

基于人工智能的公路桥梁病害识别与早期预警系统构建

罗小辉

江西辰久建设有限公司 江西宜春 336000

摘要: 本文聚焦于基于人工智能的公路桥梁病害识别与早期预警系统的构建。随着公路桥梁建设规模的不断扩大,其病害问题日益受到关注,传统的病害检测与预警方式存在效率低、准确性不足等问题。本研究利用人工智能技术,如计算机视觉、机器学习等,实现对公路桥梁病害的高效识别,并构建早期预警系统。通过对大量桥梁病害数据的收集、处理和分析,训练合适的人工智能模型,使其能够准确识别多种类型的病害,如裂缝、剥落等。同时,系统能够根据病害的严重程度和发展趋势进行早期预警,为桥梁的维护和管理提供及时有效的决策支持。研究表明,该系统能够显著提高公路桥梁病害识别的准确性和效率,有效降低桥梁病害带来的安全风险,具有重要的实际应用价值。

关键词: 人工智能; 公路桥梁; 病害识别; 早期预警系统

引言

公路桥梁是交通基础设施重要部分,对国家经济和社会稳定至关重要。近年来,随交通流量增加和桥梁使用年限增长,公路桥梁面临结构裂缝、混凝土剥落、钢筋锈蚀等病害威胁,影响使用寿命,可能导致安全事故。传统检测主要靠人工巡检,效率低,难以全面检测,准确性受检测人员经验和主观因素影响大,易漏检误判。而且传统预警在病害严重时才发出警报,无法早期预警。随着人工智能发展,其在各领域应用广泛,在公路桥梁领域,利用人工智能进行病害识别和早期预警成研究热点。人工智能数据处理和分析能力强,能快速准确识别病害并早期预警。因此,构建基于人工智能的公路桥梁病害识别与早期预警系统意义重大。本文探讨如何用人工智能构建高效准确的该系统,保障公路桥梁安全运营。

一、公路桥梁常见病害及其对结构安全的影响

(一) 常见病害类型概述

公路桥梁在长期运营过程中,会显现出多种常见的病害类型。裂缝是最普遍的一种,其形态多样,包括呈网状分布的网裂、大致垂直于行车方向的横向裂缝、大致平行于行车方向的纵向裂缝、呈倾斜角度的斜向裂缝以及通常出现在梁端或受剪区域的剪切裂缝。坑槽则表现为路面或桥面材料局部缺失形成的坑洼。松散是指桥面铺装层或结构表面材料颗粒间结合力丧失,变得松散易碎。沉陷是桥梁某部分或整体发生垂直向下的位移。桥头跳车指的是桥梁与路基连接处出现高差,导致车辆

通过时产生颠簸。结构变形包括梁体下挠、墩台倾斜或位移等形态的改变。钢筋锈蚀是埋藏在混凝土中的钢筋发生氧化反应。混凝土剥落则是混凝土保护层或主体结构发生片状、块状脱落。这些病害各自具有典型的特征和表现形式,例如裂缝的宽度、长度、分布密度,坑槽的深度和面积,松散区域的范围和程度,沉陷的幅度和范围,桥头跳车的高度差,结构变形的量值和方向,钢筋锈蚀产生的锈迹和体积膨胀,混凝土剥落的形态和位置等,这些特征是判断病害性质和严重程度的基础^[1]。

(二) 病害形成机理简析

导致这些病害产生的原因是多方面的,涉及设计、施工、材料、使用和环境等多个环节。设计缺陷可能包括结构计算错误、构造细节考虑不周、未能充分考虑预期的交通荷载或环境条件等。施工质量问题可能表现为材料配合比不当、施工工艺不达标、振捣不密实、养护不到位等。材料老化是混凝土强度降低、钢筋抗腐蚀能力下降等自然过程。超载交通,即车辆荷载超过桥梁设计承载能力,会显著加速结构疲劳和损伤。环境侵蚀包括冻融循环(水结冰膨胀破坏混凝土)、雨水冲刷和渗透(带走材料、降低强度)、盐分侵蚀(氯离子侵入导致钢筋锈蚀)等物理和化学作用。地基沉降则是因为桥梁基础下方的土体发生压缩或移动,导致桥梁结构产生附加应力和不均匀沉降。这些内外因素单独或共同作用,是桥梁病害产生的根本原因。

(三) 病害对结构安全与功能的影响

不同类型和程度的病害会对桥梁的结构安全与使用

功能产生具体而不同的影响。裂缝，特别是贯穿混凝土保护层的裂缝，会降低结构的整体性和刚度，严重时可能影响承载力。坑槽和松散会破坏桥面平整度，影响行车舒适性，并可能引发车辆事故。沉陷和桥头跳车直接导致行车颠簸，严重时车辆难以通过，影响交通流畅和安全。结构变形，如梁体下挠超过限值，表明结构刚度不足，可能影响正常使用，甚至危及安全。钢筋锈蚀会产生体积膨胀，导致周围混凝土产生拉应力，引发混凝土开裂和剥落，同时钢筋截面减小，直接削弱结构的承载能力。混凝土剥落会进一步暴露钢筋，加速锈蚀过程，并减少有效受力截面。这些病害的综合作用会降低桥梁的整体承载力、耐久性，影响行车的舒适性和安全性。强调早期识别病害的重要性，是因为许多病害在初期阶段范围小、程度轻，修复相对容易且成本较低。通过早期识别和干预，可以阻止小病害因未受关注而持续发展、相互关联，最终演变成严重威胁结构安全和正常使用的大问题，从而避免可能导致重大经济损失甚至人员伤亡的突发性结构失效事件^[2]。

二、人工智能技术在桥梁病害识别中的应用原理

(一) 核心技术应用概述

在桥梁病害识别领域，人工智能技术，特别是计算机视觉和深度学习，正扮演着日益重要的角色。计算机视觉使得机器能够“看懂”桥梁表面的图像信息，而深度学习则为这种理解提供了强大的算法支持。具体实践中，首先需要利用现代传感手段获取桥梁的原始数据。无人机凭借其灵活性和高空视角，能够快速获取大范围桥梁表面的高分辨率图像。固定安装的高清摄像头则可以持续监控特定区域或关键节点的状态变化。此外，各类传感器，如应变片、加速度计等，能够采集桥梁在荷载作用下的结构响应数据，这些数据虽然不直接显示视觉上的病害，但能为病害的判断提供重要的辅助信息。这些通过不同途径获取的图像和结构响应数据，构成了人工智能进行分析的基础^[3]。

(二) 图像处理与特征提取

获取的原始图像往往包含噪声、光照不均或存在几何畸变，因此需要进行图像预处理。去噪处理可以消除图像中的随机干扰点，增强处理则提升图像的对比度和清晰度，使病害特征更加突出，几何校正则确保图像中的物体尺寸和位置关系准确。完成预处理后，特征提取是关键步骤。这涉及到从图像中量化那些能够区分健康区域与病害区域的关键信息。例如，纹理特征描述了图像区域的粗糙度或规则性，裂缝通常具有特定的纹理模

式；形状特征则捕捉了病害的几何轮廓，如裂缝的长度、宽度、走向，或坑槽的面积、周长；颜色特征则反映了材料的老化、锈蚀等状态。准确提取这些特征，为后续的模式分析提供了有效的输入。

(三) 深度学习模型的作用

深度学习模型，尤其是卷积神经网络（CNN），在桥梁病害识别中展现出卓越的能力。CNN模型能够自动地从大量标注好的病害图像中学习复杂的、多层次的特征表示，无需人工预先设定具体的特征提取规则。较低层的网络可能学习到边缘、角点等基本特征，而较高层的网络则能组合这些基本特征，识别出更复杂的模式，如特定类型的裂缝形态、坑槽的典型轮廓等。通过这种自动学习过程，模型能够实现高精度的病害检测（判断是否存在病害）、分类（区分不同类型的病害，如裂缝、坑槽）和定位（确定病害在图像中的具体位置）。强调AI技术相比传统方法的优势在于，它能够高效地处理海量的图像数据，并且对复杂的背景干扰、多变的病害形态具有更强的鲁棒性。传统方法往往依赖人工经验或简单的图像处理算法，在处理大规模数据或复杂场景时效率低下且易出错，而AI技术则能显著提升识别的效率和准确性。

三、基于人工智能的桥梁病害识别与早期预警系统构建

(一) 系统总体架构设计

该桥梁病害识别与早期预警系统采用模块化、智能化的整体框架设计，构建了一个高度集成的智能化管理平台。系统通过多源数据融合与智能分析技术，实现了从数据采集、传输存储、智能识别到风险评估与预警决策的全流程闭环管理。系统架构主要由五个相互协同的功能模块组成：首先是智能数据采集模块，该模块整合了无人机航拍系统、高分辨率工业摄像头网络以及分布式部署的各类结构健康监测传感器，不仅能够按照预设的巡检计划进行周期性数据采集，还能根据桥梁状态监测需求实现特定区域的重点扫描，获取桥梁表面高清图像数据、结构振动响应时序数据以及环境参数等多维度信息。其次是高效数据传输与安全存储模块，该模块采用5G/光纤混合通信网络确保海量监测数据的实时、稳定传输，同时部署了高性能分布式存储系统，采用多级数据备份机制和加密存储策略，确保监测数据长期安全保存并支持快速检索调用。第三是智能病害识别与评估模块，作为系统的核心处理单元，该模块集成了多种人工智能算法，能够对输入的图像和时序数据进行多尺度

特征提取与智能分析,实现病害类型的自动分类、严重程度精确量化评估以及空间位置的精准定位^[4]。

(二) 核心技术与算法应用

在系统实现过程中,综合应用了多项前沿人工智能技术。计算机视觉技术作为基础支撑,通过图像增强、特征提取和目标检测等方法,显著提升了系统对桥梁表面病害的识别能力。深度学习技术,特别是基于改进型卷积神经网络(CNN)的智能识别算法,构成了病害识别与评估模块的核心技术体系。系统采用迁移学习策略,在预训练模型基础上,使用大量标注的桥梁病害样本数据进行针对性训练,使CNN模型能够自适应地学习各类病害的深层视觉特征。针对裂缝识别,CNN网络通过多层次卷积运算可精确提取裂缝的纹理特征、走向规律、宽度变化等关键信息;对于坑槽类病害,则能有效识别其几何形状特征、面积大小、深度变化以及边缘不规则度等特征参数。系统创新性地采用了多尺度特征融合技术,将局部细节特征与全局结构特征相结合,显著提升了复杂背景下微小病害的检出率。

(三) 系统功能设计

系统功能设计以满足桥梁管养实际需求为导向,构建了完整的智能化功能体系。首要功能是智能化病害自动检测,系统通过部署在边缘计算设备上的轻量化检测模型,能够对采集的桥梁图像进行实时在线分析,实现裂缝、剥落、锈蚀等常见病害的自动识别与标注,显著提升检测效率。其次是全生命周期病害信息管理功能,系统建立了标准化的桥梁病害数据库,不仅记录每次检测发现的病害类型、位置坐标、几何尺寸、严重程度等基础信息,还通过数据关联技术整合病害发展历史记录、维修保养记录等数据,形成完整的桥梁数字健康档案。第三是基于多维度数据分析的智能风险评估功能,系统采用时间序列分析、回归预测等算法,对病害的扩展趋势进行量化分析,如计算裂缝长度增长率、面积扩展速率等动态指标,结合结构有限元模型进行承载力影响评估,建立科学的风险预警机制。当评估结果超过预设阈值时,系统自动触发分级预警流程,通过短信平台、邮件系统、移动APP推送等多种渠道,向不同层级的管理人员发送差异化的预警信息。系统设计特别强调三个关键特性:一是操作友好性,通过流程优化和界面简化,确保不同技术水平的使用者都能高效操作系统;二是结果可靠性,采用多算法融合、结果交叉验证等方法保证

检测评估结果的准确性;三是系统扩展性,采用微服务架构设计,支持灵活添加新的检测算法、接入新型传感器设备或扩展至更多桥梁项目,确保系统能够持续进化升级^[5]。

结语

基于人工智能的公路桥梁病害识别与早期预警系统的构建是解决传统公路桥梁病害检测与预警难题的有效途径。该系统凭借先进的人工智能技术,在数据处理、病害识别和预警等方面展现出了卓越的性能。随着科技的不断进步,这一系统还有很大的发展和完善空间。未来,可以进一步优化深度学习模型,使其能够适应更多复杂多变的病害场景,提高对一些细微病害的识别精度。同时,还可以加强系统与其他智能交通系统的融合,实现数据的共享与交互,为公路桥梁的综合管理提供更全面的支撑。此外,为了确保系统能够长期稳定运行,需要建立完善的维护和更新机制。定期对系统进行数据更新和模型优化,以适应桥梁病害的新变化和新特点。并且,要加强相关专业人才的培养,提高工作人员对系统的操作和维护能力。总之,基于人工智能的公路桥梁病害识别与早期预警系统为公路桥梁的安全运营提供了有力保障。在未来的发展中,应持续推动该系统的创新与完善,使其在公路桥梁领域发挥更大的作用,为国家的交通基础设施建设和经济社会发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1]曹峰,魏坚强,曹仲龙.基于人工智能的混凝土桥梁裂缝识别方法及应用[J].科技创新与应用,2022(026):012.
- [2]何瑞琦,余芳强,许璟琳,等.基于GIS+人工智能的市政设施管养系统研发与应用实践[J].工业建筑,2022,52(10):6.DOI:10.13204/j.gyzG22072810.
- [3]周长建,宋佳,向文胜.基于人工智能的作物病害识别研究进展[J].植物保护学报,2022,49(1):316-324.DOI:10.13802/j.cnki.zwbhxb.2022.2022803.
- [4]杨勇史,肖蒙.基于人工智能的桥梁表面病害多标签图像识别研究[J].中国水运,2022(10):151-153.
- [5]王超学,祁昕,马罡,等.基于YOLO V3的葡萄病害人工智能识别系统[J].植物保护,2022,48(6):11.DOI:10.16688/j.zwbh.2021513.