基于多源数据融合的典型海岛三维形貌表征方法研究

曹超，蔡锋，吴剑，陈庆辉，郑勇玲，吴承强，
宋志晓，卢惠泉，鲍晶晶，刘春庚

（自然资源部第三海洋研究所　厦门　361005）

摘要：随着海岛开发利用和基础设施建设的频繁，高效、精准地获取海岛形态基础数据就显得尤为迫切。三维地形地貌探测和构建技术的日臻完善，及时解决了海岛基础勘测时间长、效率低、精度小的问题。文章通过三维激光扫描和无人机航测手段，全覆盖扫描广西小庙墩（炮台口）海岛表面形态，结合 RTK－DGPS 实测验证和近景摄影测量，获取海岛实景，运用 Geomagic Studio 和 Smart3D 等软件，构建典型海岛三维数字高程模型（DEM），融合多源数据和海岛实景，还原海岛高精度仿真三维形态。为高精度勘测海岛提供有效手段，为海岛基础地理信息获取、地质灾害识别和生态环境修复提供基础数据支撑。

关键词：海岛；多源数据；三维形貌；融合；情景识别

中图分类号：P7　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1005－9857(2019)09－0023－04

Research on 3D Morphological Characterization of Typical Island Based on Multivariate Data Fusion

CAO Chao，CAI Feng，WU Jian，CHEN Qinghui，ZHENG Yongling，WU Chengqiang，
SONG Zhixiao，LU Huiquan，BAO Jingjing，LIU Chungeng

（Third Institute of Oceanography，Ministry of Natural Resources，Xiamen 361005，China）

Abstract：With the development and utilization of islands and the frequent construction of infrastructure，it is particularly urgent to obtain the basic data of island form efficiently and accurately. The improvement of the three-dimensional topographical feature detection and construction technology has solved the problem of long island exploration time，low efficiency and low precision.In this paper，through the three-dimensional laser scanning and unmanned aerial vehicle aerial survey，the full coverage of the surface pattern of the small temple pier in Guangxi，combined with RTK-DGPS measurement verification and close-range photogrammetry，to obtain the island real

收稿日期：2019-03-03；**修订日期**：2019-08-14

基金项目：福建省自然科学基金（2016J01190）；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项项目（海三科 2016037）；国家自然科学基金（41406059）；海洋地质国家重点实验室开放基金（MGK1604）；国家海洋公益性科研专项（201505012－5）.

作者简介：曹超，副研究员，博士，研究方向为海岛与海岸带地形地貌

scene, using software such as Geomagic Studio and Smart3D, construct a typical island three-dimensional digital elevation model, combine multi-source data and island real scene, and restore the high-precision simulation three-dimensional shape of the island. It provided an effective means for high-precision survey of islands, and provided basic data support for island-based geographic information acquisition, identification of geological disasters and restoration of ecological environment.

Keywords: Island, Multivariate data, 3D geomorphology, Fusion, Scene recognition

0 引言

海岛是人类开发海洋的远涉基地和前进支点，是海洋的第二经济区，在国土划界和国防安全上也有特殊重要地位[1]。我国海岛 94%属于无居民海岛，它们大多面积狭小，地域结构简单，环境相对封闭，生态系统构成也较为单一，生物多样性指数小，稳定性差，生态脆弱性显著[2]。随着海岛开发利用和基础设施建设的频繁，高效、精准地获取海岛形态基础数据就显得尤为迫切。三维地形地貌探测和构建技术的日臻完善，解决了海岛基础勘测时间长、效率低、精度小的问题。通过遥感、无人机航拍、三维激光扫描等精细探测手段对典型海岛进行三维形态扫描，构建岛陆和岛滩立体式、系统性三维可视化形貌模型，为海岛基础地理测绘提供第一手资料，为进一步研究海岛地质灾害识别、生态环境修复以及权益海岛资源监测提供技术支持，为我国海岛资源的健康、稳定和可持续发展提供科学依据。

本研究选取位于钦州市犀牛脚镇乌雷村东南的小庙墩作为研究对象。因岛上设有古炮台，又近乌雷岭又名乌雷炮台。海岛长约 198 m，宽约 81 m，岛陆面积约 0.006 km^2，海岸线长约 507 m。最高点位于海岛中部偏南，高约 7.7m（N21°35.9′，E108°44.4′），距大陆最近距离为 366 m。海岛呈弯月形，NW—SE 走向，东北面为内湾，西南面为外湾，中间高，两头低。小庙墩为基岩海岛，基底由红色火山岩构成，出露地层为侏罗纪中侏罗统。临岸为低丘，属于侵蚀—剥削低丘台地。东南部为基岩海岸，其余部分多为砾石质海岸，其中南面是岩滩和砾石滩，北端有部分沙滩及沙砾混合滩，呈南部侵蚀、北部淤积的状况[3]。

1 数据融合方法

1.1 数据采集

多源数据融合最大的“瓶颈”在于数据的时效性和统一性，不同类型的数据由于受到卫星过境时间、气候环境以及自身条件的影响，很难做到在同一时间尺度内，这就给多源数据的融合、应用、分析和研究带来了障碍和“瓶颈”，在一定程度上制约了结果的可信度和科学性。无人机平台、站载式三维激光扫描仪等系统由于其灵活和机动性的优势，弥补了这个难题，能够最大程度上保证空间数据时效的统一性，即：获取的多源数据可以都处于同一时间内，增加了不同数据间的关联性，大大提升了多源数据综合分析、研究的可信度和科学性。但由于无人机平台受到自身荷载的局限，无法搭载大型、沉重的传感器设备，以及如何保持续航时间、维持飞行控制和导航系统的稳定性、地面控制以及数据传输等一系列技术问题都制约着无人机遥感技术的发展[4-6]。通过无人机搭载轻薄的数码照相机作为光学传感器为主，来获取实时高清航拍图片。联合站载式三维激光扫描仪进行融合、分析和应用（图 1），实现同一时间尺度上多源数据的获取，对多源数据来进行海岛地质灾害体动态监测和协同识别研究。

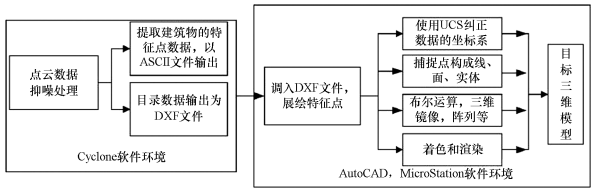


图 1 多源数据融合过程

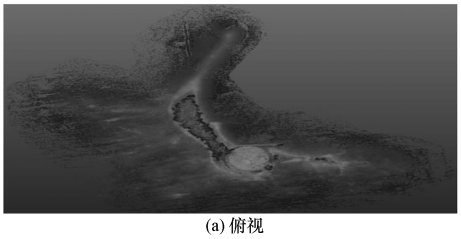
本研究采用美国 Trimble 公司的固定翼无人机

(UAV)作为遥感数据获取平台，获取空间分辨 GSD 达厘米级的航拍图像(最大抗风能力达 18 m/s)，满足海岛特殊自然环境条件，能够保证快速、稳定、安全的飞行。经过厂家校正和改进的 SONY 单反数码相机(NEX-5T)作为高分辨率图像传感器，获取图像的空间分辨率 GSD(依据飞行高度)可达 2.4～24 cm。

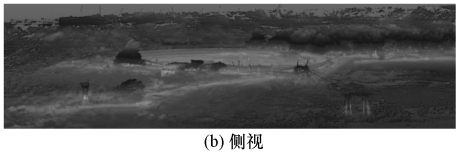
采用 Trimble 公司的 TX8 三维激光扫描仪采集典型海岛地形数据(空间点云信息)。对于平缓的地形条件下，通过提取完整波形数据，对波形进行变换和滤波、噪声处理、平滑和拟合；在复杂地形条件下，引入偏度平衡算法对空间点云进行滤波，通过计算点云的偏度(SK)，并与峰度(KU)相比较，区分出地面点和非地面点，分别生成 DEM 和 DSM，再计算两者之间的差值得到 CHM[7]。

1.2　数据处理

利用 Trimble Realworks 软件处理、分析、管理海岛多源数据集(点云数据格式)。实现量测平距、斜距、垂距、净空、直径、角度、方位角、坡度、倾角和坐标等一系列数据拼接、融合、统一。利用点云自动配准功能、生成点云配准数据云图(图 2)。



(a) 俯视



(b) 侧视

图 2　海岛三维激光点云构建

2　海岛三维形态建模与表征

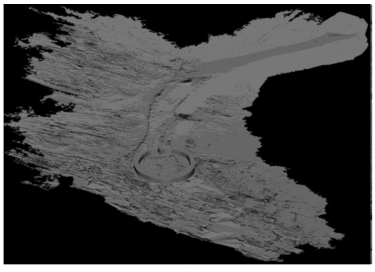
2.1　实体影像贴膜

利用 3D MAX 的 box 构建物体的三维模型，然后将人工拍摄的照片对应相应地物进行纹理颜色贴图。但对于海岛数据来说，岛上的特征地物岛礁石、细小沙粒等物体的体积小，数量多，以此种形式耗费的人力物力较多，且无法保证最终建出的模型精度。而且分块贴图不同物体的衔接部分不易处理，容易出现颜色转变突兀的情况，失去真实感。因此，为解决融合过程中出现的失真问题，我们引入 Smart3D。Smart3D 可以利用普通照片快速为各种类型的细微形貌生成高精度的现状三维模型，能快速创建细节丰富的三维实景模型，小到几厘米的物体，大到整个城市，只受限于照片的分辨率，而生成的三维模型的精细程度没有限制。但海岛的面积较大，无人机采集数据的速度快，但是分辨率达不到岛礁石纹理清晰的程度，而人工手动拍摄分辨率可以保证，但在保证重叠率的情况下工作量较大，实行困难[8-9]。

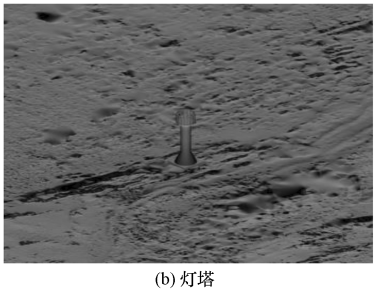
因此，我们优化 3D MAX、Smart3D、Geomagic Studio 软件，自动建模和人工甄别相结合，构建典型海岛三维形貌模型。

2.2　海岛三维形貌模型构建

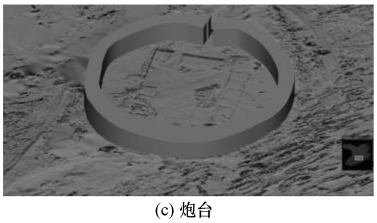
扫描得到的数据在 Trimble Realworks 中进行拼接成整幅的点云数据；Geomagic Studio 用点云数据进行模型封装，得到的白模如图 3 所示。



(a) 全景



(b) 灯塔



(c) 炮台

图 3　海岛三维素膜构建

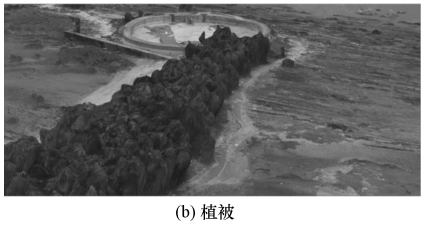
利用 TX8 扫描得到精细点云数据，导入

Geomagic Studio 中进行模型封装，对于不能闭合的地方进行手动填补。融合无人机拍摄的图片进行空三解算，软件通过后方交会的算法确定每个地物的特征点，自动识别相邻的点，汇集到一起得到点云数据，利用得到的点云数据自动构建 mesh 网格，将无人机拍摄的影像生成的正射图贴合到白模中，从而得到三维模型[10-11]。

2.3 海岛三维形貌表征

利用 TX8 扫描点云数据，在 Geomagic Studio 中生成较高精度的白模，无人机拍摄的三维影像在 UASMaster 中生成整幅正射影像，利用 Global Mapper 将正射影像与白模相结合生成最终的三维模型。具体影像如图 4 所示。

(a) 炮台



(b) 植被

图 4 海岛三维数据融合实景构建

通过多源数据的融合，有效表征小庙墩岛陆、岛滩形态特征，真实还原其植被、地物特性。其构建的海岛三维模型分辨率大、精度高，为下一步海岛开发利用和生态环境保护提供基础数据。

3 结语

(1)无人机影像平台和三维激光扫描仪协同采集地面数据，既获取真实的光学影像数据，又高效获取高精度三维矢量数据，两种数据融合后，生成三维可视化模型，为还原大区域(海岛)、小地物(微细地貌、海蚀孔穴)等复杂场景的真实原貌提供有效手段。

(2)通过 TX8 扫描数据导入 Geomagic Studio 中生成白模，结合无人机影像数据在 UASMaster 中生成正射影像，在 Global Mapper 中将正射影像图融合到白模上面形成高精度典型海岛三维形态模型。突破了以往用 3D MAX 以及 Smart3D 等直接利用单一手段进行建模的传统思维，不仅提高空间精度，又提高了建模效率。

参考文献

[1] 吴亚楠，吴国伟，武贺，等.海岛海洋能应用需求和发展建议探讨[J].海洋开发与管理，2017，34(9)：39-44.

[2] 谷海燕.海岛生态墓地建设开发的可行性研究与探析[D].济南：山东大学，2011.

[3] 中国海岛志编辑委员会.中国海岛志(广西卷)[M].北京：海洋出版社，2014.

[4] 谢年，向煜，徐艇伟.基于规则的快速三维建模技术研究[J].城市勘测，2013(4)：5-8.

[5] 杜来红，陈桦，房亚东.基于特征的三维建模技术的研究[J].中国制造业信息化，2004(5)：108-110.

[6] 段文华，许庆领.倾斜摄影实景三维模型的质量控制分析[J].地理空间信息，2017(11)：93-95.

[7] 赵耀红.面向地学过程的三维动态仿真技术研究[D].长春：吉林大学，2004.

[8] 义崇政，廉光伟，付海龙，等.三维地形实体模型自动建模技术研究[J].测绘地理信息，2017，42(3)：29-33.

[9] 刘小标.三维地物模型与多尺度地形融合方法研究[D].北京：中国测绘科学研究院，2014.

[10] 海青，沈忱.三维激光扫描仪在特殊地貌测量中的应用研究[J].测绘与空间地理信息，2016，39(3)：181-184.

[11] 钱建国，赵军武，唐为刚，等.三维激光扫描仪获取的数据处理与应用研究[J].矿山测量，2009(6)：44-47.