

一种无人机倾斜摄影的海岸线提取方法

理 晨^{1,2} 冯 磊³ 暴景阳^{1,2} 崔胜涛³

1 武汉大学测绘学院,湖北 武汉,430079

2 武汉大学海洋研究院,湖北 武汉,430079

3 辽宁省海域和海岛使用动态监视监测中心,辽宁 沈阳,110000

A Coastline Extraction Method of Oblique Photograph of Unmanned Aerial Vehicle

LI Chen^{1,2} FENG Lei³ BAO Jingyang^{1,2} CUI Shengtao³

1 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Institute of Marine Science and Technology, Wuhan University, Wuhan 430079, China

3 The Sea and Islands Use Dynamic Monitoring Center of Liaoning Province, Shenyang 110000, China

摘 要:针对目前海岸线提取手段效率低、成本高、精度差等缺陷,提出了一种联合无人机倾斜摄影与潮位信息快速、高效、准确的海岸线确定及监测方法,并通过实验在平缓沙滩海岸处取得了优于 1.7 m 的平面位置精度,验证了方法的可行性。

关键词:海岸线;无人机;倾斜摄影;平均大潮高潮面;痕迹岸线

中图分类号:P231;P229

文献标志码:A

Abstract: Considering the disadvantages of the current means and methods, such as low efficiency, high cost and poor accuracy, a new method of determining and monitoring the coastline of unmanned aerial vehicle(UAV) oblique photography combined with tide information, which is fast, efficient and accurate, is proposed. And the feasibility is verified by the experiment with plane position accuracy of the coastline better than 1.7 m in the flat gravel coast.

Key words: coastline; UAV (unmanned aerial vehicle); oblique photography; mean high water springs; trace line

海岸线对海岸带地形的侵蚀演变、滩涂面积的变迁以及沿海湿地生态系统的衰退有重要指示作用^[1]。目前海岸线的确定及动态监测多采用卫星影像、航空摄影测量或激光雷达测量(light detection and ranging, LiDAR)等遥感技术,均存在一定的局限性。卫星手段提取成果多为传感器成像时刻的瞬时水边线,且易受影像分辨率、气象条件、卫星重访周期等因素限制,时效性与精度无法保证;LiDAR

手段可获取精密地形信息,联合潮汐信息确定海岸线位置,但成本高、效率低、缺少光谱信息,且精度不易评定;常规摄影测量手段可获取较高精度的DOM(digital orthophoto map)、DEM(digital elevation model)成果,但海岸带区域纹理特征贫瘠,使得DEM成果精度较差,因此生产中多采用DOM成果依据图像特征提取短期内大潮冲刷形成的痕迹线,多期确定成果位置差异大,且精度易受岸线区域底质属性影响,方法可重复性、适用性较差^[2-6]。

无人机倾斜摄影测量技术具有低成本、高效率、高精度获取空间三维信息的特点,适用于传统摄影测量手段受限的海岸带区域高精度测图与地形地貌变化监测^[7-9]。文献^[10-12]分别在不同地形地貌环境下利用无人机倾斜摄影技术获取了海岸带DSM(digital surface model)、DEM数据,高程精度接近或优于10 cm,验证了该技术在海岸带空间信息获取及资源监视监测方面的优势。为了快速、高效、准确地提取海岸线以及进行变化监测,本文提出了联合无人机倾斜摄影与潮位信息的海岸线确定方法,提取了严格意义上的潮汐特征海岸线(即基于平均大潮高潮面的海岸线),并以三维模型中提取的痕迹岸线为参考,评估方法的正确性与可靠性。

1 基于无人机倾斜摄影的海岸线

基于无人机倾斜摄影提取海岸线方法的基本思

引用格式: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(Li Chen, Feng Lei, Bao Jingyang, et al. A Coastline Extraction Method of Oblique Photograph of Unmanned Aerial Vehicle [J]. Journal of Geomatics, 2020, 45(5):165-168)

基金项目:国家自然科学基金(41576107)。

想是联合无人机倾斜摄影技术获取的高精度海岸带 DEM 与潮位数据计算局部 MHWS (mean high water springs), 使用等值线追踪方法确定潮汐特征海岸线的位置, 并依靠倾斜摄影技术获取的高分辨率三维实景模型提取痕迹岸线, 以此作为参考对确定的海岸线的空间高度、平面位置进行精度评定。整体流程如图 1 所示。

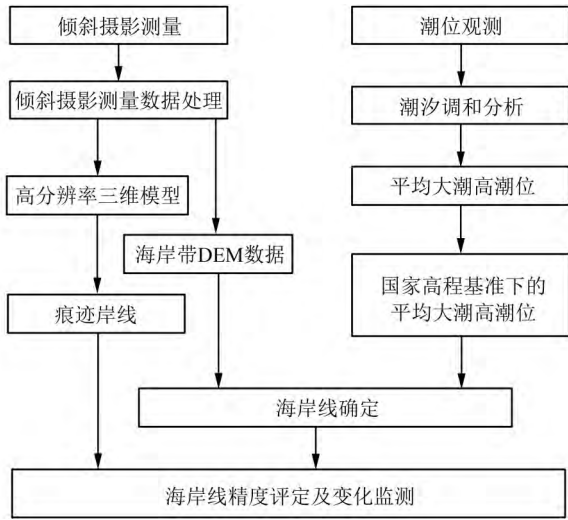


图 1 海岸线提取流程图

Fig. 1 Flow Chart of Extracting Coastline

1) 无人机倾斜摄影测量技术

无人机倾斜摄影通过固定翼或多旋翼无人机平台, 从一个正射和数个(多为 4 个)倾斜角度采集高分辨率低空影像。利用运动恢复结构、多视图立体视觉算法, 联合 GNSS (global navigation satellite system) 定位数据恢复曝光瞬间像片的空间位置与姿态, 密集匹配生成高密度三维点云, 通过坐标转换获取 2000 国家大地坐标系和 1985 高程基准框架下的 DEM、DOM 和三维实景模型成果^[13]。

为了确保海岸带区域影像纹理特征贫瘠情况下的成果精度, 根据海岸带走势布设一定的地面像控点参与解算。由于测量区域位于海岸, 大地水准面与似大地水准面差距较小, 成果的大地高可以通过式(1)转换为正常高^[14]:

$$H = h - N \quad (1)$$

式中, h 为大地高; N 为大地水准面差距, 在海岸区域可视为高程异常。

2) 局部 MHWS 的高程计算

利用长期潮位资料或根据当地潮汐模型进行潮汐预报, 精确定位大潮发生时间, 提取多年大潮高度 H_s , 确定自当地平均海平面起算的平均大潮高 A_{MHWS} ^[15]:

$$A_{MHWS} = \frac{\sum H_{s_i}}{n} \quad (2)$$

利用海面地形模型将 A_{MHWS} 转换为国家高程基准下 H_{MHWS} , 即海岸线高程:

$$H_{MHWS} = \zeta + A_{MHWS} \quad (3)$$

式中, ζ 为国家高程基准中表达的海面地形高度。

3) 海岸线位置确定

联合获取同一垂直基准下的海岸带 DEM 数据和海岸线高度, 使用等值线追踪方法确定海岸线的平面位置, 与数字正射影像叠加, 对确定的海岸线进行平滑、编辑、修饰等处理。

4) 可靠性分析

平均大潮高潮线是一条虚拟理论岸线, 不能直接测绘, 而痕迹线是指滩涂处沙砾等堆积形成的痕迹、岩石等因海水浸泡形成的痕迹, 是实地测量的唯一可视依据。无人机倾斜摄影能够制作高分辨率三维实景模型, 可在模型中依据显著的色差特征提取痕迹线作为海岸线位置精度的评定依据。具体方法是在提取的海岸线上每隔一段距离采样, 并在岸线梯度方向上确定痕迹线的对应点^[16], 分别计算对应点的高差 ΔH 和平面位置偏差 ΔV , 统计差异的均值、均方根偏差和标准差指标。高程偏差的统计公式为:

$$\text{Mean}_{\Delta H} = \frac{\sum \Delta H_i}{n}$$

$$\text{RMS}_{\Delta H} = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2 H_i}{n}}$$

$$\text{STD}_{\Delta H} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta H_i - \text{Mean}_{\Delta H})^2}{n-1}} \quad (4)$$

式中, n 表示采样点的数目, 水平方向差异的统计公式可参考式(4)。

2 实验及分析

为了验证方法的正确性, 于 2017-11 在辽宁省大连市金州湾大桥附近海岸开展了相关实验。实验区域面积约为 1.5 km², 海岸线长度约为 5 km, 无人机采用哈瓦 MEGA-V8 II 多旋翼航测平台, 搭载 5 台索尼 RX1RM2 型号数码相机, 焦距 35 mm, 相对航高 200 m, 航向重叠度 70%, 旁向重叠度 60%, 共获取有效像片约 2 400 张。无人机导航定位与地面控制点采集使用辽宁省 CORS (continuously operating reference stations) 网络, 坐标系统为 2000 国家大地坐标系, 高斯 3°带投影, 中子午线 123°E。

2.1 倾斜影像数据处理

无人机倾斜摄影数据采用 ContextCapture 商业软件处理, 定位数据解算采用 GPS-RTK (real-

time kinematic)事后差分模式,为了保证成果精度,共使用了 12 个地面像控点,自动化生成了实验区域密集三维点云、高精度 DEM 与三维实景模型,像控点均方根误差为 8 mm。使用当地精密大地水准面模型进行垂直基准转换,将各项成果统一到国家高程基准下。

利用外业采集的 15 个高程检查点对 DEM 成果进行精度评估。由统计结果可知,高程偏差平均值为 0.06 m,均方根为 0.06 m,其中偏差最大值为 0.09 m,最小值为 0.01 m,从而证明了低空无人机倾斜摄影方法获取的 DEM 成果在海岸带纹理特征贫瘠区域的高程精度优于 10 cm。

2.2 海岸线确定

采用中国近海海域精密潮汐模型和海面地形模型计算了实验区域 MHWS 的当地高程^[17],联合高精度 DEM 使用等值线追踪法确定海岸线位置,并与数字正射影像进行叠加对岸线进行编辑处理。由图 2、图 3 可知,实验区域地形以峭壁为主,含部分沙地,不包含人工渔业养殖地,提取的海岸线位置正确,在整个实验区域内连续且平滑。

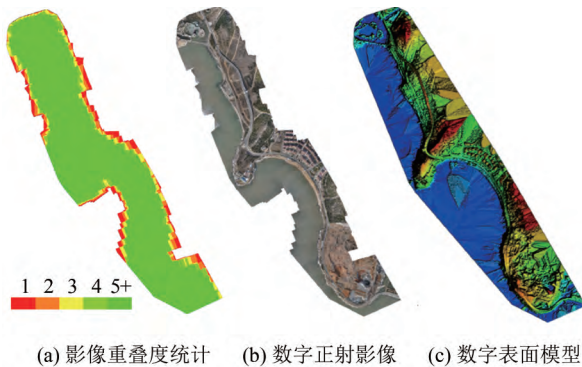


图 2 影像数据处理成果

Fig. 2 The Results of Image Data Processing

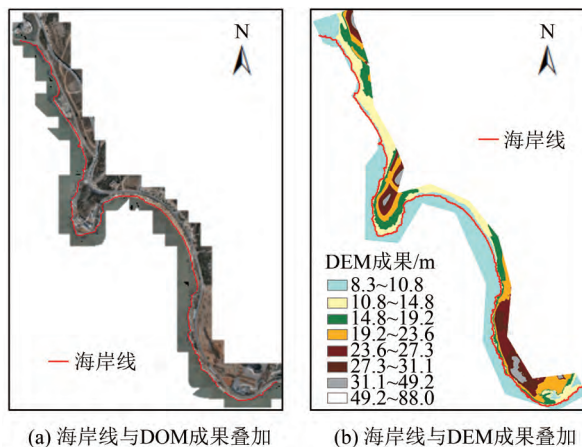


图 3 海岸线确定成果

Fig. 3 Results of the Coastline Extraction

2.3 可靠性分析

峭壁岸线处多为岩石底质,痕迹线不易识别,且痕迹线与海岸线平面位置几乎重合,不适合用于岸线精度评定。沙砾堆积处地势平坦,痕迹线明显,可根据三维实景模型提取痕迹线作为参考用于评估海岸线的可靠性。根据倾斜摄影生成的高精度三维实景模型,提取了沙地区的痕迹线,并沿梯度方向对提取的岸线与痕迹线均匀选取了 20 对点,并对相应点对的平面距离偏差与高程偏差进行了统计。

由海岸线与痕迹线在 DOM 成果上的叠加目视效果(图 4)可得,两者的形态相似、位置相近,验证了方法提取海岸线的正确性。由表 1 可知,平面位置偏差均方根小于 1.7 m,高程偏差均方根小于 0.1 m,在一定程度上可以认为提取的岸线与痕迹线基本吻合,提取的海岸线具有较高空间精度。两者平面位置偏差变化幅度达 4.42 m,这与海滩处坡度差异有关,坡度大的区域平面位置差距小,平缓区域差异较大,总体上,两者的空间位置基本一致。

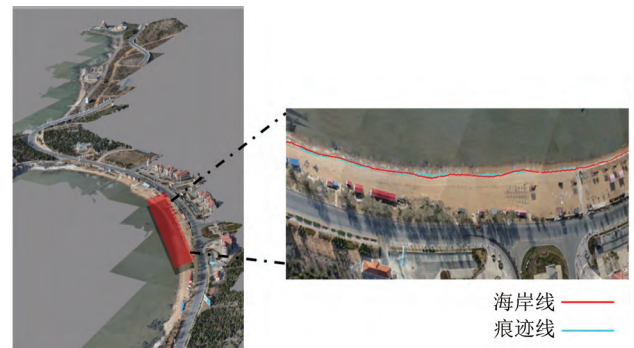


图 4 海岸线与痕迹线对比

Fig. 4 The Comparison of Coastline and Trace Line

表 1 海岸线与痕迹线位置偏差统计/m

Tab. 1 The Deviation of the Position of the Coastline and the Trace Line/m

位置偏差	最小值	最大值	平均值	均方根	标准差
平面位置偏差	0	4.42	1.14	1.64	1.20
高程偏差	0.01	0.16	0.08	0.09	0.05

2.4 精度影响因素分析

本文方法确定的海岸线精度,与基于倾斜测量获取的海岸带 DEM 成果、基于近海潮汐模型计算的多年平均大潮高潮位 A_{MHWS} 以及基于海面地形模型获取的高程异常 ζ 密切相关,这 3 个参数共同决定了最终海岸线的确定精度。从以往研究资料可知,根据以上 3 个参数的自身精度,对海岸线确定的影响程度由大到小依次为海岸带 DEM 成果、多年

平均大潮高潮位、高程异常^[11, 17, 18]。

基于倾斜摄影获取的DEM成果精度主要受制于外业影像数据采集的基高比、像片的曝光质量、测量区域的纹理特征、定位定向系统(position orientation system, POS)精度以及地面控制点的分布与精度。为了获取高精度的海岸带DEM成果,应在低潮前后中午时段采用较大基高比进行外业影像采集,以便减少影像阴影,增加海岸线周围区域影像的纹理特征,使用高精度的POS系统,并沿地形走势均匀布设一定数量的地面控制点。文中使用的多年平均大潮高潮位与高程异常的精度主要受制于采用的模型精度、分辨率,其在数值上通常优于海岸带DEM成果精度,对海岸线确定影响程度较DEM成果小。如若需要进一步提高两者精度,可以使用分辨率更高精度更好的优化模型,也可直接利用实验区域附近的长期实测潮位信息计算多年平均大潮高潮位,采用GNSS水准联测确定实验区域的高程异常,从而实现多年平均大潮高潮面在国家高程基准下的高精度确定,但会在一定程度上增加外业工作量,导致海岸线确定及动态监视的效率降低。

3 结束语

本文提出的联合无人机倾斜摄影与潮位信息的海岸线确定方法具有低成本、高效率、高精度的特点,且能制作高分辨率三维实体模型提取海水长期冲刷的痕迹线。该方法可取代外业实测对海岸线成果进行精度评定的作业模式,提高了精度指标的客观性,减少了外业的工作量,可用于海岸线的快速提取及变化监测。

由于本次实验区域较小,故在数据处理中取平均大潮高潮位为固定值,下一步可对大范围海区无缝平均大潮高潮面的构建、不同海岸类型和地貌地形特征下方法的适应性进行研究。

参考文献

- [1] 于彩霞,王家耀,许军,等. 海岸线提取技术研究进展[J]. 测绘科学技术报, 2014, 31(3): 305-309
- [2] 李雪红,赵莹. 基于遥感影像的海岸线提取技术研究进展[J]. 海洋测绘, 2016, 36(4): 67-71
- [3] 于彩霞. 基于LiDAR数据的海岸线提取技术研究[D]. 郑州:信息工程大学, 2015
- [4] Yousef A, Iftekharuddin K M, Karim M A. Shoreline Extraction from Light Detection and Ranging Digital Elevation Model Data and Aerial Images[J]. Optical Engineering, 2014, 53, doi: 10.1117/1.OE.53.1.011006
- [5] Chen W, Chang H. Estimation of Shoreline Position and Change from Satellite Images Considering Tidal

Variation[J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2009, 84(1): 54-60

- [6] Liu Z, Li F, Li N, et al. A Novel Region-Merging Approach for Coastline Extraction from Sentinel-1A IW Mode SAR Imagery[J]. IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters, 2016, 13(3): 324-328
- [7] Turner I L, Harley M D, Drummond C D. UAVs for Coastal Surveying[J]. Coastal Engineering, 2016, 114: 19-24
- [8] 顾广杰,姜坚,陶占杰. 无人机倾斜摄影测量技术在应急测绘保障中的应用[J]. 测绘通报, 2017(S1): 100-101
- [9] 阚晓云,孙景振. LiDAR及倾斜摄影技术在数字实景城市模型中的应用[J]. 测绘地理信息, 2014, 39(3): 43-46
- [10] Gonçalves J A, Henriques R. UAV Photogrammetry for Topographic Monitoring of Coastal Areas[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2015, 104: 101-111
- [11] Long N, Millescamp B, Guillot B, et al. Monitoring the Topography of a Dynamic Tidal Inlet Using UAV Imagery[J]. Remote Sensing, 2016, 8(5): 387, doi: 10.3390/rs8050387
- [12] Turner I L, Harley M D, Short A D, et al. A Multi-decade Dataset of Monthly Beach Profile Surveys and Inshore Wave Forcing at Narrabeen, Australia[J]. Scientific Data, 2016, doi: 10.1038/sdata.2016.24
- [13] Furukawa Y, Ponce J. Accurate, Dense, and Robust Multiview Stereopsis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(8): 1362-1376
- [14] 于彩霞,王家耀,黄文骞,等. 基于LiDAR点云提取海岸线的二值图像化改进方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(7): 897-903
- [15] 暴景阳,许军,关海波. 平均大潮高潮面的计算方法与比较[J]. 海洋测绘, 2013, 33(4): 1-5
- [16] Liu H, Sherman D, Gu S. Automated Extraction of Shorelines from Airborne Light Detection and Ranging Data and Accuracy Assessment Based on Monte Carlo Simulation[J]. Journal of Coastal Research, 2007, 23(6): 1359-1369
- [17] 许军,桑金,刘雷. 中国近海及邻近海域精密潮汐模型的构建[J]. 海洋测绘, 2017, 37(6): 13-16
- [18] 邓凯亮,暴景阳,章传银,等. 联合多代卫星测高数据确定中国近海稳态海面地形模型[J]. 测绘学报, 2009, 38(2): 114-119

收稿日期: 2018-12-20

第一作者: 理晨, 硕士生, 研究方向为海岸线确定及监测方法。
E-mail: cli_sgg@whu.edu.cn