

# 激光扫描技术在公路路面质量检测中的应用与优化

田种粮<sup>1</sup> 任吉飞<sup>2</sup>

1. 潍坊天马工程质量检测有限公司; 2. 山东泰丰建设工程质量检测有限公司

**摘要:** 公路作为交通运输的重要组成部分,其质量状况直接影响着行车安全和道路可持续性。然而,传统的公路路面质量检测方法存在着一系列问题,如精度不足、效率低下等,迫切需要一种更先进、高效的技术来提高公路质量监测的水平。为了解决这些问题,激光扫描技术应运而生,激光扫描技术通过激光雷达等设备高效获取路面的三维数据,具有高精度、高效率的特点,能够更全面、客观地反映公路路面的实际情况。本文旨在深入探讨激光扫描技术在公路路面质量检测中的应用,并提出优化策略以充分发挥其潜力,以供参考。

**关键词:** 激光扫描技术; 公路路面; 质量检测; 应用; 优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.08.061

## 一、公路路面质量的重要性

公路路面质量是保障交通安全的基础,不良的路面条件如坑洼、裂缝、凹凸不平等问题,容易导致车辆失控、刹车失灵等交通事故,良好的路面质量有助于减少事故发生的可能性,提高道路的安全性。不良的路面条件会对行驶在上面的车辆造成额外的磨损,不仅增加了车辆维护成本,还会缩短车辆的使用寿命,良好的路面质量可以减少车辆的磨损,降低交通运输的整体成本。公路路面质量直接关系到车辆的行驶速度和道路的通畅程度,良好的路面能够提高车辆的行驶舒适度减少行车阻力,从而提高交通效率,减缓交通拥堵的发生。公路是连接城市、乡村和各个产业区的重要交通枢纽,良好的公路路面质量有助于顺畅的货物运输,促进经济的发展,相反,不良的路面条件可能导致货物损坏、延误,对地区经济造成不利影响。不良的路面状况会导致车辆燃油消耗增加,进而增加尾气排放,对环境产生负面影响,良好的路面质量有助于减少车辆的能耗,降低环境污染。

## 二、传统检测方法存在的问题与不足

传统的路面质量检测通常依赖于人工巡检和评估,使检测结果容易受到人为主观因素的影响,不同的巡检员可能会有不同的判断标准,导致结果的不一致性和不准确性。传统的目视检查和手动测试方法受限于人眼和手工工具的限制,无法提供高精度的路面质量信息,这对于细小的裂缝、微观的凹凸等问题可能难以准确识别,造成质量检测结果的不精确。由于传统方法需要人力巡检,其工作效率较低,特别是在大范围的道路网络中,花费大量的时间和人力进行检测会导致高昂的成本

和低效的维护响应速度。传统检测方法通常是定期进行的,会使路面质量问题在检测周期内不被及时发现,因此,会存在一段时间内道路质量问题未得到有效监测和处理。传统的检测方法生成的数据量大,且需要经过繁琐的人工处理,不仅增加了数据处理的难度,还降低了结果的准确性。

## 三、激光扫描技术

### (一) 基本原理

激光扫描技术基于激光雷达原理,通过发射激光束并测量其在目标表面的反射时间,从而获取目标表面的三维坐标信息。设备发射激光束,激光束照射到目标表面并反射回激光扫描设备,通过测量激光束从发射到反射再到接收所经历的时间,利用光速计算出激光束在空间中的距离。扫描仪通常配备一个旋转的镜子或激光发射器,使激光束沿着水平和垂直方向扫描,从而实现全方位的数据采集,收集到的距离数据与扫描仪的位置信息融合,生成目标表面的三维点云数据。

### (二) 技术特点

激光扫描技术能够提供亚毫米级别的空间分辨率具有极高的测量精度,可用于捕捉目标表面的微小细节。由于扫描仪的高速旋转和激光束的快速测量,激光扫描技术能够在短时间内迅速采集大量的三维点云数据。激光扫描是一种非接触式的测量方法,无须与目标表面直接接触,避免了传统方法中可能存在的人为干扰和安全风险。扫描仪的旋转使其能够在水平和垂直方向上覆盖全方位的目标表面,确保获取到完整的三维数据。

### (三) 激光扫描技术在公路应用中的前景

激光扫描技术可用于实时监测公路路面的平整度、裂缝、坑洼等问题,为及时的路面维护提供准确的数据支持。在公路工程设计和规划中,激光扫描技术可以提供详细的地形和道路信息,帮助设计师更精准地进行设计和规划。通过获取公路周边环境的三维数据,激光扫描技术有助于进行交通流分析、道路改建规划等,提高交通管理的科学性和精确性。激光扫描技术可用于监测自然灾害对公路的影响,如滑坡、泥石流等,提供灾害发生前后的地形信息,为灾害管理提供支持。激光扫描技术在公路领域的应用前景广阔,其高精度、快速数据采集和全方位覆盖的特点使其成为现代公路工程和管理中不可或缺的工具。

## 四、公路路面质量检测需求分析

### (一) 当前公路质量问题

公路长时间的使用和恶劣天气条件会导致路面老化

和磨损,表现为裂缝、坑洼等问题,影响行车安全和驾驶舒适度。随着车辆数量和负荷的不断增加,公路面临更大的压力,会导致路基沉降、沥青层破损等问题。地质灾害如地震、山体滑坡等会对公路造成严重影响,导致路基沉降、裂缝等问题。同时,气候变化引发的极端天气条件也会导致路面温差剧烈变化,影响路面材料的稳定性和耐久性。

### (二) 对公路质量监测的需求和期望

实时监测需求需要能够实时监测公路路面的质量状况,及时发现问题并采取相应的维护措施,以提高道路的安全性和可靠性。对于质量监测需要高精度的数据,能够准确地反映路面的细微变化,包括裂缝、坑洼、凹凸等问题。公路系统庞大,需要一种能够全面覆盖公路网络的监测手段,以确保每一段路面都能被及时监测到。通过科技手段降低人工巡检的主观性,提高检测结果的客观性和准确性,同时,需要预测性的维护方案,而不仅仅是在问题出现后进行修复,以最大限度地延长公路的使用寿命。

## 五、激光扫描技术在公路路面质量检测中的应用

### (一) 数据采集与处理

激光扫描数据的获取主要依赖于激光扫描仪器,其选择和配置直接影响数据质量和采集效率,常用的激光扫描仪器包括激光雷达和激光测距仪,具有不同的扫描角度、分辨率和测量范围。使用全球定位系统(GPS)和惯性导航系统(INS)等定位设备,确保激光扫描仪器获取的数据与地理坐标关联。通过调整激光扫描仪器的扫描角度和频率实现对目标表面的高密度扫描,以获取更详细的三维点云数据。确保激光扫描仪器、定位系统和其他相关设备之间的数据采集是同步的,以避免数据不一致性和混淆。

通过滤波算法去除激光扫描数据中的噪声,以提高数据质量,对多次扫描得到的点云数据进行配准,确保它们在同一坐标系下,以便进行后续分析。采用算法识别和提取路面点云以便后续的路面质量分析,通过算法检测点云中的裂缝特征识别路面裂缝问题。利用点云数据的高程信息,分析路面的坑洼情况,评估路面平整度,通过比较不同时间点的点云数据,检测路面的变形情况,预测可能的损坏和维护需求。利用三维点云数据进行可视化展示,以直观呈现路面的实际情况,生成路面质量报告包括问题的位置、类型、严重程度等信息,为决策提供可视化和直观的支持。利用高性能计算和实时处理技术,实现对激光扫描数据的实时处理,及时反馈路面质量情况。建立路面质量监测的报警系统,通过设定预警阈值,及时通知相关部门进行维护,提高公路维护的响应速度。

### (二) 路面缺陷检测

激光扫描技术生成高密度的三维点云数据,提供了

大量的细微地表特征信息,有助于裂缝的细节检测。利用点云数据的曲率信息,可以识别出路面上的裂缝区域,因为裂缝通常导致表面曲率的变化。结合激光扫描生成的图像信息,通过图像处理技术提取纹理信息有助于裂缝的识别和分析。利用形态学操作如腐蚀和膨胀,可以对点云或图像进行处理,突出裂缝的特征。利用激光扫描数据中的高程信息,分析路面上的高程差异,以检测凹凸不平的区域,通过计算点云数据的坡度可以识别路面的倾斜和不平情况。利用曲面拟合算法,将点云数据拟合成平面或曲面模型,以便更精确地分析路面的平整度,将点云数据转化为体素网格,通过对体素网格的分析,可以检测路面的起伏和不平整。

激光扫描技术能够提供亚毫米级别的测量精度,对于检测细小裂缝和微小高程变化具有明显优势。生成的三维点云数据密度大,能够捕捉到路面的丰富细节,有助于对凹凸不平和裂缝等问题的准确检测。激光扫描仪器的旋转和扫描机制使其能够全方位覆盖目标区域,确保数据采集的全面性避免死角。激光扫描技术无须直接接触路面,避免了传统方法中可能引入的测量误差,提高了检测的精确性。激光扫描技术能够在短时间内迅速采集大量的点云数据,提高了数据采集的效率,有助于实时监测和快速反馈。结合高性能计算和实时处理技术,激光扫描技术可以实现对数据的实时处理,有助于及时发现路面缺陷并采取相应措施。

### (三) 数据可视化与分析

三维可视化利用三维点云数据,通过可视化工具如点云查看器或虚拟现实技术,呈现道路表面的凹凸、裂缝等细节,可以通过旋转、缩放等方式自由查看整个路段的三维形状。使用颜色映射来表示点云数据的属性,例如高度信息、曲率等,通过颜色编码,可以更直观地理解路面的各个部分的特征。将检测到的路面缺陷以标记或标签的方式添加到可视化中,能够清晰地看到问题区域,这有助于路面维护人员更准确地定位和解决问题。将不同时间或不同路段的扫描结果进行对比,以检测路面变化并评估道路质量的演化趋势。

为了定量评估路面质量,可以制定一系列的评估指标,这些指标可以基于激光扫描点云数据的特征进行计算,用于量化路面的平整性、缺陷程度等。平整度指标包括均方根误差和均方误差,用于衡量实际路面与理想平面之间的高程差异。通过计算点云数据的曲率,可以评估路面的弯曲程度,进而揭示潜在的问题区域。统计单位面积内的缺陷点数量,用于量化路面上的裂缝、坑洞等缺陷的密度。结合多个指标综合考虑路面的各类损伤,以得到更全面的路面质量评估。通过制定明确的评估指标,可以帮助公路管理部门更科学、客观地评估路面质量,制定合理的维护计划。

## 六、优化激光扫描技术在公路路面质量检测中的应用

### (一) 数据准确性提升

一是, 传感器校准。激光扫描仪器校准通过对激光扫描仪器内部参数进行校准, 包括激光束的水平和垂直角度, 以确保测量的准确性。校准激光扫描仪器与定位系统之间的外部参数, 如位置和姿态, 以保证获取的点云数据能够准确映射到地理坐标系统中。定位系统校准可以校准全球定位系统(GPS)的误差, 考虑大气层延迟等因素, 提高定位精度。还可以校准惯性导航系统(INS)的误差, 包括加速度计和陀螺仪等传感器, 以提高定位的稳定性。

二是, 数据处理算法优化。利用统计学方法对点云数据进行滤波, 去除异常值和噪声, 提高数据的精确性, 利用形态学操作对点云进行滤波处理, 使得数据更符合实际地形特征。通过优化特征提取算法, 识别并提取点云中的关键特征, 如裂缝、坑洼等, 以提高检测准确性, 开发自适应算法, 根据不同的地形和路面情况调整参数以适应不同场景的数据处理需求。提高多次扫描数据的配准精度, 确保不同时间点的点云数据能够准确对齐, 以便进行时间序列分析。在需要的情况下进行点云重采样, 平衡数据密度和分辨率以满足特定的分析要求。利用并行计算技术, 优化实时处理算法, 提高数据处理的速度和效率, 开发流式处理算法, 能够在数据采集的同时进行实时处理, 减少后期处理的时间成本。

### (二) 实时监测与反馈

利用多核处理器进行并行计算, 将数据分成多个部分同时处理, 提高数据处理的速度, 使用图形处理单元(GPU)进行并行计算, 加速点云数据的处理过程, 实现实时性要求。利用实时处理的结果, 生成三维点云的实时可视化, 使监测人员能够直观地观察到路面的实时状况, 提供动态图表展示实时数据的变化趋势, 以使用户能够迅速了解路面质量的动态变化。在监测系统中设定预设的阈值, 一旦检测到路面质量超过设定的阈值, 即触发报警, 同时, 设计报警通知系统通过短信、邮件等方式实时通知相关维护人员, 以便及时采取应对措施。结合实时监测数据和历史数据, 开发智能决策系统, 能够自动分析路面质量问题, 提供针对性的建议和决策支持。基于实时监测结果自动生成维护计划, 提供维护工作的优先级和时程, 提高维护工作的效率。将实时监测数据实时存储, 以便后续分析和历史回溯, 提供数据回放功能, 使用户能够回溯到特定时间点, 分析历史数据和实时数据的差异, 进一步优化监测策略。通过实时数据处理和实时结果反馈与报警系统, 可以实现对公路路面质量的及时监测和管理, 这样的实时监测体系不仅提高了问题的发现速度, 还为维护决策提供了及时、准确的信息, 有助于降低维护成本、提高道路使用

寿命和交通安全性。

### (三) 成本效益分析

一是, 设备投资与维护成本。高精度、高性能的激光扫描仪器会需要较大的初次投资, 不同品牌和型号的扫描仪器具有不同的价格, 因此在选择时需权衡成本与性能。使用全球定位系统(GPS)和惯性导航系统(INS)需要相应的设备投资, 高精度的定位系统能提高监测的准确性, 但可能增加投资成本。激光扫描仪器和定位系统需要定期校准和维护, 以确保其性能和精度, 维护涉及专业技术人员和设备, 带来一定的维护成本。长时间的使用会导致设备的损耗, 有时需要更换零部件或更新设备, 这也会带来一定的维护成本。二是, 长期效益与节约。激光扫描技术能够实现对路面质量的实时监测, 有助于及时发现问题提高了维护的效率, 实时监测结果提供了更精准的路面质量信息, 使得维护人员可以有针对性地进行修复, 避免了不必要的维护工作。实时监测为预防性维护提供了基础, 可以在问题加剧之前采取措施, 减少维护成本, 实时监测数据的准确性和可靠性提高了决策的科学性, 使得维护决策更为合理, 避免了不必要的开支。及时维护和修复路面问题, 能够减缓道路老化速度延长道路的使用寿命。及时发现并修复路面缺陷有助于提高道路的安全性, 减少交通事故和相关的经济损失。实时监测数据可帮助决策者更精确地优化资源分配, 使得维护资源得以更有效地利用, 及时监测和预测能够降低应急维护的成本, 避免因突发问题而引起的高额维护费用。

## 七、结论

综上所述, 激光扫描技术在公路路面质量检测中具有广阔的应用前景, 但仍面临一些挑战, 如复杂环境下的数据干扰和算法的优化。未来, 可以进一步探索新一代激光扫描仪的应用、深度学习技术在缺陷检测中的发展等方向, 以不断提升公路路面质量检测的精度和效率。将有助于公路管理部门制定更科学的维护计划, 确保道路的安全和可持续发展。

### 参考文献

- [1] 张莞玲, 赵莲莲. 基于三维激光扫描的公路沉降监测研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2022, (05): 74-78.
- [2] 倪飞, 王浩丞, 杨艺卓, 杨小波. 三维激光扫描技术在高速公路运行非接触式变形监测中的应用[J]. 测绘通报, 2021, (03): 164-166.
- [3] 成枢, 朱玉明, 牛英杰, 董加江. 三维激光扫描技术在高速公路沉降监测中的应用[J]. 矿山测量, 2020, 48(03): 20-23+40.
- [4] 牛英杰. 三维激光扫描技术在高速公路沉降监测中的应用[D]. 山东科技大学, 2019.