

# 基于激光雷达的大比例地形测绘与数据联动更新

庄惠

海南省水利水电勘测设计研究院有限公司, 海南 海口 570100

**摘要：**在现代测绘领域，获取详尽的地形图是确保规划和建设项目成功的关键，因为这些成果中包含地面地形、水文条件、交通网络以及植被覆盖等诸多信息。当前，为了捕捉和记录复杂而多样的地物特征，测绘人员广泛使用了各种先进的仪器和设备，如传统的地面测量设备、遥感成像设备以及高分辨率摄影设备。然而，这些设备虽然各自拥有独特的优势，但是由于不同设备生成的数据格式各异，在格式转换的过程中很容易发生数据丢失的问题，从而影响到地形图上所需要素的准确性和完整性。为此，本文将重点探讨激光雷达技术在大比例地形测绘与数据联动更新技术方面的应用，通过深入分析其工作原理以及地形测绘与数据联动更新策略以期对相关从业者提供借鉴参考。

**关键词：**激光雷达；大比例地形测绘；数据联动；数据更新

## Large scale terrain mapping and data linkage update based on LiDAR

Zhuang Hui

Hainan Provincial Water Resources &amp; Hydropower Survey, Design Institute Co., Ltd., Haikou, Hainan 570100

**Abstract：** In the field of modern surveying and mapping, obtaining detailed topographic maps is the key to ensuring the success of planning and construction projects, as these results contain a lot of information such as ground topography, hydrological conditions, transportation networks, and vegetation coverage. Currently, in order to capture and record complex and diverse land features, surveyors widely use various advanced instruments and equipment, such as traditional ground measurement equipment, remote sensing imaging equipment, and high-resolution photography equipment. However, although these devices have their own unique advantages, due to the different data formats generated by different devices, data loss is prone to occur during the format conversion process, which affects the accuracy and completeness of the required elements on the topographic map. Therefore, this article will focus on exploring the application of LiDAR technology in large-scale terrain mapping and data linkage update technology. Through in-depth analysis of its working principle and terrain mapping and data linkage update strategy, it is hoped to provide reference for relevant practitioners.

**Keywords：** lidar; large scale topographic mapping; data linkage; data update

激光雷达技术之所以备受测绘行业的欢迎，主要得益于该技术在多维度上的出色表现：一方面激光雷达系统具有极高的精度，能够提供极为精确的地形数据；另一方面，该技术具备高分辨率，可以捕捉到微小细节，使地形分析更加精细和准确；此外，激光雷达还拥有高可靠性，即使在复杂环境下也能保持稳定工作，确保数据的完整性和可靠性。因此，无论是在城市规划、土地管理还是灾害评估等诸多方面，激光雷达技术都展现出了巨大的潜力和价值。

### 一、激光雷达运作原理分析

激光雷达作为一种高精度的传感器技术，通过先进的软硬件设计，实现了数据采集和处理的高度集成。该系统中，主要包含USB接口、CPU、GPS/GLONASS兼容天线、测量物体三轴姿态角装置（IMU）以及激光扫描仪、激光传感器等装置。其中，USB接口主要是为硬件连接提供便捷性，为系统内各个组成部分之间的通讯提供通道。而CPU（中央处理器）在系统中主要负责协调和管理整个系统的运行，确保各项任务能够高效的进行。而GPS/GLONASS兼容天线是能够接收并解析GPS或GLONASS信号的设备，用以构建精确的三维空间定位基础。而测量物体三

轴姿态角装置（IMU）则是一个精密的工具，可以实时监测并记录物体的三轴姿态角信息，以更好的理解和预测物体的姿态变化。此外，激光扫描仪与多个激光传感器共同工作，能够捕捉到环境中的深度信息和激光点云，这些都是构建数字地图不可或缺的要害。当所有这些设备被有机地集成在一起时，系统便能在同一时间内协同完成对空间和时空数据的全面采集。并且，这一方法允许用户从不同角度、不同时间收集到丰富的空间和时间矢量数据，从而为后续的分析和应用打下坚实的基础<sup>[1]</sup>。

借助于激光雷达采集的点云数据处理技术，可以实现对这些环境特征的有效捕捉和实时监控。这一过程涉及到多个步骤，每个步骤都至关重要。首先，要对激光雷达所采集的点云数据进行

严格的滤波预处理工作。可通过使用体素滤波器对数据进行重采样，减少点云中的无效信息，从而达到数据精简的目的。接下来，要通过定义一个精确的边界区域，将地面上的点云滤除出去。这样做不仅能够减少扫描数据量，而且对于地面和岩壁周围障碍物的提取也具有重要意义。其次，要对地面和岩壁上的点云进行细致的分割。可用随机采样一致性分割方法来将地面和岩壁近似拟合为一个半圆形的结构，并以此作为边界。这个边界被称为内联点（Inliers），而通过法向量的计算，得到的那些突出的、离群的点云，称为外联点（Outliers）<sup>[9]</sup>。在外联点与之前定义的边界分割开来后，便可以开始处理这些外联点。可以使用基于欧氏聚类的点云聚类方法来对外联点进行处理。欧氏聚类方法是一种强大的数据分析工具，能够有效的将不同类别的点云聚成独立的凸包。将外联点聚类成每个相互独立的凸包，每个凸包都代表了一个独立的障碍物模型，这样的分类方法不仅可以提高数据处理的速度，而且还可确保障碍物模型的准确性和完整性。最后，为了确保每个障碍物模型都能得到充分的包围，要引入主成分分析（PCA）包围盒方法<sup>[9]</sup>。PCA包围盒主要是通过最小化原始数据集的协方差来实现压缩。将经过欧氏聚类的外联点数据集作为输入，利用PCA算法将其转换为更加紧凑的形式。这样处理后的数据更容易存储和传输，同时也方便了后续的障碍物检测过程。通过这一系列综合处理流程，可成功实现了对地下环境障碍物的有效实时识别。

## 二、基于激光雷达的大比例地形测绘与数据联动更新技术策略

由于海南地区的地理环境复杂多样，包括山区、丘陵、平原及海洋，因此基于激光雷达的地形测绘与数据联动更新技术策略在这个地区具有重要的实践意义。一方面，这一技术可以有效解决传统地形测绘方法在海南地区复杂地形条件下的困难，如在山区和丘陵地形中的物理接触测量问题。激光雷达能够通过在地面的连续扫描，获取大范围内的地形信息，从而实现对复杂地形的精确测绘。另一方面，通过激光雷达技术还可以实时监控和更新地形数据，提高地形数据的即时性和准确性。海南地区作为热带地区，气候变化频繁，地形也会随之产生变化，因此要有能够实时或近实时更新地形数据的技术来适应这种变化，以便于规划和管理。此外，通过使用基于激光雷达的地形测绘与数据联动更新技术，可以进一步提高地形数据的应用价值。这些数据应用于多个领域当中，比如环境保护、城市规划、灾害防治等，从而为相关领域的决策提供重要的支持<sup>[10]</sup>。

### （一）测量系统组成

无人机载激光雷达测量系统是集成了精密传感器和先进控制技术的复杂系统，在航空摄影、地形测绘、环境监测等领域发挥着至关重要的作用。该系统的核心组成部分可以总结如下：

（1）动态差分GPS接收机，它负责将激光雷达信号中的发射参考点的空间位置精确地定位到无人机的飞行路径上。（2）姿态测量装置提供了对扫描装置主光轴的姿态参数的测量能力。通常，这

种姿态测量设备会采用功能强大的惯性导航系统（INS）来执行，以实现高精度的姿态计算。（3）激光测距仪，测量激光雷达信号发射点与地面激光脚点之间的距离。（4）成像装置，主要由CCD相机组成。这些相机拍摄的图像被实时传输回地面，并为后续的数据处理提供直观的参考资料。高分辨率的成像能力有助于提高数据处理的效率和质量。（5）同步控制装置，这一装置可确保多源数据之间的无缝关联和匹配。通过有效的同步机制，GPS定位数据、IMU姿态数据、测距数据、影像数据以及回波强度数据等各部分数据才能够得以相互补充，从而形成完整的数据链，用于更加精确的进行地形分析和环境评估。（6）遥感平台。搭载无人机机载激光雷达系统不仅要具备足够的灵活性和稳定性来适应多变的飞行条件，同时还要有足够的空间来安装所有必要的硬件和软件，以便顺利完成各项测量任务<sup>[10]</sup>。

### （二）测量特点

无人机载激光雷达系统的测量技术自从被研发出来以来，已经在多个领域得到了广泛的应用。该系统主要有以下几个显著特点：一是，作为一种主动式测量系统，与传统的航空摄影测量相比，该系统拥有着更为主动和高效的特点。在作业过程中，系统会主动发射激光脉冲，这些脉冲能够捕捉到目标的反射信号，并据此计算出地面上特定点的三维坐标数据。并且，由于该系统不受光照条件的限制，无论是白天还是黑夜，都能进行数据采集，特别是复杂工作环境，以及夜间或光照不足的条件下测量作业<sup>[10]</sup>。二是，无人机载激光雷达是一种非接触式测量，相较于RTK测量、全站仪等传统的测量技术具有明显的优势。对于那些人工测量难度大、特征点稀少的区域，如潮间带、森林，以及沼泽等地区，无人机载激光雷达展现出了无与伦比的效率和准确性。这些区域往往因为植被的覆盖而导致传统测量系统难以准确定位，但激光雷达可以克服这些障碍，提供更加精确的地形数据和三维信息。三是，无人机载激光雷达系统所能产生的测量产品种类非常丰富。除了DLG（数字线划地图）和DEM（数字高程模型）外，还可以制作DOM（数字正射影像图）实景三维模型以及激光点云等多种产品，满足不同用户的需求。这些丰富多样的数据产品为土地管理、地质勘探、城市规划等诸多领域提供了强有力的支持<sup>[7]</sup>。四是，激光雷达的多回波功能可谓是创新之举，它允许激光脉冲穿透植被，从而获得植被覆盖下方的真实地形数据。这一点对于研究植被生长动态、生态系统变化以及灾害评估等领域具有重要意义。可通过这一穿透能力，揭示植被对地表结构的影响，帮助科研人员更好的理解自然现象。

### （三）实验平台搭建

为了深入探究并验证所提出的非线性迭代算法的性能和准确性，就要精心搭建一套实验平台。例如，在进行光源非线性校正实验的过程中，可以设计一套包括标定板、标定源、CCD相机以及相关控制硬件和软件的实验装置。其中，标定板的材料应选取光学性能好、稳定性高的材料，比如铝合金或玻璃，以确保在长时间内不受温度等环境因素的影响而变形。标定源则要选择具有高亮度、色温稳定性好的光源，以保证在数据采集过程中的亮度连续性和颜色一致性。CCD相机作为数据采集的核心设备，要求

其具有高分辨率、动态范围宽、信噪比高、响应线性好等特点，从而能够捕获到足够丰富的信息。与此同时，还要配套使用专门的图像处理和分析软件，以便于进行数据的后处理和校正，提高数据的精度和可用性<sup>[8]</sup>。

在进行地形测绘实验时，可以选择一片具有多种地形特征的测试区域，比如山地、平原和河流交织的地区。然后通过无人机激光雷达系统对这片区域进行连续扫描，获取其地形数据。这些数据经过处理后，可以生成该地区的三维地形模型，为进一步的地质研究和土地规划提供基础数据支撑。同时，也可以通过对这些数据进一步分析，比如地形变化监测、地形特征提取等，从而提取出更多关于这个地区的有用信息。

在进行数据联动更新技术测试时，可以选择一个正在进行施工的工地或者正在发生地质变化的区域作为测试区域。然后通过定期使用无人机激光雷达系统对这个区域进行扫描，获取其地形数据，并将新获取的数据与旧的数据进行对比，以观察和跟踪该地区的地形变化情况。通过这样的方式，可以验证这项技术在实时监控和更新地形数据方面的性能。同时，这种方法也可以为施工方或者有关部门提供实时的地形信息，为其进行工作决策提供依据<sup>[9]</sup>。

#### (四) 数据分离与融合处理

在当前的测绘技术中，验证研究的任务是要同时满足传统航空摄影测量和 LiDAR 两种数据获取系统的需求。这种多模式数据的集成，对于提高地图精度和完整性具有重要意义。然而，要想实现这一目标就要考虑到：如何确保航向与旁向的重叠度足够高，以保证数据的准确性。并且，在实际作业中，由于像控点的布设需要大量的外业工作量，这些工作往往会在点云微分纠正过程中，对影像数据进行不必要的冗余。针对上述问题，就可采用飞马无人机管家智点云和智能激光模块来进行点云数据处理。具体操作流程如下：第一步，通过 POS 姿态数据与地面 GNSS 基站数据的联合处理，生成导航数据文件 sbet\*.out 和 vnav\*.out，并生成航迹文 \*.trj。第二步，检查航带是否存在漏飞现象，并通过覆盖数据范围来制作控制文件，以生成航次控制文件 control.ini。如果单条航带数据量过大，则需分段进行 control.ini 的制作。第三步，对原始激光数据进行预处理，形成原始三维激光点云数据。

然后依据实测的平面和高程控制点，计算测区布尔莎 (Bursa-Wolf) 转换七参数，并对原始点云数据进行平面和高程校正，最终计算出地表目标物的空间三维坐标。第四步，平差后的点云成果与影像数据进行微分纠正得到 TDOM。第五步，基于人机交互模式，对校正后的三维激光点云进行分类，可分为地面点与非地面点两类，并分别存储在不同的文件中。第六步，基于分类后的地面点提取末次回波的点云数据，经过人工填补小缝隙、去除粗差点、格网分幅、过滤、约束和内插等操作，最后制作出 DEM。第七步，利用地面点云、DEM、TDOM 成果，在 CASS 环境下进行人机交互，制作地形测绘产品<sup>[10]</sup>。

选取某工业区内的一个特定区域作为研究对象，为了更准确的评估上述技术的有效性和准确性，采用该技术绘制了这一区域的地形测绘图，其对比应用效果如图 1 所示。

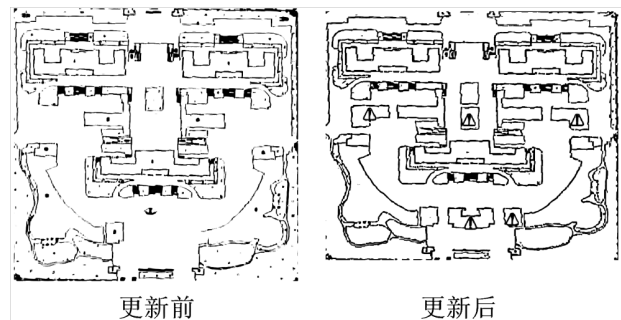


图 1: 数据分离与融合处理效果

## 结束语

综上所述，激光雷达技术由于其高精度、高分辨率和高可靠性，无论是在复杂环境下的测绘，还是对地形数据的实时更新，激光雷达都能够提供准确、快速、有效的解决方案。同时，通过无人机机载激光雷达系统的使用，使得工作人员可以在任何时间、任何地点进行数据采集，从而进一步提高了地形测绘的效率和灵活性。因此，在未来要不断加强技术研发和创新，以在未来地形测绘领域看到更多基于激光雷达的应用，从而推动我国地形测绘技术的进步和发展。

## 参考文献

- [1] 马晓泉. 地面三维激光扫描技术及其在国内的应用现状 [J]. 科技信息, 2012,(29).
- [2] 胡晓斌. 激光雷达测绘技术在矿山地形测量中的运用方法 [J]. 世界有色金属, 2024,(03):172-174.
- [3] 胡开桂. 机载激光雷达在房地一体地形测绘中的应用 [J]. 科学技术创新, 2024,(03):14-17.
- [4] 肖维, 刘毅, 钟平. 无人机 LiDAR 在抽水蓄能项目地形测绘中的应用 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024,(02):184-186.
- [5] 谢学政. 激光雷达测绘技术在矿山地形测量中的精度探讨 [J]. 世界有色金属, 2023,(23):115-117.
- [6] 刘建祥, 李亚丽, 唐轲. 基于 UAV 与 TLS 的激光雷达扫描技术在地形测绘中的应用评估 [J]. 科技与创新, 2023,(21):176-178.
- [7] 李林辉, 马云龙, 罗万达. 机载激光雷达在山地光伏发电项目密林地地形测绘中的应用 [J]. 红水河, 2023,42(03):75-78+94.
- [8] 闫焯琛, 席雪萍, 于向吉, 袁婷婷, 高学飞, 齐超. 机载激光雷达在困难地区大比例尺地形测绘中的应用研究 [J]. 科技创新与应用, 2023,13(06):108-111.
- [9] 杜洪涛. 基于激光雷达的大比例尺地形测绘与数据联动更新技术 [J]. 科技通报, 2023,39(01):44-48.
- [10] 郭双建. 机载激光雷达测量技术在大比例尺地形测绘中的运用及优势 [J]. 世界有色金属, 2020,(08):214-215.