

# 大规模地形测绘中无人机航拍与激光雷达数据的无缝集成

周 扬

中国能源建设集团黑龙江省电力设计院有限公司 黑龙江 哈尔滨 150078

**摘 要:** 大规模地形测绘在国土资源管理、城市规划、灾害评估等领域具有重要意义。无人机航拍与激光雷达技术的结合, 为大范围、高精度地形测绘提供了新的解决方案。本研究旨在探讨无人机航拍与激光雷达数据的无缝集成方法, 以提高测绘效率和精度, 为相关领域提供可靠的数据支持。

**关键词:** 无人机航拍; 激光雷达; 数据集成; 优势与挑战

## 引言

地形测绘是获取地表形态和空间位置信息的重要手段。传统测绘方法存在效率低、成本高、受地形限制等问题。随着无人机技术和激光雷达技术的发展, 无人机航拍与激光雷达数据的无缝集成成为大规模地形测绘的新趋势。本研究旨在探讨无人机航拍与激光雷达数据的无缝集成技术, 为相关领域提供理论和技术支持。

## 1 无人机航拍与激光雷达技术概述

### 1.1 无人机航拍技术

无人机航拍技术是一种先进的遥感技术, 它利用无人机作为搭载平台, 携带高分辨率相机或其他成像设备, 从空中对地表进行拍摄, 以获取高分辨率的地表影像数据。无人机航拍技术具有显著的灵活性, 可以根据测绘需求调整飞行高度、速度、角度等参数, 实现对目标区域的全方位、多角度拍摄。此外, 无人机航拍还具有高效率、低成本的优势, 能够在短时间内完成大范围地形测绘任务, 大大降低了传统测绘方法的人力和时间成本<sup>[1]</sup>。无人机航拍技术的高分辨率相机能够捕捉到地表细节, 如植被覆盖、建筑物轮廓、道路网络等, 为地形测绘提供了丰富的视觉信息。同时, 无人机航拍还可以结合GPS定位系统和惯性导航系统, 实现影像数据的精确地理定位, 为后续的数据处理和分析提供准确的空间参考。

### 1.2 激光雷达技术

激光雷达 (LiDAR, Light Detection and Ranging) 是一种主动式遥感技术, 它通过发射激光束并探测激光束与目标物体反射回来的信号, 来获取目标物体的位置、速度、形状等特征信息。激光雷达技术具有高精度、高分辨率、高自动化的特点, 特别适用于复杂地形测绘, 如山区、森林、城市等区域。激光雷达系统通常由激光发射器、接收器、扫描机构和数据处理单元等组成。激光发射器发射出激光束, 经过扫描机构的控制, 激光束

以一定的方式扫描目标区域。当激光束遇到目标物体时, 会发生反射, 反射回来的信号被接收器接收并转化为电信号。数据处理单元对接收到的电信号进行处理和分析, 提取出目标物体的特征信息, 如距离、高度、形状等。激光雷达技术的高精度和高分辨率使得它能够捕捉到地表微小的起伏和变化, 如地形的高程、坡度、植被覆盖度等。这些信息对于地形测绘、地质灾害评估、城市规划等领域具有重要的应用价值。同时, 激光雷达技术还具有高自动化的特点, 能够在较大范围内快速获取数据, 提高测绘效率和精度。

## 2 无人机航拍与激光雷达数据的无缝集成方法

### 2.1 数据预处理

无人机航拍与激光雷达数据的无缝集成需要进行数据预处理。包括影像校正、点云滤波、坐标转换等步骤, 以提高数据的精度和一致性。

#### 2.1.1 影像校正

影像校正是无人机航拍数据处理中不可或缺的一环, 它直接关系到后续数据融合的准确性和可靠性。影像校正主要包括几何校正和辐射校正两个方面。几何校正旨在消除影像因相机镜头畸变、无人机飞行姿态变化等因素导致的几何失真。通过利用已知的控制点或地面标志, 结合数学模型对影像进行变换, 可以恢复影像的真实几何形态。几何校正的精度直接影响到后续影像与点云数据的配准效果。辐射校正则用于消除影像因光照条件、相机传感器特性等因素导致的辐射畸变。通过调整影像的亮度、对比度、色彩等参数, 可以使得影像的辐射特性更加接近真实情况, 提高影像的清晰度和可解译性。

#### 2.1.2 点云滤波

点云滤波是激光雷达数据处理中的关键步骤, 它对于提高点云数据的精度和可靠性至关重要。激光雷达在

采集数据时,往往会受到多种因素的影响,如大气干扰、地表反射特性变化等,导致点云数据中出现噪声和异常值。点云滤波的目标就是去除这些噪声和异常值,保留真实的地表信息<sup>[2]</sup>。常用的点云滤波方法包括统计滤波、形态学滤波、基于表面的滤波等。通过这些方法,可以有效地去除点云数据中的孤立点、错误点等,提高点云数据的整体质量和可靠性。

### 2.1.3 坐标转换

由于无人机航拍和激光雷达在数据采集时可能采用不同的坐标系统,因此在进行数据融合之前,需要进行坐标转换,将两者统一到同一坐标系下。坐标转换通常包括坐标系的平移、旋转和缩放等操作。在进行坐标转换时,需要确保转换的精度和准确性。一般来说,可以利用已知的控制点或地面标志进行坐标转换的校准和验证。通过精确的坐标转换,可以使得无人机航拍影像和激光雷达点云数据在空间上实现精确对齐,为后续的数据融合和分析奠定坚实的基础。

## 2.2 数据融合

数据融合是无人机航拍与激光雷达数据无缝集成的核心环节。包括影像与点云的配准、融合等步骤,以实现两者在空间上的对齐和信息上的互补。

### 2.2.1 影像与点云的配准

影像与点云的配准是将无人机航拍影像与激光雷达点云在空间上进行精确对齐的过程,这是数据融合的基础。常用的配准方法主要包括特征点匹配和ICP(Iterative Closest Point, 迭代最近点)算法等。特征点匹配方法通过提取影像和点云中的特征点,如角点、边缘点等,并利用这些特征点的位置信息进行匹配,从而实现影像与点云的对齐。这种方法适用于具有明显特征的地形区域,如建筑物角点、道路交叉口等。通过特征点匹配,可以初步确定影像与点云之间的空间关系。ICP算法则是一种基于点云之间距离最小化的迭代优化方法。它通过不断调整影像与点云之间的相对位置,使得两者之间的距离达到最小,从而实现精确对齐。ICP算法适用于点云数据较为密集且地形特征不明显的区域,如平坦的地面、植被覆盖区等。通过ICP算法,可以进一步提高影像与点云之间的配准精度。

### 2.2.2 融合策略

融合策略是确定影像与点云数据如何结合的方法,它直接影响到最终融合结果的质量和效果。根据实际需求,可以采用不同的融合策略,如加权平均、多尺度融合等。加权平均融合策略是一种简单而有效的融合方法。它根据影像和点云数据的权重,对两者进行加权平

均,从而得到融合后的数据。这种方法适用于影像和点云数据在空间上分布较为均匀且权重相差不大的情况。通过加权平均融合,可以平滑地结合影像和点云的信息,提高数据的整体质量。多尺度融合策略则是一种更为复杂的融合方法。它考虑到影像和点云数据在不同尺度上的特征差异,通过构建多尺度金字塔或进行小波变换等方式,将两者在不同尺度上进行融合。这种方法适用于地形特征复杂、尺度差异大的区域<sup>[3]</sup>。通过多尺度融合,可以更好地捕捉地形细节和特征,提高数据的解译性和应用价值。在实际应用中,可以根据具体需求和地形特征选择合适的配准方法和融合策略。同时,还可以结合其他处理技术,如影像增强、点云去噪等,进一步提高融合数据的质量和效果。

## 2.3 数据后处理

数据后处理是对融合后的数据进行进一步处理和分析的过程。包括生成数字高程模型(DEM)、三维建模、数据分析等步骤,以提取有用的地形信息。

### 2.3.1 DEM生成

数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)是地形测绘的重要成果之一,它表示了地表的三维形态和高程信息。通过无人机航拍与激光雷达数据的融合,可以生成高精度的DEM。在生成DEM的过程中,首先需要融合后的数据进行格网化处理,将不规则的点云数据转换为规则的格网数据。然后,利用插值算法对格网数据进行高程插值,得到每个格网点的高程值。最后,将格网数据以图像或矢量的形式输出,即可得到DEM成果。高精度的DEM可以用于地形分析、城市规划、水利工程等领域。

### 2.3.2 三维建模

三维建模是将无人机航拍影像与激光雷达点云数据结合,生成三维地形模型的过程。三维模型可以直观地展示地形的三维形态和特征,为地形可视化、灾害评估、虚拟现实等领域提供重要的数据支持。在三维建模过程中,首先需要对融合后的数据进行预处理,包括去噪、滤波、配准等步骤。然后,利用三维建模软件或算法,将影像和点云数据结合,生成三维地形模型。在生成模型时,可以考虑地形的真实感和细节表现,如纹理贴图、光照效果等。最后,将生成的三维模型以适当的格式输出,即可用于后续的应用和分析。

### 2.3.3 数据分析

数据分析是对融合后的数据进行深入挖掘和分析的过程。通过数据分析,可以提取地形特征、计算地形参数、进行地形分类等,为相关领域提供数据支持。在数

据分析过程中,可以利用地理信息系统(GIS)软件或数据分析工具,对融合后的数据进行空间分析、统计分析等操作。例如,可以提取地形的坡度、坡向、高程分布等特征信息,用于地形分析和评价;可以计算地形的体积、面积等参数,用于工程设计和规划;还可以进行地形分类和识别,用于土地利用和覆盖变化监测等领域。通过深入的数据分析,可以充分挖掘融合数据的潜力,为相关领域提供更加准确、可靠的数据支持。

### 3 无人机航拍与激光雷达数据无缝集成的优势与挑战

#### 3.1 优势

无人机航拍与激光雷达数据的无缝集成在地形测绘和遥感应用中展现出显著的优势,具体体现在以下几个方面:(1)高精度与三维信息:激光雷达技术通过发射激光脉冲并接收反射信号,能够精确测量目标点的距离和方位,从而实现毫米级甚至更高精度的地形测绘。这种高精度对于需要精确了解地形起伏、地貌特征的项目至关重要。同时,激光雷达数据以点云的形式呈现,直接提供了三维坐标信息,为三维建模和地形分析提供了基础数据。(2)大范围与高效率:无人机航拍技术凭借其灵活性和高效性,能够迅速覆盖大面积区域,实现高效率的大范围地形测绘。无人机可以在短时间内飞越广阔的地域,采集大量高分辨率的影像数据。与激光雷达技术结合,可以在短时间内获取大面积区域的高精度三维地形信息,大大缩短了测绘周期<sup>[4]</sup>。(3)互补性与信息丰富性:无人机航拍影像提供了丰富的地表纹理和色彩信息,能够直观地展示地表的形态和特征。而激光雷达点云数据则提供了精确的三维坐标和地形结构信息,能够准确地反映地形的起伏和变化。两者的结合可以实现信息的互补,提供更加全面、准确的地形信息。这种信息丰富性对于地形分析、城市规划、灾害评估等领域具有重要意义。

#### 3.2 挑战

尽管无人机航拍与激光雷达数据的无缝集成具有诸多优势,但在实际应用中 also 面临一些挑战:(1)数据同步与校准:由于无人机航拍和激光雷达数据的采集时间、采集方式可能存在差异,因此需要进行精确的数据同步和校准处理。数据同步的准确性直接影响到后续数

据融合的精度和可靠性。为了实现数据同步,需要采用高精度的时间同步设备和方法,确保影像数据和点云数据在时间和空间上的一致性。同时,还需要进行影像校正和点云滤波等预处理工作,以提高数据的精度和一致性。(2)数据融合算法的选择与优化:数据融合算法是实现无人机航拍与激光雷达数据无缝集成的关键。不同的算法对于不同地形和数据类型的适应性有所差异。因此,需要根据实际情况选择合适的算法,并进行优化和调整。例如,对于平坦地区,可以采用简单的加权平均融合策略;而对于复杂地形,则需要采用更复杂的算法,如多尺度融合、特征级融合等。同时,还需要考虑算法的运行效率和稳定性,以确保数据融合的实时性和可靠性。(3)数据处理量与存储需求:大规模地形测绘产生的数据量巨大,包括高分辨率的影像数据和密集的点云数据。这些数据需要高效的数据处理算法和强大的硬件支持,以确保数据的及时处理和存储。为了应对这一挑战,需要采用高性能的计算设备和并行处理技术,提高数据处理效率。同时,还需要采用数据压缩、数据分割等技术,降低数据存储和传输的成本。

#### 结语

无人机航拍与激光雷达数据的无缝集成成为大规模地形测绘提供了新的解决方案,具有广阔的应用前景。未来,随着技术的不断发展和完善,无人机航拍与激光雷达数据的无缝集成将在更多领域得到广泛应用和推广。同时,也需要进一步研究和优化数据融合算法、提高数据处理效率、解决数据同步等问题,以实现更高效、更精准的地形测绘。

#### 参考文献

- [1]苏秀永,柴路嘉,谭龙,等.基于数据融合技术的无人机航测成图模式探索[J].工程勘察,2024,52(08):66-70.
- [2]刘龙龙,刘鸿剑,王彬,等.融合无人机机载激光雷达的变形监测技术研究[J].智能建筑与智慧城市,2024,(09):39-41.
- [3]黄姿伶.新疆科考空天地监测数据一体化集成方法研究[D].河北工程大学,2022.
- [4]向润梓.无人机激光雷达数据预处理技术研究[D].哈尔滨工业大学,2020.