

基于无人机高光谱遥感的海岛岸线精准提取方法研究与应用

徐 栋^{1,4}, 杨 敏^{1,4}, 苗宇宏², 严 晋¹, 孙 苗^{3,4}

(1. 国家海洋局北海海洋技术保障中心, 山东 青岛 266034; 2. 中国科学院西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119; 3. 国家海洋信息中心, 天津 300171; 4. 国家海洋局数字海洋科学技术重点实验室, 天津 300171)

摘要: 鉴于传统遥感技术手段对海岛岸线的提取在精度与效率上存在很大不足, 通过无人机高光谱遥感技术, 结合岸线实地踏勘活动, 提出一种海岛岸线类型识别与位置提取方法, 并选取实际海岛进行了实验验证, 成功获取了不同类型岸线的准确位置, 所得成果与传统遥感手段相比, 提高了系统性与准确性, 为下一步海岛的生态评估工作提供了数据支撑。

关键词: 高光谱遥感; 无人机; 海岛岸线; 图像分类

中图分类号: P76

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2020)12-0054-07

DOI: 10.11759/hyxx20200529002

海岛, 是祖国领土不可分割的一部分。由于其地理上的特殊性, 海岛具有极其重要的政治、军事、经济以及生态意义, 其岸线长度及岛陆面积的变化, 直接关系到周边海域的生态状况乃至国家的权益, 需要定期开展海岛岸线勘测, 实时掌握其类型与位置的变化。与此同时, 许多海岛地势陡峭, 毒虫出没, 特殊的地理环境给登临人员带来了安全隐患和工作困难, 其岸线的勘测需要遥感手段的介入; 而鉴于我国大多数海岛面积狭小, 岸线曲折, 这又对传统的遥感手段提出了类型识别与位置提取精度上的更高要求。

传统的多光谱遥感, 受干扰条件较多, 主要用于获取海岛整体影像, 不易精细识别不同海岛岸线所涵盖的复杂地物类型, 而高光谱遥感主要针对光谱信息, 抗干扰能力强, 且相比多光谱遥感, 具有 10 nm 级的更高光谱分辨率, 针对遥感数据的每个像元可以获取成百上千个波段, 能够提供近乎于连续的地物光谱曲线, 据此可以较完整地反演海岛岸线的细节特征^[1-2]。

与卫星遥感相比, 无人机低空遥感技术因不受重访周期所限, 更加机动灵活, 其超低空飞行模式能够规避大气云层的影响, 可以快速获取小尺度范围内的高分辨率遥感影像^[3], 是海岛岸线精细化探测的有效技术手段。若辅以岸线实地踏勘活动进行验证, 则能更大程度地提高准确度。

因此, 本文以无人机高光谱遥感技术采集海岛岸线光谱信息, 并结合实地踏勘中获取的岸线解译标志位置及地物光谱信息, 提出一种海岛岸线类型识别与位置提取方法, 用以对海岛岸线进行精准提取。

1 实验数据介绍

1.1 实验区域

海岛海岸线与大陆海岸线相比, 在具体类型上大致相同。然而我国海岛大多面积狭小, 其岸线更加曲折与破碎, 在形成与发育中, 受地貌特征、波浪潮汐、海平面变化等因素的综合影响更为显著。

本文试验区域所选的海岛为基岩岛, 位于长岛南五岛区域之内, 地理坐标为 37°55'48"N、120°40'15"E。根据长岛南五岛海岸的特有物质构成, 并结合遥感影像上呈现出的诸如纹理、空间形态、色调等不同特征, 该区域海岸线共可分为 4 种类型, 如表 1 所示^[4]。本文所选海岛上, 包含上述全部 4 种类型。

针对不同类型海岛岸线所涵盖的复杂地物类型, 高光谱遥感技术的优势在于, 不仅同时表征了地物的光谱信息和空间信息, 还第一次以极高的精度细致描绘了地物的光谱特征^[5], 可以有效解决海岛岸线缺乏标识、地形复杂、辨识难度大的问题, 尤其是对于面积狭小、岸线曲折的海岛, 可以通过分析海水、植被、基岩、干滩、潮滩等不同地物在光谱

收稿日期: 2020-05-29; 修回日期: 2020-06-29

基金项目: 国家海洋局数字海洋科学技术重点实验室 2018 年开放基金 (20181120B1413)

[Foundation: Open Fund of Key Laboratory of Digital Ocean Science and Technology, SOA, 2018, No. 20181120B1413]

作者简介: 徐栋(1987-), 男, 山东青岛人, 工程师, 硕士, 主要研究方向为海洋遥感、海洋生态评估, E-mail: xudong@ncs.mnr.gov.cn; 杨敏(1981-), 通信作者, 高级工程师, E-mail: yangmin@ncs.mnr.gov.cn

表 1 长岛南五岛海岸线分类

Tab. 1 Coastline classification of South five islands of Changdao

海岸类型	空间分布特征
基岩岸线	岸线较曲折, 半岛、岬角和外海岛礁等区域多有分布, 由于波浪和沿岸流影响, 受到强烈侵蚀和冲刷。
粉砂质岸线	岸线较平直, 基岩岬角之间开阔的海湾多有分布, 具有平缓的坡度以及较宽的滩面。
砂砾质岸线	岸线较平直, 由于海水搬运以及沉积的作用, 通常会出现一条较为显著的砂砾质沉积带, 常有植物或垃圾碎屑堆积其上, 即为滩脊。
人工岸线	岸线较规整, 在村镇、码头、港口、盐田、养殖区等地多有分布。

特征上的差异, 进而识别不同类型的岸线, 实现对其位置精准有效地提取。

1.2 数据来源

1.2.1 地面光谱数据

本文地面光谱采集仪选择美国 StellarNet 公司生产的 Blue-Wave 微型光纤光谱仪, 光谱范围为 200~1 150 nm, 光谱分辨率为 3.0 nm。选择天气晴朗、无云无风的 10: 00—14: 00 时间段进行地面光谱测定, 每种地物类型样本采集不少于 10 条光谱数据, 并在采集过程中随时进行白板校正以降低采集误差, 最终利用该光谱仪自带软件进行前期数据处理, 得到地物的光谱反射率数据。

1.2.2 机载高光谱影像数据

本文采用大疆 M600 Pro 无人机搭载智科远达公司的 ZK-VNIR-FPG480 轻小型高光谱成像设备进行高空数据采集。高光谱影像的光谱范围为 400~1 000 nm, 光谱分辨率为 2.8 nm, 空间分辨率为 13 cm, 最终得到具有 226 个光谱波段的机载高光谱影像数据。

由于获得的高光谱数据通常为没有实际物理意义的像素量化值(DN), 需要将其通过式(1)转化为具有一定物理意义的光谱反射率值, 再进行后续的处理与应用, 如公式(1)所示:

$$R_{\text{target}} = \frac{D_{\text{target}} - D_{\text{dark}}}{D_{\text{white}} - D_{\text{dark}}} R_{\text{white}}, \quad (1)$$

其中, R_{target} 为影像的反射率值, D_{target} 为影像的 DN 值, D_{dark} 、 D_{white} 分别为相机自身暗电流与标定白板的 DN 值, R_{white} 为标定白板的反射率值。

2 海岛岸线精准提取方法

海岛岸线精准提取方法流程如图 1 所示。

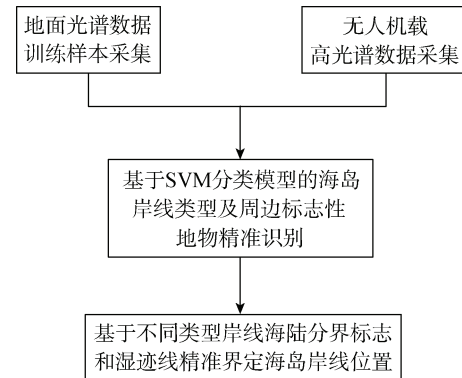


图 1 海岛岸线精准提取方法流程图

Fig. 1 Flow chart of island coastline precise extraction method

2.1 支持向量机

支持向量机(SVM)以核函数理论为指导, 是一种建立在统计学习理论基础上的机器学习技术, 其将原始的非线性数据映射至高维特征空间中, 通过在特征空间中寻找最优超平面^[6], 来获得类内间距最小化、类间间距最大化, 实现原始数据的最优分类^[7]。由于该算法在高维数据处理方面具有出众的分类性能和泛化能力, 在高光谱领域应用广泛。

SVM 分类方法的基本思想是求解分类超平面, 目的是正确划分训练数据集, 同时保证最大的几何间隔。以线性可分二分类问题为例, 设 $x_i \in R^d$ 为样本数据, $y_i \in \{+1, -1\}$ 为相应的类别标号, $i = 1, 2, \dots, n$, 线性判别函数的一般形式为 $g(x) = \langle w, x \rangle + b$, 相应的分类面为 $\langle w, x \rangle + b = 0$ 。其中 x 是 d 维特征向量, w 为权重向量, 可表示为 $w = [w_1, w_2, \dots, w_d]^T$, b 为常数, 称为阈值。

为求取最大几何间隔 A , 需要求取 $\|w\|$ 的最小值, 于是, 寻找最优分类面的问题转化为公式(2):

$$A = \min \frac{1}{2} \|w\|^2, \quad (2)$$

公式(2)需满足公式(3):

$$y_i (\langle w, x \rangle + b) - 1 \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

在处理非线性问题时, SVM 通过引入非线性映射 ϕ , 将原始空间不能线性分开的点映射为变换空间上的线性可分点, 在此条件下, 上述表达式

中的 x_i 需相应地替换为 $\phi(x_i)$, 内积 $\langle x_i, x_j \rangle$ 则替换为公式(4):

$$K(i, j) = K(x_i, x_j) = \langle \phi(x_i), \phi(x_j) \rangle, \quad (4)$$

式中, K 为核函数算子, 为变换空间上的一个内积运算, K 为样本集合在核函数算子作用下所得到的核函数矩阵, 两者通常均简称为核函数。

2.2 地面训练样本采集

海岛地形复杂, 地物类型混合程度高, 为最大程度规避同物异谱和同谱异物现象, 在实地踏勘中, 采集不同类型岸线典型岸段所涵盖地物的光谱信息, 作为训练样本, 辅助无人机高光谱遥感进行光谱特征分析。

由于地面光谱仪采集数据的光谱范围、光谱分辨率与机载高光谱影像中提取的像元光谱范围、光谱分辨率均不一致, 因此需要根据机载高光谱影像像元光谱的标准对地面光谱进行重采样, 以保持训练样本中光谱范围与光谱分辨率的一致性, 这一步骤可通过 ENVI 软件中的波谱重采样工具进行。重采样后的地面光谱数据与提取到的机载高光谱影像的像元光谱数据(如图 2 所示)共同组成训练样本, 支持后续 SVM 分类器的训练。

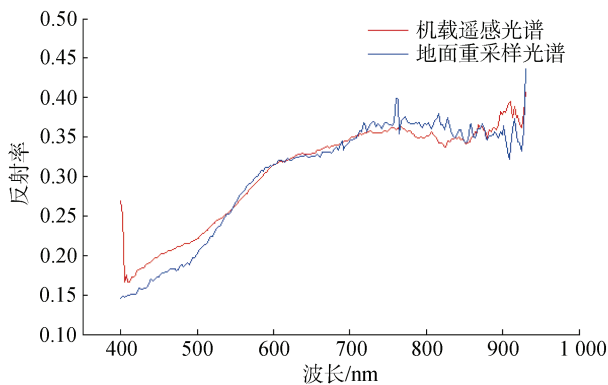


图 2 地面重采样光谱与机载遥感光谱曲线对比
(以基岩为例)

Fig. 2 Comparison of the spectrum curves of the ground resampling acquisition and airborne remote sensing (take bedrock as an example)

2.3 岸线类型识别

不同类型的海岛岸线, 具有不同的解译标志, 由此也决定了不同的岸线界定方式。所以, 若要精准地提取岸线位置, 必须先进行海岛岸线类型的准确识别。

利用 SVM 方法进行岸线分类的算法可以归纳为:

(1) 将地面采集光谱数据与无人机高光谱数据同时作为训练样本, 构建几种典型岸线类型的光谱数据训练集合; (2) 将训练样本导入 SVM 分类器中进行训练, 通过优化目标函数的方式找到最优的 SVM 分类模型; (3) 利用上述得到的 SVM 分类模型对整幅高光谱影像中的地物进行预测, 并得到对应的分类结果。

通过上述解译算法, 可以对海岛岸线进行分段细致的光谱反射率分析, 相比目视解译更加准确高效地识别不同岸线类型及所包含的地物类型, 保证下一步岸线位置的精准提取。

2.4 岸线位置提取

我国国家标准《海洋学术语 海洋地质学》(GB/T 18190-2000)给出的海岸线定义是“海岸线是海陆分界线, 在我国系指多年大潮高潮位时的海陆界线”。现有的一些研究主要基于卫星遥感影像, 利用遥感技术自动提取大潮时瞬时水边线, 将其视为海岸线, 但这样会带来几米甚至几十米的误差; 为提取更加精确的海岸线位置, 现有多数方法为, 参照成像时刻的潮汐规律, 开展潮汐校正, 提取海岸线^[4], 但对于很多海岛而言, 当地并没有相应的验潮站, 缺乏相关潮汐数据。

本文在实地踏勘中, 利用无人机机动灵活的特点, 选在当日高潮时开展低空遥感探测, 基于海岛岸滩受长期海浪作用形成的干滩滩脊、植被堆积线等地貌特征及痕迹, 基岩陡崖、人工护岸等海陆分界标志, 以及干湿分界线——即当日大潮高潮时留下的干滩与潮滩之间的湿迹线, 为无人机遥感布设地面像控点, 建立遥感解译标志, 精准界定海岛岸线。

3 实验验证结果分析

3.1 岸线类型识别结果

本文采用基于影像光谱特征的 SVM 分类方法实现岸线类型识别, 研究区域内主要包含 4 种典型的岸线类型, 不同岸线所包含的地物类型光谱曲线在形状、反射率数值大小等方面均存在区别, 据此可以进行地物类型的划分。

1) 基岩岸线

基岩岸线由海岸之上的岩石组成, 构造与岩石相似, 裸岩呈灰白色, 与海水相比, 具有较高的光谱反射率。

2) 人工岸线

人工岸线由人工建筑物构成, 包括防潮堤、防波堤、养殖区等不同类型, 通常呈现出较高的光谱反射率, 光谱影像上一般亮度较高^[8]。

3) 粉砂质岸线

通常具有干燥的干滩与含水量较高的潮滩两种地物类型, 两者的最高分界线即为粉砂质岸线位置。干滩与潮滩由于含水量的不同, 在光谱反射率上会存在差异。

4) 砂砾质岸线

砂砾质岸线一般较为平直, 受大潮潮水搬运影响, 在砂质岸线滩脊处, 常堆积有植物碎屑, 具有明显的植被光谱特征, 是判定砂质岸线的重要解译标志。

不同类型地物的光谱反射率曲线如图 3 所示。

3.2 岸线位置提取结果

通过上述高光谱分类方法, 得到了不同岸线的分类结果, 结合实地踏勘解译标志位置, 对岸线位置进行了精准提取。

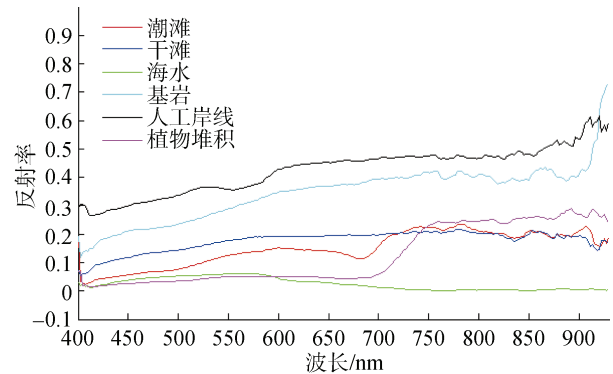


图 3 基岩、粉砂质、砂砾质及人工岸线地物光谱反射率曲线

Fig. 3 Spectral reflectance curve of ground objects in bed-rock, silty, sandy gravel and artificial shoreline

1) 基岩岸线位置提取

利用高光谱影像分类得到了海水、基岩等不同类别。对于基岩岸线, 岸线位置即在海水与基岩的交界处, 通过分类结果解译所得基岩岸线位置如图 4 中红线所示。

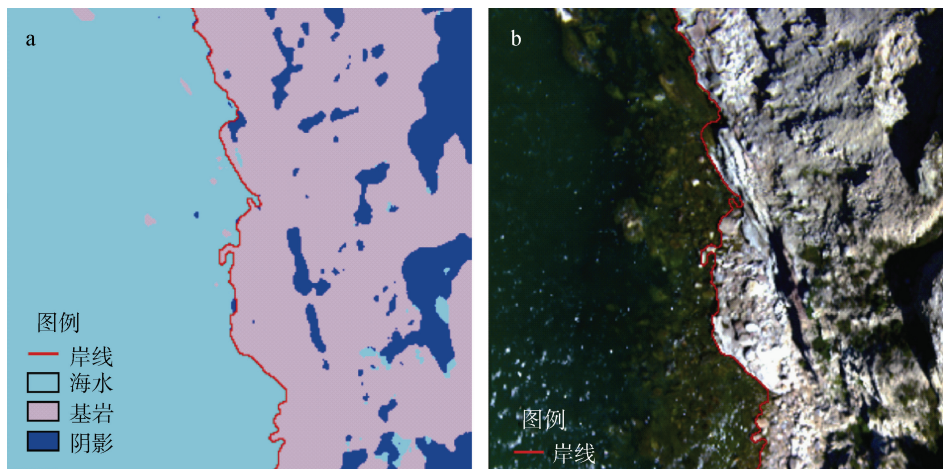


图 4 基岩岸线位置提取

Fig. 4 Location extraction of bedrock shoreline

a: 分类结果; b: 遥感原图

2) 人工岸线位置提取

利用高光谱影像分类得到了海水、人工开发、干滩、潮滩、植被以及裸地等不同类别。对于人工岸线, 岸线位置即在海水与人工开发利用区域的交界处, 通过分类结果解译所得人工岸线位置如图 5 中红线所示。

3) 粉砂质岸线位置提取

利用高光谱影像分类得到了海水、干滩、潮滩、

植被等不同类别。对于粉砂质岸线, 岸线位置在干滩与潮滩的交界处, 通过分类结果所得二者边界线, 即砂质岸线位置如图 6 中红线所示。

4) 砂砾质岸线位置提取

利用高光谱影像分类得到了海水、干滩、潮滩、植物堆积等不同类别。对于砂砾质岸线, 岸线位置在滩脊植物碎屑堆积处, 通过分类结果所得滩脊植物堆积线, 即砂砾质岸线位置如图 7 中红线所示。

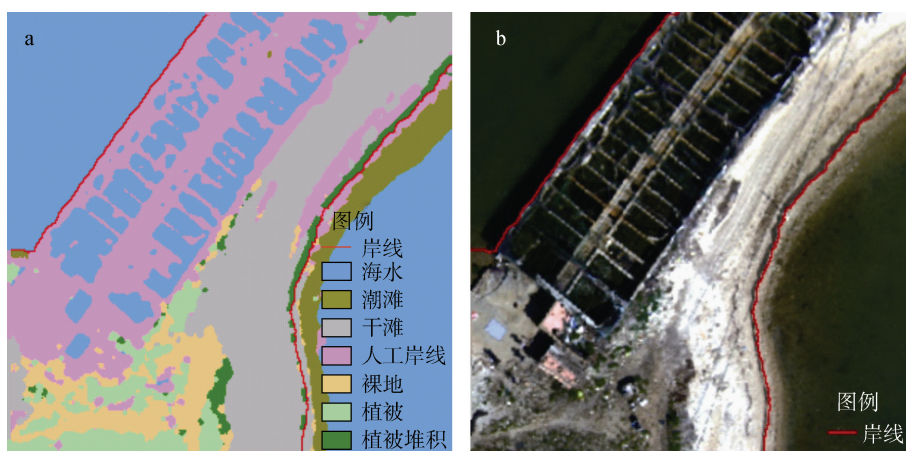


图 5 人工岸线位置提取

Fig. 5 Location extraction of artificial shoreline

a: 分类结果; b: 遥感原图

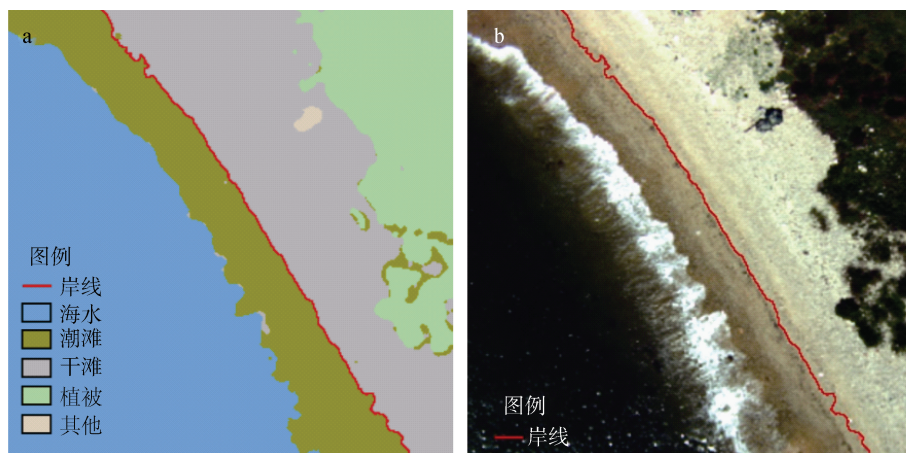


图 6 粉砂质岸线位置提取

Fig. 6 Location extraction of silty shoreline

a: 分类结果; b: 遥感原图

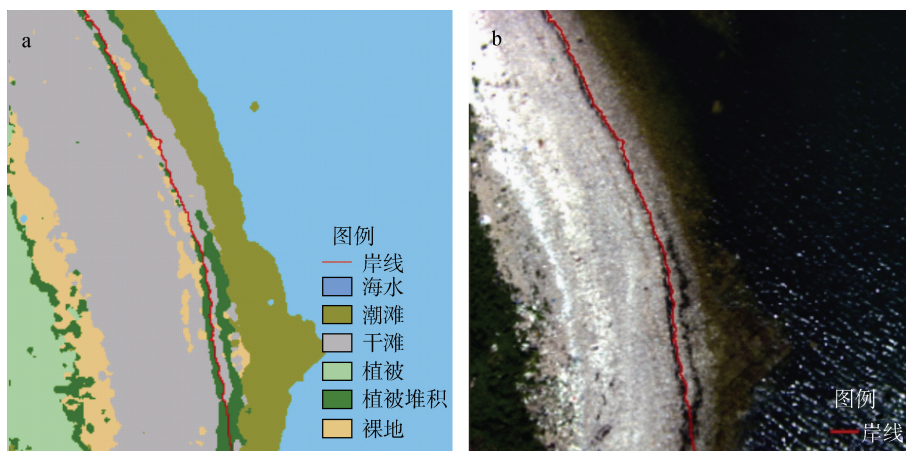


图 7 砂砾质岸线位置提取

Fig. 7 Location extraction of sandy gravel shoreline

a: 分类结果; b: 遥感原图

3.3 结果精度验证

为了对上述岸线位置提取结果进行精度分析,选择光谱数据分析与处理领域常用的总体分类精度与 Kappa 系数两项指标进行评价,并与仅利用 RGB 影像的分类结果进行了精度比较,如表 2 所示。

通过表 2 中结果对比可知,本文所得基于机载高光谱影像的岸线提取结果具有更高的总体分类精度与 Kappa 系数,证明了本文所提出方法在海岛岸线精准提取中的优势与可行性。选取 1 处具有代表性的人工岸段,列出岸线分类结果精度对比如图 8 所示。

通过图 8 中所列结果对比可知,与高光谱影像分类相比,RGB 影像分类杂点更多,把地理分布相邻的、有轻微光谱差异的目标皆归类为不同地物,没有考虑区域关联性,而对岸边植被堆积的一个明显条带

表 2 岸线分类结果精度对比

Tab. 2 Comparison of accuracy of shoreline classification results

岸线类型	总体分类精度/%		Kappa 系数	
	高光谱 影像分类	RGB 影像分类	高光谱 影像分类	RGB 影像分类
基岩岸线	99.036 0	95.308 5	0.983 9	0.921 6
人工岸线	95.956 1	75.678 8	0.951 2	0.702 9
粉砂质岸线	99.945 5	97.723 5	0.999 3	0.969 6
砂砾质岸线	99.772 1	97.265 3	0.996 6	0.958 4

却并未完成分类,这与总体分类精度和 Kappa 系数的对比结果是一致的(图中所选人工岸段高光谱影像总体分类精度为 95.956 1%, Kappa 系数为 0.951 2, RGB 影像总体分类精度为 75.678 8%, Kappa 系数为 0.702 9)。

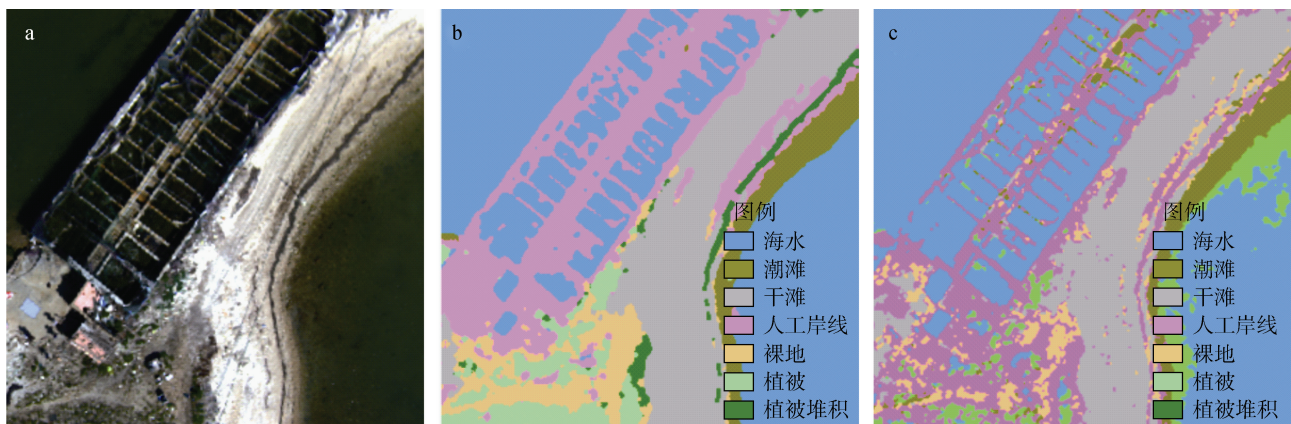


图 8 典型岸段岸线分类结果精度对比

Fig. 8 Comparison of accuracy of coastline classification results of typical bank sections

a: 遥感原图; b: 高光谱影像岸线分类; c: RGB 影像岸线分类

4 总结与展望

本文提出的海岛岸线精准提取方法,基于无人机高光谱与地面采集光谱联合解译手段,针对不同类型海岛岸线的界定标准,分段进行地物分类识别与岸线位置提取。经过在所选海岛上的实地验证,该方法可以准确识别出各种地物类型与地理位置,与传统遥感手段相比,提高了岸线分类识别与位置提取的精度。今后应进一步结合相关潮位数据,判定更为精准的平均大潮高潮线。

该方法可以推广至其他基岩海岛,并进一步应用于海岛的生态评估工作中,未来的应用前景可包括: (1) 通过分类型、分段精准测定的岸线位置,可

以结合长时序、多时相的观测,逐月、逐年对海岛岸线位置的变化进行统计对比,开展海岛岸线侵蚀风险评估; (2) 通过对海岛上不同类型岸线的长度统计,可以对海岛自然岸线保有率的变化趋势进行分析,评估人类开发活动对海岛生态的干扰程度,确定有针对性的海岛保护与修复措施; (3) 通过对不同时间点海岛水边线的精准提取,可以准确识别潮间带的宽度变化,作为海岛生态评估的另一项重要基础数据。

参考文献:

- [1] 崔俊涛. 对于高光谱图像端元解混方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.

- Cui Juntao. Study on the end-point unmixing method of hyperspectral image[D]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology, 2013.
- [2] 张良培. 高光谱目标探测的进展与前沿问题[J]. 武汉大学学报(信息科学), 2014, 39(12): 1387-1394, 1400.
Zhang Liangpei. Progress and frontier issues of hyperspectral target detection[J]. Journal of Wuhan University (Information Science Edition), 2014, 39(12): 1387-1394, 1400.
- [3] 向必银. 无人机低空遥感影像的应用研究[J]. 低碳世界, 2017(31): 89-90.
Xiang Biyin. Application research of UAV low altitude remote sensing image[J]. Low Carbon World, 2017(31): 89-90.
- [4] 康波, 林宁, 徐文斌, 等. 基于遥感和 GIS 的长岛南五岛近 30 年海岸线时空变迁分析[J]. 海洋通报, 2017, 36(5): 585-593.
Kang Bo, Lin Ning, Xu Wenbin, et al. Analysis of coastline temporal and spatial changes of five South Islands of Changdao in recent 30 years based on remote sensing and GIS[J]. Ocean Bulletin, 2017, 36(5): 585-593.
- [5] 孙鹏, 宋梅萍, 安居白. 基于光谱曲线响应特性的油膜厚度估计模型分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(7): 1881-1885.
Sun Peng, Song Meiping, An Jubai. Oil film thickness estimation model analysis based on spectral curve response characteristics[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2013, 33(7): 1881-1885.
- [6] 董宝玉. 支持向量技术及其应用研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2016.
Dong Baoyu. Research on support vector technology and its application[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2016.
- [7] 单凯晶, 肖怀铁, 朱俊. 基于 C-均值聚类的高分辨距离像识别[J]. 现代雷达, 2010, 32(6): 49-53.
Shan Kaijing, Xiao Huaitie, Zhu Jun. high resolution range profile recognition based on c-means clustering[J]. Modern Radar, 2010, 32(6): 49-53.
- [8] 周相君. 1973-2013 年广西大陆海岸线遥感变迁分析[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2014.
Zhou Xiangjun. Remote sensing change analysis of Guangxi continental coastline from 1973 to 2013[D]. Qingdao: The first Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 2014.

Research and application of accurate extraction method of island shoreline based on hyperspectral remote sensing of unmanned aerial vehicle

XU Dong^{1, 4}, YANG Min^{1, 4}, MIAO Yu-hong², YAN Jin¹, SUN Miao^{3, 4}

(1. North China Sea Marine Technical Support Center, State Oceanic Administration, Qingdao 266034, China; 2. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China; 3. National Marine Data and Information Service, Tianjin 300171, China; 4. Key Laboratory of Digital Ocean, State Oceanic Administration, Tianjin 300171, China)

Received: May 29, 2020

Key words: hyperspectral remote sensing; unmanned aerial vehicle; island shoreline; image classification

Abstract: In view of the shortcomings of the traditional remote sensing technology in the accuracy and efficiency of the island coastline extraction, this paper proposes a method of island coastline type recognition and location extraction through the hyperspectral remote sensing technology of unmanned aerial vehicle, combined with the coastline field survey activities, and selects the actual island for test verification. Finally, the exact locations of different types of shorelines are obtained. Compared with the traditional remote sensing methods, the results of this paper is more systematic and accurate, and provides data support for the next step of island ecological assessment.

(本文编辑: 刘珊珊)