

赵泉华, 胡广臣, 李玉. 基于G0分布的SAR图像水边线提取方法[J]. 地理科学, 2017, 37(7): 1120-1126. [Zhao Quanhua, Hu Guangchen, Li Yu. G0 Distribution Based on Water Line Extraction from SAR Image. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(7): 1120-1126.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2017.07.018

基于G0分布的SAR图像水边线提取方法

赵泉华, 胡广臣, 李玉

(辽宁工程技术大学测绘与地理科学学院遥感科学与应用研究所, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 为了更加精准地从合成孔径雷达(SAR)图像中提取水边线, 提出基于G0分布的SAR图像水边线提取方法。首先, 将SAR图像域划分为大小相等的子块, 并假设每个子块内像素强度服从独立同一的G0分布; 利用矩估计方法得到对应每个子块的粗糙度和散射性参数; 根据设定的参数阈值, 可划分出粗略的水域, 并确定该区域的几何中心; 以该几何中心为圆心, 向四周做射线, 保留经过陆地区域的射线; 利用似然函数确定每条射线上的水-陆分界点, 依次连接分界点, 进而实现SAR图像水边线提取。采用本文方法, 分别对模拟和真实SAR图像进行水边线提取实验。定性和定量结果表明: 采用基于G0分布的SAR图像水边线提取方法能够有效地克服斑点噪声的影响。

关键词: 水边线提取; G0分布; SAR图像; 斑点噪声

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2017)07-1120-07

水边线是陆地和水域的交界线^[1], 由于人类活动和自然环境变化等影响, 水边线不断变化, 直接影响到人类对水域资源的开发和利用^[2-3]。因此, 实现快速、准确、实时的水边线监测有重要意义。合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)因其全天候、全天时、不受烟尘、云雾限制等优点^[4], 已成为国土资源与环境调查中的重要技术手段。但由于SAR图像固有的斑点噪声^[5], 使得水边线难以准确判定。因此, 利用SAR提取水边线是图像处理研究领域中的热点和难点。

SAR图像中水边线为即时水线, 在图像中表现为边缘特征, 所以图像边缘检测方法是SAR图像水边线提取最常见的方法。经典的边缘检测算子包括Canny算子、Sobel算子、Roberts算子、Prewitt算子和Laplacian算子等。虽然这些算子具有算法简单、运算速度较快等优点, 但是对于含有大量斑点噪声的SAR图像, 以上方法均不能取得较好的水边线提取结果^[6]。

在乘积模型下建立斑点噪声的统计模型可以更好地描述SAR图像中像素强度或幅度的分布特

性, 常见的统计模型有Gamma分布和K分布^[7]。Gamma分布参数估计容易, 但只适合均匀区域的多视强度图像; K分布适合均匀、粗糙区域多视、单视强度、幅度图像, 但其参数估计难。Frery等由乘性噪声模型推导出G0分布^[8-13], 其参数对被测区域的地表复杂程度十分敏感, 不仅适合对均匀区域、粗糙区域及极度粗糙区域进行精确建模, 且不包含复杂的Bessel函数, 因此计算简单, 是一种参数更少, 更简单实用的统计分布模型^[8], 且对强度、幅度图像均适合。根据G0分布估计出的相关参数能够准确地刻画水域和陆地区域, 并且可以从数据中获取更多的细节信息。

1 算法描述

1.1 SAR幅度图像的G0分布模型

对幅度图像进行建模, 已知SAR图像 $z = \{z_i, i = 1, 2, \dots, N\}$, 其中, i 为像素索引, z_i 为像素 i 的幅度, N 为总像素数。在统计学的理论框架下, z 可建模为随机场 $Z = \{Z_i, i = 1, 2, \dots, N\}$, 其中, Z_i 为表征第 i 个像素点像素幅度的随机变量。本文利用G0分

收稿日期: 2016-09-20; 修订日期: 2016-11-26

基金项目: 国家自然科学基金(41301479、41271435)、辽宁省自然科学基金(2015020090)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41301479, 41271435), Natural Science Foundation of Liaoning Province(2015020090).]

作者简介: 赵泉华(1978-), 女, 河北承德人, 博士, 副教授, 博导, 主要研究方向为随机几何、空间统计学、模糊集理论等在遥感图像建模、解译及其在海洋环境遥感中的应用。E-mail: zhaquanhua@intu.edu.cn

布建模SAR幅度图像的斑点噪声:

$$f_{\omega}(z) = \frac{2n^n(n-\alpha)}{\gamma^\alpha \Gamma(-\alpha) \Gamma(n)} \frac{z^{2n-1}}{(\gamma + nz^2)^{n-\alpha}} \quad (1)$$

式中, n (取正整数) 为有效视数; α (< 0) 为形状参数, 表示粗糙度; γ (> 0) 为尺度参数, 和散射微波的振幅有关。

G0分布的特点之一是参数 α 随地表粗糙程度的变化而变化, α 值越接近0, 即 α 越大, 表明该区域灰度值变化越大, 该区域越粗糙, 如城市地区, 而在同质区域 α 值很小, 如水域、牧场或农作物区域; γ 参数是尺度参数, 表示该区域的散射能量, 描述地物的散射性^[13]。地物变化会引起粗糙度和散射能量的变化。根据 γ 值可以对图像进行初始化分, 得出粗略的水域和陆地区域。

1.2 基于G0分布的水边线提取模型

将图像划分为大小相等的子块, 并假设每个子块都服从独立同一的G0分布; 利用矩估计的方法估计出每个子块的粗糙度和散射性; 给定阈值以划分粗略的水域, 并确定该区域的几何中心; 从几何中心向周围做射线, 利用似然函数 L 确定每条射线上的水-陆分界点, 并将其依次连接, 从而实现SAR图像水边线提取。算法流程如图1所示。

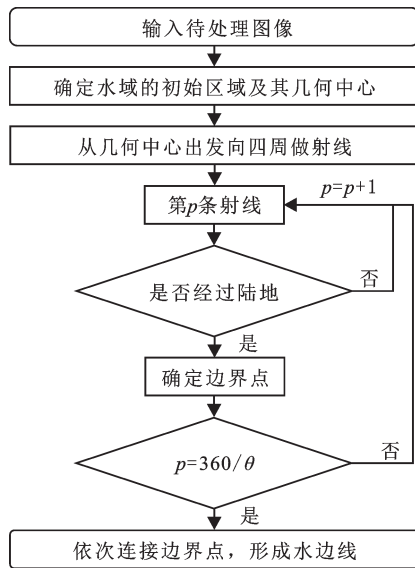


图1 水边线提取流程

Fig.1 Process of water line extraction by SAR

1.2.1 划分粗略的水域

为了划分粗略的水域, 需将图像分为大小相同的子块, 并估计出子块的相关参数。生成一个

512×512 像素大小的标准图像, 如图2a所示。图2b为其对应的模拟高斯SAR图像, 以较暗区域代表水域, 以较亮区域代表陆地。将模拟图像划分成大小为64×64像素的子块, 如图2c所示。通过矩估计求出每个子块的 α 和 γ 的估计值^[14-16]。假设 $Z \sim G0(\alpha, \gamma, n)$, 可推出其矩估计如下:

$$E_{\omega}(Z^r) = \left(\frac{\gamma}{n}\right)^{r/2} \frac{\Gamma(-\alpha - r/2) \Gamma(n + r/2)}{\Gamma(-\alpha) \Gamma(n)} \quad (2)$$

式中, $E_{\omega}()$ 是矩的表达式, r ($< -\alpha$) 是其阶数。通过大量的实验证明, 利用1/2和1阶矩估计出的参数可以更好地对水域和陆地进行分类。 α 和 γ 的估计值表示如下^[17]:

$$\begin{cases} \hat{\alpha} = -1 + \frac{n \times m_1}{n \times m_1 - (n + 1/2)m_{1/2}^2} \\ \hat{\gamma} = (-\hat{\alpha} - 1) \times m_{1/2} \end{cases} \quad (3)$$

式中, m_1 和 $m_{1/2}$ 分别表示1阶矩和1/2阶矩。根据(3)式求出每个子块的参数估计值。对 γ 设定阈值 T , 将 γ 估计值小于 T 的子块划分为水域。将子块的 γ 估计值图像恢复成原图像大小。对水域所覆盖像素的横纵坐标进行平均并取整, 确定该区域的几何中心, 记为 o 。如图2d所示, 黑色表示陆地区域, 白色表示水域, 位置 o 表示水域的几何中心。

1.2.2 确定边界点

水-陆边界点所在像素周围区域的粗糙度和反射性存在较大变化。为了找到边界点, 以几何中心 o 为起点, θ 为2条相邻射线的间隔角度, 向周围做射线。将第 p 条射线记为 s^p , $1 \leq p \leq 360/\theta$, 每条经过陆地区域的射线上都会有一个边界点。设 s^p 由该射线经过的 m_p 个点元素组成, 记为 $s^p = (z_1, \dots, z_{m_p})$ 。以第 p 条射线 s^p 所经过每个像素的8邻域为样本, 估计其参数值, 记为该像素的参数值。 α^p 表示第 p 条射线上所有像素的 α 值的集合, γ^p 表示第 p 条射线上所有像素的 γ 值的集合, 记 $\alpha_r = \min(\alpha^p)$, $\gamma_r = \min(\gamma^p)$, $\alpha_b = \max(\alpha^p)$, $\gamma_b = \max(\gamma^p)$, 参数 (α_r, γ_r) 和 (α_b, γ_b) 分别代表水域和陆地区域。为了判定每条射线上的水-陆边界点, 引入下列似然函数^[18]:

$$L = \sum_{i=1}^j \ln \left(\frac{2n^n(n-\alpha_r) z_i^{2n-1}}{\gamma_r^{\alpha_r} \Gamma(-\alpha_r) \Gamma(n) (\gamma_r + n z_i^2)^{n-\alpha_r}} \right) + \sum_{i=j+1}^{m_p} \ln \left(\frac{2n^n(n-\alpha_b) z_i^{2n-1}}{\gamma_b^{\alpha_b} \Gamma(-\alpha_b) \Gamma(n) (\gamma_b + n z_i^2)^{n-\alpha_b}} \right) \quad (4)$$

将参数 (α_r, γ_r) 和 (α_b, γ_b) 带入到似然函数 L 中, j 依次取1到 m_p , 求出其对应的所有 L 值。

似然函数 L 在水域和陆地区域增速不同, 在水

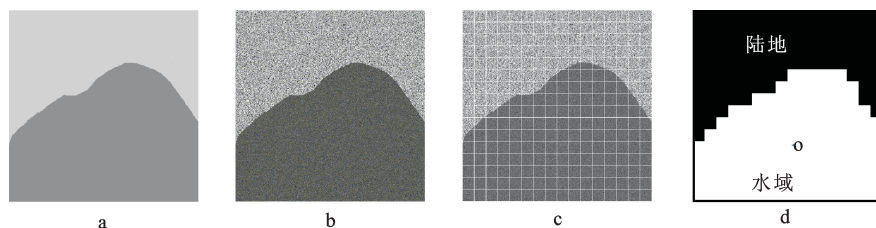


图2 模拟图像水域的初始区域

Fig.2 Simulated image and initial water area

域增速较慢,即相邻两点 L 差值较小,在陆地区域增速快,即相邻两点的 L 差值较大,求出从1到 j 的平均增速为,

$$v_{j1} = \frac{L(j) - L(1)}{j - 1} \quad (5)$$

j 到终点 m_p 的平均增速为,

$$v_{j2} = \frac{L(m_p) - L(j)}{m_p - j} \quad (6)$$

式中, $L(m_p)$ 表示第 m_p 个像素似然函数 L 的值, $L(j)$ 表示第 j 个像素似然函数 L 的值。

当 $|v_{j1} - v_{j2}|$ 达到最大时,第 j 个像素为水-陆边界点,确定该点的像素位置,记为射线 s^p 上的边界点。重复上述操作,确定所有射线上的边界点,去除错误点,依次连接边界点,得出水边线。

2 实验与结果

为了验证本文算法的可行性与有效性,分别对模拟和真实SAR图像进行水边线提取实验。

2.1 模拟SAR图像

利用G0算法对模拟SAR图像(图2b)进行实

验,并与其它5种常用的典型边缘提取算法进行对比,对比算法分别为:Canny算子、Sobel算子、Roberts算子、Qiu算法^[19]、ROA算法^[20]。图3a1~a6分别为基于上述6种算法的水边线提取结果二值图像,其中黑色像素为提取的边缘像素;图3b1~b6分别为对应提取的水边线(红色像素)与原图的叠加图。通过目视判读可以看到,本文算法的提取结果较好,有效克服了噪声影响,连续、准确地提出模拟SAR图像的水边线,结果与实际水边线高度吻合;Canny算子的实验结果稍差,水边线粗糙不连续,且周围有少量噪声;Sobel、Roberts算子、Qiu算法和ROA算法实验结果均有较多噪声,虽然增大阈值可以减少噪声,但是同时也加剧了水边线不连续现象,为此不可行。

根据上述实验结果可知,本文算法和Canny算子的提取结果明显优于其它4种对比算法。为了进一步证明本文算法的有效性,分别对本文算法和Canny算子的提取结果进行精度评价。首先,对提取结果建立缓冲区,如图4所示,其中,图4a和b分别为本文算法和Canny算子实验结果的缓冲区分析示意图,图中红色表示算法提取结果,蓝色表

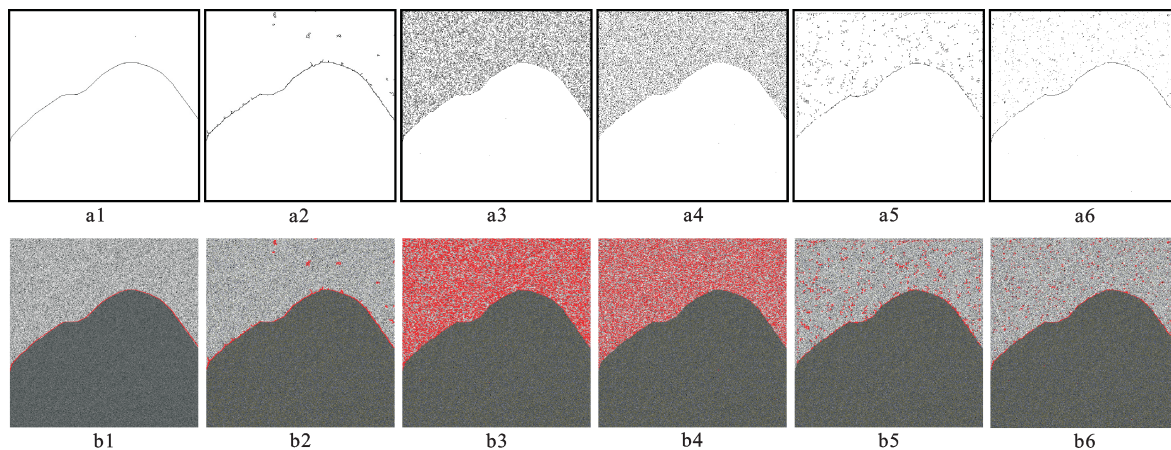


图3 实验结果及原始图像叠加轮廓线结果

Fig.3 Experimental results and the result of superposition of original image contour line

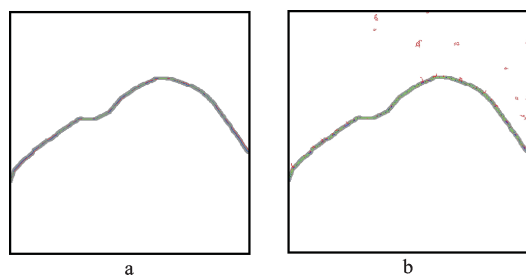


图4 缓冲区分析示意图

Fig.4 Analysis schematic buffer

示真实边缘,绿色表示实验结果与真实边缘的重合部分。然后,据此给出精度评价指标(见表1), B_0 、 S_0 表示实验结果与真实边缘重合的点所占百分比, B_x ($x=1, 2, 3$)表示落在第 x 个缓冲区的点所占百分比, S_x 表示落在前 x 个缓冲区内的点的累加百分比。由表1可知,本文算法的最终结果与标准轮廓线重合率为48.01%,落在缓冲区内的点占51.99%;Canny算子的最终结果和原始轮廓线重合率为50.81%,落在缓冲区内的点共占25.37%,有23.82%的点在缓冲区以外的区域。由此进一步精确地证明了本文算法的有效性和准确性。

表1 缓冲区精度分析(%)

Table 1 Buffer precision evaluation

算法	B_0 / S_0	B_1 / S_1	B_2 / S_2	B_3 / S_3
G0分布	48.01 / 48.01	42.03 / 90.04	9.42 / 99.46	0.54 / 100
Canny算子	50.81 / 50.81	18.94 / 69.75	3.86 / 73.61	2.57 / 76.18

2.2 真实SAR图像

图5为6幅真实SAR图像,该组图像均为HH极化方式,其中,较亮区域为陆地,较暗区域为水域。图5a大小为512×512像素,分辨率为30 m×30 m,陆地区域有绿地和农作物。图5b、c、d大小为1 024×1 024像素,其中,图5b分辨率为30 m×30 m,陆地区域为城市;图5c、d分辨率为20 m×20

m,陆地区域多为山脉。图5e、f大小分别为256×256像素、128×128像素,分辨率均为30 m×30 m,均表示内陆水域。

分别使用本文算法和5种对比算法对图5中6幅真实SAR图像进行实验。将水边线与原始图像叠加显示(图6)。能够更加直观地反应本文算法较其它5种对比算法的优越性。

当陆地区域为绿地和农作物,分布均匀,其灰度值与水域较为相近,粗糙度较为相似,本文算法根据水域与陆地的反射特性的不同,能够有效提取出水边线;Canny算子、ROA算法将陆地区域中与水域灰度值相似的地区(绿地)边缘误分为水边线,形成虚假水边线,导致提取结果较差;虽然ROA算法通过增大阈值减少了噪声,但是同时也加剧了真实水边线的不连续现象;Sobel算子、Roberts算子、Qiu算法结果基本不能够形成水边线,且存在大量虚假水边线,如图6a1~a6所示。当陆地区域为城市时,地物类型较为复杂,粗糙度较大,而水域粗糙度较小,且两者反射特性不同,所以本文算法提取结果较好,图中陆地区域的小突起也能够被有效区分;Canny算子和ROA算法通过调整阈值,可减少虚假水边线,结果稍好;Sobel算子、Roberts算子、Qiu算法调整阈值,形成水边线的时候,城市内部出现大量虚假水边线,结果较差,如图6b1~b6所示。当陆地区域为山脉时,山脊线两侧灰度值差异较大,背阳面与水域灰度值较为相似,目视上可能会误以为是海浪,而且水域有深有浅,明暗不一,但本文算法未受其影响,依然能够有效提取水边线;而其他对比算法均将山脉背阳面误以为是水域,将山脊线误分为水边线,如图6c1~c6和d1~d6所示。此外,由于内陆水域周围地物分布复杂,噪声大,且陆地和水域边界较为模糊,本文算法综合其粗糙度及反射特性,能够实现水边线的有效提取;对比算法仅依据其灰度值,不能有效区分陆地与水域,导致提取结果极差,即使水域内干净无

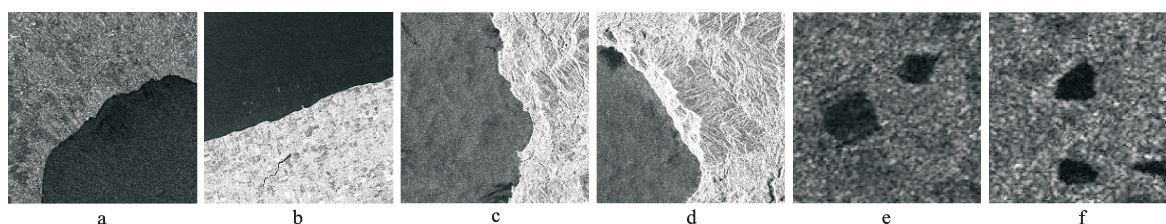
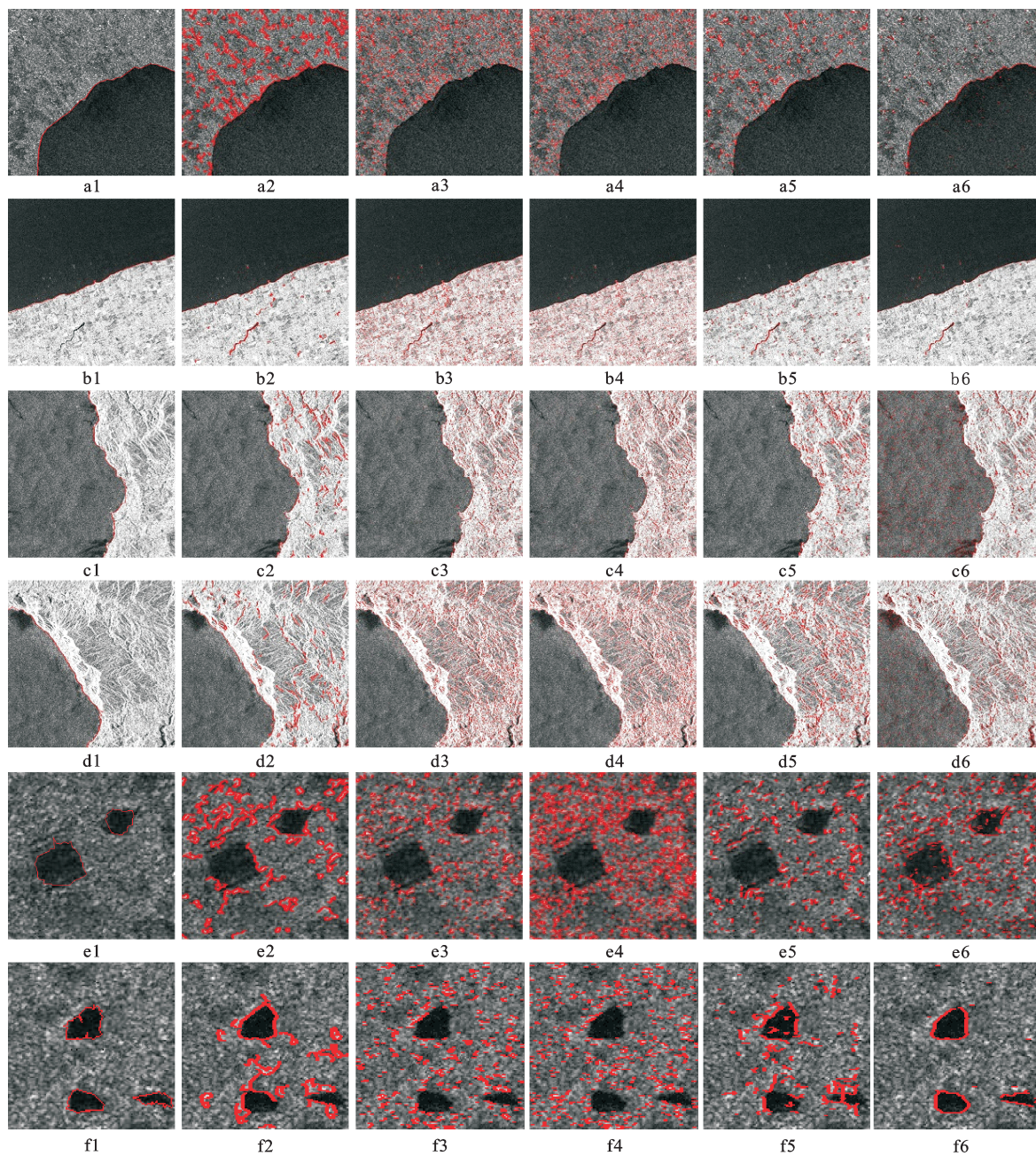


图5 真实SAR图像

Fig.5 The real SAR image



注: a1~f1、a2~f2、a3~f3、a4~f4、a5~f5、a6~f6 分别为本文算法、Canny算子、Sobel算子、Roberts算子、Qiu算法、ROA算法提取的水边线(红色像素)和原图的叠加图。

图6 轮廓线与原始图像叠加结果

Fig.6 Results of original image outline overlay

噪声时,也只有ROA算法结果相对较好,但依然不如本文算法,如图6e1~e6和f1~f6所示。

综上所述,本文算法利用水域和陆地间粗糙度和反射性相差较大的特点,能够有效克服SAR图像中斑点噪声的影响,不受陆地区域地物类型变化的干扰,得出准确、连续的水边线。

3 结论

利用本文算法分别对模拟和真实SAR图像进行水边线提取实验,并对其结果进行了定量和定性分析,以评价水边线提取精度。主要结论如下。

1) 水边线往往呈现非规则性,实验结果表明

基于G0分布的水边线提取方法,能够较精准地提取这些非规则形态的水边线。

2) 由于受SAR图像固有斑点噪声和水岸其它地物的影响,传统边缘检测算法提取的水边线多呈现变形、不连续等现象;利用G0分布建立的SAR图像模型,可以有效估计水域及水岸地物的粗糙度和散射性参数,并能降低斑点噪声的影响。由于水域及水岸地物参数有显著的差异,因此划分结果受水岸地物的影响较小,进而可以有效地划分出水域和陆地,最终得到精准水边线。

3) 在提取的水边线基础上,可以进一步计算水域的面积、周长等特征,为有关部门的水域调查提供更多可靠的数据支持,因此提出算法具有重要理论意义和实用价值。

参考文献(References):

- [1] 索安宁, 曹可, 马红伟, 等. 海岸线分类体系探讨[J]. 地理科学, 2015, 35(7): 933-937. [Suo Anning, Cao Ke, Ma Hongwei et al. Discussion on classification system of coastline. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(7): 933-937.]
- [2] 张汉女. 基于SVM的海岸线提取方法研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2010. [Zhang Hannv. Coastline extraction using support vector machine from remote sensing image. Changchun: Master Dissertation of Northeast Normal University, 2010.]
- [3] 孙伟, 陈诚. 海岸带的空间功能分区与管制方法——以宁波市为例[J]. 地理研究, 2013, 32(10): 1878-1889. [Sun Wei, Chen Cheng. Spatial function regionalization and spatial governance of the coastal zone: A case study in Ningbo City. *Geographical Research*, 2013, 32(10): 1878-1889.]
- [4] 赵泉华, 王玉, 李玉. 利用SAR影像区域分割方法提取海洋暗斑特征[J]. 地理科学, 2016, 36(1): 121-127. [Zhao Quanhua, Wang Yu, Li Yu. Feature extraction of dark spot based on the SAR image segmentation. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(1): 121-127.]
- [5] 郎丰铠, 杨杰, 李德仁. 极化SAR图像自适应增强Lee滤波算法[J]. 测绘学报, 2014, 43(7): 690-697. [Lang Fengkai, Yang Jie, Li Deren. An adaptive enhanced Lee speckle filter for polarimetric SAR image. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2014, 43(7): 690-697.]
- [6] 冯永玖, 刘丹, 韩震. 遥感和GIS支持下的九段沙岸线提取及变迁研究[J]. 国土资源遥感, 2012, 24(1): 65-69. [Feng Yongjiu, Liu Dan, Han Zhen. Shoreline extraction and change analysis of the Jiuduansha islands with the support of remote sensing and GIS technologies. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2012, 24(1): 65-69.]
- [7] 高贵. SAR图像目标ROI自动获取技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2007. [Gao Gui. The research on automatic acquirement of target's ROI from SAR imagery. Changsha: Doctoral Dissertation of National University of Defense Technology, 2007.]
- [8] Frery A C, Muller H J, Yanasse C C F et al. A model for extremely heterogeneous clutter[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1997, 35(3): 648-659.
- [9] Freitas C C, Frery A C, Correia A H. The polarimetric G distribution for SAR data analysis[J]. *Environmetrics*, 2005, 16(1): 13-31.
- [10] Mejail M E, Frery A C, Jacobo-Berlles J et al. Approximation of distributions for SAR images: proposal, evaluation and practical consequences[J]. *Latin American Applied Research*, 2001, 31(2): 83-92.
- [11] Mejail M E, Jacobo-Berlles J C, Frery A C et al. Classification of SAR images using a general and tractable multiplicative model[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(18): 3565-3582.
- [12] Gambini J, Mejail M E, Jacobo-Berlles J et al. Feature extraction in speckled imagery using dynamic B-spline deformable contours under the model[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(22): 5037-5059.
- [13] Gambini J, Mejail M E, Jacobo-Berlles J et al. Accuracy of edge detection methods with local information in speckled imagery[J]. *Statistics and Computing*, 2008, 18(1): 15-26.
- [14] Vasconcellos K L P, Frery A C, Silva L B. Improving estimation in speckled imagery[J]. *Computational Statistics*, 2005, 20(3): 503-519.
- [15] Manski C F. Analog estimation methods in econometrics[J]. *Econometric Theory*, 1990, 6(2): 268-272.
- [16] Héctor Allende, Alejandro C Frery, Jorge Galbiati et al. M-estimators with asymmetric influence functions: The distribution case[J]. *Arquivos De Gastroenterologia*, 2006, 47(3): 297-300.
- [17] 周鑫. 基于EM算法的G0分布参数最大似然估计[J]. 电子学报, 2013, 41(1): 178-184. [Zhou Xin. An EM algorithm based maximum likelihood parameter estimation method for the G0 distribution. *Acta Electronica Sinica*. 2013, 41(1): 178-184.]
- [18] Frery A C, Cribari-Neto F, de Souza M O. Analysis of minute features in speckled imagery with maximum likelihood estimation[J]. *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 2004, 2004(16): 1-16.
- [19] Qiu P. Image processing and jump regression analysis [J]. *Journal of the American Statistical Association*, 2005, 101(476): 312-313.
- [20] Touzi R, Lopes A, Bousquet P. A statistical and geometrical edge detector for SAR images[J]. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 1988, 26(6): 764-773.

G0 Distribution Based on Water Line Extraction from SAR Image

Zhao Quanhua, Hu Guangchen, Li Yu

(Institute for Remote Sensing Science and Application, School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning, China)

Abstract: The water line is the demarcation line between land and sea areas. It is important interaction zone for global ecosystem conservation. As a result, it is vital that the rapid, accurate, real-time extraction of water line. Remote sensing solutions using Synthetic Aperture Radar (SAR) are playing an increasingly important role in monitoring water line and have getted much more attention from scholars and related department around the world. The sensor has two types: satellite SAR and airborne SAR. Satellite SAR has many advantages, for instance wide range observation, timely data available and all weather operation. As a result, it is a most suitable sensor for monitoring water line in marine environments. At present, the commonly used satellite SAR sensors for this purpose including Seasat SAR, Jers-1 SAR, Sentinel-1 SAR, and so on. In the SAR images, water line usually shows the edge characteristic, so the edge detection based algorithms are the most commonly used in coastline extraction. The classical edge detection operators including Canny operator, Sobel operator, Roberts operator, Prewitt operator and Laplacian operator, and so on. The operators have some advantages such as simple, fast speed, but they always effected by speckle noise inherent in SAR images, as a result, they can not obtain accurate water line results. So noise is a major issue for the task of boundary detection by the SAR images. Instead of combating the noise, we use a technique for boundary detection in SAR images based on the statistical properties of speckled data. The G0 distribution is a special form of G model, its parameters are very sensitive to the surface roughness and succeeds in characterizing a wide range of areas as sea, mountain chain and urban areas in speckled images. And the parameters required for boundary detection is extracted with moment estimation. Moreover, relative to G distribution, G0 distribution does not include the complex Bessel function, and is a kind of simple statistical distribution model with less parameter. According to the estimated parameters of G0 distribution, the marine and land areas can accurately be separated. In order to extract the water line from SAR image, a G0 distribution based algorithm is proposed in the article. First, the domain of SAR image is divided into a set of sub-blocks with the same size, and the grayscales of pixels in each sub-block are assumed to be identical and independent G0 distribution. The roughness of each sub-block and scatter shot parameters of the distribution are obtained with moment estimation. By thresholding the roughness parameter, the rough sea area can be divided, and then its geometric center is determined. On the rays started at the geometrical center, the cut-off points between sea and land are located with likelihood function. Consequently, the water line is formed by linking all the cut-off points. To prove its feasibility, a process of water line extraction has been tested with simulated and real SAR images by the method. Qualitative and quantitative results show that the proposed method can extract water line from SAR image effectively and efficiently.

Key words: water line extraction; G0 distribution; Synthetic Aperture Radar image; speckle