

doi: 10.6046/zrzyyg.2022308

引用格式: 陈慧欣,陈超,张自力,等.一种基于 Google Earth Engine 云平台的潮间带遥感信息提取方法[J].自然资源遥感,2022,34(4):60-67. (Chen H X,Chen C,Zhang Z L,et al. A remote sensing information extraction method for intertidal zones based on Google Earth Engine[J]. Remote Sensing for Natural Resources,2022,34(4):60-67.)

一种基于 Google Earth Engine 云平台的潮间带遥感信息提取方法

陈慧欣¹, 陈超¹, 张自力², 汪李彦¹, 梁锦涛¹

(1. 浙江海洋大学海洋科学与技术学院, 舟山 316022; 2. 浙江省生态环境监测中心(浙江省生态环境监测预警及质控研究重点实验室), 杭州 310012)

摘要: 潮间带是滨海湿地的重要组成部分,对生态和经济的发展具有重要意义。由于海水与陆地的动态交互作用,以瞬时性遥感图像为数据源的遥感信息提取方法难以准确获取潮滩范围。针对此问题,研究提出了一种基于 Google Earth Engine(GEE)云平台和遥感指数的潮间带信息提取方法。该方法利用 2021 年的 Landsat8 时序影像数据,在最大光谱指数合成算法(maximum spectral index composite,MSIC)和大津算法(OTSU)形成多层自动决策树分类模型的基础之上,构建基于融合数字高程模型(digital elevation model,DEM)数据的决策树算法,并以舟山群岛海岸带为例,计算舟山群岛潮间带面积。研究结果显示 2021 年舟山群岛潮间带面积为 35.19 km²。通过谷歌地球的高空间分辨率影像进行精度评价,总体精度为 97.7%,Kappa 系数为 0.95,具有较好的提取精度和实用效果。该方法能够实现自动、快速地提取潮间带信息,为海岸带资源的可持续管理和利用提供数据支撑,进一步促进海岸带区域的高质量发展。

关键词: 潮间带; Landsat8 影像; Google Earth Engine; 最大光谱指数合成算法(MSIC); 大津算法(OTSU)

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2022)04-0060-08

0 引言

潮间带是陆地生态系统和海洋生态系统之间的缓冲区域,是滨海湿地的重要组成部分,具有较高的生态经济价值,通常位于高潮线与低潮线之间。在陆地环境和海水的双重作用下,潮间带湿地有着极其丰富的生物资源^[1],在维持海岸线稳定、促进碳汇、调节气候和维持生态平衡等方面发挥极高的生态价值^[2-5]。同时也在水产养殖、供应土地资源和旅游资源等方面创造高经济效益^[6-7]。然而,受全球气候变化、海平面上升以及人类活动的影响^[8],潮间带面积萎缩,生物多样性下降,湿地环境面临严峻威胁。及时准确地掌握潮间带湿地的分布状况和演变规律,有利于实现潮间带湿地的科学管理,促进海岸带地区的可持续发展^[9]。

遥感技术的发展为获取潮间带信息提供方便快捷的手段,更多高空间分辨率的卫星影像在监测潮

间带变化过程中提供数据支撑。Google Earth Engine(GEE)是一个行星尺度的地理空间信息分析平台,为地球观测研究提供了巨大的潜力^[10-11]。GEE 平台可以访问和计算 Landsat/Sentinel 等公开获取的遥感影像数据和其他辅助数据,使得快速处理和分析海量的地理空间数据成为可能,为进行大尺度长时间序列的分析和应用提供技术支撑^[12]。目前在土地利用变化^[13-14]、滨海湿地分类^[15]、监测森林类型^[16-17]、水体信息的提取和动态变化^[18-19]、红树林制图^[20]以及监测潮间带变化^[21-22]等领域都得到广泛应用。

潮间带是一个复杂的地理体,遥感监测潮间带要将卫星影像与地学知识相结合,提取遥感数据中所包含的光谱空间信息等,获取潮间带地形的动态变化信息。国内外学者利用遥感技术对潮间带调查和制图开展了大量研究。从小尺度如监测葡萄牙里斯本的塔古斯河口^[23]、广西防城港市^[24],到中大尺度如澳大利亚潮间带^[25]、中国沿海地区^[26-27]、东亚

收稿日期: 2022-07-27; 修订日期: 2022-08-27
基金项目: 国家自然科学基金项目“人类活动影响下的群岛区域海岸线时空演变机制分析”(编号: 42171311)资助。
第一作者: 陈慧欣(1998-),女,硕士研究生,研究方向为海岸带环境遥感。Email: s20070700014@zjou.edu.cn。
通信作者: 陈超(1982-),男,博士,副教授,研究方向为海岸带环境遥感。Email: chenchao@zjou.com。

滨海地区^[28],以及对全球尺度的潮间带地区进行制图和监测^[29]。在研究方法方面,部分学者利用潮汐高程模型和基于地形的方法来划定潮间带的空间范围和滩涂^[30-32],随机森林算法^[33]和支持向量机算法^[34]等基于训练样本的机器学习方法也得到广泛应用。此外,还有通过选取潮滩的普遍阈值来进行滩涂制图的基于知识的决策树方法^[21]。总的来说,提取大陆海岸潮间带信息的方法依赖潮位数据、训练样本或者人工干预阈值等辅助数据的使用,且实现过程较为复杂。同时面向群岛区域的研究较少,缺乏对海岛潮滩资源较为深入和系统的研究,需要一种应用于群岛区域潮间带信息的自动、快速提取方法。

舟山群岛四面环海,云雨天气较多,潮位处于不断变化之中,海岛地区陆地面积狭小,潮滩零星分布,难以在最低潮和最高潮时捕捉到高质量的遥感影像,进而无法准确提取潮间带信息。针对此问题,本研究选择舟山群岛作为研究区,基于 GEE 云平台,以 Landsat8 时间序列影像为主要数据源,结合舟山群岛海岸带地理特征选择适合的遥感指数,利用最大光谱指数合成算法(maximum spectral index composite,MSIC)和最大类间方差法(Otsu algorithm,OTSU)构建多层自动决策树分类模型,并在此基础上提出基于融合数字高程模型(digital elevation model,DEM)的决策树算法。将提取结果与谷歌地球高空间分辨率影像进行精度评价,验证本研究方法的可行性及稳定性,为自动、快速实现潮间带信息提取提供可行的方法和思路,为海岸带资源的开发与保护提供技术支持。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区域概况

舟山群岛隶属于浙江省,地处中国东部黄金海岸线与长江黄金水道的交汇处,背靠长江三角洲广阔经济腹地,研究区位置示意图如图 1 所示。舟山群岛拥有 2 085 个岛屿和 270 多 km 深水海岸线,是中国第一大群岛和重要港口城市,下辖定海、普陀 2 区和岱山、嵊泗 2 县,2021 年常住人口为 116.5 万人。舟山群岛四面环海,属亚热带季风气候,冬暖夏凉,温和湿润,年平均气温为 16℃。该研究区全年降水量显著,常年降水量在 927~1 620 mm 之间,夏秋之际易受热带风暴侵袭。舟山群岛属于低山丘陵地貌类型,主要由平原和丘陵组成。舟山群岛植被属中亚热带常绿阔叶林,以阔叶乔木和灌丛混交林为主^[35]。

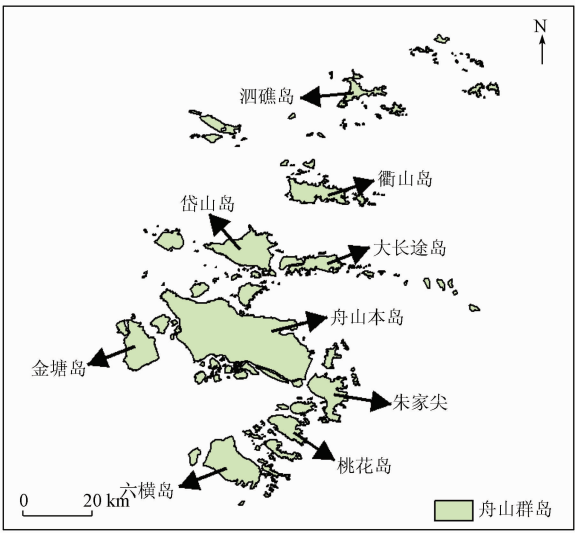


图 1 研究区位置示意图
Fig.1 Location of study area

1.2 数据获取与处理

Landsat 是美国国家航空航天局(national aeronautics and space administration,NASA)发射的陆地卫星系列,从 1972 年以来已经发射了 9 颗,积累了大范围、长时间序列的地表遥感影像数据,被广泛应用于对地观测研究中。Landsat8 卫星于 2013 年 2 月发射,包括陆地成像仪(operational land imager,OLI)和热红外传感器(thermal infrared sensor,TIRS)2 种载荷,重访周期为 16 d^[36-37]。根据目前数据源状况和研究需求,以 2021 年的卫星影像合成为一期遥感数据进行分析,筛选 2021 年间云量小于 25%、成像效果良好的 Landsat8 OLI 卫星影像,利用质量评估波段(quality assessment band,QA)去除云和阴影等观测质量较差的像素。

SRTM(shuttle Radar topography mission)DEM 是由美国 NASA 和国防部国家测绘局联合测量得到,获取 N60°~S56°之间的雷达影像数据,覆盖地球 80% 以上的陆地表面。按精度可分为 SRTM1 和 SRTM3 这 2 种数据,分别对应 30 m 和 90 m 空间分辨率精度的数据^[38-39]。本文使用的 DEM 数据是 SRTM 30 m 空间分辨率数据,对舟山群岛的高程和坡度信息进行提取分析。

2 研究方法

研究利用 2021 年 Landsat8 影像集合构建自动、快速提取潮间带的方法流程,基于遥感指数特征提取水体信息,包括以下 4 个步骤:①基于 GEE 云平台,通过云量筛选和 QA 波段去云构建 Landsat8 影像堆栈;②深入分析舟山群岛潮间带湿地的时间序

列变化特征,选取适合的光谱指数,基于 MSIC 算法和统计分析,利用 OTSU 算法构建多层决策树自动分类模型,从 Landsat8 数据集中提取潮间带初始信息;③融合 DEM 数据,去除养殖塘和湖泊等内陆

水体的干扰,提取潮间带最终信息;④利用谷歌地球的高空间分辨率影像对提取的潮间带范围进行验证。具体技术路线如图 2 所示。

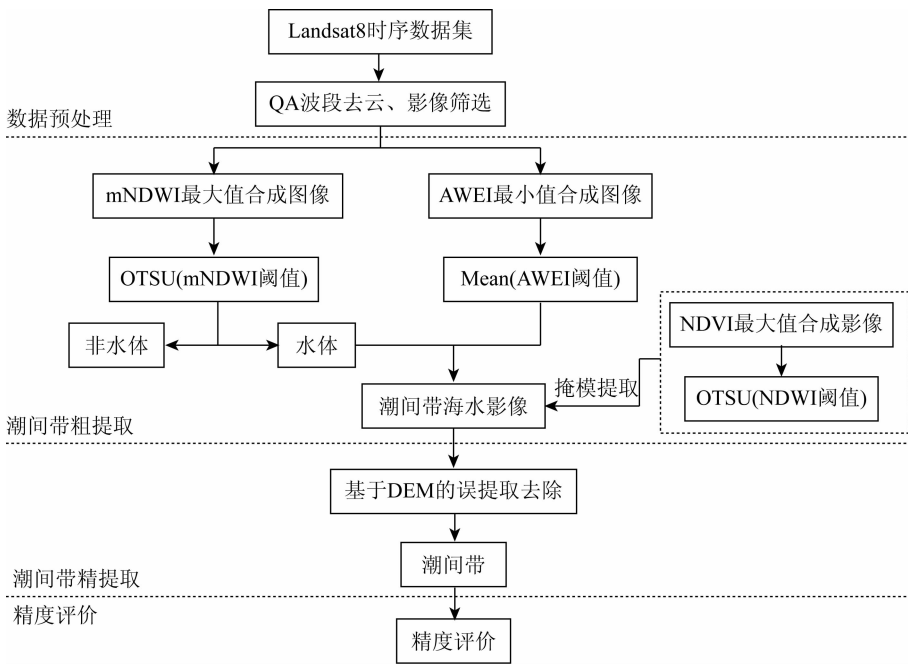


图 2 潮间带信息提取流程

Fig. 2 Workflow of intertidal information extraction

2.1 数据预处理

对 Landsat8 卫星遥感数据进行预处理,去除研究区内 2021 年度 Landsat8 影像集中的云像素,流程如下:首先,在 GEE 中调用 2021 年的所有覆盖研究区域的 Landsat8(USGS Landsat8 Surface Reflectance Tier 1)产品,建立研究区初始密集时间序列影像集合,该产品包含已经过大气校正和辐射校正的地表反射率数据;然后,筛选云量小于 25% 的影像,再利用 QA 波段去除云和阴影等观测质量较差的像素,以获得高质量观测数据。

2.2 潮间带粗提取

MSIC 算法是指基于时间序列 Landsat8 影像集中选取一个光谱指数作为逐像素排序函数,根据集中具有所选光谱指数的最大值来设置合成影像中的每个像素。在 GEE 平台的 API 中提供了“image Collection. quality Mosaic()”的函数,可以使用该函数调用 MSIC 算法。

在本研究中,将高潮与低潮之间的淤泥质或沙质无植被海岸带定义为潮间带。首先,基于像素合成影像的 MSIC 算法,利用所选光谱指数最大值的像素来合成高质量影像,在一定程度上可以避免云噪声像素对影像质量的影响,解决滨海地区的影像缺失问题,并且可以缓解因潮汐运动带来的潮位变化的不确定性;其次,通过 OTSU 算法对改进的归

一化差异水体指数(modified normalized difference water index, mNDWI)最大值合成图像进行二值分割,自动生成二元分类结果,即水体和非水体,获得 2021 年度最大地表水覆盖;应用直方图统计对自动水体提取指数(automated water extraction index, AWEI)最小值合成图像进行阈值分割,有效去除非水体像元;最后,应用归一化差异植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)的二值分割图像,进一步识别错分地物并去除,完成初始潮间带信息提取。

2.2.1 基于遥感指数的最大和最小水面合成

近年来,水体指数法因使用简单和计算耗时少,已成为常用的水体信息提取方法。目前常用的水体指数主要有以下几种^[40]: McFeeters^[41]提出基于绿光波段和近红外波段的归一化差异水体指数(normalized difference water index, NDWI); Rogers 等^[42]提出基于红光波段和短波红外波段的 NDWI; Xu^[43]提出的基于绿光波段和中红外波段的 mNDWI; Feyisa 等^[44]提出的 AWEI。

根据 Ji 等^[45]和 Jia 等^[30]的研究结果,在提取水体信息时, mNDWI 比 NDWI 取得更好的效果,且具有稳定的阈值。所以在提取潮间带方面, mNDWI 增强了堤坝、道路和池塘外缘等人工岸线与水体的差异,有效地抑制养殖池等其他类型背景水体的影响,

因此本研究选择 $mNDWI$ 用于提取潮间带水体信息。另外, $AWEI$ 是通过波段间的相减、相加以及给波段赋予不同的系数来实现水体像元和非水体像元最大程度的分离,通过设定合适的阈值,可以有效去除非水体像元。 $NDVI$ 能够有效识别植被信息^[46],

$$AWEI_{nsh} = 4(GREEN - SWIR1) - (0.25NIR + 2.75SWIR1) , \tag{2}$$

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} , \tag{3}$$

式中 $RED, GREEN, NIR$ 和 $SWIR1$ 分别为红光波段、绿光波段、近红外波段和短波红外 1 波段反射率值。

2.2.2 基于 OTSU 算法的水陆分离

OTSU 算法是大津展之于 1979 年提出的基于图像的统计属性选取最佳阈值的非参数方法,适用于决策树分类方法。按照图像的灰度特性,基于最小二乘法原理将图像分割成背景和前景 2 类,计算其类间方差最大、类内方差最小的值为最优分割阈值,进行图像的自动二值分类得到 2 类像素最大的区分度。原理如下: 将图像 $l(x,y)$ 分为前景和背景,分割阈值记作 T ,采用遍历的方法得到使类间方差 g 最大的阈值 T ,即为分割阈值^[47-48]。公式为:

$$g = \omega_0 \omega_1 (\mu_0 - \mu_1)^2 , \tag{4}$$

式中: μ 为图像的总平均灰度; g 为类间方差; ω_0 为前景图像像素数占整幅图像的比例; μ_0 为前景图像平均灰度; ω_1 为背景图像像素数占整幅图像的比例; μ_1 为背景图像平均灰度。

2.3 潮间带精提取

DEM 广泛应用于地学的各个领域,如地质地貌学、地图制图和水文分析等各项研究,为全球的地理信息提取和分析提供数据支持。海水养殖是舟山市渔业的特色,养殖空间向浅海扩展,全市养殖塘数量较多,且和潮滩特征相似,在遥感指数的识别上不易区分。应用 DEM 数据的高程和坡度信息对舟山群岛潮间带粗提取结果进行处理分析,可有效去除养殖塘等内陆水体的干扰,进一步区分滩涂和水体,提取潮间带最终信息。

2.4 精度评价

混淆矩阵也称误差矩阵,通过将每个实测像元的位置和类别与分类结果中的相应位置和类别相比较计算,可以评价某一类别地物是否被正确分类。具体可分为总体分类精度 (overall accuracy, OA)、制图精度 (producer's accuracy, PA) 和用户精度 (user's accuracy, UA)。OA 指被正确分类的像元数与所有真实数据像元总数的比值。PA 指被正确分类的某一类别像元数占该类别真实数据像元数的比例。UA 指被正确分类的某一类别像元数占分类结果中

弥补 $mNDWI$ 和 $AWEI$ 水体指数的不足,成为本文中潮间带信息提取的辅助指数。其公式分别为:

$$mNDWI = \frac{GREEN - SWIR1}{GREEN + SWIR1} , \tag{1}$$

该类所有像元数的比例。衡量分类结果与真实数据吻合度的一个指标是 Kappa 系数,Kappa 系数既考虑了被正确分类的像元,也考虑了各种漏分或错分的像元,其范围为 $[0,1]$ 。所以当 OA, PA, UA 和 Kappa 系数越大时,说明结果精度越高^[49]。

3 结果与分析

3.1 潮间带信息精度评价

本研究采用混淆矩阵法进行精度评价,结合研究期内的 Landsat8 影像信息并利用谷歌地球的高空间分辨率影像随机生成样本点对提取的潮间带范围进行验证。利用目视解译判别样本点属性,作为区分绿色植被和地表水体等内陆地物与潮滩的依据,经过谷歌地球影像检查确保每个样本点的地物类别属性一致,没有清晰的土地覆盖信息的样本点被剔除。最后,一生成 305 个样本点,其中滩涂 85 个,非滩涂 (包括绿色植被和地表水体) 220 个,在研究区内均匀分布,得到的混淆矩阵如表 1 所示。结果表明,2021 年滩涂的 UA 为 93.0%, PA 为 91.9% 和 OA 为 97.7% 均较高, Kappa 系数为 0.95,舟山市的潮间带提取结果与验证数据对比取得良好的一致性,实现了舟山群岛潮间带的快速自动提取。

表 1 混淆矩阵及精度分析
Tab.1 Confusion matrix and precision analysis

	地面参考像素		图像总像素	UA/%
	类别	潮滩	非潮滩	
图像像素	潮滩	79	6	85
	非潮滩	7	213	220
总地面实况像素		86	219	305
PA/%		91.9	97.3	

3.2 潮间带信息空间分布特征

2021 年舟山群岛潮滩空间分布如图 3 所示。统计计算得出,2021 年舟山群岛潮滩面积为 35.19 km²。与现有的潮间带提取方法对比,该方法不仅减少潮汐运动引起的潮位不确定性和单时相遥感影像对潮间带信息提取带来的影响,并且不依赖于训练样本、人工阈值的选取等,广泛应用的潜力较大。同时 GEE 云平台的海量地理空间数据和强大的云计算能力为提取潮间带信息提供强有力的支持,为用户提供实时的计算模式,与传统方法相比大大减少计算运行的时间,有效提高潮间带信息提取的时效性。

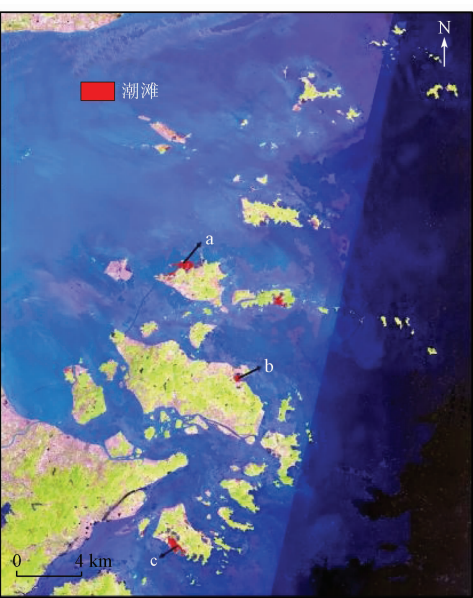


图 3 舟山群岛潮间带提取结果
Fig.3 Extraction result of intertidal zone in Zhoushan Islands



(a) 岱山岛(图 3a) (b) 舟山本岛(图 3b) (c) 六横岛(图 3c)

图 4 舟山群岛潮间带局部提取结果

Fig.4 Local extraction results of intertidal zone in Zhoushan Islands

4 结论与讨论

为了减少潮汐运动和单时相遥感影像对潮间带信息提取带来的影响,利用 GEE 云平台提供的 Landsat8 时序影像,提出基于融合 DEM 数据的决策树算法,实现了舟山群岛潮间带信息的准确、快速、自动提取。主要结论如下:

- 1)利用遥感指数和决策树算法进行潮间带粗提取,为潮间带信息的准确提取奠定基础。融合 DEM 数据的决策树算法进一步区分滩涂和水体,有效去除养殖塘等内陆水体的干扰,提高潮间带提取的准确性,实现了舟山群岛潮间带信息的快速自动提取。
- 2)采用混淆矩阵法对提取的潮滩结果进行精度评价,得到的舟山群岛潮间带提取的总体分类精度为 97.7%,Kappa 系数为 0.95,具有良好的提取结果。
- 3)2021 年舟山群岛潮间带面积为 35.19 km²,

舟山群岛位于杭州湾外缘、钱塘江入海口,风浪和潮汐运动对舟山海域的泥沙运动和含沙量具有重要作用。舟山群岛海岸线漫长曲折有利于形成可供开发利用的潮滩资源,且所形成的潮滩资源具有明显的海岛特征:以淤泥质滩涂为主,质地软弱;为港湾型潮滩,多分布于港湾和岛屿之间,地势平坦,具有优越的开发利用条件,发展潜力较大。滩涂资源分布面积广,但分布不均匀,规模性差,潮滩的单块面积较小,在一些陆域面积较大的海岛沿岸地区呈块状分布,如岱山岛(图 4(a))、舟山本岛(图 4(b))以及六横岛(图 4(c))等。岱山岛海岸坡度平缓,潮滩面积广阔,多为淤泥质滩涂,可促进当地滨海旅游的发展。舟山本岛周围的潮滩分布大多呈狭长型带状,外侧与海相连接,内侧相接海塘或者壁岸,适用于围垦造地和养殖业发展。六横岛拥有绵长的深水海岸线,滩涂连片发展,风浪小以及气候温暖湿润有利于养殖滩涂的发展。

舟山群岛潮滩资源以淤泥质滩涂为主,分布广,在舟山本岛、岱山岛以及六横岛等陆域面积较大的海岛沿岸地区呈块状分布。

在本研究中,利用 GEE 云平台,基于融合 DEM 数据的决策树算法是快速和自动进行潮间带信息提取的有效方法。GEE 云平台的海量地理空间数据和强大的云计算能力极大程度地降低数据的传输时间,大大减少处理数据所耗费的人力物力,提高潮间带信息提取的效率。融合 DEM 数据的决策树算法能够有效去除内陆河流和湖泊等水体的影响,不依赖选取大量的训练样本以及人工选取阈值。基于 GEE 云平台最大程度地利用覆盖研究区的所有 Landsat 影像,取得良好的提取结果。在更广泛区域开展模型验证,并利用海量卫星遥感数据进行潮间带长时间序列分析是下一步需要关注的研究内容。

参考文献(References):

[1] 王小龙,张 杰,初佳兰. 基于光学遥感的海岛潮间带和湿地信息提取——以东沙岛(礁)为例[J]. 海洋科学进展,2005(4):

477 – 481.

Wang X L,Zhang J,Chu J L. Extraction of remotely sensed information of island intertidal zone and wetland: Taking the Dongsha Island as an example [J]. *Advances Marine Science*,2005 (4): 477 – 481.

[2] 刘瑞清,李加林,孙超,等. 基于 Sentinel-2 遥感时间序列植被物候特征的盐城滨海湿地植被分类[J]. *地理学报*,2021,76 (7):1680 – 1692.

Liu R Q,Li J L,Sun C,et al. Classification of Yancheng coastal wetland vegetation based on vegetation phenological characteristics derived from Sentinel-2 time-series[J]. *Acta Geographica Sinica*,2021,76(7):1680 – 1692.

[3] 李晶,雷茵茹,崔丽娟,等. 我国滨海滩涂湿地现状及研究进展[J]. *林业资源管理*,2018(2):24 – 28,137.

Li J,Lei Y R,Cui L J,et al. Current status and research progress of coastal tidal flat wetlands in China[J]. *Forest Resources Management*,2018(2):24 – 28,137.

[4] 吴威,李彩霞,陈雪初. 基于生态系统服务的海岸带生态修复工程成效评估——以鸚鵡洲湿地为例[J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*,2020(3):98 – 108.

Wu W,Li C X,Chen X C. Evaluation of the effectiveness of a coastal ecological restoration project based on ecosystem services: A case study on Yingwuzhou Wetland,China[J]. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*,2020(3):98 – 108.

[5] 王雨岚,王远东,郑衡泌. 基于多时相遥感的泉州湾滨海湿地变化监测[J]. *赣南师范大学学报*,2017,38(3):102 – 107.

Wang Y L,Wang Y D,Zheng H M. Monitoring dynamic changes of coastal wetlands and its surrounding areas in Quanzhou Bay based on multi-temporal remote sensing images[J]. *Journal of Gannan Normal University*,2017,38(3):102 – 107.

[6] Ren C,Wang Z,Zhang Y,et al. Rapid expansion of coastal aquaculture ponds in China from Landsat observations during 1984—2016[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*,2019,82:101902.

[7] Meng W,Hu B,He M,et al. Temporal-spatial variations and driving factors analysis of coastal reclamation in China[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*,2017,191:39 – 49.

[8] 程丽娜,钟才荣,李晓燕,等. Sentinel-2 密集时间序列数据和 Google Earth Engine 的潮间带湿地快速自动分类[J]. *遥感学报*,2022,26(2):348 – 357.

Cheng L N,Zhong C R,Li X Y,et al. Rapid and automatic classification of intertidal wetlands based on intensive time series Sentinel-2 images and Google Earth Engine[J]. *National Remote Sensing Bulletin*,2022,26(2):348 – 357.

[9] 骆永明. 中国海岸带可持续发展中的生态环境问题与海岸科学发展[J]. *中国科学院院刊*,2016,31(10):1133 – 1142.

Luo Y M. Sustainability associated coastal eco-environmental problems and coastal science development in China[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*,2016,31(10):1133 – 1142.

[10] Gorelick N,Hancher M,Dixon M,et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone[J]. *Remote Sensing of Environment*,2017,202:18 – 27.

[11] Kumar L,Mutanga O. Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential[J]. *Remote Sensing*,2018,10(10):1509.

[12] 付东杰,肖寒,苏奋振,等. 遥感云计算平台发展及地球科学应用[J]. *遥感学报*,2021,25(1):220 – 230.

Fu D J,Xiao H,Su F Z,et al. Remote sensing cloud computing platform development and Earth science application[J]. *National Remote Sensing Bulletin*,2021,25(1):220 – 230.

[13] 邹亚东,何亮,张晓萍,等. 基于 GEE 数据平台的北洛河流域 1970—2019 年土地利用结构变化特征[J]. *水土保持通报*,2021,41(6):209 – 219.

Zou Y D,He L,Zhang X P,et al. Characteristics of land use structure change in Beiluo River basin during 1970—2019 based on Google Earth Engine[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*,2021,41(6):209 – 219.

[14] 戴声佩,易小平,罗红霞,等. 基于 GEE 和 Landsat 时间序列数据的海南岛土地利用分类研究[J]. *热带作物学报*,2021,42 (11):3351 – 3357.

Dai S P,Yi X P,Luo H X,et al. Mapping land use in Hainan Island based on Google Earth Engine and Landsat time series data[J]. *Journal of Tropical Crops*,2021,42(11):3351 – 3357.

[15] 陈康明,朱旭东. 基于 Google Earth Engine 的南方滨海盐沼植被时空演变特征分析[J]. *遥感技术与应用*,2021,36(4):751 – 759.

Chen K M,Zhu X D. Remote Sensing of spatio-temporal dynamics of saltmarsh vegetation along South China Coast based on Google Earth Engine[J]. *Remote Sensing Technology and Application*,2021,36(4):751 – 759.

[16] 李若楠,欧光龙,代沁伶,等. 基于 GEE 和 Landsat 时间序列数据的香格里拉森林类型分类研究[J]. *西南林业大学学报(自然科学)*,2020,40(5):115 – 125.

Li R N,Ou G L,Dai Q L,et al. Forest types classification of Shangri-La based on Google Earth Engine and Landsat time-series data[J]. *Journal of Southwest Forest University*,2020,40(5):115 – 125.

[17] Hansen M C,Potapov P V,Moore R,et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change[J]. *Science*,2013,342 (6160):850 – 853.

[18] Pekel J F,Cottam A,Gorelick N,et al. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes[J]. *Nature*,2016,540(7633):418 – 422.

[19] 闰亚迪,崔耀平,秦耀辰,等. 基于 GEE 的黄河滩区水土时空动态研究[J]. *人民黄河*,2021,43(9):85 – 89,93.

Run Y D,Cui Y P,Qin Y C,et al. Spatial-temporal dynamic of water and land in the Yellow River beach area based on Google Earth Engine[J]. *Yellow River*,2021,43(9):85 – 89,93.

[20] Chen B Q,Xiao X M,Li X P,et al. A mangrove forest map of china in 2015: Analysis of time series Landsat7/8 and Sentinel-1A imagery in Google Earth Engine cloud computing platform[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*,2017,131:104 – 120.

[21] Wang X X,Xiao X M,Zou Z H,et al. Tracking annual changes of coastal tidal flats in china during 1986—2016 through analyses of Landsat images with Google Earth Engine[J]. *Remote Sensing of Environment*,2018,238:110987 – 111002.

[22] Campbell A D,Wang Y Q. Salt marsh monitoring along the Mediterranean Coast by Google Earth Engine enabled time series[J]. *PLOS One*,2020,15(2):229605 – 229628.

- [23] Catalao J, Nico G. Multitemporal backscattering logistic analysis for intertidal bathymetry [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2017, 55(2): 1066 – 1073.
- [24] Zhang X, Treitz P M, Chen D, et al. Mapping mangrove forests using multi – tidal remotely – sensed data and a decision – tree – based procedure [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2017, 62: 201 – 214.
- [25] Dhanjal – Adams K L, Hanson J O, Murray N J, et al. The distribution and protection of intertidal habitats in Australia [J]. *Emu – Austral Ornithology*, 2016, 116(2): 208 – 214.
- [26] Zhang K Y, Dong X Y, Liu Z G, et al. Mapping tidal flats with Landsat8 images and Google Earth Engine: A case study of the China's Eastern Coastal Zone circa 2015 [J]. *Remote Sensing*, 2019, 11(8): 924.
- [27] Wang X X, Xiao X M, Zou Z H, et al. Mapping coastal wetlands of China using time series Landsat images in 2018 and Google Earth Engine [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2020, 163: 312 – 326.
- [28] Murray N J, Phinn S R, Clemens R S, et al. Continental scale mapping of tidal flats across East Asia using the Landsat archive [J]. *Remote Sensing*, 2012, 4(11): 3417 – 3426.
- [29] Murray N J, Phinn S R, DeWitt M, et al. The global distribution and trajectory of tidal flats [J]. *Nature*, 2019, 565(7738): 222 – 225.
- [30] Jia M, Wang Z, Mao D, et al. Rapid, robust, and automated mapping of tidal flats in China using time series Sentinel – 2 images and Google Earth Engine [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2021, 255: 112285.
- [31] Sagar S, Roberts D, Bala B, et al. Extracting the intertidal extent and topography of the Australian coastline from a 28 year time series of Landsat observations [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 195: 153 – 169.
- [32] Liu Y, Li M, Cheng L, et al. Topographic mapping of offshore sandbank tidal flats using the waterline detection method: A case study on the Dongsha Sandbank of Jiangsu Radial Tidal Sand Ridges, China [J]. *Marine Geodesy*, 2012, 35(4): 362 – 378.
- [33] Wang X, Gao X, Zhang Y, et al. Land – cover classification of coastal wetlands using the RF algorithm for Worldview – 2 and Landsat8 images [J]. *Remote Sensing*, 2019, 11(16): 1927.
- [34] Zhang H, Jiang Q, Xu J. Coastline extraction using support vector machine from remote sensing image [J]. *Journal of Multimedia*, 2013, 8(2): 175 – 182.
- [35] 陈超, 陈慧欣, 陈东, 等. 舟山群岛海岸线遥感信息提取及时空演变分析 [J]. *国土资源遥感*, 2021, 33(2): 141 – 152. doi: 10.6046/gtzyyg.2020248.
- Chen C, Chen H X, Chen D, et al. Coastline extraction and spatial – temporal variations using remote sensing technology in Zhoushan Islands [J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2021, 33(2): 141 – 152. doi: 10.6046/gtzyyg.2020248.
- [36] Chen H, Chen C, Zhang Z, et al. Changes of the spatial and temporal characteristics of land – use landscape patterns using multi – temporal Landsat satellite data: A case study of Zhoushan Island, China [J]. *Ocean and Coastal Management*, 2021, 213: 105842.
- [37] Chen C, Chen H, Liao W, et al. Dynamic monitoring and analysis of land – use and land – cover change using Landsat multitemporal data in the Zhoushan Archipelago, China [J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 210360 – 210369.
- [38] 张欢, 李弘毅, 李浩杰, 等. 基于机载 LiDAR 的高寒山区遥感高程数据精度评估 [J]. *遥感技术与应用*, 2021, 36(6): 1311 – 1320.
- Zhang H, Li H Y, Li H J, et al. Accuracy evaluation of remote sensing elevation data in alpine mountains based on airborne LiDAR [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2021, 36(6): 1311 – 1320.
- [39] 卢喜平. 基于 Google Earth 的 DEM 数据获取及坡度分析应用 [J]. *四川水利*, 2018, 39(5): 100 – 104.
- Lu X P. DEM data acquisition and slope analysis application based on Google Earth [J]. *Sichuan Water Resources*, 2018, 39(5): 100 – 104.
- [40] 饶萍, 王建力. 最优分区与最优指数联合的水体信息提取 [J]. *地球信息科学学报*, 2017, 19(5): 702 – 712.
- Rao P, Wang J L. Water extraction based on the optimal subregion and the optimal indexes combined [J]. *Journal of Geo – Information Science*, 2017, 19(5): 702 – 712.
- [41] 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.
- [42] Rogers A S, Kearney M S. Reducing signature variability in unmixing coastal marsh thematic mapper scenes using spectral indices [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(12): 2317 – 2335.
- [43] Xu H Q. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(14): 3025 – 3033.
- [44] Feyisa G L, Meilby H, Fensholt R, et al. Automated water extraction index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2014, 140: 23 – 35.
- [45] Ji L, Zhang L, Wylie B. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2009, 75(11): 1307 – 1317.
- [46] Tucker C J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1979, 8(2): 127 – 150.
- [47] 吴冰, 秦志远. 自动确定图像二值化最佳阈值的新方法 [J]. *测绘学院学报*, 2001(4): 283 – 286.
- Wu B, Qin Z Y. New approaches for the automatic selection of the optimal threshold in image binarization [J]. *Journal of Institute of Surveying and Mapping*, 2001(4): 283 – 286.
- [48] 汪政辉, 辛存林, 孙喆, 等. Sentinel – 2 数据的小型湖泊水生植被类群自动提取方法——以翠屏湖为例 [J]. *遥感信息*, 2019, 34(5): 132 – 141.
- Wang Z H, Xin C L, Sun Z, et al. Automatic extraction method of aquatic vegetation types in small shallow lakes research based on Sentinel – 2 data: A case study of Cuiping Lake [J]. *Remote Sensing Information*, 2019, 34(5): 132 – 141.
- [49] 高媛. 全球 30 米土地覆盖产品的精度评估研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2021.
- Gao Y. Study on accuracy assessment of global 30 m land cover products [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2021.

A remote sensing information extraction method for
intertidal zones based on Google Earth Engine

CHEN Huixin¹, CHEN Chao¹, ZHANG Zili², WANG Liyan¹, LIANG Jintao¹

(1. Marine Science and Technology College, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 2. Zhejiang Province Ecological Environment Monitoring Centre (Zhejiang Key Laboratory of Ecological and Environmental Monitoring, Forewarning and Quality Control), Hangzhou 310012, China)

Abstract: Intertidal zones, as important parts of coastal wetlands play a significant role in ecological and economic development. However, the dynamic interaction between seawater and land makes it difficult to accurately determine the tidal flat area using the remote sensing information extraction method based on instant remote sensing images. To solve this problem, this study developed an intertidal information extraction method based on Google Earth Engine (GEE) platform and remote sensing index. This proposed method was applied to study the coastal zone of Zhoushan Islands. First, a decision tree algorithm based on the fusion of the digital elevation model (DEM) data was built using the Landsat8 time series image data in 2021. Then, a multi-layer automatic decision tree classification model was formed using the maximum spectral index composite (MSIC) and the Otsu algorithm (OTSU). Based on this, the DEM data were fused to extract and calculate the area of the intertidal zone in Zhoushan Islands. The results show that the area of the intertidal zone in Zhoushan Islands is 35.19 km² in 2021. The evaluation based on the Google Earth high-resolution images shows that this proposed method has a general precision of 97.7% and a Kappa coefficient of 0.95, indicating good extraction precision and practical effects. This method can provide data support for sustainable management and utilization of coastal zone resources through automatic and rapid extraction of intertidal information, thus promoting regional high-quality development.

Keywords: intertidal zone; Landsat8 imagery; Google Earth Engine; maximum spectral index composite (MSIC); Otsu algorithm (OTSU)

(责任编辑: 陈 理)