

浅谈测绘工程中的无人机航拍与地面激光扫描数据融合方法

文 / 刘尚才 山东国建土地房地产评估测绘有限公司

黄俊文 山东国建土地房地产评估测绘有限公司

冠英杰 山东国建土地房地产评估测绘有限公司

摘要: 随着科技的迅速发展,无人机航拍与地面激光扫描技术在测绘工程中得到了广泛应用。这两种技术各自拥有显著的优势,但单独使用时也面临一定的局限性。于是,数据融合技术应运而生,它通过将两者的优势相结合,不仅弥补了各自的不足,还能显著提高数据的精度、完整性及适用性。因此,本文探讨了无人机航拍与地面激光扫描数据融合的方法,分析了其在测绘工程中的必要性与实际应用。并且,对双轨桥梁测绘案例进行研究,以展示出两者数据融合的实践效果。

关键词: 无人机航拍技术; 地面激光扫描; 数据融合; 测绘工程

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.11.117

引言

无人机航拍技术综合运用各种技术手段,完成工程资料的测量,采集,分析等,并在相应的测绘软件中以图示的方式展示出来,对工程勘测和制图分析具有良好的支撑作用。在工程测绘中,无人机航拍技术的应用,它不但具有卓越的灵活性,而且可以用完全的图像和信息进行测量,该方法不仅能为工程制图提供更为准确有效的数据支撑,还具有广阔的应用前景。地面激光扫描设备凭借其良好的场地适应性、数据获取的稳定性优势,且随着设备的小型化、获取数据的高速化、数据配准的自动化等技术进步,越来越适应了更广阔的工程应用方向,也更频繁地应用于对精度要求比较高的大面积场景测绘工程项目和室内外一体化三维扫描项目。但在实际应用中,针对这种大面积场景测绘工程项目,通常需要布设上百甚至近千站的扫描测站,很难对这些上百甚至近千站的扫描测站数据进行准确的配准,最终获取无缝化的大范围整体点云成果。鉴于此,本文将探究测绘工程中的无人机航拍与地面激光扫描数据融合方法,希望能给有关人员带来帮助和参考。

一、无人机航拍技术与地面激光扫描技术概述

(一) 无人机航拍的基本原理

无人机航拍技术依托于小型无人驾驶飞行器搭载的影像传感器,通过对地面目标进行影像获取和数据采集,完成空间信息的测量与分析。无人机系统一般由飞行平台、传感器(如RGB相机、激光雷达、多光谱传感器等)和导航控制系统组成。

无人机航拍技术因其灵活性、高效性及较低的成本,广泛应用于多个领域。在测绘领域,无人机航拍可用于获取地面高程模型、正射影像图等基础地理信息数据,应用于城市规划、土地管理及环境监测等工作^[1]。在农业监测中,利用多光谱或高分辨率相机的航拍影像,可

用于作物生长监测、病虫害预警等,极大提高了农业生产管理的精准度。在自然灾害应急响应中,无人机航拍提供了快速、实时的灾区影像,支持灾害评估与恢复工作。此外,随着无人机技术的不断发展,其在文化遗产保护、基础设施检测等领域的应用也日益成熟。

(二) 地面激光扫描技术

1. 地面激光扫描的基本原理

地面激光扫描技术通过发射激光脉冲并测量其返回时间,从而实现地面物体的三维空间坐标获取。激光扫描仪使用激光束对目标物体进行扫描,激光束的反射回波被传感器接收,经过精确的时间计算后得出物体表面与激光源之间的距离。这一过程通过多个激光脉冲的连续扫描,生成大量高密度的三维点云数据。

2. 地面激光扫描的应用场景

地面激光扫描技术广泛应用于建筑、土木工程和环境监测等多个领域。在建筑工程中,激光扫描能快速、精确地获取建筑物及其周围环境的三维点云数据,支持建筑设计、结构分析及老旧建筑物的修复与维护。在道路与桥梁工程中,激光扫描技术通过获取高精度的道路与桥梁数据,辅助设计与维护,特别是在隧道测量和复杂地形的道路勘测中展现出其优势。再者,地面激光扫描在城市建模、文物保护、矿山测量等领域也有广泛应用,其高密度点云数据可精细描述地物的形态与空间关系,满足多样化的测量需求。

二、测绘工程中的无人机航拍与地面激光扫描数据融合的必要性

(一) 数据精度与完整性的提升

无人机航拍虽能提供高分辨率的影像数据,但由于飞行高度限制、影像重叠度不够以及在复杂环境中存在一定的遮挡,单一的影像数据可能存在精度不足、细节丢失等问题。尤其是在复杂地形、建筑物密集区域等环

境中，影像数据可能无法全面覆盖地物特征^[2]。地面激光扫描则可利用激光束对地面进行全方位的扫描，获取具有极高精度和密度的三维点云数据，但其设备和操作的高成本以及对于大范围区域的扫描能力的局限，限制了其单独使用的应用范围。通过将无人机航拍的高分辨率影像数据与地面激光扫描的高精度三维点云数据融合，便可弥补单一数据源的不足，从而确保在全域范围内获得完整、精确的空间信息。这种融合方式使得测绘数据的精确度能够得到有效提升，特别是在需要高精度三维重建和建模的应用场景中，如城市规划和大型基础设施建设。

(二) 增强数据的多维度与适用性

从数据多维度角度来看，数据融合能够拓宽测绘应用的适用性。无人机航拍主要提供的是二维影像数据，这对于广泛区域的地物分类、监测与快速分析非常有效，但其对高度变化的敏感度和深度信息的获取能力较为有限。与之相比，地面激光扫描技术可精准获取地物的三维空间数据，提供丰富的立体结构信息。将两者数据融合后，便可将航拍影像的二维视觉效果与激光扫描提供的三维点云信息相结合，形成更为立体、综合的数据视图。这对于复杂场景下的建模、测量以及三维分析具有重要意义。例如，在进行城市立体建模时，航拍影像能够清晰呈现建筑物外观，而激光扫描则能精确地提供建筑物的三维结构细节。两者融合，能够在提高模型的准确度

的同时，扩展数据在各类应用中的可操作性，如灾后重建、环境监测等领域的多元应用。

(三) 提升工作效率与成本效益

从工作效率和成本效益的角度分析，数据融合可大幅提高测绘工作的效率并降低整体成本。单独使用无人机航拍时，由于影像数据的拼接、处理和配准过程较为烦琐，通常需要较长的时间进行后期修正和优化。并且，航拍对高精度要求的场景（如建筑细节分析）存在一定限制，可能导致多次航拍与数据修正，增加了时间和经济成本。而地面激光扫描在大范围区域的扫描需要大量时间和成本。将两者结合后，无人机航拍可以快速覆盖大范围区域并提供基础的二维信息，而激光扫描则能在关键区域提供高精度的三维数据^[3]。因而得到的融合数据，可实现航拍和激光扫描在各自优势领域的互补，优化数据采集流程，减少重复测量，节省时间和资金投入。同时，融合后的数据能够在更短时间内提供更高质量的测绘成果，从而提升工作效率和整体成本效益。

三、测绘工程中的无人机航拍与地面激光扫描数据的融合

(一) 融合的基本原则

在进行无人机航拍与地面激光扫描数据融合时，遵循一定的基本原则是确保融合效果和数据质量的前提。下表概述了数据融合过程中的核心原则：

表 1 融合原则

融合原则	描述
数据一致性	确保航拍影像与激光扫描点云数据在空间坐标系和时间维度上的一致性。融合前，需进行坐标系转换和时间同步。
数据精度优先	在融合过程中，要优先保留高精度数据。地面激光扫描因其较高的测量精度应作为参考数据，而无人机航拍影像则可辅助提供空间信息。
数据冗余利用	数据融合过程中应充分利用无人机航拍的广域覆盖性与激光扫描的精确性，通过冗余数据提升整体精度，避免信息丢失。
空间分辨率匹配	在融合前，需对不同分辨率的数据进行适当调整，以避免低分辨率数据的影响。
后处理质量控制	融合后的数据需进行质量检查与校验，确保最终的输出满足工程应用的要求。包括数据完整性、几何一致性与功能适用性等方面的检查。

(二) 融合的基本方法

在进行无人机航拍与地面激光扫描数据融合时，常见的基本方法包括以下几种：

1. 几何配准与坐标系统统一方法

几何配准是实现无人机航拍与激光扫描数据融合的基础，主要通过将两者映射到统一的坐标系统中，确保不同来源的数据能够在空间上准确对接^[4]。在该方法中，需要在地面选择若干控制点，这些控制点在两种数据源中都需要被明确标定，通常使用高精度的 GPS 设备进行测量，以确保配准的精度。接下来，激光扫描数据和航拍影像通过测量点位和控制点在三维空间中的关系，利用变换算法（如仿射变换或透视变换）进行几何配准。

配准过程的关键步骤是调整激光扫描的点云数据与航拍影像的匹配关系，以便两者在同一坐标系下的空间位置和形态一致。这通常借助对航拍影像进行地理编码，并对点云数据进行坐标转换来实现。在此过程中，需应用基于最小二乘法等优化算法进行误差最小化，进一步提高数据融合的空间精度和可靠性。

2. 点云与影像相结合的加权融合方法

点云数据和影像数据各具特点：点云数据能提供高精度的三维空间信息，而航拍影像则包含丰富的表面纹理与颜色信息。在此背景下，加权融合方法通过结合两者的优势，达到更高的精度和可视化效果。因此，必须对激光扫描得到的点云数据进行预处理，通常包括滤波、

去噪、密度调整等步骤,以消除环境干扰对数据精度的影响。航拍影像则需要进行几何校正,去除航拍过程中的畸变,确保图像几何的一致性。在加权融合过程中,根据数据源的特性,为不同数据源赋予不同的权重。激光扫描数据因其具有较高的空间精度,因此在空间位置上通常被赋予较高的权重,而航拍影像则在表面纹理和颜色表现方面具有优势,因此在最终的可视化效果上给予较高的权重。最终,通过加权算法将两者合成,形成既具有高度精确的三维空间数据,又具有丰富细节的地物表面模型。加权因子根据实际项目需求和数据质量进行动态调整,以确保融合结果在各个应用场景中的优化表现^[5]。

3. 基于特征匹配的融合方法

特征匹配方法主要依赖于两种数据源中可识别的共性特征,如角点、边缘、纹理等,通过提取并匹配这些特征点来实现数据融合。可先提取无人机航拍图像和激光扫描点云中的显著特征(如建筑角点、地物边缘等),利用特征描述符(如SIFT、SURF、ORB等)对这些特征进行表示与匹配。特征匹配过程中,要求在两种数据源中找到对应的特征点,这些匹配点可以作为两者融合的基础。在特征匹配方法中,建议使用基于几何约束的算法(如RANSAC算法)来剔除错误匹配,保证最终配准的精度。完成特征点匹配后,应用优化算法调整数据的空间关系,使得点云数据与影像数据在地理位置上对齐。该方法在复杂场景或具有较大视角差异的情况下尤其有效,能够准确识别和利用两者数据中共同的地物特征,从而提高融合结果的精度和稳定性。

4. 基于深度学习的融合方法

近年来,深度学习技术在数据融合领域的应用逐渐受到关注。基于深度学习的方法主要通过训练神经网络模型,自动识别和匹配无人机航拍影像与激光扫描点云数据中的复杂特征。在该方法中,需要使用大量的标注数据来训练神经网络模型,使其能学习如何从不同数据源中提取有效的空间信息和表面细节。借助卷积神经网络(CNN)等深度学习模型,自动识别影像和点云中的共性特征,进而实现两者的数据融合^[6]。与传统的手工特征提取方法不同,深度学习可自动化地识别出复杂的空间关系,并且能够处理具有大规模数据和高维度特征的任务。在实际应用中,深度学习模型常常与其他技术(如图像分割、点云密度分析)结合,进一步提高数据融合的准确性与效率。该方法特别适用于大范围、复杂场景的测绘任务,如城市建模、环境监测等,可以有效减少人工干预,提升数据处理的自动化程度和结果精度。

(三) 实践案例分析

以下通过分析一个特定的案例——双轨桥梁测绘,展示无人机与地面激光扫描数据融合的实践效果。在该案例中,使用DJI Phantom 4 RTK无人机进行全面图像捕获,并结合地面激光扫描技术,生成了高精度

的三维点云模型,为结构监测和评估提供了可靠的数据支持。

在数据采集阶段,无人机通过RTK定位系统,捕捉了564幅环绕桥拱的图像、508幅正射校正图像以及491幅近距离侧视图图像。无人机的高精度定位保证了图像的地理准确性,为后续的三维建模提供了基础。同时,结合地面激光扫描技术,六个扫描站点在桥梁的上方和下方收集点云数据。所有的激光点云数据在Trimble Business Center 5.5.2软件中完成了基于共同特征点的注册和配准,以确保空间一致性。

在数据融合阶段,采用了空中三角测量和多视图图像密集匹配技术,通过Context Capture 2023软件将所有无人机图像、POS数据与地面控制点信息结合,生成了桥梁的密集点云。同时,激光扫描数据也经过统计过滤去除噪声,确保点云的高质量。使用迭代最近点(ICP)算法,成功将无人机生成的图像点云与激光扫描点云进行了精确对接,最终生成了带有纹理映射的TIN模型。

该集成模型的几何精度在X、Y和Z方向分别为1.2cm、0.8cm和0.9cm,总体精度为1.7cm。模型的精确性使得桥梁结构的细节得到准确重建,为后续的结构检查提供了支持。应用该模型发现桥墩存在蜂窝状表面与渗水现象,拱肋上有锈迹和裂缝,为桥梁的维护和修复提供了重要依据。

结语

无人机航拍提供了广域覆盖和高分辨率的影像数据,而地面激光扫描则能获取精确的三维点云数据。两者结合后,不仅能提高测绘数据的空间精度,还能在复杂地形或建筑密集区域提供全面的空间信息。未来,随着无人机与激光扫描技术的不断进步,数据融合方法将更加智能化与高效。未来的研究可以聚焦于更精确的配准算法、自动化的数据处理流程以及深度学习技术的应用,以进一步提升数据融合的精度和效率,推动测绘工程向更加高效和智能化的方向发展。

参考文献

- [1] 苏刚. 无人机航拍技术在测绘工程测量中的应用[J]. 居舍, 2023, (35): 49-51+95.
- [2] 陶茜. 测绘新技术在测绘工程测量中的应用分析[J]. 工程与建设, 2024, 38(01): 57-59.
- [3] 李晓亮, 李海鹏, 张筠卓. 地面三维激光扫描数据多站配准方法[J]. 北京测绘, 2023, 37(05): 676-682.
- [4] 贾峻峰. 地面激光扫描与无人机摄影测量结合的地形测量探讨[J]. 资源导刊, 2024, (18): 47-50.
- [5] 胡国军. 地面三维激光扫描技术在历史建筑测绘工作中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2022, 45(12): 188-190.
- [6] 梁芳. 空地协同测绘技术在历史建筑数字测绘建档中的应用[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(27): 165-168.