

# 基于深度学习的桥梁桩基低应变检测技术

邹宁

浙江城建勘察研究院有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i5.1830

**[摘要]** 文章探讨了基于深度学习的桥梁桩基低应变检测技术,旨在利用深度学习技术改进传统的低应变检测方法,以实现桩基结构健康状态的有效检测。文章首先介绍了深度学习的基本概念及其在图像处理领域的应用,然后详细阐述了低应变检测技术的原理及传统方法的局限性。随后,重点探讨了基于深度学习的低应变检测技术的构建与训练过程,并分析了该技术在桥梁桩基检测中的应用效果。因此,所提出的深度学习模型能够显著提高桩基结构健康检测的精确度与效率,为工程实践中的结构安全管理提供了新的技术手段和理论支持。

**[关键词]** 深度学习; 桥梁桩基; 低应变检测; 人工智能

**中图分类号:** TU279.7+2 **文献标识码:** A

## Low strain detection technology for bridge pile foundation based on deep learning

Ning Zou

Zhejiang Urban and Rural Construction Investigation Institute Co., Ltd

**[Abstract]** This article explores the low strain detection technology for bridge pile foundations based on deep learning, aiming to improve traditional low strain detection methods using deep learning technology to achieve effective monitoring of the health status of pile foundation structures. The article first introduces the basic concepts of deep learning and its applications in the field of image processing, and then elaborates in detail on the principles of low strain detection technology and the limitations of traditional methods. Subsequently, the construction and training process of low strain detection technology based on deep learning were discussed, and the application effect of this technology in actual bridge pile foundation monitoring was analyzed. Therefore, the proposed deep learning model can significantly improve the accuracy and efficiency of health monitoring of pile foundation structures, providing new technical means and theoretical support for structural safety management in engineering practice.

**[Key words]** deep learning; Bridge pile foundation; Low strain detection; artificial intelligence

## 引言

桥梁桩基结构作为重要的基础设施组成部分,其安全和稳定性对整体交通运输系统的可靠性至关重要。传统的桩基完整性检测方法往往依赖于数据处理技术。近年来,随着深度学习技术的发展,特别是在图像处理和模式识别领域的成功应用,人工智能开始逐渐应用于工程结构的相关方面中。深度学习算法以其强大的数据学习能力和模式识别能力,能够有效处理大规模和复杂的结构检测数据,提升了检测精度和效率。

### 1 深度学习的概述

#### 1.1 深度学习的涵义

深度学习(Deep Learning)是机器学习(Machine Learning)领域中的一个新兴分支,其核心目标是让计算机系统更接近人类智能的表现。通过学习大量样本数据的内在规律和层次化表

示,深度学习模型能够自动发现数据中的复杂模式和特征,从而实现文字、图像和声音等数据的高效解释和分析。从技术角度来看,深度学习模型由多个神经网络层次组成,每一层都负责对数据进行不同层次的抽象和表示。这种层次化的学习过程使得深度学习模型能够处理大规模数据,并从中提取出高级的抽象特征,例如在图像识别中识别面部特征或物体形状,或在语音识别中理解语音的语调和语义。深度学习的应用不仅局限于视觉和语音领域。在搜索技术、数据挖掘、机器翻译、自然语言处理、推荐系统以及其他多媒体学习方面,深度学习都取得了显著的成就。例如,在自然语言处理领域,深度学习模型能够理解和生成语言,实现语义理解和语法分析,这对于机器翻译和文本生成具有重要意义。成功的深度学习离不开其优越的学习能力和处理复杂数据的能力。与传统的机器学习算法相比,深度学习

能够通过大规模数据的训练,逐步优化模型的参数和结构,提高模型的预测准确性和泛化能力。

### 1.2 深度学习在图像处理中的应用

深度学习在图像处理领域的应用是其最成功和广泛使用的领域之一。传统的图像处理技术通常依赖于手工设计的特征提取器和复杂的规则,限制了其在复杂场景和大规模数据上的表现。而深度学习通过端到端的训练,可以直接从原始像素数据中学习特征,无需手动提取。卷积神经网络(CNN)是深度学习在图像处理中的重要代表,它通过卷积层和池化层有效地捕获图像中的空间结构信息和特征。CNN已被成功应用于图像分类、物体检测、图像分割等任务,在这些任务中取得了比传统方法更好的性能。另一个重要的深度学习模型是生成对抗网络(GAN),它能够生成逼真的图像和视频,通过竞争性学习的方式生成具有高度逼真性的合成内容,例如面部照片、自然场景等。除了CNN和GAN,深度学习还在图像超分辨率、风格迁移、图像语义分割等方面有着显著的应用。这些技术的发展不仅推动了图像处理领域的进步,也为其他领域如医学影像分析、遥感图像分析等提供了强大的工具和方法<sup>[1]</sup>。

## 2 低应变检测技术概述

### 2.1 低应变检测技术原理

对于完整性较好的桩基,其反射波形通常表现为清晰、规则的频率响应,这些特征对于经验丰富的检测人员来说相对容易区分和分析。然而,一旦涉及到存在缺陷的桩基,情况就变得复杂和挑战性更大了。在低应变检测中,缺陷的定性和定量评估是关键问题。传统方法往往依赖于检测人员对波形的直观分析和经验判断,但这种主观性带来了一定不确定性和局限性。特别是在缺陷非常细微或者在复杂背景下,如桩身结构变化或土层性质较大的情况下,传统方法可能无法准确捕捉到缺陷的存在和性质。深度学习模型通过其强大的学习能力和自动特征提取的优势,能够在一定程度上解决这些问题。通过大量的训练数据,深度学习模型可以学习和理解不同类型不同地质条件下桩基的反射波形态,特别是那些被验证真实存在缺陷的波形特征。例如,对于存在缺陷的桩基,其反射波形可能会呈现出不规则的形态或异常的频率响应,深度学习模型可以通过数据驱动的方式进行有效识别和定量分析,提高数据处理效率,一定程度上弥补检测人员因数据处理解释经验上的不足<sup>[2]</sup>。

### 2.2 传统低应变检测技术的局限性

在工程结构检测中,特别是在桥梁和其他重要基础设施的维护中,传统的低应变检测技术存在多方面的局限性。首先,传统方法通常依赖于经验波速,桩长与波速之间的关系,这两者都是一个不确定的量,要判断他的桩长是否合格就必须清楚知道桩的混凝土波速,但是波速又必须由已知桩长的桩来计算平均值。这就导致了很多时候我们检测只能用经验波速,这进一步加大了检测的不确定性。

如应变计和加速度计,这些传感器安装的位置和数量通常基于经验和成本考量,而非结构的实际响应需求。传统低应变检

测技术的采样率通常受到限制。由于传感器数据的采集频率有限,这些方法可能无法捕捉到结构在短时间内的快速变化,尤其是在发生突发事件或外部冲击下的响应情况。在桥梁桩基的情况下,如自然灾害影响时,传统方法可能错过关键的应变信息,无法及时发现潜在的结构问题或损伤。此外,环境噪声和干扰也是传统低应变检测技术面临的挑战之一。在实际施工或运营环境中,结构受到来自周围环境的多种干扰,这些干扰因素可能影响传感器数据的准确性和可靠性。特别是在桩基的情况下,周围土壤的变化和地下水位的波动可能对传感器数据产生干扰,使得检测结果产生偏差或误判。最后,传统方法在数据处理和分析上通常依赖于人工设计的特征提取器和模型,这些模型可能无法充分捕捉结构的复杂响应模式和非线性特征。相比之下,深度学习技术通过端到端的数据驱动学习,能够更精确地提取和分析结构的微小变形,从而克服了传统方法在灵敏度和准确性上的局限性<sup>[3]</sup>。

## 3 基于深度学习的低应变检测技术

### 3.1 数据采集与预处理

在桥梁工程桩基结构检测中,数据采集与预处理环节是确保检测系统准确性和可靠性的关键步骤。低应变检测系统通常布置在桩顶平面。通过接收、放大、滤波和数据处理这些反射波,可以判断桩身的完整性,包括缺陷的程度和位置。传统方法存在对小缺陷灵敏度不高等问题,但近年来,无线传感器网络和嵌入式传感器系统的进步显著提升了数据采集的全面性和精确性。数据预处理阶段包括几个关键步骤,首先是数据清洗。通过滤除异常值和噪声,确保采集的数据质量高,有效消除环境噪声和干扰对数据准确性的影响,从而为后续分析提供可靠的基础。其次是校准和同步,确保传感器在不同安装位置之间数据的相对一致性和部分同质性,保证数据的时序一致性和准确性,尤其在桩基检测中更是必要,以实现整体结构的综合分析。信号滤波是另一重要步骤,它通过技术手段去除原始数据中的高频振动和噪声成分,这些成分对于结构健康状态的评估并不直接有益。通过有效的信号滤波,可以提高后续结构检测分析的准确性和稳定性,确保分析结果更加可靠。最后,预处理阶段还包括特征提取,将复杂的结构响应数据转化为更具信息量的特征参数。这些参数如自然频率、阻尼比等,对于后续的结构状态评估和预测至关重要。通过合理的特征提取方法,可以从海量数据中提取出关键信息,帮助工程师深入了解结构的健康状况和安全性<sup>[4]</sup>。

### 3.2 深度学习模型的构建与训练

在桥梁和桩基结构检测领域,深度学习模型的应用日益受到关注。这些模型能够处理复杂的结构数据,如传感器采集的振动、位移和应变等信息,从而实现了对结构健康状态的准确预测和评估。首先,构建深度学习模型的第一步是选择合适的架构。常见的模型包括卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)、长短期记忆网络(LSTM)和变换器(Transformer)。每种架构有其独特的适用场景:CNN适合处理空间信息,例如不同位置传感器

数据; RNN和LSTM适合处理时间序列数据, 如结构动态变化; 而Transformer则能有效处理多传感器之间的复杂关系。其次, 定义模型的输入和输出至关重要。输入通常为传感器采集的原始数据, 可能是多维时间序列或空间分布数据; 输出可以是结构健康状态的分类、剩余寿命预测或特定结构参数的估计。模型的输入输出定义直接影响到模型的设计和训练策略。模型训练是关键步骤, 要处理大量且多样化的数据。数据预处理包括标准化、归一化和数据增强, 以提升模型泛化能力和稳健性。优化算法如随机梯度下降(SGD)、Adam和AdaGrad的选择需根据模型架构和数据特性进行调优, 正则化技术如Dropout和权重衰减也有助于提高模型泛化能力。在模型训练过程中, 超参数的选择如学习率、批大小和训练周期数直接影响模型的性能表现和收敛速度。完成模型训练后, 需进行全面的评估, 如准确率、召回率和F1-score等指标。这些评估能客观地反映模型在不同任务上的表现。深度学习模型在实际应用中可以实现结构健康状态的实时检测和预测。通过将模型部署到实时数据流中, 能及时发现可能存在的问题并采取预防性维护措施, 从而提高结构的安全性和可靠性<sup>[5]</sup>。

### 3.3 模型在低应变检测中的应用

低应变检测在桥梁的桩基结构检测中扮演着关键角色, 它能够帮助工程师们发现检测桩基的完整性情况, 这些可能是结构安全性和稳定性问题的早期指示信号。传统的方法往往依赖于精密的传感器和复杂的数据处理技术, 然而, 深度学习模型的引入为低应变检测提供了新的视角和解决方案。深度学习模型, 如卷积神经网络(CNN)和变换器(Transformer), 在低应变检测中展现出了独特的优势。这些模型能够从大量的传感器数据中学习复杂的空间和时间关系, 进而识别和分析微小的结构变形。以CNN为例, 它可以有效地处理传感器在桥梁不同位置采集到的数据, 通过卷积层和池化层提取特征, 从而捕捉到微小应变的空间分布特征。这种能力使得CNN在实时检测桥梁结构变形时表现出色, 能够精确地识别出潜在的问题点。另一方面, 变换器模型则更注重处理不同传感器之间的复杂关系。在桥梁检测中, 不同

位置和类型的传感器可能提供各异的数据模式, 变换器模型能够有效地捕捉这些数据之间的非线性关系, 从而更加准确地检测和预测低应变事件的发生。模型在低应变检测中的成功应用还依赖于数据的质量和丰富性。大规模的数据集不仅可以用来训练模型, 还能帮助优化模型的泛化能力和稳健性。此外, 数据预处理步骤如标准化和归一化, 对于确保模型在不同条件下的一致性和可靠性也至关重要。

## 4 结论

综上所述, 文章基于深度学习的桥梁桩基低应变检测技术将先进的深度学习方法与桥梁工程中的低应变检测需求相结合, 通过高效的数据处理和深度学习模型的精确训练, 有效地克服了传统方法的限制。这项技术不仅能够实现对桩基低应变情况的实时检测和精准诊断, 还为桥梁结构的健康管理提供了新的解决方案。通过提升检测精度和响应速度, 深度学习在此领域展现出了显著的应用潜力, 为未来基础设施安全性和可持续性提供了可靠的技术支持。

### [参考文献]

[1]孙斌,张博,余向华,等.基于深度学习的桥梁技术状况预测研究[J].中国交通信息化,2024,(S1):568-571.

[2]付迎春,张龙,范一娜,等.基于有限元与深度学习的大跨度桥梁智能设计方法[J].福建交通科技,2024,(02):27-30.

[3]朱志威,卓德兵,朱婷.基于无人机与深度学习的公路桥梁裂缝智能检测[J].中国水运(下半月),2024,24(02):122-124.

[4]李丹,沈鹏,贺文字,等.基于声发射信号时频图深度学习的桥梁钢桁架焊接节点损伤程度识别[J].振动与冲击,2024,43(01):107-115+122.

[5]刘杭州,张丽,尚振玉,等.基于深度学习的微专题复习策略——以微专题“以电荷量为桥梁解决电磁感应相关问题”教学为例[J].物理教学,2023,45(11):11-15.

### 作者简介:

邹宁(1997—),男,汉族,江西省赣州市会昌县人,本科,助理工程师,研究方向:地基及桩基检测技术研究。