

基于多时相遥感数据的海岸线自动提取方法

盛 辉, 张 驰, 万剑华

(中国石油大学(华东)海洋与空间信息学院, 山东 青岛 266580)

摘要: 海岸线是海洋的重要组成部分, 对于海域管理具有重要意义。本文根据岸线位置确定原理, 即将多时相瞬时水边线上边界近似作为海岸线, 提出了一种基于多时相水边线的海岸线自动提取方法, 该方法应用区域生长与边缘检测相结合的方法提取瞬时水边线, 然后采用海岸线自动判别算法进行海岸线的提取。首先计算归一化水体指数(normalized difference water index, NDWI)图像, 利用区域生长算法进行海陆分割, 得到海陆分割二值图; 然后利用 Canny 边缘检测对海陆分割结果进行边缘检测, 得到瞬时水边线; 最后利用海岸线自动判别算法得到多时相瞬时水边线上界作为海岸线。本文以马六甲海峡部分海岸作为研究区域, 应用多期 Landsat 8 遥感影像进行了海岸线提取和分析。为验证海岸线提取精度, 对获取时间接近高潮时的一景哨兵二号影像进行目视解译得到人工解译的海岸线, 与本文提取海岸线进行对比。结果显示, 本文算法得到的海岸线平均偏移量和均方根误差分别为 21.01 m 和 21.96 m, 能够满足 30 m 分辨率遥感图像的精度要求, 相比采用单景影像提取海岸线, 精度有明显提高。

关键词: 海岸线; 多时相; 遥感; 马六甲海峡

中图分类号: TP79 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2021)05-0016-07

DOI: 10.11759/hyxx20201108004

海岸线是海陆分界线, 由于受潮汐作用影响, 海陆分界线时刻处于变化中, 因此海岸线被定义为多年平均大潮高潮面所形成的实际痕迹线。海岸线提取是海岸带资源管理的基础, 只有准确地提取出海岸线, 海岸带的调查和管理才有意义^[1]。

目前, 利用遥感技术进行海岸线提取的方法较多, 主要分为传统的目视解译方法和自动提取方法。由于传统目视解译提取海岸线需要人为干预, 操作起来比较繁琐, 且对影像的分辨率要求较高, 因此目前海岸线自动提取方法研究较多, 各类算法已经较为成熟。Chen 等^[2]利用区域生长法在光学遥感影像中提取出了水边线; 李秀梅等^[3]应用 Canny 算子对渤海湾海岸线进行了提取; 贾明明等^[4]基于多源遥感数据使用面向对象方法提取杭州湾海岸线并取得了较好的提取效果; 陈祥等^[5]针对 SAR 图像的特点, 采用一种粗阈值与精确阈值相结合的海陆分割方法实现了海岸线的提取; Aedla 等^[6]利用直方图均衡化与自适应阈值算法实现了海岸线的自动提取。

上述自动提取方法大都是基于单景影像进行海岸线提取, 实际提取到的岸线是卫星过境时当地的瞬时水边线, 没有考虑潮汐对瞬时水边线位置的影响, 并不是真正的海岸线。虽然部分学者考虑了潮汐

的影响并进行了潮汐校正, 如马小峰^[7]、张旭凯等^[8], 但是由于大部分是使用单景影像进行提取, 提取精度不是很理想。因此, 胡亚斌等^[9]提出将基于多期遥感影像提取得到的多时相瞬时水边线上边界近似平均大潮高潮线, 即海岸线, 但是多时相瞬时水边线的上边界判别只能依靠人工选取来实现, 反而加大了岸线提取的繁琐程度。本文在此基础上, 提出了一种基于多时相瞬时水边线的海岸线自动判别算法, 能够自动判别多时相瞬时水边线的上边界作为海岸线, 大大提高了海岸线提取效率。

1 数据

1.1 研究区

本文以马六甲海峡为研究区, 具体选择苏门答腊岛海岸带进行试验, 位于 101°56'E~102°39'E, 1°15'N~1°36'N, 如图 1。

收稿日期: 2020-11-08; 修回日期: 2020-11-26

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC1405600); 国家自然科学基金项目(41776182); 山东省自然科学基金-面上项目(ZR2019MD023) [Foundation: National Key R & D Plan, No. 2017YFC1405600; National Natural Science Foundation, No. 41776182; Natural Science Foundation of Shandong Province, No. ZR2019MD023]

作者简介: 盛辉(1972—), 男, 山东定陶人, 副教授, 主要从事摄影测量与遥感方面的研究工作, E-mail: sheng@upc.edu.cn



图 1 马六甲海峡研究区
Fig. 1 Research area of the Strait of Malacca

马六甲海峡地处东南亚，位于马来半岛与苏门答腊岛之间，是连接印度洋和太平洋的咽喉要道。近年来，马六甲海峡内船只搁浅事故不断，大型船只通行和运输面临严峻考验，因此，研究马六甲海峡海岸线的变化规律对船只通行安全和港口贸易具有重要意义。

1.2 遥感影像

本文使用的遥感影像为 2019—2020 年 5 景已经经过几何校正的 Landsat 8 OLI 影像，主要用于多时相瞬时水边线的提取，具体参数信息见表 1。

表 1 所用影像参数信息

Tab. 1 Parameters of the images used

影像序号	成像时间	分辨率/m	潮高/cm
1	2019-02-11	30	185
2	2019-03-15	30	240
3	2019-11-26	30	61
4	2019-12-28	30	85
5	2020-01-13	30	100

同时，为验证提取海岸线的精度，获取一景哨兵二号影像进行人工解译提取该地区海岸线用于精度验证，影像获取时间为 2020 年 3 月 16 日，分辨率为 10 m。其他辅助数据主要是国家海洋科学数据中心 2019 年和 2020 年爪拉巴株巴辖潮汐观测站潮高统计数据。

2 方法

由于在后续提取水体过程中，需要用到绿光和近红外波段的反射率，为了消除受大气影响而造成

的辐射误差，得到真实的地表反射率，提高水体提取精度，需要对数据进行辐射定标和大气校正处理，并根据研究区矢量范围对原始数据进行裁剪。海岸线提取总体流程如图 2 所示。

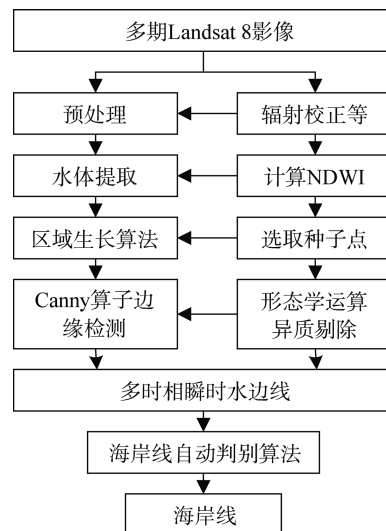


图 2 海岸线提取总体流程
Fig. 2 Overall coastline extraction process

2.1 基于 NDWI 和区域生长的海陆分割

归一化水体指数(normalized difference water index, NDWI)早在 1996 年由 Mcfeeters^[10]提出，主要用于提取影像中的水体信息。其主要是基于水体在绿光波段和近红外波段相反的光谱特性，由绿波段和近红外波段的反射率计算得到。NDWI 计算得到的图像相比原始图像，能够更明显地区分陆地和水体，降低云雾对结果的干扰，增强水陆分界边缘信息，提高水边线提取精度。因此，本研究采用 NDWI 图像来提取水边线。NDWI 是一种比值指数，其具体计算方法如下：

$$NDWI = \frac{\rho_G - \rho_{NIR}}{\rho_G + \rho_{NIR}}, \quad (1)$$

式中： ρ_G 、 ρ_{NIR} 分别表示绿光波段和近红外波段的反射率。

区域生长是根据事先定义的准则将像素或子区域聚合成更大区域的过程。其基本思想是从一组生长点(单个像素或某个区域)开始，将与该生长点性质相似的相邻像素或者区域与生长点合并，形成新的生长点，重复此过程直到不能生长为止^[11]。生长点和相似区域的相似性判断依据可以是灰度值、纹理、颜色等图像信息。

2.2 基于 Canny 算子的边缘检测

图像边缘信息主要集中在高频段,通常说的边缘检测实质就是高频滤波,图像处理中有多种边缘检测算子,常用的包括普通一阶差分、Robert 算子、Sobel 算子等,Canny 边缘检测算子是一种多级检测算法,相比其他算子,Canny 算子提出了基于边缘梯度方向的非极大值抑制和双阈值的滞后阈值处理,使得到的结果更加细化,定位更加准确,是目前图像边缘检测算法中最经典、最先进的算法之一^[12]。

Canny 算子边缘检测步骤如下:

- 1) 使用高斯滤波器对原图像进行滤波,其中高斯函数的方差人为设定;
- 2) 对滤波后的图像求梯度幅值以及梯度向量;
- 3) 对梯度图像进行非最大值抑制操作,剔除非最大值的像素点;
- 4) 确定高、低阈值并结合连接分析方法确定图像最终的边缘,高、低阈值大小的选择,对检测得到的边缘质量有着关键性影响。

2.3 水边线上边界自动判别

岸线位置确定原理是根据海岸线的定义综合考虑潮汐对岸线位置的影响而提出的,其中中心思想就是确定多时相瞬时水边线的上边界,将该上边界近似为平均大潮高潮线,即海岸线。本文基于岸线位置确定原理,提出了一种基于多时相瞬时水边线的海岸线自动判别算法。

设平面中 3 点 $P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2), P_3(x_3, y_3)$, 根据矢量积和右手定则,可以通过计算 3 点的向量交叉积判断 P_3 与 P_1, P_2 组成的向量 P_1P_2 的位置关系,公式如下:

$$S(P_1, P_2, P_3) = (x_1 - x_3) \times (y_2 - y_3) - (y_1 - y_3) \times (x_2 - x_3) / 2. \quad (2)$$

若 $S > 0$, 则 P_3 在向量 P_1P_2 的左侧;若 $S < 0$, 则 P_3 在向量 P_1P_2 的右侧;若 $S = 0$, 则 P_3 在向量 P_1P_2 上。根据以上原理,可以判断点与直线的位置关系,从而判别多时相瞬时水边线(L_1, L_2, \dots, L_n)的上边界。算法总体流程如图 4 所示。

具体步骤如下:

- 1) 确定陆地点 L , 将瞬时水边线 L_1 的首尾点 P, Q 连接组成向量 PQ , 并规定 PQ 的方向为前进方向。
- 2) 计算 $S(P, Q, L)$ 。若 $S > 0$, 则 L 在 PQ 左侧。
- 3) 计算 L_1, L_2 的交点并根据交点分为 m 段, 逐段判别。设某一段端点为 A, B, L_1 上一点为 C, L_2 上一点为 D , 分别计算 $S_1(A, B, C), S_2(A, B, D)$ 。

4) 若 $S_1 \times S > 0$ 且 $S_2 \times S < 0$, 则 L_1 为该段水边线上边界;若 $S_1 \times S < 0$ 且 $S_2 \times S > 0$, 则 L_2 为该段水边线上边界;若 $S_1 \times S > 0$ 且 $S_2 \times S > 0$, 则比较 S_1 与 S_2 绝对值大小,若 $|S_1| > |S_2|$, 则 L_1 为上边界;若 $S_1 \times S < 0$ 且 $S_2 \times S < 0, |S_1| < |S_2|$, 则 L_2 为上边界。

5) 根据步骤 3)和 4)判断 L_1, L_2 全部 m 段的上边界,合并得到 L_1, L_2 完整的瞬时水边线上边界。

6) 将步骤 5)得到的上边界作为新的瞬时水边线,按照以上步骤与剩余 $n-2$ 条瞬时水边线进行判别,得到 n 条多时相瞬时水边线的上边界。

3 实验

3.1 实验

本文利用区域生长法进行海陆分割,并利用 Canny 算子边缘检测提取的瞬时水边线如图 3 所示。应用本文提出算法得到的多时相瞬时水边线和海岸线结果如图 5 所示,为更好展示不同时相瞬时水边线的差异,选取部分区域进行显示。可以看出,提取的 2019 年 3 月 15 日的瞬时水边线部分地区变化较大,是由于在水体提取过程中受到了云的影响,获取了假边缘信息。2019 年 12 月 28 日与 2020 年 1 月 13 日影像获取时潮高相差不大,提取到的瞬时水边线基本重合在一起,无法区分,其余瞬时水边线部分地区相互交叉重叠,大部分区域能够明显分离,可见潮高对瞬时水边线的影响比较大。

3.2 精度验证

精度验证是对成果进行定性评价的基础上的定量分析。本文为验证海岸线提取的精度,选取一景分辨率为 10 m 的哨兵二号影像,获取时间为 2020 年 3 月 16 日,获取时潮高为 240 cm。对该影像进行辐射定标、大气校正等预处理,利用目视解译方法得到人工解译的海岸线,作为参考海岸线进行精度验证。

在本文提取的海岸线上每隔 50 m 选取一个特征点,从各特征点向人工解译海岸线作垂线,测量各点到人工解译岸线的距离(图 6),得到最大的偏移距离为 35.84 m,最小距离为 13.42 m,统计计算得到平均偏移量和均方根误差分别为 21.01 m 和 21.96 m,由于本文使用的遥感影像的空间分辨率为 30 m,因此误差在 30 m 之内均可接受,所以使用本文算法提取的海岸线在精度要求的范围内,并且显然比使用单景影像提取的海岸线精度更高,证明该算法能够用于海岸线的提取。

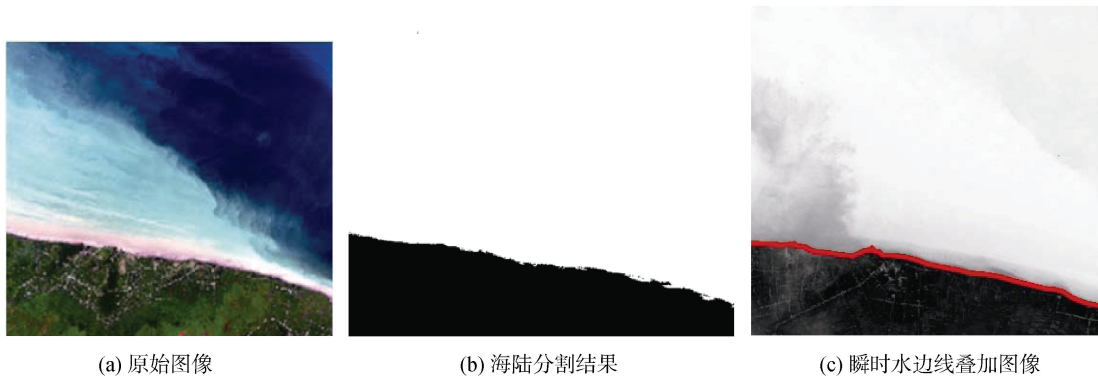


图 3 瞬时水边线提取结果
Fig. 3 Extraction results of instantaneous waterline

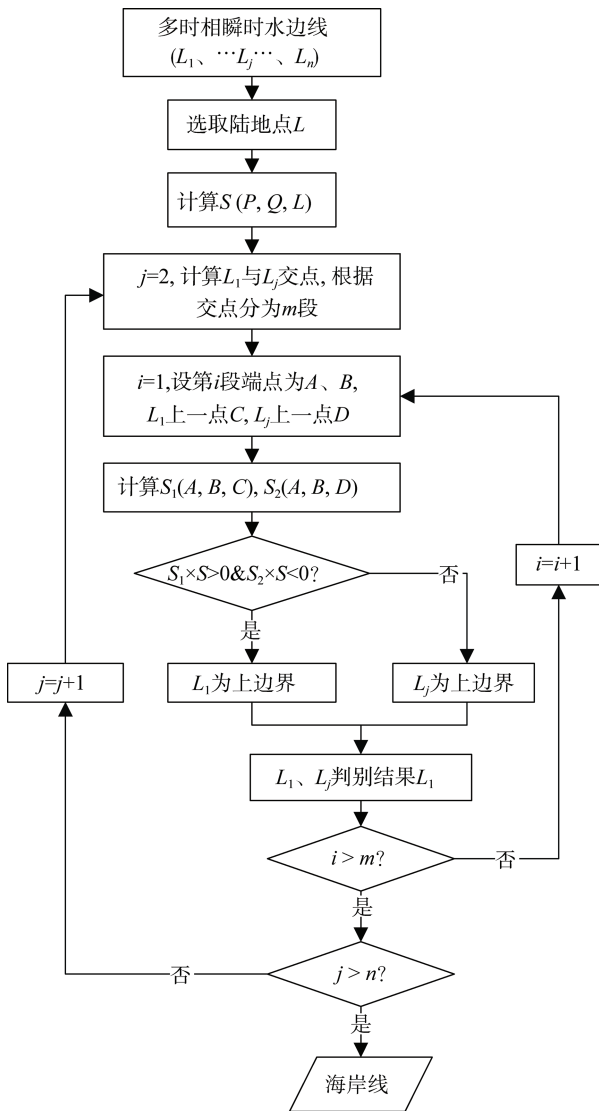


图 4 海岸线自动判别算法流程
Fig. 4 Workflow of the automatic coastline identification algorithm

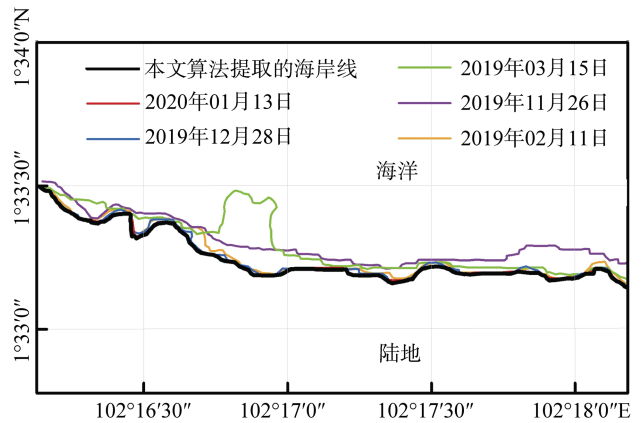


图 5 海岸线提取结果
Fig. 5 Coastline extraction results

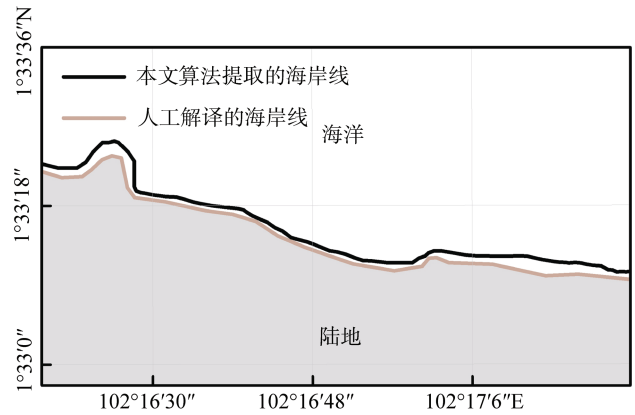


图 6 精度验证
Fig. 6 Accuracy verification

3.3 讨论

本文基于多期 Landsat 8 OLI 影像, 使用区域生长与 Canny 算子边缘检测相结合的方法进行瞬时水

边线的提取,考虑到归一化水体指数 NDWI 在海陆分割中的优势,采用 NDWI 图像作为输入图像,充分利用绿波段和近红外波段的光谱特性,提高瞬时水边线提取精度。利用本文提出的海岸线自动判别算法进行多时相瞬时水边线上界的判别,得到的海岸线具有较高的准确度和完整度,但是也还有许多问题需要进一步完善。

首先,在影像预处理过程中只考虑了辐射误差的影响,进行了辐射校正,没有针对云、雾可能对结果产生的影响进行处理。并且由于本文采用的 Landsat 8 卫星在同一地点过境时间固定,实验中并没有获取到当天最高潮时刻的影像,对海岸线提取精度有一定的影响。

其次,用于精度验证的参考岸线是人工解译得到的,虽然用于解译的影像分辨率较高,但是仍然与真实岸线有一定的误差,导致本文提取的海岸线精度评价不准确。

再次,在瞬时水边线自动提取方法中,各类算法已较为成熟,其中,边缘检测算法在复杂的图像背景下容易受噪声影响,造成提取结果不连续,区域生长算法得到的结果虽然稳定连续,但是速度较慢。本文利用区域生长与边缘检测相结合的方法,充分利用图像的灰度值、纹理、颜色等信息的同时,利用 Canny 算子的高信噪比、高定位精度和单边缘响应能力,降低噪声对结果的干扰,提高结果的准确性。但算法中一些参数的确定还是根据经验进行的,没有考虑多种因素的影响,后续研究中还需建立相关模型,结合影像各波段间的关系进行参数和阈值的确定。并且由于实验过程中用到了绿波段和近红外波段信息,绿光波段可以穿透一定的海水,对于清洁海域,还应考虑海底反射信息对岸线提取的影响。

4 结论

针对人工判别瞬时水边线上界速度慢、效率低的问题,本文研究了基于多时相瞬时水边线的海岸线自动提取方法,并开展精度评价,主要结论如下。

1) 利用区域生长与边缘检测相结合的方法提取了瞬时水边线,充分利用图像的灰度值、纹理、颜色等信息,在岸线周围地物复杂时依然能得到较好的结果。

2) 提出了基于多时相瞬时水边线的海岸线自动

判别算法,实现了多时相瞬时水边线上界的自动判别,得到的瞬时水边线上界就是海岸线,提高了海岸线提取效率。

3) 利用人工解译的海岸线进行精度验证,计算得到岸线位移距离均值和均方根误差分别为 21.01 m 和 21.96 m,通过分析,误差在精度要求的范围内,证明本文所提算法切实可行,能够有效准确地提取出海岸线。但是对于水边线交叉重叠较多以及形状较复杂的地区,海岸线精度没有达到期望值,后续还需对预处理和瞬时水边线提取方法进行改进。

参考文献:

- [1] 严海兵,李秉柏,陈敏东. 遥感技术提取海岸线的研究进展[J]. 地域研究与开发, 2009, 28(1): 101-105.
YAN Haibing, LI Bingbai, CHEN Mindong. Research progress of coastline extraction by remote sensing technology[J]. Regional Research and Development, 2009, 28(1): 101-105.
- [2] CHEN A J, CHEN C F, CHEN K S. Investigation of shoreline change and migration along Wai-San-Ding-Zou barrier island, Central Western Taiwan[C]//International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS. Quantitative Remote Sensing for Science and Applications. Firenze, Italy, 1995: 2097-2099.
- [3] 李秀梅,袁承志,李月洋. 渤海湾海岸带遥感监测及时空变化[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(2): 156-163.
LI Xiumei, YUAN Chengzhi, LI Yueyang. Remote sensing monitoring and spatiotemporal change of coastal zone in Bohai Bay[J]. Remote Sensing of Land and Resources, 2013, 25(2): 156-163.
- [4] 贾明明,刘殿伟,王宗明. 面向对象方法和多源遥感数据的杭州湾海岸线提取分析[J]. 地球信息科学学报, 2013(2): 262-269.
JIA Mingming, LIU Dianwei, WANG Zongming. Extraction and analysis of Hangzhou Bay coastline based on object-oriented method and multi-source remote sensing data[J]. Journal of Earth Information Science, 2013(2): 262-269.
- [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 Xiang, SUN Jun, YIN Kuiying, et al. Land sea segmentation algorithm of SAR image based on OTSU and sea area statistical characteristics[J]. Data acquisition and processing, 2014, 29(4): 603-608.
- [6] AEDLA R, DWARAKISH G S, REDDY D V. Automatic shoreline detection and change detection analysis of netravati-gurpurrivermouth using histogram equaliza-

- tion and adaptive thresholding techniques[J]. Aquatic Procedia, 2015, 4: 563-570.
- [7] 马小峰, 赵冬至, 邢小罡, 等. 海岸线卫星遥感提取方法研究[J]. 海洋环境科学, 2007(2): 185-189.
MA Xiaofeng, ZHAO Dongzhi, XING Xiaogang, et al. Research on extraction method of coastline from satellite remote sensing[J]. Marine Environmental Science, 2007(2): 185-189.
- [8] 张旭凯, 张霞, 杨邦会, 等. 结合海岸类型和潮位校正的海岸线遥感提取[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(4): 91-97.
ZHANG Xukai, ZHANG Xia, YANG Banghui, et al. Coastline remote sensing extraction based on coastal type and tide level correction[J]. Remote sensing of land and resources, 2013, 25(4): 91-97.
- [9] 胡亚斌, 马毅, 孙伟富, 等. 基于多期遥感影像的砂质岸线提取方法——以海阳沙滩为例[J]. 海洋开发与管理, 2016, 33(5): 32-36, 49.
HU Yabin, MA Yi, SUN Weifu, et al. Sandy shoreline extraction method based on multi period remote sensing image: a case study of Haiyang Beach[J]. Marine development and management, 2016, 33(5): 32-36, 49.
- [10] MCFEETERS S K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7): 1425-1432.
- [11] 王华松. 一种基于种子点区域生长的彩色图象分割算法[D]. 开封: 河南大学, 2015.
WANG Huasong. A color image segmentation algorithm based on seed region growing[D]. Kaifeng: Henan University of Kaifeng City, 2015.
- [12] 谢明鸿, 张亚飞, 付琨. 基于种子点增长的SAR图像海岸线自动提取算法[J]. 中国科学院大学学报, 2007, 24(1): 93-98.
XIE Minghong, ZHANG Yafei, FU Kun. Automatic Coastline Extraction from SAR image based on seed point growth[J]. Journal of Chinese Academy of Sciences, 2007, 24(1): 93-98.

Automatic coastline extraction method based on multitemporal remote sensing data

SHENG Hui, ZHANG Chi, WAN Jian-hua

(College of Ocean and Space Information, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China)

Received: Nov. 8, 2020

Key words: coastline; multitemporal; remote sensing; Strait of Malacca

Abstract: A coastline is an essential part of the ocean and is considerably important to the management of sea areas. According to the principle of shoreline location determination, this study proposes an automatic coastline extraction method based on a multitemporal instantaneous waterline, which uses the region growth method and edge detection to extract the instantaneous waterline, and an automatic coastline discrimination algorithm to extract the coastline. First, the NDWI image is calculated, a region growing algorithm is used to segment the land and sea, and a binary image is obtained. Second, the Canny operator is used to detect the edge of the land-sea segmentation result to obtain the instantaneous waterline. Finally, the multitemporal instantaneous waterline boundary is obtained as the coastline using the automatic coastline discrimination algorithm. In this study, a section of the coast of the Malacca Strait is taken as the research area, and the coastline is extracted and analyzed using multiperiod Landsat 8 remote sensing images. To verify the accuracy of the coastline extraction, a Sentinel-2 scene image when the acquisition time was close to high tide is visually interpreted, and the artificial interpretation coastline is obtained, which is compared with the coastline extracted for this study. Results show that the average offset and root mean square error of the coastline obtained by the algorithm are 21.01 and 21.96 m, respectively, which meet the accuracy requirements of 30-m resolution remote sensing images, and the accuracy is significantly improved compared to that of single-scene image extraction.

(本文编辑: 杨 悦)