

图像识别技术在工程上的应用研究

于钱米^{1,3} 李佳骏² 房建宏³ 刘建坤²

1. 宁波华东核工业勘察设计院集团有限公司 浙江 宁波 315040

2. 中山大学 土木工程学院 广东 珠海 519000

3. 青海省交通科学研究院 青海 西宁 810000

摘要：图像识别技术凭借其智能化与高效性，在工程领域展现出广泛的应用前景。本文系统综述了该技术在混凝土质量与裂缝检测、施工现场安全管控、岩土与边坡智能识别三大方向的研究进展。在混凝土工程中，深度学习算法（如卷积神经网络）显著提升了裂缝识别的精度与抗干扰能力，并成功应用于3D打印混凝土质量监测；在施工安全领域，基于迁移学习和无人机融合的智能监控系统实现了人员行为与设备状态的自动化检测，克服了传统人工监管的局限性；在岩土工程方面，结合计算机视觉与深度学习（如Inception-v3模型），实现了岩石岩性分类、砂土密实度评估及岩土分层的高效识别。尽管技术优势显著，当前研究仍面临实时性不足、无标签数据利用困难、复杂环境适应性差等挑战。未来需聚焦算法优化、多源数据融合及边缘计算等方向，以推动工程检测与管理的智能化发展。

关键词：图像识别；深度学习；工程检测；施工安全；岩土工程

引言

图像作为人类获取外界信息最直接且最主要的载体之一，蕴含着丰富的空间、纹理和结构特征信息。随着计算机视觉技术和人工智能算法的快速发展，图像处理技术已经实现了从传统的数字图像处理向智能化图像识别的跨越式发展。在工程领域，图像识别技术凭借其非接触式测量、自动化程度高、识别精度好等显著优势，正在引发一场技术革命。

从技术原理来看，图像识别系统主要由图像采集、预处理、特征提取和模式识别四个关键环节构成。首先通过CCD相机、工业摄像机或无人机等图像采集设备获取目标对象的数字图像；然后采用灰度化、滤波去噪、图像增强等预处理方法改善图像质量；接着运用边缘检测、纹理分析、深度学习等算法提取图像特征；最后通过分类器实现目标的识别与定位。相较于传统的人工检测方法，图像识别技术具有显著的技术优势：一方面可以实现7×24小时不间断监测，大大提高了检测效率；另一方面通过量化分析消除了人为判断的主观性，提高了检测结果的客观性和准确性。

基金项目：国家自然科学基金（42171130）；国家自然科学基金（52108137）；江西省地质局青年科学技术带头人培养计划项目（2022JXDZKJRC07）

作者简介：于钱米，博士，副研究员，主要研究方向为岩土工程智能识别和安全预警

通信作者：刘建坤，博士，教授，主要研究方向为特殊土地地区高速铁路路基稳定性

在工程实践领域，图像识别技术已经广泛应用于多个重要场景。在土木工程结构健康监测方面，该技术可以实现混凝土裂缝的自动检测与量化分析，解决了传统人工检测效率低下、危险性高等问题。在施工现场安全管理中，通过结合计算机视觉和深度学习算法，能够实时监控施工人员的安全装备佩戴情况和危险行为，显著提升了工地安全管理水平。在岩土工程领域，图像识别技术为岩石岩性鉴定、边坡稳定性分析等传统难题提供了新的解决方案。

1 图像识别在混凝土质量与裂缝检测上的应用

混凝土裂缝图像识别主要采用数字图像处理技术和深度学习算法两种方法。数字图像处理技术运用传统图像识别手段，对无人机或相机采集的裂缝图像进行灰度化、图像滤波等预处理后，使用Canny和Sobel边缘检测方法提取裂缝边缘，从而实现裂缝识别^[1]。而深度学习方法借助卷积神经网络自动学习裂缝图像特征，相较于传统方法，具有更强的降噪能力，能更精准地检测和提取裂缝信息，是当前可靠的结构健康检测方法之一。

近年来，随着基础设施产业化发展，混凝土3D打印等智能建筑形式在土木工程领域广泛应用。然而，受打印技术、设备、材料及环境因素影响，打印出的混凝土常出现表面气孔裂纹、层间变形、局部偏移等缺陷，这些缺陷可能导致建筑物结构失效甚至打印失败。因此，混凝土3D打印质量检测至关重要。已有研究^[2]表明，图像识别与计算机视觉检测技术为混凝土3D打印质量检测控制开辟了新途径，例如通过相机记录3D打印混凝土结构

体的位移变形,利用高速相机与数字光投影仪评估结构体形貌信息,以此确保打印质量。

倪彤元等^[3]提出基于图像识别技术的新型桥梁裂缝检测技术,可高效、精确测量桥梁裂缝信息,克服了人工检测主观性强等弊端。同时,深度学习神经网络也能显著提升桥梁裂缝识别能力。此外,图像识别技术还可应用于路面地面损伤和裂缝检测,阈值分割和边缘检测技术有助于提取道路裂缝特征,基于VGG-16神经网络模型则能提高路面病害识别准确率。

2 图像识别在施工现场安全管控上的应用

施工活动属于高危险性生产活动,事故发生率高,常造成人员伤亡和财产损失。实践证明,作业前严格检查施工人员安全装备,及时规范不安全行为,可有效降低事故发生概率,减少事故损失。目前,施工现场工程监管多采用人工监察方式,存在效率低、事故排查速度慢且不全面、安全事故预防性差等问题,还面临监督人力不足、监管工作量大、违规操作难以杜绝、事故处理不及时及取证困难等困境。

已有研究^[4]利用图像识别技术,在施工前检测工人身份、装备和生理状况等。基于迁移学习创建的图像识别模型,有助于检测现场工人危险行为和识别防护设备。使用Python语言编程可实现摄像头自动巡航,从而对施工场所进行全面监控。卷积神经网络与无人机技术的融合,推动了施工现场监管向智能化、自动化方向发展。

外脚手架作为建筑施工重要的临时结构,其安全性检查关乎工程质量与人员安全。长期以来,外脚手架安全性评估主要依靠人工巡检,通过目视观察、工具测量等手段排查隐患。但随着建筑高度增加,人工检查存在检测范围受限、高空作业风险高、效率低、主观性强等问题,难以满足现代建筑工程对外脚手架安全检测的精准化和高效化需求。为此,研究人员提出基于图像识别技术的外脚手架安全性自动检查方法,该方法以无人机搭载高清摄像设备采集数据,以外脚手架杆件线性几何特征为识别对象,构建智能化检测系统。该系统可实现多维度安全指标检测,包括外脚手架搭设高度测量、基础沉降监测、杆件间距分析、立杆垂直度偏差评估、纵向水平杆水平度检测、斜杆宽度与间距测算、倾斜角度测量以及杆件缺失识别等。通过图像识别算法处理分析采集图像,可快速、准确获取各项安全参数,大幅提升检测效率与客观性。不过,该系统在实际应用中仍存在技术局限:一是无人机采集图像仅能获取外脚手架表面信息,难以识别杆件内部变形、局部损伤等隐蔽性缺陷;二是图像识别算法处理时将杆件抽象为理想化直线

模型,导致杆件间距计算存在固有误差;三是大风、雨雪、雾霾等复杂天气会影响无人机飞行稳定性和图像采集质量,严重时可能中断检测任务或使数据失效。尽管如此,基于图像识别技术的外脚手架安全性自动检查系统突破了传统人工检查的高度限制,实现非接触式、低成本检测,填补了建筑施工安全领域智能化检测技术空白,为外脚手架安全管理提供了新思路 and 解决方案。未来研究可围绕多源数据融合、算法优化及抗恶劣环境性能提升等方向展开,进一步完善外脚手架安全性自动检查技术体系。

3 图像识别在岩土与边坡智能识别上的应用

岩石岩性鉴定与矿物分类作为岩土工程领域的基础性研究内容,对地质勘探、工程设计及灾害防治具有重要意义。传统研究多依赖物理实验测试和数学统计分析方法,此类方法虽具备坚实的理论基础,但存在效率低、主观性强、特征提取困难等局限性。随着计算机视觉与模式识别技术的发展,深度学习凭借强大的特征自学习能力,在图像识别领域取得显著突破。相较于传统方法,基于深度学习的智能分析技术通过机器视觉采集岩石图像数据,经深度神经网络模型训练与优化,可实现岩石岩性的高效、精准识别。在研究实践中,基于深度学习理论构建卷积人工神经网络模型,以矿相显微镜获取的高分辨率矿石图像作为训练数据,通过卷积层、池化层及全连接层的层级运算,自动提取矿物颗粒形态、结构构造、成分分布等关键特征信息,实现矿石种类的自动化识别与分类。同时,为提升模型泛化能力与训练效率,引入迁移学习方法,针对花岗岩、角砾岩及千枚岩等典型岩石样本开展研究。选用Google开发的Inception-v3卷积神经网络作为预训练模型,该模型在大规模图像分类任务中展现出优异性能。通过模型参数迁移与微调策略,将Inception-v3模型的图像分类能力迁移至岩石岩性识别领域,避免了复杂的人工特征工程,仅需构建包含丰富岩石样本多样性的数据集即可实现模型训练。

在岩土工程勘察与施工实践中,砂土的密实度对其表面形态及纹理特征具有显著影响。从工程应用角度出发,如何实现砂密实度的高效检测,成为岩土工程勘察领域亟待解决的关键问题。为攻克这一难题,可采用图像分析技术构建砂密实度检测体系。首先,对采集的扰动砂芯图像,严格依据国际通用图像识别标准,系统开展图像分类、目标标定及区域分割等预处理工作,进而建立规范化的岩心图像数据库。基于纹理熵理论,构建砂芯图像纹理熵计算模型,通过对大量样本数据的统计

分析,深入探究纹理熵与砂土密实度之间的量化关系,从而实现利用纹理熵对岩芯样品表面视觉特征的定量表征。在岩土分层检测方面,鉴于不同岩土介质在颜色特征上存在差异,创新性地构建自适应岩土分层检测模型。该模型充分运用色相、饱和度等色彩参数,在特定色彩空间内,将岩土图像转化为二值化图像,实现岩土分层的初步识别。在此基础上,通过滤波去噪与图像分割等后处理技术,精确计算各分层区域的像素密度,最终实现井眼中岩土界面及溶蚀裂隙的精准、快速识别。在岩石三维成像技术领域,引入深度学习算法,构建三维超分辨率卷积神经网络模型。通过系统的实验研究,对网络训练参数进行优化调整,成功实现基于计算机的岩石样品三维断层扫描成像,为岩石微观结构分析与力学特性研究提供了先进的技术手段。上述技术方法的综合应用,为岩土工程勘察提供了多维度、高精度的检测手段,显著提升了勘察工作的效率与准确性,具有重要的理论意义与工程应用价值。

4 总结与展望

本文对近年来图像识别技术在工程领域的应用进行了分类阐述。图像识别技术使混凝土裂缝检测更精确,工程安全管理更智能,岩土勘探工作更高效。尽管深度学习技术在图像识别方面比传统技术更快速、准确且经济,但目前图像识别技术仍存在一些不足,亟待改进。

4.1 在裂缝识别方面:

4.1.1 提升图像识别速度具有重要实用价值。现有能适应图像变化、抑制检测系统噪声并正确识别图像的算法,通常运行速度较慢,难以满足实时应用需求。因此,需探索更高效的硬件加速技术,并改进设备以提高图像识别速度。

4.1.2 深度学习模型的特征学习与提取依赖人工标定,而现实中大量图像数据无标注信息,因此无标签数据的特征学习、提取以及自动标定技术有待深入研究。

4.2 在施工安全和健康监测方面:

4.2.1 文献调研表明,目前尚未建立普遍认可的不安全行为识别规则,也缺乏完备的不安全行为样本数据库,用于基于计算机视觉的风险识别研究。因此,需制定针对特定任务的定量指标,以评估从图像中提取的不安全条件和行为。

4.2.2 图像识别的核心任务是在静态图像或视频流中准确定位并识别目标,但在识别高速移动目标时仍存在困难,需进一步研究。此外,考虑到工作环境的动态变化和施工项目主体的多样性,未来研究需解决目标遮挡、相机位置优化以及构建多视角综合图像数据集等问题。

4.2.3 当前测试多针对单一工人运动场景,而实际施工中,材料、设备状态及工地环境等因素均会影响建筑工人安全。未来研究应考虑多人场景和现场环境因素的综合影响。

参考文献

- [1]谢文高,张怡孝,刘爱荣,等.基于水下机器人与数字图像技术的混凝土结构表面裂缝检测方法[J].工程力学,2022,39(z1):64-70.
- [2]陈权要,周燕,周诚.混凝土3D打印的机器视觉检测研究现状与展望[J].土木工程信息技术,2023,15(5):1-8.
- [3]倪彤元,张武毅,杨杨,等.基于图像处理的桥梁混凝土裂缝检测研究进展[J].城市道桥与防洪,2019,(7):258-263.
- [4]韩豫,张泾杰,孙昊,等.基于图像识别的建筑工人智能安全检查系统设计与实现[J].中国安全生产科学技术,2016,12(10):142-148.