

势。卫星遥感受轨道高度与重访周期限制，空间分辨率多在米级，难以分辨宽度不足数米的潮沟、珊瑚礁丛等小型地貌单元；而无人机可根据测量需求，灵活调整至最佳拍摄高度，在复杂海岸区域（如岬湾交错地带），能以贴近海面 10 - 30 米的高度飞行，完整记录潮间带的滩涂纹理、退潮后礁石表面的生物附着痕迹等动态地貌特征。此外，无人机激光雷达采用的多回波技术，可区分多层地物反射信号，在红树林海岸带测量中，能够精确分离树冠、枝干与地面的三维坐标，为生态地貌研究提供分层数据支持。

### 3.2 高效快速完成测量任务

无人机凭借模块化设计与智能化控制系统，具备极强的快速部署能力。从设备出库到起飞准备，仅需 30 分钟至 1 小时，即可完成电池更换、航线导入、设备自检等流程。其搭载的飞行控制系统集成高精度 GNSS 模块与惯性导航单元（IMU），可实现厘米级定位与姿态控制，配合自动

航线规划软件（如 Pix4Dmapper、DroneDeploy），操作人员只需在电子地图上框选测区范围，系统便能根据无人机性能、地形高差自动生成最优航线，并设置合理的飞行高度（50-200 米）、速度（5-15 米/秒）与影像重叠度（航向 60%-80%、旁向 30%-50%）<sup>[1]</sup>。

相较传统人工测量，无人机彻底革新了数据采集模式。传统全站仪或水准仪测量需测量人员携带设备徒步穿越海岸线，逐个设置测站、瞄准目标，在复杂地形区域每天仅能完成数百米的测量距离，且易受天气、地形干扰导致效率波动。而无人机可实现全天候、全地形的自动化作业，以大疆经纬 M300 RTK 无人机为例，搭载五镜头倾斜摄影相机，在续航 55 分钟的情况下，单次飞行可覆盖 2-3 平方公里区域。针对 10 公里长的海岸线测量，若采用传统方法，需 5-7 人团队耗时 3-5 天，而无人机仅需 2-3 名操作人员，通过 2-3 次飞行、累计 4-6 小时即可完成数据采集，效率提升超 10 倍。

表 1 无人机与传统测量在效率上的差异

| 测量方式   | 人员配备  | 单次准备时间       | 单次飞行/作业时长 | 单次覆盖范围   | 10 公里海岸线测量耗时 | 效率对比     |
|--------|-------|--------------|-----------|----------|--------------|----------|
| 无人机测量  | 2-3 人 | 30 分钟 - 1 小时 | 55 分钟     | 2-3 平方公里 | 4-6 小时       | 提升超 10 倍 |
| 传统人工测量 | 5-7 人 | —            | 全天        | 数百米      | 3-5 天        | 1        |

### 3.3 复杂环境灵活适应作业

无人机凭借其独特的机动性和智能控制技术，突破了传统测量手段在复杂地形与恶劣环境下的作业瓶颈。在地形复杂的海岸线区域，如悬崖峭壁林立的基岩海岸，无人机可借助多旋翼或固定翼的灵活飞行模式，贴近崖壁以 5 - 20 米的超低空高度悬停或绕行，利用搭载的倾斜摄影相机从多角度捕捉岩壁纹理、裂缝走向等细节信息，而传统人工测量需耗费大量人力搭建脚手架或借助绳索攀爬，不仅效率极低，还存在严重的安全隐患。在湿地滩涂等软质地面区域，测量人员难以徒步深入，而无人机可通过预设航线，在距地面 50 - 150 米高度自动巡航，避免陷入泥潭或惊扰生态环境，同步采集高精度地形数据<sup>[4]</sup>。

面对危险作业环境，无人机的非接触式测量优势更为突出。在受石油污染、化学物质泄漏的海岸带，或是强风浪频发的侵蚀性海岸区域，传统测量方式要求人员穿戴防护装备或在恶劣海况下作业，极易引发安全事故和健康风险。无人机则可通过实时图传系统和远程操控技术，在距离测区数公里外的安全地带进行操作。当遭遇突发强风时，无人机搭载的飞控系统能自动启用抗风模式，通过动态调整旋翼转速和姿态角，在 8 级风力环境下仍保持稳定飞行；若进入浓雾

或低能见度区域，激光雷达的主动探测功能可替代视觉传感器，持续获取地形数据，确保测量任务不间断。

## 4 结语

基于无人机的海岸线地形地貌测量技术通过标准化的工作流程与显著技术优势，革新了传统测量模式。从前期精准规划、自动化数据采集到专业处理分析，该技术实现了高精度数据的高效获取；其在分辨率、效率与环境适应性上的突出表现，为海岸带动态监测、工程规划等提供了可靠的数据支持。尽管当前仍面临天气、数据处理等挑战，但随着技术的持续进步，无人机测量技术必将在海洋测绘领域发挥更大作用，推动海岸带研究与管理向智能化、精细化方向发展。

### 参考文献

- [1] 谭志宏. 基于无人机倾斜摄影技术的海岸线提取与测量方法研究[J]. 华北自然资源, 2024, (06): 68-71.
- [2] 李晓诗, 秦玉刚, 王洛飞. 潮间带无人机航测研究与应用[J]. 海洋测绘, 2023, 43 (05): 52-55.
- [3] 何惠霞. 浅析无人机遥感技术在测绘工程测量中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, (08): 98-100.
- [4] 汪尧峰. 基于无人机遥感的海岸线提取与测量方法[J]. 测绘与空间地理信息, 2022, 45 (10): 143-146.

# Discussion on Data Processing Methods for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Coastline Measurement

Jinyue Chen Xiaodi Qi

Tianjin Maritime Surveying and Mapping Center, Beihai Navigation Safety Center, Ministry of Transport, Tianjin, 300222, China

## Abstract

With the wide application of unmanned aerial vehicle (UAV) technology in the field of surveying and mapping, it has demonstrated unique advantages in coastline measurement. This paper delves deeply into the data processing methods for unmanned aerial vehicle (UAV) coastline measurements. Focusing on the extraction of coastline from UAV images, it elaborates in detail the extraction methods based on spectral, texture, and geometric features, and utilizes the spectral differences, texture structures, and geometric shapes of ground objects to achieve coastline recognition. Meanwhile, analyze the core algorithms for data processing, including edge detection algorithms, threshold segmentation algorithms, and region growing algorithms. Each algorithm extracts coastlines from drone images based on different principles and has its own advantages and disadvantages. Through the research on these methods and algorithms, theoretical and technical support is provided for improving the accuracy and efficiency of processing coastline measurement data by unmanned aerial vehicles, which is of great significance to coastal zone scientific research and resource management.

## Keywords

Unmanned Aerial Vehicle Coastline measurement Data processing

## 无人机海岸线测量数据处理方法探讨

陈金月 齐晓迪

交通运输部北海航海保障中心天津海事测绘中心, 中国·天津 300222

## 摘要

随着无人机技术在测绘领域的广泛应用, 其在海岸线测量中展现出独特优势。本文深入探讨无人机海岸线测量数据处理方法, 针对无人机影像在海岸线提取, 详细阐述基于光谱、纹理和几何特征的提取方法, 利用地物光谱差异、纹理结构及几何形态实现海岸线识别。同时, 分析数据处理核心算法, 包括边缘检测算法、阈值分割算法和区域生长算法, 各算法依据不同原理从无人机影像中提取海岸线, 且各有优劣。通过对这些方法和算法的研究, 为提高无人机海岸线测量数据处理的精度和效率提供理论与技术支持, 对海岸带科学研究和资源管理具有重要意义。

## 关键词

无人机; 海岸线测量; 数据处理

## 1 引言

海岸线是海岸带资源开发、生态保护及国防安全的重要地理要素。传统测量方法受地形、天气等因素制约, 存在效率低、精度差等问题。无人机凭借高机动性、高分辨率成像等优势, 为海岸线测量提供了新途径。然而, 其测量数据处理涉及多环节复杂技术。深入研究无人机海岸线测量数据处理方法, 对提升测量精度与效率, 推动海岸带科学管理与可持续发展具有迫切的现实意义。

## 2 无人机影像在海岸线提取的方法

### 2.1 基于光谱特征的提取方法

基于光谱特征的提取方法是利用海水和陆地不同波段下光谱反射率的差异来识别海岸线。地球表面的各类地物都有其独特的光谱反射特性, 就像每一种物质都拥有独一无二的“光谱指纹”。在可见光波段, 海水由于其特殊的光学性质, 对红光和蓝光的吸收能力较强, 使得反射回的光线较少, 在影像中呈现出较暗的色调; 与之相反, 陆地表面的物质成分复杂多样, 沙滩、植被、岩石等对可见光的反射率普遍较高, 在影像上显示出相对明亮的颜色。这种天然的光谱反射差异, 成为了我们识别水陆边界的重要依据。多光谱无人机影像技术的发展, 为基于光谱特征的海岸线提取提供了有力支持。多光谱相机能够同时捕捉多个特定波段的影像

【作者简介】陈金月(1998-), 女, 中国山东泰安人, 本科, 助理工程师, 从事海洋测绘研究。

信息，不同波段对应着不同的地物反射特性。研究人员通过对这些波段数据的分析与处理，构建出归一化差异水体指数（NDWI）。其核心思路是通过对比绿光波段和近红外波段的反射率差异，进一步增强海水和陆地之间的光谱区分度。在实际操作中，当计算得到的 NDWI 值大于预先设定的阈值时，系统将该区域判定为水体；若 NDWI 值小于阈值，则判定为陆地。通过逐像素地进行这样的判断，最终勾勒出清晰的海岸线位置。

## 2.2 基于纹理特征的提取方法

图像的纹理特征就像是隐藏在像素灰度值背后的独特“指纹”，它细致地描绘了图像中灰度值的空间分布规律，成为我们区分海水和陆地的重要依据。在无人机拍摄的海岸影像中，海水与陆地呈现出截然不同的纹理面貌。当海面风平浪静时，海水在影像上展现出近乎一致的灰度，如同一块平滑规整的蓝色绸缎，纹理均匀且规律性强；而陆地的情况则复杂得多，茂密的植被区域呈现出细碎、交错的纹理，仿佛无数细小的线条交织在一起；裸露的岩石区域纹理粗糙，灰度值变化剧烈，充满了不规则的起伏；城市建筑区域则有着整齐划一的几何纹理，展现出人类规划的秩序感<sup>[1]</sup>。正是这些显著的纹理差异，为基于纹理特征的海岸线提取提供了关键线索。灰度共生矩阵（GLCM）作为目前应用最广泛的纹理分析工具之一，其核心在于通过量化图像中不同位置、不同方向上灰度值的共生关系，来挖掘图像纹理的深层信息。具体操作时，我们需要先确定两个重要参数：像素之间的距离和方向。举例来说，如果我们设定距离为 1 个像素、方向为水平方向，那么 GLCM 就会统计图像中所有水平方向上，相距 1 个像素的两个灰度值同时出现的频率。通过对整个图像进行这样的遍历统计，将不同灰度值组合出现的次数记录下来，最终形成一个二维矩阵。这个矩阵就像是一个“数据库”，从中能够提取出对比度、相关性、能量和熵等关键的纹理特征参数。

## 2.3 基于几何特征的提取方法

基于几何特征的提取方法，是从海岸线独特的形态语言中寻找线索，将其在影像中呈现的连续曲线、长度变化、弯曲程度等几何属性，转化为可量化的识别依据。在无人机拍摄的海岸影像中，海岸线如同一条蜿蜒的丝带，将蔚蓝的海洋与广袤的陆地分隔开来，即便受到潮汐、地形等因素影响，其整体的连续曲线形态依然是最显著的特征之一。研究人员正是抓住这一特性，利用数学和图像处理技术，将其转化为提取海岸线的关键要素<sup>[2]</sup>。边缘检测算法是实现基于几何特征提取的核心工具，其中 Canny 边缘检测和 Sobel 边缘检测应用最为广泛。以 Canny 边缘检测算法为例，其工作流程如同一场精密的图像雕琢。首先，算法对原始影像进行高斯滤波处理，这一步就像给图像披上一层“平滑外衣”，有效消除因拍摄抖动、大气干扰等因素产生的噪点，避免这些“杂音”影响后续对海岸线边缘的判断。完成降噪后，

算法开始计算图像每个像素点的梯度幅值和方向，梯度幅值反映了像素点灰度值变化的剧烈程度，方向则指示灰度变化的趋势，就像在图像中为每个像素点标注出灰度变化的“强度指针”和“方向箭头”。接着，通过非极大值抑制操作，算法如同一位严苛的筛选员，仅保留梯度幅值在局部区域内最大的像素点，将其他非极值点的像素值降低，使边缘线条变得更加纤细、精准，去除冗余的模糊边缘。

## 3 无人机海岸线测量数据处理核心算法

### 3.1 边缘检测算法

在无人机海岸线测量数据处理体系中，边缘检测算法是实现高精度海岸线提取的核心技术，其检测效果直接影响后续海岸线动态变化分析、海岸带地形建模等重要应用的准确性。这项技术通过捕捉图像中灰度值、颜色或纹理等特征的剧烈变化区域，精准识别出海岸线与海水、沙滩、岩石等地物的边界，为后续数据的深度挖掘与分析筑牢基础<sup>[3]</sup>。

Sobel 算子作为经典的边缘检测算法，在无人机海岸线测量中被广泛应用。该算法的工作原理是利用两个  $3 \times 3$  的特殊模板，分别对图像进行水平和垂直方向的卷积运算。这两个模板就像是“探测仪”，能够敏锐地感知图像中像素值在水平和垂直方向上的变化趋势，从而计算出图像在这两个方向上的梯度近似值。基于这些梯度信息，算法进一步确定梯度幅值和方向，以此来定位图像中的边缘位置。Sobel 算子的优势十分明显，其计算逻辑简洁明了，在处理无人机采集的海量图像数据时，能够快速完成边缘检测任务，满足实时性要求较高的测量场景。同时，模板的特殊设计使其对图像中的噪声具有一定的平滑作用，即便图像存在轻微噪声干扰，也能大致勾勒出海岸线的轮廓。然而，Sobel 算子的局限性也不容忽视。由于它是基于简单的一阶差分近似来计算梯度，导致检测出的边缘往往比较粗犷，无法精细刻画海岸线的细微转折和复杂形态。例如在测量具有众多岬角和海湾的曲折海岸线时，Sobel 算子提取的边缘可能会丢失许多关键细节，难以满足高精度测量的需求。

### 3.2 阈值分割算法

阈值分割算法作为无人机海岸线测量数据处理的重要手段，通过对图像像素灰度值或其他特征的量化分析，将图像精准划分为前景与背景，进而实现海岸线的有效提取。其核心逻辑在于寻找一个或多个阈值，以此作为区分海岸线与周围地物的标准，这种方法原理直观、计算效率高，在海岸线测量领域应用广泛<sup>[4]</sup>。

为了克服全局阈值法的缺陷，自适应阈值法应运而生，并在复杂环境下的海岸线测量中发挥重要作用。自适应阈值法打破了单一阈值的限制，转而根据图像局部区域的灰度特征动态计算阈值。以均值自适应阈值法为例，该方法会为图像中的每个像素设定一个特定大小的邻域（类似于划定一个“小范围区域”），然后计算这个邻域内所有像素的均值，