

基于3D高斯泼溅技术的犯罪现场重建方法研究

付文波

中央司法警官学院，保定

摘要 | 技术的进步让犯罪现场重建方式方法发生巨大改变，基于虚拟现实技术、3D建模、神经渲染技术、人工智能技术正被应用于犯罪现场重建，以提升现场重建的精度和效率，解决传统犯罪现场重建方法精度不足、效率低、主观性强等问题。本文开展基于3D高斯泼溅技术的犯罪现场重建方法研究，系统梳理国内外犯罪现场重建研究现状，对比分析传统三维重建、三维激光和结构光扫描技术、NeRF及LiDAR SLAM+3D GS等主流数字化重建方法的优劣；阐释3D GS技术的核心原理，明确其技术优势，构建基于3D GS的犯罪现场重建完整流程，涵盖数据采集、数据预处理、稀疏点云生成与相机定位、模型训练与优化、现场重建应用与证据呈现五个步骤；最后，分析该方法在实际应用中面临的复杂现场适配、几何精度鸿沟、司法采信与认证标准尚不完善三大核心挑战。旨在完善数字化犯罪现场重建技术体系，为犯罪现场勘查智能化转型提供理论支撑与参考。

关键词 | 现场重建；3D高斯泼溅；方法

Copyright © 2026 by authorx (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

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



犯罪现场重建（Crime Scene Reconstruction）是指基于对犯罪现场的痕迹、物证的位置和状态及其相互关系的考察分析，以及对物证的实验室检验结论的利用，结合所获取的相关客观事实，合乎逻辑地以抽象、形象或实物模拟的方式，重新构筑犯罪现场所发生的犯罪内容和犯罪过程，并探明与之相关的犯罪行为人的个人特点和犯罪条件的侦查活动。^[1]通过犯罪现场重建可以还原现场原始状态、重建犯罪过程、分析刻画犯罪嫌疑人特点，在庭审环节也是证据直观展示的重要方法。传统犯罪现场重建模式正面临着效率低下、精度不足等严峻挑战，原有现场重建还原的工作模式已较难适应，严重制约现场勘查工作质效。在此背景下，数字化重建技术、基于神经网络的三维重建技术不断涌现，为犯罪现场数

字化重建提供了全新的技术支撑。本文立足侦查实战需求，聚焦3D GS技术原理，构建全流程犯罪现场重建步骤，旨在为犯罪现场勘查的智能化、可视化转型提供理论依据与实践范式，推动犯罪现场勘验工作的高质量发展。

1 犯罪现场重建的研究现状

犯罪现场重建从早期经验和逻辑推演、法庭科学技术精细化发展，到当前数字化与标准化阶段，愈发精准、高效、智能。虚拟现实技术、增强与混合现实技术、3D技术、数字孪生技术、人工智能技术不断被尝试应用于犯罪现场重建，目前已广泛覆盖犯罪现场勘查

基金项目：2026年度河北省高等学校科学研究项目（科学技术类青年基金）“基于3D高斯泼溅的犯罪现场重建与智能化应用研究”成果（QN2026728）。

作者简介：付文波，中央司法警官学院讲师，硕士，研究方向：刑事侦查、审讯科学与技术。

文章引用：付文波. 基于3D高斯泼溅技术的犯罪现场重建方法研究[J]. 社会科学进展, 2026, 8(5): 458-462.

<https://doi.org/10.35534/pss.0805080>

中物证发现、保护、修复、标注、存储,以及验证等工作,在公安精准打击犯罪工作中的作用日渐凸显。^[2]

1.1 国内研究现状

犯罪现场重建理论自20世纪90年代以来逐渐受到学界重视,经历了从“手工测绘”到“数字化”再到“智能化驱动”的跨越式发展。学界在犯罪现场重建的定义层面,辨析了重建与再现、模拟的区别,明确了犯罪现场重建的概念,在其外沿上增加了犯罪嫌疑人心理认知层面的重建。同时对于犯罪现场重建的意义和基本理论也进行了详细的探讨。在重建方法上,从手工绘图逐渐开始提出“基于三维激光扫描技术的犯罪现场重建”“3D技术在犯罪现场重建中的应用”“编码结构光3D扫描现场重建装备”等先进现代化的重建方法。在实务部门也曾探索将扫描与摄影测量结果导入VR/MR进行交互检视、量测与证物标注,强调在不破坏现场的前提下进行时空复原与法庭展示。2019年,苏州市人民检察院举行案件现场VR全息复刻新闻发布会,以案例为支撑,通过办案视频、现场展示,展现VR全息复刻技术在办案中的应用情况。^[3]2023年底推出的基于3D高斯泼溅的重建技术相较于该领域主流传统算法在新视图合成质量和场景渲染速度两方面具有突出优势,基于高斯泼溅的现场重建方法在学术界已经被广泛关注,有研究开始尝试3D高斯泼溅技术在盗窃现场三维重建领域展开应用。^[4]

1.2 国外研究现状

国际学界已普遍探索采用LiDAR扫描、虚拟现实(VR)技术、神经网络渲染技术、和人工智能技术开发犯罪现场重建工作。3D成像、激光扫描、结构光扫描等技术已广泛应用于事故现场重建、法庭证据分析等场景。相关研究显示,20.2%的犯罪现场重建研究应用了沉浸式技术,其中增强现实(AR)占比15.3%、虚拟现实(VR)占比75%、混合现实(MR)占比5.9%,虚拟现实与增强现实融合应用占比3.8%。^[5]法医学中,有研究将受害者的医学影像数据与犯罪现场的空间数据整合到统一的三维环境中,并生成可量化的三维解剖模型,提升调查分析于法庭证据展示效果。^[6]2023年Kerbl等提出3DGS,使得训练与渲染速度远高于NeRF、还原度高、可实时新视角合成,迅速成为三维场景表示的新主线,但在犯罪现场中的应用还需考虑采集精度、规则与风险等,以确保其稳定性和鲁棒性。人工智能快速发展的今天也有研究使用预训练的Faster-RCNN深度学习模型进行物体检测,自动识别犯罪现场中具有证据价值的物体,如武器或关键物品,从而推动犯罪现场调查向智能化和数字化方向发展。^[7]

2 数字化犯罪现场重建的主要方法比较

相较于传统犯罪现场重建方法,数字化重建技术优

势显著,数据精度与客观性更强,可高精度记录现场空间结构、提供交互式可视化,并整合多源数据以支持复杂事件复原。主要重建方法如下。

2.1 初代技术:传统三维重建

传统三维重建技术可追溯至20世纪90年代,主要是基于摄影测量的重建,通过识别不同照片中的相同特征点,利用多视图几何原理推算出相机的位置及目标的各种空间参数,核心以Mesh网格为三维表达形式。应用于犯罪现场时,传统方法主要依赖现场摄影、手工测量和二维纸质记录,通过建模软件生成三维模型。其优势在于设备门槛低、操作简单,适用于基础现场记录。然而,当时建模软件并不成熟,受限于计算机性能的影响,其精度较差,容易出现细节失真,可视效果差,人工与设备成本较高,效率难以满足刑侦现场的时效性需求。

2.2 高精度测量技术:结构光和三维激光扫描

三维激光扫描是一种利用激光捕捉物体形状的非接触、非破坏性技术,扫描类别可以划分为:机载激光扫描仪、地面激光扫描仪、手持激光扫描仪三类,3D激光扫描仪,空间或物体的捕捉精度可以达到毫米。2006年,3D激光扫描仪第一次被引入警方,用于捕捉犯罪现场,三维激光扫描技术适用于室外、大型空间的整体场景重建。结构光扫描技术通过投射条纹或点阵结构化光,分析物体表面形变并生成毫米至微米级精度Mesh网格,实现高精度三维测量。在犯罪现场重建中,结构光扫描特别适用于微小物证的精细化三维重建。

2.3 高真实感渲染技术:NeRF技术

神经辐射场(NeRF)技术依托神经网络编码场景辐射信息,通过隐式表达生成高真实感三维模型。其发展起点为2020年谷歌提出的基于多视角二维图像重建三维场景的思路,2023年后在各类场景中得到应用。NeRF在视觉真实感和弱纹理区域表现突出,适用于犯罪现场可视化展示及法庭示证。然而,其几何测量精度仅为厘米级,存在渲染速度慢、算力消耗高,无法实现实时交互等短板,应用侧重视觉呈现而非现场工程测绘。

2.4 效率与精度平衡技术:LiDAR SLAM+高斯泼溅

LiDAR SLAM+高斯泼溅是当前数字化现场重建的最新技术方案。该方法以高斯泼溅模型为显式表达载体,结合LiDAR SLAM深度信息,实现高精度几何测量与动态光影渲染的有机结合。该技术自2023年首次应用于犯罪现场重建领域,2025年被行业视为“三维高斯泼溅商业化元年”。其核心优势在于:显式建模提高效率,保留高真实感视觉效果,算力需求低至中等设备即可支持,同时提升几何精度。该方法适配沉浸式虚拟勘查、现场测量及法庭示证,兼顾效率与精度,是当前最具潜力的技术方向。

3 基于 3D GS 的数字化犯罪现场重建

高斯泼溅作为新兴显式神经表示方法,兼具高效渲染与高精度几何还原双重优势:一方面,保留显式点状表示的可量测特性,能够在司法证明中提供更可信的几何依据;另一方面,其渲染效率远超 NeRF,其显式表达和可微分渲染的优势使得 3D GS 技术可以在不降低重建质量的情况下实现实时渲染。^[8]此外,3D GS 在存储和计算成本相对较低,更适合在现场快速部署与智能化应用,3D GS 正在成为未来犯罪现场重建向智能化与高效化发展的关键方向。

3.1 3D GS 技术原理

2023 年, Kerbl 等^[9]提出了三维高斯泼溅方法。3D GS 提出了一种高精度的可微光栅化算法。3D GS 使用一组图像数据集 I 及其相应的相机位姿训练一组高斯核以表示 3D 场景,每个高斯核包含位置 μ 、协方差矩阵 Σ 、不透明度值 α ,以及用于表示颜色的球谐系数 SH。对于特定的相机位姿,3D GS 首先将高斯核投影到渲染图像上,并通过 α 混合的方式计算投影高斯核对每个像素的影响权重和对覆盖像素的颜色贡献,其权重的计算方式为:^[10]

3D GS 转变了渲染过程中光线投射和合成方式,采用光栅化渲染技术,将 3D 高斯投影至 2D 平面,直接合成像素颜色,加快了渲染速度,在消费级 GPU 上仅需 30min 即可完成模型训练。^[11]

3.2 基于 3D GS 的犯罪现场重建方法与步骤

(1) 数据采集

对犯罪现场进行数据采集是 3D 高斯泼溅的犯罪现场三维重建的首要步骤,现场重建依赖高质量、高一致性的视觉输入数据。数据采集应满足算法对光线条件、清晰度、画面重叠与相机稳定性的基本条件,保证光线均匀、画面清晰、视角连续、参数固定。设备可采用单反相机、运动相机或高画质手机,优先使用标准焦距镜头,减少广角畸变。在开展图像采集前,应根据现场提前规划拍摄路线,确定重建逻辑,进入狭小空间,可谨慎使用广角镜头,但需在后期进行畸变校正。为避免画面抖动导致重建模糊,应尽量借助三脚架、稳定器等辅助设备,禁止手持快速移动拍摄。在犯罪现场数据集中应保持环境光照稳定、全程固定曝光值、开启 HDR 模式以保留暗部与高光区域细节,避免物证过曝或欠曝。拍摄时,采用“环绕式”和“多角度交叉”拍摄,对整体现场、局部区域与关键物证分别进行分层采集,保证相邻图像之间重叠度不低于 50%,使算法能够稳定追踪特征点。对痕迹物证、血迹等证据进行近距离多角度特写拍摄,提升细节还原精度。拍摄过程缓慢平稳移动,避免快速运动造成动态模糊,保证单帧画面锐利清晰。在数据类型上,优先采用静态照片而非视频抽帧,照片分辨率更高、画质更纯净、便于人工筛选,重建质量更高。若使用视频序列,需以 4K 高分辨率、高帧率录制,

并在后期剔除模糊、抖动、遮挡严重的帧。所有采集数据需完整保留原始元数据,建立采集记录台账,确保数据链完整、可溯源。

(2) 数据预处理

数据预处理是 3D GS 模型训练的关键前置环节,核心目标是筛选高质量素材、消除采集偏差、统一数据格式,保障输入 3D GS 算法的数据符合现场重建与司法取证要求,同时兼顾司法证的严谨性,为后续模型精准重建奠定基础。第一,图像筛选。图像筛选环节可借助 Reality Scan 等软件的自动筛选功能,结合人工校验,逐一检查采集的静态照片(或视频抽帧),剔除模糊、抖动、过曝、欠曝、反光严重、遮挡过多的图像,剔除重叠率低于 50%、视角重复无意义的图像,保留关键物证的多角度特写、全局场景图,确保筛选后的数据既精简又完整,为后续 Reality Scan 对位及 3D GS 模型训练提供高质量输入。

(3) 稀疏点云生成与相机定位

依托 COLMAP 软件完成特征匹配与几何解算,生成可精准反映犯罪现场整体轮廓、关键物证空间位置的稀疏点云,同时精准定位每一张采集图像的相机三维姿态,为后续稠密点云生成、3D GS 模型训练提供核心几何依据。主要流程如下:先进行自动特征提取与全局特征匹配,手动剔除错误匹配尤其是关键物证区域的误匹配。再通过自动重建解算相机外参完成初步定位,优化修正异常位姿,结合光束平差法完成精度校验,确保定位误差符合技术标准。最后自动生成稀疏点云,筛选剔除噪声点、异常点,校验点云与图像特征点的关联准确性,避免孤立点云。过程中需注意稀疏点云优先保证精度与完整性而非密度,若存在大面积空洞需补拍图像。完成后需确保相机定位准确、稀疏点云完整无扭曲、点云与图像关联精准且操作日志可追溯,为 3D GS 模型训练筑牢基础。

(4) 3D GS 模型训练与优化

3D GS 模型训练与优化的核心是依托 3D GS 算法,实现二维图像纹理信息与三维空间几何信息的深度融合,生成高精度、可交互的犯罪现场数字孪生模型。整体分为训练与优化两步:先对数据二次适配,关联点云、相机位姿与图像,启动自动训练并监控损失值、模型轮廓、纹理映射三大指标,出现问题及时暂停调整参数。训练完成后,从几何精度、纹理细节、噪声冗余三方面优化,校准模型与现场实际数据的误差,补全物证细节,剔除冗余,再通过多视角校验确保模型贴合现场。过程中需保留完整训练日志,严禁篡改数据与日志,优化时不改变物证核心特征。完成标准为模型收敛稳定,损失值达标,控制几何误差,现场轮廓、物证及痕迹还原清晰,模型无噪声且交互流畅,日志完整、备份齐全。

(5) 现场重建应用与证据呈现

现场重建应用与证据呈现的核心是利用 3D GS 模型高

沉浸感、高精度可量测的核心特性，为案情研判、模拟实验及法庭示证提供直观、动态、可量化的时空载体。具体包括三大场景：一是现场复盘与案情分析，借助3D模型无死角还原现场布局，自由切换视角查看物证相对位置，通过精准测量、痕迹追溯及案发轨迹模拟，帮助办案人员精准把握空间关系、排查疑点、还原案发过程；二是专业勘查与技术核对，结合激光点云与现场勘查记录，验证模型几何形态一致性，提取物证高清纹理细节，为后续鉴定比对提供可视化参考；三是法庭呈现与证据固定，根据需求导出轻量化交互模型、高清测量截图、重建日志及精度报告，通过交互演示直观展示现场逻辑，助力法庭质证。

4 基于3D GS的数字化犯罪现场重建面临的挑战

4.1 复杂犯罪现场环境的重建适配挑战

部分刑事案件现场环境十分复杂，光线条件差，物证复杂，难以满足数据采集的基本条件。一方面，部分犯罪现场环境恶劣，如昏暗密闭空间、室外极端天气、粉尘较多的场景，会直接影响扫描设备的稳定性和数据采集的完整性，导致扫描精度下降、数据丢失等问题。此外，部分现场具有时效性，如交通事故现场、临时遗留现场，需要在短时间内完成扫描采集，而3D GS扫描需一定的操作时间，如何在保证采集质量的前提下提升效率，也是复杂环境下需解决的关键问题。另一方面，现场往往存在大量杂乱遮挡物，如废弃杂物、散落物证、不规则建筑构件等，这些物体不仅会阻挡扫描光线，导致扫描盲区出现，还会造成数据冗余，增加后期模型清理的难度。

4.2 犯罪现场对几何精度的高要求带来的适配鸿沟

数字化犯罪现场重建对现场几何精度要求非常高，直接决定重建模型的司法可用性与证明可信度，但3D GS技术在精度控制层面仍存在显著短板。其一，数据采集过程中的人为误差不可避免，如扫描的路线和角度选择不合理、扫描重叠区域不足、标靶放置不规范等，会影响重建效果。其二，3D GS不像传统的激光扫描(LiDAR)具有明确的“点”坐标，也不像多边形网格(Mesh)具有坚硬的“面”。它是由数百万个半透明、边缘羽化的椭球体叠加而成的像素集合。在对物证进行测量时，在虚拟空间中点击取点，光标实际上是穿过了一层半透明的高斯球。这种“软边缘”现象导致测量基准点存在物理位置上的漂移，极易产生毫米级的系统误差。其三，后期数据处理环节也会产生精度损耗，如点云数据去噪、模型简化、纹理映射等操作，若参数设置不当，会导致几何特征失真，无法准确还原现场物体的实际尺寸、位置关系，难以满足现场重建对精度的严

苛要求。

4.3 重建结果的司法采信与认证标准尚不完善

数字化重建模型要作为司法证据需具备足够的司法证明力，但目前3D GS重建结果在司法应用中仍存在司法采信与认证标准尚不完善的问题。一方面，技术规范和评价量化标准缺失，目前尚无统一的3D GS数字化犯罪现场重建操作标准，扫描流程、数据处理方法存在差异，导致重建模型的一致性和可重复性不足，尚未形成统一的司法认证规范。另一方面，3D GS并不是对空间点的直接物理测量，而是通过神经网络不断迭代，使虚拟投影“趋近”于照片像素。模型中呈现的某一痕迹细节，究竟是现场真实存在的物理物证，还是算法为了降低误差而自动生成的“伪影”，这种“生成式”的视觉效果使审判人员难以确信模型背后的客观真实性，进而影响其在法庭上的证明力。

基于3D高斯泼溅(3D GS)技术的犯罪现场重建，作为数字化勘查领域的新兴研究方向，未来将围绕技术优化、规范完善、实战落地三大维度实现突破性发展。技术层面，持续推进3D GS与LiDAR SLAM、人工智能技术的深度融合，优化复杂场景数据采集与重建算法，攻克遮挡盲区、精度漂移等核心痛点，全面提升模型的环境适配性与几何测量精准度。规范层面，加快制定全国统一的操作标准与质量评价体系，明确数据采集、处理、存储的司法规范，完善数据溯源机制，强化重建结果的司法证明力。实战层面，推动技术轻量化部署，研发适配侦查一线的便携式设备与简易操作平台，降低应用门槛。同时，加强跨学科协作，推动3D GS与法医学、侦查学的深度融合，拓展其在案情研判、法庭示证等场景的应用边界，助力犯罪现场勘查实现智能化、精准化、规范化转型，为新时代刑事侦查实战提供高效、稳定、可靠的技术支撑。

参考文献

- [1] 郝宏奎. 论犯罪现场重建[J]. 犯罪研究, 2003, (4): 13-21.
- [2] 陈旭, 张作山, 张绍清. 3D技术在犯罪现场重建中的应用[J]. 贵州警察学院学报, 2023, 35(6): 68-74.
- [3] 卢志坚, 史莹璐. 江苏苏州: 运用高科技将案发现场实景再现, 提升办案质效[EB/OL]. (2019-12-03) [2026-03-30]. https://www.Spp.Gov.cn/spp/zdgg/201912/t20191203_440186.shtml.
- [4] 王斌杰, 郑若楠, 张国健, 等. 3D高斯泼射技术在盗窃现场三维重建领域的应用研究[J]. 电脑知识与技术, 2025, 21(33): 10-13, 17.
- [5] Maneli M A, Isafiade O E. 3D forensic crime scene reconstruction involving immersive technology: A

- systematic literature review [J]. IEEE Access, 2022, 10: 23456–123470.
- [6] Bacci M, Barone S, Razonale A V, et al. A virtual, 3D multimodal approach to victim and crime scene reconstruction [J]. Forensic Sciences Research, 2023, 8 (1): 1–10.
- [7] Zappalà A, Guarnera L, Rinaldi V. Enhancing crime scene investigations through virtual reality and deep learning techniques [J/OL]. arXiv, 2024. <https://arxiv.org/abs/2409.18458>.
- [8] 曹振中, 光金正, 张千一, 等. 基于3D高斯泼射的3维重建技术综述 [J]. 机器人, 2024, 46 (5): 611–622.
- [9] Kerbl B, Kopanas G, Leimkuhler T, et al. 3D Gaussian splatting for real-time radiance field rendering [J]. ACM Transactions on Graphics, 2023, 42 (4): 1–14.
- [10] 王锋, 银莹, 王佳炎, 等. 基于高斯泼溅的轻量级重建场景分割方法 [J]. 计算机学报, 2025, 48 (5): 1232–1243.
- [11] 朱东林, 陈森, 毛宇岩, 等. 三维高斯泼溅技术在场景重建中的研究现状与挑战 [J]. 集成技术, 2025, 14 (4): 1–20.

Research on Crime Scene Reconstruction Methods based on 3D Gaussian Splatting Technology

Fu Wenbo

School of Prison, National Police University of Criminal Justice, Baoding

Abstract: Technological advancements have fundamentally transformed the methods and approaches used in crime scene reconstruction. Technologies such as Virtual Reality (VR), 3D modeling, neural rendering, and Artificial Intelligence (AI) are being integrated into crime scene reconstruction to enhance precision and efficiency, addressing the limitations of traditional methods, including insufficient accuracy, low efficiency, and strong subjectivity. This paper focuses on research on crime scene reconstruction methods based on 3D Gaussian Splatting (3D GS) technology. It systematically reviews the current research status of crime scene reconstruction both domestically and internationally, providing a comparative analysis of the advantages and disadvantages of mainstream digital reconstruction methods, including traditional 3D reconstruction, 3D laser and structured light scanning, Neural Radiance Fields (NeRF), and LiDAR SLAM combined with 3D GS. The paper elucidates the core principles of 3D GS technology and identifies its technical advantages. It constructs a complete workflow for 3D GS-based crime scene reconstruction, encompassing five stages: data acquisition, data preprocessing, sparse point cloud generation and camera localization, model training and optimization, and scene reconstruction application and evidence presentation. Finally, the study analyzes three core challenges faced in practical application: adaptation to complex scenes, the geometric precision gap, and the insufficiency of judicial probative value. This research aims to improve the technical framework of digital crime scene reconstruction and provide theoretical support and reference for the intelligent transformation of criminal scene investigation.

Key words: Scene reconstruction; 3D gaussian splatting; Methodology