

基于智能传感技术的高速公路机电设施健康监测与预测

张 波

交科院检测技术(北京)有限公司 北京 100020

摘 要: 高速公路作为城市和地区经济发展的重要基础设施,其机电设施的稳定运行对交通安全和经济运行至关重要。机电设施的长期运行和环境影响导致设备老化、故障和损坏,进而影响道路的正常运行和用户的安全,有效预测和管理这些设施的健康状况成为了高速公路稳定性运行的关键。本文从实践的角度分析了基于智能传感技术的高速公路机电设施健康监测的方法,并提出了基于智能传感技术的高速公路机电设施健康预测的算法实现路径,为构建智能化、互联网高速公路提供参考性意见。

关键词: 智能传感技术; 高速公路; 机电设施; 健康监测

Health monitoring and prediction of highway electromechanical facilities based on intelligent sensing technology

Zhang Bo

Testing Technology (Beijing) Co., LTD Beijing 100020

Abstract: As an important infrastructure for urban and regional economic development, the stable operation of the mechanical and electrical facilities of the expressway is very important for traffic safety and economic operation. The long-term operation and environmental impact of electromechanical facilities lead to equipment aging, failure and damage, which affects the normal operation of roads and the safety of users. Effectively predicting and managing the health status of these facilities has become the key to the stable operation of expressways. This paper analyzes the method of highway electromechanical facilities health monitoring based on intelligent sensing technology from the perspective of practice, and puts forward the algorithm realization path of highway electromechanical facilities health prediction based on intelligent sensing technology, and provides reference advice for the construction of intelligent and Internet expressway.

Key words: intelligent sensing technology; Highway; Mechanical and electrical facilities; Health monitoring

前言:

随着社会经济的快速发展和交通网络的日益完善,高速公路作为现代交通的重要组成部分,其机电设施的稳定运行和安全性显得尤为重要,传统的设施监测方法往往依赖于定期巡检和事后维护,存在着监测覆盖范围有限、监测精度不高以及对设施健康状态实时性要求不足等问题,难以满足日益增长的安全性和可靠性需求。近年来,智能传感技术的快速发展为高速公路机电设施的健康监测与预测提供了新的解决方案。智能传感技术通过布置在设施关键部位的传感器节点,实时感知设施的运行数据和环境参数,如振动、温度、湿度等,通过数据采集与处理系统进行实时监测与分析,能够有效地识别设施运行中的异常行为和潜在故障迹象。

1 智能传感技术的原理

智能传感技术作为现代工程监测和管理中的关键技术,其原理主要基于先进的传感器技术、数据采集与处理以及智能算法的结合应用。从本质上而言,智能传感技术的核心是通过部署各类传感器来实时获取物理世界中各种参数的数据,各类传感器可以包括温度传感器、湿度传感器、压力传感器、振动传感器等,每种传感器负责监测特定的物理量。传感器通过感受外界环境的变化,将采集到的数据转换为电信号或数字信号,并传输到数据采集系统中。

在数据采集系统中,收集到的各个传感器的数据会被集成和整

合,该过程通常涉及到数据采集装置、信号调理、模数转换和数据传输等技术。数据的准确性和实时性对于智能传感技术的有效性至关重要,因此数据采集系统必须具备高精度和高可靠性。采集到的海量数据需要经过数据预处理、特征提取、数据清洗等步骤,以确保数据的质量和可用性,并且可以通过实时分析和处理传感器数据,系统可以快速响应设备状态的变化和异常,及时发出预警和警报,帮助操作人员采取必要的措施,在此基础上结合历史数据和算法模型,智能传感技术能够预测设备未来的运行状态和故障,提前进行预防性维护和优化管理。

2 基于智能传感技术的高速公路机电设施健康监测系统的设计

2.1 传感器网络的布局

传感器网络的有效布局是确保高速公路机电设施健康监测系统正常运行和准确监测的关键因素,在设计传感器网络布局时,首先需要考虑选择合适的传感器类型和它们的位置安置,以覆盖高速公路机电设施的关键部位和关注点。不同传感器的功能以及布置的基本原则如下:1) 温度传感器与湿度传感器:温度传感器应布置在机电设施的关键部位,如电子设备内部或电气设施周围,以监测设备运行时的温度变化;湿度传感器则应置于受潮或需控制湿度的区域,如电缆箱、电源控制室等,确保设施运行环境的稳定性和安全性。2) 振动传感器与声波传感器:振动传感器通常安装在设备

的关键部件或机械结构上,用于检测设备运行过程中的振动情况,早期发现设备的机械异常或磨损;声波传感器则用于监测设备运行时产生的声音特征,可用于识别设备运行是否正常或存在的问题。

3) 电流电压传感器:安装在电气设施中,如变压器、发电机等的电路中,用于监测电流电压的实时变化,评估设备的电力消耗情况和电气安全性。

在传感器网络布局阶段,需要根据设备的特性和运行环境,确定传感器的布局范围和密度。高频率和高密度的传感器布置可提供更精确的实时数据,有助于及时发现潜在问题,并在此基础上通过智能算法优化传感器的位置,确保整个传感器网络能够有效地覆盖和监控整个高速公路机电设施的运行状态,最终设计数据采集单元和网络通信结构,确保各个传感器采集到的数据能够准确地传输到数据中心或云平台。采用现代化的通信技术和协议,如物联网协议(IoT protocols),保障数据的安全和实时性。

2.2 数据通信模块的构建

数据通信模块的设计是基于智能传感技术的高速公路机电设施健康监测系统中至关重要的环节。数据通信一般基于CAN总线实现,但是在物联网技术的加持下,基于无线传感器网络的通信技术应用最为广泛。无线传感器网络的通信原理如图1所示。

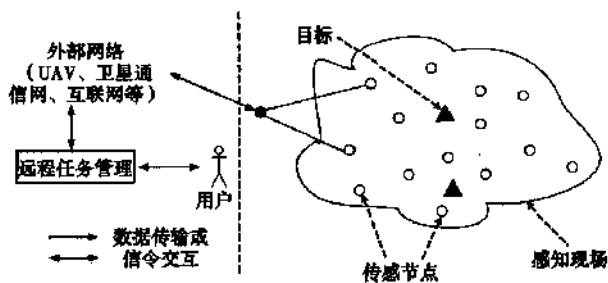


图1 无线传感器网络的通信原理

在高速公路机电设施性能指标与数据传输的过程中,使用MQTT或CoAP等轻量级协议,适合于传感器节点到数据收集中心的数据传输,保证数据的低延迟和高效率,并且减少传感器节点的功率损耗。无线通信技术可以结合实际情况选择Wi-Fi、蓝牙、LoRa(长距离低功耗无线通信)、NB-IoT(Narrowband IoT)等,根据传感器位置和设施覆盖范围进行合理选择。

一方面,在数据传输阶段,需要实施端到端的数据加密和身份认证,保障传感器数据在传输过程中的安全性和完整性,并配置网络防火墙和访问控制策略,限制未经授权的访问,防止数据泄露和攻击。另一方面,可以设计高效的数据采集单元,能够实时收集和缓存来自多个传感器节点的数据,确保数据的准确性和完整性,在此基础上实现数据压缩和优化算法,减少数据传输的带宽需求,提升数据传输效率和速度。除此之外,需要将采集到的传感器数据传输至云平台或数据中心,利用云计算和大数据技术进行数据存储、分析和可视化,并构建实时监控与管理平台,提供用户友好的界面和多样化的数据展示方式,支持实时监测和远程管理。

为了提升系统的稳定性与可靠性,还可以设计数据备份策略,确保数据在系统故障或灾难事件中的安全性和可恢复性,在此基础上实施灾难恢复计划(DRP),包括数据恢复测试和紧急事件响应流程,保障系统长期稳定运行,并实施定期的性能监控和系统调优,通过实时监测数据流量、延迟和响应时间等指标,优化数据传输和处理效率。

2.3 预警与反馈机制

预警与反馈机制是基于智能传感技术的高速公路机电设施健康监测系统中至关重要的功能模块,可以利用实时采集到的传感器数据,运用数据分析和机器学习算法,实现对设备运行状态的实时监测和分析,并在此基础上设计实时异常检测算法,识别设备运行中存在的异常行为或趋势变化,如异常振动、过高温度等。

首先,根据设备的技术规格和历史数据,设定合理的异常阈值,当数据超出设定阈值,自动触发预警机制,通知相关责任人员或运维团队,实施多级别预警策略,根据异常程度和重要性分级处理,确保关键设备问题能够及时得到关注和处理。其次,需要将预警信息通过手机应用、电子邮件、短信等方式及时通知到相关人员,确保在设备出现问题时能够迅速响应和处理,并结合实际提供远程监控平台,允许操作人员远程访问和监控设备运行状态,实时查看预警信息和设备健康状况。此外,可以设计用户友好的反馈界面,允许操作人员对预警信息进行确认、处理和反馈,并在此基础上实施自动化的故障处理流程,根据预设的操作指南和维护手册,快速响应和解决设备问题,最大限度减少设备停机时间和影响范围。最后,系统需要及时分析历史预警数据,识别潜在的设备问题模式和趋势,优化预警策略和阈值设定,提升预测准确性和系统稳定性,并进行定期的系统性能评估和反馈收集,根据用户反馈和实际运行情况,持续改进系统功能和用户体验。

3 基于智能传感技术的高速公路机电设施健康预测的算法

3.1 数据预处理

从多个传感器节点收集的数据存在噪声、异常值或缺失值,需要通过数据清洗技术来提高数据的质量和可用性,并采集数据后使用统计方法如均值、中位数等来填补缺失值,或者通过插值方法来重构数据序列,确保数据完整性和连续性。

在异常值检测与处理阶段,可以利用离群点检测算法(如基于统计学的方法或基于机器学习的方法)识别和处理异常值,避免异常数据对预测模型造成不良影响,在此基础上设定合理的异常值阈值,并通过数据可视化工具(如箱线图、散点图等)进行可视化分析,以辅助异常值的识别和处理,并将采集到的数据统一转换为标准格式,便于后续算法的处理和分析,该阶段还需要确保数据的单位一致性,例如将温度数据统一转换为摄氏度或华氏度,并进行统一的时间戳处理。

除此之外,在数据处理过程中,对于无法补充和缺失值优化的数据,可以使用最小-最大归一化或Z-score归一化等方法,将数据缩放到统一的数值范围内,避免不同数据特征对模型训练的影响不

均衡,从而保证数据在训练神经网络模型时,能够有效地进行梯度下降和收敛,提高模型的训练效率和准确性。

随后,需要考虑到设备健康预测的关键因素,选择适当的特征变量,如温度变化、振动频率等,以充分反映设备运行状态的变化趋势,并将预处理后的数据集划分为训练集、验证集和测试集,用于模型的训练、调优和评估。

3.2 神经网络模型的训练

神经网络模型的训练是基于智能传感技术的高速公路机电设施健康预测算法中的核心,通过训练神经网络模型,可以利用历史数据学习设备运行状态的复杂模式和趋势变化,从而实现对未来健康状况的预测和诊断,实际应用阶段可以根据设备健康预测的任务需求,选择合适的神经网络结构,且考虑到数据的时序性和复杂性,通常选择能够处理时序数据并捕捉长期依赖关系的神经网络结构。神经网络结构如图2所示。

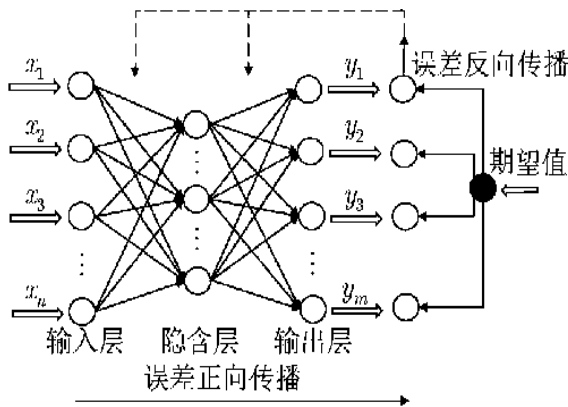


图2 神经网络结构

在层数与节点设置阶段,可以根据数据集的特征和复杂度,设置神经网络的层数和每一层的节点数,过度深的网络导致过拟合,而过浅的网络无法捕捉数据的复杂模式,在此基础上通过实验和交叉验证确定最优的网络结构,以提高模型的预测能力和泛化能力。

一方面,选择适当的损失函数来衡量预测结果与实际观测值之间的差异,如均方误差(MSE)或者平均绝对误差(MAE)等,可以根据预测任务的具体特点,考虑使用加权损失函数或者定制化的损失函数,以优化模型在关键性能指标上的表现。另一方面,选择合适的优化算法如随机梯度下降(SGD)、Adam优化器等,来最小化损失函数并更新神经网络的权重和偏置,并不断调整学习率、批量大小等训练超参数,优化模型的收敛速度和训练稳定性。

在高速公路传感器获取多批次数据的基础上,采用批量训练的方式,将数据集分批次输入到神经网络中进行训练,避免一次性处理大量数据而导致内存和计算资源的负担,在此基础上实施迭代更新策略,周期性地监控和调整模型参数,以提高模型的泛化能力和预测精度。

3.3 机电设施健康预测

基于智能传感技术的高速公路机电设施健康预测算法,旨在通

过实时监测和分析设施的各种物理参数和运行状态,预测设施未来出现的健康状况和故障风险,从而提前采取有效的维护和管理措施,确保设施的安全运行和长期可靠性。在健康预测算法中,关键的第一步是通过智能传感器网络实时收集设施的各种关键参数数据,如温度、湿度、振动频率、电流、电压等,传感器通过布局合理的网络,覆盖设施的关键部位,实时传输数据至中心数据库或云平台。数据的及时性和准确性是确保预测模型有效性的基础,通过高频率的数据采集和实时监测,能够捕捉设施运行状态的微妙变化和异常情况。

收集到的数据经过预处理、清洗和归一化处理后,进入到数据分析和建模阶段。在该阶段,利用机器学习算法如监督学习、无监督学习或深度学习方法,构建设施健康预测的数学模型。随后,建立好的预测模型能够根据实时输入的数据进行快速响应和预测。通过监控模型的输出,识别的设施健康问题和风险,并根据预测结果采取相应的优化控制措施,最终的预测算法通过建立实时监控和反馈机制,实现对设施运行状态的持续跟踪和管理。实时监控系統能够及时发现设施运行中的异常情况,并通过预警系統及时通知相关人员,从而快速响应和处理。

结语:

综上所述,基于智能传感技术的高速公路机电设施健康预测算法的研究内容,本文深入探讨了数据采集与实时监测、数据分析与模型建立、预测与优化控制以及实时监控与反馈机制等关键技术。通过布局合理的传感器网络和高效的数据处理技术,有效收集和分折设施运行的关键参数数据,建立了多种预测模型如神经网络模型,用于预测设施的健康状况和故障风险。健康监测与预测模型不仅能及时发现设施的问题,还能为设施管理者提供精确的维护建议和决策支持。预测算法的实施使设施管理更加智能化和预见性,有效提升了设施的运行效率和安全性,为未来智能化高速公路设施的可持续发展奠定了坚实的技术基础。

参考文献:

- [1]孙利民,蔡海文.采用光纤光栅及无线智能传感技术的桥梁结构健康监测系統研究取得重要进展[J].中国激光,2006,33(1):1.DOI:10.3321/j.issn:0258-7025.2006.01.033.
- [2]车现法,曹新涛.基于智能传感技术的智慧公路健康监测研究[J].建筑机械,2024(1):116-122.
- [3]赵杰,钟茗,张腾,等.基于物联网智能传感技术的工业设备健康检测[J].今日自动化,2022(008):000.
- [4]韩啸.基于BOTDA传感技术的隧道结构健康监测技术研究[D].南京理工大学,2019.
- [5]陈宁,秦桂芝,安藤良辅.高速公路传感监测网络布设方法研究综述[J].北京工业大学学报,2022(006):048.

作者简介:张波,男,1995年8月,汉族,内蒙古呼和浩特,本科,初级,高速公路机电设施检测