

信息化技术赋能路面厚度与弯沉智能检测系统设计

韩笑飞

(南京熙赢测控技术有限公司, 江苏 南京 211106)

摘要 路面厚度和弯沉作为衡量道路工程质量的关键指标, 在传统检测模式下暴露出检测效率低、数据离散、主观因素影响大等诸多弊端。本文借助信息化技术, 构建了针对路面厚度与弯沉的智能检测系统, 此系统整合了北斗定位、物联网、大数据等先进技术, 实现了检测数据的即时采集、精确分析以及动态管理。本文详细说明了系统设计所依托的技术基础和主要目标, 对硬件架构与软件模块的设计进行了深入剖析, 通过开展实验对系统性能进行验证, 以期为推动道路质量检测朝着智能化方向升级提供技术参考。

关键词 信息化技术; 路面检测; 厚度; 弯沉; 智能系统设计

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.03.010

0 引言

道路路面的质量情况对道路的使用时长以及车辆行驶的安全情况产生决定性作用, 对道路厚度以及弯沉指标开展精确检测, 是道路工程质量管控的关键步骤。以往的检测工作主要依靠人工开展, 易出现检测遗漏、判断失误等问题。随着信息化技术的发展, 如北斗定位、传感器网络等技术, 使检测工作智能化发展成为可能。所以, 对借助信息化技术赋能的检测系统设计展开深入研究, 对于提高道路质量的管控水平、削减运维方面的成本有重要的现实价值。

1 路面厚度与弯沉智能检测系统的设计基础

1.1 核心检测指标的技术内涵

路面的厚度会对其承载能力以及抗疲劳性能产生直接影响, 该检测的关键在于精确得到路面结构层的垂直间距, 这就需要穿透表面层直至基层的界面处, 同时要防止对基层材料造成干扰。弯沉数值体现了路面在承受荷载时的变形能力, 它是评估路面承载能力的关键参数, 弯沉检测需要模拟车辆荷载所产生的作用, 捕捉路面瞬间变形数据, 并且要排除温度、湿度等环境方面因素的干扰。二者所获取的检测数据之间的关联性, 为协同开展检测工作创造了可能性。通常情况下, 当材料厚度不足时, 往往会同时出现弯沉值超出规定标准的现象。鉴于此, 要对相关数据进行系统性的同步采集以及分析。

1.2 信息化技术支撑体系

系统设计以多维度信息化技术支撑体系作为依托, 其核心涵盖了四大技术。其中, 北斗定位技术能够提供达到厘米级别的定位精度, 它与惯性导航模块相结合, 实现了对检测点位精确无误的定位以及轨迹追踪, 从而保证检测数据和路面位置能够精准地相互匹配; 物联网技术构建了“传感器—传输终端—云平台”数据链路, 进而实现了检测数据的及时实时传输以及远程的有效管控^[1]。

2 信息化技术在检测系统中的融合应用机制

2.1 北斗定位与惯性导航的协同定位机制

系统运用北斗三号和惯性导航共同开展定位工作, 以此攻克复杂环境中的定位难题。北斗定位模块借助接收多颗卫星发出的信号, 实现静态点位厘米级别的定位操作, 为检测数据标注极为精确的位置信息; 在卫星信号微弱的区域, 惯性导航模块依靠陀螺仪以及加速度计, 依据前期的定位数据来推算当前所处位置, 从而保证定位的连续性得以维持。二者利用卡尔曼滤波算法对数据进行融合处理, 进而消除定位过程中产生的噪声。实时关联定位数据与检测数据进行, 进而生成三维数据图谱, 此图谱涵盖了“位置—厚度—弯沉”等信息, 能够为路面质量溯源工作提供精确依据。

2.2 多传感器数据融合的检测机制

系统对多类型传感器加以集成, 达到协同检测的目的, 进而提高数据的全面程度。在进行厚度检测时,

作者简介: 韩笑飞 (1980-), 男, 本科, 副高级工程师, 研究方向: 电子信息工程。

运用探地雷达和超声波传感器相融合的方式,探地雷达借助电磁波来穿透路面的结构,接收来自不同结构层的反射信号,以此计算层间的距离;超声波传感器起到辅助验证的作用,通过声波的传播时间来精确地测量厚度,这两者的数据融合能够消除因电磁波干扰而造成的误差。对于弯沉检测,采用激光位移传感器以及压力传感器,压力传感器模拟车辆所产生的荷载来施加压力,激光位移传感器实时捕捉路面的变形数量^[2]。

2.3 物联网技术的数据传输与管控机制

物联网技术构建三级数据传输网络,实现检测数据的实时控制与管理。感知层借助传感器节点收集诸如厚度、弯沉、定位等方面的数据,运用低功耗蓝牙技术实现短距离的数据汇整合;网络层凭借 4G/5G 与北斗短报文的双模传输方式,于常规的区域依靠 4G/5G 进行高速的数据传输工作,在偏远且没有信号的区域开启北斗短报文来保障通信的顺畅;应用层布置云平台用以接收数据,实现数据的集中式存储以及远程的访问操作。在数据的传输进程之中,采用加密算法来切实保障数据的安全性,以防止数据出现被非法篡改或者被恶意泄露的情况。

2.4 大数据与 AI 的数据分析机制

大数据以及 AI 技术共同构建起智能化的数据分析体系,进而对数据价值展开挖掘。在数据预处理阶段,借助异常值检测算法把因传感器故障所造成的错误数据予以剔除,运用插值算法来补充缺失的数据,以此保证数据集能够具备完整性。于特征提取阶段,利用卷积神经网络对路面厚度和弯沉数据的时空特征进行提取,进而识别数据的变化趋向;关联分析模块深入挖掘厚度和弯沉之间的相关性,构建二者的数学模型,从而对路面的长期性能做出预测。智能预警模块依据预先设定的阈值,自动识别超出标准的数据,标记其风险等级,而后向管理人员推送预警信息,实现从数据收集到决策辅助的智能化转变。

3 路面厚度与弯沉智能检测系统的架构设计

3.1 系统整体架构设计

系统运用“硬件层—传输层—软件层—应用层”这样的四层结构框架,实现功能的模块化以及可扩展性。硬件层作为数据采集的关键承载部分,包含了像检测终端、传感器集群、定位模块这类设备;传输层是由通信模块和网络设备所构成,承担着数据的即时传输工作;软件层覆盖了数据处理、AI 分析、数据库管理等一系列模块,实现了数据的智能化处理操作;

应用层朝着不同的用户群体提供丰富多样的服务内容,其中有施工单位所进行的质量管控工作、监理单位开展的验收评估任务、管理部门实施的路网监测事务^[3]。

3.2 硬件层设计:检测终端与传感器选型

采取模块化设计来构建硬件层,以此保障检测性能以及便携性。选用工业级平板电脑作为检测终端,此平板电脑配备了具备高清显示功能的触控屏以及拥有高性能运转能力的处理器,能够支持对多传感器数据开展同步处理工作,其续航时长超过 8 小时,可充分满足野外作业的实际需求。在传感器的选型方面,着重关注精准程度与稳定性能,在众多传感器中,探地雷达选用了 1.5 GHz 的高频天线,其穿透深度能够达到 1 米,分辨率可达到 0.1 毫米;激光位移传感器的测量范围处于 0~50 毫米之间,测量精度为 0.001 毫米;压力传感器的量程为 0~100 kN,测量误差小于 0.5%。定位模块集成北斗三号芯片和惯性导航芯片,其定位的更新频率达到 10 Hz,全部硬件拥有 IP67 级别的防水防尘能力,能够适应复杂施工环境。

3.3 传输层设计:双模通信与数据安全

传输层运用双模通信的方式,对数据传输的稳定性以及安全性予以保障。高速数据传输由 4G/5G 通信模块提供支持,其速率能够达到 100 Mbps 以上,能够满足实时传输高清检测图像以及大量数据的需求;数据收发可由北斗短报文模块于无公网区域实现,单次能够传输 1 000 字节的数据,使偏远地区的检测工作不会受到影响。数据安全借助三重保障达成,在传输过程中采用 SSL 加密协议,能够防止数据遭到拦截;在云平台采用访问权限管理,不同的操作权限会被赋予不同的用户;在数据存储时采用区块链技术确权,能够保证检测数据不会被篡改,为工程验收提供具有法律效力的依据^[4]。

3.4 软件层设计:核心模块功能实现

软件层包含五个起到关键作用的核心模块,借助这些模块来实现智能化处理。负责接收传感器所产生的数据以及定位数据的是数据采集模块,它会凭借时间戳来对数据进行同步与整合;采用滤波与插值之类算法以优化数据质量的是数据预处理模块;作为核心的 AI 分析模块,涵盖了特征提取子模块、关联分析子模块、异常识别子模块,它会运用训练好的机器学习模型来处理数据,进而生成分析结果;采用 MySQL 和 MongoDB 进行混合存储的是数据库管理模块,它把结构化数据用于存储检测指标以及位置信息,将非结构化数据用于存储检测图像和原始信号;系统管理模块具

有用户管理、设备监控、日志记录等方面的功能，可确保系统稳定运行。

3.5 应用层设计：用户需求与功能适配

在应用层方面，会依据不同用户的各类需求，来提供具有定制特性的功能。对于施工单位端而言，它能够具备具备实时性的检测功能，此功能可以把当下的检测数据予以显示，同时还能给出超标预警的提示，并且支持在现场对施工参数进行调整；另外，其具有历史数据查询功能，有助于对施工质量的变化走向开展分析。而监理单位端则具备数据审核的能力，该能力可将施工单位上报的数据与系统检测所得的数据进行对比，进而生成验收相关的报告。管理部门端具备路网质量可视化功能，它能够借助热力图来呈现不同区域路面的质量等级情况；统计分析功能可生成年度检测报告，为路网养护规划提供数据支撑^[5]。

4 系统性能测试

4.1 测试方案设计：场景与指标设定

测试挑选了高速公路以及市政道路这两类场景，涵盖了沥青和水泥混凝土两种不同的路面类型，测试的里程超过了50公里。测试的指标包含检测精度、效率、稳定性这三大类别，对于精度指标，是对比系统检测所得的数据和通过人工钻芯、贝克曼梁测试所获得的数据之间的偏差；对于效率指标，是统计在单位时间内检测的里程以及检测点位的数量；对于稳定性指标，是测试设备连续工作24小时的运行状态以及数据传输的成功比率。通过测试，同步模拟像高温、雨天、夜间这类复杂多样的环境，以此来对系统在不同环境下的适应能力进行验证。

4.2 精度测试结果与分析

精度测试所呈现的结果表明，该系统的检测性能比传统方法更为优越。在厚度检测方面，对于沥青路面而言，检测误差被控制在-1.8毫米到1.5毫米这个范围之内，其平均误差为0.3毫米；而针对水泥混凝土路面，误差范围处于-2.1毫米至1.7毫米之间，平均误差是0.5毫米，这两种路面的检测误差情况均符合规范所提出的要求。在弯沉检测中，当处于20℃的标准温度条件时，误差范围是-0.8（0.01毫米）到0.6（0.01毫米），平均误差为0.2（0.01毫米）；经过温度修正之后，在高温的环境之下，误差能够被控制在1（0.01毫米）以内。对比实验结果显示，系统检测数据与人工检测获取的数据之间的相关性系数达到0.98，结果有力证实了数据具备高度的精准性与可靠性。

4.3 效率与稳定性测试结果

通过效率测试可以看出，系统的检测能力得到大幅度提升。在高速公路的场景下，单车道的检测效率能够达到每天12公里，效率是传统检测方法的6倍之多；而在市政道路方面，由于交通状况复杂，其检测效率为每天8公里，是传统方法检测效率的4倍。在进行单点位检测时，仅仅需要耗时30秒，并且不需要中断交通，从而有效降低了对交通所产生的影响。在稳定性测试过程中，设备能够连续不间断地工作24小时，并且没有出现任何故障，数据传输的成功率达到99.2%，不过仅仅在隧道内部的短时间内出现了传输延迟的现象，当信号恢复之后，设备能够实现断点续传的功能。在高达45℃的高温以及阴雨天气的环境状况下，传感器的性能呈现出稳定的状态，其检测精度并未显著降低，充分证实了该系统具备适应复杂工作条件的能力。

5 结束语

借助信息化技术赋能而形成的关于路面厚度以及弯沉的智能检测系统，通过融合北斗定位技术、多传感器技术、物联网技术等，切实解决了传统检测模式所存在的效率低、精准度欠佳以及分析不及时等难题。该系统所构建的四层架构，实现了对检测数据进行实时采集、精准分析以及智能管控的目标，为道路质量方面的管控提供了高效且可靠的技术支持。此系统的运用不但提高了施工和养护在质量管控上的水平，而且还使人工成本有所降低，同时减少了对交通的影响，契合智慧交通的发展趋向。

参考文献：

- [1] 李宏伟. 信息技术应用于高速公路试验检测的研究[J]. 四川建材, 2024, 50(11): 42-44.
- [2] 陈光伟, 马永磊, 张定一, 等. 基于FWD弯沉盆参数的沥青路面层间接触状态识别方法及耐久性评估[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(24): 10508-10519.
- [3] 崔亮, 赖学新. 市政公路路基路面弯沉检测方法分析[J]. 广东建材, 2024, 40(02): 64-66.
- [4] 蔡嘉程, 张冰, 陈磊, 等. 落锤式弯沉仪校准试验标准值离散程度的优化[J]. 公路交通科技, 2023, 40(S2): 76-81.
- [5] 陈小璐, 黄超, 张长弓, 等. 典型病害处路面弯沉盆信息分析与模量反演[J]. 建材世界, 2023, 44(04): 101-104.