

# 深度学习方法在岩土工程中的应用研究

龚安徐赞<sup>(通讯作者)</sup> 黄杨丽 曹乐 鲁吾怡

湖南城市学院土木工程学院 湖南益阳 413000

**摘要:** 随着大数据时代的到来,深度学习(DL)已成为人工智能(AI)领域的重要研究课题。与传统的机器学习(ML)方法相比,深度学习算法具有强大的特征学习和表达能力,其日益广泛的应用吸引了来自不同领域的全球研究人员。本研究介绍了DL在岩土工程中的实践状态,四大算法,包括前馈神经网络(FNN)、循环神经网络(RNN)、详细阐述了卷积神经网络(CNN)和生成对抗网络(GAN)及其岩土工程应用,还提出并讨论了深度学习在岩土工程中未来发展的挑战和前景。

**关键词:** 深度学习; 岩土; 人工智能

Research on the application of deep learning methods in geotechnical engineering

Gong An, Xu Zan, Huang Yangli, Cao Le, Lu Wuyi

School of Civil Engineering, Hunan City University, Yiyang Hunan 413000, China

**Abstract:** With the advent of the era of big data, deep learning (DL) has become an important research topic in the field of artificial intelligence (AI). Compared with traditional machine learning (ML) methods, deep learning algorithms have powerful feature learning and expression capabilities, and their increasingly widespread application has attracted global researchers from different fields. This study introduces the practical status of DL in geotechnical engineering, four major algorithms, including feedforward neural network (FNN), recurrent neural network (RNN), convolutional neural network (CNN) and generative adversarial network (GAN) and their geotechnical engineering applications, and also proposes and discusses the challenges and prospects of the future development of deep learning in geotechnical engineering.

**Keywords:** deep learning; Geotechnical; artificial intelligence

由于岩土材料固有的复杂性,研究人员倾向于用软计算方法代替繁琐的理论解决方案来解决各种岩土设计问题和评估问题。岩土问题具有很大的不确定性,涉及各种因素,工程师无法直接确定,这导致机器学习(ML)方法迅速普及 ML 算法能够在没有任何先验假设的情况下捕获信息之间的潜在相关性<sup>[1]</sup>。随着计算效率的提高,人工智能(AI)和深度学习(DL)的探索如火如荼。人工智能是一类类似于生物学或数学的科学,它研究构建智能程序的方法,可以创造性地解决模仿人类特权的问题。至于机器学习,它是人工智能的一个子集,它为系统提供了自动学习和改进经验的能力,而无需明确编程。更具体到 DL 或深度神经学习,这是一种特殊的 ML,

它通过学习将世界表示为概念的嵌套层次结构,无需手动提取特征,从而获得强大的功能和灵活性<sup>[2]</sup>。

## 1.FNN 前馈神经网络

广泛使用的训练算法是反向传播算法可以简单表示为:前向传播阶段和后向传播阶段。第一阶段的主要目的是将输入信息通过几个隐藏层传输到输出层,为每个神经元分配随机权重。在完成前向传播时,结果预测和期望输出之间不可避免地存在一些分歧,这带来了调整当前模型的必要性。后一个阶段是通过更新每一层神经元的权重来将预测输出近似为期望的输出。梯度下降是在反向传播中进行的,它通过计算误差的导数来最小化模型误差并向后传播<sup>[3]</sup>。

当隐藏层的数量增加到一个以上时, FNN 模型就变成了一个深度模型。深度 FNN 模型的特点是学习多种表示, 换句话说, 能够从实际工程问题中精确建模复杂的数据交互。用于训练该模型的学习方法称为 DL。对于时间序列、计算机视觉、语音识别等复杂问题, 增加隐藏层的数量可能归因于有效的建模能力。然而, 深度神经网络的学习过程可能会导致过度拟合和性能下降。

## 2. 递归神经网络 (RNN)

在传统的神经网络人工神经网络中, 不同层(输入层、隐藏层和输出层)的节点相互连接, 各层之间的节点相互独立。然而, 在 RNN 中, 一个隐藏层中的相邻节点相互连接是相同的。隐藏层的每个节点都从两个来源接收信息。第一个继承自上一个时间点的隐藏层, 以及当前时间点的输入层, 这赋予了 RNN 记忆来自历史时间点的信息的特性。然后网络将内存中剩余的信息应用到当前神经元的输出计算中, 同时不断变换新的数据作为输入。总之, RNN 可以使用时序数据来描述实时动态行为<sup>[4]</sup>。

CNN 的结构是基于大量的卷积层, 这些卷积层是通过许多小尺寸的内核从图像卷积中获得的。这些大量的内核作为特征标识符对输入数据的不同特征进行分类, 这些特征通常是图像。然而, 使用这些函数并不简单, 需要激活函数和池化。特征提取后, 它们将使用完全耦合的神经网络连接到输出层。如图 10 所示, 给出了岩石图像 CNN 结构的综合表示, 其中包含输入层、特征图和全连接网络。

FNN 应用广泛, 许多研究从模型结构方面对其进行了探索。在过去的几年里, 研究人员只讨论了少量数据的浅层神经网络。但是对于深度神经网络, 确定网络架构是 ANN 模型建立中最重要和最困难的任务之一。它需要选择隐藏层的最佳数量以及每个隐藏层中的节点数量。然而, 对于确定最优 ANN 架构没有统一的理论。输入和输出层中的节点数量受可选特征和标签模型的限制。

神经网络的一个时间感知类是 RNN, 它对变量的时间序列进行操作, 并对以前的状态有一些记忆。由于这些门的记忆, 以前的条件可以加权, 并在适用时合并到当前状态中。这种深度学习方

精通自然语言处理任务, 例如翻译、从文本生成语音和文本分类。

在岩土领域, 一些隧道施工的时间序列监测问题逐渐应用了该算法, Nimić 等提出了 RNN 方法和面向过程的 3D 仿真模型, 用于在机器驱动的隧道施工期间进行实时仿真和基于监控的预测, 以支持有关隧道掘进机 (TBM) 转向的决策。李和龚提出了对角 RNN 和进化粒子群优化 (EPSO) 算法作为模型预测控制 (MPC) 系统, 通过根据地质条件有效调节泥浆循环和气压保持系统来实现施工期间的泥浆压力平衡。仿真结果表明, 所提出的方法可以准确地跟踪所需的水土压力, 显着提高隧道掘进中泥浆支护系统的鲁棒性, 并且新型 EPSO 的收敛速度和精度也高于用于比较的经典算法。

## 3. 岩土工程中的优化模型 LSTM

由于 RNN 很难捕捉长期的时间关联, 作为其高级实现的是长短期记忆 (LSTM), 它更适合解决长时间跨度的检测问题。广泛应用于滑坡变形预测、地下水位确定预测、隧道变形预测等。滑坡是一个具有多种特征的动态过程。传统的静态方法忽略了滑坡演化动态系统的本质, 无法考虑时间的影响, 制约了预测精度的提高。目前的研究已经开始关注动态模型 LSTM 来预测滑坡。对于阶梯式滑坡位移, 累积位移可分为趋势项和周期项位移。一般来说,

## 4. CNN 应用

由于计算能力的提高和在计算方法中考虑更多复杂性的高要求, 最近在人工智能的基础上开发了基于图像的问题, 特别是在深度学习中。CNN 是深度学习的衍生产品之一, 它能够从训练图像数据中自动学习图像分类所需的特征, 从而在不依赖人工特征选择的情况下提高分类精度和效率。

## 4. GAN 应用

GAN 自 2014 年提出以来, 发展时间相对较短。这是一种探索图像合成新发展机会的全新方法 (Mosser et al. 2017)。最近, 研究人员研究了利用 GAN 构建多孔介质的图像。众所周知, 在岩石微观结构宏观性质的研究中, 显微断层扫描技术被广泛用于实现高分辨率数字成像。然而, 使用这种技术提取大量孔隙空间的三维图像通常在实验上是不可行的。为了解决这个问题, GAN 可用于重

构多孔介质的固空结构,用于随机图像重构。

由于微计算机断层扫描的固有局限性,视野与岩石图像高分辨率之间的平衡一直是计算机视觉领域的研究热点。SRGAN 是 GAN 在图像超分辨率应用中的成功案例。SRGAN 提出了一种新的损失函数,有效地解决了复原后图像中高频细节丢失的问题,使人们有良好的视觉体验。SR CycleGAN 重建的高分辨率图像在视觉质量和统计参数上都与目标有很好的 consistency,大大提高了岩石图像的质量,超越了成像系统在视野和分辨率上的限制。

在过去几年中特别坚持用于岩土工程的最新技术以及未来对那些暗示在随后几年很有希望但仍需要进一步改进的方法的评论。深度学习方法可以作为传统理论的补充措施。它甚至可以用作替代方法,作为对专家解决方案的快速检查。有趣的是,与其他研究相比,基于 DL 的研究已经证明了预判断的准确性。

然而,虽然深度学习已应用于土木工程领域,但实际研究很少应用于实际工程。主要原因是,在过去的二十年中,大多数岩土工程相关研究都致力于使用传统的 ML 方法,例如 RF、SVM 和 DT。相反,使用深度学习方法开发的隧道建设和滑坡位移预测等岩土工程仍处于起步阶段。因此,利用当前的架构算法和进一步探索优化方法来解决更复杂的问题存在巨大的机会。需要注意的是,DL 训练目前受到过拟合、训练时间的限制,并且很容易陷入局部最小值,克服这些挑战将成为加速突破的研究重点。

在数据源处理方面,尤其是岩土材料的相关分析,考虑到其较强的空间变异性,需要采用适当的数据预处理技术,如去噪、去离群、去杂属性、以及不同数据源特征之间的适当相关性。同时,深度学习的应用主要是基于所创建的训练数据集能够正确表示待预测属性与输入数据之间关系的假设。需要强调的是,选择能够很好地代表人群的训练集很重要。

## 5. 结论

FNN 的开发时间最长,在岩土工程领域应用最为广泛,而深度 FNN 考虑到改进估计结果的能力有限,很少使用。RNN 更适用

于时间序列问题,其进化版 LSTM 对长期预测表现出更令人满意的性能,因此被广泛应用于滑坡变形预测、隧道掘进机参数预测。CNN 更擅长解决图像处理研究,例如多孔介质重建。对于近几年出现的无监督学习算法 GAN,其在岩土领域的应用受到限制。

岩土工程采用深度学习算法是一个新兴的研究领域。随着从不同地点收集的监测数据越来越多,深度学习方法的效率可以通过提供数据驱动的输入来帮助智能预警。此外,还可以得出结论,基于大数据存储、计算、处理、分析和可视化所需技术的发展,深度学习理论可能能够提取更多有价值的知识,更好地挖掘信息之间的潜在联系。因此,大数据与深度学习的结合正在成为岩土工程人工智能的新趋势。

## 参考文献:

- [1]陈湘生,洪成雨,苏栋.智能岩土工程初探[J].岩土工程学报,2022,44(12):2151-2159.
- [2]陈晨,邱化冬.人工智能在岩土加固技术的发展分析[J].齐鲁工业大学学报,2017,31(05):77-80.
- [3]高玮,郑颖人.岩土力学反分析及其集成智能研究[J].岩土力学,2001(01):114-116+120.
- [4]杨敏,任红林.智能岩土工程的特点初探[J].同济大学学报(自然科学版),2000(06):636-640.

作者简介:龚安(2002-),男,湖南益阳人,本科生,主要从事岩土工程方向研究。

通讯作者简介:徐赞(1989-),男,湖南益阳人,讲师,主要从事岩土工程方向研究。

注:基金项目:湖南城市学院土木工程国家级实验教学示范中心大学生创新性实验计划项目(SFZX202107、SFZX202208);国家级大学生创新创业训练计划项目(202111527033);湖南省社会科学成果评审委员会一般课题(2023844)益阳市社科课题(2023YS124);教育部产学研合作协同育人项目(202101116018、202101149010、220904718260833);湖南省自然科学基金省市联合基金(2022JJ50265)。