



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114114295 A

(43) 申请公布日 2022.03.01

(21) 申请号 202111403661.5

G01S 17/894 (2020.01)

(22) 申请日 2019.06.12

G01S 7/481 (2006.01)

(30) 优先权数据

62/685,333 2018.06.15 US

(62) 分案原申请数据

201980052559.X 2019.06.12

(71) 申请人 图达通爱尔兰有限公司

地址 美国加利福尼亚

(72) 发明人 张锐 李义民 鲍君威

J·费恩斯

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所

有限公司 11038

代理人 宋岩

(51) Int. Cl.

G01S 17/08 (2006.01)

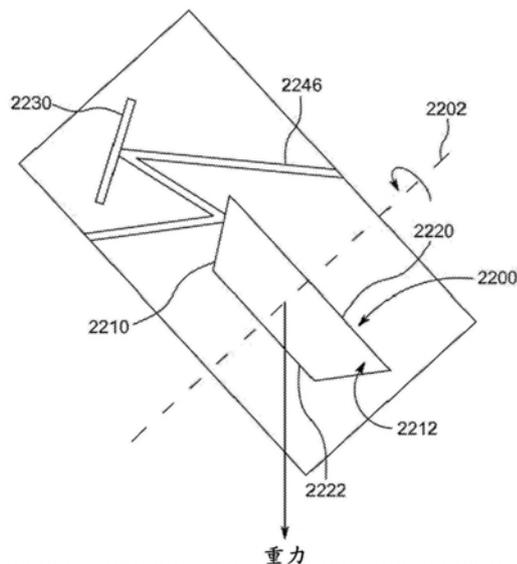
权利要求书2页 说明书17页 附图31页

(54) 发明名称

用于聚焦感兴趣的范围的LIDAR系统和方法

(57) 摘要

公开了用于聚焦感兴趣的范围的LIDAR系统和方法。本文讨论的实施例是指聚焦视场内的一个或多个感兴趣的区域的LiDAR系统。



1. 一种用于与车辆使用的光检测和测距LiDAR系统,包括:
光源,能够操作以传输光能;
多边形结构,控制LiDAR系统的视场的横向角度,其中多边形结构具有梯形截面;以及
可移动镜,被定位成重定向在光源和多边形结构之间通过的光能,所述可移动镜能够操作以控制LiDAR系统的垂直视场。
2. 如权利要求1所述的LiDAR系统,其中可移动镜是多平面镜。
3. 如权利要求2所述的LiDAR系统,其中多平面镜能够操作以绕轴来回振荡。
4. 如权利要求2所述的LiDAR系统,其中多平面镜包括第一平面构件和第二平面构件,其中第一平面构件和第二平面构件在过渡点处耦合在一起。
5. 如权利要求4所述的LiDAR系统,其中第一平面构件和第二平面构件被布置成使得它们相应的面彼此不平行。
6. 如权利要求2所述的LiDAR系统,其中与垂直视场的顶部和底部相比,多平面镜在垂直视场的中间部分产生相对较高的分辨率。
7. 如权利要求1所述的LiDAR系统,其中可移动镜是单平面镜。
8. 如权利要求7所述的LiDAR系统,其中与垂直视场的中间部分相比,单平面镜在垂直视场的顶部和底部处产生相对较高的分辨率。
9. 如权利要求1所述的LiDAR系统,还包括:
第一准直器,准直来自光源的光能;以及
光检测器;以及
第二准直器,将光聚焦到光检测器上。
10. 如权利要求1所述的LiDAR系统,其中光源是光纤光源。
11. 如权利要求1所述的LiDAR系统,其中光源是基于半导体的发射器光源。
12. 如权利要求1所述的LiDAR系统,其中多边形结构能够操作以在第一方向上以基本上恒定的速度绕旋转轴旋转。
13. 如权利要求12所述的LiDAR系统,其中旋转轴与多边形结构的对称轴重合。
14. 如权利要求12所述的LiDAR系统,其中多边形结构包括平行于或不平行于旋转轴的面。
15. 如权利要求12所述的LiDAR系统,其中多边形结构被遮掩。
16. 如权利要求12所述的LiDAR系统,其中多边形结构被修整。
17. 如权利要求12所述的LiDAR系统,其中多边形结构具有第一面、第二面、顶面和底面,其中第一面不平行于第二面,并且其中顶面平行于底面。
18. 如权利要求12所述的LiDAR系统,其中旋转轴与重力不一致。
19. 如权利要求1所述的LiDAR系统,其中可移动镜是镜检流计。
20. 如权利要求1所述的LiDAR系统,其中光源能够操作以传输光脉冲。
21. 如权利要求1所述的LiDAR系统,其中多边形结构和可移动镜位于不同的垂直高度处。
22. 如权利要求1-21中任一项所述的LiDAR系统,其中多边形结构的旋转轴与可移动镜的振荡轴基本上彼此垂直。
23. 一种光检测和测距LiDAR系统,包括:

光源,能够操作以传输光能;

多边形结构,控制LiDAR系统的视场的横向角度,其中多边形结构具有梯形截面,进一步地,其中多边形结构具有第一面和第二面,其中第一面不平行于第二面;以及

多平面镜,被定位成重定向在光源和多边形结构之间通过的光能,所述多平面镜能够操作以控制LiDAR系统的垂直视场。

24.如权利要求23所述的LiDAR系统,其中多边形结构还具有顶面与底面,其中顶面与底面平行。

25.如权利要求23所述的LiDAR系统,其中多平面镜能够操作以绕轴来回振荡。

26.如权利要求23所述的LiDAR系统,其中多平面镜包括第一平面构件和第二平面构件,其中第一平面构件和第二平面构件耦合在一起。

27.如权利要求23所述的LiDAR系统,其中多平面镜包括第一平面构件、第二平面构件和第三平面构件,其中第一平面构件、第二平面构件和第三平面构件耦合在一起。

28.如权利要求23所述的LiDAR系统,其中光源能够操作以传输光脉冲。

29.如权利要求23-28中任一项所述的LiDAR系统,其中多边形结构与多平面镜位于不同的垂直高度处。

用于聚焦感兴趣的范围的LiDAR系统和方法

[0001] 本申请是申请号为201980052559.X,申请日为2019年6月12日,题为“用于聚焦感兴趣的范围的LiDAR系统和方法”的中国发明专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请要求于2018年6月15日提交的美国临时申请No.62/685,333的优先权,该美国临时申请公开内容通过引用整体并入本文。

技术领域

[0004] 本公开通常涉及激光扫描,并且更具体地涉及使用激光扫描系统以聚焦视场内的一个或多个感兴趣的范围上。

背景技术

[0005] 存在使车辆能够被半自主或完全自主地驾驶的系统。此类系统可以使用一个或多个测距、测绘或对象检测系统来提供感官输入,以辅助半自主或完全自主的车辆控制。例如,光检测和测距(LiDAR)系统可以提供半自主或完全自主车辆所需的感官输入。LiDAR系统使用光脉冲来创建外部环境的图像或点云。一些典型的LiDAR系统包括光源、脉冲转向系统和光检测器。光源生成光脉冲,该光脉冲当从LiDAR系统传输时由脉冲转向系统在特定方向上指引。当传输的光脉冲被对象散射时,散射光中的一些作为返回脉冲被返回到LiDAR系统。光检测器检测返回脉冲。使用在光脉冲被传输之后检测到返回脉冲所花费的时间和光速,LiDAR系统可以确定沿着传输的光脉冲的路径到对象的距离。脉冲转向系统可以沿着不同的路径指引光脉冲,以允许LiDAR系统扫描周围环境并产生图像或点云。LiDAR系统还可以使用除了飞行时间和扫描以外的技术来测量周围环境。

发明内容

[0006] 本文所讨论的实施例涉及使用LiDAR系统和方法来聚焦视场内的一个或多个感兴趣的区域。与不感兴趣的区域相比,感兴趣的区域可以占据视场的特定部分,该特定部分要求附加的数据或扫描分辨率。本文讨论的LiDAR系统和方法能够调整每个视场扫描序列内的一个或多个因子,以在每个扫描期间增大来自一个或多个感兴趣的区域的数据收集。

[0007] 通过参考说明书的其余部分和附图,可以实现对本文讨论的实施例的性质和优点的进一步理解。

附图说明

[0008] 图1至图3图示使用脉冲信号以测量到外部环境中的点的距离的示例性LiDAR系统。

[0009] 图4描绘示例性LiDAR系统的逻辑框图。

[0010] 图5描绘示例性LiDAR系统的光源。

[0011] 图6描绘示例性LiDAR系统的光检测器。

- [0012] 图7描绘使用单个光源和检测器的信号转向系统的实施例。
- [0013] 图8描绘使用两个光源和两个检测器的信号转向系统的实施例。
- [0014] 图9描绘由图8的实施例生成的扫描图案的一部分。
- [0015] 图10描绘根据另一个实施例的扫描图案的一部分。
- [0016] 图11描绘根据又一个实施例的扫描图案的一部分。
- [0017] 图12示出根据实施例的LiDAR系统的例示性视场。
- [0018] 图13示出根据实施例的LiDAR系统的例示性框图。
- [0019] 图14示出根据实施例的例示性光纤尖端布置。
- [0020] 图15A和图15B示出可以被用于ROI和非ROI实施例的多个镜对准布置。
- [0021] 图15C示出可以被用于ROI和非ROI实施例的例示性多个准直器布置。
- [0022] 图15D示出根据实施例的例示性准直器和透镜布置。
- [0023] 图16示出根据实施例的使用多个光纤尖端、多个镜对准布置或多个准直器布置的例示性扫描分辨率。
- [0024] 图17A示出根据实施例的使用多个光纤尖端或多个镜对准布置的垂直分辨率的另一例示性图。
- [0025] 图17B示出根据各种实施例的图17A内的稀疏区域的例示性特写视图并且图17C示出根据各种实施例的图17A内的密集区域的例示性特写视图。
- [0026] 图18示出根据实施例的具有可变尺寸的激光脉冲的例示性FOV。
- [0027] 图19A至图19J示出根据各种实施例的例示性镜。
- [0028] 图20描绘与图8中所描绘的系统类似的替代系统。
- [0029] 图21描绘与图8中所描绘的系统类似的替代系统。
- [0030] 图22示出根据实施例的例示性多边形。
- [0031] 图23描绘根据实施例的使用图22的多边形的点图。
- [0032] 图24示出根据实施例的LiDAR系统的例示性框图。
- [0033] 图25A和图25B示出从对象捕获的数据点的不同的分辨率。
- [0034] 图26A示出根据实施例的相对于地面的垂直FOV中的例示性优化的角度分辨率。
- [0035] 图26B示出根据实施例的随FOV中的垂直角度而连续变化的角度垂直分辨率的例示性曲线图。
- [0036] 图27示出根据实施例的随FOV中的垂直角度而逐步变化的角度垂直分辨率的例示性曲线图。
- [0037] 图28至图30示出根据各种实施例的用于处理ROI的不同的例示性处理。

具体实施方式

[0038] 现在参考附图在下文中更全面地描述例示性实施例,其中示出了代表性示例。实际上,所公开的LiDAR系统和方法可以以许多不同的形式来体现,并且不应该被解释为限于本文所阐述的实施例。相同的标号在全文中是指相同的元件。

[0039] 在以下详细描述中,出于说明的目的,阐述了许多具体细节以提供各种实施例的透彻理解。本领域技术人员会认识到这些各种实施例仅仅是例示性的,并不旨在以任何方式进行限制。对于受益于本公开的这些技术人员,将容易地想到其它实施例。

[0040] 此外,为了清楚起见,未示出或描述本文描述的实施例的所有常规特征。本领域技术人员会容易理解,在任何这样的实际实施例的开发中,可能需要许多特定于实施例的决定来实现特定的设计目标。这些设计目标会从一个实施例到另一个实施例以及从一个开发者到另一个开发者而不同。此外,将理解的是,这样的开发工作可能是复杂且耗时的,然而对于受益于本公开的本领域技术人员而言这会是常规工程任务。

[0041] 一些光检测和测距(LiDAR)系统使用单个光源来产生扫描周围环境的单个波长的一个或多个光信号。使用转向系统来扫描信号,该转向系统在一个或两个维度上指引脉冲以覆盖视场或周围环境的区域(扫描区域)。当这些系统使用机械部件以指引脉冲时,因为要求更多的移动零件,所以系统复杂性增加。

[0042] 例如,本技术的一些实施例使用产生不同波长和/或沿着不同光路的光信号的一个或多个光源。这些光源以不同角度将信号提供给信号转向系统,使得用于光信号的扫描区域不同(例如,如果两个光源被用于创建两个光信号,那么与每个光源相关联的扫描区域不同)。这允许将信号调谐到适当的传输功率,并具有覆盖不同距离的扫描的重叠扫描区域的可能性。(例如,当使用脉冲光信号时)可以用具有较高功率和/或较低重复率的信号来扫描较长的距离。(例如,当使用脉冲光信号时)可以用具有较低功率和/或高重复率的信号来扫描较短的距离以增大点密度。

[0043] 作为另一个示例,本技术的一些实施例使用具有一个或多个色散(dispersion)元件(例如,光栅、光梳、棱镜等)的信号转向系统,以基于脉冲的波长来指引脉冲信号。色散元件可以对脉冲的光路进行精细调整,这对于机械系统可能是困难的或是不可能的。此外,使用一个或多个色散元件允许信号转向系统使用很少的机械组件来实现期望的扫描能力。这导致较简单、较高效(例如,较低功率)的设计,(由于很少的移动组件)该设计可能较可靠。

[0044] 一些LiDAR系统使用光信号(例如,光脉冲)的飞行时间来确定到光路中的对象的距离。例如,相对于图1,示例性LiDAR系统100包括激光光源(例如,光纤激光器)、转向系统(例如,一个或多个移动镜的系统)以及光检测器(例如,具有一个或多个光学器件的光子检测器)。LiDAR系统100沿着由LiDAR系统100的转向系统确定的路径104传输光脉冲102。在所描绘的示例中,由激光光源生成的光脉冲102是激光的短脉冲。另外,LiDAR系统100的信号转向系统是脉冲信号转向系统。但是,应当认识到的是,LiDAR系统可以通过生成、传输和检测非脉冲的光信号来进行操作,可以被用于使用除飞行时间以外的技术来得出到周围环境中的对象的范围。例如,一些LiDAR系统使用调频连续波(即,“FMCW”)。还应当认识到的是,本文关于使用脉冲的基于飞行时间的系统描述的任何技术也可以应用于不使用这些技术中的一种或两种的LiDAR系统。

[0045] 再次参考图1(使用光脉冲的飞行时间LiDAR系统),当光脉冲102到达对象106时,光脉冲102散射并且返回的光脉冲108将沿着路径110反射回到系统100。可以(例如,通过LiDAR系统内的处理器或其它电子设备)测量从传输的光脉冲102离开LiDAR系统100到返回的光脉冲108到达LiDAR系统100的时间。这个飞行时间与光速的知识相结合可以被用于确定从LiDAR系统100到对象106上的光脉冲102散射的点的范围/距离。

[0046] 如图2中所描绘的,通过指引许多光脉冲,LiDAR系统100(例如,通过分别沿着路径104、204、208、212指引光脉冲102、202、206、210)扫描外部环境。如图3中所描绘的,在对象106和214分别散射所传输的光脉冲并沿着路径110、304、308将脉冲反射回来之后,LiDAR系

统100接收返回的光脉冲108、302、306(分别与所传输的光脉冲102、202、210对应)。基于(由LiDAR系统100确定的)所传输的光脉冲的方向以及从LiDAR系统100到对象上的散射光脉冲的点(例如,对象106和214上的点)的计算出的范围,可以精确地绘制(例如,可以创建点云或图像)检测范围内(例如,包括路径104和212之间的视场)的周围环境。

[0047] 如果对于特定的所传输的光脉冲没有接收到对应的光脉冲,那么可以确定在LiDAR系统100的特定范围内(例如,LiDAR系统100的最大扫描距离)没有可以针对LiDAR光脉冲散射足够量的信号的对象。例如,在图2中,因为光脉冲206没有在预定的检测范围内沿着它的传输路径208产生散射事件,所以(如图3中所描绘的)光脉冲206将不具有对应的返回的光脉冲。LiDAR系统100(或与LiDAR系统100通信的外部系统)可以将此解释为在LiDAR系统100的检测范围内没有沿着路径208的对象。

[0048] 在图2中,可以以任何次序、串行、并行或基于相对于彼此的其它定时来传输所传输的光脉冲102、202、206、210。此外,虽然图2描绘了所传输的光脉冲的一维阵列,但是LiDAR系统100还可选地沿着其它平面指引所传输的光脉冲的类似阵列,使得传输光脉冲的二维阵列。这个二维阵列可以逐点、逐行、一次全部或以某种其它方式被传输。来自一维阵列(例如,单个水平线)的点云或图像将产生二维信息(例如,(1)水平传输方向和(2)到对象的范围)。来自二维阵列的点云或图像将具有3维信息(例如,(1)水平传输方向、(2)垂直传输方向和(3)到对象的范围)。

[0049] 来自LiDAR系统100的点云或图像中的点的密度等于脉冲的数量除以视场。假设视场是固定的,为了增大由一组传输-接收光学器件所生成的点的密度,LiDAR系统应当更频繁地激发脉冲,换句话说,需要具有较高重复率的光源。但是,通过较频繁地发送脉冲,LiDAR系统可以检测到的最远距离可能被更多地限制。例如,如果在系统传输下一个脉冲之后接收到来自远处对象的返回的信号,那么如果系统无法正确地将返回的信号与传输的信号相关联,那么可能以与传输对应信号的次序不同的次序检测到返回的信号并且混合在一起。为了例示,考虑可以以500kHz到1MHz之间的重复频率传输激光脉冲的示例性LiDAR系统。基于脉冲返回到LiDAR系统所花费的时间,并且为避免常规LiDAR设计中返回的脉冲与连续脉冲混合在一起,LiDAR系统可以检测到的最远距离对于500kHz和1MHz可以分别是300米和150米。具有500kHz重复率的LiDAR系统的点的密度是1MHz时的一半。因此,这个示例证实,如果系统无法正确地将乱序到达的返回的信号相关联,那么重复率从500kHz增大到1MHz(并且因此提高系统的点的密度)将显著地减小系统的检测范围。

[0050] 图4描绘了LiDAR系统100的逻辑框图,该LiDAR系统100包括光源402、信号转向系统404、脉冲检测器406和控制器408。这些组件使用通信路径410、412、414、416和418耦合在一起。这些通信路径表示各种LiDAR系统组件之间的通信(双向或单向),但不一定是物理组件本身。虽然通信路径可以通过一个或多个电线、总线或光纤来实现,但通信路径也可以是无无线信道或露天光路,使得不存在物理通信介质。例如,在一个示例性LiDAR系统中,通信路径410是一个或多个光纤,通信路径412表示光路,并且通信路径414、416、418和420都是携带电信号的一个或多个电线。通信路径还可以包括超过一种的以上类型的通信介质(例如,它们可以包括光纤和光路,或者一个或多个光纤和一个或多个电线)。

[0051] LiDAR系统100还可以包括图4中未描绘的其它组件,诸如电源总线、电源、LED指示器、开关等。此外,可以存在组件之间的其它连接,诸如光源402和光检测器406之间的直接

连接,使得光检测器406可以精确地测量从光源402传输光脉冲直到光检测器406检测到返回的光脉冲的时间。

[0052] 图5描绘了基于光纤激光器的光源402的一个示例的逻辑框图,但是具有变化体系架构的任何数量的光源都可以被用作LiDAR系统的一部分。光源402使用种子(seed) 502来生成一个或多个波长(例如,1550nm)的初始光脉冲,该初始光脉冲经由光纤503被提供到波分复用器(WDM) 504。泵506还经由光纤505向WDM 504提供(诸如980nm之类的不同波长的)激光功率。WDM 504的输出被提供到前置放大器508(其包括一个或多个放大器),该前置放大器508经由光纤509将它的输出提供到组合器510。组合器510还经由光纤511从泵512获得激光功率并且经由光纤513将脉冲提供到升压放大器514,该升压放大器514在光纤410上产生输出光脉冲。输出的光脉冲然后被馈送到转向系统404。在一些变化中,光源402可以基于在源中使用的光纤的光纤增益曲线来产生不同振幅的脉冲。通信路径416将光源402耦合到控制器408(图4),使得光源402的组件可以由控制器408控制或与控制器408通信。可替代地,光源402可以包括它自己的控制器。替代控制器408与光源402的组件直接地通信,专用光源控制器与控制器408通信并且控制光源402的组件和/或与光源402的组件通信。光源402还包括未示出的其它组件,诸如一个或多个电源连接器、电源和/或电源线。

[0053] 一些其它光源包括被配置为生成一个或多个不同波长的光信号的一个或多个激光二极管、短腔光纤激光器、固态激光器和/或可调谐的外腔二极管激光器。在一些示例中,光源使用放大器(例如,前置放大器或升压放大器)包括被配置为接收和放大光信号的掺杂的光纤放大器、固态块体放大器和/或半导体光学放大器。

[0054] 返回图4,信号转向系统404包括用于使由光源402生成的光信号转向的任何数量的组件。在一些示例中,信号转向系统404可以包括一个或多个光学重定向元件(例如,镜或透镜),该一个或多个光学重定向元件(例如,通过旋转、振动或指引)沿着传输路径使光脉冲转向以扫描外部环境。例如,这些光学重定向元件可以包括MEMS镜、旋转多面体镜或固定镜,以将传输的脉冲信号转向到不同的方向。信号转向系统404可选地还包括诸如色散光学器件(例如,漫射透镜、棱镜或光栅)之类的其它光学组件,以进一步扩展所传输的信号覆盖范围,以便增大LiDAR系统100的传输区域(即,视场)。示例信号转向系统在题为“2D Scanning High Precision LiDAR Using Combination of Rotating Concave Mirror and Beam Steering Devices”的美国专利申请公开No.2018/0188355中被描述,其内容通过引用整体并入本文用于所有目的。在一些示例中,信号转向系统404不包含任何有源光学组件(例如,它不包含任何放大器)。在一些其它示例中,来自光源402的一个或多个组件(诸如升压放大器)可以被包括在信号转向系统404中。在一些情况下,信号转向系统404可以被认为是LiDAR前端或LiDAR扫描仪。

[0055] 信号转向系统的一些实施方式包括一个或多个光学重定向元件(例如,镜或透镜),该光学重定向元件(例如,通过旋转、振动或指引)沿着接收路径使返回的光信号转向以将返回的光信号指引到光检测器。沿着传输和接收路径指引光信号的光学重定向元件可以是相同的组件(例如,共用的)、分开的组件(例如,专用的)和/或共用和分开的组件的组合。这意味着在一些情况下,虽然传输和接收路径可能部分地重叠(或在一些情况下,基本上重叠),但是它们是不同的。

[0056] 图6描绘了LiDAR系统100的光检测器404(图4)中组件的一种可能布置的逻辑框

图。光检测器404包括光学器件604(例如,一个或多个光学透镜的系统)和检测器602(例如,电荷耦合器件(CCD)、光电二极管、雪崩光电二极管、光电倍增管真空管、图像传感器等),该光检测器404经由通信路径418连接到控制器408(图4)。光学器件604可以包括一个或多个光电透镜,以接收、聚焦和指引返回的信号。光检测器404可以包括滤波器以选择性地使特定波长的光通过。光检测器404还可以包括定时电路,该定时电路测量从传输脉冲到检测到对应的返回脉冲的时间。然后这个数据可以经由通信线路418被传输到控制器408(图4)或其它设备。光检测器404还可以接收关于光源402何时经由通信线路418或其它未示出的通信线路(例如,来自光源402的对所传输的光脉冲进行采样的光纤)传输光脉冲的信息。可替代地,光检测器404可以经由通信线路418提供指示何时检测到返回的光脉冲的信号。也可以传送诸如功率、脉冲形状和/或波长之类的其它脉冲数据。

[0057] 返回到图4,控制器408包含用于控制LiDAR系统100以及与使用该系统的外部设备进行通信的组件。例如,控制器408可选地包括一个或多个处理器、存储器、通信接口、传感器、存储设备、时钟、ASIC、FPGA,和/或控制光源402、信号转向系统404和/或光检测器406的其它设备。在一些示例中,控制器408控制由光源402生成的光信号的功率、速率、定时和/或其它性质;控制光转向系统404的速度、传输方向和/或其它参数;和/或控制光检测器406的灵敏度和/或其它参数。

[0058] 控制器408可选地还被配置为处理从这些组件接收的数据。在一些示例中,控制器确定从传输光脉冲直到接收到对应的返回的光脉冲所花费的时间;确定对于传输的光脉冲何时没有接收到返回的光脉冲;确定所传输/返回的光脉冲的传输方向(例如,水平和/或垂直信息);确定特定方向上的估计范围;和/或确定与LiDAR系统100相关的任何其它类型的数据。

[0059] 图7描绘了根据本技术的一些实施例的信号转向系统(例如,图4的信号转向系统404)的实施例。多边形702具有十个反射侧面(在图7中可见侧面702A-702E),但是可以具有任何数量的反射侧面。例如,多边形702的其它示例具有6、8或20个侧面。多边形702基于驱动马达(未示出)绕轴703旋转,以沿着与旋转轴703垂直或成非零角度的方向扫描(例如,经由输出706,该输出706连接到诸如上述的光源402之类的光源)从光源输送的信号。

[0060] 镜检流计704被定位在多边形702的旁边,使得从光源输出706(例如,光纤尖端)发射的一个或多个信号从镜检流计704反射并反射到旋转的多边形702上。镜检流计704倾斜以便将来自输出706的一个或多个信号扫描到与多边形702扫描信号的方向不同的方向上(例如,边缘704A和704B绕轴朝向和远离多边形702倾斜,以便沿着与多边形702的旋转轴平行或成一定角度的路径扫描脉冲)。在一些示例中,多边形702负责在LiDAR系统的水平方向上扫描一个或多个信号,并且镜检流计704负责在垂直方向上扫描一个或多个信号。在一些其它示例中,多边形702和镜检流计704以相反的方式配置。虽然图7中的示例使用镜检流计,但可以使用其它组件来代替它。例如,可以使用(具有不同的波长脉冲)光栅或一个或多个旋转镜。黑色实线表示通过信号转向系统的一个示例信号路径。

[0061] 从(由虚线指示的)区域708内的信号散射(例如,当光击中对象时)返回的光返回到旋转多边形702、反射回到镜检流计704,并由透镜710聚焦到检测器712上。虽然透镜710被描绘为单个透镜,但是在一些变化中,它是一个或多个光学器件的系统。

[0062] 除了添加第二光源之外,图8描绘了与图7中描绘的类似的系统,该第二光源从输

出714提供一个或多个信号。用于输出714的光源可以与用于输出706的光源相同或不同,并且由输出714传输的光可以具有与由输出706传输的光相同或不同的波长。使用多个光输出可以增大点图的点密度,而不会牺牲系统的最大明确检测范围。例如,光输出714可以被定位成以与输出706不同的角度传输光。因为角度不同,从光源706传输的光被指引到与从输出714传输的光不同的区域。点线示出了从输出714发射的脉冲的一个示例脉冲路径。因此,位于区域内两个不同区域的一个或多个对象可以散射光并将光返回到LiDAR系统。例如,区域716(虚线/双点划线)指示来自散射信号的返回信号从其返回到LiDAR系统的区域。返回的光被多边形702和镜检流计704反射,并由透镜710聚焦在检测器712和718上。检测器712和718可以各自被配置为接收来自输出706和714中的一个的返回的光,并且可以通过精确地控制检测器712和718的位置以及传输的光的(一个或多个)波长来实现这种配置。注意的是,相同的透镜(或光学系统)可以被用于检测器712和718两者。输出706和714之间的偏移意味着返回到LiDAR系统的光将具有类似的偏移。通过基于检测器712和718的相应光源输出的相对定位(例如,输出706和714的相应位置)来适当地定位检测器712和718,并且可选地,通过适当地控制所传输的光的(一个或多个)波长,返回的光将被适当地聚焦在正确的检测器上,并且每个接收到的光可以是点图中的点。因此,与仅具有一个输出706的系统相比,具有两个输出的系统可以维持相同的脉冲重复率并产生两倍的点数或者将脉冲重复率减小一半并仍产生相同的点数。作为非限制性示例,具有两个光输出的系统可以将脉冲重复频率从1MHz减小到500KHz,从而将其最大明确检测范围从150米增大到300米,而不会牺牲所得点图的点密度。设想并公开了200和2MHz之间的脉冲重复率。

[0063] 图9描绘了来自第一设计的点图。这个设计具有以出射光束垂直地具有8度的角度方式放置的两个通道(例如,两个光源输出和两个光检测器)。扫描的图案具有垂直重叠。扫描的范围为水平 ± 56 度,并且垂直 $+12$ 度 ~ -20 度。

[0064] 图10描绘了来自第二设计的点图。这个设计具有以出射光束具有6度的角度方式放置的两个通道(例如,两个光源输出和两个光检测器)。扫描的图案具有水平重叠(± 45 度)。扫描的范围为水平 ± 67 度,并且垂直 $+12$ 度 ~ -20 度。

[0065] 两个通道的出射光束不必以特定角度(例如,图10中的6度)分开以获得较大的水平范围。现有光束的水平位移可以被用于扩展水平范围。例如,两个出射光束可以指向相同的角度,但在同一平面内彼此相对偏移。由于这些不同的位置,每个通道被多边形的不同部分反射,因此覆盖不同的水平范围。通过组合两个通道,增大了总的水平范围。

[0066] 图11描绘了来自第三设计的点图。这个设计具有三个通道(例如,三个光源输出和三个光检测器)以增大点密度。通过使用3个光纤尖端和3个检测器可以获得每秒大约2.88百万点。对于两个方向,分辨率可以被进一步减小到0.07度。多边形的速度可以被减小到6000rpm。

[0067] 图12示出了根据实施例的LiDAR系统的例示性视场(FOV)1200。如图所示,FOV 1200是由X维度和Y维度界定的二维空间。虽然LiDAR系统可以从整个FOV 1200收集数据点,但是某些感兴趣的区域(ROI)可能比FOV 1200内的其它区域(例如,诸如占据FOV 1200内不是ROI的所有空间的不期望区域)具有较高的优先级。图12示出了五个不同的例示性ROI 1210-1214,以图示FOV 1200内要求比FOV 1200内的其它区域更多的数据点的不同区域。例如,ROI 1210跨FOV 1200的x轴占据固定y轴高度的整个带。ROI 1211和1212示出了低于ROI

1210的局部化的ROI,并且ROI 1213和1214示出了高于ROI 1210的局部化的ROI。应当理解的是,可以存在任何数量的ROI,并且ROI可以占据FOV 1200的任何部分。本文讨论的实施例使得能够以不中断LiDAR系统的操作的方式在ROI中收集附加数据点。即,LiDAR扫描系统可以在每个扫描周期扫描整个FOV 1200,同时控制一个或多个参数以从ROI 1211-1214获得附加数据点(或增大分辨率)。

[0068] 图13示出了根据实施例的LiDAR系统1300的例示性框图。LiDAR系统1300可以包括激光子系统1310、接收器系统1320、激光控制器1330、感兴趣区域控制器1340、多边形结构1350、多边形控制器1355、镜1360和镜控制器1365。LiDAR系统1300可以被包含在一个或多个壳体内。在多个壳体实施例中,壳体中的至少一个可以是温度受控的环境,其中LiDAR系统1300的选择部(例如,激光控制器1330、激光源1312、控制器1340)被包含在其中。

[0069] 激光子系统1310可以被操作以将光能引向镜1360,该镜1360将光能重定向到多边形结构1350。镜1360还可操作以将从多边形结构1350接收到的光能重定向到接收器系统220。镜1360可以在镜控制器1365的控制下被移动,该镜控制器1365可以控制镜移动的速度和方向。随着镜1360移动,它使得由激光子系统1310传输的光与多边形结构1350的不同部分接合。多边形结构1350在多边形控制器1355的控制下移动,并且可操作以根据LiDAR系统1300的视场参数指引从镜1360接收到的光能。即,如果LiDAR系统1300具有范围为 z 、横向角度为 x 和垂直角度为 y 的视场,那么范围 z 可以由激光源1312的功率控制,垂直角度 y 可以由镜1360的移动控制,并且横向角度 x 可以由多边形结构1350控制。应当认识到的是,在替代方案中,垂直角度可以由多边形结构1350控制并且横向角度可以由镜1360控制。从视场中的对象反射回来并返回到多边形结构1350的光能被指引回到镜1360,镜1360将光能重定向回到接收器系统1320。

[0070] 如本文所定义的,帧速率可以是指扫描系统1302完成FOV的一次完整扫描所花费的时间。对于每个帧,扫描系统1302可以从由FOV限定的多个行(或列)中的每个行(或列)获得数据点。每行可以与FOV的垂直范围内的垂直角度对应。垂直角度可以由镜1360控制。随着镜1360移动,垂直角度改变,从而使扫描系统1302能够从FOV内的多个行获得数据点。垂直角度分辨率是指数据点的相邻行之间的间距。垂直角度分辨率的增大与相邻行之间的较密集的间距对应,并且可以通过减小相邻的垂直角度之间的垂直角度的增量来实现这种增大。可以通过减慢镜1360的移动来减小相邻的垂直角度之间的增量。即,随着镜移动速度减慢,垂直角度增量的变化减小。垂直角度分辨率的减小与相邻行之间的较稀疏的间距对应,并且可以通过增大垂直角度增量来实现这种减小。可以通过加快镜1360的移动来增大相邻的垂直角度之间的增量。即,随着镜移动加快,垂直角度增量的变化增大。

[0071] 在任何行内获得的多个数据点可以取决于FOV的水平范围内的水平角度。水平范围可以由多边形1350控制,并且水平角度分辨率可以由连续的激光脉冲的时间间隔来控制。该时间间隔有时与重复率相关。较小的时间间隔可以导致增大的水平角度分辨率,并且较大的时间间隔可以导致减小的水平角度分辨率。

[0072] 上面提及的垂直和水平角度以及垂直和水平角度分辨率是参考其中镜1360控制垂直角度的系统进行的。应当理解的是,镜1360可以被重新用于控制水平角度并且在不同于图13所示的系统中使用。

[0073] 激光子系统1310可以包括激光源1312和光纤尖端1314-1316。如光纤尖端1316的

“n”标记所指示的,可以使用任何数量的光纤尖端。如所示的,光纤尖端1314-1316中的每个可以与激光源1312相关联。激光源1312可以是光纤激光器或二极管激光器。光纤尖端1314-1316可以在固定朝向上被对准,使得离开每个尖端的光在特定位置处照射镜1360。实际朝向可以取决于几个因素,例如包括帧速率、镜移动和速度、多边形速度、ROI、重复率等。下面更详细地讨论光纤尖端及其在ROI中获得附加数据点的特性的附加讨论。

[0074] 接收器系统1320可以包括各种组件,诸如光学器件、检测器、控制电路和其它电路。光学器件可以包含收集从镜1360返回的激光的透光光学器件。检测器当通过光学器件被暴露于光能时可以生成电流或电压信号。检测器可以是例如雪崩光电二极管。检测器的输出可以由控制电路处理并被输送到控制系统(未示出)以实现返回脉冲的处理。

[0075] 激光控制器1330可以被操作以控制激光源1312。特别地,激光控制器1330可以控制激光源1312的功率、可以(经由时间间隔调整模块1332)控制由激光源1312发射的光脉冲的重复率或时间间隔,并且可以控制激光源1312的脉冲持续时间。时间间隔调整模块1332可以被操作以控制和/或调整激光器1310的发送器脉冲的重复率/时间间隔。时间间隔调整电路1332可以针对FOV内的不同区域改变重复率/时间间隔。例如,对于ROI可以增大重复率,但对于非感兴趣的FOV的区域可以减小重复率。作为另一个示例,对于ROI可以减小时间间隔,并且对于非感兴趣的FOV的区域可以增大时间间隔。

[0076] 感兴趣区域控制器1340可以被操作以控制LiDAR系统1300来获得用于ROI的附加数据点。即,当LiDAR系统1300在扫描ROI时,ROI控制器1340可以使系统1300以与系统1300未扫描ROI时不同的方式操作。ROI控制器1340可以控制激光控制器1330、多边形控制器1355和镜控制器1365的操作以改变由系统1300获得的数据量。ROI控制器1340可以接收指示它应当如何控制扫描子系统1302的数个输入。输入可以例如包括帧速率1342、稀疏区域1343、密集区域1344、距离范围或任何其它合适的输入。帧速率1342可以指定扫描子系统1302完成FOV扫描的频率。稀疏和密集区域1343和1344可以提供ROI的具体位置。例如,密集区域1344可以与ROI对应,并且稀疏区域1343可以与FOV内的不是ROI的区域对应。光纤尖端角度1345可以被用作设计约束,在该设计约束内扫描子系统1302操作以便最优地执行扫描。

[0077] 多边形结构1350可以由诸如铝之类的金属、塑料或其它可以具有抛光或镜面表面的材料制成。可以根据扫描子系统1302的视场选择性地遮掩多边形结构1350,以控制所投影的光能的横向色散。多边形结构1350可以包括多个刻面(facet)以容纳期望的水平视场(FOV)。刻面可以与其对称轴平行或不平行。多边形结构1350可操作为以基本上恒定的速度在第一方向上绕轴旋转。可以修整多边形结构1350的形状(例如,切掉尖角或尖端以减小总体重量或所需的几何形状包络、对锐边进行斜切以减小空气阻力)以获得较好的操作性能。参见附图。

[0078] 镜1360可以是来回振荡以将由激光源1312发射的光能重定向到多边形1350的单平面或多平面镜。单平面镜可以在垂直视场的顶部和底部处提供比中间部分高的分辨率,而多平面镜可以在垂直视场的中间部分处提供比顶部和底部高的分辨率。镜1360可以是检流计。在振荡周期内改变振荡速度可以使扫描子系统1302能够获取FOV内的稀疏或密集数据点。例如,如果(对于特定的ROI)要求密集的数据点,那么可以减小移动速度,并且如果(对于非ROI)要求稀疏的数据点,那么可以增大移动速度。

[0079] 图14示出了根据实施例的例示性光纤尖端布置。示出了四个光纤尖端1401-1404被示出为相对于彼此定向,使得在相邻的光纤尖端之间存在相同的角度 α 。(与仅一个光纤尖端相反)可以使用多个光纤尖端,使得实现高数据收集。在ROI被扫描时,镜移动速度被调整为ROI速度(例如,比稀疏或非ROI速度慢的速度),附加的光纤尖端和减小的相对镜移动速度的组合产生较密集的数据捕获。而且,当非ROI被扫描时,镜移动速度以非ROI速度(例如,比ROI速度快的速度)操作,多个光纤尖端的存在确保实现足够的数据收集。可以基于由每个光纤尖端发射的光能的性质(例如,尺寸)、针对ROI和非ROI两者的镜(例如,镜1360)的速度和移动特性以及多边形(例如,多边形结构1350)的速度来选择角度 α 。每个尖端之间的角度可以相同,或者它们可以不同。

[0080] 在一些实施例中,所有四个光纤尖端可以与相同的激光源相关联。因此,如果激光源被关断,那么没有光纤尖端将发射光能。在另一个实施例中,每个光纤尖端可以与它自己相应的激光源相关联。这个实施例提供了每个光纤尖端的高度开/关控制。在又一个实施例中,光纤尖端的子集可以与相同的激光源相关联。例如,光纤尖端FT1和FT3可以共享第一共用激光源,并且光纤尖端FT2和FT4可以共享第二共用激光源。这个实施例在全部开/关控制或没有开/关控制与单独的开/关控制之间提供平衡。

[0081] 图15A示出了可以被用于ROI和非ROI实施例的多个镜对准布置(MMAA) 1500。MMAA 1500是使用多个光纤尖端(诸如图14中所示的)的替代方案。如所示的,MMAA 1500示出准直器1510、局部反射镜1521-1523和反射镜1524。源自激光源(未示出)的光能被发送到准直器1510,该准直器1510将光能指引到局部反射镜1521。局部反射镜1521允许一部分光能通过(示为出射路径1531),并且剩余光能被重定向到局部反射镜1522。局部反射镜1522允许一部分光能通过而到达局部反射镜1523。局部反射镜1522沿着出射路径1532重定向光能。局部反射镜允许一部分光能通过而到达局部反射镜1524。局部反射镜1523沿着出射路径1533重定向光能。反射镜1524可以沿着出射路径1534重定向所有剩余光能的全部或至少一部分。

[0082] 可以选择相邻的出射路径之间的角度以实现ROI和非ROI的期望分辨率。例如,相邻的出射路径之间的角度可以与图14中所示的 α 角度类似。在一些实施例中,相邻的出射路径之间的角度可以是固定的。在其它实施例中,相邻的出射路径之间的角度可以是可变的。可变角度调整可以被用于根据需求提供不同的分辨率。例如,如果在车辆中使用LiDAR系统,那么当车辆以第一模式操作(例如,以高速公路速度行驶或由第一驾驶员驾驶车辆)时,角度可以被设定为第一配置,并且当车辆以第二模式操作(例如,以城市速度行驶或由第二驾驶员驾驶车辆)时,角度可以被设定为第二配置。

[0083] 图15B示出了可以被用于ROI和非ROI实施例的另一个多个镜对准布置(MMAA) 1501。MMAA 1501是MMAA 1500的替代方案。如所示的,MMAA 1501示出了准直器1512、局部反射镜1525-1527、反射镜1528和出射路径1535-1538。除了准直器1512的定位之外,MMAA 1501与MMAA 1500类似。如所示的,准直器1512被定位在镜1525上方。如果期望,那么准直器1512可以被定位在镜1528下方。作为另外的替代方案,准直器1512可以被瞄准不同的镜(诸如镜1526或镜1527),并且这样的镜可以根据需要重定向光能以实现期望的结果。

[0084] 图15C示出了可以被用于ROI和非ROI实施例的例示性多个准直器布置1550。布置1550可以包括准直器1561-1563。准直器1561-1563中的每个可以与它自己的激光源相关

联。将每个准直器与它自己的激光源相关联使得能够选择性地接通和关断从每个准直器发出的光能。对于稀疏区域,可以关断一个或多个激光源(以节省功率),并且对于密集区域,可以接通所有激光源以最大化分辨率。准直器1561-1563中的每个可以以特定的朝向被固定,以在每个准直器之间实现期望的 α 角度。如果期望,那么准直器1561-1563中的每个可以是可移动的以动态地调整每个准直器之间的 α 角度。

[0085] 图15D示出了根据实施例的可以被用于控制现有准直器1571的光束的发散的例示性准直器和透镜布置1570。透镜1572可以朝着和远离准直器1571移动以调整光束的发散。当光束由扫描系统投影时,布置1570可以被用于调整光束的尺寸。对于ROI区域,可能期望具有相对窄的光束。为了产生相对窄的光束,透镜1572可以被定位在距准直器1571的窄光束距离处。对于非ROI区域,可能期望具有相对宽的光束。为了产生相对宽的光束,透镜1572可以被定位在距准直器1571的宽光束距离处。

[0086] 图16示出了根据实施例的使用多个光纤尖端、多个镜对准布置或多个准直器布置的例示性扫描分辨率。示出了来自光纤尖端(FT1-FT4)的例示性垂直分辨率线。如所示的,分辨率线根据稀疏分辨率和密集分辨率被分组。在稀疏区域中,与在密集区域中相比,扫描系统以相对较快的速度移动镜,并且在密集区域中,与在稀疏区域中相比,扫描系统以相对较慢的速度移动镜。(如FT₁-FT₄的重复图案所示)相邻的扫描线之间的间距基本上等距。可以通过将光纤尖端的对准与帧速率、镜速度、多边形速度和任何其它合适的因素进行协调使这种等距间距成为可能。相比之下,如果光纤尖端的对准没有被适当地协调,那么等距间距可能是不可能的,从而产生不期望的扫描图案。在密集区域中,每个光纤尖端可以提供多条分辨率线。例如,如所示的,在FT2提供它的四条分辨率线之前,FT1提供四条分辨率线。因此,在过渡到下一个光纤尖端之前,每个光纤尖端提供四条分辨率线。应当理解的是,由每个光纤尖端提供的分辨率线的数量取决于多个因素,例如包括镜速度、多边形速度和光纤尖端之间的角度。光纤尖端之间的分辨率线可以在稀疏区域和密集区域之间的过渡处交错。例如,(如图17A中所示)来自光纤尖端FT2-FT4中的一个或多个的至少一条分辨率线可以在与FT1有关的两条分辨率线之中交错。

[0087] 可以基于ROI的期望的角度分辨率、多边形速度、镜速度以及(一个或多个)稀疏区域中的分辨率线之间的间距的要求来选择光纤尖端之间的角度(例如, α)以使彼此基本等距。至少两个不同的镜速度被用于提供密集分辨率和稀疏分辨率,并且如果光纤尖端之间的角度未被适当地对准,那么镜速度中的差异可能导致分辨率线不等距。例如,假设密集区域的角度为 θ 。 θ 可以表示FOV内的总度数,它们是ROI的一部分并且要求密集分辨率。如果镜速度在整个帧中是恒定的,那么光纤尖端之间的角度 α 可以被近似为 θ/n ,其中 n 是光纤尖端的数量。被称为具有恒定速度的角度的这个 α_{cs} 可以表示用于光纤尖端的目标角度,但要求附加的计算以考虑镜以不同的速度操作,并且因此 α 不能被精确地设定为 θ/n 。必须考虑稀疏区域。在稀疏区域中,假设相邻的分辨率线之间的期望角度为 ϕ 。例如,可以在稀疏区域中在FT1与FT2之间、在FT2与FT3之间、在FT3与FT4之间、在FT4与FT1之间存在 ϕ 。为了在不同的光纤尖端之间实现 ϕ ,可以通过以下式子来计算光纤尖端之间的角度:

$$[0088] \quad \alpha = \alpha_{vs} = \phi * n * 2 - \phi$$

[0089] 其中 α_{vs} 是可变速度镜的角度, ϕ 是稀疏区域内的相邻的分辨率线之间的角度, n 是光纤尖端的数量,并且数字2是考虑重叠的分辨率线的缩放因子。选择 ϕ 、 n 、镜速度和多边

形速度的变量,使得 α_{vs} 与 α_{cs} 相同或近似相同。选择变量以使 α_{vs} 与 α_{cs} 相同或近似相同使得扫描系统能够针对每帧FOV内的ROI和非ROI区域两者实现期望的扫描密度。

[0090] 图17A示出了根据实施例的使用多个光纤尖端或多个镜对准布置的垂直分辨率的另一个例示性图。示出了稀疏区域和密集区域。使用四个光纤尖端FT1-4。在稀疏区域中,用于每个光纤尖端的分辨率线均匀地间隔开。在密集区域中,垂直的分辨率线基本上比稀疏区域中的垂直的分辨率线密集。在密集区域内,垂直的分辨率线主要针对每个光纤尖端进行分组,但是,来自其它光纤尖端的交错的分辨率线可能存在于特定组内。

[0091] 图17B示出了根据各种实施例的图17A内的稀疏区域的例示性特写视图,并且图17C示出了根据各种实施例的图17A内的密集区域的例示性特写视图。注意的是,图17B中的比例因子比图17C中的比例因子的放大程度小。因此,图17B示出了针对多个光纤尖端的分辨率线,并且图17C示出了针对仅一个光纤尖端的多条分辨率线。

[0092] 上面讨论的动态分辨率是在动态垂直分辨率的上下文中。如果期望,可以将激光光子系统(例如,光纤尖端、多个镜对准布置或多个准直器布置)在(与上述垂直方向相反的水平方向)上定向以提供动态的水平分辨率。

[0093] 假设对于镜移动的速度变化被用于控制垂直分辨率,那么可以改变重复率或时间间隔以动态地控制水平分辨率。这提供了可以由控制器(例如,ROI控制器1340)同步的双轴动态分辨率控制,以针对垂直朝向和水平朝向两者为ROI提供增大的分辨率并且为非ROI提供减小的分辨率。例如,当扫描周期遇到ROI时,镜移动速度减小并且连续的光脉冲之间的时间间隔减小(从而增大重复率)。当扫描周期遇到非ROI时,镜移动速度增大并且连续的光脉冲之间的时间间隔增大(从而减小重复率)。

[0094] 在一些实施例中,可以选择性地接通和关断(一个或多个)激光源以提供垂直动态范围(假设激光光子系统被这样定向)。这可以消除调整镜速度以实现动态垂直分辨率的需要。但是,如果期望,可以结合镜移动速度的变化选择性地接通和关断(一个或多个)激光源。

[0095] 图18示出了根据实施例的具有可变尺寸的激光脉冲的例示性FOV 1800。如图所示,FOV 1800包括两个稀疏区域和一个密集区域。稀疏区域和密集区域都示出采用不同尺寸的圆圈的形式的例示性光脉冲。稀疏尺寸的圆圈大于密集尺寸的圆圈。当扫描系统将光投影到稀疏区域时,镜速度可以以稀疏速度移动,并且重复率可以被设定为稀疏区域重复率。相反,当扫描系统将光投影到密集区域时,镜速度可以以密集速度移动并且重复率可以被设定为密集区域重复率。稀疏速度比密集速度快并且稀疏区域重复率比密集区域重复率慢。因此,与在稀疏区域中相比,被发送到稀疏区域的光脉冲较少。如果投影到稀疏区域中的光脉冲的圆圈尺寸与密集区域中的圆圈尺寸相同,那么可能存在填充不足(underfilling)。当相邻的光脉冲圆圈之间存在太多空间时,可能发生填充不足。因此,为了最小化填充不足,期望针对稀疏区域和密集区域两者投影适当尺寸的光脉冲。

[0096] 可以使用具有一体化的平面部分的曲面镜来实现对光脉冲发散的控制。这种曲面镜可以被用作镜1360。图19A示出了被布置为包括曲面镜部分1902、平面部分1904和曲面镜部分1906的例示性镜1900。平面部分1904放置在曲面镜部分1902和1906之间。曲面镜部分1902和1906生成光脉冲的会聚以(针对稀疏区域)产生相对较大尺寸的圆圈。平面部分1904可能不更改与其相互作用的光脉冲的尺寸,并且被用于将光投影到密集区域中。

[0097] 图19B示出了根据实施例的另一个例示性镜1950。镜1950可以包括曲面镜部分1952和1956以及平面部分1954。在一些实施例中,平面部分1954可以是棱镜(例如,类似于图21的镜中所示的棱镜)。

[0098] 图19C示出了根据实施例的另一个例示性镜1960,该镜1960在两个平面部分1962和1963之间包含凹入的连续弯曲部分1961。(一个或多个)激光束被指引到部分1961,并且任何返回脉冲可以被平面部分1962和1963反射。图19D示出了根据实施例的又一个例示性镜1970,该镜1970在两个平面部分1972和1973之间包含凹入的逐步弯曲的部分1971。(一个或多个)激光束被指引到部分1971,并且任何返回脉冲可以被平面部分1972和1973反射。图19E示出了根据实施例的又一个例示性镜1980,该镜1980在两个平面部分1982和1983之间包含凸出的连续弯曲部分1981。(一个或多个)激光束被指引到部分1981,并且任何返回脉冲可以被平面部分1982和1983反射。图19F示出了根据实施例的另一个例示性镜1990,该镜1990在两个平面部分1962和1963之间包含凸出的逐步弯曲的部分1961。(一个或多个)激光束被指引到部分1991,并且任何返回脉冲可以被平面部分1992和1993反射。

[0099] 图19G示出了根据实施例的另一个例示性镜1965,该镜1965在两个平面部分1967和1968之间包含凹入部分1966。凹入部分1966具有定位在两个弯曲部分之间的平坦部分。弯曲部分相对于进入的激光束是凸出的。(一个或多个)激光束被指引到部分1966,并且任何返回脉冲可以被平面部分1967和1968反射。图19H示出了根据实施例的又一个例示性镜1975,该镜1975在两个平面部分1977和1978之间包含凹入的弯曲部分1976。凹入部分1976具有定位在两个弯曲部分之间的平坦部分。弯曲部分相对于进入的激光束是凹入的。(一个或多个)激光束被指引到部分1976,并且任何返回脉冲可以被平面部分1977和1978反射。图19I示出了根据实施例的又一个例示性镜1985,该镜1985在两个平面部分1987和1988之间包含凸出部分1986。凸出部分1986具有定位在两个弯曲部分之间的平坦部分。弯曲部分相对于进入的激光束是凸出的。(一个或多个)激光束被指引到部分1986,并且任何返回脉冲可以被平面部分1987和1988反射。图19J示出了根据实施例的另一个例示性镜1995,该镜1995在两个平面部分1997和1998之间包含凸出部分1996。凸出部分1996具有定位在两个弯曲部分之间的平坦部分。弯曲部分相对于进入的激光束是凹入的。(一个或多个)激光束被指引到部分1996,并且任何返回脉冲可以被平面部分1997和1998反射。

[0100] 除了镜704包括棱镜2020并且光源706和708被从用于检测器708和712的扫描区域移出之外,图20描绘了与图8中描绘的类似的系统。将光源706和708放置在用于检测器708和712的返回路径之外减小或消除可能发生的任何干扰。应当理解的是,出于例示性的目的,以扩大的尺寸示出了棱镜2020的尺寸,并且优选地使棱镜的尺寸最小化以减小其对返回路径的影响。

[0101] 除了镜704被替换为(例如,类似于曲面镜1950的)曲面镜2104之外,图21描绘了与图20所示的系统类似的系统。曲面镜2104可以包括可以是棱镜的平面部分2105以及曲面镜部分2106和2107。使用曲面镜2104可以执行(如以上结合图18所讨论的)生成不同尺寸的激光脉冲的双重任务并且作为聚焦透镜710。照此,在图21所示的实施例中可以省去透镜710。

[0102] 上面讨论的图9至图11各自示出了在它们相应的视场中获取的数据点的曲线。可以通过使用诸如图22中所示的具有梯形截面的多边形使曲线变平。图22示出了绕旋转轴2202旋转的例示性多边形2200。注意的是,因为光源在与镜2230相互作用之前照射多边形

2200,所以图22的光行进的顺序与图13的光行进的顺序不同。应当认识到的是,光源可以在与多边形2200相互作用之前照射镜2230。图22还示出了例示性镜2230和示例性光路2240。多边形2200可以具有梯形截面,其中刻面2210与刻面2212不平行,但是顶面2220和底面2222可以彼此平行。旋转轴2202与重力不一致(重力轴被示为竖直向下)。即,如果旋转轴2202与重力一致,那么它将与重力线平行。如果期望,旋转轴2202可以与重力一致。旋转轴2202可以相对于重力成角度,使得从多边形2200反射的光能被指向有用的方向(例如,朝着与天空相对的道路)。

[0103] 图23描绘了使用图22的多边形2200的点图。点图包括两个通道(例如,两个光源输出和两个光检测器)。扫描的图案具有垂直重叠并且在垂直方向上没有曲线。

[0104] 图24示出了根据实施例的LiDAR系统2400的例示性框图。LiDAR系统2400类似于图24的系统1300,但是包括附加组件以扩展视场。系统1300可以提供120度的水平视野,而系统2400可以提供360度的水平视野。系统2400可以包括第一子系统2410、第二子系统2420、第三子系统2430、多边形2440、多边形控制器2444和ROI控制器2450。第一、第二和第三子系统2410、2420和2430中的每个可以共享多边形2440,并且由相同的ROI控制器2450控制。如果期望,子系统2410、2420和2430中的每个可以由它们自己相应的ROI控制器独立地控制。ROI控制器可以类似于图13的ROI控制器1340。系统2410、2420和2430中的每个可以包括激光控制器(例如,类似于激光控制器1330)、激光子系统(例如,类似于激光子系统1310)、接收器系统(未示出)、镜(例如,类似于镜1360)和镜控制器(例如,类似于镜控制器1365)。LiDAR系统2400可以被包含在一个或多个壳体内。本文讨论的任何实施例(例如,图1至图23)可以在系统2400中使用。

[0105] 在图24所示的实施例中,子系统2410、2420和2430中的每个可以负责观察360度视场的不同部分(例如,特定的120度部分)。每个子系统的观察到的部分可以重叠或者可以不重叠。每个子系统可以被独立地控制以聚焦在它们相应的FOV中的(一个或多个)ROI。在其它实施例中,可以使用四个子系统(与三个子系统相对),四个子系统中的每个可以负责观察360度视场的90度部分。所有四个子系统的观察到的部分可以重叠或者可以不重叠。在其它实施例中,可以使用五个或更多个子系统。

[0106] 如上所述,LiDAR系统可以控制由扫描系统投影的光束的垂直和水平角度分辨率。角度分辨率确定可以从一定距离处的对象观察到多少个点。重申一下,垂直角度分辨率由相邻的光束投影之间的垂直角度限定。随着垂直角度减小,相邻的光束之间的分离减小,从而导致较多的数据点(或增大的角度分辨率)。随着相邻的光束之间的角度增大,相邻的光束之间的分离增大,从而导致较少的数据点(或减小的角度分辨率)。可能期望对于相对较远的对象获取比相对较近的对象更多的数据点。例如,参见图25A,该图25A示出了近对象2505和远对象2510以及从两个对象捕获的例示性数据点。图25A中的垂直角度分辨率跨整个垂直FOV是恒定的。近对象数据点2507与从近对象2505获得的数据点对应,并且远对象数据点2512与从远对象2510获得的数据点对应。如图所示,与针对近对象2505收集的数据点相比,针对远对象2510收集的数据点相对稀疏。

[0107] 图25B示出了角度分辨率跨垂直FOV是可变的例示性场景。特别地,对于区域2560和2562,垂直角度增量是 α ,并且对于区域2570,垂直角度增量是 β ,其中 β 小于 α 。远对象数据点2552与远对象2550对应。与图25相比,当角度分辨率增大使得光束的密度以及对应的收

集的数据点的数量增大时,从远对象收集的数据点的数量较大。应当理解的是,虽然图25A和图25B在垂直FOV中示出了角度分辨率,但是在水平FOV中也可以出现角度分辨率。可以被获得的数据点的总数量受到LiDAR系统的设计约束的约束。因此,期望针对一个或多个ROI来优化给定LiDAR系统的角度分辨率。

[0108] LiDAR系统一般不具有其试图检测的(一个或多个)对象的先验知识,但是可以做出某些假设,并且基于这些假设,可以针对FOV的不同部分定制角度分辨率。例如,可以针对(一个或多个)ROI和/或假设例外定制角度分辨率。在车辆上下文中,中心FOV可能具有包含远处的相关对象的最高可能性。例如,在垂直上下文中,在中心FOV下方聚焦于地面,而在中心FOV上方聚焦于天空。因此,中心垂直FOV对于改善的角度分辨率是更期望的。在水平FOV上下文中,左右聚焦一般在大距离处是不相关的。关于改善的角度分辨率主要聚焦在中心FOV可能存在例外。当车辆转弯、在弯曲的道路上行驶、在山坡上行驶或下坡行驶时,或中心FOV不是理想ROI的其它任何合适的情况,可能发生此类例外。

[0109] 图26A示出了根据实施例的相对于地面的垂直FOV中的示例性优化的角度分辨率。图26B示出了根据实施例的随着FOV中的垂直角度而改变的角度垂直分辨率的例示性曲线图。如图26B中所示,角度垂直分辨率在-25度和-5度的垂直角度之间是可变的,在-5度和3度的垂直角度之间是恒定的,并且在3度和19度的垂直角度之间是可变的。如图26A中所示,-25度和-5度之间的角度分辨率的变化使得每个相邻的光束之间的地面距离基本上恒定。通过连续地改变角度分辨率,相邻的光脉冲之间的恒定距离是可能的。如以上讨论的,可以通过改变镜(例如,镜1360)的移动速度来控制角度分辨率。如图26A和图26B所示,相邻的光脉冲之间的增量角度与其远离零垂直角度的相对角度成比例地增大。例如,在-25度处,中心区域内的增量角度(例如,示为-5度至3度)是恒定的并且表示在整个垂直FOV中相邻的光脉冲之间的最小角度差。高于3度的垂直角度的角度分辨率可以以与低于-5度的垂直角度的角度分辨率相同的方式连续变化。应当认识到的是,图26B中使用的数字仅仅是例示性的,并且恒定角度值和可变角度值的范围可以与所示出和描述的范围不同。

[0110] 图27示出了根据实施例的随着FOV中的垂直角度而逐步改变角度垂直分辨率的例示性曲线图。出于比较目的,示出了逐步变化垂直分辨率线2710和连续垂直分辨率线2720。逐步变化垂直分辨率线2710示出,在改变为不同的垂直分辨率之前,垂直分辨率针对FOV中的固定垂直角度范围保持固定。逐步变化垂直分辨率线2710可能比连续的垂直分辨率线2720较容易实现。

[0111] 可以使用以上结合图1至图24描述的实施例或能够调整角度分辨率的任何其它系统来执行可变角度分辨率和恒定角度分辨率的实施。例如,可以可变地调整镜速度以产生图26B和图27的角度分辨率角。

[0112] 图28示出了根据实施例的用于处理ROI的例示性处理2800。处理2800可以在如上所述的诸如系统1300之类的系统中实现。从步骤2810开始,可以接收LiDAR扫描系统视场(FOV)内的至少一个感兴趣的范围(ROI)区域,其中FOV内的不在至少一个ROI区域内的任何部分是非ROI区域或非感兴趣的区域。例如,诸如ROI控制器1340之类的控制器可以接收ROI的指示。作为具体示例,FOV内的密集区域和稀疏区域可以被提供或编程给ROI控制器以指定ROI和非ROI。LiDAR扫描系统通过根据包括FOV的垂直边界的多个行的FOV的水平边界跨每个水平扫描而以受控的方式将光脉冲指引到FOV。

[0113] (如步骤2820所指示的)当LiDAR扫描系统瞄准非ROI区域时,可以以第一垂直扫描速率和第一激光脉冲间隔来操作LiDAR扫描系统。(如步骤2830所指示的)当LiDAR扫描系统瞄准ROI区域时,扫描系统可以第二垂直扫描速率和第二激光脉冲间隔操作。第二激光脉冲间隔可以比第一激光脉冲间隔慢。

[0114] 应当理解的是,图28中所示的步骤仅仅是例示性的,并且可以添加附加的步骤或可以省略现有的步骤。

[0115] 图29示出了根据实施例的用于处理ROI的例示性处理2900。从步骤2910开始,可以朝着扫描系统发射多个光束,该扫描系统控制多个光束在视场(FOV)内被指向何处。例如,两个或更多个光束可以被指引到FOV。多个光束中的每个相对于彼此以固定角度对准。在步骤2920处,当扫描系统瞄准FOV内的感兴趣的区域(ROI)时,多个光束可以产生密集分辨率。例如,密集区域在图16和图17A中被示出。在步骤2930处,当扫描系统瞄准FOV内的非感兴趣的区域(RONI)时,多个光束可以产生(如图16和17A中所示的)稀疏分辨率。

[0116] 应当理解的是,图29中所示的步骤仅仅是例示性的,并且可以添加附加的步骤或可以省略现有的步骤。

[0117] 图30示出了根据实施例的用于处理ROI的例示性处理3000。从步骤3010开始,LiDAR系统可以被用于扫描视场(FOV)。LiDAR系统在它扫描FOV时控制至少一个光束的瞄准,并且FOV可以由第一定向度范围(例如,垂直角度)和第二定向度范围(例如,水平角度)界定。在步骤3020处,在FOV内限定占据第一定向度范围的第一部分的感兴趣的范围(ROI)。在步骤3030处,可以在LiDAR系统扫描FOV的同时调整至少一个光束的角度分辨率,其中,当至少一个光束瞄准ROI时,在整个第一定向度范围的第一部分中角度分辨率是恒定的,并且其中,当至少一个光束瞄准非感兴趣的区域(RONI)时,角度分辨率跨包含RONI的第一定向度范围变化。

[0118] 应当理解的是,图30中所示的步骤仅仅是例示性的,并且可以添加附加的步骤或可以省略现有的步骤。

[0119] 据信本文所阐述的公开内容包括具有独立效用的多个不同的发明。虽然这些发明中的每个已经以其优选形式被公开,但是因为许多变化是可能的,所以如本文所公开和图示的其具体实施例不应被认为是限制意义的。每个示例限定在前述公开中公开的实施例,但是任何一个示例不一定包括可能最终要求保护的所有特征或组合。其中描述陈述“一个”或“第一个”元件或其等同物,这样的描述包括一个或多个这样的元件,既不要求也不排除两个或更多个这样的元件。此外,用于识别的元件的诸如第一、第二或第三的顺序指示符用于在元件之间进行区分,并且不指示这些元件的所需数量或限制数量,并且不指示这些元件的特定位置或次序,除非另有专门说明。

[0120] 而且,相对于图1至图30描述的任何处理以及本发明的任何其它方面可以各自由软件来实现,但是也可以用硬件、固件或软件、硬件和固件的任何组合来实现。它们各自也可以被体现为记录在机器或计算机可读介质上的机器或计算机可读代码。计算机可读介质可以是存储随后可由计算机系统读取的数据或指令的任何数据存储设备。计算机可读介质的示例可以包括但不限于只读存储器、随机存取存储器、闪存存储器、CD-ROM、DVD、磁带和光学数据存储设备。计算机可读介质还可以分布在网络耦合的计算机系统上,使得计算机可读代码以分布式方式被存储和执行。例如,计算机可读介质可以使用任何合适的通

信协议从一个电子子系统或设备传送到另一个电子子系统或设备。计算机可读介质可以体现计算机可读代码、指令、数据结构、程序模块或诸如载波或其它输送机制的调制数据信号中的其它数据,并且可以包括任何信息递送介质。调制数据信号可以是以对信号中的信息进行编码的方式设定或改变其特性中的一个或多个的信号。

[0121] 应当理解的是,本文讨论的任何或每个模块或状态机可以被设置为软件构造、固件构造、一个或多个硬件部件或其组合。例如,可以在可由一个或多个计算机或其它设备执行的计算机可执行指令(诸如程序模块)的一般上下文中描述状态机或模块中的任何一个或多个。通常,程序模块可以包括可以执行一个或多个特定任务或者可以实现一个或多个特定抽象数据类型的一个或多个例程、程序、对象、部件和/或数据结构。还应当理解的是,模块或状态机的数量、配置、功能和互连仅仅是例示性的,并且可以修改或省略现有模块的数量、配置、功能和互连,可以添加附加模块,并且可以更改某些模块的互连。

[0122] 虽然在阅读了前面的描述之后,本发明的许多更改和修改对于本领域普通技术人员来说无疑将变得清楚,但是应当理解的是,通过例示的方式示出和描述的特定实施例绝对不是要被认为是限制性的。因此,对优选实施例的细节的参考不旨在限制其范围。

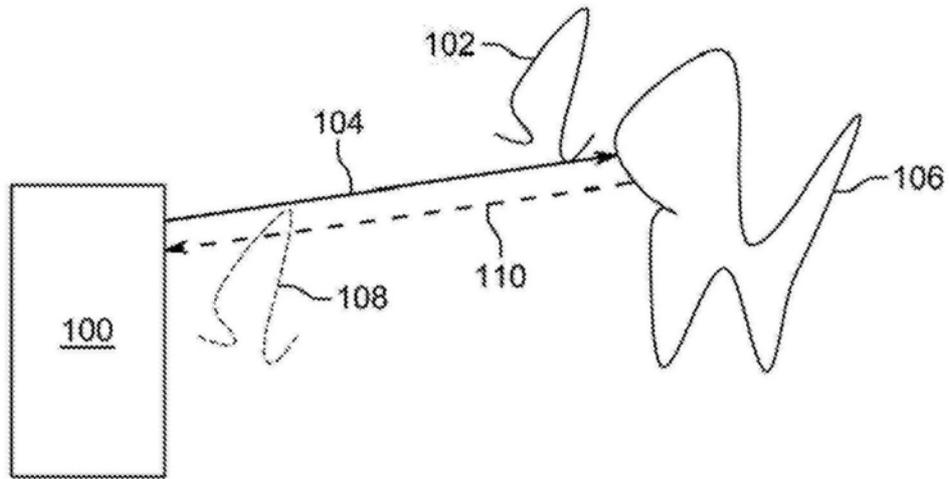


图1

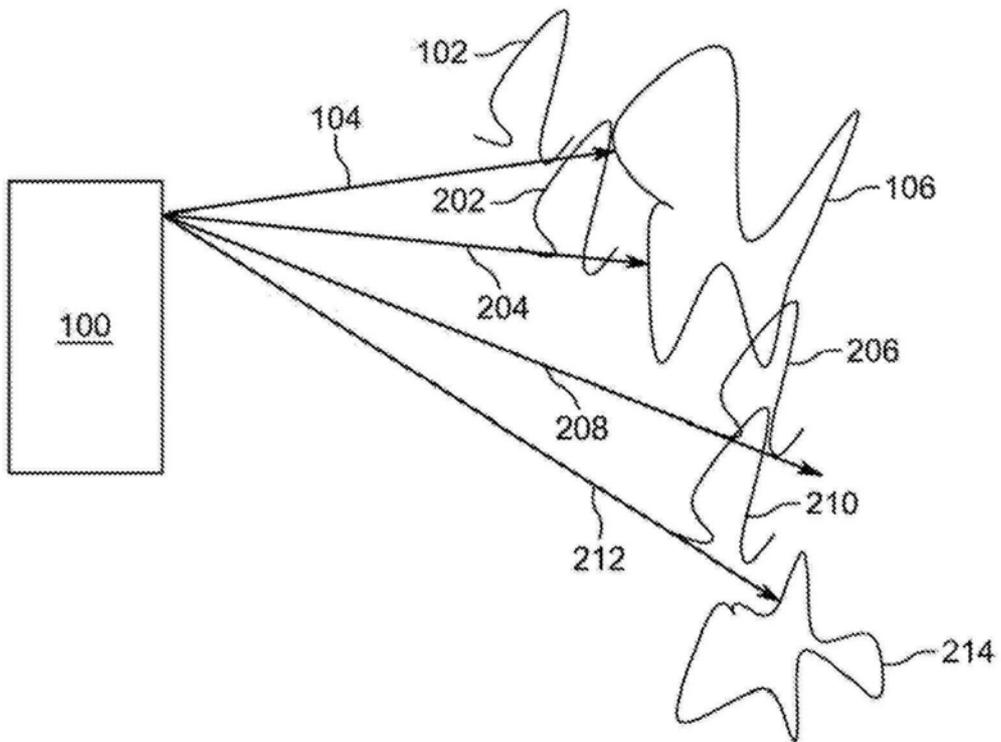


图2

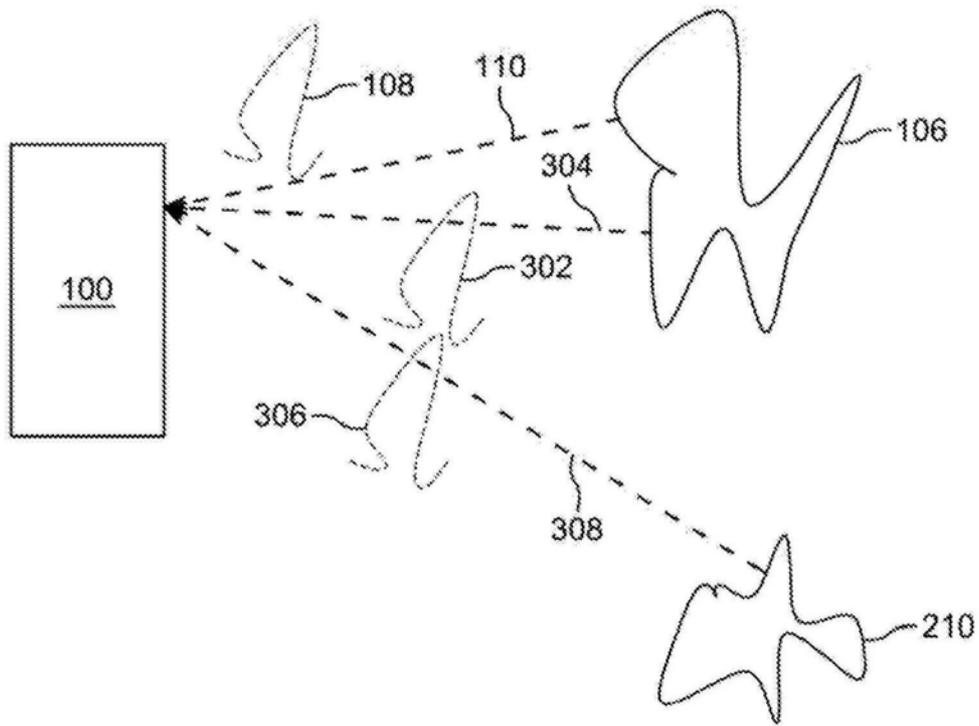


图3

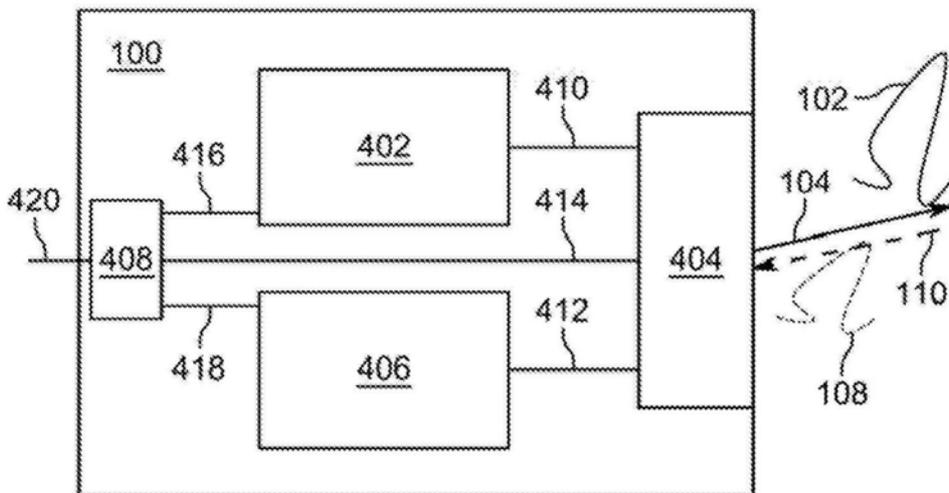


图4

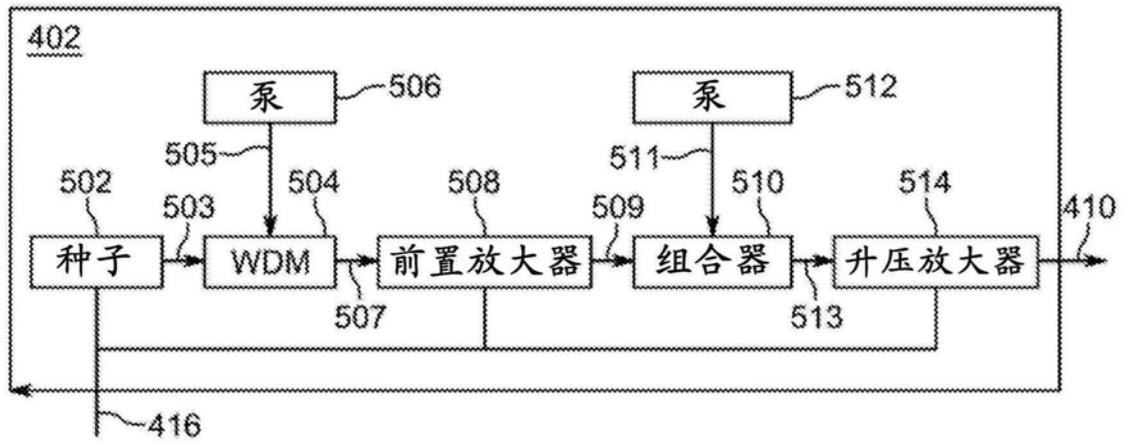


图5

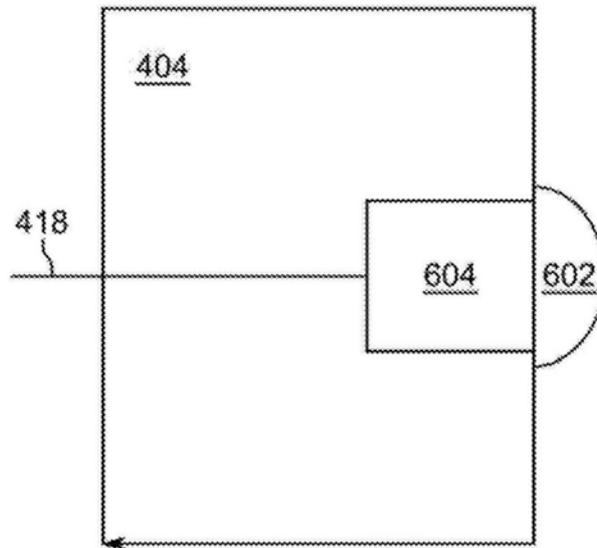


图6

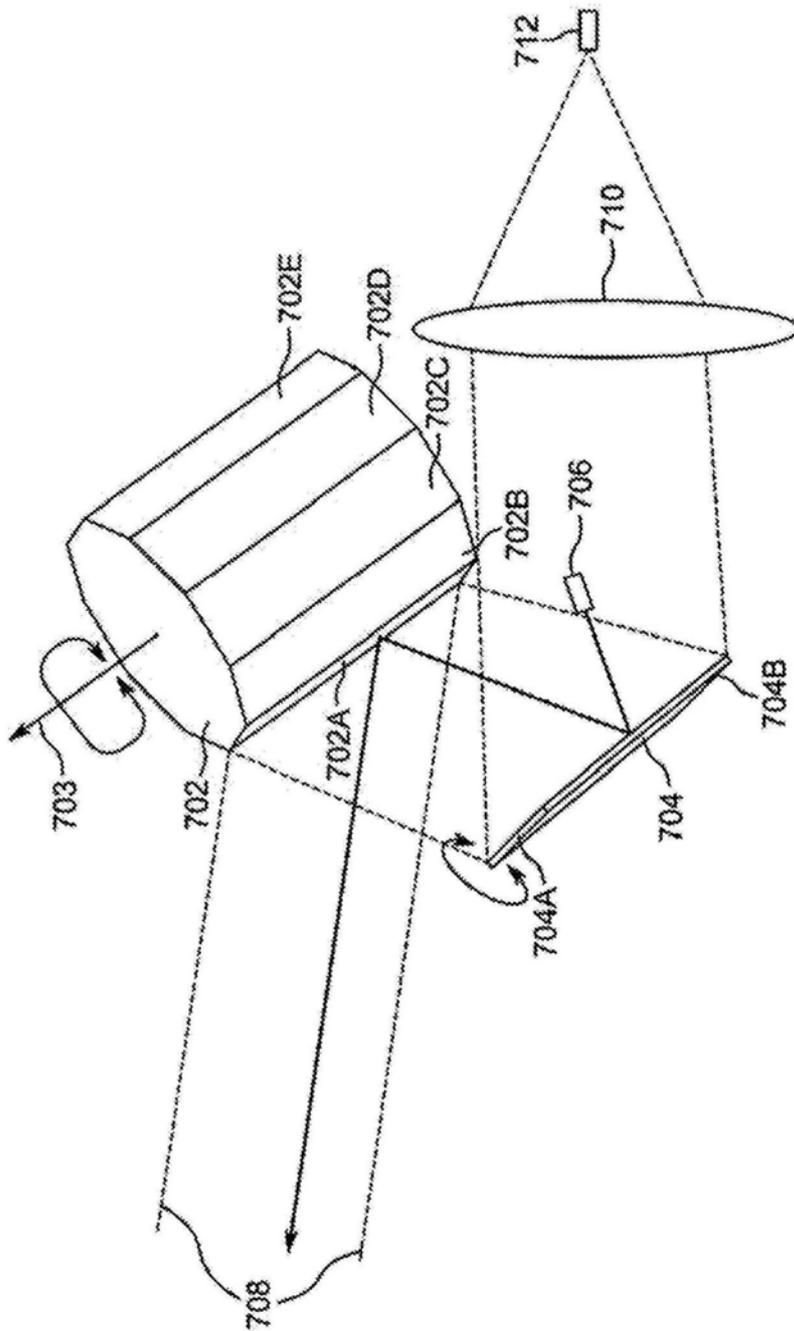


图7

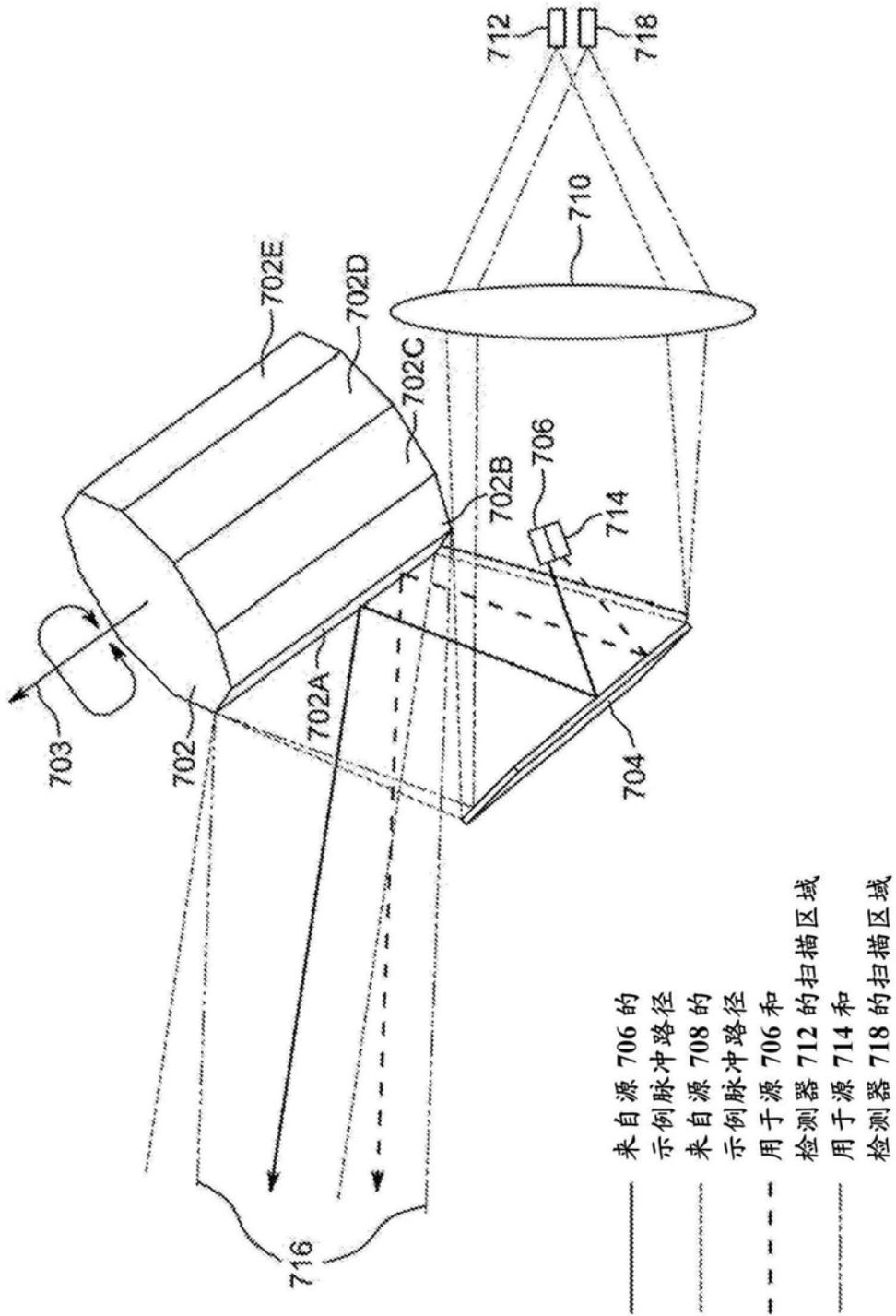


图8

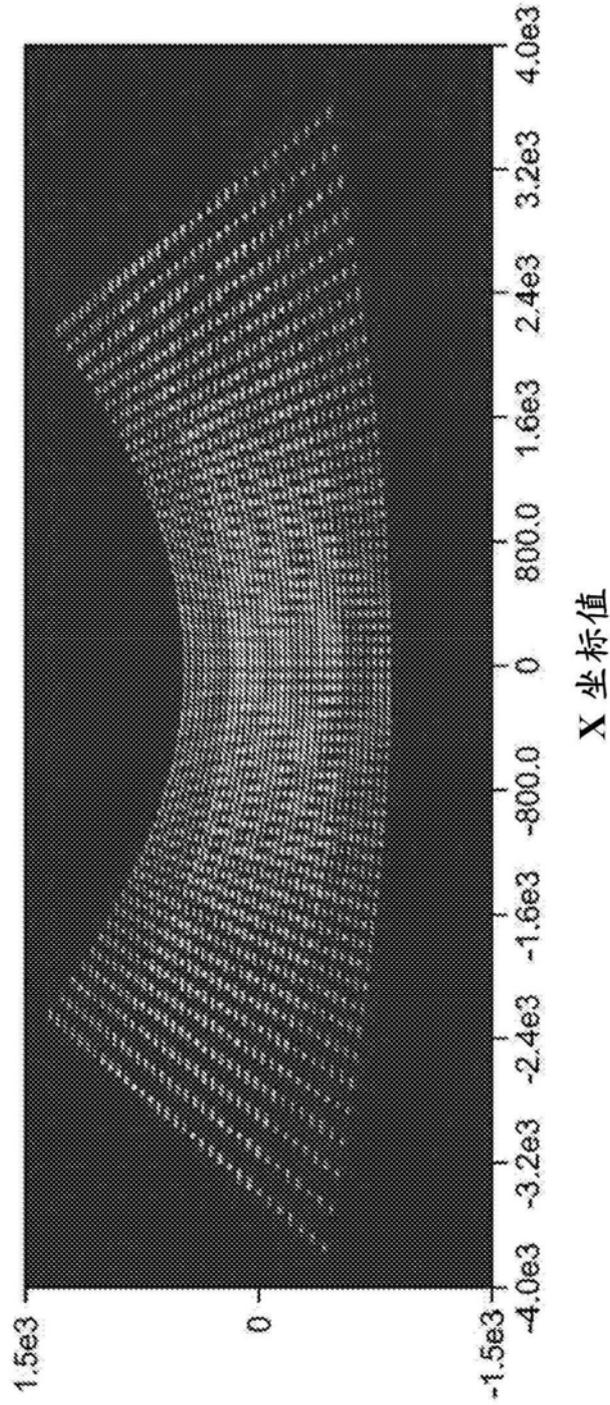


图9

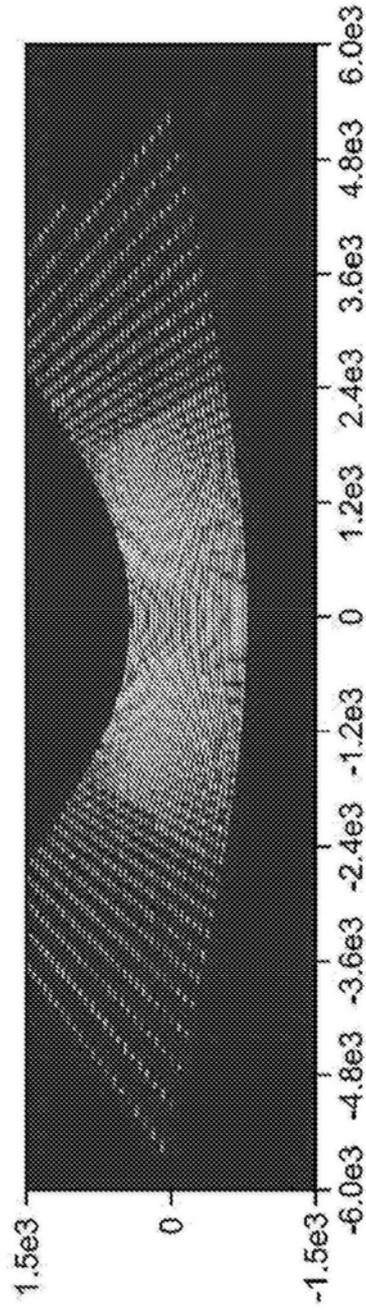


图10

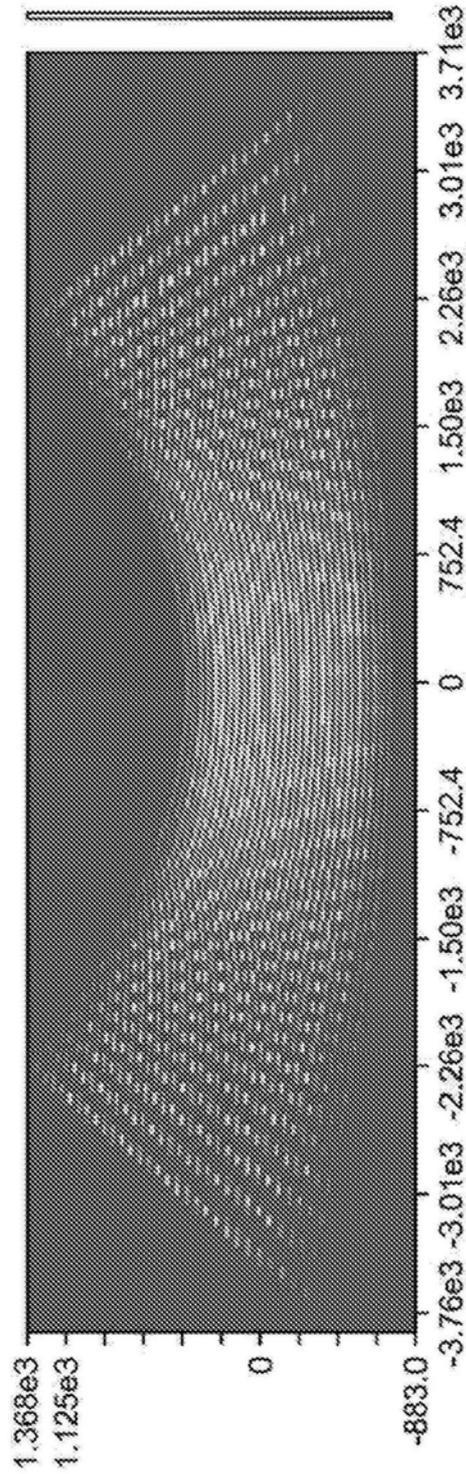


图11

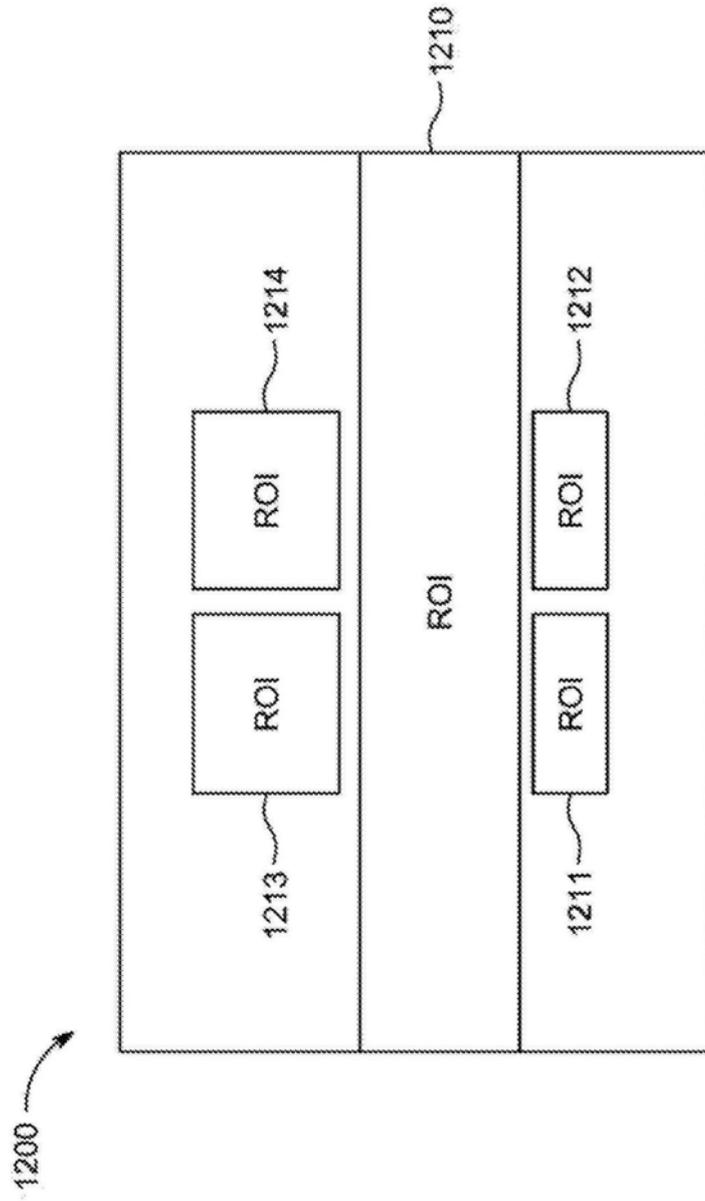


图12

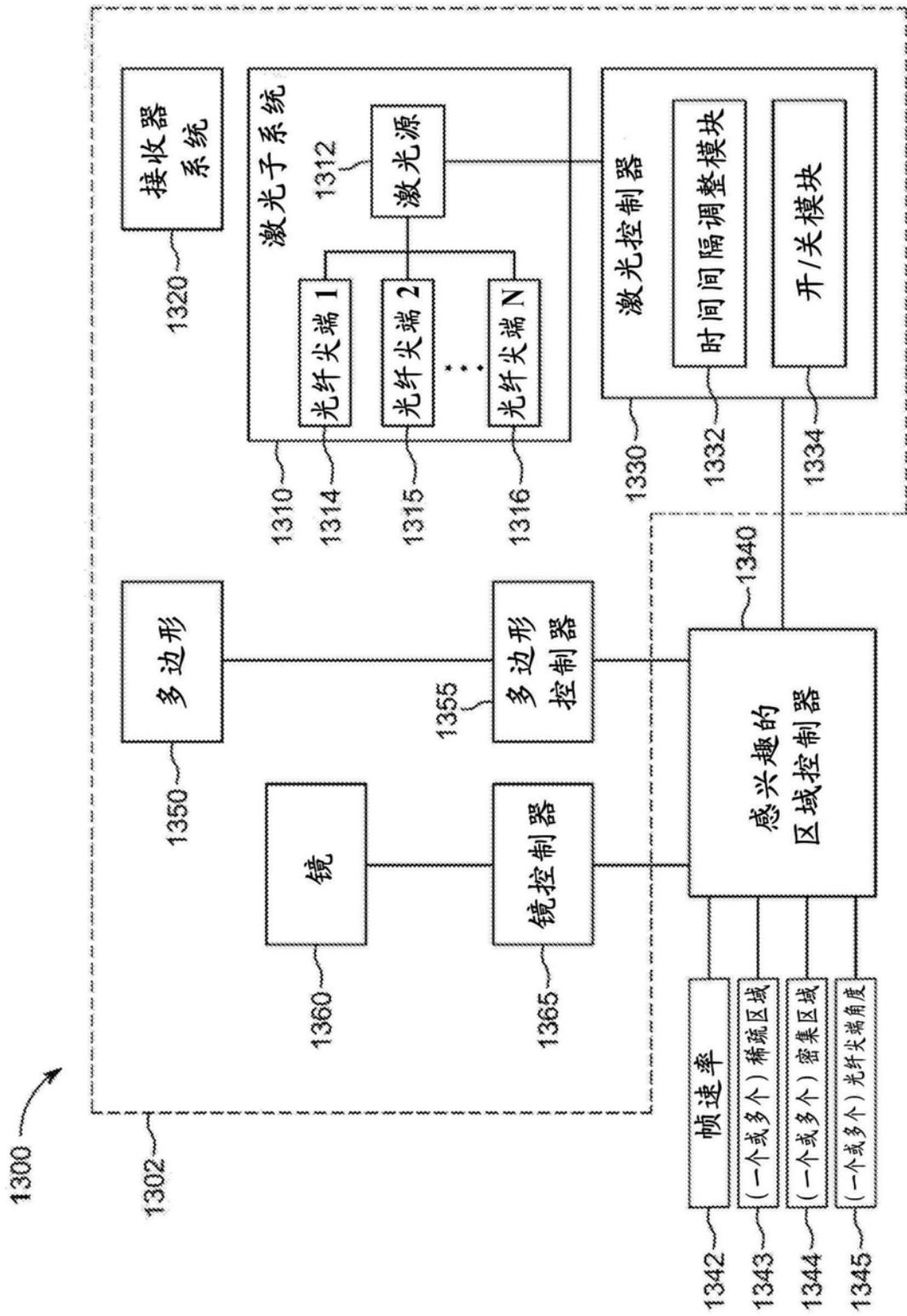


图13

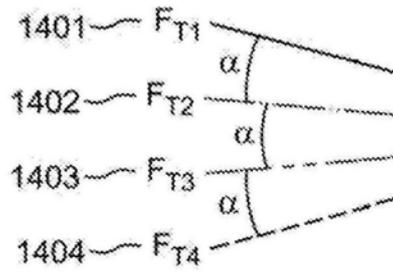


图14

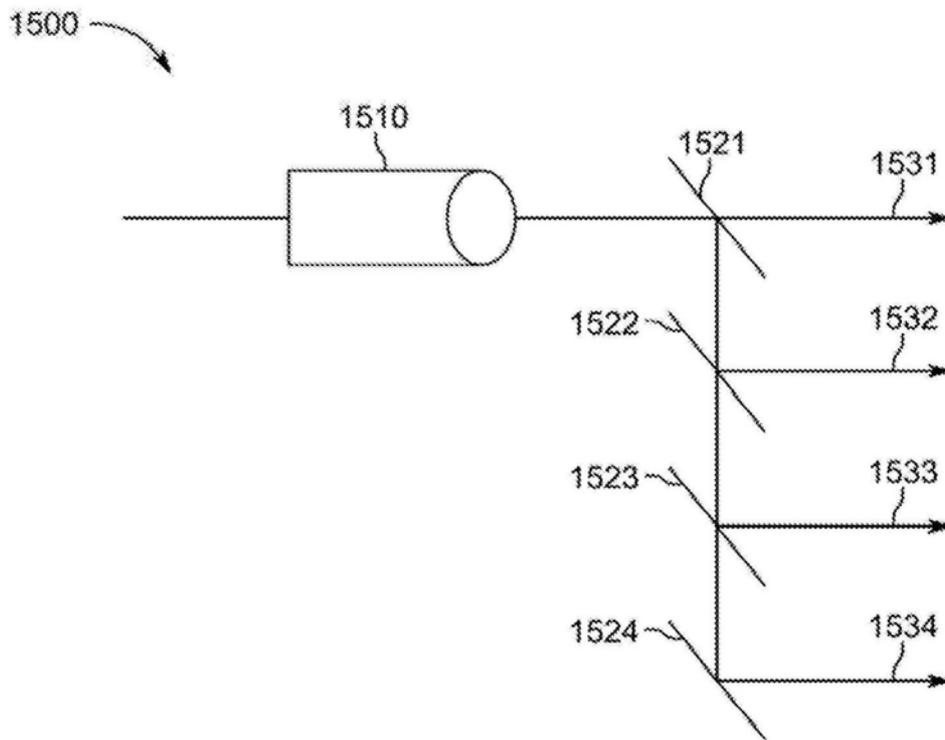


图15A

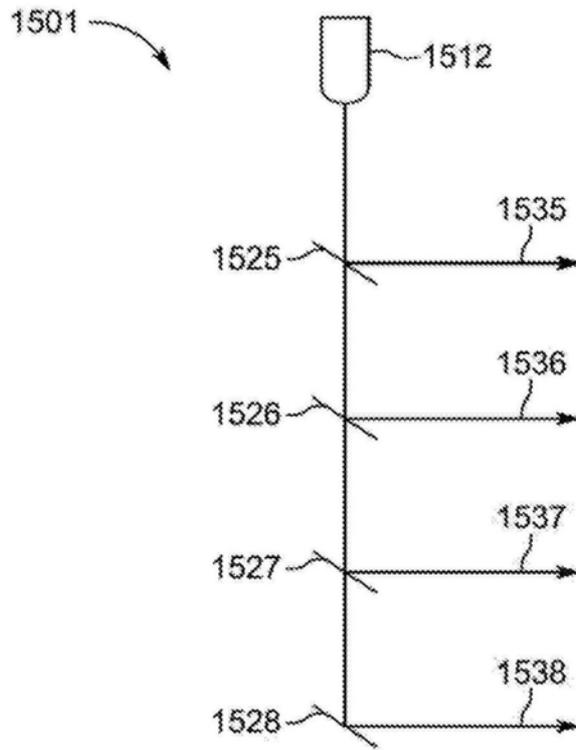


图15B

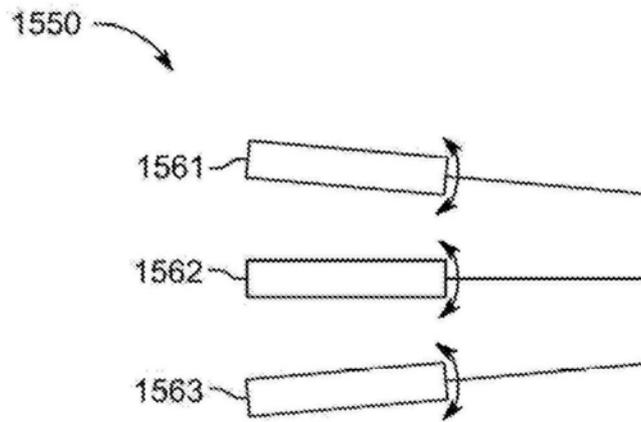


图15C

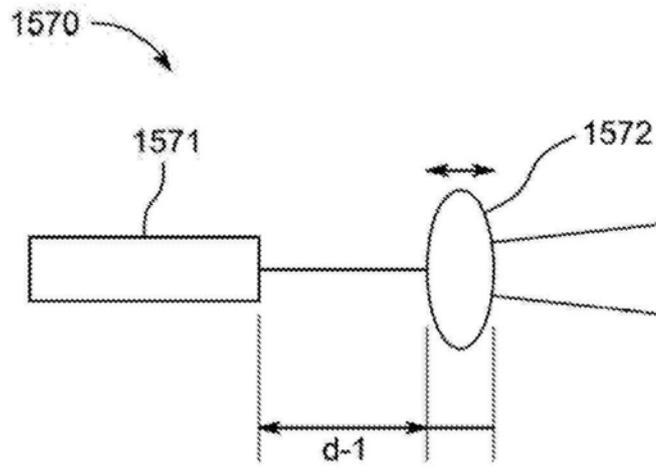


图15D

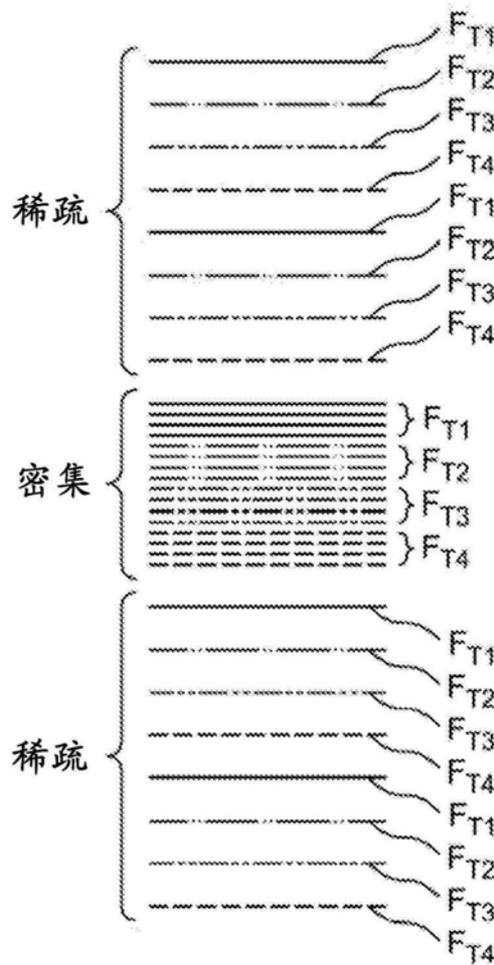


图16

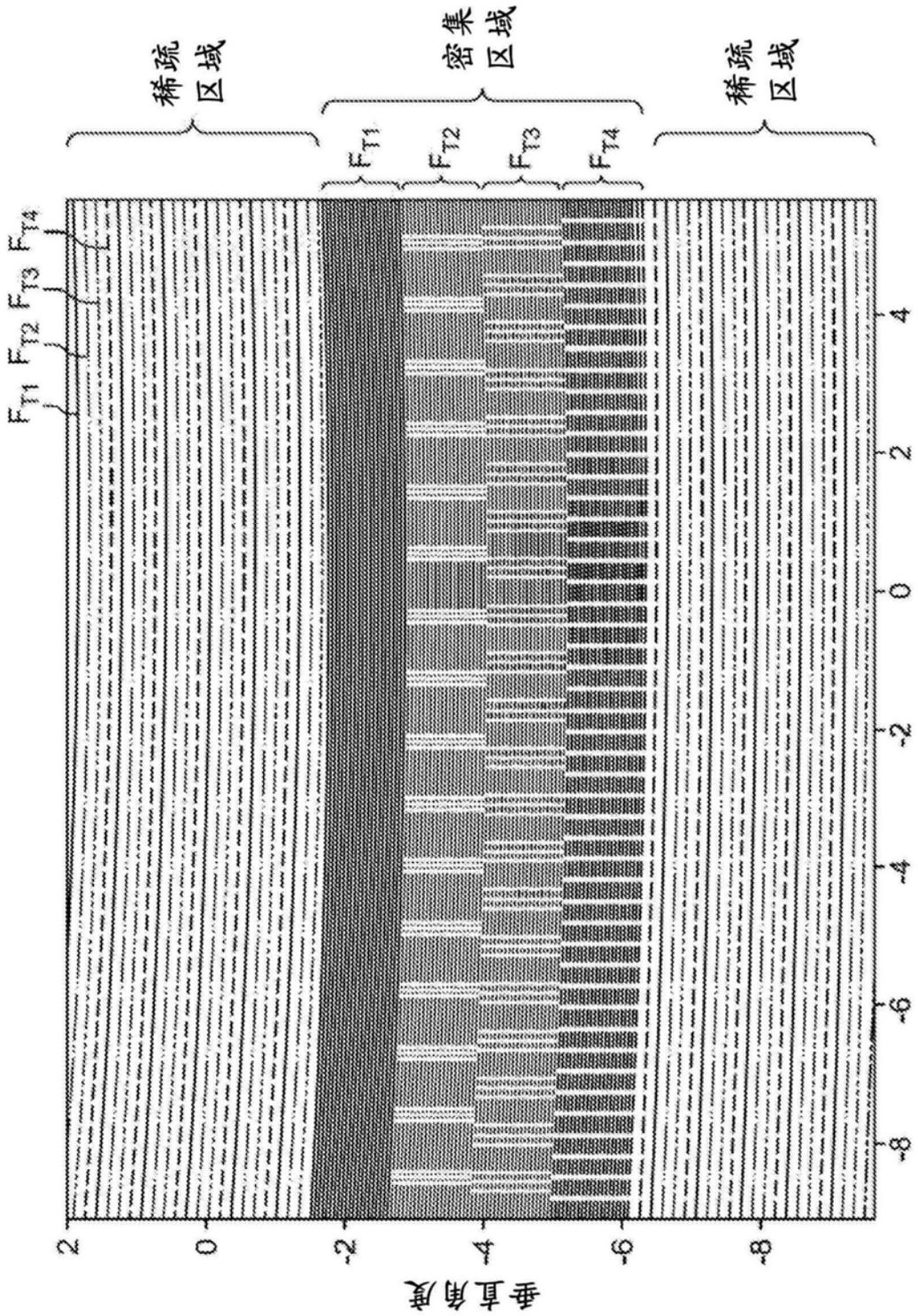


图17A

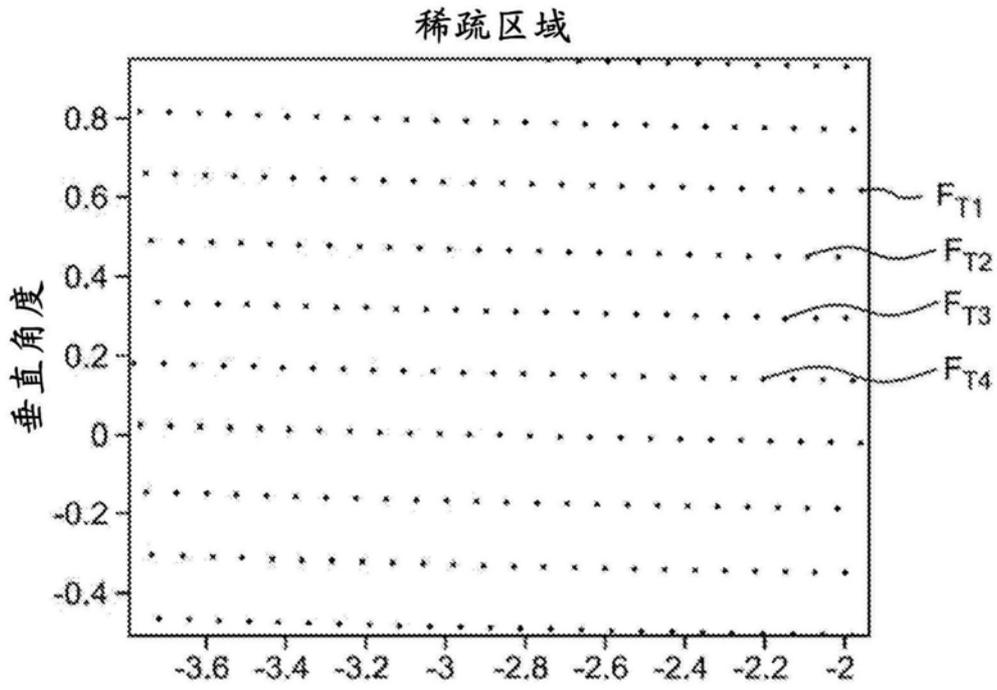


图17B

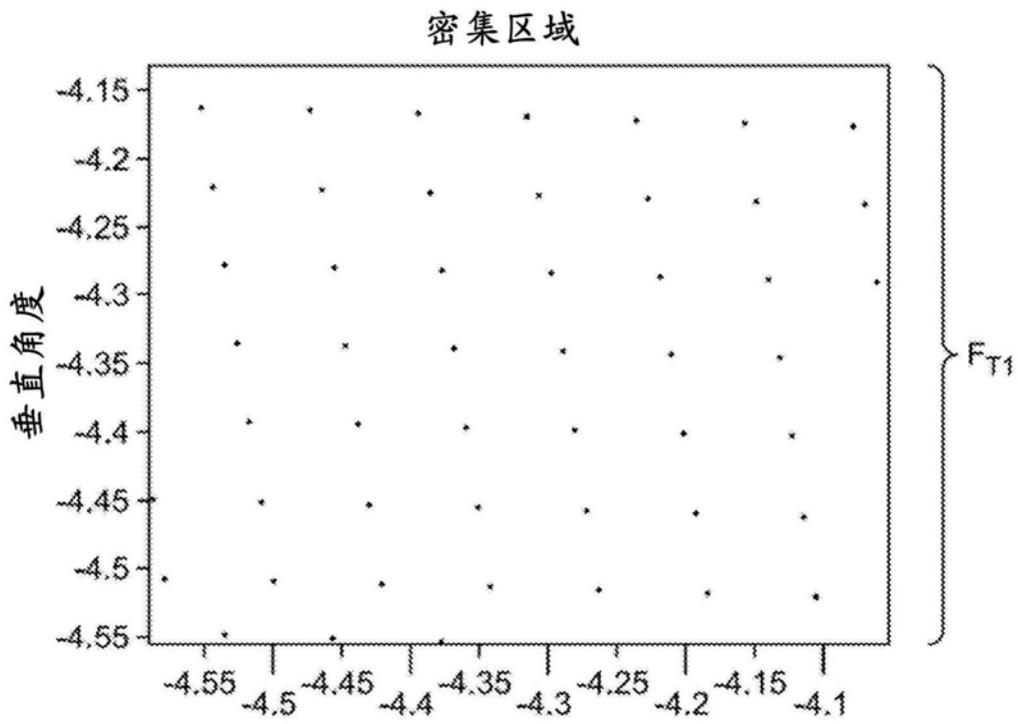


图17C

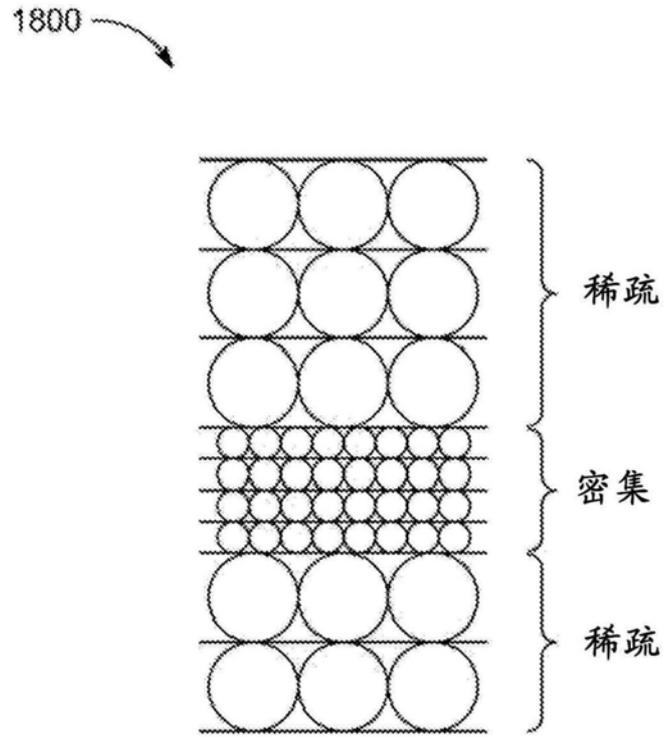


图18

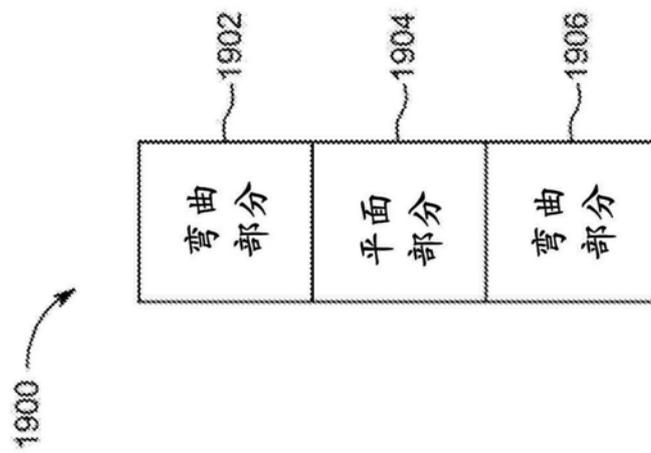


图19A

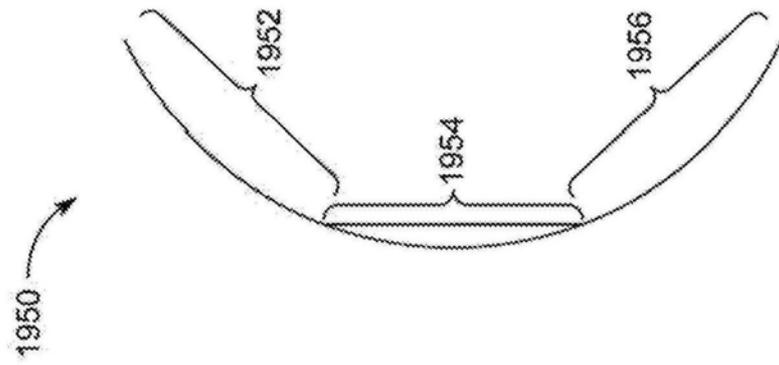


图19B

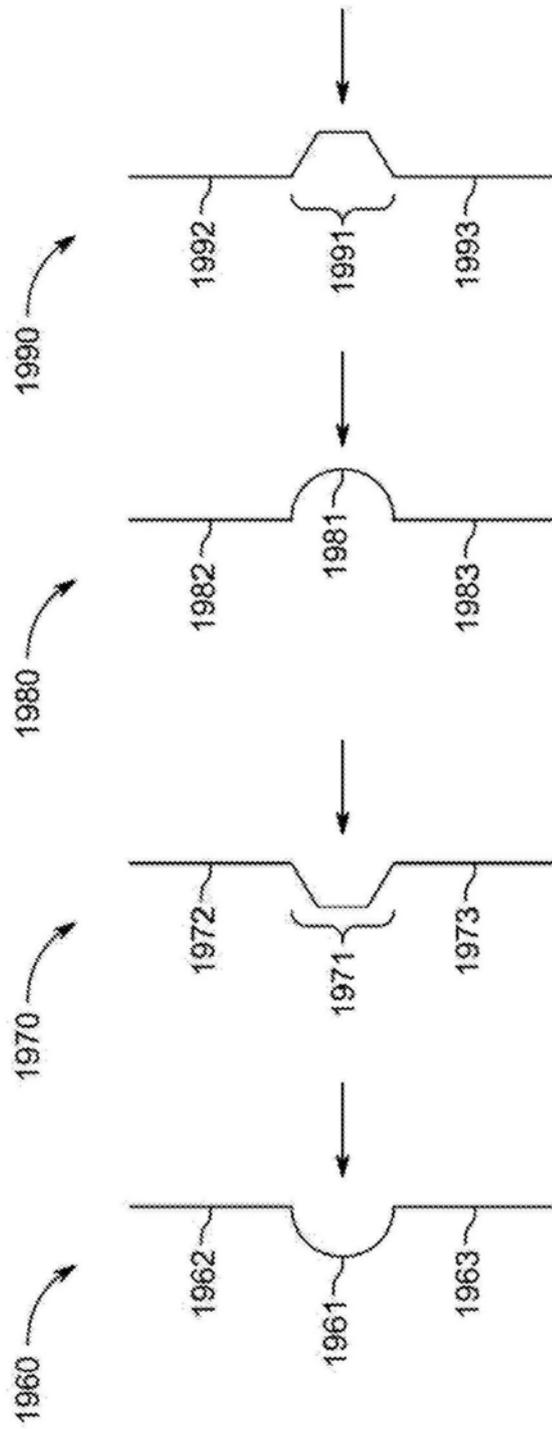


图19C 图19D 图19E 图19F

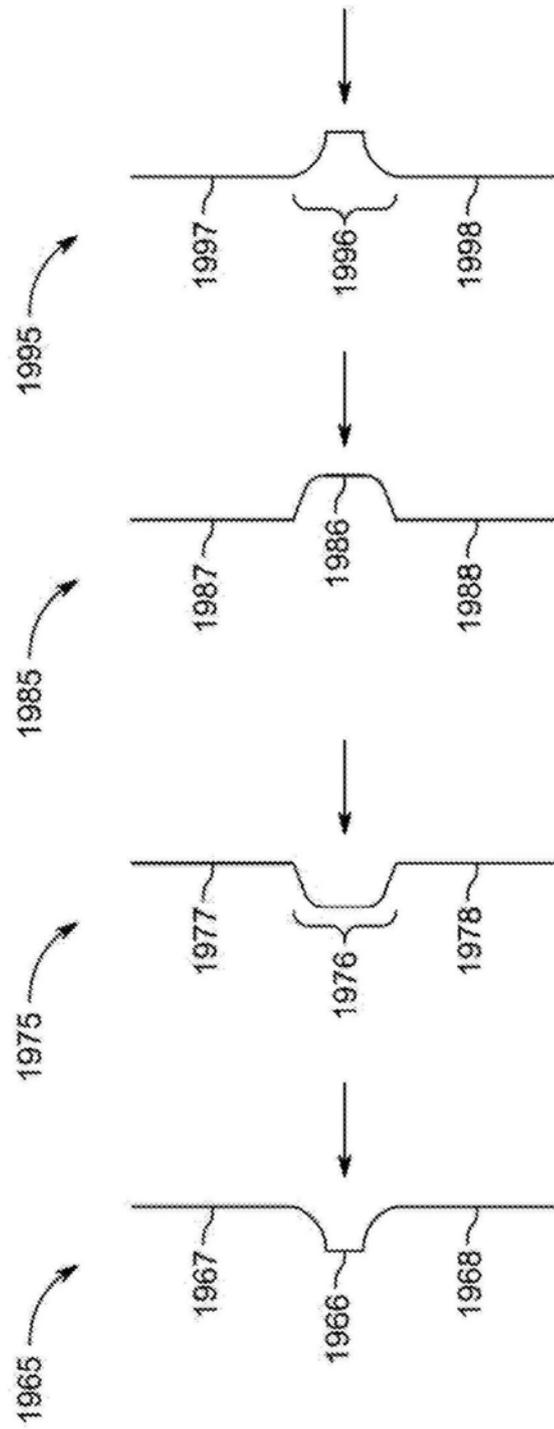


图19J

图19I

图19H

图19G

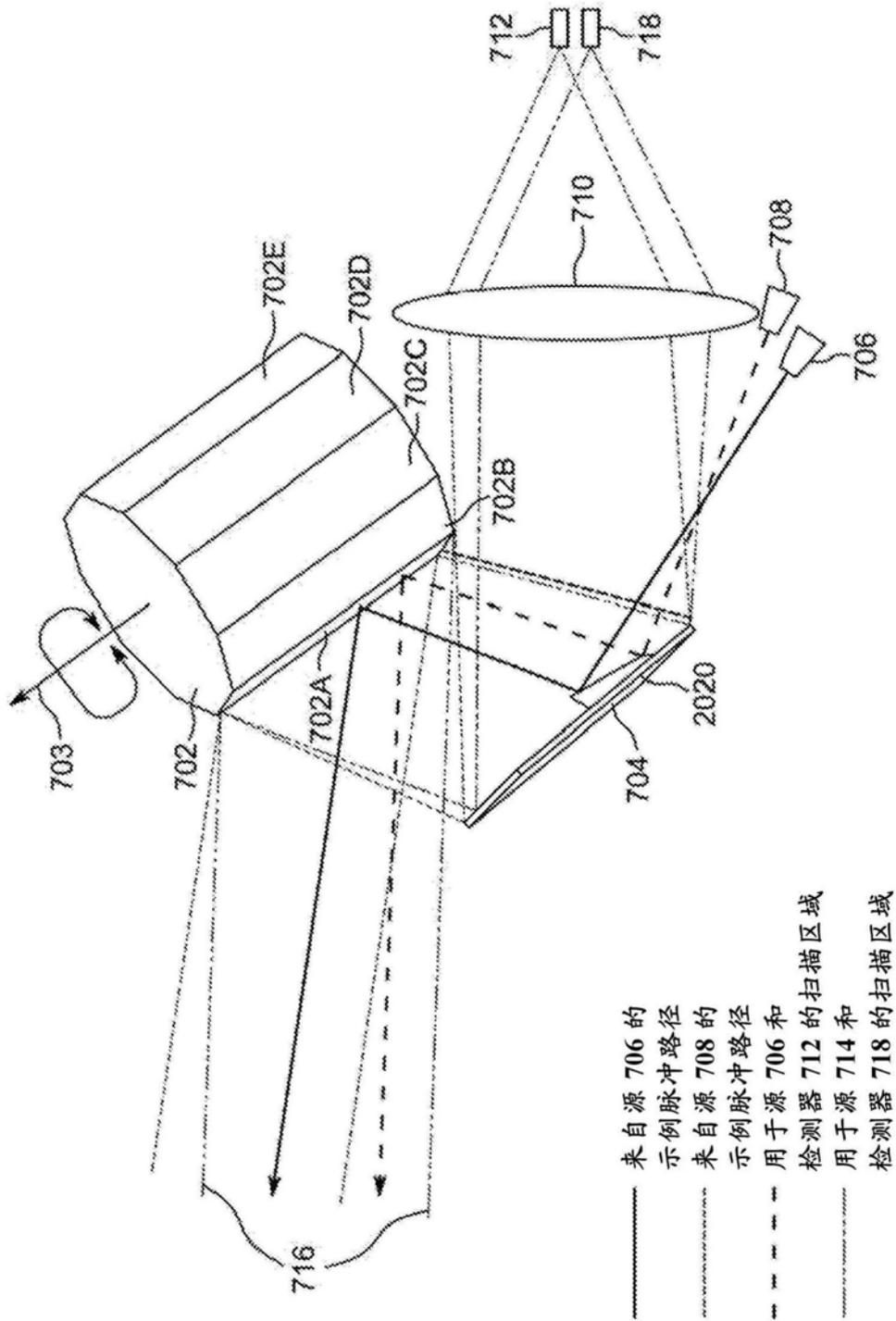


图20

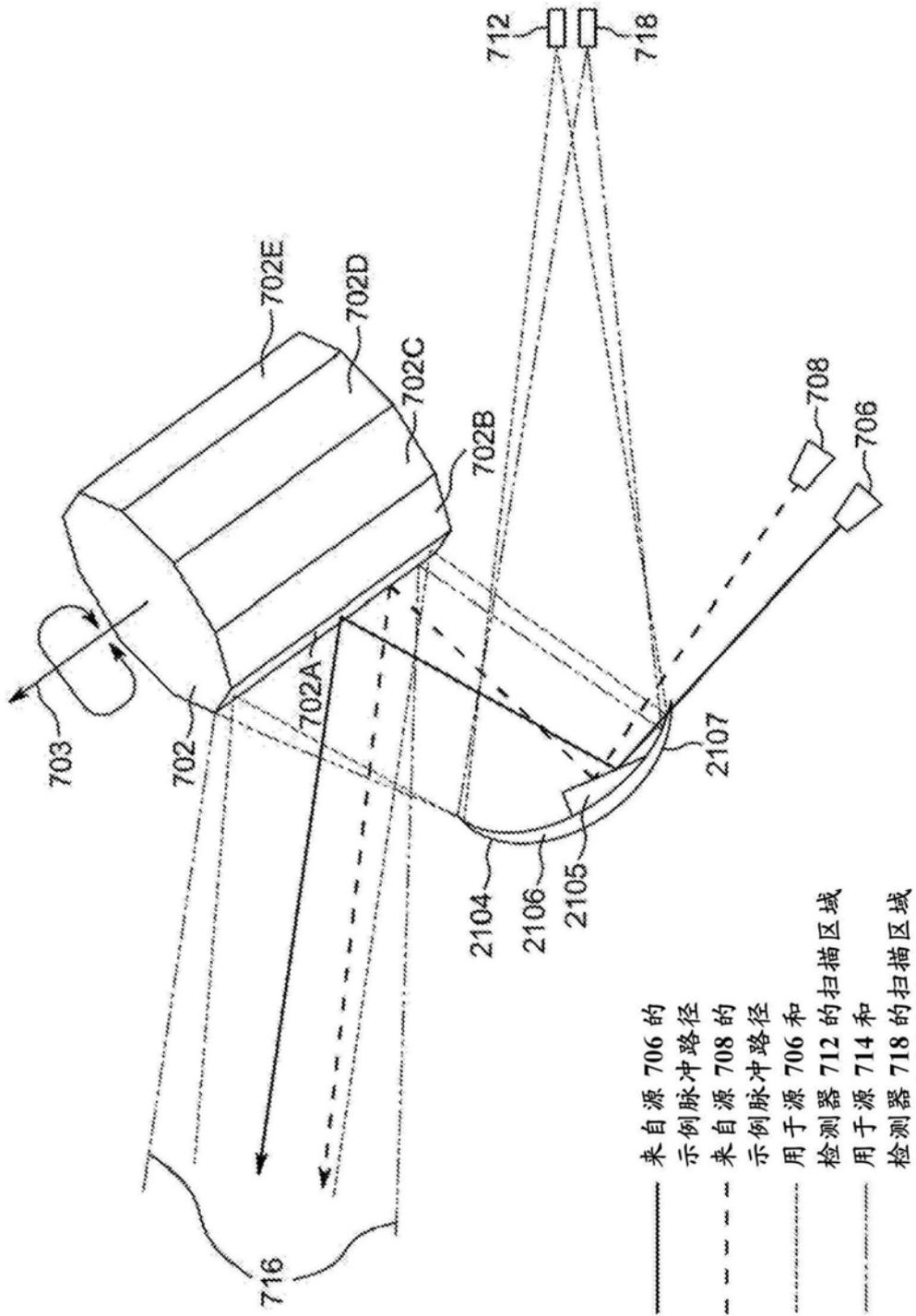


图21

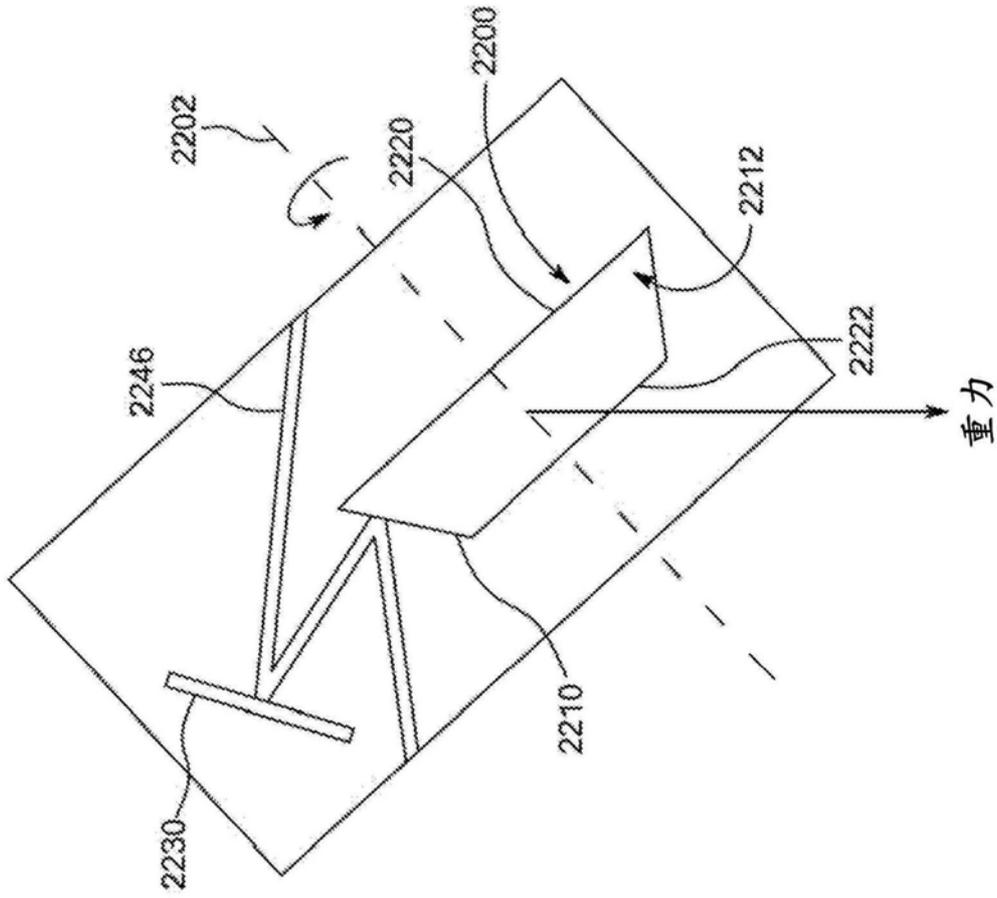


图22

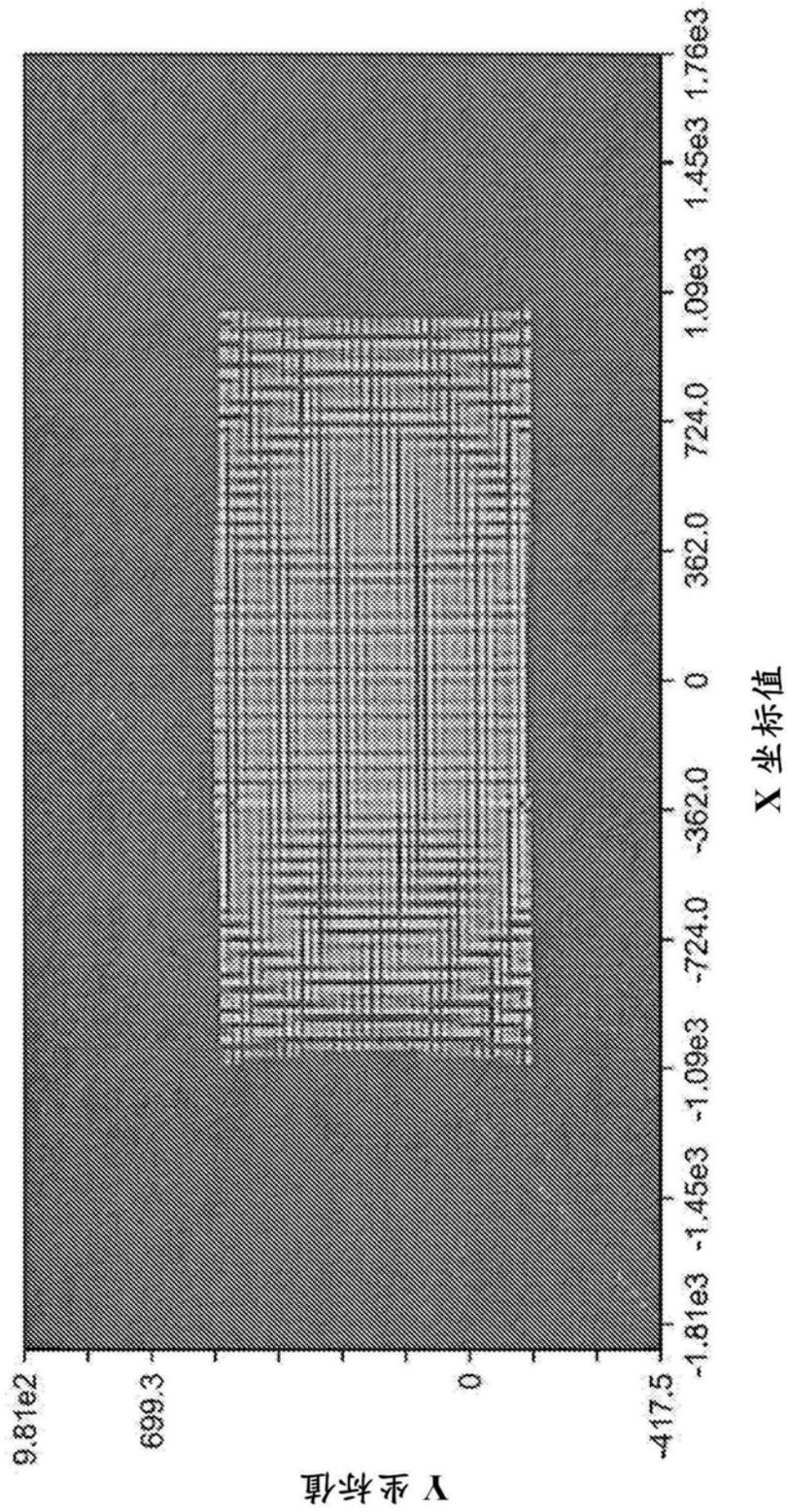


图23

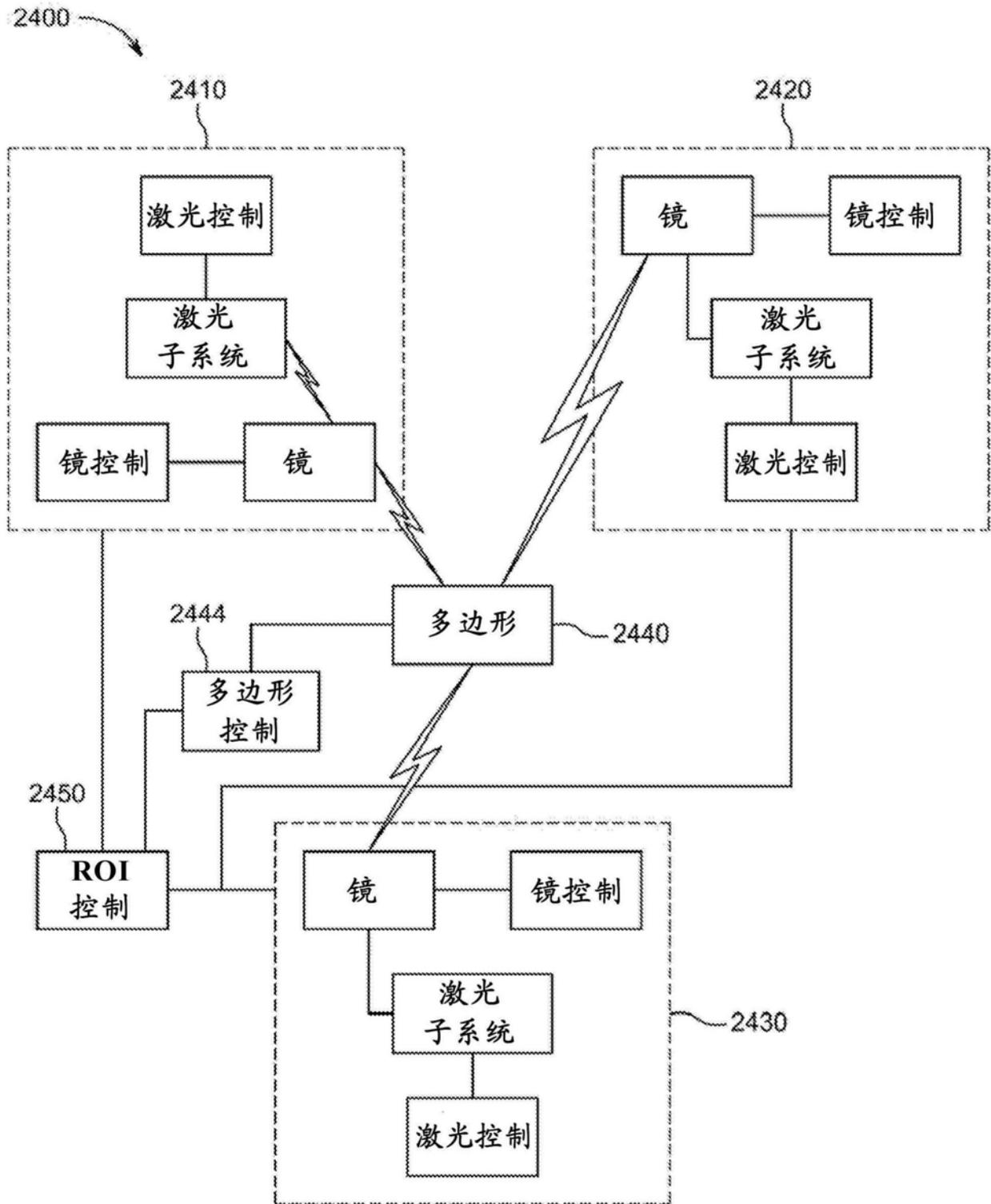


图24

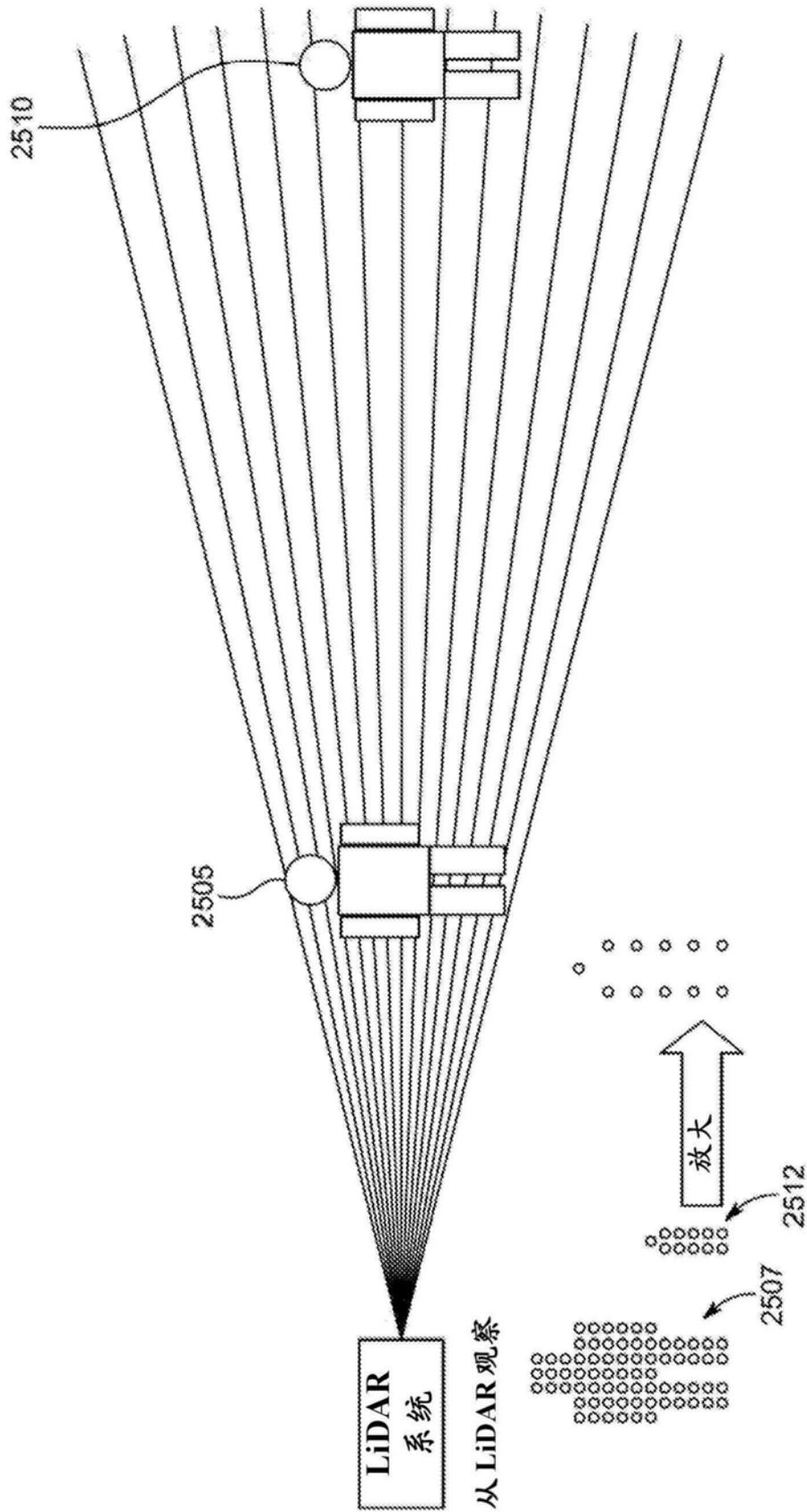


图25A

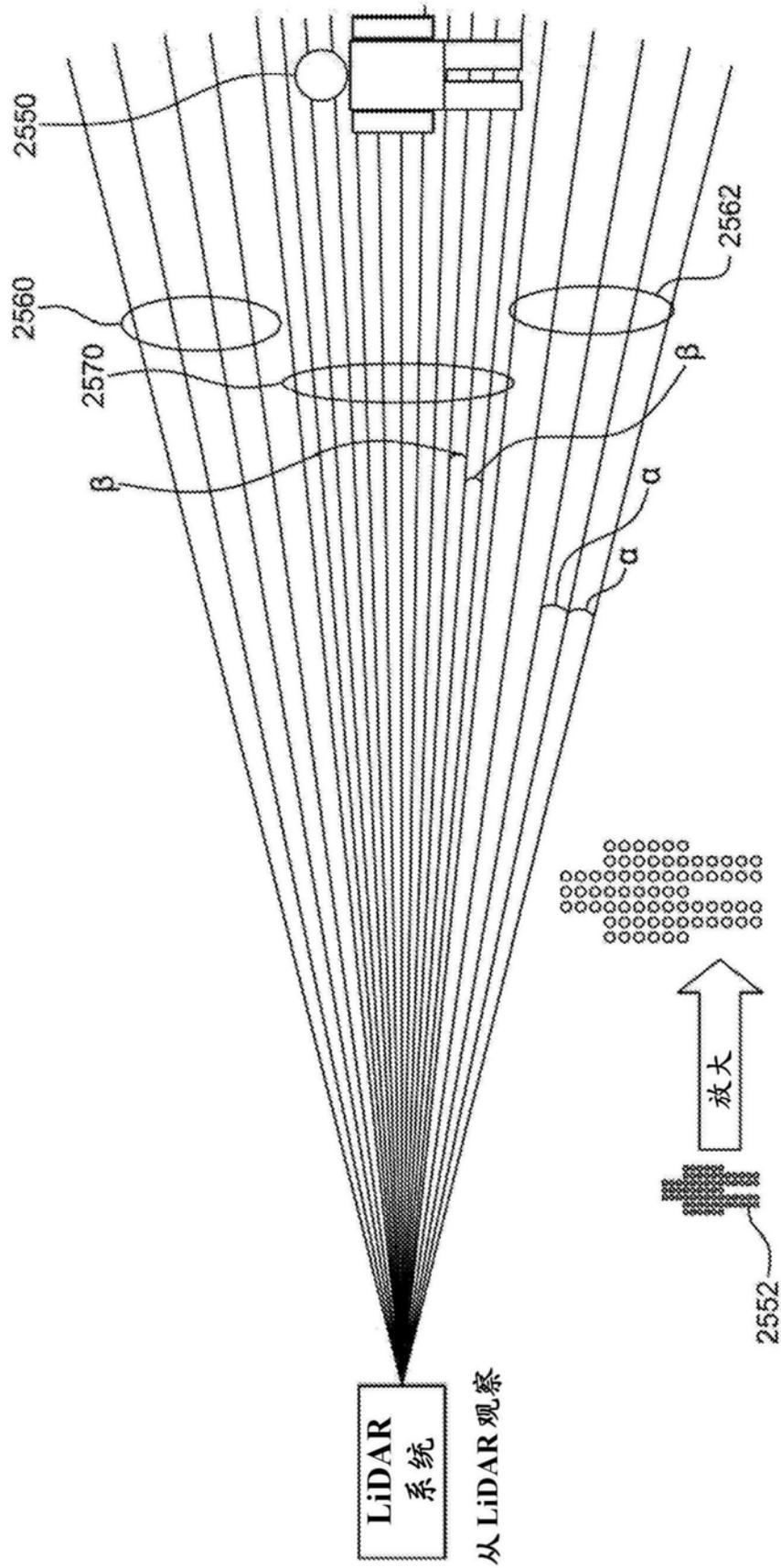


图25B

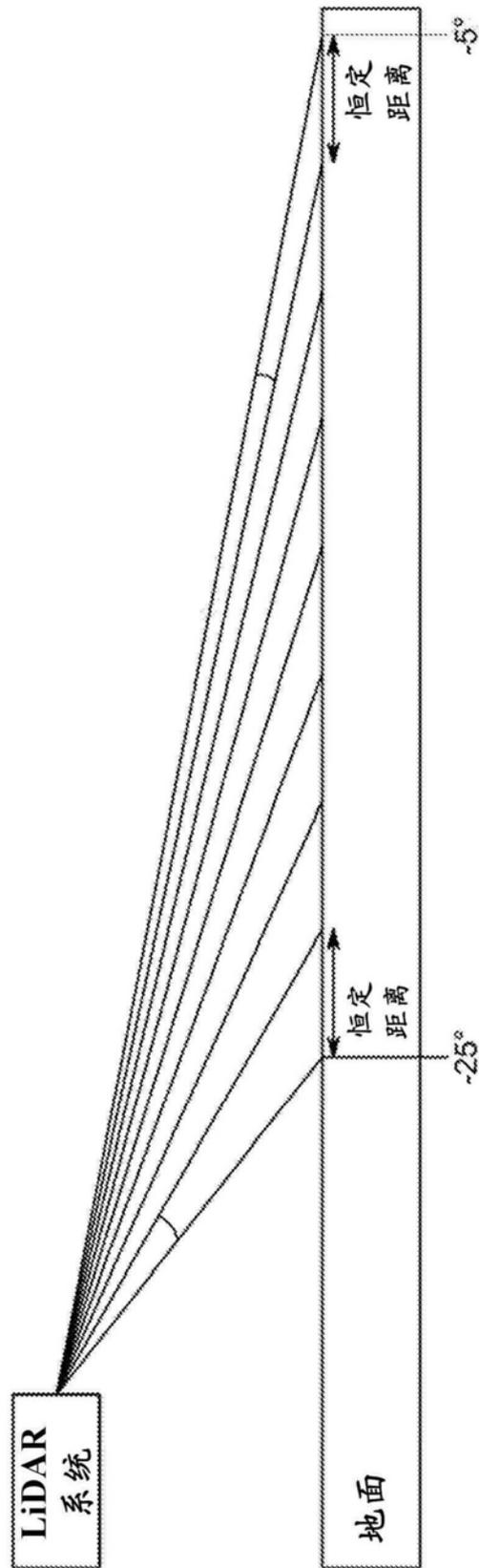


图26A

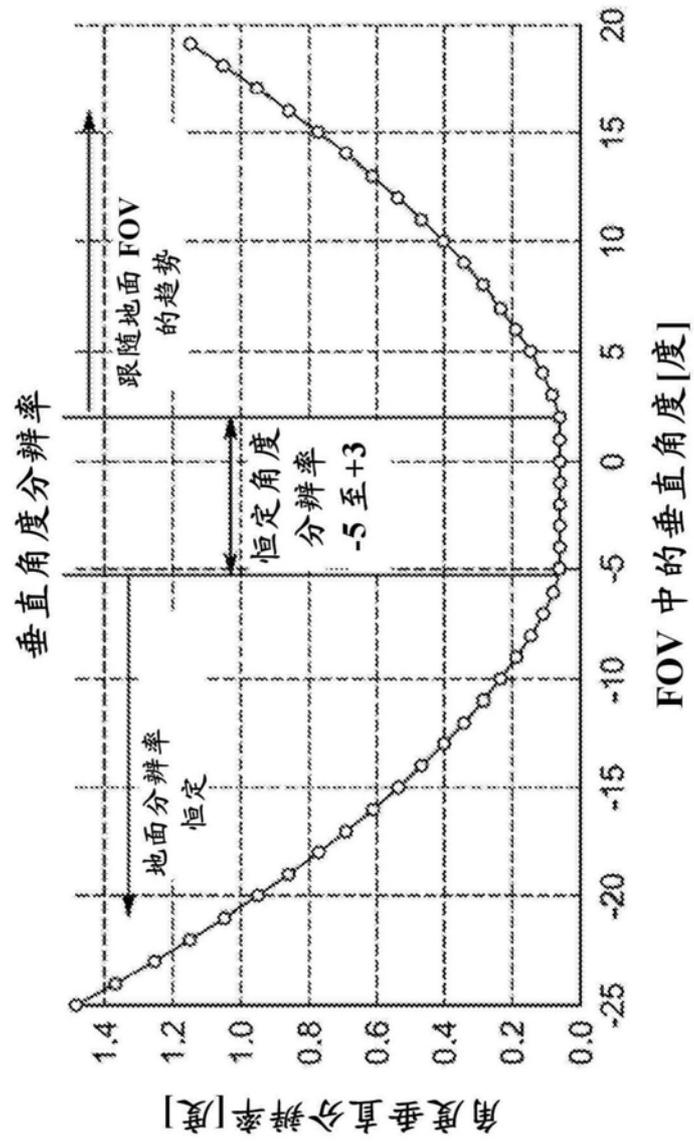


图26B

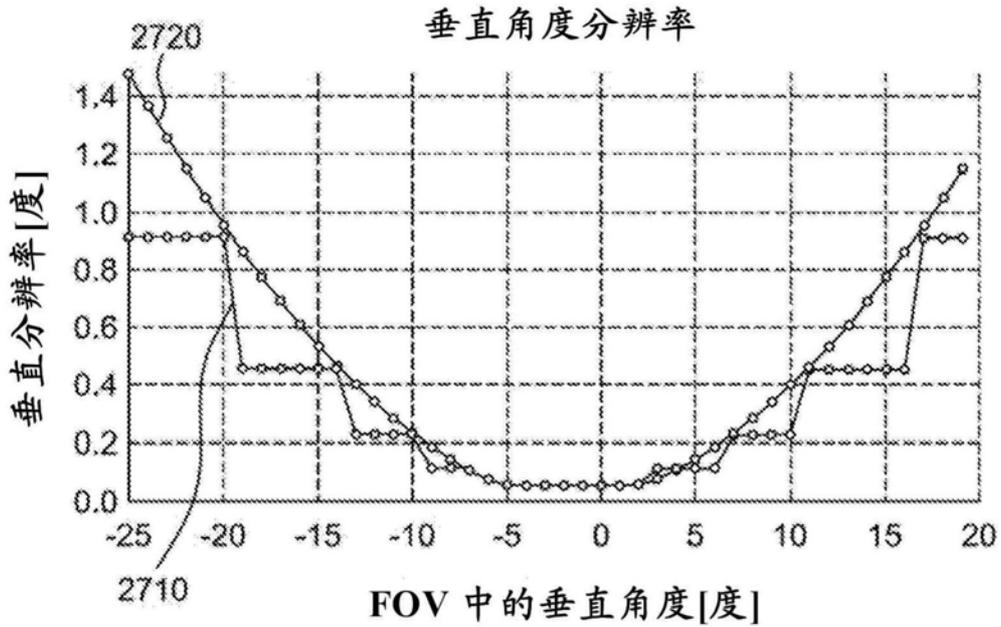


图27



图28

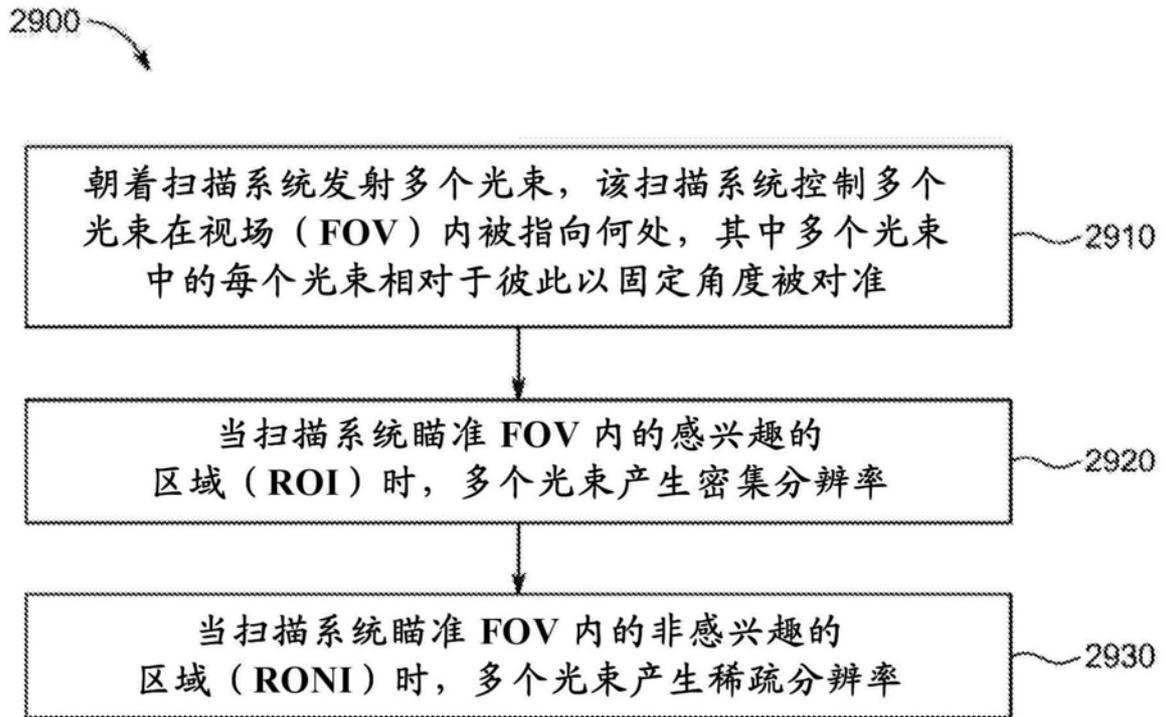


图29

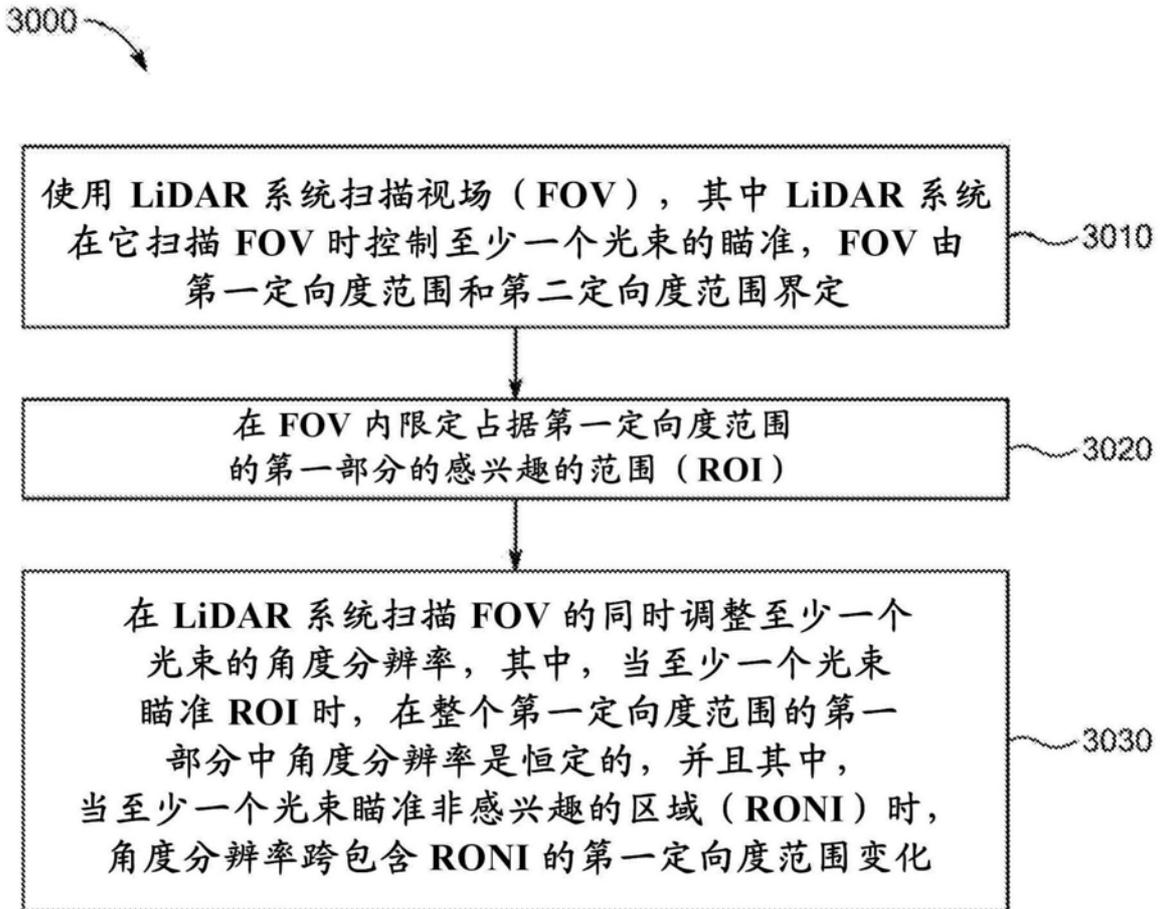


图30