

桥梁结构缺陷检测技术与算法研究

周重杨

苏文科集团检测认证有限公司

摘要: 为了推动公路桥梁的智能检测技术进步,本研究深入探索了桥梁结构缺陷的检测方法和算法,同时结合国内外最新研究成果对桥梁病害识别进行介绍,经过实验和实际应用的深入分析,我们对各种技术和算法的长处和短处进行了总结,并对其未来的趋势进行了预测。

关键词: 桥梁结构; 缺陷检测; 非破坏性检测; 图像处理; 机器学习

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-627X.2022.11.095

一、研究背景与目的

随着交通基础建设的持续进步,桥梁作为连接各个地区的关键交通节点,其安全状况直接影响到交通的流畅性以及人民的生命和财产安全。桥梁是公路建设必不可少的组成部分,它不仅承担着汽车行驶时与路面之间传递能量和载荷的作用,同时也承受来自道路上车辆产生的冲击压力。但是,在桥梁的长时间使用中,由于各种自然条件、车辆的荷载和材料的老化等因素,结构上的缺陷是不可避免的。这些结构缺陷若不及时处理,可能引起严重的后果。因此,对桥梁的结构瑕疵进行迅速和精确的检查,对于确保桥梁安全稳定地运作为至关重要的。

二、桥梁结构缺陷检测技术

1. 传统检测技术

传统检测技术是桥梁结构缺陷检测工作的基石,对于桥梁维护与管理具有不可取代的重要作用。这几种方法虽由来已久,但是在现代桥梁工程仍占有一席之地。

视觉检查是传统检测技术中最为基础且广泛应用的一种方法。主要靠检测人员肉眼观察直接视觉评价桥梁结构。检测人员将对桥梁各部分进行认真检查,其中包括桥墩,桥面和伸缩缝,查找有无裂缝,变形和腐蚀等显着缺陷。此法简便直观,不需复杂设备且费用比较低廉。但其对检测人员经验及专业知识依赖性较高,所以其结果常受人为因素影响较大。另外,视觉检查仅能检测出表面上看得见的瑕疵,而对桥梁内部或者深层次问题的检测作用是有限的。

物理检测又是传统的重要检测技术之一。其主要是通过运用多种物理测试工具或者仪器来检测桥梁结构的性能。如用振动测试仪器对桥梁振动特性进行测量、用应力传感器对桥梁结构应力分布情况进行监测。这些物理测试可以提供定量数据帮助对桥梁结构状态进行更加精确的评价。但物理检测受设备精度、操作难度等因素制约,检测结果会出现一些误差。另外,物理检测一般都要由专业技术人员来完成,费用也比较昂贵。

声学检测作为一种传统的检测技术,近几年有了一定程度的发展。它是利用桥梁结构内声波的传播特点,对声音信号进行分析,从而确定可能存在的缺陷。声学检测可用于桥梁很多地方,例如桥墩和桥面。通过对声波在结构上传播过程的记录与分析,可判断出结构有无裂缝,空洞及其他缺陷。但是声学检测受环境噪音、信号干扰等因素影响比较大,所以实际工作中必须要通过一系列的措施才能提升检测精度。另外,声学检测还需要有专门的技术人员来操作与分析,对于技术有很高的要求。

尽管传统检测技术在桥梁结构缺陷检测中具有一定的局限性,但它们在桥梁维护和管理中仍然发挥着不可替代的作用。在实践中,可根据桥梁具体情况及需要,采用各种传统检测方法相结合的方法对其进行全面评价,从而提高其准确性及可靠性。与此同时,传统的检测技术伴随着科学技术的发展得到了不断地改进与提高,从而满足了现代桥梁工程对检测技术的要求。

2. 非破坏性检测技术

超声波检测作为一种非破坏性检测技术,在众多领域中独领风骚。它是利用超声波在物质中的传播特点,由专用超声波收发装置,来实现桥梁结构的扫描。超声波在结构内部与缺陷相遇时会产生反射,折射或者散射等现象,而这些变化将通过接收设备进行捕获和分析。通过对这几种反射波特征的比较与分析,可对桥梁结构有无缺陷及缺陷种类与部位作出精确判断。超声波检测技术具有可以深入到结构内部并找出深层次问题、对材料声波特性没有太高要求等优势,所以适合各种桥梁结构使用。

红外热像检测作为一种非破坏性检测技术,在最近几年得到了飞速发展。它应用红外辐射原理用红外热像仪拍摄结构表面红外辐射图像来确定结构内部温度异常。桥梁结构在有缺陷情况下,常常引起局部区域温度发生变化,通过红外热像仪将其捕捉并转换成直观形象的影像。对这些影像进行比较与分析,可精确找出其中

可能出现的瑕疵。红外热像检测技术非常适合检测混凝土结构是否存在渗漏问题及电缆等器件是否存在热异常,实时性强、灵敏度高等优点。

总之,非破坏性检测技术对于桥梁结构缺陷检测有着不可取代的重要作用。这些技术在不破坏结构的前提下,既能准确,迅速地发现桥梁结构存在的各种缺陷。所以,非破坏性检测技术将在今后桥梁安全管理与养护中得到更加广泛地运用与普及。

3. 图像处理技术

图像处理技术是桥梁结构缺陷检测方面的创新方法,它将传感器与摄像头相结合,运用计算机视觉技术对桥梁结构进行高精度缺陷检测。该方法以桥梁结构表面图像数据为捕获对象,采用先进图像处理算法对其进行分析识别,在实时性、自动化等方面有显著优点。

图像获取阶段图像处理技术主要依靠先进的图像获取设备。这类设备,例如高清晰度的摄像机或激光扫描工具,都可以捕获到桥梁结构表面的精细图像信息。这些图像数据直接影响后续缺陷识别精度,所以选择适当的图像采集设备和优化采集条件非常关键。

在图像处理技术中,图像处理算法处于核心地位。其中包括边缘检测,纹理分析和模式识别的许多技术。边缘检测算法可以对图像中对象边缘轮廓进行识别,进而有助于桥梁结构上裂缝或者变形这类缺陷定位。纹理分析算法是通过对图像纹理特性的细致分析,识别出与正常纹理结构不一致的区域,从而揭露出可能存在的腐蚀或其他类型的损害。模式识别算法采用了机器学习的方法,通过对大量样本数据的学习,能够自动地识别出与缺陷有关的特定模式。

利用这些图像处理算法可自动分析识别桥梁结构表面图像。在发现异常情况后,图像处理技术可以快速发出警报,并提醒有关人员采取适当的维护措施。该实时监测的功能显著提高了桥梁结构运行的安全性与可靠性,有利于及时发现和应对可能存在的隐患。

综合分析可知,桥梁结构缺陷检测技术发展历经由传统方法向非破坏性技术和图像处理技术演变,检测精度持续提高、效率与实时性为桥梁结构安全运营与维修提供重要技术支撑。

三、桥梁结构缺陷检测算法

1. 机器学习算法

在桥梁结构缺陷检测领域,机器学习算法发挥着日益重要的作用。它们可以对海量数据进行处理,并通过学习与训练确定桥梁结构是否存在缺陷,以提高检测精度与效率。

以支持向量机(SVM)为研究对象,它被证明是一种极为高效的监督式学习方法。SVM的核心理念是在高维空间中寻找一个最佳的超平面,这样可以将不同种类的数据点从这个超平面中隔离开来。在桥梁结构缺陷检测这一实际工作中,可利用现有缺陷数据及非缺陷数据为训练集对SVM算法进行模型训练。进而,当输入新桥梁结构数据后,该模型可以自动地判断有无缺陷。

例如,在某桥梁的缺陷检测项目中,我们收集了1000个样本数据,其中包括500个有缺陷的样本和500个无缺陷的样本。我们把这批数据作为训练数据输入到SVM模型里,经历了多轮的迭代和优化过程,最后成功构建了一个分类准确率达95%的优秀模型。在实践中,本文将该模型应用于新建桥梁结构数据分类并成功地识别了绝大部分缺陷。

除了SVM,随机森林(Random Forest)也是在桥梁结构缺陷检测中经常使用的一种机器学习方法。随机森林以决策树为基础进行集成学习,通过构造多棵决策树联合预测提高了预测精度。桥梁结构缺陷检测时,随机森林能处理复杂数据关系并对各类缺陷具有良好识别能力。

以一座大型桥梁裂缝检测为例,收集大量桥梁结构图像数据对裂缝位置及种类进行标记。接着我们把这些数据以训练集的形式送入随机森林模型。该模型经过训练后学习如何对图像进行特征提取和裂缝判断。在实践中,本文将该模型应用于桥梁结构新图像的检测中,成功地识别了绝大部分裂缝,同时也给出了对应的部位及类型信息。

2. 深度学习算法

近些年来,深度学习算法在图像识别和模式识别领域表现出显著的优越性,其高效的属性抽取和分类功能使得这种算法在桥梁结构缺陷识别方面也有着巨大的应用潜力。

卷积神经网络(CNN)代表着一种深度学习的方式,它特别被用于处理图像资料。通过采用卷积层、池化层以及完整连接层等多种构造方式,它能有效地从图像中抽取复杂的特点,并对这些建议进行高效率的分类。在检测桥梁的结构缺点时,CNN技术的应用显得格外普及。

以某个巨型桥梁裂缝诊断为案例,研究人员运用了CNN算法来建立一套桥梁裂缝检查的模型。首先,他们整理了数以千计的桥梁外观图片,无论是带有裂缝的还是完全无裂缝的。接下来,这批数据被整理为训练数据集和实验数据集,用于对模型的训练与验证。

在训练阶段，CNN模型透过不断地吸取和调节相关参数，逐步掌握了如何从图像资料中抽取与裂缝有关的属性。这个模型在经过一系列的迭代与调整后，在测试集中表现出极高的精确度，可以精确地检测出桥梁的表面裂纹，并明确指出裂纹的具体位置、大小。

在真实的应用场景里，科学家们采用经过精心训练的CNN模型，对新生成的桥梁表面的图像资料进行了精确检测。经测试，这一模型可以精确地定位多数裂缝存在，与传统的人工检测方法对比，它展现出了更高的效能与准确度。

不仅仅是CNN，循环神经网络（RNN）也已成为在桥梁结构缺陷检测领域中应用深度学习算法的一个重要分支。RNN是适用于序列数据处理的工具，它能有效捕获时间顺序信息及长久的关联性。在桥梁的结构缺陷分析中，RNN能够用来对传感器的数据或过往数据进行分析，从而判断出可能的缺陷隐患。

譬如，在某一桥梁健康监测项目的实践中，科研人员借助RNN算法成功地构建了一个桥梁状态的精确预测模型。他们整理了多年间桥梁的感应器数据，这些数据涵盖了振动、应力、移动等方面的因素，并基于这些信息为一个RNN模型提供了训练材料。

经专门的训练，RNN模型已经掌握了如何从传感器信息中抽取桥梁的状态特征，同时能预估在接下来的时段桥梁的工作状况。当这一模型侦测到非正常数据，系统将迅速发送警报，告知相关的技术人员要进行相关的检验和修复工作。

这样的应用不仅显著提高了对桥梁结构缺陷的检测准确率，还为桥梁的状态进行了实时的观察和警告，为桥梁的平稳运作注入了强大的技术后盾。

四、实验与应用分析

实验和应用分析步骤是用以评估桥梁结构缺陷检测技术及其算法在实际应用场景下的效果和可行性的关键环节。对多种技术和算法进行的实验分析，再到实际应用的细节，能为未来桥梁结构缺陷的检测技术提供宝贵的建议与方向。

在这场实验当中，我们应当优先选择恰当的桥梁样本作为研究的目标，并对其进行多种类型的缺陷仿真或者真实的缺陷探测实验。接着，对各种检测技术和算法展开实验性比较，其中包括常规的检测方法、非破坏性方法、图像处理策略，以及机器学习与深度学习等技术。

在进行实验的设计时，以下几点因素值得考虑：

实验样本展示了其典型性和多样性，这包括各种不

同的类别、位置和不同程度的缺陷情况；

模拟或真实性的实验环境包括了实验工具、数据收集和处理步骤等方面的内容；

关于实验的参数配置与调节，这涉及算法的参数、模型的训练策略和数据的早期步骤等方面；

关于实验数据的获取与分析技术，涉及了评估性能指标、结果的可视化展示以及统计的深入分析等各个方面。

在实际操作中，桥梁构造的缺陷检测技巧与方法必须进行以下相关的应用评估：

技术适应性评估涉及对实际桥梁特性及其适用场景进行分析，包括但不限于不同技术和计算方法的适用性范围、检测准确性、鲁棒性及实时性等关键因素。

成本效益的深入分析包括了技术及算法执行的花费、相关设备的开销、人员培训以及保养费用等多方面的考量，确保这项技术的经济可持续性进行了评估。

实际效果的核实：在真实的桥梁维修和监视环境中，对所采用的技术与算法执行效果校验，这包括对其检测准确率、故障预警功能和整体的维修效益的确认。

用户的反馈与优化观点：搜集他们的意见与提议，对技术和算法进行实时的优化，从而提高其在实际情境中的使用效果以及用户的满意度。

结束语

研究和探索桥梁结构的缺陷检测技术与方法，对于增强桥梁的安全、确保交通流畅和保护人们的生命与财产安全具有极其关键的作用。在展望未来，我们有可能通过持续地优化和技术和算法创新活动，以促进桥梁工程的持续进步，并为社会及经济增长提供更为显著的贡献。

参考文献

- [1] 贺拴海, 王安华, 朱钊, 赵煜. 公路桥梁智能检测技术研究进展[J]. 中国公路学报, 2021, 34(12): 12-24.
 - [2] 钟继卫, 王波, 王翔等. 桥梁智能检测技术研究与应用[J]. 桥梁建设, 2019, 49(S1): 1-6.
 - [3] 邓昌宁, 朱劲秋, 王开波等. 桥梁结构缺陷检测及功能评定的研究[J]. 东北公路, 2003, (03): 85-89.
 - [4] 曾燕华. 基于计算机视觉的桥梁表面缺陷检测技术研究. Diss. 广东工业大学, 2005.
- 作者简介: 周重杨, 1988.10, 男, 汉族, 云南昆明, 中级工程师, 硕士, 苏交科集团检测认证有限公司, 研究方向: 桥梁检测。