

地面三维激光扫描在道路工程测绘中的应用

罗邦 陈剑锋

江西省自然资源测绘与监测院

DOI:10.12238/gmsm.v7i7.1896

[摘要] 地面三维激光扫描技术凭借其高精度、高自动化、高速率和大面积测量的优势,在道路工程测绘领域得到广泛应用。然而,该技术在实际应用中仍面临着数据处理复杂度高、扫描环境限制和仪器成本高昂等挑战。本文提出了提高扫描速度和精度、智能化数据处理和分析以及集成多种测量技术等发展策略,以期克服现有技术局限性,提高道路工程测绘的精度和效率。通过不断完善和创新地面三维激光扫描技术,将为道路工程的规划、设计和施工提供更加全面、准确和可靠的数据支持,推动道路工程测绘技术的进一步发展。

[关键词] 地面三维激光扫描; 道路工程; 测绘; 应用

中图分类号: U41 文献标识码: A

Application of Ground-Based 3D Laser Scanning in Road Engineering Surveying

Bang Luo Jianfeng Chen

Jiangxi Provincial Institute of Geographic Information and Monitoring

[Abstract] Ground-based 3D laser scanning technology, with its high precision, high automation, high speed, and large area measurement advantages, has been widely applied in road engineering surveying. However, this technology still faces challenges such as high complexity in data processing, restrictions on scanning environments, and high instrument costs in practical applications. This paper proposes development strategies such as improving scanning speed and accuracy, intelligent data processing and analysis, and integrating multiple measurement technologies to overcome the limitations of existing technology and improve the precision and efficiency of road engineering surveying. By continuously improving and innovating ground-based 3D laser scanning technology, it will provide more comprehensive, accurate, and reliable data support for the planning, design, and construction of roads, driving further development of road engineering surveying technology.

[Key words] ground-based 3D laser scanning; road engineering; surveying; Application

引言

道路工程是现代交通运输系统的重要组成部分,其测绘工作直接影响着道路的规划、设计、施工和养护。传统的道路工程测绘方法效率较低,难以满足日益增长的测绘需求。近年来,地面三维激光扫描技术以其高精度、高效率和非接触式测量等优势,在道路工程测绘领域得到了广泛关注和应用。该技术通过主动发射激光脉冲并接收反射信号,快速获取被测物体表面的三维坐标数据,为道路地形测绘、道路设施测绘、隧道测绘和道路变形监测等工作提供了可靠的数据支持。

1 地面三维激光扫描技术原理及特点

1.1 地面三维激光扫描技术原理

地面三维激光扫描技术是一种先进的全自动高精度立体扫描技术,其工作原理基于激光测距仪主动发射激光脉冲信号。这些信号在被测物体表面发生漫反射后,沿着几乎相同的路径反

向传回到接收器。通过精确计算激光脉冲从发射到接收的时间差,可以准确确定扫描仪与被测物体之间的距离^[1]。同时,扫描仪内部配备了精密的编码器,能够同步测量每个激光脉冲的横向和纵向扫描角度,从而得到每一扫描点相对于扫描仪的空间相对坐标。如果扫描仪的初始位置已知,则可以通过坐标转换,进一步计算出每一扫描点在全局坐标系下的绝对三维坐标。这一系列过程的自动化程度高,测量速度快,获取的三维坐标数据精度高,为后续的三维建模和空间分析提供了坚实的数据基础。地面三维激光扫描技术的出现,极大地推动了测绘技术的发展,为各行各业提供了一种全新的空间数据采集方式。

1.2 地面三维激光扫描技术的特点

地面三维激光扫描技术具备高精度、高自动化、高速率、大面积测量等诸多优点,是当前测绘领域的一项先进技术。首先,该技术能够快速获取被测物体表面的三维坐标数据,且数据点

云密度高,单点精度可达毫米级,为后续的三维建模和空间分析提供了可靠的数据基础。其次,地面三维激光扫描技术的自动化程度高,数据采集过程几乎不需要人工干预,大大减少了人为误差的引入,提高了数据采集的效率和质量。再次,该技术的采集速率高,每秒可获取数十万甚至上百万个三维坐标点,极大地提升了测绘效率^[2]。最后,地面三维激光扫描技术采用非接触式测量方式,避免了传统测量方法中因接触而产生的误差和损坏,特别适用于复杂形状和精细结构的测量。这些优点使得地面三维激光扫描技术在各个领域得到了广泛的应用,如工业制造、文物保护、城市规划、交通工程等,为这些领域的发展提供了新的技术支撑。

2 地面三维激光扫描技术在道路工程测绘中的应用

2.1 道路地形测绘

地面三维激光扫描技术在道路地形测绘中发挥着至关重要的作用。通过利用该技术对道路及其周边地形进行全面扫描,可以获取高精度、高密度的三维坐标数据。这些数据不仅包括道路表面的几何信息,还包括道路两侧的地形起伏、坡度变化等地形特征。基于获取的三维点云数据,可以通过专业的数据处理软件生成数字高程模型(DEM)和数字地形模型(DTM),为道路工程的规划、设计和施工提供了准确、可靠的地形信息^[3]。利用这些模型,道路工程师可以优化道路线形设计,合理布置纵断面和横断面,最大限度地减少土方工程量,降低工程成本。此外,基于三维激光扫描获取的高精度地形数据,还可以用于道路沿线的排水设计、边坡稳定性分析等,为道路工程的安全性和可靠性提供重要保障。

2.2 道路设施测绘

地面三维激光扫描技术为道路设施测绘提供了一种高效、精确的解决方案。传统的道路设施测绘方法,如全站仪测量、GPS测量等,虽然能够获取设施的空间位置信息,但测量效率较低,且难以获取设施的详细几何信息。而利用地面三维激光扫描技术,可以在短时间内对道路沿线的各种设施进行快速、全面的扫描,获取高密度的三维点云数据^[4]。通过对点云数据进行智能化处理和分析,可以自动提取路面标线、交通标志、护栏、隔离带等设施的空间位置、几何尺寸、材质属性等信息,大大减少了人工测量和数据处理的工作量。基于提取的设施信息,可以建立道路设施的三维模型和数据库,为道路养护、管理和决策提供可靠的数据支持。例如,利用获取的标线信息,可以及时发现和处理标线老化、磨损等问题;利用护栏、隔离带等设施的空间位置和几何信息,可以优化道路安全设施的布局,提高道路通行安全性。

2.3 隧道测绘

在隧道工程中,地面三维激光扫描技术凭借其独特的优势,成为隧道测绘的首选技术之一。隧道环境复杂,空间狭小,传统的测绘方法难以实现对隧道内部的全面、精确测量。而地面三维激光扫描技术能够对隧道内部进行快速、高密度的扫描,获取隧道断面、拱顶、壁面等关键部位的三维点云数据。通过专业的点云处理软件,可以自动提取隧道的断面形状、尺寸,计算隧

道的净空、坡度等关键参数,生成隧道的三维模型^[5]。这些信息对于隧道设计、施工和养护具有重要的指导意义。例如,利用隧道断面信息,可以优化隧道衬砌结构的设计,确保隧道的稳定性和安全性;利用隧道三维模型,可以模拟隧道内的照明、通风等设施的布局,提高隧道运营的安全性和舒适性。此外,地面三维激光扫描技术还可以用于隧道变形监测,通过多期扫描对比分析,及时发现隧道结构的变形趋势,为隧道安全评估和维护提供重要依据。

2.4 道路变形监测

地面三维激光扫描技术在道路变形监测中展现出卓越的应用价值。道路在长期使用过程中,受到车辆荷载、环境因素等的影响,容易产生沉降、位移等变形。传统的变形监测方法,如水准测量、全站仪测量等,虽然能够获取道路的变形量,但测量效率低,且难以实现对道路的全面监测。应用地面三维激光扫描技术,则可以对道路进行快速、高密度的扫描,获取不同时期的三维点云数据。通过点云数据的配准和比对分析,可以精确计算道路表面的沉降量、位移量等变形参数,生成道路变形的三维可视化模型。基于获取的变形信息,道路管理部门可以及时掌握道路的健康状况,预测道路的变形趋势,制定针对性的养护和维修计划。此外,将道路变形监测与地面三维激光扫描技术相结合,还可以实现道路变形的自动化、精细化管理。通过在道路关键位置布设固定的扫描站,定期进行自动扫描和数据分析,可以实时监测道路的变形动态,一旦发现异常变形,及时预警和处置,从而有效保障道路的安全运营。

3 地面三维激光扫描在道路工程测绘中的挑战与展望

3.1 地面三维激光扫描在道路工程测绘中的挑战

地面三维激光扫描技术在道路工程测绘中虽然展现出卓越的优势,但仍面临着一系列挑战。首当其冲的是数据处理的复杂度高。地面三维激光扫描技术能够快速采集海量的点云数据,单次扫描的数据量往往达到数GB甚至数TB的规模。如此庞大的数据量,对计算机硬件和软件的性能提出了极高的要求。此外,原始点云数据往往夹杂着大量的噪声和冗余信息,需要经过过去噪、滤波等预处理操作。同时,由于扫描视角和遮挡等因素的影响,完整的三维模型往往需要多站点、多角度的扫描数据进行配准拼接。这一系列复杂的数据处理过程,不仅需要专业的软件工具和算法,还需要大量的时间和人力成本。其次,扫描环境的限制也是一大挑战。地面三维激光扫描技术对扫描环境有较高的要求,诸如高反射、透明、极端温湿度等恶劣环境条件都会对扫描精度产生不利影响。为了确保数据的准确性和可靠性,需要在扫描过程中严格控制环境因素,尽可能选择合适的扫描时间和条件,并采取必要的防护措施。最后,仪器成本高昂也限制了该技术在道路工程测绘中的推广应用。目前,高精度的地面三维激光扫描仪器价格动辄数十万甚至上百万元,且仪器的维护、校准等也需要大量的资金投入。这无疑增加了道路工程测绘的成本负担,使得许多中小型工程难以承担引入该技术的成本。

3.2 地面三维激光扫描在道路工程测绘中的发展趋势

3.2.1 提高扫描速度和精度

随着科学技术的不断进步和创新,地面三维激光扫描仪器的性能正在不断提升,其中最为显著的趋势就是扫描速度和精度的不断提高。当前,高端的三维激光扫描仪器已经能够实现每秒上百万点的扫描速率,并且单点精度可以达到毫米级别。未来,随着激光测距技术、相机成像技术、惯性导航技术等进一步发展,扫描仪器的速度和精度有望实现新的突破。超高速、高密度、高精度的三维扫描将成为可能,这将使得地面三维激光扫描技术能够在更短的时间内获取更加准确、细致的道路三维数据,大幅提升道路工程测绘的效率和质量。与此同时,扫描仪器的轻量化、小型化趋势也将更加明显,便携式、车载式、机载式等多种形式的扫描设备将不断涌现,使得三维扫描数据的采集更加灵活、方便。这些发展趋势必将推动地面三维激光扫描技术在道路工程测绘中的广泛应用,为道路工程的规划、设计、建设、养护等提供更加坚实的数据基础。

3.2.2 智能化数据处理和分析

海量、高维、异构的三维点云数据给数据处理和分析带来了巨大挑战,因此,智能化、自动化的数据处理和分析技术正成为地面三维激光扫描技术发展的重要方向。未来,人工智能、机器学习、深度学习等前沿技术将与三维激光扫描技术深度融合,形成更加智能、高效的数据处理与分析方案。智能化的点云去噪、分割、配准、语义标注等算法将不断涌现,实现对原始点云数据的自动优化和增强,极大地降低人工处理的工作量和时间成本。同时,大数据分析、知识挖掘等技术也将在三维点云数据中大展拳脚,通过对海量历史数据的挖掘和学习,可以发现道路工程中的关键模式和规律,实现道路健康状态的智能诊断、预测和决策。例如,通过对道路点云数据进行智能分析,可以自动识别道路病害(如裂缝、车辙、沉陷等),评估道路使用性能,预测未来劣化趋势,并提供最优的养护维修方案。再如,通过对道路地物的智能识别和语义理解,可以自动生成道路的三维模型和信息化管理系统,实现道路资产的可视化、精细化管理。

3.2.3 集成多种测量技术

尽管地面三维激光扫描技术具有独特的优势,但在实际应用中仍然存在一些局限性,例如在植被覆盖区域、水面等特殊环境下,激光扫描的可靠性和精度可能会受到影响。为了克服单一

测量技术的不足,未来地面三维激光扫描技术将更加注重与其他测量技术的集成和融合,形成更加全面、可靠的三维测量解决方案。例如,将全球卫星导航系统(GNSS)与三维激光扫描相结合,可以实现扫描点云的快速地理定位和绝对定向,提高点云数据的空间参考精度;将惯性导航系统(INS)与三维激光扫描相结合,可以实时记录扫描仪器的姿态变化,提高点云数据的动态补偿精度;将数字影像测量技术与三维激光扫描相结合,可以实现点云与影像的互补融合,既提高了点云的纹理真实感,又增强了影像的几何约束力。随着多源数据融合技术的不断发展,多平台、多角度、多时相的三维测量数据将得到更加有机的整合,形成更加完备、准确、动态的道路三维信息模型。

4 结束语

地面三维激光扫描技术在道路工程测绘中的应用,为道路工程的规划、设计和施工提供了高精度、高效率的数据支持。尽管该技术目前仍面临着一些挑战,但随着技术的不断进步和创新,其在道路工程测绘中的应用前景广阔。未来,地面三维激光扫描技术将朝着提高扫描速度和精度、智能化数据处理和分析以及集成多种测量技术的方向发展。这将进一步提高道路工程测绘的效率和精度,为道路工程的建设和管理提供更加全面、准确和可靠的数据支持。

[参考文献]

- [1]林成行.地面三维激光扫描技术在道路工程测绘中的应用[J].工程技术研究,2023,8(20):222-224.
- [2]杨朝兴,刘韦华,谢梅秀.三维激光扫描技术在道路工程测绘中的应用[J].科学技术创新,2020,(17):58-59.
- [3]龚琼,朱波.工程测绘中关于地面三维激光扫描技术的应用分析[J].世界有色金属,2019,(13):160-161.
- [4]万飞,许小金.三维激光扫描技术在道路工程测绘中的应用[J].中小企业管理与科技(中旬刊),2018(05):114-115.
- [5]冀三云.道路工程测绘方面的分析和探讨[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2017,(12):157-158.

作者简介:

罗邦(1991—),男,汉族,江西省抚州市人,本科,中级工程师,测绘工程。

陈剑锋(1992—),男,汉族,江西省抚州市人,大专,助理工程师,研究方向:测绘工程。