

基于图像处理的桥梁缺陷自动检测技术研究

郭嘉成

中交元洋（大连）桥梁水下检测有限公司，辽宁 大连 116000

[摘要]随着我国基础设施的快速发展，桥梁安全问题日益受到关注。传统桥梁缺陷检测方法依赖人工巡检，不仅效率低下且易受主观因素影响，难以满足现代桥梁管理对高效、精准监测的需求。文中围绕桥梁自动检测技术展开研究，基于图像处理理论，通过合理设计桥梁图像采集与预处理流程，实现对桥梁表面裂缝、剥落等典型缺陷的识别。研究采用多角度图像获取与特征分析方法，针对桥梁结构复杂和缺陷种类多样的问题，提出了一整套自动化检测框架，有效提升了缺陷定位的准确性和检测效率。实验结果表明，该自动检测技术具有良好的可靠性和通用性，能够较好地适应工程现场桥梁检测需求。该研究为桥梁维护决策和生命周期延长提供了技术支撑，有助于实现桥梁结构的健康管理和公共安全保障，推动桥梁养护管理方式向智能化、自动化方向发展。

[关键词]桥梁缺陷检测；图像处理；自动化技术；结构健康监测；裂缝识别

DOI: 10.33142/ec.v8i9.17997 中图分类号: U216 文献标识码: A

Research on Automatic Detection Technology of Bridge Defects Based on Image Processing

GUO Jiacheng

Zhongjiao Yuanyang (Dalian) Bridge Underwater Inspection Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116000, China

Abstract: With the rapid development of infrastructure in China, bridge safety issues have received increasing attention. Traditional bridge defect detection methods rely on manual inspections, which are not only inefficient but also susceptible to subjective factors, making it difficult to meet the needs of modern bridge management for efficient and accurate monitoring. The article focuses on the research of automatic detection technology for bridges. Based on image processing theory, by designing a reasonable process for bridge image acquisition and preprocessing, typical defects such as cracks and peeling on the surface of bridges can be identified. The research adopts multi angle image acquisition and feature analysis methods, and proposes a complete set of automated detection framework to address the problems of complex bridge structures and diverse types of defects, effectively improving the accuracy and detection efficiency of defect localization. The experimental results show that the automatic detection technology has good reliability and universality, and can adapt well to the requirements of bridge detection in engineering sites. This study provides technical support for bridge maintenance decision-making and life cycle extension, which helps to achieve health management and public safety protection of bridge structures, and promotes the development of intelligent and automated bridge maintenance management methods.

Keywords: bridge defect detection; image processing; automation technology; structural health monitoring; crack identification

引言

伴随着我国高速公路和城市道路建设规模持续增加，桥梁变成连接各地最重要交通枢纽，桥梁能不能稳稳当当工作，直接关系到国家经济发展快慢和老百姓生命财产会不会受到损失。交通运输部公布数据，2023年底全国桥梁数量已突破一百万座以上，很多桥梁因为使用年限太久、周围环境腐蚀严重、来往车辆越来越重这些原因，导致裂缝、混凝土掉块、钢筋生锈这些毛病频发，这已经变成威胁大家安全必须马上解决的大问题。现在发现这些毛病基本靠工人拿着工具一点一点人工检查，可是这种老办法检查一次要花很长时间、人员工资花费太大、每个人看问题的标准还不一样，结果经常不准，所以很难做到及时发现所有隐患、全面掌握每座桥梁到底健不健康。国内外学者早已研究将数字图像处理、机器视觉以及人工智能算法应用于桥梁检测领域，在很大程度上提升了检测自动化水平和准确度，但是面对大规模桥梁

结构复杂、缺陷种类多且环境干扰大的真实情况，自动检测技术仍然面临识别精度低、适应能力弱等难题。探究工作集中桥梁缺陷自动探测领域，系统探讨了运用图像处理技术来辨识和解析桥梁表面各种缺陷的方法，目标是构建一个速度快速、运行可靠的自动化探测系统，用来克服传统探测方法的不足。通过仔细解析桥梁缺陷种类繁多、表现形式繁杂等特点，结合多角度图像采集技术以及缺陷特征提取和辨识技术，努力实现桥梁缺陷探测的智能化和规范化操作，为实际工程中桥梁健康管理和养护决策提供全新的技术支撑。

1 桥梁缺陷检测的现状与发展趋势

1.1 行业背景及安全需求

桥梁属于现在交通设施当中最关键的部分，桥梁安全直接影响到经济发展和老百姓生命财产安全。随着我国桥梁总数和规模快速增加，很多桥梁使用年限越来越长，老化情况变得越来越严重，一些桥梁结构开始出现缺陷问题，

这些缺陷可能让桥梁扛不住重压,甚至发生严重事故。桥梁常年暴露在室外,会受到温度高低变化、风吹雨打、车辆反复碾压这些因素影响,表面经常出现裂缝、混凝土掉块、钢筋生锈这些毛病。过去检查桥梁主要靠工人拿着工具到处看,速度慢而且不够准确,很难把桥梁整体健康状况完全查清楚,经常会漏掉问题或者看错情况。现代桥梁管理对安全性监测提出了更高要求,亟需依靠前沿技术实现高效、智能化的自动检测。满足桥梁缺陷检测的实时性、精确性和全面性是促进桥梁健康管理与安全保障的重要环节。

1.2 当前检测技术面临的挑战

现在桥梁缺陷检测技术用起来问题特别多。人工巡检一直是主要方法,速度慢、浪费大量人力,检查结果还特别容易被个人主观想法影响,难以保证每次精度都稳定一致。在桥梁内部结构特别复杂的地方,人根本去不了所有位置,导致很多缺陷直接漏掉或者被错判,概率很高。桥梁本身形状千差万别,不同缺陷长得又不一样,这就大大加大了用老方法识别缺陷的难度。因为老设备技术水平有限,加上现场环境条件差,根本做不到随时随地、一点不落进行实时监测,根本达不到现在桥梁管理需要的又快又聪明的标准。这些问题严重阻碍桥梁检测技术往更精细、更自动化的方向发展,亟需赶紧研发出先进技术来大幅提高检测效率和准确率,才能给桥梁结构健康管理提供真正放心的保障。

1.3 图像处理技术在桥梁检测中的应用价值

图像处理技术桥梁缺陷检测领域具有重要应用价值,工程师通过采集桥梁结构表面高清图像信息,可以快速准确识别裂缝、混凝土剥落、钢筋锈蚀等多种缺陷,显著提升检测速度跟准确程度。先进融合算法结合特征分析技术已经实现全自动处理流程,大幅减少人工巡检带来的人为误差跟对人员的依赖程度。图像处理技术非常适合桥梁结构复杂、类型多样的实际情况,能够给现代桥梁智能化管理提供稳定可靠的技术手段。这种技术广泛使用大大推动桥梁养护向科技化方向发展,为桥梁日常安全保障跟长期健康监测奠定非常坚实的技术基础。

2 图像采集与预处理流程

2.1 多角度图像采集策略

桥梁缺陷自动识别技术想要准确找出所有问题,采集多角度照片充当最重要的环节,作用至关重要。因为每座桥梁形状千差万别,同一个缺陷在不同部位看起来差别明显,要想彻底识别所有缺陷,就必须从多个角度、多个距离采集照片。可以提前布置好位置灵活的传感器,配备清晰度很高的高分辨率相机,再利用无人机帮忙,从前、后、左、右、远近不同位置,以及早上、中午、晚上不同光线条件下拍摄照片,这样才能保证拍到的信息足够完整不遗漏。采用多角度拍摄方式能够消除因为东西挡住或者角度太单一造成的看不见区域,大幅提升缺陷识别能覆盖到的范围。根据每座桥梁具体的结构特点,随时灵活调节无人机或者相机的拍摄角度,保证梁底、桥墩、缆索这些重点部位都能拍得特别清楚。这

些多角度拍出来的高质量照片,会直接供给后面的图像处理和缺陷特征提取使用,有利于最终达成又快又准的缺陷识别目标,最终维护桥梁始终处于安全运行状态。

2.2 图像去噪与增强技术

图像去噪和增强技术桥梁缺陷检测具有重要作用。桥梁检测图像采集过程容易出现噪声问题,通过去噪处理可以大大提高图像质量。常见方法包括使用空间域中值滤波和使用频率域小波去噪技术,中值滤波可以去除图像脉冲噪声,小波变换技术擅长去除复杂背景随机噪声。来突出桥梁缺陷特征,应用图像增强技术改善视觉效果。通过对对比度增强方法,可以清晰显示裂缝剥落部位细节信息。使用直方图均衡化技术,就能改善图像灰度分布,突出缺陷区域数字图像明显程度。这些技术一起使用,给后面缺陷识别分类工作提供高质量干净清晰图像数据支持。

2.3 缺陷区域的初步分割

缺陷区域分割是桥梁图像处理当中最关键步骤之一。技术人员借助分析采集到图像里面每个像素具体特征,就能准确找出哪些位置最常发生裂缝或者剥落问题。工作人员综合运用灰度变换方法、边缘检测方法、再加上纹理分析这些手段,来完成强化特征区域筛选任务,从而大幅提升分割准确程度。桥梁结构本身很复杂,所以必须采用适合处理大跨度图像算法,例如区域生长分割技术,这样才能完成裂缝和剥落区域快速精准识别。在整个分割过程当中加入动态阈值调整策略,用来适应各种现场光线和天气环境变化,加强缺陷边界定位能力,最终得到准确可靠初步检测结果。

3 缺陷特征识别与分类技术

3.1 裂缝与剥落特征提取

裂缝跟剥落属于桥梁缺陷检测里面两种特别常见的类型,这些特征提取工作直接决定自动化检测技术能不能做到又准又稳。裂缝往往呈现出一条一条明显线条形状,宽度有多宽、长度有多长、整体弯曲样子都属于关键判断依据。采用图像处理技术,借助边缘检测算法加上形态学操作,就能够快速准确地把裂缝几何形状全部抓取出来。实际使用过程中,为了应对桥梁表面材料不同、光线强弱不一这些复杂情况,必须再融合纹理分析方法以及灰度变化规律,来更加提升识别准确度。剥落缺陷最主要特点就是表面本来完整结构被破坏掉了,损坏区域大多显示出颜色偏暗、亮度偏低而且明暗分布特别乱。采用图像局部梯度计算结合区域分割算法,可以完成剥落区域准确位置确定。借助裂缝跟剥落特征携带的不同信息,工程师能够清楚评估缺陷当前严重程度,还能预测缺陷未来扩大趋势。整个特征提取流程给缺陷智能识别模型构建奠定了非常可靠基础,显著提高桥梁自动化检测系统在日常工程中的使用效率和实际效果。

3.2 缺陷智能识别模型

缺陷智能识别模型依靠图像处理和深度学习技术完成训练,搭建完整端到端特征提取和分类结构,达成桥梁缺陷高效精准检测。模型选择卷积神经网络 CNN 当作核

心骨干网络，融合多尺度特征学习模块，对于裂缝、剥落这类复杂缺陷形态完成高精度检测。使用迁移学习技术改善网络参数，显著提升模型训练效率以及各种场景适应能力，引入注意力机制模块着重关注缺陷关键区域，明显改善检测准确率。为了应对桥梁结构复杂造成的检测困难，模型专门开发多种优化策略，极大提高不同材质和结构缺陷检测稳定性与鲁棒性。经过大量实验证明，这套模型具备极高检测精度和优秀泛化能力，完全满足各种桥梁缺陷检测的实际需求，为桥梁智能化检测技术研发带来可靠技术支撑。

3.3 识别结果的准确性提升

旨在提高识别结果的准确性，面对桥梁缺陷特征的复杂性和多样性，使用高效的深度学习算法改进特征匹配过程，运用多源图像数据融合技术强化缺陷信息表达，并且融合精细化的后处理方法减少误检率和漏检率，从而达成桥梁缺陷的精准识别与分类。

4 自动化检测框架与系统实现

4.1 检测流程的自动化集成

自动化检测框架整合起来是实现桥梁缺陷检测技术快速落地最关键一步。通过把图像采集模块、预处理模块和特征识别模块互相连接在一起，构建出一套完整检测工作流程，这样大大提高了整个系统各个部分配合默契程度和运行速度。在实际检测过程中，桥梁图像采集模块负责从多个角度拍下桥梁表面所有区域，确保缺陷位置不会被漏掉。图像预处理模块使用去噪技术、增强技术来优化输入图片质量，给后面步骤提供清晰可靠特征信息支持。缺陷识别模块使用智能算法对处理完图片进行分析，完成缺陷种类判断和具体位置标记。各模块借自动化接口实现数据高效流转，减少人工干预，大幅提升信息传递速度与处理稳定性，检测流程集成设计兼顾桥梁结构复杂特性，针对不同形态灵活调整，保障技术适用与普遍，此框架为桥梁缺陷检测规模化应用筑牢了坚实技术根基。

4.2 桥梁结构复杂性适应方案

旨在更好适应桥梁结构十分复杂的特点，检测框架专门设计出能够适应各种结构形式以及各种材料特点的完整检测方法。检测过程通过结合多角度拍照采集图片加上人工智能识别模型，成功实现对桥梁所有复杂部位进行全面监控。图像处理算法大幅提升了对不同材料表面反光特点的识别能力，同时能够非常准确地把相邻两个结构之间的边界清楚分开。通过建立一个灵活多变的特征分析数据库，检测参数可以随时自动调整，从而轻松应对桥梁结构随时可能出现的变化，也能准确识别出各种各样的缺陷类型。这种高度适应的检测方法为大幅提高检测效率和检测准确率奠定了非常坚实的基础。

4.3 系统适用性与扩展性评估

桥梁缺陷自动检测技术要想真正用到实际工程中，必须先认真评估这个系统到底好不好用、能不能扩展。桥梁

种类非常多，结构复杂程度不一样，检测要求也不相同，所以要专门做适用性测试，看这个系统能不能检测各种不同类型的桥梁、不同材质的桥梁，以及在各种天气和环境条件下是否都能正常工作。通过把核心检测算法做成一个个独立模块的方式，大大增强系统扩展能力，这样以后不管遇到哪个地区特有的环境，还是未来出现了新材料、新结构形式的桥梁，系统都能轻松调整满足要求。实际评估结果表明，这个检测系统在面对不同桥梁类型、不同结构形式、不同缺陷种类时，都能稳定可靠地工作，而且只要稍微改动框架就能增加新功能，实用价值很高，能给桥梁日常健康监测和智能化养护管理提供非常可靠的技术支持。

5 结束语

研究人员专门针对桥梁缺陷自动检测技术做了大量工作，成功建立起一套完整的图像处理检测系统，完全克服了过去靠人眼巡检效率低下、判断结果容易受到个人主观影响很大的问题。研究人员采用多角度拍照方式，再配合智能特征分析技术，准确快速识别出裂缝和剥落等桥梁表面常见损伤。大量真实工程现场实验充分证明这套方法运行稳定、适应能力强，能为日常桥梁维护决策、结构安全监测以及延长桥梁使用寿命带来可靠技术支持，有力推动桥梁养护工作朝着智能化和自动化方向快速发展。现在这套技术仍然存在几处可以继续完善提高的地方。当前桥梁检测存在一些不足：部分微小缺陷在复杂环境光照，表面污染等干扰下检出率低，检测框架多聚焦表面视觉缺陷，对内部结构隐患及多源数据融合关注不足；检测系统实时性与跨桥梁类型的通用适应性也有待优化，未来研究可从三方面拓展：引入深度学习及多模态数据融合技术，增强对复杂环境和内部隐患的识别；研究实时处理性能与端云协同模式，兼容更多桥梁类型，完善缺陷评估与预警机制，让检测结果与桥梁健康管理决策深度联动，推动桥梁结构安全管理向智能化、精细化迈进。

【参考文献】

- [1]余铨.高速桥梁底部表面缺陷自动检测应用技术研究[J].科学技术创新,2022(27):144-147.
- [2]娄联堂,何慧玲,石胜平.基于局部处理的 X 射线图像裂纹缺陷自动检测 [J].中南民族大学学报：自然科学版,2020,39(1):98-102.
- [3]张书芬.基于图像处理的桥梁裂缝自动检测技术研究 [J].中国科技纵横,2020(13):104-105.
- [4]黄阿童姚山.基于图像处理的增材制造铺粉缺陷自动检测 [J].工业控制计算机,2020,33(10):7-10.
- [5]李冰李坤福.基于数字图像处理的砂纸缺陷自动检测系统设计 [J].河南科技,2021,40(11):8-10.

作者简介：郭嘉成（1998.3—），性别：男，民族：汉，籍贯：河南省焦作市人，学历：硕士研究生，研究方向：土木水利。