



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108780004 A

(43)申请公布日 2018. 11. 09

(21)申请号 201780013631.9

叶甫根尼·贝德尔曼

(22)申请日 2017.02.07

(74)专利代理机构 北京安信方达知识产权代理

(30)优先权数据

62/299,598 2016.02.25 US

有限公司 11262

代理人 陆建萍 杨明钊

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2018.08.27

(51)Int.Cl.

G01H 9/00(2006.01)

G01P 3/38(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/IL2017/050146 2017.02.07

(87)PCT国际申请的公布数据

W02017/145145 EN 2017.08.31

(71)申请人 康廷尤斯生物测定有限公司

地址 以色列特拉维夫

(72)发明人 泽埃夫·扎勒夫斯基

哈维尔·加西亚

摩西·阿里·阿里尔·施瓦兹

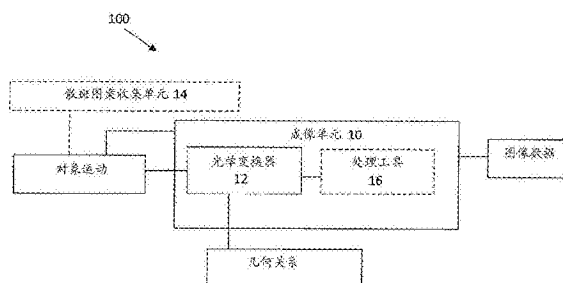
权利要求书3页 说明书10页 附图10页

(54)发明名称

用于监测运动对象的参数的方法和系统

(57)摘要

本发明涉及用于监测对象的至少一个参数的方法和系统。提供了用于监测运动对象的至少一个运动参数的成像系统，该系统包括至少一个成像单元，该成像单元包括光学变换器，该光学变换器被配置且可操作用于通过将三维空间中的六个运动自由度的不同分量转换成侧向平移来将至少一个运动参数的立体图像空间变换应用到几何关系中；其中成像单元被配置且可操作用于使运动对象在图像平面上成像，并生成指示在x-y平面中的运动对象的图像数据；成像系统生成指示六个运动自由度的运动数据。



1. 一种用于监测运动对象的至少一个运动参数的成像系统,所述系统包括:

至少一个成像单元,其中所述成像单元被配置且能够操作用于使所述运动对象在图像平面上成像并生成指示在x-y平面中的所述运动对象的图像数据;

其中所述成像单元包括光学变换器,所述光学变换器被配置且能够操作用于通过将三维空间中的六个运动自由度的不同分量转换成侧向平移来将至少一个运动参数的光学变换应用到所述运动参数和立体图像空间之间的几何关系中;

所述成像系统生成指示所述六个运动自由度的运动数据。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中所述光学变换器应用傅立叶变换、梅林变换、坐标变换或圆谐波变换中的至少一个,所述坐标变换诸如当r是径向坐标并且 θ 是角坐标时笛卡尔坐标变换为 $(\log(r), \theta)$ 。

3. 根据权利要求1或权利要求2所述的系统,其中所述成像单元选择性地能够操作用于在所述对象平面中提供所述对象的未聚焦图像,收集一系列二次散斑图案,并确定出现在所述一系列二次散斑图案中的对象区域之间的至少一个移位,以从而提供指示所述对象沿倾斜维度的运动的运动数据和在x-y平面中的图像数据。

4. 根据权利要求1或权利要求2所述的系统,包括散斑图案收集单元,所述散斑图案收集单元未被聚焦在所述物体平面中的所述对象上,并且收集多个连续的二次散斑图案,从而生成指示在x-y平面中的所述对象的图像的数据,并确定出现在所述对象的至少第一图像和第二图像中的对象区域之间的至少一个移位,以从而提供指示所述对象沿倾斜维度的运动的数据和在x-y平面中的图像数据。

5. 根据权利要求3或权利要求4所述的系统,还包括用于收集所述二次散斑图案的一部分的针孔。

6. 一种用于接收至少部分相干的光束的成像系统,所述至少部分相干的光束指示运动对象的至少一个运动参数,所述系统包括:

成像单元,其包括检测器;

干涉测量模块,其被配置且能够操作用于检测指示所述对象的相移的干涉图案,所述干涉图案指示沿z轴的时间变化;所述干涉测量模块包括至少一个光束分离器/组合器,所述光束分离器/组合器被配置用于接收至少部分相干的光束,将所述光束分离成沿基本相同的光学路径传播的对象光束和参考光束;以及

至少一个反射镜装置,其位于所述参考光束路径中,并被配置用于通过所述光束分离器/组合器来将所述参考光束朝向所述检测器反射,其中所述参考光束干扰所述对象对与所述对象光束的相互作用的响应,其中所述至少一个反射镜装置被配置用于以预定频率偏移,以引起所述干涉图案的可控时间调制。

7. 根据权利要求6所述的系统,其中所述成像单元选择性地能够操作用于在所述对象平面中提供所述对象的未聚焦图像,收集一系列二次散斑图案,并确定出现在所述一系列二次散斑图案中的对象区域之间的至少一个移位,以从而提供指示所述对象沿倾斜维度的运动的运动数据和在x-y平面中的图像数据。

8. 根据权利要求7所述的系统,包括至少部分相干的光的源。

9. 根据权利要求7或权利要求8所述的系统,其中所述源生成脉冲光,所述脉冲光具有被选择用于实现照明时期和检测时期之间的相关性的调制频率。

10. 根据权利要求7到9中的任一项所述的系统,还包括滤波器,所述滤波器被放置在所述参考路径中并配置用于使沿着所述参考路径和所述对象路径传播的光的强度相等。

11. 根据权利要求7到10中的任一项所述的系统,还包括被放置在所述检测器和所述参考路径下游之间的反馈电路,所述反馈电路被配置用于校正频率倍增。

12. 根据权利要求7到11中的任一项所述的系统,其中所述成像单元包括所述干涉测量模块,所述干涉测量模块被配置且可操作用于收集所述干涉图案。

13. 根据权利要求7到12中的任一项所述的系统,包括支撑表面,所述支撑表面用于支撑所述对象并向所述对象施加周期性刺激。

14. 一种用于监测运动对象的至少一个运动参数的方法,所述方法包括:

通过将三维空间中的六个运动自由度的不同分量转换成侧向平移来将光学变换应用到至少一个运动参数以提供所述运动参数和立体图像空间之间的几何关系;

使所述运动对象在图像平面上成像;以及

生成指示六个运动自由度的运动数据。

15. 根据权利要求14所述的方法,其中所述光学变换包括傅立叶变换、圆谐波变换、梅林变换、坐标变换中的至少一个,所述坐标变换诸如当 r 是径向坐标并且 θ 是角坐标时笛卡尔 (x, y) 坐标变换为 $(\log(r), \theta)$ 。

16. 根据权利要求14或权利要求15所述的方法,其中所述光学变换的应用包括分离在沿着第一光学路径和第二光学路径传播的第一光束和第二光束中的电磁束;将成像单元定位在所述第一光束路径中并在所述成像单元处收集一系列二次散斑图案;其中所述一系列二次散斑图案聚焦在从所述运动对象偏移的平面上,并确定出现在所述一系列二次散斑图案中的对象区域之间的至少一个移位。

17. 根据权利要求14到16中的任一项所述的方法,包括检测指示所述对象的相移的干涉图案,所述干涉图案指示沿 z 轴的时间变化。

18. 一种用于监测运动对象的至少一个运动参数的方法,所述方法包括:

使所述运动对象在图像平面上成像;

检测指示所述对象的相移的干涉图案,所述干涉图案指示沿 z 轴的时间变化;以及

可控地引起所述干涉图案的可控时间调制。

19. 根据权利要求18所述的方法,包括分离在沿着第一光学路径和第二光学路径传播的第一光束和第二光束中的电磁束;将成像单元定位在所述第一光学路径中并在所述成像单元处收集一系列二次散斑图案;其中所述一系列二次散斑图案被聚焦在从所述运动对象偏移的平面上,并确定出现在所述一系列二次散斑图案中的对象区域之间的至少一个移位。

20. 根据权利要求18或权利要求19所述的方法,包括使用至少部分相干的电磁束照射所述运动对象。

21. 根据权利要求20所述的方法,包括选择所述相干光束的相干长度,以提供在照明光斑的尺寸和所捕获的一组图案中的散斑的尺寸之间的期望比率。

22. 根据权利要求18到21中的任一项所述的方法,包括向对象施加周期性变化的刺激频率的刺激场。

23. 根据权利要求18到22中的任一项所述的方法,包括使所述干涉图案同时成像到所

述成像平面上。

24. 根据权利要求18到23中的任一项所述的方法,包括在所述干涉图案和所述运动数据之间及时进行分离。

25. 根据权利要求18到24中的任一项所述的方法,包括测量所述运动对象沿z轴的速度和频率中的至少一个。

26. 根据权利要求18到25中的任一项所述的方法,包括通过将所述至少部分相干的电磁束的相干长度选择为比在所述对象和反射表面之间的典型距离更短来在所述运动对象和至少部分地围绕所述对象的所述反射表面之间进行分离。

用于监测运动对象的参数的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及用于监测运动对象的至少一个参数的方法和系统。

[0002] 背景

[0003] 对于许多应用,诸如机器人、车辆导航、计算机游戏应用、医疗应用和其他问题领域,能够跟踪包括设备在已知环境中移动时的3D位置(以及可选地还有定向)的运动是有价值的。设备的定向和位置是已知的,并且可以包括六个自由度(三个平移自由度和三个旋转自由度)。

[0004] 用于跟踪对象在环境中的3D位置的现有方法,诸如飞行时间相机系统、结构光相机系统、基准标记系统、全球定位系统等,常常最适合于粗糙等级的细节。用于对象的快速和/或细粒度跟踪的现有装备需要相当大的固定基础设施,且通常对大多数消费者来说成本过高。

[0005] 散斑图案是当相干光源(诸如,激光器)穿过漫射器时或者当相干光源从具有大于照明的波长的不规则性的表面散射时由相干光源产生的照明的微图案。激光散斑图像的流在一些类型的计算机鼠标中用于计算跟踪鼠标的运动的2D速度矢量。在不同时间获取的相同散斑图案的图像中的相应的散斑之间的差异给出关于2D偏移的信息。

[0006] 一般描述

[0007] 本发明涉及用于监测对象的至少一个参数的方法和系统。在这里,“对象”可以是单个元件、受験对象、至少一个单独的人的身体部分、或者一组元件或受験对象或其表面。身体的部分可以是被动软组织。对象可以是均匀或不均匀的背反射表面。参数可以是个体的生理参数/状况。根据本发明的广泛方面,提供了用于监测运动对象的至少一个运动参数的成像系统,该系统包括至少一个成像单元,该成像单元包括光学变换器,该光学变换器被配置且可操作用于通过将三维空间中的六个运动自由度的不同分量转换成侧向(lateral)平移来将至少一个运动参数的立体图像空间变换应用到几何关系中;其中成像单元被配置且可操作用于在图像平面上对运动对象成像,并生成指示在x-y平面中的运动对象的图像数据;成像系统生成指示六个运动自由度的运动数据。因此,成像单元被配置用于生成x-y平面信息,并且将对象内的运动的直接变换应用到成像平面中。

[0008] 在一些实施方式中,光学变换器应用傅立叶变换、梅林变换、坐标变换(诸如,当r是径向坐标并且 θ 是角坐标时笛卡尔坐标变换为 $(\log(r), \theta)$)或圆谐波变换中的至少一个。

[0009] 通常,表面的运动可以分成诸如横向运动、轴向运动和倾斜(轴将感兴趣的表面与成像单元相连)的分量。在一些实施方式中,本发明的技术对倾斜具有增强的灵敏度,该倾斜在成像器感测平面(PDA)上主要引起散斑图案移位。感兴趣的表面的横向运动引起散斑图案图像的移位和变化,但是在成像利用在所偏移(例如,向前或向下偏移)的平面上的聚焦(即,未聚焦图像)的情况下,这样引起的移位常常显著小于由倾斜度引起的移位。在这种特定情况下,立体图像空间变换是傅立叶变换。然后通过确定散斑图案在六坐标空间中的移位来确定感兴趣的参数的完全变化。因此,在一些实施方式中,成像单元选择性地可操作用于在对象平面中提供对象的未聚焦图像,收集一系列二次散斑图案,并确定出现在该一

系列二次散斑图案中的对象区域之间的至少一个移位,以从而提供指示对象沿倾斜维度(tilt dimension)的运动的运动数据和在x-y平面中的图像数据。未聚焦成像可以由被配置用于在图像平面上使对运动对象成像的成像单元执行,或者由未聚焦在对象平面中的对象上的其他成像单元执行。

[0010] 在一些实施方式中,该系统还包括用于收集二次散斑图案的一部分的针孔。

[0011] 根据本发明的另一广泛方面,提供了用于监测运动对象的至少一个运动参数的成像系统,该系统包括:成像单元,其包括具有某些检测时期(sessions)的检测器;至少部分相干的光的源生成具有预定频率调制的至少部分相干的光束。由于干涉条纹图案的增加的频率变化,选择源的频率调制来克服检测器限制的每秒帧速率。此外,相对于对象的表面运动的频率范围来选择源的频率调制。优选地,相干照明是以具有被选择成实现照明和检测时期(采样率)之间的相关性的调制频率的脉冲光的形式。因此,源的脉动允许通过慢相机检测快速振动。

[0012] 根据本发明的另一广泛方面,提供了用于监测运动对象的至少一个运动参数的成像系统,该系统包括:成像单元,其包括检测器;干涉测量模块,其被配置且可操作用于检测指示对象的相移的干涉图案,该干涉图案指示沿z轴的时间变化;干涉测量模块包括至少一个光束分离器/组合器,其被配置用于接收至少部分相干的光束,将光束分离成沿基本相同的光学路径传播的对象光束和参考光束;以及至少一个反射镜装置,其位于参考光束路径中并被配置用于通过光束分离器/组合器将参考光束朝向检测器反射,其中该参考光束干扰对象对与对象光束的相互作用的响应,其中至少一个反射镜装置被配置用于以预定频率偏移,以引起干涉图案的可控时间调制。干涉测量模块提供指示对象的表面在z轴中的时间变化的干涉图案。优选地,使用马赫-曾德尔干涉仪。

[0013] 干涉测量模块可以是成像系统的独立模块,或者可以集成在成像单元中。

[0014] 在一些实施方式中,该系统包括照明源,其生成具有预定频率调制的至少部分相干的光的光束。由于干涉条纹图案的增加的频率变化,选择源的频率调制来克服检测器限制的每秒帧速率。此外,相对于表面运动的频率范围来选择源的频率调制。优选地,相干照明是以具有被选择成实现照明和检测时期(采样率)之间的相关性的调制频率的脉冲光的形式。因此,源的脉动允许通过慢相机检测快速振动。

[0015] 在一些实施方式中,该系统包括放置在参考路径中并且被配置用于使沿着参考路径和对象路径传播的光的强度相等的滤波器。

[0016] 在一些实施方式中,该系统包括放置在检测器和参考路径下游之间的反馈电路,该反馈电路被配置用于校正频率倍增。

[0017] 在一些实施方式中,该系统被配置成使得在同一成像单元/检测器上同时获得倾斜和z轴数据。为此目的,成像单元利用对象路径作为成像通道以通过接收在对象处起源的反射的二次散斑图案(由于在对象的至少一部分中的运动/振动)来产生对象的未聚焦图像,并且提供指示在x-y平面中的散斑图案的变化的图像数据,即相对于x-y平面的倾斜的图像数据。可替代地,倾斜和z轴数据的收集可以在时间上分开。干涉测量模块的反射镜可以可控地移动,以引起干涉图案的可控时间调制。这实现了在检测到的图像中倾斜和z轴数据之间的分离。

[0018] 因此,在一些实施方式中,该技术使用表面在z轴上的时间变化的检测来提供具有

倾斜分量的x-y平面中的表面运动的检测。本发明的技术将表面运动的相干散斑图案的成像与在同一扫描时间指示表面在z轴上的振动的干涉变化的检测相组合。该技术包括使由对象或受验对象或通常感兴趣的表面形成的相干散斑图案成像。可以通过由激光器或另一光源的相干光照射感兴趣的静止或移动的表面来形成图案。表面运动可以具有例如振动类型。振动可以由声音引起,或者振动本身可以产生声音,因而使感兴趣的表面的运动与声音相关联。

[0019] 在一些实施方式中,该系统包括用于支撑对象并向对象施加周期性刺激的支撑表面。

[0020] 根据本发明的另一广泛方面,提供了用于监测运动对象的至少一个运动参数的方法,该方法包括:通过将三维空间中的六个运动自由度的不同分量转换成侧向平移来将至少一个运动参数的立体图像空间变换应用到几何关系中;使运动对象在图像平面上成像;以及生成指示六个运动自由度的运动数据。

[0021] 根据本发明的另一广泛方面,提供了用于监测运动对象的至少一个运动参数的方法,该方法包括使运动对象在图像平面上成像;检测指示对象的相移的干涉图案,该干涉图案指示沿z轴的时间变化;以及可控地引起干涉图案的可控时间调制。

[0022] 在一些实施方式中,该方法包括用至少部分相干的电磁束照射运动对象。可以选择相干光束的相干长度,以提供在照明光斑的尺寸和所捕获的一组图案中的散斑的尺寸之间的期望比率。

[0023] 在一些实施方式中,该方法包括向对象施加周期性变化的刺激频率的刺激场。

[0024] 在一些实施方式中,该方法包括使干涉图案同时成像到成像平面上。

[0025] 在一些实施方式中,该方法包括在干涉图案和运动数据之间及时进行分离。

[0026] 在一些实施方式中,该方法包括测量运动对象沿z轴的速度和频率中的至少一个。

[0027] 在对象位于某个表面后面(例如,在衣服后面的个体的身体)的一些应用中,选择照明的相干长度比对象和这种表面之间的典型距离短。因此,在一些实施方式中,该方法包括通过将至少部分相干的电磁束的相干长度选择为比对象和反射表面之间的典型距离短来在运动对象和至少部分地围绕对象的反射表面之间进行分离。

[0028] 附图简述

[0029] 为了更好地理解本文中所公开的主题并且举例说明它如何可以在实践中被实行,现在将参考附图仅作为非限制性示例来描述实施方式,在附图中:

[0030] 图1表示根据本发明的广泛方面的本发明的成像系统的主要模块的示意图;

[0031] 图2a表示根据本发明的另一广泛方面的本发明的成像系统的主要模块的示意图;

[0032] 图2b表示根据本发明的一些实施方式的成像系统的可能配置的操作的特定和非限制性的示意图;

[0033] 图3表示根据本发明的一些实施方式的成像系统的配置的示例;

[0034] 图4示出散斑图案和条纹(fringes)图案;

[0035] 图5表示成像系统的实施方式的光学配置,其中反射镜装置被配置用于以预定频率偏移,以引起干涉图案的可控时间调制;

[0036] 图6示出在照明和检测时期之间的相关性,其中由于激光的脉冲而获取检测时期的光谱复制;

- [0037] 图7表示本发明的成像系统的特定和非限制性的示例；
[0038] 图8a-图8g示出激光调制结果；
[0039] 图9a-图9b示出反射镜调制结果；以及
[0040] 图10示出激光和反射镜装置调制结果。

具体实施方式

[0041] 刚性主体在空间中的位置和定向由六个自由度定义：三个平移分量(x-、y-、z-)和三个旋转分量(翻滚、俯仰和偏航旋转)。通常，表面的运动可以分成诸如横向运动、轴向运动和倾斜(轴将感兴趣表面与成像单元相连)的分量。根据本发明的一些实施方式，为了监测运动对象的至少一个运动参数，通过将三维空间中的六个运动自由度的不同分量转换成侧向平移来将光学变换应用到至少一个运动参数，以提供在运动参数和立体图像空间之间的几何关系。然后将运动对象成像在图像平面上，并生成指示六个运动自由度的运动数据。光学变换包括傅立叶变换、圆谐波变换、梅林变换、坐标变换中的至少一个，坐标变换诸如当r是径向坐标且 θ 是角坐标时笛卡尔(x,y)坐标变换为 $(\log(r), \theta)$ 。参考图1，其表示根据本发明的广泛方面的本发明的成像系统的主要模块的示意图。成像系统100旨在监测运动对象的至少一个运动参数。系统100包括至少一个成像单元10，该成像单元10被配置且可操作用于使运动对象在图像平面上成像并生成指示在x-y平面中的运动对象的图像数据。成像单元10包括光学变换器12，该光学变换器12被配置且可操作用于通过将在三维空间中的六个运动自由度的不同分量转换成侧向平移来将至少一个运动参数的光学变换应用到运动参数和立体图像空间之间的几何关系中。光学变换器12被配置且可操作用于将不同的运动特性转换成几何关系。光学变换器12是放置在成像单元10的孔径平面中的光学元件，该光学元件被配置为应用光学变换，并因此检测被检查的组织/对象的运动的不同分量。因此，成像系统100生成指示六个运动自由度的运动数据。在一些实施方式中，光学变换器12应用傅立叶变换、梅林变换、坐标变换(诸如，当r是径向坐标并且 θ 是角坐标时笛卡尔坐标变换为 $(\log(r), \theta)$)或圆谐波变换中的至少一个。因此，本发明的系统和方法为任何一般运动的六个自由度的远程感测提供了修改的光学变换。光学变换器12可以例如是在以下公开文件中所描述的坐标变换滤波器或任何常见的线性光学变换器：Z. Zalevsky和D.Mendlovic的“Optical implementation of the Bode transform”(Appl.Opt.34,828-831(1995))；Zalevsky,D.Mendlovic和G.Shabtay的“Transformations in optics:Novel perspectives,approaches,applications and implementations”(J.of Opt.& Quant.Elect.34,1175-1181(2002))；或者D.Sazbon,Z.Zalevsky,E.Rivlin和D.Mendlovic的“Using Fourier/Mellin-based correlators and their fractional versions in navigational tasks”(Journal of Pattern Recognition,Vol.35(12),pp.2993-2999(2002))。

[0042] 在一些实施方式中，成像单元10选择性地可操作用于在对象平面中提供对象的未聚焦图像，收集一系列二次散斑图案，并确定出现在这一系列二次散斑图案中的对象区域之间的至少一个移位，以从而提供指示对象沿倾斜维度的运动的运动数据和在x-y平面中的图像数据。该一系列二次散斑图案聚焦在从运动对象偏移的平面上。散斑图案方法基于通过适当地散焦的光学器件对散斑成像来对二次反射散斑进行的时间跟踪。对象表面的倾

斜变化反映散斑图案在x-y平面中的运动。在这种特定情况下,立体图像空间变换是傅立叶变换(远场散焦成像),其将倾斜变化转换成散斑图案的运动。

[0043] 可替代地,系统100包括散斑图案收集单元14,该散斑图案收集单元14未聚焦在对象平面中的对象上,并且收集多个连续的二次散斑图案,从而生成指示在x-y平面中的对象的图像的数据,并确定至少出现在对象的第一和第二图像中的对象区域之间的至少一个移位,以从而提供指示对象沿倾斜维度的运动的数据和在x-y平面中的图像数据。

[0044] 成像单元10可以包括处理工具16,该处理工具16被配置为确定在该一系列二次散斑图案之间的移位,并提供指示对象沿倾斜维度的运动的运动数据和在x-y平面中的图像数据。处理工具16可以是DSP、微控制器、FPGA、ASIC等或任何其他常规和/或专用的计算单元/系统。术语“处理工具”应该被宽泛地解释为涵盖具有数据处理能力的任何类型的电子设备,作为非限制性示例包括个人计算机、服务器、计算系统、通信设备、处理器(例如,数字信号处理器(DSP)、微控制器、现场可编程门阵列(FPGA)、专用集成电路(ASIC)等)和其他电子计算设备。处理器工具可以包括通用计算机处理器,其以软件被编程为执行在下文中描述的功能。尽管处理工具16在图1中作为示例被示为成像单元10的集成单元,但是处理工具16的一些或所有处理功能可以由在成像单元10的壳体内部的合适的专用电路或者与成像单元10相关联的其他方式执行,或者可以是单独的独立工具。除非另有说明,否则如从下面的讨论中一样明显,应当认识到,在整个说明书中利用诸如“处理”、“运算”、“计算”、“确定”、“比较”等的术语的讨论是指将数据操纵和/或转换为其他数据的计算机的行动和/或过程,该数据被表示为物理量,例如诸如电子量。此外,根据本文的教导的操作可以由出于期望目的而特别构造的计算机执行或由出于期望目的由存储在计算机可读存储介质中的计算机程序特别配置的通用计算机来执行。软件可例如通过网络以电子形式下载到处理工具16,或者可替代地,它可以在诸如光学、磁性或电子存储器介质的有形介质上被提供。可替代地或另外地,处理单元16的一些或所有功能可以在诸如定制或半定制的集成电路或可编程数字信号处理器(DSP)的专用硬件中实现。

[0045] 因此,本发明的系统和方法提供了任何一般运动的六个自由度的远程感测。如上所述,成像单元10或散斑图案收集单元14选择性地可操作于在对象平面中提供对象的未聚焦图像(远场成像)。处理工具16分析散斑图案的时间变化,并将散斑的运动转换成运动的倾斜信息,而x-y信息以及z轴运动将不修改散斑图案。另一方面,如果由成像单元10执行对象的聚焦图像(不是散斑而是规则成像),则可以确定x-y运动和可能还有z轴运动(取决于图像的比例)。在一些实施方式中,成像系统100提供修改的感测系统,该感测系统具有两个图像通道,这两个图像通道都具有散斑图案被分析的散焦图像和对象的规则聚焦图像(规则图像且不是散斑图案分析)。远场散斑图案和近场图像的组合(两个图像的使用)提供提取关于运动特征的更多信息的能力。近场图像给出关于在x-y平面内的运动和可能还有关于z轴运动的信息,且远场散斑图案分析给出角倾斜维度。

[0046] 用于监测运动对象的至少一个运动参数的另一技术包括在图像平面上使运动对象成像;检测指示对象的相移的干涉图案,该干涉图案指示沿z轴的时间变化;以及可控地引起干涉图案的可控时间调制。关于这一点,参考图2a,图2a表示根据本发明的另一广泛方面的本发明的成像系统的主要模块的示意图。成像系统200包括成像单元20和干涉测量模块24,成像单元20包括检测器22,干涉测量模块24被配置且可操作于检测指示对象的相

移的干涉图案,干涉图案指示沿 z 轴的时间变化。为了获得全部表面运动数据,干涉测量模块24用于检测表面在 z 轴上的时间变化。尽管为了简单起见,干涉测量模块24被表示为独立单元,其可包括例如在图3中所图示的它自己的检测器,但干涉测量模块24可与成像单元20集成在一起,使得干涉图案被同时成像到成像单元20的成像平面上。因此,在一些实施方式中,成像单元20包括干涉测量模块24。可以使用马赫-曾德尔干涉仪配置。当只有一条路径从运动对象反射时,至少部分相干的光束被分成两条相似的路径。结果是在这两条光束之间的相移由路径之一的长度的变化引起。那些相移产生干涉图案(条纹)。在 z 轴上的表面的振动改变了马赫-曾德尔激光路径之一的路径长度。这些变化反映在检测器和相机平面上的两个结合的光束的干涉图案(条纹)中。在路径的长度差异中包含的波长的数量改变条纹振荡频率。使用激光多普勒测振仪(LDV)技术测量在 z 轴上的对象表面振动的速度。如将在下面进一步详述的,振动速度和频率是从由于表面的运动而产生的所反射的部分相干的光束的多普勒频移中提取的。因此,本发明的技术测量运动对象沿 z 轴的速度和频率中的至少一个,以从而能够在干涉图案和运动数据之间及时进行分离。

[0047] 参考图2b,图2b表示根据本发明一些实施方式的成像系统的可能配置的操作的特定和非限制性示意图。在该配置中,成像系统接收指示运动对象的至少一个运动参数的至少部分相干的光束。至少部分相干的光束被分成两条路径:对象路径和参考路径。对象路径的至少部分相干的光束由成像单元接收,该成像单元选择性地可操作用于在对象平面中提供对象的未聚焦图像,该未聚焦图像生成指示对象沿倾斜维度的运动的运动数据。如上所述,在一些实施方式中,该方法包括定位成像单元以在对象平面中提供对象的未聚焦图像,和在成像单元处收集一系列二次散斑图案,并且确定出现在该一系列二次散斑图案中的对象区域之间的至少一个移位。因此,成像单元选择性地可操作用于在对象平面中提供对象的未聚焦图像,收集一系列二次散斑图案,并确定出现在该一系列二次散斑图案中的对象区域之间的至少一个移位,以从而提供指示对象沿倾斜维度的运动的运动数据和在 x - y 平面中的图像数据。该一系列二次散斑图案被聚焦在从运动对象偏移的平面上。散斑图案方法基于通过适当散焦的光学器件对散斑成像来对二次反射散斑进行的时间跟踪。对象表面的倾斜变化反映散斑图案在 x - y 平面中的运动。对象路径和参考路径被引入到干涉测量模块中,该干涉测量模块被配置且可操作用于检测指示对象的相移的干涉图案,该干涉图案指示沿 z 轴的时间变化。

[0048] 参考图3,其表示根据本发明的一些实施方式的成像系统的配置的示例。在该示例中,成像系统300包括干涉仪模块302,该干涉仪模块302包括至少一个光束分离器/组合器304和至少一个反射镜装置306,该光束分离器/组合器被配置用于接收至少部分相干的光束,将光束分离成沿基本相同的光学路径传播的分别被标注为 O_1 和 R 的对象光束和参考光束,该反射镜装置位于参考光束路径中,并被配置用于通过光束分离器/组合器304将参考光束 R 朝向检测器308反射,其中参考光束 R 干扰对象对与对象光束的相互作用的响应(标注为 O_3)。成像系统300可以包括至少部分相干的光的源310。散斑图案和条纹图案在图4中示出。

[0049] 参考图5,其示出了成像系统400的实施方式的光学配置,其中反射镜装置306被配置用于以预定频率 f_2 偏移,以引起干涉图案的可控时间调制。另外或可替代地,照明源310可以生成具有被选择成实现照明时期和检测时期之间的相关性的调制频率 f_1 的脉冲光。

[0050] 关于这一点,应当理解,如上所述,获取由对象的直接照明产生的二次散斑图案,以用于提取倾斜信息。为了监测倾斜振动,测量每个连续散斑图像的相关性。通过分析相关性峰值位置的变化,提取对象的相对倾斜运动。散斑图案的相对移位 β 与由于对象时间倾斜运动而引起的散斑图案的空间位置的变化成比例:

$$[0051] \quad \beta = \frac{4\pi \tan \alpha}{\lambda} \approx \frac{4\pi\alpha}{\lambda} \quad (1)$$

[0052] 其中, α 是对象照明的表面的随时间变化的倾斜角, λ 是照明波长。对象的时间倾斜运动与散斑图案的变化成比例。

[0053] 此外,用相移测量结果来操作的干涉仪提供 z 轴信息。因此,为了监测 z 轴振动干扰,使用行为测量结果。条纹成像的相长干涉和相消干涉的图案是根据在两条路径之间的长度差:

$$[0054] \quad \text{相长干涉: } \Delta L = \pm n\lambda$$

$$[0055] \quad \text{相消干涉: } \Delta L = \pm \left(n + \frac{1}{2} \right) \lambda \quad (2)$$

[0056] 其中 ΔL 是两条路径长度差, n 是照明波长的数量。通过分析条纹成像中的运动,可以提取对象的路径的速度的变化。长度差中的照明波长的数量乘以条纹图案成像的频率运动。例如,对于具有约1-2Hz(像心脏搏动一样)的频率和约532nm的激光波长照明的 $\Delta L = 1\text{mm}$ 的对象运动,条纹图案运动将在约1880-3760Hz的频率范围内。

[0057] 这种频率倍增的情况导致检测器限制帧速率的问题。为了解决这个问题,可以使用照明源的调制。调制频率是使得在它和对象频率带宽之间的差异在检测器限制帧速率中:

$$[0058] \quad \cos(\lambda f_3 kt) \cos(\lambda f_2 kt) = \frac{\cos(f_3 - f_2)\lambda kt + \cos(f_3 + f_2)\lambda kt}{2} \quad (3)$$

[0059] 其中, f_3 、 f_2 分别是对象和激光的频率, k 是波数。

[0060] 因此,本发明的成像系统能够以频率 f_1 执行照明源的脉动和/或以频率 f_2 执行干涉仪反射镜的调制。如上所述,当成像单元在对象平面中提供对象的未聚焦图像时,在检测器平面处收集一系列二次散斑图案。应当理解,通常散斑图案具有 μ_1 的频率,且干涉图案的条纹具有 μ_2 的频率。如果照明源310和干涉测量反射镜装置306分别以 f_1 和 f_2 的频率进行调制,则获得以下结果:条纹将以 $\mu_2 + f_1 + f_2$ 的频率运动,以及散斑将以 $\mu_1 + f_1$ 的频率运动。照明时期和检测时期之间的相关性在图6中示出,其中由于激光的脉冲而获取检测时期的光谱复制。结果显示,可以使用低采样率检测器,例如甚至以规则视频速率(例如,50或60fps)操作的检测器(且因此可以使用空间中的许多像素,并且可以执行大视场分析),因为照明源执行光谱分布到低频带区域的光学向下转换(因为它实现了光学采样过程),并且反射镜的频率 f_2 连同空间信息一起允许在倾斜运动和轴向运动之间进行分离。图6示意性示出了由于照明源310的脉动,高的时间频率(例如,几KHz的频率)可以如何被向下转换以允许它们使用慢速率检测器(例如,以几百Hz的速率来操作的检测器)来采样。可以看到,高频如何被折叠成由检测器采样的低频谱带。因此,该成像系统的实施方式提供了用于远程感测任何一般运动的六个自由度的修改的基于干扰的配置。

[0061] 参考图7,图7表示本发明的成像系统的特定和非限制性示例。成像系统500尤其包括产生至少部分相干的光束的照明源510。在该示例中,成像系统500还包括光束分离器504和反射镜装置,该光束分离器被配置用于接收至少部分相干的光束,将光束分离成沿着基本上相同的光学路径传播的分别被标注为O和R的对象光束和参考光束,该反射镜装置位于参考光束路径中,并且在该示例中包括被标注为506a和506b的三个可调节反射镜。可调节反射镜506a被配置用于将参考光束R朝向相机509反射,其中参考光束R通过第二光束分离器/组合器505干扰对象对与对象光束的相互作用的响应(其被标注为O)。反射镜装置可以改变参考路径的长度,以便使用两条相似的路径并根据其相干长度来校准干涉仪。因为在参考路径中的至少部分相干的光束直接到达相机509,而在对象路径中的至少部分相干的光束通过从对象的反射而获得,因此来自在相机509上的两条路径的至少部分相干的光束的强度不相同。由于那个原因,滤波器511可以被放置在参考路径中,以使沿着参考路径和对象路径传播的光的两个路径强度相等。成像系统500还包括检测器508。应当注意,在该特定和非限制性示例中,相机509被配置且可操作用于通过跟踪散斑运动(或使对象成像)来监测倾斜移位,而检测器508被配置且可操作用于监测对象的轴向运动。这两个功能可以由同一成像元件执行。检测器508被配置用于接收/收集散斑图案和干涉条纹,以便执行运动估计。为了仅检测散斑图案和条纹图案的小区域,针孔513可以用于收集二次散斑图案的一部分,并且可以附接到检测器508。在该示例中,针孔是200 μm 。在该示例中,系统500还包括被放置在检测器508和参考路径下游之间的反馈电路512。因此,反馈电路512从检测器508被放置回到参考路径,并且被配置用于校正频率倍增。应该理解,为了条纹图案成像的稳定,应该校正由被包含在对象路径差异中的波长的数量引起的频率倍增。反馈电路512包括微分放大器,来自检测器508的输出信号以负反馈通过该微分放大器。微分放大器可以由DC电源供电。来自放大器导出的模拟放大器驱动器的输出导出信号控制压电致动器507,压电致动器507附接到参考路径中的反射镜装置506的受控反射镜506b。受控反射镜运动补偿由于路径长度变化中的波长的数量而导致的频率倍增的不稳定性。在一些实施方式中,系统500包括用于支撑对象并向对象施加周期性刺激的支撑表面。通过这种方式,周期性变化的刺激频率的刺激场可以施加到对象。

[0062] 在一些实施方式中,照明源510被控制为选择至少部分相干的光束的相干长度,以提供在照明光斑的尺寸和所捕获的一组图案中的散斑的尺寸之间的期望比率。通过这种方式,系统500实现了在对象的各个组件的不同运动之间的分离。更一般地,通过使用一定程度的部分相干性和/或多个波长,可以提取关于被检查对象(例如,具有背反射表面)的更多信息。在这一点上,应当理解,当例如被检查的受检对象穿着诸如衬衫的衣服时,激光束的背反射源自衬衫的表面以及在衬衫下面的受检对象身体的组织(例如,来自他的胸部)。这种背反射中的每个反射产生它自己的散斑图案,并且因为两个背反射表面中的每一个可以独立移动,所以这两个不同的散斑图案和它们的随时间变化的特性混合,并且不允许在两个不同类型的表面的运动之间的适当的分析或分离。本发明的技术通过使用照明源501的受控的部分相干性(空间或时间)来产生这种分离。可以将至少部分相干的光束的相干长度选择为比在组织和衬衫之间的距离短,以防止这两种不同的散斑图案之间的干扰。这两种不同的散斑图案可以通过图像处理来进行分离,因为它们中的每一个都具有不同的时间动态特性。这可以由图1中所示的处理工具16来实现。因此,本发明的技术包括通过将至少部

分相干的电磁束的相干长度选择为比在对象和反射表面之间的典型距离短来在运动对象和至少部分包围对象的反射表面之间进行分离。

[0063] 可替代地或另外地,可以使用两个或更多个波长。因为每个波长具有进入到组织或衬衫内中的不同的穿透深度,在这两个或更多个波长中的每一个波长处获得的散斑图案具有不同的混合。因为对于每个波长存在不同的线性混合系数,所以在捕获足够的随时间变化的信息之后,这两种不同类型的图案(来自组织和来自衬衫)通过图像处理可进行分离。因此,本发明的技术包括通过生成具有不同的线性混合系数的至少两个波长来在运动对象和至少部分地包围对象的反射表面之间进行分离。

[0064] 在由本发明的发明人测试的装置中,照明源510是具有532nm的波长和用驱动器(Photop LDC-2500S)操作的最大300mW的功率的DPGL-2100F型的Photop Suwtech公司的激光二极管;检测器508是340-1100nm、2.4MHz BW、100mm²的Thorlabs PDA100A-EC型的硅可切换增益检测器;相机509是Pixellink PL-B761U型;压电致动器507是由Piezomechanik SVR 1000-1型的模拟放大器控制的低压压电致动器;给微分放大器供电的DC电源是Lion LE-3003D-3型;支撑表面是由信号发生器(Tektronix AFG1022)控制的2 1/4"直径、50欧姆0.5瓦的OSC LS13C050型扬声器。系统500还包括用于重定向对象光束的另一反射镜、用于聚焦参考光束和对象光束的三个透镜、两个xyz级、一个x级和双中性密度(ND)滤光轮。

[0065] 本发明的发明人已经进行了一些实验来使用无反馈的开路测试照明源频率调制。如上所述,根据本发明的广泛方面,提供了用于监测运动对象的至少一个运动参数的成像系统,该系统包括成像单元和至少部分相干的光的源,该成像单元包括具有某些检测时期的检测器,该至少部分相干的光的源生成具有预定频率调制的至少部分相干的光的光束。由于干涉条纹图案的增加的频率变化,选择源的频率调制来克服检测器限制的每秒帧速率。此外,相对于对象的表面运动的频率范围来选择源的频率调制。优选地,相干照明是以具有被选择成实现在照明和检测时期(采样率)之间的相关性的调制频率的脉冲光的形式。因此,源的脉动允许由慢相机来检测快速振动。激光参数如下:波长约为532nm,功率(在检测器和相机上)在约5-13 μ 的范围内;驱动电流约为0.35A;调制信号约为脉冲上的25%;频率范围约为0-220Hz;电压(Pk2Pk)约为10V以及偏置(offset)约为0V。检测器参数如下:增益设置约为40dB,带宽约为225kHz;FFT偏置约为-110dBV。对象参数如下:对象信号是正弦信号,频率范围约为0-220Hz;电压(Pk2Pk)约为10V以及偏置约为0V。

[0066] 激光调制结果在图8a-图8g中示出。在这些实验中,对象的高频率通过激光频率被调制到低频率。特别地,图8a示出了250Hz的激光频率及其谐波;图8b-图8d分别示出了120Hz、170Hz和220Hz的对象频率、其谐波和50Hz线路噪声;图8e-图8g示出了具有250Hz的激光调制的对象频率。特别是在图8e中,对象频率是120Hz,在图8f中对象频率是170Hz,以及在图8g中对象频率是220Hz。结果表明,高频对象信号根据频率差被调制到检测器帧速率窗口内的低频率,但是频率由于激光调制的卷积而具有许多谐波频率。

[0067] 本发明的发明人已经进行了一些实验来使用无反馈的开路测试反射镜装置调制。如上所述,根据本发明的广泛方面,提供了用于接收指示运动对象的至少一个运动参数的至少部分相干的光束的成像系统,该系统包括:成像单元,其包括检测器;干涉测量模块,其被配置且可操作于检测指示对象的相移的干涉图案,该干涉图案指示沿z轴的时间变化;干涉测量模块包括至少一个光束分离器/组合器,其被配置用于接收至少部分相干的光束,

将光束分离成沿基本相同的光学路径传播的对象光束和参考光束;以及至少一个反射镜装置,其位于参考光束路径中,并被配置用于通过光束分离器/组合器来将参考光束朝向检测器反射,其中参考光束干扰对象对与对象光束的相互作用的响应,其中至少一个反射镜装置被配置用于以预定频率偏移,以引起干涉图案的可控时间调制。相机参数如下:曝光时间约为0.2毫秒;帧速率约为100;获得的帧数约为1000;扫描时间约为10秒;信号增益约为0dB,以及相机的伽马值约为2.2。反射镜装置参数如下:模拟放大器输出电压约为180V;调制信号是锯齿信号;频率范围约为0-220Hz;电压(Pk2Pk)约为4.9V,以及偏置约为0mv。对象参数如下:对象信号是正弦信号,频率范围约为0-220Hz;电压(Pk2Pk)约为8V,以及偏置约为0mv。

[0068] 反射镜调制结果在图9a-图9b中示出。在这些实验中,对象的高频率通过压电反射镜频率被调制到低频率。特别地,图9a示出了当对象频率是20Hz并且压电反射镜装置的频率是22Hz时的对象和调制频率以及它们的差分频率和相加频率;图9b示出了当对象频率是110Hz并且压电反射镜装置的频率是141Hz时的对象和压电反射镜对象频率的差分频率和截止频率(通过检测器的100Hz)。结果表明,高频率对象信号根据频率差被调制到在检测器帧速率窗口内的低频率。

[0069] 本发明的发明人已经进行了一些实验来使用无反馈的开路一起测试激光器和反射镜装置调制。激光器参数如下:波长约为532nm,功率(在检测器和相机上)在约5-13 μ 的范围内;驱动电流约为0.35A;调制信号约在脉冲上的25%;频率范围约为0-220Hz;电压(Pk2Pk)约为10V,以及偏置约为0V。检测器参数如下:增益设置约为40dB,带宽约为225kHz;FFT偏置约为-110dBV。相机参数如下:曝光时间约为0.2毫秒;帧速率约为200;获得的帧数约为1000;扫描时间约为5秒;信号增益约为0dB,且相机的伽马值约为2.2。反射镜装置参数如下:模拟放大器输出电压约为180V;调制信号是锯齿信号;频率范围约为0-220Hz;电压(Pk2Pk)约为4.9V,以及偏置约为0mV。对象参数如下:对象信号是正弦信号,频率范围约为0-220Hz;电压(Pk2Pk)约为10V,以及偏置约为0V。

[0070] 图10示出了激光器和反射镜装置调制结果。对象的高频率通过激光器和压电反射镜(以下被提到为压电)频率调制到低频率。图10示出了当对象频率为67Hz、压电反射镜装置的频率为18Hz且激光调制频率为24Hz时的对象和调制频率以及它们的差分频率和相加频率。如在图中所示的,对象和调制频率的差分频率和相加频率给出了许多组合频率,诸如:6Hz(激光-压电)、42Hz(激光+压电)、43Hz(对象-激光)、48Hz、54Hz、72Hz(激光和压电频率的谐波)、85Hz(对象+压电)等。结果表明,高频率对象信号根据频率差被调制到在检测器帧速率窗口内的低频率。

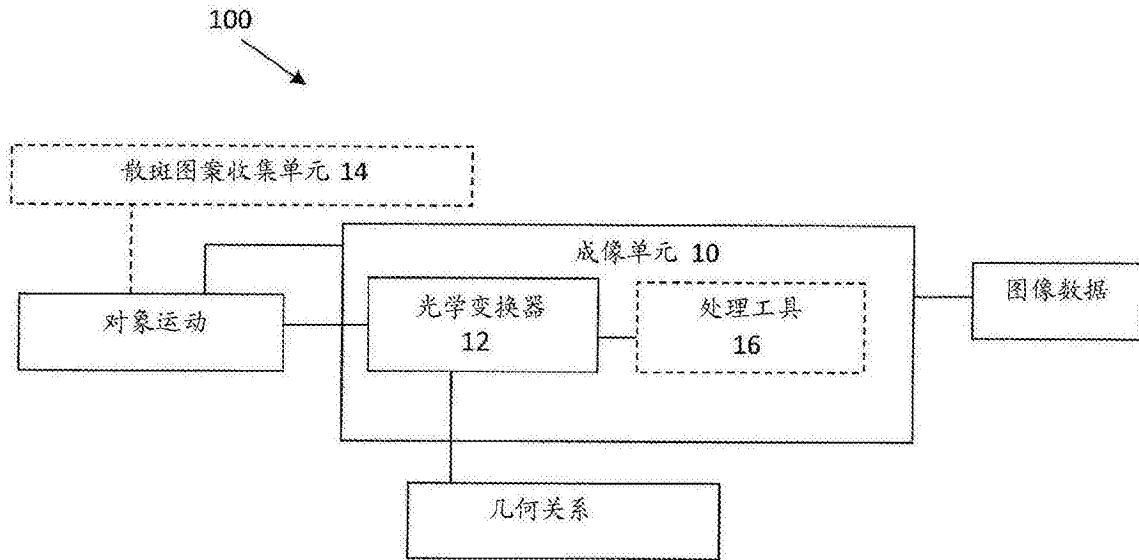


图1

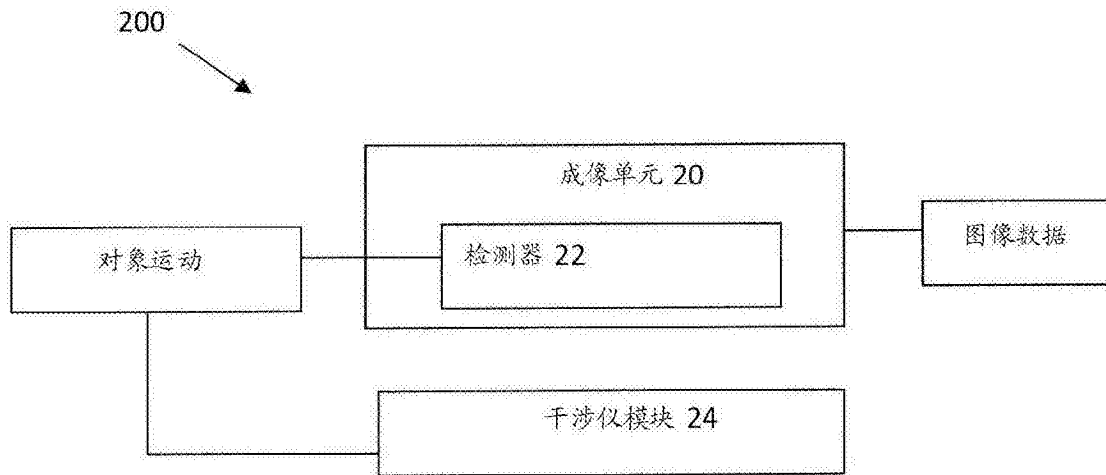


图2a

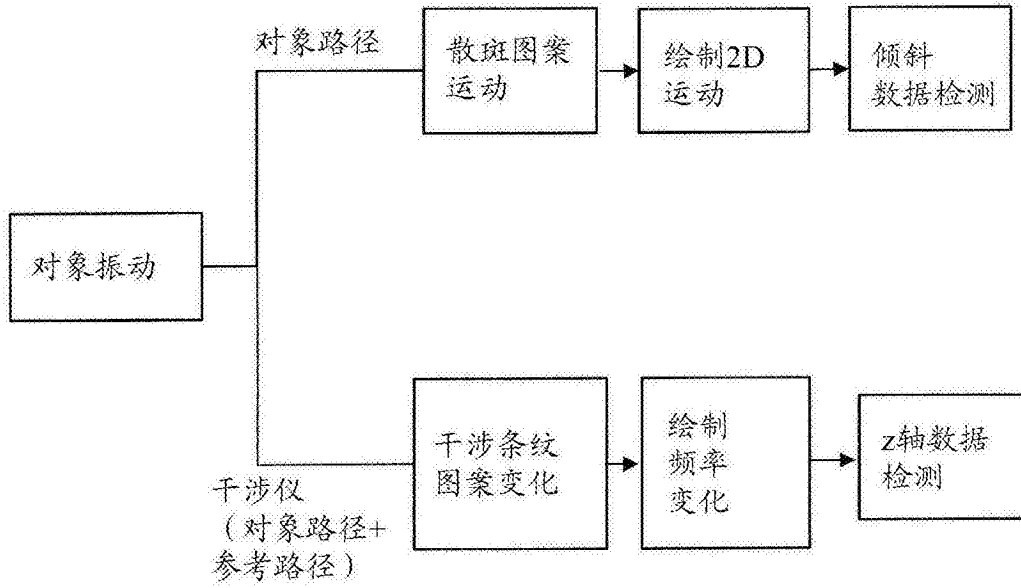


图2b

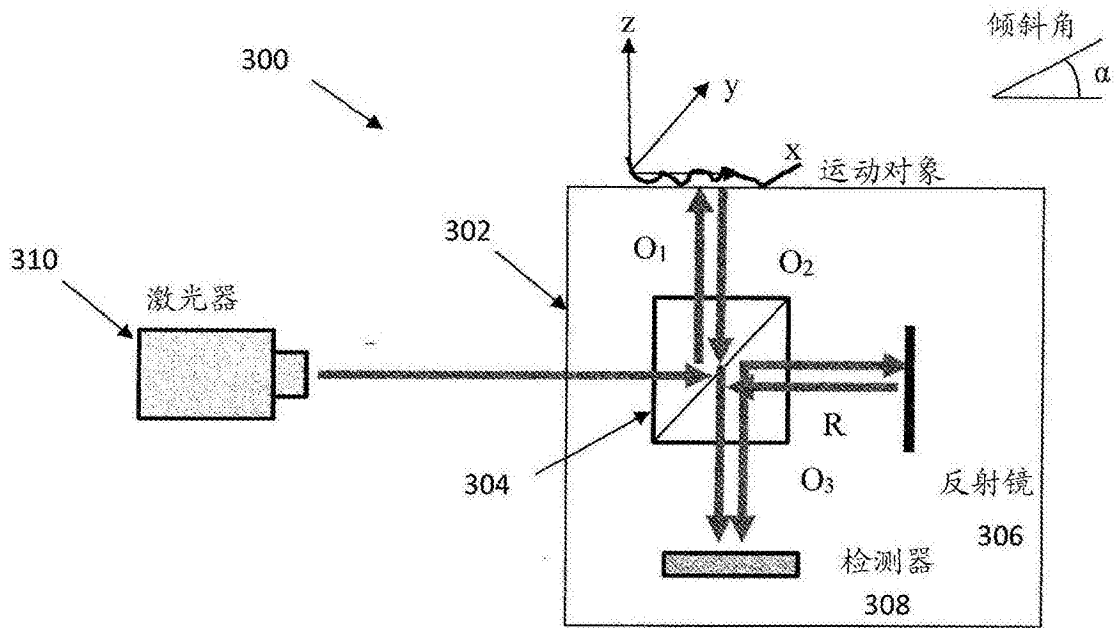


图3

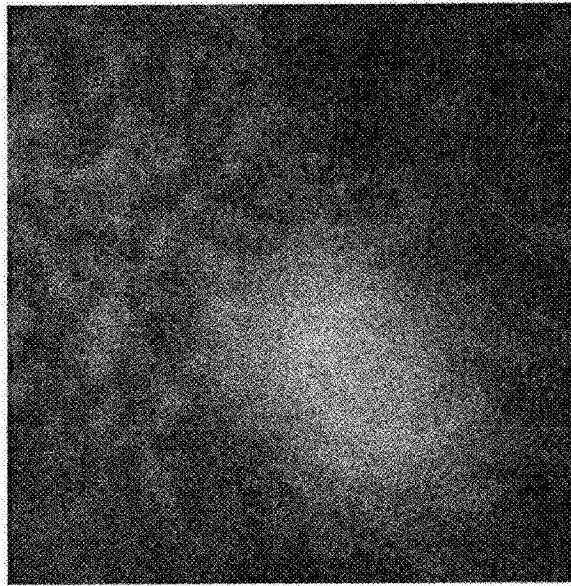


图4

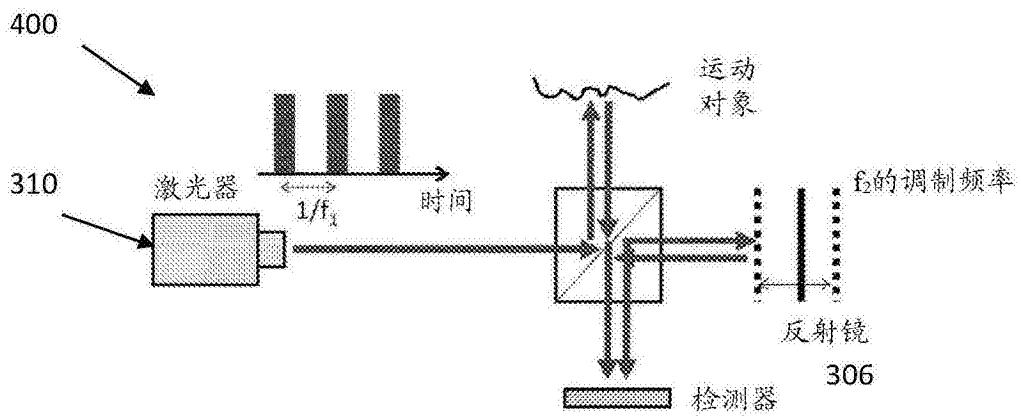


图5

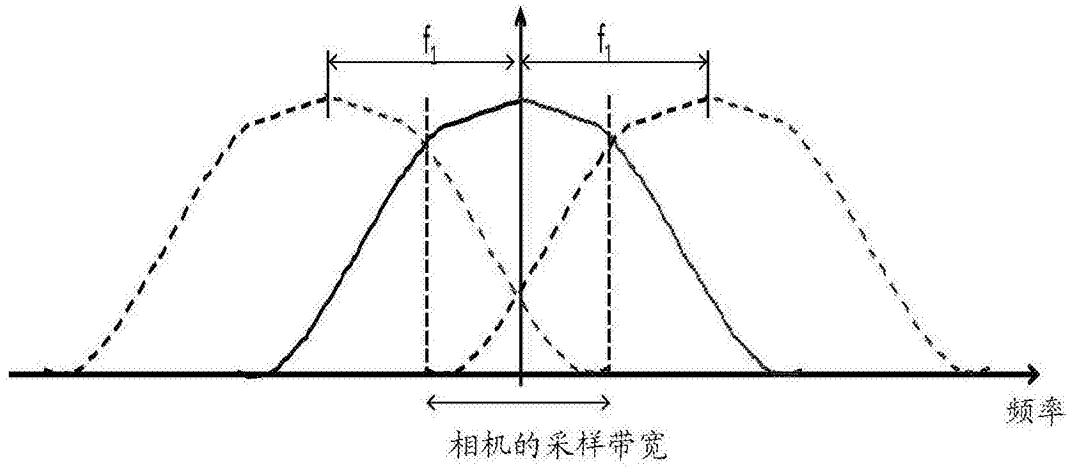


图6

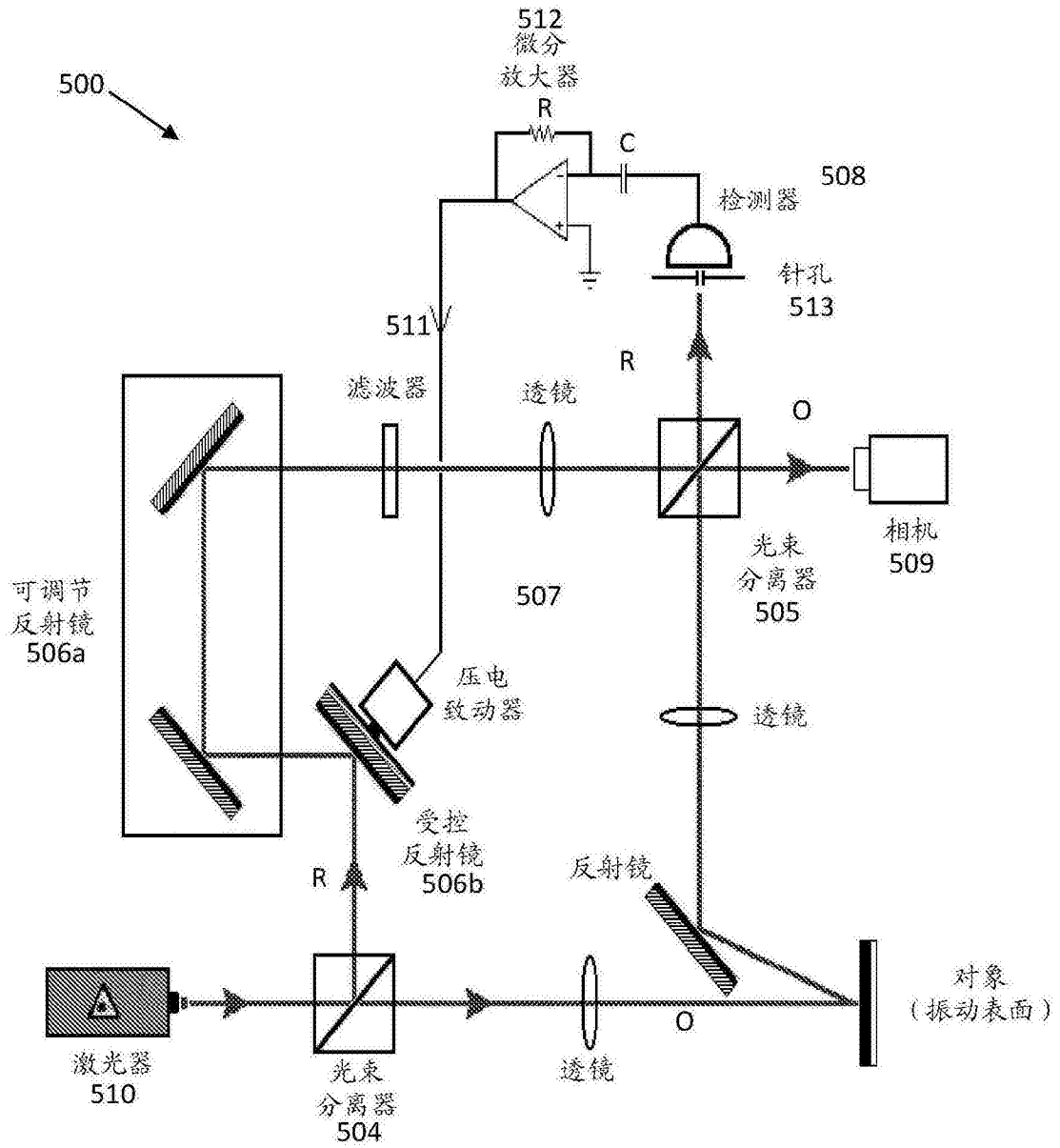


图7

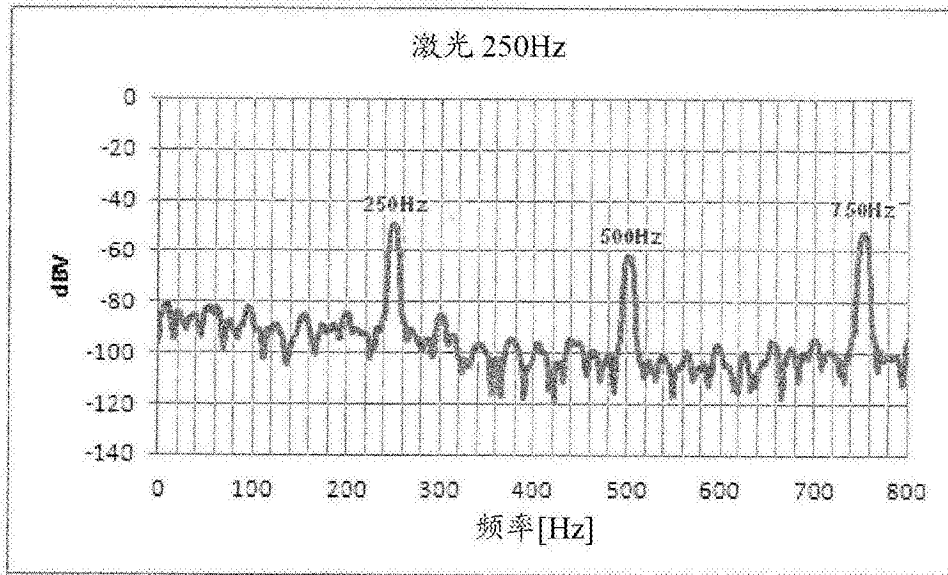


图8a

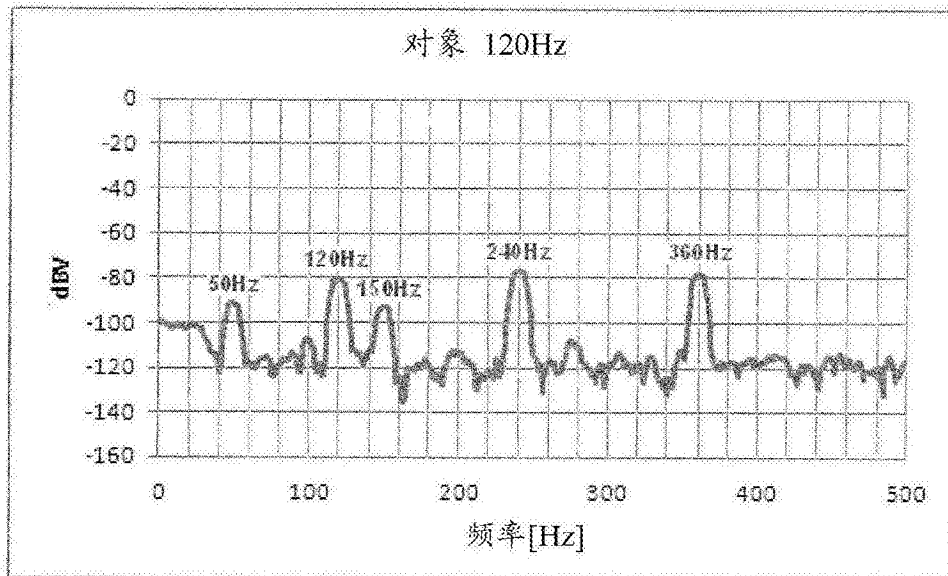


图8b

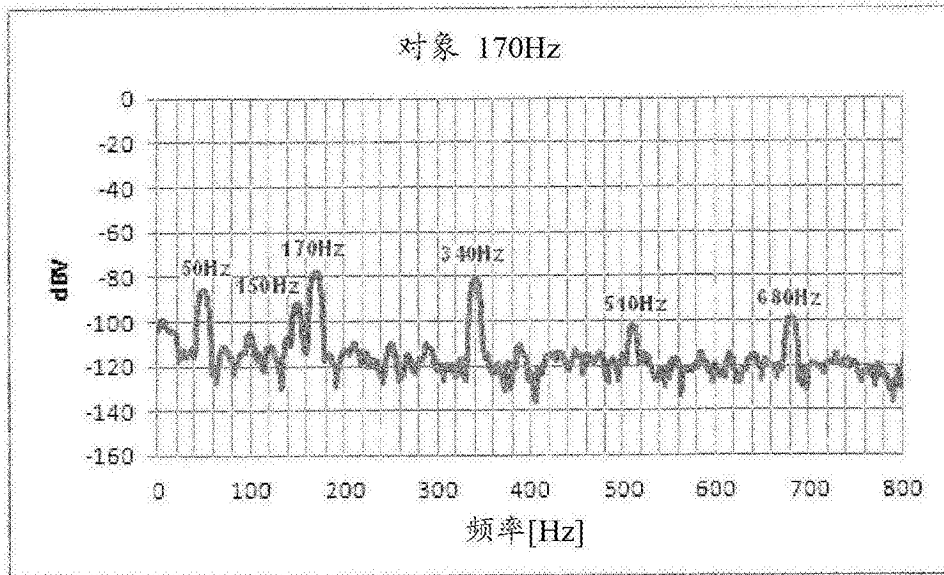


图8c

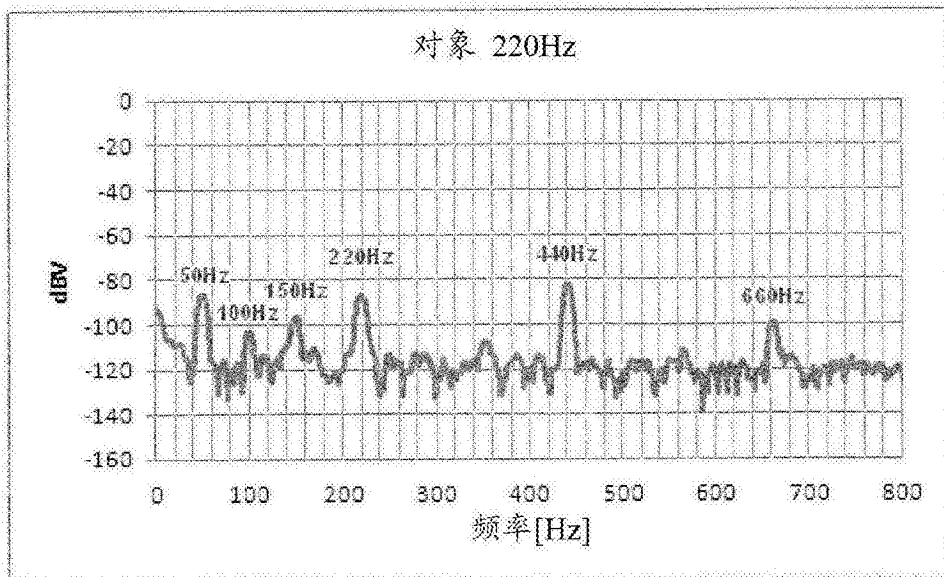


图8d

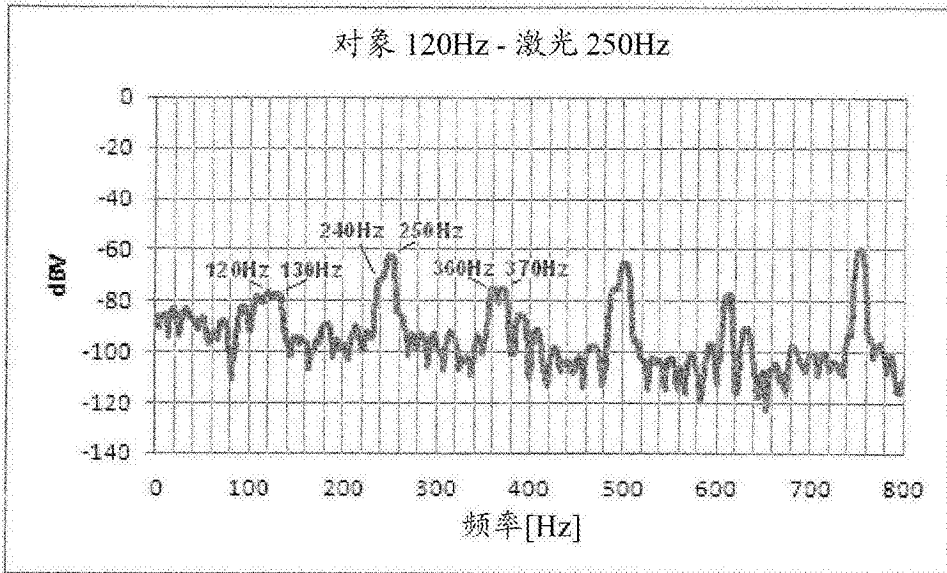


图8e

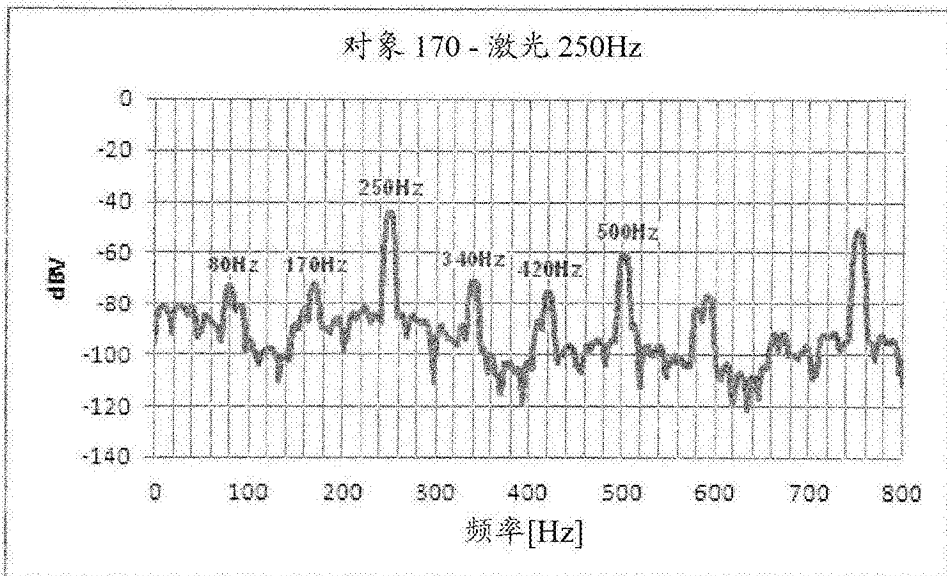


图8f

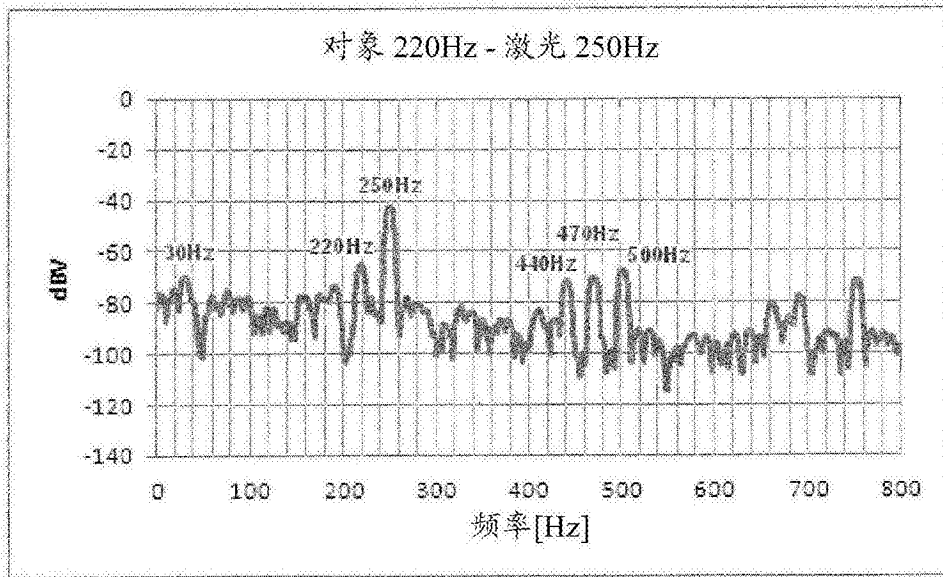


图8g

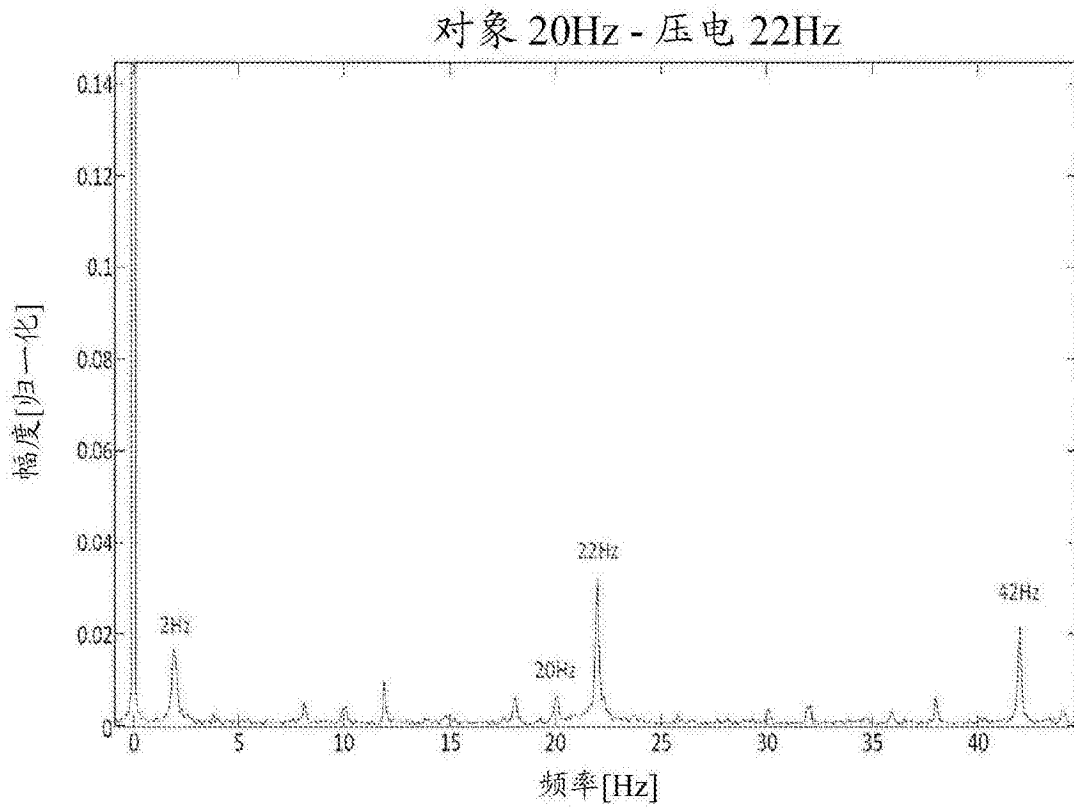


图9a

对象 110Hz - 压电 141Hz

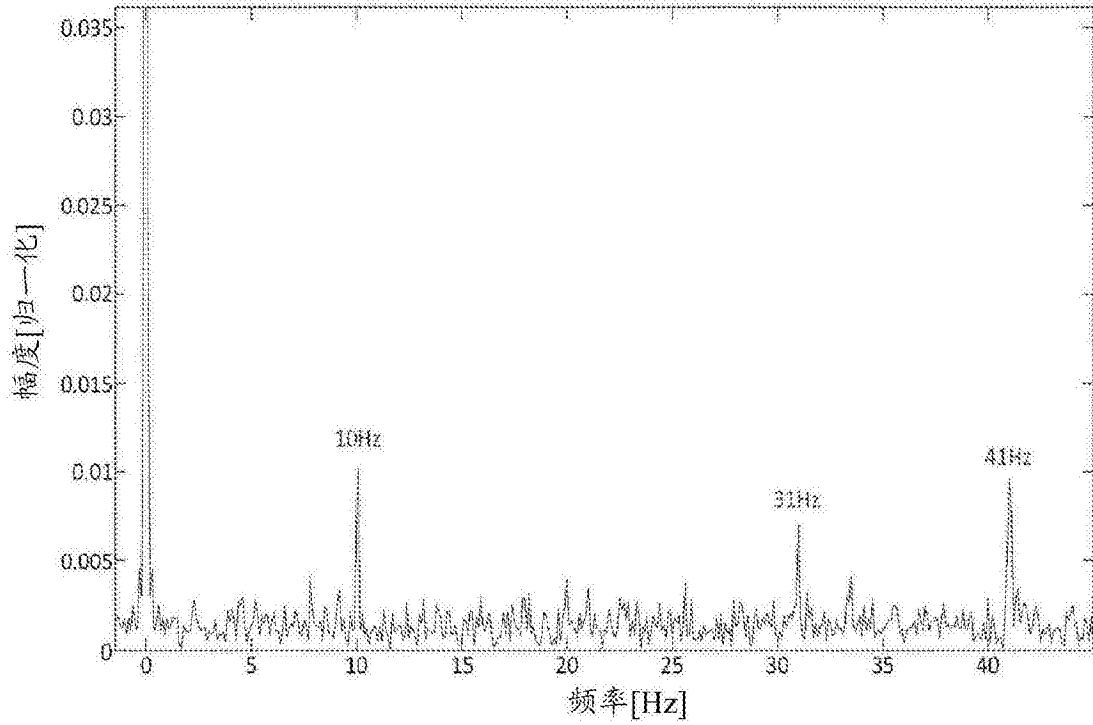


图9b

对象 67Hz - 压电 18Hz - 激光 24Hz

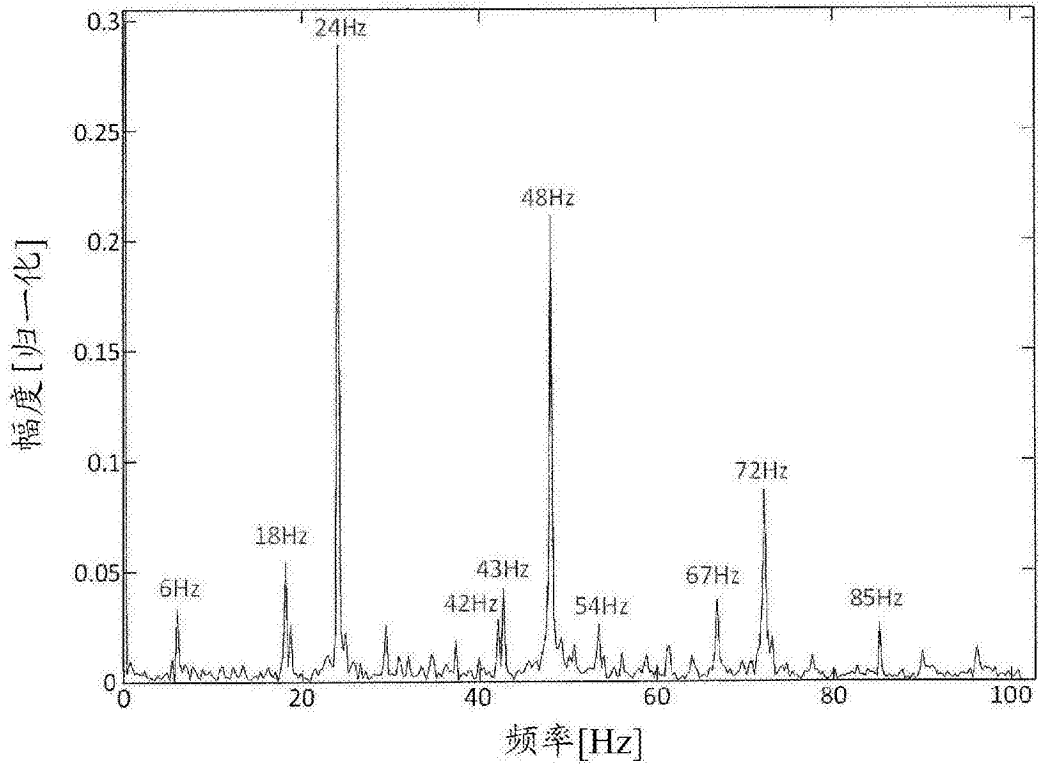


图10