

DOI: 10.7672/sgjs2025020032

# 基于无人机及 BIM 技术的既有建筑裂缝检测及 三维展布系统研究\*

孙文博<sup>1</sup>, 张凡<sup>1</sup>, 贾宝莹<sup>1,2</sup>, 刘天宇<sup>1</sup>, 张昊<sup>1,2</sup>,  
张红志<sup>1,2</sup>, 张文津<sup>1,2</sup>

(1. 中国建筑第八工程局有限公司, 上海 200120; 2. 中建八局浙江建设有限公司, 浙江 杭州 311200)

**[摘要]** 利用无人机进行建筑外立面裂缝检测是一种有效、便捷的方法。通过提取裂缝边界、计算裂缝宽度和长度,并记录该裂缝边界 GPS 数据,自动形成裂缝参数记录表。建立实物墙体与模型墙体间坐标转换关系,通过坐标转换得到该裂缝在模型墙体中的坐标,并利用裂缝参数化族,完成裂缝在 BIM 模型中的三维展布。通过无人机裂缝检测系统,快速实现裂缝识别、坐标转换、三维模型展布等,并应用于青岛某老旧小区改造项目。实践表明,该技术适用于城市更新项目建筑外立面裂缝统计及分析。

**[关键词]** 城市更新;既有建筑;裂缝;智能检测;三维展布;无人机;建筑信息模型

**[中图分类号]** TU17

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 2097-0897(2025)02-0032-05

## Crack Detection and Three-dimensional Display System for Existing Buildings Based on UAV and BIM Technology

SUN Wenbo<sup>1</sup>, ZHANG Fan<sup>1</sup>, JIA Baoying<sup>1,2</sup>, LIU Tianyu<sup>1</sup>, ZHANG Hao<sup>1,2</sup>,  
ZHANG Hongzhi<sup>1,2</sup>, ZHANG Wenjin<sup>1,2</sup>

(1. China Construction Eighth Engineering Division Co., Ltd., Shanghai 200120, China;  
2. Zhejiang Construction Co., Ltd. of China Construction Eighth Engineering Division,  
Hangzhou, Zhejiang 311200, China)

**Abstract:** It is an effective and convenient method to use UAV to detect cracks in building facades. By extracting the crack boundary, calculating the crack width and length, and recording the GPS data of the crack boundary, the crack parameter record table is automatically formed. The coordinate transformation relationship between the physical wall and the model wall is established. The coordinates of the crack in the model wall are obtained by coordinate transformation, and the three-dimensional distribution of the crack in the BIM model is completed by using the crack parameterization family. Through the UAV crack detection system, the crack identification, coordinate transformation, three-dimensional model distribution and so on are quickly realized, and applied to an old community reconstruction project in Qingdao. The practice shows that the technology is suitable for the statistics and analysis of building facade cracks in urban renewal projects.

**Keywords:** urban renewal; existing buildings; cracks; intelligent detection; three-dimensional display; unmanned air vehicle(UAV); building information modeling(BIM)

### 0 引言

在既有建筑(工业、民用建筑物)检测鉴定中,裂缝损伤属于可靠性鉴定的主要指标<sup>[1]</sup>。对于关

键部位裂缝,进行裂缝识别、参数分析、检测或长期监测,有助于结构受力机理分析及安全性评估<sup>[2]</sup>。

无人机在建筑外立面裂缝检测方面的应用技术较成熟<sup>[3]</sup>。利用图像处理技术,结合无人机灵活、易操作优势,实现建筑外立面墙面裂缝检测<sup>[4]</sup>。检测时,无人机一般贴近建筑外立面飞行,通过机

\*上海市2024年度“科技创新行动计划”启明星项目(24QB2707500)

[作者简介] 孙文博,工程师,E-mail: 1049935070@qq.com

[收稿日期] 2024-09-01

载高清摄像头定角度、定距离拍摄高清图片,经过图像预处理(增强、降噪)、裂缝识别与提取、裂缝参数计算、裂缝表达输出等,形成裂缝检测结果<sup>[5]</sup>。然而,在检测过程中无人机的频繁移动和风力因素影响镜头缩放参数,同时无人机摄像头难以始终与结构表面保持平行状态,造成视角倾斜,影响裂缝检测结果<sup>[6]</sup>。目前,检测结果往往以图片、裂缝参数等二维形式进行展布,统计分析裂缝数量和宽度等,裂缝结果无法在模型中直观标注,房屋健康评价人员无法整体评价裂缝对建筑结构的影响。

BIM 模型作为建筑信息数字化底座,能与不同类型数据集成,如安全监测数据、结构几何形状和材料性能,以便在整个项目中进行有效管理<sup>[7]</sup>。然而,大多数检测到的裂缝信息并未与建筑空间模型关联,建筑结构整体健康评估可视化程度低。如将 BIM 技术与建筑病害检测技术结合,可进一步提高建筑病害检测和管理效率。

因此,本文通过无人机对建筑外墙进行数据采集,得到建筑物表面裂缝原始照片,利用深度学习模型提取裂缝边界、计算裂缝宽度和长度,并记录该裂缝边界 GPS 数据,进而形成含空间坐标的裂缝参数记录表。进一步,建立实物墙体与模型墙体间的坐标转换关系,通过坐标转换得到该裂缝在模型中的坐标,并利用裂缝参数化族,根据裂缝参数记录表中的裂缝宽度、长度,结合裂缝在模型中的坐标,完成裂缝在 BIM 模型中的三维展布。本方案能根据实际检测结果,在墙体模型中建立裂缝模型,从而更直观地观测裂缝位置和尺寸,解决裂缝“实模一致”问题,进而提高建筑裂缝数据管理的直观性。

## 1 裂缝检测方案

### 1.1 无人机选型及技术路线

根据检测环境、飞行能力、无人机尺寸、自动飞行的可能性等因素,选择合适的无人机,确定无人机与被检测墙面间的垂直距离。无人机包含变焦摄像头、RTK 定位、激光雷达等设备模块。此外,垂直距离的计算涉及场地环境、无人机约束条件和图像数据的实用性,控制无人机视场稳定是拍摄的重点。本文采用带有 H20T 相机的大疆 M300RTK 无人机(见图 1)对外墙进行航拍。

无人机检测技术路线如图 2 所示,主要包括数据获取、坐标转换、裂缝识别与量化、裂缝数据映射到 BIM 模型。

### 1.2 检测数据采集

无人机的飞行面需始终保持与墙面平行,摄像



图 1 大疆 M300RTK 无人机

Fig. 1 DJI M300RTK UAV

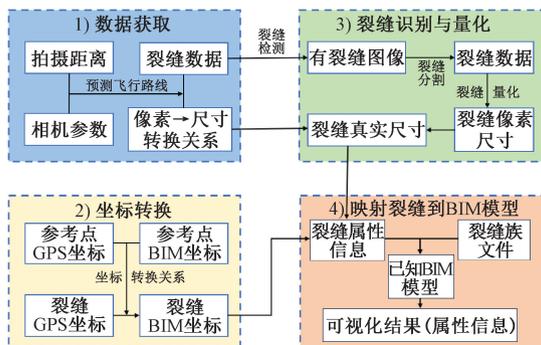


图 2 无人机检测技术路线

Fig. 2 UAV detection technology route

头方向应垂直于墙面,防止由于镜头视点偏移等因素导致的图像偏差<sup>[8]</sup>。无人机携带的激光雷达模块实时测量无人机与建筑表面的垂直距离,通过反向控制,确保无人机在飞行过程中始终保持与建筑立面的固定距离(见图 3)。无人机拍摄的图片数据均包含 EXIF 信息,能记录图像属性和拍摄数据,如图像序列号、分辨率、GPS 位置及相机规格等。



图 3 无人机与墙面区块中心位置关系

Fig. 3 Relationship between UAV and the center of wall block

无人机视场是一项重要参数,又被称为视场角(FOV)。无人机视场角决定了拍摄照片视野范围。视场宽度和高度可分别由式(1)、(2)计算。

$$F_w = \frac{S_w D}{f} \quad (1)$$

$$F_h = \frac{S_h D}{f} \quad (2)$$

式中: $F_w$  为视场宽度,即实际取景宽度; $F_h$  为视场

高度,即实际取景高度; $S_w$ 为摄像头传感器宽度,即照片宽度; $S_h$ 为摄像头传感器高度,即照片高度; $D$ 为无人机摄像头与墙面垂直距离; $f$ 为摄像头焦距。

检测时,无人机紧贴建筑物外立面沿 S 形轨迹飞行(见图 4),在水平飞行时进行等距离  $L$  拍摄,飞行高度为等距离  $H$ ,依次拍摄建筑物每面外墙。 $L$  为拍摄图像视场宽度的 0.95 倍, $H$  为视场高度的 0.95 倍,且相邻 2 张图像有一定的重合度。

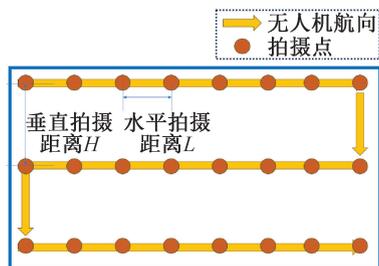


图 4 建筑立面无人机航向规划

Fig. 4 UAV heading planning of building facade

### 1.3 检测数据分析

#### 1.3.1 基于深度学习的数据处理

采用基于深度学习的裂缝检测和分割方法,从无人机图像中检测裂缝并提取裂缝特征(见图 5)。基于 YOLOv8 检测算法、U-net 分割算法开发了适用于建筑外立面裂缝检测场景的深度学习模型<sup>[9]</sup>。每条裂缝均能生成轮廓和边界框,包括裂缝掩码、位置、数量和量化信息等<sup>[10]</sup>。通过引入全新的骨干网络和改进的 Neck 结构,模型实现了更有效的梯度传递,并针对不同复杂度模型调整通道数,从而优化模型整体性能。

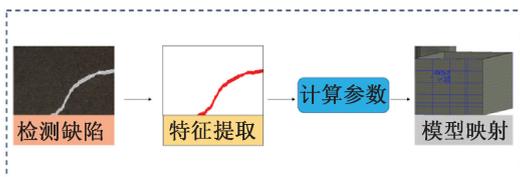


图 5 裂缝检测流程

Fig. 5 Crack detection process

检测算法使用数据集共 3 000 张,其中训练集、验证集和测试集比例为 8:1:1,分别为 2 400, 300, 300 张。数据集部分图像如图 6 所示,训练过程中精度变化如图 7 所示,召回率变化如图 8 所示。训练数据精度达 92.4%,召回率稳定测试值达 97.9%。

#### 1.3.2 三维坐标转换

通过三维坐标转换,将无人机裂缝坐标转换为 BIM 模型坐标。利用无人机 RTK 定位单元获取照片拍摄时无人机坐标,即为裂缝照片坐标,且裂缝

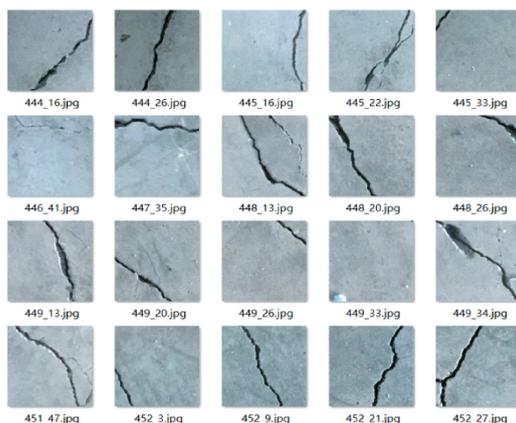


图 6 训练数据集

Fig. 6 Training dataset

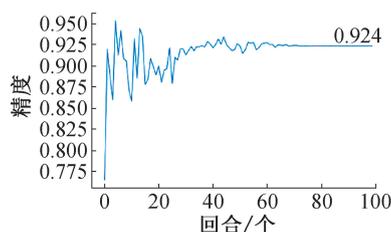


图 7 训练过程中精度变化曲线

Fig. 7 Precision changing curve of training process

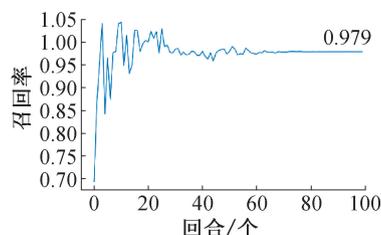


图 8 训练过程中召回率变化曲线

Fig. 8 Recall rate curve of training process

需处于照片中心位置或尽可能接近照片中心位置。判断裂缝是否处于照片中心位置的方法可通过计算实现,即计算裂缝各点相对照片中心点的像素平均距离,并判断该平均距离是否为最小值。例如,已知参考点  $M_1, M_2$  (Revit 坐标),  $N_1, N_2$  (GPS 坐标),且坐标点一一对应,即  $M_1$  对应  $N_1, M_2$  对应  $N_2$ 。通过式(3)~(5)计算缩放因子( Factor)和偏移量(Offset)。

$$factor_x = \frac{M2_x - M1_x}{N2_x - N1_x} \quad (3)$$

$$factor_y = \frac{M2_y - M1_y}{N2_y - N1_y} \quad (4)$$

$$factor_z = \frac{M2_z - M1_z}{N2_z - N1_z} \quad (5)$$

式中: $M1_x, M1_y, M1_z$ 和  $M2_x, M2_y, M2_z$ 为 Revit 坐标

中的 2 个参考点坐标;  $N1_x, N1_y, N1_z$  和  $N2_x, N2_y, N2_z$  为 GPS 坐标中 2 个参考点坐标。偏移量通过式 (6)~(8) 进行计算。

$$offset_x = M1_x - N1_x \cdot factor_x \quad (6)$$

$$offset_y = M1_y - N1_y \cdot factor_y \quad (7)$$

$$offset_z = M1_z - N1_z \cdot factor_z \quad (8)$$

通过式 (9)~(11) 进行坐标转换。

$$M_x = X_{GPS} \cdot factor_x + offset_x \quad (9)$$

$$M_y = Y_{GPS} \cdot factor_y + offset_y \quad (10)$$

$$M_z = Z_{GPS} \cdot factor_z + offset_z \quad (11)$$

式中:  $X_{GPS}, Y_{GPS}, Z_{GPS}$  为新的 GPS 坐标;  $M_x, M_y, M_z$  为转换后对应的 Revit 坐标。

如图 9 所示,通过建立墙体实体和照片间的坐标关系,将墙体照片中识别的裂缝通过该照片拍摄时的 GPS 坐标转换为 Revit 坐标。

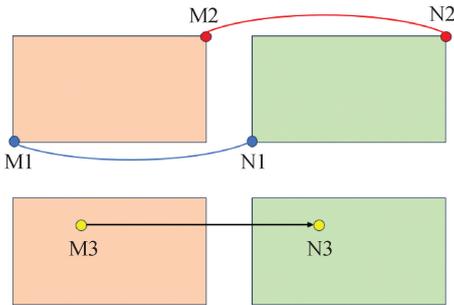


图 9 GPS 坐标转换为 Revit 坐标示意  
Fig. 9 Conversion of GPS coordinates to Revit coordinates

### 1.4 检测结果统计及三维展布

通过式 (1), (2) 确定照片像素与实际取景尺寸间的比例关系,得到单个像素对应的实际距离。结合照片像素裂缝宽度、长度及这个比例,经过计算得到裂缝实际宽度、长度。最后,通过 Revit 软件中 Add-in manager 模块,导入裂缝参数统计表。根据裂缝参数统计表中裂缝宽度、长度,进一步将裂缝模型精确映射至墙体模型中,以实现裂缝在 BIM 模型中的三维展布,如图 10 所示。



图 10 裂缝在 BIM 模型中三维展布

Fig. 10 Three-dimensional display of cracks in BIM model

## 2 工程应用

本文选择老旧小区房屋外立面作为无人机裂

缝检测及三维展布系统应用的对象。项目位于青岛市,老旧小区外立面存在剥落、裂缝等多种病害。根据航向规划内容,按规划好的航向依次对每面外墙进行裂缝检测。部分无人机拍摄图像如图 11 所示,裂缝检测效果如图 12 所示。



图 11 部分无人机拍摄图像  
Fig. 11 Part of the UAV images



图 12 裂缝检测效果  
Fig. 12 Detection effect of cracks

裂缝量化结果如表 1 所示,选取 5 张典型图片,总精度达 91.85%,总召回率达 100%。说明该系统能够有效检测墙体所有裂缝,且自动分析裂缝长度、宽度。裂缝分割结果如图 13 所示。

表 1 裂缝量化结果

Table 1	Quantitative results of cracks			%
图像名称	平均精度	召回率	总精度	总召回
0011_Z.JPG	94	100	91.85	100
0037_Z.JPG	92	100		
0042_Z.JPG	89	100		
0052_Z.JPG	90	100		
0068_Z.JPG	91	100		

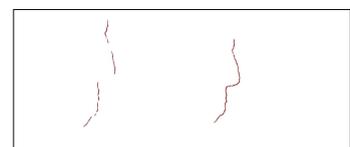


图 13 裂缝分割结果

Fig. 13 Segmentation results of cracks

基于图像自分析得到的裂缝参数如表 2 所示,经实测与深度学习模型识别结果对比分析可得,裂缝宽度检测误差为  $\pm 0.25\text{mm}$ ,长度检测误差为

$\pm 0.4\text{mm}$ 。由 JGJ/T 317—2014《建筑工程裂缝防治技术规程》可知,4.5mm 裂缝宽度已超出一般允许范围,其可能是由基础沉降、材料老化或温度应力引起的。此类裂缝可能会导致水渗透和墙体的进一步损伤,建议立即进行详细的结构分析,并采取加固措施。此外,需对周边环境进行评估,确认是否存在持续沉降或其他外部因素的影响。另外,对于 2.5mm 宽裂缝,可能影响建筑耐久性和美观,需定期监测,观察其是否有扩展趋势,判断是否需采取相应修复措施。

表 2 裂缝参数

Table 2 Parameters of cracks

图像名称	量化宽度/mm	实际宽度/mm	宽度误差/mm	量化长度/cm	实际长度/cm	长度误差/cm
0011_Z.JPG	4.62	4.50		106.5	106.9	
0037_Z.JPG	4.71	4.50		109.3	109.0	
0042_Z.JPG	2.65	2.50	$\pm 0.25$	104.7	105.0	$\pm 0.4$
0052_Z.JPG	4.51	4.50		108.3	108.1	
0068_Z.JPG	2.54	2.50		62.5	62.8	

通过 Revit 软件中的 Add-in manager 模块,将无人机识别的裂缝信息以裂缝参数化族方式导入 BIM 模型中。裂缝在模型中空间位置与实际情况一致,最终完成裂缝在 BIM 模型中的三维展布,如图 14 所示。

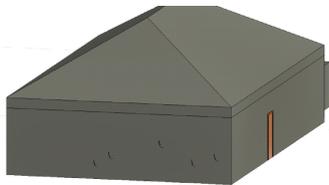


图 14 裂缝在 BIM 模型中三维展布效果

Fig. 14 Three-dimensional display effect of cracks in BIM model

### 3 结语

本文结合 YOLOv8 检测算法、U-net 分割算法,优化裂缝检测的深度学习模型,检测精度及召回率高。通过无人机裂缝检测系统,能快速实现裂缝识别、坐标转换、三维模型展布等,裂缝以空间复刻方式呈现,适用于城市更新项目建筑外立面裂缝统计及分析。

#### 参考文献:

- [1] 刘宇飞,樊健生,聂建国,等. 结构表面裂缝数字图像法识别研究综述与前景展望[J]. 土木工程学报, 2021, 54(6): 79-98.
- LIU Y F, FAN J S, NIE J G, et al. Review and prospect of digital image method identification of structural surface cracks [J]. China civil engineering journal, 2021, 54(6): 79-98.
- [2] ZHANG J, STANG H. Applications of stress crack width

relationship in predicting the flexural behavior of fibre-reinforced concrete [J]. Cement and concrete research, 1998, 28(3): 439-452.

- [3] 谢明志,樊丁萌,蒋志鹏,等. 基于计算机视觉的混凝土结构裂缝检测研究现状与展望 [J/OL]. 西南交通大学学报, 1-20 [2024-11-21]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1277.u.20240913.1853.002.html>.
- XIE M Z, FAN D M, JIANG Z P, et al. Research status and prospect of concrete structure crack detection based on computer vision [J/OL]. Journal of Southwest Jiaotong University, 1-20 [2024-11-21]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1277.u.20240913.1853.002.html>.
- [4] 韩豫,孙昊,李雷,等. 基于无人机的建筑外墙裂缝快速检查系统设计与实现 [J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(3): 60-65.
- HAN Y, SUN H, LI L, et al. Design and implementation of a rapid inspection system for building exterior wall cracks based on drones [J]. Journal of civil engineering and management, 2019, 36(3): 60-65.
- [5] 刘春,艾克然木·艾克拜尔,蔡天池. 面向建筑健康监测的无人机自主巡检与裂缝识别 [J]. 同济大学学报(自然科学版), 2022, 50(7): 921-932, 918.
- LIU C, AIKEBAIER A R, CAI T C. UAV autonomous inspection and crack identification for building health monitoring [J]. Journal of Tongji University (natural science), 2022, 50(7): 921-932, 918.
- [6] 徐亮,何伟,叶尔达·叶尔丁达拉,等. 无人机智能巡检混凝土裂缝方法和机制研究 [J]. 水利水电技术(中英文), 2024, 55(S1): 249-256.
- XU L, HE W, YELDINDALA Y, et al. Research on the method and mechanism of UAV intelligent inspection of concrete cracks [J]. Water resources and hydropower engineering, 2024, 55(S1): 249-256.
- [7] TSAI Y, KAUL V K, YEZZI A. Automating the crack map detection process for machine operated crack sealer [J]. Automation in construction, 2013, 31: 10-18.
- [8] 秦海伟,陆从飞,蒋永生,等. 轨道式攀爬机器人系统设计与图像处理 [J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(7): 117-122.
- QIN H W, LU C F, JIANG Y S, et al. System design and image processing of orbital climbing robot [J]. China safety science journal, 2019, 29(7): 117-122.
- [9] 张雪峰,闫慧. 基于中值滤波和分数阶滤波的图像去噪与增强算法 [J]. 东北大学学报(自然科学版), 2020, 41(4): 482-487.
- ZHANG X F, YAN H. Image denoising and enhancement algorithm based on median filtering and fractional filtering [J]. Journal of Northeastern University (natural science), 2020, 41(4): 482-487.
- [10] 余博,郭雷,钱晓亮,等. 一种新的自适应双边滤波算法 [J]. 应用科学学报, 2012, 30(5): 517-523.
- YU B, GUO L, QIAN X L, et al. A new adaptive bilateral filtering algorithm [J]. Journal of applied sciences, 2012, 30(5): 517-523.