引文格式：胡中南,周芹. 三维高斯泼溅技术的GIS应用探索[J]. 地理空间信息, 2026, 24(6):83-88. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.06.015

三维高斯泼溅技术的GIS应用探索

胡中南，周　芹*
（北京超图软件股份有限公司，北京 100015）

摘　要：三维高斯泼溅（3DGS）技术是近两年计算机视觉领域新兴的三维建模方法，具备建模效率高、渲染效果逼真等特点。基于3DGS的渲染优化、数据压缩、对象切割等技术迅速迭代，加速该技术步入实用化。从GIS应用角度出发，系统梳理了3DGS在空间数据组织、空间分析以及对象化管理中的应用方法，并构建了面向GIS应用的3DGS原型系统。在此基础上，基于3DGS深度图实现了交互式量算与通视分析，结合对象分割与Mesh转换方法，验证了3DGS在建筑对象提取与异构三维数据融合中的应用可行性。实验结果表明，3DGS不仅能够实现高真实感三维场景表达，还能够在一定程度上支撑GIS中的空间分析与对象化应用，为真实感三维GIS场景构建与空间分析提供新的技术路径。

关键词：地理信息系统；3DGS；空间分析
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）06-0083-06

GIS Application Exploration of 3D Gaussian Splatting Technique

HU Zhongnan, ZHOU Qin
(SuperMap Software Co., Ltd., Beijing 100015, China)

Abstract: 3D Gaussian splatting (3DGS) is an emerging 3D modeling technique in the field of computer vision in recent years, featuring high reconstruction efficiency and photorealistic rendering performance. Rapid advances in rendering optimization, data compression, and object segmentation based on 3DGS have accelerated its transition toward practical applications. From the perspective of GIS applications, we systematically reviewed the application methods of 3DGS in spatial data organization, spatial analysis, and object-oriented management, and further developed a prototype system for GIS-oriented 3DGS applications. On the basis of this, we used the depth maps generated by 3DGS to implement the interactive measurement and viewshed analysis. Combined with object segmentation and mesh conversion methods, we verified the feasibility of applying 3DGS to building object extraction and heterogeneous 3D data fusion. Experimental results demonstrate that 3DGS can not only achieve highly realistic 3D scene representation, but also support spatial analysis and object-oriented applications in GIS to a certain extent, providing a new technical pathway for realistic 3D GIS scene construction and spatial analysis.

Key words: GIS, 3DGS, spatial analysis

GIS通过矢量、栅格、TIN等基础模型向三维延伸，融合TIM、三维场数据形成二三维一体化表达[1]，支撑多源三维数据应用。然而，激光点云、手工建模、BIM、倾斜摄影等技术存在成本高、流程复杂、人工依赖性强等问题，且侧重可视化而限制空间分析能力。新视角合成（NVS）是重要研究方向。2020年神经辐射场（NeRF）[2]通过MLP隐式建模实现高保真合成，但训练成本高昂。三维高斯泼溅（3DGS）[3]以显式高斯基元结合可微分泼溅渲染实现实时合成，为三维GIS提供兼顾可视化与空间分析的新路径。

本文从空间数据存储、分析处理、服务发布3个层面研究3DGS的适配性与优化路径，探索其在城市语义重建、实景交互分析等GIS场景中的应用范式。

1　三维高斯泼溅技术

三维高斯泼溅是一种基于辐射场的三维重建技术，其核心思想是通过概率密度场表征场景几何与外观属性，并利用可微分渲染实现动态优化。与传统显式几何建模不同，该技术以各向异性高斯核为基本单元，通过调节基元的中心位置、协方差矩阵、不透明度及球谐函数系数，隐式表达三维空间的光照与材质特征。每个高斯基元在渲染过程中被视为概率分布函数，通过屏幕空间泼溅（Splatting）算法投影至二维视口，结合深度排序与透明度混合实现实时逼真绘制。

数据训练完成后，场景被编码为结构化高斯集合，其核心参数包括：①三维高斯椭球的几何参数

项目来源：空天地一体化数据驱动的智慧城市时空地理信息服务平台建设与应用（Z251100003625002）。
第一作者简介：胡中南（1981—），高级工程师，主要从事地理信息基础软件技术工作，E-mail：huzhongnan@supermap. com。
通信作者：周芹（1982—），博士，高级工程师，主要从事地理信息前沿技术工作，E-mail：zhouqin@supermap. com。

（中心坐标、协方差矩阵），定义基元的空间分布与各向异性形态；②外观参数（球谐系数、不透明度），控制光照反射与透明渐变效果；③训练过程的优化状态量（梯度衰减因子、学习率），支持场景训练的动态增量式更新。该参数结构通过稀疏化存储与GPU并行加速，支持场景的任意角度视图合成实现实时交互可视化。

综上，三维高斯技术打破了传统三维GIS的技术约束：数据的表达方式上不再是传统Mesh、TIN等几何表面，而是以参数化高斯基元描述场景的几何与外观信息；在可视化方面，则采用基于Splatting的实时辐射场渲染机制，而非传统基于三角网格的光栅化渲染管线。因此，传统依赖显式几何结构的数据组织与空间分析方法难以直接适用于3DGS数据，在三维GIS平台引入三维高斯数据需要解决一系列基础性关键问题。

2 关键技术与难点

2.1 三维高斯数据存储设计

2.1.1 常规场景数据存储

Zheng等[4]将3DGS与体素网格（Voxel Grid）、点云（Point Cloud）、网格（Mesh）、符号距离函数（SDF）等共同归类为三维场景表示的重要技术。与传统Mesh或SDF等表示方式不同，三维高斯泼溅（3DGS）场景通常由大量离散高斯基元（Gaussian Primitives）构成，每个高斯基元包含空间位置、尺度、旋转、不透明度以及颜色等属性参数，从而共同描述场景的几何结构与外观信息。

目前，计算机视觉领域常采用.ply格式作为3DGS场景数据的通用存储载体。该格式本质上属于点式数据结构，能够通过属性字段灵活扩展高斯基元参数，因此较容易兼容现有点云数据组织方式。典型3DGS数据结构包括：高斯中心坐标、尺度参数、旋转四元数、不透明度以及球谐函数系数等。

其中，中心坐标用于描述高斯基元的空间位置；尺度与旋转参数共同定义高斯椭球的空间形态；球谐函数系数用于表达视角相关的颜色信息；不透明度则用于控制渲染过程中的透明混合效果。渲染阶段根据上述参数完成高斯投影与颜色合成，实现实时辐射场表达。

从GIS数据组织角度分析，3DGS与点云数据在空间表达机制上具有较高相似性，均基于离散空间基元描述三维场景，因而具备与现有GIS三维数据管理体系融合的天然优势。在常规中小尺度场景下，3DGS数据可直接以.ply文件形式进行存储与管理；结合空间索引后，还可支持场景查询、分块调度与可视化加载等GIS典型操作。

2.1.2 城市级场景数据存储

城市级场景具有数据规模大、空间范围广的特点，为实现大场景3DGS数据的实时交互式渲染，需要对数据进行横向分块，纵向构建细节层次的方式处理，类似GIS的瓦片树组织结构。

对数据进行横向分块，按3DGS的中心点进行划分；纵向上则需要对3DGS数据压缩，即从精细数据构造相对粗糙的数据，最终构建LoD（Level of Detail），从而在尽量减少数据存储量的同时，在场景切换过程中通过减少数据加载量来保证渲染效率。

3DGS压缩前沿研究包括LightGaussian[5]、Multi-Scale 3D Gaussian[6]、Hierarchical 3D Gaussian等[7]，基本思想都是通过减少高斯球，或者降低球谐系数的阶数，并保留视觉效果，同时数据压缩比可控，适合瓦片的构建过程。CityGaussian[8]、VastGaussian[9]则希望解决城市级大场景高质量建模问题，涵盖数据的分区到LoD层级构建全流程，取得了较好的效果，但并未考虑与GIS瓦片融合的技术路径。

瓦片的构建一方面要应用先进的压缩技术，另一方面在构建过程中，需要考虑瓦片可视化过程的特点，比如尽量减少单次渲染中瓦片的数量，避免IO带来的性能损耗，尤其是3DGS的渲染需要在硬盘、内存和显存中多次调度，在低细节层级（LoD）构建过程中，可通过适当合并瓦片以减少渲染阶段的瓦片调度与数据加载开销。此外，在渲染过程中合理的瓦片调度机制也十分重要。

2.2 基于三维高斯数据的空间分析与计算

2.2.1 基于深度图的可视化分析计算

空间分析与计算是GIS的核心能力，逼真的颜色生成是3DGS的技术优势，同时3DGS渲染的Splatting过程可以获取当前视口二维图像像素的深度信息，与累积颜色类似，深度值通常采用与颜色渲染一致的透明度累积方式进行加权合成，见公式：

$$\text{depth}=\sum_{i\in N} d_i\alpha_i\prod_{j}^{i-1}(1-\alpha_j) \tag{1}$$

式中，d_i为第i个高斯基元在当前像素位置的深度值；α_i为对应高斯基元对当前像素的不透明度贡献；$\prod_{j}^{i-1}(1-\alpha_j)$为当前高斯之前所有高斯基元的透射率。该公式本质上采用与颜色累积一致的前向透明度混合方式，对不同深度高斯基元进行加权累积，从而得到当前像素的深度估计值。

但是，由于3DGS的多视角不一致性，新视角合成得到的深度图存在精度问题，为提高深度估计精度，已有研究将预估深度作为约束引入3DGS训练过程，从而有效提升了特定场景下合成视角的深度精度[10-12]。在获取视图的相对精确的深度数据后，可以进行交互式量算、通视分析、可视域分析等可视化分析操作，并且在与传统Mesh模型等显式几何数据融合渲染时，可以进行准确的深度测试，进而正确判断不同地物之间的遮挡关系，实现异构数据的协同可视化。

2.2.2　数据分割技术

与倾斜摄影数据在GIS中的应用难题类似，3DGS数据本质上也是对连续场景表面的表达，因此在地物提取过程中同样面临地物识别、边界精细化等技术挑战。已有研究关注基于3DGS的对象分割方法[13-14]，其核心思想是利用二维图像分割结果，引导三维空间中高斯基元的对象归属，并对边界区域的高斯基元进行调整优化，从而生成相对清晰的物体边界。此外，也有研究将语义分割引入3DGS场景理解，通过视觉语义信息对高斯基元进行分类，实现对象级分割，但尚未实现物体的物理级分离[15]。

2.2.3　数据结构转换

3DGS在真实感渲染与实时显示方面具有明显优势，但其场景表达主要依赖离散高斯基元，缺乏严格的显式几何约束，因此在复杂结构、薄壁表面以及高精度几何建模场景下，仍存在几何一致性不足的问题。对于GIS而言，仅具备真实感表达仍难以满足空间分析、对象编辑、拓扑计算等应用需求，因此需要研究3DGS向传统几何数据结构的转换方法。

已有研究开始探索基于3DGS的Mesh重建与结构化表达方法。SuGaR方法[16]通过对高斯基元施加表面对齐约束，引入基于符号距离函数（signed distance function，SDF）的正则化项，使高斯分布逐渐贴合场景表面，并进一步从优化后的高斯场中提取结构化Mesh模型，从而实现高质量网格重建与渲染。该方法能够较好地兼顾3DGS的真实感表达与传统Mesh的几何结构特性，但在复杂区域的网格光滑性与细节一致性方面仍存在一定局限。此外，也有研究尝试不使用3D高斯基元，而是通过一系列面向观察方向的2D高斯圆盘（planar Gaussian disks）来表示表面结构，能够更稳定表达表面（包括薄壁）且在多视角下几何一致性更高，能清晰重建噪声较低、细节丰富的Mesh结构的表面[17]。

另有研究通过多视角图像分割、深度估计与TSDF融合等技术流程，实现从3DGS场景到建筑Mesh模型的自动化转换[18]，该方法采用SAM2 + GroundingDINO双模型组合得到建筑掩膜，仅对建筑区域图像训练2DGS渲染模型，生成深度图和颜色图，将深度图通过经典的TSDF算法融合生成初始网格后，用Open3D做后处理（平滑、简化）得到最终带纹理的3D建筑网格。

总体来看，现有研究已初步验证了3DGS向Mesh等显式几何结构转换的可行性，为3DGS数据融入GIS空间分析体系提供了重要基础。

2.3　数据共享与服务发布

3DGS的数据的特点使得它与GIS瓦片数据融合是较好的实现数据共享与服务发布的技术方法，但是受使用方式的影响，过多的3DGS参数会极大地增加网络数据传输压力，需要平衡渲染效果和数据参数量。因此，在对渲染质量要求不高的使用场景，可以减少球谐系数的参数，即仅取0阶或1阶球谐系数。

GIS中常用的瓦片存储规范，如S3M、3D-Tiles支持点云数据存储，因此可以在不改变现行存储规范的基础上，扩展集成3DGS瓦片数据。SIGGRAPH 2024上，Cesium首次提出glTF(GL Transmission Format)扩展草案提案，将高性能的高斯泼溅渲染引入CesiumJS。随着对高斯泼溅新格式的兴趣日益增长，以及Niantic发布了用于splat的SPZ压缩技术，Cesium将继续通过利用SPZ来高效压缩splat数据，不断完善glTF扩展草案。GISTC 2025上，SuperMap GIS也以S3M的形式支持高斯数据的接入。

3　原型系统设计与应用验证

3.1　原型系统总体设计

为验证3DGS数据在GIS场景中的应用可行性，本文设计并实现了一个面向GIS应用的3DGS原型系统。该系统以3DGS场景数据为核心，融合深度图生成、空间分析、对象分割、Mesh转换以及异构数据融合显示等功能，探索3DGS在三维GIS中的数据组织、空间分析与交互应用方法。系统技术框架见图1。

本文以公开的MatrixCity数据集[19]作为实验数据，对城市级场景进行3DGS训练，并在此基础上完成量算、通视分析、建筑提取以及Mesh转换等实验验证。

3.2　基于深度图的交互式量算验证

1）实验目的。空间量算是GIS三维分析中的基础功能之一，包括距离、高度、面积等空间几何信息的



图1 3DGS–GIS原型系统技术框架

获取。传统三维GIS通常依赖Mesh、DSM或点云等显式几何数据实现量算，而3DGS主要面向真实感渲染，其是否具备支持GIS空间量算的能力仍有待验证。因此，本文基于3DGS渲染过程中生成的深度图，验证其在三维空间量算中的应用可行性。

2）实验方法。本文以MatrixCity数据集训练得到的3DGS场景为实验对象，在原型系统中实现基于深度图的交互式量算功能。首先在当前视角下通过3DGS实时渲染生成深度图；随后，用户在屏幕空间中选择目标点，系统根据像素位置、深度值以及当前相机的内外参数，将屏幕坐标反算至世界坐标系中的三维点坐标；最后，计算目标点之间的空间距离，从而实现三维量算。

3）实验结果。本文选取MatrixCity场景中的建筑物作为量算对象，对建筑物高度进行交互式测量，实验结果见图2，其中，图2a为当前视角对应的深度图可视化结果；图2b为基于深度图反算得到的建筑物高度量算结果。结果表明，系统能够实现基于3DGS场景的点选式空间量算，并可实时显示量算结果。

3.3 基于深度图的通视分析验证

1）实验目的。通视分析是GIS三维空间分析中的典型功能，广泛应用于城市规划、通信选址、安防监控以及视域分析等场景。传统通视分析通常依赖DSM、TIN或Mesh等显式几何数据，通过构建视线并判断其与地表模型之间的遮挡关系实现可视性分析。由于3DGS本质上属于基于高斯基元的辐射场表达，其是否能够支撑GIS中的通视分析仍有待验证。因此，本文基于3DGS渲染过程中生成的深度图，对其通视分析能力进行实验验证。

2）实验方法。本文在原型系统中实现了基于3DGS深度图的通视分析功能。首先，根据两点坐标构建空间视线，并沿观察点至目标点方向进行等间距采样。对于每个采样点，将其投影至当前分析视角对应的屏幕空间，读取该像素位置的3DGS渲染深度值，并将采样点自身深度与场景深度进行比较。若采样点深度大于对应像素位置的场景深度，说明该采样点位于当前可见表面之后，可判定其被前景地物遮挡；反之，则认为该采样点处于可见状态。进一步根据连续采样点的可见性状态，将观察点与目标点之间的视线划分为可见段与遮挡段，并分别采用不同颜色进行表达。其中，绿色表示可见视线段，红色表示被建筑物等地物遮挡的视线段。

3）实验结果。本文选取城市建筑场景进行通视分析实验，实验结果见图3。结果表明，系统能够基



a 深度图的可视化效果　　b 交互式量算结果

图2 基于3DGS数据的交互式量算效果

于3DGS场景中的深度图实现观察点与目标点之间的通视判断，并识别建筑物对视线产生的遮挡区域。

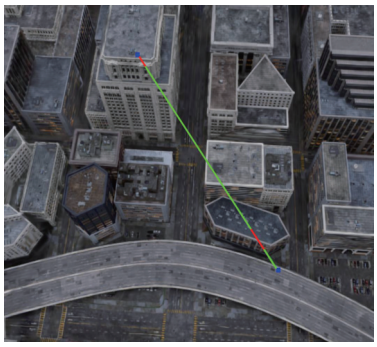


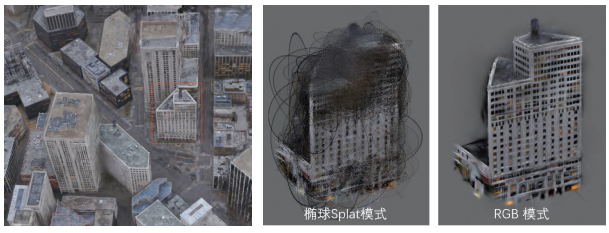
图3　基于3DGS数据的通视分析效果

3.4　面向GIS对象化管理的建筑提取验证

1）实验目的。为验证3DGS在GIS对象化应用中的可行性，本文基于3DGS对象分割方法，对建筑目标提取能力进行实验验证。

2）实验方法。本文采用SAGD方法对3DGS场景中的建筑对象进行提取。首先在场景中选取待提取的对象，从多个视角对3DGS场景进行渲染，并生成对应二维图像；接着，利用二维图像分割模型获取目标建筑的分割掩膜；然后，将二维分割结果反向映射至三维高斯空间，对高斯基元进行对象归属判断，并结合多视角投票结果完成建筑对象提取。为了进一步优化建筑边界，系统对边界区域的高斯基元进行局部调整与筛选，从而减少边界模糊与对象粘连问题。最终，系统将属于目标建筑的高斯基元进行独立组织，实现建筑对象的对象化提取与显示。

3）实验结果。本文选取MatrixCity场景中的典型建筑区域进行实验，实验结果见图4。结果表明，基于二维图像分割与高斯基元投票的方法能够较好实现建筑对象提取，并保持目标建筑的整体结构特征。



a 原始目标建筑区域　　b 高斯基元表达　　c 渲染结果

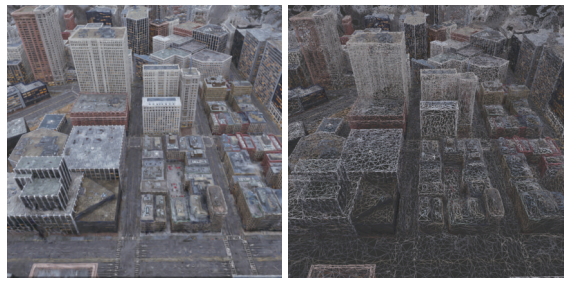
图4　基于3DGS的建筑提取效果

3.5　面向GIS融合应用的数据结构转换验证

1）实验目的。为验证3DGS与传统GIS三维数据结构融合应用的可行性，本文对3DGS场景的数据结构转换能力进行实验验证。

2）实验方法。本文采用SuGaR方法对3DGS场景进行Mesh结构转换。首先对原始3DGS场景中的高斯基元施加表面对齐约束，使高斯分布逐渐贴合场景几何表面；随后，结合符号距离函数（signed distance function，SDF）对场景隐式表面进行优化；之后，通过Marching Cubes算法从连续场中提取Mesh表面，并进一步生成obj格式的三维模型。在完成Mesh结构提取后，进一步将转换得到的Mesh模型与原始3DGS场景进行融合显示，从而验证3DGS与传统GIS三维数据结构的协同表达能力。

3）实验结果。本文选取MatrixCity场景中的典型建筑区域进行实验，实验结果见图5。结果表明，系统能够从3DGS场景中生成对应的Mesh模型，并实现3DGS场景与Mesh模型的融合显示。



a 原始3DGS场景区域　　b 提取的obj数据可视化效果

图5　3DGS数据格式转换前后对比

3.6　3DGS在GIS中的应用可行性讨论

本文进一步对3DGS面向GIS应用的可行性及其当前存在的局限性进行了讨论。在空间分析方面，基于3DGS深度图的交互式量算与通视分析实验表明，3DGS渲染过程中生成的深度信息可用于空间距离计算与遮挡关系判断，从而为GIS中的空间关系分析提供支持。相比传统基于Mesh的分析方式，该方法无需显式构建完整几何表面，能够直接利用实时渲染结果完成分析计算，在大场景实时交互方面具有一定优势。

在对象化表达方面，本文基于SAGD方法，实现了建筑目标的初步对象提取，并基于SuGar方法完成了3DGS向Mesh结构的转换实验，验证了3DGS与传统显式几何结构之间的融合可能性。相关实验表明，3DGS场景能够在一定程度上向传统GIS三维数据体系过渡，并为后续空间分析与对象管理提供基础。

但实验结果也表明，当前3DGS在GIS应用中仍存在一定局限性。由于3DGS深度图本质上来源于高斯透明度累积渲染，其深度结果并非严格几何表面深度，因此在边界区域、复杂遮挡区域以及远距离区域仍可能出现局部深度误差。此外，3DGS场景缺乏稳定拓扑结构与严格对象边界约束，也会影响对象提取与结构转换结果的稳定性。因此，如何进一步增强3DGS的几何一致性、对象结构表达以及空间分析稳

定性，仍是其面向GIS应用的重要研究方向。

4 结 语

本文从GIS应用角度出发，对三维高斯泼溅技术在GIS中的应用潜力进行了研究，重点围绕空间分析、对象提取以及数据结构转换等方面，探讨了3DGS技术与传统GIS三维数据体系之间的融合路径，并构建了相应的原型验证系统。研究结果表明，3DGS除具备高真实感场景表达与实时渲染能力外，还能够在一定程度上支撑GIS中的空间量算、通视分析以及对象化表达等基础应用，为真实感三维GIS场景构建提供了新的数据组织与表达方式。但与此同时，3DGS当前仍主要面向真实感渲染，其在几何一致性、对象结构表达以及拓扑组织等方面，与传统GIS显式几何数据体系仍存在明显差异。因此，3DGS更适合作为GIS真实感场景表达与快速场景构建的新型技术补充，而非传统GIS三维模型的直接替代。

参考文献

[1] 宋关福,钟耳顺,周芹,等.通用三维GIS场数据模型研究与实践[J].测绘地理信息,2020,45(2):1-7

[2] Mildenhall B, Srinivasan P P, Tancik M, et al, NeRF:Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis[C]//Proceedings of the European Conference on Computer Vision. Cham:Springer,2020:405-421

[3] Bernhard K, Georgios K, Thomas L, et al. 3D Gaussian Splatting for Real-time Radiance Field Rendering[J]. ACM Transactions on Graphics,2023,42(4):139

[4] Wang Z. 3D Representation Methods:A Survey[J]. arXiv:2410.06475,2024

[5] Zhi W F, Kevin W, Kairun W, et al. Light Gaussian:Unbounded 3D Gaussian Compression with 15x Reduction and 200+ FPS[C]//Proceedings of the 38th International Conference on Neural Information Processing Systems. Vancouver:Curran Associates,2024:140138-140158

[6] Ze H Y, Anpei C, Binbin H, et al. Mip-splatting:Alias-free 3D Gaussian Splatting[C]//Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Seattle:IEEE,2024:18803-18813

[7] Bernhard K, Giuseppe C, Thomas L, et al. Hierarchical 3D Gaussian Splatting for Real-time Rendering of very Large Datasets[J]. ACM Transactions on Graphics, 2024, 43(6):1-15

[8] Yang L, He G, Chuan C L, et al. City Gaussian:Real-time High-quality Large-scale Scene Rendering with Gaussians[C]//Proceedings of the 18th European Conference on Computer Vision,Cham:Springer,2024:265-282

[9] Jia Q L, Zhi H L, Xiao T, et al. Vast Gaussian:Vast 3D Gaussians for Large Scene Reconstruction[C]//Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,Seattle:IEEE,2024:5166-5175

[10] Jae Y C, Jeong T O, Kyoung M L. Depth-regularized Optimization for 3D Gaussian Splatting in Few-shot Images[C]//Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, Seattle:IEEE,2024:403-412

[11] Jia H L, Jia W Z, Xiao B, et al. Dn Gaussian:Optimizing Sparse-view 3D Gaussian Radiance Fields with Global-local Depth Normalization[C]//Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Seattle:IEEE,2024:20775-20785

[12] Hao L X, Sairisheek M, Rishi U, et al. Sparse GS:Real-time 360° Sparse View Synthesis Using Gaussian Splatting[J]. arXiv:2312.00206,2023

[13] Xu H, Yu X W, Lue F, et al. SAGD:Boundary-enhanced Segment Anything in 3D Gaussian Via Gaussian Decomposition[J]. arXiv:2401.17857,2024

[14] Jia Z C, Jiemin F, Chen Y, et al. Segment Any 3D Gaussians[C]//Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence,2025,39(2):1971-1979

[15] Jia X Z, Jun J J, You y C, et al. COB-GS:Clear Object Boundaries in 3DGS Segmentation Based on Boundary-adaptive Gaussian Splitting[C]//Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,Nashville:IEEE,2025:19335-19344

[16] Antoine G, Vincent L. Su GaR:Surface-aligned Gaussian Splatting for Efficient 3D Mesh Reconstruction and High-quality Mesh Rendering[C]//Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Seattle:IEEE,2024:5354-5363

[17] Bin B H, Ze H Y, Anpei C, et al. 2D Gaussian Splatting for Geometrically Accurate Radiance Fields[J]. ACM Transactions on Graphics,2024,43(4):1-14

[18] Kyle G, Liang Z L, Hong J H et al. Gaussian Building Mesh (GBM):Extract a Building's 3D Mesh with Google Earth and Gaussian Splatting[J]. Remote Sensing Applications:Society and Environment,2025,40:101807

[19] Yi X L, Li H J, Lin N X, et al. Matrix City:A Large-scale City Dataset for City-scale Neural Rendering and Beyond[C]//Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. Paris:IEEE,2023:3205-3215