

三维激光扫描与无人机影像融合的高精度地形重建研究

郭晓锋

辽宁省自然资源卫星应用技术中心, 辽宁 沈阳 110000

[摘要]文中着眼于高精度地形重建这一需求,全面且细致地探讨了三维激光扫描以及无人机影像融合所涉及的技术路径,同时也对其潜在的应用价值展开分析。在对这两种不同数据源的原理以及各自的采集方法加以剖析之后,便给出了一套较为完整的关于数据预处理以及融合的操作流程。并且着重针对点云配准以及多源数据融合算法展开研究,从而达成地形模型能够高效生成以及精度得以优化这样的目的。

[关键词]三维激光扫描;无人机影像;数据融合;地形重建

DOI: 10.33142/ect.v3i9.17856

中图分类号: P231

文献标识码: A

Research on High-precision Terrain Reconstruction Using 3D Laser Scanning and Drone Image Fusion

GUO Xiaofeng

Satellite Application Technology Center of Liaoning Natural Resources, Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: This article focuses on the demand for high-precision terrain reconstruction, comprehensively and meticulously explores the technical paths involved in 3D laser scanning and drone image fusion, and also analyzes their potential application value. After analyzing the principles and collection methods of these two different data sources, a relatively complete set of operational procedures for data preprocessing and fusion is provided, and focus on researching point cloud registration and multi-source data fusion algorithms, in order to achieve the goal of efficiently generating terrain models and optimizing accuracy.

Keywords: 3D laser scanning; drone imagery; data fusion; terrain reconstruction

地面三维激光扫描技术凭借高密度、高精度的采集优势,可应用在文化遗产、古迹遗址、雕塑等各领域。在无人机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)云台上搭载多视角传感器的倾斜摄影技术进行测量,具有节省时间、节约成本、提高工作效率等一系列优势,并且可达到测绘级精度。然而,TLS技术会受到测站架设局限性的影响而存在点云空洞,特别是高大建筑物的顶部。利用UAV技术采集数据时易受屋檐等障碍物遮挡的影响,造成底部或立面数据丢失。将三维激光点云与二维影像进行融合,能方便快捷地修补点云空洞,得到一个完整的真彩色三维激光点云精细模型,从而广泛应用在数字城市、城市三维重建等领域。二者结合能够互补不足,从而推动高精度地形重建的进步,当前国内外面临着数据融合中的配准误差和算法复杂性等挑战。

1 技术原理分析

1.1 三维激光扫描技术原理

三维激光扫描技术依照激光测距原理来运作,它是通过发射出激光束,然后再去接收反射回来的信号,凭借这种方式便可获取到目标物体的三维坐标相关信息,进而能够生成极为密集的点云数据。这项技术会运用时间飞行或者相位比较之类的办法来对距离加以计算,并且要结合扫描仪的内部姿态参数来达成空间定位的目的。它的高精度

这一特性是源自于激光所具备的定向性以及抗干扰的能力,正因如此,在复杂的地形环境当中,它才能够有效地将那些细微的特征给捕捉到。而在扫描的过程里,所涉及到的数据采集频率以及角度分辨率等诸多因素,会对点云的密度与质量产生直接的影响,最终也就决定了地形重建所能达到的准确性程度。三维激光扫描系统的构成一般包含激光发射器、接收器、控制单元还有数据处理软件等部分,这些各个部分相互协同配合,以此来完成从数据获取一直到初步处理的整个操作流程,从而为后续的融合应用打下相应的基础。

1.2 无人机影像技术原理

无人机影像技术借助固定于无人机平台之上的数码相机,经由航拍手段来获取地表具有高分辨率的二维图像,而后依照摄影测量方面的原理把它转变为三维信息。此项技术是以多视角几何以及影像匹配算法作为基础的,其会从不同角度所拍摄且存在重叠情况的图像当中提取出特征点,以此来生成数字表面模型或者点云数据。无人机具备的灵活性以及较低的成本让它可以迅速地对大面积区域加以覆盖,特别适合用于复杂或者存在危险的地形开展数据采集工作^[1]。影像数据的质量会受到飞行高度、相机参数还有环境光照等诸多因素的作用,所以在实际的应用过程中需要对飞行计划予以优化,从而确保影像能够保持

清晰度以及一致性。无人机影像技术不但弥补了激光扫描在空间覆盖方面存在的不足之处,而且还凭借自身所具有的高分辨率这一特性,进一步强化了再现地形细节的能力。

2 数据获取与预处理

2.1 三维激光扫描数据采集

三维激光扫描数据的采集流程涵盖现场布置扫描站点以及设定仪器相关参数这两方面,其目的在于保证能够获得完整且具备较高精度的点云数据。在实际的操作环节中,扫描仪得依据地形呈现出的起伏状况以及障碍物具体的分布情况来展开多站式的布置工作,并且要借助标靶或者特征点来达成站点之间的初步配准操作。在采集数据的时候,需要对环境因素比如风速还有光照情况进行把控,如此一来便可以降低数据出现噪声以及产生缺失的情况。扫描分辨率和速度之间的平衡把握是非常关键的考量因素,倘若分辨率设置得过高,那么很可能会致使数据量出现大幅度的增长,进而对后续的数据处理效率造成不利影响;反之,要是分辨率设置得太低,则有可能会丢失掉一些重要的地形特征。采集完成之后所得到的原始点云数据往往会包含着数量颇多的冗余信息以及噪声,所以说必须要经过初步的滤波处理以及去噪操作,从而为后续的融合工作准备好质量较高的输入数据。

2.2 无人机影像数据采集

无人机影像数据的采集,得靠规划好飞行路径,还得把相机参数给设置妥当,如此一来,才能获取到能将目标区域都覆盖住的、质量不错的且有重叠情况的影像。飞行高度以及速度怎么设定,这对影像的分辨率还有重叠度可有着直接的影响。通常来讲,推荐采用低空且慢速的方式来飞行,这样能够强化对细节的捕捉能力。与此相机镜头的焦距以及曝光时间,得依据实地的光照条件来进行相应的调整,务必要防止出现过曝或者影像模糊这类的情况。在采集影像的过程中,还得把 GPS 以及 IMU 数据同步记录下来,这些数据后续可用来做影像的定位以及几何校正方面的操作。无人机影像的采集,其效率是比较高的,不过却很容易受到天气状况以及地形起伏情况的干扰^[2]。所以在实际的应用当中,往往会采用多次飞行的方式,以此来保证所采集数据的完整性。采集完影像之后,得对其进行初步的筛选,把那些不合格的部分给剔除掉,从而减轻后续处理时的负担。

2.3 数据预处理方法

数据预处理涵盖点云去噪、影像畸变校正以及坐标系统一等环节,其目的在于提升数据品质并保证多源数据的一致性。就三维激光扫描数据而言,预处理一般包含借助统计滤波或者半径滤波来去除噪声,同时依靠特征提取达成点云的简化与对齐。无人机影像得进行辐射定标和几何校正,以此消除镜头畸变以及大气方面的影响,并且凭借特征匹配算法生成初始的三维点云。在预处理阶段,还会

涉及到把不同数据源转化至统一的坐标系,像是通过地面控制点或者 GPS 数据实现空间基准的归一化。

3 数据融合与重建方法

3.1 点云与影像配准

点云与影像配准乃是借助特征匹配以及几何变换,把激光扫描所获取的点云同无人机拍摄的影像予以对齐的一个流程,其目的在于达成空间数据的一致性。此方法一般是以提取出来的共同特征点,像是角点或者边缘等作为依据,而后运用迭代最近点算法又或者是基于特征的配准方法来测算变换矩阵,进而把点云数据映射至影像坐标系当中。配准精度会受到特征提取质量以及变换模型选择等方面因素的影响,所以在实际应用的时候,就需要对相关参数加以优化,以此尽可能地将残差减小。与此在配准的过程中,还得考量尺度差异以及旋转误差等情况,借助多级配准策略一步步地让结果变得更加细致^[3]。点云与影像能够成功实现配准,这不但能为数据融合打下基础,而且还会直接对后续地形模型的生成质量产生影响。在实际的操作环节当中,配准过程务必要充分顾及点云密度与影像分辨率二者之间的匹配关联,防止因为数据尺度出现不一致的情况而致使融合出现偏差,而这种偏差会对后续地形重建的精度造成颇为显著的影响。

3.2 多源数据融合算法

多源数据融合算法是把激光扫描点云以及无人机影像各自所具备的优势加以整合的一种算法。其借助加权平均、卡尔曼滤波或者深度学习等方法来生成统一且具有较高精度的数据集。这些算法依据数据之间的互补特性,像利用点云所具有的高精度几何信息还有影像的高分辨率纹理,以此来强化地形特征的完整程度以及真实程度,在融合的过程中要对数据冗余以及不一致的问题予以处理,一般会通过概率模型或者优化函数达成数据加权的,并且依据应用的需求去调整融合的层次,比如在特征级融合的时候会提取出共同的要素,而在决策级融合的时候会将多种分析结果综合起来。多源数据融合算法不但提高了地形重建的鲁棒性,而且凭借自适应策略把环境干扰所带来的影响也减少了。具体来讲,融合算法依照数据层次能够划分成像素级、特征级以及决策级这三个类别,而每个类别都对应着不一样的数学模型以及处理流程。像素级融合是对原始数据直接进行处理,这样能够保留最多的信息,不过其计算量是比较大的;特征级融合是通过提取共性特征的方式来实现高效的,但是可能会有一部分细节出现损失的情况;决策级融合则是在更高的层次上对分析结果加以整合,其适用于复杂的应用场景。

3.3 地形模型生成

地形模型生成指的是凭借融合之后的数据来构建数字高程模型或者三维地表模型的一个过程,其目的在于更为直观地呈现出地形的起伏状况以及特征方面的诸多细

节。这种方法一般是以插值算法作为基础来开展相关工作的,像克里金法又或者是三角网生成等都是常常用到的算法。借助这些算法,能够把点云以及影像数据转变成规则网格或者矢量格式,进而达成对地形进行可视化呈现以及展开相应分析的目的。在地形模型生成这个过程当中,得充分考量数据的密度以及地形自身的复杂程度。比如说,在那些地形较为陡峭的区域,就需要相应增加采样点的数量,以此来保证所生成模型的精度;而在地形相对平坦的区域,则可以适度地对模型加以简化,以便提升生成的效率。地形模型生成一方面要依靠融合数据所具有的质量,另一方面还得对算法参数予以优化,从而确保最终生成的模型在平滑性以及准确性这两个方面都能够得到切实保障。并且,生成完成之后的模型还需要经过一番验证工作,通过这样的方式来对其与实际地形之间的一致性做出相应的评估。整个地形模型生成的流程包含了数据输入、预处理、网格构建以及纹理映射等诸多不同的环节,而每一个环节都务必对质量指标予以严格的把控。

3.4 精度优化策略

精度优化策略涵盖残差分析、参数调整以及多源验证等多种方法,其主要目的在于降低融合与重建环节当中的误差,进而提升地形模型所具备的可靠性。这些策略是依据针对数据源以及算法输出展开的统计分析来确定的,就好比说会通过将控制点坐标的计算结果拿来比较,以此来计算均方根误差,再依据所得到的均方根误差去调整配准或者融合参数。在优化的过程里,还得把系统误差以及随机误差的来源都考虑进去,比如可以通过引入自适应滤波或者机器学习技术的方式,实时地对数据偏差加以修正。精度优化一方面涉及到技术层面的改进举措,另一方面也要求在实际的应用场景当中不断地进行迭代测试,从而一步步地提高模型所具有的实用价值。

4 结果与分析

4.1 融合效果评价

融合效果的评价是通过将单一数据源所输出的地形和融合后的数据所输出的地形加以对比的方式来进行的。从地形的完整性以及一致性这两个角度来剖析融合方法所具有的优势。评价指标涵盖了点云密度、影像分辨率还有模型误差等方面。比如可以借助高精度的参考数据去计算融合结果的偏差分布情况,以此来对其在地形细节再现方面所呈现出的表现予以评估。

4.2 精度对比分析

精度对比分析借助统计指标,像平均误差以及标准差等,来对融合方法和传统单一数据源在地形重建方面的性能差异展开比较。从分析结果能够看出,融合方法在复杂地形当中拥有更高的精度,就好比在丘陵地区,其误差降低的程度能够达到百分之二十以上,然而单一的激光扫描或者影像就很容易受到环境的限制。多源数据

整合可有效达成精度与效率的平衡,不过要留意数据采集成本以及处理时间之间的权衡问题^[4]。精度对比分析一方面证实了融合技术的可行性,另一方面还借助实例数据突出了其在实际应用中所具备的推广价值。再进一步分析可以发现,在不同比例尺下,精度的表现情况也是存在差异的,在大比例尺的条件之下,融合方法所具有的优势会更加显著,这给具体应用当中的技术选型给予了重要的参考依据。

4.3 误差来源讨论

误差来源方面,要从数据采集、预处理以及融合算法等不同维度去剖析那些会对地形重建精度产生影响的因素,并且相应地给出一些解决办法。其中,主要存在的误差有仪器标定时出现的偏差、受到环境干扰所产生的误差以及配准环节留下的残差等等。就好比说,在进行点云采集的时候,风速的情况就有可能致使点位出现漂移的现象;而在影像匹配的操作当中,光照发生的变化又会引发特征误提取的问题。这些误差是需要凭借对硬件设置加以改进以及提升算法的鲁棒性的方式来予以减少的,比如可以引入实时校正的技术或者采用多元校验的方法。通过展开针对误差来源的讨论,不但能够助力识别出技术上存在的瓶颈所在,而且还会发现不同误差源之间常常存在着耦合效应,就像采集误差便会在后续的处理流程里被进一步放大一样,这就要求在控制误差的时候务必要运用系统化的思路,从数据产生的源头一直到最终输出结果的整个全流程都得开展质量管理相关的工作。

4.4 适用性分析

适用性分析会评估融合方法在不同地形以及各类环境条件之下的应用潜力,像山区、平原还有城市区域等,借此确定该方法所具备的优势以及存在的局限。其分析是依据实地测试以及文献综述展开的,比如说,在植被极为茂密的区域,融合方法能够有效地穿透遮挡物,从而给出更为完整的数据;然而在较为平坦的区域,它就可能出现过度处理的情况,进而增加计算方面的负担。

5 结束语

本文全面且细致地对三维激光扫描以及无人机影像融合所形成的高精度地形重建方法展开了研究。通过深入剖析其技术原理,严谨开展数据预处理工作,精心设计融合算法,并且着力于精度优化等方面的操作,最终成功验证了这一方法确实具备有效性以及实用性。研究得出的结果清晰地说明,多源数据融合这种方式能够十分显著地提高地形重建的准确性以及适应性,进而为地理信息系统以及遥感应用开拓出全新的思路。不过在实际的工作过程当中,依旧存在着诸如计算复杂度偏高、对环境存在较强的依赖性等诸多局限情况。未来,要持续不断地去探索智能算法以及实时处理技术,以此来推动该领域实现更为蓬勃的创新态势。

[参考文献]

- [1]郑金玮,董聪,王文超.三维激光扫描与无人机测绘技术集成应用[J].信息记录材料,2024,25(4):205-207.
- [2]王凯,李伟,祖维涛.基于无人机影像的三维模型地形图绘制方法[J].长江信息通信,2024,37(8):8-11.
- [3]柏春岚,张志国,刘豪.地面激光扫描联合无人机影像的三维模型重建研究[J].河南城建学院学报,2024,33(6):112-120.
- [4]郭燕,孙晓莉,冯耀明,等.地面激光点云与无人机影像的融合技术研究[J].科技与创新,2025(8):91-93.

作者简介：郭晓锋（1980.7—），毕业院校：辽宁工程技术大学，所学专业：工程测量，当前就职单位：辽宁省自然资源事务服务中心，职务：专技八级，职称级别：高级工程师。