

激光点云在建筑预制构件检测中的应用研究

陶肖静

上海中侨职业技术大学 上海

【摘要】随着双碳目标的提出，国家鼓励建筑行业向绿色转型，推动装配式建筑的发展。三维激光雷达等三维点云技术的应用逐渐增多，因其无接触、高精度的特点，在建筑构件检测中发挥重要作用。本文系统探讨了三维点云技术在建筑构件检测中的应用，包括点云的特征、数据处理方法及深度学习技术的结合，点云数据具有数据量大、离散性、非规则性和光学特征等特性，这些特征为构件尺寸测量提供了基础。通过点云匹配法、特征提取、分割技术和深度学习方法，可以显著提高检测的准确性和效率。本文旨在为建筑行业相关从业人员提供一些建议。

【关键词】激光点云；建筑预制构件检测；深度学习；双碳目标

【基金项目】校级科研项目《基于激光雷达点云的预制构件尺寸检测关键技术研究》（ZQZR202413）

【收稿日期】2025 年 7 月 14 日

【出刊日期】2025 年 8 月 12 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250354

Research on the application of laser point cloud in the detection of prefabricated building components

Xiaojing Tao

School of Architectural Engineering, Shanghai Zhongqiao Vocational and Technical University, Shanghai

【Abstract】 With the proposal of the dual carbon goal, the state encourages the construction industry to transform to green and promotes the development of prefabricated buildings. The application of 3D point cloud technology such as 3D lidar is gradually increasing, and it plays an important role in the detection of building components because of its non-contact and high-precision characteristics. This paper systematically discusses the application of 3D point cloud technology in the detection of building components, including the combination of point cloud characteristics, data processing methods and deep learning technology. Through point cloud matching method, feature extraction, segmentation technology and deep learning methods, the accuracy and efficiency of detection can be significantly improved. The purpose of this article is to provide some advice for those involved in the construction industry.

【Keywords】 Laser point clouds; Inspection of prefabricated building components; Deep learning; Carbon peaking and carbon neutrality goals

1 引言

2020 年 9 月，在第七十五届联合国大会上，中国正式向全世界作出“双碳”承诺：在 2030 年实现碳达峰，2060 年实现碳中和^[1]。国家于 2022 年 1 月制定了《“十四五”建筑业发展规划》等文件，明确指出要推动建筑行业的绿色转型，大力发展装配式建筑，实现双碳目标。在装配式建筑的建筑构配件检测中，仍存在一些检测手段落后，检测设备陈旧等问题，有碍于建造质量的提高。随着技术的发展，三维激光雷达等三维采集设备种类的扩展及数量的增加，三维点云数据更容易被获取，精度也得到了提升，逐渐成为三维数据最重要的一种表达方式^[2]。尤其在装配式建筑的构配件检测方

面，可以无接触、高精度、高效率地提供基础数据用以检测构配件的生产质量，因此三维激光点云在建筑构配件检测中的应用越来越广泛。

值得注意的是，传统检测方法多依赖人工接触式测量，存在效率低、主观性强、难以全面覆盖构件表面等局限性。而三维激光扫描技术作为一种非接触式测量手段，能够快速获取构件表面的海量三维信息，为尺寸检测、平整度分析、变形监测等提供可靠的数据基础，契合建筑业数字化、智能化转型的需求，也为实现“双碳”目标提供了技术支撑。

2 点云的概念与特征

激光测距仪在脉冲测量模式下，能够主动发射激

光束并接收目标物体表面的反射信号实现距离测量。针对每个扫描点,系统可获取测站至目标点的直线距离,再结合同步记录的水平和竖直观测值,即可解算出各扫描点相对于测站的三维坐标差。当测站点坐标与定向点坐标已知时,可以求得每一个扫描点的坐标,即可快速构建所有扫描点的三维空间坐标,从而建立被测物体的三维数字化模型。这种通过扫描获取的物体表面采样点三维坐标数据集被定义为点云(Point Cloud),其具有以下典型特征^[3]:

①海量数据特性

单站点云通常包含数十万至数百万个三维激光点,而完整场景建模需要融合多站扫描数据,最终形成的全景点云数据量可能达到千万甚至亿级规模。

②离散分布特征

各扫描点之间缺乏显式拓扑关联,数据点呈独立分布状态,无法直接反映物体表面的几何连接关系。这一特性正是开展点云特征提取研究的主要原因。

③空间分布不规则性

受激光散射特性影响,随着扫描距离增大和扫描角度变化,点云密度呈现明显衰减。这种随距离变化的采样特性导致点云在空间中呈非均匀分布状态。

④三维可量测性

点云数据本质是由大量三维坐标点构成的数字化表面,基于这些精确的空间坐标信息,可进一步计算点间距、方位关系、表面法向量等几何参数,进而实现物体表面积和体积的估算。

⑤多源信息融合特性

现代三维激光扫描系统采集的点云数据不仅包含空间坐标信息,还记录了反映物体表面材质特性的反射强度值,这为后续的目标识别与分类提供了重要依据。

3 点云的数据处理

基于三维点云模型的预制构件尺寸检测方法主要包括:点云匹配法:通过三维点云的特征匹配,计算构件的实际尺寸;点云分割技术:将复杂点云分割为单个构件,分别测量尺寸;点云特征提取:通过提取关键点或特征点来确定构件尺寸;深度学习方法:利用深度学习模型(如CNN、Point Net)直接从点云数据中提取尺寸信息。

3.1 点云匹配法

在数据预处理方面,为了提高匹配效果,研究者们对点云数据进行了噪声去除和数据归一化处理,这些步骤有助于减少数据干扰^[4]。在匹配算法优化方面,基于深度学习的匹配算法逐渐成为研究热点,如使用卷

积神经网络(CNN)、点云网络(PointNet)等模型^[5]直接从点云数据中提取匹配特征。此外,传统的算法及其改进版本也被广泛研究,如RANSAC算法等^[6]。点云匹配法的核心思想是将实测点云与设计模型进行精确对齐,通过坐标变换实现偏差分析。该方法特别适用于批量构件的自动化检测,能够快速识别安装偏差、形变等问题,是实现构件数字化验收的重要途径。

3.2 点云特征提取

在建筑构件尺寸量测领域,基于点云数据的特征提取技术已成为研究热点,并积累了丰富的学术成果。Kim等人^[7-8]开发了针对预制构件点云边界与角点的识别算法,通过引入补偿机制有效缓解了混合像素效应导致的边缘失真问题,并经由实验确定了最优量测距离与激光入射角。其研究证实,点云尺寸检测法能达到较高精度,但同时也发现构件尺寸的增加会引致误差放大。Zhao等学者^[9]设计了面向混凝土构件接合部位(包含钢筋、套筒及混凝土面)的点云自动分割与尺寸分析流程,特别针对点云密度分布不均的情况提出了一种能保留稀疏区域几何特征的压缩算法。Wang的团队^[10]实现了从点云中自动识别建筑外立面构件(如门窗、屋顶及外墙),并依据语义信息自动构建BIM模型。通过对比点云提取面积与人工测量结果,他们指出大尺寸构件的误差主要源于点云覆盖不全及均匀网格压缩过程中的特征损失。Bosche^[11]建立了基于混凝土板点云与BIM模型的平整度控制体系,通过将扫描数据与设计模型对齐,采用F指数模拟直尺检测,实现了全平面平整度分析。尚栋^[12]运用虚拟网格偏差算法,基于实桥桥面点云数据完成了施工偏差与平整度的精确计算。Alzraiee^[13]为评估预埋钢板嵌入件在混凝土部件中定位,提出将设计BIM模型几何体映射到竣工结构的3D点云中,映射过程使用不同的计算平台,最终生成x、y和z方向的位置偏差报告,结果显示该方法在捕捉钢板与原始位置的偏差方面具有较高的准确性。基于点云特征提取与匹配算法的建筑预制构件尺寸检测方法,通过改进特征提取策略,显著提高了检测的准确性和效率^[14]。

3.3 点云分割

点云分割的目标是对三维点云进行归类与划分,生成一系列互不交叉的子集。每个子集描述一个特定的平面或曲面,其包含的内点在预设的几何特征(如法向量、曲率、空间分布或局部密度)上保持高度一致^[15]。点云面域分割算法可大致分为:(1)基于边界检测,此类分割算法首先需检测和提取边界,再对边界内的点云进行聚类,该方法十分依赖于边界检测的正确性;

(2) 基于表面特征, 主要根据法向量、曲率等曲面特征, 将符合一致性条件的点归为同一平面, 常用的有区域生长法、高斯映射结合 DBSCAN 聚类等; (3) 基于模型拟合, 此类算法通过点云与预设模型拟合实现点云分割, 常用的有随机采样一致性、霍夫变换等^[16]。

3.4 深度学习

深度学习是机器学习方法中的一种, 能够训练和计算大型数据, 自主学习输入信息中的潜在空间特征和高级规律, 适用于处理海量点云数据^[2]。对于点云的去噪、超分辨率、点云修复等方面均有研究, 对于在建筑领域的基于深度学习的三维点云匹配算法, 通过一定的模型直接从点云数据中提取特征, 显著提升了匹配精度和效率, 基于深度学习的三维点云匹配算法及其在建筑预制构件检测中的应用, 有学者提出了改进的匹配方法^[17-18]。

4 总结

三维激光点云技术凭借其无接触、高精度、高效率的独特优势, 为建筑构件检测提供了高效、精准的解决方案。通过点云匹配、特征提取、分割及深度学习等方法综合运用, 能够实现对预制构件尺寸、平整度、位置偏差等多维度质量指标的自动化检测。尽管目前在大尺寸构件测量误差控制、点云缺失补偿等方面仍存在挑战, 但随着算法优化和设备进步, 该项技术的适用性和可靠性将不断增强。在“双碳”目标引领下, 结合 BIM、物联网等数字化技术, 三维激光点云检测方法将进一步推动建筑行业向绿色化、工业化、智能化方向转型升级, 为提升工程质量、降低资源消耗、实现可持续发展提供关键技术支撑。

参考文献

- [1] <https://xueqiu.com/2868304221/29603021>.
- [2] 吴一全, 陈慧娴, 张耀. 基于深度学习的三维点云处理方法研究进展[J]. 中国激光, 2024, 51(05): 143-165.
- [3] 李东声. 基于点云数据的建筑构部件尺寸质量智能检测算法研究[D]. 重庆大学, 2020.
- [4] 张伟, 李明, 王强. 三维点云数据处理在建筑预制构件尺寸检测中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2021, 33(9).
- [5] Xiaoyu Wang, Yongxiang Li, Liansheng Tan. Deep Learning for Point Cloud-Based 3D Object Detection: A Survey[J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2023, 30(2).
- [6] 赵敏, 刘洋, 孙丽. 基于改进点云匹配算法的建筑预制构件尺寸检测方法研究[J]. 中国机械工程, 2022, 33(12).
- [7] Kim M-K, Sohn H, Chang C-C. Automated dimensional quality assessment of precast concrete panels using terrestrial laser scanning[J]. Automation in Construction, 2014, 45: 163-177.
- [8] Kim M-K, Wang Q, Park J-W, Cheng J.C.P., Sohn H, Chang C-C. Automated dimensional quality assurance of full-scale precast concrete elements using laser scanning and BIM, Automation in Construction, 2016, 72(2): 102-114.
- [9] Zhao W, Jiang Y, Liu Y, Shu J. Automated recognition and measurement based on three-dimensional point clouds to connect precast concrete components[J]. Automation in Construction, 2022, 133: 104000.
- [10] Wang C, Cho Y K, Kim C. Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications[J]. Automation in Construction, 2015, 56: 1-13.
- [11] Bosche F, Guenet E. Automating surface flatness control using terrestrial laser scanning and building information models[J]. Automation in Construction, 2014, 44: 212-226.
- [12] 尚栋. 基于三维激光扫描的桥梁几何偏差检测方法研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2021.
- [13] Alzraiee H, Sprotte R, Ruiz A L. Quality Control for Concrete Steel Embed Plates using LiDAR and Point Cloud Mapping. 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2020).
- [14] 李华, 王强, 赵敏. 基于改进特征提取方法的三维点云匹配算法研究[J]. 软件学报, 2020, 61(3).
- [15] 王新雅. 基于三维激光点云的预制混凝土箱梁尺寸检测和 BIM 逆向建模[D]. 南京: 东南大学, 2022.
- [16] 巩育江. 基于几何特征点云分割算法研究进展[J]. 激光技术, 2022, 46(3): 326-334.
- [17] 张伟, 李明, 王强. 基于深度学习的三维点云匹配算法及其在建筑预制构件检测中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(15).
- [18] 王强, 李杰, 赵敏. 基于深度学习的三维点云匹配算法研究[J]. 模式识别与人工智能, 2019, 32(6).

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

