

混凝土裂缝 AI 识别算法在建筑质量检测中的精度提升研究

李 青

(山东鸿强建设有限公司, 山东 泰安 271600)

摘 要 在建筑领域中, 混凝土结构质量关乎建筑安全与耐久性, 而混凝土裂缝是常见的质量问题。提升混凝土裂缝 AI 识别算法精度对建筑质量检测意义重大。本文指出通过优化数据质量, 如数据清洗、规范标注和数据增强; 改进算法模型, 选择合适模型并调优超参数; 增强检测环境适应性, 优化图像采集和开发预处理算法等方法, 可实现在建筑施工和既有建筑检测中更精准的裂缝识别, 有效保障建筑结构安全, 提供质量评估依据, 降低检测成本, 以期为建筑质量检测提供可靠的技术支持。

关键词 混凝土裂缝; AI 识别算法; 精度提升; 建筑质量检测

中图分类号: TU755.7; TP18

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.010

0 引言

建筑质量是建筑行业的生命线, 也是社会关注的焦点。混凝土作为建筑结构的主要材料, 其裂缝问题严重威胁建筑安全与耐久性。传统裂缝检测方法效率低、准确性差, 难以满足现代建筑质量检测需求。人工智能技术的兴起, 为混凝土裂缝检测带来新契机。AI 识别算法虽已应用于裂缝检测, 但精度仍待提升。深入研究提升混凝土裂缝 AI 识别算法精度的方法, 对保障建筑结构安全、提高建筑质量评估科学性、降低检测成本具有重要现实意义和创新价值。

1 混凝土裂缝 AI 识别算法在建筑质量检测中的重要作用

在风荷载、地震力等外部作用下, 裂缝会从微小缝隙发展成致使建筑局部坍塌甚至整体结构失效的严重隐患。AI 识别算法凭借强大的图像分析能力, 能精准定位关键承重部位的细微裂缝, 为专业人员评估结构安全提供支撑, 以便及时采取碳纤维加固、灌浆修复等措施降低安全风险^[1]。裂缝的数量、宽度及深度反映建筑质量状况, AI 识别算法通过高分辨率图像采集, 能精确测量裂缝宽度至毫米级, 估算深度, 为建筑质量评估提供客观精准的数据, 助力相关部门判断建筑验收情况及是否需后续无损检测。传统检测方法存在漏检、效率低、成本高的问题, 而 AI 识别算法接入智能摄像头后可 24 小时不间断工作, 快速筛选海量图像, 大幅减少人力投入, 缩短检测周期, 提升检测结果可靠性, 有效降低整体检测成本。

2 混凝土裂缝 AI 识别算法技术特点

2.1 基于深度学习的算法

深度学习算法中, 卷积神经网络 (CNN) 在混凝土裂缝识别领域表现出色。其由输入层、多个卷积层、池化层及全连接层组成。海量裂缝图像输入后, 卷积层的卷积核以特定步长滑动, 与图像局部区域卷积, 精准抓取裂缝边缘、纹理等特征, 无论是细长裂缝的线性走向, 还是网状裂缝的复杂纹路都能敏锐感知^[2]。池化层依据规则对卷积层输出特征图降维, 保留关键信息, 减轻运算负担。全连接层将最终特征图转化为分类结果, 实现对裂缝形状、大小、位置的精准判定。经大量不同光照、拍摄角度的图像训练, 该算法适应性强, 但训练数据匮乏或标注错误会使识别精度下降。

2.2 图像预处理技术结合

灰度化将 RGB 图像转为灰度图, 简化数据, 增强裂缝与背景灰度差异。降噪时, 高斯滤波利用高斯分布对像素加权平均, 抑制高斯噪声, 让图像平滑。直方图均衡化统计灰度值频率, 重新分配灰度, 提升图像对比度, 使模糊裂缝轮廓清晰, 与背景界限分明。形态学的膨胀、腐蚀操作填补裂缝空洞、消除孤立噪点, 突出裂缝特征。一系列预处理大幅提升图像质量, 凸显裂缝特征, 减少干扰, 为 AI 算法精准识别创造有利条件, 降低误判、漏判风险。

2.3 实时检测功能

施工现场部署智能摄像头, 持续采集混凝土各施工阶段图像, 并即时传输至搭载 AI 算法的终端。算法

迅速分析图像,一旦发现疑似裂缝,立即与预设特征库比对确认。若确定为裂缝,即刻通过声光报警、短信推送告知施工人员。如混凝土浇筑时,算法能实时监测新浇筑表面是否出现塑性收缩裂缝,施工人员可据此及时调整振捣工艺、加强养护,避免裂缝发展扩大,切实保障施工质量,提升工程安全稳定性。

3 影响混凝土裂缝 AI 识别算法精度的因素

3.1 数据质量的影响

标注准确性至关重要,一旦数据集中标注裂缝宽度、位置、类型等信息出现偏差,算法便会在错误引导下进行学习。例如:标注裂缝宽度时,若将实际 1 mm 宽的裂缝误标为 2 mm,算法在后续识别同类裂缝时,会依据错误标注构建特征认知,从而对裂缝严重程度评估失误,给出错误的风险判断。样本均衡性同样不可忽视,当数据集中某类裂缝,如细微裂缝样本量过少,算法在训练期间接触此类裂缝特征的机会有限,难以充分学习到细微裂缝独特的形态、灰度变化等特征。在实际应用中,面对细微裂缝,算法便可能因缺乏足够“经验”而出现漏检或误判,导致整体识别精度大幅下滑。

3.2 算法模型的影响

简单模型,如浅层神经网络,因自身结构局限,神经元数量与连接方式匮乏,无法深入挖掘裂缝图像复杂的纹理、拓扑等特征。面对不规则形状、微弱灰度差异的裂缝,识别精度难以提升。而过于复杂的模型,如层数极深的卷积神经网络,虽能捕捉到细致特征,但训练时易陷入过拟合。它过度学习训练集细节,如噪声或特殊场景下的非关键特征,却忽略裂缝特征的一般规律,导致面对新裂缝图像时无法准确迁移知识,适应性变差。模型超参数对性能影响显著,学习率决定参数更新步长,设置过大,模型在参数空间跳跃幅度过大,易错过最优解;设置过小,收敛速度缓慢,耗费大量训练时间且可能陷入局部最优解。迭代次数也至关重要,次数不足,模型无法充分学习数据特征;次数过多,易引发过拟合。超参数设置不合理,会显著影响模型性能与裂缝识别精度。

3.3 检测环境的影响

光照条件变幻莫测,强光直射时,混凝土表面反光强烈,裂缝区域被过度曝光,原本的裂缝特征被掩盖,算法难以从一片亮白区域中分辨出裂缝轮廓,从而造成误判。阴影遮挡下,裂缝处于暗部,与周围环境灰度对比减弱,同样增加了算法识别难度,易引发漏判。施工现场背景干扰因素众多,灰尘弥漫在空气中,附

着于混凝土表面,其形成的不规则斑点与细微裂缝在图像上表现相似,算法可能将灰尘误识别为裂缝^[3]。杂物如散落的石子、钢筋等,在图像中会产生复杂的边缘与纹理,干扰算法对裂缝特征的提取,进一步降低检测的准确性,使得算法在这种复杂环境下难以发挥出理想的识别精度。

4 提升混凝土裂缝 AI 识别算法精度的措施

4.1 数据质量优化

在数据清洗环节,借助图像清晰度检测算法,对收集的图像数据进行逐张筛查。一旦发现图像存在模糊,如因拍摄设备抖动、对焦不准导致的边缘虚化,或是图像文件损坏,出现数据缺失、色块异常等情况,即刻将其剔除。制定一套严谨的标注规范,明确规定裂缝宽度、长度、位置、类型等标注细则。对于裂缝宽度,精确到毫米,并统一测量方式;对于裂缝类型,清晰界定为收缩裂缝、温度裂缝等。组织由图像处理专家、建筑结构工程师组成的专业标注团队,对标注数据进行交叉审核。标注人员依据规范,在图像上精准勾勒裂缝轮廓、填写相关参数,审核人员从旁复查,确保标注准确无误,杜绝标注错误,为后续算法训练提供可靠的数据支撑。积极运用数据增强技术,通过旋转操作,将原始裂缝图像以不同角度(如 30°、60°、90°等)进行旋转,模拟不同拍摄视角下的裂缝形态;平移操作使裂缝在图像中的位置随机变动;缩放则调整裂缝的大小显示;添加噪声,如高斯噪声、椒盐噪声,模仿实际拍摄中可能混入的干扰。经过这一系列操作,极大地扩充了数据集规模,丰富数据多样性,助力算法全面学习各类裂缝特征,提升其在不同场景下的泛化识别能力。

4.2 算法模型改进

针对混凝土裂缝特征兼具空间结构(如裂缝形状、走向)与时间序列(裂缝发展过程)特性,将卷积神经网络(CNN)与循环神经网络(RNN)有机结合。CNN 凭借其卷积层、池化层,能高效提取裂缝图像的空间特征,如边缘、纹理等;RNN 中的长短时记忆网络(LSTM)模块,可捕捉裂缝在时间维度上的变化规律,二者协同工作,全面提升对裂缝特征的提取与分析能力。引入迁移学习策略,利用在大规模通用图像数据集(如 ImageNet)上预训练的模型,这些模型已学习到丰富的图像基础特征。针对混凝土裂缝识别任务,对模型的顶层分类器进行微调,重新训练部分参数,使模型快速适配裂缝识别场景,大幅减少训练时间与数据需求。在超参数调优方面,采用随机搜索算法,预先设

定超参数的取值范围,如学习率在 $[0.0001, 0.1]$ 之间、迭代次数在 $[100, 1000]$ 之间等,算法在该范围内随机生成超参数组合进行模型训练,通过多次尝试,筛选出性能最优的参数设置,加快模型收敛速度,显著提升识别精度。

4.3 检测环境适应性改进

选用高分辨率摄像头,可捕捉到混凝土表面细微裂缝的更多细节;宽动态范围摄像头则能在光照条件变化剧烈的场景下,使裂缝与背景都能清晰成像。在采集图像时,精心规划拍摄角度,尝试从多个角度(如正面、侧面 45° 、俯拍等)拍摄同一区域,确保裂缝各个侧面的特征都能被记录。合理利用辅助照明设备,如柔光灯、无影灯,避免强光直射产生反光,减少阴影遮挡,让裂缝在图像中轮廓分明^[4]。开发环境预处理算法,利用基于深度学习的图像分割技术,如U-Net网络模型,对采集到的图像进行处理。该模型通过编码器—解码器结构,将混凝土区域从复杂背景(如施工现场的杂物、灰尘、其他建筑材料)中精准分割出来,去除背景干扰因素,突出裂缝主体,为后续裂缝识别算法提供纯净、特征明显的图像,从而有效提高算法在复杂环境下对裂缝的识别准确性,保障检测结果的可靠性。

5 提升算法精度在建筑质量检测中的实际应用及效果

5.1 在建筑施工阶段的应用

以大型建筑项目为例,在基础浇筑完成初凝后,便迅速投入使用。在基础表面、柱体以及梁体等关键部位,智能摄像头被合理且密集地部署。这些摄像头以高清画质、每秒数帧的速度持续采集混凝土表面图像,并借助高速数据传输线路,将图像实时传送到搭载先进AI裂缝识别算法的计算终端。算法在接收到图像的瞬间,迅速启动运算,对图像中的每一处细节进行深度分析。一旦检测到裂缝,无论是发丝般细微的收缩裂缝,还是因应力集中产生的稍大裂缝,系统会立即通过声光报警装置发出尖锐警报,同时向施工人员的移动终端推送包含裂缝位置、类型、预估宽度等详细信息的通知。施工人员收到通知后,即刻奔赴现场,依据裂缝具体情况采取相应措施。对于宽度极窄的裂缝,采用表面封闭法,涂抹高强度密封胶,阻止水分与空气进入,防止裂缝进一步扩展;若裂缝较宽,则运用压力灌浆法,注入适配的灌浆材料,填充裂缝,恢复混凝土结构的整体性与强度,从而在施工阶段便牢牢把控建筑结构质量,为后续施工筑牢安全根基。

5.2 在既有建筑检测中的应用

检测团队依据建筑规模与结构特点,制定周期性检测计划,如每半年或一年进行一次全面检测。运用无人机搭载高精度图像采集设备,围绕建筑外立面进行环绕拍摄,获取大面积、高分辨率图像;对于建筑内部,检测人员携带便携式图像采集装置,深入各个楼层、房间,对梁、板、柱等关键结构部位进行细致拍摄。采集到的图像统一汇总至专业数据处理中心,由AI裂缝识别算法展开分析。算法凭借强大的图像识别能力,精准识别出潜在裂缝,并与过往检测数据进行比对。通过对裂缝位置、宽度、长度等参数随时间变化趋势的深入挖掘,运用数据拟合与预测模型,能够科学预估裂缝未来发展走向^[5]。若发现某条裂缝宽度呈现持续缓慢增长态势,算法可预测其在未来一段时间内可能达到的宽度,以及对建筑结构承载能力的影响程度。基于这些分析结果,建筑维护团队便能制定针对性较强的维护与加固方案,如对即将影响结构安全的裂缝,采用粘贴碳纤维布加固法,增强结构的抗弯、抗剪能力,确保既有建筑安全稳固,延长其使用寿命。

6 结束语

混凝土裂缝AI识别算法在建筑质量检测中的精度提升研究成果丰硕。通过对数据质量的优化、算法模型的改进以及检测环境适应性的增强,显著提高了算法对混凝土裂缝识别的精度。在建筑施工阶段,能及时发现裂缝,有效保障结构质量;在既有建筑检测中,可准确预测裂缝发展趋势。这些成果为建筑行业提供了高效、可靠的质量检测手段,助力建筑质量提升,对保障建筑安全、推动行业发展意义重大,未来有望在更多建筑场景中深度应用与拓展。

参考文献:

- [1] 石子,吴志刚,胡继峰,等.基于单阶段目标检测算法的混凝土裂缝识别模型[J].水电能源科学,2025,43(02):118-122.
- [2] 尹瑞博.基于数字图像处理混凝土裂缝识别算法研究[D].西安:长安大学,2024.
- [3] 孙晓贺,施成华,刘凌晖,等.基于改进的种子填充算法的混凝土裂缝图像识别系统[J].华南理工大学学报(自然科学版),2022,50(05):127-136,146.
- [4] 姜焯.混凝土裂缝图像识别算法的精度研究[D].重庆:重庆交通大学,2022.
- [5] 张鹏.深度学习算法在混凝土材料组分及构件表面裂缝识别中的应用[D].合肥:合肥工业大学,2021.