



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105096374 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 25

(21) 申请号 201510245691. 6

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2015. 05. 14

G06T 15/50(2011. 01)

(30) 优先权数据

14/278, 025 2014. 05. 15 US

14/448, 666 2014. 07. 31 US

(71) 申请人 开奥斯软件有限公司

地址 保加利亚索非亚

(72) 发明人 彼得·奥格尼安诺夫·米特夫

伊瓦伊洛·卡特夫·伊利耶夫

伊万琳·扬科夫·约尔丹诺夫

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限

责任公司 11219

代理人 陈依虹 刘光明

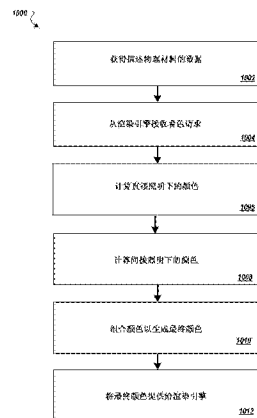
权利要求书4页 说明书13页 附图14页

(54) 发明名称

材料的着色 CG 表现

(57) 摘要

方法、系统和装置,包括在计算机存储介质上编码的计算机程序,用于着色材料的计算机图形(CG)表现。方法之一包括获得描述物理材料的数据;从渲染引擎接收用于着色所述物理材料的CG表现中的特定点的着色请求,其中,所述请求识别所述特定点的映射位置、在所述映射位置处的观看方向以及在所述映射位置处的光方向;使用所述多个调色板化的图像来计算在所述映射位置处的直接照明颜色;使用描述所述物理材料的所述数据来计算在所述映射位置处的间接照明颜色;通过将所述直接照明颜色和所述间接照明颜色相组合来生成在所述映射位置处的最终颜色;以及将所述最终颜色提供给所述渲染引擎,用于在渲染所述物理材料的所述CG表现中使用。



1. 一种方法,包括:

获得描述物理材料的数据,其中,描述所述物理材料的所述数据包括所述物理材料的第一样本的多个调色板化的图像,其中,每个所述调色板化的图像包括多个镜的相应的镜所反射的所述物理材料的第一样本的相应的反射图像;

从渲染引擎接收用于着色所述物理材料的计算机图形(CG)表现中的特定点的着色请求,其中,所述请求识别所述特定点的映射位置、在所述映射位置处的观看方向、以及在所述映射位置处的光方向;

使用所述多个调色板化的图像来计算在所述映射位置处的直接照明颜色;

使用描述所述物理材料的所述数据来计算在所述映射位置处的间接照明颜色;

通过将所述直接照明颜色和所述间接照明颜色相组合来生成在所述映射位置处的最终颜色;以及

将所述最终颜色提供给所述渲染引擎,用于在渲染所述物理材料的所述CG表现中使用。

2. 如权利要求1所述的方法,其中,所述多个镜的位置限定了半球。

3. 如权利要求1所述的方法,进一步包括:

生成多个镜的位置所限定的半球的Voronoi图,所述多个镜的每个都从不同视角反射位于所述多个镜之上的材料样本的视图;

生成二维表,所述二维表包含多个单元格,其中,每个单元格被相应的水平和垂直角对映射到所述半球;以及

对于每个单元格:

在与所述单元格相对应的所述水平和垂直角对处的椭圆体的表面上构建圆圈,以及存储多个(位置,权重)对作为与所述单元格相对应的数据,包括:

随机地定位所述圆圈内的预定数目的点,

对于每个点,确定每个点的相应的最接近的镜,

对于每个镜,确定将所述镜作为所述点的最接近的镜的点的计数,以及

确定每个镜的相应的(位置,权重)对,其中,所述位置标识所述镜,并且所述权重是通过将对所述镜的点的所述计数除以所述预定的数目来确定的。

4. 如权利要求3所述的方法,其中,使用所述多个调色板化的图像来计算在所述映射位置处的所述直接照明颜色包括:

识别与所述观看方向相对应的所述二维表中的第一单元格;

识别与所述光方向相对应的所述二维表中的第二单元格;

使用存储在所述第一单元格和所述第二单元格中的所述(位置,权重)对来确定第一贡献调色板化的图像和第二贡献调色板化的图像;

从所述第一贡献调色板化的图像提取第一像素以及从所述第二贡献调色板化的图像提取第二像素;以及

使用所提取的像素以及用于所述第一单元格和第二单元格的权重来确定所述直接照明颜色。

5. 如权利要求4所述的方法,其中,从每个贡献调色板化的图像提取像素包括通过将所述映射位置的坐标翻译为每个贡献调色板化的图像中的位置来提取所述像素。

6. 如权利要求 4 所述的方法, 其中, 使用所提取的像素和所述权重来确定所述直接照明颜色包括:

确定所述第一像素的颜色和所述第二像素的颜色;

基于用于选择所述第一贡献调色板化的图像的所述(位置, 权重)对中的所述权重来对所述第一像素的所述颜色进行加权;

基于用于选择所述第二贡献调色板化的图像的所述(位置, 权重)对中的所述权重来对所述第二像素的所述颜色进行加权; 以及

将加权的颜色求和以确定所述直接照明颜色。

7. 如权利要求 3 所述的方法, 其中, 生成所述 Voronoi 图包括识别所述椭圆体中每个点的最接近的镜, 其中, 所述最接近的镜是具有从所述点到所述镜的中心的最短距离的镜。

8. 如权利要求 7 所述的方法, 其中, 生成所述 Voronoi 图进一步包括将共享相同的最接近的镜的每个点指派到所述 Voronoi 图中的相同区。

9. 如权利要求 3 所述的方法, 其中, 在所述表面上构建所述圆圈包括从覆盖所述 Voronoi 图中至少两个区的每个可能圆圈中选择具有最小半径的圆圈。

10. 如权利要求 1 所述的方法, 其中, 描述所述物理材料的所述数据包括在第一区域图像中的第一像素的 $K \times M$ 的表, 其中, 所述第一区域图像对应于所接收到的观看方向, 其中, 所述第一像素对应于所接收到的映射位置, 并且其中, 所述表的每个单元格包含所述多个镜所限定的椭圆体的相应的块的中心的位置。

11. 如权利要求 10 所述的方法, 其中, 使用描述所述物理材料的所述数据来计算在所述映射位置处的所述间接照明颜色包括:

确定在所述映射位置处的第一间接照明颜色, 包括:

生成从 0 到 K 的范围中选择的第一非整数随机数;

生成从 0 到 M 的范围中选择第二非整数随机数;

使用所述第一随机数和所述第二随机数来对所述表进行索引, 以识别绑定所述第一随机数和所述第二随机数的单元格;

识别在所识别的单元格中包含的位置;

组合所述位置以生成最终位置; 以及

追踪由所述最终位置所限定的方向上的光线, 以确定所述第一间接照明颜色; 以及

至少部分地基于所述第一间接照明颜色来计算在所述映射位置处的所述间接照明颜色。

12. 如权利要求 11 所述的方法, 其中, 至少部分地基于所述第一间接照明颜色来计算在所述映射位置处的所述间接照明颜色包括: 使用所述第一间接照明颜色作为所述间接照明颜色。

13. 如权利要求 11 所述的方法, 其中, 至少部分地基于所述第一间接照明颜色来计算在所述映射位置处的所述间接照明颜色包括:

计算一个或多个其他间接照明颜色; 以及

将所述一个或多个其他间接照明颜色与所述第一间接照明颜色相组合来生成最终间接照明颜色。

14. 一种系统, 包括一个或多个计算机和存储指令的一个或多个存储设备, 所述指令当

被所述一个或多个计算机执行时使得所述一个或多个计算机执行包括以下的操作：

获得描述物理材料的数据，其中，描述所述物理材料的所述数据包括所述物理材料的第一样本的多个调色板化的图像，其中，每个所述调色板化的图像包括多个镜的相应的镜所反射的所述物理材料的第一样本的相应的反射图像；

从渲染引擎接收用于着色所述物理材料的计算机图形（CG）表现中的特定点的着色请求，其中，所述请求识别所述特定点的映射位置、在所述映射位置处的观看方向以及在所述映射位置处的光方向；

使用所述多个调色板化的图像来计算在所述映射位置处的直接照明颜色；

使用描述所述物理材料的所述数据来计算在所述映射位置处的间接照明颜色；

通过将所述直接照明颜色和所述间接照明颜色相组合来生成在所述映射位置处的最终颜色；以及

将所述最终颜色提供给所述渲染引擎，用于在渲染所述物理材料的所述 CG 表现中使用。

15. 如权利要求 14 所述的系统，所述操作进一步包括：

生成多个镜的位置所限定的半球的 Voronoi 图，所述多个镜的每个都从不同视角反射位于所述多个镜之上的材料样本的视图；

生成二维表，所述二维表包含多个单元格，其中，每个单元格被相应的水平和垂直角对映射到所述半球；以及

对于每个单元格：

在与所述单元格相对应的所述水平和垂直角对处的椭圆体的表面上构建圆圈，以及存储多个（位置，权重）对作为与所述单元格相对应的数据，包括：

随机地定位所述圆圈内的预定数目的点，

对于每个点，确定每个点的相应的最接近的镜，

对于每个镜，确定将所述镜作为所述点的最接近的镜的点的计数，以及

确定每个镜的相应的（位置，权重）对，其中，所述位置标识所述镜，并且所述权重是通过将对所述镜的点的所述计数除以所述预定的数目来确定的。

16. 如权利要求 15 所述的系统，其中，使用所述多个调色板化的图像来计算在所述映射位置处的所述直接照明颜色包括：

识别与所述观看方向相对应的所述二维表中的第一单元格；

识别与所述光方向相对应的所述二维表中的第二单元格；

使用存储在所述第一单元格和所述第二单元格中的所述（位置，权重）对来确定第一贡献调色板化的图像和第二贡献调色板化的图像；

从所述第一贡献调色板化的图像提取第一像素以及从所述第二贡献调色板化的图像提取第二像素；以及

使用所提取的像素以及用于所述第一单元格和第二单元格的权重来确定所述直接照明颜色。

17. 如权利要求 16 所述的方法，其中，使用所提取的像素和所述权重来确定所述直接照明颜色包括：

确定所述第一像素的颜色和所述第二像素的颜色；

基于用于选择所述第一贡献调色板化的图像的所述（位置，权重）对中的所述权重来对所述第一像素的所述颜色进行加权；

基于用于选择所述第二贡献调色板化的图像的所述（位置，权重）对中的所述权重来对所述第二像素的所述颜色进行加权；以及

将加权的颜色求和以确定所述直接照明颜色。

18. 如权利要求 14 所述的系统，其中，描述所述物理材料的所述数据包括在第一区域图像中的第一像素的 $K \times M$ 的表，其中，所述第一区域图像对应于所接收到的观看方向，其中，所述第一像素对应于所接收到的映射位置，并且其中，所述表的每个单元格包含所述多个镜所限定的椭圆体的相应的块的中心的位置。

19. 如权利要求 18 所述的系统，其中，使用描述所述物理材料的所述数据来计算在所述映射位置处的所述间接照明颜色包括：

确定在所述映射位置处的第一间接照明颜色，包括：

生成从 0 到 K 的范围中选择的第一非整数随机数；

生成从 0 到 M 的范围中选择第二非整数随机数；

使用所述第一随机数和所述第二随机数来对所述表进行索引，以识别绑定所述第一随机数和所述第二随机数的单元格；

识别在所识别单元格中包含的位置；

组合所述位置以生成最终位置；以及

追踪由所述最终位置所限定的方向上的光线，以确定所述第一间接照明颜色；以及

至少部分地基于所述第一间接照明颜色来计算在所述映射位置处的所述间接照明颜色。

20. 一种存储指令的计算机可读介质，所述指令当被一个或多个计算机执行时使得所述一个或多个计算机执行包括以下的操作：

获得描述物理材料的数据，其中，描述所述物理材料的所述数据包括所述物理材料的第一样本的多个调色板化的图像，其中，每个所述调色板化的图像包括多个镜的相应的镜所反射的所述物理材料的第一样本的相应的反射图像；

从渲染引擎接收用于着色所述物理材料的计算机图形（CG）表现中的特定点的着色请求，其中，所述请求识别所述特定点的映射位置、在所述映射位置处的观看方向、以及在所述映射位置处的光方向；

使用所述多个调色板化的图像来计算在所述映射位置处的直接照明颜色；

使用描述所述物理材料的所述数据来计算在所述映射位置处的间接照明颜色；

通过将所述直接照明颜色和所述间接照明颜色相组合来生成在所述映射位置处的最终颜色；以及

将所述最终颜色提供给所述渲染引擎，用于在渲染所述物理材料的所述 CG 表现中使用。

材料的着色 CG 表现

技术领域

[0001] 本说明书涉及材料的着色计算机图形 (CG) 表现。在渲染材料的 CG 表现的处理期间,基于所渲染的场景的所需照明,可以使用一个或多个着色技术来确定例如材料的表面的颜色和亮度。

发明内容

[0002] 一般地,本说明书中所述的主题的一个创新方面可以体现于一种装置中,所述装置包括具有用于发射光的透镜的光源;多个第一平面镜,其中所述光源可被移动以直接照亮多个第一平面镜的每个平面镜;样本支持,被配置为在多个第一镜和光源之间挂起材料样本,其中所述样本支持定位为使得第一镜中每个从不同视角反射材料样本的相应的视图;以及接近光源的相机,并且被配置为当光源定位为直接照亮每个平面镜时捕捉反射材料样本的第一镜的相应的图像。

[0003] 这些和其他实施例每个都可以可选地包括下面特征中的一个或多个。发射的光可以是校准的光。直接照亮第一平面镜可以包括从光源的透镜发射光,所述光被第二镜反射以与第一平面镜相交。相机可以进一步被配置为将图像提供给系统,用于生成用于着色材料样本的计算机图形表现的数据结构。第一平面镜可以是阵列的,使得第一平面镜的相应的表面限定椭圆柱体。材料样本的中心可以位于通过获取穿过椭圆柱体中心且沿着椭圆柱体半轴的椭圆柱体的截面而形成的椭圆的第一焦点处。相机可以位于椭圆的第二焦点处。光源可以安装在旋转盘上。

[0004] 一般地,本说明书中所述的主题的另一创新方面可以体现于包括下述动作的方法:获得多个第一图像,其中每个第一图像包括多个区域,其中每个区域对应于多个镜中的相应的镜且包括由对应的镜反射的材料的第一样本的反射图像,并且其中所述多个镜限定椭圆柱体;对于每个第一图像:通过从第一图像中提取与该区域相对应的反射图像而生成第一图像中每个区域的相应的区域图像,其中每个区域图像包括相应的多个区域图像像素,并且调色板化每个区域图像;以及将每个调色板化的图像提供给计算机图形 (CG) 渲染引擎,用于在着色材料的 CG 表现中使用。

[0005] 这个方面的其他实施例包括对应的计算机系统、装置和记录在一个或多个计算机存储设备上的计算机程序,每个都被配置为执行所述方法的动作。

[0006] 一个或多个计算机的系统可以被配置为通过将软件、固件、硬件或这些的组合安装在操作中的系统上使得系统执行动作,而执行特定操作或动作。一个或多个计算机程序可以被配置为通过包括指令,当所述指令被数据处理装置执行时使得装置执行动作,而执行特定操作或动作。

[0007] 这些和其他实施例可以每个可选地包括下述特征中的一个或多个。方法可以进一步包括获得几何形状校准数据和颜色校准数据,用于校准多个第一图像。生成第一图像中每个区域的相应的区域图像可以包括:使用几何形状校准数据来从第一图像中提取与该区域相对应的反射图像;以及使用颜色校准数据来调整反射图像的颜色以生成区域图像。

方法可进一步包括对于每个区域图像像素：将多个镜所限定的椭圆柱体划分为第一数目的扇区，其中材料所反射的光线具有落在每个扇区中的相等概率，将每个扇区划分为第二数目的块，其中材料所反射的光线具有落在每个块中的相等概率，并且生成具有多个单元格的表，其中表中每个单元格存储识别椭圆柱体的相应的块的中心的数据。方法可以进一步包括将用于每个区域图像像素的表提供给渲染引擎，用于在确定在材料的 CG 表现上的间接照明的效果中使用。将多个镜限定的椭圆柱体划分为第一数目的扇区可以包括迭代地累积椭圆柱体的表面的子划分的局域概率。每个子划分的局域概率可以是被椭圆柱体的表面的平均亮度所划分的子划分的局域亮度。将每个扇区划分为第二数目的块可以包括迭代地累积扇区的子划分的局域概率。该方法可以进一步包括获得多个第二图像，其中每个第二图像是对应的镜所反射的材料的第一更大样本的直接图像，并且其中每个第二图像包括相应的多个第二图像像素；为每个第二图像像素确定相应的最类似区域图像像素；以及存储将每个第二图像像素与第二图像像素的对应的最类似区域图像像素相关联的映射。每个第二图像可以在相应的角度拍摄，并且其中每个相应的角度对应于多个镜中相应的镜反射材料的第一样本的角度。为每个第二图像像素确定相应的最类似区域图像像素可以包括：为每个区域图像像素和每个第二图像像素确定相应的签名；以及基于签名选择最类似区域图像像素。为每个区域图像像素和每个第二图像像素确定相应的签名可以包括：计算像素的高度和预定数目的像素的邻居的高度；以及基于高度计算像素的签名。为每个区域图像像素和每个第二图像像素确定相应的签名可以包括基于颜色匹配来为像素计算签名。基于签名选择最类似区域图像像素可以包括从第二图像像素中选择具有签名的区域图像像素作为最类似区域图像像素，该签名具有与第二图像像素的签名的最小距离。

[0008] 本说明书中所述的主题的特定实施例可以被实施以便实现下述优点中的一个或多个。材料的 CG 表现可以被有效地着色而不用获得大样本物理材料的多个高分辨率图像。具有复杂和变化纹理的材料的表现可以被有效地着色。材料的表现可以使用更少的数据且以更短的时间量来有效地着色。

[0009] 一般地，本说明书中所述的主题的另一创新方面可以体现于包括下述动作的方法：获得描述物理材料的数据，其中，描述物理材料的数据包括所述物理材料的第一样本的多个调色板化的图像，其中，每个所述调色板化的图像包括多个镜的相应的镜所反射的所述物理材料的第一样本的相应的反射图像；从渲染引擎接收用于着色所述物理材料的计算机图形 (CG) 表现中的特定点的着色请求，其中，所述请求识别所述特定点的映射位置、在所述映射位置处的观看方向以及在所述映射位置处的光方向；使用所述多个调色板化的图像来计算在所述映射位置处的直接照明颜色；使用描述物理材料的数据来计算在所述映射位置处的间接照明颜色；通过将所述直接照明颜色和所述间接照明颜色相组合来生成在所述映射位置处的最终颜色；以及将所述最终颜色提供给所述渲染引擎，用于在渲染所述物理材料的所述 CG 表现中使用。

[0010] 这个方面的其他实施例包括对应的计算机系统、装置和记录在一个或多个计算机存储设备上的计算机程序，每个都被配置为执行所述方法的动作。

[0011] 一个或多个计算机的系统可以被配置为通过将软件、固件、硬件或这些的组合安装在操作中的系统上使得系统执行动作，而执行特定操作或动作。一个或多个计算机程序可以被配置为通过包括指令，当所述指令被数据处理装置执行时使得装置执行动作，而执

行特定操作或动作。

[0012] 这些和其他实施例每个可以可选地包括下面特征中的一个或多个。所述多个镜的位置限定了半球。所述方法可以进一步包括：生成多个镜的位置所限定的半球的 Voronoi 图，所述多个镜的每个都从不同视角反射位于所述多个镜之上的材料样本的视图；生成二维表，该二维表包含多个单元格，其中，每个单元格被相应的水平和垂直角对映射到所述半球；以及对于每个单元格：在与所述单元格相对应的所述水平和垂直角对处的椭圆体的表面上构建圆圈，以及存储多个（位置，权重）对作为与 said 单元格相对应的数据，包括：随机地定位所述圆圈内的预定数目的点，对于每个点，确定每个点的相应的最接近的镜，对于每个镜，确定将所述镜作为该点的最接近的镜的点的计数，以及确定每个镜的相应的（位置，权重）对，其中，所述位置标识所述镜，并且所述权重是通过将对所述镜的点的计数除以所述预定的数目来确定的。

[0013] 使用所述多个调色板化的图像来计算在所述映射位置处的直接照明颜色可以包括：识别与观看方向相对应的所述二维表中的第一单元格；识别与光方向相对应的所述二维表中的第二单元格；使用存储在所述第一单元格和所述第二单元格中的所述（位置，权重）对来确定第一贡献调色板化的图像和第二贡献调色板化的图像；从所述第一贡献调色板化的图像提取第一像素以及从所述第二贡献调色板化的图像提取第二像素；以及使用所提取的像素以及用于所述第一和第二单元格的权重来确定所述直接照明颜色。从每个贡献调色板化的图像提取像素可以包括通过将所述映射位置的坐标翻译为每个贡献调色板化的图像中的位置来提取所述像素。使用所提取的像素和权重来确定所述直接照明颜色可以包括：确定所述第一像素的颜色和所述第二像素的颜色；基于用于选择所述第一贡献调色板化的图像的所述（位置，权重）对中的权重来对所述第一像素的颜色进行加权；基于用于选择所述第二贡献调色板化的图像的所述（位置，权重）对中的权重来对所述第二像素的颜色进行加权；以及将加权的颜色求和以确定所述直接照明颜色。生成 Voronoi 图可以包括识别椭圆体中每个点的最接近的镜，其中，所述最接近的镜是具有从所述点到所述镜的中心的最近距离的镜。生成 Voronoi 图可以进一步包括将共享相同的最接近的镜的每个点指派到 Voronoi 图中的相同区。在表面上构建圆圈可以包括从覆盖 Voronoi 图中至少两个区的每个可能圆圈中选择具有最小半径的圆圈。描述物理材料的数据可以包括在第一区域图像中的第一像素的 $K \times M$ 的表，其中，所述第一区域图像对应于所接收到的观看方向，其中，所述第一像素对应于所接收到的映射位置，并且其中，所述表的每个单元格包含所述多个镜所限定的椭圆体的相应的块的中心的位置。

[0014] 使用描述物理材料的数据来计算在所述映射位置处的间接照明颜色可以包括：确定在所述映射位置处的第一间接照明颜色，包括：生成从 0 到 K 的范围中选择的第一非整数随机数；生成从 0 到 M 的范围中选择第二非整数随机数；使用所述第一随机数和所述第二随机数来对所述表进行索引以识别绑定所述第一随机数和所述第二随机数的单元格；识别在所识别的单元格中包含的位置；组合所述位置以生成最终位置；以及追踪由所述最终位置所限定的方向上的光线以确定所述第一间接照明颜色；以及至少部分地基于所述第一间接照明颜色来计算在所述映射位置处的所述间接照明颜色。至少部分地基于所述第一间接照明颜色来计算在所述映射位置处的所述间接照明颜色可以包括使用所述第一间接照明颜色作为所述间接照明颜色。至少部分地基于所述第一间接照明颜色来计算在所述映射

位置处的所述间接照明颜色可以包括：计算一个或多个其他间接照明颜色；以及将所述一个或多个其他间接照明颜色与所述第一间接照明颜色相组合来生成最终间接照明颜色。

[0015] 在附图和下面的描述中阐述了本说明书的主题的一个或多个实施例的细节。通过描述、附图和权利要求，主题的其他特征、方面和优点将变得显而易见。

附图说明

[0016] 图 1 是用于着色物理材料的计算机图形 (CG) 表现的示例系统的高级别图示。

[0017] 图 2A 是示例材料样本扫描仪的图。

[0018] 图 2B 图示说明了材料样本扫描仪内的组件的示例配置。

[0019] 图 3 是光源 - 相机组件的底部的图。

[0020] 图 4 示出了镜组件从上面看的视图。

[0021] 图 5 是材料样本扫描仪生成的示例镜图像。

[0022] 图 6 是用于生成用于确定材料的 CG 表现的直接照明的调色板化的图像的示例技术的流程图。

[0023] 图 7 是用于生成用于确定材料的 CG 表现的间接照明的效果的数据结构的示例技术的流程图。

[0024] 图 8 是用于校准由材料样本扫描仪产生的图像的几何形状和颜色的示例技术的流程图。

[0025] 图 9 是用于生成直接图像中的像素和镜图像中的像素之间的映射的示例技术的流程图。

[0026] 图 10 是用于计算给定映射位置处的最终颜色的示例技术的流程图。

[0027] 图 11A 是用于确定在给定映射位置处的直接照明的效果的示例技术的流程图。

[0028] 图 11B 示出了示例 Voronoi 图。

[0029] 图 12 是用于确定在给定映射位置处的间接照明的效果的示例技术的流程图。

[0030] 各个附图中相似的附图标记和名称表示相似的元素。

具体实施方式

[0031] 图 1 是用于使用材料的物理样本来着色物理材料例如木材、织物、皮革或金属的计算机图形 (CG) 表现的示例系统 100 的高级别图示。

[0032] 系统 100 包括渲染引擎 106。渲染引擎 106 例如使用常规技术来渲染图像或动画。通常，渲染引擎 106 从准备的场景中，例如基于模型或其他渲染标准，来生成图像或动画。作为渲染处理的一部分并且为了说明物理材料的 CG 表现上的渲染的场景的所需照明条件的效果，即为了准确地描绘三维模型中物理材料的图像，渲染引擎 106 可能需要从着色模块 108 获得 CG 表现的着色信息。着色模块 108 可以是例如渲染引擎 106 的插件软件部件。

[0033] 着色模块 108 从渲染引擎 106 接收对着色信息的请求，渲染引擎 106 识别要着色的材料、要着色的映射位置即图像的三维模型的 UV 映射中的位置、用于映射位置的观看方向以及在映射位置处的光方向。映射位置可以用例如 UV 坐标来表示。响应于请求，着色模块 108 使用从材料建造者系统 104 获得的数据而确定在映射位置处的最终颜色并且将最终颜色提供给渲染引擎 106 以渲染。为了确定映射位置处的最终颜色，着色模块 108 确定在

该位置处的直接和间接照明的效果。直接照明是从光源提供的照明,没有来自其他表面的反射。间接照明是通过来自其他表面的光的反射而提供的照明,即来自围绕场景中对象的表面的从直接光源提供的光的反射。确定给定映射位置处的最终颜色在下面结合图 10 更详细描述。

[0034] 材料建造者系统 104 可以实现为在一个或多个地理位置在一个或多个数据处理装置(例如,个人电脑、服务器、平板电脑、智能电话等等)上执行的计算机程序指令。材料建造者系统 104 接收材料样本扫描仪 102 所生成的物理材料的样本的图像并且生成用于着色模块例如着色模块 108 在材料的着色 CG 表现中使用的数据结构。生成用于确定在直接照明下对材料的着色 CG 表现的直接照明效果的数据在下面结合图 6 来描述。生成用于确定对材料的着色 CG 表现的间接照明的效果的数据在下面结合图 7 来描述。

[0035] 材料样本扫描仪 102 是生成给定材料的物理样本的图像并且将其提供给材料建造者系统 104 的装置。材料样本扫描仪 102 所生成的每个图像包括样本的变化视图和照明方向的多个图像。材料样本扫描仪的示例在下面结合图 2 来描述。

[0036] 图 2A 是示例材料样本扫描仪 200 的图。材料样本扫描仪 200 是生成材料 250 的样本的图像的装置。通过图示,材料可以是一块织物、木材、皮革、毛皮、地毯、金属、玻璃、塑料、这些组合、或其他材料。样本 250 的尺寸可以是例如大约一英寸乘以一英寸。其他样本大小是可能的。通常,样本 250 将是在渲染期间被着色的材料的一小部分。

[0037] 扫描仪 200 包括光源-相机组件 240。光源-相机组件 240 包括光源 202 和相机 208。光源 202 包括发射指向镜 210 的光的透镜,该镜 210 朝向镜组件 215 反射光。

[0038] 镜组件 215 包括一组平面镜 204。镜 204 被安排使得它们限定椭圆体。也就是,镜 204 定位为使得镜的反射表面大约是椭圆体的外表面的一部分。通常,镜的反射表面的尺寸大于样本 250 的尺寸。例如,如果样本的尺寸是一英寸乘以一英寸,则每个镜可以是两英寸乘以两英寸。

[0039] 光源 202 能够移动以直接照亮每个镜 204。也就是,光源 202 能够径向移动,且光源 202 的角度、镜 210 的角度、或二者,能够被调整以便在光源 202 的径向位置以及光源 202 和镜 210 的角度的某些组合,每个镜的反射表面直接由光源的透镜所发射的光所照亮并被镜 210 反射。在图 2 的图示示例中,例如,光源 202 定位为使得光源 202 所发射的示例光线 225 被镜 210 反射并且直接与平面镜 204 之一的反射表面相交。为了光源 202 能够移动以照亮每个镜,光源 202 可以安装在旋转盘 220 上并且在允许光源 202 沿着盘的半径横穿的轨迹上。光源可以是例如平行光源,即产生平行光线的光源,即近似彼此平行的光线。

[0040] 镜组件 215 还包括样本支持 206。样本支持 206 被配置为在扫描仪 200 内的一组镜 204 和光源 202 之间挂起样本 250。特别是,样本支持 206 被配置为挂起样本,使得样本背向光源 202 且样本的中心近似在镜 204 所限定的椭圆 299 的一个焦点处,即通过使得椭圆体的截面通过其中心而形成的且沿着其半轴之一的椭圆 299。通过在这个配置中定位镜 204 和材料样本 250,当光源 202 直接照亮任何一个镜 204 时,每个镜 204 将以相应的角度反射样本的图像。在一些实现中,样本支持 206 进一步被配置为允许样本沿着一个或多个轴旋转。

[0041] 相机 208 位于接近光源 202。例如,相机 208 可以近似位于样本的中心之上。特别是,相机 208 可以近似位于椭圆 299 的另一焦点处。相机 208 相对于一组镜 204 和样本

250 的定位在下面结合图 2B 更详细描述。

[0042] 在一些实现中,相机 208 被配置为响应于请求,例如从材料建造者系统例如图 1 的材料建造者系统 104 接收的请求,捕捉镜 204 的图像。特别是,当光源 202 被定位以直接照亮每个镜时,相机 208 可以捕捉镜 204 的相应的图像。例如,如果有 40 个位置和 40 个镜,相机 208 可以被配置为捕捉 40 个图像,每个图像包括样本的 40 个反射图像,光源被定位以直接照亮镜中相应的一个。在镜 204 正在反射样本支持 206 所支持的样本 250 的图像时,样本 250 的反射图像是镜 204 之一的图像。尽管具有 40 个镜的扫描仪 200 被用作示例,但是任何数目的镜以及由此的图像都是可能的。

[0043] 一旦已经捕捉了镜的图像,图像可以被提供给材料建造者系统以处理。在一些实现中,在被材料建造者系统处理之前,图像被转换为特定格式,例如 OpenEXR 格式。在其他实现中,材料建造者系统处理以它们被相机 204 捕捉的格式的图像。

[0044] 图 2B 图示了图 2A 的材料样本扫描仪 200 内的部件的示例配置。椭圆 299 被示出由图 2A 的一组镜 204 来限定。材料样本 250 定位于椭圆 299 的第一焦点处,即最接近一组镜 204 的焦点。相机 208 位于椭圆 299 的另一焦点处。作为示例,椭圆 299 的长轴 299a,即通过样本 250 和相机 208 的轴,可以约 120 厘米长,并且短轴 299b 可以约 66 厘米长。在这个示例中,材料样本 250 和相机 208 之间的距离约为 50 厘米。但是,其他尺寸也是可能的。

[0045] 图 3 是图 2A 的光源-相机组件 240 的底部的图。光源-相机组件 240 包括光源 202,其定位以发射反射出镜 210 朝向一组镜例如图 2A 的一组镜 204 的光线。光源 202 安装在旋转盘 220 上以便允许光源 202 能够径向移动。如上所述,光源 202 的角度、镜 210 的角度、或二者,都可能是可调整的。光源-相机组件 240 包括孔 275。相机,例如图 2A 的相机 208,可以在孔上定位。

[0046] 图 4 示出图 2A 的镜组件 215 从上面看的视图。镜组件 215 包括一组平面镜 204。如上所述,该组平面镜 204 中的镜定位为使得镜的反射表面接近椭圆体的外表面的一部分。镜组件 215 还包括样本支持 206。样本支持 206 被配置为使用支持臂 292 在一组平面镜 204 上挂起样本。尽管从上面看的视图中不可见,样本挂起在样本支持 206 的下面。支持臂 292 定位为使得它们不妨碍从在镜组件 215 上定位的相机拍摄的图像中的一组平面镜 204 中任何镜的视图。

[0047] 图 5 是材料样本扫描仪例如图 2A 的材料样本扫描仪 200 所生成的示例镜图像 500。镜图像 500 包括一组区域,例如区域 502,每个区域对应于包含一组平面镜例如图 2A 的一组镜 204 中的相应的镜的反射的图像 500 和样本支持 504 的顶侧的图像的区域。每个区域包括要被着色的材料的样本的相应的反射图像。镜图像 500 是当光源例如图 2A 的光源 202 直接照亮一组镜中的一个镜且样本被样本支持所挂起时生成的图像。例如,当拍摄镜图像 500 时,光源可能已经直接照亮与镜图像 500 中的区域 502 相对应的镜。在此情况下,区域 502 将包括当直接由光源照亮时被对应镜所反射的样本的反射图像。

[0048] 图 6 是用于生成用于确定材料的 CG 表现的直接照明的效果的调色板化的图像的示例技术 600 的流程图。为了方便,技术 600 将被描述为由位于一个或多个位置的一个或多个数据处理装置的系统来执行。例如,被适当编程的材料建造者系统,例如图 1 的材料建造者系统 104,可以执行技术 600。

[0049] 系统校准 602 颜色以及可选地,校准材料样本扫描仪例如图 1 的材料样本扫描仪

102 产生的图像的几何形状。用于校准几何形状和颜色的示例技术将在下面结合图 8 来描述。作为校准处理的结果,系统生成颜色校准数据,其识别要应用于材料样本扫描仪所产生的图像中的反射图像的颜色变换,并且可选地,系统生成几何形状校准数据,其识别材料样本扫描仪所产生的图像中的反射图像的位置。

[0050] 系统获得 604 材料样本扫描仪所生成的一组镜图像。每个镜图像,例如图 5 的镜图像 500,包括一组区域,每个区域对应于一组镜例如图 2A 中的一组镜 204 中的相应的镜。每个区域例如图 5 的区域 502 包括要被着色的材料的样本的相应的反射图像。通常,一组镜图像将包括与该组镜中的镜的数目相同数目的镜图像,一组镜图像包括在光源直接照亮该组镜中不同镜时所拍摄的图像。

[0051] 对于每个镜图像,系统使用颜色校准数据以及可选地还使用几何形状校准数据来为镜图像中每个区域生成 606 相应的区域图像。系统通过从每个区域中提取反射图像来生成区域图像。特别是,系统使用几何形状校准数据中识别的位置,或者如果没有执行几何形状校准,通过识别直接来自镜图像的区域的位置,来提取镜图像中每个区域的内容。

[0052] 作为生成区域图像的一部分,系统生成使用镜的位置来限定半球的数据。也就是,系统使用识别镜的位置的数据来确定每个镜中心相对于材料样本或光源的相应的角度。系统随后使用这些角度来限定具有预定半径的半球,例如半径为一。

[0053] 可选地,系统将每个区域转换为矩形形式。系统可以随后基于颜色校准数据来调整每个区域中的每个像素的颜色以便生成区域图像。

[0054] 系统使区域图像调色板化 608 并且存储 610 调色板化的图像。通常,使图像调色板化将图像中使用的颜色减少为预定数目的颜色。特别是,系统用指向调色板表中单元格的颜色索引来替代每个像素的颜色。调色板表包含在图片中使用的颜色的列表。系统可以使用例如常规调色板化技术来使区域图像调色板化。系统通过(光,相机)对来对存储的调色板化的图像进行索引,其中每个调色板化的图像的“光”值识别当调色板化的图像被拍摄时被直接照亮的镜,而每个图像的“相机”值识别当调色板化的图像被拍摄时相机位于其上的镜。系统可以通过指派每个镜从一到镜总数目的相应的整数来生成镜的识别符。

[0055] 存储的调色板化的图像可以被提供给着色模块,例如图 1 的着色模块 108,用于确定对材料的 CG 表现的直接照明。系统可以关联于每个图像的对应(光,相机)对来提供调色板化的图像。

[0056] 图 7 是用于生成用于确定材料的 CG 表现的间接照明的效果的数据结构的示例技术 700 的流程图。为了方便,技术 700 将被描述为由位于一个或多个位置的一个或多个数据处理装置的系统来执行。例如,被适当编程的材料建造者系统,例如图 1 的材料建造者系统 104,可以执行技术 700。

[0057] 在一些实现中,技术 700 对从由材料样本扫描仪获得的镜图像中生成的每个区域图像中的每个像素执行。

[0058] 系统将一组镜所限定的半球划分 702 为第一数目的扇区。特别是,系统将半球进行划分,使得材料所反射的光线具有落在每个扇区中相等概率。系统可以基于局域概率来构建这些相等概率的扇区,其中每个局域概率是整个半球的平均亮度所划分的局域亮度。图像的任何给定子划分的亮度可以被测量为例如子划分中的红(R)、绿(G)和蓝(B)颜色的平均值,即 $(R+G+B)/3$ 。

[0059] 为了将半球划分为扇区,系统迭代地累积半球表面的子划分。也就是,系统选择半球表面的小的子划分,例如每个子划分为整个半球表面的 1/10000。例如,系统可以使用预定步长,例如一度,通过沿着每个像素横穿半球表面来选择子划分。

[0060] 系统将每个连续子划分的概率相加,直到相加的概率和为 1/K,其中 K 是希望的扇区的第一数目。系统随后将第一扇区限定为和中所包括的子划分的聚集且继续该处理直到每个扇区都被限定。

[0061] 系统将每个扇区划分为 704 为第二数目的块。特别是,系统划分每个扇区使得材料所反射的光线具有落在每块相等概率。系统可以使用例如与如上所述用于划分半球的相同技术来将每个扇区划分为第二数目的块。

[0062] 系统生成 706 存储识别每个块的中心的数据的数据结构。例如,如果存在 K 个扇区,每个被划分为 M 块,则系统可以生成 K x M 表,表的每个条目中的数据是每个块的中心的位置。

[0063] 一旦对每个区域图像中的每个像素执行了技术 700,系统可以将数据结构提供给着色模块,例如图 1 的着色模块 108,用于确定材料的 CG 表现的间接照明。

[0064] 除了识别每个像素和调色板化的区域图像的半球的每个块的中心的数据之外,系统还可以向着色模块提供识别材料的物理样本的尺寸、每个镜图像中的区域的数目、镜图像中的每个区域的位置的信息以及识别镜所限定的半球的数据。

[0065] 图 8 是用于校准材料样本扫描仪(例如材料扫描仪 102)所产生的图像的几何形状和颜色的示例技术 800 的流程图。为了方便,技术 800 将被描述为由位于一个或多个位置的一个或多个数据处理装置的系统来执行。例如,被适当编程的材料建造者系统,例如图 1 的材料建造者系统 104,可以执行技术 800。

[0066] 系统使用具有特定预定图案的采样材料来获得 802 材料样本扫描仪(例如材料扫描仪 102)所生成的镜图像。例如,图案可以是棋盘图案。其他图案也是可能的。

[0067] 系统识别 804 镜图像中每个区域的初始位置。例如,系统可以分析镜图像来使用例如边缘检测技术识别镜图像中每个区域的每个边缘并且确定两个所识别的边缘的每个交叉。每个交叉点可以被识别为区域的角,且区域的位置可以由所识别的边缘和角来限定。

[0068] 在一些实现中,系统基于材料上预定图案来调整 806 初始位置。特别是,对于每个区域,系统执行低频傅立叶分析并且基于傅立叶分析的结果来调整初始位置。系统确定给定镜图像中四个最大区域的平均相位和频率并且调整每个初始角的位置以便将其区域的相位均衡到四个最大区域的平均相位和频率。系统存储调整后的位置数据作为几何形状校准数据,其识别材料样本扫描仪所产生的图像中的反射图像的位置。在一些实现中,系统不生成几何形状校准数据但识别系统所处理的每个镜图像中区域的初始位置,例如通过如上所述识别边缘和交点。

[0069] 系统获得 808 具有纯散射双向反射比分布函数(BRDF)的白色材料的材料样本扫描仪所生成的镜图像。

[0070] 系统从镜图像确定 810 单位球面 BRDF,并且存储数据作为颜色校准数据,其识别要应用于反射图像的颜色颜色变换。也就是,在被着色模块所使用之前,系统可以使用颜色校准数据来归一化材料样本扫描仪所拍摄的图像的颜色。

[0071] 尽管上面的说明描述了在着色物理材料的 CG 表现中生成由着色模块使用的数

据,上面的数据是基于材料的小样本的镜图像而生成的。在一些环境中,可能有益的是,获得材料的大样本的所谓直接图像并且将映射提供给着色模块,其对于大样本的直接图像之一的每个像素,识别任何镜图像中最类似该像素的像素。例如,当物理样本包括不重复图案或重复但不能完整在材料的小样本中捕捉的图案时,着色模块可能需要使用所提供的映射来将大样本的像素映射到镜图像中最类似的像素。通常,大样本的表面面积将约为用于生成镜图像的较小样本的十倍。生成映射在下面结合图 9 来描述。

[0072] 图 9 是用于生成直接图像中的像素和镜图像中的像素之间的映射的示例技术 900 的流程图。为了方便,技术 900 将被描述为由位于一个或多个位置的一个或多个数据处理装置的系统来执行。例如,被适当编程的材料建造者系统,例如图 1 的材料建造者系统 104,可以执行技术 900。

[0073] 系统从材料样本扫描仪,例如图 1 的材料样本扫描仪 102,获得 902 物理材料的小样本的一组镜图像。

[0074] 系统获得 904 物理材料的大样本的一组直接图像。通常,每个直接图像以与材料样本扫描仪中的镜之一反射小样本的图像的角度相对应的角度来拍摄。例如,一组直接图像可以包括四个图像,每个以相应的角度捕捉,该角度对应于最接近镜图像中样本的一组镜 204 中四个镜之一的相应的角度,该镜例如,对应于图 5 的区域 506、508、510 和 512 镜。

[0075] 系统确定 906 每个直接图像中每个像素的签名。每个签名是表示像素的一组值。例如,签名可以是 n 维向量,其中 n 是预定整数。系统可以以各种方式中的任何一种来为像素计算签名。

[0076] 在一些实现中,系统可以通过计算像素的高度和图像中像素的预定数目(例如 8 个)的邻居的高度来计算像素的签名。签名可以随后至少部分地基于这些高度而计算。例如,签名可以是高度值的向量。通常,因为物理材料的表面不平,给定像素的高度的值是在像素表示的点处在垂直方向上物理材料的表面的变化的值。

[0077] 系统从材料的高度地图来计算像素和相邻像素的高度。为了生成高度地图,系统从材料的四个图像生成正交场。也就是,系统可以解线性方程的两个系统,每个包含四个图像中的三个,以生成每个点的高度。线性方程的系统可以通过假定在一点处所测量的亮度与在该点处表面法线和该点处光方向之间的点积成正比而生成。系统可以组合两个系统的解来生成该点处的高度,例如使用第一系统的解的一些分量和第二系统的解的法线的其他分量。

[0078] 从正交场,系统迭代地确定高度地图。特别是,初始迭代假设所有像素为 0 高度。对于每个像素,系统计算与邻居像素的基于法线的所期望的差,并且将其与正交场中的差相比。系统用当前高度减去误差生成迭代的最终高度。一旦高度地图收敛于迭代之间的相对持久状态,收敛的高度地图被用作最终高度地图来确定用于签名的像素的高度。

[0079] 在其他实现中,系统可以基于颜色匹配来生成像素的签名。为了为像素生成颜色匹配的签名,系统识别四个图像的每个中的感兴趣的像素周围的像素。例如,对于每个图像,系统可以生成三乘以三的像素网格,感兴趣的像素在网格中心。系统随后基于每个网格中每个像素的 RGB 值来为像素生成签名。例如,签名可以是所有 RGB 值的排序列表。

[0080] 对于每个直接图像中的每个像素,系统随后从任何区域图像中确定 908 最类似的像素。通常,任何给定直接图像像素的最类似区域图像像素是具有签名的镜图像像素,该签

名具有它和直接图像像素签名之间的最小距离。特别是,当签名由 n 维向量表示时,签名 A 和签名 B 之间的距离 d 满足:

$$[0081] \quad d = (A_1 - B_1)^2 + (A_2 - B_2)^2 + \dots + (A_n - B_n)^2$$

[0082] 系统存储 910 将直接图像中每个像素与镜图像之一中与该像素最类似的像素相关联的映射。例如,系统可以存储将直接图像中像素的坐标与所属镜图像中最类似像素的坐标相关联的数据。

[0083] 图 10 是用于计算给定映射位置处的最终颜色的示例技术 1000 的流程图。为了方便,技术 1000 将被描述为由位于一个或多个位置的一个或多个数据处理装置的系统来执行。例如,被适当编程的着色模块,例如图 1 的着色模块 108,可以执行技术 1000。

[0084] 系统从材料建造者系统,例如图 1 的材料建造者系统 104,获得描述物理材料的数据(步骤 1002)。该数据包括用于计算在物理材料的 CG 表现上的特定点处的直接和间接照明的效果的数据。系统可以在各种时间获得数据,例如响应于接收到着色物理材料的 CG 表现的请求或者在接收到请求之前。取决于该物理材料,数据可以包括将物理材料的大样本的一组直接图像中每个的每个像素的坐标与识别物理材料的小样本的任何镜图像中的最类似像素的数据相关联的数据。

[0085] 系统从渲染引擎,例如图 1 的渲染引擎 106 接收着色请求(步骤 1004)。着色请求识别要着色的材料、要着色的映射位置即图像的三维模型的 UV 映射中的位置、映射位置的观看方向和映射位置的照明方向。

[0086] 如果系统所获得数据包括将物理材料的大样本的一组直接图像中每个的每个像素的坐标与识别物理材料的小样本的任何镜图像中最类似像素的数据相关联的数据,系统可以使用该数据将请求中识别的映射位置转换为小样本的镜图像中的点。系统随后可以在计算最终颜色中使用该点。

[0087] 系统使用描述物理材料的数据来计算在请求中识别的映射位置处直接照明下的颜色(步骤 1006)。用于计算直接照明下颜色的示例技术在下面结合图 11 来描述。

[0088] 系统使用描述物理材料的数据来计算在映射位置处间接照明下的颜色(步骤 1008)。用于计算间接照明下的颜色的示例技术在下面结合图 12 来描述。

[0089] 系统组合颜色以在映射位置生成最终颜色(步骤 1010)。例如,系统可以对直接照明下的颜色和间接照明下的颜色求和以生成最终颜色。

[0090] 系统将最终颜色提供给渲染引擎以用于渲染物理材料的 CG 表现(步骤 1012)。

[0091] 图 11A 是用于确定在给定映射位置处直接照明的效果的示例技术 1100 的流程图。为了方便,技术 1100 将被描述为由位于一个或多个位置的一个或多个数据处理装置的系统来执行。例如,被适当编程的着色模块,例如图 1 的着色模块 108,可以执行技术 1100。

[0092] 系统在材料样本扫描仪中镜的角度所限定的表面上构建 1102Voronoi 图。也就是,对于表面中的每个点,系统识别最接近的镜,其中,从点到镜的距离由从点到镜的中心的距离来限定。共享相同最接近镜的所有点共同形成 Voronoi 图中的区。例如表面可以是,如结合图 2A 和 2B 所述的镜的位置所限定的椭圆柱体的一部分。可替换地,表面可以是镜的角度所限定的半球。

[0093] 图 11B 示出了示例 Voronoi 图 1150。示例 Voronoi 图 1150 在由材料样本扫描仪中的镜的角度所限定的半球上构建。图 1150 包括多个区,例如区 1152 和区 1154,每个都包

括共享一组镜中相同最接近镜的所有点。

[0094] 返回图 11A 的描述,系统生成 1104 通过水平和垂直角度映射到表面的表。也就是,表中的每个单元格表示具有相应的角宽度和高度的表面的相应的区域。例如,如果表是 1025x 256 的表,表中每个单元格表示具有 .35 度宽度和 .35 度高度的相应的区域。

[0095] 对于表的每个单元格,系统在表面上构建 1106 中心位于单元格所表示的区域的中心的圆圈并且识别圆圈与 Voronoi 图的区的交点。系统构建每个圆圈,使得圆圈具有在任何方向上覆盖 Voronoi 图中至少两个区的最小可能半径,即以任意方向通过圆圈的中心所画的任何线在其退出圆圈之前必须跨过 Voronoi 图的两个或更多区。

[0096] 系统在表的每个单元格中存储 1108 数据。特别是,在每个单元格中,系统存储一个或多个(位置,权重)对。为了识别每个单元格的(位置,权重)对,系统在圆圈内为单元格随机定位预定数目 N 的随机点。例如,N 可以是 200、500、1000 或 2500。对于每个点,系统确定最接近的镜,并且为每个镜确定有多少点将该镜作为对该点最接近的镜。系统随后为每个镜存储相应的(位置,权重)对,其中,位置值识别镜,并且通过将该镜作为最接近的镜的点的数目除以随机点总数目 N 来计算权重。系统随后在表中的对应的单元格中存储每个(位置,权重)对。

[0097] 系统接收 1100 识别要着色的材料、要着色的映射位置即图像的三维模型的 UV 映射中的位置、用于映射位置的观看方向和在映射位置处的光方向的数据。

[0098] 系统修改 1112 观看方向和光方向,使得它们映射到表的单元格。例如,如果方向被提供给系统作为具有范围 $[-1, 1]$ 的 (x, y, z) ,系统可以如下修改 x 和 y 坐标:系统可以对每个 x 和 y 坐标增加 1 以改变其范围到 $[0, 2]$,然后对每个 x 和 y 坐标除以 2 以改变范围到 $[0, 1]$ 。系统随后可以将 x 和 y 乘以表宽度即表中列的数目以改变范围到 $[0, \text{width}]$ 。

[0099] 系统使用观看方向和光方向来识别 1114 表中的单元格。也就是,系统使用观看方向识别第一单元格且使用光方向识别第二单元格。系统可以通过使用 x 坐标作为单元格的列索引并且使用 y 坐标作为单元格的行索引来从一组坐标中识别单元格。

[0100] 系统使用表中的识别出的单元格中存储的内容来识别 1116 贡献调色板化图像以及每个贡献图像的相应的权重。也就是,每个识别的单元格存储一个或多个(位置,权重)对。系统计算每个可能(位置 1, 位置 2)对,其中位置 1 是存储在使用观看方向识别出的单元格中的位置之一,并且位置 2 是存储在由光方向识别出的单元格中的位置之一。对于每个(位置 1, 位置 2)对,系统通过将位置 1 配对的权重乘以与位置 2 配对的权重来计算权重。系统随后将每个(位置 1, 位置 2)对映射到由具有匹配(位置 1, 位置 2)对的值的(光,相机)对识别的调色板化图像并且使用用于(位置 1, 位置 2)对的权重作为用于调色板化图像的权重。

[0101] 系统从每个贡献调色板化的图像中选择 1118 像素。系统可以使用从渲染引擎接收到的 UV 坐标从每个图像中选择像素,即通过将接收到的 UV 坐标翻译为图像位置并且在每个贡献图像中选择在该位置处的像素。

[0102] 系统基于每个贡献图像的权重确定 1120 在映射位置处直接照明下的颜色。也就是,系统将每个像素的颜色乘以对应的图像的权重,并且然后对加权的颜色求和以确定在该位置处直接照明下的颜色。

[0103] 图 12 是用于确定在给定映射位置处间接照明的效果的示例技术的流程图。为了

方便,技术 1200 将被描述为由位于一个或多个位置的一个或多个数据处理装置的系统来执行。例如,被适当编程的着色模块,例如图 1 的着色模块 108,可以执行技术 1200。

[0104] 系统访问 1202 识别从材料样本扫描仪获得的半球的每个块的中心的数据。也就是,系统访问 $K \times M$ 的表,该表对应于由 UV 映射中的位置和请求中指定的光方向所识别的像素和区域图像。换句话说,系统识别与请求中指定的光方向相对应的区域图像,识别与 UV 映射中位置相对应的所识别的图像中的像素,并且访问与所识别的像素相对应的 $K \times M$ 的表。

[0105] 系统生成 1204 两个随机数。随机数是非整数数,第一个数字从 0 到 K 的范围中选择,并且第二个数从 0 到 M 的范围中选择。

[0106] 系统使用两个随机数字对表进行索引 1206 来识别绑定数对的四个表单元格。例如,如果第一个数是 2.4 而第二个数是 3.6,绑定数对的四个单元格将是具有索引 [2, 3]、[2, 4]、[3, 3] 和 [3, 4] 的单元格。

[0107] 系统识别 1208 绑定数对的表单元格中存储的位置。

[0108] 系统使用双线性内插来混合 1210 这些位置以生成最终的位置,并且然后追踪 1212 来自最终位置所限定的方向中的映射位置的光线以确定光线的颜色。为了确定光线的颜色,系统可以发送识别光线的方向的请求到渲染引擎,并且渲染引擎可以返回通过在该方向追踪光线而得到的颜色。

[0109] 在一些实现中,系统可以多次重复步骤 1204 到 1212 以生成多个颜色。系统可以随后使通过投射每个光线而生成的颜色平均以确定在映射位置处的最终颜色。

[0110] 主题的实施例和本说明书中描述的操作可以用数字电子电路或者用计算机软件、固件或硬件来实现,包括本说明书中公开的结构及其结构等价物,或者上述一个或多个的组合。本说明书中描述的主题的实施例可以实现为一个或多个计算机程序,即计算机程序指令的一个或多个模块,所述计算机程序在计算机存储介质上编码,用于由数据处理装置执行,或者控制数据处理装置的操作。可替换地或者此外,程序指令可以在人工生成的传播信号上编码,例如机器生成的电、光或电磁信号,其被生成以编码信息以便传输到合适的接收机装置用于由数据处理装置执行。计算机存储介质可以是或者可以包括在以下中:计算机可读存储设备、计算机可读存储衬底、随机或串行存取存储器阵列或设备、或者以上一个或多个的组合。此外,尽管计算机存储介质不是传播信号,计算机存储介质可以是在人工生成的传播信号中编码的计算机程序指令的源或目的。计算机存储介质还可以是或者包括在一个或多个分别的物理部件或介质中。

[0111] 本说明书中描述的操作可以实现为针对一个或多个计算机可读存储设备上存储或从其他源接收到的数据的数据处理装置所执行的操作。术语“数据处理装置”包含所有类型的用于处理数据的装置、设备和机器,包括举例来说,可编程处理器、计算机、片上系统、或上述的多个或组合。除了硬件,装置还可以包括创建用于所述的计算机程序的执行环境的代码,例如构成处理器固件、协议栈、数据库管理系统、操作系统、跨平台执行时间环境、虚拟机、或以上一个或多个的组合的代码。装置和执行环境可以实现各种不同计算模型基础设施,例如 web 服务、分布式计算和网格计算基础设施。

[0112] 计算机程序(还被称为程序、软件、软件应用、脚本或代码)可以以任何形式的编程语言写成,包括汇编或解释的语言、声明性或程序性语言,并且其可以以任何形式部署,

包括作为单机程序或作为模块、组件、子例程、对象、或适合用于计算环境的其他单元。计算机程序可以但不需要对应于文件系统中的文件。计算机程序可以存储在保持其他程序或数据的文件的一部分中,例如存储在标记语言文档的一个或多个脚本中;专用于所述程序的单一文件中;或者多个协调文件例如存储一个或多个模块、子程序或部分代码的文件中。计算机程序可以被部署为在一个计算机上或在位于一个场所或跨多个场所分布且由通信网络互连的多个计算机上执行。

[0113] 本说明书中描述的处理和逻辑流程可以由执行一个或多个计算机程序的一个或多个可编程处理器来执行,以通过在输入数据上操作并生成输出来执行动作。适合于执行计算机程序的处理器包括,举例来说,通用或专用微处理器,以及任何类型的数字计算机的任何一个或多个处理器。通常,处理器将从只读存储器或随机存取存储器或二者来接收指令和数据。计算机的必要元素是用于根据指令来执行动作的处理器和用于存储指令和数据的一个或多个存储器设备。通常,计算机将还包括,或操作耦接用于从用于存储数据的一个或多个大存储设备接收数据或将数据传送到一个或多个大存储设备,或二者。但是,计算机不需要具有这样的设备。而且,计算机可以嵌入到另一设备中,例如移动电话、智能电话、移动音频或视频播放器、游戏控制台、全球定位系统(GPS)接收机和可穿戴计算机设备,仅举几例说明。适合于存储计算机程序指令和数据的设备包括所有形式的非易失性存储器、媒介和存储器设备,包括,举例来说,半导体存储器设备、磁盘等。处理器和存储器可以由专用逻辑电路来补充或合并其中。

[0114] 为了提供与用户的交互,本说明书中描述的主题的实施例可以在具有用于显示信息给用户的显示设备和键盘和例如鼠标或轨迹球的指向设备的计算机上实现,通过键盘和指向设备,用户可以将输入提供给计算机。其他类型的设备也可以用于提供与用户的交互;例如,提供给用户的反馈可以是任何形式的感觉反馈,例如视觉反馈、听觉反馈或触觉反馈;并且,来自用户的输入可以以任何形式来接收,包括声音的、语音的或触觉输入和输出。

[0115] 尽管本说明书包含许多具体实现细节,这些应该不被认为是对任何发明的范围或可能要求保护范围的限制,而是对特定发明的特定实施例的具体特征的描述。在分别的实施例的上下文中,本说明书中描述的特定特征还可以以单个实施例中的组合来实现。反之,在单个实施例的上下文中描述的各种特征还可以分别以多个实施例或以任何适当子组合来实现。而且,尽管特征可以如上所述在特定组合中起作用并且甚至最初这样要求保护,来自要求保护的组合的一个或多个特征在某些情况下可以从组合中去除,并且所要求保护的组合可以涉及到子组合或子组合的变型。

[0116] 类似地,尽管以特定次序在附图中描绘了操作,这个应该不被解释为要求以所示的特定次序或顺序次序来执行这样的操作,或者执行所有图示的操作,来获取所需的结果。在特定环境中,多任务和并行处理可能是有利的。而且,在上述实施例中的各个系统部件的分离不应该被理解为要求在所有实施例中都这样分离,而是其应该被理解为所述的程序部件和系统可以通常一起集成在单一软件产品中或封装在多个软件产品中。

[0117] 因此,已经描述了主题的特定实施例。其他实施例在所附权利要求的范围之内。在某些情况下,权利要求中所述的动作可以以不同次序来执行并仍旧获取所需的结果。此外,附图中描绘的处理不必要求所示的特定次序或顺序次序来获取所需的结果。在特定实现中,多任务和并行处理可能是有利的。

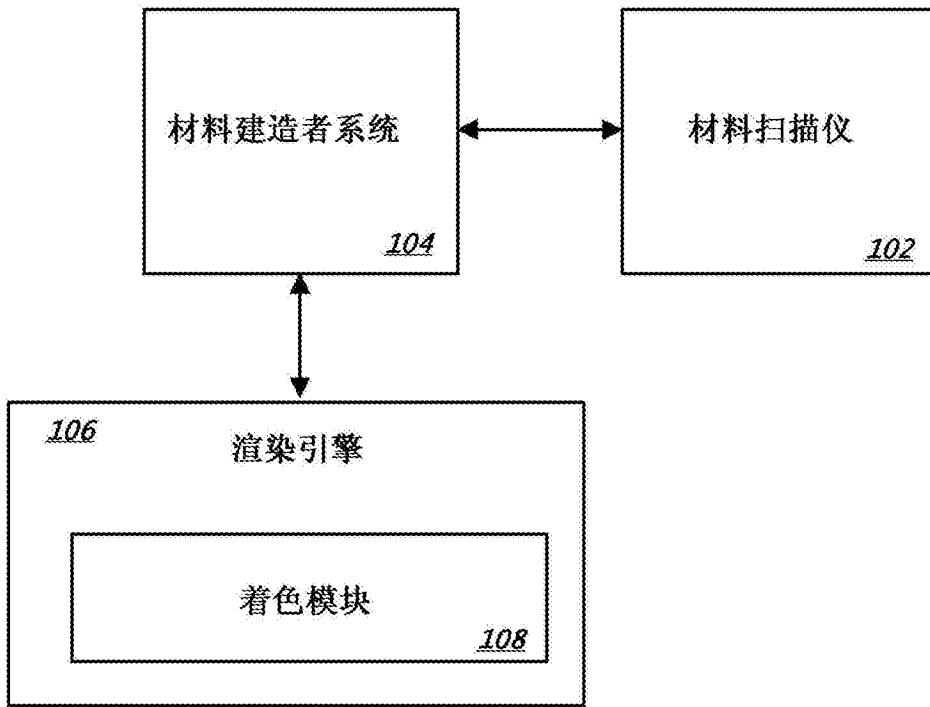


图 1

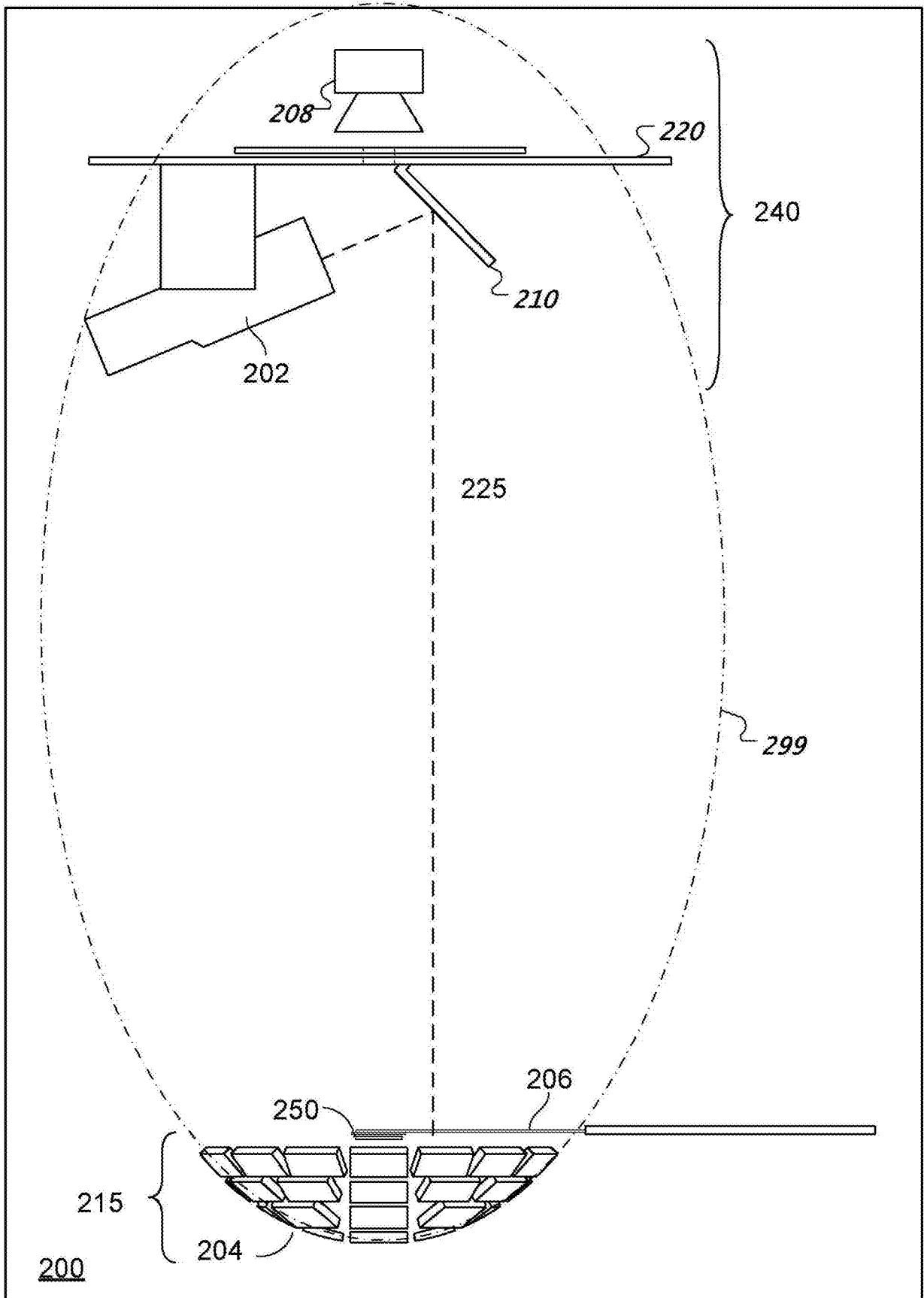


图 2A

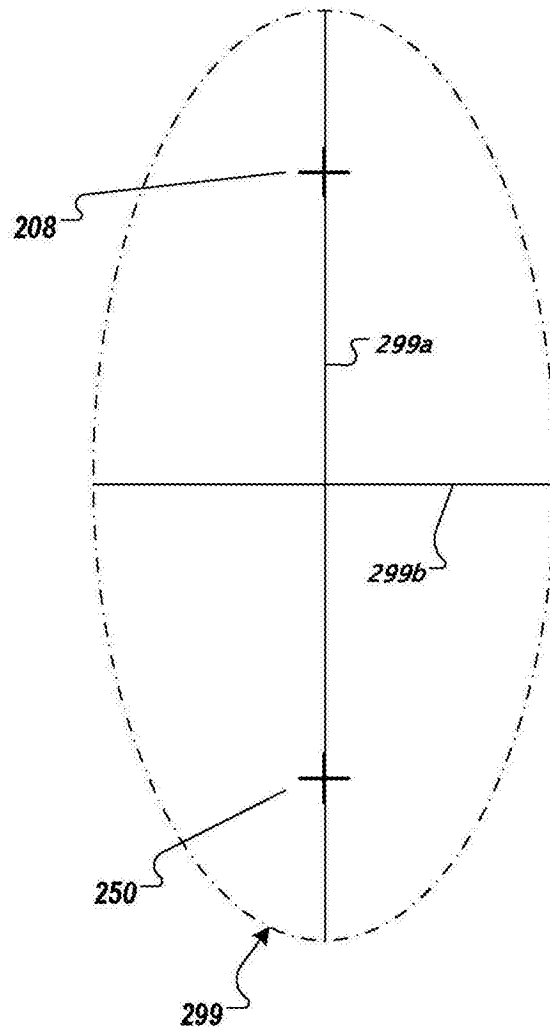


图 2B

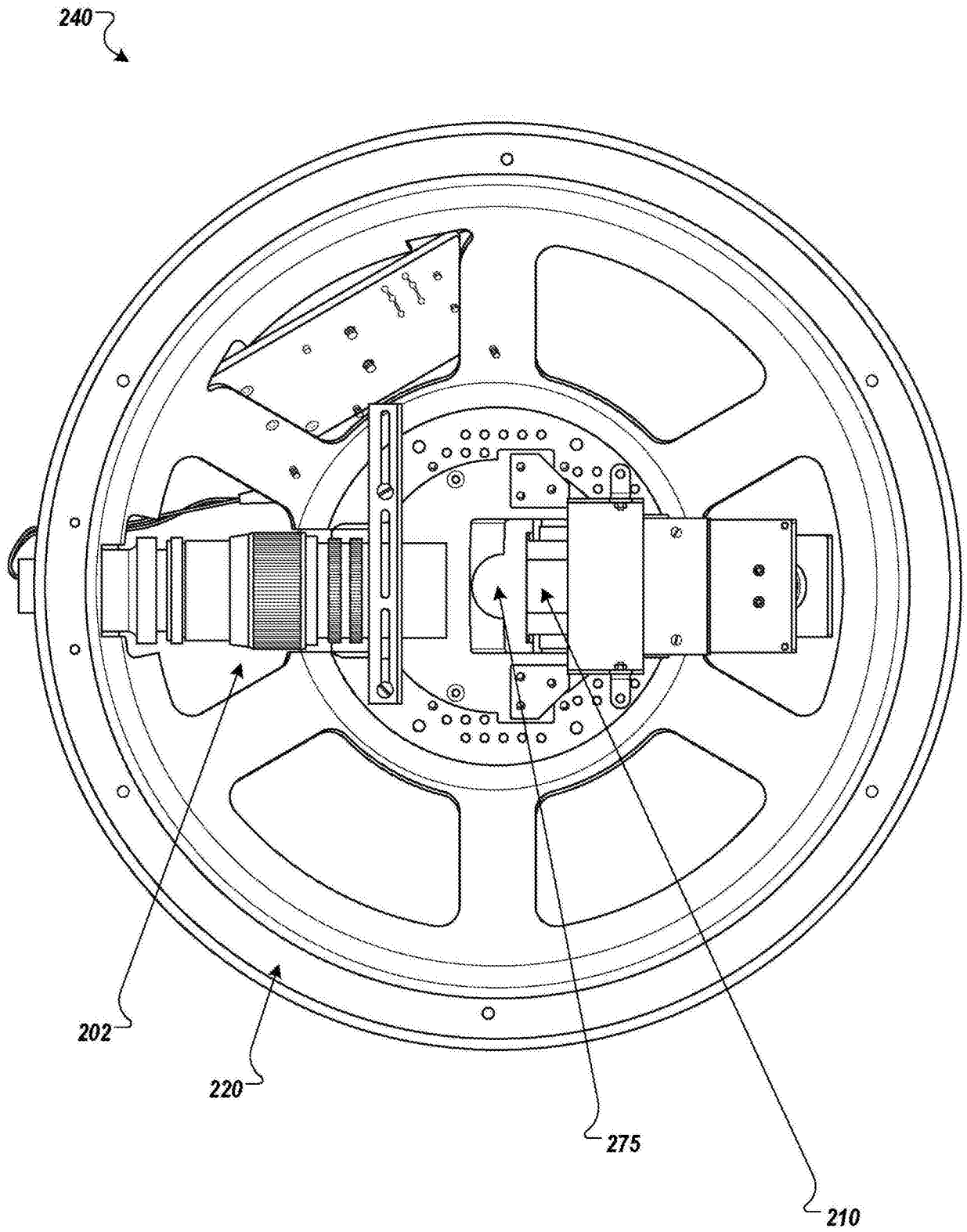


图 3

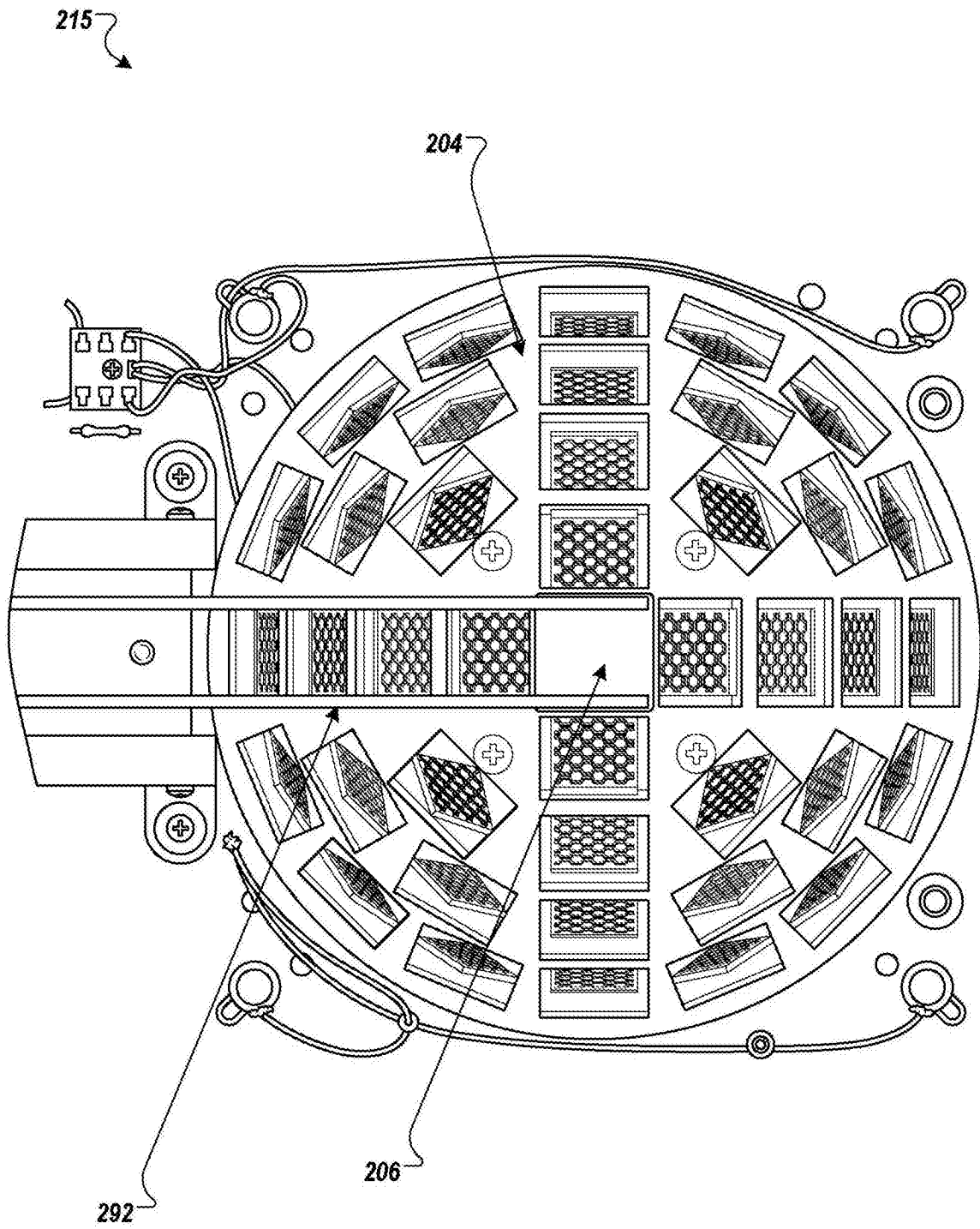


图 4

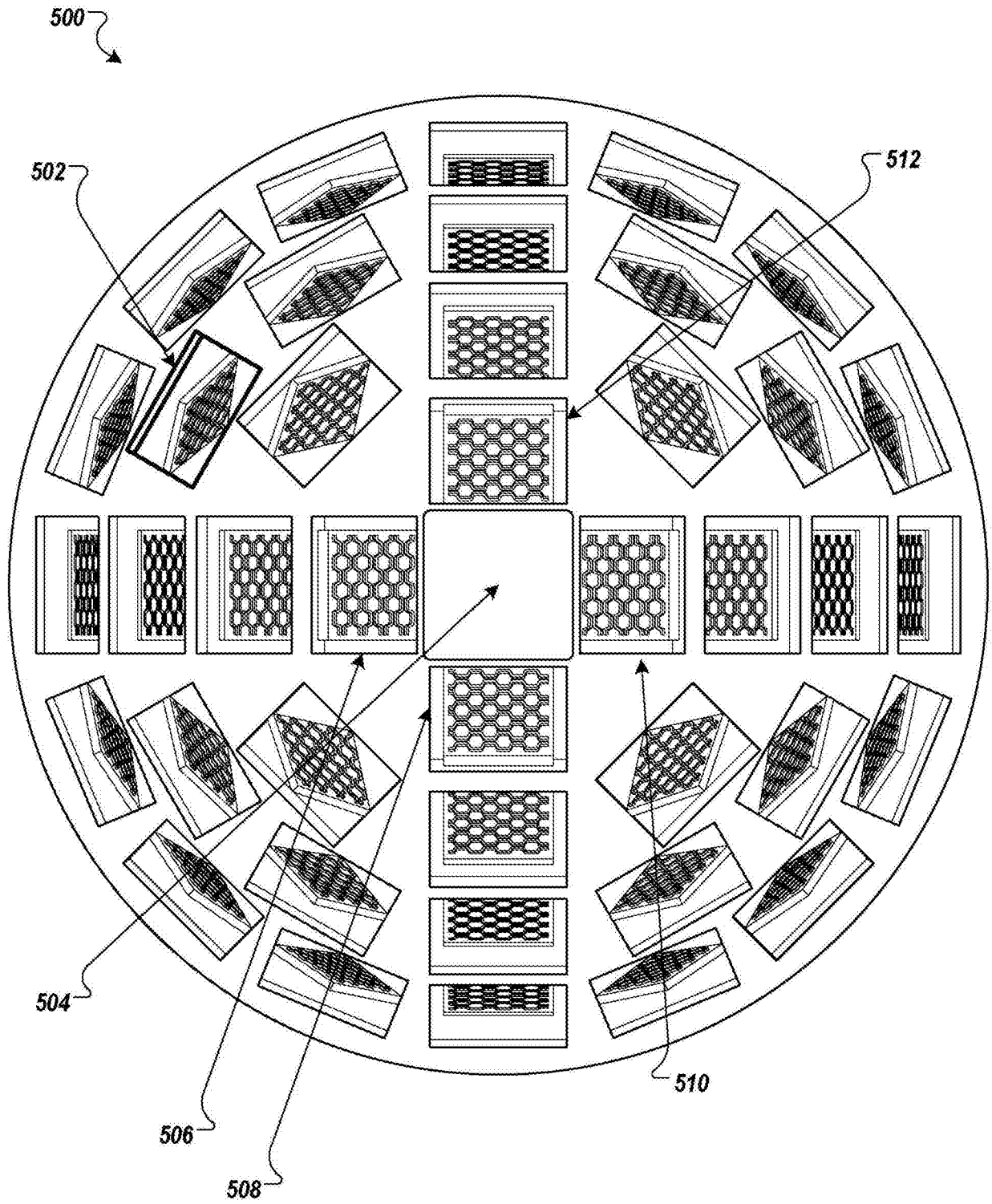


图 5

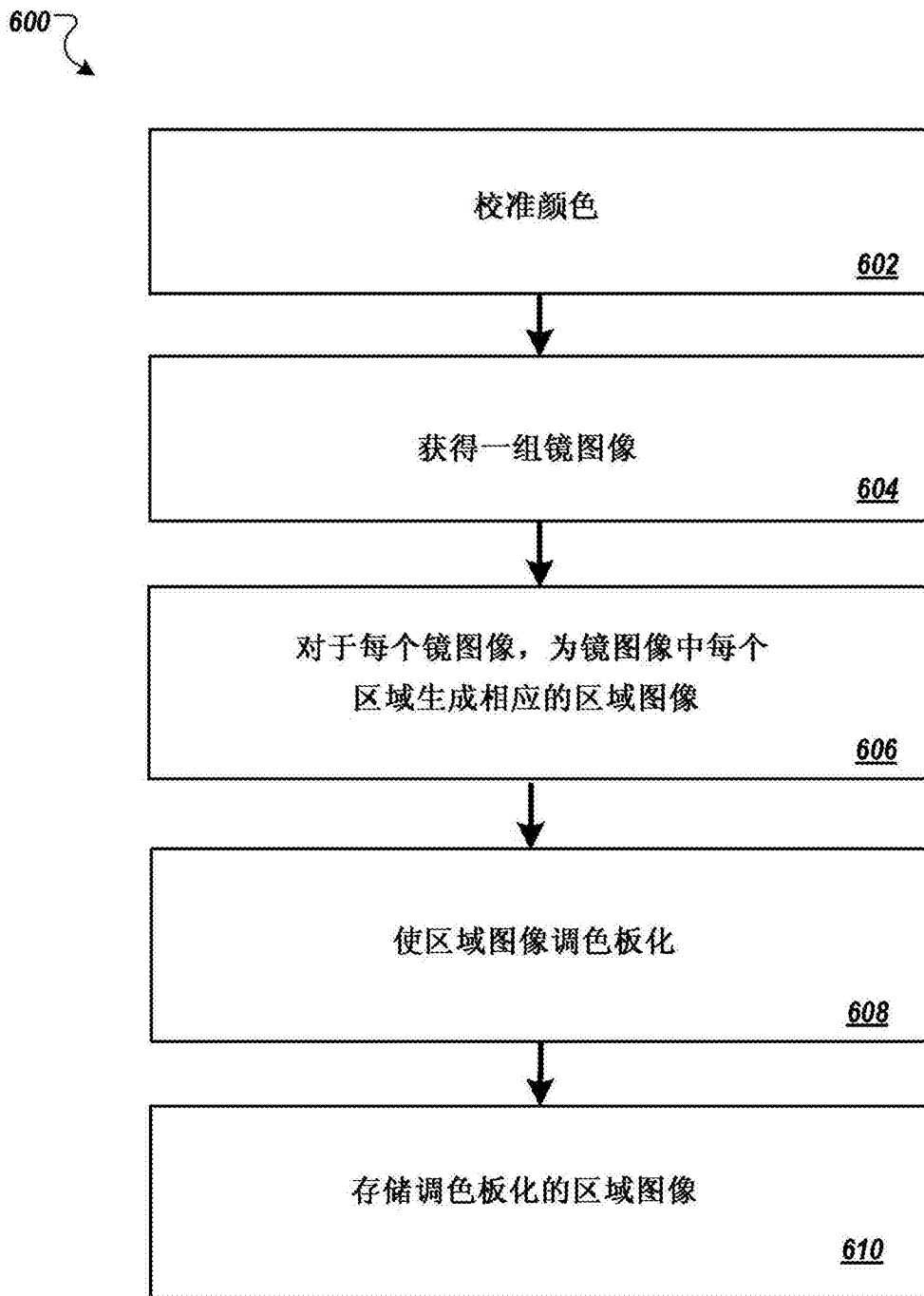


图 6

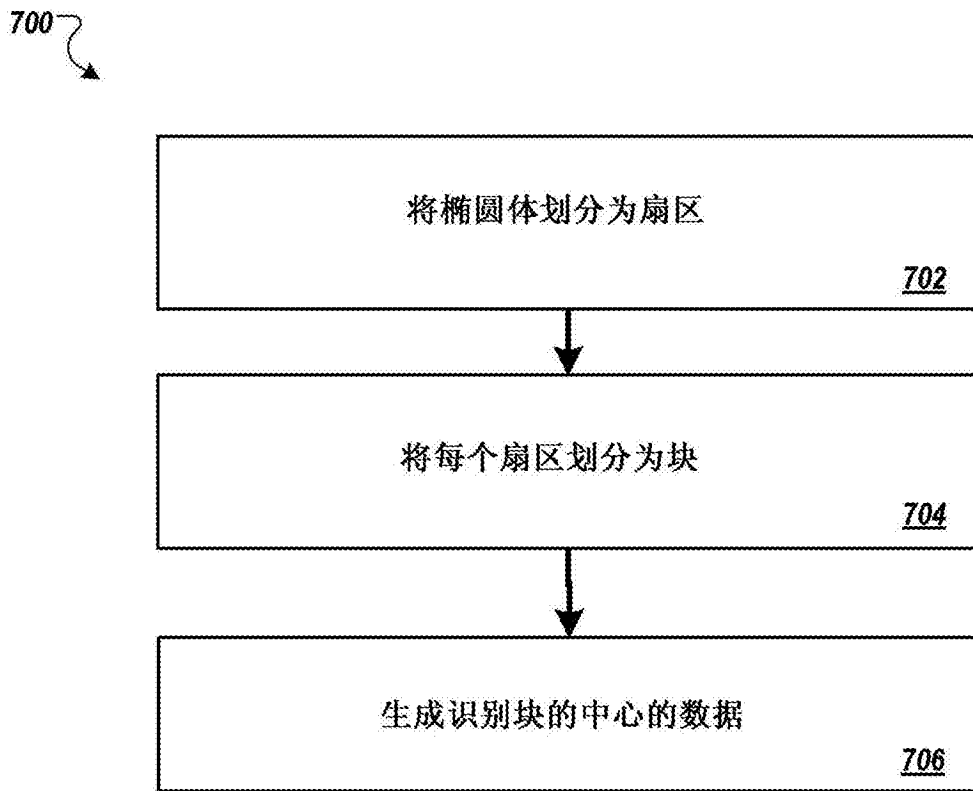


图 7

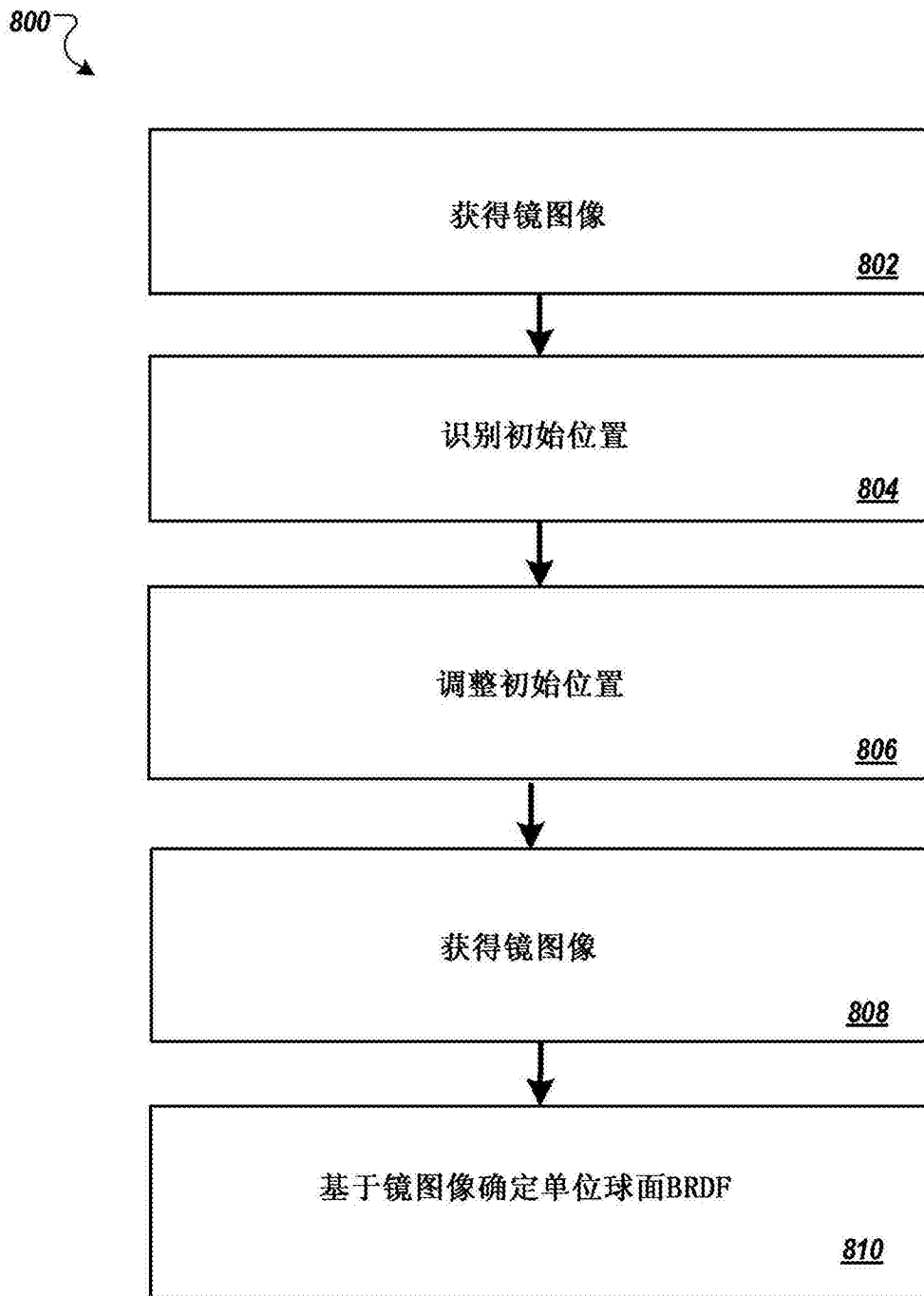


图 8

900 ↘

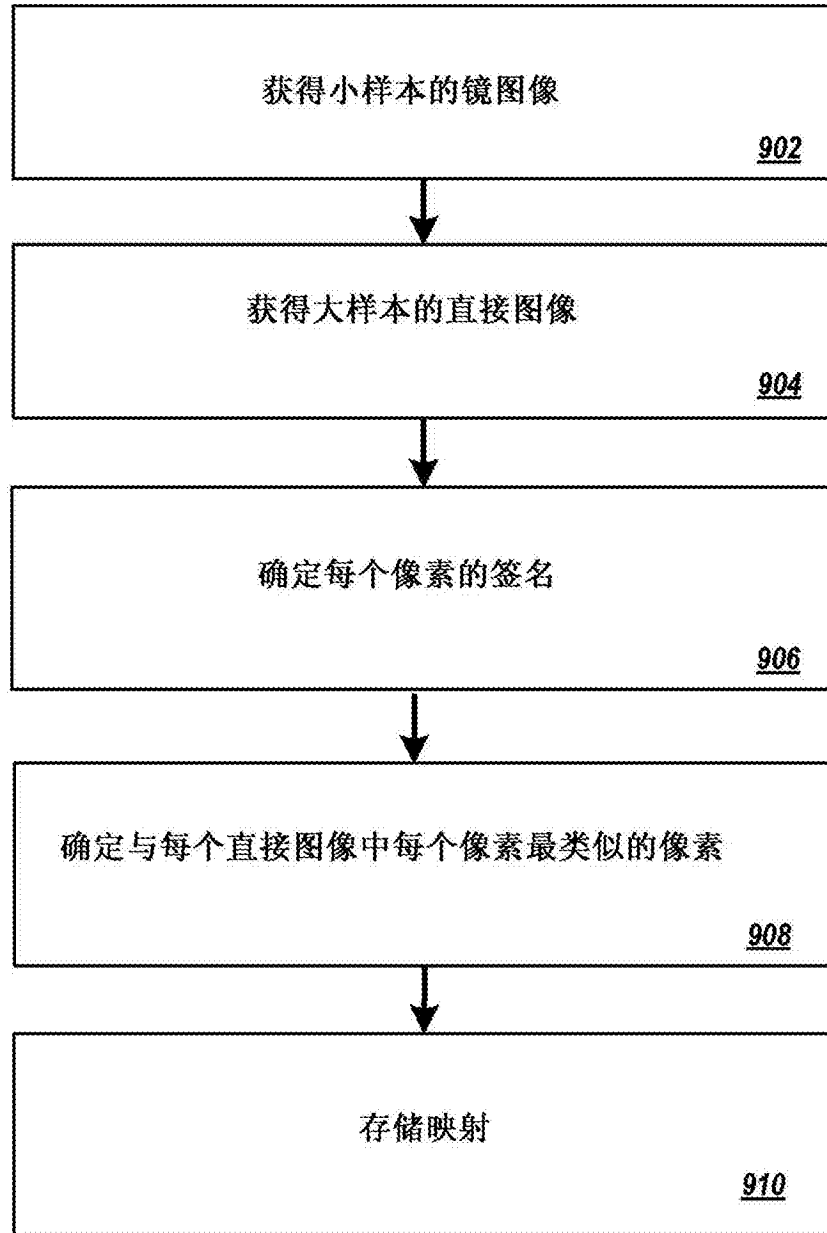


图 9

1000

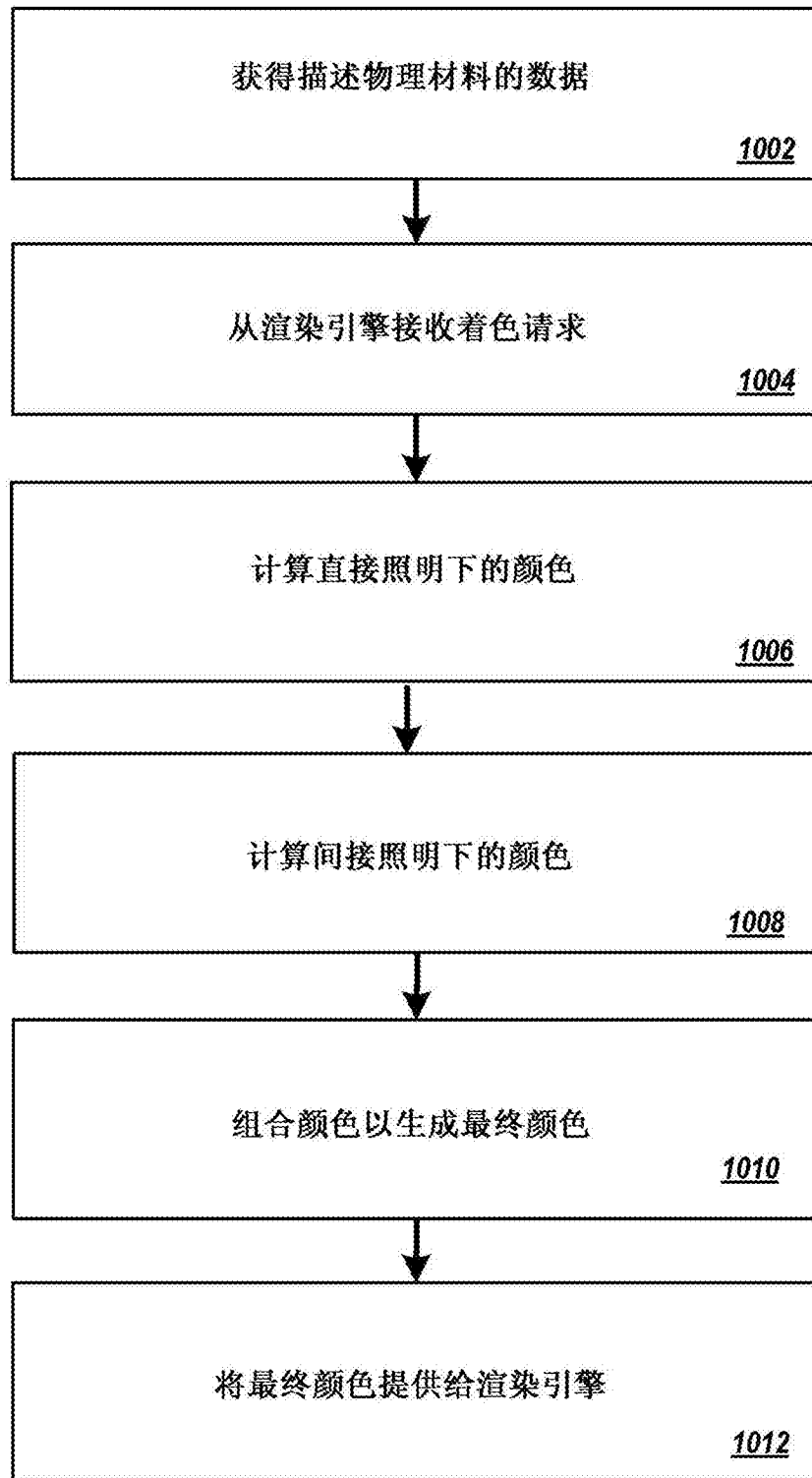


图 10

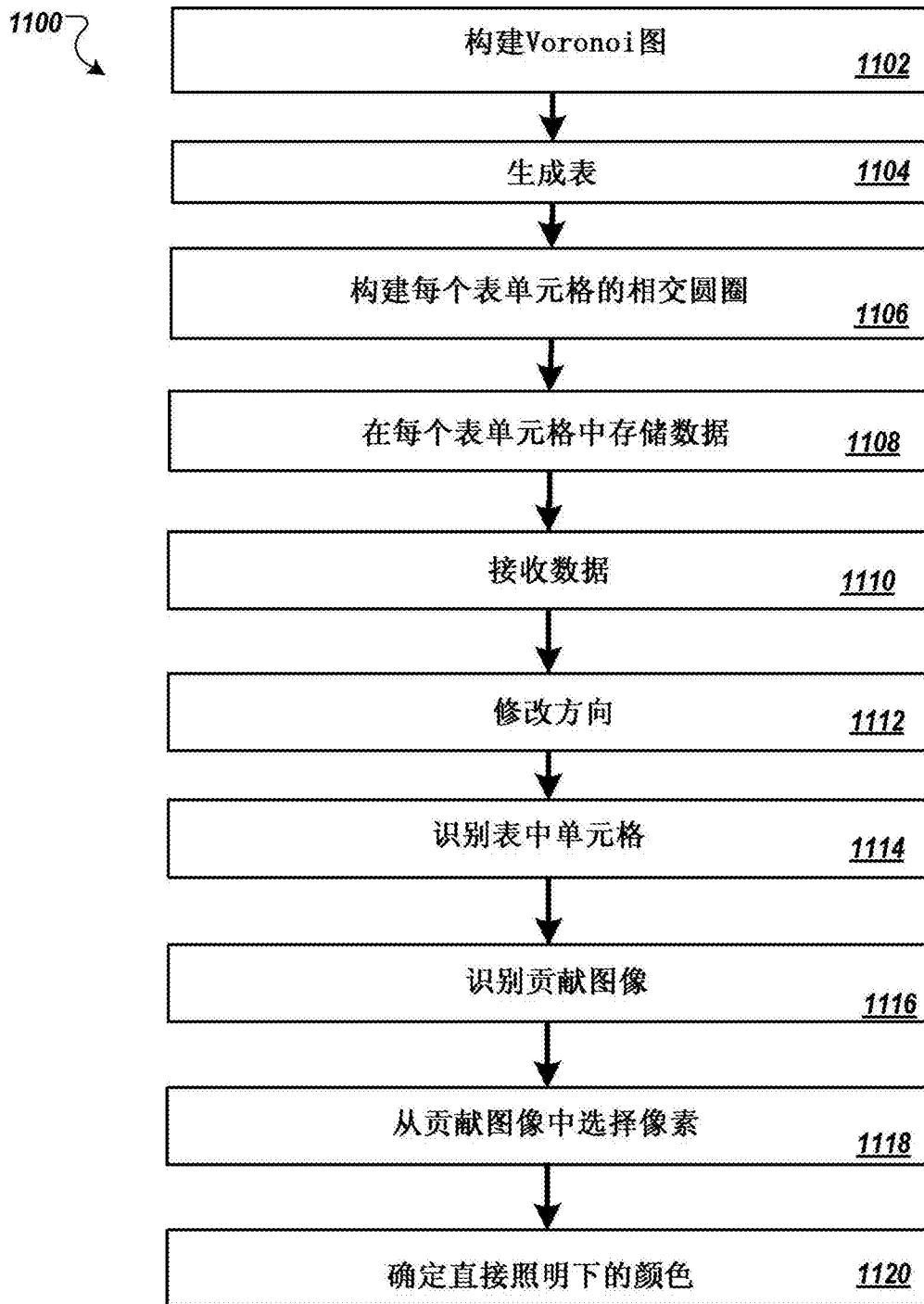


图 11A



图 11B

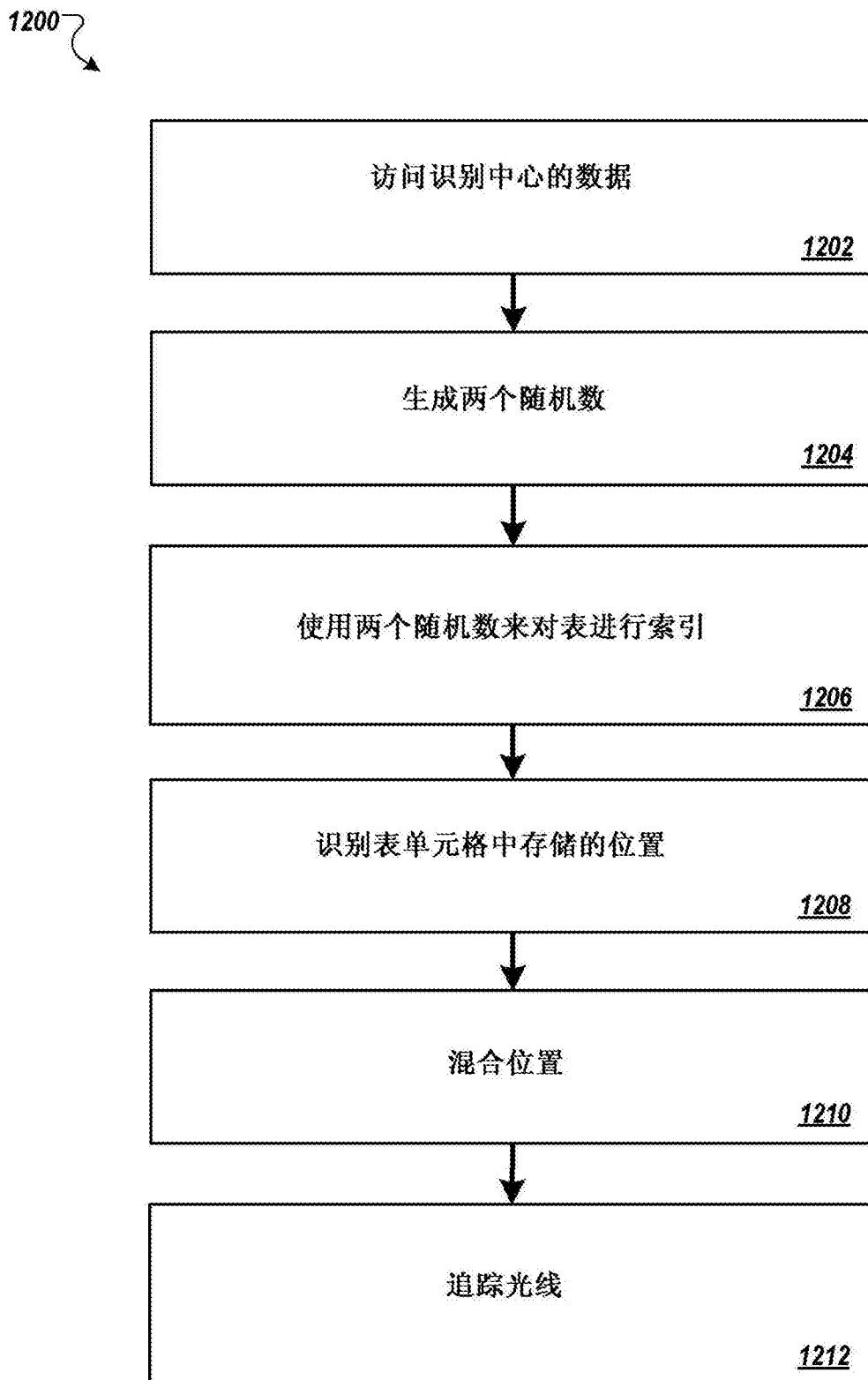


图 12