovian 分割法和活动轮廓法由于其检测效果一般而较少独立应用;平均密度法多用于检测梯度变化不明显的图像(如星、云等)。相比之下,水平截集法和 Mumford - Shah 函数法有较大的应用空间,可在控制函数和检测速度上对方法进行改进,使其更好地应用于工程中。

参考文献

[1] Jong - Sen Lee , Igor Jurkevich. Coastline Detection and Tracing in SAR Image [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1990,28(4):662 - 668.

[2] Xavier Descombes, Miguel Moctezuma, Henri Maitre, et al. Coastline detection by a Markovian segmentation on SAR images [J]. Signal Processing, 1996,5:123 - 132.

[3] Kirkpatrick S, Gellatt C, Vecchi M. Optimization by simulated annealing [J]. Science, 1983,220:671 - 680.

[4] Michael Kass, Andrew Witkin, Demetri Terzopoulos. Snake: Active Contour Models [A]. In Proceedings of First International Conference on Computer Vision [C]. London, 1987,259 - 269.

[5] Amini A A, Tehrani S, Weymouth T E. Using dynamic programming for minimizing the energy of active contours in the presence of hard constraints [A]. In Proceedings of Second International Conference on Computer Vision [C]. 1988,95 - 99.

[6] Donna J. Williams and Mubarak Shah. A fast algorithm for active contours and curvature estimation [J]. CVG IP: Image Understanding, 1992,55(1):14 - 26.

[7] Wong Y Y, Yuen P C, Tong C S. Segmented Snake for Contour Detection [J]. Pattern Recognition, 1998,31(11):1669 - 1679.

[8] Stanley Osher, James Sethian. Fronts propagating with Curvature - Dependent speed: algorithms based on Hamilton - Jacobi formulations [J]. Journal of Computational Physics, 1988,79:12 - 49.

[9] Ravikanth Malladi, James Sethian, Baba Vemuri. Shape modeling with front propagation: a level set approach [J]. IEEE Transactions on PAMI, 1995,17(2):158 - 175.

[10] 夏利民,谷士文,沈新权. 基于活动轮廓的多分辨率自适应图像分割 [J]. 小型微型计算机系统, 2001,22(2):161 - 164.

[11] 朱付平,田捷,林瑶,等. 基于 Level Set 方法的医学图像分割 [J]. 软件学报, 2002,13(9):1866 - 1872.

[12] Anthony Tsai, Arun Yezzi, Allen Willsky. A curve evolution approach to smoothing and segmentation using the Mumford - Shah functional [A]. In Proc. IEEE Conf. Computer Vision Pattern Recognition [C]. 2000,6:235 - 247.

[13] Anthony Tsai, Arun Yezzi, Allen Willsky. Curve evolution implementation of the Mumford - Shah functional for image segmentation, denoising, interpolation, and magnification [J]. IEEE Trans. Image Processing, 2001,10(8):1169 - 1185.

[14] Mumford D, Shah J. Optimal approximations by piecewise smooth functions and associated variational problems [J]. Commun. Pure Appl, 1989,42(4):577 - 685.

[15] Tony F Chan, Luminita A Vese. Active contours without edges [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001,10(2):266 - 277.

A REVIEW OF COASTLINE DETECTION ON SAR IMAGERY

OUYANG Yue, ZHONG Jin - song

(Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, National Key Laboratory of Microwave Imaging Technology, Beijing 100080, China)

Abstract: Coastline detection in Synthetic Aperture Radar (SAR) images plays a significant role in various sorts of marine application such as autonomous navigation and geographic mapping. Several methods used in recent years for applying SAR imagery to coastline detection and edge detection are reviewed, summarized and compared with each other in this paper. In addition, future research and development trend is predicted.

Key words: SAR; Coastline detection; Edge detection

第一作者简介: 欧阳越(1977 -),男,硕士,研究实习员,目前主要从事 SAR 图像处理方面的研究工作。

(责任编辑: 肖继春)