

无人机激光点云技术在三维建模中的应用

郭长和

黑龙江省路畅工程设计有限公司 黑龙江 佳木斯 156100

摘要: 无人机激光点云技术作为现代测绘领域的重要创新, 凭借其高效、精确的数据采集能力, 在三维建模领域展现出巨大潜力。本文深入探讨了无人机激光点云技术的原理、数据采集与处理流程、三维建模的具体步骤, 以及其在实际应用中的优势和面临的挑战, 旨在为三维建模技术的发展和應用提供理论支持和实践指导。

关键词: 无人机激光点云; 数据采集; 数据处理; 三维建模

引言

三维建模作为数字化时代的重要工具, 为城市规划、环境保护、建筑设计等领域提供了直观、准确的空间信息。传统三维建模方法如全站仪测量、立体测图等, 虽然在一定程度上满足了建模需求, 但存在效率低、成本高、难以覆盖大面积区域等限制。无人机激光点云技术的出现, 以其高精度、高效率、大范围覆盖等优势, 为三维建模带来了革命性的突破。

1 无人机激光点云技术概述

无人机激光点云技术的核心原理是利用激光测距技术获取物体表面的三维坐标信息。激光测距技术的基本原理是: 通过测量激光脉冲从发射器到目标物体表面再反射回接收器的时间差, 结合激光的传播速度, 计算出发射器到目标物体的距离。无人机搭载的高精度激光雷达扫描设备, 能够在飞行过程中快速扫描目标区域, 生成密集的点云数据。

2 无人机激光点云技术在三维建模中的应用

2.1 数据采集

2.1.1 航线规划

航线规划是无人机激光点云数据采集的首要环节, 其关键在于通过专业的航测规划软件, 根据目标区域的地理特征、地形条件及建模需求, 科学设计无人机的飞行路径。这一步骤需综合考虑飞行高度、速度、航向重叠率(即相邻航线间重叠的百分比)和旁向重叠率(同一航线上相邻扫描区域的重叠程度), 以确保采集的点云数据既全面又精确^[1]。重叠率的合理设置对于后续数据拼接、减少盲区至关重要, 通常建议航向重叠率不低于60%, 旁向重叠率不低于30%, 以最大化数据覆盖度和质量。此外, 航线规划还需考虑飞行安全因素, 如避开禁飞区、高楼密集区、高压线等障碍物, 以及根据天气状况(如风向、风速、能见度)调整飞行计划, 确保无人机作业的安全性和有效性。

2.1.2 飞行作业

在航线规划完成后, 无人机按照预设的飞行路径自动执行数据采集任务。此过程中, 激光雷达系统以预设的频率向地面发射激光脉冲, 这些脉冲遇到地表或物体后反射回来, 由激光雷达接收器捕获。每次测量都详细记录激光脉冲的发射时间、接收时间、发射角度、接收角度以及回波强度等信息。这些数据通过内置算法处理, 即可计算出每个反射点的三维坐标(X,Y,Z), 同时, 回波强度信息还能提供物体表面的材质、颜色等附加信息, 丰富点云数据的维度。为了进一步提高数据采集的质量和效率, 飞行作业中可能采用多种飞行模式, 如“之”字形飞行、螺旋式上升等, 以适应不同地形和建模需求。同时, 无人机上搭载的GPS和惯性导航系统(INS)确保飞行过程中位置信息的准确性和稳定性, 而实时数据传输技术则允许地面站监控飞行状态, 及时调整飞行参数或应对突发情况, 确保数据采集的顺利进行。

2.2 数据处理

2.2.1 点云配准

点云配准是无人机激光点云数据处理中的核心环节, 其目标是将不同视角或站点采集的多组点云数据精确对齐并融合到一个统一的坐标系统中, 从而构建出完整、连续的三维场景。这一过程对于消除数据采集时的重叠区域误差、实现无缝拼接至关重要。迭代最近点(ICP)算法是点云配准中最常用的方法之一。该算法通过迭代计算两组点云之间最近点的距离和, 不断调整变换参数(如旋转、平移), 以最小化这些距离和, 从而实现点云的对齐。ICP算法虽然精确, 但初始对齐要求较高, 且对噪声和异常点敏感, 因此在实际应用中常需结合其他预处理步骤, 如粗配准来提供较好的初始对齐条件。基于特征的配准算法则利用点云中的显著特征(如角点、边缘、平面等)进行配准, 能够更有效地处理复杂场景和噪声干扰。这类算法首先提取点云中的特征点

或特征结构,然后基于这些特征进行匹配和对齐,从而提高了配准的鲁棒性和效率。

2.2.2 滤波与去噪

滤波与去噪是点云数据预处理的重要步骤,对于提高三维建模的精度和效果至关重要。点云数据中往往包含大量的噪声点、离群点以及由设备误差、环境因素等引起的无效信息,这些都需要通过滤波处理来去除。统计滤波是一种常用的去噪方法,它基于点云数据的统计特性,通过计算每个点与其邻域内点的平均距离或标准差,设定阈值来剔除距离过大的离群点。这种方法能够有效去除孤立噪声点,同时保留点云的主要结构。半径滤波则根据点云中每个点的邻域半径内点的数量或密度进行筛选。对于密度较低的点(可能是噪声或无效信息),通过设定合理的半径和密度阈值进行剔除。这种方法在处理非均匀分布的点云数据时表现良好,能够保留点云的细节特征。

2.2.3 分类与分割

分类与分割是将点云数据按照不同的属性或特征进行区分和组织的关键步骤,对于后续的三维建模和物体识别至关重要。分类主要是基于点云的高程、密度、法向量等几何和物理特征,将点云数据分为地面点、植被点、建筑物点等不同类别。这一步骤有助于识别并分离出不同类型的物体,为后续建模提供清晰的层次结构。分割则是在分类的基础上,进一步将点云数据划分为更小的、具有相似特征的物体或区域^[2]。常用的分割方法包括聚类算法和区域增长算法等。聚类算法通过计算点云数据之间的相似度或距离,将相似的点聚类成同一物体;而区域增长算法则从种子点开始,逐步扩展区域,直到满足一定的条件(如法向量变化、颜色差异等)为止。这些算法能够有效地识别并分离出点云中的不同物体,为三维建模提供准确的物体边界和形状信息。

2.3 三维建模流程

2.3.1 地面模型建立

(1) 数字高程模型(DEM)生成:数字高程模型(DEM)是地表三维形态的数字化表示,是三维建模中不可或缺的基础数据。在无人机激光点云技术中,DEM的生成主要依赖于对地面点云数据的高精度处理。具体来说,这一过程包括以下几个关键步骤:首先,从原始的点云数据中筛选出地面点。这通常通过滤波算法实现,如基于高程的滤波、形态学滤波等,以去除植被、建筑物等非地面点云的干扰。筛选出的地面点云数据往往是离散的、不规则的,因此需要通过插值算法将其转化为规则的网格数据。常用的插值方法包括最近邻插

值、双线性插值、三次样条插值以及更高级的克里金插值等,这些方法能够根据已知点的高程信息,推测出未知点的高程,从而构建出连续的DEM表面。为了得到更加真实、自然的地面形态,还需要对插值后的DEM数据进行平滑处理。这可以通过应用低通滤波器、中值滤波器等算法来实现,以去除数据中的高频噪声和毛刺,使DEM表面更加光滑、连续。通过上述处理步骤,最终可以生成高质量的数字高程模型,为后续的三维建模提供准确的地形数据支持。

(2) 地形特征提取:基于生成的DEM数据,可以进一步提取地形特征,如山谷、山脊、河流等,这些特征对于地形分析和可视化具有重要意义。地形特征提取的常用方法包括:一是等高线提取:根据DEM数据,可以生成一系列的等高线,这些等高线能够直观地反映地形的起伏和变化。通过分析和解读等高线,可以识别出地形中的山谷、山脊等特征。二是地形曲率分析:地形曲率是描述地形形态变化的重要指标,通过计算DEM数据中的曲率信息,可以识别出地形的凹凸特征,进而划分出不同的地形类型。三是水文分析:基于DEM数据,还可以进行水文分析,如流域划分、河流网络提取等。这些分析有助于理解地形的水文特征,对于水资源管理、洪水预测等领域具有重要意义^[3]。通过地形特征提取,可以更加深入地了解地形的形态和特征,为三维建模提供丰富的地形信息,同时也为地形分析和可视化提供了有力支持。

2.3.2 非地面模型建立

(1) 建筑物建模:在无人机激光点云技术中,建筑物建模主要依赖于特征提取和线杆提取等方法。特征提取这一步骤旨在识别建筑物的关键特征,如角点、边缘、墙面等。通过算法分析点云数据中的几何关系,如点的法向量、距离等,可以精确提取出建筑物的轮廓和结构特征。这些特征点不仅为后续的建模提供了准确的定位信息,还能够帮助构建出更加逼真的建筑物模型。线杆提取则是利用建筑物的垂直特性,通过线杆提取方法构建建筑物的立体框架。这一步骤主要涉及到对点云数据进行垂直方向的投影和分割,以识别出建筑物的垂直结构,如墙体、柱子等。通过线杆提取,可以快速地构建出建筑物的骨架,为后续详细建模奠定基础。

(2) 植被建模:植被建模是三维建模中的一个重要挑战,尤其是对于树木等自然物体,其形态和密度的准确表达是建模的难点。在无人机激光点云技术中,植被建模主要依赖于聚类、形态学处理等方法。①聚类:由于植被点云数据通常比较复杂,包含大量的树叶、枝干

等细节信息,因此需要通过聚类算法将点云数据分成不同的群组,以区分不同的植被个体。聚类算法能够根据点云数据的空间分布和几何特征,将相似的点聚集在一起,从而实现植被的分离和识别。②形态学处理:在聚类的基础上,还需要对植被点云数据进行形态学处理,以提取出植被的形态特征。这包括树干的识别、树枝的分割、树叶的模拟等步骤。通过形态学处理,可以构建出更加真实、自然的植被模型,准确地反映植被的生长状态和分布特征。

(3) 其他物体建模:除了建筑物和植被外,城市中还存在大量的其他非地面物体,如道路、桥梁、电线杆等。这些物体的三维建模同样重要,对于完善城市三维模型、提高模型精度具有重要意义。①道路建模:道路作为城市交通网络的基础,其建模主要涉及到道路的边界识别、路面高程计算等步骤。通过提取点云数据中的道路边界点,并结合高程信息,可以构建出精确的道路模型。②桥梁建模:桥梁作为特殊的建筑物,其建模需要考虑到桥梁的结构特征和空间位置。通过提取桥梁的点云数据,并进行几何分析和建模,可以构建出桥梁的三维模型,为城市交通规划和设计提供支持。③电线杆建模:电线杆等杆状物体的建模主要依赖于其特征点的提取和形状分析。通过识别电线杆的点云数据中的关键点,如杆顶、杆底等,并结合其形状特征,可以构建出电线杆的三维模型。

3 优势与挑战

3.1 优势

无人机激光点云技术在三维建模中展现出显著的优势。首先,其高效率体现在无人机能够快速覆盖大面积区域,进行迅速的数据采集,从而加速建模过程。其次,高精度是激光雷达技术的核心特点,确保了建模的准确性和可靠性,为后续分析和决策提供坚实基础。此外,无人机的灵活性使其能够轻松到达传统测量方法难以触及的区域,如复杂地形、茂密森林等,极大地扩展了三维建模的应用范围^[4]。最后,与传统测量方法相比,

无人机激光点云技术具有更高的成本效益,不仅降低了人力和时间成本,还提升了数据质量和建模效率,为各行业带来了更为经济、高效的解决方案。

3.2 挑战

无人机激光点云技术在三维建模中的应用虽然具有诸多优势,但也面临着一些挑战。其中,数据处理复杂性是一个重要方面,点云数据的海量性和不规则性要求高性能的计算资源以及复杂的算法支持,这对技术人员的专业能力提出了很高的要求。同时,飞行安全与法规限制也是不可忽视的问题,无人机的飞行必须严格遵守空域管理规定,确保飞行安全,同时还需要考虑隐私保护等法规要求。此外,环境因素如天气条件、光照变化等也会对激光雷达的测量精度和无人机的飞行稳定性产生影响,需要在技术应用中予以充分考虑和应对。

结语

无人机激光点云技术在三维建模中的应用,以其高精度、高效率、大范围覆盖等优势,为城市规划、环境保护、建筑设计等领域提供了强大的技术支持。随着技术的不断进步和应用的深入拓展,无人机激光点云技术将在更多领域展现出其巨大的潜力和价值。未来,随着数据处理算法的优化、无人机性能的提升以及相关法规的完善,无人机激光点云技术在三维建模领域的应用将更加广泛和深入,推动社会的数字化、智能化发展。

参考文献

- [1]李思李,田波,胡志强,等.基于激光点云数据的道路基础设施三维建模技术研究[J].公路交通科技,2022,39(S1):8-13+40.
- [2]王博.无人机影像点云与地面激光点云配准的三维建模方法[J].测绘与空间地理信息,2022,45(08):216-219.
- [3]周益,檀丁,谢亮,等.融合无人机影像点云与三维激光点云的建筑物三维建模研究[J].现代测绘,2022,45(04):16-19.
- [4]林国涛,孙增奎,肖斌,等.综合无人机、GIS、BIM技术的道路设计研究[J].公路,2021,66(03):23-26.