

基于 Sentinel-2A 卫星数据面向对象的水边线提取——以如东县为例

崔红星, 杨红

(上海海洋大学 海洋生态与环境学院, 上海 201306)

摘要: 使用基于面向对象的方法提取水边线, B 分量作为阈值分割条件, Sentinel-2A 数据作为提取水边线的影像, 通过多尺度分割与光谱差异分割组合的方式。对如东沿海的淤泥质海岸、交通围堤海岸和养殖围堤海岸 3 种不同类型的海岸水边线进行提取。通过提取的水边线与影像叠加, 并对受潮汐影响较小的水边线做精度验证。总体来说, 提取的水边线较为准确。水边线的快速准确提取, 对监测海岸带动态变化具有重要意义。

关键词: Sentinel-2A; 海岸线; 面向对象; B 分量

中图分类号: P748 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2018)12-0094-06

DOI: 10.11759/hyhx20180306001

在气候变暖、海平面逐渐上升导致的全球岸线普遍后退的背景下, 国内很多沿海地区大规模的围垦导致岸线向海推进^[1]。这对快速准确获取海岸线提取要求, 传统人工获取岸线的方法已无法满足需求。用面向对象的方法提取海岸线, 一定程度上可去除影像分类的“椒盐效应”^[2]。面向对象处理的是影像对象而不是像元, 因此可以充分利用对象的空间特征和光谱特征, 可以有效地克服基于像元层次分类的不足^[3]。近年来国内外很多学者在基于面向对象分割的基础上结合不同的指数确定阈值和分类方法对海岸线进行提取。贾明明等^[4]利用多源遥感数据在面向对象分割的基础上对 Landsat 卫星数据选取 SWIR 波段进行阈值分割提取杭州湾海岸线, 精度较高。巢子豪等^[5]基于改进化水体指数和潮位校正模型, 使用数字岸线分析系统提取了不同年份的海岸线, 杨红等^[6]以多源遥感影像为数据源, 使用基于像素的方法对大连新港溢油区域进行溢油面积提取, 获得较好结果。吴小娟等^[7]基于多尺度分割的基础上使用“高分二号”卫星数据根据在近红外波段水体具有强吸收的特性, 选取近红外波段合适的阈值提取了海岸线。鉴于目前, 很少有研究使用 LBV 变换中的 B 分量作为阈值分割条件提取海岸线。 B 分量值相当于水体特征图像, B 值反映的地面水分的多少 B 值越大, 表明地面水分含量越高^[17]。选取合适的 B 分量阈值可以较好地实现水陆分离。本文在根据相关研究基础上, 推导出适合 Sentinel-2A 的 B 分量公式对如东

海岸的淤泥质海岸进行海岸线提取。为验证该方法的适用性, 同时对交通围堤海岸和养殖围堤海岸进行岸线提取及验证, 由于本文使用的图像获取时刻处于高潮时, 实际提取的海陆分界线为瞬时水边线。

1 研究区域与数据

1.1 区域概况

研究区域位于江苏省如东县(32°12′~32°36′N, 120°42′~121°22′E), 地处长江三角洲北翼, 位于江苏省东部, 东北方向濒临黄海, 境内海岸线全长 102.59 km, 海域面积大于 6 000 km²。

1.2 遥感数据源

欧洲航天局的哥白尼计划于 2015 年 6 月 23 日发射的 Sentinel-2A, 重访周期为 10 d, 携带的多光谱仪(MSI)可测量从可见光到短波红外(SWIR)的 13 个光谱波段, 其中 4 个波段(Blue, Green, Red 和 NIR)空间分辨率为 10 m, 6 个波段(包括 SWIR)空间分辨率为 20 m^[8]。Sentinel-2A 影像数据可免费从 ESA(欧空局)的 Open Access Hub(<https://scihub.copernicus.eu/>)分发

收稿日期: 2018-03-06; 修回日期: 2018-06-10

基金项目: 黄海绿潮业务化预测预警关键技术研究与应用(201205010) [Foundation: Research and Application of the Yellow Sea Green Tide Operational Forecasting and Early Warning Key Technologies, No.201205010]

作者简介: 崔红星(1985-), 男, 河南永城人, 硕士研究生, 研究方向为海洋遥感, E-mail: 1492143326@qq.com; 杨红(1962-), 通信作者, 女, 教授, 研究方向为环境海洋学, E-mail: hyang@shou.edu.cn

系统中下载。本文采用 2017 年 11 月 15 日 Sentinel-2A 的 Level-1C 级遥感影像, 天气状况晴好, 云量小于 5%。是经正射校正和亚像元几何精校正的大气表观反射率产品, 几何纠正误差控制在一个像元以内。

2 基于面向对象方法的海岸线提取

由于影像在获取的过程中受到各种因素的影响会产生几何和辐射畸变^[9]。为正确的评价地物的辐射特征和几何特征, 需要对影像进行预处理操作, 预处理的主要步骤包括辐射定标、大气校正、影像剪裁和影像融合。面向对象提取岸线的过程中使用 e-Cognition 软件, 提取流程主要为多尺度分割、光谱差异性分割、B 分量阈值选取、分类、分类后处理。具体技术路线见图 1。

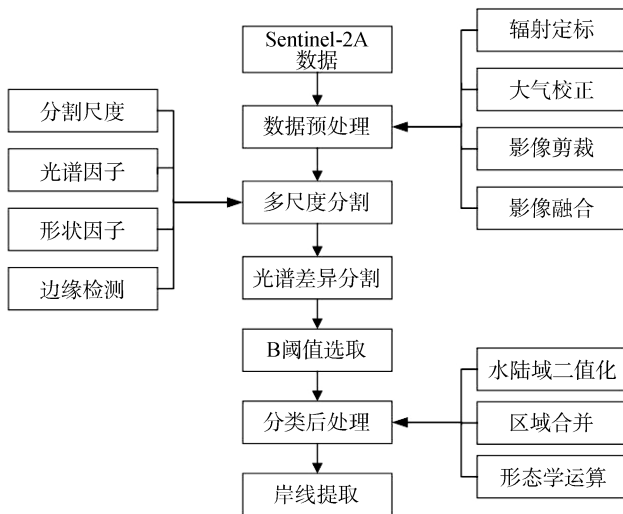


图 1 海岸线提取技术流程

Fig. 1 Flow chart of coastline extraction technology

2.1 遥感数据预处理

提取岸线所用的指数是依据影像的光谱值计算得到, 利用欧空局提供的 Sentinel-2 Toolbox 软件对具有大气表观反射率的产品影像进行辐射定标和大气校正。为减少运算成本, 在进行融合图像之前先用 ENVI 软件对图像进行剪裁。在四个 10 m 波段中, NIR 波段和 PAN 相似波段具有最好的相关性系数^[10-11], 选择 NIR 波段作为 PAN 相似波段与 20 m 多光谱波段通过 ENVI 中的 Gram-Schmidt 算法进行融合, 通过 Gram-Schmidt 方法融合得到的影像与原始影像多光谱信息比较接近, 色彩失真较小, 并且可以清晰地辨别地物的细节信息。通过 ENVI 的 Layer Stacking

功能对 10 m 的四个波段和融合后 20 m 的六个波段进行处理, 最后得到 10 m 的研究区多光谱影像。对空间分辨率为 10 m 的波段进行标准假彩色合成(波段 8, 4, 3 标准假彩色合成), 影像结果见图 2。

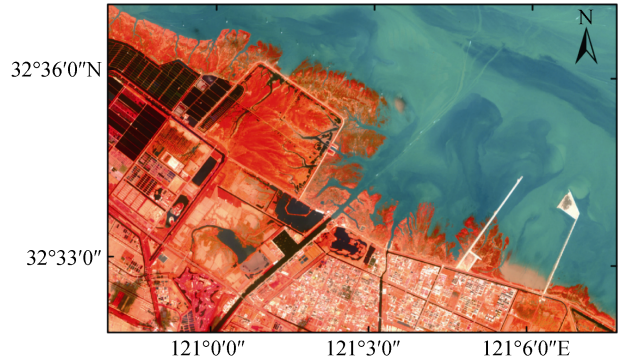


图 2 空间分辨率 10 m 波段的标准假彩色合成影像

Fig. 2 Spatial resolution of 10 m band standard false color composite image

2.2 B 分量公式推导

用预处理后 Sentinel-2A 的多光谱影像作为 B 分量推导的基础影像, 通过对不同的波段组合做对比试验, 选取提取水体信息效果较好并且精度较高的 Blue、Red、Vegetation Red Edge、SWIR 波段组合, 其对应中心波长分别为 $\lambda_1=0.490 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_2=0.665 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_3=0.842 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_4=1.610 \mu\text{m}$, 对应的灰度值记为 D_N 。推导出适用于 Sentinel-2A 多光谱影像水体信息的 B 分量公式, 用一次线性回归方程(1)即可

$$D_\lambda = a + b\lambda. \quad (1)$$

根据文献[12-13]和公式(1)求 B 分量公式:

第一步, 根据公式(1)和各中心波长计算出方程的斜率。

$$b = -0.5731D_1 - 0.3329D_2 - 0.0583D_3 + 0.9643D_4. \quad (2)$$

第二步, 根据文献[13-14]可用 b 的相反数表示 B_0 ,

$$B_0 = 0.5731D_1 + 0.3329D_2 + 0.0583D_3 - 0.9643D_4. \quad (3)$$

第三步, 将 4 个波段的灰度值分别拉伸到 0~255 范围, 对拉伸后的波段应用公式(3)做波段运算得到 B_0 图像, 对 B_0 图像做统计分析得到标准差(σ)为 40.9507, 根据文献[13]令 $\kappa=25/\sigma$, κ 与 B_0 相乘得到 B_1 。

$$B_1 = 0.3525D_1 + 0.2032D_2 + 0.0356D_3 - 0.5887D_4. \quad (4)$$

第四步, 对 B_1 图像做统计分析得到 B_1 图像的灰度平均值为 -2.8138, 根据文献[13]令 $A=128-m$, A 与 B_1 相加得到研究区 Sentinel-2A 多光谱影像的 B 分量公式。

$$B = 0.3525D_1 + 0.2032D_2 + 0.0356D_3 - 0.5887D_4 + 130.8138. \quad (5)$$

不同区域 Sentinel-2A 多光谱影像的 B 分量公式是有差异的, 根据需要目标区域融合后的 Sentinel-2A 多光谱影像完成第三步到第五步的操作, 即可以得到相应区域的 B 分量公式。Sentinel-2A 影像波段经过 B 分量运算后, 水体的细节信息变得更加突出, 见图 3。

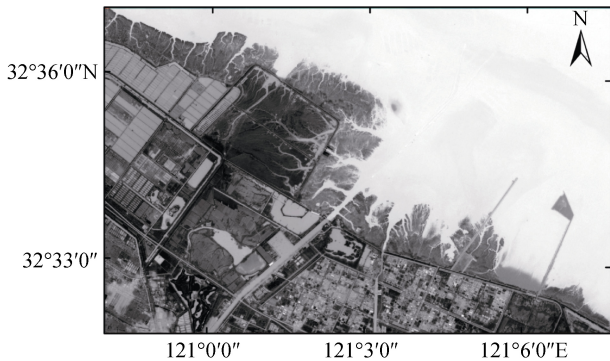


图 3 经 B 分量运算后的 Sentinel-2A 影像
Fig. 3 Sentinel-2A image after B component operation

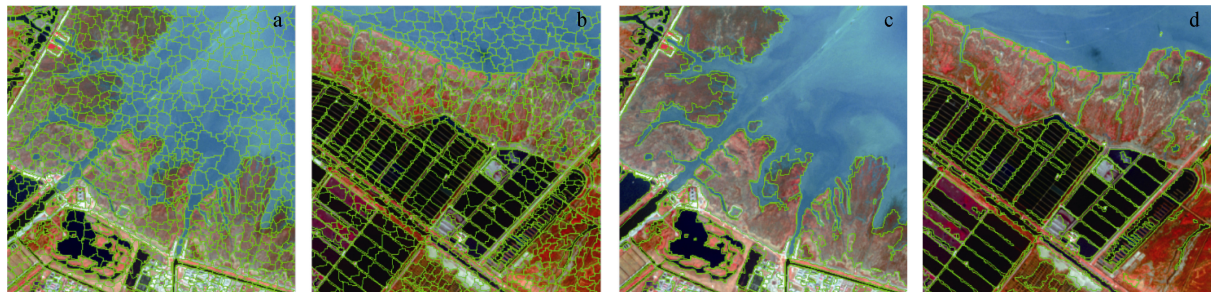


图 4 多尺度分割和光谱差异分割局部区域图
Fig. 4 Parts with multiresolution segmentation and spectral difference segmentation
注: a 和 b 分别多尺度分割的局部区域, c 和 d 分别为光谱差异分割的局部区域
a and b have multiresolution segmentation, c and d have spectral difference segmentation

2.3.2 B 阈值选取及分类后处理

B 反映的地面水分的多少, B 值越大, 表明地面水分含量越高。当地面完全被水占据时, 具有最高的一些 B 值^[17]。在 Sentinel-2A 的 B 分量公式中, SWIR 波段前系数的绝对值权重最大, 这是由于 Sentinel-2A 中的 SWIR 波段相对于 Sentinel-2A 中的其他波段, SWIR 波段对土壤湿度的变化更加敏感, 可以更准确地反映淤泥海岸地表水含量^[18]。将影像中 B 大于 138 的分为海水, B 小于 138 的分为陆地; 对陆地使用查找封闭类运算进行二值化处理, 不对海水使用查找封闭类运算, 是因为部分碎边缘在合并运算时会被直接归类为海水; 使用合并区域算法对陆地和海水进行合并运算; 研究区域内有部分河流直接与海水

2.3 海岸线提取

2.3.1 影像分割

本文采用多尺度分割与光谱差异分割相结合方式对影像进行分割, 多尺度分割是一种自下而上的分割算法, 通过合并相邻的像素或小的分割对象, 在保证对象与对象之间平均异质性最小、对象内部像元之间同质性最大的前提下, 基于区域合并技术实现分割^[15]。光谱差异分割是在多尺度分割的基础上进行分割的, 多尺度分割可以将尺度参数设置的较小, 实现对影像的过分分割。光谱差异分割对多尺度分割的结果进行优化, 减少分割数量, 这样的组合方式在很大程度上减少了手动选取阈值的次数。根据 SWIR 波段对水体具体强吸收性, 淤泥具有强反射性^[16]。在分割之前, 先对 SWIR(Band11)波段进行 Canny 边缘检测, 再把边缘检测的结果作为一个新的波段参与到多尺度分割当中去^[2]。经过不断实验, 得到多尺度分割的最适分割尺度为 10, 形状指数为 0.6, 紧凑度为 0.5, 各波段权重均为 1。光谱差异分割的最适分割尺度为 100。影像分割的局部结果见图 4。

相连, 划分的原则为: 保留大型河口的港湾特征, 反映河口处沙咀、沙洲和瀉湖地貌, 表现出河口的喇叭形状^[7]。

考虑到碎边缘的保留问题, 在进行形态学封闭运算的过程中选取较小的 Mask 值, 对保留河口的喇叭形状有利, 选取较大的 Mask 值, 对封闭碎边缘有利。经过多次试验, 选取最适的 Mask 值为 11, 最终得到淤泥质海岸的水边线提取结果。为验证该方法的适用性, 通过调整 B 分量阈值分别对交通围堤海岸和养殖围堤海岸进行水边线提取。

3 精度验证

淤泥质岸线受涨落潮的影响较大, 需经过潮汐

校正位置高程后才能得到较为准确的岸线位置, 由于缺乏验潮站数据, 本文不对提取的淤泥质水边线做定量精度评价。将提取的淤泥质水边线与原始影像叠加见图 5 中 a 和 b, 可以看出提取的淤泥质水边线较为理想。

交通围堤海岸和养殖围堤海岸受涨落潮影响较

小, 为方便验证选取部分的交通围堤水边线和养殖围堤海岸水边线, 以同期的亚米级 Google Earth 卫星影像上研究区域内相应海岸类型的水边线作为基准线, 在 ArcGIS 里将提取的水边线以 50 m 为间隔离散成点做近邻分析。对分析的结果做最小值、最大值、平均值和标准差做统计分析, 验证结果见表 1。

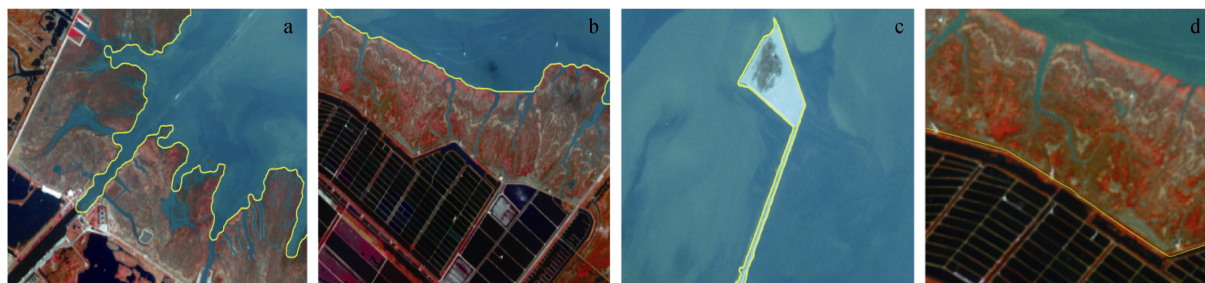


图 5 不同类型水边线与影像叠加图

Fig. 5 Different types of waterline overlaid with the image

注: a 和 b 为淤泥质海岸水边线与影像叠加; c 和 d 分别为交通围堤海岸和养殖围堤海岸水边线与影像叠加
a and b are waterline of the silty coastal; c and d are waterline of embankment and aquaculture respectively

表 1 水边线提取精度验证

Tab. 1 Verification of accuracy of waterline extraction

岸滩类型	验证数量/个	距离/m			距离标准差/m
		最大值	最小值	平均值	
交通围堤海岸	550	18.63	0.74	8.61	2.77
养殖围堤海岸	482	20.39	0.52	8.96	3.24

从表 1 统计的结果可以看出, 提取的交通围堤海岸和养殖围堤海岸的水边线平均值相近。对于提取的养殖围堤海岸类型的水边线的最大值和平均值都大于交通围堤海岸类型的水边线, 其最小值小于交通围堤海岸类型的水边线。这表明提取的养殖围堤海岸类型的水边线整体效果不如交通围堤海岸类型的水边线, 主要原因是养殖围堤海岸类型与淤泥质潮滩的植被接壤, 植被生长的边界较为模糊, 这对提取养殖围堤海岸类型的水边线带来较大误差。对于与海水直接接壤的交通围堤海岸类型的水边线, 公路的 B 分量值与海水的 B 分量值具有较大的差异, 并且公路具有清晰的轮廓, 所以提取的水边线结果相对准确。将提取的水边线与具有相应海岸类型的影像叠加可以看出提取的结果较为准确(见图 5 中 c 和 d)。

4 结论与讨论

1) 通过对 Sentinel-2A 多光谱影像波段进行组合实验, 提出了适用于该传感器的 B 分量公式。并且

使用 B 分量作为分割阈值可以有效地进行水陆分离。

2) 通过提取的水边线与影像叠加, 同时对提取的受潮汐影响较小的水边线做精度验证, 证明提取的结果较为准确。

3) 对于淤泥质海岸类型提取的水边线验证, 需要进行潮位高程校正后精度验证的结果才较为客观和准确。对于其他类型的海岸水边线的提取有待实验。

参考文献:

- [1] 毋亭, 侯西勇. 海岸线变化研究综述[J]. 生态学报, 2016, 36(4): 1170-1182.
Wu Ting, Hou Xiyong. Review of research on coastline changes[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(4): 1170-1182.
- [2] 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 Zhilei, Wang Zhiyi, Xu Suning. Extraction of coastline and accuracy detection in muddy coast zone of Jiangsu Province[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(6): 140-144.

- [3] 周文鑫, 何隆华, 马荣华, 等. 基于面向对象的 TM_LBV 变换水体信息提取[J]. 中国科学院大学学报, 2012, 29(6): 775-779.
Zhou Wenxin, He Longhua, Ma Ronghua, et al. Extraction of water information based on LBV transformation of TM image using the object-oriented method[J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2012, 29(6): 775-779.
- [4] 贾明明, 刘殿伟, 王宗明, 等. 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, 15(2): 262-269.
Jia Mingming, Liu Dianwei, Wang Zongming, et al. Coastline changes in Hangzhou Bay based on object-oriented method using multi-source remote sensing data[J]. Journal of Geo-Information Science, 2013, 15(2): 262-269.
- [5] 巢子豪, 高一博, 谢宏全, 等. 1984—2012 年海州湾海岸线时空演变研究[J]. 海洋科学, 2016, 40(6): 95-100.
Chao Zihao, Gao Yibo, Xie Hongquan, et al. Study of temporal and spatial evolutions of coastline of the Haizhou Bay from 1984 to 2012[J]. Marine Sciences, 2016, 40(6): 95-100.
- [6] 杨红, 陈健, 丁骏, 等. 基于多源遥感数据的大连新港海域溢油诊断[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(1): 154-160.
Yang Hong, Chen Jian, Ding Jun, et al. The oil spill diagnosis of Dalian New Port sea based on multi-source remote sensing data[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(1): 154-160.
- [7] 吴小娟, 肖晨超, 崔振营, 等. “高分二号”卫星数据面向对象的海岸线提取法[J]. 航天返回与遥感, 2015, 36(4): 84-92.
Wu Xiaojuan, Xiao Chenchao, Cui Zhenying, et al. Coastline extraction based on object-oriented method using GF-2 satellite data[J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2015, 36(4): 84-92.
- [8] Drusch M, Bello U D, Carlier S, et al. Sentinel-2: Esa's optical high-resolution mission for gmes operational services[J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 120(1): 25-36.
- [9] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
Zhao Yingshi. Principles and Methods of Remote Sensing Application Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [10] Wang Q, Shi W, Atkinson P M, et al. A new geostatistical solution to remote sensing image downscaling[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2015, 54(1): 386-396.
- [11] Wang Q, Shi W, Atkinson P M, et al. Downscaling modis images with area-to-point regression kriging[J]. Remote Sensing of Environment, 2015, 166: 191-204.
- [12] 方刚. Landsat8 卫星 OLI 影像水体信息的自动提取研究[J]. 土壤通报, 2015, 46(6): 1284-1288.
Fang Gang. Automatic extraction of water body information based on Landsat8 satellite OLI image[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2015, 46(6): 1284-1288.
- [13] 张成雯, 唐家奎, 米素娟, 等. 中巴 02B 卫星多光谱影像中 LBV 数据变换方法研究[J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27(3): 21-25.
Zhang Chengwen, Tang Jiakui, Mi Sujuan, et al. Research on new LBV data transformation method for CBERS-02B multi-spectral images[J]. Geography and Geo-information Science, 2011, 27(3): 21-25.
- [14] Zeng Z Y. A new method of data transformation for satellite images: I. Methodology and transformation equations for tm images[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(18): 4095-4124.
- [15] 陈忠, 赵忠明. 基于区域生长的多尺度遥感图像分割算法[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(35): 7-9.
Chen Zhong, Zhao Zhongming. A multi-scale remote sensing image segmentation algorithm based on region growing[J]. Computer Engineering and Applications, 2005, 41(35): 7-9.
- [16] 韩震, 恽才兴. 长江口近岸水域卫星遥感应用技术研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2011.
Han Zhen, Yun Caixing. Application of Satellite Remote Sensing Technology in Coastal Waters of Changjiang Estuary[M]. Beijing: Ocean Press, 2011.
- [17] 曾志远. 陆地卫星数据的 LBV 变换[J]. 土壤学报, 1988, 25(4): 410-415.
Zeng Zhiyuan. LBV transformation of Landsat data[J]. Acta Pedologica Sinica, 1988, 25(4): 410-415.
- [18] 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 extraction using remote sensing based on coastal type and tidal correction[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2013, 25(4): 91-97.

Object-oriented waterline extraction based on Sentinel-2A satellite data, a case study in Rudong

CUI Hong-xing, YANG Hong

(College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Received: Mar. 6, 2018

Key words: Sentinel-2A; coastline; object-oriented; B-component

Abstract: The rapid and accurate extraction of the waterline has great significance for monitoring the dynamic changes of the coastal zone. In this study, we used an object-based method to extract the waterline and the B-component as the threshold segmentation condition. We used Sentinel-2A data for our waterline extraction images, and combined multi-scale segmentation and spectral difference segmentation. We extracted three types of shoreline waterlines, i.e., silty coasts on the east coast, coasts on embankments, and those hosting aquaculture activities. After extracting the waterline from the image, we verified that the accuracy of the waterlines that are less affected by tides. In general, the extracted waterlines are accurate.

(本文编辑: 刘珊珊)