

深度学习算法在建筑结构设计中的创新应用

陈昊熠

(华设设计集团股份有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要 在建筑行业数字化转型的背景下, 深度学习算法为建筑结构设计带来了革新。本文结合深度学习算法的内涵, 探究了其在建筑结构设计优化中的创新应用, 涵盖图像生成模型、深度强化学习的形状优化, 神经网络回归模型对设计参数和性能关系的预测, 以及多材料和多尺度建模中的相关考量。结果表明, 深度学习可提升结构性能、减少材料浪费和成本、加速设计流程。

关键词 深度学习; 建筑结构; 神经网络

中图分类号: TU201.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.09.008

0 引言

随着我国科学技术的进步, 建筑行业对性能和效率的要求日益提高。当前, 我国出台了《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》等多个政策文件, 建筑业将不断推进智能化改造, 实现数字化转型。深度学习算法作为人工智能技术的重要工具, 将其应用到建筑结构设计领域, 引起了建筑设计行业的广泛关注。传统的建筑结构设计方法有很多局限性, 很难适应日益复杂的设计需要。深度学习算法以其强大的数据处理能力与学习能力, 突破传统设计瓶颈, 提升设计水平, 促进建筑设计向智能化、高效率方向发展。

1 深度学习算法的内涵

深度学习算法 (Deep learning, DL) 主要指循环神经网络 (Convolutional neural network, CNN)、多层感知机以及卷积神经网络 (Recurrent neural network, RNN) 等能够搭建的多层神经网络。深度学习算法起源于人工神经网络, 它作为一种多层次的计算模型和学习特征方法, 能够对多层次抽象数据进行表示^[1]。同时, 深度学习算法可以通过非线性神经元组合的方式, 将原始的数据转化成更高层次、更加抽象的表示, 达到了用复杂函数逼近的目的。并且, 在学习过程当中得到的复杂函数以及规律, 可以实现对文字、语音以及图像等数据进行解释。因此, 与传统算法相比, 深度学习算法的最大优势主要是利用神经网络从数据中学习。

近年来, 深度学习在建筑领域的应用已经取得了一些重要的成果。深度学习可以用于建筑物能耗预测、室内环境控制、建筑物智能化、建筑结构设计等方面。一是特征提取与表示学习利用深度学习模型对预处理

后的数据进行分析和学习, 能够提取出与建筑环境相关的核心特征。这些特征可以用来描述建筑环境的状态、变化趋势, 为后续的数据分析、模型建立和决策提供重要支持。二是利用计算机视觉图像识别技术对建筑物外观、结构进行分析, 并利用语音识别技术对建筑物进行语音控制与监控^[2]。三是通过对大量的装配式建筑数据进行分析, 深度学习可以发现不同构件之间的关联规律, 提高装配方案的稳定性和效率。

2 深度学习算法在建筑结构设计中的创新应用

2.1 拓扑优化

在建筑结构拓扑优化领域, 将结构优化问题转化为图像生成问题是深度学习的创新应用。生成对抗网络 (GAN) 和变分自编码器 (VAE) 在这一过程中发挥关键作用, 体现了深度学习在建筑设计中的深度融合与创新应用。

一是生成对抗网络 (GAN)。GAN 构建的生成器与判别器对抗机制是一种有效的设计模式。生成器旨在生成符合特定目标特征的材料分布图, 这些分布图包含结构合理性的关键信息。以高层建筑设计为例, 由于楼层间承载要求不同, GAN 生成的混凝土和钢材分布蓝图充分考虑了垂直方向的受力特点。判别器依据大量真实数据和设计目标, 对生成器的产出进行严格评判。这种对抗过程是一个促进创新与优化的迭代过程, 促使生成器不断改进, 直至生成的设计既满足结构性要求, 又具有独特创新性^[3]。与传统拓扑优化方法相比, 基于 GAN 的方法具有明显优势。传统方法依赖人工经验和反复试验, 效率低且难以找到全局最优解。GAN 通过生成器和判别器的自动迭代, 能快速探索大量设计方案, 更高效地逼近最优解, 同时其生成的作品

在设计上具有创新性，可突破传统思维局限，为建筑设计提供新思路。

二是变分自编码器（VAE）。VAE 在潜在空间中寻找新颖设计的方式独特。潜在空间包含无数设计可能性。在大型体育场馆屋顶结构设计中，大跨度屋顶结构面临复杂的力学挑战，需满足覆盖需求并优化重量与受力分布。VAE 通过挖掘潜在空间生成独特的拓扑结构，减轻结构自重，优化受力分布，使建筑在满足功能需求的同时展现出美学与力学价值，实现建筑科学与艺术的融合。

2.2 基于深度强化学习的拓扑优化

深度强化学习模型为建筑结构拓扑优化带来了动态优化能力，使设计过程从静态转变为动态，从单一决策发展为持续改进。在这一复杂优化过程中，强化学习代理起着核心作用，在连续设计空间中准确导航。以桥梁结构设计为例，面对不同荷载工况下的复杂应力和变形等性能数据，通过强化学习算法对桥梁受力情况进行计算。桥梁是交通基础设施中的重要组成部分，其结构是否合理、是否安全，对桥梁的安全起着至关重要的作用。桥梁作为交通基础设施的关键部分，其结构合理性和安全性至关重要。当模拟测试中出现应力集中现象时，代理根据反馈信号迅速做出反应，调整应力集中部位的材料用量，并综合考虑周边区域情况优化材料类型。这种动态调整基于对结构性能目标的理解和持续学习，每次调整都是对设计的优化，最终确保桥梁在复杂受力环境下呈现出卓越的结构性能，为交通运输提供可靠保障。与传统拓扑优化方法相比，基于深度强化学习的方法能够依据结构性能反馈实时调整，避免传统方法中先确定设计方案再验证修改的繁琐过程，从而更快地收敛到最优解。

2.3 神经网络回归模型

神经网络回归模型在建筑设计领域的应用，为从传统经验驱动向精准预测驱动的设计转变提供了关键支撑。多层感知器（MLP）和卷积神经网络（CNN）等神经网络模型凭借强大的学习能力，在挖掘建筑结构形状与应力分布之间的复杂关系方面表现突出。

一是多层感知器（MLP）。以高层建筑核心筒设计为例，核心筒作为高层建筑的关键承重和稳定结构，其形状设计直接影响建筑整体性能。MLP 在此过程中充当建筑结构“力学侦探”的角色，通过学习大量不同形状核心筒在水平和垂直荷载作用下的应力数据，构建一个虚拟但逼真的“力学实验室”。这些数据来源于对多个实际高层建筑核心筒设计案例的收集整理，包括不同形状核心筒的几何尺寸、在不同荷载作用下

的应力测试数据等。在实验中，各种形状的核心筒模型接受不同荷载的考验，MLP 从中总结出应力分布规律。这使设计阶段能依据这些预测结果，在复杂设计空间中快速确定最佳形状，避免传统设计方法中的繁琐试算过程，提高设计效率^[4]。

二是卷积神经网络（CNN）。CNN 在处理复杂几何形状和结构的应力分析时具有独特优势。在不规则形状建筑设计中，CNN 将建筑的三维模型分解为多个二维图像集合，通过卷积层、池化层等操作自动提取结构的几何特征，并进一步学习这些几何特征与应力分布之间的关系，为设计师在面对复杂建筑外形和内部结构时提供准确的应力预测。这不仅为创新设计提供了技术支持，还推动了建筑设计在复杂几何形态领域的突破，确保建筑在满足独特美学需求的同时保证结构的安全性。

2.4 多材料设计与多尺度建模

迁移学习模型是建筑材料设计领域的“知识传承者”。在新型环保建筑材料应用中，它利用传统材料在类似结构中的性能数据，为新型材料在新结构中的应用开辟捷径。

一是多材料设计。建筑设计面临多种材料组合优化的挑战，基于深度学习的设计方法具有优异的性能，可实现材料与建筑力学的深度融合。其中，图神经网络（GNN）与迁移学习模型在其中发挥着重要作用。就建筑外墙保温设计来说，外墙是建筑物与外界的第一道屏障，需要在隔热、保温、美观三者之间取得平衡。通过对不同保温材料、装饰材料和结构材料之间的连接关系的研究，建立起复杂有序的相互作用网络模型。该模型根据建筑朝向、气候等因素，准确地确定材料分布位置，实现不同环境条件下外墙体系性能最优，实现建筑功能与环境适应的有机统一^[5]。

二是多尺度建模与优化。建筑结构的优化设计，关键在于兼顾宏观与微观尺度的特性。以 CNN 为代表的深度学习模型具有处理大规模多尺度数据的能力，将给建筑设计带来全新的视角与深度。例如，CNN 在钢筋混凝土结构的设计中起到了“桥梁”的作用。它深入材料微观层面，研究水泥石与钢筋之间的界面结合状态，以及不同粒径骨料在混凝土中的分布规律，分析材料微观特性（如晶体结构、孔隙率等）与宏观力学性能之间的关系，实现宏观力学分析与宏观力学分析的有机结合^[6]。这一组合使得建筑结构在不同尺度上表现出优异的性能：微观材料强度与稳定性，宏观结构整体受力与稳定性都得到了细致的优化，全面保证了建筑的安全性和性能，体现了建筑设计的微观与宏观的统一协调与深度优化。

2.5 多智能体深度强化学习

多智能体深度强化学习算法采用集中训练、分布式执行的策略,即在训练阶段,将所有智能体的动作和状态信息一起处理,充分考虑多智能体环境下的动态交互。在执行阶段,每个智能体依据自己的观察和学习到的策略独立地做出决策。这种设计不仅可以让智能体在复杂的多智能体环境中学习如何有效地合作和竞争,还可以保证在执行过程中灵活地适应环境的变化,最终实现功能房间的自动化布局。通过这种复杂而高效的模糊控制和训练执行机制,多智能体深度确定性策略梯度在建筑设计自动化领域,特别是在约束条件下的功能房间布局这一特定任务,提供了强大的支持和优化能力。

以框架结构建筑改造为实验案例,原建筑为某小型工业厂房,改造的目标是在不改变柱网系统的情况下,将其改造成办公楼。原建筑的结构体系为钢筋混凝土框架,柱间距为8 000毫米,朝向正南,净高为8米。建筑的南侧有道路和一个广场,广场上种有一些树木。随着城市化进程的推进,建筑原有的生产功能被搬迁到郊区,周边场地上的建筑也逐渐转变为城市创意办公区,本研究旨在对原建筑的一层进行空间布局改造的自动化生成。在模型的推理阶段,为了引入多样性并生成多个备选方案,每次智能体房间的初始位置都是随机的。多智能体深度确定性策略梯度设置了一个探索率参数,该参数在训练过程中衰减,允许代理探索新的动作。大型会议室位于西北角,大堂位于人群聚集的西南角。在一些解决方案中,楼梯被放置在大厅的西部,以增加它们之间的距离,从而增加奖励。洗手间和另一个楼梯位于东北角,办公室位于相对中心的位置。总体而言,多智能体强化学习的结果令人满意地实现了奖励系统设定的目标。

3 深度学习算法在实际应用中的效果验证

3.1 深度学习损伤检测方法的效果验证

目前,深度学习中的损伤检测方法大多采用标准化数据集来验证。在对实际建筑物的损伤图像进行处理之后,利用训练好的模型预测出损伤的位置和范围,并与实际的损伤情况进行对比。这种介于理论和实践之间的验证,能够从多个维度综合考虑深度学习模型的精确性、可靠性和实用性。结果显示,深度学习模型在建筑结构损伤识别方面,相比于传统方法,具有更高的识别率、更低的误报率。

3.2 深度学习模型在实际应用中的自我学习和适应性分析

深度学习模型的自学习能力和自适应能力对其走

向实用化至关重要。在不断学习的过程中,模型能够不断地优化自身参数,从而提高损伤识别的准确性。在复杂多变的实际环境中,该模型也能进行自适应调节,保证检测结果的稳定。在新的损伤类型、复杂环境等情况下,模型的自学习能力与自适应能力使得模型能够克服各种困难,提供准确可靠的检测结果。

3.3 深度学习模型对建筑物安全性和防护水平的提升

深度学习模型可以提前发现建筑结构中可能存在的问题,辅助专家进行维修、加固等决策,提高建筑的安全和保护水平。基于深度学习模型的高效率、低人力需求,不仅能提高建筑监测精度,还能实现实时连续监测,保障建筑安全。本项目的研究成果将从结构损伤识别拓展到设施设备识别、人员行为监测等领域,对提高建筑整体防护水平具有重要意义。

4 结束语

本文研究了深度学习算法的建筑结构设计优化,通过图像生成模型和深度强化学习,优化结构拓扑、神经网络回归模型准确预测了设计参数变化对结构性能的影响、多材料设计与多尺度建模实现了材料合理分布和多尺度性能优化。未来,可以进一步探索和改進深度学习驱动的建筑装配方案设计方法;可以考虑更多的数据预处理和特征提取方法,以提高模型性能;可以结合其他技术和方法,如增强现实(AR)、虚拟现实(VR)等,来提升设计方案的可视化和交互性。

参考文献:

- [1] 周峰.基于深度学习的图像分析处理技术在建筑外墙裂缝特征检测中的应用研究[J].河北软件职业技术学院学报,2024(03):45-50.
- [2] 徐丽丽,杜静,田小凤,等.基于BOPPPS教学模式组织混合式教学的研究与实践[J].中国多媒体与网络教学学报:中旬刊,2024(05):34-39.
- [3] 王威,姜绍飞,宋华霖,等.基于轻量化网络与迁移学习的桥梁水下桩墩结构表观病害轮廓提取[J].中国公路学报,2024,37(02):88-99.
- [4] 许泽宇,沈占锋,李杨,等.结合模糊度和形态学指数约束的深度学习建筑物提取[J].地球信息科学学报,2021,23(05):918-927.
- [5] 熊青松,熊海贝,孔庆钊,等.基于振动信号深度表征学习的高层建筑结构振动识别[J].工程力学,2024,41(09):134-143.
- [6] 郭俊宇,徐照,陈宇文,等.基于合成点云与深度学习的建筑构件智能识别方法[J].土木工程与管理学报,2024,41(01):95-101.