

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2023.01.12

引用格式: 王志一, 王娜, 林波, 等. 基于自动阈值与区域增长的 SAR 影像海岸线提取算法[J]. 中国地质调查, 2023, 10(1): 110-117. (Wang Z Y, Wang N, Lin B, et al. Coastline extraction algorithm for SAR images based on automatic threshold and regional growth[J]. Geological Survey of China, 2023, 10(1): 110-117.)

# 基于自动阈值与区域增长的 SAR 影像 海岸线提取算法

王志一<sup>1,2</sup>, 王娜<sup>1,2</sup>, 林波<sup>3</sup>, 李梦<sup>4</sup>, 余洋<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质环境监测院, 北京 100081; 2. 自然资源部矿山生态效应与系统修复重点实验室, 北京 100081; 3. 浙江环球星云遥感科技有限公司, 浙江 湖州 313200; 4. 中国地质灾害防治与生态修复协会, 北京 100043)

**摘要:** 为实现对海岸线的动态监管和监测, 提出了一种自动阈值与区域增长相结合的合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar, SAR) 影像海岸线自动提取方法。首先结合 Canny 边缘检测和最大类间方差法 (OTSU 方法) 实现自动阈值分割提取水陆分界线; 在自动阈值提取的基础上, 对水域进行开运算和图像分割, 将占有较大比例的海上水体作为种子点进行区域增长, 获取海上水体, 从而去除陆地水体、阴影等误分为海域的部分; 之后对区域增长法获取的海陆分割结果进行去噪、填充等形态学优化处理, 填补海上船体、风车、岛礁等造成的空洞影像, 形成最终的海陆分割结果; 最后, 使用 Canny 边缘检测算子获取海岸线。基于江苏海岸带的实验结果表明该方法可以高精度地提取出光滑、连续的海岸线, 在 SAR 影像海岸线提取中具有较强的实用性。

**关键词:** SAR 影像; 海岸线提取; 自动阈值; 区域增长

**中图分类号:** TP79; P231.1; P737.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8706(2023)01-0110-08

## 0 引言

海岸带是大量人口聚集的地区, 海岸带信息的快速获取有助于帮助我们更好地管理和利用海洋资源。据估计, 全球海岸线长度超过 347 984 km, 世界上 60% 的人口生活在距其 100 km 的范围内<sup>[1]</sup>。监测和管理海岸线具有重要的社会和经济价值。前人一般通过摄影测量与实地测量等方法获取海岸线, 但这些方法精度较低、效率不高, 难以适应岸线提取的发展需求以及大范围推广。

近年来, 快速发展的航天遥感技术逐步取代了传统测量方法, 成为了海岸线提取和海岸线动态监

测的新手段, 并凭借其高效、不受时间与气候条件等因素限制的优势取得了较高的经济和社会效益。海岸线具有高动态性, 基于遥感影像的海岸线自动提取方法大部分以瞬时水边线作为岸线进行提取<sup>[2]</sup>, 与真实岸线相比, 缺失潮位校正过程。合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar, SAR) 具有成像范围大、全天候、全天时的特点, 与光学遥感相比, SAR 具备在阴雨、多云等不利气象条件下成像的优势<sup>[3-4]</sup>, 保障了海岸线监测数据的可获得性, 因此 SAR 影像海岸线自动提取对海岸线动态监测具有一定的应用价值。

不同的 SAR 影像海岸线提取方法均有一定的适用条件, 随着 SAR 影像空间分辨率的提高

收稿日期: 2022-04-11; 修订日期: 2022-11-03。

基金项目: 中国地质调查局“矿山生态修复地质调查监测与信息集成 (编号: DD20221781)”和国家重点研发计划“城市群地质环境演化典型要素遥感识别与地质环境演化综合评价 (编号: 2017YFB0503803)”项目联合资助。

第一作者简介: 王志一 (1984—), 男, 高级工程师, 主要从事地质环境调查与监测研究工作。Email: wangzycigem@126.com。

通信作者简介: 王娜 (1986—), 女, 高级工程师, 主要从事地质环境调查与监测研究工作。Email: wangn@cigem.cn。

和影像质量的提升, SAR 影像提取海岸线的精度也在不断改善。陈祥等<sup>[5]</sup>通过计算 SAR 影像中的海域统计特性,采用改进的最大类间方法从 SAR 影像海陆信息分割提取海岸线,表明阈值分割算法具有分割精度高、处理时间短的优势,较符合实际应用需求;范建超等<sup>[6]</sup>通过几何主动轮廓模型提取了大连金州湾高分三号 SAR 影像海岸线,并现场验证了 SAR 影像提取海岸线的有效性,胡娇静等<sup>[7]</sup>等评价了边缘检测法、区域增长法、阈值分割法、水平集 C-V 模型和分类法等不同方法对 SAR 影像海岸线的提取效果,指出不同类型的海岸线提取需要考虑各自方法的适用性;邱志伟等<sup>[8]</sup>采用 K-均值聚类分割结合形态学处理方法,认为 K-均值聚类分割适应性强,方法简单便捷。通过对比常见的 SAR 影像海岸线提取方法可以发现,阈值分割法复杂度低、算法易于实现,但算法抗噪性能低,最佳阈值的选取存在困难,边缘检测法的抗噪性能与岸线提取正确度之间存在矛盾,活动轮廓模型抗噪性能较高,但是存在岸线迭代不稳定、迭代速度低、对初始轮廓线位置要求高等缺点。结合 SAR 影像提取海岸线的实际应用和精度要求,综合考虑算法的可行性和提取效率,本文基于 SAR 影像,提出自动阈值与区域增长相结合的瞬时水边线提取方法,为遥感影像岸线自动提取提供了一种解决方案。

## 1 研究区概况

研究区位于江苏北部,是 1128—1855 年黄河夺淮入黄海期间迅速淤涨形成的三角洲,为典型的平原淤泥质海岸<sup>[9]</sup>(图 1)。海岸陆地地貌的南北两段存在明显差异,灌河和射阳河之间的陆地由黄河夺淮入海后所带来的泥沙淤积而成,地面高程 1~3 m,黄河改道后泥沙来源断绝,岸线受侵蚀而后退,地面物质组成多为黏土和亚黏土,沿岸地势平坦,为大片盐田和沼泽;射阳河以南为海积平原区,是近千年来海岸不断淤积而形成的滨海平原,岸外有辐射沙洲屏护<sup>[10]</sup>。



图 1 研究区遥感影像图

Fig. 1 Remote-sensing miage of the study area

## 2 数据来源与方法

### 2.1 实验数据

本文选取的实验数据为江苏沿岸区域 ALOS PALSAR 雷达图像。本次实验数据的详细信息见表 1。

表 1 ALOS 卫星数据参数

Tab. 1 Parameters of ALOS satellite data

模式	分辨率/m	极化方式	获取时间
Fine 精细模式	10	HH	20101220

原始 SAR 图像为单视复数据(single look complex, SLC),需要对其进行预处理,包括影像辐射定标、滤波、地理编码等操作<sup>[11-13]</sup>,并对图像进行线性拉伸,以增强图像对比度,为后续特征提取、分类识别打好基础<sup>[14-15]</sup>。

### 2.2 算法原理

#### 2.2.1 Canny 边缘检测

边缘检测是通过检测每个像素及其邻域像素的状态来确定该像素是否位于影像的边缘位置<sup>[16]</sup>,Canny 算子提取的边界较为连续、平滑<sup>[17-18]</sup>。对于 SAR 影像而言,影像的边缘部分主要为影像中水体与陆地之间的交界处,即瞬时水边线,通过边缘检测与膨胀,提取水体和陆地并用 OTSU 方法进行自动阈值分割<sup>[19-20]</sup>,该方法能构建较好的直方图双峰特征,区分出水体与陆地。

Canny 算子的实现步骤包括图像降噪、计算图像梯度、非极大值抑制以及阈值筛选<sup>[21]</sup>。算法实

施过程中,分别设置一个双阈值,即低阈值和高阈值。灰度变化大于高阈值的像素设置为强边缘像素,剔除低于低阈值的像素,将高阈值与低阈值之间的像素设置为弱边缘像素。进一步判断,如果其领域内有强边缘像素则保留,没有则剔除。

### 2.2.2 OTSU 方法

OTSU 方法也称为最大类间方差法,主要思想是遍历寻找一个将数据集分割为 2 类的阈值,若某一阈值使得这 2 个类之间的方差达到最大值,则该阈值为最佳分割阈值。

### 2.3 海岸线提取流程

基于 SAR 影像的特点,本文结合自动阈值法与区域增长法提取遥感影像的海岸线,具体步骤如图 2 所示。

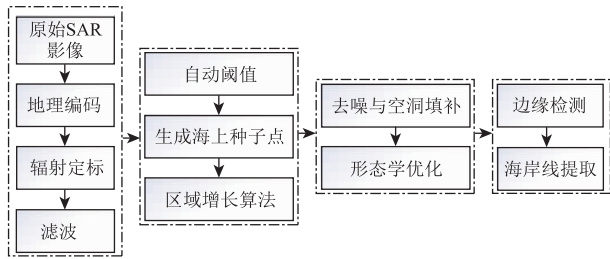


图2 海岸线提取流程

Fig.2 Coastline extraction process

步骤 1: 对原始 SAR 影像进行预处理<sup>[10]</sup>,进行地理编码、辐射定标、滤波等操作,并根据影像特征进行线性拉伸,增强图像对比度。

步骤 2: 对 SAR 影像采用 OTSU 方法获得影像中的海陆初步分割结果,并采用腐蚀运算区分两者的水体,按照像素数进行滤除,保留海上区域的种子点。在此基础上采用区域增长算法,获取海上部分的水体。

步骤 3: 对海上部分的水体进行开运算、闭运算等形态学处理,填补海上船只、风电设施以及岛屿等引起的空洞,优化海陆分割成果。

步骤 4: 对形态学优化后的海上水体部分,采用 Canny 边缘检测算法提取最终的海岸线成果。

## 3 实验结果及分析

### 3.1 自适应阈值的水体提取

在采用自适应阈值方法提取水体的过程中,Canny 算子的设置参数为高阈值 0.99,低阈值 0.8, sigma 值 0.8,并基于边缘检测结果,对检测得到的边缘进行膨胀处理,统计边缘两侧 10 个像素范围内的影像数值用于计算自适应阈值  $T_{otsu}$ 。自适应阈值水体边缘的提取过程及结果如图 3 所示。

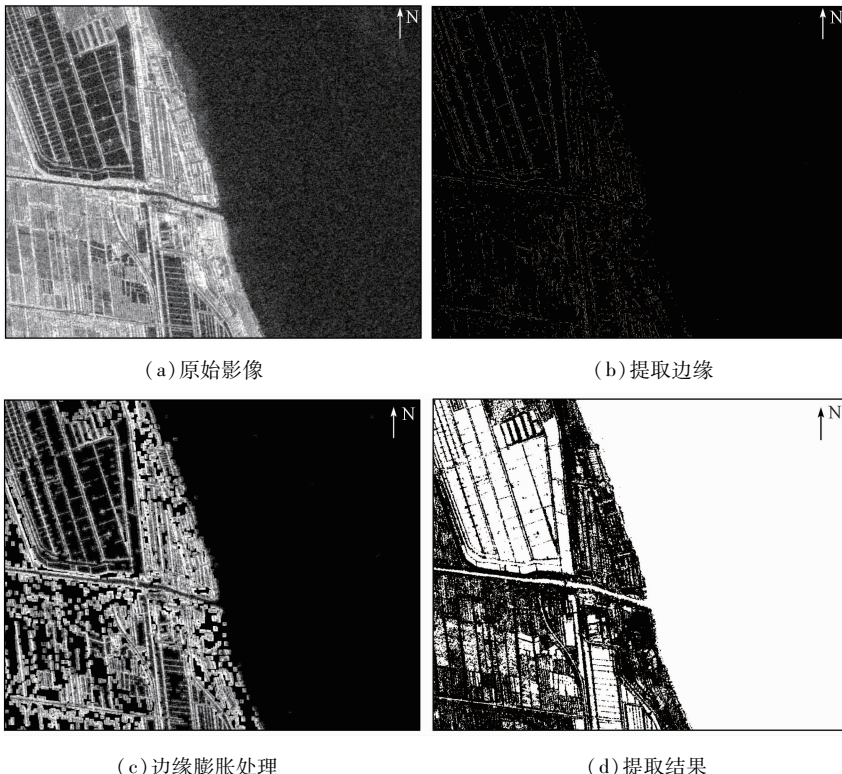
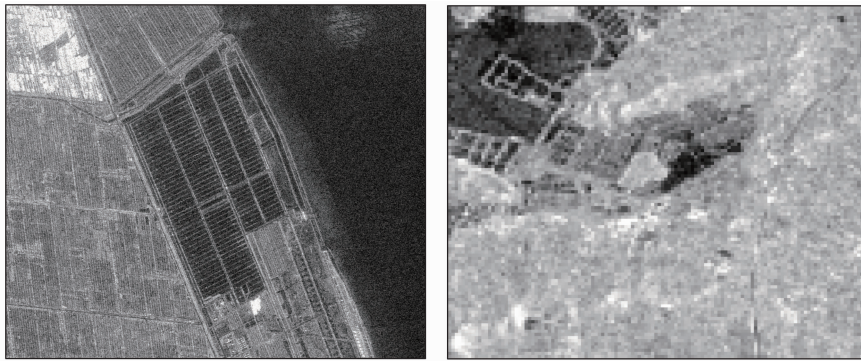


图3 自适应阈值水体边缘提取

Fig.3 Adaptive threshold water edge extraction

### 3.2 区域增长的海陆分割

在采用区域增长方法进行海陆分割过程中,需要生成海上种子点,并设置区域增长的阈值条件。对采用自适应阈值方法获取的水体进行形态学中的开运算处理,实验采用较大的核结构,设置核半径为20,仅保留较大的水体图斑,并消除图斑的细小连接,同时对开运算处理后的图像进行分割,统计每个图斑对应的尺寸大小。实验设置最小的图斑滤除尺寸需大于陆地中最大的水体图斑尺寸,且小于影像



(a) 水产养殖区

(b) 陆地零散水体

图4 陆地区域 SAR 影像典型特征

Fig. 4 Typical features of SAR images from land area

中海域水体的图斑尺寸。经图像分割后仅保留海上的水体作为区域增长所需的种子点。在获得合适的种子点后,利用区域增长法获取海上水体,区域增长算法采用阈值约束范围,此处约束阈值结合之前获取的自适应阈值,设置区域增长阈值  $T_{hr} = [0, T_{OTSU}]$ 。

SAR 影像上的陆地零散水体、水产养殖区、阴影等也表现为较暗色调,如图4所示,采用自适应阈值提取时这部分也被分为海上水体,需要剔除这部分误分结果。

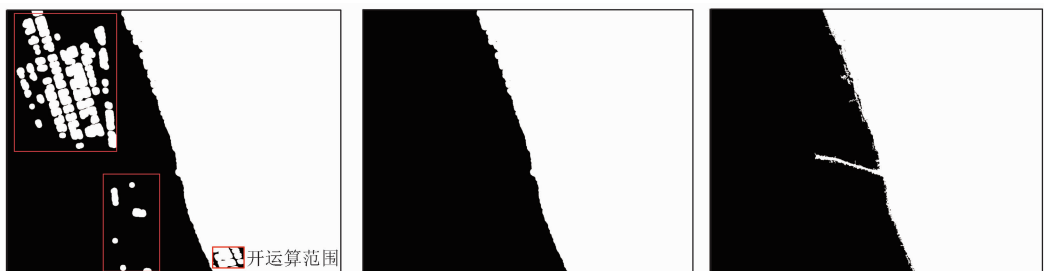
#### 3.2.1 开运算与图像分割

对自动阈值提取的水体进行开运算和图像分割<sup>[22-24]</sup>,获取在影像中占有较大比例的海上水体作为种子点,进一步进行区域增长获取海上水体区域,从而剔除陆地零散水体,实现海陆的有效分割<sup>[25-26]</sup>。

像进行分割,统计每个图斑对应的尺寸大小,将在影像中占较大比例的斑块作为海上水体种子点。

#### 3.2.2 区域增长

将具有相似性质的像素点合并到一起,在每个区域内首先指定种子点作为增长的起点,然后将种子点周围邻域的像素点与种子点进行比较,合并具有相似性质的点,之后继续向外增长,直到没有满足条件的像素被包括进来为止。基于开运算与图像分割得到的海上水体种子点,结合获取的自适应阈值进行区域增长,可以得到海上水体范围,结果如图5所示。



(a) 图像开运算

(b) 去除陆地水体,保留海上的种子点

(c) 海上水体范围

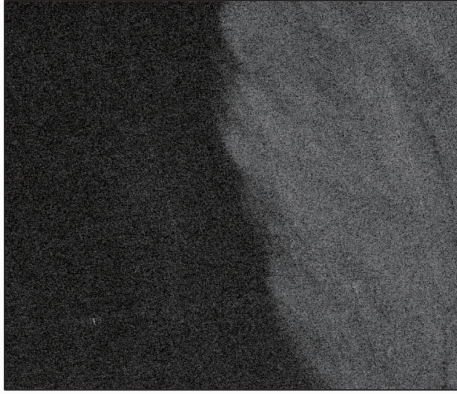
图5 区域增长海陆分割过程

Fig. 5 Sea-land segmentation process by regional growth

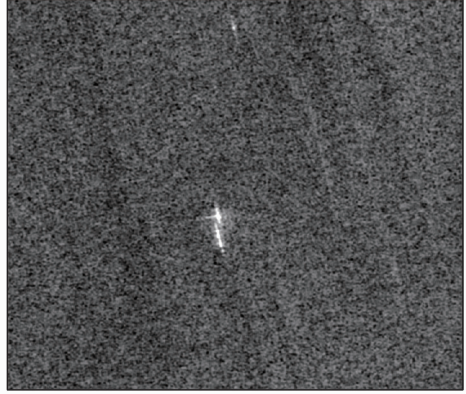
### 3.3 形态学优化去除空洞噪声

对区域增长获得的海陆分割结果,分别设置核结构大小为 5 的开运算、闭运算进行形态学优化,消除不必要的毛刺和细小噪声,并结合影像分割处理,消除海上由船体、岛屿等产生的空洞现象。受

风场影响海域的影像存在明暗区域(图 6(a)),同时,因海岛、海上浮筏、海上船只等的存在改变了原有水体镜面后向散射强度低的特点(图 6(b))。构成海上水体提取结果呈现的空洞和噪声影像,需结合形态学优化<sup>[20]</sup>进行噪声滤除和空洞填补。



(a) 风场引起的海上影像明暗区域



(b) 船只引起的高亮区域

图 6 SAR 影像海上区域典型特征示意图

Fig. 6 SAR images for the typical characteristic of sea area

### 3.4 边缘检测海岸线提取

在边缘检测海岸线提取过程中,基于形态学优化后的海陆分割结果,将 Canny 算子的参数设置为高阈值 0.8,低阈值 0.4, sigma 值 0.6,获得相应的海岸线结果。对区域增长的结果再次进行形态学优化运算,得到最终的海陆分割结果,如图 7 所示。对形态学优化的海陆分割结果进行 Canny 边缘检测,形成最终海岸线结果,如图 8 所示。

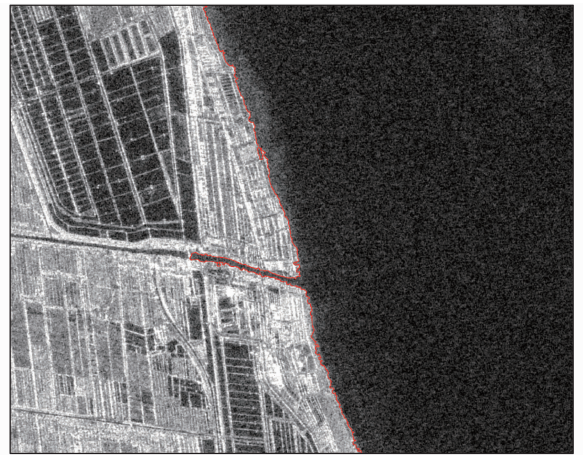


图 8 海岸线提取结果

Fig. 8 Coastline extraction result

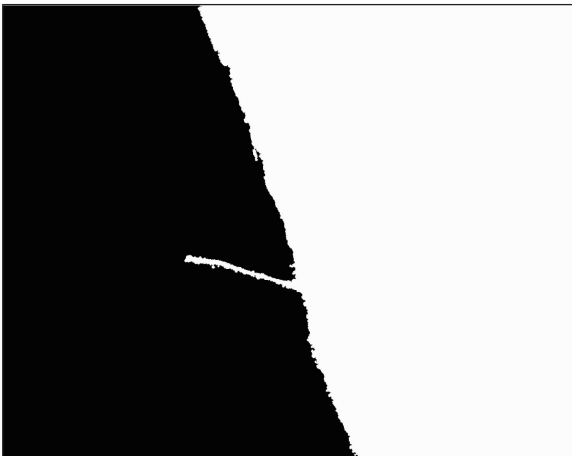


图 7 形态学优化结果

Fig. 7 Morphological optimization result

### 3.5 实验结果对比分析

将本文的方法与面向对象方法<sup>[7]</sup>、自动聚类方法<sup>[8]</sup>和改进阈值方法<sup>[27]</sup>进行对比,并结合人工解译海岸线,分别设置 1 个像素距离(10 m)、2 个像素距离(20 m)和 3 个像素距离(30 m)对比海岸线提取结果的准确率。其中,面向对象方法采用多尺度分割结合影像亮度特征,自动聚类采用 K-均值方法,改进阈值方法采用 Canny 边缘检测提取水陆缓冲区,并结合了最大类间方差法。通

过上述不同方法生成海陆二值图并提取海岸线。采用不同方法提取的结果数据见表 2。

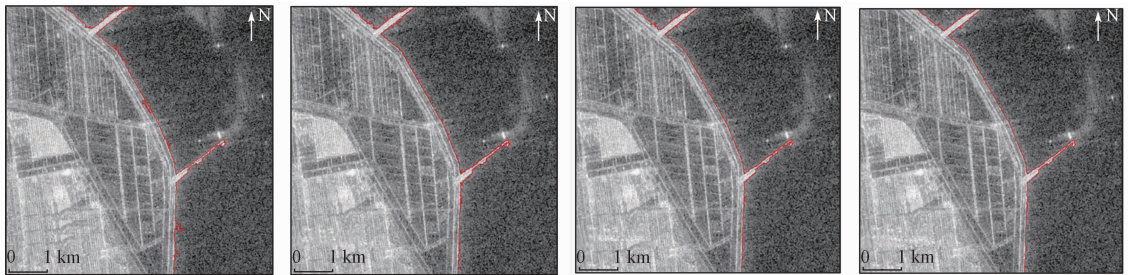
表 2 海岸线提取结果对比

Tab. 2 Comparison of shoreline extraction results

方法	1 像素 距离内 占比/%	2 像素 距离内 占比/%	3 像素 距离内 占比/%	岸线长 度/km	与人工解译 海岸线 长度比值
面向对象	43.72	64.18	74.26	24.27	1.63
自动聚类	52.95	77.46	87.19	29.45	1.97
改进阈值	63.83	88.46	94.80	24.38	1.63
本文方法	65.06	87.90	94.00	21.41	1.44
人工解译	100.00	100.00	100.00	14.92	1.00

不同方法的海岸线提取结果如图 9 所示。其中面向对象方法易受分割效果影响,部分区域影像纹理和亮度差异不明显,分割不完善,造成海岸线存在偏移,整体表现较差(图 9(a));自

动聚类方法通过多次迭代优化分类,提升了水陆分界效果,但聚类方法对影像亮度较敏感,易混淆边界区域,判定不准确,造成提取海岸线较长,为人工解译海岸线长度的 1.97 倍(图 9(b));改进阈值方法通过结合 Canny 边缘检测与自动阈值方法,限定影像统计区域,优化影像统计直方图分布并获取合适阈值,使得海岸线提取结果与人工解译更为接近,1 个像素距离内海岸线占比 63.83%,3 个像素距离内海岸线占比 94.8%(图 9(c));本文算法在改进阈值方法的基础上,结合改进阈值方法确定的阈值,利用区域增长,提取的海岸线在 1 个像素距离内占比 65.06%,3 个像素距离内占比 94.00%,同时使得有效海岸线长度进一步缩小,提升了海岸线的连续性和平滑性(图 9(d))。



(a) 面向对象方法

(b) 自动聚类方法

(c) 改进阈值方法

(d) 本文方法

图 9 不同方法结果对比

Fig. 9 Comparison results of different methods

## 4 结论

(1) 本文提出的自动阈值与区域增长相结合的 SAR 影像海岸线提取方法,算法易于实现、抗噪性能较强、岸线迭代稳定,可以高精度地提取出光滑、连续的海岸线。

(2) 通过在江苏海岸带的实验,结果表明本文提出的算法具有较强实用性,减少了岸线提取过程中的人为操作,形成了自动化处理流程,提取的海岸线结果与原始 SAR 影像基本重合。基于这些 SAR 图像序列进行海岸监控、管理和灾害监测等,对于沿海的管理者有一定的参考意义。

(3) 从 SAR 的实际应用和精度要求出发,后续工作将进一步提高算法执行效率,增强该方法在工程应用上的可行性与有效性。

## 参考文献 (References):

- [1] Yin J, Yin Z N, Wang J, et al. National assessment of coastal vulnerability to sea - level rise for the Chinese coast [J]. J Coast Conserv, 2012, 16(1): 123 - 133.
- [2] 吴一全, 刘忠林. 遥感影像的海岸线自动提取方法研究进展 [J]. 遥感学报, 2019, 23(4): 582 - 602.  
Wu Y Q, Liu Z L. Research progress on methods of automatic coastline extraction based on remote sensing images [J]. J Remote Sens, 2019, 23(4): 582 - 602.
- [3] 刘永坦. 雷达成像技术 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1999: 169 - 170.  
Liu Y T. Radar Imaging Technology [M]. Harbin Institute of Technology Press, 1999: 169 - 170.
- [4] Franceschetti G, Lanari R. Synthetic Aperture Radar Processing [M]. 2nd ed. New York: CRC Press, 1999.
- [5] 陈祥, 孙俊, 尹奎英, 等. 基于 OTSU 与海域统计特性的 SAR 图像海陆分割算法 [J]. 数据采集与处理, 2014, 29(4): 603 - 608.  
Chen X, Sun J, Yin K Y, et al. Sea - land segmentation algorithm

- of SAR image based on OTSU method and statistical characteristic of sea area[J]. *J Data Acquisit Process*, 2014, 29(4): 603 - 608.
- [6] 范建超, 姜大伟, 赵建华, 等. GF-3号 SAR 卫星遥感围填海监测方法研究——以大连金州湾为例[J]. *海洋科学*, 2017, 41(12): 60 - 65.
- Fan J C, Jiang D W, Zhao J H, et al. Marine reclamation monitoring approach research based on GF-3 remote sensing image: A case study of the Jinzhou Bay in Dalian[J]. *Mar Sci*, 2017, 41(12): 60 - 65.
- [7] 胡娇静, 赵争, 王志勇, 等. SAR 影像海岸线提取方法对比及效果评价[J]. *遥感信息*, 2017, 32(4): 58 - 63.
- Hu J J, Zhao Z, Wang Z Y, et al. Comparison and effectiveness evaluation for methods of coastline extraction from SAR imagery[J]. *Remote Sens Inform*, 2017, 32(4): 58 - 63.
- [8] 邱志伟, 刘晓霞, 章铭诚. 基于星载 SAR 影像的苏北地区海岸线提取研究[J]. *地理空间信息*, 2021, 19(1): 4 - 7.
- Qiu Z W, Liu X X, Zhang M C. Research on extraction of coastline in North Jiangsu based on spaceborne SAR image[J]. *Geospat Inform*, 2021, 19(1): 4 - 7.
- [9] 王志一, 徐素宁, 姜艳辉, 等. 苏北废黄河三角洲岸线变迁与海岸冲淤动态遥感监测[J]. *南水北调与水利科技*, 2013, 11(1): 136 - 139, 154.
- Wang Z Y, Xu S N, Jiang Y H, et al. Remote sensing based dynamic monitoring of coastline change and coastal erosion and deposition of the abandoned Yellow River Delta in Northern Area of Jiangsu Province[J]. *South - to - North Water Transfers Water Sci Technol*, 2013, 11(1): 136 - 139, 154.
- [10] 丁志磊, 王志一, 徐素宁. 苏北淤泥质海岸线提取及精度检验[J]. *南水北调与水利科技*, 2014, 12(6): 140 - 144.
- Ding Z L, Wang Z Y, Xu S N. Extraction of coastline and accuracy detection in muddy coast zone of Jiangsu Province[J]. *South - to - North Water Transfers Water Sci Technol*, 2014, 12(6): 140 - 144.
- [11] 蔡改贫, 刘占, 汪龙, 等. 基于形态学优化处理的标记符分水岭矿石图像分割[J]. *科学技术与工程*, 2020, 20(23): 9497 - 9502.
- Cai G P, Liu Z, Wang L, et al. Image segmentation of watershed ore based on morphological optimization[J]. *Sci Technol Eng*, 2020, 20(23): 9497 - 9502.
- [12] 张过, 蒋永华, 李立涛, 等. 高分辨率光学/SAR 卫星几何辐射定标研究进展[J]. *测绘学报*, 2019, 48(12): 1604 - 1623.
- Zhang G, Jiang Y H, Li L T, et al. Research progress of high - resolution optical/SAR satellite geometric radiometric calibration[J]. *Acta Geodaet Cartograph Sin*, 2019, 48(12): 1604 - 1623.
- [13] 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 F K, Yang J, Li D R. An adaptive enhanced lee speckle filter for polarimetric SAR image[J]. *Acta Geodaet Cartograph Sin*, 2014, 43(7): 690 - 697.
- [14] 侯家槐, 吕宝庆, 张俊. 基于 RD 模型的 SAR 影像正射纠正研究[J]. *测绘与空间地理信息*, 2012, 35(4): 100 - 103.
- Hou J H, Lv B Q, Zhang J. Study on orthorectification of SAR image based on range - doppler model[J]. *Geomat Spat Inform Technol*, 2012, 35(4): 100 - 103.
- [15] 高磊, 吴勤书. 基于 GDAL 的遥感影像优化线性拉伸增强实现[J]. *北京测绘*, 2020, 34(11): 1508 - 1510.
- Gao L, Wu Q S. Optimized linear stretch for remote sensing images based on GDAL[J]. *Beijing Survey Mapp*, 2020, 34(11): 1508 - 1510.
- [16] 李春升, 于泽, 陈杰. 高分辨率星载 SAR 成像与图像质量提升方法综述[J]. *雷达学报*, 2019, 8(6): 717 - 731.
- Li C S, Yu Z, Chen J. TN958 overview of techniques for improving high - resolution spaceborne SAR imaging and image quality[J]. *J Radars*, 2019, 8(6): 717 - 731.
- [17] 张德丰. 数字图像处理: MATLAB 版[M]. 人民邮电出版社, 2009.
- Zhang D F. *Digital Image Processing: MATLAB* [M]. Posts & Telecom Press, 2009.
- [18] Canny J. A computational approach to edge detection[J]. *IEEE Trans Patt Anal Mach Intellig*, 1986, 8(6): 679 - 698.
- [19] 田明锐, 孙宏斐, 胡永彪, 等. 一种新的基于 Canny 算子的道路标线检测算法[J]. *电子设计工程*, 2021, 29(1): 16 - 19.
- Tian M R, Sun H F, Hu Y B, et al. A new road marking detection algorithm based on Canny operator[J]. *Electr Des Eng*, 2021, 29(1): 16 - 19.
- [20] 张磊, 陈海花. 基于 Otsu 方法和数学形态学的 SAR 图像海岸线检测[J]. *微计算机信息*, 2011, 27(7): 207 - 208, 230.
- Zhang L, Chen H H. Coastline detection in SAR imagery based on Otsu algorithm and mathematical morphology[J]. *Microcomputer Inform*, 2011, 27(7): 207 - 208, 230.
- [21] Krawczyk A, Kubacki R, Wiak S, et al. Medical Image Segmentation Hybrid Algorithm Based on Otsu Method and Markov Random Fields[M]. IOS Press, 2008.
- [22] 王娜, 田磊, 文可戈, 等. 基于遥感技术的矿山生态修复调查研究——以冀东铁矿为例[J]. *金属矿山*, 2021(10): 192 - 198.
- Wang N, Tian L, Wen K G, et al. Mine environment investigation and research based on remote sensing technology: A case study of the Jidong iron mine[J]. *Met Min*, 2021(10): 192 - 198.
- [23] 宋莹, 陈科, 林江莉, 等. 基于图像分块的边缘检测算法[J]. *计算机工程*, 2010, 36(14): 196 - 197, 200.
- Song Y, Chen K, Lin J L, et al. Edge detection algorithm based on image partition[J]. *Comput Eng*, 2010, 36(14): 196 - 197, 200.
- [24] Cristobal G, Schelkens P, Thienpont H. Optical and Digital Image Processing, Fundamentals and Applications[M]. Weinheim: Wiley - VCH, 2011.
- [25] *Image Segmentation* [M]. INTECH Open Access Publisher, 2011.
- [26] 刘思言, 李玲, 特日根, 等. 基于直方图区域生长的遥感图像阈值分割算法[J]. *测绘通报*, 2021(2): 25 - 29.
- Liu S Y, Li L, Te R G, et al. Threshold segmentation algorithm based on histogram region growing for remote sensing images[J]. *Bull Survey Mapp*, 2021(2): 25 - 29.
- [27] Donchyts G, Schellekens J, Winsemius H, et al. A 30 m resolution

surface water mask including estimation of positional and thematic differences using Landsat 8, SRTM and OpenStreetMap: A case

study in the Murray – darling Basin, Australia[J]. Remote Sens, 2016,8(5):386.

## Coastline extraction algorithm for SAR images based on automatic threshold and regional growth

WANG Zhiyi<sup>1,2</sup>, WANG Na<sup>1,2</sup>, LIN Bo<sup>3</sup>, LI Meng<sup>4</sup>, YU Yang<sup>1,2</sup>

(1. China Institute of Geo – Environment Monitoring, Beijing 100081, China; 2. Key Laboratory of Mine Ecological Effects and Systematic Restoration, Ministry of Natural Resources, Beijing 100081, China; 3. Zhejiang Earth Star Remote Sensing Technology Co., Ltd, Zhejiang Huzhou 313200, China; 4. China Association for Geological Disaster Prevention and Ecological Restoration, Beijing 100043, China)

**Abstract:** In order to achieve dynamic supervision and monitor the coastline, SAR image coastline automatic extraction method combined with automatic threshold and regional growth is proposed. First, the combination of the Canny edge detection and OTSU method is applied to realize the automatic threshold extraction of the water and land boundary line. Based on the automatic threshold results, the water area is operated opening and segmentation to obtain the large proportion of sea water body as a seed point for regional growth for getting the sea water, thus the part of the terrestrial water body and shadow was removed. Then, the sea – land segmentation acquired by the regional growth method is denoising, filling morphological optimization processing to fill the void caused by sea hull, windmill and island reef, so the final sea – land segmentation result was finally formed. At last, the Canny edge detection operator was used to obtain the coastline. The experimental results of Jiangsu costal zone show that the smooth and continuous coastlines can be accurately extracted by the proposed method, which has strong practicality in the SAR coastline extraction.

**Keywords:** SAR image; coastline extraction; automatic threshold; regional growth

(责任编辑: 魏昊明)