

公路水毁三维激光应急调查与建模

马李斌, 凌茜如, 李文博, 谢佳妮, 白雪

(长安大学, 陕西 西安 710021)

摘要 山区道路水毁冲失发生后, 由于公路断道, 抢险救灾的车辆、设备无法第一时间进入灾区, 往往使得人员伤亡、经济损失不断扩大。应用三维激光扫描技术, 可以实时、快速、精准、高效、简单地形成路基水毁的三维模型, 同时可以根据需要搭配多种套件, 包括背包套件、车载套件、无人机套件、采用快速拆卸式设计, 使工作应用方式无缝切换。经过数字化设计将快速预制模块结构运至灾害现场, 从而对水毁路基进行快速修复。对于灾情来说, 每一秒都是与时间赛跑的黄金时间, 必须在 24 小时内快速抢通水毁路段, 使救援快速通过。因此, 此项目的研究目的是开展快速修复, 以缩短交通恢复的时间, 使人员伤亡和经济损失降到最低程度。

关键词 公路水毁; 三维激光; 应急调查; 建模

基金项目: 长安大学 2023 年国家级大学生创新创业训练计划项目资助“公路水毁三维激光应急调查与建模”(S202310710131)。

中图分类号: TN24

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2024)01-0007-03

1 研究背景

近些年, 我国公路建设取得了显著成就, 但仍存在很多问题需要解决。鉴于我国的地域广袤, 地质环境复杂多变, 暴雨和洪水对公路建设造成了严重的破坏, 其中最为突出的就是路基水毁。由于暴雨、洪水等对路基的冲刷侵蚀, 极有可能造成路基水毁, 从而中断交通, 危及行车安全, 造成巨大损失。本文主要针对此现象, 研究快速抢通水毁路基, 通过三维激光扫描技术, 快速形成三维水毁形态图, 根据数字化模块设计, 应用快通预制模块对水毁路基进行修复。从而达到快速抢通水毁路基的目的。^[1]自 2010 年起, 由于公共道路破坏所带来的巨额财政损失已突破百亿元, 而且这些破坏的维护和恢复所需的金额也已超出了 10 亿元。为了解决这一问题, 对于山区道路的破坏和维护有着非常重大的实际意义。近年来, 在山区公路水毁防疫减灾领域, 全球各地的专家们都取得了丰硕的科技贡献。唐红梅和陈远川就西南地区的区域水灾情况展开了系统的调查和分区; Falcone Rra 则着重探讨了沿河公路水毁致灾机理, 并且还开展了区域性公路水毁风险的系统评估。近年来, 随着公路路基水毁灾害的持续加剧, 相关的研究和探索取得了长足的进步, 从而解决了传统的支撑结构, 例如丁坝、挡土墙等, 还有更加先进的应急处置措施, 都取得了显著的成效^[2]。李小明和陈洪凯为解决公路路基水毁冲失带来的安全隐患, 提供了一套紧急锚拉框架, 以及一系列针对山

区公路路段的应急处置措施, 以有效地防止公路路基受损, 保障公众安全^[3]。Chinchiolo J 等为了解决道路边坡的紧急情况, 提供了一套全新的解决方案, 并采用先进的技术。由于气候变化的加剧, 许多地区的山区公路面临着严峻的挑战。尽管已有许多高新技术可以帮助这些地区恢复交通, 但目前的应急修理科技仍然无法完全解决这些问题^[4]。因此, 我们必须寻找更有效的解决办法来确保这些地区的平安和通畅。伴随技术发展, 三维激光扫描科技也取得了长足的改善^[5]。GoSLAM 移动测量控制系统利用即时位置与建图信息技术, 无需 GPS 或其他 GNSS 定位, 可以实现室内、户外和其他复杂环境的位置和三维建图。GoSLAM 的产品以其出色的功率和灵活的操作方式著称, 它搭载了一个可以调整的旋转式激光测头, 可以提供 120m 的射程, 并且可以在短时间内收集 32 万点数据, 而且它还可以实现 360 度 * 285 度的极佳视野, 其中的点精度更是达到了 1cm。采用 RTD 数字结算方法, SLAM 解算能够迅速响应, 不再需要耗费大量的精力来完成扫描操作^[6]。

此外, 华测导航监测集成事业部充分利用在地质灾害监测方面的技术积累, 建立了一套科学完善的地质灾害监测预警平台, 实现了地质灾害防治管理的科学化、信息化、标准化和可视化。华测导航旗下的 AA10 航测系统是华测导航自主研发的新一代智能航测解决方案, 它以“高性能、轻量化、智能化”为设计理念, 可广泛应用于地形测绘、工程勘测、矿山测量等领域,

而且 CoPre 和 CoProcess 两个数据处理软件能够提供及时的预测和分析, 用户还能够随意访问点云数据, 并且拥有各种不同的查看和操控功能, 从而满足用户对于高效率的要求。

2 三维激光扫描仪工作原理

激光扫描控制系统具有强大的功能, 可以快速、准确地测量物体的位置。它包含了激光测距、扫描操作、仪器操纵、校准以及 CCD 技能。这篇文章所用的三维激光扫描仪可以准确地测量出物体的精度。该仪器的激光源会在物体的表面产生一个激光脉冲, 然后这个脉动会在物体的接收端产生一个信号, 最终可以测出物体和扫描仪之间的距离 S 。通过采用高性能的时钟控制编码器, 我们可以实现对每条激光脉冲的垂直、水平、水平、水平、倾斜三维位置的实时监测, 进而获取三维坐标 (采用扫描仪里面的坐标系统, 如图 1), 并利用方程进行运算^[7]。

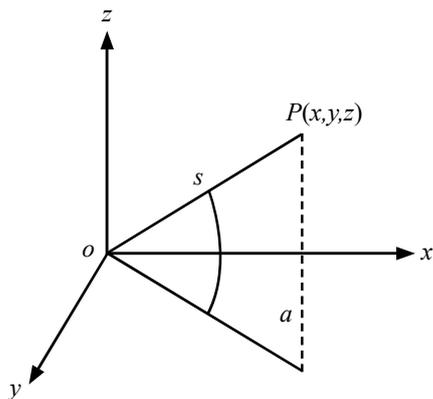


图 1 扫描仪内部坐标系

图 1 显示了三个不同的轴, 其中 X 轴沿着横向坐标系延伸, Y 轴沿着纵向扫描线延伸, 而 Z 轴则与横向扫描面完全平行。

$$\begin{cases} X = S \cos \theta \cos \alpha \\ Y = S \cos \theta \sin \alpha \\ Z = S \sin \theta \end{cases}$$

X、Y、Z 代表着三维空间坐标, 它们是用来衡量 P 位置的, 而 S 则是用来衡量扫描器到该位置的参数的。此外, α 、 θ 则是用来衡量每一条激光脉冲的垂直或水平方位的视觉参数^[8]。

3 技术难点以及重点

相较于传统应对水毁灾害的填补方法, 本项目创新性地使用了三维激光扫描技术构建三维水毁形态, 力求在短时间内能够建立一个精准的水毁体数字模块。与以往从单一方向获取单位数据的方法不同的是,

我们借助无人机采取了水毁体上下协调获取一体化三维数据, 既可以精确计算出塌陷的体积, 又能获得周边路面的体积。为了确保水毁路段的安全, 我们将在其周围建立监测点, 并利用先进的定位技术, 实时收集地表位移数据, 以便及时采取有效措施。在此基础上, 本项目难点以及重点体现在以下几个方面^[9]。

第一, 如何利用三维激光扫描技术扫描出来的点云数据形成完整地形? 地形是复杂的, 且水毁灾害存在不确定性, 无法完全确定灾害形态是否会变化, 利用三维激光扫描技术扫描出来的部分数据能否准确反映水毁后公路的稳定形态是一大问题^[10]。

第二, 扫描角度。如果扫描角度不正确会很难形成对后期修复有效的图形, 例如单纯用固定仪器扫描只能形成一个角度的数据成像, 不能全面形成被毁坏的地形。

第三, 如何透过水和松散堆积物形成准确地形图? 液体的掩盖和松散堆积物的滑落会影响三维激光扫描的地形结果, 如何进行最终地形矫正也是一个问题。

4 实施方案

4.1 公路水毁外业数据采集

在开展公路水毁测试前, 应当全面评估该测试区的环境条件, 精准安排扫描仪与标靶的位置。为了更好地反映出实际情况, 应当精心挑选合适的测点, 并且在采集的过程中, 应当注意避免重复采集, 从而节省大量的原始信息。此外, 在采集过程中, 也应当对该测试区的地貌、特征等进行拍摄, 以便后期的数据分析与地形图制作。在进行一次全面的检查之后, 我们需要确定有多少个目标需要检查。通过精确的扫描, 我们可以从控制标靶区域中挑选出一些点, 并为它们设置独特的标识, 最终, 我们可以确定这些点的中心位置。

4.2 点云数据配准

地面三维激光扫描仪一次扫描只能取得测区局部的资料, 想要取得测区完整的三维资料, 通常必须从各个的地方经过几次扫描, 每一次扫描取得的资料都处在以当前测站为原点定义的某个局部坐标系中。为此, 必须在扫描范围中配置若干监控标靶, 才能允许同一的扫描点云图有 3 个或更多的同名监控标靶, 利用同名监控标靶将扫描点云资料整合到同一个坐标系下, 这个步骤被称为点云资料的配准。配准的基本方式有两种: 比较方法, 该方法以某一扫描站的坐标系为基础, 其余各站的坐标系统都转移到该站的坐标系下, 比较方法扫描时只要求在各个站中间共用 3 个

上述同名标靶才能达到坐标统一,它不要求计算标靶的绝对值坐标,其重新统一后的坐标是在某一扫描站坐标系统下的坐标,但一旦持续传输的站数较多,则极易形成较大的传递误差确定方法,这是一类将扫描仪和常规测定紧密结合的方法,其每站的标靶坐标是采用全站仪或任何仪器设备精确测量,直观地得出标靶的绝对值坐标(如工程坐标系中的坐标)。配准时,各测站都垂直切换到一致的绝对坐标系中。这个方法不出现多站坐标系变换的传输错误,其总体精确度一致。在地形测绘中,绝对坐标系和相对坐标系通常是常用的方法。但是,如果要更精确地进行测量,可以考虑将它们结合起来。在较小的范围内,应该使用相对坐标系,然后再将它们统一到绝对坐标系中^[11]。

4.3 地物的提取与绘制

通过使用点云技术,我们能够从已经精确匹配的点云信息中自动获得各种物体特征点,例如建筑物的边缘点和电线杆上的点。此外,我们还能使用三维激光扫描技术,例如 Leica 公司推荐的 Cyclone 软件,从点云信息中自动获得物体特征点,然后将其转换为文字形态存储。使用特定格式的文档,如 /PointNumber、Feature Code、EN、H0,就能够轻松地将地物绘制在大型数字测量仪器(如 CASS)上。

4.4 地貌数据获取

三维激光扫描技术可用来获取全局的空间信息,其中涵盖了地表的各种特征。然而,由于地物和树种的存在,使得自动绘制等高线变得困难。为解决这一问题,目前尚未开发出一种可以进行自动清理的系统,来去除不符合地貌特征的点云数据。使用华测导航旗下的 CoPre 和 CoProcess,我们可以有效地去除不符合实际情况的点云数据。

4.5 等高线生成

通常情况下,在进行地面三维激光扫描时,我们需要使用更加精确的方法,因此,在这种情况下,我们需要使用更加稀疏的点,以便更好地捕捉和处理周围的环境。为了更好地描述景观,我们通常会对去掉不必要的影响的点云数据采取更严格的分类处理。这样,我们就能够更准确地描述景观,并且能够更快速地在按比例尺的数字测量软件上创建出准确的等高线。

4.6 自动生成等高线

通过地形图编辑,可以将地物图像转换为平面、梯度、波浪状的复杂图像,而在这个过程中,如果去掉一些重要的信息,可能会导致原有的平面出现凹凸、变化、不平整的情况,这时候就必须根据实际情况,

通过人工干预来调整。通过添加高程标志,构建出完美的轮廓,并对其进行精心装点,以达到完美的效果。

5 结语

本文阐述了公路水毁的灾害,在此基础上利用三维激光进行建模,主要阐述了三维建模的基本原理以及在此基础上建立的步骤和方法,并且在此过程中给出了建模的步骤和方法,本项目最大的特色在于能够及时、有效地获取三维数据,建立起一个数字模块,甚至构建起一部分区域的数字地形,在灾害初期就能知道后续救灾过程中所需要的各类材料用量,为之后的救灾提供精准的数据支撑。

参考文献:

- [1] 高跃伟. 三维激光扫描技术在深基坑监测中的应用研究 [J]. 测绘与勘探, 2020, 02(02): 2-3.
- [2] 郭祥, 徐德义, 姚凌青, 等. 基于三维激光扫描技术的地层建模与可视化 [C]// 国际数学地球科学协会中国国家委员会, 中国地质学会数学地质和地学信息专业委员会, 中国地质调查局, 国家自然科学基金委员会, 国际数学地球科学协会, 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 中国地质大学资源学院, 加拿大约克大学地球空间科学与工程系, 中国地质大学经济管理学院, 2009.
- [3] 钟若飞, 宫辉力, 赵文吉, 等. 车载三维激光移动建模与测量系统研制的进展 [C]// 中国地理学会 (The Geographical Society of China). 北京: 首都师范大学, 2009.
- [4] 林国庆. 基于地面三维激光扫描仪的危岩体建模研究 [J]. 现代测绘, 2016, 39(02): 12-14, 17.
- [5] 王灿辉, 肖坤洪, 陈鑫, 等. 基于地面激光点云的三维实景树木模型重建 [J]. 测绘, 2023, 46(03): 119-124.
- [6] 汪金花, 张亚静, 李玉萍. 三维 GIS 井下应急演练与救援机理的建模与研究 [J]. 矿业安全与环保, 2012, 39(05): 43-45.
- [7] 罗广强, 雷阳, 于正兴, 等. 复杂形态井巷工程三维激光扫描与 MIDAS-FLAC~(3D) 耦合建模稳定性分析研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(11): 31-35.
- [8] 米元桃, 罗箱陇, 丁钊, 等. 基于三维激光扫描和无人机航空摄影的水电站高边坡建模技术研究——以叶巴滩水电站为例 [J]. 四川水利, 2023, 44(04): 22-28.
- [9] 曾如铁. 三维激光扫描的点云数据处理与建模研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2019.
- [10] 叶子玉. 基于三维激光扫描技术的变电站精细建模技术研究与应用 [J]. 农村电气化, 2023(02): 35-39.
- [11] 张昕, 康光清, 冯洋, 等. 基于倾斜摄影与地面激光扫描技术的三维实景建模 [J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(S1): 287-290.