

DOM 和 LiDAR 技术融合在地形测量中的应用

李云鹏, 孙少杰, 王冠宇

(黑龙江省物探测量勘察院, 黑龙江 哈尔滨 150046)

摘要 聚焦 DOM (数字正射影像图, Digital Orthophoto Map) 和 LiDAR (激光雷达, LightLaser Detection and Ranging) 技术融合在地形测量领域的应用, 阐述了两项技术的原理与特点, 剖析了其融合在地形测量中的技术流程, 涵盖数据获取、预处理、要素采集与编辑等环节。以哈尔滨市某村庄 1:2 000 地形图测量项目为实例, 深入探讨该融合技术的实际应用情况, 包括项目实施过程、遇到的问题及解决方法、成果质量评估等方面。研究结果表明, DOM 和 LiDAR 技术融合显著提升了地形测量的效率与精度, 为众多领域提供了可靠的地形数据支持, 具有广阔的应用前景。

关键词 DOM; LiDAR; 地形测量

中图分类号: P21; TP3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.25.001

0 引言

地形测量是获取地球表面地形信息的重要手段, 其成果广泛应用于城市规划、土地利用、水利工程、交通建设等众多领域。准确、详细的地形数据是这些领域进行科学决策、合理设计和有效施工的基础。传统地形测量方法, 如全站仪测量、水准测量等, 在面对大面积、复杂地形测量时, 存在效率低、精度有限、受地形条件制约大等问题。随着遥感技术的快速发展, DOM 和 LiDAR 技术逐渐成为地形测量的重要工具。DOM 具有丰富的二维信息, 能直观呈现地物的形状、位置和纹理等特征; LiDAR 技术则可快速获取高精度的三维点云数据, 精确测量地形的高程信息。将二者融合, 能够优势互补, 为地形测量带来更高的效率和精度, 满足现代社会对地形数据日益增长的需求。

1 DOM 与 LiDAR 技术概述

1.1 数字正射影像图 (DOM) 技术原理与特点

DOM 是对航空或航天像片进行数字微分纠正和镶嵌, 按一定图幅范围裁剪生成的数字正射影像数据集^[1]。其原理基于摄影测量, 通过对像片进行几何校正, 消除像片倾斜和地形起伏引起的投影变形, 使影像具备地图几何精度。同时, DOM 保留了栅格影像的特性, 能直观展示地面地物的丰富信息, 如地物的形状、大小、色调、阴影等。在地形测量中, DOM 可作为背景图, 为地形要素的判读和采集提供直观依据, 极大地提高了测量的可视化程度和工作效率。

1.2 激光雷达 (LiDAR) 技术原理与特点

LiDAR 是一种主动式对地观测系统, 集激光测距技术、计算机技术、惯性测量单元差分定位技术于一体^[2],

其基本原理是通过发射激光脉冲并测量激光从发射到接收的时间间隔, 利用光速计算出激光束照射点到传感器的距离。LiDAR 结合搭载平台 (如飞机、无人机) 的位置和姿态信息, 以及激光扫描角度, 可精确获取地面物体的三维坐标, 生成高密度、高精度的激光点云数据。LiDAR 技术具有诸多优点, 如能穿透部分植被, 直接获取地面真实地形信息, 有效解决传统测量方法在植被茂密地区难以获取地形数据的难题; 数据获取速度快、自动化程度高, 可在短时间内获取大面积的地形数据; 测量精度高, 能满足高精度地形测量的需求。在地形测量中, LiDAR 点云数据可用于构建数字高程模型 (DEM)^[3], 提取等高线、高程点等地貌要素, 为地形分析和工程设计提供准确的数据支持。

2 DOM 和 LiDAR 技术融合的地形测量技术流程

2.1 数据获取

数据获取是地形测量的首要环节, DOM 和 LiDAR 数据的获取方式有所不同。DOM 数据通常通过航空摄影或卫星遥感获取。在航空摄影过程中, 利用搭载在飞机上的数码相机, 按照一定的航高、航向重叠度和旁向重叠度进行拍摄, 获取覆盖测区的航片。随后, 对航片进行数字微分纠正、镶嵌和裁剪等处理, 生成 DOM 数据。LiDAR 数据则通过搭载在飞机或无人机上的 LiDAR 系统获取。在飞行过程中, LiDAR 系统发射激光脉冲, 接收地面反射信号, 记录激光脚点的三维坐标信息, 形成原始点云数据。同时, 获取的还有定位定向系统 (POS) 数据^[4], 用于确定 LiDAR 系统在空间中的位置和姿态, 为后续的数据处理提供基础。

2.2 数据预处理

数据预处理是确保数据质量和后续处理精度的关键步骤。对于 LiDAR 点云数据,预处理包括数据分类、去噪、滤波和重采样等操作。数据分类是将原始点云数据按照地物类型进行分类,如地面点、植被点、建筑物点等,以便后续分别处理。去噪旨在去除因仪器误差、外界干扰等因素产生的噪声点,提高数据的准确性。滤波则是分离地面点和非地面点,常用的滤波算法有渐进加密三角网(PTD)滤波算法等^[5]。重采样可根据实际需求调整点云数据的密度,在不损失关键信息的前提下减少数据量,提高处理效率。对于 DOM 数据,预处理主要包括影像增强、几何校正和辐射校正等。影像增强可提高影像的清晰度和对比度,便于地物的判读。几何校正用于纠正影像的几何变形,使其符合地图投影要求。辐射校正则消除因光照条件、传感器差异等因素导致的影像辐射差异,保证影像的质量一致性。

2.3 地形图要素采集

在 DOM 和 LiDAR 数据预处理完成后,即可进行地形图要素采集。在 DOM 上采集二维地物要素时,利用专业的地理信息软件(如 ArcGIS、mappingfactory 等),根据影像上地物的构像特征,如形状、大小、色调、阴影以及地物之间的相互关系,识别和判定地物的类型和轮廓。对于一些影像判读存在疑问的要素,可参考 LiDAR 数据进行确认,确保采集的准确性和完整性。在 LiDAR 数据上采集三维地形、地貌要素时,首先利用预处理后的点云数据采集房屋、陡坎等要素,再通过对点云进行滤波,提取地面点点云,最后利用地面点点云提取等高线和高程点数据。同时,参考 DOM 影像,识别和提取河流、陡坎等特殊地貌要素,与等高线数据进行叠加,完成三维地貌要素的采集。

2.4 数据合并与编辑

将 DOM 上采集的二维地物要素数据和 LiDAR 数据上采集的三维地貌要素数据进行合并处理。在合并过程中,需要协调各要素之间的相互关系,确保地物和地貌的空间位置准确匹配。利用数据编辑工具,对合并后的数据进行检查和修正,采用视觉检查和拓扑检查等方式,确保线状和面状地物的完整性,避免出现重复、自相交、打折、缺口等错误。根据实际需求,录入相应要素的属性信息。

3 DOM 和 LiDAR 技术融合在地形测量中的应用案例

3.1 项目概况

哈尔滨市某村庄 1:2 000 地形图测量项目旨在完成辖区约 428.4 km² 的地形图测制工作,满足村庄规划编

制用图需求。测区范围内居民地房屋密集、杂乱,建筑密度较大;北侧为松花江,镇内有湖泊和大量鱼塘;植被类型多样,包括旱地、水田、水浇地和菜地等。这些特点给地形测量工作带来了诸多挑战。

3.2 项目中 DOM 和 LiDAR 技术融合的应用

该项目采用直升机搭载三维激光扫描系统及正射相机进行数据采集,利用 LiDAR 技术获取地表三维点云数据,同时获取正射影像用于生成 DOM。在数据处理阶段,通过 Inertial Explorer 软件解算点云数据,GeoLAS 软件输出真彩色点云数据,再利用 Mapping Factory 软件进行航测内业采集、外业调绘及补测,最后使用南方 CASS 软件进行数据编辑,完成数字线划图(Digital Line Graph)成图。DLG 生产流程如图 1 所示。

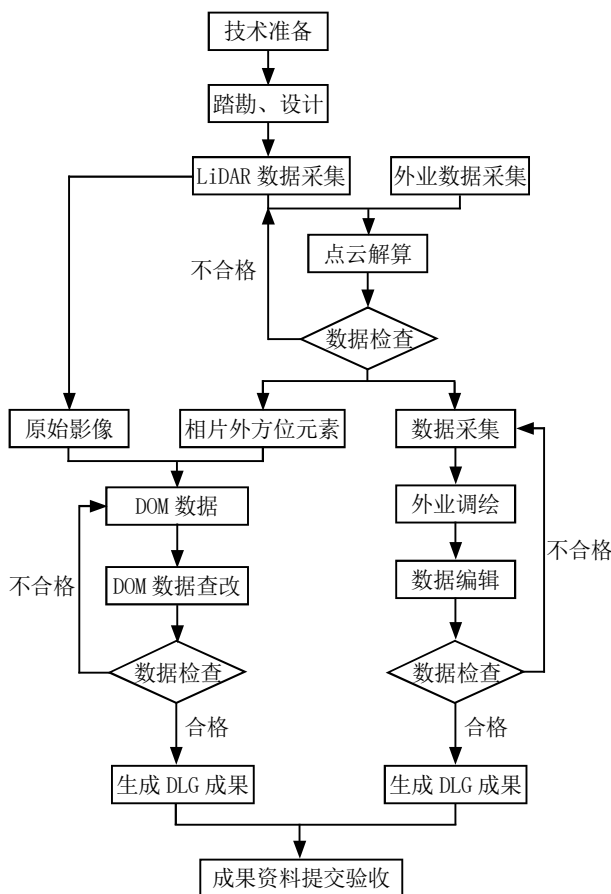


图 1 DLG 生产流程

3.3 项目实施过程中的问题及解决方法

项目实施过程中遇到了一系列问题。由于测区跨度大且包含太平国际机场,批准的航飞时间段少,可飞行天数少,每日作业时间短,导致作业工作日较长。针对这一问题,项目组合理规划飞行方案,选取多个

起降点,以保证直升机作业顺利进行。此外,图面负载量较大也给测量工作带来了困难。例如:居民地内部的干沟、多个距离较近的电杆等,难以全部准确采集。项目组根据实际情况,制定了合理的采集原则,如居民地内部只采集主要道路两侧的干沟,多个电杆距离较近时只采集主要电杆等,在保证地形图精度的前提下,提高了工作效率。

3.4 项目成果质量评估

本项目采用实地检测的方法进行检验,采用全站仪极坐标法,实地采集各要素特征数据,获取要素特征点的平面坐标和高程。居民地密集且道路狭窄,散点法不易实施的区域,采用钢尺或手持测距仪实地量取地物间的距离的方法,检查各类地物的平面相对位置精度。将采集的高程点高程值与图上同名高程注记点高程值进行比对,计算高程较差,按图幅统计地形图高程注记点高程中误差。将实地量取的地物间的距离,与地形图上同名距离进行比对,计算距离差值,按图幅统计地形图平面相对位置中误差。中误差计算公式如下:

$$M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^2}{2n}}$$

式中, M 为成果中误差, n 为检测点(边)总数, Δ 为较差。部分图幅中误差统计如表 1 所示。

表 1 中误差统计表 单位: m

图名	高程中误差	平面绝对位置中误差	平面相对位置中误差
太平湖温泉小镇	± 0.197	± 0.367	± 0.318
团结村	± 0.165	± 0.445	± 0.284
先富小学校	± 0.105	± 0.56	± 0.262
辛家窝棚	± 0.123	± 0.354	± 0.294
新榆煤场	± 0.148	± 0.568	± 0.263
姚家屯	± 0.141	± 0.541	± 0.254
一场村	± 0.135	± 0.558	± 0.263
渔场屯	± 0.129	± 0.58	± 0.26
御草居医药有限公司	± 0.147	± 0.563	± 0.24
中国电信	± 0.159	± 0.558	± 0.315

经检查,该项目成果质量良好。数字线划图(DLG)成果平面和高程精度高,数据结构正确,地貌表示合理,地物采集完整,图廓整饰符合规范要求,附件齐全且符合要求,能够满足甲方规划需要。这充分证明了 DOM

和 LiDAR 技术融合在该项目中的应用是成功的,能够有效获取高精度的地形数据,为村庄规划提供可靠的依据。

4 DOM 和 LiDAR 技术融合在地形测量中的优势与不足

4.1 优势

DOM 和 LiDAR 技术融合在地形测量中具有显著优势。二者融合能够获取丰富的地形信息,既包括地物的二维平面信息,又涵盖地形的三维高程信息,为地形分析和工程设计提供了全面的数据支持。

4.2 不足

尽管 DOM 和 LiDAR 技术融合在地形测量中表现出色,但仍存在一些不足之处。数据处理流程较为复杂,需要专业的软件和技术人员操作。LiDAR 点云数据量大,数据分类、滤波等处理环节计算量大,对计算机硬件性能要求较高。

5 结束语

DOM 和 LiDAR 技术融合在地形测量中展现出强大的优势,通过优势互补,能够获取更全面、准确的地形数据,提高测量效率和精度。哈尔滨市村庄 1:2 000 地形图测量项目的成功实施,充分验证了该融合技术在实际应用中的可行性和有效性。然而,该融合技术也存在一些需要改进的地方,如数据处理的复杂性和成本较高等问题。随着科技的不断进步,DOM 和 LiDAR 技术将不断发展和完善。未来,传感器的精度将进一步提高,数据获取和处理效率也会大幅提升,从而降低成本。同时,人工智能和机器学习技术在数据处理中的应用将不断深入,实现数据处理的自动化和智能化,减少人工干预,提高数据处理的准确性和效率。

参考文献:

- [1] 武坚,郝伟,王东前,等.利用无人机影像制作超大范围 DOM[J].测绘与空间地理信息,2024,47(08):176-178.
- [2] 杨昆仑,赵军平.无人机 LiDAR 系统在大比例尺地形图测绘中的应用[J].测绘技术装备,2020,22(02):69-72.
- [3] 占媛,王迎春,江芸.基于 LiDAR 点云的多场景 DEM 生产关键技术研究[J].测绘与空间地理信息,2025,48(03):15-18.
- [4] 马伟波,丁建伟,谭琨.定位定向系统数据的航空高光谱影像几何校正[J].测绘科学,2017,42(06):130-136,201.
- [5] 邢承滨,耿宏,杜宁.基于渐进三角网的多波束滤波算法研究[J].水道港口,2024,45(02):302-307.