

计算机视觉在混凝土缺陷中的研究综述

梁思琪¹ 李朝忠² 樊先平³

1 重庆交通大学, 重庆, 402247;

2 重庆高新技术产业开发区管委会建设局, 重庆, 4002247;

3 重庆交通大学 重庆建工建材物流有限公司, 重庆, 402247;

摘要: 近年来, 计算机视觉代替人工检测混凝土缺陷成为行业热点。本文阐述其基本原理和主要方法, 详论图像预处理技术的行业进展, 分析深度学习中四个角度在缺陷检测中的应用优缺。最后展望未来发展趋势, 如无人机结合红外与可见光传感器、深度学习模型轻量化高效化设计、实时监测及与智能建造结合等, 为推动该领域研究与应用提供参考。

关键词: 计算机视觉; 图像预处理; 深度学习; 缺陷检测

DOI: 10.69979/3029-2727.24.12.043

研究背景与意义

由于混凝土的高强度和良好的耐久性使得其在建筑、桥梁, 水利等众多领域得到了广泛的应用。但混凝土中的裂缝、蜂窝、麻面、露筋等缺陷会使结构的整体性受到破坏, 降低混凝土的承载能力^[1]。在各种缺陷的长期作用下, 混凝土结构的使用寿命大大缩短, 可能在远未达到设计使用年限时就出现严重的安全问题。

面对诸多安全隐患, 缺陷检测行业得到大力发展, 然而人工检测容易受到检测人员的经验、技能水平、疲劳程度和主观判断等因素的影响, 而计算机视觉(TV)技术可以精确地按照既定检查标准和规范进行操作, 因其高效率和准确性为混凝土缺陷检测带来了新的发展机遇^[2]。

1 计算机视觉技术概述

1.1 图像采集与处理

通过选择合适的采集设备、优化采集环境和采用合理的采集方法, 可以获得高质量的混凝土图像, 为后续的缺陷检测和分析提供可靠的基础。苏圆婷设计了一种基于TV技术的数字媒体平面设计系统, 硬件方面改造图像采集卡电路结构, 优化系统图像采集模块; 软件方面优化区域内色彩信息, 呈现系统展示图形的视觉色彩分布, 可以提高设计图形色调均值, 呈现更好的彩色图像^[3]。在图像采集技术上, 无人机搭载高性能传感器或高分辨率专业相机^[4], 为构造物表观缺陷检测带来新活力, 它可以弥补传统检测不能完成的检测项目, 为公路桥梁

养护维护提供了更加准确的数据支撑。

1.2 特征提取与识别

特征提取是从图像或视频中提取出具有代表性的特征, 以便后续的处理和分析。常见的特征包括颜色特征、纹理特征、形状特征等。郝博使用Zernike矩亚像素边缘检测代替传统边缘检测算法, 提高边缘检测精度, 再通过形态学处理弥补像素损失, 突出形状特征^[5]。

特征提取和描述是计算机视觉中的核心技术, 它包括特征点检测、特征描述子计算等步骤。常见算法如Harris角点检测、SIFT和SURF算法等, 能依不同原理找出特征点并提取特征描述子, 在图像拼接、目标识别、配准与三维重建等多方面广泛应用, 助力完成复杂视觉任务。王亦君利用图像处理技术与支持向量机分类算法检测钢构件防腐涂层空鼓、裂纹、剥落3种缺陷, 提取65维缺陷图像特征(含多种特征), 再用Fisher判别准则将特征向量降至37维, 以所得特征向量为输入, 基于支持向量机算法搭建多分类模型, 可以实现钢构件防腐涂层表面缺陷自动识别^[6]。

1.3 目标检测与分类

目标检测是找出图像或视频里特定目标物体位置与大小, 目标识别是对检测出的目标分类确定所属类别, 常用机器学习、深度学习方法进行训练。训练要收集大量标注数据训练得模型, 测试时输入待检测图像或视频, 输出目标位置和类别。

将YOLOv8的Detect头换为Detect-FASFF头解决

特征尺度一致性问题、增强小目标检测能力,通过改进算法的检测头部分可以提高算法精度^[7];更换换CIoU损失函数为Focaler-IoU损失函数,可以让模型更关注小目标且扩大适用范围^[8]。

何沐阳提出非接触式与接触式结合的数据处理法来进行检测训练,经转化与卡尔曼滤波模拟出结构真实位移,用结构模态参数识别验证可行性。通过大量的训练测试后,该模型能够捕获监测准确度高的动态结构位移^[7]。

2 图像预处理最新研究进展

2.1 图像增强

灰度变换意在改变图像像素灰度值以提升视觉效果。它分为线性灰度变换和非线性灰度变换。现实中的图像问题往往较为复杂,当图像对比度不足、整体偏暗或偏亮时,线性灰度变换可能无法很好地解决问题。而非线性灰度变换中的对数变换可以扩展图像的低灰度区域、压缩高灰度区域,能够增强暗区域的细节,更适合处理这类在灰度分布上不均匀的图像。

耿旺基于MSRCR算法,结合自适应伽马校正($y=x^{\gamma}$)与梯度域引导滤波算法提出夜间图像增强算法^[10]。直方图均衡化旨在让图像灰度分布更均匀、增强对比度,通过调整直方图使灰度级在整个灰度范围均匀分布,对对比度低、灰度分布集中的图像效果佳^[11]。

杨威先把同态滤波的裂纹图像从RGB转LAB空间,用自适应伽马校正L通道亮度后转回RGB,再把同态滤波图像经限制对比度自适应直方图均衡化,融合两种得到增强图像^[12]。

2.2 图像降噪

图像降噪是用滤波器或算法减少图像噪声,噪声可能源于传感器、传输干扰等。常见滤波有均值、中值滤波等,均值滤波是线性方法,取像素点及其邻域像素值平均值来平滑图像,邻域大小可调整;中值滤波是非线性方法,取像素点及其邻域像素值排序后的中值作新值。

宣安峰将中值滤波与NLM滤波结合处理混合噪声石板图像,能有效去噪并保留边缘信息^[13]。单佐林对比多种滤波算法对混凝土裂缝图像效果后选高斯滤波平滑裂缝灰度图像降噪,发现 $\gamma < 1$ 时伽马变换可更好提高裂缝图像对比度,方便后续处理,双边滤波在降噪同时能较好保留边缘^[14]。

2.3 图像矫正

在采集混凝土缺陷样本时,图像易因遮挡、角度等出现扭曲、变形情况。张昊宇采用二维转三维模型定位裂缝,依建筑规划采集数据建数据集,结合技术建三维模型获物距,靠级联神经网络识别分割裂缝,借实景模型算裂缝参数,精准识别建筑外立面裂缝并计算定位^[15]。王文斌以消费级相机图像为源,融合两种网络构建模型,用数据库训练测试,用运算和阈值分割优化结果作宽度测量输入,用特定靶标校正透视误差来降低宽度测量误差^[16]。

3 基于计算机视觉(CV)的混凝土缺陷检测方法

3.1 图像分类

深度学习模型(如CNN)能自动学习图像特征以分类图像,经典架构有ResNet、VGG等,经大规模图像数据集训练可获高准确率。

张振海提出基于BCEM的桥梁裂缝识别网络,融合深度学习与传统图像处理,增强裂缝信息表达后切分裂缝为面元图像,用改进的BC-MobileNet轻量化模型分类,再识别误检与漏检面元,对比其他裂缝识别方式,BCEM实验指标均提升^[17]。张怡琳用ResNet、ResNeXt、DenseNet和MobilenetV3架构识别混凝土拌合物图像,经数据构建、模型训练与应用测试,证实计算机视觉方法在混凝土坍落度检测中的有效性与准确性^[18]。

3.2 目标检测

目标检测主要需确定图像中特定目标是否存在,常用方法有R-CNN系列算法(如Fast R-CNN、Faster R-CNN)及单阶段检测算法(如YOLO、SSD)。

王建国针对瓷砖缺陷提出Faster R-CNN改进算法,先扩数据集防过拟合,于主干网络加CBAM机制强化特征提取,在建议框用ASFF算法保证小瑕疵特征提取,经检验检测精度提高^[19]。

刘震基于改进YOLOv8与AutoAugment探地雷达检测及图像识别法,经多测试知内部裂缝在雷达图像有“双曲线”特征且与宽度相关,可用于路面裂缝无损检测与智能识别^[20]。

3.3 语义分割

全卷积网络(FCN)是语义分割经典架构,其把卷积神经网络全连接层换为卷积层,可接受任意大小图像

输入并输出相同大小分割结果。语义分割算法相比目标检测算法能自动学习提取图像特征、精确分类像素，通过对像素检测判断描绘裂缝走势与宽度等几何特征以实现精确识别。Zhao 提出 MPViT-Crack 智能分割网络用于提取复杂背景模糊裂缝像素数据，设计细化骨架宽度云图计算法量化裂缝尺度，还提出利用三维模型计算单幅图像像素空间投影坐标技术^[21]。该方法能够将云图映射到三维模型实现真实位置直观可视化。

3.4 实例分割

实例分割兼具目标检测与语义分割算法优点。顾宗文针对数字化交通标线损伤诊断需求，提出基于 Mask R-CNN 的 FE-Mask R-CNN 模型，在各特征层提取网络添加 ECA 注意力机制，可捕捉通道关系，强化模型在复杂环境下的特征提取能力，经目标检测与实例分割得到损伤交通标线及其修复图像^[22]。刘晓雨提出基于 SOL0v2 的桥梁裂缝实时分割技术，在实例分割模型加入注意力机制模块，相比传统裂纹检测方法，有效提升了裂缝分割精度与速度^[23]。

4 计算机视觉在混凝土缺陷检测中的未来发展方向

4.1 优化图像采集与预处理方法

为得到更好的样本图像数据，未来在图像采集和预处理方法上可以进行优化，例如红外传感器和可见光传感器的无人机相结合，在得到更清晰原始图像的基础上，融合更多预处理方法可以更充分的实现智能化、自动化，提高采集效率和图像精度。

4.2 优化深度学习算法

为了满足混凝土缺陷检测的实时性要求，需要对深度学习模型进行轻量化和高效化设计。可以采用模型压缩、剪枝、量化等技术，减少模型的参数数量和计算量，提高模型的运行速度。同时，还可以优化模型的结构，提高模型的并行性和分布式计算能力。

半监督和无监督学方法可以利用大量的未标注数据进行训练，提高模型的泛化能力和鲁棒性。在混凝土缺陷检测中，由于标注数据的获取成本较高，半监督和无监督学方法具有很大的应用潜力，可以帮助我们更好地利用未标注数据，提高模型的性能。

5 结语

基于文献调查，本文阐述了计算机视觉技术在混凝土缺陷检测领域的最新研究进展，分别介绍了图像增强、图像降噪和图像矫正这三个图像预处理阶段的最新进展，同时介绍图像分类、目标检测、语义分割和实例分割这四类计算机视觉算法的最新应用和优缺点对比。

在图像采集方面，合适的采集设备如数码相机和无人机，以及优化的采集环境和方法，为获取高质量的混凝土图像奠定了基础。良好的光照条件和简单的背景有助于提高图像质量，而不同的采集方法可以适应不同规模和类型的混凝土结构。

计算机视觉技术为混凝土缺陷检测提供了高效、准确且非接触式的方法。基于图像处理和深度学习的方法在裂缝、蜂窝麻面、孔洞等常见混凝土缺陷的识别中取得了显著成果。这些方法能够快速处理大量图像数据，大大提高了检测效率，减少了传统人工检测的主观性和误差。

然而，目前的研究仍存在一些挑战。一方面，实际应用中混凝土结构的复杂性、光照变化、背景干扰等因素仍然会影响检测的准确性和稳定性。另一方面，深度学习模型通常需要大量的标注数据进行训练，数据的收集和标注工作较为繁琐。此外，不同的计算机视觉方法在不同场景下的适用性也需要进一步研究和优化。

参考文献

- [1] 陈丝璐. 基于深度学习和图像分类的桥梁缺陷检测方法设计与实现[D]. 兰州大学, 2023. DOI: 10.27204/d.cnki.gzhu.2023.001926.
- [2] 高连, 李宁. 基于人工智能的寒区隧道衬砌裂缝检测方法[J]. 北方交通, 2024, (11): 77-80+84. DOI: 10.15996/j.cnki.bfjt.2024.11.020.
- [3] 苏圆婷. 基于机器视觉技术的数字媒体平面设计系统[J/OL]. 自动化技术与应用, 1-5 [2024-10-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1474.TP.20241018.0955.016.html>.
- [4] 李博, 李彦江, 杨恬, 等. 如何利用无人机进行桥梁缺陷检测[J]. 居业, 2024, (09): 149-151.
- [5] 郝博, 徐新岩, 闫俊伟. 基于机器视觉的铆接孔几何参数测量[J]. 工具技术, 2024, 58(03): 131-137.
- [6] 王亦君, 蒋首超. 基于计算机视觉的钢构件防腐涂层缺陷检测[J]. 建筑钢结构进展, 2023, 25(12): 85-93+101. DOI: 10.13969/j.cnki.cn31-1893.2023.12.00

9.

- [7] 杨路, 刘俊杰, 余翔. 多尺度信息增强的遥感图像目标检测算法 [J/OL]. 计算机工程, 1-13 [2024-11-21]. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.00EC0070252>.
- [8] 王国明, 贾代旺. 基于 YOLOv8 的小目标检测模型的优化 [J/OL]. 计算机工程, 1-10 [2024-10-26]. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0070027>.
- [9] 何沐阳, 何嘉壹, 孙晓丹. 基于计算机视觉的框架结构动态位移识别方法 [J]. 低温建筑技术, 2024, 46 (08): 137-140. DOI: 10.13905/j.cnki.dwjz.2024.8.028.
- [10] 耿旺. 夜间城市道路图像增强和语义分割算法研究 [D]. 吉林化工学院, 2024. DOI: 10.27911/d.cnki.ghjgx.2024.000251.
- [11] 马士友, 付致伟, 王晓东, 等. 基于直方图均衡和幂次变换的灰度图像增强算法 [D]. 2013.
- [12] 杨威, 刘志强, 叶嘉辉, 等. 基于图像融合的水下桥墩裂纹图像增强方法 [J/OL]. 光电子·激光, 1-10 [2024-10-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1182.04.20240321.1614.040.html>.
- [13] 宣安峰. 基于机器视觉的石板缺陷检测及排样方案研究 [D]. 南昌大学, 2023. DOI: 10.27232/d.cnki.gnchu.2023.004331.
- [14] 单佐林. 基于机器视觉的混凝土表面裂缝识别研究 [D]. 山东大学, 2023. DOI: 10.27272/d.cnki.gshdu.2023.003420.
- [15] 张昊宇, 丁勇, 李登华. 基于三维重建的结构表面裂缝检测方法 [J]. 工业建筑, 2024, 54 (05): 60-67. DOI: 10.13204/j.gyjzG22102611.
- [16] 王文斌, 王啸霆, 王涛, 等. 基于计算机视觉的混凝土表观裂缝识别和宽度测量 [J]. 地震工程与工程振动, 2024, 44 (03): 41-51. DOI: 10.13197/j.eeed.2024.0304.

[17] 张振海, 季坤, 党建武. 基于桥梁裂缝识别模型的桥梁裂缝病害识别方法 [J]. 吉林大学学报(工学版), 2023, 53 (05): 1418-1426. DOI: 10.13229/j.cnki.jdxbgxb.20210860.

[18] 张怡琳, 程国坚, 余艾冰. 基于深度学习的混凝土坍落度检测方法 [J]. 水泥工程, 2024, (04): 12-18+41. DOI: 10.13697/j.cnki.32-1449/tu.2024.04.003.

[19] 王建国, 孙付仲, 苑子龙, 等. 基于改进 Faster RCN N 的瓷砖表面缺陷检测算法 [J/OL]. 南京工业大学学报(自然科学版), 1-7 [2024-10-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1670.n.20240424.1604.008.htm>.

[20] 刘震, 顾兴宇, 李骏, 等. 探地雷达数值模拟与道路裂缝图像检测的深度学习增强方法 [J]. 地球物理学报, 2024, 67 (06): 2455-2471.

[21] Zhao S, Kang F, Li J. Intelligent segmentation method for blurred cracks and 3D mapping of width nephograms in concrete dams using UAV photogrammetry [J]. Automation in Construction, 2024, 157: 105145.

[22] 顾宗文, 吴志周, 徐里鹏, 等. 复杂环境下的路面交通标线检测与分割方法 [J/OL]. 计算机工程与应用, 1-11 [2024-10-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20240708.1247.006.html>.

[23] 刘晓雨, 张继凯, 吕晓琪. 基于 SOL0v2 的桥梁裂缝实时分割算法 [J]. 内蒙古科技大学学报, 2023, 42 (04): 387-393. DOI: 10.16559/j.cnki.2095-2295.2023.04.016.

作者简介: 梁思琪(2001—), 女, 硕士, 通信地址: 重庆市渝北区, 研究方向: 混凝土+计算机.

课题项目: 重庆交通大学—重庆建工建材物流有限公司材料与化工研究生联合培养基地.

项目编号: JDLHPYJD2019002.