



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112005276 A

(43) 申请公布日 2020.11.27

(21) 申请号 201980027051.4

(22) 申请日 2019.04.19

(30) 优先权数据

18168625.4 2018.04.20 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2020.10.20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2019/060215 2019.04.19

(87) PCT国际申请的公布数据

W02019/202138 EN 2019.10.24

(71) 申请人 巴科股份有限公司

地址 比利时科特赖克

(72) 发明人 P·H·A·乔治 A·V·L·格里耶

W·A·范达默

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

代理人 蔡悦 陈斌

(51) Int.Cl.

G06T 15/20 (2011.01)

G06T 19/00 (2011.01)

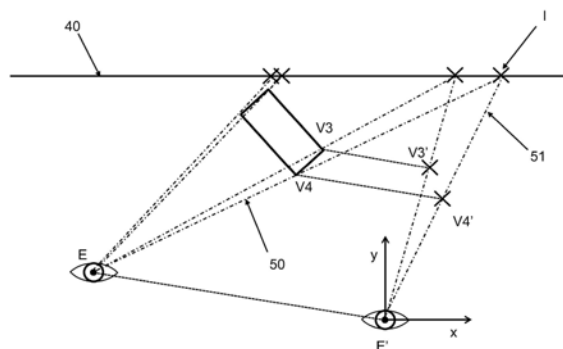
权利要求书3页 说明书18页 附图16页

(54) 发明名称

用于针对不同位置处的用户对图像进行视角调整的方法和装置

(57) 摘要

一种用于从第一虚拟对象生成第二虚拟对象的方法,所述第二虚拟对象被投影在投影屏幕上,其中,该第一虚拟对象是针对处于第一位置的用户确定的,并且其中,该第二虚拟对象是针对处于与第一已知位置不同的第二位置的用户确定的,该第二虚拟对象的位置是通过应用截距定理来确定的。一旦已确定第二虚拟对象,该方法进一步包括以下步骤:生成该第二虚拟对象的图像数据,通过将该图像数据投影在投影屏幕上来渲染该第二虚拟对象。



1. 一种用于从第一虚拟对象(V)生成第二虚拟对象(V')的方法,所述第二虚拟对象被显示在显示设备上或被投影在投影屏幕上,所述方法由投影系统中或显示系统中的图像生成器执行,所述投影系统或所述显示系统进一步包括用于检测用户位置的装置,其中,所述第一虚拟对象是针对处于第一已知位置(E')的用户确定的,并且其中,所述第二虚拟图像是针对处于与所述第一已知位置不同的第二位置(E)的用户确定的,

所述方法包括以下步骤:

-使用所述用于检测用户位置的装置(44)来确定所述用户的所述第二位置(E),

-对于所述第一虚拟对象的每个顶点V,

○确定同位置E和顶点V相交的直线与所述显示设备或投影表面(40)之间的交点I,

○沿与位置E'和交点I相交的直线确定所述第二虚拟对象的顶点V',

以使得使用截距定理得到:

$$||IV'|| = ||IE'|| * ||IV|| / ||IE||$$

-生成所述第二虚拟对象的图像数据,

-通过将所述图像数据投影在所述投影屏幕上或通过所述图像数据显示在所述显示设备上渲染所述第二虚拟对象。

2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述第一位置(E')是所述投影系统或所述显示系统的最佳点。

3. 如权利要求1或2所述的方法,其特征在于,所述方法被应用于:

-与用户的左眼位置相对应的第二位置EL,以及

-与用户的右眼位置相对应的第三位置ER,

以使得所述方法生成所述第二虚拟对象的立体图像。

4. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,对所述第二虚拟对象的确定是使用着色器来执行的,所述着色器接收所述第一虚拟对象的坐标和所述用户的所述第二位置E。

5. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述第二虚拟对象被显示在背景图像上,所述背景图像对于用户的所有位置是相同的。

6. 如前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述投影屏幕或所述显示设备是平坦的、圆柱形的、多面体的、或者是圆顶或圆顶的一部分。

7. 一种用于确定用户与虚拟对象之间的交互的方法,

所述虚拟对象被显示在显示设备上或被投影在投影屏幕上,所述方法由投影系统中或显示系统中的图像生成器应用,所述投影系统或所述显示系统包括用于检测用户位置的装置,

所述用户处于第二位置E并且所述虚拟对象B是为处于第一位置E'的人显示的,位置E处的所述用户使用身体部位(123,PP)与所述虚拟对象进行交互,所述方法包括以下步骤:

-使用所述用于检测用户位置的装置124来确定位置E处的所述用户的所述身体部位123的位置,

-确定所述显示设备或投影表面与经过点E'和B的直线之间的交点J,

(1) 确定如由处于E的所述用户看到的所述虚拟对象B的第二位置PP,所述第二位置PP确定为沿与位置E和交点J相交的直线并且在同EE'平行并与位置B相交的线上,以使得使用

截距定理得到： $||J-PP|| = ||JE|| * ||JB|| / ||JE'||$ ，

(2) 或确定所述用户的所述身体部位H的第二位置V，以使得点V的坐标有 $||JV|| = ||JE'|| * ||JH|| / ||JE||$ ，

-对于(1)，将所述虚拟对象的所述第二位置PP与位置E处的所述用户的所述身体部位的位置进行比较，以确定B处的所述虚拟对象与E处的观看者的所述身体部位之间是否存在交互，

-对于(2)，将所述身体部位的所述第二位置V与B处的所述虚拟对象的位置进行比较，以确定B处的所述虚拟对象与E处的观看者的所述身体部位之间是否存在交互。

8. 如权利要求7所述的方法，其特征在于，所述第一位置(E')是所述投影系统或所述显示系统的最佳点。

9. 如权利要求7或8所述的方法，其特征在于，所述投影屏幕或所述显示设备是平坦的、圆柱形的、多面体的、或者是圆顶或圆顶的一部分。

10. 如权利要求7至9中任一项所述的方法，其特征在于，对所述虚拟对象B的所述第二位置PP或所述身体部位H的所述第二位置V的确定是使用着色器来执行的，所述着色器接收所述第一虚拟对象B的坐标和所述用户的所述第二位置E。

11. 一种投影系统，包括：至少一个投影仪、用于检测用户位置的装置、以及被配置成执行如权利要求1至10中任一项所述的方法的步骤的图像生成器。

12. 一种显示系统，包括：至少一个显示器、用于检测用户位置的装置、以及被配置成执行如权利要求1至10中任一项所述的方法的步骤的图像生成器。

13. 一种包括软件的计算机程序产品，所述软件在一个或多个处理引擎上被执行时执行权利要求1至10中的任何方法。

14. 一种计算机可读介质，其上存储有权利要求13的计算机程序。

15. 一种用于从第一虚拟对象(V)生成第二虚拟对象(V')的显示系统，所述第二虚拟对象被显示在显示设备上或被投影在投影屏幕上，所述显示系统进一步包括图像生成器和用于检测用户位置的装置，其中，所述第一虚拟对象是针对处于第一已知位置(E')的用户确定的，并且其中，所述第二虚拟对象是针对处于与所述第一已知位置不同的第二位置(E)的用户确定的，

所述系统包括：

用于使用所述用于检测用户位置的装置(44)来确定所述用户的所述第二位置(E)的装置，

-对于所述第一虚拟对象的每个顶点V，

○用于确定同位置E和顶点V相交的直线与所述显示设备或投影表面(40)之间的交点I的装置，

○用于沿与位置E'和交点I相交的直线确定所述第二虚拟对象的顶点V'，以使得使用截距定理得到下式的装置：

$$||IV'|| = ||IE'|| * ||IV|| / ||IE||$$

-用于生成所述第二虚拟对象的图像数据的装置，以及

-用于通过将所述图像数据投影在所述投影屏幕上或通过将所述图像数据显示在所述显示设备上来渲染所述第二虚拟对象的装置。

16. 如权利要求15所述的显示系统,其特征在于,所述第一位置(E')是所述投影系统或所述显示系统的最佳点。

17. 如权利要求15或16所述的显示系统,其特征在于,所述显示系统被应用于:

-与用户的左眼位置相对应的第二位置EL,以及

-与用户的右眼位置相对应的第三位置ER,

以使得所述第二虚拟对象的立体图像被生成。

18. 如权利要求15至17中任一项所述的显示系统,其特征在于,用于确定所述第二虚拟对象的装置是使用着色器来执行的,所述着色器接收所述第一虚拟对象的坐标和所述用户的所述第二位置E。

19. 如权利要求15至18中任一项所述的显示系统,其特征在于,所述显示系统被适配成在背景图像上显示所述第二虚拟对象,所述背景图像对于用户的所有位置是相同的。

20. 如权利要求15至19中任一项所述的显示系统,其特征在于,所述投影屏幕或所述显示设备是平坦的、圆柱形的、多面体的、或者是圆顶或圆顶的一部分。

21. 一种用于确定用户与虚拟对象之间的交互的显示系统,

所述虚拟对象被显示在显示设备上或被投影在投影屏幕上,所述显示系统进一步包括图像生成器和用于检测用户位置的装置,

所述用户处于第二位置E并且所述虚拟对象B是为处于第一位置E'的人显示的,位置E处的所述用户使用身体部位(123,PP)与所述虚拟对象进行交互,所述投影系统包括:

-用于使用所述用于检测用户位置的装置124来确定位置E处的所述用户的所述身体部位123的位置的装置,

-用于确定显示表面或投影表面与经过点E'和B的直线之间的交点J的装置,

(1) 用于确定如由处于E的所述用户看到的所述虚拟对象B的第二位置PP的装置,所述第二位置PP确定为沿与位置E和交点J相交的直线并且在同EE'平行并与位置B相交的线上,以使得使用截距定理得到: $||J-PP|| = ||JE|| * ||JB|| / ||JE'||$,

(2) 或用于确定所述用户的所述身体部位H的第二位置V,以使得点V的坐标有 $||JV|| = ||JE'|| * ||JH|| / ||JE||$ 的装置,

-对于(1),将所述虚拟对象的所述第二位置PP与位置E处的所述用户的所述身体部位的位置进行比较,以确定B处的所述虚拟对象与E处的观看者的所述身体部位之间是否存在交互,

-对于(2),将所述身体部位的所述第二位置V与B处的所述虚拟对象的位置进行比较,以确定B处的所述虚拟对象与E处的观看者的所述身体部位之间是否存在交互。

22. 如权利要求21所述的显示系统,其特征在于,所述第一位置(E')是所述投影系统或所述显示系统的最佳点。

23. 如权利要求21或22所述的显示系统,其特征在于,所述投影屏幕或所述显示表面是平坦的、圆柱形的、多面体的、或者是圆顶或圆顶的一部分。

24. 如权利要求21至23中任一项所述的显示系统,其特征在于,用于确定所述虚拟对象B的第二位置PP或所述身体部位H的第二位置V的装置是使用着色器来执行的,所述着色器接收所述第一虚拟对象B的坐标和所述用户的所述第二位置E。

用于针对不同位置处的用户对图像进行视角调整的方法和装置

发明领域

[0001] 本发明涉及针对处于不同位置的用户在视角调整的情况下进行图像投影(或显示),并涉及用于提供此类视角调整的方法以及用于执行此类方法的软件。

[0002] 现有技术的讨论

[0003] 为了突出本发明与现有技术之间的区别,将尤其参照Waller Flexible Gunnery Trainer(沃勒灵活射击训练器),其中一个或多个射击手通过射击被投影在弯曲投影屏幕上的飞机图像来学习操作机枪。Waller Flexible Gunnery Trainer在US2406574“Gunnery Training(射击训练)”中进行了详细描述。

[0004] 在如图1(其对应于US2406574“Gunnery Training”的图13(Fig.13))所解说的Waller Flexible Gunnery Trainer中,射击手位于一群投影仪(20)周围的两个或更多个位置,这些投影仪(20)将攻击机的图片投到球形屏幕(21)上。优选地,投影仪被布置在球形屏幕的几何中心C的后面,并且其光轴位于通过该中心C的半径上。合成图像例如水平地覆盖 150° ,垂直地覆盖 75° 。可以使用活动式机枪和炮塔道具枪(25)两者。指导员前面有记分板,该记分板对每把枪的命中次数进行计数。登记员操作记分板,并在射击手命中时向射击手的耳机发送信号。

[0005] 道具枪可以在方位角和天顶角方向上摆动。光机命中记录机构跟随道具枪的方位角和天顶角,并确定操作该道具枪的射击手是否命中了其图像被投影在球面屏幕21上的飞机。

[0006] 配备道具枪的各射击手可以看到被投影在屏幕上的相同内容。与使用现有技术的大多数军事模拟器的情形一样,只要射击手的位置离最佳点不太远,被投影图像的视角就看起来是正确的。最佳点通常是球形屏幕的中心C。

[0007] 替换地,如在US5137450“Display for advanced research and training(DART) for use in a flight simulator and the like(在飞行模拟器等中使用的用于高级研究和训练的显示器(DART))”中所描述的,可以使用主动式眼镜来确保观看者将仅看到针对占据给定位置的该观看者的注意力所投影的图像。

[0008] US5137450描述了一种显示系统,其中图像生成器可以生成八幅不同的视频图像,每一图像是针对预定设计视点在特定窗口外的恰适视图。图像生成器还可以生成八个相似的视频图像,但是针对不同的预定设计视点。在视频图像的常规视频光栅显示中,仅每隔一个光栅线与每个所谓的场一起被传送,以使得整个所谓的帧包括两个相继传送的场。构成所谓的隔行扫描视频显示器的交变场被足够快速地交替传送,以使得显示器被人眼视为正常而没有闪烁。在图2(其对应于US5137450的图6(Fig.6))所解说的系统中,每个场是针对不同设计视点的视频图像并由图像生成器生成。例如,两个模拟器机组人员中的每一者例如并排坐在半径略大的或椭圆形模拟器外壳中,戴着眼镜72和74,眼镜72和74与这两个单独场中的每一者同步地快速开启和关闭,以使得每个机组人员仅看到针对其设计视点的几何上正确的视图。计算机或控制器70控制图像生成器以及眼镜72和74中的一者或两者以使

图像和眼镜同步。

[0009] US5137450中所描述的系统存在缺点。随着需要不同视角的机组人员的数量增加,除非增加投影仪的数量和/或其流明输出,否则每个机组人员看到的图像的亮度将会降低。还需要增加对与不同视角相对应的图像进行投影的频率以避免闪烁。此外,所描述的系统不允许机组人员在显示系统中移动并仍然看到正确的视角。

[0010] 由于虚拟现实和增强现实的出现,因此可以虚拟化道具枪以及由道具枪和/或训练可能需要的其他装备发射的射弹的图像。假如使用虚拟现实或增强现实护目镜,则每个射击手针对其每个位置将以正确的视角看到道具枪,即使该位置在模拟期间改变亦如此。

[0011] 当VR/AR护目镜不可用或在经济上不合理时,可以使用被动式立体眼镜。在该情形中,对于所有射击手相同的图像被显示在屏幕上,感知到正确的视角对于所有射击手将是不可能的(特别是对于看起来将非常接近射击手的对象(像例如道具枪和发射的射弹)的图像)。

[0012] 不管用于生成将以几何上正确的视图被看到的图像的技术如何,针对机组人员的每个位置计算新图像都是资源密集的。

[0013] 现有技术的办法可能不适用于不管位置如何仍然要求每个用户享有几何上正确的视图的较简单系统。

[0014] 需要对现有技术进行改进。

[0015] 发明概述

[0016] 根据本发明的一方面,提供了一种从第一虚拟对象生成第二虚拟对象的方法,所述第二虚拟对象被显示在显示设备上或被投影在投影屏幕上,该方法由投影系统中或显示系统中的图像生成器执行,该投影系统或显示系统进一步包括用于检测用户位置的装置,其中,该第一虚拟对象是针对处于第一已知位置的用户确定的,并且其中,该第二虚拟对象是针对处于与该第一已知位置不同的第二位置的用户确定的,该方法包括以下步骤:

[0017] 使用用于检测用户位置的装置来确定用户的第二位置,

[0018] -对于该第一虚拟对象的每个顶点V,

[0019] o确定同位置E和顶点V相交的直线与该显示设备或投影表面之间的交点I,

[0020] o沿同位置E'和交点I相交的直线确定该第二虚拟对象的顶点V',以使得使用截距定理得到:

[0021] $-||IV'|| = ||IE'|| * ||IV|| / ||IE||$

[0022] -生成该第二虚拟对象的图像数据,

[0023] -通过将图像数据投影在投影屏幕上或通过将图像数据显示在显示设备上渲染该第二虚拟对象。

[0024] 有利地,当显示系统或投影系统根据给定的几何形状来投影图像时,相对于第一位置或“参照物”完成校正(例如,对于屏幕前面的3D电影,沿对称轴并且在屏幕与房间后侧之间的路径的约2/3)。

[0025] 例如,对象V1-V4(旨在)可以从最佳点E'以正确的视角被看到。使用泰勒斯定理来完成对新对象V1'-V4'的构造。顶点V'(V1'、V2'、V3'或V4')沿线IE'(E'是已知的,而I通过构造获得)。新对象V1'-V4'旨在从位置E(即,不是最佳点)以正确的视角被看到。当使用在E'处具有最佳点的显示系统来显示新对象V1'-V4'时,在E处将以正确的视角看到该新对

象。

[0026] I与V'之间的距离由下式给出：

[0027] $||IV'|| = ||IE'|| * ||IV|| / ||IE||$

[0028] 这指定了V'沿线IE'的位置。I与V'之间的距离是从上面公式中应用的截距定理得出的。

[0029] 使用简单的公式,可以根据用户的位置来调整虚拟对象的视角。本发明的方法不需要使用附加的复杂硬件。由此,现有系统需要很少的修改或不需要修改来调整对虚拟对象的感知,此外,本发明可缩放至任何大小,并且计算负载仅需要重新调整虚拟对象的坐标。

[0030] 有利地,第一位置(E')是投影系统或显示系统的最佳点。

[0031] 在一个实施例中,该方法被应用于：

[0032] -与用户的左眼位置相对应的第二位置EL,以及

[0033] -与用户的右眼位置相对应的第三位置ER,

[0034] 以使得该方法生成该第二虚拟对象的立体图像。

[0035] 有利地,本发明的方法可以用于生成立体图像。

[0036] 在本发明的另一实施例中,对该第二虚拟对象的确定是使用着色器来执行的,所述着色器接收第一虚拟对象的坐标和用户的第二位置E。使用着色器改善了计算时间。

[0037] 在本发明的一实施例中,该第二虚拟对象是在背景图像上显示的,所述背景图像对于用户的所有位置是相同的。有利地,图像可以被视为具有两个分量:独立于视点的背景以及取决于视点的第二部分。

[0038] 所提出的解决方案不会大幅增加处理能力,这是因为它只能应用于虚拟对象,而不应用于整幅图像。此外,着色器的使用仍然提高计算能力。

[0039] 利用该技术,为每个用户或者在立体3D中为每只眼睛专门渲染一视点。渲染中不存在失真,并且提供真实世界与虚拟世界之间的真实匹配。本发明提供了非常高效的简单软件解决方案。通过仅将该方法应用于背景上的虚拟对象,改善了接近内容的可视化,并且由此,处理能力也不是问题。

[0040] 由此,本发明的附加可能性进一步在于仅校正针对接近对象的渲染,这取决于谁应该观看对象并与之交互。

[0041] 由此,本发明的着色器可以专门应用于某些对象,并且可以应用于3D环境中(例如,圆顶中)中的多个同时用户。

[0042] 在本发明的各实施例中,投影屏幕或显示设备是平坦的、圆柱形的、多面体的、或者是圆顶或圆顶的一部分。

[0043] 本发明的方法独立于所使用的投影屏幕或显示器的类型。它可以有利地应用于向用户提供沉浸式体验的圆顶型显示器中。利用本发明的校正,这种沉浸式体验随着对接近对象的渲染被校正而得以改善,并且现在有可能与这些对象交互。

[0044] 对于根据本发明的包括投影系统的实施例,该投影系统可以是前投影或背投影,并且该投影系统包括至少一个投影仪。

[0045] 在本发明的各实施例中,用于检测用户位置的装置是以下任何一者:网络摄像头、数字相机、Kinect®系统、头部跟踪器等等。

[0046] 本发明的各方面还涉及一种用于确定用户与虚拟对象之间的交互的方法,所述虚拟对象被显示在显示设备上或被投影在投影屏幕上,该方法由投影系统中或显示系统中的图像生成器应用,该投影系统或显示系统包括用于检测用户位置的装置,该用户处于第二位置E并且该虚拟对象B是针对处于第一位置E'的人显示的,位置E处的用户使用身体部位与该虚拟对象进行交互,该方法包括以下步骤:

[0047] -使用用于检测用户位置的装置124来确定位置E处的用户的身体部位123的位置,

[0048] -确定显示表面或投影表面与经过点E'和B的直线之间的交点J,

[0049] (1) 确定如由处于E的用户看到的虚拟对象B的第二位置PP,该第二位置PP被确定为沿与位置E和交点J相交的直线并且在同EE'平行并与位置B相交的线上,以使得使用截距定理得到: $||J-PP|| = ||JE|| * ||JB|| / ||JE'||$,

[0050] (2) 或用于确定用户的身体部位H的第二位置V,从而点V的坐标使得 $||JV|| = ||JE'|| * ||JH|| / ||JE||$,

[0051] -对于(1),将虚拟对象的第二位置PP与处于位置E的用户的身体部位的位置进行比较,以确定B处的虚拟对象与E处的观看者的身体部位之间是否存在交互,

[0052] -对于(2),将身体部位的第二位置V与B处的虚拟对象的位置进行比较,以确定B处的虚拟对象与E处的观看者的身体部位之间是否存在交互。

[0053] 对于旨在被多个用户看到和操纵的对象,相对于本发明的第一方面进行反向操作,并且当发生交互时仅确定要评估虚拟对象的第二位置或身体部位的第二位置与虚拟位置之间的匹配。

[0054] 用户由此还可以在投影系统(像例如圆顶)中进行交互。对确定交互的这种调整也需要很少的处理能力,并且由此可以在CPU或图像生成器上实现。本发明的方法进一步提供允许(例如在圆顶中)多用户活动的优点。

[0055] 有利地,第一位置(E')是投影系统或显示系统的最佳点。

[0056] 本发明还涉及一种投影系统,该投影系统包括:至少一个投影仪、用于检测用户位置的装置、以及被配置成执行根据本发明的方法的步骤的图像生成器。

[0057] 本发明还涉及一种显示系统,该显示系统包括:至少一个显示器、用于检测用户位置的装置、以及被配置成执行根据本发明的方法的步骤的图像生成器。

[0058] 本发明进一步涉及一种包括软件的计算机程序产品,该软件在一个或多个处理引擎上被执行时执行上述任何方法。

[0059] 本发明还涉及一种其上存储有计算机程序的计算机可读介质。

[0060] 在本发明的另一方面,提供了一种用于从第一虚拟对象(V)生成第二虚拟对象(V')的显示系统,所述第二虚拟对象被显示在显示设备上或被投影在投影屏幕上,该显示系统进一步包括图像生成器和用于检测用户位置的装置,其中,该第一虚拟对象是针对处于第一已知位置(E')的用户确定的,并且其中,该第二虚拟对象是针对处于与该第一已知位置不同的第二位置(E)的用户确定的,

[0061] 该系统包括:

[0062] 用于使用用于检测用户位置的装置(44)来确定用户的第二位置(E)的装置,

[0063] -对于该第一虚拟对象的每个顶点V,

[0064] o用于确定同位置E和顶点V相交的直线与显示设备或投影表面(40)之间的交点I

的装置，

[0065] 用于沿与位置E' 和交点I相交的直线确定该第二虚拟对象的顶点V'，以使得使用截距定理得到下式的装置：

[0066] $||IV'|| = ||IE'|| * ||IV|| / ||IE||$

[0067] 用于生成用于该第二虚拟对象的图像数据的装置，以及

[0068] 用于通过将图像数据投影在投影屏幕上或通过图像数据在显示设备上渲染该第二虚拟对象的装置。

[0069] 在本发明的另一方面，提供了一种用于确定用户与虚拟对象之间的交互的显示系统，

[0070] 所述虚拟对象被显示在显示设备上或被投影在投影屏幕上，该显示系统进一步包括图像生成器和用于检测用户位置的装置，

[0071] 该用户处于第二位置E并且该虚拟对象B是针对处于第一位置E' 的人显示的，位置E处的用户使用身体部位(123, PP) 与该虚拟对象进行交互，该投影系统包括：

[0072] 用于使用用于检测用户位置的装置124来确定位置E处的用户的身体部位123的位置的装置，

[0073] 用于确定显示表面或投影表面与经过点E' 和B的直线之间的交点J的装置，

[0074] (1) 用于确定如由处于E的用户看到的虚拟对象B的第二位置PP的装置，该第二位置PP确定为沿与位置E和交点J相交的直线并且在同EE' 平行并与位置B相交的线上，以使得使用截距定理得到： $||J-PP|| = ||JE|| * ||JB|| / ||JE'||$ ，

[0075] (2) 或用于确定用户的身体部位H的第二位置V，以使得点V的坐标有 $||JV|| = ||JE'|| * ||JH|| / ||JE||$ 的装置，

[0076] 对于(1)，将虚拟对象的第二位置PP与位置E处的用户的身体部位的位置进行比较，以确定B处的虚拟对象与E处的观看者的身体部位之间是否存在交互，

[0077] 对于(2)，将身体部位的第二位置V与B处的虚拟对象的位置进行比较，以确定B处的虚拟对象与E处的观看者的身体部位之间是否存在交互。

[0078] 根据本发明的实施例的技术效果和优点在细节上作必要修改后对应于根据本发明的方法的那些相应实施例。

[0079] 附图简述

[0080] 本发明的实施例的这些以及其他技术方面和优点现在将参照附图更详细地描述，其中：

[0081] 图1对应于专利申请US2406574“Gunnery Training”的图13。

[0082] 图2对应于US5137450的图6。

[0083] 图3A是解说光线如何根据反射式空间光调制器上的微镜的状态来与投影仪前面的投影屏幕相交的示意图。

[0084] 图3B是与图3A相同的示意图，但是图3B针对不同的微镜。

[0085] 图4是根据本发明的包括投影仪的投影系统的俯视图。

[0086] 图5是解说根据本发明的如何根据虚拟对象{V1, V2, V3, V4} 和在最佳点E' 之外的观看者E的位置来确定虚拟对象{V1', V2', V3', V4'} 的示意表示。

[0087] 图6是解说根据本发明的用于被执行以根据观看者的位置E来确定顶点V的图像V'

的步骤或操作,其中V是第一虚拟对象的顶点,而V'是第二虚拟对象的顶点。

[0088] 图7是解说用于立体图像的本发明的方法的原理的示图。

[0089] 图8是根据本发明的另一实施例的投影系统的俯视图。

[0090] 图9类似于图4,但是图9针对根据本发明一实施例的圆顶型投影屏幕。

[0091] 图10类似于图5,但是图10针对根据本发明一实施例的圆顶型投影屏幕。

[0092] 图11是遵循Shaderlab语法编写的着色器的示例(ShaderLab是用于使用Unity编辑器(©2018Unity Technologies)来编写着色器文件的声明性语言)。

[0093] 图12是示出了其中处于不同位置的两个用户与相同对象交互的情况的本发明的另一实施例的示意表示。

[0094] 图13解说了根据本发明的针对图12中所示的实施例的坐标变换。

[0095] 定义和首字母缩略词

[0096] 浮雕/浮雕的。立体运动或静止图片,其中合成图像中通常为红色的右分量被叠加在对比色的左分量上,以在通过眼镜形式的相应彩色滤光片观看时产生三维效果。另请参见立体视觉/立体的。

[0097] 投影圆顶。也仅称为“圆顶”。弯曲屏幕,尤其是多边形、圆柱形或球状投影屏幕。具有大于 180° 的曲率角的屏幕,诸如环绕式圆柱形屏幕或圆顶屏幕。圆顶屏幕可以是多边形、圆柱形或者球状或球形投影屏幕。例如,圆顶(诸如球体)内部的观看空间可以具有理论上为 $0 \leq \theta \leq 2\pi$ 和 $2 \leq \varphi \leq 2\pi$ 的视场(通常以球心为原点的球坐标 (r, θ, φ))。圆顶(例如,球体)的一部分可以被切除(截断)以在底部和/或侧部提供开口。这可以用于进出,或者可以提供单独的开口用于进出。在该情形中,视场可以为 $0 \leq \theta \leq 2\pi$ 和 $0 > \varphi < 2\pi$ (通常以球心为原点的球坐标 (r, θ, φ))。具有可以为 $0 \leq \theta \leq \pi$ 和 $0 > \varphi < \pi$ 的视场的弯曲屏幕。这种屏幕可以用于例如船舶桥楼的模拟器中,这是由于桥楼窗外的视野可能受限,例如,顶部妨碍垂直方向上的视野。另一示例是半圆顶屏幕,其中观看者仅面向前方。在该情形中,视场可以为 $0 \leq \theta \leq \pi$ 和 $0 > \varphi < \pi$ (通常以球心为原点的球坐标 (r, θ, φ))。

[0098] 视角(perspective)。对于眼睛而言对象关于其相对距离和位置的外观。

[0099] (几何)射线/光线。在这一点(表示例如观看者的瞳孔中心)与第二点(表示例如观看者正在观看的对象的顶点)之间绘制的直线或线段。

[0100] 准平面。在某种程度上具有平面的品质。

[0101] 着色器。在计算机图形学中,着色器是一种计算机程序,其最初用于着色(在图像内产生恰适水平的明暗度和色彩),但现在在计算机图形特效的各个领域执行各种专门功能或进行与着色无关的视频后期处理,或者甚至进行与图形完全无关的功能。

[0102] 着色器以高度的灵活性计算图形硬件上的渲染效果。大多数着色器被编码用于图形处理单元(GPU),但这不是严格要求。通常使用着色语言来对可编程GPU渲染流水线进行编程,该可编程GPU渲染流水线已主要取代仅允许常见几何变换和像素着色功能的固定功能流水线;利用着色器,可以使用定制效果。用于构造最终图像的所有像素、顶点或纹理的位置、色调、饱和度、亮度和对比度可以使用着色器中定义的算法在运行中(on the fly)被更改,并且可以通过由程序调用着色器引入的外部变量或纹理来修改。

[0103] 立体视觉/立体的。立体图像显示(诸如举例而言,立体投影)基于相同的原理:通

过某种手段(例如,投影到屏幕上)来显示两幅略有不同的图像,其中一幅图像用于左眼而一幅图像用于右眼。对应的图像调制系统(例如,滤光眼镜)使得左眼仅能看到左眼图像,而右眼仅能看到右眼图像。立体投影系统和对应的图像调制系统的示例在US7832869“Method and device for performing stereoscopic image display based on color selective filters(用于基于色彩选择性滤光器来执行立体图像显示的方法和设备)”中进行了描述。

[0104] 最佳点(sweet spot)。被投影在屏幕上(并且特别是球形或弯曲屏幕中)的图片看起来将会自然(即,从视角或几何视点而言是正确的)的位置或位置集合。从最佳点之外观看,被投影的图像看起来会失真。计算投影系统或显示系统中的图像渲染并由此针对最佳点的位置进行优化。

[0105] 距显示屏幕的最佳观看距离和/或相对于显示屏幕的最优位置处的位置集合定义了空间中被称为最佳点或者也被称为观看点的区域,即,位于显示设备前面的这些区域是其中用户能够以正确的视角和/或在没有视觉伪像(像例如但不限于左眼图像和右眼图像之间的串扰)的情况下感知到屏幕上的图像的区域。

[0106] 最佳点也可以被定义为显示系统所设计的观看位置。

[0107] 在本发明中所考虑的显示系统的情形中,最佳点特别关注其图像在显示表面上被渲染的对象的视角。在图12的示例中,显示了点B的右眼图像和左眼图像。点B被定义为坐标XB,YB,ZB的点。E'是最佳点(之一),这是由于其为左眼图像和E'处的观看者的左眼瞳孔之间的第一光线(或表示该光线的直线)与右眼图像和E'处的观看者的右眼瞳孔之间的第二光线的交点;在具有坐标XP',YP',ZP'的点P'处相交,其中 $|XP' - XP| < \Delta$; $|YP' - YP| < \Delta$; $|ZP' - ZP| < \Delta$,其中 Δ 为实数。在理想情形中, Δ 等于零。在大多数情形中,将根据性能水平来选择 Δ 。当与3D对象进行交互时, Δ 优选地小于25cm或小于10cm或小于5cm或小于1cm。

[0108] 当希望观看者以正确的几何形状感知到被渲染的虚拟对象时,可以基于一个或多个标准来定义最佳点。第一标准可以是“被看到和被隐藏(viewed and hidden)”。在图5的示例中,E处的观看者不应当能够看到顶点V3,这是因为多边形的边缘遮挡E处的观看者的视线。尽管如此,V3的图像被投影在屏幕上并且可以被E处的观看者看到。E'处的观看者处于最佳点,这是因为虚拟对象的相对位置和该虚拟对象被投影在屏幕上的图像是相容的。例如,E'处的观看者可以看到其图像被投影在屏幕上的顶点V3,这是因为虚拟对象的任何部分都未遮挡V3与E'之间的视线。

[0109] **Unity®**。Unity是由Unity Technologies® (©2018Unity Technologies)开发的跨平台游戏引擎,其主要用于开发三维和二维视频游戏两者以及对计算机、控制台和移动设备的模拟。

[0110] 各实施例的示例的描述

[0111] 将就具体实施例并且参照特定附图来描述本发明,但是本发明不限于此而仅由权利要求书来限定。所描述的附图仅是示意性的而非限制性的。在附图中,出于解说性目的,可将要素中的一些要素的尺寸放大且不按比例绘制。在本说明书和权利要求书中使用术语“包括”时,该术语不排除其他元素或步骤。此外,说明书和权利要求书中的术语第一、第二、第三等被用于在类似元素之间进行区分,而不一定用于描述顺序或时间次序。应理解,如此使用的术语在适当的情况下是可互换的,并且本文中所描述的本发明的实施例能够以与本文中所描述或解说的不同的顺序来进行操作。

[0112] 术语“约”或“近似”等等是同义词,并且被用于指示由该术语修饰的值具有与其相关联的理解范围,其中该范围可以是+20%、+15%、+10%、+5%或+1%。术语“基本上”被用于指示结果(例如,测量值)接近目标值,其中接近可以意指例如该结果在该值的80%内、在该值的90%内、在该值的95%内、或在该值的99%内。

[0113] 此外,说明书和权利要求书中的术语顶部、底部、上方、下方等被用于描述性的目的,而不一定用于描述相对位置。如此使用的这些术语在合适的情况下是可互换的,并且本文中所述的本发明的各实施例可以以不同于本文中所描述或解说的其他取向操作。权利要求书中所使用的术语“包括”不应被解释为受限于其后列出的装置;它不排除其他元素或步骤。它需要被解释为指定所阐述的如被称为特征、整数、步骤或组件的存在,但不排除一个或多个其他特征、整数、步骤或组件或其分组的存在或添加。因此,措词“一种包括装置A和B的设备”的范围不应当被限定于仅由组件A和B构成的设备。这意味相对于本发明而言,该设备的唯一相关的组件是A和B。类似地,应注意如说明书或权利要求书中所使用的术语“耦合”不应当被解释为仅限于直接连接。因此,措辞“设备A耦合到设备B”的范围不应当被限定于其中设备A的输出直接连接到设备B的输入的设备或系统。这意味着在A的输出和B的输入之间存在路径,该路径可以是包括其它设备或装置的路径。

[0114] 为了描述本发明,可以参考各点从第一参照系到第二参照系的映射。更一般而言,可以参考第一点集合到第二点集合的映射。

[0115] 如图3A和3B所解说的,在光阀(例如,数字微镜光阀)的像素与投影屏幕上的像素之间进行第一映射。

[0116] 图3A至3B解说了光线31B如何根据例如反射式空间光调制器35上的微镜的状态来与投影仪33前面的投影屏幕相交。为了简单起见,空间光调制器35仅为16像素宽和9像素高。活跃像素被表示为空间光调制器35上的阴影方块,不活跃像素保留为空白。通过如本领域中已知的使投影仪和屏幕对准,可知晓当光阀35的微镜34被激活时投影屏幕的像素P0的哪个像素点将被照亮。

[0117] 如图3A所解说的,当微镜34被激活时,光线(或者更确切而言,一束光线)31被微镜反射向投影光学器件32并作为31B离开投影仪33。光线31B在点或像素P0处击中投影屏幕36。

[0118] 在图3B上,另一微镜34B处于活跃(或开启),而所有其他微镜(包括微镜34)处于不活跃(或关闭)。照射光阀35的光被微镜34B反射向投影光学器件32并作为31B离开投影仪33。

[0119] 根据图像数据来激活微镜。在模拟器中,图像数据可以由图像生成器实时生成。例如,在射击训练器中,图像生成器可以根据射击手过去的反应来修改被投影在屏幕上的一系列图像(例如,以模拟射击手正在射击的飞机的躲避动作)。

[0120] 无论显示系统是背投影系统、前投影系统还是发射显示系统(像例如液晶显示器、LED显示器、CRT显示器、拼接式显示器等),都存在映射。

[0121] 射击手的反应是基于屏幕上发生的情况来评估的(与例如Waller Flexible Gunnery Trainer一样)。归因于投影屏幕与光阀之间的映射,生成将与投影屏幕上的期望结果相匹配的图像数据相当容易。例如,如果射击手将火力集中在投影屏幕的前半部分,则通过将目标的图像重定向到屏幕的另一半来模拟躲避动作可能是感兴趣的。由于光阀的微

镜与投影屏幕的点或像素之间存在一对一映射,因此图像生成器将通过从光阀的前半部分到光阀的另一半依次激活微镜来生成目标的图像序列。

[0122] 换言之,在知晓目标的图像在投影屏幕36上的期望坐标 (x, y) 的情况下,可以确定必须激活光阀的哪些微镜。

[0123] 因此,在各实施例的描述中,将讨论在将图像投影在投影屏幕上的一个或多个投影仪前面的空间中的点及其坐标。如果引述图像生成器生成坐标 (x, y) 或 (x, y, z) 处的点,则当然会推断出该图像生成器生成图像数据以控制光阀的微镜的状态,这将导致屏幕中坐标 (x, y) 或 (x, y, z) 处的对应点或像素将被照亮。

[0124] 当生成立体图像或浮雕图像时,其目的是给观看者留下例如像素或像素集在坐标 (x_p, y_p, z_p) 处“悬挂”在空间中的印象。

[0125] 当述及观看者在位置 (x_p, y_p, z_p) 处看到或感知到虚拟对象(例如,点)时,这将意味着:

[0126] - 一组两幅图像(左眼图像和右眼图像)被投影在屏幕36上。

[0127] - 左眼图像是屏幕上的第一像素或点,其在屏幕36上具有坐标 $(c1, c2)$ 。

[0128] - 右眼图像是屏幕上的第二像素或点,其在屏幕36上具有坐标 $(c3, c4)$ 。

[0129] - 观看者的左眼和第一像素或点之间的光线在具有坐标 (x, y, z) 的点处与观看者的右眼和第二像素或点之间的光线相交。

[0130] 当将考虑在空间中追踪的光线(特别是表示光线的直线方程)时,使用笛卡尔坐标会更容易。因此,屏幕36上的点的坐标 $(c1, c2)$ 将在三维笛卡尔坐标系中被更一般地表达为 (x_p, y_p, z_p) ,即使投影屏幕是二维空间。

[0131] 图4是根据本发明的投影系统的俯视图。图4的平面垂直于平面或准平面投影屏幕40。

[0132] 虽然实施例的第一示例描述了图像被投影到其中的系统,但本发明的原理等效地适用于其他类型的显示器,像例如液晶或等离子显示器、LED显示器、CRT显示器等等。

[0133] 由图像生成器41生成的图像被一个或多个投影仪42投影在投影屏幕40上。图像生成器41可以是例如具有处理/计算装置、图形卡和通信接口以及必要的软件、操作系统等等的计算机。由图像生成器生成的图像数据被馈送到一个或多个投影仪42,这些投影仪42将图像投影在屏幕40上。当使用显示设备时,图像生成器自然将图像数据馈送到显示设备的显示系统。投影系统可以是背投影系统或前投影系统。与大多数显示系统一样,投影系统具有最佳点(E' 周围)。如果最佳点大于一点,则将 E' 视为最佳点的一个点。随后可以根据不同的标准(如对称性、在实现本发明时降低的计算能力(如下面进一步描述)等等)来选择 E' 。

[0134] 一个或多个观看者或玩家(如 E 和 E')可以沿投影屏幕40在区域43中移动。区域43的尺寸例如与投影表面41的横向尺寸具有相同的量级。区域43按实际考虑以及由传感器44或用于检测用户位置的装置(其检测区域43中一个或多个观看者 E 的位置)来定界。传感器44(或用于检测用户位置的装置)可以围绕例如网络摄像头或任何其他数字相机来构建。所需要的数据处理可以由构建在传感器44内的处理装置或由图像生成器41的处理装置来执行。传感器44被配置成与图像生成器41通信。传感器44可以是Kinect®系统。在本发明的某些实施例中,传感器系统可以基于不同于图像捕获的其他原理,诸如位置跟踪,举例而言通过登记由于识别俯仰、偏航和滚转而得到的确切位置并记录平移运动(如在头戴式示器中

一样)来进行位置跟踪。传感器系统44可以例如围绕所谓的头部跟踪器来构建,每个头部跟踪器确定头部的x,y,x位置以及头部的方位(特别是观看者正在观看的方向)。在其他实施例中,传感器系统(用于检测用户位置的装置)可以包括多个传感器,每个传感器随后可以例如专用于特定用户或专用于区域43的区划。由此,传感器系统44可以基于惯性跟踪、声学跟踪、光学跟踪、磁跟踪或其任何组合。

[0135] 图像生成器41可以是例如具有处理/计算装置、图形卡和通信接口的计算机。由图像生成器生成的图像数据被馈送到一个或多个投影仪42,这些投影仪42将图像投影到屏幕40上。当本发明与显示设备联用时,图像数据可以被馈送到该显示系统。

[0136] 为了解释本发明的原理,将本发明限制于多边形的图像(在图4的示例中为具有顶点V1、V2、V3、V4的矩形)。

[0137] 使用多边形来表示3D对象在计算机图形动画中是常见的,并且因此,为了解释本发明的原理,将本发明限制于多边形的图像(在图4的示例中为具有顶点V1、V2、V3、V4的矩形)。

[0138] 为了在从最佳点E'观看时在投影屏幕40上渲染虚拟对象{V1,V2,V3,V4},需要确定顶点V1、V2、V3和V4分别在投影屏幕40上的图像P1、P2、P3和P4的位置。

[0139] 例如对于顶点V3,这可以通过确定投影屏幕40与由点E'和顶点V1确定的直线45之间的交点P3来完成。

[0140] 一旦知晓P3的位置,就可以由图像生成器41生成用于投影仪42的图像数据。

[0141] 针对虚拟对象的其他顶点V1、V2和V4进行该光线跟踪。

[0142] 图4还解说了位于最佳点之外的E处的观看者将如何感知到虚拟对象的图像P1、P2、P3和P4。如预期的,E处的观看者在不同的位置并以不正确的几何形状感知到虚拟对象{V1,V2,V3,V4}。在从位置E观看时,具有投影P1、P2、P3、P4的对象{V1",V2",V3",V4"}失真。

[0143] 发明人认识到,可以生成将由相同投影系统(在E'处具有最佳点)投影的图像数据,该投影系统将通过向虚拟对象应用校正来允许E处的观看者在正确的位置并以正确的几何形状感知到该虚拟对象。在投影之前,使第一虚拟对象{V1,V2,V3,V4}失真或映射到第二虚拟对象{V1',V2',V3',V4'}。随后使用该第二虚拟对象来生成将被投影在屏幕40上的图像数据。

[0144] 图5解说了如何根据虚拟对象{V1,V2,V3,V4}和最佳点E'之外的观看者E的位置来确定虚拟对象{V1',V2',V3',V4'}。

[0145] 由位置E和第一虚拟对象{V1,V2,V3,V4}的顶点V4确定的直线50在点I处与屏幕40相交。第二虚拟对象的顶点V4'在沿着由E'和点I确定的直线51的某个位置。

[0146] 发明人发现,顶点V4'必须使得三角形EIE'和V4IV4'相似,并且因此,三角形EIE'的边EE'平行于三角形V4IV4'的边V4V4'。

[0147] 因此可以应用泰勒斯(Thales)定理来确定V4'沿直线51的位置:

[0148] (1) $||IV4||/||IE|| = ||IV4'||/||IE'|| = ||V4V4'||/||EE'||$

[0149] 其中:

[0150] $||IV4||$ = 直线线段IV4的长度

[0151] $||IE||$ = 直线线段IE的长度

[0152] $||IV4'||$ = 直线线段IV4'的长度

[0153] $||IE'|| = \text{直线线段} IE' \text{ 的长度}$

[0154] $||V4V4'|| = \text{直线线段} V4V4' \text{ 的长度}$

[0155] $||EE'|| = \text{直线线段} EE' \text{ 的长度}$

[0156] 通过 (1), 可以得到: $||IV4'|| = ||IE'|| * ||IV4|| / ||IE||$ (2)

[0157] 在知晓E、E' 和V4的位置的情况下, 由此可以计算顶点V4' 的位置, 以使得当在屏幕40上显示V4' 的图像时, 可以从E感知到V4' 的图像, 就好像它在V4处一样。

[0158] 顶点V3'、V2'、V1' 的位置通过相同的方法来确定。

[0159] 例如, 对象V1-V4(旨在) 可以从最佳点E' 以正确的视角被看到。使用泰勒斯定理完成对新对象V1'-V4' 的构造。顶点V' (V1'、V2'、V3' 或V4') 沿着线IE' (E' 是已知的, 而I通过构造获得)。新对象V1'-V4' 旨在从位置E(即, 不在最佳点) 以正确的视角被看到。当在E' 处具有最佳点的显示系统上显示新对象V1'-V4' 时, 在E处将以正确的视角看到该新对象。

[0160] I与V' 之间的距离由下式给出:

[0161] $||IV'|| = ||IE'|| * ||IV|| / ||IE||$

[0162] 这指定了V' 沿线段IE' 的位置。I与V' 之间的距离是从上面公式中应用的截距定理得出的。

[0163] 一旦知晓第二对象{V1', V2', V3', V4'} 的顶点位置, 图像生成器就可以生成要在屏幕上显示的图像, 以使得位置E处的观看者将以正确的感知(即, 以在从E' 移至E时期望看到第一对象{V1, V2, V3, V4} 的视角) 感知到虚拟对象。

[0164] 图6概述了用于被执行以根据观看者的位置E来确定顶点V的图像V' 的步骤或操作, 其中V是第一虚拟对象的顶点, 而V' 是第二虚拟对象的顶点。

[0165] 在第一步骤中, 传感器44确定观看者E在例如以最佳点E' 为中心的坐标系XYZ中的位置XE, YE, ZE。

[0166] 在该参照系中, E' 具有坐标 $(XE', YE', ZE') = (0, 0, 0)$, 而E具有坐标 (XE, YE, ZE) 。

[0167] 在第二步骤中, 确定投影表面(或显示器) 与第一直线之间的交点I。该直线自身由具有坐标 (XE, YE, ZE) 的第一点E和具有坐标 (XV, YV, ZV) 的第二点V确定, 该第二点是第一虚拟对象的顶点。

[0168] 交点I可以例如以分析方式确定。

[0169] 经过具有坐标 (XE, YE, ZE) 的第一点E和具有坐标 (XV, YV, ZV) 的第二点V的直线的参数方程为:

[0170] (3) $X = Dx * t + XE$

[0171] (4) $Y = Dy * t + YE$

[0172] (5) $Z = Dz * t + ZE$

[0173] 其中t是参数(实数), 并且

[0174] (6) $Dx = (XV - XE)$

[0175] (7) $Dy = (YV - YE)$

[0176] (8) $Dz = (ZV - ZE)$

[0177] 在图4和6的示例中, 投影屏幕与具有以下方程的平面共面:

[0178] (9) $Y = YP$

[0179] 交点I的Y坐标由此为 $YI = YP$ 。

[0180] 直线与投影屏幕之间的交点I对应于参数t的值 t_i 以使得 $t_i = (Y_P - Y_E) / D_y$ 。

[0181] 将 t_i 的值代入方程 (3) 和 (5), 找到交点I的X和Z坐标:

[0182] (10) $X_I = D_x * t_i + X_E$

[0183] (11) $Z_I = D_z * t_i + Z_E$ 。

[0184] 在步骤2结束时, 知晓交点I的坐标 (X_I, Y_I, Z_I) 。

[0185] 在第三步骤中, 确定顶点 V' 的坐标。

[0186] 第二顶点 V' 在由具有坐标 (X_I, Y_I, Z_I) 的交点I和最佳点 E' ($X_{E'}, Y_{E'}, Z_{E'}$) 确定的第二直线上。它在该第二直线和一平行线的交点处, 该平行线平行于与最佳点 E' 和第一点E相交的线并且经过V。

[0187] 经过具有坐标 (X_I, Y_I, Z_I) 的交点I和具有坐标 $(X_{E'}, Y_{E'}, Z_{E'})$ 的最佳点 E' 的第二直线的参数方程为:

[0188] (12) $X = B_x * t + X_I$

[0189] (13) $Y = B_y * t + Y_I$

[0190] (14) $Z = B_z * t + Z_I$

[0191] 其中t是参数(实数), 并且

[0192] (15) $B_x = (X_I - X_{E'}) / ||B||$

[0193] (16) $B_y = (Y_I - Y_{E'}) / ||B||$

[0194] (17) $B_z = (Z_I - Z_{E'}) / ||B||$

[0195] 其中 $B^2 = (X_I - X_{E'})^2 + (Y_I - Y_{E'})^2 + (Z_I - Z_{E'})^2$, 并且

[0196] $||B|| = \sqrt{B^2}$

[0197] 使用 B_x 、 B_y 、 B_z 的这些表达式, 还可以得到 $B_x^2 + B_y^2 + B_z^2 = 1$, 这将证实有利于简化计算。

[0198] 遵循截距定理, 顶点 V' 的坐标 $(X_{V'}, Y_{V'}, Z_{V'})$ 使得:

[0199] $||IV'|| = ||IE'|| * ||IV|| / ||IE||$

[0200] 其中:

[0201] (18) $||IV'|| = [(X_I - X_{V'})^2 + (Y_I - Y_{V'})^2 + (Z_I - Z_{V'})^2]^{1/2}$

[0202] (19) $||IE'|| = [(X_I - X_{E'})^2 + (Y_I - Y_{E'})^2 + (Z_I - Z_{E'})^2]^{1/2}$

[0203] (20) $||IE|| = [(X_I - X_E)^2 + (Y_I - Y_E)^2 + (Z_I - Z_E)^2]^{1/2}$

[0204] (21) $||IV|| = [(X_I - X_V)^2 + (Y_I - Y_V)^2 + (Z_I - Z_V)^2]^{1/2}$

[0205] 在已知点I、V、E和 E' 的坐标的情况下, $||IV'||$ 可以通过使用方程 (19)、(20)、(21) 和 (2) 来计算。

[0206] 在 $B_x^2 + B_y^2 + B_z^2 = 1$ 的情况下, V' 的坐标由下式给出:

[0207] (22) $X_{V'} = B_x * t_{V'} + X_I$

[0208] (23) $Y_{V'} = B_y * t_{V'} + Y_I$

[0209] (24) $Z_{V'} = B_z * t_{V'} + Z_I$

[0210] 其中 $t_{V'} = ||IV'|| = ||IE'|| * ||IV|| / ||IE||$ 。

[0211] 实际上, 通过 (22)、(23) 和 (24) 可以得到:

[0212] $(X_{V'} - X_I)^2 + (Y_{V'} - Y_I)^2 + (Z_{V'} - Z_I)^2 = (B_x^2 + B_y^2 + B_z^2) t_{V'}^2$, 或者由于 $(B_x^2 + B_y^2 + B_z^2) = 1$, 可以得到:

[0213] $t_{v'} = [(X_I - X_{V'})^2 + (Y_I - Y_{V'})^2 + (Z_I - Z_{V'})^2]^{1/2}$, 其完全是 $||IV'||$ 。

[0214] 在对 B_x, B_y 和 B_z 所作出的特定选择中, 将 $t_{v'}$ 取为 $[(X_I - X_{V'})^2 + (Y_I - Y_{V'})^2 + (Z_I - Z_{V'})^2]$ 的正平方根, 以找到 $(X_{V'}, Y_{V'}, Z_{V'})$ 。

[0215] 在第四步骤中, 针对已被选择供渲染的第一虚拟对象的每个顶点 V 重复步骤 2 和 3。如果一些顶点似乎不应当被位置 E 处的观看者看到, 则可以省略这些顶点。

[0216] 一旦知晓第二虚拟对象的顶点, 就可以在第五步骤中生成用于在投影屏幕上投影的图像数据。

[0217] 在第六步骤中, 图像数据被馈送到一个或多个投影仪 42, 并且第二虚拟对象的图像被投影在屏幕 40 上, 或者被显示在显示系统上。

[0218] 当第二虚拟对象的图像被投影在屏幕 40 上时, 位置 E 处的观看者由此将在正确的位置并以正确的几何形状感知到第一虚拟对象。取决于在计算期间可以完成的近似 (例如, 舍入误差) 和/或与假设的偏差 (例如, 在投影屏幕不完全是平面的情况下和/或在传感器 44 的精度受限情况下等等), 位置 E 处的观看者可能无法在第一虚拟对象的确切位置并以确切的几何形状/视角看到该第一虚拟对象, 但相比于不应用本发明的原理的情况, 观看者将在更接近的位置并以更接近的几何形状感知到该第一虚拟对象。

[0219] 生成用于在投影屏幕上投影的图像数据可以通过数种方式来完成。现在给出简单的示例。

[0220] 通过数学模型来确定虚拟对象。该虚拟对象可以例如由表面来表示。如果虚拟对象是立方体, 则它具有 6 个正方形面。这六个正方形面中的每一面由一组 4 个顶点确定。在该示例中, 8 个不同的顶点足以确定虚拟对象在坐标系 (例如, 正交坐标系 X, Y, Z) 中的位置和方位。

[0221] 如果必须为最佳点处的观看者生成该立方体的图像, 则可以对图 4 的投影系统进行校准, 以使得图像生成需要将立方体简单几何投影到投影屏幕上。这在图 4 中针对由顶点 V_1, V_2, V_3 和 V_4 确定的立方体的一个面进行了解说。如果必须在坐标系 XYZ 中感知到虚拟对象 (如由顶点 V_1, V_2, V_3 和 V_4 的坐标确定的), 则必须投影顶点的图像 P_1, P_2, P_3 和 P_4 (如在图 4 构造的): P_1 是投影屏幕与由具有坐标 $(X_{E'}, Y_{E'}, Z_{E'})$ 的点 E' 和具有坐标 $(V_1X, V_1Y$ 和 $V_1Z)$ 的点 V_1 确定的直线之间的交点, 针对顶点 V_2, V_3 和 V_4 的其他图像 P_2, P_3 和 P_4 依此类推。

[0222] 如果需要立体图像, 则可以针对观看者的双眼位置重复上述方法, 必须为左眼确定左眼图像, 并且必须为右眼确定右眼图像。

[0223] 如图 7 所解说的, 这是针对具有坐标 (V_1X, V_1Y, V_1Z) 的单个顶点 V_1 来完成的。

[0224] 通过跟踪 E' 处的观看者的左眼瞳孔 PUL 与顶点 V_1 之间的直线 70 来确定左眼图像。直线 70 与投影屏幕 40 的交点是屏幕 40 上的所需图像 $P1L$ 。

[0225] 通过跟踪 E' 位置处的观看者的右眼瞳孔 PUR 与顶点 V 之间的直线 71 来确定右眼图像。直线 71 与投影屏幕 40 的交点是屏幕 40 上的所需图像 $P1R$ 。

[0226] 当根据现有技术将图像 $P1L$ 和 $P1R$ 作为立体图像投影在屏幕 40 上时, E' 处的观看者将在坐标 (V_1X, V_1Y, V_1Z) 处感知到顶点 V_1 。

[0227] 由于瞳孔和眼间距可能会因人而异, 因此出于计算图像的目的, 例如可以使用线段 PU_1-PU_2 作为替代, 该线段 PU_1-PU_2 的左端 PU_1 代表左眼瞳孔 (的中心), 右端 PU_2 代表右眼瞳孔的中心。末端 PU_1 与 PU_2 之间的距离 IED 被视为平均眼间距 (即, 约 6cm)。

[0228] 考虑到最佳点处的观看者的眼睛将围绕点E' 对称地设置,因此用于计算图像的PUL和PUR的坐标为:

[0229] $XPUL = -0.5IED * \cos\alpha$, $YPUL = -0.5IED * \sin\alpha$, 并且 $ZPUL = OFF1$

[0230] $XPUR = -0.5IED * \cos\alpha$, $YPUR = -0.5IED * \sin\alpha$, 并且 $ZPUR = OFF1$ 其中 α 是观看者观看屏幕SC的方向与轴线Y的角度。OFF1是观看者的眼睛预期的标称高度。例如,如果模拟器/显示系统旨在于观看者站立时使用,则可以将OFF1视为成年人的平均身高。将根据应用和用户来选择OFF1。

[0231] 取决于应用,可以用 $\alpha = 0$ 来计算图像。替换地,视线与例如轴线Y之间的角度 α 可以由传感器44来确定(例如,使用Kinect系统、惯性头部跟踪器或本领域已知的任何其他替换方案)。

[0232] 本发明的优点在于,可以按完全相同的方式来确定第二虚拟对象,而不管将生成非立体还是立体图像的事实。基于顶点V的几何坐标来计算或确定2D/非立体和立体图像。根据本发明,根据观看者的位置E (XE, YE, ZE) 来修改第一虚拟对象的几何坐标以生成第二虚拟对象。随后使用第二虚拟对象来生成图像数据。当图像被投影在与图像数据相对应的屏幕40上时,位置E (XE, YE, ZE) 处的观看者将在该位置处并以E处的观看者期望的视角感知到第一虚拟对象。

[0233] 可以通过在图像生成器上运行的着色器来完成对第二虚拟对象的确定。将第一虚拟对象的顶点坐标以及最佳点之外的观看者的位置E馈送到着色器,该着色器随后生成第二虚拟对象的顶点坐标。

[0234] 图8是根据本发明的另一实施例的投影系统的俯视图。

[0235] 由图像生成器81生成的图像被一个或多个投影仪82投影在圆顶80上。圆顶的表面例如是球形表面或者球形表面或圆柱形表面的一部分,如图8所示。替换地,投影表面可以是多面体的(如在cave显示器中)。如果使用投影系统,则它可以是如图8中的背投影系统或如图1中所例示的前投影系统。

[0236] 观看者或玩家可以沿投影表面80在区域83中移动。区域43的尺寸例如与投影表面的横向尺寸(例如,球形投影屏幕80的半径)具有相同的量级。

[0237] 传感器84检测区域83中一个或多个观看者的位置。将区域83中该一个或多个观看者的位置作为坐标集合提供给图像生成器81。图像生成器可以是例如具有处理/计算装置、图形卡和通信接口的计算机。由图像生成器生成的图像数据被馈送到一个或多个投影仪,这些投影仪将图像投影在屏幕80上。

[0238] 观看者可以借助于被动式立体眼镜来观看被投影在屏幕上的立体图像。被投影在屏幕80上的图像可以是2D图像和立体图像的混合。对象(例如,接近观看者/玩家、目标的机枪)的立体图像可以被叠加在2D背景图像上。

[0239] 背景图像可以是例如具有海洋、地平线、天空中的云、星星、太阳和/或月亮的海景渲染。例如星星或云与观看者之间的距离远大于观看者的第一位置与第二位置之间的距离(或者换言之,大于区域83的尺寸),因此如果观看者从第一位置移至第二位置,星空的视角将保持不变。

[0240] 对于第一位置处的第一观看者和第二位置处的第二观看者,不需要修改海景的图像。这两个观看者都可以看到被投影在投影屏幕上的背景图像的相同图像,而不会感到视

角错误。背景图像可以是2D图像或立体图像。

[0241] 虚拟对象可以是例如在周围飞行的飞机PL的表示,如在Gunnery Trainer中将是这种情况。还可以渲染其他虚拟对象:机枪MG(接近观看者/主体)以及在飞机PL处射击的子弹BU。

[0242] 当观看者从第一位置POS1观看虚拟对象时以及当观看者从第二位置POS2观看时,该虚拟对象的视角将改变。对于其坐标与最佳点之外的观看者非常接近的虚拟对象而言,这尤其成问题。

[0243] 以具有两个射击手的虚拟射击训练器为例,如图9所解说的。图9是显示系统的俯视图。投影圆顶由跨越大于180°角度的圆弧来图示。第一射击手在最佳点之外的位置E。第二射击手位于最佳点E'。在如图1和图9所解说的球形圆顶中,最佳点通常(如果并非总是)位于雕刻出圆顶形投影屏幕的球体的几何中心处或周围。

[0244] 与图4的示例一样,位置E处的观看者将不会以与观看者E'相同的视角感知到虚拟对象91。

[0245] 可以应用先前针对平面投影屏幕所描述的方法来校正投影圆顶中的该感知问题。例如,如果E处的射击手必须如同道具枪在该射击手的手中一样并以正确的视角感知到该道具枪,则该道具枪在投影之前必须首先进行变换。道具枪的每个顶点必须首先根据本发明的原理进行变换,如图10所解说的。

[0246] 根据本发明的方法的原理通过将其应用于必须被处于接近位置E的位置中的观看者感知到的虚拟对象100的单个顶点V4来解说。第一直线101由点E和V4确定并在点I处与投影屏幕80相交。

[0247] 第二直线102由点I和E'确定。

[0248] 第三直线103被确定为使得其与顶点V4相交并且平行于方向EE'。

[0249] 在第二直线102和第三直线103的交点处找到顶点V4'。

[0250] 三角形EIE'和V4IV4'相似,遵循截距定理,关系(1)适用,并且:

$$[0251] \quad (1) \quad ||IV4||/||IE|| = ||IV4'||/||IE'|| = ||V4V4'||/||EE'||$$

[0252] 图像生成器可以计算第一直线的方程,并确定与投影屏幕的交点I。一旦知晓I,就可以计算第二直线的方程并确定顶点V4'以使得I与V4'之间的距离满足(1),即, $||IV4'|| = ||IE'|| * ||IV4||/||IE||$ 。

[0253] 针对虚拟对象100的其他顶点V1、V2、V3重复该方法。

[0254] 对象V1-V4(旨在)可以从最佳点E'以正确的视角被看到。使用泰勒斯定理完成对新对象V1'-V4'的构造。顶点V' (V1'、V2'、V3'或V4')沿着线IE' (E'是已知的,而I通过构造获得)。新对象V1'-V4'旨在从位置E(即,不在最佳点)以正确的视角被看到。当在显示系统上显示新对象V1'-V4'时,在E处将以正确的视角看到该新对象。

[0255] I与V'之间的距离由下式给出:

$$[0256] \quad ||IV'|| = ||IE'|| * ||IV||/||IE||$$

[0257] 这指定了V'沿线IE'的位置。I与V'之间的距离是从上面公式中应用的截距定理得出的。

[0258] 顶点集合V1'、V2'、V3'和V4'确定第二虚拟对象。为了针对E处的观看者以正确的视角渲染道具枪,图像生成器81使用第二虚拟对象来生成被投影在屏幕80上的2D或3D图

像。

[0259] 与先前的示例一样,确定顶点 $V1'$ 、 $V2'$ 、 $V3'$ 、 $V4'$ 的位置所需要的计算可以由着色器完成。

[0260] 图11示出了遵循Shaderlab语法来编写的着色器的示例(ShaderLab是用于使用Unity编辑器(©2018Unity Technologies)来编写着色器文件的声明性语言)。

[0261] 在沉浸式和交互式显示系统中还存在必须解决的另一问题:当位置E处的第一观看者/玩家和位置E'处的第二观看者/玩家与相同的虚拟对象进行交互时。

[0262] 当不同位置E和E'处的两个观看者正在观看相同的虚拟对象并与之交互时,不一定期望更改被投影的图像以改善该对象对于最佳点之外的观看者的视角。如果改变了视角,则E'处的第二观看者将以错误的视角看到对象。

[0263] 以图12上的虚拟按钮120为例,该虚拟按钮120可以通过将某人的手置于空间中与按钮120(的中心)坐标周围的激活区域相对应的位置处来激活。用于检测用户位置的装置还可以被配置成检测例如用户的手(或者例如脚)以允许与虚拟对象的交互。由此在该实施例中,传感器124被配置成检测每个用户的手的位置。

[0264] 最佳点E'处的观看者会将他/她的手121置于按钮120的感知位置(例如,XB,YB,ZB)处,该感知位置位于连结左眼瞳孔PUR和左眼图像BL的直线与连结右眼瞳孔PUR和右眼图像BR的直线的交点处。传感器124检查手是否在空间中具有坐标(XB,YB,ZB)的点附近。图像生成器可以例如比较由传感器发送的关于(XB,YB,ZB)附近是否存在手的信息,并且可以例如触发图像的变化(像但不限于按钮120的图像色彩的变化)。取决于所使用的传感器和/或由图像发生器完成的信号处理,不仅可以监视手(或观看者的其他部位)的位置,并且还可以确定例如手接近点(XB,YB,ZB)的速度。在视频游戏中,这可以被用于例如评估手对虚拟对象的影响(像例如在虚拟拳击比赛中将是这种情况)。

[0265] 在最佳点之外的E处、想要激活按钮的观看者会将他/她的手123置于按钮120的感知位置123处,即,具有坐标(XPP,YPP,ZPP)的点的周围,并且尽管E处的观看者期望反应,但由于他/她的手122不在空间中点(XB,YB,ZB)周围的正确区域中,因此不会发生任何反应。

[0266] 为了避免这种情况,与E处的观看者的手123有关的位置信息在被用于例如得出关于E处的观看者的手123与虚拟对象之间的交互的结论之前根据手123的坐标进行修改。

[0267] 图13解说了被应用于手123的坐标的坐标变换。

[0268] 本发明还提供了一种用于确定处于第二位置E的用户位置的身体部位(诸如用户的手,其位置由传感器124确定)与针对第一位置E'处的用户显示的虚拟对象之间的交互的方法。

[0269] 在根据本发明的第一种方法中,E处的观看者感知到虚拟按钮B的坐标(XPP,YPP,ZPP)是基于虚拟按钮B的实际坐标(XB,YB,ZB)来评估的。

[0270] 这可以如图13所解说的来完成。

[0271] 第一直线125由点E'和具有坐标(XB,YB,ZB)的点B确定。第一直线125在点J处与屏幕80相交。

[0272] 通过使用第一直线的方程和与屏幕相对应的表面的方程,可以找到点J的坐标(XJ,YJ,ZJ)。

[0273] 第二直线126由点J和E确定。

[0274] 具有坐标 (XPP, YPP, ZPP) 的点 PP (123 手) 在第二直线上, 并且点 I 与 PP 之间的距离 $|J-PP|$ 由泰勒斯定理 (截距定理) 给出:

[0275] $|J-PP| = |JE| * |JB| / |JE'|$ 。

[0276] 其中 $|JB|$ 是点 J 与点 B (XB, YB, ZB) 之间的距离;

[0277] $|JE'|$ 是点 J 与点 E' 之间的距离;

[0278] $|JE|$ 是点 J 与点 E 之间的距离。

[0279] 如先前所做的, 一旦知晓 E, E'、B 和 J 的坐标, 就可以计算点 PP 的坐标。

[0280] 一旦知晓 PP 的坐标, B 处的虚拟对象与 E 处的观看者 (的手) 之间的交互将不会通过将 B 的坐标与 E 处的观看者 (的手) 的坐标进行比较来评估, 而是通过将 PP 的坐标与手的坐标进行比较来评估。

[0281] 替换地, 观看者 E 的手的坐标被变换并与 (XB, YB, ZB) 进行比较。

[0282] 此次, 经过 E 和手 H (的点) 绘制第一直线。该直线在 J 处与投影表面相交。从 J 到 E' 绘制第二直线。

[0283] 第二直线 JE' 上的、点 B 的坐标要与其比较的点 V (手 H 的经校正点) 的坐标使得 $|JV| = |JE'| * |JH| / |JE|$ 。

[0284] 在已确定交互的情况下, 用户可以与虚拟对象进行交互。

[0285] 可以在图像生成器级别或传感器级别应用上述校正。也可以在使用着色器的情况下应用校正, 如上面参考图 11 所描述的。

[0286] 在本发明的另一方面, 一旦校正了对象的视角, 就可以在球形显示器 (即, 全景显示器) 上完成对立体图像的渲染, 例如, 如来自谷歌公司 (Google Inc.) 的白皮书 “Rendering Omni-directional Stereo Content (渲染全景立体内容)” 中所教导的。

[0287] 根据本发明的另一实施例, 软件可被实现为计算机程序产品, 该计算机程序产品已被编译供处理引擎执行本发明的任何方法, 或者被编译以在解释性虚拟机 (诸如 Java™ 虚拟机) 中执行。显示设备可包括被编码在介质中的逻辑, 以用于执行根据本发明的各方法的步骤中的任何步骤。逻辑可包括被编码在盘或其他计算机可读介质中的软件和/或被编码在专用集成电路 (ASIC)、现场可编程门阵列 (FPGA) 或其他处理器或硬件中的指令。显示器将包括 CPU 和/或 GPU 和存储器, CPU 和/或 GPU 具有能够执行本发明的软件的处理引擎。

[0288] 计算机程序产品可被存储在非瞬态信号存储介质上, 诸如光盘 (CD-ROM 或 DVD-ROM)、数字磁带、磁盘、固态存储器 (诸如 USB 闪存存储器)、ROM 等。

[0289] 软件可以体现在计算机程序产品中, 该计算机程序产品被适配成在软件被加载到图像生成器上并且在一个或多个处理引擎 (诸如微处理器、ASIC 的处理引擎、FPGA 的处理引擎等) 上执行时执行以下功能:

[0290] - 使用用于检测用户位置的装置来确定该用户的第二位置 E,

[0291] - 对于第一虚拟对象的每个顶点 V,

[0292] o 确定同位置 E 和顶点 V 相交的直线与显示设备或投影表面之间的交点 I,

[0293] o 沿同位置 E' 和交点 I 相交的直线确定第二虚拟对象的顶点 V', 以使得使用截距定理得到:

[0294] $-|IV'| = |IE'| * |IV| / |IE|$,

[0295] - 生成用于第二虚拟对象的图像数据,

[0296] -通过将图像数据投影在投影屏幕上或通过将图像数据显示在显示设备上渲染第二虚拟对象。

[0297] 软件可以体现在计算机程序产品中,该计算机程序产品被适配成在软件被加载到图像生成器或传感器(用于检测用户位置的装置)上并且在一个或多个处理引擎(诸如微处理器、ASIC的处理引擎、FPGA的处理引擎等)上执行时执行以下功能:

[0298] -使用用于检测用户位置的装置124来确定位置E处的用户的身体部位123的位置,

[0299] -确定显示设备或投影表面与和E' 相交的直线之间的交点J,

[0300] (1) 确定如由处于E的用户看到的虚拟对象B的第二位置PP,该第二位置PP确定为沿与位置E和交点J相交的直线并且在同EE' 平行并与位置B相交的线上,以使得使用截距定理得到: $||J-PP|| = ||JE|| * ||JB|| / ||JE'||$,

[0301] (2) 或确定用户的身体部位H的第二位置V,从而点V的坐标使得 $||JV|| = ||JE'|| * ||JH|| / ||JE||$ 。

[0302] -对于(1),将虚拟对象的第二位置PP与位置E处的用户的身体部位的位置进行比较,以确定B处的虚拟对象与E处的观看者的身体部位之间是否存在交互,

[0303] -对于(2),将身体部位的第二位置V与B处的虚拟对象的位置进行比较,以确定B处的虚拟对象与E处的观看者的身体部位之间是否存在交互。

[0304] 以上提到的软件可以被存储在非瞬态信号存储介质上,诸如光盘(CD-ROM或DVD-ROM)、磁带、磁盘、ROM、或固态存储器,诸如USB闪存等。

[0305] 尽管以上已经参考特定实施例描述了本发明,但是这样做是为了阐明而不是限制本发明。技术人员将理解,在不脱离本发明的范围的情况下,可以对所公开的特征进行各种修改和不同的组合。

Aug. 27, 1946.

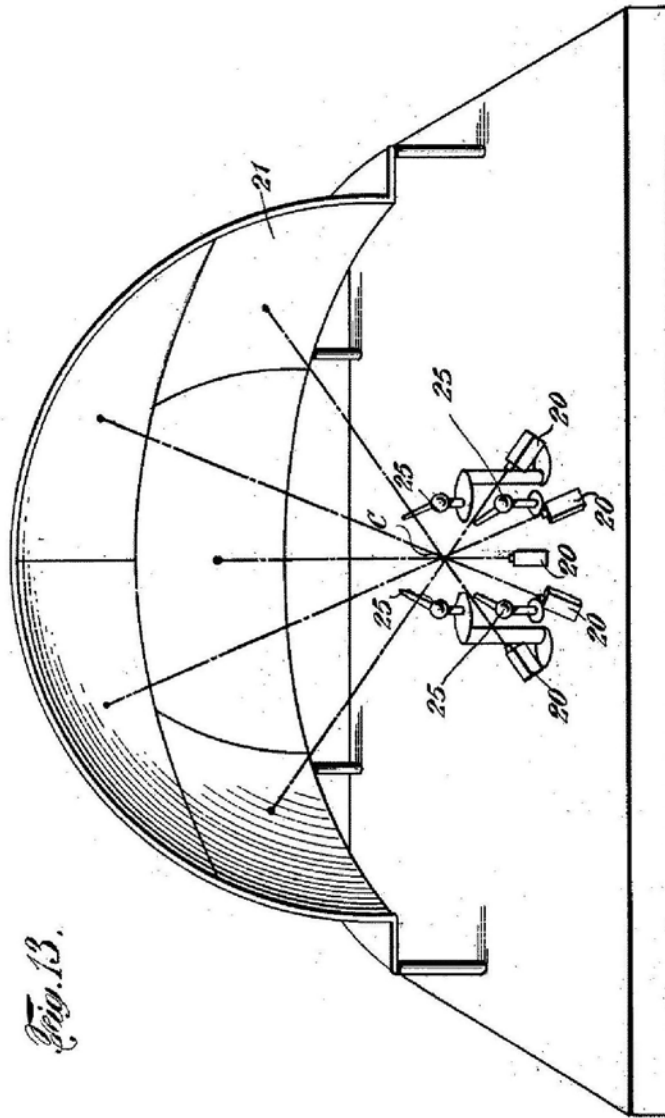
F. WALLER ET AL

2,406,574

GUNNERY TRAINING

Filed Oct. 17, 1941

11 Sheets-Sheet 9



INVENTOR
FRED WALLER
W. ROBERT DRESSER
BY H. MARTYN BAKER
Emery, Varney, Whittemore & Dix
ATTORNEYS

图1

U.S. Patent

Aug. 11, 1992

Sheet 6 of 6

5,137,450

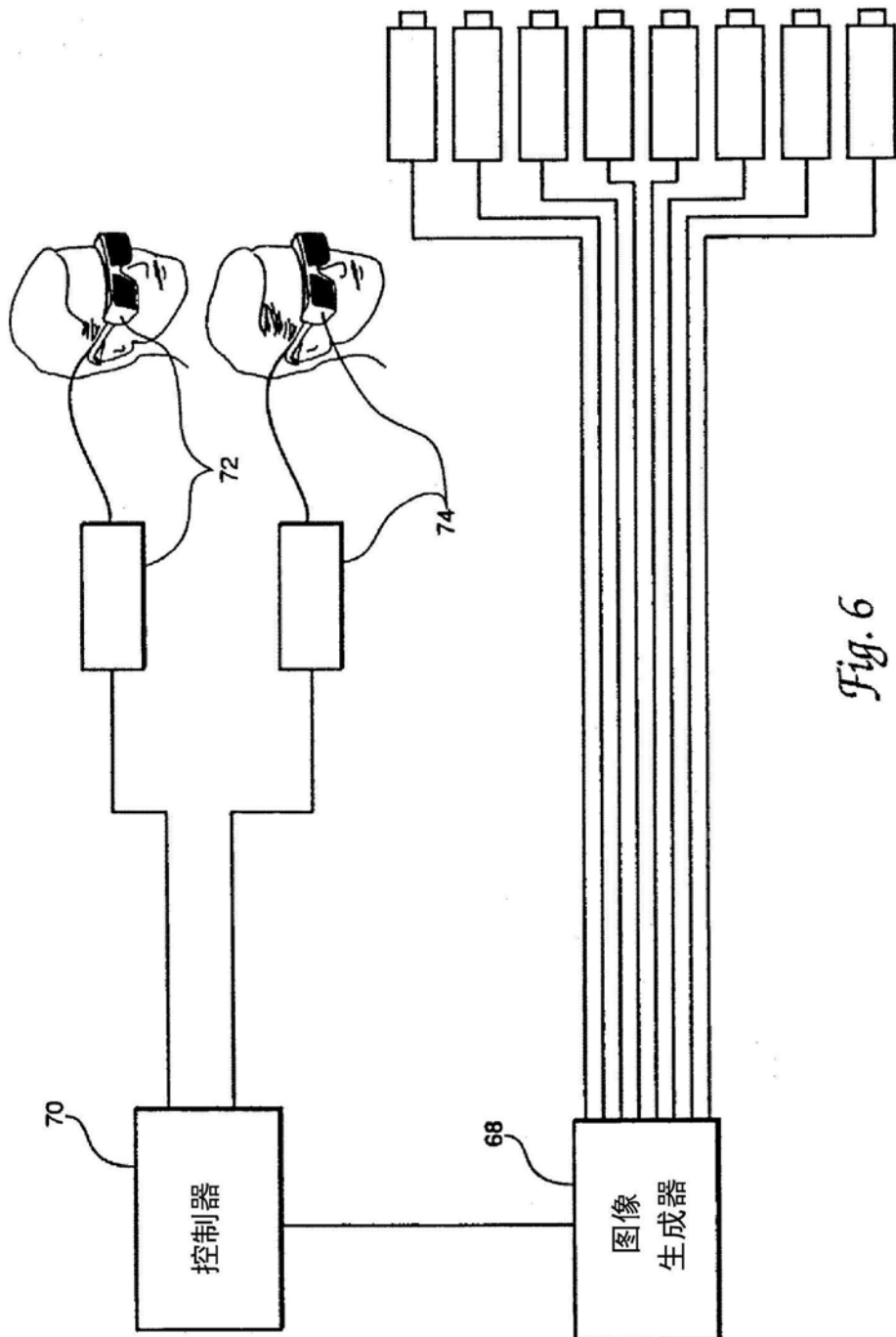


图2

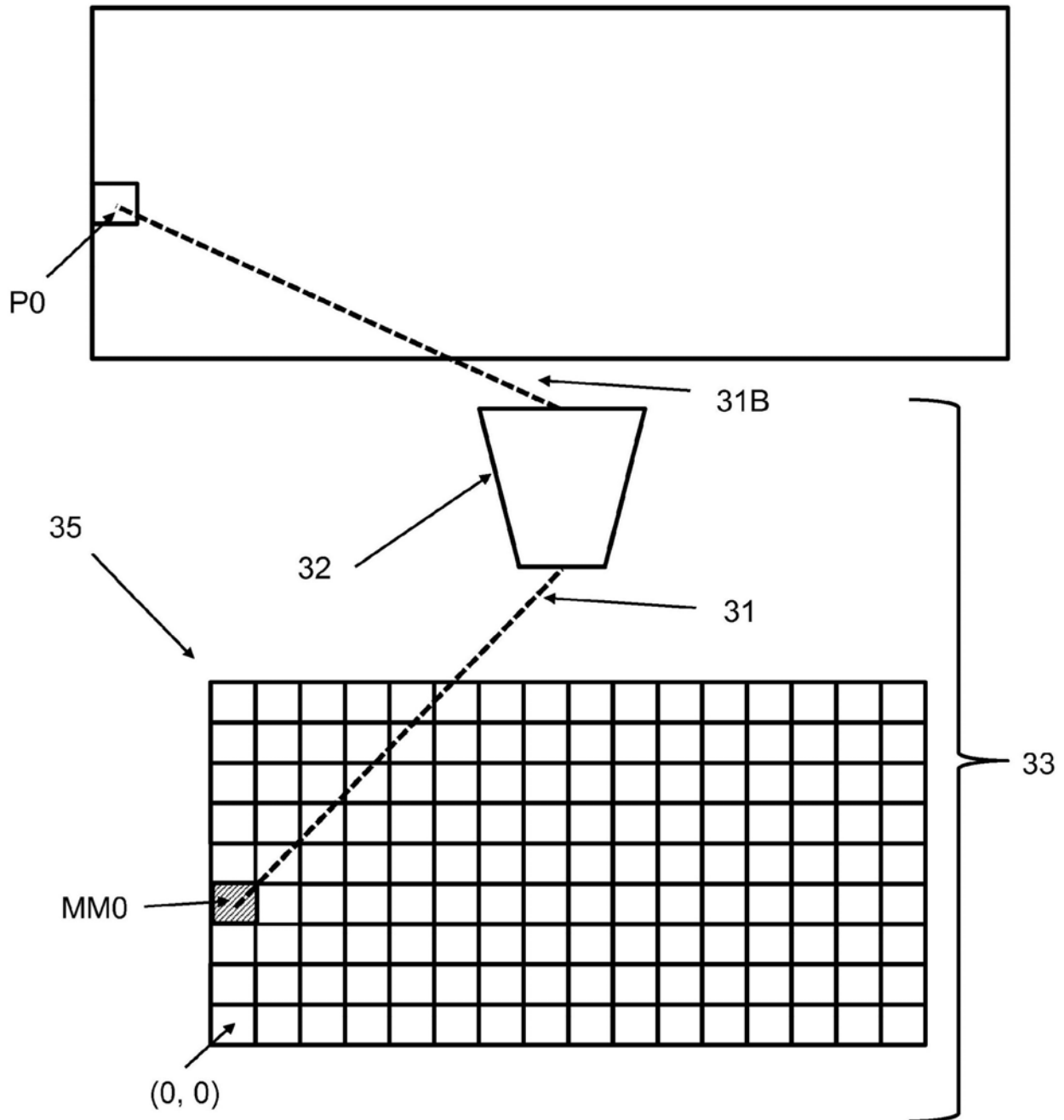


图3A

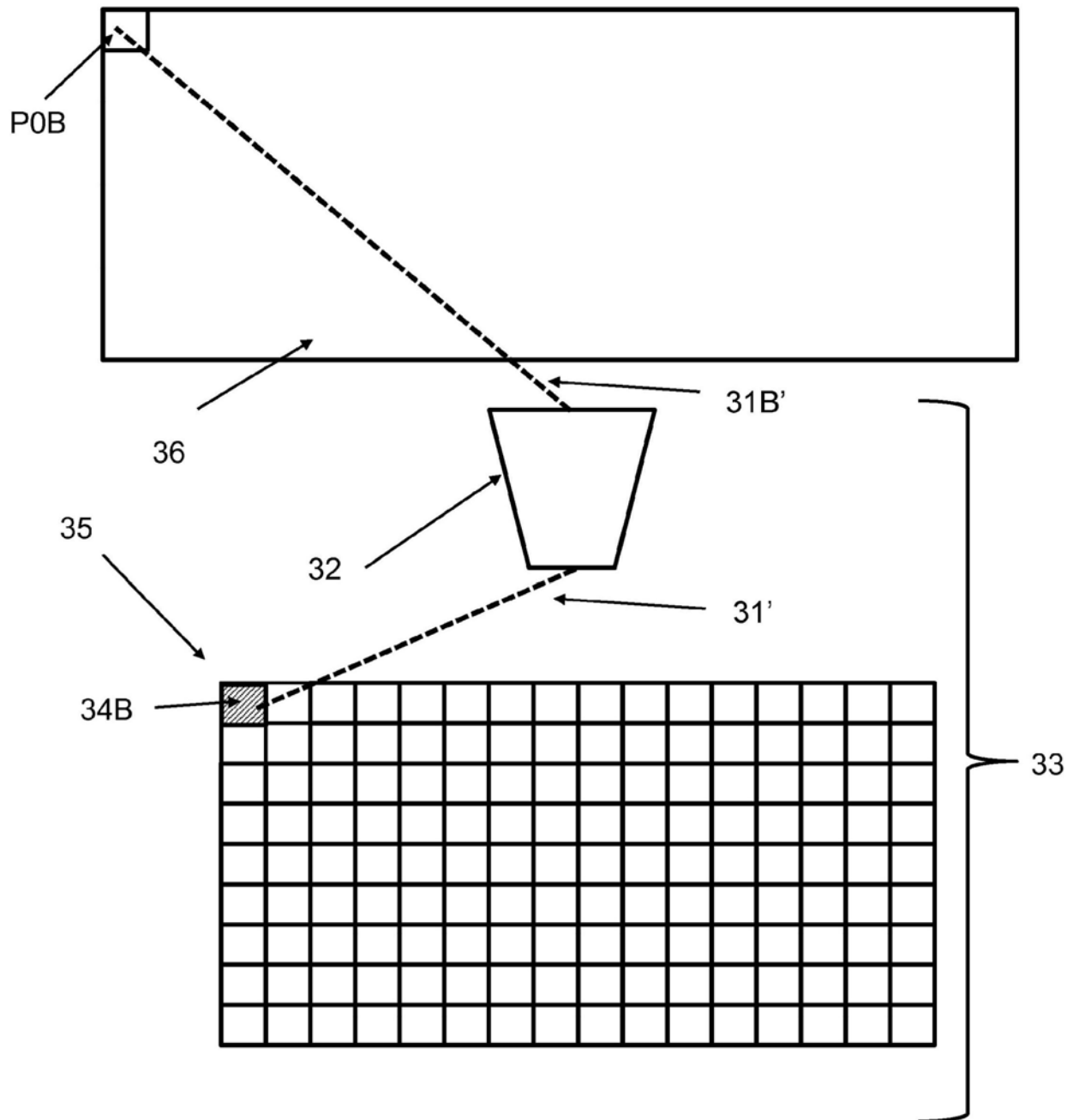


图3B

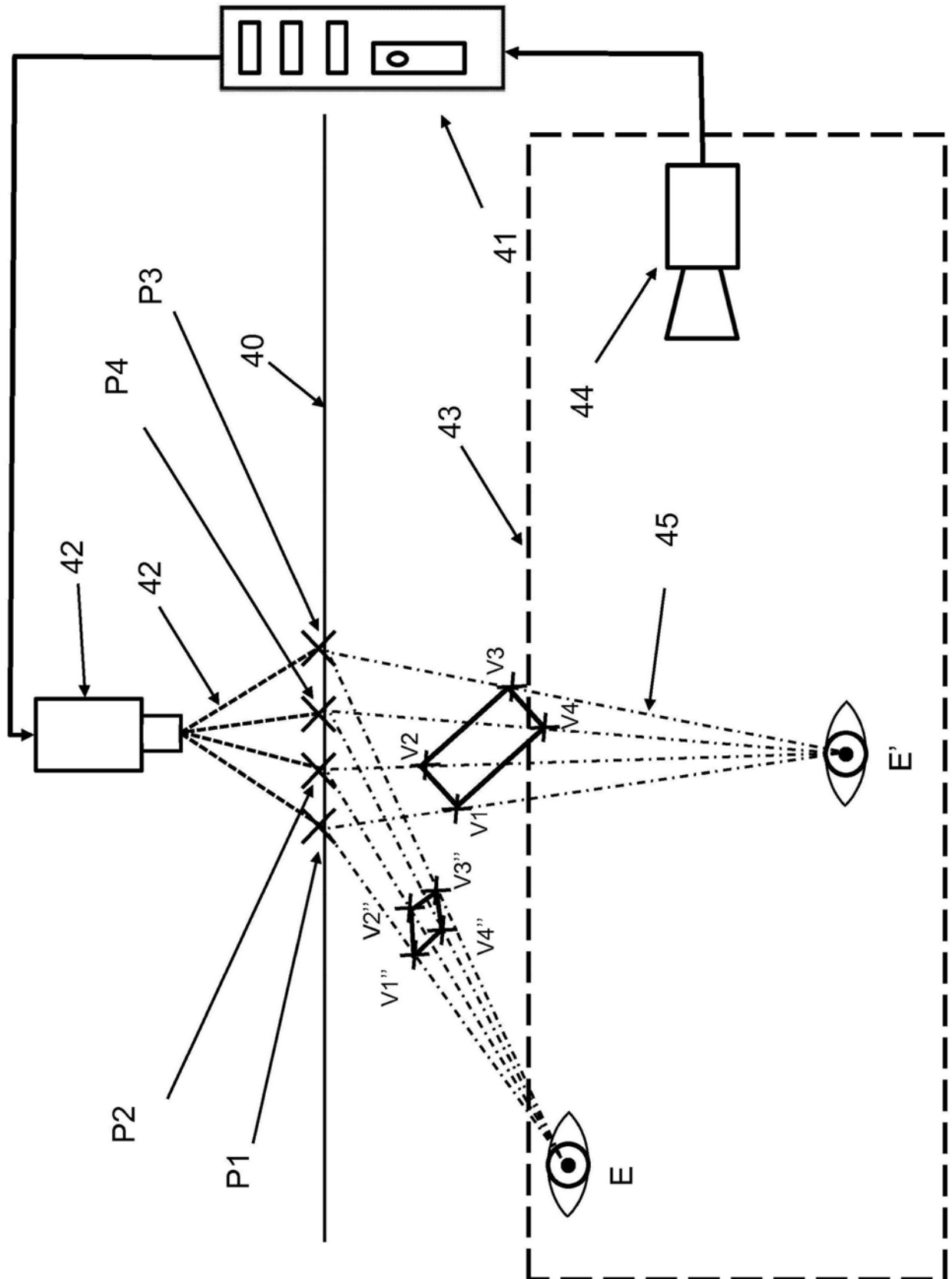


图4

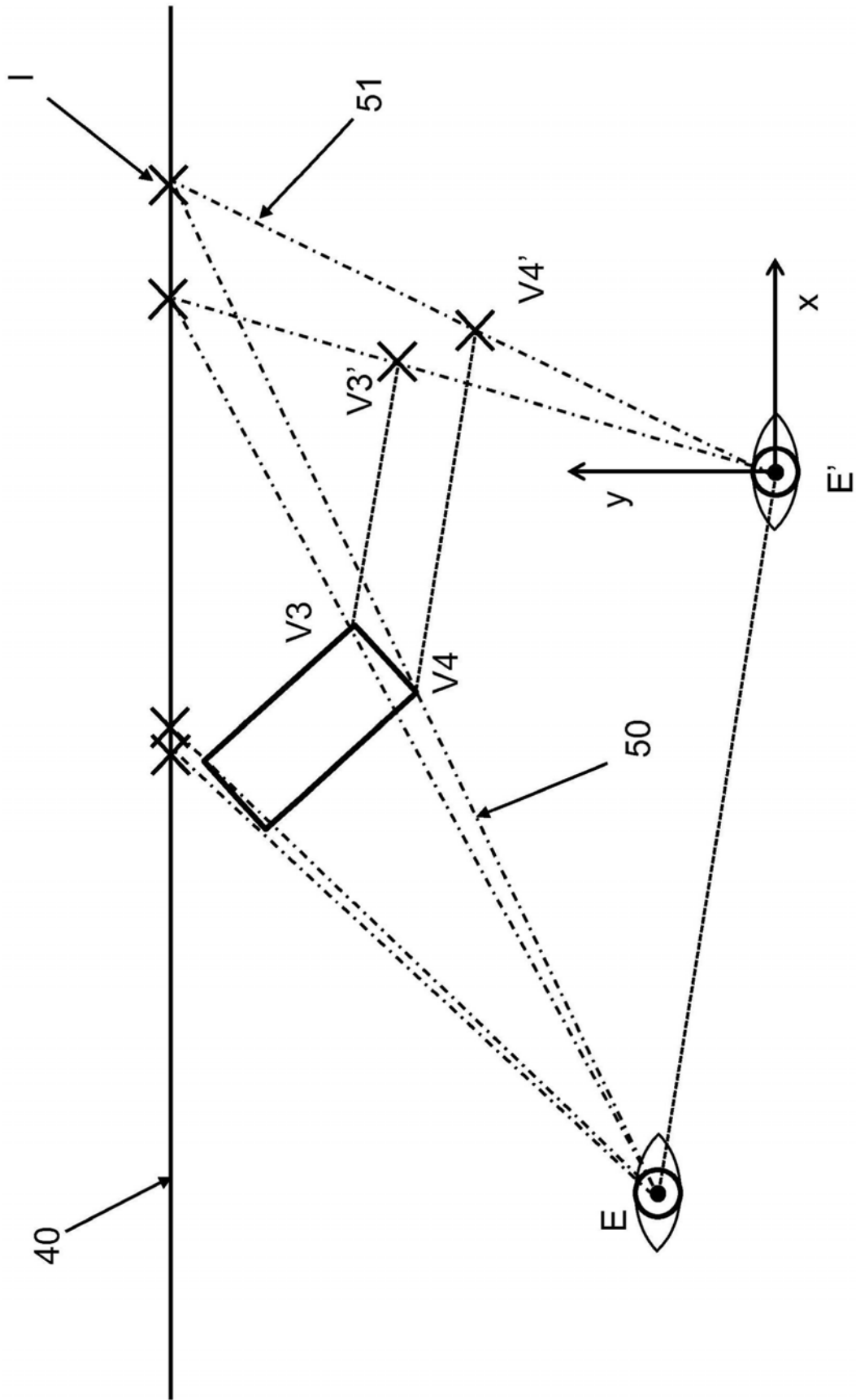


图5

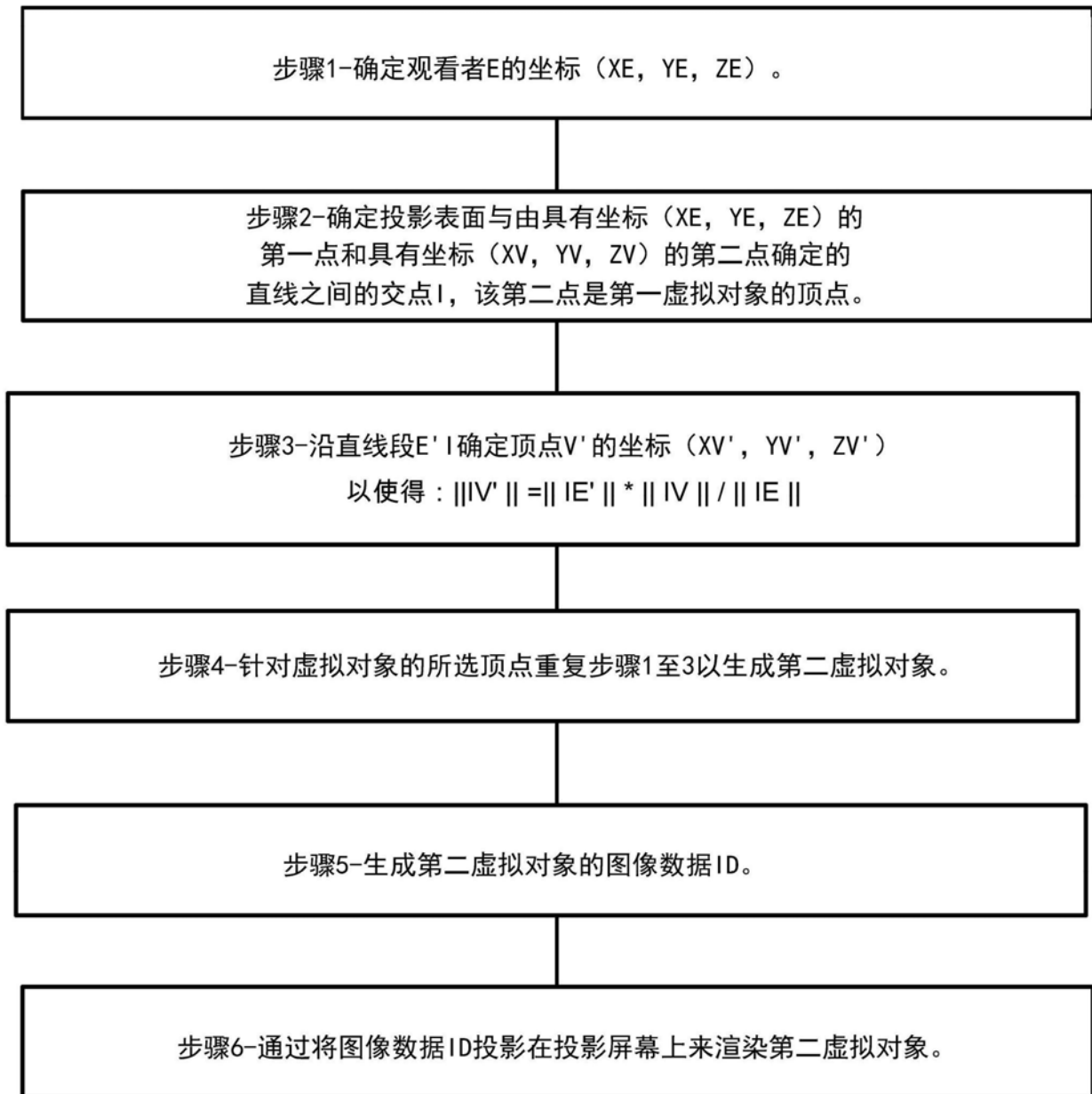


图6

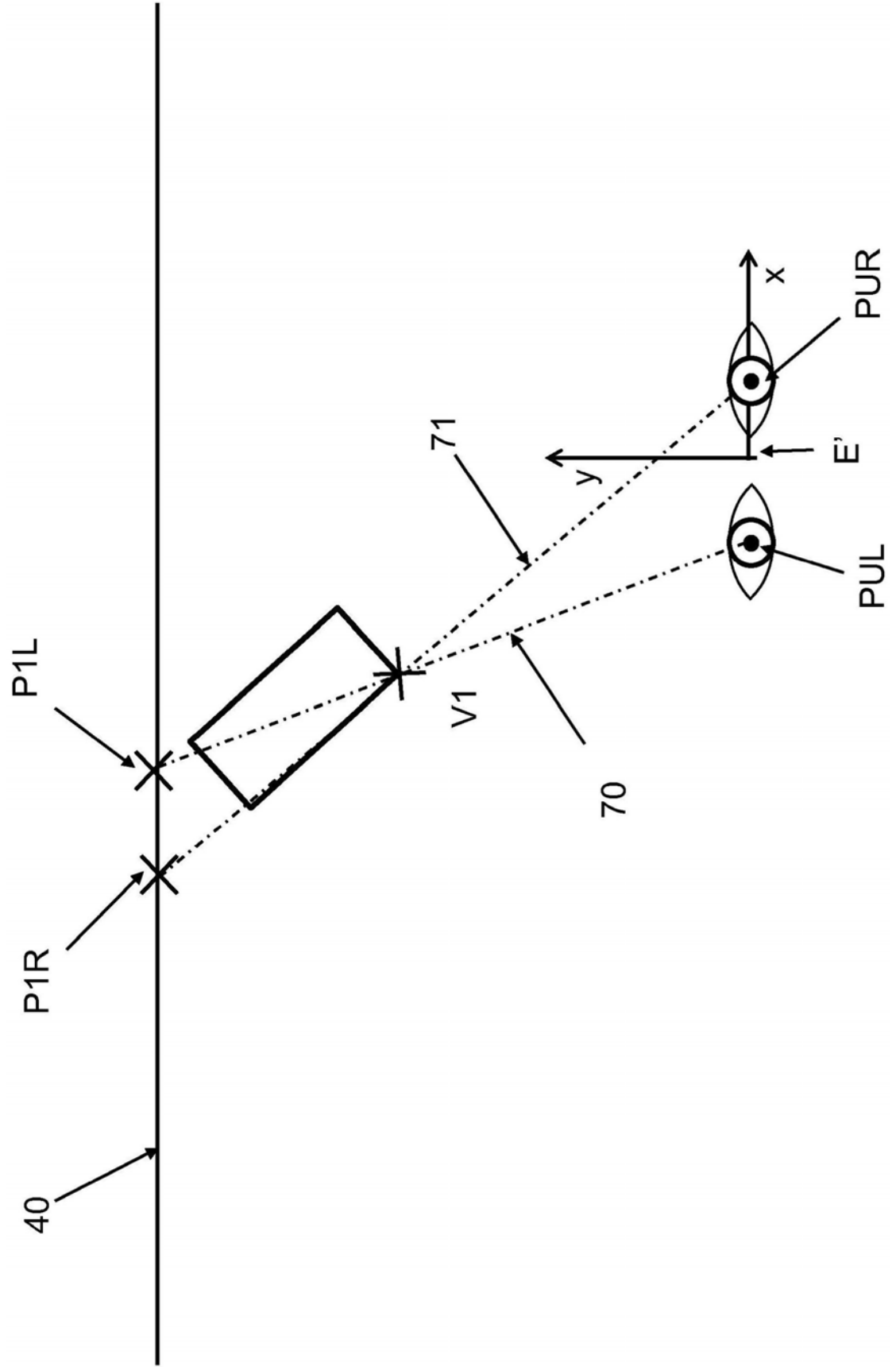


图7

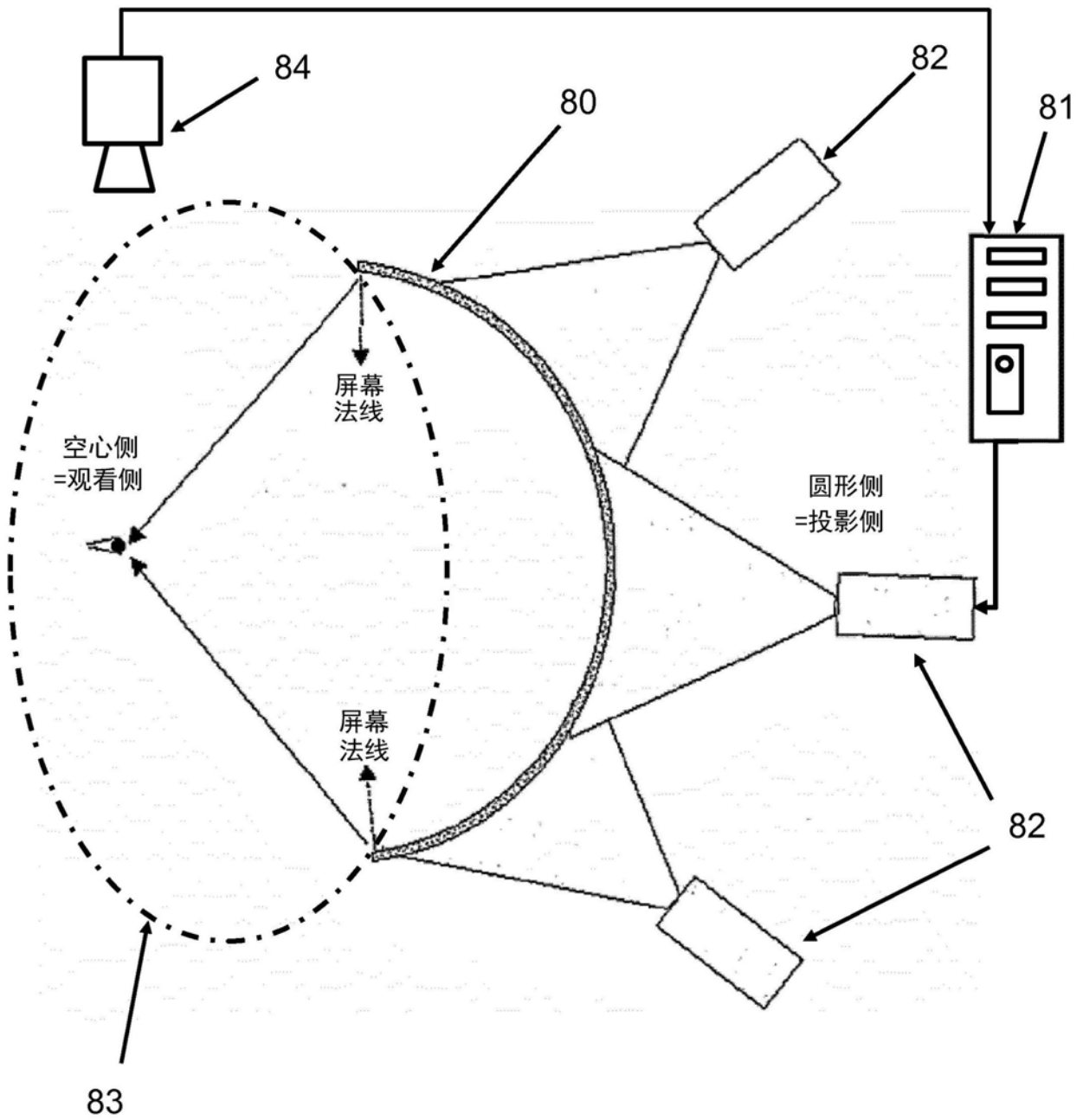


图8

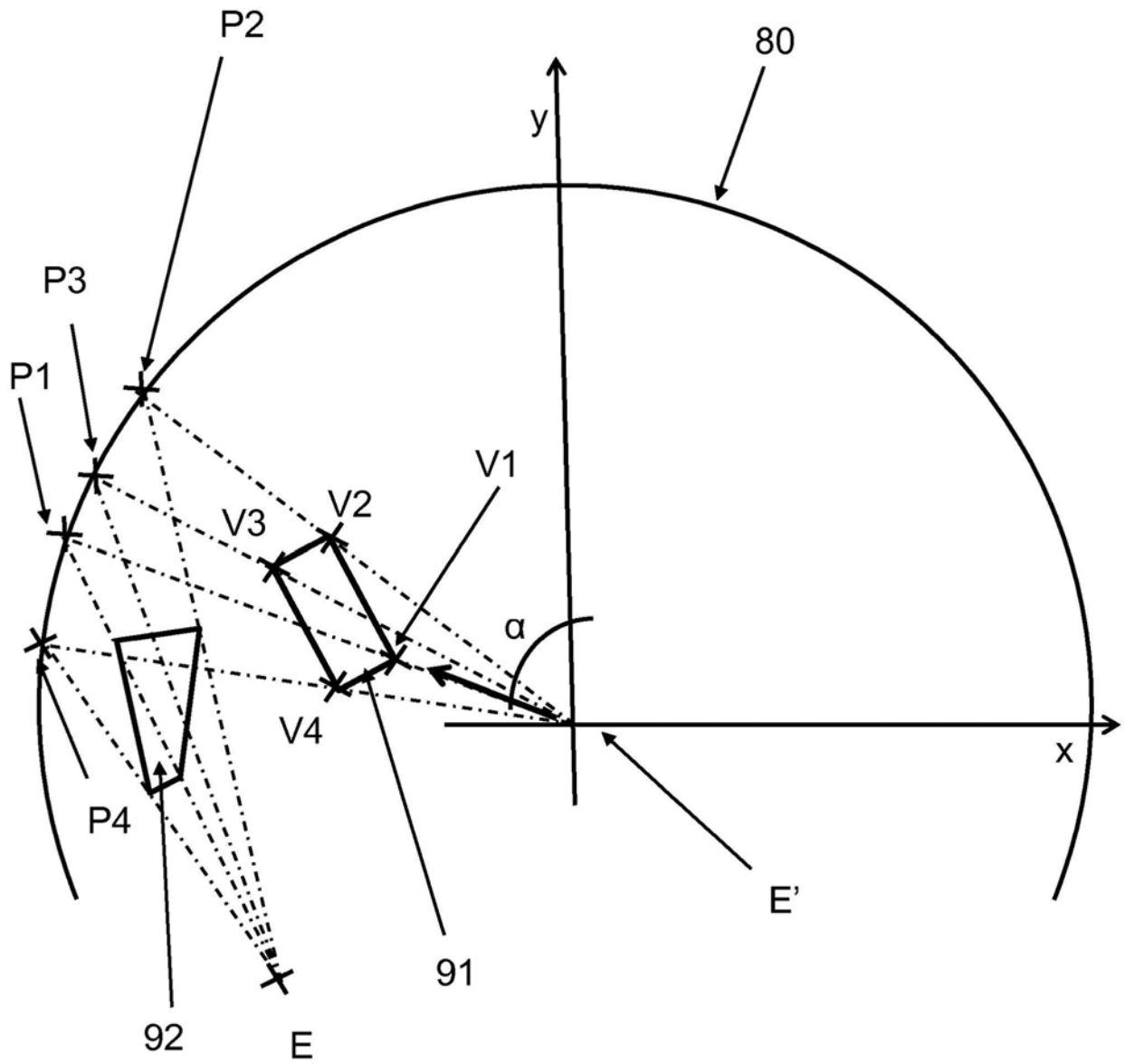


图9

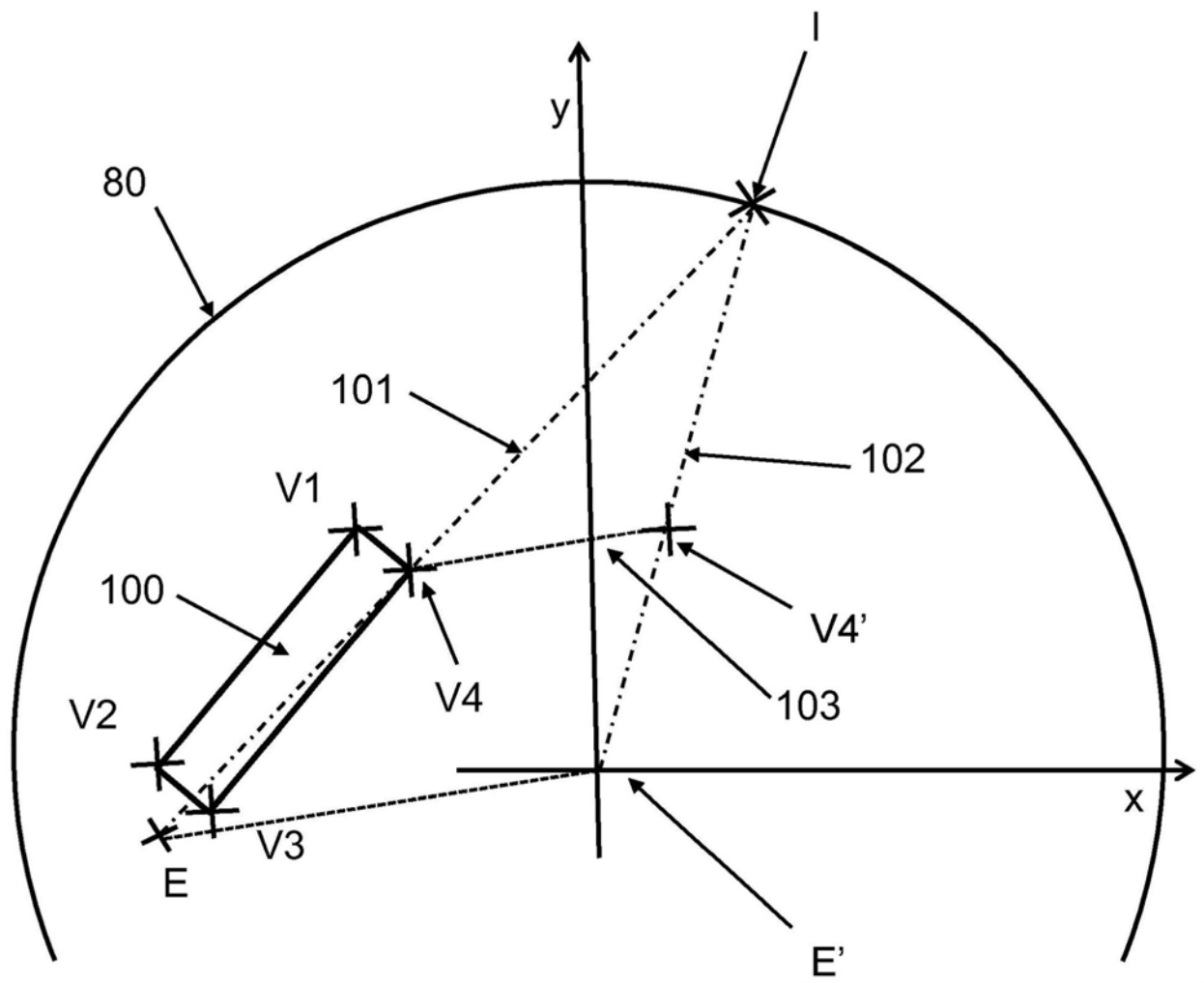


图10

#警告 升级说明: 移除unity_Scale 着色器变量; 用'1.0'替代'unity_Scale.w'

```
Shader "Custom/Deform2" {  
    Properties{  
        _MainTex("Texture", 2D) = "white" {}  
        _Color("Color", Color) = (1.0, 1.0, 1.0, 1.0)  
        _ro("Head", Vector) = (0.0,0.0,0.0,0.0)  
        _sc("Dome Center", Vector) = (0.0,0.0,0.0,0.0)  
        _r("Radius", float) = 0.0  
    }  
    SubShader{  
        Tags{ "Queue" = "Transparent" "IgnoreProjector" = "True"  
"RenderType" = "Transparent" }  
        Blend SrcAlpha OneMinusSrcAlpha  
  
        CGPROGRAM  
#pragma surface surf Lambert alpha vertex:vert  
        struct Input {  
            float2 uv_MainTex;  
        };  
        fixed4 _Color;  
        float4 _ro;  
        float4 _sc;  
        float _r;
```

```
void vert(inout appdata_full v) {  
  
    float3 rd = mul(unity_ObjectToWorld, v.vertex) - _ro;  
  
    //射线方程  
  
    //  $x = rd.x * t + ro.x$   
  
    //  $y = rd.y * t + ro.y$   
  
    //  $z = rd.z * t + ro.z$   
  
    //  $t > 0$   
  
    //球体方程  
  
    //  $(x - sc.x)^2 + (y - sc.y)^2 + (z - sc.z)^2 = r^2$   
  
    //代入+推导  
  
    //  $A * t^2 + B * t + C = 0$   
  
    //  $A = rd.x^2 + rd.y^2 + rd.z^2$   
  
    //  $B = 2 * (rd.x * (ro.x - sc.x) + rd.y * (ro.y - sc.y) + rd.z * (ro.z - sc.z))$   
  
    //  $C = (ro.x - sc.x)^2 + (ro.y - sc.y)^2 + (ro.z - sc.z)^2 - r^2$   
  
    float a = dot(rd, rd);  
  
    float b = 2.0f * dot(rd, _ro - _sc);  
  
    float c = dot(_ro - _sc, _ro - _sc) - _r * _r;  
  
    //消除射线来自圆顶之外的情形  
  
    if (c >= 0) return;  
  
    float delta = b * b - 4 * a * c;  
  
    if (delta <= 0) return;  
  
    float t = (-b + sqrt(delta)) / (2.0f * a); //另一解将是错误的, 因此跳过该解  
  
    float3 ip = _ro.xyz + rd * t;  
  
    float3 newVertex = _sc + (length(rd) / length(ip - _ro)) * (ip - _sc);  
  
    v.vertex = mul(unity_WorldToObject, float4(newVertex.x, newVertex.y, newVertex.z,  
1.0));  
  
}
```

```
sampler2D _MainTex;

void surf(Input IN, inout SurfaceOutput o) {

    o.Albedo = tex2D(_MainTex, IN.uv_MainTex).rgb * _Color;
o.Emission = tex2D(_MainTex, IN.uv_MainTex).rgb * _Color;

    o.Alpha = tex2D(_MainTex, IN.uv_MainTex).a * _Color.a;

}

ENDCG

}

    Fallback "Diffuse"

}
```

图11

