

LIDAR 技术在江苏沿海滩涂测绘中的应用

杜国庆¹ 史照良¹ 龚越新¹ 李铁军²

(¹江苏省测绘局, 江苏 南京 210097 ²北京星球数码科技有限公司, 北京 100083)

摘要: 利用 LIDAR 技术综合运用精确大地水准面成果、连续运行参考站卫星定位综合服务系统以及数字计算机处理技术制作 DEM、DOM、DLG 等产品。在分析江苏沿海滩涂特点的基础上, 介绍了项目过程、特点及关键技术。

关键词: LIDAR 遥感 测图 沿海滩涂

1 引言

江苏沿海是我国淤泥质潮滩最为集中的地区之一, 沿海滩涂面积位居沿海各省区之首, 对这片富饶而广阔区域的海洋区域进行科学、有效、有序、可持续性的开发具有极大的社会和经济双重效益。但是一直以来由于这片区域所处的特殊的海陆交界位置, 具有地势平坦, 高低潮位间滩涂面积变化大, 区域内难以布置有效控制点等特点, 使得通过传统的航测手段很难获得精确的地理信息资料, 实际工作中一直沿用上个世纪中期以来不准确的资料。这些资料已经不能满足迅速发展的江苏经济的需要, 更无法与江苏已经建立起来的系统、完善的测绘基础地理信息系统相匹配。

使用全新的技术手段对江苏沿海进行系统的基础地理信息资料收集, 摸清沿海滩涂的范围, 不仅可以有效地补充江苏基础地理信息数据库, 使其提高准确性、完整性, 具有权威性, 而且也将对沿海海洋资源的科学开发、海洋环境保护, 促进沿海经济发展将起到开路先锋的作用, 具有特别重要的意义。

2 LIDAR 技术简介

LIDAR(航空激光扫描探测技术)即 Light Detection And Ranging, 是一种安装在飞机上的机载激光探测和测距系统, 可以量测地面物体的三维坐标。LIDAR 是一种主动式对地观测系统, 是九十年代初首先由西方国家发展起来并投入商业化应用的一门新兴技术。它集成激光测距技术、计算机技术、惯性测量单元(IMU)/DGPS 差分定位技术于一体, 该技术在三维空间信息的实时获取方面产生了重大突破, 为获取高时空分辨率地球空间信息提供了一种全新的技术手段。它具有自动化程度高、受天气影响小、数据生产周期短、精度高等特点。LIDAR 传感器发射的激光脉冲能部分地穿透树林遮挡, 直接获取高精度三维地表地形数据。LIDAR 数据经过相关软件数据处理后, 可以生成高精度的数字地面模型 DTM、等高线图, 具有传统摄影测量和地面常规测量技术无法取代的优越性, 因此引起了测绘界的浓厚兴趣。机载激光雷达技术的商业化应用, 使航测制图如生成 DEM、等高线和地物要素的自动提取更加便捷, 其地面数据通过软件处理很容易合并到各种数字图中。

LIDAR 技术在国外的发展和应用已有十几年的历史, 但是我国在这方面的研究和应用还只是刚刚起步, 其中利用航空激光扫描探测数据进行困难地区 DEM、DOM、DLG 数据产品生产是当今的研究热点之一。该技术在地形测绘、环境检测、三维城市建模等诸多领域具有广阔的发展前景和应用需求, 有可能为测绘行业带来一场新的技术革命。

3 江苏沿海滩涂测绘的任务与特点

3.1 江苏沿海滩涂概述

江苏省是我国重要的沿海省份，也是我国滩涂分布最为集中的省份，其海岸除北部兴庄河口至苏鲁交界处属砂质海岸，连云港西墅至大板跳属基岩海岸外，其余都属于粉砂淤泥质海岸。这段海岸是在黄河、长江所携带的泥沙和海水动力作用的共同影响下形成的，具有潮滩宽阔(20~30km)、坡度平缓、水下岸坡延伸广以及多岸外沙洲等特点，是我省一个重要的自然地理单元。江苏沿海滩涂的范围从狭义上讲就是指潮间带，从广义讲则包括与潮间带相连的一部分陆地，通常以南起长江口北岸(约 31° 33' N)，北至江苏与山东交界处的绣针河口(约 35° 00' N)，东至海图深度基准面（远岸滩涂的最外侧），西侧废黄河以北以拓汪大沟—通榆公路—沐北运河—盐场内堤，废黄河以南以建国后所修挡潮海堤一线为界，涉及连云港市所辖赣榆县、连云区、灌云县、灌南县等，盐城市所辖响水县、滨海县、射阳县、大丰市和东台市，南通市所辖海安县、如东县、通州市、海门市和启东市等，共 3 个地区的 14 个区、县、市。总面积约为 7000km²，居全国沿海省市之首，占全国滩涂总面积的 1/4。

3.2 任务

江苏沿海滩涂测绘的任务是采用航空三维激光扫描探测（LIDAR）技术，并综合运用精确大地水准面成果、连续运行参考站卫星定位综合服务系统以及数字计算机处理技术而制作 DEM、等高线、高程注记点图以及 DOM、DLG 等产品，在仅有岸边少量 LIDAR 控制/检查点的前提下满足成图比例尺为 1:10000 的 DEM、DOM 和 DLG 测量精度、可靠性和成图质量要求。

3.3 特点

1) 本次测绘是在我国首次运用航空 LIDAR 系统（POS、LIDAR 传感器、数字相机和控制集成系统）进行沿海滩涂、海岛礁高精度测图，解决传统航测必需在测图区域布设一定数量控制点而实际人迹难以到达的难题，填补我国沿海滩涂、海岛礁高精度测图技术与手段的空白。

2) 由于测区滩涂和海岛礁区域的地面控制难度很大，因此本次设计运用连续运行参考站卫星定位综合服务系统和精确大地水准面成果，以减少野外 GPS 基准站的布设工作，并减轻地面控制和外业测量工作，以减少滩涂和海岛礁成图的外业工作量，并基本实现无地面控制测图。

4 项目实施

4.1 航空摄影任务实施

本项目使用 LIDAR 系统进行原始数据的采集，配合测区及邻近陆地设立的 GPS 基站进行同步观测，实现动态 DGPS 相位差分测量定位。为确保飞行质量，根据项目要求和 LIDAR 系统特性，选择 Y12 作为航摄平台，该机型为双发单翼飞机，升限 6000 米左右，飞行稳定，航线中平均地速可较稳定地保持在 130 节（240 公里/小时）。以南通和盐城机场为本项目的航遥基地。为保证最终生成的 DEM 满足精度要求，根据 LIDAR 系统的技术性能指标，确定 LIDAR 点距为 4 米，相对航高为 3000 米，单航带覆盖宽度为 2.485 公里，共敷设航线 119 条。

4.2 地面 GPS 基站布设与检查点测量

为保证 LIDAR 扫描测量和 GPS/IMU 技术的实施，需要在地面布设 GPS 基站，架设高精度 GPS 信号接收机与机载 POS 系统内置 GPS 接收机同步进行 GPS 观测，进行动态 DGPS 相位差分测量定位。根据江苏沿海各测区最远点到所选机场最大基线距离的情况，依据基站相互间基线长不大于 50 公里的要求，共在测区附近合理布设 11 个地面 GPS 基站，选址原则如下：

- 1) 站点附近视野开阔，无强磁场干扰；
- 2) 站点附近交通、通讯条件良好，便于联络和数据传输；
- 3) 站点附近地表面有浅植被覆盖，以抑制多路径效应；
- 4) 人员稀少或不易到达的地点，避免闲杂人滋扰；
- 5) 点位需要设立在稳定的、易于保存的地点；
- 6) 电源供应可靠，保障设备充电。

当基站点坐标未知时，对基站实施 GPS 静态定位测量并精确解算基站 WGS84 坐标系和 1980 西安坐标系两套坐标。联测基站附近 3 个以上的已知大地三角点或 3 个以上 GPS 网 C 级以上已知点和 4 个以上四等水准点，使用双频大地测量型 GPS 接收机和配套的高精度天线进行测量。采用基站同步联测的方式连续观测 2 个观测时段以上，每个时段时间为 UTC 00:05:00 开始，每个观测时段时间不得少于 6-8 小时。GPS 测量参数为观测数据采样间隔不大于 30 秒，卫星截止高度角大于 15 度，最小同步观测卫星数不少于 4 颗，PDOP 小于 8。并按 GB/T 18314 的要求做好基站点地面标记和埋石。

为保证 LIDAR 的测量精度，进行系统差的纠正必须测量一定量的地面检查点。根据测区的实际情况分析，将在测区内均匀布控检查点 200-300 个。具体布控点位按实际飞行航线和后处理实际需要确定。

4.3 内业数据处理

LIDAR 数据采集与内业数据处理工艺流程如图 1 所示。

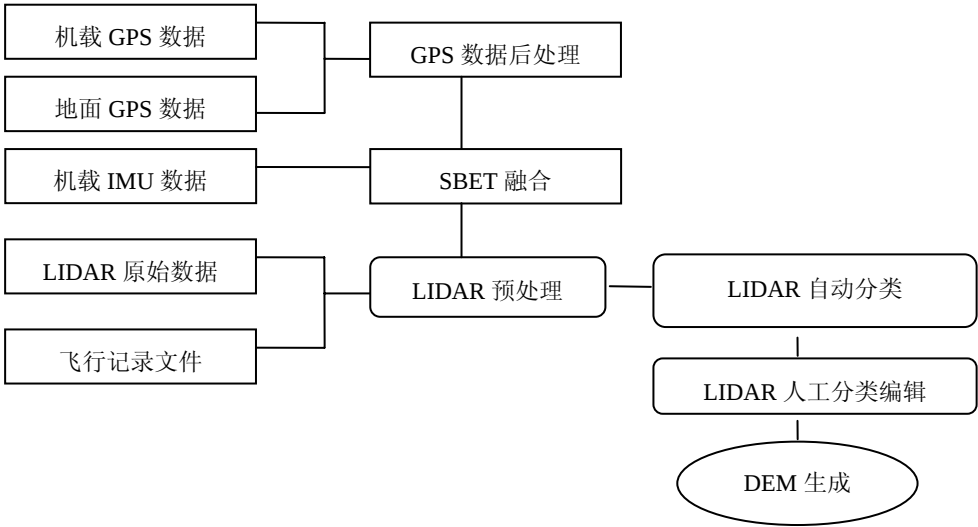


图 1 LIDAR 数据采集与内业数据处理工艺流程

根据机载 POS 数据和由 LIDAR 处理生成的 DEM 可用于制作 DOM 数据；在 DEM 基础上由计算机软件自动生成等高线并结合人工编辑形成 DLG 的等高线数据；据上述数据，可生成高程注记点数据；据上述数据，进行必要的地物要素的采集工作，可形成 DLG 数据。

5 项目关键技术

5.1 LIDAR 系统校准场布设、校准飞行与校准精度控制

本项目实施的关键技术之一就是 LIDAR 系统的精度校准，只有校准的 LIDAR 系统获取的 LIDAR 点云、POS 航路数据、外方位 EO 数据、数字影像，才可以高精度应用测绘数字产品。本项目在机场附近设计必要的合适的校准场，并采用 GPS 对校准场进行必要的控制测量，且每飞行架次的起始段和结束段都通过校准场，从而保证 LIDAR 系统精确而可靠地获取地面高程数据。

5.2 似大地水准面成果（GEOID）数据的引用与外推

利用 LIDAR 系统测绘符合国标的测绘产品，必须要进行水准测量，最快捷的方式就是利用测绘区域内已有的精化大地水准面成果（GEOID），目前江苏省全省陆地框架内已建成 7cm 精度的 GEOID，但是本项目所涉及的测绘区域内的绝大部分都缺乏该成果的覆盖，我们对已有的 GEOID 进行外推，该外推数据需要经过实地水准测量检验或者第三方检测方可用于测绘实践。

5.3 连续运行参考站卫星定位综合服务系统资源的使用

江苏省正在建设中的连续运行参考站卫星定位综合服务系统，对采用 LIDAR 技术进行数字测绘产品制作具有重要意义，但是考虑该参考站的分布密度以及对海覆盖的能力，故本项目实际作业中，既利用该系统成果，同时又联合若干 DGPS 基准站，以保证航摄飞行时机载 GPS 系统与地面基准站之间的良好数据通讯关系和后处理定位定向数据的完整性。

5.4 LIDAR 数据分类处理

LIDAR 数据自动分类处理工作是本项目高效率运转的关键技术基础。基于 LIDAR 技术的 DEM 数据制作工作，号称是“隔夜”任务，即从 LIDAR 数据获取到 DEM 数据制作完成，只需要短暂的工作实践即可完成。这就是归功于 LIDAR 数据所具有的自动分类处理特色。

5.5 LIDAR 数据编辑处理

基于 LIDAR 数据自动分类处理的基础上，进行人工交互编辑，将个别自动分类无法完全处理或者错误处理的部分进行精化编辑处理，从而形成 DEM 数据。这项工作主要包括：噪音点的识别与剔除；农作物的识别与处理；水体的识别与处理；LIDAR 自动分类的遗留问题处理；LIDAR 点云的栅格化处理，并检查栅格化结果的合理性；LIDAR 数据与 DEM、等高线、DLG 数据套合分析。

5.6 等高线与 DLG（线划图）绘制

由于采用 LIDAR 技术进行航空遥感探测并测绘数字地图产品的方法与传统航测方式完全不一样，没有 3D 立体测图环境；故等高线与 DLG（线划图）绘制的方式如下：

- 1) 根据 DEM 数据自动生成等高线；
- 2) 根据 DEM 点高程着色图与 DEM 表面晕渲图产生的平面立体编辑等高线；

3) 根据实际地面特征分布,标注合适的高程注记点;

4) 参考 DOM、DEM、等高线和高程注记点信息,在平面立体(2.5 维)环境下,绘制 DLG 地物要素,并检查等高线与 DEM、高程点、地物要素之间的矛盾关系。

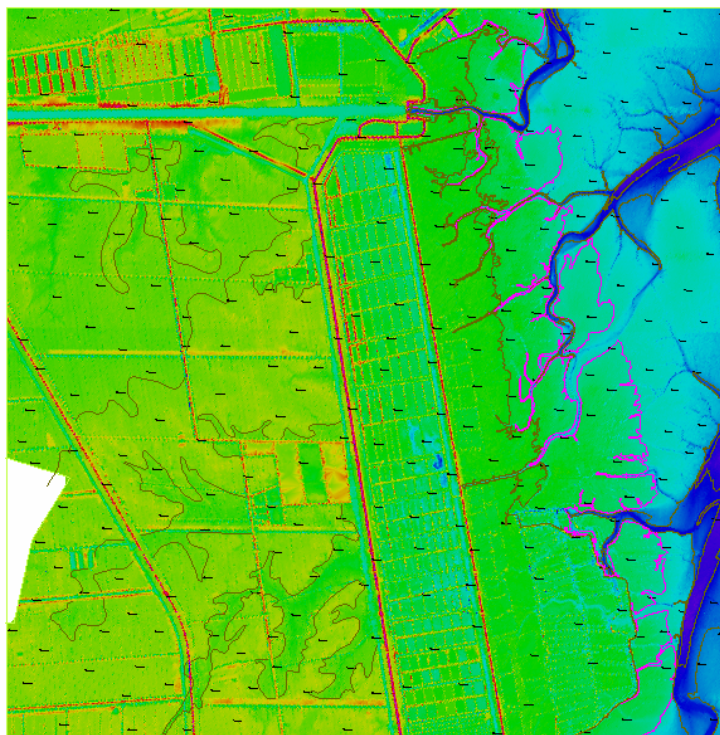


图 2 DLG、等高线与高程注记点叠合示意图(范围: 8Km×8Km, 坐标系统: WGS84)

6 结束语

本项目采用了机载激光测距、GPS 定位和惯导技术以及相应的数据融合处理技术,完成了 11900 平方公里 1:10000 比例尺江苏省滩涂和岛礁测绘,形成了相应的 DEM、DOM 和 DLG 产品,经质量检验,DEM 水平分辨率达到 4m,高程精度达到 0.33m,符合现行规范要求。项目完成过程中开展的一系列的数据处理和数据分类的应用研究,为高质量地完成项目提供了技术保障。江苏沿海滩涂测绘是国内首次利用 LIDAR 进行沿海滩涂、海岛礁高精度、高分辨率测绘,开创了我国沿海滩涂、海岛礁高精度测图技术的新途径。

迄今为止,机载 LIDAR 系统主要是用于测制