

无人机多模态数据融合快速三维重建方法研究

周唯¹ 闫安² 贺均安¹ 刘佳名¹ 金学诚¹

1 沈阳航空航天大学航空宇航学院 2 沈阳航空航天大学应用技术学院

DOI:10.12238/pe.v2i6.10417

[摘要] 三维重建技术在近年来取得了显著的进展,尤其是在无人机技术、深度学习算法和多模态数据融合方面。三维重建技术正处于快速发展阶段,新的算法和数据处理技术不断涌现,本文将分别分析倾斜摄影、NeRF以及3D Gaussian Splatting等技术在三维重建方面的应用,试图提出找到一种多模态融合技术通过结合不同来源和类型的数据。

[关键词] 无人机; 倾斜摄影; NeRF; 3D Gaussian Splatting

中图分类号: V279+.2 **文献标识码:** A

Investigation into Rapid Three-Dimensional Reconstruction Techniques Utilizing Multimodal Data Fusion in the Context of Unmanned Aerial Systems

Wei Zhou¹ An Yan² Jun'an He¹ Jiaming Liu¹ Xuecheng Jin¹

1 School of Aeronautics and Astronautics, Shenyang University of Aeronautics and Astronautics

2 School of Applied Technology, Shenyang University of Aeronautics and Astronautics

[Abstract] The field of 3D reconstruction has witnessed remarkable advancements over the past decade, particularly at the confluence of UAV technologies, deep learning methodologies, and multimodal data fusion techniques. As 3D reconstruction technology continues to evolve at a swift pace, a plethora of innovative algorithms and data processing paradigms have emerged. This study will dissect the applications of oblique aerial photography, Neural Radiance Fields (NeRF), and 3D Gaussian Splatting in the domain of 3D reconstruction. The overarching goal is to elucidate a multimodal fusion strategy that amalgamates disparate sources and types of data, including but not limited to optical imagery, radar data, and depth maps, thereby enhancing the precision and robustness of 3D reconstruction endeavors.

[Key words] Unmanned Aerial Vehicle (UAV); Oblique Photography; NeRF, 3D Gaussian Splatting

引言

(1) 项目背景。无人机技术的发展为三维重建提供了新的视角和数据获取方式。无人机搭载的多模态传感器,如倾斜摄影技术,能够从多个角度捕捉地面信息,实现快速、大规模的三维重建。

深度学习算法,尤其是NeRF(神经辐射场)技术,为三维重建带来了革命性的变化。

多模态数据融合技术通过结合不同来源和类型的数据,如光学图像、雷达数据、深度图像等,来提高三维重建的精度和鲁棒性。

(2) 研究意义。本研究通过整合倾斜摄影、NeRF、高斯泼溅等先进技术,探索一种全新的多模态数据融合方法,这在三维重建领域具有创新性。利用无人机快速获取多源数据,并结合多模态数据融合技术,能够显著提高三维重建的效率,缩短数据采集到模型生成的时间;融合多种数据源有助于提升重建模型的细节精度和整体质量。

1 项目分析

1.1 概述

本文将首先回顾现有的三维重建技术和方法,如倾斜摄影、NeRF和3D Gaussian Splatting。详细讨论倾斜摄影技术的原理和应用;介绍NeRF(神经辐射场)技术及其在三维重建中的应用;探讨高斯泼溅技术及其在图像处理和三维重建中的作用。

把控多模态数据融合技术的研究方向,结合不同来源和类型的数据来提高三维重建的精度和鲁棒性。

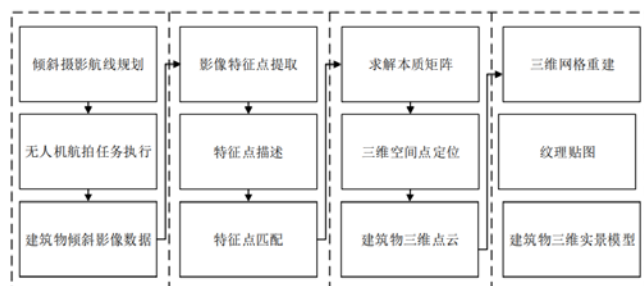
1.2 挑战与未来方向

多模态数据融合需要处理和整合来自不同传感器和数据源的信息,这些数据可能存在不一致性和异构性,如何有效地融合这些信息以提高三维重建的精度和鲁棒性是一个挑战。

2 无人机倾斜摄影技术

无人机倾斜摄影三维重建技术通过使用无人机(Unmanned Aerial Vehicles, UAVs)作为飞行平台,搭载多镜头摄影系统,

获取地表物体的高分辨率影像。图一为无人机倾斜摄影三维重建流程。



图一 无人机倾斜摄影三维重建流程图

倾斜摄影三维重建流程：

2.1 数据采集

使用搭载多镜头相机的无人机进行航拍，获取地表的影像数据。图二为团队成员正在操控无人机进行数据采集。



图二 团队成员操控无人机采集数据

2.2 相机标定

由于普通无人机航拍平台使用的是非量测摄像机，存在光学畸变，需要对摄像机进行校正来消除失真。这涉及到计算径向畸变值，以及平移和旋转相机坐标系与世界坐标系之间的转换。

2.3 特征点提取与匹配

在多视图图像中检测并匹配同名点，这些点在不同视角的图像中是相同的物理点。通过特征点匹配，可以计算出图像的姿态关系和特征点坐标，为三维重建提供基础数据。

2.4 空中三角测量

对获取的多视角影像数据进行空中三角测量，通过同名点匹配恢复影像间的相对位置关系，并解算出每张影像的外方位元素信息。

2.5 点云数据处理

利用SFM (Structure From Motion) 技术，从多视角图像中生成点云数据。SFM通过分析像素点之间的对应关系，推断每个像素点的深度信息。

2.6 三维模型重建

将SFM和MVS生成的点云数据进行融合，形成更加完整的三维模型。在这一过程中，可能会采用泊松重建算法等方法，以改善模型的表面质量和细节。

2.7 质量分析与后处理

对生成的三维模型进行质量分析，包括模型的准确度、完整性、纹理的准确度和完整性等，确保模型满足应用需求。

3 NeRF(隐式神经网络)

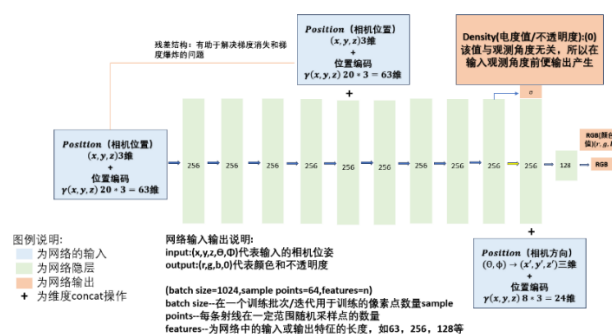
NeRF (Neural Radiance Fields, 神经辐射场) 是一种用于三维场景重建和渲染的深度学习方法。它通过将场景表示为一个连续的隐式函数，能够从一组稀疏的二维图像中重建出高质量的三维场景，并能从任意视角渲染出新的二维视图。

位置编码 $\gamma(x, y, z)$

$$F_{\theta} = F'_{\theta} * \gamma$$

$$\gamma(p) = (\sin(2^{\circ}\pi p), \cos(2^{\circ}\pi p), \dots, \sin(2^{L-1}\pi p), \cos(2^{L-1}\pi p))$$

图三为NeRF隐式神经网络处理相机位姿信息转化为RGB以及不透明度的处理过程。

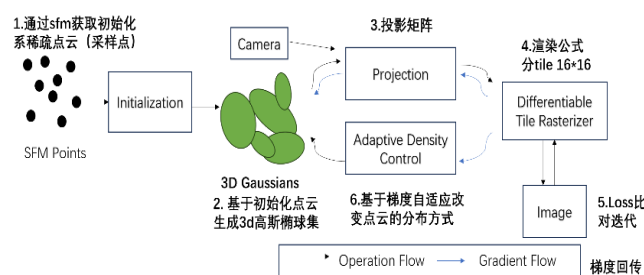


图三 隐式神经网络编码流程

4 高斯溅射

高斯泼溅 (Gaussian Splatting) 三维重建技术通常是指在三维重建过程中使用高斯模糊 (Gaussian Blur) 来处理图像或点云数据，以增强重建结果的平滑性和准确性。

通过高斯溅射的原理和技术，可以有效地将无人机在多模态数据融合及快速三维重建中应用于实际场景，下面是主要步骤，流程图见图四。



图四 高斯溅射流程图

Step1 *sfm*初始化稀疏点云：

通过 *colmap* 创建初始化点云，用于场景优化。

Step2 3D 高斯椭球集的创建

4.1 位置与形状

位置信息： (x, y, z) 高斯椭球的中心点 (均值)。

形状信息：高斯椭球的协方差矩阵：

$$\Sigma = RSS^T R^T$$

其中:

R ——旋转矩阵

S ——各个轴缩放矩阵

4.2颜色与不透明度

颜色信息: (r, g, b) , 球谐函数。

不透明度信息: 密度优化。

Step3计算机图形学投影矩阵

3D 高斯泼射是非线性的变换, 利用泰勒公式扩展到三维空间, 得:

$$\Sigma' = JW\Sigma W^T J^T$$

Step4渲染公式

通过点云中一定半径范围内能影响像素的 N 个有序点来计算一个像素的颜色 C :

$$C = \sum_{i \in \mathcal{K}} c_i \alpha_i \prod_{j=1}^{i-1} (1 - \alpha_j)$$

其中:

α_i ——点 i 的不透明度

α_j —— i 之前前面点的不透明度

Step5 $loss$ 定义

$$\mathcal{L} = (1 - \lambda)\mathcal{L}_1 + \lambda\mathcal{L}_{D-SSIM}$$

Step6基于梯度自适应改变点云的分布方式

(1) *Pruning* 减少伪影出现。

(2) *Densification* 过度重构或者欠采样。

5 多模态数据融合

多模态数据融合是指将来自不同来源和不同类型传感器的数据结合起来, 以获得比单一数据源更丰富、更准确的信息。神经辐射场(NeRF)、倾斜摄影和高斯泼射(Gaussian Splatting)是三种不同的技术, 利用现有的三维重建和图像处理软件库将多种先进的三维重建技术结合起来, 去实现更精细化的三维重建结果, 流程如下:

5.1数据预处理

确保所有数据集都在同一坐标系统中对齐, 这可能需要使用传感器融合技术或手动校准。

5.2特征提取

从NeRF生成的连续体积场中提取特征; 从倾斜摄影数据中提取建筑物和地形的精细结构特征; 从高斯泼射生成的点云中

提取局部几何特征。

5.3数据融合策略以及融合算法

特征级融合: 将不同技术提取的特征融合在一起, 例如将NeRF的颜色和法线信息与倾斜摄影的几何特征结合, 以增强细节和真实感。

5.4融合算法

深度学习: 训练一个深度神经网络来学习如何最佳地融合这些特征。网络可以设计为接受多输入通道, 每个通道对应一种技术的数据。

5.5优化、细化及后处理

使用表面重建算法(如泊松重建)来细化从融合特征中提取的表面; 应用纹理映射技术将NeRF的颜色信息映射到重建的表面上。

6 结语

通过对倾斜摄影测量、NeRF(隐式神经网络)、高斯泼射等主流三维重建技术的尝试和了解, 建立了基本的三维重建数据获取框架, 提出了多模态数据融合的想法, 结合多种先进三维重建技术, 去得到更精细化、更高效的三维重建结果。

辽宁省大学生创新创业训练计划支持项目(X202410143107)资助。

【参考文献】

[1]孙建华,李巍,袁伟哲,等.基于NeRF的城市实景高精度三维建模技术[J].测绘通报,2024,(04):129-134.

[2]朱兴志,王志伟,王涛.无人机倾斜摄影在城市精细化三维模型制作中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2024,(08):32-34.

[3]甘拯,夏辉,左辛凯.结合倾斜摄影与地面LiDAR的复杂环境实景三维重建[J].人民长江,2024,55(S1):249-252.

[4]高建,陈林卓,沈秋,等.基于三维高斯泼射技术的可微分渲染研究进展[J/OL].激光与光电子学进展,1-23[2024-08-26].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1690.TN.20240708.1614.028.html>.

[5]曹晨曦,任泰安.基于点云与NeRF的三维重建系统[J].软件,2024,45(04):11-14.

作者简介:

周唯(2004—),男,湖北省汉川市人,本科在读,研究方向:飞行器制造工程。