



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 120431269 B

(45) 授权公告日 2025.09.30

(21) 申请号 202510927251.2

(22) 申请日 2025.07.07

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 120431269 A

(43) 申请公布日 2025.08.05

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院
地址 518057 广东省深圳市南山区粤海街
道高新技术产业园南区粤兴一道18号
香港理工大学产学研大楼205室
专利权人 香港理工大学

(72) 发明人 王冰 方广驰

(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有
限公司 44205
专利代理师 李莹洁

(51) Int.Cl.

G06T 17/00 (2006.01)

G06T 3/06 (2024.01)

G06T 15/20 (2011.01)

(56) 对比文件

CN 119295651 A, 2025.01.10

CN 119516076 A, 2025.02.25

审查员 邢丽超

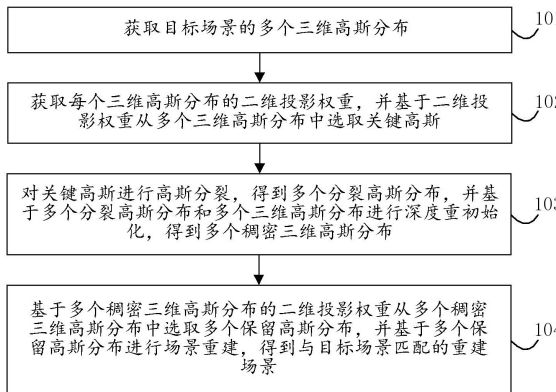
权利要求书3页 说明书18页 附图5页

(54) 发明名称

三维高斯的场景重建方法、装置、电子设备
及存储介质

(57) 摘要

本申请实施例提出的三维高斯的场景重建方法、装置、电子设备及存储介质,方法包括:首先,获取目标场景的多个三维高斯分布;然后,获取每个三维高斯分布的二维投影权重,并基于二维投影权重从多个三维高斯分布中选取关键高斯;接下来,对关键高斯进行高斯分裂,得到多个分裂高斯分布,并基于多个分裂高斯分布和多个三维高斯分布进行深度重初始化,得到多个稠密三维高斯分布;最后,基于多个稠密三维高斯分布的二维投影权重从多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布,并基于多个保留高斯分布进行场景重建,得到与目标场景匹配的重建场景,从而显著提高了三维场景重建的整体效率和最终重建场景的紧凑性与质量。



1. 一种三维高斯的场景重建方法,其特征在于,所述方法包括:

获取目标场景的多个三维高斯分布;

获取每个所述三维高斯分布的二维投影权重,并基于所述二维投影权重从多个所述三维高斯分布中选取关键高斯;

对所述关键高斯进行高斯分裂,得到多个分裂高斯分布,并基于所述多个分裂高斯分布和所述多个三维高斯分布进行深度重初始化,得到多个稠密三维高斯分布;

基于多个所述稠密三维高斯分布的二维投影权重从所述多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布,并基于所述多个保留高斯分布进行场景重建,得到与所述目标场景匹配的重建场景;

所述三维高斯分布至少包括中心位置、不透明度以及协方差矩阵,所述对所述关键高斯进行高斯分裂,得到多个分裂高斯分布,包括:

基于所述关键高斯的中心位置,得到所述分裂高斯分布的中心位置;

基于一与所述关键高斯的不透明度的差值,再进行开根处理,得到差值根,并基于一与所述差值根的差值,得到所述分裂高斯分布的不透明度;

基于两倍的所述分裂高斯分布的不透明度与所述分裂高斯分布的不透明度的平方的差值,再进行二次方倒数处理,得到分裂平方倒数;

基于所述分裂平方倒数、所述关键高斯的协方差矩阵以及所述关键高斯的不透明度的平方,得到所述分裂高斯分布的协方差矩阵;

所述基于所述多个分裂高斯分布和所述多个三维高斯分布进行深度重初始化,得到多个稠密三维高斯分布,包括:

获取每个像平面点对应的重要高斯对应的高斯分布深度;

基于所有所述高斯分布深度得到深度图;

基于所述深度图,将所述多个分裂高斯分布和所述多个三维高斯分布重投影至坐标系中,得到多个所述稠密三维高斯分布;

所述基于多个所述稠密三维高斯分布的二维投影权重从所述多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布,包括:

在每个像平面点对应的多个所述稠密三维高斯分布中,选取最大的所述二维投影权重对应的所述稠密三维高斯分布作为所述像平面点对应的第一保留高斯分布;

对每个所述稠密三维高斯分布在每个视角对应的所述二维投影权重进行累加,得到每个所述稠密三维高斯分布的高斯重要性;

累加所有所述高斯重要性,得到重要性总和,并基于每个所述高斯重要性与所述重要性总和的比值,得到每个所述稠密三维高斯分布对应的采样概率;

基于所述采样概率对每个所述稠密三维高斯分布进行采样选取,得到第二保留高斯分布;

基于所述第一保留高斯分布和所述第二保留高斯分布得到所述保留高斯分布。

2. 根据权利要求1所述的三维高斯的场景重建方法,其特征在于,所述基于所述二维投影权重从多个所述三维高斯分布中选取关键高斯,包括:

针对每个视角的像平面点,从所述像平面点对应的多个三维高斯分布中,选取最大的所述二维投影权重对应的所述三维高斯分布作为所述像平面点对应的关键高斯;

获取每个所述三维高斯分布的有效投影面积,并从所述多个三维高斯分布中选取所述有效投影面积超过预设面积阈值的所述三维高斯分布作为模糊高斯;

基于所有所述重要高斯和所有所述模糊高斯得到所述关键高斯。

3. 根据权利要求2所述的三维高斯的场景重建方法,其特征在于,所述获取每个所述三维高斯分布的有效投影面积,包括:

获取每个所述三维高斯分布在每个视角对应的二维投影结果;

当所述三维高斯分布的所述二维投影结果与所述重要高斯对应的二维投影结果一致时,得到每个所述视角对应的有效投影值;

累加所有所述视角的有效投影值,得到每个所述三维高斯分布的所述有效投影面积。

4. 根据权利要求1所述的三维高斯的场景重建方法,其特征在于,所述基于所述二维投影权重从多个所述三维高斯分布中选取关键高斯之前,所述方法还包括:

在每次迭代过程中,基于当前迭代次数对应的多个所述三维高斯分布进行图像渲染,得到渲染图像,并基于所述渲染图像与所述目标场景的真实图像之间的差值,对多个所述三维高斯分布的不透明度、中心位置以及协方差矩阵进行更新,直至所述当前迭代次数达到第一预设迭代次数;

所述基于多个所述稠密三维高斯分布的二维投影权重从所述多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布之前,所述方法还包括:

在每次迭代过程中,基于当前迭代次数对应的多个所述稠密三维高斯分布进行图像渲染,得到稠密渲染图像,并基于所述稠密渲染图像与所述真实图像之间的差值,对多个所述稠密三维高斯分布的不透明度、中心位置以及协方差矩阵进行更新,直至所述当前迭代次数达到第二预设迭代次数。

5. 一种三维高斯的场景重建装置,其特征在于,所述装置包括:

高斯获取模块,用于获取目标场景的三维高斯分布,所述三维高斯分布包括多个三维高斯分布;

关键高斯筛选模块,用于获取每个所述三维高斯分布的二维投影权重,并基于所述二维投影权重从多个所述三维高斯分布中选取关键高斯;

高斯稠密化模块,用于对所述关键高斯进行高斯分裂,得到多个分裂高斯分布,并基于所述多个分裂高斯分布和所述多个三维高斯分布进行深度重初始化,得到稠密三维高斯分布,所述稠密三维高斯分布包括多个稠密三维高斯分布;

高斯稀疏化模块,用于基于多个所述稠密三维高斯分布的二维投影权重从所述多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布,并基于所述多个保留高斯分布进行场景重建,得到与所述目标场景匹配的重建场景;

所述三维高斯分布至少包括中心位置、不透明度以及协方差矩阵,所述对所述关键高斯进行高斯分裂,得到多个分裂高斯分布,包括:

基于所述关键高斯的中心位置,得到所述分裂高斯分布的中心位置;

基于一与所述关键高斯的不透明度的差值,再进行开根处理,得到差值根,并基于一与所述差值根的差值,得到所述分裂高斯分布的不透明度;

基于两倍的所述分裂高斯分布的不透明度与所述分裂高斯分布的不透明度的平方的差值,再进行二次方倒数处理,得到分裂平方倒数;

基于所述分裂平方倒数、所述关键高斯的协方差矩阵以及所述关键高斯的不透明度的平方,得到所述分裂高斯分布的协方差矩阵;

所述基于所述多个分裂高斯分布和所述多个三维高斯分布进行深度重初始化,得到多个稠密三维高斯分布,包括:

获取每个像平面点对应的重要高斯对应的高斯分布深度;

基于所有所述高斯分布深度得到深度图;

基于所述深度图,将所述多个分裂高斯分布和所述多个三维高斯分布重投影至坐标系中,得到多个所述稠密三维高斯分布;

所述基于多个所述稠密三维高斯分布的二维投影权重从所述多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布,包括:

在每个像平面点对应的多个所述稠密三维高斯分布中,选取最大的所述二维投影权重对应的所述稠密三维高斯分布作为所述像平面点对应的第一保留高斯分布;

对每个所述稠密三维高斯分布在每个视角对应的所述二维投影权重进行累加,得到每个所述稠密三维高斯分布的高斯重要性;

累加所有所述高斯重要性,得到重要性总和,并基于每个所述高斯重要性与所述重要性总和的比值,得到每个所述稠密三维高斯分布对应的采样概率;

基于所述采样概率对每个所述稠密三维高斯分布进行采样选取,得到第二保留高斯分布;

基于所述第一保留高斯分布和所述第二保留高斯分布得到所述保留高斯分布。

6.一种电子设备,其特征在于,所述电子设备包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求1至4任一项所述的三维高斯的场景重建方法。

7.一种存储介质,所述存储介质存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求1至4中任一项所述的三维高斯的场景重建方法。

三维高斯的场景重建方法、装置、电子设备及存储介质

技术领域

[0001] 本申请涉及图像数据处理技术领域,尤其涉及三维高斯的场景重建方法、装置、电子设备及存储介质。

背景技术

[0002] 随着大模型和大数据的发展,面向通用物体的预训练图像分割技术逐渐成为了实用的工程技术,并且为如图像/视频理解、三维重建等下游视觉任务提供极为有用的先验信息。

[0003] 在相关技术中,在进行三维场景重建时,通常采用三维高斯泼溅技术,利用从运动结构(Structure-from-Motion, SfM)生成的稀疏点云初始化高斯分布,然后进一步在对高斯分布进行优化,并在优化过程中,通过预先设定的固定密度控制策略,对高斯分布的数量进行动态调整,以利用调整优化后的高斯分布进行三维场景重建。由于在进行三维场景重建时,三维高斯分布的数量通常是繁多且复杂的,利用预先设定的固定密度策略无法在这种复杂的情况下进行合适的密度控制,从而导致现有的利用三维高斯泼溅技术进行三维场景重建的过程中,其重建效率仍较低的情况。

发明内容

[0004] 本申请实施例的提供了一种三维高斯的场景重建方法、装置、电子设备及存储介质,能够提高三维高斯场景的重建效率。

[0005] 为实现上述目的,本申请实施例的第一方面提出了一种三维高斯的场景重建方法,所述方法包括:

[0006] 获取目标场景的多个三维高斯分布;

[0007] 获取每个所述三维高斯分布的二维投影权重,并基于所述二维投影权重从多个所述三维高斯分布中选取关键高斯;

[0008] 对所述关键高斯进行高斯分裂,得到多个分裂高斯分布,并基于所述多个分裂高斯分布和所述多个三维高斯分布进行深度重初始化,得到多个稠密三维高斯分布;

[0009] 基于多个所述稠密三维高斯分布的二维投影权重从所述多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布,并基于所述多个保留高斯分布进行场景重建,得到与所述目标场景匹配的重建场景。

[0010] 在一些实施例中,所述基于所述二维投影权重从多个所述三维高斯分布中选取关键高斯,包括:

[0011] 针对每个视角的像平面点,从所述像平面点对应的多个三维高斯分布中,选取最大的所述二维投影权重对应的所述三维高斯分布作为所述像平面点对应的重要高斯;

[0012] 获取每个所述三维高斯分布的有效投影面积,并从所述多个三维高斯分布中选取所述有效投影面积超过预设面积阈值的所述三维高斯分布作为模糊高斯;

[0013] 基于所有所述重要高斯和所有所述模糊高斯得到所述关键高斯。

- [0014] 在一些实施例中,所述获取每个所述三维高斯分布的有效投影面积,包括:
- [0015] 获取每个所述三维高斯分布在每个视角对应的二维投影结果;
- [0016] 当所述三维高斯分布的所述二维投影结果与所述重要高斯对应的二维投影结果一致时,得到每个所述视角对应的有效投影值;
- [0017] 累加所有所述视角的有效投影值,得到每个所述三维高斯分布的所述有效投影面积。
- [0018] 在一些实施例中,所述三维高斯分布至少包括中心位置、不透明度以及协方差矩阵,所述对所述关键高斯进行高斯分裂,得到多个分裂高斯分布,包括:
- [0019] 基于所述关键高斯的中心位置,得到所述分裂高斯分布的中心位置;
- [0020] 基于一与所述关键高斯的不透明度的差值,再进行开根处理,得到差值根,并基于一与所述差值根的差值,得到所述分裂高斯分布的不透明度;
- [0021] 基于两倍的所述分裂高斯分布的不透明度与所述分裂高斯分布的不透明度的平方的差值,再进行二次方倒数处理,得到分裂平方倒数;
- [0022] 基于所述分裂平方倒数、所述关键高斯的协方差矩阵以及所述关键高斯的不透明度的平方,得到所述分裂高斯分布的协方差矩阵。
- [0023] 在一些实施例中,所述基于所述多个分裂高斯分布和所述多个三维高斯分布进行深度重初始化,得到稠密三维高斯分布,包括:
- [0024] 获取每个所述像平面点对应的所述重要高斯对应的高斯分布深度;
- [0025] 基于所有所述高斯分布深度得到深度图;
- [0026] 基于所述深度图,将所述多个分裂高斯分布和所述多个三维高斯分布重投影至坐标系中,得到多个所述稠密三维高斯分布。
- [0027] 在一些实施例中,所述基于多个所述稠密三维高斯分布的二维投影权重从所述多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布,包括:
- [0028] 在每个像平面点对应的多个所述稠密三维高斯分布中,选取最大的所述二维投影权重对应的所述稠密三维高斯分布作为所述像平面点对应的第一保留高斯分布;
- [0029] 对每个所述稠密三维高斯分布在每个视角对应的所述二维投影权重进行累加,得到每个所述稠密三维高斯分布的高斯重要性;
- [0030] 累加所有所述高斯重要性,得到重要性总和,并基于每个所述高斯重要性与所述重要性总和的比值,得到每个所述稠密三维高斯分布对应的采样概率;
- [0031] 基于所述采样概率对每个所述稠密三维高斯分布进行采样选取,得到第二保留高斯分布;
- [0032] 基于所述第一保留高斯分布和所述第二保留高斯分布得到所述保留高斯分布。
- [0033] 在一些实施例中,所述基于所述二维投影权重从多个所述三维高斯分布中选取关键高斯之前,所述方法还包括:
- [0034] 在每次迭代过程中,基于当前迭代次数对应的多个所述三维高斯分布进行图像渲染,得到渲染图像,并基于所述渲染图像与所述目标场景的真实图像之间的差值,对多个所述三维高斯分布的不透明度、中心位置以及协方差矩阵进行更新,直至所述当前迭代次数达到第一预设迭代次数;
- [0035] 所述基于多个所述稠密三维高斯分布的二维投影权重从所述多个稠密三维高斯

分布中选取多个保留高斯分布之前,所述方法还包括:

[0036] 在每次迭代过程中,基于当前迭代次数对应的多个所述稠密三维高斯分布进行图像渲染,得到稠密渲染图像,并基于所述稠密渲染图像与所述真实图像之间的差值,对多个所述稠密三维高斯分布的不透明度、中心位置以及协方差矩阵进行更新,直至所述当前迭代次数达到第二预设迭代次数。

[0037] 为实现上述目的,本申请实施例的第二方面提出了一种三维高斯的场景重建装置,所述装置包括:

[0038] 高斯获取模块,用于获取目标场景的三维高斯分布,所述三维高斯分布包括多个三维高斯分布;

[0039] 关键高斯筛选模块,用于获取每个所述三维高斯分布的二维投影权重,并基于所述二维投影权重从多个所述三维高斯分布中选取关键高斯;

[0040] 高斯稠密化模块,用于对所述关键高斯进行高斯分裂,得到多个分裂高斯分布,并基于所述多个分裂高斯分布和所述多个三维高斯分布进行深度重初始化,得到稠密三维高斯分布,所述稠密三维高斯分布包括多个稠密三维高斯分布;

[0041] 高斯稀疏化模块,用于基于多个所述稠密三维高斯分布的二维投影权重从所述多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布,并基于所述多个保留高斯分布进行场景重建,得到与所述目标场景匹配的重建场景。

[0042] 为实现上述目的,本申请实施例的第三方面提出了一种电子设备,所述电子设备包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现如第一方面所述的三维高斯的场景重建方法。

[0043] 为实现上述目的,本申请实施例的第四方面提出了一种存储介质,所述存储介质为计算机可读存储介质,所述存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现上述第一方面所述的三维高斯的场景重建方法。

[0044] 本申请实施例提出的三维高斯的场景重建方法、装置、电子设备及存储介质,方法包括:首先,获取目标场景的多个三维高斯分布;然后,获取每个三维高斯分布的二维投影权重,并基于二维投影权重从多个三维高斯分布中选取关键高斯;接下来,对关键高斯进行高斯分裂,得到多个分裂高斯分布,并基于多个分裂高斯分布和多个三维高斯分布进行深度重初始化,得到多个稠密三维高斯分布;最后,基于多个稠密三维高斯分布的二维投影权重从多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布,并基于多个保留高斯分布进行场景重建,得到与目标场景匹配的重建场景。本申请实施例首先基于三维高斯分布的二维投影权重智能选取对场景表达贡献显著或可能造成模糊的关键高斯,然后对这些关键高斯进行针对性的高斯分裂并结合深度信息进行重初始化以实现有效的密集化,最后再基于稠密三维高斯分布的二维投影权重选取重要的保留高斯以进行精简化和最终场景重建,利用动态且基于数据重要性驱动密度调整策略,有效克服了采用预先设定的固定密度控制策略在处理复杂且数量繁多的三维高斯分布时,难以进行合适密度控制的局限性,使得能够更精确地在需要细节的区域增加高斯密度,同时在冗余区域去除不必要的高斯,避免了盲目调整带来的计算浪费和表示冗余,从而显著提高了三维场景重建的整体效率和最终重建场景的紧凑性与质量。

[0045] 本申请的其它特征和优点将在随后的说明书中阐述,并且,部分地从说明书中变

得显而易见,或者通过实施本申请而了解。本申请的目的和其他优点可通过在说明书、权利要求书以及附图中所特别指出的结构来实现和获得。

附图说明

- [0046] 图1是本申请一实施例提供的一种三维高斯的场景重建方法的流程图。
- [0047] 图2是图1中步骤102的流程图。
- [0048] 图3是图2中步骤202的流程图。
- [0049] 图4是图1中步骤103的流程图。
- [0050] 图5是图1中步骤103的又一流程图。
- [0051] 图6是图1中步骤104的流程图。
- [0052] 图7是本申请一又实施例提供的高斯密集化再稀疏化的流程示意图。
- [0053] 图8是本申请一又实施例提供的高斯优化更新的流程图。
- [0054] 图9是本申请一又实施例提供的一种三维场景的采集图像数据的示意图。
- [0055] 图10是本申请一又实施例提供的一种三维场景的重建示意图。
- [0056] 图11是本申请一实施例提供的三维高斯的场景重建装置的结构示意图。
- [0057] 图12是本申请一实施例提供的电子设备的硬件结构示意图。

具体实施方式

[0058] 为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本申请进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本申请,并不用于限定本申请。

[0059] 需要说明的是,虽然在装置示意图中进行了功能模块划分,在流程图中示出了逻辑顺序,但是在某些情况下,可以以不同于装置中的模块划分,或流程图中的顺序执行所示出或描述的步骤。

[0060] 除非另有定义,本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本申请的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中所使用的术语只是为了描述本申请实施例的目的,不是旨在限制本申请。

[0061] 随着大模型和大数据的发展,面向通用物体的预训练图像分割技术逐渐成为了实用的工程技术,并且为如图像/视频理解、三维重建等下游视觉任务提供极为有用的先验信息。

[0062] 在相关技术中,在进行三维场景重建时,通常采用三维高斯泼溅技术,利用从运动结构(Structure-from-Motion, SfM)生成的稀疏点云初始化高斯分布,然后进一步在对高斯分布进行优化,并在优化过程中,通过预先设定的固定密度控制策略,对高斯分布的数量进行动态调整,以利用调整优化后的高斯分布进行三维场景重建。由于在进行三维场景重建时,三维高斯分布的数量通常是繁多且复杂的,利用预先设定的固定密度策略无法在这种复杂的情况下进行合适的密度控制,从而导致现有的利用三维高斯泼溅技术进行三维场景重建的过程中,其重建效率仍较低的情况。

[0063] 为了提高三维高斯场景的重建效率,本申请实施例利用多个视角的二维的场景图像所得到的位姿点云估计信息进行三维重建,以得到用于还原目标场景中的三维结构信息

对应的三维高斯点云,在响应于分割提示指令对目标场景中的目标分割物品进行分割后,利用与目标分割物品对应的二值化分割掩膜对该三维高斯点云中每个视角中对应的不属于目标分割物品进行高斯点过滤,使得从三维角度将目标分割物体从目标场景中精准地分割出来,然后再利用位姿点云估计信息将三维分割后的过滤三维高斯点集合进行二维投影,从而精准地得到目标分割物品多个视角对应的二维分割结果,以克服了现有技术中依赖人工调整、过/欠分割频发的缺陷,进而极大地提高在目标场景中进行物体二维图像分割的精准性。

[0064] 可以理解的是三维高斯泼溅(3D Gaussian Splatting, 3DGS)技术是将场景建模为一组三维高斯分布 $\{G_i | i = 1, \dots, N\}$ 。每个三维高斯分布 G_i 由不透明度 α_i ,中心位置 p_i ,世界空间中的协方差矩阵 Σ_i (用以表示三维高斯的尺度与旋转)组成,每个三维高斯分布表示为 $G_i(x) = e^{-\frac{1}{2}(x-p_i)^T \Sigma_i^{-1}(x-p_i)}$,其中 x 为像平面点。对于给定视角,可从所有高斯表示中恢复二维图像 $c(x) = \sum_{i=1}^N w_i c_i$,其中 $w_i = \alpha_i G_i^{2D}(x) \prod_{j=1}^{i-1} (1 - \alpha_j G_j^{2D}(x))$, G_i^{2D} 为三维高斯 G_i 到二维图像的投影。通过最小化渲染图像 c 与真值图像 c_{gt} 的误差(如均方根误差与结构相似度),实现对场景即所有高斯的优化。

[0065] 本方案提出了一种基于高斯表示的多视图重建系统,主要包含密集化和精简化两部分。如图1所示,首先,系统以稀疏点云作为初始化输入,将稀疏点云通过密集化转化为稠密高斯模型,实现高效场景重建。在获得稠密高斯模型后,系统进一步执行精简化操作,系统将稠密高斯模型简化为稀疏高斯模型,实现最小场景表示。具体而言,系统在优化过程(最小化渲染图像 c 与真值图像 c_{gt} 的误差)中,通过设定特定迭代次数,反复进行密集化(如每100或200),直到得到稠密高斯,然后执行精简化(如3000或8000),并使模型继续优化至收敛,得到最终的稀疏高斯,具体如下面描述。

[0066] 下面将进一步描述本申请提供的三维高斯的场景重建方法、装置、电子设备及存储介质。首先具体描述本申请实施例中的三维高斯的场景重建方法。参照图1,为本申请实施例提供的三维高斯的场景重建方法的一个可选的流程图,图1中的方法可以包括但不限于包括步骤101至步骤104。同时可以理解的是,本实施例对图1中步骤101至步骤104的顺序不做具体限定,可以根据实际需求调整步骤顺序或者减少、增加某些步骤。本申请提供的三维高斯的场景重建方法可以应用于任意一个服务器或者具有处理计算能力的智能终端。

[0067] 步骤101:获取目标场景的多个三维高斯分布。

[0068] 以下对步骤101进行详细描述。

[0069] 在一些实施例中,在响应于目标场景的场景重建请求后,首先获取目标场景的多个三维高斯分布 $\{G_i | i = 1, \dots, N\}$ 。这些初始的多个三维高斯分布可以来源于例如运动结构恢复(Structure-from-Motion, SfM)技术从一组图像序列生成的稀疏点云,它们共同构成了对目标场景的初步三维表征,是后续重建流程的基础输入。

[0070] 可以理解的是,三维高斯分布是指一种用于在三维空间中表征场景几何与外观特性的数学模型,每一个三维高斯分布通常由其中心位置、协方差矩阵(用以表征其形状、大小和方向)以及不透明度等参数定义。

[0071] 步骤102:获取每个三维高斯分布的二维投影权重,并基于二维投影权重从多个三

维高斯分布中选取关键高斯。

[0072] 以下对步骤102进行详细描述。

[0073] 在一些实施例中,在得到目标场景的多个三维高斯分布之后,将进一步从多个三维高斯分布中通过特定算法识别场景中的关键高斯,以确定待重建区域的重点。在本实施例中,对于给定视角所对应的像平面点,有针对于每个三维高斯分布 $\{G_i | i = 1, \dots, N\}$ 的投影混合结果如下公式(1)所示。

$$[0074] \quad c(x) = \sum_{i=1}^N w_i c_i \quad (1)$$

[0075] 然后进一步确定得到的每一个三维高斯分布在每个虚拟相机视角下的二维投影权重 w_i 。二维投影权重表征了各个三维高斯分布在通过可微分渲染器投影到二维图像平面时,对图像中各像素点最终颜色值的贡献程度或影响大小。

[0076] 然后,系统将基于这些计算得到的二维投影权重,从多个三维高斯分布中筛选并确定出关键高斯。这些关键高斯是指对场景表达贡献显著,或者其投影特性可能影响重建质量(例如,在图像中占据重要位置或可能导致渲染模糊、细节不足)的三维高斯分布,为后续的密集化处理提供有针对性的目标。

[0077] 下面将进一步描述如何从多个三维高斯分布中确定关键高斯。

[0078] 参照图2,基于二维投影权重从多个三维高斯分布中选取关键高斯,包括以下步骤201至步骤203。

[0079] 步骤201:针对每个视角的像平面点,从像平面点对应的多个三维高斯分布中,选取最大的二维投影权重对应的三维高斯分布作为像平面点对应的重要高斯。

[0080] 步骤202:获取每个三维高斯分布的有效投影面积,并从多个三维高斯分布中选取有效投影面积超过预设面积阈值的三维高斯分布作为模糊高斯。

[0081] 下面对步骤201至步骤202进行详细描述。

[0082] 在一些实施例中,为了识别出对场景表达具有核心贡献的三维高斯分布,系统会针对每一个给定的相机视角下的每一个像平面点(即图像中的像素点)进行分析。对于每一个像平面点,一般都存在多个三维高斯分布通过渲染管线投影并对其产生影响,系统会比较这些三维高斯分布各自的二维投影权重,并从中选取具有最大二维投影权重的那一个三维高斯分布,将其标识为该像平面点所对应的重要高斯,即对于每一个像平面点 x ,可获得高斯索引 $i_{\max} = \arg\max_i w_i$,系统选取所有索引对应的三维高斯分布 $G_{i_{\max}}$,作为重要高斯。这个过程意味着对于图像中的每个位置,系统都找到了对其颜色贡献最大的那个三维高斯基元。

[0083] 接下来,为了进一步识别那些虽然可能不是每个像素点的最大贡献者,但其投影范围过大而可能导致渲染结果模糊或细节丢失的三维高斯分布,系统会首先获取每一个三维高斯分布 G_i 的有效投影面积 S_i 。然后将每一个三维高斯分布的有效投影面积与一个预先设定的面积阈值 t 进行比较,如果某个三维高斯分布 G_i 的有效投影面积 S_i 超过了这个预设面积阈值 t ,那么该三维高斯分布就被选取出来,并被标识为模糊高斯。

[0084] 其中,有效投影面积可以理解为一个度量,它表征了一个三维高斯分布在二维像平面上实际有效覆盖的区域大小,例如,可以统计在多少个像平面点上该三维高斯分布被识别为重要高斯,或者其投影后的二维高斯覆盖的像素数量。

[0085] 下面将进一步描述如何获取每个三维高斯分布的有效投影面积。

[0086] 参照图3,获取每个三维高斯分布的有效投影面积,包括以下步骤301至步骤303。

[0087] 步骤301:获取每个三维高斯分布在每个视角对应的二维投影结果。

[0088] 步骤302:当三维高斯分布的二维投影结果与重要高斯对应的二维投影结果一致时,得到每个视角对应的有效投影值。

[0089] 步骤303:累加所有视角的有效投影值,得到每个三维高斯分布的有效投影面积。

[0090] 下面对步骤301至步骤303进行详细描述。

[0091] 在一些实施例中,为了计算每个三维高斯分布的有效投影面积,系统首先需要获取每一个三维高斯分布 G_i 在每一个可用或选定的相机视角下对应的二维投影结果 $i(x)$ 。二维投影结果是指将一个三维高斯分布通过渲染管线(通常是可微分的)投影到二维像平面上所形成的二维表示,它能够反映该三维高斯分布在该特定视角下对图像区域的潜在影响范围和形态。

[0092] 在获取了每个三维高斯分布 G_i 于每个视角的二维投影结果 $i(x)$ 之后,系统会判断对于一个特定的三维高斯分布,在某个视角的某个像平面点上,其二维投影结果是否与该像平面点对应的重要高斯的二维投影结果相一致;当三维高斯分布的二维投影结果与重要高斯对应的二维投影结果一致时(即,当前评估的这个三维高斯分布就是该像素的重要高斯时),系统便为当前这个三维高斯分布在该视角下记录一个“有效投影值”,例如计数为1;若不一致,则计为0,即 $I(i(x) = i_{\max}(x))$, $i_{\max} = \operatorname{argmax}_i w_i$, I 为指示函数。通过对一个视角内所有像平面点进行此判断并累加,可以得到该三维高斯分布在该视角下的有效投影值,该值反映了它在该视角下作为重要高斯所覆盖的像素数量。

[0093] 之后,系统将针对每一个三维高斯分布,累加其在所有不同视角下获得的有效投影值。即,将为每个特定的三维高斯分布计算出的在每一个视角对应的有效投影值进行求和。这个跨越所有视角的累加总和,最终构成了该特定的三维高斯分布 G_i 的有效投影面积 S_i 如下公式(2)所示。

$$[0094] \quad S_i = \sum_{x=(1,1)}^{H,W} I(i(x) = i_{\max}(x)) \quad (2)$$

[0095] 这个面积值综合了该高斯在所有观测视角下作为主导贡献者的总体程度。

[0096] 通过以上步骤301至步骤303,能够全面量化一个三维高斯分布在整个观测数据集的所有视角中作为关键图像贡献者的总体影响力,以便于为后续准确识别那些在多个视角下均占据显著投影区域、可能导致冗余或模糊的模糊高斯提供了可靠的量化依据,从而使关键高斯的选取更为精准,有助于优化密度控制策略,提升三维场景重建的效率和质量。

[0097] 步骤203:基于所有重要高斯和所有模糊高斯得到关键高斯。

[0098] 下面对步骤201至步骤203进行详细描述。

[0099] 在一些实施例中,在完成了重要高斯的识别和模糊高斯的识别之后,系统会将这两类被识别出的高斯集合进行合并,以确定为后续处理流程(即进行高斯分裂和密集化)中所需要的关键高斯。

[0100] 通过以上步骤201至步骤203,通过选取每个像平面点上具有最大二维投影权重的三维高斯分布作为重要高斯,确保了对场景主要结构和颜色贡献最大的高斯被识别,再通过比较每个三维高斯分布的有效投影面积与预设面积阈值,识别出可能导致渲染模糊的模糊高斯,并将这两类高斯合并得到最终的关键高斯集合,能够全面地识别出对场景重建质

量和效率具有重要影响的高斯分布,既包括了对场景细节贡献大的高斯,也关注了可能影响渲染清晰度的高斯,从而为后续的密集化操作提供了更为精准和有针对性的输入,避免了对不重要或已足够精细区域的无效操作,进而有助于提升整体三维场景重建的效率和最终重建场景的质量。

[0101] 步骤103:对关键高斯进行高斯分裂,得到多个分裂高斯分布,并基于多个分裂高斯分布和多个三维高斯分布进行深度重初始化,得到多个稠密三维高斯分布。

[0102] 以下对步骤103进行详细描述。

[0103] 在确定关键高斯之后,系统将对选取的关键高斯执行高斯分裂操作,即将一个被识别为关键的三维高斯分布依据预设规则分裂成多个尺寸更小、数量更多的分裂高斯分布,以此在关键区域增加高斯基元的数量和密度,从而提升场景模型的细节表达能力。然后,系统会利用由当前所有三维高斯分布(包括原有的未分裂的三维高斯分布和新生成的多个分裂高斯分布)所承载的深度信息,进行深度重初始化。该深度重初始化过程涉及从现有高斯分布中提取或估计深度图,再将此深度图根据相机参数重投影回三维空间生成新的点云,并用这些新的三维点来优化或重新初始化高斯分布的参数,从而生成更为密集的、能更精确捕捉场景几何细节的多个稠密三维高斯分布。

[0104] 下面将进一步描述如何对关键高斯进行高斯分裂。

[0105] 参照图4,对关键高斯进行高斯分裂,得到多个分裂高斯分布,包括以下步骤401至步骤404。

[0106] 步骤401:基于关键高斯的中心位置,得到分裂高斯分布的中心位置。

[0107] 步骤402:基于一与关键高斯的不透明度的差值,再进行开根处理,得到差值根,并基于一与差值根的差值,得到分裂高斯分布的不透明度。

[0108] 步骤403:基于两倍的分裂高斯分布的不透明度与分裂高斯分布的不透明度的平方的差值,再进行二次方倒数处理,得到分裂平方倒数。

[0109] 步骤404:基于分裂平方倒数、关键高斯的协方差矩阵以及关键高斯的不透明度的平方,得到分裂高斯分布的协方差矩阵。

[0110] 下面对步骤401至步骤404进行详细描述。

[0111] 在一些实施例中,针对于每个选定的对于关键高斯 G_i ,其包含不透明度 α_i ,中心位置 p_i ,世界空间中的协方差矩阵 Σ_i 。再将其进行分裂以生成多个分裂高斯分布(如 $G_{i,1}$ 与 $G_{i,2}$)时,新生成的分裂高斯分布的中心位置是基于关键高斯原有的中心位置来确定的,即 $p_{i,1} = p_{i,2} = p_i$ 。这意味着分裂高斯分布在三维空间中的初始定位将继承或紧密关联于其父级关键高斯的几何中心,确保了分裂操作在空间上的连续性和局部性。

[0112] 然后,为了确定分裂高斯分布的不透明度,首先计算一与关键高斯自身的不透明度之间的差值 $1 - \alpha_i$;然后,对这个差值结果执行开根(即平方根)处理,从而得到一个中间值 $\sqrt{1 - \alpha_i}$,即为差值根;之后,计算一与差值根之间的差值,该最终差值结果即被设定为分裂高斯分布的不透明度,即 $\alpha_{i,1} = \alpha_{i,2} = 1 - \sqrt{1 - \alpha_i}$ 。此步骤通过一系列精确的数学运算,从关键高斯的不透明度派生出其子代分裂高斯分布的不透明度参数。

[0113] 之后,为了计算分裂高斯分布的协方差矩阵,系统首先基于分裂高斯分布的不透明度的两倍,减去该分裂高斯分布的不透明度的平方与根号2的比值,得到一个基数,即

$2\alpha_{i,1} - \alpha_{i,1}^2/\sqrt{2}$;然后,对这个基数执行二次方倒数处理,即计算该基数的负二次方幂(或者理解为该基数平方的倒数),其结果便是分裂平方倒数,这个特定的计算步骤为后续协方差矩阵的调整提供了关键的缩放或调整因子;然后,基于分裂平方倒数、关键高斯的协方差矩阵以及关键高斯的不透明度的平方,得到分裂高斯分布的协方差矩阵,如以下公式(3)所示。

$$[0114] \quad \Sigma_{i,1} = \Sigma_{i,2} = \alpha_i^2 \left(2\alpha_{i,1} - \frac{\alpha_{i,1}^2}{\sqrt{2}} \right)^{-2} \Sigma_i \quad (3)$$

[0115] 通过以上步骤401至步骤404,确保了分裂后高斯在空间位置上的继承性,并通过特定的数学变换为分裂高斯分布设定了新的不透明度,再基于一种关键高斯原有参数及分裂高斯分布新不透明度的协方差矩阵计算方法,能够在识别出的关键区域增加三维高斯基元的数量,并通过对新生成高斯的中心位置、不透明度以及协方差矩阵的细致设定,有助于在保持场景结构连续性的同时,提升局部细节的表达能力,为后续生成高质量、高精度的稠密三维高斯分布和最终重建场景奠定基础。

[0116] 下面将进一步描述如何基于深度重初始化。

[0117] 参照图5,基于多个分裂高斯分布和多个三维高斯分布进行深度重初始化,得到多个稠密三维高斯分布,包括以下步骤501至步骤503。

[0118] 步骤501:获取每个像平面点对应的重要高斯对应的高斯分布深度。

[0119] 步骤502:基于所有高斯分布深度得到深度图。

[0120] 步骤503:基于深度图,将多个分裂高斯分布和多个三维高斯分布重投影至坐标系中,得到多个稠密三维高斯分布。

[0121] 下面对步骤501至步骤503进行详细描述。

[0122] 在一些实施例中为了利用场景的深度信息来优化和密集化高斯分布,系统首先需要获取每一个像平面点 \mathbf{x} (即图像像素)所对应的重要高斯 $\mathbf{G}_{i_{\max}}$ (即如以上步骤201中所示的为每个像平面点识别出的贡献最大的那个三维高斯分布)的高斯分布深度 $d_{i_{\max}}(\mathbf{x})$ 。该高斯分布深度是指该重要高斯的中心点在对应相机视角下的深度值,即其沿相机视线方向到相机中心的距离,即重要高斯 $\mathbf{G}_{i_{\max}}$ 的中心 $\mathbf{p}_{i_{\max}}$ 到相机的深度直接表示。这个过程相当于从当前场景的三维高斯表示中提取出每个像素点最相关的深度信息。

[0123] 在获取了所有(或选定)像平面点对应的高斯分布深度之后,系统将基于所有这些获取到的高斯分布深度值来生成一张或多张深度图。深度图是一种二维图像,其每个像素的值代表了场景中对应点在该相机视角下的深度信息。通过汇集所有高斯分布深度,可以为每个视角构建一个完整的、由高斯表示推断出来的场景深度图像,即 $\mathbf{d}(\mathbf{x}) = d_{i_{\max}}(\mathbf{x})$ 。

[0124] 接下来,利用生成的深度图,对当前场景中存在的所有三维高斯分布,即包括新生成的多个分裂高斯分布以及原有的多个三维高斯分布(未被分裂或分裂前的其他三维高斯分布),执行重投影至坐标系中的操作。这个重投影过程意味着将深度图中的深度信息反向投影回三维世界坐标系,形成一组三维点云。然后,系统会利用这些新生成的、更稠密且更贴近真实场景表面的三维点云,来重新初始化或调整现有三维高斯分布(即多个分裂高斯分布和多个三维高斯分布)的参数,特别是其中心位置,使其更精确地对齐到由深度图所指示的场景表面。通过这种基于深度信息的优化调整,最终得到的是一组数量更多、分布更合理、能更精细地捕捉场景几何细节的多个稠密三维高斯分布。

[0125] 通过以上步骤501至步骤503,首先从重要高斯中提取高斯分布深度,然后基于这

些深度信息构建深度图,最后利用该深度图将所有现存的三维高斯分布(包括分裂产生的新高斯和原有的高斯)重投影至坐标系中,以优化其参数并生成稠密三维高斯分布,有效地将从高斯表示中提取的场景几何先验(深度信息)反哺回高斯参数的优化过程中,使得高斯基元能够更紧密地贴合场景的真实表面结构,有助于修正因初始稀疏点云或分裂操作可能引入的几何偏差,还能在保持细节的同时增加高斯分布的密度和覆盖的完整性,从而为后续高质量的三维场景重建提供了更为坚实和精确的几何基础,最终得到的多个稠密三维高斯分布能够更准确地表征目标场景。

[0126] 步骤104:基于多个稠密三维高斯分布的二维投影权重从多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布,并基于多个保留高斯分布进行场景重建,得到与目标场景匹配的重建场景。

[0127] 以下对步骤104进行详细描述。

[0128] 在一些实施例中,在生成多个稠密三维高斯分布之后,为了获得一个既高效又精确的最终场景表示,系统会再次基于这些稠密三维高斯分布各自的二维投影权重,从中选取对最终场景表达最为重要或贡献最大的多个保留高斯分布,以去除对场景贡献较小或冗余的稠密三维高斯分布,实现模型的精简化,降低存储和渲染开销。最终,系统利用这些经过精心筛选的多个保留高斯分布来完成三维场景的重建过程,即通过优化这些保留高斯分布的参数直至收敛,生成一个与目标场景高度匹配且表示更为高效紧凑的重建场景。

[0129] 下面将进一步描述如何选取多个保留高斯分布。

[0130] 参照图6,基于多个稠密三维高斯分布的二维投影权重从多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布,包括以下步骤601至步骤605。

[0131] 步骤601:在每个像平面点对应的多个稠密三维高斯分布中,选取最大的二维投影权重对应的稠密三维高斯分布作为像平面点对应的第一保留高斯分布。

[0132] 步骤602:对每个稠密三维高斯分布在每个视角对应的二维投影权重进行累加,得到每个稠密三维高斯分布的高斯重要性。

[0133] 步骤603:累加所有高斯重要性,得到重要性总和,并基于每个高斯重要性与重要性总和的比值,得到每个稠密三维高斯分布对应的采样概率。

[0134] 步骤604:基于采样概率对每个稠密三维高斯分布进行采样选取,得到第二保留高斯分布。

[0135] 步骤605:基于第一保留高斯分布和第二保留高斯分布得到保留高斯分布。

[0136] 下面对步骤601至步骤605进行详细描述。

[0137] 在一些实施例中,为了从经过密集化处理后得到的多个稠密三维高斯分布中初步筛选出对场景视觉贡献最为直接和显著的部分,系统会针对每一个像平面点 \mathbf{x} (即每一射线或者是每一像素坐标 \mathbf{x})进行分析。在每一个像平面点 \mathbf{x} ,一般都存在多个稠密三维高斯分布对其投影产生影响,系统会比较这些稠密三维高斯分布各自的二维投影权重,并从中选取具有最大的二维投影权重的那一个稠密三维高斯分布,将其标识为该像平面点对应的第一保留高斯分布,即对应索引 $i_{\max} = \operatorname{argmax}_i w_i$ 的三维高斯分布 $\mathbf{G}_{i_{\max}}$,以确保了对于图像中的每个像素位置,其主要贡献者(即颜色信息的主要来源)被优先保留下来。

[0138] 为了更全面地评估每一个稠密三维高斯分布对整个场景重建的整体重要性,而不仅仅是其在单个像素上的最大贡献,系统会对每一个稠密三维高斯分布 \mathbf{G}_i ,将其在每一个

可用的相机视角下、在所有其有贡献的像平面点上对应的二维投影权重 w_i 进行累加。这个对一个稠密三维高斯分布在所有视角和所有相关像素上的二维投影权重的总和,被定义为该稠密三维高斯分布的高斯重要性 I_i 。这个高斯重要性值越高,表明该稠密三维高斯分布在多个视角下对场景的整体视觉呈现贡献越大。

[0139] 在计算出每一个稠密三维高斯分布 G_i 的高斯重要性 I_i 之后,系统首先会累加所有这些高斯重要性值 I_i ,从而得到一个全局的重要性总和 $\sum I_i$,该总和代表了当前所有稠密三维高斯分布对场景的总贡献量。然后,对于每一个稠密三维高斯分布 G_i ,系统会将其自身的高斯重要性与这个重要性总和相除,计算得到一个比值 $P_i = I_i / \sum I_i$ 。这个比值即被确定为该稠密三维高斯分布 G_i 所对应的采样概率 P_i ,它反映了该高斯相对于其他所有高斯的重要性程度,并用于后续的随机采样过程。

[0140] 之后,利用每一个稠密三维高斯分布 G_i 的采样概率 P_i ,对这些稠密三维高斯分布进行一次采样选取过程。这意味着每个稠密三维高斯分布都有一定的概率被选中保留,其被选中的概率与其自身的采样概率成正比。通过这种基于重要性的概率采样方法,系统能够从大量的稠密三维高斯分布中挑选出一部分,形成第二保留高斯分布集合。这种方法倾向于保留那些高斯重要性值较高的稠密三维高斯分布,同时也给予重要性较低的高斯一定的保留机会,以维持场景表示的完整性。如,根据采样概率,预设稀疏高斯模型的高斯数(如10000),或与原稠密高斯的比例(如50%),保留采样所得高斯,以完成采样,从而得到多个第二保留高斯分布。

[0141] 最后,通过整合前述两种筛选策略所得到的第一保留高斯分布和第二保留高斯分布的并集,确保了既保留了对每个像素点直接贡献最大的高斯,也保留了那些在整体上具有较高重要性的高斯,从而得到一个既能保证细节又能体现全局重要性的精简高斯集合。

[0142] 通过以上步骤601至步骤605,确保了对每个像素点视觉贡献最大的高斯被直接保留,再引入了一种基于全局重要性的概率采样机制,全面评估并保留对整体场景贡献显著的高斯,这种双重保障的选取机制,能够在有效减少三维高斯分布数量、降低模型冗余度和计算复杂度的同时,最大限度地保留对场景重建质量至关重要的信息,最终得到的保留高斯分布能够以更紧凑的表示实现高质量的三维场景重建,提升了重建效率和最终模型的实用性。

[0143] 参照图7,是本申请实施例提供的一种高斯密集化再稀疏化的流程示意图。如图7中所示,展示了本发明实施例提供的一种基于三维高斯的高效场景重建方法的核心流程。该方法以稀疏点云(或由此初始化的多个三维高斯分布)作为初始输入;随后,通过“密集化”过程(即基于三维高斯分布的二维投影权重选取关键高斯,然后对关键高斯进行高斯分裂得到多个分裂高斯分布,并基于多个分裂高斯分布和多个三维高斯分布进行深度重初始化),从而得到附图7中所示的“稠密高斯”。接着,对这些“稠密高斯”执行“精简化”操作(即基于多个稠密三维高斯分布的二维投影权重从多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布的过程),最终得到用于场景重建的、数量经过优化的“稀疏高斯”,从而实现高效且高质量的三维场景重建,解决了现有技术因固定密度控制策略导致的重建效率较低的问题。

[0144] 参照图8,基于二维投影权重从多个三维高斯分布中选取关键高斯之前,三维高斯的场景重建方法还包括以下步骤801;且在基于多个稠密三维高斯分布的二维投影权重从

多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布之前,三维高斯的场景重建方法还包括以下步骤802。

[0145] 步骤801:在每次迭代过程中,基于当前迭代次数对应的多个三维高斯分布进行图像渲染,得到渲染图像,并基于渲染图像与目标场景的真实图像之间的差值,对多个三维高斯分布的不透明度、中心位置以及协方差矩阵进行更新,直至当前迭代次数达到第一预设迭代次数。

[0146] 步骤802:在每次迭代过程中,基于当前迭代次数对应的多个稠密三维高斯分布进行图像渲染,得到稠密渲染图像,并基于稠密渲染图像与真实图像之间的差值,对多个稠密三维高斯分布的不透明度、中心位置以及协方差矩阵进行更新,直至当前迭代次数达到第二预设迭代次数。

[0147] 下面对步骤801至步骤802进行详细描述。

[0148] 在一些实施例中,在执行基于二维投影权重 w_i 从多个三维高斯分布中选取关键高斯的操作之前,还会对初始获取的多个三维高斯分布 G_i 进行多次迭代优化。具体而言,在每一次迭代过程中,系统会基于当前迭代次数 n 对应的多个三维高斯分布进行图像渲染,即利用这些三维高斯分布通过可微分渲染管线生成一张或多张从特定虚拟相机视角的渲染图像。随后,系统会计算该渲染图像与目标场景在对应视角下的真实图像(通常是输入的原始照片或视频帧)之间的差值(其通过常用的损失函数来量化),用以衡量当前三维高斯分布表示与真实场景的吻合程度。基于这个差值,系统会通过反向传播和优化算法(如梯度下降)对多个三维高斯分布的参数,即它们各自的不透明度、中心位置以及协方差矩阵,进行调整和更新,以期减小该差值。这个迭代的渲染、比较和更新过程会持续进行,直至当前迭代次数 n 达到一个预先设定的第一预设迭代次数(如100或者200),从而得到一组经过初步优化的多个三维高斯分布,为后续关键高斯的选取提供更准确的基础;然后再进行一次稠密化的过程,即每执行100或者200次迭代优化过程,再执行一次稠密化处理。

[0149] 在基于多个稠密三维高斯分布的二维投影权重从多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布的操作之前,三维高斯的场景重建方法还会对经过高斯分裂和深度重初始化后得到的多个稠密三维高斯分布执行另一次迭代优化。与步骤801类似,在每一次迭代过程中,系统会基于当前迭代次数 n 对应的多个稠密三维高斯分布进行图像渲染,生成稠密渲染图像。然后,系统会计算该稠密渲染图像与真实图像之间的差值。基于此差值,系统同样会对多个稠密三维高斯分布的不透明度、中心位置以及协方差矩阵进行更新和优化。这个迭代优化过程会持续进行,直至当前迭代次数 n 达到一个预先设定的第二预设迭代次数(如3003或者8000)。此步骤旨在进一步精炼这些稠密化后的高斯分布,使其能更精确地拟合目标场景,为后续选取保留高斯以进行最终场景重建提供高质量的输入;然后再进行一次稠密化的过程,即每执行3000或者8000次迭代优化过程,再执行一次精简化处理。

[0150] 通过上述步骤801和步骤802,三维高斯的场景重建方法在关键的控制阶段(即选取关键高斯之前和选取保留高斯之前)对高斯分布的参数进行了有效的调整和优化,确保了在进行最终精简和选取保留高斯之前,这些稠密高斯已经尽可能精确地表征了场景细节,使得高斯分布在整个重建流程中能够持续地、阶段性地向更优状态演进,显著提升了中间阶段高斯表示的质量,并最终提高了整体重建场景的准确性、完整性和视觉保真度。

[0151] 参照图9和图10,是本申请实施例提供的一种三维场景的采集图像数据的示意图

和三维场景的重建示意图。如图9和图10中所示,展示了本发明实施例所公开的三维高斯场景重建方法的关键阶段和最终效果。其中,图9示意了重建过程的输入端,展示了围绕目标场景(表现为初步的稀疏点云)分布的多个相机视角,这些视角对应于获取目标场景多视图图像的来源,并为后续从运动结构(SfM)生成稀疏点云及初始化多个三维高斯分布提供了基础。图10展示了应用本申请提供的三维高斯的场景重建方法后,最终得到的与目标场景匹配的高质量重建场景,该重建场景具有丰富的细节和逼真的视觉效果,直观地体现了本申请提供的三维高斯的场景重建方法在提高重建效率和场景质量方面的有益效果。

[0152] 本申请实施例提出的三维高斯的场景重建方法、装置、电子设备及存储介质,方法包括:首先,获取目标场景的多个三维高斯分布;然后,获取每个三维高斯分布的二维投影权重,并针对每个视角的像平面点,从像平面点对应的多个三维高斯分布中,选取最大的二维投影权重对应的三维高斯分布作为像平面点对应的重要高斯,获取每个三维高斯分布在每个视角对应的二维投影结果,当三维高斯分布的二维投影结果与重要高斯对应的二维投影结果一致时,得到每个视角对应的有效投影值,累加所有视角的有效投影值,得到每个三维高斯分布的有效投影面积,并从多个三维高斯分布中选取有效投影面积超过预设面积阈值的三维高斯分布作为模糊高斯,基于所有重要高斯和所有模糊高斯得到关键高斯;接下来,基于关键高斯的中心位置,得到分裂高斯分布的中心位置,基于一与关键高斯的不透明度的差值,再进行开根处理,得到差值根,并基于一与差值根的差值,得到分裂高斯分布的不透明度,基于两倍的分裂高斯分布的不透明度与分裂高斯分布的不透明度的平方的差值,再进行二次方倒数处理,得到分裂平方倒数,基于分裂平方倒数、关键高斯的协方差矩阵以及关键高斯的不透明度的平方,得到分裂高斯分布的协方差矩阵,并获取每个像平面点对应的重要高斯对应的高斯分布深度,基于所有高斯分布深度得到深度图,基于深度图,将多个分裂高斯分布和多个三维高斯分布重投影至坐标系中,得到多个稠密三维高斯分布;最后,在每个像平面点对应的多个稠密三维高斯分布中,选取最大的二维投影权重对应的稠密三维高斯分布作为像平面点对应的第一保留高斯分布,对每个稠密三维高斯分布在每个视角对应的二维投影权重进行累加,得到每个稠密三维高斯分布的高斯重要性,累加所有高斯重要性,得到重要性总和,并基于每个高斯重要性与重要性总和的比值,得到每个稠密三维高斯分布对应的采样概率,基于采样概率对每个稠密三维高斯分布进行采样选取,得到第二保留高斯分布,基于第一保留高斯分布和第二保留高斯分布得到保留高斯分布,并基于多个保留高斯分布进行场景重建,得到与目标场景匹配的重建场景。

[0153] 本申请实施例首先基于三维高斯分布的二维投影权重智能选取对场景表达贡献显著或可能造成模糊的关键高斯,然后对这些关键高斯进行针对性的高斯分裂并结合深度信息进行重初始化以实现有效的密集化,最后再基于稠密三维高斯分布的二维投影权重选取重要的保留高斯以进行精简化和最终场景重建,利用动态且基于数据重要性驱动密度调整策略,有效克服了采用预先设定的固定密度控制策略在处理复杂且数量繁多的三维高斯分布时,难以进行合适密度控制的局限性,使得能够更精确地在需要细节的区域增加高斯密度,同时在冗余区域去除不必要的高斯,避免了盲目调整带来的计算浪费和表示冗余,从而显著提高了三维场景重建的整体效率和最终重建场景的紧凑性与质量;并且,通过选取每个像平面点上具有最大二维投影权重的三维高斯分布作为重要高斯,确保了对场景主要结构和颜色贡献最大的高斯被识别,再通过比较每个三维高斯分布的有效投影面积与预

设面积阈值,识别出可能导致渲染模糊的模糊高斯,并将这两类高斯合并得到最终的关键高斯集合,能够全面地识别出对场景重建质量和效率具有重要影响的高斯分布,既包括了对场景细节贡献大的高斯,也关注了可能影响渲染清晰度的高斯,从而为后续的密集化操作提供了更为精准和有针对性的输入,避免了对不重要或已足够精细区域的无效操作,进而有助于提升整体三维场景重建的效率和最终重建场景的质量;以及,确保了分裂后高斯在空间位置上的继承性,并通过特定的数学变换为分裂高斯分布设定了新的不透明度,再基于一种关键高斯原有参数及分裂高斯分布新不透明度的协方差矩阵计算方法,能够在识别出的关键区域增加三维高斯基元的数量,并通过对新生成高斯的中心位置、不透明度以及协方差矩阵的细致设定,有助于在保持场景结构连续性的同时,提升局部细节的表达力,为后续生成高质量、高精度的稠密三维高斯分布和最终重建场景奠定基础;另外,首先从重要高斯中提取高斯分布深度,然后基于这些深度信息构建深度图,最后利用该深度图将所有现存的三维高斯分布(包括分裂产生的新高斯和原有的高斯)重投影至坐标系中,以优化其参数并生成稠密三维高斯分布,有效地将从高斯表示中提取的场景几何先验(深度信息)反哺回高斯参数的优化过程中,使得高斯基元能够更紧密地贴合场景的真实表面结构,有助于修正因初始稀疏点云或分裂操作可能引入的几何偏差,还能在保持细节的同时增加高斯分布的密度和覆盖的完整性,从而为后续高质量的三维场景重建提供了更为坚实和精确的几何基础,最终得到的多个稠密三维高斯分布能够更准确地表征目标场景;此外,确保了对每个像素点视觉贡献最大的高斯被直接保留,再引入了一种基于全局重要性的概率采样机制,全面评估并保留对整体场景贡献显著的高斯,这种双重保障的选取机制,能够在有效减少三维高斯分布数量、降低模型冗余度和计算复杂度的同时,最大限度地保留对场景重建质量至关重要的信息,最终得到的保留高斯分布能够以更紧凑的表示实现高质量的三维场景重建,提升了重建效率和最终模型的实用性。

[0154] 本申请实施例还提供一种三维高斯的场景重建装置,可以实现上述三维高斯的场景重建方法,参照图11,该装置1100包括:

[0155] 高斯获取模块1110,用于获取目标场景的三维高斯分布,三维高斯分布包括多个三维高斯分布;

[0156] 关键高斯筛选模块1120,用于获取每个三维高斯分布的二维投影权重,并基于二维投影权重从多个三维高斯分布中选取关键高斯;

[0157] 高斯稠密化模块1130,用于对关键高斯进行高斯分裂,得到多个分裂高斯分布,并基于多个分裂高斯分布和多个三维高斯分布进行深度重初始化,得到稠密三维高斯分布,稠密三维高斯分布包括多个稠密三维高斯分布;

[0158] 高斯稀疏化模块1140,用于基于多个稠密三维高斯分布的二维投影权重从多个稠密三维高斯分布中选取多个保留高斯分布,并基于多个保留高斯分布进行场景重建,得到与目标场景匹配的重建场景。

[0159] 在一些实施例中,关键高斯筛选模块1120还用于:

[0160] 针对每个视角的像平面点,从像平面点对应的多个三维高斯分布中,选取最大的二维投影权重对应的三维高斯分布作为像平面点对应的重要高斯;

[0161] 获取每个三维高斯分布的有效投影面积,并从多个三维高斯分布中选取有效投影面积超过预设面积阈值的三维高斯分布作为模糊高斯;

- [0162] 基于所有重要高斯和所有模糊高斯得到关键高斯。
- [0163] 在一些实施例中,关键高斯筛选模块1120还用于:
- [0164] 获取每个三维高斯分布在每个视角对应的二维投影结果;
- [0165] 当三维高斯分布的二维投影结果与重要高斯对应的二维投影结果一致时,得到每个视角对应的有效投影值;
- [0166] 累加所有视角的有效投影值,得到每个三维高斯分布的有效投影面积。
- [0167] 在一些实施例中,高斯稠密化模块1130还用于:
- [0168] 基于关键高斯的中心位置,得到分裂高斯分布的中心位置;
- [0169] 基于一与关键高斯的不透明度的差值,再进行开根处理,得到差值根,并基于一与差值根的差值,得到分裂高斯分布的不透明度;
- [0170] 基于两倍的分裂高斯分布的不透明度与分裂高斯分布的不透明度的平方的差值,再进行二次方倒数处理,得到分裂平方倒数;
- [0171] 基于分裂平方倒数、关键高斯的协方差矩阵以及关键高斯的不透明度的平方,得到分裂高斯分布的协方差矩阵。
- [0172] 在一些实施例中,高斯稠密化模块1130还用于:
- [0173] 获取每个像平面点对应的重要高斯对应的高斯分布深度;
- [0174] 基于所有高斯分布深度得到深度图;
- [0175] 基于深度图,将多个分裂高斯分布和多个三维高斯分布重投影至坐标系中,得到多个稠密三维高斯分布。
- [0176] 在一些实施例中,高斯稀疏化模块1140还用于:
- [0177] 在每个像平面点对应的多个稠密三维高斯分布中,选取最大的二维投影权重对应的稠密三维高斯分布作为像平面点对应的第一保留高斯分布;
- [0178] 对每个稠密三维高斯分布在每个视角对应的二维投影权重进行累加,得到每个稠密三维高斯分布的高斯重要性;
- [0179] 累加所有高斯重要性,得到重要性总和,并基于每个高斯重要性与重要性总和的比值,得到每个稠密三维高斯分布对应的采样概率;
- [0180] 基于采样概率对每个稠密三维高斯分布进行采样选取,得到第二保留高斯分布;
- [0181] 基于第一保留高斯分布和第二保留高斯分布得到保留高斯分布。
- [0182] 在一些实施例中,三维高斯的场景重建装置1100还包括高斯优化模块1150,高斯优化模块1150用于:
- [0183] 在每次迭代过程中,基于当前迭代次数对应的多个三维高斯分布进行图像渲染,得到渲染图像,并基于渲染图像与目标场景的真实图像之间的差值,对多个三维高斯分布的不透明度、中心位置以及协方差矩阵进行更新,直至当前迭代次数达到第一预设迭代次数;
- [0184] 在每次迭代过程中,基于当前迭代次数对应的多个稠密三维高斯分布进行图像渲染,得到稠密渲染图像,并基于稠密渲染图像与真实图像之间的差值,对多个稠密三维高斯分布的不透明度、中心位置以及协方差矩阵进行更新,直至当前迭代次数达到第二预设迭代次数。
- [0185] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述的部

分,三维高斯的场景重建装置的具体实施方式与上述三维高斯的场景重建方法的具体实施方式基本一致,此处不再赘述。

[0186] 本申请实施例中,三维高斯的场景重建装置首先基于三维高斯分布的二维投影权重智能选取对场景表达贡献显著或可能造成模糊的关键高斯,然后对这些关键高斯进行针对性的高斯分裂并结合深度信息进行重初始化以实现有效的密集化,最后再基于稠密三维高斯分布的二维投影权重选取重要的保留高斯以进行精简化和最终场景重建,利用动态且基于数据重要性驱动密度调整策略,有效克服了采用预先设定的固定密度控制策略在处理复杂且数量繁多的三维高斯分布时,难以进行合适密度控制的局限性,使得能够更精确地在需要细节的区域增加高斯密度,同时在冗余区域去除不必要的高斯,避免了盲目调整带来的计算浪费和表示冗余,从而显著提高了三维场景重建的整体效率和最终重建场景的紧凑性与质量;并且,通过选取每个像平面上具有最大二维投影权重的三维高斯分布作为重要高斯,确保了对场景主要结构和颜色贡献最大的高斯被识别,再通过比较每个三维高斯分布的有效投影面积与预设面积阈值,识别出可能导致渲染模糊的模糊高斯,并将这两类高斯合并得到最终的关键高斯集合,能够全面地识别出对场景重建质量和效率具有重要影响的高斯分布,既包括了对场景细节贡献大的高斯,也关注了可能影响渲染清晰度的高斯,从而为后续的密集化操作提供了更为精准和有针对性的输入,避免了对不重要或已足够精细区域的无效操作,进而有助于提升整体三维场景重建的效率和最终重建场景的质量;以及,确保了分裂后高斯在空间位置上的继承性,并通过特定的数学变换为分裂高斯分布设定了新的不透明度,再基于一种关键高斯原有参数及分裂高斯分布新不透明度的协方差矩阵计算方法,能够在识别出的关键区域增加三维高斯基元的数量,并通过对新生成高斯的中心位置、不透明度以及协方差矩阵的细致设定,有助于在保持场景结构连续性的同时,提升局部细节的表达能力,为后续生成高质量、高精度的稠密三维高斯分布和最终重建场景奠定基础;另外,首先从重要高斯中提取高斯分布深度,然后基于这些深度信息构建深度图,最后利用该深度图将所有现存的三维高斯分布(包括分裂产生的新高斯和原有的高斯)重投影至坐标系中,以优化其参数并生成稠密三维高斯分布,有效地将从高斯表示中提取的场景几何先验(深度信息)反哺回高斯参数的优化过程中,使得高斯基元能够更紧密地贴合场景的真实表面结构,有助于修正因初始稀疏点云或分裂操作可能引入的几何偏差,还能在保持细节的同时增加高斯分布的密度和覆盖的完整性,从而为后续高质量的三维场景重建提供了更为坚实和精确的几何基础,最终得到的多个稠密三维高斯分布能够更准确地表征目标场景;此外,确保了对每个像素点视觉贡献最大的高斯被直接保留,再引入了一种基于全局重要性的概率采样机制,全面评估并保留对整体场景贡献显著的高斯,这种双重保障的选取机制,能够在有效减少三维高斯分布数量、降低模型冗余度和计算复杂度的同时,最大限度地保留对场景重建质量至关重要的信息,最终得到的保留高斯分布能够以更紧凑的表示实现高质量的三维场景重建,提升了重建效率和最终模型的实用性。

[0187] 本申请实施例还提供了一种电子设备,包括:

[0188] 至少一个存储器;

[0189] 至少一个处理器;

[0190] 至少一个程序;

[0191] 所述程序被存储在存储器中,处理器执行所述至少一个程序以实现本申请实施上

述的三维高斯的场景重建方法。该电子设备可以为包括手机、平板电脑、个人数字助理(Personal Digital Assistant,简称PDA)、车载电脑等任意智能终端。

[0192] 请参阅图12,图12示意了另一实施例的电子设备的硬件结构,电子设备包括:

[0193] 处理器1201,可以采用通用的CPU(CentralProcessingUnit,中央处理器)、微处理器、应用专用集成电路(ApplicationSpecificIntegratedCircuit,ASIC)、或者一个或多个集成电路等方式实现,用于执行相关程序,以实现本申请实施例所提供的技术方案;

[0194] 存储器1202,可以采用ROM(ReadOnlyMemory,只读存储器)、静态存储设备、动态存储设备或者RAM(RandomAccessMemory,随机存取存储器)等形式实现。存储器1202可以存储操作系统和其他应用程序,在通过软件或者固件来实现本说明书实施例所提供的技术方案时,相关的程序代码保存在存储器1202中,并由处理器1201来调用执行本申请实施例的三维高斯的场景重建方法;

[0195] 输入/输出接口1203,用于实现信息输入及输出;

[0196] 通信接口1204,用于实现本设备与其他设备的通信交互,可以通过有线方式(例如USB、网线等)实现通信,也可以通过无线方式(例如移动网络、WIFI、蓝牙等)实现通信;

[0197] 总线1205,在设备的各个组件(例如处理器1201、存储器1202、输入/输出接口1203和通信接口1204)之间传输信息;

[0198] 其中处理器1201、存储器1202、输入/输出接口1203和通信接口1204通过总线1205实现彼此之间在设备内部的通信连接。

[0199] 本申请实施例还提供了一种存储介质,存储介质为计算机可读存储介质,该存储介质存储有计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现上述三维高斯的场景重建方法。

[0200] 存储器作为一种非暂态计算机可读存储介质,可用于存储非暂态软件程序以及非暂态性计算机可执行程序。此外,存储器可以包括高速随机存取存储器,还可以包括非暂态存储器,例如至少一个磁盘存储器件、闪存器件、或其他非暂态固态存储器件。在一些实施方式中,存储器可选包括相对于处理器远程设置的存储器,这些远程存储器可以通过网络连接至该处理器。上述网络的实例包括但不限于互联网、企业内部网、局域网、移动通信网及其组合。

[0201] 本申请实施例描述的实施例是为了更加清楚的说明本申请实施例的技术方案,并不构成对于本申请实施例提供的技术方案的限定,本领域技术人员可知,随着技术的演变和新应用场景的出现,本申请实施例提供的技术方案对于类似的技术问题,同样适用。

[0202] 本领域技术人员可以理解的是,图中示出的技术方案并不构成对本申请实施例的限定,可以包括比图示更多或更少的步骤,或者组合某些步骤,或者不同的步骤。

[0203] 以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,其中作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。

[0204] 本领域普通技术人员可以理解,上文中所公开方法中的全部或某些步骤、系统、设备中的功能模块/单元可以被实施为软件、固件、硬件及其适当的组合。

[0205] 本申请的说明书及上述附图中的术语“第一”、“第二”、“第三”、“第四”等(如果存在)是用于区别类似的对象,而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的

数据在适当情况下可以互换,以便这里描述的本申请的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外,术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形,意图在于覆盖不排他的包含,例如,包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元,而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

[0206] 应当理解,在本申请中,“至少一个(项)”是指一个或者多个,“多个”是指两个或两个以上。“和/或”,用于描述关联对象的关联关系,表示可以存在三种关系,例如,“A和/或B”可以表示:只存在A,只存在B以及同时存在A和B三种情况,其中A,B可以是单数或者复数。字符“/”一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。“以下至少一项(个)”或其类似表达,是指这些项中的任意组合,包括单项(个)或复数项(个)的任意组合。例如,a,b或c中的至少一项(个),可以表示:a,b,c,“a和b”,“a和c”,“b和c”,或“a和b和c”,其中a,b,c可以是单个,也可以是多个。

[0207] 在本申请所提供的几个实施例中,应该理解到,所揭露的装置和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,例如,上述单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口,装置或单元的间接耦合或通信连接,可以是电性,机械或其它的形式。

[0208] 上述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

[0209] 另外,在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。

[0210] 集成的单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本申请的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的全部或部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括多指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行本申请各个实施例的方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(Read-Only Memory,简称ROM)、随机存取存储器(Random Access Memory,简称RAM)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序的介质。

[0211] 以上参照附图说明了本申请实施例的优选实施例,并非因此局限本申请实施例的权利范围。本领域技术人员不脱离本申请实施例的范围和实质内所作的任何修改、等同替换和改进,均应在本申请实施例的权利范围之内。

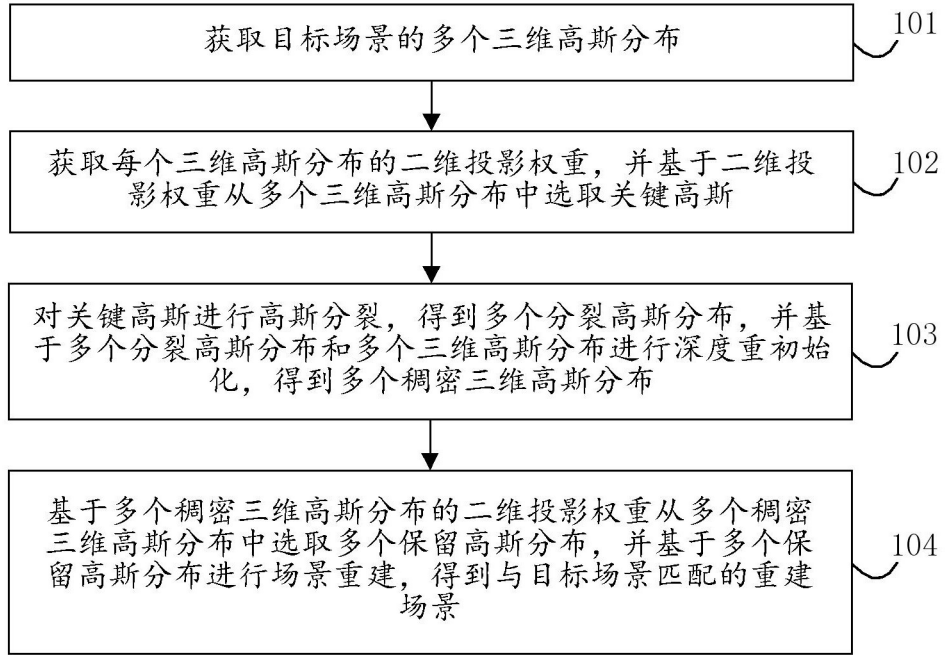


图1

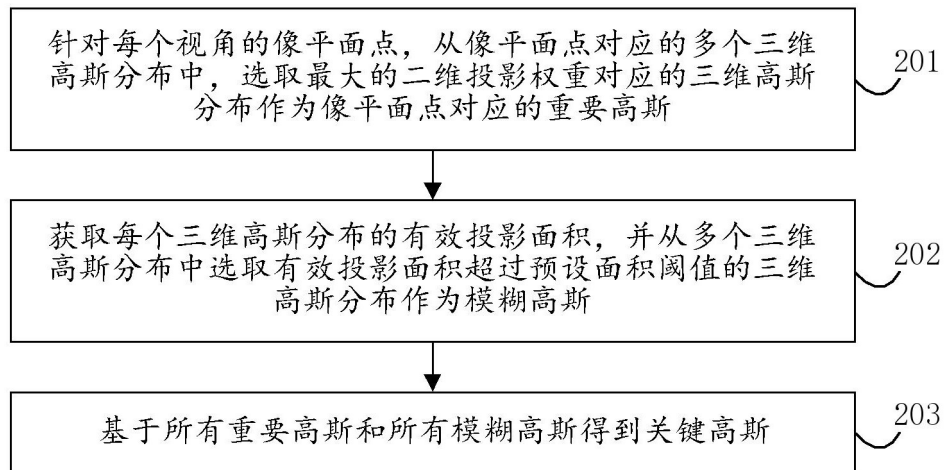


图2

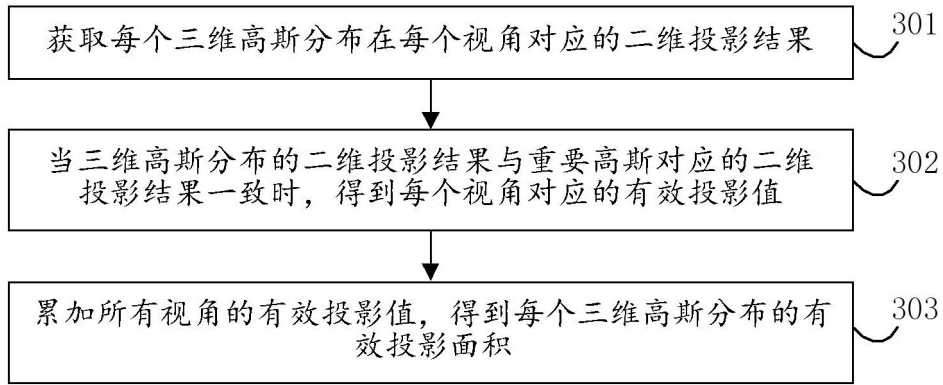


图3

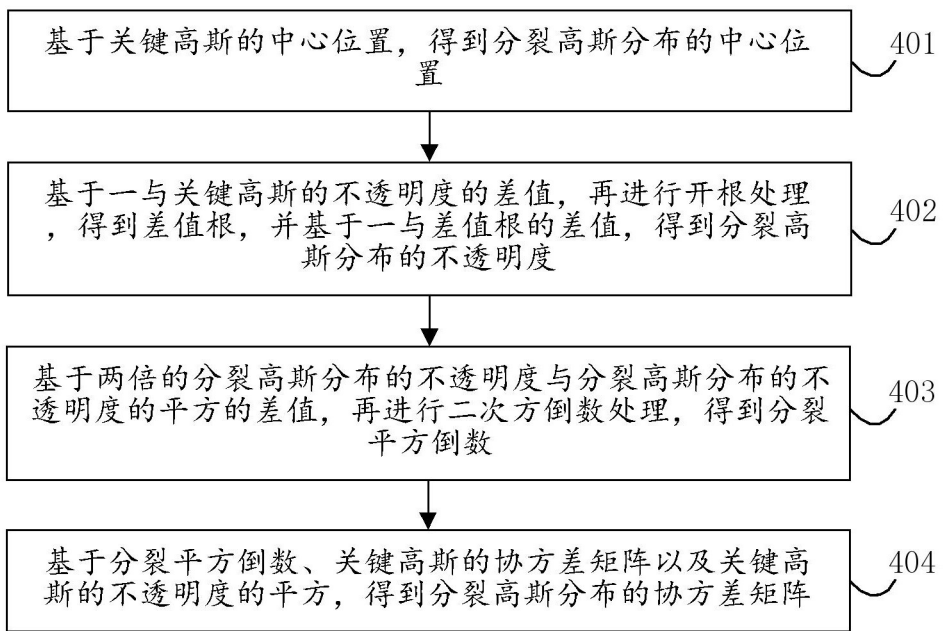


图4

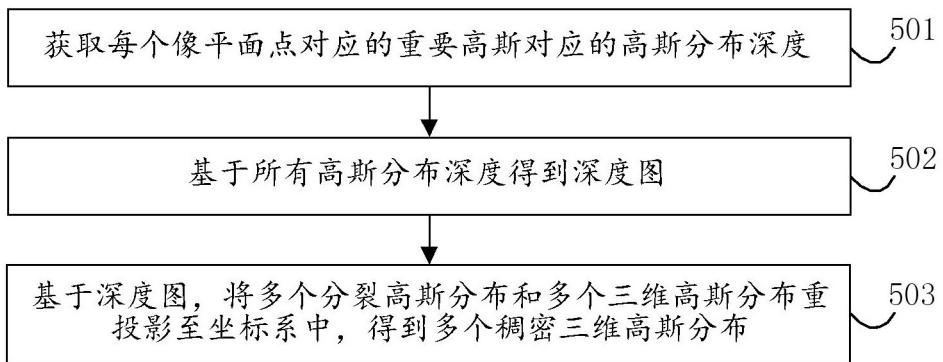


图5

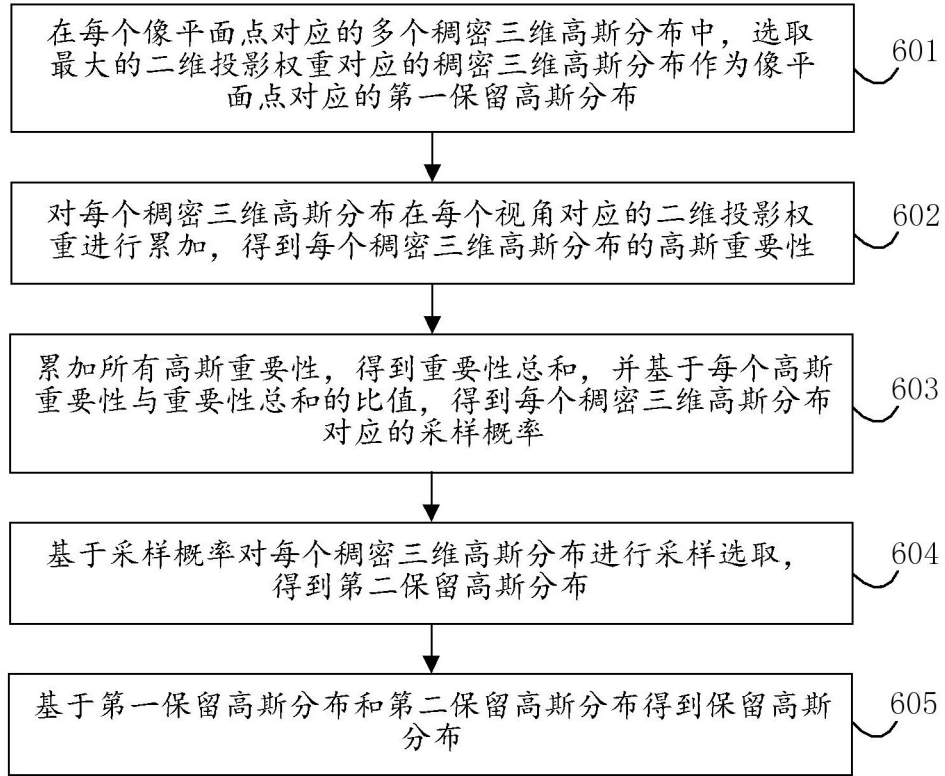


图6

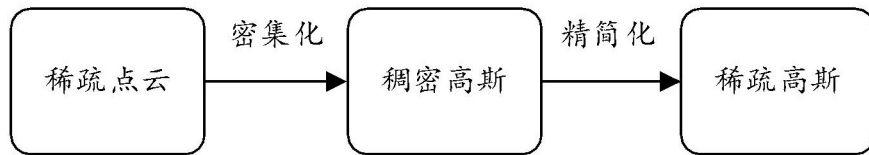


图7

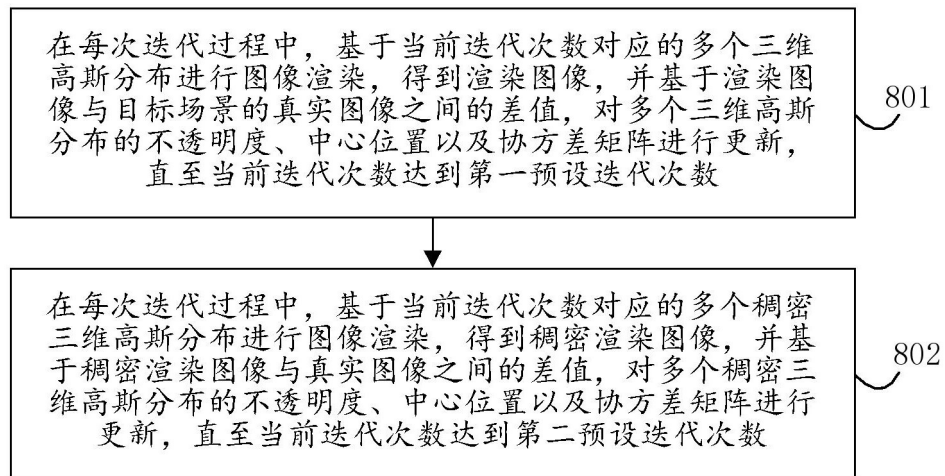


图8

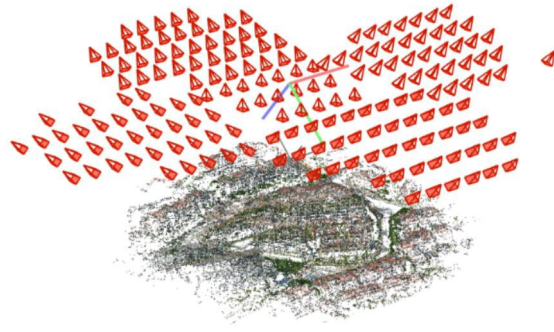


图9



图10

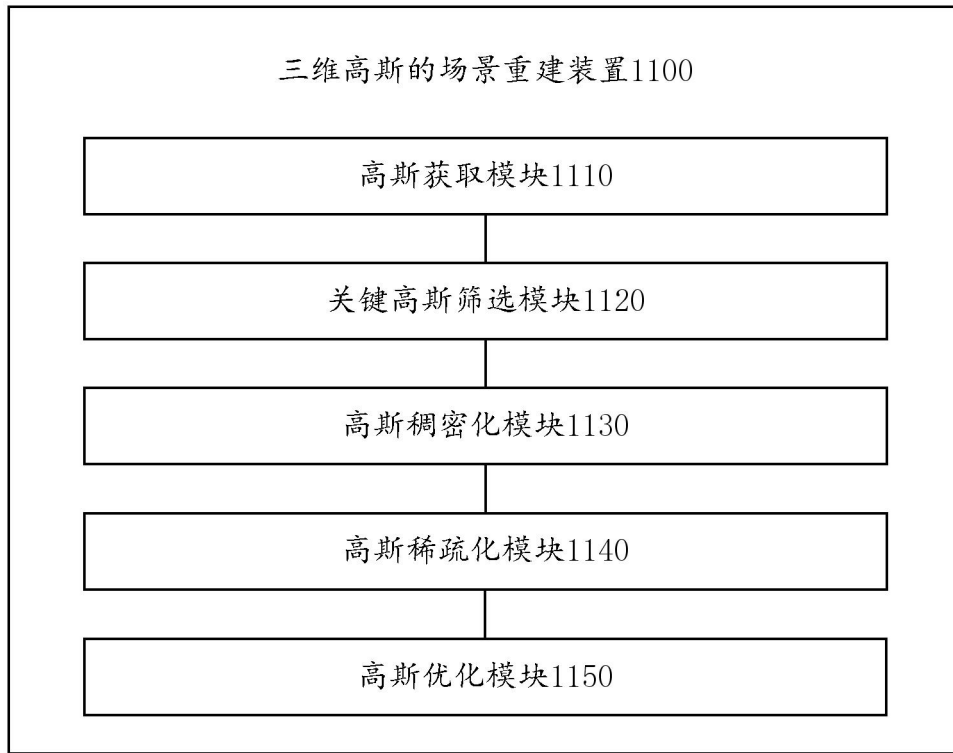


图11

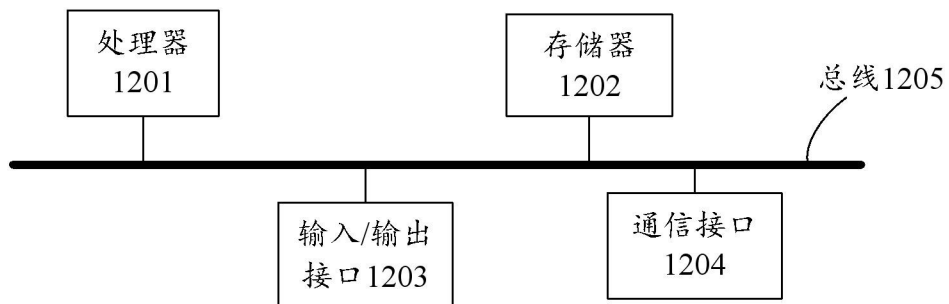


图12