



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114399610 A

(43) 申请公布日 2022. 04. 26

(21) 申请号 202210012054.4

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2022.01.06

G06T 17/20 (2006.01)

(30) 优先权数据

G06T 15/04 (2011.01)

17/159,300 2021.01.27 US

G06T 19/20 (2011.01)

(71) 申请人 北京沃东天骏信息技术有限公司
地址 100176 北京市大兴区北京经济技术
开发区科创十一街18号院2号楼4层
A402室
申请人 京东美国科技公司

(72) 发明人 严庆安 杜锋 郭复胜 刘享军
周辉

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021
代理人 杨静

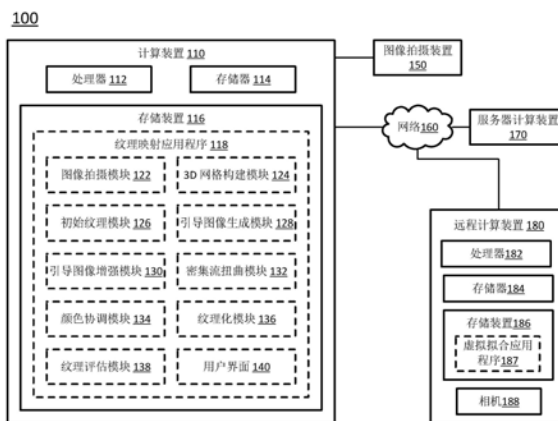
权利要求书4页 说明书18页 附图13页

(54) 发明名称

基于引导先验的纹理映射系统和方法

(57) 摘要

用于三维(three dimensional,3D)模型纹理化的系统,包括计算装置,该计算装置用于:指示相机拍摄对象的图像;基于图像构建对象的3D模型;使用图像的关键帧对3D模型进行纹理化,获得纹理化3D模型;通过将纹理化3D模型投影到关键帧的相机姿态生成引导图像;对于每个引导图像和关键帧对:基于其对应关系修改引导图像和关键帧,获得增强引导图像和扭曲图像,将增强引导图像和扭曲图像组合,获得协调图像,并将协调图像的颜色投影到3D模型,获得纹理化3D模型。



1. 一种三维3D模型纹理化系统,包括计算装置以及与所述计算装置通信的图像拍摄装置,所述计算装置包括处理器和存储有计算机可执行代码的存储装置,所述计算机可执行代码在所述处理器上执行时用于:

指示所述图像拍摄装置拍摄对象的多个图像,其中所述多个图像包括m个关键帧,m为正整数;

基于所述多个图像,构建所述对象的3D模型,并定义所述m个关键帧的相机姿态;

使用所述m个关键帧对所述3D模型进行初始纹理化,获得初始纹理化3D模型;

通过将所述初始纹理化3D模型投影到所述m个关键帧中相应关键帧的相机姿态,生成m个引导图像中的每个引导图像;以及

对于所述m个引导图像中的第i引导图像和所述m个关键帧中的第i关键帧:基于所述第i引导图像和所述第i关键帧的对应关系,修改所述第i引导图像和所述第i关键帧,以获得第i增强引导图像和第i扭曲图像;组合所述第i增强引导图像和所述第i扭曲图像,以获得第i协调图像,并将来自所述第i协调图像的颜色投影到所述3D模型,以获得纹理化3D模型。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述计算机可执行代码用于使用KinectFusion构建所述3D模型,以及使用基于混合的技术对所述3D模型进行初始纹理化。

3. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述计算机可执行代码用于通过以下方式修改所述第i引导图像和所述第i关键帧:

为所述第i引导图像中的每个像素在所述第i关键帧中搜索像素,并将所述第i引导图像中的每个像素的颜色替换为所述第i关键帧中对应像素的颜色,以获得所述第i增强引导图像;以及

基于所述第i增强引导图像,优化所述第i关键帧的密集流场,以获得所述第i扭曲图像。

4. 根据权利要求3所述的系统,其中,所述计算机可执行代码用于通过以下方式组合所述第i增强引导图像和所述第i扭曲图像:分别对所述第i引导图像和所述第i扭曲图像进行拉普拉斯金字塔处理,以获得六级第i引导金字塔和六级第i关键帧金字塔,并将所述第i关键帧金字塔的第六级替换为所述第i引导金字塔的第六级,以获得所述第i协调图像。

5. 根据权利要求4所述的系统,其中,所述在所述第i关键帧中搜索像素通过以下方式执行:

模糊所述第i关键帧,以获得第i模糊图像;以及

对于所述第i引导图像中的每个目标像素:

在所述第i引导图像中定义围绕所述目标像素的引导块;

在所述第i模糊图像中搜索与所述引导块最为匹配的模糊块,所述模糊块围绕模糊像素;以及

定义关键帧像素,其中,所述第i关键帧中所述关键帧像素的坐标与所述第i模糊图像中所述模糊像素的坐标相同,用所述关键帧像素的颜色替换所述第i引导图像中所述目标像素的颜色,以获得所述第i增强引导图像。

6. 根据权利要求5所述的系统,其中所述目标块的尺寸范围为 3×3 像素到 5×5 像素。

7. 根据权利要求6所述的系统,其中,在所述第i模糊图像中的搜索区域中进行所述搜索,所述搜索区域的尺寸范围为 $(20 \sim 100) \times (20 \sim 100)$ 个像素;所述搜索区域具有中心像

素,所述第*i*模糊图像中所述中心像素的坐标与所述第*i*引导图像中所述目标像素的坐标相同。

8. 根据权利要求7所述的系统,其中,所述搜索区域的尺寸为 50×50 像素。

9. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述计算机可执行代码用于对于所述3D模型的每个三角面,通过以下方式,将来自所述第*i*协调图像的颜色投影到所述3D模型,以获得所述纹理化3D模型:

确定包括与所述三角面对应区域的多个协调关键帧;

确定所述三角面的法线,所述法线通过所述三角面的中心点;

对于所述多个协调关键帧的每个协调关键帧:

连接所述三角面的中心点与对应所述协调关键帧的相机中心,以获得连线;

通过 $z_1 = \frac{90-\alpha}{90}$,计算方向分数 z_1 ,其中, α 为所述法线与所述连接线的夹角;

基于所述协调关键帧中的区域和边界之间的最小距离*d*计算距离分数,其中,当所述最小距离大于像素阈值*Th*时,所述距离分数为1;当所述最小距离*d*等于或小于所述像素阈值

时,所述距离分数为 $z_2 = \frac{d}{Th}$;以及

通过对所述方向分数和所述距离分数进行加权求和,计算总分数;以及

使用所述多个协调关键帧中总分数最高的协调关键帧对所述三角面进行纹理化。

10. 根据权利要求9所述的系统,其中,所述像素阈值为50,所述总分数*z*的计算公式为:
 $z = 0.6 \times z_2 + 0.4 \times z_1$ 。

11. 根据权利要求1所述的系统,还包括:

服务器计算装置,与所述计算装置通信,并用于存储所述纹理化3D模型;以及

远程计算装置,与所述服务器计算装置通信,并用于在接收到来自客户的指令以拟合具有所述纹理化3D模型的产品时:检索所述纹理化3D模型,并实时为所述客户拟合所述纹理化3D模型。

12. 一种三维3D模型纹理化方法,包括:

拍摄对象的多个图像,并将拍摄的所述多个图像传送至计算装置,其中所述多个图像包括*m*个关键帧,*m*为正整数;

基于所述多个图像,构建所述对象的3D模型,并定义所述*m*个关键帧的相机姿态;

使用所述*m*个关键帧对所述3D模型进行初始纹理化,获得初始纹理化3D模型;

通过将所述初始纹理化3D模型投影到所述*m*个关键帧中相应关键帧的相机姿态,生成*m*个引导图像中的每个引导图像;以及

对于所述*m*个引导图像中的第*i*引导图像和所述*m*个关键帧中的第*i*关键帧:基于所述第*i*引导图像和所述第*i*关键帧的对应关系,修改所述第*i*引导图像和所述第*i*关键帧,以获得第*i*增强引导图像和第*i*扭曲图像;组合所述第*i*增强引导图像和所述第*i*扭曲图像,以获得第*i*协调图像,并将来自所述第*i*协调图像的颜色投影到所述3D模型,以获得纹理化3D模型。

13. 根据权利要求12所述的方法,其中,使用KinectFusion构建所述3D模型,以及使用基于混合的技术对所述3D模型进行初始纹理化。

14. 根据权利要求12所述的方法,其中修改所述第*i*引导图像和所述第*i*关键帧,以及组合所述第*i*增强引导图像和所述第*i*扭曲图像包括:

为所述第*i*引导图像中的每个像素在所述第*i*关键帧中搜索像素,并将所述第*i*引导图像中的每个像素的颜色替换为所述第*i*关键帧中对应像素的颜色,以获得所述第*i*增强引导图像;

基于所述第*i*增强引导图像,优化所述第*i*关键帧的密集流场,以获得所述第*i*扭曲图像;以及

分别对所述第*i*引导图像和所述第*i*扭曲图像进行拉普拉斯金字塔处理,以获得六级第*i*引导金字塔和六级第*i*关键帧金字塔,并将所述第*i*关键帧金字塔的第六级替换为所述第*i*引导金字塔的第六级,以获得所述第*i*协调图像。

15. 根据权利要求14所述的方法,其中,在所述第*i*关键帧中搜索像素包括:

模糊所述第*i*关键帧,以获得第*i*模糊图像;以及

对于所述第*i*引导图像中的每个目标像素:

在所述第*i*引导图像中定义围绕所述目标像素的引导块;

在所述第*i*模糊图像中搜索与所述引导块最为匹配的模糊块,所述模糊块围绕模糊像素;以及

定义关键帧像素,其中,所述第*i*关键帧中所述关键帧像素的坐标与所述第*i*模糊图像中所述模糊像素的坐标相同,用所述关键帧像素的颜色替换所述第*i*引导图像中所述目标像素的颜色,以获得所述第*i*增强引导图像。

16. 根据权利要求15所述的方法,其中,所述目标块的尺寸范围为 3×3 像素到 5×5 像素,在所述第*i*模糊图像中的搜索区域中进行所述搜索,所述搜索区域的尺寸范围为 $(20 \sim 100) \times (20 \sim 100)$ 个像素;所述搜索区域具有中心像素,所述第*i*模糊图像中所述中心像素的坐标与所述第*i*引导图像中所述目标像素的坐标相同。

17. 根据权利要求12所述的方法,其中,将来自所述第*i*协调图像的颜色投影到所述3D模型,以获得所述纹理化3D模型包括,对于所述3D模型的每个三角面:

确定包括与所述三角面对应区域的多个协调关键帧;

确定所述三角面的法线,所述法线通过所述三角面中心点;

对于所述多个协调关键帧的每个协调关键帧:

连接所述三角面中心点与对应所述协调关键帧的相机中心,以获得连线;

通过 $z_1 = \frac{90-\alpha}{90}$,计算方向分数 z_1 ,其中, α 为所述法线与所述连接线的夹角;

基于所述协调关键帧中的区域和边界之间的最小距离 d 计算距离分数,其中,当所述最小距离大于像素阈值 Th 时,所述距离分数为1;当所述最小距离 d 等于或小于所述像素阈值

时,所述距离分数为 $z_2 = \frac{d}{Th}$;以及

通过对所述方向分数和所述距离分数进行加权求和,计算总分数;以及

使用所述多个协调关键帧中总分数最高的协调关键帧对所述三角面进行纹理化。

18. 根据权利要求17所述的方法,其中,所述像素阈值为50个像素,所述总分数 z 的计算公式为: $z = 0.6 \times z_1 + 0.4 \times z_2$ 。

19. 根据权利要求12所述的方法,还包括:

将所述纹理化3D模型存储到与所述计算装置通信的服务器计算装置;以及

在接收到来自客户的指令后,在与服务器计算装置通信的远程计算装置上拟合具有所

述纹理化3D模型的产品；检索所述纹理化3D模型，并实时为所述客户拟合所述纹理化3D模型。

20. 一种存储有计算机可执行代码的非瞬时性计算机可读介质，其中，所述计算机可执行代码在计算装置的处理器的处理器上执行时用于：

指示图像拍摄装置拍摄对象的多个图像，其中所述多个图像包括m个关键帧，m为正整数；

基于所述多个图像，构建所述对象的3D模型，并定义所述m个关键帧的相机姿态；

使用所述m个关键帧对所述3D模型进行初始纹理化，获得初始纹理化3D模型；

通过将所述初始纹理化3D模型投影到所述m个关键帧中相应关键帧的相机姿态，生成m个引导图像中的每个引导图像；以及

对于所述m个引导图像中的第i引导图像和所述m个关键帧中的第i关键帧：基于所述第i引导图像和所述第i关键帧的对应关系，修改所述第i引导图像和所述第i关键帧，以获得第i增强引导图像和第i扭曲图像；组合所述第i增强引导图像和所述第i扭曲图像，以获得第i协调图像，并将所述第i协调图像的颜色投影到所述3D模型，以获得纹理化3D模型。

基于引导先验的纹理映射系统和方法

技术领域

[0001] 本公开整体涉及计算机视觉中三维 (three dimensional, 3D) 重建技术领域, 更具体地, 涉及使用引导图像有效纹理化或渲染重建3D模型的系统和方法。

背景技术

[0002] 在此提供的背景描述是为了概括地呈现本公开的上下文。在本背景部分描述的范围内, 发明人的工作, 以及在申请时可能不符合现有技术的描述方面, 既不明确也不隐晦地承认为针对本公开的现有技术。

[0003] 3D重建是计算机视觉领域中的一个重要且具有挑战性的项目, 其能够从图像序列中自动获取虚拟几何图形, 已被广泛应用于工业领域, 例如3D打印的计算机辅助设计 (CAD) 建模、机器人导航和获悉自动驾驶的街道情况中。特别是, 随着便携式移动设备中消费级深度相机的发展, 现在很多人可以轻松创建出他们在现实世界中想要获得的对象以及场景的3D几何模型。

[0004] 更具体地, 在零售业务中, 获取高保真的3D信息较有利于增强购物体验 and 入站营销。其能够提供一种更具娱乐性的方式, 通过3D虚拟形式来展示商品, 客户甚至可以在真实环境中进行虚拟拟合或装饰。

[0005] 然而, 在实际应用中, 仅拍摄对象的原始几何图形是不够的, 因为该几何图形中仍然缺少用于呈现对象外观的颜色信息。忠于原始的视觉重建应该包含对象上每个点的几何形状和外观颜色。在某种程度上, 由于良好的纹理可以减轻几何模型中的伪影, 因此外观呈现甚至对上述问题影响较大。若每个重建模型均由图形美工者手动生成纹理, 不仅效率低下, 而且成本高昂。现有系统在自动生成3D重建模型的几何纹理时, 会出现模糊、重影等问题, 或者因要进行复杂的全局优化迭代运算而需要昂贵的计算装置, 从而极大地限制了重建模型在现实中的适用范围, 尤其是在移动设备上。

[0006] 因此, 需要解决上述存在于本领域的缺陷和不足。

发明内容

[0007] 在某些方面, 本公开涉及一种三维 (three dimensional, 3D) 模型纹理化系统。系统包括计算装置以及与计算装置通信的图像拍摄装置。计算装置包括处理器和存储有计算机可执行代码的存储装置。当计算机可执行代码在处理器上执行时用于:

[0008] 指示图像拍摄装置拍摄对象的多个图像, 其中多个图像包括 m 个关键帧, m 为正整数;

[0009] 基于多个图像, 构建对象的3D模型, 并定义 m 个关键帧的相机姿态;

[0010] 使用 m 个关键帧对3D模型进行初始纹理化, 获得初始纹理化3D模型;

[0011] 通过将初始纹理化3D模型投影到 m 个关键帧中相应关键帧的相机姿态, 生成 m 个引导图像中的每个引导图像; 以及

[0012] 对于 m 个引导图像中的第 i 引导图像和 m 个关键帧中的第 i 关键帧: 基于第 i 引导图

像和第*i*关键帧的对应关系,修改第*i*引导图像和第*i*关键帧,以获得第*i*增强引导图像和第*i*扭曲图像;组合第*i*增强引导图像和第*i*扭曲图像,以获得第*i*协调图像,并将来自第*i*协调图像的颜色投影到3D模型,以获得纹理化3D模型。

[0013] 在某些实施例中,通过将第*i*增强引导图像的低频分量与第*i*扭曲图像的高频分量相加,来进行组合。

[0014] 相机姿态是指图像拍摄装置的姿态。在某些实施例中,图像拍摄装置是红绿蓝(RGB)相机或RGB深度(RGBD)相机。

[0015] 在某些实施例中,计算机可执行代码用于使用KinectFusion构建3D模型。

[0016] 在某些实施例中,计算机可执行代码用于使用基于混合的技术对3D模型进行初始纹理化。

[0017] 在某些实施例中,计算机可执行代码用于通过以下方式修改第*i*引导图像和第*i*关键帧:为第*i*引导图像中的每个像素在第*i*关键帧中搜索像素,并将第*i*引导图像中的每个像素的颜色替换为第*i*关键帧中对应像素的颜色,以获得第*i*增强引导图像;以及基于第*i*增强引导图像,优化第*i*关键帧的密集流场,以获得第*i*扭曲图像。

[0018] 在某些实施例中,计算机可执行代码用于通过以下方式组合第*i*增强引导图像和第*i*扭曲图像:分别对第*i*引导图像和第*i*扭曲图像进行拉普拉斯金字塔处理,以获得六级第*i*引导金字塔和六级第*i*关键帧金字塔,并将第*i*关键帧金字塔的第六级替换为第*i*引导金字塔的第六级,以获得第*i*协调图像。

[0019] 在某些实施例中,在第*i*关键帧中搜索像素通过以下方式执行:

[0020] 模糊第*i*关键帧,以获得第*i*模糊图像;以及

[0021] 对于第*i*引导图像中的每个目标像素:在第*i*引导图像中定义围绕目标像素的引导块;在第*i*模糊图像中搜索与引导块最为匹配的模糊块,模糊块围绕模糊像素;以及定义关键帧像素,其中,第*i*关键帧中关键帧像素的坐标与第*i*模糊图像中模糊像素的坐标相同,用关键帧像素的颜色替换第*i*引导图像中目标像素的颜色,以获得第*i*增强引导图像。

[0022] 在某些实施例中,目标块的尺寸范围为 3×3 像素到 5×5 像素。在某些实施例中,目标块的尺寸为 3×3 像素。在某些实施例中,目标块的尺寸为 5×5 像素。

[0023] 在某些实施例中,在第*i*模糊图像中的搜索区域中进行搜索,搜索区域的尺寸范围为 $(20 \sim 100) \times (20 \sim 100)$ 个像素;搜索区域具有中心像素,第*i*模糊图像中中心像素的坐标与第*i*引导图像中目标像素的坐标相同。

[0024] 在某些实施例中,搜索区域的尺寸为 50×50 像素。

[0025] 在某些实施例中,计算机可执行代码用于对于3D模型的每个三角面,通过以下方式,将来自第*i*协调图像的颜色投影到3D模型,以获得纹理化3D模型:

[0026] 确定包括与三角面对应区域的多个协调关键帧;

[0027] 确定三角面的法线,法线通过三角面的中心点;

[0028] 对于多个协调关键帧的每个协调关键帧:连接三角面的中心点与对应协调关键帧的相机中心,以获得连线;通过 $z_1 = \frac{90-\alpha}{90}$,计算方向分数 z_1 ,其中, α 为法线与连接线的夹角;

基于协调关键帧中的区域和边界之间的最小距离 d 计算距离分数,其中,当最小距离大

于像素阈值 T_h 时,距离分数为1;当最小距离 d 等于或小于像素阈值时,距离分数为 $z_2 = \frac{d}{T_h}$;

以及通过对方向分数和距离分数进行加权求和,计算总分数;以及

[0029] 使用多个协调关键帧中总分数最高的协调关键帧对三角面进行纹理化。

[0030] 在某些实施例中,像素阈值为50,总分数 z 的计算公式为: $z=0.6 \times z_1+0.4 \times z_2$ 。在某些实施例中,总分数 z 的计算公式为: $z=0.5 \times z_1+0.5 \times z_2$ 。

[0031] 在某些实施例中,系统还包括:

[0032] 服务器计算装置,与计算装置通信,并用于存储纹理化3D模型;以及

[0033] 远程计算装置,与服务器计算装置通信,并用于在接收到来自客户的指令以拟合具有纹理化3D模型的产品时:检索纹理化3D模型,并实时为客户拟合纹理化3D模型。

[0034] 在某些方面,本公开涉及一种三维(three dimensional,3D)模型纹理化方法。在某些实施例中,方法包括:

[0035] 图像拍摄装置拍摄对象的多个图像,并将拍摄的多个图像传送至计算装置,其中多个图像包括 m 个关键帧, m 为正整数;

[0036] 计算装置基于多个图像构建对象的3D模型,并定义 m 个关键帧的相机姿态;

[0037] 计算装置使用 m 个关键帧对3D模型进行初始纹理化,获得初始纹理化3D模型;

[0038] 计算装置通过将初始纹理化3D模型投影到 m 个关键帧中相应关键帧的相机姿态,生成 m 个引导图像中的每个引导图像;以及

[0039] 对于 m 个引导图像中的第 i 引导图像和 m 个关键帧中的第 i 关键帧:基于第 i 引导图像和第 i 关键帧的对应关系,修改第 i 引导图像和第 i 关键帧,以获得第 i 增强引导图像和第 i 扭曲图像;组合第 i 增强引导图像和第 i 扭曲图像,以获得第 i 协调图像,并将来自第 i 协调图像的颜色投影到3D模型,以获得纹理化3D模型。

[0040] 在某些实施例中,使用KinectFusion构建3D模型,以及使用基于混合的技术对3D模型进行初始纹理化。

[0041] 在某些实施例中,修改第 i 引导图像和第 i 关键帧,以及组合第 i 增强引导图像和第 i 扭曲图像包括:

[0042] 为第 i 引导图像中的每个像素在第 i 关键帧中搜索像素,并将第 i 引导图像中的每个像素的颜色替换为第 i 关键帧中对应像素的颜色,以获得第 i 增强引导图像;

[0043] 基于第 i 增强引导图像,优化第 i 关键帧的密集流场,以获得第 i 扭曲图像;以及

[0044] 计算装置分别对第 i 引导图像和第 i 扭曲图像进行拉普拉斯金字塔处理,以获得六级第 i 引导金字塔和六级第 i 关键帧金字塔,并将第 i 关键帧金字塔的第六级替换为第 i 引导金字塔的第六级,以获得第 i 协调图像。

[0045] 在某些实施例中,搜索第 i 关键帧中的像素包括:

[0046] 模糊第 i 关键帧,以获得第 i 模糊图像;以及

[0047] 对于第 i 引导图像中的每个目标像素:在第 i 引导图像中定义围绕目标像素的引导块;在第 i 模糊图像中搜索与引导块最为匹配的模糊块,模糊块围绕模糊像素;以及定义关键帧像素,其中,第 i 关键帧中关键帧像素的坐标与第 i 模糊图像中模糊像素的坐标相同,用关键帧像素的颜色替换第 i 引导图像中目标像素的颜色,以获得第 i 增强引导图像。

[0048] 在某些实施例中,目标块的尺寸范围为 3×3 像素到 5×5 像素,在第 i 模糊图像中的

搜索区域中进行搜索,搜索区域的尺寸范围为(20~100)×(20~100)个像素;搜索区域具有中心像素,第i模糊图像中中心像素的坐标与第i引导图像中目标像素的坐标相同。

[0049] 在某些实施例中,将来自第i协调图像的颜色投影到3D模型,以获得纹理化3D模型包括,对于3D模型的每个三角面:

[0050] 确定包括与三角面对应区域的多个协调关键帧;

[0051] 确定三角面的法线,法线通过三角面的中心点;

[0052] 对于多个协调关键帧的每个协调关键帧:连接三角面中心点与对应协调关键帧的相机中心,以获得连线;通过 $z_1 = \frac{90-\alpha}{90}$ 计算方向分数 z_1 ,其中, α 为法线与连接线的夹角;基于协调关键帧中的区域和边界之间的最小距离d计算距离分数,其中,当最小距离大于像素

阈值Th时,距离分数为1;当最小距离d等于或小于像素阈值时,距离分数为 $z_2 = \frac{d}{Th}$;以及,

通过对方向分数和距离分数进行加权求和,计算总分数;以及

[0053] 使用多个协调关键帧中总分数最高的协调关键帧对三角面进行纹理化。

[0054] 在某些实施例中,像素阈值为50,总分数z的计算公式为: $z = 0.6 \times z_1 + 0.4 \times z_2$ 。在某些实施例中,总分数z的计算公式为: $z = 0.5 \times z_1 + 0.5 \times z_2$ 。

[0055] 在某些实施例中,方法还包括:

[0056] 将纹理化3D模型存储到与计算装置通信的服务器计算装置;以及

[0057] 在接收到来自客户的指令后,在与服务器计算装置通信的远程计算装置上拟合具有纹理化3D模型的产品:检索纹理化3D模型,并实时为客户拟合纹理化3D模型。

[0058] 在某些方面,本公开涉及一种存储有计算机可执行代码的非瞬时性计算机可读介质。计算机可执行代码在计算装置的处理器的处理器上执行时,用于执行如上所述的方法。

[0059] 本公开的这些和其他方面将从以下结合以下附图及其说明的优选实施方案的描述中变得明显,尽管其中的变化和修改可以影响到本公开的新颖概念的精神和范围。

附图说明

[0060] 附图示出了本公开的一个或多个实施例,并与书面描述一起用于解释本公开的原理。在可能的情况下,在整个附图中使用相同的附图标记来指代实施例的相同或相似元素。

[0061] 图1示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的纹理映射系统。

[0062] 图2A示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的指示图像拍摄过程。

[0063] 图2B示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的3D网格构造过程。

[0064] 图2C示意性地描绘了根据本公开的初始纹理化过程。

[0065] 图2D示意性地描绘了根据本公开的引导图像生成过程。

[0066] 图2E示意性地描绘了根据本公开的增强引导图像的生成。

[0067] 图2F示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的密集流扭曲过程。

[0068] 图2G示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的光协调过程。

[0069] 图2H示意性地描绘了根据本公开的渲染过程。

[0070] 图3示意性地描绘了根据本公开的3D网格构建和纹理映射的方法。

[0071] 图4示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的从引导图像生成增强引导图像的

方法。

[0072] 图5示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的根据协调图像对3D网格纹理化或渲染的方法。

[0073] 图6示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的虚拟拟合方法。

具体实施方式

[0074] 在以下示例中更具体地描述本公开,这些示例仅旨在作为说明,因为其中的许多修改和变化对于本领域技术人员来说将是显而易见的。现在详细描述本公开的各种实施例。参考附图,贯穿视图,相同的数字指示相同的部件。除非上下文另有明确规定,否则本文的描述中和整个权利要求中使用的“一个”、“一”和“所述”的含义包括复数。此外,如在本公开的描述和权利要求书中所使用的,除非上下文另有明确规定,“在”的含义包括“在……中”和“在……上”。文中“多个”指的是两个或两个以上。如本文所述,术语“包括”、“包含”、“携带”、“具有”、“含有”、“涉及”等应理解为开放式的,即意味着包括但不限于。

[0075] 本说明书中使用的术语在本领域中、在本公开的上下文中以及在使用每个术语的特定上下文中通常具有它们的普通含义。用于描述本公开的某些术语在下文或说明书中的其他地方讨论,以向从业者提供关于本公开的描述的额外指导。可以理解,同样的事情可以用不止一种方式表达出来。因此,替代语言和同义词可用于此处讨论的任何一个或多个术语,并且对于此处是否详细阐述或讨论术语没有任何特殊意义。一个或多个同义词的使用不排除使用其他同义词。本说明书中任何地方的示例的使用,包括本文讨论的任何术语的示例,仅是说明性的,决不限本公开内容或任何示例性术语的范围和含义。同样,本公开不限于本说明书中给出的各种实施例。

[0076] 如本文所述,短语A、B和C中的至少一个应解释为表示逻辑(A或B或C),使用非排外性逻辑或(OR)。应当理解,在不改变本公开的原理的情况下,方法内的一个或多个步骤可以以不同的顺序(或同时)执行。如本文所述,术语“和/或”包括一个或多个所列的相关项目的任何和所有组合。

[0077] 本文使用的术语“模块”可指代专用集成电路(ASIC)的一部分或包括专用集成电路(ASIC)、电子线路、组合逻辑电路、现场可编程门阵列(FPGA)、执行代码的处理器(共享的、专用的或组)、提供所描述功能的其他合适的硬件组件,或以上部分或全部的组合(例如在片上系统中)。术语模块可以包括存储由处理器执行的代码的存储器(共享的、专用的或组)。

[0078] 本文使用的术语“代码”可以包括软件、固件和/或微代码,并且可以指程序、例程、函数、类和/或对象。上面使用的术语共享意味着可以使用单个(共享)处理器执行来自多个模块的部分或全部代码。此外,来自多个模块的部分或全部代码可以存储在单个(共享)存储器中。上面使用的术语组意味着可以使用一组处理器执行来自单个模块的部分或全部代码。此外,可以使用一组存储器来存储来自单个模块的一些或全部代码。

[0079] 如本文所述,术语“接口”通常是指组件之间的交互点处用于在组件之间执行数据通信的通信工具或装置。一般而言,接口可以在硬件和软件层面都适用,可以是单向或双向接口。物理硬件接口的示例可以包括电连接器、总线、端口、电缆、端子和其他I/O设备或组件。与接口通信的组件可以是例如计算机系统的多个组件或外围设备。

[0080] 本公开涉及计算机系统。如附图所示,计算机组件可以包括物理硬件组件,其显示为实线块,以及虚拟软件组件,其显示为虚线块。本领域普通技术人员将理解,除非另有说明,否则这些计算机组件可以以软件、固件或硬件组件或其组合的形式来实现,但不限于这些形式。本文描述的装置、系统和方法可以通过由一个或多个处理器执行的一个或多个计算机程序来实现。计算机程序包括存储在非瞬时性有形计算机可读介质上的处理器可执行指令。计算机程序还可包括存储的数据。非瞬时性有形计算机可读介质的非限制性示例是非易失性存储器、磁存储和光存储。

[0081] 现在将在下文中参考附图更全面地描述本公开,其中示出了本公开的实施例。然而,本公开可以以许多不同的形式体现并且不应被解释为限于这里阐述的实施例;相反,提供这些实施例是为了使本公开彻底和完整,并将本公开的范围充分传达给本领域技术人员。

[0082] 如上所述,本领域中重建3D几何结构的纹理化结果并不理想。有多种原因会导致这种不理想的纹理化结果。首先,3D重建管路计算出的相机姿态不总是准确的。一般来说,3D重建过程中需要优化的参数很多,无法保证每一步均是完美的。几何参数的任何偏差或噪声均会对后续过程造成影响。虽然对整个视点进行多个姿态优化可以在一定程度上减轻残差,但从全局图像角度来讲,仅通过投影矩阵来表征局部的像素级运动是不够的。另外,不同视点之间存在潜在的亮度不一致问题。实际上,由于遮挡和反射,在不同的光线条件下所拍摄的照片可能有所变化。因此,直接对拍摄的照片进行合成容易增加纹理映射结果的不稳定性。再者,重建模型与实物之间存在差异。由于噪声的存在,获取的3D几何模型通常与图片中的真实几何模型并不完全相同,这种差异在所观察对象的不同表面的各图像边界处极为常见。因此,很容易将这些区域附近不需要的颜色重新投影到3D几何体上。

[0083] 在某些方面,本公开提供了一种系统,该系统通过普通移动设备获得清晰且一致的纹理化3D形状,同时计算成本和硬件要求相对较低。在某些实施例中,解决了以下技术问题。

[0084] 首先,对引导图像的关键帧的校正。为克服基于混合的纹理映射方法中的模糊伪影问题,基于面的纹理映射技术中会从单一视角制作各面的纹理。然而,3D重建中不可避免地存在相机姿态信息噪声,其会导致几何估算和纹理投影中出现不希望看到的错误,将这些图像直接映射到几何模型上会导致在视图变化接缝处出现视觉错位。该步骤中将源关键帧内的像素局部扭曲到期望的位置,从而在这些视角下的额外渲染图像的引导下,能够减轻标签接缝处相邻纹理的视觉冲突。

[0085] 第二,基于样式的颜色协调。实际上,拍摄的照片通常包含不同的强度分布,也就是说,可以在同一个对象上观察到多种颜色,这会降低当前重建系统的稳定性。因此,该步骤中将每个校正后的关键帧光线条件同步,并使它们向引导图像收敛,从而确保来自不同关键帧的纹理化3D面具有一致的亮度。

[0086] 第三,边界感知视图的选择。虽然对关键帧的校正减轻了接缝处的纹理漂移,但由于重建的几何形状和拍摄的图像形状之间存在不一致,仍然会出现一些误投影问题。选择所观察表面边界附近的图像纹理会增加出现误投影问题的风险。该步骤中将边缘线索结合至深度图像中,以削弱来自这些区域的贡献,使中心部分被更多关注。

[0087] 图1示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的纹理映射系统。如图1所示,系统

100包括计算装置110、图像拍摄装置150、服务器计算装置170和一个或多个远程计算装置180。在某些实施例中,计算装置110可以是集群、云计算、通用计算机或构建3D模型和纹理化3D模型的专用计算机。在某些实施例中,计算装置110是专用计算机,例如IPAD。

[0088] 图像拍摄装置150与计算装置110通讯。在某些实施例中,通过网络来进行上述通讯,网络可以是有线网络或无线网络,可以是各种形式,例如公共网络和私人网络;或是通过非瞬时性计算机介质进行上述通讯,包括但不限于闪存驱动器、USB驱动器、硬盘驱动器、软盘、SD卡、光驱或任何其他便携式数据存储介质。在某些实施例中,图像拍摄装置150优选地经由例如USB连接、照明端口或特殊安装件,引导连接到计算装置110上。图像拍摄装置150用于拍摄对象的影像或视频帧。图像拍摄装置150例如可为摄影机、灰阶相机、红绿蓝(red-green-blue,RGB)相机、RGB深度(RGB-depth,RGBD)相机或它们的组合。在某些实施例中,图像拍摄装置150是RGB相机,RGB相机可以满足本公开的3D模型构建和纹理映射功能。在某些实施例中,图像拍摄装置150是RGBD相机,除RGB图像之外,RGBD相机还可以利用深度信息。在某些实施例中,图像拍摄装置150为结构传感器,可用于对具有RGB信息和深度信息的对象进行扫描。当计算装置110为IPAD,图像拍摄装置150为直接附于IPAD的结构传感器时,IPAD110与结构传感器150的这种组合是便携的,并且适于对对象进行扫描。

[0089] 服务器计算装置170和远程计算装置180,例如通过网络160与计算装置110通信。在某些实施例中,网络160可以是有线或无线网络,并且可以是各种形式。网络的示例可以包括但不限于局域网(local area network,LAN)、包括因特网的广域网(wide area network,WAN),或任何其他类型的网络。最为人所知的计算机网络是因特网(Internet)。在某些实施例中,除上述网络以外,网络160可以是诸如系统接口或USB接口之类的接口,或者是用来与计算装置110通信连接的任何其他类型的接口。

[0090] 服务器计算装置170可以是电子商务平台的服务器,用于存储纹理化3D模型并提供虚拟拟合服务。服务器计算装置170还可以提供订购系统,用于完成客户所下的订单。

[0091] 远程计算装置180可以是客户终端,例如掌上电脑或移动设备。客户可以在远程计算装置180上安装电子商务平台的拟合应用程序,并可在服务器计算装置170处获取3D产品模型后,使用该应用程序虚拟拟合产品。例如,当客户从电子商务平台上查看一双鞋,并可从服务器计算装置170获取这双鞋的3D模型时,客户可以通过应用程序,通过这双鞋的3D模型进行虚拟拟合。当客户在电商平台上查看咖啡机或毛绒玩具,并且可获取咖啡机或毛绒玩具的3D模型时,客户可以不同的视角虚拟观看该咖啡机或毛绒玩具。

[0092] 如图1所示,计算装置110可以包括但不限于处理器112、存储器114和存储装置116。在某些实施例中,计算装置110可以包括其他硬件组件和软件组件(未示出),以执行相应的任务。这些硬件组件和软件组件的示例可以包括但不限于,其他所需的存储器、接口、总线、输入/输出(I/O)模块或装置、网络接口和外围设备。处理器112可以是中央处理单元(central processing unit,CPU),其用于控制计算装置110的运行。处理器112可以运行计算装置110的操作系统(operating system,OS)或其他应用程序。在一些实施例中,计算装置110可以具有多个CPU作为处理器,例如两个CPU、四个CPU、八个CPU或任何适宜数量的CPU。存储器114可以是易失性存储器,例如随机存取存储器(random-access memory,RAM),用于在计算装置110的运行期间存储数据和信息。在某些实施例中,存储器114可以是易失性存储器阵列。在某些实施例中,计算装置110可以在一个以上的存储器114上运行。存储装

置116是用于存储计算装置110的OS(未示出)和其他应用程序的非易失性数据存储介质。存储装置116的示例可以包括非易失性存储器,例如闪存、存储卡、USB驱动器、硬盘驱动器、软盘、光驱、固态驱动器(solid-state drive,SSD)或任何其他类型的数据存储装置。在某些实施例中,存储装置116可以是本地存储、远程存储或云存储。在某些实施例中,计算装置110可以具有多个存储装置116,这些存储装置可以是相同的存储装置或不同类型的存储装置,并且,计算装置110的应用程序可以存储在计算装置110的一个或多个存储装置116中。在某些实施例中,计算装置110是云计算机,并且处理器112、存储器114和存储装置116可共享互联网按需提供的资源。

[0093] 如图1所示,存储装置116包括纹理映射应用程序118。纹理映射应用程序118用于构建对象的3D模型,并对该3D模型进行纹理化。纹理映射应用程序118包括图像拍摄模块122、3D网格构建模块124、初始纹理模块126、引导图像生成模块128、引导图像增强模块130、密集流扭曲模块132、颜色协调模块134、纹理化(或视图选择)模块136,以及可选择地包括纹理评估模块138和用户界面140等。在某些实施例中,纹理映射应用程序118可以包括运行中所需的其他应用程序或模块。需要说明的是,各模块可通过共同形成一个应用的计算机可执行代码或指令,或数据表或数据库来实现。在某些实施例中,每个模块还可以包括子模块。或者,一些模块可以组合为一个堆栈。在其他实施例中,某些模块可以由电路实现,而无需使用可执行代码。在某些实施例中,纹理映射应用程序118的一些或全部模块可以位于远程计算装置中,或分布在云中。

[0094] 图像拍摄模块122用于指示图像拍摄装置150拍摄对象的图像,并将拍摄的图像发送至3D网格构建模块124。拍摄的图像可以是具有多帧的视频,图像拍摄模块122可以用于提供指令接口,以在图像拍摄过程中获取关键帧。图2A示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的指示图像拍摄过程。如图2A所示,对于目标对象202,例如一只鞋或咖啡机,预先定义一个虚拟球体204,虚拟球体204的表面具有22个区域。虚拟球体204包括区域1至22。可以在球体204的上半球和下半球上,以大致相等的距离分隔区域1至10和区域11至20,并且块1至10或11至20中的每个块可以对应球体204的36度。顶部区域21和22位于对象202的顶部,其相对于球体204的整个区域来说是一个小区域。可以从不同角度拍摄视频,优选从侧面和上方围绕对象202进行拍摄。视频图像包括关键帧。关键帧可以包括从上方围绕对象202拍摄的十张图像1、2、...、10,围绕对象202拍摄的十张图像11、12、...、20,以及从对象202顶部拍摄的两张图像21和22,图像1至22对应区域1至22。当用户将图像拍摄装置150放置为对准对象202,且图像大致覆盖一个特定区域,例如区域1时,图像拍摄装置150的图形界面中会突出显示区域1周围的线条,使得用户可以拍摄对应于区域1的特定图像。在某些实施例中,可以以不同方式定义上述区域。例如,可以无需在区域11至20中拍摄图像。在某些实施例中,可以无需在区域21和22中拍摄图像。在某些实施例中,可以改变所拍摄图像的数量,例如拍摄区域5至20,代替拍摄区域1至10。在预定义区域处拍摄图像可以确保整个场景具有良好的表现。在某些实施例中,图像拍摄装置150为一RGB相机,拍摄的为RGB图像。在某些实施例中,图像拍摄装置150是RGBD相机,拍摄的为RGB图像和深度图像。当图像拍摄装置150为RGBD相机时,图像拍摄装置150或图像拍摄模块122还可包括RGB影像与深度影像同步功能。

[0095] 3D网格构建模块124用于在从图像拍摄模块122接收到所拍摄的图像后,对视频图

像进行处理,以构建3D网格并计算图像的相机姿态,并为初始纹理模块126提供所拍摄图像的关键帧和对应的相机姿态,以及3D网格。图像可以包括例如同步的RGB图像和深度图像。3D网格也称为3D几何,为对象202的三维模型。3D网格可以由多边形网格或三角网格组成,其形成了3D网格的表面。使用相机姿态将图像配准到3D网格。相机姿态可以为相机投影矩阵形式。例如,每个相机姿态可以是坐标为 (x, y, z, h) 的 4×4 矩阵,其中 x 、 y 和 z 是相机的3D坐标, h 是齐次坐标。即,每个所拍摄的图像都与相机姿态配准,该姿态可指示所拍摄的图像在哪里拍摄的,以及图像拍摄装置150的瞄准方向。在某些实施例中,上述配准包括相机的内在参数和外在参数。

[0096] 在某些实施例中,3D网格构建模块124用于使用基于融合的扫描技术,将RGB图像和深度图像融合到3D网格中。在某些实施例中,使用KinectFusion (Richard A Newcombe等人, KinectFusion: 实时映射及跟踪密集表面 (KinectFusion: real-time dense surface mapping and tracking), 第10届IEEE混合和增强现实国际讨论会 (International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR), 2011, 127-136, 其通过引用整体并入本文) 进行3D网格构建。KinectFusion可以从RGB图像和深度图像中生成3D网格和相机姿态。由于深度图像的分辨率有限, KinectFusion所生成的相机姿态可能不准确。在某些实施例中,为了进一步提高相机姿态信息的准确性, 3D网格构建模块124用于通过将基于融合的扫描技术与多视图立体技术相结合,从而生成3D网格。在某些实施例中,最终的投影矩阵是这两种技术的加权组合。在某些实施例中,基于融合的技术的权重比例约为40%~80%,多视角立体技术的权重比例约为60%~20%。在某些实施例中,基于融合的技术的权重比例约为50%~70%,多视角立体技术的权重比例约为50%~30%。在某些实施例中,基于融合的技术的权重比例约为60%,多视角立体技术的权重比例约为40%。值得注意的是,本公开还可以独立地使用基于融合的扫描技术或多视图立体重建技术,来进行3D网格构建和确定相机姿态。图2B示意性地描绘了3D网格构建的过程,其中基于融合的扫描技术和多视图立体技术208中的至少一种利用所拍摄的图像206,生成3D网格210。

[0097] 初始纹理模块126用于从3D网格构建模块124接收3D网格210、关键帧212和与关键帧212对应的相机姿态时,使用关键帧212和关键帧212的相机姿态,在3D网格210上生成初始纹理映射,获得初始纹理化3D网格216,并将关键帧212、关键帧的相机姿态和初始纹理化3D网格216发送至引导图像生成模块128。在某些实施例中,初始纹理模块126用于使用关键帧212,通过基于混合的技术来进行上述初始纹理化。在某些实施例中,基于混合的技术由Qian-Yi Zhou和Vladlen Koltun描述于使用消费级深度相机进行3D重建的颜色图优化 (Color Map Optimization for 3D Reconstruction with Consumer Depth Cameras), 图形上的ACM事务 (ACM Transactions on Graphics), 33(4), 2014中,其通过引用整体并入本文。基于混合的技术能够输出几何模型的粗略配准颜色图。在某些实施例中,本公开之所以采用基于混合的技术而不是其他技术,是因为基于混合的技术具有一定的抵抗相机漂移和光变化的能力。输出的粗略优化的纹理图可能会模糊。图2C示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的初始纹理化过程,其中基于混合的技术214通过关键帧212,获取初始纹理化3D网格216。

[0098] 引导图像生成模块128用于从初始纹理模块126接收关键帧212(S)、关键帧212的相机姿态和初始纹理化3D网格216后,投影初始纹理化3D网格216的纹理到关键帧212对应

的每个相机位置,获得引导图像G,并将关键帧212和引导图像G发送到引导图像增强模块130。每个引导图像对应一个关键帧212,且对应的引导图像图像和关键帧212对应于相同的相机姿态。图2D示意性地描绘了生成引导图像的过程,其中在步骤218中投影初始纹理化3D网格216的纹理,形成引导图像220。在某些实施例中,投影可以由 $x=PX$ 定义。 $x=(u,v,1)$ 表示引导图像220中像素的坐标, u 和 v 为横、纵轴坐标, 1 为齐次坐标。 P 是相机姿态,关键帧212及该关键帧212对应的引导图像220的相机姿态 P 是相同的。 $X=(x,y,z,1)$ 表示初始纹理化的3D网格216上的像素。除颜色不同外,关键帧212和该关键帧212对应的引导图像220几乎相同。从初始纹理化3D网格216投影引导图像220的颜色。由于初始纹理化3D网格216上的像素颜色可以使用基于混合的技术来自若干关键帧212,因此初始纹理化3D网格216和随后的引导图像220的颜色可能会是模糊的。

[0099] 引导图像增强模块130用于在接收到关键帧212和引导图像220后,更新引导图像220上的颜色,获得增强引导图像T,并发送关键帧212、引导图像220和增强引导图像T到密集流扭曲模块132。虽然引导图像220是模糊的,但其提供了场景的整体认知,以及在当前计算的投影条件下每个关键帧212所应该呈现出的样子。为了从关键帧212中获得期望的扭曲图像,本公开使用统一框架,该统一框架结合了由引导图像增强模块130进行的基于块匹配和由密集流扭曲模块132进行的密集流场计算。基于块匹配有助于获得更清晰的引导图像,其对于后续过程是重要的,并且随后的密集流场计算可以很好地减轻由误投影引起的引导图像中的伪影。

[0100] 每个源关键帧212和对应的引导图像220在相同的相机姿态设置下进行渲染。虽然有一些像素级的移动,但大多数内容仍然相似。因此,对于引导图像220中的每个像素,本公开在源图像212中找到最能代表该像素周围的局部图案的对应关系。在某些实施例中,该局部相似性被定义为加权和平方差。而后本公开使用源图像212中选择的像素颜色替换其在引导图像212中对应的颜色,以形成新的增强引导图像T。在某些实施例中,为了克服光变化的影响,本公开以灰阶来执行该操作。为了进一步保证恢复结果的一致性,当获得新的增强图像T时,将其反投影到原始引导图像220上,以校正那些重新合成的像素。该过程验证每个新恢复的引导图像T与原始引导图像220一致性。须考虑的另一个问题是,如何有效地找到像素级对应。在某些实施例中,渲染的引导图像仅包含重建网格的颜色信息,而其他的则为空值(NONE value)。因此有必要跳过对于这些像素的处理。此外,由于源图像212及其引导图像220之间的内容相似,可以将搜索范围定义为源图像平面中该坐标周围的小的有限正方形。

[0101] 图2E示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的增强引导图像的生成。如图2E所示,对于每个关键帧212及其对应的引导图像220,对关键帧212进行模糊处理,获得对应的模糊关键帧222。模糊处理可以通过高斯滤波器来执行。对于一个引导图像220中的每个像素2204,定义包含像素2204的引导图像块2206。引导图像块2206可以是 3×3 的像素块或 5×5 的像素块,像素2204位于其中心。引导图像增强模块130在对应的模糊关键帧222中搜索与引导图像块2206最佳匹配的块。在某些实施例中,因为相对于像素位置,假定最佳匹配块2226与引导图像块2206的位置接近,所以在有限区域2228中进行搜索。换言之,如果将引导图像块2206直接复制到模糊图像2222,其将位于区域2228的中心。区域2228的尺寸,例如可以约为 20×20 个像素到 100×100 个像素。在某些实施例中,区域2228约为 $30 \sim 50 \times 30 \sim 50$

个像素。在某些实施例中,区域2228为 30×30 个像素,或 40×40 个像素,或 50×50 个像素。在区域2228中,块2226与块2206为最佳匹配。请注意,模糊图像2222中块2226的像素位置与引导图像2202中块2206的位置略有不同。通过定义有限的搜索区域并使用块执行搜索,可以更有效地进行搜索。在获得匹配的块2226之后,确定与像素2204对应的像素2224。模糊图像2222中的像素2224直接对应于对应的关键帧2122中的像素2124。然后,引导图像增强模块130将像素2124的颜色复制到引导图像2202中的像素2204的位置。通过用关键帧2122中对应像素的颜色替换引导图像2202中的所有像素的颜色,获得增强引导图像2262,其中像素2264在增强引导图像2262中的位置对应于像素2204在引导图像2202的位置,同时增强引导图像2262中的像素2264的颜色对应于关键帧2122的像素2124的颜色。值得注意的是,图像2122、2202、2222和2262对应于相同的相机姿态。

[0102] 密集流扭曲模块132用于在接收到关键帧212、引导图像220和增强引导图像226后,使用增强引导图像226优化关键帧212的密集流场,获得扭曲图像 S' ,并且将扭曲图像 S' 和引导图像220发送到颜色协调模块134。通过计算密集流场来进行密集流扭曲。具体地,虽然基于块的合成可以产生清晰的增强引导图像226,但是仅替换引导图像像素是不够的,因为替换后引导图像内仍然存在伪影,甚至伪影被放大,例如错误投影或重复的图案。为了克服上述问题,密集流扭曲模块132用于计算密集流场,以制定用于渲染的最终扭曲视图。在某些实施例中,该场为来自关键帧的每个源像素提供两个标量,它们分别指示其在x和y方向上的移动。例如,可以根据计算出的x和y移动,将像素的颜色移动几个像素的距离。与像素替换相比,流场计算以更加整体的方式对齐,在保持高计算效率的同时,确保每个结果图像以视觉连贯的方式包含其对应源图像的大部分信息。另一方面,密集流场计算的性能与引导图像的清晰度密切相关。因此,上述基于块的合成过程对于获得增强引导图像也是必不可少的,尤其是在前景内容的边界处。

[0103] 图2F示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的密集流扭曲过程。如图2F所示,在过程228中,关键帧212中像素的颜色可以根据增强引导图像226移动,获得扭曲图像230。在某些实施例中,参考以下进行该过程:Michal Irani和Shmuel Peleg,通过图像配准提高分辨率(Improving resolution by image registration),CVGIP:图形模型和图像处理(Graphical Models and Image Processing),1991,53(3):231-239,其通过引用整体并入本文。

[0104] 颜色协调模块134用于从密集流扭曲模块132接收到扭曲图像230和引导图像220后,根据引导图像220对扭曲图像230中的颜色进行协调,获得协调图像 S'' ,并将协调后的图像 S'' 发送到纹理化模块136。虽然引导图像增强模块130和密集流扭曲模块132建立了关键帧和引导图像之间的像素对应关系,但这并不能保证这两组之间的光线条件是一致的。基于可获取的引导图像,颜色协调模块134用于同步每个扭曲图像的光线条件,并使其向引导条件收敛。值得注意的是,由于可能存在不一致的交叉视图,该步骤中使用的引导图像为原始图像220,而不是增强图像226。在某些实施例中,本公开使用基于样式的颜色协调方法。通常,样式信息以颜色和细节分布的形式呈现。然而,由于两个图像是在前一步骤中配准的,这意味着二者的细节大致相同,因此二者的主要区别在于颜色信息。将样式从引导图像转移到扭曲图像等效于协调二者之间的光线条件。因此,最终的渲染图像会具有与引导图像相似的光线条件,但其更为清晰。在某些实施例中,颜色协调模块134利用拉普拉斯金字

塔来提取上述两个图像的样式。更具体地,本公开并未完全形成自下而上的级联结构。相反,由于与内容信息相比,金字塔的上层保留有更多的样式信息,本公开仅使用金字塔的顶层。在某些实施例中,六级金字塔足以满足应用程序对样式信息的提取。通过使用标准差 $\sigma=2^6$ 和窗口大小 $r=5\sigma$ 的高斯核对输入图像进行滤波,可以容易地形成最后一层,而不需要下采样或多次过滤。分别从扭曲图像和引导图像中获得两张样式图后,通过从扭曲图像中减去样式图然后加上引导图,来建立用于在该视点姿态下渲染的最终图像。

[0105] 图2G示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的上述光协调过程。如图2G所示,扭曲图像230和引导图像220经过拉普拉斯金字塔处理232,用六级执行拉普拉斯金字塔处理,并且将来自扭曲图像230的第一级至第五级,以及来自引导图像220的第六级进行组合,以形成协调图像234。根据以下,进行图2G所示的过程:YiChang Shih等人,用于头像肖像的样式传送(Style transfer for headshot Portraits),图形上的ACM事务(ACM Transactions on Graphics),2014,34(4),148:1-14,其通过引用整体并入本文。在某些实施例中,本公开通过去掉对于能量分量的计算,进一步改进了YiChang的方法,从而提高了计算速度。

[0106] 纹理化模块136用于在从颜色协调模块134接收到协调图像234后,使用协调图像234来渲染3D网格,获得纹理化3D网格。在某些实施例中,本公开采用基于面的方法,将3D网格的每个三角面与渲染图像(即协调图像)相关联,并使用该图像更新其在重构网格上的纹理。在选择用来渲染3D网格的特定三角面的协调图像234时,本公开考虑到两种方法。(1)本公开将面法线与连接面中心和相机中心的线之间的角度确定为用于渲染视图选择的良好度量。通过该角度确定的图像比从面的正面拍摄的图像更优选,并且通过该方法,从大的侧面视点观察对象的那些图像被舍弃。(2)在视图选择中,需要注意的问题是,视觉图像内容与精确重建网格之间的不一致性。如果视图包含一个尚未重建的区域(例如鞋带),则不应选择该区域之后的表面进行纹理化。然而,这种情况在现实中经常发生,尤其对于鞋类而言。为了解决该难题,本公开从深度图像中获取信息。由于这样的误投影问题总是发生在每幅图像的能够观察到不同表面的边界处,本公开可以通过从深度图像中检测边缘线索,容易地找到边界。如果所选视图靠近深度图像的边界,则意味着它具有出现此问题的风险,因此最好在视图选择时减轻其权重。例如,可以通过对深度图像进行Canny算子来获得边界。在某些实施例中,纹理化模块136用于将该度和角度项以线性表示组合,以用于获得期望的视图候选选择。组合度量用于确定每个三角面的协调图像。选择视图后,纹理块被打包到纹理图集中,纹理坐标附加到顶点。

[0107] 在某些实施例中,用于渲染3D网格的三角面,对于其方向和边界的上述描述如下实现。纹理化模块136用于对于3D网格的每个三角面(或多边形面),将三角面的法线方向确定为向外,获得法线,连接三角面的中心和相机姿态的中心,获得二者连接线,计算法线和连接线之间夹角 α 的角度,并通过 $z_1 = \frac{90-\alpha}{90}$ 确定方向分数。相应地,当法线与连接线重叠时,对应的相机姿态具有最高分数1;当法线垂直于连接线时,对应的相机姿态具有最低分数0。相机姿态的方向分数也是与相机姿态对应的协调图像的方向分数。

[0108] 纹理化模块136用于对于每个三角面,在几个协调图像中每个协调图像中,确定可以用于渲染三角面的对应区域;然后对于每个协调图像,使用Canny算子检测边界,并计算

上述区域与检测到的一个或多个边界之间的距离,这里,距离 d 可以是上述边界与最接近该边界的区域中的像素之间的距离。距离 d 的单位可以是像素,用于计算边界距离分数。当距离 d 大于50个像素时,边界距离分数 $z_2=1$ 。当距离 d 等于或小于50个像素时,边界距离分数

$$z_2 = \frac{d}{50}。$$

[0109] 对于每个三角面,协调图像的总分数 z 为方向分数 z_1 和距离分数 z_2 的加权和。方向分数 z_1 和距离分数 z_2 的权重比的范围可以在4到0.68内,例如为80:20、70:30、60:40、50:50或40:60。在某些实施例中,方向分数 z_1 的权重大于距离分数 z_2 的权重。在某些实施例中,上述权重比为60:40,总分数 $z=0.6 \times z_1 + 0.4 \times z_2$ 。对于每个三角面而言,都可能存在几个协调图像来拍摄对象的三角面区域。纹理化模块136用于计算协调图像的总分数,对总分数进行排序,并选择总分数最高的协调图像来渲染三角面。在某些实施例中,使用协调图像对三角面进行渲染的步骤参考以下:Michael Waechter、Nils Moehrle和Michael Goesele,让颜色存在!3D重建的大规模纹理(Let There Be Color!Large-Scale Texturing of 3D Reconstructions),ECCV,2014,其通过引用整体并入本文。

[0110] 图2H示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的渲染过程。如图2H所示,用协调图像234来渲染3D网格,获得纹理化3D网格238。渲染过程236包括,对于3D网格的每个三角面,对能够拍摄对象的三角面区域的几个协调图像中每个协调图像,计算其总分数,确定上述几个协调图像中具有最高分数的协调图像,并使用该分数最高的协调图像对三角面进行渲染。按照此方式对3D网格的每个三角面均进行渲染后,即完成对整个3D网格的渲染。

[0111] 值得注意的是,虽然在相机优化和混合后生成引导图像,但这并不能保证引导图像不包含任何错位。因此,本公开旨在克服该问题。经过一次处理后,3D网格的输出纹理会变得更清晰,错位更少。但在一些具有挑战性的场景中,仅进行一次迭代可能是不够的。在这种情况下,最好将初始纹理模块126、引导图像生成模块128、引导图像增强模块130、密集流扭曲模块132、颜色协调模块134、纹理化模块136的功能重复一次或多次。相应地,在某些实施例中,纹理映射应用程序118还包括纹理评估模块138。纹理评估模块138用于评估所渲染3D网格的渲染效果,如果渲染3D网格理想,则指示纹理映射应用程序118结束该过程;如果渲染3D网格不理想,则指示纹理映射应用程序118进行另一轮渲染。由于引导图像来自最后渲染3D网格,因此在渲染过程的每次迭代中,引导图像会有所不同。

[0112] 可以通过接受用户的输入来对渲染效果的进行评估,用户对渲染3D网格的最终渲染效果进行查看,并将意见作为输入,提供给纹理映射应用程序118。在某些实施例中,也可以通过以下方式自动评估渲染效果:将渲染3D网格投影到关键帧的相机姿态上,而后比较上述投影与所拍摄的关键帧,查看二者差异,当差异小于阈值或预定义标准时,确定渲染效果理想。

[0113] 用户界面140用于向用户提供用户界面,例如图形用户界面。用户可以使用该界面引导其拍摄对象的视频和关键帧,输入或修改纹理映射应用程序118的参数,判定渲染3D网格是否理想并输入判定结果,以及在认为渲染3D网格理想时,将渲染3D网格存储至计算装置110和/或服务器计算装置170中。

[0114] 在某些实施例中,存储在计算装置110和/或服务器计算装置170中的渲染3D网格可由远程计算装置180访问。远程计算装置180,例如可以是电子商务平台的客户移动电话。

如图1所示,远程计算装置180包括处理器182、存储器184和存储装置186。处理器182、存储器184和存储装置186的特征与上文中关于计算装置110的处理器112、存储器114和存储装置116的描述大致相同。存储装置186包括虚拟拟合应用程序187。虚拟拟合应用程序187在远程计算装置180上启动时,为客户提供与电子商务服务交互的界面,其中该电子商务服务由服务器计算装置170提供。在某些实施例中,客户可以通过上述界面从电子商务服务中选择产品,例如一只鞋,并根据来自界面的指令使用相机188拍摄其脚部的实时视频;虚拟拟合应用程序187用于检索鞋子的渲染3D网格,检测客户的脚,将渲染3D网格置于客户的脚上,并根据相机188的视角移动和客户脚部的活动,实时显示符合客户脚的鞋子的渲染3D网格。在某些实施例中,产品可以是其他产品,例如咖啡机或毛绒玩具,并且客户可以通过远程计算装置180的触摸屏来移动产品的渲染3D网格,从而使用虚拟拟合应用程序187从不同的视角查看产品的渲染3D网格。

[0115] 在某些实施例中,虚拟拟合应用程序187可以包括或链接到订购应用程序,这样如果客户对所拟合产品满意,可以订购该产品。

[0116] 在某些实施例中,产品的渲染3D网格和虚拟拟合应用程序187可以存储在计算装置110中,并且客户可以在离线状态下使用虚拟拟合应用程序187。

[0117] 在某些方面,本公开涉及一种用于3D网格构建和纹理映射的方法。图3示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的用于3D网格构建和纹理映射的方法。在某些实施例中,该方法由图1所示的计算装置110实现。需要特别说明的是,除非本公开中另有说明,该方法的步骤可以按不同顺序排列,因此该方法不限于图1所示的顺序。

[0118] 在步骤302中,客户使用图像拍摄装置150来拍摄对象202的视频图像206,图像拍摄模块122将拍摄的视频图像206发送到3D网格构建模块124。在某些实施例中,围绕对象202拍摄视频图像206,并且优选从侧面和上方拍摄。视频图像206包括在预定义视点拍摄的关键帧212。

[0119] 在步骤304中,3D网格构建模块124在接收到拍摄的图像206后,使用基于融合的扫描技术来构建对象202的3D网格210,计算与视频图像对应的相机姿态,并将构建的3D网格、拍摄的视频图像206的关键帧212和与关键帧212对应的相机姿态发送到初始纹理模块126。在某些实施例中,拍摄的视频图像206包括同步的RGB图像和深度图像。在某些实施例中,每个视频图像具有对应的相机姿态。在某些实施例中,基于融合的扫描技术是KinectFusion。在某些实施例中,3D网格构建模块124也可以使用基于融合的扫描技术和多视图立体技术的组合,以此代替使用基于融合的扫描技术,其中,基于融合的扫描技术可以比多视图立体技术具有更大的权重。

[0120] 在过程306中,在从3D网格构建模块124处接收关键帧212、对应于关键帧212的相机姿态和3D网格210时,初始纹理模块126使用关键帧212和其对应的相机姿态来对3D网格210进行初始纹理化,获得初始纹理化3D网格216,并将关键帧212、其对应的相机姿态和初始纹理化3D网格216发送到引导图像生成模块128。在某些实施例中,使用基于混合的技术对3D网格210进行纹理化。

[0121] 在步骤308中,在从初始纹理模块126接收关键帧212、其对应的相机姿态和初始纹理化3D网格216后,引导图像生成模块128将来自初始纹理化3D网格216的纹理投影到与关键帧212对应的相机位置,获得引导图像220(G),并将关键帧212(S)和引导图像220(G)发送

到引导图像增强模块130。每个引导图像220与一个关键帧212对应,并且所对应的关键帧和引导图像对应相同的相机姿态。

[0122] 在步骤310中,在从引导图像生成模块128接收关键帧212和引导图像220后,引导图像增强模块130更新引导图像220上的颜色,获得增强引导图像226,并将关键帧212、引导图像220和增强引导图像226发送到密集流扭曲模块132。

[0123] 图4示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的用于从引导图像220生成增强引导图像226的方法。在某些实施例中,该方法由图1所示的计算装置110实现。需要特别说明的是,除非本公开中另有说明,上述方法的步骤可以按照不同的顺序排列,因此上述方法不限于图1所示的顺序。如图4所示,在步骤402中,引导图像增强模块130模糊关键帧212,获得模糊图像222。对于每个引导图像220,存在对应的关键帧212和模糊图像222。在步骤404中,对于引导图像220中每个目标像素2204,引导图像增强模块130定义一个块2206,块2206可以是一个具有9个像素的、 3×3 的块,目标像素2204位于块2206的中心。目标像素2204在模糊图像2222中有一个对应的模糊像素,引导图像2202中目标像素2204的像素位置与模糊图像2222中模糊像素的像素位置相同。在步骤406中,引导图像增强模块130在模糊图像2222中定义搜索区域2228,其中搜索区域2228的中心实质上是像素2204对应的模糊像素。搜索区域2228的尺寸例如是,边长约为30至50像素的正方形。在步骤408中,引导图像增强模块130在区域2228中搜索与块2206最为匹配的块2226,块2206的中心为像素2224,因此模糊图像2222中的像素2224对应于引导图像2202中的像素2204。在步骤410中,引导图像增强模块130在关键帧2122中定位与模糊图像2222中的像素2224相对应的像素2124。换言之,关键帧2122中像素2124的像素坐标与模糊图像2222中的像素2224的像素坐标相同。在步骤412中,引导图像增强模块130用像素2124的颜色替换引导图像2202中像素2204的颜色。通过替换引导图像2202中全部像素的颜色,获得增强引导图像2262。对每个引导图像220均执行上述过程,获得增强引导图像226。

[0124] 返回参照图3,在步骤312中,从引导图像增强模块130接收关键帧212、引导图像220和增强引导图像226后,密集流扭曲模块132根据增强引导图像226,对关键帧212的密集流场优化,获得扭曲图像230,并将引导图像220和扭曲图像230发送到颜色协调模块134。在某些实施例中,步骤312涉及对关键帧212中某些像素的微小颜色移动,且从整体上看,扭曲图像230中颜色较为一致。

[0125] 在步骤314中,从密集流扭曲模块132接收引导图像220和扭曲图像230后,颜色协调模块134根据引导图像220的颜色,对扭曲图像230中的颜色进行协调,获得协调图像234,并将协调图像234发送到纹理化模块136。在某些实施例中,使用拉普拉斯金字塔来执行上述协调。对于每对引导图像220和扭曲图像230,分别对该对图像执行六级拉普拉斯算子。使用处理引导图像220所获得的第六级结果替换扭曲图像230的第六级结果,从而获得对应的协调图像234。

[0126] 在步骤316中,从颜色协调模块134接收到协调图像234后,纹理化模块136向3D网格210添加纹理或者替换初始纹理化3D网格216的纹理,获得纹理化3D网格238。

[0127] 在某些实施例中,步骤308至316可以迭代地执行几次,使纹理化3D网格238的纹理被优化。在每次迭代中,初始纹理化3D网格都会更新,引导图像也会更新。

[0128] 图5示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的根据协调图像234对3D网格210进

行纹理化或渲染的方法。在某些实施例中,上述方法由图1所示的计算装置110实现。需要特别说明的是,除非本公开中另有说明,上述方法的步骤可以按照不同的顺序排列,因此上述方法不限于图1所示的顺序。如图5所示,在步骤502中,对于3D网格210的每个三角面,纹理化模块136确定已拍摄到三角面的若干协调关键帧234。换言之,在多个协调关键帧234中可以看到3D网格的三角面。在步骤504中,纹理化模块136定位三角面的中心点,并将通过三角面中心点且垂直于三角面的线定义为法线。在步骤506中,对于多个协调关键帧234中的每个协调关键帧234,纹理化模块136将三角面的中心点连接到该关键帧234对应的相机位置,获得相机线。在步骤508中,纹理化模块136测量法线与相机线之间的夹角 α 的角度,并基于该角度计算方向分数。方向分数定义为 $z_1 = \frac{90-\alpha}{90}$ 。在步骤510中,纹理化模块136为上述协调关键帧234定位边界,在协调关键帧234中定义对应于三角面的区域,并找到区域中像素和边界之间的最小距离 d 。然后,纹理化模块136基于预定义阈值,用该最小距离 d 计算距离分数。在某些实施例中,上述阈值为50个像素。如果最小距离 d 大于50个像素,则距离分数等于1;当最小距离 d 等于 t 或小于阈值时,通过 $z_2 = \frac{d}{50}$ 计算距离分数。在步骤512中,纹理化模块136使用加权方向分数和距离分数计算总分数,例如,通过 $z = 0.6 \times z_1 + 0.4 \times z_2$ 计算。在步骤514中,纹理化模块136计算上述几个协调关键帧234中所有协调关键帧234的总分数,并且用总分数最高的协调关键帧234渲染三角面。通过对3D网格210的每个三角面重复上述过程,可对整个3D网格210进行渲染,形成渲染或纹理化3D网格238。

[0129] 在将3D网格渲染或纹理化之后,纹理化3D网格238被存储在例如服务器计算装置170中,供以后使用。在某些实施例中,客户通过虚拟拟合应用程序187可使用所存储的纹理化3D网格238。图6示意性地描绘了根据本公开的某些实施例的虚拟拟合方法。在某些实施例中,上述方法由图1所示的远程计算装置180实现。需要特别说明的是,除非本公开中另有说明,上述方法的步骤可以按照不同的顺序排列,因此上述方法不限于图1所示的顺序。如图6所示,在步骤602中,客户启动虚拟拟合应用程序187。远程计算装置180可以为移动设备,且虚拟拟合应用程序在启动之后,可在移动设备上为客户提供用户界面。启动的应用程序可以访问服务器计算装置170。在步骤604中,客户通过用户界面选择产品。在步骤606中,在接收到客户的选择后,虚拟拟合应用程序187从服务器计算装置170中检索该产品的纹理化3D网格。例如,产品可以是一只鞋。在步骤608中,客户将远程计算装置180的相机188对准他的一只脚进行拟合,虚拟拟合应用程序187检测客户的脚。在步骤610中,在检测到脚之后,虚拟拟合应用187将鞋的纹理化3D网格与脚对齐。当客户移动其脚时,虚拟拟合应用程序187跟踪脚的移动,并实时对齐所跟踪的脚上鞋的3D网格。

[0130] 在某些实施例中,可以修改方法600以浏览其他产品。例如,如果客户选择的产品是咖啡机,则虚拟拟合应用程序187可以在远程计算装置180的触摸屏上呈现咖啡机的纹理化3D网格,并且客户可以触摸触摸屏来移动或旋转咖啡机,以便客户可以从不同的角度查看咖啡机。

[0131] 在某些实施例中,客户可以通过远程计算装置180查看其房子,虚拟拟合应用程序187可以提供将咖啡机放置在虚拟现实环境中的特定位置的功能,例如放置在房子中一张桌子的虚拟图像上。客户可以将咖啡机静止地放置在桌子上,客户也可以四处移动,查看将

咖啡机放在桌子上的效果。

[0132] 在某些实施例中,虚拟拟合应用程序187还可以包括订购界面,或链接到订购界面,这样,客户如果对拟合结果满意就可以订购该产品。

[0133] 在某些实施例中,客户为店主,其可以使用计算装置和图像拍摄装置,例如计算装置110和图像拍摄装置150。当店主有新产品时,他可以使用纹理映射设备116扫描他的新产品,生成新产品的纹理化3D网格,将纹理化3D网格存储到其计算装置110或服务器计算装置170,并在需要时将纹理化3D网格提供给他顾客。

[0134] 在某些方面,本公开涉及一种存储有计算机可执行代码的非瞬时性计算机可读介质。当在计算装置的处理器的处理器上执行上述代码时,可以执行如上所述的方法。在某些实施例中,非瞬时性计算机可读介质可以包括但不限于任何物理或虚拟存储介质。在某些实施例中,如图1所示,非瞬时性计算机可读介质可以实现为计算装置110的存储装置116或远程计算装置180的存储装置186。

[0135] 本公开的某些实施例尤其具有以下优点。(1)本公开提供引导图像来引导纹理化的过程,可以有效地校正因相机姿态具有噪声而导致的帧的缺陷,并防止3D网格中出现错位,这在本领域中是新颖的。(2)本公开利用引导图像协调不同帧的光线差异,从而使帧的光线条件收敛。(3)本公开通过选择最佳帧来渲染3D网格的特定三角面,从而减轻了接近边界处的纹理漂移问题。通过本公开的具体设计,实现了3D网格的准确、快速渲染。

[0136] 本公开的示例性实施例的前述描述仅出于说明和描述的目的而呈现,并且不旨在穷举或将本公开限制为所公开的精确形式。根据上述教导,许多修改和变化是可能的。

[0137] 选择和描述实施例是为了解释本公开的原理及其实际应用,从而使本领域的其他技术人员能够利用本公开和各种实施例以及适合于预期的特定用途的各种修改。在不脱离本公开的精神和范围的情况下,替代实施例对于本公开所属领域的技术人员将变得显而易见。因此,本公开的范围由所附权利要求而不是前述描述和其中描述的示例性实施例限定。

[0138] 参考文献(其通过引用整体并入本文):

[0139] [1]Qian-Yi Zhou,and Vladlen Koltun,Color map optimization for 3D reconstruction with consumer depth cameras,ACM Transactions on Graphics,2014, 33(4),15:1-10.

[0140] [2]Michael Waechter,Nils Moehrle,and Michael Goesele,Let there be color!Large-scale texturing of 3D reconstructions,ECCV,2014,836-850.

[0141] [3]Yanping Fu,Qingan Yan,Long Yang,Jie Liao,and Chunxia Xiao,Texture mapping for 3D reconstruction with RGB-D sensor,Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR),2018,4645-4653.

[0142] [4]Yanping Fu,Qingan Yan,Jie Liao,and Chunxia Xiao,Joint texture and geometry optimization for RGB-D reconstruction,Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR),2020,5950-5959.

[0143] [5]Sai Bi,Nima Khademi Kalantari,and Ravi Ramamoorthi,Patch-based optimization for image-based texture mapping,ACM Transactions on Graphics, 2017,36(4),106:1-11.

- [0144] [6]Michal Irani,and Shmuel Peleg,Improving resolution by image registration,CVGIP:Graphical Models and Image Processing,1991,53(3):231-239.
- [0145] [7]Richard A Newcombe,Shahram Izadi,Otmar Hilliges,et al., KinectFusion:real-time dense surface mapping and tracking,10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality(ISMAR),2011,127-136.
- [0146] [8]YiChang Shih,Sylvain Paris,Connelly Barnes,William T.Freeman,and Fredo Durand,Style transfer for headshot portraits,ACM Transactions on Graphics,2014,33(4),148:1-14.

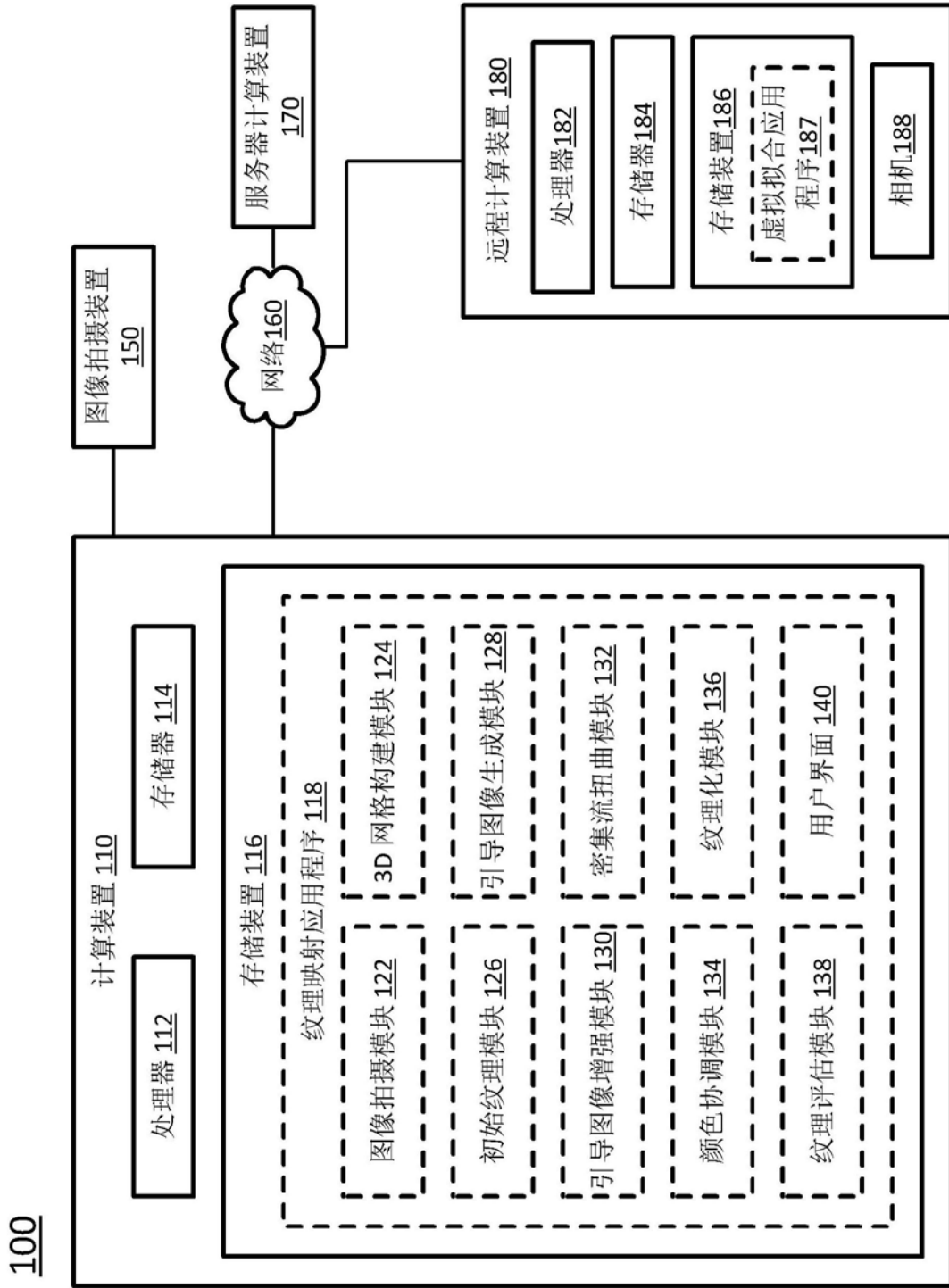


图1

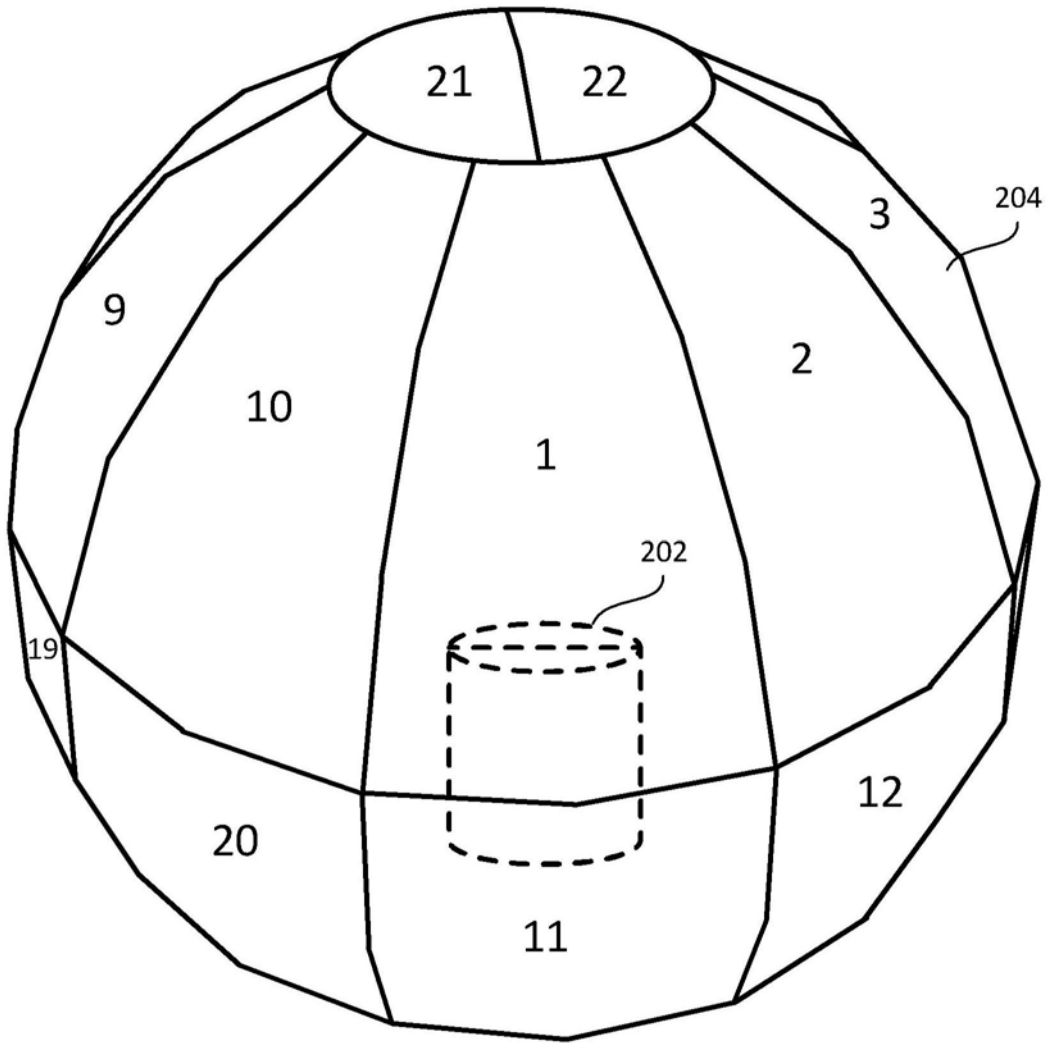


图2A

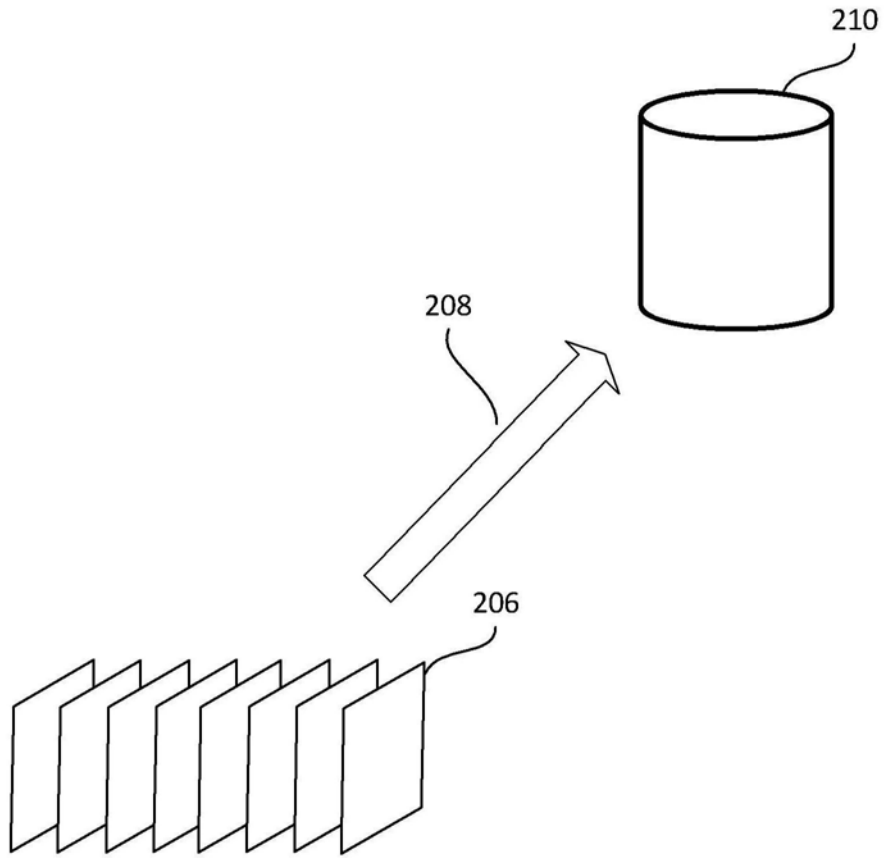


图2B

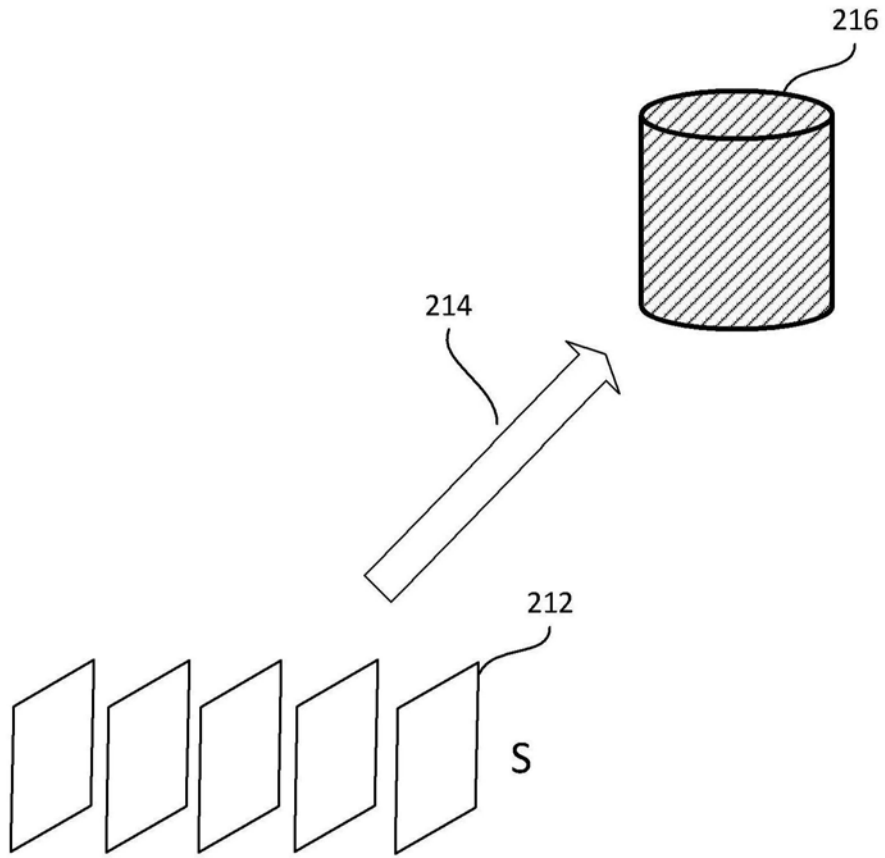


图2C

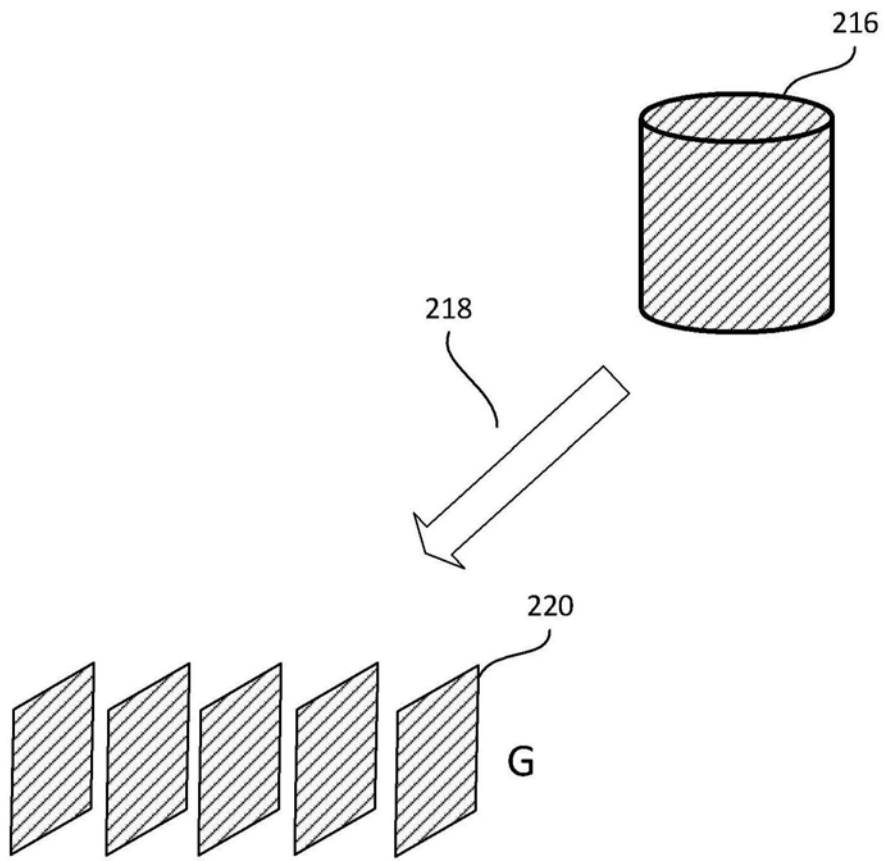


图2D

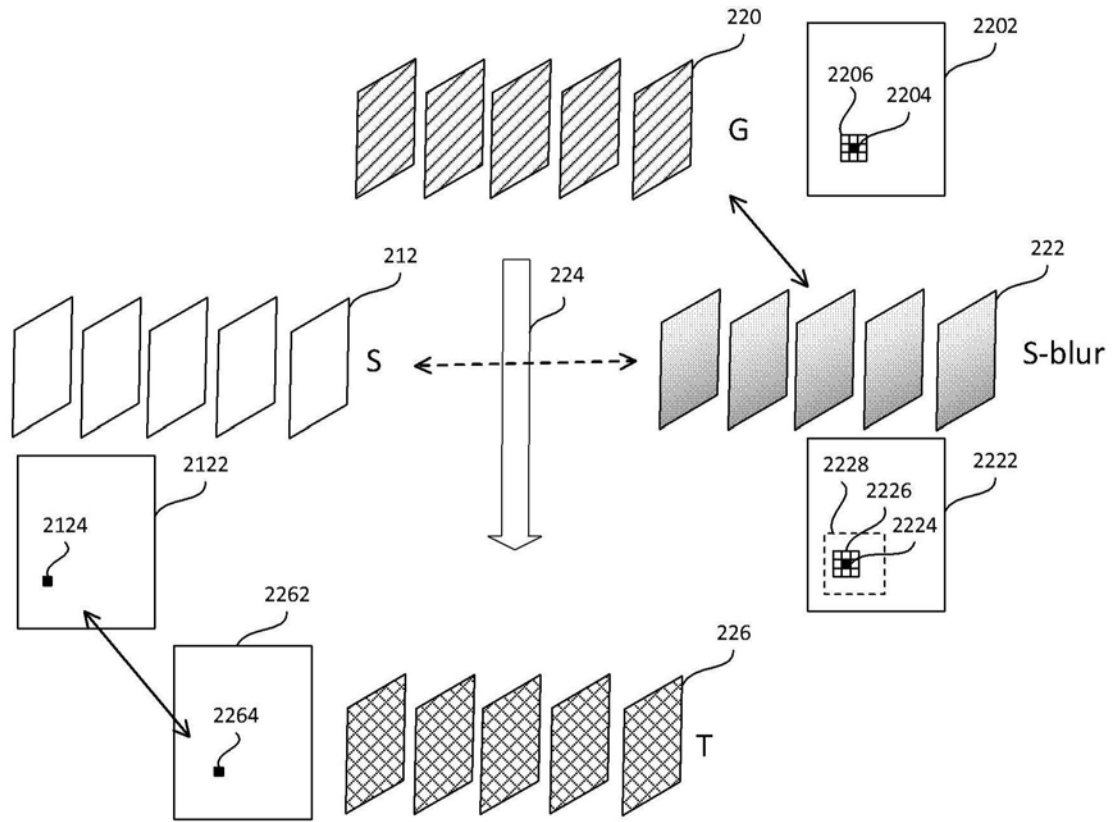


图2E

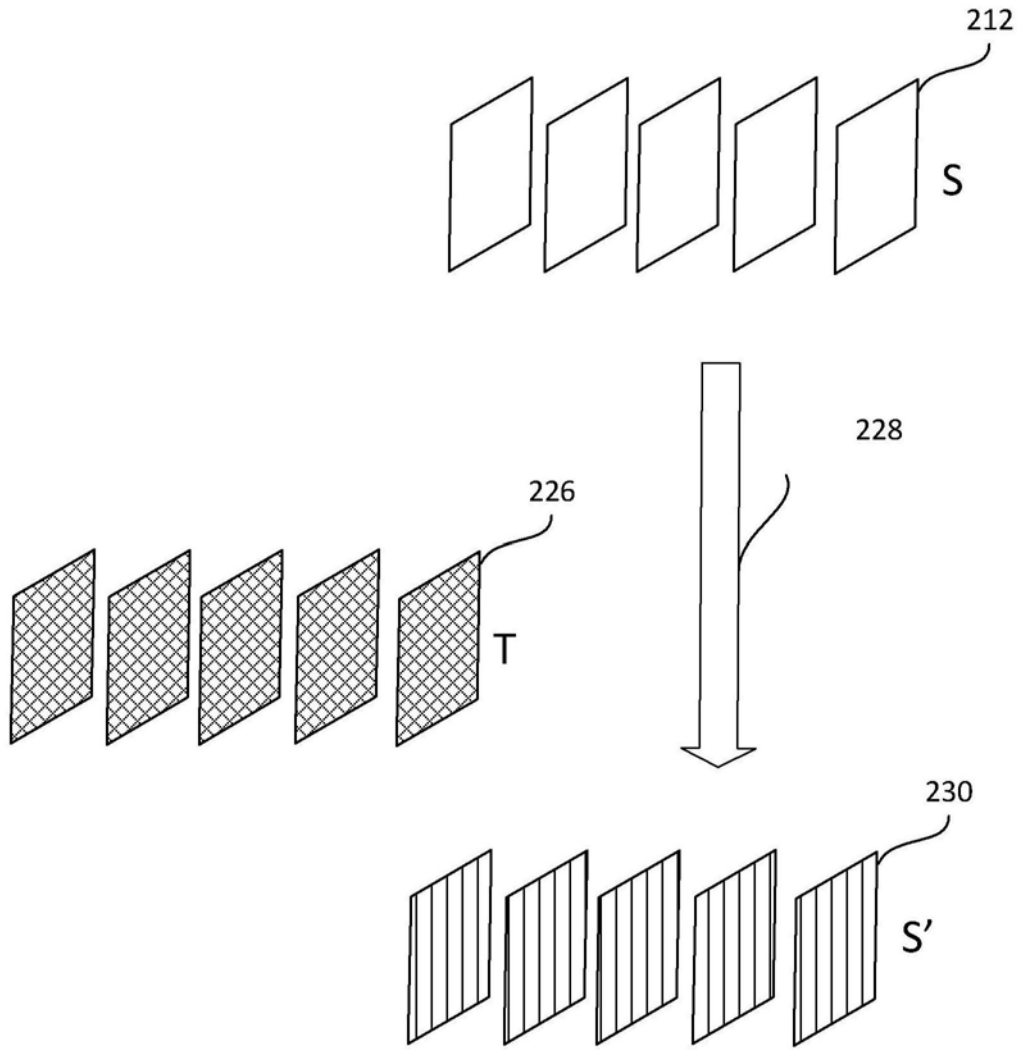


图2F

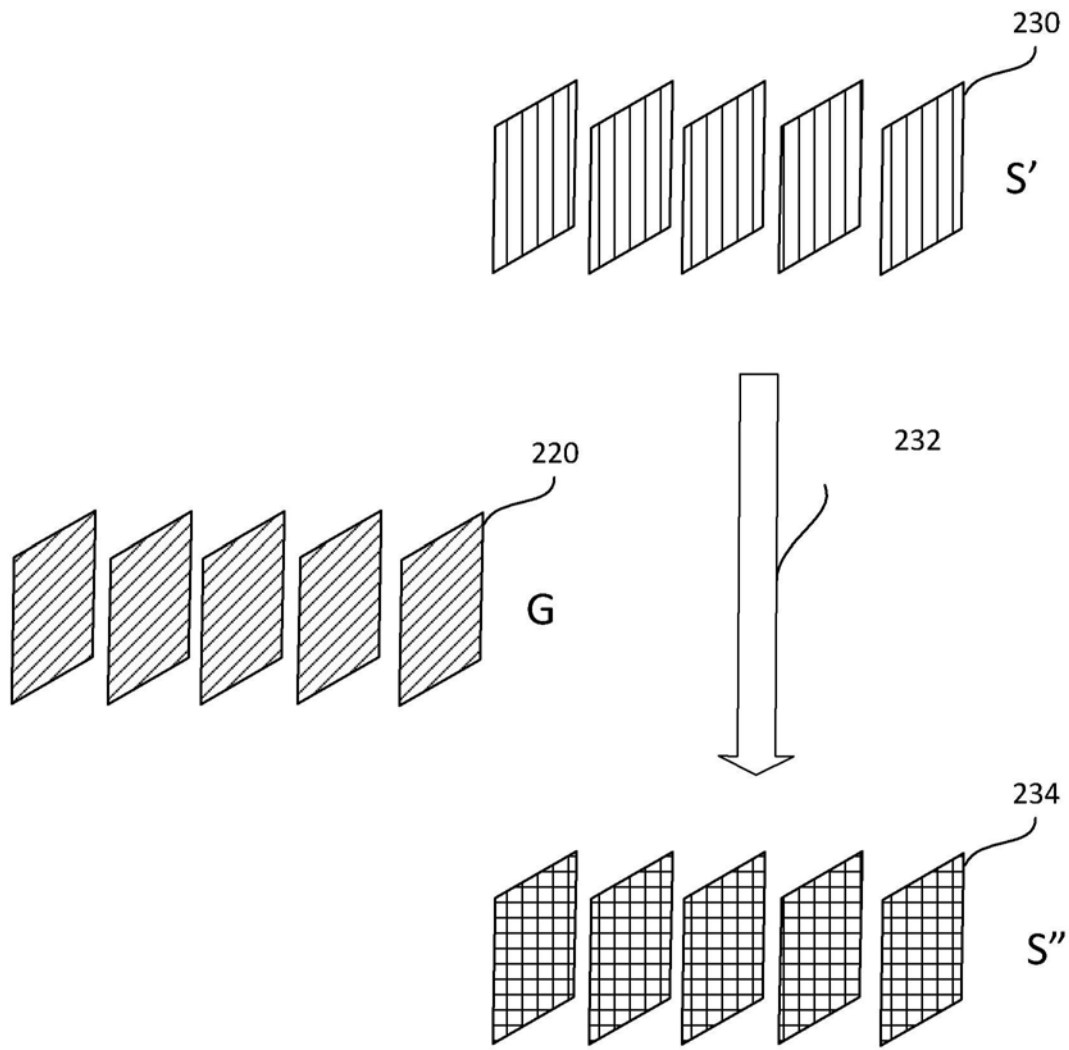


图2G

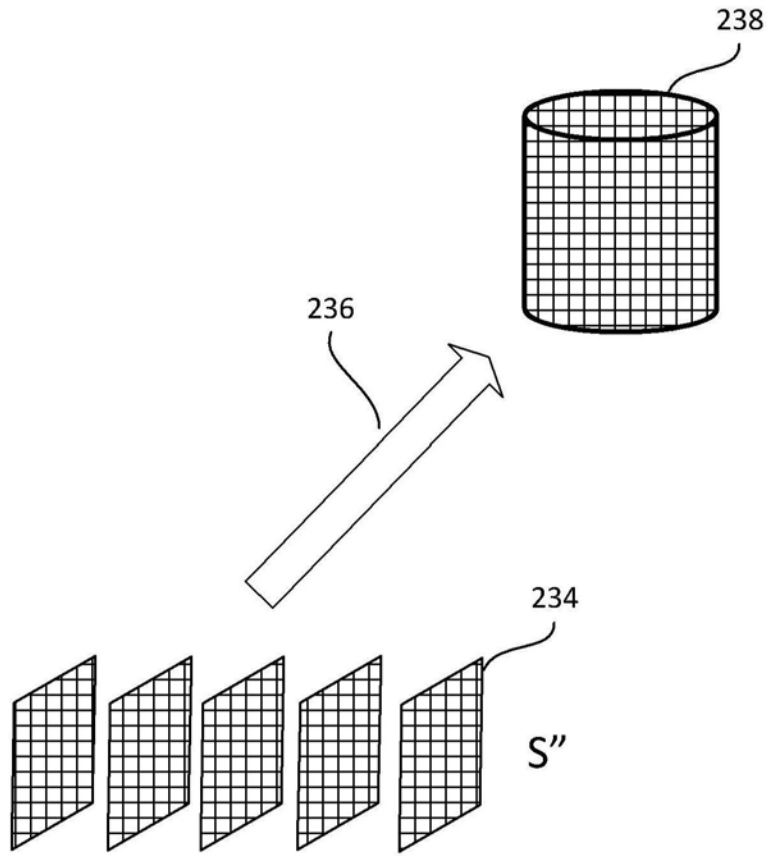


图2H

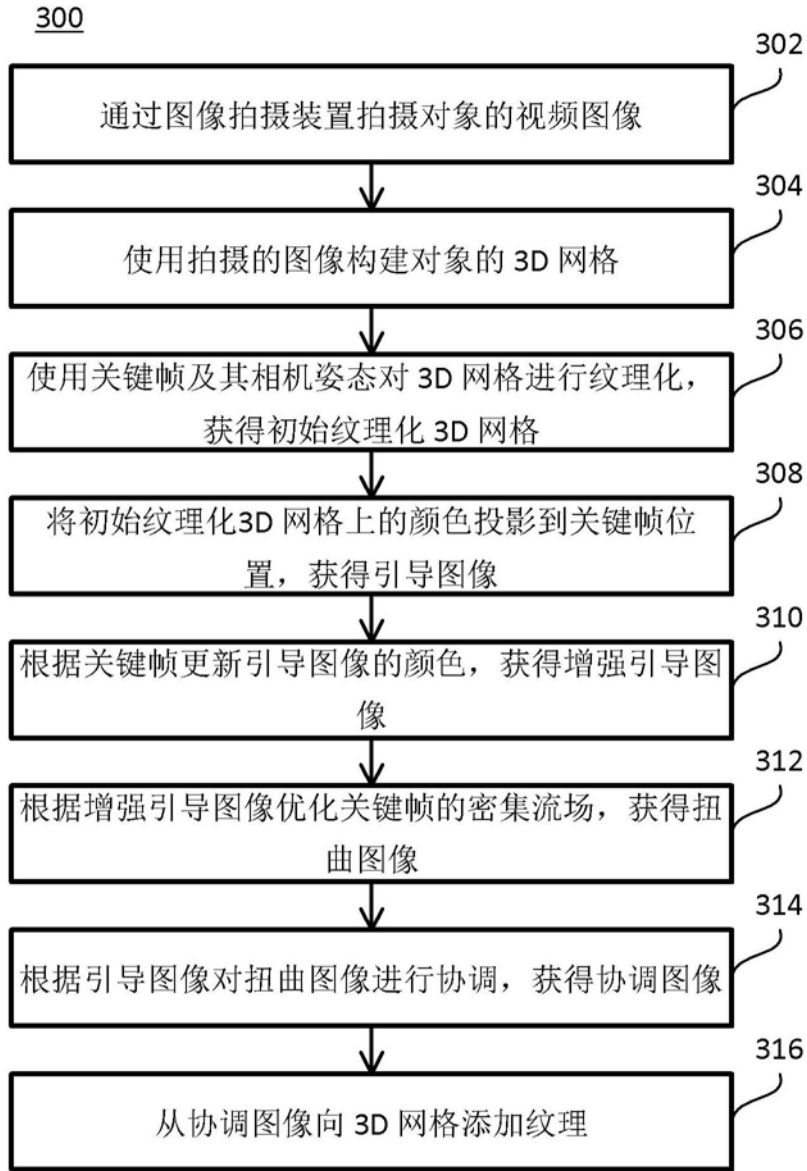


图3

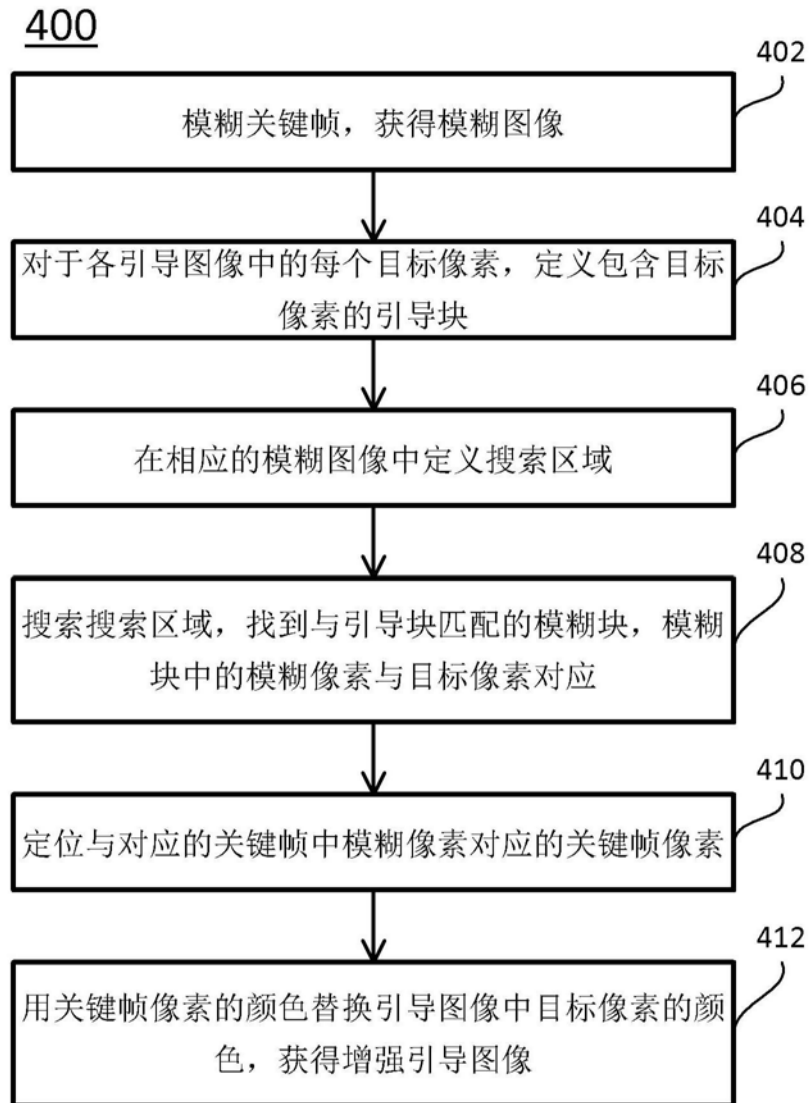


图4

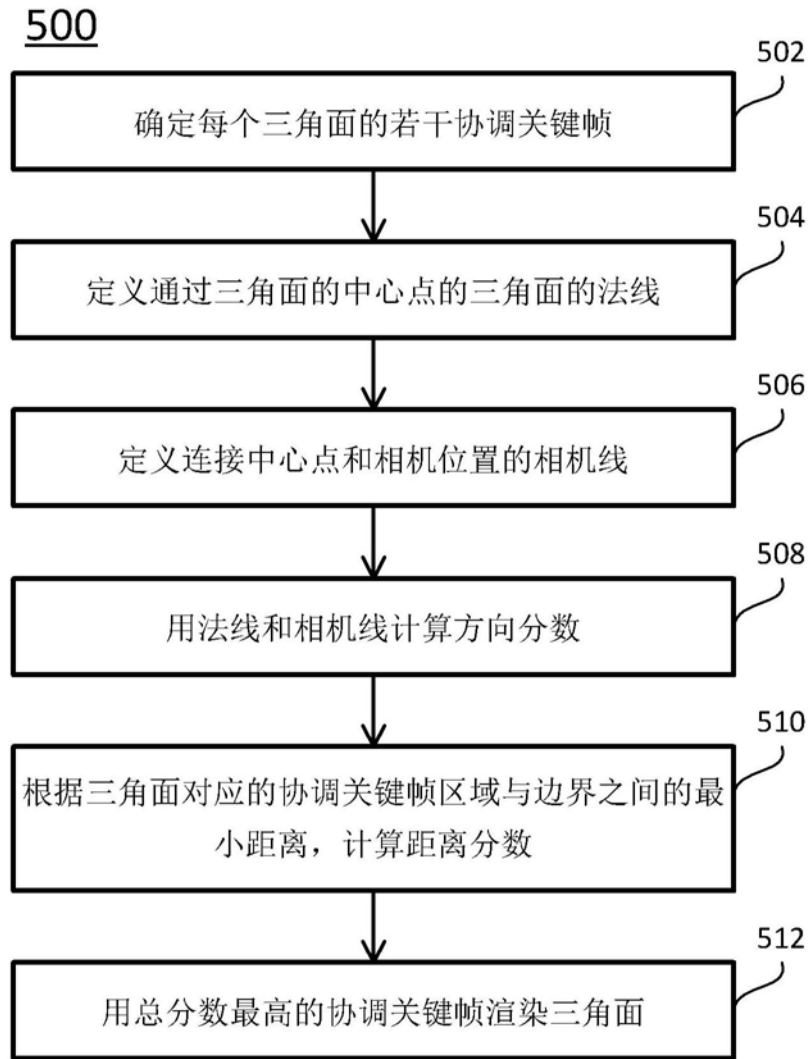


图5

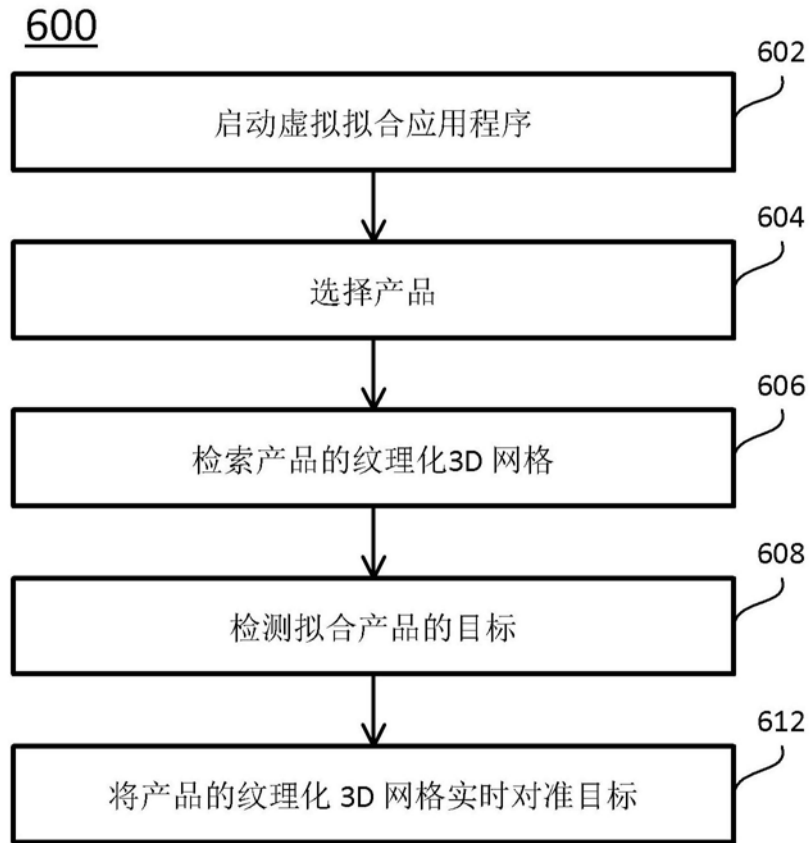


图6