

# Research on structural damage detection and evaluation method of old buildings based on deep learning

Jin Li

Xinjiang Guangyu Architectural Design Institute (Co., Ltd.), Urumqi, Xinjiang, 830000, China

## Abstract

The acceleration of urbanization has led to a growing number of aging buildings, making timely and accurate structural damage assessment a critical issue in building safety management. Traditional methods for detecting structural damage rely on manual inspection, which are limited by subjectivity and low efficiency, often failing to comprehensively identify and evaluate damage accurately. In recent years, the rise of deep learning technology has opened new opportunities for structural damage detection and evaluation in buildings. This paper proposes a novel method for assessing structural damage in aging buildings based on this technology. By constructing a convolutional neural network (CNN) model that integrates image processing with sensor data analysis, the proposed approach can efficiently identify damage types and severity levels. Research demonstrates that deep learning significantly improves both accuracy and efficiency, enhancing the precision and reliability of damage assessments. Simulation experiments and field tests have validated its feasibility and advantages, providing a new pathway for structural health monitoring and risk assessment in aging buildings. This innovation contributes to ensuring building safety and extending their service life.

## Keywords

deep learning; old house; structural damage detection; convolutional neural network (CNN); structural assessment

## 基于深度学习的老旧房屋结构损伤检测与评估方法研究

李进

新疆广域建筑设计院（有限公司），中国·新疆 乌鲁木齐 830000

## 摘 要

城市化加速使老旧房屋数量递增，及时精准评估其结构损伤，成为建筑安全管理的关键问题。传统房屋结构损伤检测方法，依赖人工，存在局限性与主观性，效率低，难以全面准确识别和评估损伤。近年来，深度学习技术崛起，为建筑结构损伤检测与评估带来新契机。本文基于该技术，提出老旧房屋结构损伤检测评估新方法。通过构建卷积神经网络（CNN）模型，融合影像处理与传感器数据分析，可高效识别损伤类型与程度。研究表明，深度学习方法准确性和效率更高，能提升损伤评估精度与可靠性。经模拟实验与实地测试，验证了其可行性与优势，为老旧房屋结构健康监测和风险评估提供新路径，助力保障建筑安全、延长使用寿命。

## 关键词

深度学习；老旧房屋；结构损伤检测；卷积神经网络（CNN）；结构评估

## 1 引言

随着城市化进程的不断推进，老旧房屋在城市建筑中占据了重要地位，尤其是一些建造年代较久的建筑，其结构安全性面临着较大的挑战。老旧房屋的结构损伤不仅直接影响到使用者的安全，还可能导致较大的经济损失和社会影响。因此，如何有效、准确地评估老旧房屋的结构健康状况，已成为现代建筑工程领域亟待解决的问题。传统的房屋结构损伤检测方法，主要依赖人工检查、视觉检测和传统的非破坏性测试手段，如超声波检测、激光扫描和应力应变测试等。

这些方法尽管在某些情况下能够发现结构损伤，但存在一些缺陷，如检测范围有限、检测速度慢、需要专业人员进行操作以及高成本等问题。随着人工智能技术的快速发展，尤其是深度学习技术的不断突破，基于深度学习的结构损伤检测方法应运而生。深度学习技术可以自动从大量数据中提取特征，并通过训练模型进行损伤的识别与分类，相较于传统方法具有更高的效率和准确性。本文旨在研究基于深度学习的老旧房屋结构损伤检测与评估方法，通过构建卷积神经网络（CNN）模型，结合图像识别与传感器数据分析，实现对房屋结构损伤的自动化检测与精准评估<sup>[1]</sup>。

【作者简介】李进（1997-），男，中国青海海东人，本科，工程师，从事工程检测研究。

## 2 老旧房屋结构损伤检测的现状与挑战

### 2.1 传统结构损伤检测方法的局限性

传统的老旧房屋结构损伤检测方法主要依赖人工检测、目视检查、声波或振动分析等手段，虽然这些方法在一定程度上能够识别结构的损伤情况，但其效率较低，且容易受到人为因素的影响。人工检测不仅需要大量的时间和精力，且由于人员素质的差异，结果具有较强的主观性。此外，传统的非破坏性检测方法如超声波、红外热成像、激光扫描等，在检测过程中往往需要专业设备，且成本较高。对于一些隐蔽性较强或发生在结构深层的损伤，传统方法可能无法及时发现或准确评估。

### 2.2 深度学习在结构健康监测中的应用

随着深度学习技术的快速发展，特别是卷积神经网络（CNN）的兴起，基于深度学习的结构健康监测方法成为了一种有效的解决方案。深度学习技术能够自动从大规模数据中学习并提取特征，不仅提高了损伤检测的准确性，还能够进行损伤的分类和评估。特别是图像识别技术的引入，可以通过对房屋结构外观的图像进行分析，自动识别裂缝、变形等损伤类型，而无需人工干预。近年来，深度学习在建筑结构健康监测中的应用逐渐增多，相关研究也在不断深化，并取得了良好的成果。然而，目前大多数研究仍然集中在特定类型的损伤检测，且在大规模应用和多样化损伤类型识别方面仍面临一定的挑战<sup>[2]</sup>。

### 2.3 基于深度学习的损伤评估需求

为了实现对老旧房屋结构损伤的有效评估，深度学习技术不仅需要能够识别损伤的类型，还需要进行准确的损伤程度评估。当前的研究大多数侧重于损伤的初步识别，尚缺乏针对不同损伤程度的全面评估体系。特别是在老旧房屋的多变性和复杂性条件下，深度学习模型需要能够处理来自不同传感器的数据，并进行多维度的损伤分析。这要求损伤检测与评估系统不仅要有高效的算法支撑，还需要有完善的数据输入与处理框架，以保证评估结果的准确性和可靠性。

## 3 基于深度学习的老旧房屋结构损伤检测方法

### 3.1 数据采集与预处理

在基于深度学习的老旧房屋结构损伤检测中，数据的采集与预处理是至关重要的一步。常用的数据采集方式包括通过无人机拍摄房屋外观图像、使用超声波传感器采集声波反射数据、通过加速度计收集结构振动信息等。这些数据包含了大量的结构健康信息，通过预处理过程将原始数据转化为适合深度学习模型输入的格式，能够提高模型训练的效果。在图像数据中，常用的预处理方法包括图像裁剪、归一化、去噪声等，以去除背景杂波并提升图像质量。而在传感器数据处理中，数据标准化和去除异常值是提高模型性能的关键。

### 3.2 卷积神经网络（CNN）模型的设计与优化

卷积神经网络（CNN）是深度学习中广泛应用于图像识别的一类模型，通过模拟人脑的神经网络结构，能够有效地从图像中提取特征。在老旧房屋结构损伤检测中，CNN模型能够自动从房屋图像中识别出裂缝、变形、腐蚀等损伤特征。针对结构损伤的不同类型，CNN模型需要进行针对性的设计，尤其是在卷积层和池化层的参数配置上，确保能够提取出足够的空间信息和细节特征。

### 3.3 深度学习模型的多数据融合与评估

为了进一步提高检测的精度和全面性，结合多种数据源的信息进行模型训练已成为一种趋势。除了图像数据外，通过传感器采集的振动信号、超声波回波等数据同样包含了大量结构健康信息。通过深度学习模型的多数据融合技术，可以将不同来源的数据进行整合，以获取更加全面的损伤特征。这一过程可以通过联合训练多个子模型（如图像模型与传感器数据模型）来实现，最终通过融合算法合并不同模型的输出结果，进行综合评估<sup>[3]</sup>。

## 4 损伤检测与评估系统的实现与应用

### 4.1 系统框架设计

基于深度学习的老旧房屋结构损伤检测与评估系统是一个精密且高效的综合性体系，一般由数据采集、数据预处理、深度学习模型、结果分析与评估等多个关键模块协同构成。数据采集是系统的起始环节，主要借助无人机、各类传感器等先进设备。无人机可灵活拍摄房屋外观全貌，捕捉细微损伤迹象；传感器则能实时收集房屋结构的振动、应变等内部数据，为后续分析提供丰富素材。采集到的原始数据往往存在噪声和异常值，数据预处理模块便发挥关键作用，通过滤波、归一化等操作，去除干扰信息，提升数据质量。深度学习模型是系统的核心，它对预处理后的数据进行深度训练和分析。最后，结果分析与评估模块根据模型输出生成详细的损伤报告，明确损伤位置、严重程度等信息，为工程师制定维修加固方案、评估房屋安全性等提供科学、可靠的决策支持，有效保障老旧房屋的结构安全。

### 4.2 系统的应用实例与测试

为了验证该系统的有效性，本文采用某城市的老旧住宅区为实验对象，进行实地测试。通过搭建基于深度学习的损伤检测平台，结合图像识别技术和传感器数据，系统能够自动、准确地识别房屋外立面的裂缝、墙体的沉降、屋顶的腐蚀等多种损伤类型。通过对大量实地采集的图像和传感器数据进行处理，系统能够迅速定位并分类不同的损伤区域，并且实现对损伤的细致分析。此外，系统还通过融合图像信息与传感器数据，提供了关于损伤程度的评估，能够为房屋的维修和加固工作提供精确的参考。这一过程大大减少了人工检测的时间成本和人为因素的干扰。与传统人工检测方法相比，该系统在检测效率、准确性及信息的全面性方面展现出了明

显的优势。同时,通过系统提供的精准数据,工程师能够对房屋的结构进行更为科学的评估,从而制定出更加合理的加固和维修方案。该系统的应用表明,基于深度学习的损伤检测技术能够有效提升老旧房屋健康监测的效率与精度<sup>[4]</sup>。

## 5 面临的挑战与未来发展方向

### 5.1 数据采集与标注的挑战

深度学习模型的训练依赖于大量高质量的标注数据,这对于构建精准的损伤检测与评估模型至关重要。然而,在老旧房屋结构损伤检测领域,获取足够数量且高质量的标注数据仍然是一个巨大的挑战。由于老旧房屋的结构类型、损伤形态多种多样,损伤表现形式复杂且不规则,很多数据可能缺乏统一的标注标准。现有的标注数据可能存在不完整或不均衡的情况,特别是对于一些微小、隐蔽的损伤,人工标注的难度较大,容易遗漏或者错误标注。此外,由于建筑结构和损伤的多样性,现有的数据集可能无法全面覆盖所有类型的损伤,导致模型的泛化能力不足。为了提升深度学习模型的性能,解决这一问题的关键在于如何获取多样且全面的数据集,特别是高质量的标注数据。解决方案之一是采用半监督学习和迁移学习方法,借助少量标注数据和大量未标注数据进行模型训练,提高模型的训练效果。另外,增强现实(AR)和虚拟现实(VR)技术也可以在数据标注过程中发挥重要作用,通过模拟环境生成虚拟数据来补充实际数据的不足,从而实现数据的多样化和标注的高效化。因此,如何优化数据采集和标注流程,是进一步提升深度学习模型精度和鲁棒性的关键。

### 5.2 多维度损伤评估的复杂性

随着深度学习技术的不断进步,基于深度学习的老旧房屋结构损伤检测与评估方法也在逐步优化。然而,对于不同类型和程度的损伤,其评估仍然存在技术瓶颈。首先,老旧房屋的损伤通常呈现多种形式,例如裂缝、腐蚀、沉降等,这些损伤往往具有复杂的空间结构特征,且可能是多维度的,这对损伤评估提出了更高的要求。传统的损伤评估方法往往集中在某一类损伤的检测与评估,而深度学习的优势在于它能够处理大规模多维度数据,但如何确保深度学习模型能够全面捕捉到不同损伤的特征,并且对损伤的性质、范围、程度进行精确评估,仍是该领域面临的重要挑战。为了有效解决这一问题,需要多模态数据的融合,即结合不同种类的传感器数据、图像数据以及环境数据进行综合分析,确

保损伤的全方位评估。与此同时,损伤评估的精度不仅取决于数据的多样性和全面性,还需要深度学习模型具备强大的多任务学习能力,能够同时处理多种损伤类型和评估指标。进一步优化深度学习算法,使其能够更加精确地处理多维度损伤评估问题,是实现高效损伤检测与评估的关键。未来,随着数据集的不断扩充和算法的进一步创新,多维度损伤评估的精度和全面性有望得到显著提升,为房屋结构的健康管理 and 维护提供更加科学和可靠的依据<sup>[5]</sup>。

## 6 结语

基于深度学习的老旧房屋结构损伤检测与评估方法,凭借其高效、自动化的特点,在提升建筑结构健康监测精度和效率方面展现出了显著的优势。通过深度学习技术,能够实现对房屋结构损伤的自动化识别与精准评估,大大提高了工作效率并减少了人工干预,减少了传统检测方法中的人为误差和时间成本。尽管如此,深度学习在老旧房屋结构损伤检测中的应用仍然面临一定的挑战,特别是在数据采集与标注、多维度损伤评估等方面存在一些技术瓶颈。随着深度学习技术和建筑健康监测领域的不断发展,未来这些问题有望得到有效解决。未来,结合更多种类的传感器数据、多模态学习以及智能决策系统的集成,基于深度学习的房屋结构损伤检测系统将进一步完善,能够更加准确、全面地进行房屋损伤检测和评估。通过不断优化算法模型、增加数据集的多样性、提高损伤评估的精度和准确性,基于深度学习的老旧房屋结构损伤检测与评估方法将成为建筑安全管理的重要工具,并为建筑物的维护、改造和加固提供更加可靠和科学的依据。随着技术的不断进步,未来这一技术有望广泛应用于老旧建筑物的健康监测,为城市建筑安全提供更有力的保障。

### 参考文献

- [1] 陆卫忠,曹燕,宋正伟,等.基于深度学习的建筑安全事故预防策略综述[J].苏州科技大学学报(自然科学版),2021,38(01):8-14.
- [2] 江俊君,李震宇,刘贤明.基于深度学习的单目深度估计方法综述[J].计算机学报,2022,45(06):1276-1307.
- [3] 邓露,褚鸿鹤,龙砺芝,等.基于深度学习的土木基础设施裂缝检测综述[J].中国公路学报,2023,36(02):1-21.
- [4] 高宇晟.基于深度学习的建筑裂缝识别技术研究[D].电子科技大学,2023.
- [5] 赵荣欣,余威镭,叶从周,等.基于深度学习的桥梁图像分类方法研究与验证[J].施工技术(中英文),2023,52(09):7-10.