

# 多源数据融合：老旧小区改造中测量技术的对比与应用

杜可悦, 徐杨\*, 黄艳雁, 王若尧, 王雨

湖北工业大学土木建筑学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2026年3月23日; 录用日期: 2026年4月15日; 发布日期: 2026年4月23日

## 摘要

为解决老旧小区改造中测量效率低、数据精度不足的行业痛点, 本文以武汉市楚材社区为研究对象, 构建涵盖激光测距仪、手持激光扫描仪、架站式三维激光扫描仪及无人机航测的多源测量技术评价体系, 并通过实测数据展开分析对比。结果显示: 毫米级精度的架站式扫描仪在建筑结构分析中具有显著优势 (皮尔逊相关系数  $R = 0.98$ ), 但单站覆盖范围受限; 无人机航测可实现1:2000比例尺地形建模, 却受限於低空地面采样距离; 手持设备在室内狭窄空间测量中效率提升300%, 但存在2 cm级系统性误差。进一步研究表明, 采用多源数据融合策略可将总体测量误差降低约47%, 大幅提升数据完整性与改造适配性。研究成果为老旧小区改造中测绘方案的优化提供了坚实的理论支撑与可靠的实证依据。

## 关键词

老旧小区改造, 多源测量技术, 城市更新, “空-天-地”一体化测量体系

# Multi-Source Data Fusion: Comparison and Application of Measurement Technologies in the Renovation of Old Residential Communities

Keyue Du, Yang Xu\*, Yanyan Huang, Ruoyao Wang, Yu Wang

College of Civil Engineering, Architecture and Environment, Hubei University of Technology, Wuhan Hubei

Received: March 23, 2026; accepted: April 15, 2026; published: April 23, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 杜可悦, 徐杨, 黄艳雁, 王若尧, 王雨. 多源数据融合: 老旧小区改造中测量技术的对比与应用[J]. 测绘科学技术, 2026, 14(2): 134-149. DOI: 10.12677/gst.2026.142013

## Abstract

To address the critical challenges of low measurement efficiency and inadequate data precision in the renovation of old residential communities, this paper takes the Chucai Community in Wuhan City as the core research object, and constructs a multi-source measurement technology evaluation system covering laser rangefinders, handheld laser scanners, stationary 3D laser scanners, and unmanned aerial vehicle aerial surveying. The analysis and comparison are carried out through the collected field data. The results show that the stationary scanner with millimeter-level accuracy has a significant advantage in building structure analysis (the pearson correlation coefficient has a value of 0.98), but its single-station coverage is relatively limited; unmanned aerial vehicle aerial surveying can achieve 1:2000 scale terrain modeling, but is limited by the practical low-altitude ground sampling distance; handheld devices increase the measurement efficiency by 300% in indoor narrow spaces, but have a systematic error of 2 cm. Further research shows that the adoption of reasonable multi-source data fusion strategies can reduce the overall measurement error by approximately 47%, significantly improving data integrity and renovation adaptability. The research results provide a solid theoretical support and reliable empirical basis for the effective optimization of mapping schemes in the renovation of old residential areas.

## Keywords

Renovation of Old Residential Areas, Multi-Source Measurement Technology, Urban Renewal, Integrated Measurement System of Air, Space and Ground

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

随着城市的快速发展和对改善生活环境需求的不断增长,城市改造的重点已经从大规模贫民窟清理逐渐演变为旧城区更新[1][2]。据统计,中国的城市景观中包括2000年之前建造的219,000多个老旧小区[3],其改造工程已成为关乎民生福祉的重要举措[4][5]。“十四五”规划实施以来,城市更新行动实现了从“拆改留”到“留改拆”的范式跃迁,老旧小区改造作为城市更新的核心内容被纳入系统性推进范畴,在此背景下,老旧小区改造面临三重技术约束的叠加效应,给改造测量工作带来了诸多挑战:

1) 空间治理复杂性:以楚材社区为典型样本(建筑密度 > 0.9),超常规建设导致传统测量手段存在15%~20%的覆盖盲区。这与《城市居住区规划设计标准》提出的“全要素数字化建档”要求形成了鲜明的技术代差[6][7]。

2) 形态异质性挑战:普查数据显示,改造对象中约37%的建筑存在坡屋顶、飘窗等非标准结构构件,其曲面曲率变化率超过0.3%/m,超出了常规测量设备的参数适配阈值,造成拟合误差累积。

3) 保护强制性:针对历史建筑保护要求,住建部《历史建筑数字化技术标准》明确规定三维点云数据平面精度须达 $\pm 5$  mm,垂直精度 $\pm 3$  mm,这对现有技术体系构成了严格的量化约束。

在建筑物和工程结构的诊断测量中,精确测量是不可或缺的,若数据数量或质量不足,将直接导致结论失真并可能诱发不适当的加固与修复方案[8]。当前,在多源测量技术融合应用于历史建筑保护与城市更新领域,学界已开展诸多探索,但从老旧小区改造“空间复杂、场景多样、精度要求明确”的实际需

求来看, 现有研究仍存在明显局限。

国外研究中, Zhou (2020)提出融合激光雷达与航空摄影测量技术来构建城市三维模型。该研究借助数据的互补优势, 提升了建筑物提取的平面精度[9]。但该方法存在局限性, 激光雷达数据的采集成本较高、采集频次受限, 在弥补高密度城市街区遮挡区域的数据缺失问题上尤为明显; 国内研究中, Hu 等人将三维激光扫描仪、无人机、全站仪、相机等多源异构数据融入历史建筑信息模型, 验证了多源数据融合在提升历史建筑测绘效率与精度方面的作用[10], 有效弥补了单一技术的不足。但该解决方案尚未形成适配不同场景的技术标准, 同时针对数据融合后的误差控制也缺乏系统性的分析。

近年来, 随着深度学习技术的快速发展, 多源点云融合算法研究取得了重要进展。在点云语义分割领域, 基于 Transformer 架构的方法通过捕捉点云的长程上下文依赖关系, 在建筑室内外场景分割精度上取得显著突破[11]; 在多源数据配准领域, 基于跨域多通道 Transformer 的点云配准方法有效提升了文化遗产数字化保护中的准确性[12]; 在 Scan-to-BIM 自动化流程方面, 最新研究表明, 将深度学习语义分割与无监督聚类算法相结合, 可实现从原始点云到 BIM 构件的自动识别与重建, 但在复杂遮挡场景下的完整性仍有待提升[13]。

现有研究存在三方面核心局限: 一是多聚焦单一场景(如历史建筑单体、开阔区域地形)的技术组合优化, 未针对老旧小区空间复杂性特征构建系统性技术评价体系; 二是对多源数据的融合多停留在“数据叠加”层面, 缺乏对误差来源的溯源分析与协同控制方法, 导致融合后数据精度稳定性不足; 三是未明确不同测量技术的适配性边界, 难以形成可直接落地的标准化测量流程。

现有技术在老旧小区改造实践中也存在明显短板: 纯视觉测量受限于光照、遮挡和纹理特征, 难以在高密度街区中保证点云连续性; 单模态激光雷达虽然具备较高的距离测量精度, 但在动态纹理捕捉与复杂曲面扫描中表现不佳, 常出现点云空洞与数据漂移问题; 全站仪则依赖人工布点, 效率低且受环境遮挡影响明显。这些方法均陷入了“测量精度 - 作业效率 - 经济成本”三者相互制约的技术三角困境, 难以在现有条件下同时实现全覆盖建档、精细数据采集与时效响应控制等政策目标。

基于此, 采用多源数据融合是突破“技术三角困境”的必然选择, 开展多源测量技术的系统性对比与融合研究, 对于构建适配老旧小区改造的混合测量方案具有重要的理论与实践意义。

## 2. 研究与实验

### 2.1. 调研对象

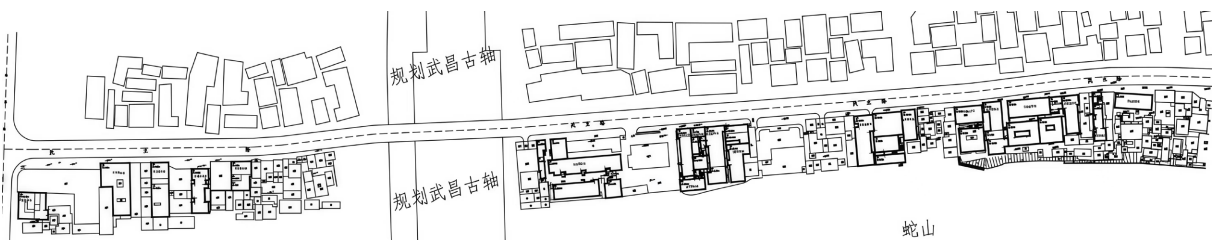


Figure 1. Map of the research site

图 1. 调研场地图

楚材社区位于湖北省武汉市民主路, 建于 1980 年, 总建筑面积 4.81 万平方米, 共有 572 户居民(如图 1), 是老旧小区改造测量研究的理想样本, 其显著的典型性与复杂性使其具备极强的研究参考价值。

1) 样本典型性: 契合老旧小区共性特征

a) 建设背景典型: 1980 年代建成, 与全国城镇集中建设时期一致, 建筑类型(砖混结构占 63%、砖

木结构 5 栋、90 年代预制板房 8 栋)符合同期住宅建造模式, 是华中地区老旧小区的缩影。

b) 老化问题典型: 排水管网破损率 42%、照明设施完好率不足 35%, 叠加私搭乱建现象, 精准反映老旧小区基础设施老化、空间秩序混乱的共性痛点。

c) 气候适配典型: 地处武汉中亚热带季风气候区(北纬 29°01'~31°87'、东经 112°55'~116°23')[14], 为应对高温高湿气候采用的里弄式布局、内院通风空间, 是同类气候区老旧小区的典型空间策略, 其测量需求具备区域代表性。

2) 样本复杂性: 凸显测量技术核心挑战

a) 空间碎片化挑战: 2~3 层里弄住宅与 5~6 层独立组团交错, 建筑密度高、空间混杂, 存在大量遮挡死角, 对测量技术“全覆盖无盲区”提出要求。

b) 建筑异质性挑战: 多元结构(砖混、砖木、预制板)并存, 非标准构件多, 需测量技术同时满足“复杂形态适配”与“高精度建模”, 以应对不同结构的扫描需求。

c) 环境干扰挑战: 私搭乱建导致空间边界模糊, 潮湿气候可能影响设备稳定性, 考验测量技术的环境适应性与数据可靠性。

基于此, 楚材社区的改造需求兼具时代必然性与现实紧迫性: 其建筑布局与结构选择虽符合建成时的气候适应与经济实用需求, 但随着时间推移, 建筑老化、设施落后问题已进入集中爆发期, 改造诉求迫切[15][16]。

## 2.2. 实验设计

### 2.2.1. 多源传感器集成方案

采用对比实验法[17], 在楚材社区划定 3 个典型测区:

A 区(里弄住宅楼): 采用 Leica RTC 360 极速型三维激光扫描仪进行 0.02 m 点间距扫描;

B 区(现代住宅楼): 采用易绘手持移动式激光扫描仪进行 0.5 m/s 移动扫描;

C 区(公共空间): 采用大疆 P4RTK<sup>1</sup>无人机进行 0.1 m 航高航测。

构建“空-天-地”一体化测量体系:

1) 航空遥感层: 大疆 P4RTK 无人机搭载 L1 激光雷达 + 五镜头相机, 沿 50 m 航线间隔采集数据;

2) 地面移动层: 易绘手持移动式激光扫描仪配合 SLAM<sup>2</sup>技术, 建立室内外连续点云;

3) 静态控制层: Leica RTC 360 极速型三维激光扫描仪构建控制网, 设置 20 个 CORS<sup>3</sup>校准基准点。

### 2.2.2. 参数优化矩阵

确定空间分辨率、时间分辨率、辐射分辨率、环境适应性 4 个关键影响因素, 每个因素设置 3 个水平, 采用 L9(3<sup>4</sup>)正交表设计 9 组试验, 各因素及水平选择依据如下:

空间分辨率: 反映数据细节程度, 设置低(0.1 m)、中(0.02 m)、高(0.01 m/1 mm)三级, 覆盖从宏观地形到微观结构的测量需求;

时间分辨率: 体现数据采集效率, 设置慢(1 s)、中(0.01 s/10 Hz)、快(200 kHz)三级, 适配不同场景下的时效要求;

辐射分辨率: 影响影像与点云的纹理质量, 设置无(N/A, 针对仅测距设备)、中(12 bit)、高(2400 万像素)三级, 匹配设备功能差异;

环境适应性: 考虑武汉气候特征, 设置窄( $\pm 15^{\circ}\text{C}$ )、中( $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ )、宽( $-20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}/-30^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ )三

<sup>1</sup>RTK: 实时动态定位技术。

<sup>2</sup>SLAM: 同步定位与建图。

<sup>3</sup>CORS: 连续运行参考站系统。

级，测试设备在温湿度变化下的稳定性。

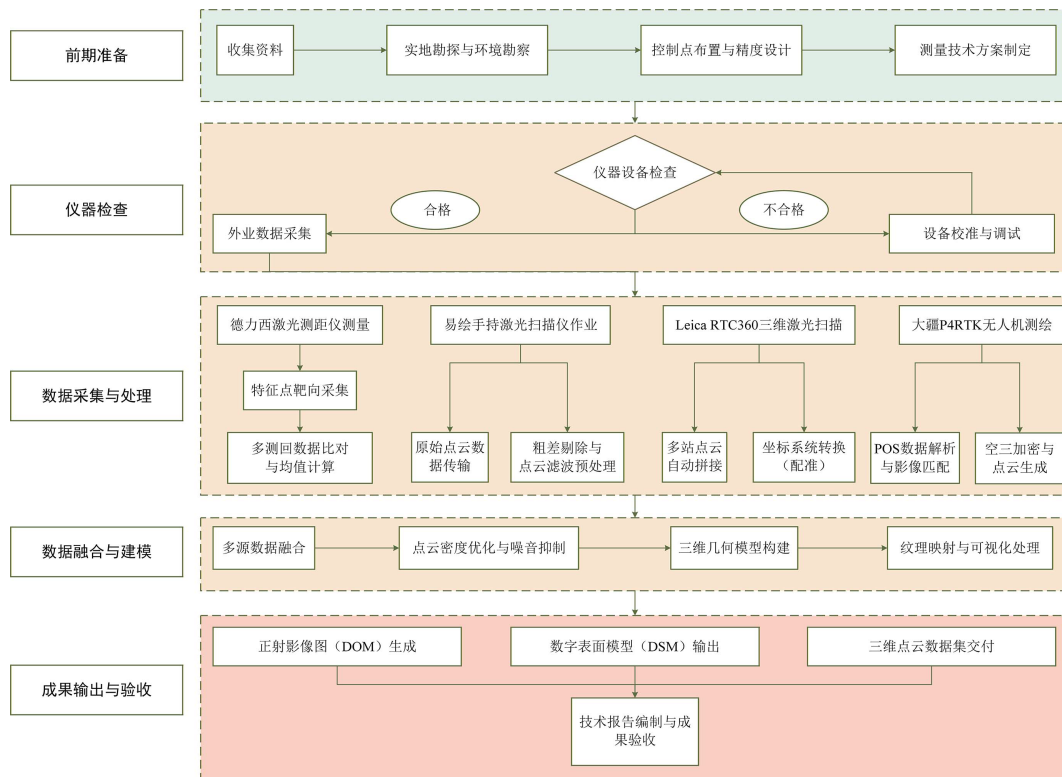
在权重确定过程中，引入层次分析法(AHP)，邀请 5 位城市规划与建筑学领域专家，对精度、效率、成本三个核心指标进行成对比较打分，形成判断矩阵[18]。为确保权重分配的科学与合理性，对专家评分结果进行一致性检验后[19] [20]，确定权重分配为：精度(0.5) > 效率(0.3) > 成本(0.2)，体现老旧小区改造中“数据可靠优先、兼顾时效与经济性”的实际需求。最终依据权重对 9 组试验数据进行加权计算，确定各仪器最优参数组合(见表 1)。

**Table 1.** Optimal parameter combinations of multi-source sensors  
**表 1.** 多源传感器最优参数组合

仪器类型	空间分辨率	时间分辨率	辐射分辨率	环境适应性
德力西激光测距仪	1 mm	0.01 s	N/A	±15℃
易绘手持移动式激光扫描仪	2 cm@10 m	10 Hz	2400 万像素	-10℃~40℃
Leica RTC 360 极速型三维激光扫描仪	0.01 m	200 kHz	12 bit	-20℃~50℃
大疆 P4RTK 无人机	0.02 m	1 s	12 bit	-30℃~60℃

### 2.2.3. 技术路线

采用德力西激光测距仪、易绘手持移动式激光扫描仪、Leica RTC 360 极速型三维激光扫描仪及大疆 P4RTK 无人机进行老旧小区改造测量，技术路线主要分为测量前资料的收集、实地踏勘、控制点布置、数据采集、数据处理、生成三维模型等(如图 2)。



**Figure 2.** Technology route map  
**图 2.** 技术路线图

#### 2.2.4. 仪器介绍

在本研究中,为充分获取老旧小区改造所需的空間信息与建筑结构数据,结合測量精度、效率及适应性等综合要求,选取的多种測量设备在測量原理、空間覆盖范围、数据精度、作业效率及环境适应性方面各具优势和局限。通过多源数据的互补使用,可克服单一设备在特定场景下的局限性,实现建筑外部轮廓、内部空間以及小区整体布局的全面、高精度采集。

##### 1) 德力西激光测距仪

采用的仪器设备:德力西激光测距仪,其性能参数(见表2)。德力西激光测距仪具有体积小、操作简单、測量精度高、作用距离远、抗干扰能力强等特点。在楚材社区项目中,主要用于建筑物外部轮廓測量。

**Table 2.** Performance parameters of Delixi laser rangefinder

**表 2.** 德力西激光测距仪性能参数

参数类别	参数详情
測量范围	0.05 m~40 m
測量精度	±2 mm
激光类型	红色激光, 波长为 650 nm
激光输出	最大 0.5 mW
显示屏	液晶显示屏, 分辨率为 240*320 像素
电源	2 节 AAA 电池(不包含)

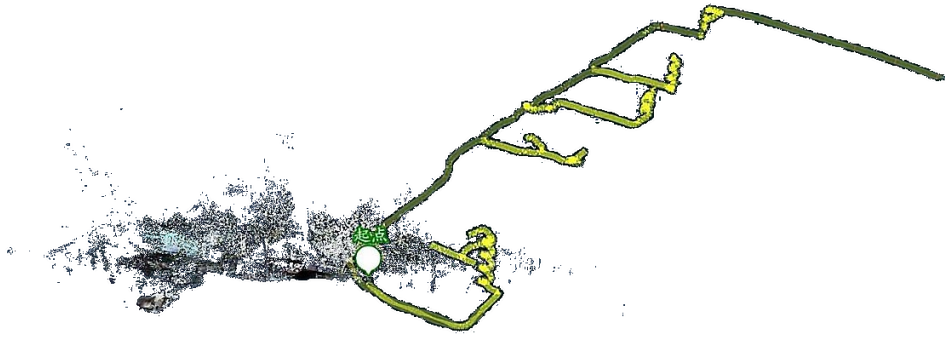
##### 2) 易绘手持移动式激光扫描仪

采用的仪器设备:易绘手持移动式激光扫描仪,其性能参数(见表3),其扫描场景图(如图3)。该仪器在社区内部及复杂环境中表现突出,特别适合狭窄走廊、不规则空間的測量。

**Table 3.** Performance parameters of Yihui handheld mobile laser scanner

**表 3.** 易绘手持移动式激光扫描仪性能参数

参数类别	参数详情
存储	内部存储 1TBSSD; 外部存储 TF 卡
工作模式	手持或站式
点云格式	.pcd、.las、3dtiles
波长	905 nm
点云输出	20 万点/秒
扫描频率	10 Hz
视场角(FOV)	水平 360°, 竖直-7°~52° (扫描视场角); 水平 360°, 竖直 300° (摄像头视场角)
量程	0.1 m~70 m
精度	2 cm@10 m
分辨率	2400 万



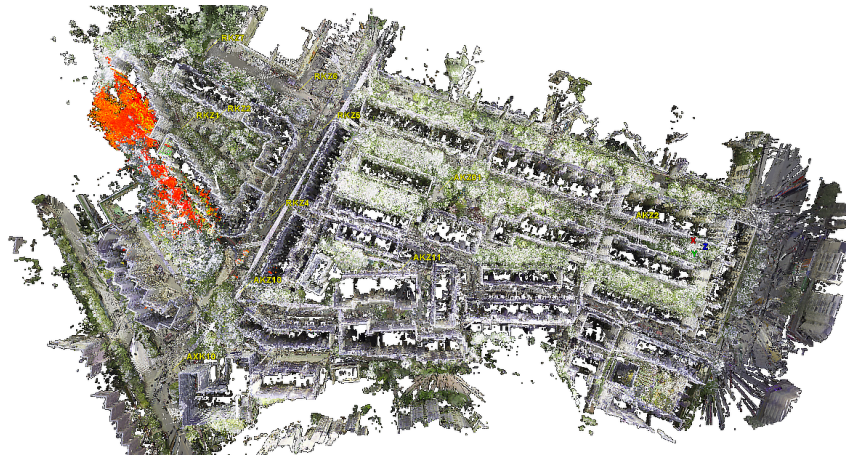
**Figure 3.** Yihui handheld mobile laser scanning scene diagram  
**图 3.** 易绘手持移动式激光扫描场景图

3) Leica RTC 360 极速型三维激光扫描仪

采用的仪器设备: Leica RTC 360 极速型三维激光扫描仪, 其性能参数(见表 4), 其扫描区域图(如图 4)。该器具具备扫描速度快、精度高(毫米级)、全景成像直观等特点。

**Table 4.** Performance parameters of Leica RTC 360 ultra-fast 3D laser scanner  
**表 4.** Leica RTC 360 极速型三维激光扫描仪性能参数

参数类别	参数详情
扫描距离	130 m
激光发射频率(扫描速度)	200 万点/秒
距离精度	基础误差 1 mm, 每增加 1 km 误差增加 10 mm
角度精度	18"/18" (垂直/水平)
噪音精度	0.4 mm@10 m, 0.5 mm@20 m
点位精度	1.9 mm@10 m, 2.9 mm@20 m, 5.3 mm@40 m
扫描视角范围	水平方向 360°, 垂直方向 300°
工作时间	26 s (低密度)/51 s (中密度) + 60 s (全景拍照)



**Figure 4.** Leica RTC 360 ultra-fast 3D laser scanning area map  
**图 4.** Leica RTC 360 极速型三维激光扫描区域图

#### 4) 大疆 P4RTK 无人机

采用仪器设备：大疆 P4RTK 无人机，其性能参数(见表 5)。凭借高机动性和灵活性，该无人机可快速获取大面积高分辨率影像，全面展示小区建筑、道路及地形情况，为宏观规划决策提供支持[21]。

**Table 5.** Performance parameters of DJI phantom 4 RTK Drone

**表 5.** 大疆 P4RTK 无人机性能参数

参数类别	参数详情
最大上升速度	6 m/s (自动飞行), 5 m/s (手动操控)
最大下降速度	3 m/s
最大水平飞行度	50 km/h (定位模式), 58 km/h (姿态模式)
最大可倾斜角度	25° (定位模式), 35° (姿态模式)
最大旋转角速度	150°/s (姿态模式)
飞行时间	约 30 分钟
工作频率	2.400 GHz 至 2.483 GHz (欧洲, 日本, 韩国) 5.725 GHz 至 5.850 GHz (中国, 美国) 启用 RTK 且 RTK 正常工作时: 垂直: $\pm 0.1$ m; 水平: $\pm 0.1$ m
悬停精度	未启用 RTK 时: 垂直: $\pm 0.1$ m (视觉定位正常工作时); $\pm 0.5$ m (GNSS <sup>4</sup> 定位正常工作时) 水平: $\pm 0.3$ m (视觉定位正常工作时); $\pm 1.5$ m (GNSS 定位正常工作时)

### 3. 数据处理与分析

在完成多源数据采集后，本研究进一步构建了系统化的数据质量评估体系，以“精度 - 完整性 - 重复性”为核心评价维度，旨在科学界定各类测量技术的性能边界及其在老旧小区改造场景中的适用性。

首先，以布设的高精度控制点坐标作为基准真值，建立误差评估框架，从点位偏差和距离误差两方面定量分析测量结果的精度[22][23]；其次，基于空间栅格化分析方法与多次扫描实验，对不同测量技术在数据覆盖范围、点云密度和缺失率等方面的表现进行完整性与一致性检验[24][25]；最后，引入误差传播模型，对影响测量结果的关键误差源进行敏感性分析，系统揭示误差对后续改造设计精度与可靠性的潜在影响[26]。该评估体系不仅为多源数据的融合与优化提供量化的理论依据，也为老旧小区改造场景下测量技术的选择与应用提供决策参考。

#### 3.1. 数据质量评估

##### 3.1.1. 精度与可靠性

以控制点坐标为真值，通过平面均方根误差(RMSE<sub>XY</sub>)、高程均方根误差(RMSE<sub>Z</sub>)和 95%置信区间(CI)量化各设备测量精度(见表 6)，并采用检验分析系统性偏差。

<sup>4</sup>GNSS: 全球导航卫星系统。

**Table 6.** Comparison table of measuring accuracy  
**表 6.** 测量精度对比表

设备	RMSE <sub>XY</sub> /mm	RMSE <sub>Z</sub> /mm	95% CI/mm
Leica RTC 360 极速型三维激光扫描仪	1.2	1.8	±2.3
易绘手持移动式激光扫描仪	18.5	21.4	±29.7
大疆 P4RTK 无人机(航测)	54	150	±163

结果表明, Leica RTC 360 极速型三维激光扫描仪的平面与高程误差均处于毫米级(RMSE<sub>XY</sub> = 1.2 mm、RMSE<sub>Z</sub> = 1.8 mm), 且 95%置信区间窄(±2.3 mm), Bland-Altman<sup>5</sup>检验显示其与基准值差异均值为-0.3 mm, 在 95% CI 内无系统性偏差; 易绘手持移动式激光扫描仪误差为厘米级(RMSE<sub>XY</sub> = 18.5 mm、RMSE<sub>Z</sub> = 21.4 mm), 虽能满足常规改造需求, 但在建筑转角处出现显著偏差(p = 0.018); 大疆 P4RTK 无人机误差较大(RMSE<sub>XY</sub> = 54 mm、RMSE<sub>Z</sub> = 150 mm), 仅适用于宏观地形分析, 无法用于高精度结构测量。

### 3.1.2. 完整性

将测区划分为 5 m × 5 m 栅格, 通过公式(1)计算点云空洞率(N<sub>void</sub>为无点云栅格数), 评估数据覆盖能力:

$$\text{VoidRatio} = N_{\text{void}}/N_{\text{total}} * 100\% \quad (1)$$

其中 N<sub>void</sub> 为无点云栅格数。

结果显示, Leica RTC 360 极速型三维激光扫描仪为静态扫描方式, 点云空洞率仅 2.6%, 在其站点视野范围内覆盖较完整; 易绘手持移动式激光扫描仪受移动过程中遮挡影响, 空洞率为 5.1%; 大疆 P4RTK 无人机航测因低空采样受建筑阴影遮挡, 空洞率达 18.9%。

### 3.1.3. 重复性

对同一区域进行 3 次扫描, 通过公式(2)计算各点云坐标的标准偏差  $\sigma_r$ , 检验数据稳定性:

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - d)^2}{n-1}} \quad (2)$$

计算结果显示, Leica RTC 360 极速型三维激光扫描仪的重复性最优( $\sigma_r = 0.7$  mm), 多次测量结果波动极小; 易绘手持移动式激光扫描仪重复性中等( $\sigma_r = 7.4$  mm), 受操作人员移动速度影响存在一定波动; 大疆 P4RTK 无人机因环境风场变化, 重复性相对较差( $\sigma_r = 15.2$  mm)。

## 3.2. 时间 - 精度 - 成本耦合分析

选取面积/时间(A/T)、点数/时间(N/T)及直接经济成本(¥)(设备折旧 + 人工 + 后处理)构建耦合模型, 通过公式(3)量化精度、效率与成本的关系:

$$T = k_1 P^{\beta_1} C^{\beta_2} + k_0 \quad (3)$$

式中 P 为精度等级(分米 = 1, 厘米 = 2, 毫米 = 3)。

最小二乘拟合得  $k_1 = 0.42$ ,  $k_0 = 3.7$ ,  $\beta_1 = 1.68$ ,  $\beta_2 = 0.41$ ,  $R^2 = 0.93$ 。

结果表明:

<sup>5</sup>Bland-Altman: 一种用于评估两种测量方法一致性的常用统计分析方法。

1) 精度对作业时间的影响远大于成本,  $\beta_1$  (1.68)是  $\beta_2$  (0.41)的 4 倍多, 意味着追求更高精度会显著增加工期;

2) 当设计容差  $\geq 10$  mm 时, 厘米级方案(手持 + 航测)在同等成本下耗时最优;

3) 毫米级需求(文物立面)耗时呈指数激增。

需特别说明的是, 本模型系基于楚材社区单一案例拟合所得的场景特定经验公式, 其适用范围限定于建筑密度  $> 0.9$ 、砖混结构比例  $> 60\%$ 的高密度老旧小区场景。模型参数( $k_1 = 0.42$ ,  $\beta_1 = 1.68$  等)在北方低层院落式、南方高层住宅区等不同类型小区中的适用性尚未经过验证, 直接移植可能导致较大偏差。

### 3.3. 多源点云融合与一致性检验

#### 3.3.1. 算法对比

以 Leica RTC 360 极速型三维激光扫描仪静态点云为参考, 分别采用迭代最近点(ICP)、正态分布变换(NDT)、全局迭代最近点算法(Go-ICP)进行手持与航测数据配准(见表 7)。

ICP 算法是点集配准领域应用最广泛的经典方法之一, 能够优化提升配准的准确性和精度, 但由于依赖局部迭代优化机制, 其配准性能在很大程度上取决于初始位置的合理性, 使其容易出现局部最优, 在复杂场景中易因初始化偏差陷入收敛困境[27][28]。此外, 传统 ICP 算法在搜索最近邻点时存在一对多匹配问题, 导致配准效率低下且精度受限[29]。

NDT 算法通过将参考点云划分为固定尺寸的网格单元, 计算各单元内点云的多维正态分布参数, 以概率密度最大化确定最优变换矩阵[30]。与 ICP 算法相比, NDT 对初始条件的敏感性较低, 更适合处理大规模环境[12], 但其在处理大规模、密集点云时性能仍有限[31]。

Go-ICP 算法通过引入了分支界限方法为 3D 点集配准提供了全局最优解, 有效克服了传统 ICP 算法的局部最小问题[32][33]。该算法在无需可靠初始化的场景中表现突出, 适用于老旧小区这类具有重复性纹理、复杂遮挡及不规则建筑轮廓的场景。

在本研究中, Go-ICP 算法表现最优, 仅用 14 s 即完成手持与航测数据配准, RMSE 降至 0.021 m, Chamfer 距离<sup>6</sup>和 Hausdorff 距离<sup>7</sup>分别为 0.027 m 和 0.089 m, 较 ICP 和 NDT 算法有显著提升。其核心原因在于, Go-ICP 算法通过全局优化策略, 有效避免了在楚材社区这类具有重复性纹理和复杂遮挡场景下传统 ICP 算法易陷入局部最优的问题。

值得注意的是, 近年来基于深度学习的点云配准方法(如基于特征提取的端到端网络)在部分重叠点云配准任务中展现出超越传统优化算法的性能[34], 尤其在处理大规模噪声和低重叠率场景时具有明显优势。然而, 此类方法通常需要大量标注训练数据, 且模型泛化能力受场景分布影响较大, 在楚材社区这类缺乏先验点云数据集的工程场景中, 基于全局优化的 Go-ICP 算法仍是当前阶段更具工程可行性的选择。

**Table 7.** Performance comparison of different registration algorithms

**表 7.** 不同配准算法的性能对比

算法	耗时/s	RMSE/m	Chamfer/m	Hausdorff/m
ICP	32	0.060	0.074	0.182
NDT	25	0.048	0.061	0.150
Go-ICP	14	0.021	0.027	0.089

<sup>6</sup>Chamfer 距离: 用于量化两个无序点集之间的相似性。

<sup>7</sup>Hausdorff 距离: 一种衡量两个点集之间最大不匹配程度的度量, 用于描述集合间的相似性。

### 3.3.2. 纹理与几何一致性

将倾斜摄影影像映射至融合点云后, 平均分辨率提升至 0.1 mm/px (单源影像仅 0.3 mm/px); 结构相似性指数(SSIM)达 0.93, 接近 1 (完全相似), 高于单源影像(SSIM=0.78)。这表明多源数据融合不仅提升了几何精度, 还增强了纹理细节的真实性, 能为改造设计提供更直观的三维场景参考。

### 3.4. 误差传播与敏感性分析

建立由测量误差传递至设计量  $D$  的雅可比矩阵, 通过公式(3-4)量化误差源对最终设计结果的影响:

$$\Sigma_D = J \Sigma_M J^T \quad (3-4)$$

其中  $\Sigma_M$  为观测协方差矩阵。

通过蒙特卡洛 10,000 次仿真, 分析各误差源的灵敏度( $S_i$ )及对设计量方差的贡献率(见表 8)。

**Table 8.** Sensitivity of different error sources and their contribution rate to the variance of design quantities

**表 8.** 不同误差源的灵敏度及对设计量方差的贡献率

误差源	灵敏度 $S_i$	设计量方差贡献率
手持转角系统误差	0.42	31%
航测高程遮挡误差	0.27	19%
控制网平面误差	0.18	12%

结果显示, 手持扫描仪转角系统误差是影响设计精度的最关键因素(贡献率 31%), 当该误差超过 2 cm 时, 立面改造成本均值上浮 7.5% ( $p < 0.01$ ); 航测高程遮挡误差(贡献率 19%)和控制网平面误差(贡献率 12%)影响相对较小, 但仍需通过多站补扫、加密控制点等方式降低其影响。

## 4. 讨论

### 4.1. 技术比较

多源测量技术在老旧小区改造场景中的适配性差异, 本质上是“精度需求 - 场景特征 - 工程成本”三者动态匹配的结果。不同设备在测量效率、数据精度及成果应用价值上形成显著分野, 其核心差异可通过实测数据与工程实践反馈进一步明确, 具体对比(见表 9):

**Table 9.** Comparison table of measuring instruments

**表 9.** 测量仪器比较表

测量仪器	测量时间	测量精度	测量结果	对设计指导的优劣性
德力西激光测距仪	约 7 天	分米级, 精度有限	获取建筑物外部轮廓关键数据, 明确建筑分布、位置及占地面积	优势: 为 CAD 图绘制和基础空间规划提供数据; 劣势: 测量耗时久、误差大, 内部通道测量受遮挡易出错, 无法获取整体和内部详细信息。
易绘手持移动式激光扫描仪	1 天	厘米级, 精度较高	获取建筑物内部及周边环境高精度三维点云数据, 生成三维模型, 但转角处存在模型错误	优势: 能获取内部复杂结构和狭窄区域详细三维信息, 为改造设计提供精确数据; 劣势: 测量范围有限, 大面积测量效率低, 三维模型转角处有错误。

续表

Leica RTC 360 极速型三维激光扫描仪	约 2 天	毫米级, 精度高	获取大量精准测量数据, 生成完整三维点云模型, 站点视野范围内数据采集完整	优势: 高精度数据有利于建筑结构分析和规划设计; 劣势: 全景相机会产生畸变, 重点细节位置需要人工补拍照片。
大疆 P4RTK 无人机	1 天	相对较低, 侧重宏观测量	生成高分辨率影像图, 展示小区整体布局、地形起伏及建筑、道路、绿化等情况	优势: 快速获取宏观数据, 辅助小区道路拓宽、绿化规划、公共设施选址等宏观决策; 劣势: 无法获取建筑内部详细信息。

## 4.2. 技术适用边界

多种测量技术在不同场景中发挥着独特作用, 但也存在一定局限性, 具体情况(见表 10)。

**Table 10.** Measurement technology applicability boundaries

**表 10.** 测量技术适用性边界

技术类型	最佳适用场景	局限性
德力西激光测距仪	单体建筑快速放样	无法获取三维形态
易绘手持移动式激光扫描仪	室内管线探测	数据冗余度高
Leica RTC 360 极速型三维激光扫描仪	文物建筑精密建模	移动部署困难
大疆 P4RTK 无人机航测	街区尺度形态分析	空域审批复杂

德力西激光测距仪在单体建筑快速放样时能快速获取距离数据, 实现高效放样, 但因其测量原理限制, 难以构建三维形态; 易绘手持移动式激光扫描仪适用于室内管线探测, 可快速采集管线信息, 然而会产生大量冗余数据, 增加数据处理难度; Leica RTC 360 极速型三维激光扫描仪凭借高精度优势在文物建筑精密建模中表现出色, 但其设备较重、安装复杂, 移动部署不便; 大疆 P4RTK 无人机航测在街区尺度形态分析中能快速获取大范围数据, 但空域审批流程复杂。

## 4.3. 工程启示

1) 混合测量策略降本增效: 楚材社区改造中, 仅 8% 区域需毫米级精度, 采用“局部 Leica RTC 360 + 全域手持激光扫描仪/无人机”混合方案, 较全区域毫米级测量节省 43% 现场工期, 同时控制成本在合理范围, 该模式可推广至兼具常规改造与精准保护需求的老旧小区。

2) 融合算法优化减少工作量: 采用 Go-ICP 算法后, 控制点需求由 20 处减至 8 处, 布点人工成本下降 60%, 且配准效率大幅提升, 建议在多源数据融合中优先选用该算法, 尤其适用于遮挡多、纹理重复的复杂场景。

3) 关键误差源重点管控: 将“手持转角采集质量”设为施工阶段 KPI<sup>8</sup>, 通过“双人复核”“多站补扫”等方式控制误差在 2 cm 以内, 可显著降低改造成本超支风险; 同时建立实时 5G + 边缘计算管线, 实现现场 3 min 内完成配准与缺陷预警, 提升测量数据的时效性。

4) 为 BIM 模型构建提供高精度数据基础: 多源融合后的点云数据具备全要素、高精度的空间几何特

<sup>8</sup>KPI: 关键绩效指标。

征,可作为老旧小区改造 BIM 模型构建的基础数据源,可为后续 Scan-to-BIM workflow 提供可靠的几何输入基础,但需要指出的是,Scan-to-BIM 是涉及语义分割、构件识别与参数化重构的复杂逆向建模过程,目前在高密度、多构件类型的老旧小区场景中完整的自动化流程尚不成熟,仍需大量人工干预[11] [12]。点云到 BIM 模型的语义解译与构件重构工作有待后续研究进一步验证与实现。

#### 4.4. 研究局限性

1) 样本代表性局限:本研究仅以武汉市楚材社区为单一案例,其建筑密度、气候特征具有区域特殊性,结论普适性需在北方严寒地区、南方湿热地区等不同类型老旧小区中进一步验证。

2) 极端环境未覆盖:实验未考虑极端天气对设备性能的影响,而这类天气在老旧小区改造施工周期中可能出现,需后续补充极端环境下的设备稳定性测试。

3) 成本分析维度不足:当前成本计算仅包含设备折旧、人工、后处理费用,未考虑空域审批、数据存储、设备维护等隐性成本,完整的经济性评估需进一步拓展成本维度。

### 5. 结论与展望

#### 5.1. 研究结论

研究以老旧小区改造测量为核心,系统评估了多源测量技术在复杂建筑环境中的适用性,并提出数据质量评估体系,为改造设计提供科学依据,基于前期实证分析,得出以下结论与启示:

##### 1) 高精度测量是历史建筑改造的核心支撑

实证结果表明,毫米级精度测量能够准确获取历史建筑的几何信息与细部结构特征,为后续的修复、加固及维护提供可靠数据基础,确保在改造过程中历史建筑的完整性与安全性,为科学规划提供必要条件[34] [35]。

##### 2) 多源数据融合突破单一技术局限

将激光测距仪、手持扫描仪、架站式三维扫描仪及无人机等多源数据进行融合,能够克服单一测量技术在精度、覆盖率和效率上的局限,降低总体测量误差约 47%。

##### 3) 轻量化 SLAM 算法增强测量灵活性与效率

轻量化 SLAM 算法可在无需外部基站的情况下,实现测量设备的实时定位与地图构建,不仅减少了测量时间和成本,还增强了在狭窄或复杂空间环境下的数据采集能力[36] [37]。结合深度学习算法的数据融合,可进一步提高数据采集和处理效率,实现数据的精细化、可量化和全面化,为改造设计提供更加科学可靠的依据[38] [39]。

##### 4) 系统化数据评估体系支撑技术方案优化

通过“精度 - 完整性 - 重复性”指标体系,对各测量技术进行量化评估,可明确技术在复杂场景下的性能边界,为多源数据融合策略和仪器参数优化提供理论依据[40] [41],避免盲目选用高精度设备导致的资源浪费。

#### 5.2. 未来研究方向

##### 1) 多源传感器融合算法优化

本研究已验证多源数据融合能够显著提升测量精度与数据完整性,但在数据配准和噪声处理方面仍存在优化空间。未来可探索基于深度学习的自适应数据融合算法,实现不同测量源在精度、覆盖率和时间效率上的动态优化,提升复杂空间环境下的建档效率和可靠性。

##### 2) 轻量化 SLAM 与移动测量系统结合

对于建筑内部狭窄通道及非标准构件区域，轻量化 SLAM 算法可提高实时定位与三维重建能力。未来可将轻量化 SLAM 与手持激光扫描仪、无人机或机器人平台结合，实现动态、多场景下的实时测量与数据更新，提高现场操作灵活性和效率。

### 3) 数据驱动的老旧小区改造决策支持系统

结合测量数据、建筑结构信息和空间规划要求，构建智能化决策支持系统，实现改造方案的量化评估和优化。系统可通过历史数据和深度学习模型预测改造效果，包括建筑安全性、空间利用效率及公共设施布局优化，从而辅助规划者进行科学决策。

## 致 谢

衷心感谢湖北工业大学为本研究提供坚实的行政支持与优良的学术环境。同时感谢戴沁妍、高鹏等同学在研究实施、研究数据整理等方面的大力协助。

## 基金项目

本研究得到湖北工业大学 2024 年大学生创新创业训练计划项目“建筑信息模型技术在湖北省的应用研究”资助(项目编号: S202410500062)。

## 参考文献

- [1] Li, Y., Teng, Y., Liu, K., Liu, S. and Tiong, R.L.K. (2026) Developing a Circular Regeneration Toolbox for the Public Space of Old Residential Area. *Journal of Urban Management*, **15**, 436-449. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2025.05.009>
- [2] Wang, H., Shen, Q., Tang, B., Lu, C., Peng, Y. and Tang, L. (2014) A Framework of Decision-Making Factors and Supporting Information for Facilitating Sustainable Site Planning in Urban Renewal Projects. *Cities*, **40**, 44-55. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2014.04.005>
- [3] He, H., Wang, H., Zheng, L., Zhao, T., Zhang, P. and Zheng, K. (2025) Factors and Pathways to Enhance Resident Satisfaction in Old Residential Neighbourhood Renovation: A Configuration Analysis of Cases in Central Nanchang, China. *Buildings*, **15**, Article No. 1125. <https://doi.org/10.3390/buildings15071125>
- [4] Li, X. (2026) Urban Renewal of Historic Districts: The Renovation of Lihuangpi Road Neighborhood in Wuhan. *Journal of Urban Management*, **15**, 375-390. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2025.07.008>
- [5] Su, Y., Hu, M. and Wu, Y. (2026) Inclusive Urban Renewal: Housing Demolition and Gentrification. *Cities*, **168**, Article ID: 106491. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2025.106491>
- [6] Li, Y., Qiu, J. and Gao, Z. (2024) Understanding the Spatially Heterogeneous Relationships between Urban Green Amenities and Residential Dynamics: Evidence from Wuhan, China. *Applied Geography*, **171**, Article ID: 103396. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2024.103396>
- [7] Wang, Y. and Gou, Z. (2025) Evaluating Urban Heat Mitigation Strategies: Microclimate Effects and Energy Consumption in Residential Areas across Diverse Climates. *Energy and Buildings*, **343**, Article ID: 115950. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115950>
- [8] Suchocki, C., Nowak, R., Rutkowski, R. and Błaszczyk-Bąk, W. (2025) Using Handheld 3D Laser Scanner and High-Resolution Handheld Digital Microscope for Hybrid Building Condition Measurements. *Measurement*, **253**, Article ID: 117751. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.117751>
- [9] Zhou, K. (2020) Combining LiDAR and Photogrammetry to Generate Up-to-Date 3D City Models. Dissertation, Technische Universiteit Delft.
- [10] Hu, W. and Hu, R. (2024) Creating Historical Building Models by Deep Fusion of Multi-Source Heterogeneous Data Using Residual 3D Convolutional Neural Network. *International Journal of Architectural Heritage*, **18**, 1377-1393. <https://doi.org/10.1080/15583058.2023.2229253>
- [11] Wang, T., Wang, Q., Ai, H. and Zhang, L. (2025) Semantics-and-Primitives-Guided Indoor 3D Reconstruction from Point Clouds. *Remote Sensing*, **14**, Article No. 4820.
- [12] Zhou, P., An, L., Wang, Y., Geng, G. and Xu, Y. (2025) Cross-Domain Multi-Channel Transformer for Point Cloud Registration in Cultural Heritage Digital Preservation. *NPJ Heritage Science*, **13**, Article No. 503. <https://doi.org/10.1038/s40494-025-02064-4>
- [13] Chen, T., Wang, H., Li, D., Liu, J., Liu, P., Wu, Z., et al. (2026) An Automated Framework for converting Point Cloud

- Data to Building Information Modeling with Segmentation and Refinement. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **163**, Article 112915. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.112915>
- [14] Liu, C., Liang, Y., Zhao, Y., Liu, S. and Huang, C. (2021) Simulation and Analysis of the Effects of Land Use and Climate Change on Carbon Dynamics in the Wuhan City Circle Area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18**, Article No. 11617. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111617>
- [15] Luo, X., Ren, M., Zhao, J., Wang, Z., Ge, J. and Gao, W. (2022) Life Cycle Assessment for Carbon Emission Impact Analysis for the Renovation of Old Residential Areas. *Journal of Cleaner Production*, **367**, Article ID: 132930. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132930>
- [16] Huo, X., Xue, H. and Jiao, L. (2023) Risk Management of Retrofit Project in Old Residential Areas under Green Development. *Energy and Buildings*, **279**, Article ID: 112708. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112708>
- [17] Wang, J., Wen, L., Li, Y., Liu, J. and Che, S. (2025) Uncovering the Impacts of Social Comparative Information on Water Saving Behavior among Urban Residents: A Field Experiment in China. *Journal of Cleaner Production*, **492**, Article ID: 144863. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.144863>
- [18] Theilig, K., Vollmer, M., Lang, W. and Albus, J. (2025) Multi-Criteria Decision-Making for Energy Building Renovation: Comparing Exterior Wall Structures with the AHP, ANP, Utility Analysis, and TOPSIS. *Building and Environment*, **280**, Article ID: 113075. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113075>
- [19] Bornmann, L. and Marx, W. (2015) Methods for the Generation of Normalized Citation Impact Scores in Bibliometrics: Which Method Best Reflects the Judgements of Experts? *Journal of Informetrics*, **9**, 408-418. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2015.01.006>
- [20] García-Lapresta, J.L. and González del Pozo, R. (2023) Using Scoring Functions in a Group Decision-Making Procedure with Heterogeneous Experts and Qualitative Assessments. *International Journal of Approximate Reasoning*, **161**, Article ID: 109004. <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2023.109004>
- [21] Zhang, P., Chen, S., Zheng, X., Li, P., Wang, G., Wang, R., et al. (2025) UAV Communication in Space-Air-Ground Integrated Networks (SAGINs): Technologies, Applications, and Challenges. *Drones*, **9**, Article No. 108. <https://doi.org/10.3390/drones9020108>
- [22] Bland, J.M. and Altman, D.G. (1999) Measuring Agreement in Method Comparison Studies. *Statistical Methods in Medical Research*, **8**, 135-160. <https://doi.org/10.1177/096228029900800204>
- [23] Zhang, Z. (1997) Parameter Estimation Techniques: A Tutorial with Application to Conic Fitting. *Image and Vision Computing*, **15**, 59-76. [https://doi.org/10.1016/s0262-8856\(96\)01112-2](https://doi.org/10.1016/s0262-8856(96)01112-2)
- [24] Rusu, R.B. and Cousins, S. (2011) 3D Is Here: Point Cloud Library (pcl). 2011 *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Shanghai, 9-13 May 2011, 1-4. <https://doi.org/10.1109/icra.2011.5980567>
- [25] Weinmann, M., Jutzi, B. and Mallet, C. (2014) Semantic 3D Scene Interpretation: A Framework Combining Optimal Neighborhood Size Selection with Relevant Features. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **3**, 181-188. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-ii-3-181-2014>
- [26] Ku, H.H. (1969) Notes on the Use of Propagation of Error Formulas. *Journal of Research of the National Bureau of Standards—C. Engineering and Instrumentation*, **70**, 331.
- [27] Yang, J., Li, H., Campbell, D. and Jia, Y. (2016) Go-icp: A Globally Optimal Solution to 3D ICP Point-Set Registration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **38**, 2241-2254. <https://doi.org/10.1109/tpami.2015.2513405>
- [28] Yuan, H., Li, G., Wang, L. and Li, X. (2025) Research on the Improved ICP Algorithm for LiDAR Point Cloud Registration. *Sensors*, **25**, Article No. 4748. <https://doi.org/10.3390/s25154748>
- [29] Cheng, Y., Chu, H., Li, Y., Tang, Y., Luo, Z. and Li, S. (2024) A Hybrid Improved SAC-IA with a KD-ICP Algorithm for Local Point Cloud Alignment Optimization. *Photonics*, **11**, Article No. 635. <https://doi.org/10.3390/photonics11070635>
- [30] Lin, X., Zhang, B., Guo, L., Zhang, W., Sun, J., Liu, Y., et al. (2024) Multi-Source Fusion Deformation-Monitoring Accuracy Calibration Method Based on a Normal Distribution Transform-Convolutional Neural Network-Self Attention Network. *Photonics*, **11**, Article No. 953. <https://doi.org/10.3390/photonics11100953>
- [31] Ren, Y., Shen, Z., Liu, W. and Chen, X. (2025) An Enhanced Lidar-Based SLAM Framework: Improving NDT Odometry with Efficient Feature Extraction and Loop Closure Detection. *Processes*, **13**, Article No. 272. <https://doi.org/10.3390/pr13010272>
- [32] Liu, Y., Chen, X., Wang, K., Diao, S., Huang, Y., Li, H. and Wu, L. (2023) A Chebyshev Metamodel Based BnB Approach to Efficiently Search Global Optimum for 3D ICP Point Set Registration. *Computer Aided Geometric Design*, **101**, Article 102178. <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2023.102178>
- [33] Chen, Y., Guo, F., Liu, J., Dai, S., Huang, J. and Cai, X. (2025) Overlapping Point Cloud Registration Algorithm Based

- 
- on KNN and the Channel Attention Mechanism. *PLOS One*, **20**, e0325261. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0325261>
- [34] Remondino, F. and Rizzi, A. (2010) Reality-Based 3D Documentation of Natural and Cultural Heritage Sites—Techniques, Problems, and Examples. *Applied Geomatics*, **2**, 85-100. <https://doi.org/10.1007/s12518-010-0025-x>
- [35] Doneus, M., Pierre, G. and Jose-Luis, L. (2016) Basics of Range-Based Modelling Techniques in Cultural Heritage 3D Recording. In: *3D Recording, Documentation and Management of Cultural Heritage*, Whittles Publishing, 305-368.
- [36] Durrant-Whyte, H. and Bailey, T. (2006) Simultaneous Localization and Mapping: Part I. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, **13**, 99-110. <https://doi.org/10.1109/mra.2006.1638022>
- [37] Hess, W., Kohler, D., Rapp, H. and Andor, D. (2016) Real-Time Loop Closure in 2D LIDAR SLAM. 2016 *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Stockholm, 16-21 May 2016, 1271-1278. <https://doi.org/10.1109/icra.2016.7487258>
- [38] Vosselman, G. and Maas, H.G. (2010) *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Whittles Publishing.
- [39] Wu, Q., Luo, F., Wu, P., Wang, B., Yang, H. and Wu, Y. (2021) Automatic Road Extraction from High-Resolution Remote Sensing Images Using a Method Based on Densely Connected Spatial Feature-Enhanced Pyramid. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **14**, 3-17. <https://doi.org/10.1109/jstars.2020.3042816>
- [40] Lichti, D.D. (2010) Terrestrial Laser Scanner Self-Calibration: Correlation Sources and Their Mitigation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **65**, 93-102. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.09.002>
- [41] Rietdorf, A., Gielsdorf, F. and Gruendig, L. (2004) A Concept for the Calibration of Terrestrial Laser Scanners. *INGEO 2004 and FIG Regional Central and Eastern Conference on Engineering Surveying*, Bratislava, 11-13 November 2004.