

道路数据化采集过程中的误差来源及控制方法研究

余帆 王伟涛

新疆公路桥梁试验检测中心有限责任公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 831400

摘要: 随着智能交通体系的快速发展, 道路数据化采集作为交通基础设施数字化转型的核心环节, 其数据精度直接影响道路设计优化、养护决策制定及交通管控效率。本文以道路数据化采集全流程为研究对象, 系统梳理采集过程中的主要误差来源, 从仪器设备、环境因素、操作流程及数据处理四个维度展开深入分析; 在此基础上, 针对性提出对应的误差控制方法, 包括仪器校准优化、环境干扰规避、操作规范标准化及数据处理算法改进等。通过对误差来源的精准识别与控制方法的科学应用, 为提升道路数据化采集精度提供理论支撑与实践参考, 助力道路工程数字化水平的进一步提升。

关键词: 道路数据化采集; 误差来源; 控制方法

Research on Error Sources and Control Methods in Road Data Acquisition

Yu Fan, Wang Weitao

Xinjiang Highway and Bridge Testing and Inspection Center Co., Ltd., China Xinjiang Urumuqi 831400

Abstract: With the rapid development of intelligent transportation systems, road data acquisition has become a critical component in the digital transformation of transportation infrastructure. The accuracy of this data directly impacts road design optimization, maintenance decision-making, and traffic management efficiency. This study examines the entire road data acquisition process, systematically identifying primary error sources and conducting in-depth analysis from four dimensions: instrumentation, environmental factors, operational procedures, and data processing. Based on this analysis, targeted error control methods are proposed, including instrument calibration optimization, environmental interference mitigation, standardized operational protocols, and improved data processing algorithms. By accurately identifying error sources and scientifically applying control methods, this research provides theoretical support and practical references for enhancing road data acquisition precision, thereby advancing the digitalization of road engineering.

Keywords: Road data acquisition; Error sources; Control methods

0 引言

在数字化浪潮推动下, 道路工程领域正逐步实现从传统经验型管理向数据驱动型管理的转型。道路数据化采集通过整合 GNSS 定位、激光扫描、高清影像拍摄等先进技术, 能够精准获取道路几何参数、路面病害信息、周边环境特征等多维度数据, 为道路规划设计、施工质量管控、养护维修决策及智能交通系统建设提供核心数据支撑。然而, 在实际采集过程中, 受多种内外部因素影响, 采集数据不可避免地存在误差。若误差超出允许范围, 将导致后续数据应用结果失真, 如道路养护方案制定不合理、智能交通管控决策偏差等, 进而造成资源浪费与安全隐患。因此, 系统研究道路数据化采集过程中的误差来源, 构建科学有效的误差控制体系, 对于提升道路数据质量、保障数字化应用效果具有重要的理论与

实践意义。

1 道路数据化采集核心流程与关键技术

1.1 采集核心流程

道路数据化采集是一个系统性过程, 其核心流程主要包括前期准备、现场采集、数据预处理、数据校验与输出四个阶段。前期准备阶段主要完成采集方案制定、设备选型与校准、测区勘察与控制点布设等工作; 现场采集阶段通过移动测量车(多功能路况快速检测车、单轮横向力系数测定仪、落锤式弯沉仪、三维雷达检测车等)、无人机、手持采集设备等载体, 结合 GNSS、激光雷达、高清相机等传感器获取道路相关数据; 数据预处理阶段对采集的原始数据进行去噪、拼接、格式转换等处理; 数据校验与输出阶段对处理后的数据进行精度验证, 合格后形成标准化数据成果供后续应用。

1.2 关键采集技术

当前道路数据化采集的关键技术主要包括：一是GNSS定位技术，通过卫星信号实现采集设备的精准定位，为道路数据提供空间坐标基准，常用于道路中线位置、里程桩号等数据的采集；二是激光扫描技术，利用激光脉冲快速获取道路表面三维点云数据，可精准提取路面平整度、构造深度、道路横断面尺寸等参数；三是高清影像采集技术，通过高清相机拍摄道路表面及周边环境影像，结合图像识别技术实现路面病害（如裂缝、坑槽）的自动检测；四是移动测量技术，将多种传感器集成于移动车辆上，实现道路数据的快速、连续采集，大幅提升采集效率。

2 道路数据化采集过程中的误差来源分析

2.1 仪器设备误差

仪器设备误差是道路数据化采集误差的主要来源之一，源于采集设备本身的精度限制、性能衰减及设备间协同偏差，具体可分为以下几类：一是传感器固有误差，如激光雷达的测距精度误差、GNSS接收机的定位精度误差、高清相机的像素畸变误差等，此类误差由设备制造工艺水平决定，是不可避免的系统性误差；二是设备校准偏差，若采集前未对设备进行严格校准，或校准方法不规范，将导致设备测量基准偏移，产生较大误差，如GNSS接收机未进行基准站校准、激光雷达未进行距离精度校准等；三是设备协同误差，多传感器集成采集时，各设备间的时间同步、空间坐标匹配存在偏差，如移动测量车中激光雷达与GNSS定位数据的时间不同步，将导致三维点云数据坐标偏移；四是设备性能衰减误差，随着设备使用年限增加，传感器性能逐渐衰减，如相机镜头磨损导致影像清晰度下降，激光发射模块老化导致测距精度降低等。

2.2 环境因素误差

现场采集环境的复杂多变会对采集数据精度产生显著影响，主要包括以下方面：一是气象环境误差，雨天、大雾、大风等恶劣天气会干扰传感器信号传输，如雨水会衰减激光信号强度，导致激光扫描距离误差增大；大雾会影响高清相机的成像质量，导致影像识别误差；大风会导致无人机或移动测量车抖动，影响定位与测量精度。二是地形与遮挡环境误差，山区道路的复杂地形、城市道路的高大建筑物、树木等遮挡物会干扰GNSS卫星信号，导致定位精度下降，甚至出现信号丢失现象；道路周边的强光反射（如水面、玻璃幕墙反射阳光）会干扰激光扫描与影像采集，产生虚假数据。三是电磁环境误差，道路周边的高压线路、通信基站等电磁辐射源会干扰GNSS接收机、激

光雷达等电子设备的正常工作，导致传感器信号失真，产生测量误差。

2.3 操作流程误差

操作流程的规范性直接影响采集数据精度，操作过程中的误差主要源于人为因素，具体包括：一是前期准备不充分误差，如测区控制点布设密度不足或位置不合理，导致GNSS定位校准基准不准确；采集方案制定不合理，如激光扫描的采样间距设置过大，导致路面细节数据缺失，或采样间距过小，导致数据冗余且增加误差累积风险。二是现场操作不规范误差，如采集人员操作设备时姿态不稳定，导致手持设备测量偏差；移动测量车行驶速度过快或路线偏离道路中线，导致采集数据覆盖不完整或坐标偏移；无人机飞行高度与航线规划不合理，导致影像重叠度不足或分辨率不达标。三是数据记录与标记误差，采集过程中对道路里程桩号、病害位置等关键信息的记录错误或标记偏差，导致后续数据匹配与分析误差。

2.4 数据处理误差

数据处理阶段是误差传递与放大的关键环节，其误差主要包括：一是数据预处理误差，如对原始点云数据的去噪算法选择不当，过度去噪导致道路表面细节丢失，或去噪不彻底保留虚假数据；影像拼接过程中特征点匹配错误，导致拼接后的影像出现扭曲、重叠偏差。二是数据转换与融合误差，不同格式数据间的转换过程中存在精度损失，如点云数据从三维坐标向二维道路平面坐标转换时的投影误差；多源数据（如GNSS定位数据、激光扫描数据、影像数据）融合过程中，由于各数据的坐标基准、精度等级不一致，导致融合后的数据出现偏差。三是数据后处理算法误差，如路面病害识别算法的参数设置不合理，导致病害漏检或误检；道路几何参数计算时采用的拟合算法精度不足，导致计算结果与实际值偏差较大。

3 道路数据化采集误差控制方法

3.1 仪器设备误差控制方法

针对仪器设备误差，需从设备选型、校准、维护及协同优化四个方面采取控制措施：一是科学选型与质量把控，根据采集任务的精度要求选择合适精度等级的设备，如高等级公路数据采集应选用精度等级 $\geq 1\text{cm}$ 的激光雷达和GNSS接收机；在设备采购时严格审核设备出厂精度检测报告，确保设备性能符合要求。二是规范设备校准流程，采集前制定详细的校准方案，对GNSS接收机进行基准站静态校准，确保定位基准准确；对激光雷达进行距离与角度精度校准，通过标准靶标验证校准效果；对高清相机进

行镜头畸变校准,消除成像畸变误差;校准过程中详细记录校准参数与结果,建立设备校准档案。三是加强设备日常维护与保养,定期对采集设备进行检修,及时更换老化部件,如激光发射模块、相机镜头等;设备存放于干燥、通风、无电磁干扰的环境中,避免设备性能衰减;建立设备使用台账,规范设备使用流程,减少人为损坏。四是优化多设备协同配置,采用高精度时间同步模块实现各传感器的时间同步,确保数据采集的时序一致性;通过空间坐标标定实验,建立各设备间的坐标转换关系,减少协同偏差;在采集过程中实时监测设备工作状态,及时发现并处理设备故障。

3.2 环境因素误差控制方法

环境因素误差控制的核心是规避恶劣环境、削弱环境干扰,具体措施包括:一是合理规划采集时间,避开雨天、大雾、大风、高温、强光等恶劣气象条件,选择晴朗、微风的天气进行采集;对于城市道路采集,避开交通高峰期,减少车辆振动与电磁干扰;对于山区道路采集,避开山区气流不稳定时段。二是优化采集路线与方案,针对地形与遮挡问题,在GNSS信号遮挡严重区域,增加地面控制点布设密度,采用静态测量与动态测量相结合的方式提升定位精度;对于存在强光反射的区域,调整采集设备的角度与参数,避免反射光干扰,或采用偏振镜头减少反射影响。三是采取环境干扰屏蔽措施,为电子采集设备配备电磁屏蔽罩,减少周边电磁辐射源的干扰;在无人机采集时,选择抗风性能较强的机型,并实时监测风速变化,及时调整飞行参数;在雨天应急采集时,为设备配备防水防护装置,同时缩短采集时间,减少雨水对数据的影响。

3.3 操作流程误差控制方法

通过标准化操作流程、加强人员培训与质量管控,可有效降低操作流程误差:一是制定标准化采集规范,明确前期准备、现场采集、数据记录等各环节的操作要求,如控制点布设应遵循“均匀分布、视野开阔、稳定性好”的原则,移动测量车行驶速度应控制在30-50km/h(能否改成30-60km/h,高速公路最低速度为60km/h),且需保持与道路中线平行;将采集规范发放至每一位采集人员,确保操作流程统一。二是加强采集人员专业培训,定期组织人员学习采集设备的操作方法、误差控制原理及安全注意事项,邀请设备厂家技术人员进行现场指导;开展实操培训与考核,考核合格后方可上岗,提升采集人员的操作技能与责任意识。三是建立现场质量管控机制,在采集现场安排质量监督员,实时检查采集操作的规范性,如设备

姿态、行驶路线、数据记录等;对采集的原始数据进行实时抽检,若发现数据精度不达标,及时分析原因并重新采集。四是规范数据标记与记录流程,采用电子标记方式替代人工记录,减少人为标记误差;在采集设备中集成里程桩号自动匹配功能,实现数据与道路位置的精准关联;采集完成后,对记录数据进行复核,确保关键信息准确无误。

3.4 数据处理误差控制方法

数据处理误差控制需从算法优化、流程规范、精度验证三个方面入手:一是优化数据预处理算法,根据不同类型数据的特性选择合适的去噪算法,如激光点云数据采用统计滤波去噪,影像数据采用高斯滤波去噪;在影像拼接过程中,增加特征点匹配数量并进行误匹配剔除,提升拼接精度。二是规范数据转换与融合流程,建立统一的坐标基准体系,所有采集数据均转换至同一坐标系统下;在多源数据融合前,对各数据进行精度评估,根据精度等级赋予不同的权重,采用加权融合算法减少融合偏差;选择精度损失小的数据转换格式,避免多次格式转换。三是改进数据后处理算法,针对路面病害识别、道路几何参数计算等核心任务,优化算法参数,通过大量样本训练提升算法识别与计算精度;对于关键数据成果,采用多种算法进行交叉验证,如道路中线坐标可通过GNSS数据计算与激光点云拟合两种方式验证,确保结果可靠。四是建立数据精度验证机制,制定数据精度评价指标体系,如定位精度、距离测量精度、病害识别准确率等;采用实地测量比对的方式,抽取部分数据成果与实测数据进行对比,若误差超出允许范围,返回数据处理环节重新处理,直至精度达标。

4 结语

本文系统研究了道路数据化采集过程中的误差来源及控制方法,得出以下主要结论:一是道路数据化采集误差主要来源于仪器设备、环境因素、操作流程及数据处理四个维度,各维度误差相互关联、相互影响,形成误差传递链;二是针对不同类型误差,提出了全流程误差控制方法,包括仪器科学选型与校准、环境干扰规避、操作流程标准化及数据处理算法优化等,能够有效降低各环节误差;三是实例验证表明,采用本文提出的误差控制方法后,道路数据化采集精度显著提升,定位误差、测量偏差及病害识别准确率等指标均满足工程应用要求。

参考文献:

[1] 张健. 道路移动测量系统数据误差分析与修正[J]. 测绘通报, 2020, (5): 89-92.

[2] 李娟, 王强. 激光扫描技术在道路数据集中的误差控制研究[J]. 公路交通科技, 2019, 36(8): 36-42.

[3] 刘敏, 陈峰. 城市道路数据化采集的环境干扰及应对措施[J]. 城市道桥与防洪, 2021, (7): 215-218.

[4] 王建国. 多源道路数据融合的误差控制算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2022, 58(12): 234-241.

[5] 中华人民共和国交通运输部. JTG/T E61-2014 公路路基路面现场测试规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.

作者简介: 余帆(1994.08-), 男, 汉族, 新疆乌鲁木齐, 本科, 新疆公路桥梁试验检测中心有限责任公司, 工程师, 研究方向: 道路快速数据化采集。