

智慧公路背景下路基路面检测与监测技术研究

赵沂伟

湖北省交通规划设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430051

[摘要]智慧公路发展给路基路面检测监测手段带来了智能化、实时化、协同化的崭新需求。文章总结归纳了路基路面智能化检测技术、实时监测技术和数据智能分析与评价的方法。检测技术上介绍了路基快速检测、路面精细化检测以及无人机与车载联合检测技术方案;实时监测技术上介绍了多功能传感器采集装置、基于物联网平台的数据收集系统、北斗/GNSS 高精度变形监测技术等;数据处理技术上提出了多源信息整合、以 AI 为导向的缺陷诊断以及健康状况动态评价方法。研究发现建立检测监测一体机是达到智慧公路基础设施自我维护的有效途径。

[关键词]智慧公路;路基路面;智能化检测;实时监测

DOI: 10.33142/sca.v9i6.19801

中图分类号: U416

文献标识码: A

Research on Roadbed and Pavement Detection and Monitoring Technology under the Background of Smart Highways

ZHAO Yiwei

Hubei Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430051, China

Abstract: The development of smart highways has brought new demands for intelligent, real-time, and collaborative detection and monitoring methods for roadbed and pavement. The article summarizes the methods of intelligent detection technology, real-time monitoring technology, and data intelligent analysis and evaluation for roadbed and pavement. In terms of detection technology, rapid detection of roadbeds, refined detection of road surfaces, and joint detection technology solutions of drones and vehicles were introduced; In terms of real-time monitoring technology, it introduces multifunctional sensor acquisition devices, data collection systems based on Internet of Things platforms, and high-precision deformation monitoring technologies such as Beidou/GNSS; In terms of data processing technology, multi-source information integration, AI guided defect diagnosis, and dynamic evaluation methods for health status have been proposed. Research has found that establishing a detection and monitoring integrated machine is an effective way to achieve self maintenance of smart highway infrastructure.

Keywords: smart highway; roadbed and pavement; intelligent detection; real-time monitoring

引言

在交通强国战略的推动下,中国的道路建设从以前的增量转变为现在的存量,大规模的道路养护时代已经来临。智慧公路是未来的交通运输基础设施发展道路,这对路基路面的检测与监测技术也提出了更高要求,传统的检测方法主要是依靠人工巡查以及定时检测的方式来进行工作,这样的方式进行工作效率低,实时性不好,存在数据孤岛等现象,不能够满足智慧公路对于基础设施状态实时了解、智能分析、提前预警的要求。路基路面是公路结构的主要支撑部分,它的服务情况直接关系到车辆行驶的安全和舒适程度。公路路基容易遭受应变、沉降、潮湿地带等的影响而损坏,需要传感器来监控与检测公路路基的情况来安

排工作人员及时地进行维护。因此,在此情况下,研发智能化检测技术,组建实时监测系统,构建数据驱动式评估系统,是智慧公路建设的技术基础之一。本文针对智慧公路背景下路基路面检测及监测技术的研究进行了相关论述,着重介绍了智能化检测技术,实时监测技术和数据的智能分析与判断评估方式,希望可以为智慧公路基础设施的主动式和智能化养护管理提供技术支持。

1 智能化检测技术

1.1 路基快速检测技术

路基检测技术主要包括强度、密实度、沉降变形等重要参数。传统的检测方式有灌砂法、承载板法等,具有较高的精确度但是耗时长,对被测物造成的破坏较大。为了

满足智能化公路的需求,路基快速检测技术朝着非接触式检测仪器、车载式设备以及实时化的检测方向发展。探地雷达技术作为快速检测中的一种重要手段,在对道路路基脱空病害进行快速识别上,使用时间域有限差分法对病害雷达波场进行数值仿真能够实现对于脱空病害不同的大小、长度、位置以及填充的不同情况,利用图像增益和复信号分析技术提取雷达波场的振幅、相位和频率等瞬时属性特征。通过对路基脱空病害的地质雷达瞬时振幅图以及单道波归一化幅值得到脱空病害上界面信息以及脱空病害中的介质类型;由充气脱空病害与充水脱空病害瞬时相位图像可以得出路基结构层间的信息以及脱空病害的范围及边界位置;这一成果对于道路病害的智能化识别及实时判断具有重要的参考意义。落锤式弯沉仪是无损检测仪器之一,能够迅速采集路基路面的动态弯沉值,反演结构层的模量,检测效率高,在每小时数公里的范围内适用,适合开展大面积路基承载力快速检测。另外,现场便捷式的剪切波速检测装置还可应用于路基填筑压实状况检测,在此基础上建立的波速-密度关系模型可以对路基回填的压实情况进行量化分析。

1.2 路面高精度检测技术

路面精确定位测量技术包括平整度以及结构层厚度、破损等测定指标,在不同的检测方法之间有各自的检测参数、准确性、速度以及适用场合,应依据实际需要来确定应用哪种检测方式。

针对公路路面结构层探测,探地雷达手段能够准确测出路面结构层密度分布差异,通过探地雷达法在现场对结构层进行检测与分析,通过对某一层次的介电常数测定可测出不同区段的非匀质地带,运用标准侵入式试验来检查探地雷达所测得的数据是否可靠,通过钻探、剥取试钻

芯样及检测沥青层面压实度与空洞率来进一步检验所取得的数据是否可靠,研究结果表明,探地雷达可广泛用于路面状态检测诊断。

1.3 无人机与车载协同检测技术

无人机与车载联合探测技术结合了空中视场全面覆盖以及车载仪器精确度高的特点。实现了空、地相结合探测方式,在灾害救援、例行巡查等方面都有重要作用。无人机与车辆间的联合方式有大范围联合以及小范围联合两种形式。大范围联合是指无人机是否执行飞行任务是根据预定巡查区和任务目标来决定,在小范围联合中,无人机是否停止巡视飞行则是由是否完成数据记录和续航能力所决定。无人机的大范围巡航路线规划有牛耕式巡航算法与曲率连续路径优化两种方式,基于巡航数据分析的车辆路线规划,可以通过使用蚁群算法或图论的方法进行改善。在现场检测任务实施过程中,无人机可以迅速对大面积路网进行第一次检查,在高清图像上发现明显的损伤位置,再由汽车检测仪器精准定位到该处做进一步精密检测,如此一来大大提高了检测速度,非常适用于灾后道路损毁速查、高速公路日常检查等工作。无人机拍照贴合技术和障碍物识别技术是两者协同的基础,借助专业的影像处理软件来进行照片拼接从而得到完整的道路影像图,为后续病害定位分析奠定基础。

2 实时监测技术

2.1 多参量传感器监测技术

实时监测是基于埋置于路基路面结构内的各种传感器来对结构的状态进行 24h 不间断地实时监控。多参数传感器检测技术包括对结构内应力、温度、湿度、振动等不同物理量的检测,在监测目的以及结构类型的情况下选择合适的种类并合理配置。

表 1 路面高精度检测技术对比

检测技术	检测指标	检测精度	检测精度	适用场景	主要优缺点
激光平整度仪	平整度 (IRI)	高	快速 (80km/h)	全线检测	精度高、效率高, 设备成本较高
探地雷达	结构层厚度、缺陷	中-高	快速	结构层检测	无损检测, 数据解译复杂
三维激光扫描	车辙、变形、纹理	高	中速	精细检测	点云精度高, 数据处理量大
高清线阵相机	裂缝、病害识别	高	快速	表面病害检测	图像直观, 受光照影响
激光扫描测量	几何表面变形	高	中速	桥梁引道及路面	空间变形可视化精度高

表 2 多参量传感器监测技术选型与布设

监测参数	传感器类型	安装方式	布设位置	量程	精度	主要作用
应变	光纤光栅应变传感器	埋入式/表面式	路基内部、路面结构层	$\pm 1500\mu\epsilon$	$\pm 1\mu\epsilon$	结构受力状态监测
温度	温度传感器/光纤测温	埋入式	不同深度结构层	$-40\sim 80^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	温度场分析
湿度/含水率	水分传感器	埋入式	路基填土内	0%~100%	$\pm 2\%$	路基稳定性评估
振动	加速度传感器	表面安装	路面边缘	$\pm 2\text{g}\sim \pm 10\text{g}$	0.1%FS	交通荷载响应
沉降/位移	静力水准仪/位移计	埋入式/表面式	路基顶面、边坡	0~200mm	$\pm 0.1\text{mm}$	变形监测

使用应变、沉降、温湿度等传感器来收集公路路基的数据并及时监控,当超过一定数值时会有警报提醒。这样的做法做到了对路基状况的良好监测,让维修维护有了即时的信息支持。

2.2 物联网监测系统构建

物联网技术赋予了路基路面检测全面感知、传送与处理的技术框架,针对交通基础设施物联网智能化检测难题,开展了部署方案—网络模型—安全分析的物联网安全保障监控技术框架,提出了无线传感网络能量准确掌握及多模态异质传感器最佳配置原理。此技术框架为推动新型交通基础设施安全保障监控物联网精细化、数字化进程提供了技术支持。而物联网监测系统的设计需要兼顾传感器分布数量、网络布局形态、信息传送方式以及电源方案等因素。无线传感网络的节能问题是进行长时间有效监控的核心,使用低功耗通信方式与调整数据采集率和休眠机制可以大大提升传感器网络的工作时间。在系统设计上应用层次化的设计将感知部分、网络部分以及管理层进行分离,方便系统的升级维护。

2.3 北斗/GNSS 高精度变形监测

北斗/GNSS 技术提供高精度全天候的位移量测方法,与边坡智能远程安全监测联网系统相结合,运用北斗/GNSS 以及表面位移传感器对边坡进行变形趋势量测,可以实现对边坡稳定状况动态评价,从而做出相应的加固对策。对于高速公路采空区路基变形监测来说,运用 GPS、CR-InSAR 技术来进行矿区高速公路变形监测是一项新的探索,D-InSAR 测量技术是利用两帧 SAR 图像之间的相位之差来获得地面的变化情况,再通过干涉相位差去掉地平相位和地形相位得到地面形变信息。D-InSAR 数据处理过程有复数图像的配准,基线求取及计算,干涉图生成,去平地效应,滤波降噪以及相位解缠,差分干涉等一系列主要工序。针对现实工程建设,CR-InSAR 更加适用的方法就是在监测范围内安置角反射器以增强干涉测量的结果精度及可信度。对边坡稳定分析测算值与实时监测数据分析所得到的结果进行相互比较,来判断边坡稳定状况是否准确。该方法实现了由原始信息到状态判断的完整循环,可以解决对如高危边坡、采空区这些特殊地质环境下路基安全监控的问题。

3 数据智能分析与评估

3.1 多源数据融合处理方法

路基路面采集监测中涉及多源异构的数据类型主要有传感器时序数据、图像数据、雷达波形数据以及激光点云数据等,这些数据之间存在着很大的差异性,在来源、

格式、结构及时间空间尺度等方面都不同,很难做到位置及语义上的精准匹配。通过运用基于 WebGL 的三维模型单体化技术可以悬挂起与公路相关的多种数据的信息,达到公路多源数据之间的整合目的。此方法能在网络环境中迅速地向用户提供公路多源数据融合的应用服务,从而为智慧公路的发展奠定一定的技术支持^[1]。数据融合的过程包含了三个维度,数据级融合是对原始数据进行时空校正与质量预处理。特征级融合是从多个来源的数据里面寻找其共通之处。决策级融合整合各种数据源所得到的分析结论,得出一个总的诊断结论:在路面服役状况感知中,路面服役多元感知系统包括交通荷载感知、路表环境感知、路基状态感知以及路面服役状态感知四个方面,通过对这些多来源的数据进行融合便可以对路面服役状况有一个全面的认识。

3.2 人工智能驱动病害识别与预测

利用深度学习技术并融合图像分类及目标检测技术,能够开发出一个对各种道路破损情况进行集成式智能化的诊断方式。把路型类别划分、路面病害判断以及路面病害探测这三个功能单元进行有效的整合在一起,在此之前通过调节 VGG 网络结构得到路型划分的准确性较高的结果,在此基础上对不同的道路类型使用对应的病害探测模型,大大提高了病害检测的精度以及速度。基于深度学习的道路损坏识别模型需要有大量标记的数据集,包括裂缝、车辙、坑洞、松散等常见的破损情况^[2]。卷积神经网络可以自动学习病害的不同层次特征,并且做到端到端的识别。对于模型训练来说,应用数据扩增手段增加样例数量,引入知识迁移方法提升模型的鲁棒性;病害预警基于过去的检测信息,当前的监控数据以及环境负荷信息来建立时间序列模型,LSTM 能够很好地捕获时间序列中的远期依赖性,从而可以用来进行病害发展的趋势预报,加入注意力机制可以找到影响病害发展较为重要的变量,进而提升了模型的可解释程度。

3.3 路基路面健康状态动态评估模型

依据实时检测结果进行实时评价是对路基路面进行主动维修保养的关键步骤,在交通强国建设背景下,利用感知装置采集信息以及对道路服役韧性的评价是当前的研究方向,而道路服役韧性评价既要考虑内在因素又要考虑外在因素的影响,因此需要构建一个多元化的综合评价体系。高速公路采空区路基路面稳定性的评定标准体系中涉及的采空区路基路面稳定性指标以及其对应的采空区高速公路结构物及地表破坏程度划分等级等都是评定的重要方面^[3]。健康状况评估模型应该具有下述特点:能够

融合多种数据来源进行全方面的判断,能适应时间的变化及环境影响的适应性,能够满足不同的决策要求的警戒级别。在模型建立过程中,可以利用层次分析法来得出各个指标的权重大小,在此基础上,再结合模糊综合评判法解决边界模糊问题,在重要指标超过界限时,要启动分级报警机制,并针对不同的警报级别提出对应的维修保养对策,比较边坡稳定性分析的结果以及实时监测数据分析的结果,以此来检验边坡稳定性判断是否正确,为模型进一步完善提供参考。

4 结语

智能交通环境下公路路基路面检测监测技术正在逐步向自动化、及时化、一体化发展。文章通过对智能化测量技术、实时监测技术、数据分析与评价技术的研究,构建了一条路基路面检测监测技术链,即从测量到评估全流程的技术流程,在测量技术中利用了路基快速测量技术和路面高精度测量技术和无人飞行器与车载联合测量技术的结合使测量更加便捷精准,该监测技术中运用了多功能传感器,物联网技术和北斗/GNSS 定位技术来组成全方

位立体化监测体系,通过多种信息源整合及 AI 算法病害自动诊断以及对病害进行动态跟踪模型的应用,为公路设施安全提供可靠依据。展望未来,在诸如数字孪生、边缘计算以及 5G 通信等新技术的应用背景下,路基路面检测及监测技术将进一步朝着智能、主动发展的趋势迈进,从而更好地服务于智慧公路基础设施韧性水平的发展以及全生命周期管理的目标。

[参考文献]

- [1]隋昕展,杜衍庆,师海,等.道路路基脱空病害雷达波场数值模拟与瞬时属性分析[J].科学技术与工程,2024,24(2):782-788.
- [2]李任琼.基于智能检测控制的公路路基系统设计与研究[J].电子设计工程,2023,31(16):91-95.
- [3]孙彬彬.无损检测方法在桥梁引道诊断中的应用[J].建筑机械,2023(1):46-49.

作者简介:赵沂伟(1993—)男,汉族,湖北省宜都市人,现中级职称,2018 年于中国民航大学道路与铁道工程毕业,研究生,现从事路基路面工作方向。