

# 基于无人机遥感的海岸线提取与测量方法

汪尧峰

(舟山市自然资源测绘设计中心, 浙江 舟山 316021)

**摘要:**面对复杂的海岸线地质结构,传统依靠卫星影像和人工施测的方法难以快速准确进行海岸线提取与监测。本文以无人机遥感的手段,高效获取分辨率较高的海岸线低空影像,生产DEM、DOM数据,结合当地潮位信息,快速准确地进行了海岸线范围提取与量测。针对砂质海岸线开展了航拍实验,经与痕迹线进行对比,得出本文的海岸线提取方法能较好地与实测结果相匹配,仅局部细微处出现差异,海岸线测量精度满足动态监测要求,可较好地应用于资源管理部门。

**关键词:**无人机;影像处理;海岸线提取;精度评定

**中图分类号:**P237 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-5867(2022)10-0143-04

## Coastline Extraction and Measurement Method Based on UAV Remote Sensing

WANG Yaofeng

(Zhoushan Natural Resources Surveying and Mapping Design Center, Zhoushan 316021, China)

**Abstract:** In the face of complex coastline geological structure, it is difficult to extract and monitor coastline quickly and accurately by traditional methods relying on satellite images and artificial survey. In this paper, by means of UAV remote sensing, high-resolution coastline low-altitude image is obtained efficiently, DEM and DOM data are produced. Combined with the local tide level information, the coastline range is extracted and measured quickly and accurately. According to the sandy coastline, the aerial photography experiment is carried out. By comparing with the trace line, it is concluded that the Coastline Extraction Method in this paper can better match with the measured results, and only some slight differences appear. The accuracy of coastline measurement can meet the requirements of dynamic monitoring and can be better applied to resource management departments.

**Key words:** UAV; image processing; coastline extraction; accuracy evaluation

### 0 引言

海岸线是指陆地与海洋的分界线,是海洋调查和地形图表示的重要元素,因此,对海岸线实现形状和位置的测定具有重要意义<sup>[1]</sup>。我国海岸线分布广、范围大,传统海岸线测量多采用GPS技术、车载测绘技术等方式,但施测方法耗时费力,且各区段的测量会受技术标准和人员的不同而存在差异<sup>[2-3]</sup>。随着卫星遥感影像的发展,为快速、大范围获取海岸线提供了解决思路,有效弥补了传统方法的不足。其中,基于遥感影像的海岸线获取方法分为目视判读和自动提取,目视判读是依靠经验按线性符号将水边线描绘下来,快捷方便,不需要较高的技术水平,但效率较低,且对提取原则实现统一仍存在困难<sup>[4]</sup>。自动提取是利用图像处理技术将水边线提取出来,但受

影像分辨率的影响,导致海岸线提取误差较大,尤其对于局部形变过大的情况,提取难度进一步加大。

轻小型无人机满足低空飞行条件,可以获得高分辨率影像,利用多视图立体几何、运动恢复结构等相关的影像处理技术可以得到海岸线周边的数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)、数字表面模型(Digital Surface Model, DSM)和数字正射影像图(Digital Orthophoto Map, DOM),结合高精度的定位测姿系统(Positioning and Orientation System, POS)能获得水平和高程方向优于5cm的地理信息成果<sup>[5]</sup>。本文提出应用无人机摄影测量的海岸线提取与量测方法研究,即在DOM的基础上,应用边线自动提取算法,生成海岸线的矢量数据,进而确定区域海岸线长度。

收稿日期:2021-03-09

作者简介:汪尧峰(1991-),男,浙江舟山人,工程师,本科学历,主要从事海洋勘测等方面的应用研究工作。

## 1 无人机影像处理技术

利用无人机航空遥感资料,根据野外实测控制点进行全数字空中三角测量计算,利用 inpho 软件组织实施大比例尺 DEM、DOM、DLG 数据生产。数据处理流程如图 1 所示。

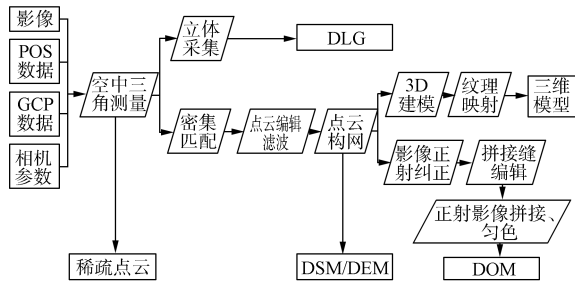


图 1 无人机影像处理流程

Fig. 1 UAV image processing flow

### 1.1 空中三角测量

首先,根据规范和项目精度要求,对航空影像和外业控制点资料进行分析,确认其可以满足空三加密作业要求,进而合理划分加密分区,编制加密计划,开始建立相应的加密分区工程;设置测区基本参数,建立相机文件、控制点文件,并按加密分区建立测区影像航线列表,对原始影像进行畸变差改正。其次,采用全自动内定向后,添加相邻航线间的连接点,航线较长或旋偏角较大时增加连接点的密度,以利于航线间自动转点;相对定向、全自动转点由软件自动计算完成。再次,检查加密区的点位分布情况,保证测区中每一张影像三度重叠区的上、中、下 3 个标准点位上必须有连接点,对少点、无点的影像进行人工添加连接点,处于影像边缘点进行删除,以保证控制网的精度、强度<sup>[6]</sup>。然后,对于大面积落水区域,可在影像落水区域的边上按间隔 1—1.5 cm 添加连接点,使落水区域附近的像点网有一个稳固的边界,从而减少落水区域的影响。最后,利用光束法区域自由网进行整测区平差。

### 1.2 DEM 制作

取得 DLG 采集成果数据,在 CAD 平台下筛除二维数据及高于地面的要素层(如房屋、文本注记、图廓等),保留地表三维数据(包括等高线、道路、水系、陡坎、高程点等),将其导入 DEM Maker 模块进行构 TIN 生成 DEM 格网点,并在此模块里进行立体检查与修改,使 DEM 格网点贴准地面模型,符合精度要求,得到 DEM 数据。

### 1.3 DOM 制作

利用无人机数码影像航空摄影资料,将数据导入像素工厂影像处理系统,在像素工厂中,导入空三成果恢复立体模型,利用系统的自动匹配功能,生成高精度的数字表面模型(DSM),并通过人工干预对 DSM 进行保留山体、去除房屋、提取水域等处理,得到反映地面特征的 DEM 数据,并对模型 DEM 进行自动拼接生成区域 DEM 数据。利用 DEM 数据对原始影像进行正射纠正,通过自动生成的镶嵌线对整个测区的模型正射影像进行无缝拼接,通

过色调调整后的快视图对测区 DOM 进行自动匀色处理,形成 DOM 数据成果。

## 2 海岸线识别与提取

基于遥感的海岸线提取一般都是针对像素级展开的,根据水域显示在影像上的纹理特点区分水域与陆地的分界线,常见的提取算法有边缘检测法、阈值法以及变分分割法。经对上述方法进行分析和总结,本文提出了一种高效的海岸线提取方法。

首先,利用多尺度分割算法将 DOM 产品进行分割,构建分层影像;经人为标记后,利用直方图法进行相似度分析。

然后,利用光谱直方图的构造方法对影像实现特征描述,即将光谱向量表述为  $r$  维网格,并建立光谱信息索引,用  $I$  表示,则每个影像层的直方图  $H^r$  可表示为:

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

式中,  $V$  为分割后的影像层,  $L$  为对应  $V$  中的像元坐标,  $I_1$ 、 $I_2$  为网格的上下限,  $\delta$  表示狄拉克方程。在由直方图表示过程,用巴氏系数确定两组数据间的相似度<sup>[8]</sup>:

$$B(c, d) = \sum_{r=1}^k \sqrt{H_c^r H_d^r} \quad (2)$$

式中,  $H_c^r$ 、 $H_d^r$  分别为  $c$  和  $d$  对应的光谱直方图,巴氏系数数值越高,则表示直方图相似度越大,进而说明分层影像间得相似度越高。

最后,对两组不同区域的数据,应用极值优化的合并策略实现区域  $P$  和区域  $Q$  的差异合并:

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

式中,  $F(P, Q)$  表示最小权值,  $m, n$  为相应图元的节点,  $W$  表示可以构成连接关系的边集,  $U(m, n)$  表示某条连接边上对于两节点的相似性。引入迭代算法,实现实时匹配,将未做标识的图像逐步归类到带有标识的集合中,最终挑选出水陆的分界线,判定的依据可表示为:

$$M(X, Y) = \begin{cases} True & N(X, Y) = \text{MAX}_{s=1,2,\dots,k} N(X, G_s^X) \\ False & \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $G_s^X$  是表示与  $X$  共边的对象,若  $Y$  与  $X$  相似,则  $Y = Y \cup X$ ,否则合并失败,进行下一组比较。

## 3 实验与分析

### 3.1 实验设备

本次实验采用目前国内较先进、实用的航测遥感 F1000 飞马无人机。其飞行高度为 300—5 000 m,对天气要求较低,可以在阴天作业,灵活机动避开云层,快速获取数据。无人机的起降方式灵活,支持滑跑、弹射等起飞方式,可以随时随地起飞。其基本参数见表 1。

F1000 飞马无人机搭载的 SONY A5100 相机,配有经过检校的定焦镜头,可以用来获取满足测绘精度需求的高分辨率影像。在任务实施前,需要在地面控制站上进行精确航线设计,包括设置坐标范围、传感器参数、重叠度、地面分辨率、摄影比例尺,进行航线编辑,设计飞行方向等。这样由无人机、航摄相机和地面控制站即构成了

一套无人机测量系统。

表 1 F1000 飞马无人机基本参数指标

Tab. 1 Basic parameters of F1000 Pegasus UAV

基本参数	指标	基本参数	指标
机长	1.1 m	翼展	1.6 m
任务载荷	283 g	起飞重量	3 kg
续航时间	1.5 h	作业效率	20 km <sup>2</sup> /h
飞行速度	50—100 km/h	实用升限	5 000 m
测控半径	10 km	控制方式	自主、遥控
起飞方式	弹射、滑跑	降落方式	伞降、滑降
监测效率	18 km <sup>2</sup> /h	材质	碳纤维

### 3.2 数据获取

本次实验采用了配备 SONY A5100 相机、POS/AV 系统 (Applanix 公司生产的 POS 系统) 和航空相机控制系统的无人机测量系统。利用标定场测量了 GPS 天线相位中心和摄像中心的偏心矢量。为避免风、浪以及光影的影响,飞行时期选择低空、微风多云天气。飞行高度、航向重叠和侧向重叠分别约为 260 m、70% 和 65%,共获得有效照片 202 张。此外,利用连续运行参考站 (Continuous Operating Reference Stations, CORS) 进行地面控制点测量,为了使控制点均匀分布,选择控制点位于测量区域的中部,共布设了控制点 15 个,检查点 12 个。无人机飞行路线及控制点布设情况如图 2 所示。

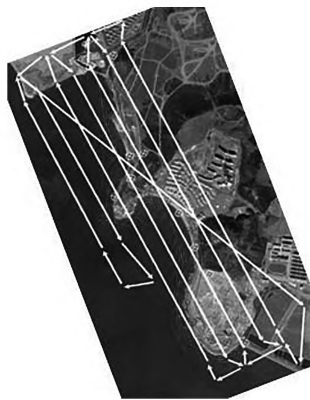


图 2 无人机飞行路线及控制点布设情况  
Fig. 2 UAV flight routes and GCPs layout

### 3.3 无人机影像处理

采用 Agisoft PhotoScan 软件处理无人机遥感影像,POS 数据为采用 GPS-RTK (real time kinematic) 差分处理结果。导入控制点成果,并完成刺点,经光束法平差计算自动生成了密集三维点云和 DEM、DOM 数据。影像数据处理结果如图 3 所示。

利用 12 个检查点对模型进行精度评估,从空三计算结果得出,水平方向的均方根误差为  $\pm 0.04$  m,高程方向的均方根误差为  $\pm 0.06$  m,其中高程方向的最大偏差为 0.09 m。因此可以得出本文无人机测量系统可以获取海岸线测量精度优于  $\pm 0.1$  m。

### 3.4 海岸线提取

根据潮汐运动的机理,采用无人机实现摄影测量所

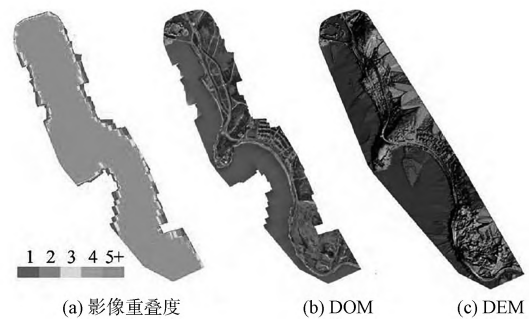


图 3 影像数据处理结果

Fig. 3 Image data processing results

得到的水位边线为瞬时水边线,因此,在海岸线测量过程需要进行潮位改正<sup>[9-10]</sup>。一般情况下,可以根据影像上的潮位、平均大潮高潮线 (Mean High Water Springs, MHWS) 和海岸线附近 DEM 数据,求解出瞬时水边线到平均大潮高潮线的距离,经潮位改正,最终确定海岸线位置。

考虑小范围内潮汐变化的幅度和频率基本相同,这意味着 MHWS 在现实中可以看作一个等值线。因此本文采用等高线追踪技术,在同一垂直基准面下获取海岸 DEM 和海岸线高程,确定海岸线的水平位置。海岸线确定流程如图 4 所示。

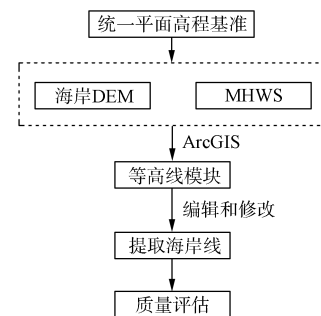


图 4 海岸线确定流程图

Fig. 4 Flow chart of coastline determination

首先将海岸 DEM 输入 ArcGIS 软件,然后通过“3D Analyst tools”的“光栅曲面”选项查找给定等高线。在此过程中需要注意的是,输入的 DEM 是栅格数据,MHWS 被设置为基本等高线,等高线间距被设置为远高于 MHWS,以保证获得单一的海岸线。此外,还需要利用编辑矢量线函数对得到的海岸线进行平滑和编辑。经过上述过程,得到海岸线各点的坐标,并在海岸带地图上标注。

### 3.5 质量评估

为了评价已确定的海岸线,有必要对提取的海岸线进行误差和精度分析。其中,MHWS 是一种理论岸线值,不能直接测量和绘制<sup>[11]</sup>。然而,示踪线指的是潮坪岩石的堆积或海水浸泡形成的泥沙,这是现场测量唯一可见的依据。无人机摄影测量可以生成高分辨率的三维真实模型,并基于显著的颜色差异特征,提取模型中的轨迹线,作为评估海岸线位置精度的依据。评价从定性和定量两个方面进行。

定性分析是将提取的海岸线叠加到 DOM 上,并对提取结果进行主观评价。定量分析是将提取的岸线和迹线

与平面坐标和高程坐标进行比较,具体方法是沿提取的海岸线每隔一段距离采样,确定海岸线梯度方向上的迹线对应点,分别计算对应点对的垂直偏差  $\Delta H$  和平面位置偏差  $\Delta V$ , 以及平均值、均方根偏差,和这些误差的标准差指标,如下式所示。

$$\begin{aligned} \Delta H &= Z_{trace} - Z_{MHWS} \\ \Delta V &= \sqrt{(X_{trace} - X_{MHWS})^2 + (Y_{trace} - Y_{MHWS})^2} \\ Mean_{\Delta} &= \frac{\sum \Delta_i}{n} \\ RMS_{\Delta} &= \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}} \\ STD_{\Delta} &= \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - Mean_{\Delta})^2}{n - 1}} \end{aligned} \quad (5)$$

提取的海岸线与迹线在 DOM 上重合度较高,形状、位置几乎一致,可见本文提取方法取得了良好的效果。经过对采样点实施误差计算,得到海岸线测量精度见表 2。

表 2 海岸线测量精度统计 (m)

Tab. 2 Accuracy statistics of coastline survey (m)

误差	最小值	最大值	平均值	均方根	标准差
水平方向	0.01	2.34	0.88	1.06	0.85
高程防线	0.02	0.32	0.17	0.15	0.09

从表 2 可以看出,水平方向的均方根误差为 1.06 m, 高程方向的均方根误差为 0.15 m,从数据上看,可以认为本文提取的海岸线与痕迹线基本一致,满足测量要求。

#### 4 结束语

本文应对现实需求,为提高海岸线的提取精度与效率,提出了基于无人机遥感的海岸线提取测量方法。首先,应用无人机影像处理技术,借助 Photoscan 软件生成高分辨率的三维实体模型和 DEM、DOM 数据;然后,提出一

种高效的海岸线提取方法,并配合 ArcGIS 软件完成海岸线最终修正;最后,通过实验,对本文海岸线提取与测量方法进行定性和定量评定,均达到了良好地效果。因此,本文海岸线提取与测量方法能够较好地取代人工测量方法,有效提高精度指标的客观性,进一步减少野外工作的工作量,可在资源监管等相关部门中推广使用。

#### 参考文献:

- [1] 张锦,赖祖龙,孙杰. Otsu 法、区域生长法及形态学相结合的遥感图像海岸线提取[J]. 测绘通报,2020(10): 89-92.
- [2] 麻德明,刘焱雄,金永德,等. 面向对象的无人机遥感影像海岸线提取方法研究[J]. 海洋科学,2020,44(10): 46-51.
- [3] 杨坤. 基于改进的 UNet 连云港海岸线提取研究[J]. 软件,2020,41(10):208-212.
- [4] 卢薇艳,罗鹏,龚淑云. 基于遥感技术的海岸线提取及应用研究综述[J]. 华南地质与矿产,2019,35(3): 393-397.
- [5] 理晨,冯磊,暴景阳,等. 一种无人机倾斜摄影的海岸线提取方法[J]. 测绘地理信息,2020,45(5):165-168.
- [6] 郭碧云,潘磊剑. 基于遥感图像增强的海岸线提取方法[J]. 海洋开发与管理,2020,37(7):42-44.
- [7] 米硕. 基于图像处理的海岸线自动提取算法研究[J]. 陕西水利,2020(1):33-35.
- [8] 孙孟昊,蔡玉林,顾晓鹤,等. 基于潮汐规律修正的海岸线遥感监测[J]. 遥感信息,2019,34(6):105-112.
- [9] 董玉磊,王荣林,吕立蕾,等. 基于潮汐模型和 DEM 的海岸线提取方法研究[J]. 水道港口,2019,40(4): 479-483.
- [10] 吕立蕾,董玉磊,奉定平,等. 海岸线自动提取方法研究[J]. 海洋测绘,2019,39(4):57-60.

[编辑:张 曦]

(上接第 142 页)

#### 4 结束语

规划和自然资源部门是产出(收集)数据最多的政府部门之一,尤其是空间矢量数据,大幅度逐年增加的趋势明显,但是数据的利用率还相对较低,仍然有很大的提高空间,以加强管理和利用为目的的规划和自然资源数据治理工作就变得非常紧迫了。当下,在全国范围内数据治理工作仍然处在“重管理,轻利用”的阶段,作为与空间关系最为密切的规划和自然资源数据,不应仅作为普通的数据资源存储在数据库或存储设备中被束之高阁,而是应该运用最前沿的数据分析和挖掘等先进技术手段对规划和自然资源数据进行有效分析并充分利用,为国土空间规划实施、自然资源保护、生态系统修复等活动提供强有力的支撑和有效服务。此外,绝大部分规划和自然资源部门也缺乏对规划和自然资源数据的全周期、标准化、集成化的管理和利用,如建设项目审批数据从土地勘

测定界、项目的用地预审和选址意见、用地规划许可、工程规划许可、土地复核验收和规划核实、不动产登记发证等的全周期数据的管理和利用。只有建立集成化、标准化、全面化的规划和自然资源数据治理体系,才能实现对规划和自然资源数据的有效利用,进而为国土空间规划实施、自然资源保护、生态系统修复等活动提供精准化数据服务。

#### 参考文献:

- [1] 王芳,吴志刚. 数据治理助力政府治理体系和治理能力现代化[J]. 网络安全和信息化,2020(4):24-26.
- [2] 李斌,闫华,孙晓冬,等. 推进科研单位数据治理体系构建的思考和建言[J]. 农业科技管理,2020,39(2):7-10,16.
- [3] 刘密霞. 推进数字政府建设的思路与对策[J]. 中国领导科学,2020(2):72-75.

[编辑:任亚茹]