

# 面向对象的无人机遥感影像海岸线提取方法研究

麻德明<sup>1,2</sup>, 刘焱雄<sup>1</sup>, 金永德<sup>1</sup>, 程宝权<sup>3</sup>

(1. 自然资源部第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 2. 中国海洋大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266100; 3. 青建集团股份公司, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 针对海岸线区域地形复杂和卫星遥感影像分辨率的不足, 精度难以满足大比例尺成图要求, 以及常规解译方法的局限性, 选取青岛小岛湾海岸线为研究区, 以无人机(UAV)遥感影像为基础数据, 提出一种面向对象的海岸线提取方法, 结合现场实测验证, 开展了人工海岸线和砂质海岸线识别的应用实验。结果表明: 人工海岸线和砂质海岸线概率边缘指数(PRI)分别为 0.97 和 0.88, 边缘定位误差(BDE)分别为 4.33 和 2.84, 提取的人工海岸线和砂质海岸线与实测海岸线结果整体上匹配较好, 仅在局部细微处存在微小差异。本文提出的方法可快速有效地获取海岸线信息, 其精度能够满足海岸线动态变化监测的需求, 可在海岸线资源管理中推广应用。

**关键词:** 无人机(UAV)遥感; 面向对象; 半自动化; 海岸线提取

中图分类号: P76 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2020)10-0046-06

DOI: 10.11759/hyxx20200509001

海岸线是海岸带的重要标志之一, 也是海洋开发战略的基准线和“起跑线”, 它不仅标识了陆地与海洋的分界线, 而且还蕴含了丰富的环境信息, 并对沿海的滩涂利用、湿地生态系统的兴衰等具有重要的指示作用<sup>[1]</sup>。在我国, 海岸线系指多年大潮平均高潮位时海陆分界痕迹线, 是重要的基础地理信息要素, 也是一种特殊的自然资源, 快速而又准确地获取海岸线的位置及其动态变化信息, 对于国土空间规划、海岸带资源可持续利用与综合管理以及生态环境保护与修复等工作具有十分重要的意义。

对海岸线探测和获取的方法通常是通过实地测量或卫星遥感影像解译<sup>[2]</sup>。由于部分区域难以到达, 人工现场测量困难, 越来越多的专家学者开始利用遥感手段快速提取海岸线<sup>[3-4]</sup>, 自动解译成为海岸线提取技术发展的主流, 各种算法不断呈现。由于海岸带区域地形复杂和卫星遥感影像分辨率的不足, 常规方法存在一定的局限性, 随着无人机遥感系统的普及, 成为低空遥感应用领域的的一个崭新发展方向<sup>[5]</sup>。面向对象思想也随着无人机遥感的广泛应用得到的进一步发展<sup>[6]</sup>, 面向对象的方法将形状、光谱、纹理、语义和空间结构等相同特征的像元划分为同一类对象, 其分析过程更加接近人类的认知过程, 不仅可以降低光谱特征变化对精度的影响, 而且还能够充分地利用像元之间丰富的细节信息, 实

现遥感图像分类和目标地物提取<sup>[7]</sup>, 信息提取精度更有保证。

因此, 本研究以无人机(UAV)遥感影像为基础数据, 提出一种面向对象的海岸线提取方法, 开展人工海岸线和砂质海岸线识别的应用实验, 并结合现场实测数据, 对实验结果进行精度分析与评定。

## 1 研究方法

### 1.1 海岸线识别方法

根据《全国海岸线技术规程》(自然资办函[2019]1187号), 海岸线分为人工海岸线、自然海岸线和其他海岸线。人工海岸线识别通常以海岸工程的外沿为其位置线。自然海岸线又包括砂质岸线、泥质岸线、基岩岸线和生物岸线。对砂质岸线来说, 发育有滩脊的, 海岸线一般确定在滩脊的顶部向海一侧, 而具陡崖的海滩通常与基岩陡岸相接, 其位置界定为崖下滩与崖的相交线。泥质岸线应根据海岸植被生长变化状况、大潮平均高潮位时的海水痕迹线以及植物碎屑、贝壳碎片、杂物垃圾分布的痕

收稿日期: 2020-05-09; 修回日期: 2020-06-15

基金项目: 海洋公益性科研专项(201405028-4)

[Foundation: The Public Science and Technology Research Funds Projects of Ocean, No. 201405028]

作者简介: 麻德明(1982-), 男, 山东胶南人, 工程师, 在职博士生, 研究方向为海洋测绘与GIS应用, E-mail: demingma@fio.org.cn

迹线等综合分析界定<sup>[8]</sup>。基岩海岸线位置界定在陡崖的基部。生物海岸线界定为毗邻或穿越珊瑚礁、红树林和海草床的海岸线。

## 1.2 海岸线提取方法

在分析国内外相关研究方法、成果和经验的基础上,提出了一种面向对象的海岸线提取算法,该方法只需要提供少量的标记信息,而无需对海陆进行参数化分析。首先,利用多尺度分割算法对无人机遥感影像进行初始分割;然后,进行人工标记,在此基础上利用直方图为特征度量进行对象相似度描述;最后,通过对象合并算法将水陆分离,提取目标海岸线。

### 1) 图像分割

借助 eCognition 软件的图像多尺度分割算法对无人机遥感影像边界控制进行初始分割,得到均匀同质的对象,形成影像对象层次网络。

### 2) 目标标记

对分割的图像,通过专家目视判断,人工标记海岸和海域,为对象相似性测度提供背景参考。如图 1a 和图 2a 所示。

### 3) 对象相似度描述

鉴于光谱直方图能够描述蕴含丰富特征信息的对象全局特征<sup>[9]</sup>,因而,通过构造光谱直方图来描述对象特征。首先将每个光谱向量量化为  $r$  个箱格<sup>[10]</sup>,把量化后的光谱矢量转化为反映光谱矢量信息的标

量索引  $I$ 。然后计算每个对象的直方图  $H_V^r$ :

$$H_V^r = \sum_{j \in V} \int_{I_1}^{I_2} \delta(I - V(L)) dI, \quad (1)$$

其中  $V$  表示对象标号,  $r$  表示箱格号,  $L$  表示对象  $V$  中像元的位置,  $I_1, I_2$  为箱格  $r$  的上下界,  $I$  为像元的光谱索引值,  $\delta$  为狄拉克函数。利用对象光谱直方图,选择巴氏系数表征区域对象  $C$  和  $D$  的相似度<sup>[11]</sup>:

$$B(C, D) = \sum_{r=1}^k \sqrt{H_C^r H_D^r}, \quad (2)$$

其中  $H_C^r$  和  $H_D^r$  表示对象  $C$  和  $D$  的光谱直方图,两个区域的光谱相似度越大,直方图越相似,巴氏系数就越高,  $B(C, D)$  能够充分描述对象之间的相似性。

### 4) 对象合并

利用具有全局属性的极值优化对象合并方法<sup>[12]</sup>,基于测量两个区域对象边界上像素之间的差异性进行合并。

$$F(P, Q) = \min_{m \in P, n \in Q, (m, n) \in W} U(m, n), \quad (3)$$

其中  $F(P, Q)$  是最小权边缘,  $P$  和  $Q$  代表区域分量;  $m, n$  是对应于图像元素的一组节点,  $W$  是连接相邻节点对的边缘集合,每个边缘  $(m, n)$  有一个对应的权重来度量由该边连接的两个节点的相异性  $U(m, n)$ 。

通过循环迭代合并最相似的对象,并把未标识对象逐步合并到已标识对象中,将水陆分离,实现目标的提取,相应的合并判定依据满足下列条件<sup>[12]</sup>:

$$M(X, Y) = \begin{cases} \text{True } N(X, Y) = \max_{s=1,2,\dots,k} N(X, G_s^X); \text{ and } X, Y \text{ are consistent} \\ \text{False Otherwise} \end{cases}, \quad (4)$$

其中,  $G_s^X$  表示对象  $X$  的任一相邻对象。如果  $Y$  是  $X$  的最相似对象,那么  $Y=Y \cup X$ ; 反之,  $X$  与  $Y$  对象合并取消。

## 2 结果与分析

### 2.1 人工海岸线

人工海海岸线通常受潮汐作用影响较小,仅需提供目视判断信息,对此,只需要大致的标记海域和陆地的位置。本研究采用了两幅具有人工海岸线的无人机图像 IM1, IM2, 进行试验。IM1 为养殖池区域人工海岸线, IM2 为码头人工海海岸线,大小为 1 581 像素 × 1 588 像素,两幅图像分辨率均为 0.05 m。

由于人工海岸线构成复杂,根据不同的应用需求,本研究提取了两种海岸线结果,一种是大范围的海岸

线获取,另外一种为小范围局部海岸线提取,并以小范围局部海岸线提取结果精度进行精确评估。

图 1 是 IM1 养殖池作为海域的一部分,如图 1a 所示,陆地区域设置为红色目标,海洋设置为蓝色背景。图 1b 是本研究方法提取的海岸线结果;图 2 是养殖池边界作为水陆分界,同样的,如图 2a 所示,陆地设置为目标红色,海洋设置为背景蓝色,图 2b 是本研究方法提取的海岸线结果。两种不同情况下,得到的大范围区域海岸线同样具有相对平滑、连续的特点。

图 3 是 T2 人工建筑海岸线,以建筑上最高水位作为水路分界,水位线作为海岸线的人工海岸线提取结果。如图 3a 所示,陆地作为目标设置成蓝色,海洋作为背景设置成绿色。图 3b 是本研究方法提取的海岸线结果,由于水位线不够平滑,故提取的海岸线虽然位置较为准确、连续,但是缺少平滑的特点。

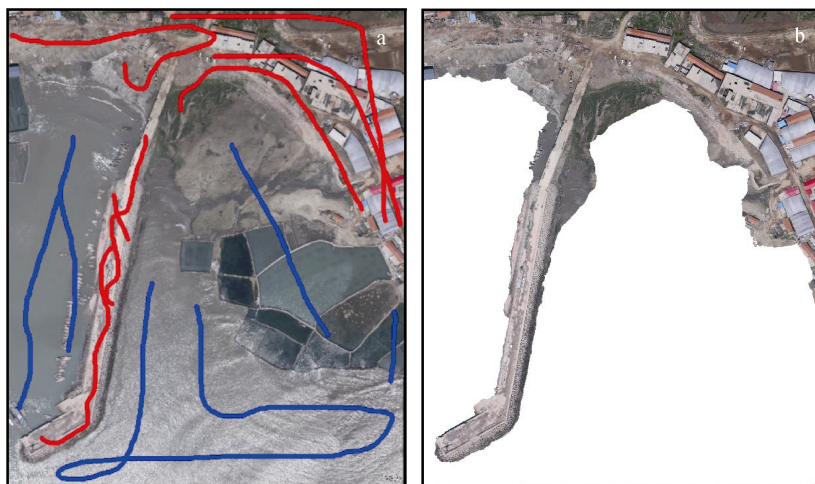


图1 IM1 的人工岸线的手动标记(a)和半自动提取结果(b)(养殖池为海域部分)

Fig. 1 Manual marking of artificial coastline (a) and semi-automatic extraction results (b) of IM1 (aquaculture ponds as part of the sea)



图2 IM1 的人工岸线的手动标记(a)和半自动提取结果(b)(养殖池为陆域部分)

Fig. 2 Manual marking of artificial coastline (a) and semi-automatic extraction results (b) of IM1 (aquaculture ponds as part of the land)

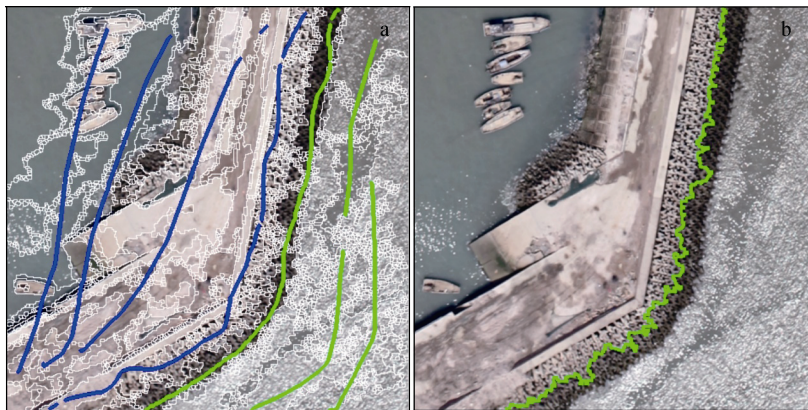


图3 IM2 的人工海岸线标记(a)及提取结果(b)

Fig. 3 Artificial coastline marking (a) and extraction results (b) of IM2



在此基础上,对提取的海岸线进行了多项式拟合,得到最终提取的拟合的海岸线如图 4a 所示,图 4b 是专家

目视解译的参考海岸线位置。从图 4 可以看出,最终得到的海岸线接近人工目视解译的结果,而且平滑连续。

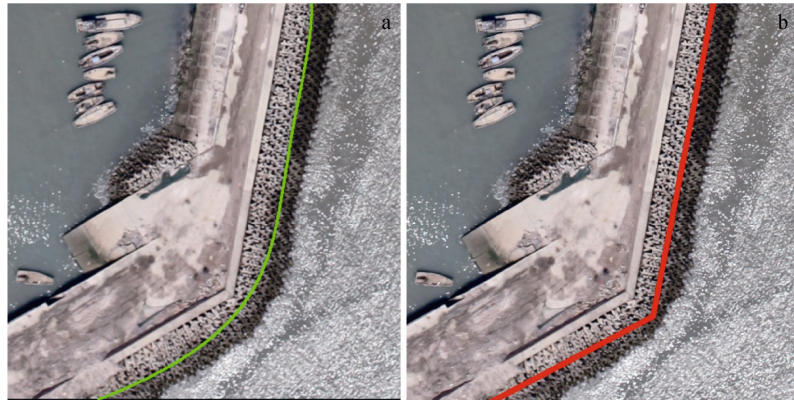


图 4 IM2 的人工海岸线拟合结果(a)与参考海岸线(b)对比

Fig. 4 Comparison of artificial coastline fitting results (a) of IM2 with reference coastline (b)

## 2.2 砂质海岸线

受潮汐作用的影响,在进行无人机航摄获取遥感影像的时刻通常是瞬时水位的痕迹影像,而在实际进行海岸线的提取往往得到的是瞬时水边线,因此应进行潮位改正。一般根据无人机航摄时刻潮位信息、多年平均大潮高潮位高度<sup>[4]</sup>、海岸 DEM 等参数因子,计算瞬时水边线到平均大潮高潮线之间的距离,从而对瞬时水边线进行校正,最终获得海岸线的实际位置。

故,在进行海岸线提取时,有必要融合潮位、海岸地貌、DEM 等多源数据信息进行辅助<sup>[2]</sup>,以精确推算海岸线。对于砂质海岸线提取,本研究采用了一幅 IM3 无人机遥感影像进行试验,其分辨率为 0.05 m。

本方法可根据海岸地形地貌信息灵活设置辅助标志,以提高海岸线识别的速度和精度,如图 5a 所示,在潮滩区域进行绿色标识,植被以上的陆地区域划分蓝色标识。提取的海岸线结果如图 5b 所示,为了

得到较为自然的平滑效果,对提取的海岸线进行二项式拟合,如图 6a 所示。图 6b 是专家根据丰富的经验知识,结合现场海岸线的实际位置,经过目视解译得到的参考海岸线,从图 6 综合对比可以看出,在潮滩区域存在的模糊边界和潮沟等并没有影响本方法的提取结果,两者获得海岸线走势基本一致。

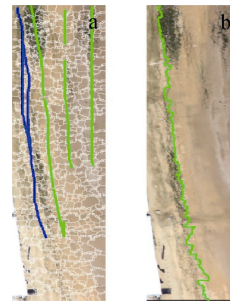


图 5 IM3 砂质海岸线标记(a)及提取结果(b)

Fig. 5 Sandy coastline marking (a) and extraction results (b) of IM3

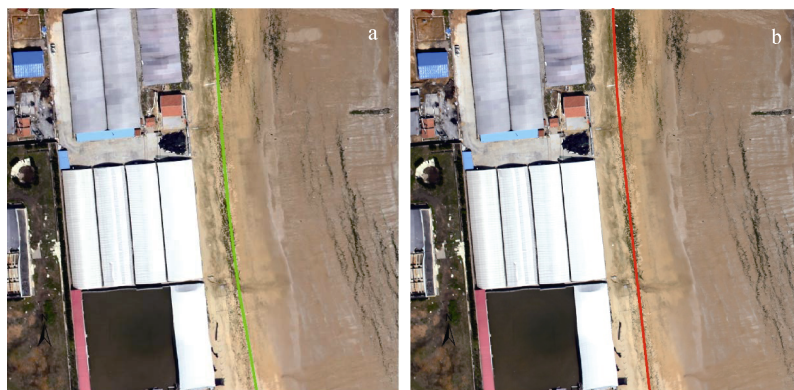


图 6 IM3 砂质海岸线拟合结果(a)与参考海岸线(b)对比

Fig. 6 Comparison of sandy coastline fitting results (a) of IM3 with reference coastline (b)



### 2.3 精度评定

为验证本研究提出的海岸线提取方法的精度, 确保实验结果的可靠性, 我们利用现场实测的数据, 结合目视解译, 形成一条参考背景海岸线。通过概率边缘指数 PRI(Probabilistic Rand Index)和边缘定位误差 BDE(Boundary Displacement Error)两个指标进行定量计算对比, 以评价海岸线提取结果与参考背景值之间的符合性。

#### 1) PRI

概率边缘指数 PRI 是指实际分割结果和参考分割结果中具有相同标签的像素对数与总的像素对数的比值。取值范围为[0, 1], 值越接近 1, 表明实际分割结果与人工参考分割结果越接近。

#### 2) BDE

边缘定位误差 BDE 度量实际分割边缘和参考边缘的边缘像素的平均定位误差, 一个边界像素的误差定义为其与另一分割图像的相邻最近的边缘像素的距离。取值范围为[0, +∞), 值越小, 表示分割结果与人工解译结果边缘越相似。

在本实验中, PRI 用来检验实际分割结果与参考结果之间的整体一致性。BDE 从局部检验边缘定位的准确度。一般来讲, PRI 的值越大, BDE 的值越小<sup>[13]</sup>, 表明海岸线的提取精度越好。

由表 1 可以看出, 人工岸线的 PRI 指数数值大于 0.97, 即提取海岸线与参考海岸线的结果达到了 97%的重合度; BDE 小于 4.5 个像素, 根据图像分辨率可知, 也就是提取海岸线与参考海岸线的实际定位误差仅小于 0.22 m, 不足 0.5 m。砂质岸线的 PRI 指数数值大于 0.88, 即提取的海岸线与参考海海岸线相比, 整体精度达到了 88%; BDE 小于 2.9 像素, 提取海岸线与参考海海岸线的实际定位误差仅小于 0.14 m, 即海岸线定位误差不足 0.5 m。本方法提取人工海岸线和砂质海岸线与实测海海岸线结果整体上相似, 仅在局部细微处存在微小差异, 海岸线识别精度较高。综合两种指标, 提取的海岸线结果可以满足海岸线位置精度的提取要求。

表 1 海岸线提取结果精度评定

Tab. 1 Accuracy evaluation of coastline extraction results

序号	岸线类型	评价指标	指标值
1	人工岸线	PRI	0.974
		BDE	4.334
2	砂质岸线	PRI	0.883
		BDE	2.842

### 3 结论

本研究将面向对象的思想方法融入到无人机遥感影像海岸线提取中, 分别对人工海岸线和砂质海岸线进行了提取实验, 并通过概率边缘指数 PRI 和边缘定位误差 BDE 进行精度评估, 人工海岸线和砂质海岸线与实测海岸线结果整体结构上基本相似, 仅在局部细微处存在微小差异, 表明该方法海岸线识别速度快、精度较高, 是一种有价值的无人机遥感影像海岸线提取算法, 能够满足大比例尺成图要求, 可在实际岸线资源管理中推广使用。

#### 参考文献:

- [1] 刘鹏. 海岸线影像特征提取方法与实证研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2008.  
Liu Peng. Coastline image feature extraction method and empirical research[J]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2008.
- [2] 申家双, 翟京生, 郭海涛. 海岸线提取技术研究[J]. 海洋测绘, 2009, 29(6): 74-77.  
Shen Jiashuang, Zhai Jingsheng, Guo Haitao. Study on coastline extraction technology[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2009, 29(6): 74-77.
- [3] Houston J R, Dean R G. Shoreline change on the east coast of florida[J]. Journal of Coastal Research, 2014, 30(4): 647-660.
- [4] 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 around the world[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(4): 1170-1182.
- [5] 吴云东, 张强. 立体测绘型双翼民用无人机航空摄影系统的实现与应用[J]. 测绘科学技术学报, 2003, 26(3): 161-164.  
Wu Yundong, Zhang Qiang. Implementation and application of aerial photographic system by civil unmanned bi-plane for survey and stereo mapping[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2003, 26(3): 161-164.
- [6] Xie Z, Roberts C, Johnson B. Object-based target search using remotely sensed data: A case study in detecting invasive exotic Australian pine in south Florida[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2008, 63(6): 647-660.
- [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] 麻德明, 邓才龙, 徐文学, 等. 无人机遥感系统在海岸线勘测中的应用[J]. 海洋开发与管理, 2015, 32(4): 45-48.
- Ma Deming, Deng Cailong, Xu Wenxue, et al. Application of UAV remote sensing system in coastline survey[J]. Ocean Development and Management, 2015, 32(4): 45-48.
- [9] Nummiaro K, Koller-Meier E, Van Gool L. An adaptive color-based particle filter[J]. Image and Vision Computing, 2003, 21(1): 99-110.
- [10] 王鹏, 葛洁, 方峥, 等. 半自动面向对象高分辨率遥感地灾目标提取方法[J]. 山地学报, 2018, 36(4): 654-659.
- Wang Peng, Ge Jie, Fang Zheng, et al. Semi-automatic object-oriented geological disaster target extraction based on high-resolution remote sensing[J]. Mountain Research, 2018, 36(4): 654-659.
- [11] Ning J F, Zhang L, Zhang D, et al. Interactive image segmentation by maximal similarity based region merging[J]. Pattern Recognition, 2010, 43(2): 445-456.
- [12] Peng B, Zhang L, Zhang D. Automatic image segmentation by dynamic region merging[J]. Image Processing, IEEE Transactions on, 2011, 20(12): 3592-3605.
- [13] Arbelaez P, Maire M, Fowlkes C, et al. Contour Detection and Hierarchical Image Segmentation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33: 898-916.

## Research on object-oriented method of extracting coastline from unmanned aerial vehicle remote sensing image

MA De-ming<sup>1, 2</sup>, LIU Yan-xiong<sup>1</sup>, JIN Yong-de<sup>1</sup>, CHENG Bao-quan<sup>3</sup>

(1. The First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 3. Qingjian Group Co., Ltd., Qingdao 266071, China)

**Received:** May 9, 2020

**Key words:** unmanned aerial vehicle remote sensing; object-oriented; semi-automatic; coastline extraction

**Abstract:** The coastline is one of the important signs of the coastal zone, and also the baseline and “starting line” of the marine development strategy. It not only marks the boundary between land and sea, but also contains rich environmental information, and has an important role in indicating the coastal beach utilization and the rise and fall of wetland ecosystem. As a precious natural resource, coastline plays an important role in coastal economic development. How to quickly and accurately extract the information of coastline location and its dynamic changes is an urgent problem for natural resources authorities and researchers. In this paper, the coastline of Qingdao small Island Bay was taken as the research object, and the unmanned aerial vehicle remote sensing image was taken as the basic data. An object-oriented coastline extraction method was proposed. Combined with the field test, the application experiment of artificial coastline and sandy coastline identification was carried out. The results show that the probability edge index PRI (Probabilistic Rand Index) of artificial coastline and sandy coastline are 0.97 and 0.88, respectively, and the edge positioning error BDE (Boundary Displacement Error) is 4.33 and 2.84, respectively. The extracted artificial coastline and sandy coastline are basically similar to the measured coastline results. There are only slight differences in local fineness, and the accuracy of coastline identification is high. It is proved that the method can quickly and effectively acquire the coastline information, and its accuracy can meet the needs of coastline dynamic change monitoring, and can be promoted and applied in coastline resource management.

(本文编辑: 刘珊珊)