

影响三维模型质量。此外,遮挡问题难以避免,山峰、建筑、树木等遮挡物形成扫描盲区,即便借助无人机倾斜摄影测量补充,也会增加成本与数据处理复杂性。

5.2 数据处理挑战

数据处理方面,三维激光扫描技术面临诸多难题,首先是海量数据的存储与传输,大规模复杂地形测量数据量巨大,占用大量存储空间,网络带宽限制又使数据传输缓慢,严重影响工作效率。其次,数据处理算法复杂,点云数据的去噪、滤波、分类等操作,需高效算法支持,且不同场景需设置不同算法与参数,对技术人员要求极高。最后,数据可视化难度大,要将复杂海量的点云数据转化为直观、高质量的可视化模型,同时兼顾渲染效果、交互性与实时性,以满足用户需求,并非易事。

5.3 成本问题

成本也是应用该技术不可忽视的挑战,设备购置成本高昂,高端三维激光扫描仪价格可达数十万元甚至上百万元,还需配备高精度GPS接收机、全站仪等辅助设备,进一步增加开支。数据处理成本同样不低,不仅需专业软件,其授权费用颇高,还需高性能计算机工作站,且培养、雇佣专业人员也需大量资金。运营维护成本也不容小觑,作为高精度光学仪器,需定期校准、维护,设备故障后的维修费用也较高,这些成本因素都限制三维激光扫描技术在复杂地形工程测量中的广泛应用。

6 应对策略

6.1 针对技术难题的策略

在进行扫描前,要密切关注天气变化,选择合适的时间进行测量,尽量避免在恶劣天气条件下作业。同时,根据实际环境条件,合理调整扫描仪的参数,如激光发射功率、扫描角度、扫描频率等,以减少环境因素对测量精度的影响。在大气能见度较低的情况下,可以适当降低扫描速度,增加激光发射功率,提高测量精度。同时,研究和采用先进的数据拼接算法,提高数据拼接的准确性和可靠性。利用基于特征匹配的拼接算法,提取点云数据中的特征点,如角点、边缘点等,进行特征匹配和拼接,减少拼接误差。在数据拼接过程中,要加强对拼接精度的检测和评估,及时发现和纠正拼接错误。此外,对于扫描盲区,可以采用多种测量手段相结合的方式补充。在使用三维激光扫描技术的同时,结合无人机倾斜摄影测量技术,利用无人机从不同角度对遮挡区域进行拍摄,获取该区域的影像数据,然后通过影像匹配和三维重建技术,将无人机获取的数据与三维激光扫描数据进行融合,补充扫描盲区。还可合理设置扫描仪的位置和扫描角度,尽量减少遮挡物的影响。

6.2 针对数据处理挑战的策略

采用高效的数据存储格式和压缩算法,对三维激光扫描数据进行压缩存储,减少数据存储空间。同时,利用云计算、分布式存储等技术,实现数据的分布式存储和并行处理,提高数据存储和传输效率。将数据存储于云端服务器上,通

过高速网络进行数据传输和共享,用户可以随时随地访问和处理数据。同时,加强对数据处理算法的研究和开发,提高算法的效率和准确性。针对不同类型的测量数据和应用场景,开发专门的算法模块,实现数据处理的自动化和智能化。利用人工智能、机器学习等技术,对数据进行自动分类、识别和分析,提高数据处理的效率和质量。此外,选择合适的可视化软件和工具,根据用户需求和数据特点,设计合理的可视化方案。在可视化过程中,注重数据的渲染效果、交互性和实时性。例如,采用虚拟现实(VR)、增强现实(AR)等技术,将三维激光扫描数据以更加直观、沉浸式的方式展示给用户,提高用户对数据的理解和分析能力。

6.3 针对成本问题的策略

对于一些设备购置成本较高的项目,可考虑采用设备租赁的方式。租赁三维激光扫描设备,在一定程度上降低设备购置成本,同时避免设备闲置造成的浪费。此外,还可建立设备共享平台,促进设备的共享使用,提高设备的利用率;对于一些数据处理能力不足或数据处理成本较高的单位,将数据处理工作外包给专业的数据处理公司。这些公司通常具有专业的技术人员和先进的数据处理设备,提供高效、高质量的数据处理服务,同时降低数据处理成本。此外,建立完善的设备维护管理制度,定期对三维激光扫描设备进行保养和维护,及时发现和解决设备故障,延长设备使用寿命。同时,加强对设备操作人员的培训,提高其操作技能和维护意识,减少因操作不当导致的设备损坏和维修成本。

7 结论

三维激光扫描技术以其独特的优势,在复杂地形工程测量中发挥着重要作用,为工程建设提供了高效、高精度的测量解决方案。在地形测绘、地质灾害监测、道路桥梁工程测量等方面的应用,该技术有效提高工程测量的效率和质量,降低安全风险,为工程设计和施工提供丰富的数据支持。然而,在应用过程中,三维激光扫描技术也面临着技术难题、数据处理挑战和成本问题等诸多挑战。采取优化扫描环境与参数、改进数据拼接算法、解决遮挡问题、优化数据存储与传输、开发高效的数据处理算法、提升数据可视化效果、设备租赁与共享、数据处理外包以及加强设备维护管理等一系列应对策略,可有效解决这些问题,推动三维激光扫描技术在复杂地形工程测量领域的广泛应用和深入发展。

参考文献

- [1] 王旭科,杜芳芳.基于三维激光扫描技术的地下停车场地形图测绘方法研究[J].测绘与空间地理信息,2023,46(12):16-18,23.
- [2] 冉星晨,魏玄,刘小泉,等.基于复杂地形的三维扫描技术应用研究[J].建筑技术开发,2024,51(3):46-48.
- [3] 王昌锐.三维激光扫描技术在矿山大比例尺地形图测绘中的应用[J].工程技术研究,2020,5(11):129-130.
- [4] 张海怀.三维激光扫描技术在矿山测量中运用分析[J].中国金属通报,2024(7):246-248.
- [5] 卫泽柱,董斌,张杰胜,等.基于无人机倾斜摄影测量技术的复杂重丘区三维重构技术研究[J].安徽地质,2024,34(1):68-71.

Application of 3D laser scanning technology in the protection and restoration of cultural heritage

Xiuli Lin

Liaoning Urban and Rural Construction Planning and Design Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110015, China

Abstract

Cultural heritage protection is an important mission of inheriting human civilization and continuing historical memory. Faced with the diversified damage status of cultural heritage and the increasingly urgent need for protection, the traditional restoration technology often relies on manual operation and experience judgment, which has limited accuracy and low efficiency. Three-dimensional laser scanning technology provides a new technical path for the protection and restoration of cultural heritage, which can obtain high-precision three-dimensional spatial data in a short time, comprehensively record the status quo information of cultural heritage, and realize the digital archiving and accurate analysis of cultural heritage. Based on this, this paper will focus on the application and advantages of 3D laser scanning technology in various aspects of cultural heritage protection and restoration.

Keywords

three-dimensional laser scanning technology; Protection of cultural heritage; Repair; digitization

三维激光扫描技术在文化遗产保护与修复中的应用探索

林秀丽

辽宁省城乡建设规划设计院有限责任公司, 中国·辽宁 沈阳 110015

摘要

文化遗产保护是传承人类文明、延续历史记忆的重要使命。面对文化遗产多样化的损坏现状与日益迫切的保护需求,传统的修复技术常因依赖手工操作与经验判断,存在精度有限、效率不高的问题。而三维激光扫描技术为文化遗产保护与修复提供了全新的技术路径,可在短时间内获取高精度的三维空间数据,全面记录文化遗产的现状信息,实现对文化遗产的数字化存档与精准分析。基于此,本文将重点探讨三维激光扫描技术在文化遗产保护与修复各个环节的具体应用及优势。

关键词

三维激光扫描技术; 文化遗产保护; 修复; 数字化

1 引言

传统的文化遗产保护修复是以人工为主,速度慢,人力成本高,作业艰辛且测量仪器操作流程复杂,对操作人员专业技能要求极高。在复杂的文化遗产环境中,人工测量难以保证数据的准确性与完整性,且容易对文物造成二次损伤。同时,传统方法获取的数据难以长期保存与高效利用,无法满足现代文化遗产保护对精准数据与科学分析的需求。三维激光扫描技术可深入到任何复杂的现场环境及空间中进行作业,在不接触文化遗产本体的前提下,快速、全面地采集物体表面的三维坐标数据,生成高精度的三维点云模型。这种非接触式测量不仅能避免对文物造成损害,还能极大提高数据采集的效率与精度,为后续文化遗产保护与修复工作提供可靠的数据基础。

2 三维激光扫描技术优势分析

三维激光扫描具有速度快(每秒近100万个点)、不需接触目标(非接触测量)、数据量大、精度高、适应性强、操作便捷等诸多优势。其测量精度可达毫米级甚至亚毫米级,能够精准记录文物原貌,无论是复杂精美的雕刻纹路,还是细微的历史痕迹,都能分毫毕现。

利用3D打印技术,结合三维激光扫描所获数据,可实现文物的实体复制,在文物展览、研究以及文化传播方面意义重大。一方面,对于一些珍贵易损的文物,复制件能替代原件进行展览,降低文物受损风险;另一方面,研究人员可借助复制件深入分析文物构造与工艺,不必担心对原件造成破坏。

【作者简介】林秀丽(1981-),女,中国辽宁庄河人,本科,工程师,从事摄影测量与遥感研究。

激光安全级别	测程/m	测距误差/mm	测量速度(点·秒 ⁻¹)	垂直方向扫描范围/(°)	水平方向扫描范围/(°)	垂直、水平扫描的步长/(°)
一级安全激光	0.6 ~ 350	±1	97.6万	300	360	0.009

图1 三维激光扫描仪参数图

3 三维激光扫描技术在文化遗产保护与修复中的具体应用

3.1 点云数据拼接偏差分析

在文化遗产保护与修复工作中，运用三维激光扫描技术时，通过 Geomagicwrap 软件对点云数据进行偏差分析是确保拼接精度的关键步骤，该方法具有高效、精准的优点，能快速为后续工作提供可靠的数据基础。

具体操作时，将手持三维激光扫描仪与地面三维激光扫描仪获取的点云数据导入 Geomagicwrap 软件，该软件拥有强大的算法，可对海量点云数据进行精确分析。



图2 点云数据技术

以两个典型拼接为例。一处位于扫描对象顶部，此区域结构复杂，细节丰富。手持三维激光扫描仪凭借其灵活性，从多个角度贴近扫描，获取精细的局部数据；地面三维激光扫描仪则从稳定位置对整体进行扫描，把控宏观形态。将两者数据导入软件拼接后分析，发现大部分点云的偏差在极小范围内。经测量，95%的点云偏差集中在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内，仅有极少部分点云偏差最大达到 1mm 。

另一处位于扫描对象右下方，尽管实地扫描空间狭窄，但两种扫描仪依然发挥了各自优势。手持扫描仪在有限空间内灵活调整角度，地面扫描仪则在合适位置提供相对完整的周边数据。拼接后的偏差分析显示，90%的点云偏差在 $\pm 0.6\text{mm}$ 之间，最大偏差为 1.2mm 。

根据偏差分析图，绝大部分点云都集中在中心偏差极小区域，表明整体拼接效果良好。对于极小部分偏差稍大的点云，在文化遗产保护与修复的精度要求下，仍属正常范围。高精度的点云数据拼接，为文化遗产的数字化存档、虚拟展示以及后续的精准修复提供了坚实的数据支撑，有力地推动了文化遗产保护与修复工作的开展。

3.2 点云数据处理

在文化遗产保护与修复工作中，多测站点云数据经过拼接和坐标转换后，能获得整个测区完整的点云数据。然而，三维激光扫描仪在采集点云数据时，会出现不同情况影响数据质量与后续建模精度。数据中可能存在因被其他物体遮挡而产生的不属于扫描物体本身的冗余数据，这类数据若不处理，会增加数据量，降低处理效率，影响模型精度。为更直观且便捷地建立三维建模，并提高模型精度，必须对所采集的点云数据进行相关处理，具体策略如下：

3.2.1 预处理

在 Cyclone 软件中对已拼接的点云数据进行预处理，通过人机交互的方式实现。操作人员依据文化遗产的实际形态与结构特点，仔细识别并标记出明显错误或不合理的点云数据。例如，在对一座古建筑进行扫描后，发现部分点云数据偏离建筑主体较远，经判断为扫描过程中受到周边临时搭建物干扰所产生，此时，操作人员可利用软件工具，框选这些异常点云数据并删除。一般来说，经过初步的预处理，可去除约 10% - 15% 的明显错误数据，有效提升数据的整体质量。

3.2.2 点着色

将 .XYZ 格式的数据导入 geomagicwrap 软件中，由于点云数据在软件中默认显示为黑色，不利于直观区分和分析不同部位的数据。因此，需要根据文化遗产各部分的材质、纹理等特征进行点着色，比如，对于古建筑的木质结构部分，可将其点云数据设置为棕色；砖石结构部分设置为灰色。通过这种方式，能更清晰地识别不同结构区域，方便后续的建模操作。在实际操作中，大约每 10000 个点为一组进行颜色设置，确保颜色过渡自然，便于观察。

3.2.3 删除体外弧点

点云数据中存在大量的非建模区域点云数据，如树木、山体等，这些体外弧点与文化遗产本身无关，会干扰建模工作，利用软件的过滤功能，设定合适的过滤条件，如距离阈值、角度阈值等。以古迹遗址扫描数据为例，设定距离古迹主体超过 5 米的点云数据为体外弧点进行删除，经过这一步处理，可去除约 20% - 30% 的体外弧点，使点云数据更加聚焦于文化遗产本身^[1]。

3.2.4 去除噪声点

三维激光扫描仪在数据采集过程中会产生随机误差，在对象表面产生很多粗糙的噪声点。为有效去除噪声点，尽可能保留模型的细节特征，可以将平滑级别调低，如设置为 2 - 3 级（软件平滑级别通常为 1 - 5 级），反复进行减噪工序。每次减噪后，观察点云数据的变化情况，确保模型的关键特征不被过度平滑，经过多次反复处理，可使噪声点减少