



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115605763 A

(43) 申请公布日 2023. 01. 13

(21) 申请号 202180035640.4

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所
有限公司 11038

(22) 申请日 2021.04.20

专利代理师 李玲

(30) 优先权数据

63/014,236 2020.04.23 US

17/183,068 2021.02.23 US

(51) Int.Cl.

G01P 3/36 (2006.01)

G01D 5/26 (2006.01)

G01L 3/02 (2006.01)

G06T 7/20 (2017.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.11.16

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2021/028104 2021.04.20

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/216511 EN 2021.10.28

(71) 申请人 坎麦克斯动力有限责任公司

地址 美国马萨诸塞

(72) 发明人 M·鲁特伯格

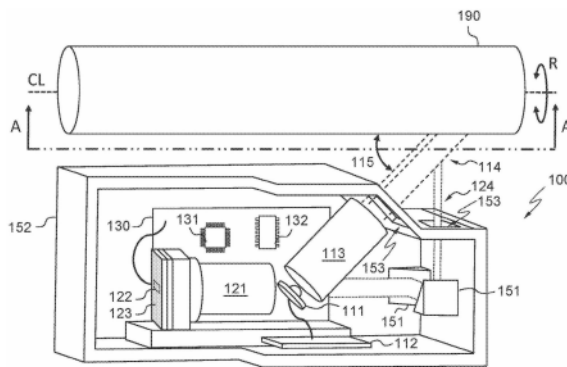
权利要求书3页 说明书10页 附图5页

(54) 发明名称

用于测量旋转轴的旋转位置的基于图像的传感器

(57) 摘要

非接触式传感器包括被配置为捕获可旋转轴的表面的部分的图像数据的图像传感器和通信地耦合到图像传感器的电子控制单元。电子控制单元被配置为从图像传感器接收具有多个帧的图像数据并将图像数据存储于电子控制单元的存储器组件中,确定图像空间中在图像数据的第一帧中出现的一个或多个表面特征与在图像数据的第二帧中出现的相同的一个或多个表面特征之间的变换,基于变换和图像空间与物体空间之间的定量表征的关系确定在捕获图像数据的第二帧时可旋转轴的旋转位置,并存储可旋转轴的旋转位置。



1. 一种非接触式传感器,所述非接触式传感器包括:
图像传感器,被配置为捕获可旋转轴的表面的一部分的图像数据;以及
电子控制单元,通信地耦合到图像传感器,所述电子控制单元被配置为:
从图像传感器接收图像数据并将图像数据存储于电子控制单元的存储器组件中,所述图像数据包括多个图像帧,
确定图像空间中在图像数据的第一帧中出现的一个或多个表面特征与在图像数据的第二帧中出现的相同的一个或多个表面特征之间的变换,
基于变换和图像空间与物体空间之间的定量表征的关系确定在捕获图像数据的第二帧时可旋转轴的旋转位置,以及
将在捕获图像数据的第二帧时可旋转轴的旋转位置存储在电子控制单元的存储器组件中。
2. 如权利要求1所述的非接触式传感器,其中在可旋转轴的在其期间捕获图像数据的第一帧的旋转之后的旋转期间捕获图像数据的第二帧。
3. 如权利要求1所述的非接触式传感器,还包括:
照明设备,被配置为倾斜地照亮可旋转轴的表面,其中图像传感器被配置为从可旋转轴的被照亮的表面的一部分捕获图像数据。
4. 如权利要求3所述的非接触式传感器,其中从照明设备发射的撞击可旋转轴的光的光路的入射角在撞击点处相对于与可旋转轴的表面相切的平面在35度与55度之间。
5. 如权利要求3或4所述的非接触式传感器,其中照明设备是包括大于 1.0mm^2 的发射面积的LED。
6. 如权利要求3或4所述的非接触式传感器,其中照明设备发射中心波长在大约610nm与大约670nm之间的光。
7. 如权利要求3或4所述的非接触式传感器,其中照明设备经由一个或多个光学元件倾斜地照亮可旋转轴的表面,所述一个或多个光学元件形成从照明设备发射到可旋转轴的光的光路,其中所述一个或多个光学元件包括非球面折射透镜元件、双凸或平凸球面折射透镜元件或反射镜元件中的至少一种。
8. 如权利要求1-4中的任一项权利要求所述的非接触式传感器,其中电子控制单元还被配置为:
基于可旋转轴在捕获图像数据的第一帧时可旋转轴的旋转位置与在捕获图像数据的第二帧时可旋转轴的旋转位置之间经过的旋转距离以及捕获图像数据的第一帧的时间与捕获图像数据的第二帧的时间之间经过的时间量来计算可旋转轴的旋转速度,以及
将旋转速度存储在电子控制单元的存储器组件中。
9. 如权利要求8所述的非接触式传感器,其中经过的时间量是基于从第一帧到第二帧的帧数和图像传感器的帧速率来确定的。
10. 如权利要求1-4中的任一项权利要求所述的非接触式传感器,其中图像传感器是单色CMOS图像传感器。
11. 如权利要求1-4中的任一项权利要求所述的非接触式传感器,其中图像传感器是在红色至近红外光谱范围内具有增强响应的单色CMOS图像传感器。
12. 如权利要求1-4中的任一项权利要求所述的非接触式传感器,其中图像传感器的光

路在可旋转轴的表面上撞击点处标称地遵循可旋转轴的半径。

13. 如权利要求1-4中的任一项权利要求所述的非接触式传感器,其中图像传感器的像素阵列被对准,使得来自图像传感器的图像数据的行标称地与可旋转轴的旋转的方向对准。

14. 如权利要求1-4中的任一项权利要求所述的非接触式传感器,其中图像传感器的像素阵列包括多个像素,并且由电子控制单元接收的图像数据由像素阵列的所述多个像素中的不到全部数量的像素定义。

15. 一种方法,所述方法包括:

从图像传感器接收图像数据并将图像数据存储于电子控制单元的存储器组件中,所述图像数据包括多个图像帧;

确定图像空间中在图像数据的第一帧中出现的一个或多个表面特征与在图像数据的第二帧中出现的相同的一个或多个表面特征之间的变换;

基于变换和图像空间与物体空间之间的定量表征的关系确定在捕获图像数据的第二帧时可旋转轴的旋转位置;以及

将在捕获图像数据的第二帧时可旋转轴的旋转位置存储于电子控制单元的存储器组件中。

16. 如权利要求15所述的方法,还包括:

基于可旋转轴在捕获图像数据的第一帧时可旋转轴的旋转位置与在捕获图像数据的第二帧时可旋转轴的旋转位置之间经过的旋转距离以及捕获图像数据的第一帧的时间与捕获图像数据的第二帧的时间之间经过的时间量来计算可旋转轴的旋转速度;以及

将旋转速度存储于电子控制单元的存储器组件中。

17. 如权利要求16所述的方法,其中经过的时间量是基于从第一帧到第二帧的帧数和图像传感器的帧速率来确定的。

18. 如权利要求15-17中的任一项权利要求所述的方法,其中图像传感器是单色CMOS图像传感器。

19. 如权利要求15-17中的任一项权利要求所述的方法,其中图像传感器是在红色至近红外光谱范围内具有增强响应的单色CMOS图像传感器。

20. 如权利要求15-17中的任一项权利要求所述的方法,其中图像传感器的像素阵列被对准,使得来自图像传感器的图像数据的行标称地与可旋转轴的旋转的方向对准。

21. 一种系统,所述系统包括:

通信地耦合到计算设备的第一非接触式传感器和第二非接触式传感器,其中:

第一非接触式传感器包括被配置为捕获可旋转轴的表面的第一部分的图像数据的第一图像传感器,

第二非接触式传感器包括被配置为捕获可旋转轴的表面的第二部分的图像数据的第二图像传感器,其中第一部分和第二部分沿着可旋转轴轴向分离,以及

计算设备被配置为:

接收来自第一图像传感器的第一图像数据和来自第二图像传感器的第二图像数据,第一图像数据和第二图像数据各自包括多个图像帧,

确定图像空间中在第一图像数据的第一帧中出现的一个或多个表面特征与在第一图

像数据的第二帧中出现的相同的一个或多个表面特征之间的第一变换，

基于第一变换和第一图像传感器的图像空间与物体空间之间的第一定量表征的关系确定在捕获第一图像数据的第二帧时可旋转轴的第一旋转位置，

确定图像空间中在第二图像数据的第一帧中出现的一个或多个表面特征与在第二图像数据的第二帧中出现的相同的一个或多个表面特征之间的第二变换，

基于第二变换和第一图像传感器的图像空间与物体空间之间的第二定量表征的关系确定在捕获第二图像数据的第二帧时可旋转轴的第二旋转位置，

计算可旋转轴的第一旋转位置与第二旋转位置之间的角度差，从而确定在可旋转轴的第一部分与第二部分之间可旋转轴的扭转偏转，以及

将可旋转轴的扭转偏转存储在计算设备的存储器组件中。

22. 如权利要求21所述的系统，其中：

第一非接触式传感器还包括照明设备，所述照明设备被配置为倾斜地照亮可旋转轴的表面的第一部分，其中第一图像传感器被配置为从可旋转轴的被照亮的表面的一部分捕获图像数据，以及

第二非接触式传感器还包括照明设备，所述照明设备被配置为倾斜地照亮可旋转轴的表面的第二部分，其中第二图像传感器被配置为从可旋转轴的被照亮的表面的一部分捕获图像数据。

用于测量旋转轴的旋转位置的基于图像的传感器

[0001] 政府赞助的声明

[0002] 本发明的部分内容是在政府支持下根据第N68335-16-C-0495号合同完成的,由海军部授予。政府对本发明享有一定的权利。

[0003] 相关申请的交叉引用

[0004] 本申请要求于2021年2月23日提交的标题为“IMAGE-BASED SENSOR FOR MEASURING ROTATIONAL POSITION OF A ROTATING SHAFT”的美国专利申请No.17/183,068和于2020年4月23日提交的标题为“IMAGE-BASED SENSOR FOR MEASURING ROTATIONAL POSITION OF A ROTATING SHAFT”的美国临时申请No.63/014,236的权益,其整体通过引用并入本文。

技术领域

[0005] 本说明书一般而言涉及旋转机械,并且更具体而言,涉及一种用于确定旋转位置和/或测量旋转机械上的速度和扭矩的非接触式传感器系统。

背景技术

[0006] 旋转轴的瞬时旋转位置的精确测量是基本的感测能力。可以对轴旋转位置数据流进行数值微分以获得瞬时轴旋转速度的测量。在扭矩作用下,来自旋转轴上的两个轴向分离点的旋转位置数据流可以被用于计算瞬时扭转轴偏转。如果扭矩与轴的扭转偏转之间的定量关系被表征,那么扭转轴偏转可以被用于计算轴上的瞬时扭矩。

[0007] 旋转机械中的瞬时轴旋转位置、旋转速度和扭矩的测量具有包括但不限于以下的应用:组件使用跟踪和用于基于状况的维护的异常检测;事件诊断;同步自动化;用于实时控制的反馈;以及系统动力学的表征。

[0008] 存在用于测量轴旋转位置、旋转速度和/或扭矩的各种已建立和实验的感测技术。这些包括磁性和光学编码器、旋转变压器、霍尔效应传感器、应变仪、可变磁阻传感器、涡流传感器、磁致伸缩传感器和表面声波传感器。但是,所有这些技术都要求将组件安装在旋转体本身上,和/或要求对旋转轴的材料和/或设计的限制。

[0009] 现有技术所施加的要求和限制对于一些应用来说是不切实际的。这种应用的示例是预先存在的飞行器驱动轴,对于预先存在的飞行器驱动轴对旋转体的任何修改都需要昂贵的工艺改变和重新鉴定测试。因而,需要非接触式传感器,该非接触式传感器能够测量瞬时旋转位置,并且还能够在形成未经修改的可旋转轴的材料确定可旋转轴的旋转速度和扭矩。

发明内容

[0010] 提供以下概要是为了促进理解本公开所独有的一些创新特征并且不旨在作为完整描述。通过将整个说明书、权利要求、附图和摘要作为整体,可以获得对本公开的各个方面的全面理解。

[0011] 在第一方面,一种非接触式传感器包括被配置为捕获可旋转轴的表面的一部分的图像数据的图像传感器以及通信地耦合到图像传感器的电子控制单元。电子控制单元被配置为从图像传感器接收图像数据并将图像数据存储在电子控制单元的存储器组件中,图像数据包括多个图像帧;确定图像空间中在图像数据的第一帧中出现的一个或多个表面特征与在图像数据的第二帧中出现的相同的一个或多个表面特征之间的变换;基于变换和图像空间与物体空间之间的定量表征的关系确定在捕获图像数据的第二帧时可旋转轴的旋转位置,以及将在捕获图像数据的第二帧时可旋转轴的旋转位置存储在电子控制单元的存储器组件中。

[0012] 在一些方面,一种方法包括从图像传感器接收图像数据并将图像数据存储在电子控制单元的存储器组件中,图像数据包括多个图像帧;确定图像空间中在图像数据的第一帧中出现的一个或多个表面特征与在图像数据的第二帧中出现的相同的一个或多个表面特征之间的变换;基于变换和图像空间与物体空间之间的定量表征的关系确定在捕获图像数据的第二帧时可旋转轴的旋转位置,以及将在捕获图像数据的第二帧时可旋转轴的旋转位置存储在电子控制单元的存储器组件中。

[0013] 在一些方面,一种系统包括通信地耦合到计算设备的第一非接触式传感器和第二非接触式传感器。第一非接触式传感器包括被配置为捕获可旋转轴的表面的第一部分的图像数据的第一图像传感器,以及第二非接触式传感器包括被配置为捕获可旋转轴的表面的第二部分的图像数据的第二图像传感器,其中第一部分和第二部分沿着可旋转轴轴向分离。计算设备被配置为接收来自第一图像传感器的第一图像数据和来自第二图像传感器的第二图像数据,第一图像数据和第二图像数据各自包括多个图像帧。计算设备还被配置为确定图像空间中在第一图像数据的第一帧中出现的一个或多个表面特征与在第一图像数据的第二帧中出现的相同的一个或多个表面特征之间的第一变换,基于第一变换和第一图像传感器的图像空间与物体空间之间的第一定量表征的关系确定在捕获第一图像数据的第二帧时可旋转轴的第一旋转位置,确定图像空间中在第二图像数据的第一帧中出现的一个或多个表面特征与在第二图像数据的第二帧中出现的相同的一个或多个表面特征之间的第二变换,基于第二变换和第一图像传感器的图像空间与物体空间之间的第二定量表征的关系确定在捕获第二图像数据的第二帧时可旋转轴的第二旋转位置,计算可旋转轴的第一旋转位置与第二旋转位置之间的角度差,从而确定在可旋转轴的第一部分和第二部分之间可旋转轴的扭转偏转,并将可旋转轴的扭转偏转存储在计算设备的存储器组件中。

[0014] 鉴于以下结合附图的详细描述,将更充分地理解由本文描述的各方面提供的这些及附加的目的和优点。

附图说明

[0015] 附图中阐述的实施例在本质上是说明性和示例性的,并且不旨在限制由权利要求定义的主题。当结合以下附图阅读时,可以理解说明性实施例的以下详细描述,其中相似结构用相似附图标记指示并且其中:

[0016] 图1描绘了根据本文所示和所描述的一个或多个实施例的用于测量可旋转轴的旋转位置的非接触式传感器的说明性示意图;

[0017] 图2描绘了根据本文所示和所描述的一个或多个实施例的实现用于测量沿着公共

可旋转轴或沿着不同可旋转轴的旋转位置的多个非接触式传感器的示例性系统；

[0018] 图3描绘了根据本文所示和所描述的一个或多个实施例的可旋转轴沿着由非接触式传感器照亮和成像的表面的说明性平面图；

[0019] 图4描绘了根据本文所示和所描述的一个或多个实施例的在不同旋转位置处捕获可旋转轴上的表面特征的第一图像帧和第二图像帧的说明性示例；

[0020] 图5描绘了根据本文所示和所描述的一个或多个实施例的具有布置在像素阵列中的多个像素的图像传感器的说明性示例；以及

[0021] 图6描绘了根据本文所示和所描述的一个或多个实施例的在两个不同的轴向分离的部分处被监控以测量可旋转轴的旋转位置和可旋转轴上的扭矩的可旋转轴的说明性平面图。

具体实施方式

[0022] 本文所描述的设备、系统和方法一般而言涉及用于测量可旋转轴的旋转位置的非接触式传感器，非接触式传感器可选地包括照明设备，该照明设备照亮可旋转轴的表面上区域，使得来自照明设备的光斜射在可旋转轴的表面上。定位图像传感器和相关联的成像光学器件以形成光路，使得图像传感器的视场包括可旋转轴的表面的一部分，可选地，在被照亮的区域内。电子控制单元通信地耦合到图像传感器，使得电子控制单元从图像传感器接收并存储包括多个图像帧的图像数据。电子控制单元实现一种或多种信号和/或图像处理算法以跨多个图像帧跟踪可旋转轴的表面上的表面特征。电子控制单元基于图像空间中在图像数据的第一帧中出现的一个或多个表面特征与在图像数据的第二帧中出现的相同的一个或多个表面特征之间的变换以及图像空间与物体空间之间的定量表征的关系来计算和输出和/或在存储器组件中存储可旋转轴的旋转位置，如本文所述。用于确定可旋转轴的旋转位置的表面特征是自然产生的、偶然产生的或有意产生的。例如但不受限制，表面特征可以是机加工记号、油漆或其它表面光洁度中的缺陷、条纹、流线、变色等，这些可以由可旋转轴的制造和/或使用造成的。

[0023] 现在下面将更详细地描述用于测量可旋转轴的旋转位置的非接触式传感器。

[0024] 现在转向附图，其中相似的数字指代相似的结构，并且特别参考图1，示出了根据一个实施例的用于确定可旋转轴位置的说明性非接触式传感器100。在所示的非限制性实施例中，非接触式传感器100包括由照明器驱动电路112驱动并由照明器光学器件113沿着光路114聚焦到可旋转轴190的表面上照明设备111，从而相对于在撞击点处与表面相切的平面以斜入射角115撞击。作为非限制性示例，入射角115可以在35°与55°之间。在一些实施例中，入射角可以大于0°并且小于90°。在一些实施例中，入射角可以是大约5°、大约10°、大约15°、大约20°、大约25°、大约30°、大约35°、大约40°、大约45°、大约50°、大约55°、大约60°、大约65°、大约70°、大约75°、大约80°、大约85°或1°与89°之间的任何角度。

[0025] 照明设备111包括一个或多个光发射设备，包括但不限于单色或白光LED或LED阵列、二极管激光器、光纤激光器和白炽灯。照明器光学器件113包括一个或多个光学元件，其将来自照明设备111的光引导至可旋转轴190的表面，包括但不限于非球面折射透镜元件、双凸或平凸球面折射透镜元件，其它透镜、棱镜、反射镜、光纤和全息光学元件。

[0026] 作为非限制性示例，照明设备111可以是中心波长在610nm与670nm之间的大(大于

1.0mm²发射面积)单色单芯片LED,诸如Luminus SST-90-R。作为进一步的非限制性示例,照明器光学器件113可以包括非球面折射透镜元件、双凸或平凸球面折射透镜元件或反射镜元件中的至少一种。在这个非限制性示例中,照明器光学器件113共同将LED芯片的图像投射到可旋转轴190的表面上。与替代方案相比(例如,基于光纤的环形灯、基于分束器的共视照明器或基于激光的照明器),这种照明方案是高通量、成本有效、稳健、对眼睛安全,并且在突出可旋转轴190的表面的可跟踪特征(例如,表面特征)的方面有效。

[0027] 从可旋转轴190反射的光由成像光学器件121收集,成像光学器件121将可旋转轴190的被照亮的表面的图像聚焦到说明性地示为被安装在电路板123上的图像传感器122上。成像光学器件121可以包括一个或多个光学元件,光学元件包括但不限于透镜、棱镜和反射镜。图像传感器122包括一个或多个光子组件,光子组件包括但不限于CMOS图像传感器、CCD图像传感器和光电二极管或光电二极管阵列。

[0028] 作为非限制性示例,图像传感器122可以是在照明设备的光谱范围内具有增强响应的单色CMOS图像传感器。例如,CMOS图像传感器可以是ON Semi NOIP1FN0300A,其具有全局快门,在610nm至670nm频带中具有增强的量子效率,以及与每秒超过8000万像素对应的最大帧速率。作为进一步的非限制性示例,成像光学器件121可以包括现成的C-mount微距透镜,诸如Opto-Engineering MC3-03X。此外,图像传感器122的光路124可以在撞击点处标称地遵循可旋转轴190的半径,其中图像传感器视场的像素行标称地与可旋转轴190的旋转方向对准。即,例如,CMOS图像传感器包括在空间上以行和列彼此相邻布置的多个像素。“像素行”是指被顺序读出的在空间上相邻的像素。通过将像素行标称地对准可旋转轴190的旋转方向,可以增加从图像传感器122到电子控制单元130的图像读出,从而产生更高的帧速率。对于以高速旋转的可旋转轴190,可以期望高帧速率以确保相继帧具有某种程度的重叠,即,一些表面特征出现在任何给定的相继帧对的两帧中。

[0029] 此外,电子控制单元130可操作地耦合到图像传感器122,使得电子控制单元130从图像传感器122接收并存储包括多个图像帧的图像数据。图像数据可以由图像传感器122的像素阵列中的多个像素中的全部或一些像素生成。例如,在一些实施例中,由电子控制单元130接收的图像数据由像素阵列的多个像素中的不到全部数量的像素定义。与图像传感器的最大分辨率相比,可以将像素数量减少的帧传输到电子控制单元130,以便提高帧速率并降低图像处理的计算开销。

[0030] 电子控制单元130使用信号处理算法来跨多个图像帧跟踪轴表面特征。跨多个帧跟踪图像特征的算法可以包括任何已知或尚未开发的图像处理算法,包括用于计算机视觉、图像配准或光流感测的算法。例如,图像处理和/或特征识别算法包括但不限于尺度不变特征变换(SIFT)、互相关技术和斑点检测算法。

[0031] 由电子控制单元130实现的轴表面特征跟踪算法输出图像空间中包含可旋转轴190的共享或共同部分的帧对之间的变换(例如,就像素而言)。作为非限制性示例,图像空间中的变换可能是平移偏移。变换的进一步的示例包括但不限于缩放和旋转,以及非线性或非刚性变换(诸如径向基函数)。

[0032] 然后,电子控制单元130使用图像空间与物体空间之间的定量表征的关系,基于图像空间中的相关联的变换来计算帧对之间的可旋转轴190的位置的相对差异。例如,图像空间(例如,由图像传感器生成的图像数据)与物体空间之间的定量表征的关系可以由图像传

感器光路124中的一个或多个光学器件和图像传感器122的特点来定义。作为进一步的非限制性示例,成像光学器件121的已知放大率和图像传感器122的已知像素节距(即,跨像素阵列标称均匀的相邻像素之间的距离)可以被用于基于那两个帧共有的表面特征中的平移偏移来计算两个图像帧之间的可旋转轴190的旋转位置的相对差异。平移偏移由图像空间中在图像数据的第一帧(例如,图4的310A)中出现的一个或多个表面特征与在图像数据的第二帧(例如,图4的310B)中出现的相同的一个或多个表面特征之间的变换定义。图像空间与物体空间之间的定量表征的关系还可以包括但不限于轴曲率、光学像差和/或梯形效应的校正。

[0033] 电子控制单元130可以跨多对帧融合计算出的可旋转轴190在多对帧之间的位置的相对差异,以产生附加的有用信息。作为非限制性示例,对于任意帧,可旋转轴190的绝对旋转位置可以被指派零值;然后可以将与前一帧相比与每个相继图像帧相关联的旋转位置的相对改变添加到前一个绝对旋转位置,以便跟踪相对于指派的零帧的绝对旋转位置。作为进一步的非限制性示例,可旋转轴190在给定帧中的绝对旋转位置可以完全或部分地基于给定帧中可旋转轴相对于先前捕获并存储的与已知绝对轴位置相关联的帧的位置来确定。

[0034] 电子控制单元130可以将计算出的可旋转轴190在帧对之间的位置的相对差异与关于图像数据的时间信息融合以产生附加的有用信息。作为非限制性示例,图像传感器122的已知帧速率可以被用于基于两帧之间的相对旋转位置与相同两帧之间的时间改变来计算可旋转轴190的旋转速度。换句话说,轴的旋转速度可以通过计算可旋转轴190行进的旋转距离和可旋转轴190行进旋转距离经过的时间量来确定。例如,可旋转轴190的旋转速度可以是可旋转轴在捕获图像数据的第一帧时可旋转轴的旋转位置与在捕获图像数据的第二帧时可旋转轴的旋转位置之间经过的旋转距离以及捕获图像数据的第一帧的时间与捕获图像数据的第二帧的时间之间经过的时间量的函数。

[0035] 可以基于从第一帧(例如,图4的310A)到后续帧(例如,图4的310B)的多个帧的经过时间的计算和图像传感器122的已知帧速率来确定时间的改变。但是,在一些实施例中,电子控制单元130可以利用定时器电路或确定图像帧之间的时间的经过的其它方法来获得瞬时旋转位置与后续旋转位置之间的时间的改变。

[0036] 如本文上面所讨论的,用于确定可旋转轴190位置的表面特征可以是自然产生的、偶然产生的或有意产生的。此外,瞬时旋转位置数据可以实时地被输出到系统200(图2)的计算设备210,或被存储在电子控制单元130的存储器组件中并按需输出。

[0037] 电子控制单元130包括一个或多个处理设备131,包括但不限于微处理器、微控制器、中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU)、现场可编程门阵列(FPGA)、复杂可编程逻辑设备(CPLD)、片上系统(SoC)和/或专用集成电路(ASIC)设备。

[0038] 电子控制单元130还包括具有机器可读指令的非暂态计算机可读存储器132(例如,存储器组件),该指令实现电子控制单元130的功能,这些功能不是以其它方式实现为一个或多个处理设备131中的数字和/或模拟逻辑。

[0039] 仍然参考图1,可以结合折叠光学器件151(诸如反射镜或棱镜)来操纵图像传感器光路124和/或照明器光路114,以便将非接触式传感器100包装成更紧凑或其它期望的形状因子。可以结合包括一个或多个光学透明窗口153的外壳152(其中光路穿过外壳),以保护

旋转位置传感器的功能组件免受使用、灰尘、水和使用环境的其它潜在挑战性方面的影响。

[0040] 转向图2,描绘了实现一个或多个非接触式传感器100A、100B和100C的示例系统200。系统200可以在交通工具、发电设施或利用需要被监控的可旋转轴的其它机械或设施内实现。例如,交通工具可以是飞机、汽车、轮船等。发电设施可以具有实现可旋转轴的发电机或涡轮机,其中监控它们的位置、速度、扭转偏转和/或扭矩对于发电厂的操作可以是关键的。作为进一步的示例,从事制造、采矿或材料加工的工厂或其它工业设施可能同样需要监控旋转装备上的可旋转轴。作为又一个示例,在其中制造、测试和/或以其它方式用于实验的旋转机械的工厂和实验室中,可能需要监控构成被测设备的部分或全部的可旋转轴。

[0041] 如所描绘的,系统200包括具有处理设备230的计算设备210,处理设备230包括处理器232和非暂态计算机可读存储器234、显示器240、输入设备250、数据存储单元260和网络接口硬件270(诸如接收器、发送器或收发器)。系统200的这些和其它组件可以经由通信路径220彼此通信连接。应当理解的是,系统200可以包括本文描绘和所描述的组件中的所有或一些组件。作为非限制性示例,一些系统200可以仅包括计算设备210,该计算设备210被配置为作为诸如监督控制和数据采集(SCADA)系统或发动机控制模块(ECM)的监督控制器进行操作和/或与监督控制器通信,使得计算设备210不包括诸如显示器240、输入设备250和/或数据存储单元260的组件。此外,在其它示例中,计算设备210的操作可以在非接触式传感器100A、100B或100C中的一个或多个非接触式传感器的电子控制单元130中的一个或多个电子控制单元上实现,使得多个非接触式传感器100A、100B和/或100C之间的处理、存储、通信和控制由电子控制单元130中的一个或多个电子控制单元执行。可替代地,计算设备210可以被实现为执行本文所描述的电子控制单元130中的一个或多个电子控制单元的功能。

[0042] 通信路径220可以由能够传输信号的任何介质形成,诸如,例如,导线、导电迹线、光波导等。通信路径220也可以指代其中电磁辐射及其对应的电磁波穿过的范围。而且,通信路径220可以由能够传输信号的介质的组合形成。在一个实施例中,通信路径220包括导电迹线、导线、连接器和总线的组合,它们协作以允许将电数据信号传输到诸如处理器、存储器、传感器、输入设备、输出设备和通信设备的组件。因而,通信路径220可以包括总线。此外,要注意的是,术语“信号”是指能够穿越介质的波形(例如,电的、光的、磁的、机械的或电磁的),诸如DC、AC、正弦波、三角波、方波、振动等。如本文所使用的,术语“通信地耦合”是指耦合组件能够彼此交换信号诸如,例如,经由导电介质交换电信号、经由空气交换电磁信号、经由光波导交换光信号等。

[0043] 处理设备230可以是包括处理器232和非暂态计算机可读存储器234的任何设备或组件的组合。处理器232可以是能够执行存储在非暂态计算机可读存储器234中的机器可读指令集的任何设备。因而,处理器232可以是电控制器、集成电路、微芯片、计算机或任何其它计算设备。处理器232通过通信路径220通信地耦合到系统200的其它组件。因而,通信路径220可以将任何数量的处理器232彼此通信地耦合,并且允许耦合到通信路径220的组件在分布式计算环境中操作。具体而言,组件中的每个组件可以作为可以发送和/或接收数据的节点来操作。虽然图2中描绘的系统200包括单个处理器232,但其它实施例可以包括多于一个的处理器232。

[0044] 非暂态计算机可读存储器234可以包括RAM、ROM、闪存、硬盘驱动器或能够存储机

器可读指令的任何非暂态存储器设备,使得机器可读指令可以被处理器232访问和执行。机器可读指令集可以包括以任何代(例如,1GL、2GL、3GL、4GL或5GL)的任何编程语言编写的逻辑或(一个或多个)算法,诸如,例如,可以由处理器232直接执行的机器语言、或者可以被编译或汇编成机器可读指令并存储在非暂态计算机可读存储器234中的汇编语言、面向对象的编程(OOP)、脚本语言、微代码等。可替代地,机器可读指令集可以用硬件描述语言(HDL)编写,诸如经由现场可编程门阵列(FPGA)配置或者专用集成电路(ASIC)或者其等价物实现的逻辑。因而,本文所描述的功能可以以任何常规的计算机编程语言、作为预编程的硬件元件或作为硬件和软件组件的组合来实现。虽然图2中描绘的实施例包括单个非暂态计算机可读存储器234,但其它实施例可以包括多于一个的存储器模块。

[0045] 仍然参考图2,系统200可以包括显示器240用于提供视觉输出,诸如可旋转轴190的旋转位置、旋转速度和/或旋转扭矩。显示器240耦合到通信路径220。因而,通信路径220将显示器240通信地耦合到系统200的其它模块。显示器240可以包括能够传输光输出的任何介质,诸如,例如,阴极射线管、发光二极管、液晶显示器、等离子显示器等。而且,显示器240可以是触摸屏,除了提供光学信息,还检测在显示器240的表面上或邻近显示器240的表面的触觉输入的存在和位置。因而,每个显示器240可以在显示器240提供的光学输出上直接接收机械输入。此外,要注意的是,显示器240可以包括一个或多个处理器232和一个或多个非暂态计算机可读存储器234中的至少一个。

[0046] 系统200还可以包括输入设备250,诸如键盘、鼠标或能够将输入传送到系统200的其它人机接口设备。此外,数据存储组件260是能够在断电时维持数据的存储器组件。数据存储组件260可以驻留在计算设备210本地和/或远离计算设备210,并且可以被配置为存储一条或多条数据以供计算设备210和/或其它组件访问。数据存储组件260可以存储校准、图像数据和/或计算出的值,诸如可旋转轴190的旋转位置、旋转速度和/或扭矩。

[0047] 仍然参考图2,一些系统依赖网络接口硬件270来与一个或多个非接触式传感器100A、100B和100C通信。网络接口硬件270可以耦合到通信路径220并且通信地耦合到处理设备230。网络接口硬件270可以是能够通过网络280或直接通过一个或多个非接触式传感器100A、100B和100C传输和/或接收数据的任何设备。因而,网络接口硬件270可以包括用于发送和/或接收任何有线或无线通信的通信收发器。例如,网络接口硬件270可以包括天线、调制解调器、LAN端口、Wi-Fi卡、WiMax卡、移动通信硬件、近场通信硬件、卫星通信硬件和/或用于与其它网络和/或设备通信的任何有线或无线硬件。在一些实施例中,网络接口硬件270包括被配置为根据蓝牙无线通信协议操作的硬件。在另一个实施例中,网络接口硬件270可以包括蓝牙发送/接收模块,用于向网络280和/或一个或多个非接触式传感器100A、100B和100C发送蓝牙通信/从其接收蓝牙通信。此外,在一些实施例中,网络接口硬件270可以包括被配置为实现控制器区域网络(CAN)总线的硬件,从而促进计算设备210、电子控制单元130和/或计算设备210的组件以及一个或多个非接触式传感器100A、100B和100C之间的通信。

[0048] 参考图3-6,现在将描述与非接触式传感器100的配置和操作相关的一些说明性实施例。特别地,图3描绘了可旋转轴190沿着由非接触式传感器100照亮和成像的表面的平面图。图3中描绘的平面图A与图1中描绘的沿着线A-A的视图对应。

[0049] 如本文所描述,照明设备111可以倾斜地照亮可旋转轴190的表面的一部分300。被

照亮的部分300可以大于被成像的部分301。被成像的部分301由成像光学器件121和图像传感器122的组合定义。在一些实施例中,被成像的部分301与图像传感器122的像素阵列的像素行L(图5)和像素列C(图5)的数量对应。像素列C的数量可以大于定义由图像传感器122捕获的图像数据的像素行L的数量。此外,随着可旋转轴190旋转(例如,如箭头R所指示的),图像传感器122捕获图像帧的序列。沿着可旋转轴190的标称圆周部分320捕获图像帧的序列。

[0050] 参考图4,描绘了由图像传感器122相继捕获的第一帧310A和第二帧310B的说明性示例。具有图像帧310A和310B的图像数据与图3中说明性描绘的被成像的部分301对应。如本文所述,电子控制单元130使用信号处理算法来跨从图像传感器122接收的图像数据的多个图像帧(例如,第一帧310A和第二帧310B)跟踪轴表面特征330、331、332、333和/或334。如所描绘的,仅用于说明,第一帧310A是具有表面特征330、331和332的图像。在第一帧310A之后的某个时间捕获的第二帧310B是具有表面特征331、332、333和334的图像。作为非限制性示例,可以在可旋转轴190不到一个完整旋转过程中相继捕获第一帧310A和第二帧310B。但是,在一些情况下,可以在可旋转轴190的一个或多个完整旋转过程中捕获第一帧310A和第二帧310B。

[0051] 如图所示,表面特征331和332为第一帧310A和第二帧310B两者所共有的。当电子控制单元130处理图像数据(例如,第一帧310A和第二帧310B)时,使用信号和/或图像处理算法可以确定图像空间中的变换。如本文所描述,电子控制单元130还被配置为基于变换和图像空间与物体空间之间的定量表征的关系来确定可旋转轴190的各种操作特点,诸如旋转位置、旋转速度和/或扭转偏转值。

[0052] 转到图5,具有多个像素350的图像传感器122的说明性视图。多个像素350布置成阵列,该阵列可以包括像素行L和像素列C的网格。如本文所述,图像传感器122可以被配置为生成可旋转轴190的表面的图像数据,其中像素行标称地与旋转的方向对准(例如,如箭头R所指示的)。此外,在一些情况下,图像传感器122可以被配置为使得图像帧310利用图像传感器122的像素阵列内的像素350中的不到全部数量的像素。图像传感器122可以在更少像素被利用时和/或在像素行标称地与可旋转轴190的旋转方向对准时更快地读出图像数据。即,在一些情况下,定义具有纵横比的图像帧310使得切向维度(标称地与旋转方向R对准)中的像素的数量超过轴向维度(标称地垂直于旋转方向R)中的像素的数量可以是有利的。此外,许多图像传感器122被配置为在开始读出后续行中的像素之前完成对像素行L中的每个像素的数据的读出,并且还被配置为使得每行像素的读出与一些重要的固定开销时间相关联。因而,对于此类图像传感器,定义图像帧310使得列C的数量超过行L的数量导致与其中列C与行L的数量转置的另一种等效的图像帧定义相比更快的帧速率。

[0053] 现在参考图6,由系统200分析的可旋转轴190的示意图,该系统200具有两个非接触式传感器100A和100B(图2),两个非接触式传感器100A和100B被配置为分别在成像场311和313中生成图像数据。两个非接触式传感器100A和100B被定位成分析可旋转轴190的轴向分离的部分以确定可旋转轴190的扭转偏转值。即,系统可以确定可旋转轴在沿着可旋转轴的长度的两个位置处的旋转位置并比较每个旋转位置以确定旋转位置之间是否存在角度差。

[0054] 例如,具有第一图像传感器的第一非接触式传感器在第一部分320周围的成像场311内捕获可旋转轴190的表面的至少一个图像帧。具有第二图像传感器的第二非接触式传

传感器在与第一部分320轴向分离的第二部分322处的成像场313内捕获可旋转轴190的表面的至少一个图像帧。可旋转轴190在第一部分320处的第一旋转位置B是基于图像空间中在图像数据的第一帧中(例如,在成像场311内)出现的一个或多个表面特征与在图像数据的第二帧中(例如,在成像场311内)出现的相同的一个或多个表面特征之间的变换以及图像空间与物体空间之间的定量表征的关系来确定的。可旋转轴190在第二部分322处的第二旋转位置C是基于图像空间中在图像数据的第一帧中(例如,在成像场313内)出现的一个或多个表面特征与在图像数据的第二帧中(例如,在成像场313内)出现的相同的一个或多个表面特征之间的变换以及图像空间与物体空间之间的定量表征的关系来确定的。第一旋转位置B与第二旋转位置C之间的差由计算装置210(图2)或非接触式传感器100(图1)的电子控制单元130计算。该差可以被确定为可旋转轴190分别在第一部分320和第二部分322处的第一旋转位置B与第二旋转位置C之间的角度差 θ 。即,角度差 θ 与两个非接触式传感器之间沿着轴的长度的扭转偏转对应。

[0055] 当确定存在角度差 θ 时(例如,当计算出非零角度差 θ 时),电子控制单元130可以进一步确定与计算出的角度差 θ 对应的扭矩值。例如,通过使用可旋转轴190的扭矩与扭转偏转之间的定量表征的关系,可以确定施加到可旋转轴的扭矩(即,扭转载荷)的瞬时值。

[0056] 应当理解的是,本公开的实施例包括非接触式传感器,非接触式传感器具有被配置为捕获可旋转轴的表面的—部分的图像数据的图像传感器和通信地耦合到图像传感器的电子控制单元。电子控制单元被配置为从图像传感器接收图像数据并将图像数据存储在电子控制单元的存储器组件中。图像数据包括多个图像帧。电子控制单元还被配置为确定图像空间中在图像数据的第一帧中出现的一个或多个表面特征与在图像数据的第二帧中出现的相同的一个或多个表面特征之间的变换,基于变换和图像空间与物体空间之间的定量表征的关系确定在捕获图像数据的第二帧时可旋转轴的旋转位置,以及将在捕获图像数据的第二帧时可旋转轴的旋转位置存储在电子控制单元的存储器组件中。

[0057] 在非接触式传感器的一些实现方式中,可以使用非接触式传感器来确定可旋转轴的旋转速度。例如,电子控制单元被配置为基于可旋转轴在捕获图像数据的第一帧时可旋转轴的旋转位置与在捕获图像数据的第二帧时可旋转轴的旋转位置之间经过的旋转距离以及捕获图像数据的第一帧的时间与捕获图像数据的第二帧的时间之间经过的时间量来计算可旋转轴的旋转速度,并将旋转速度存储在电子控制单元的存储器组件中。

[0058] 还应该理解的是,多个非接触式传感器可以彼此通信地耦合和/或与计算设备通信地耦合。作为非限制性示例,非接触式传感器系统包括通信地耦合到计算设备的第一非接触式传感器和第二非接触式传感器。第一非接触式传感器包括被配置为捕获可旋转轴的表面的第一部分的图像数据的第一图像传感器,以及第二非接触式传感器包括被配置为捕获可旋转轴的表面的第二部分的图像数据的第二图像传感器,其中第一部分与第二部分沿着可旋转轴轴向分离。计算设备被配置为接收来自第一图像传感器的第一图像数据和来自第二图像传感器的第二图像数据。第一图像数据和第二图像数据各自包括多个图像帧。计算设备还被配置为确定图像空间中在第一图像数据的第一帧中出现的一个或多个表面特征与在第一图像数据的第二帧中出现的相同的一个或多个表面特征之间的第一变换,基于第一变换和第一图像传感器的图像空间与物体空间之间的第一定量表征的关系确定在捕获第一图像数据的第二帧时可旋转轴的第一旋转位置,确定图像空间中在第二图像数据的

第一帧中出现的一个或多个表面特征与在第二图像数据的第二帧中出现的相同的一个或多个表面特征之间的第二变换,基于第二变换和第一图像传感器的图像空间与物体空间之间的第二定量表征的关系确定在捕获第二图像数据的第二帧时可旋转轴的第二旋转位置,计算可旋转轴的第一旋转位置与第二旋转位置之间的角度差,从而确定在可旋转轴的第一部分与第二部分之间可旋转轴的扭转偏转,以及将可旋转轴的扭转偏转存储在计算设备的存储器组件中。

[0059] 除非另有定义,否则本文使用的所有技术和科学术语具有与本发明所属领域的普通技术人员通常理解的含义。在本文的描述中使用的术语仅用于描述特定实施例并且不旨在进行限制。如在说明书和所附权利要求中使用的,单数形式“一个”、“一种”和“该”旨在也包括复数形式,除非上下文另有明确指示。

[0060] 注意的是,术语“基本上”和“大约”在本文中可以被用于表示可归因于任何定量比较、值、测量或其它表示的固有不确定性程度。这些术语在本文中也用于表示定量表示可以与所述参考不同的程度,而不会导致所讨论主题的基本功能发生变化。

[0061] 虽然本文已经说明和描述了特定实施例,但是应当理解的是,在不背离所要求保护的主体范围的情况下,可以进行各种其它改变和修改。而且,虽然本文已经描述了要求保护的主体范围的各个方面,但是这些方面不需要结合使用。因此,所附权利要求旨在涵盖在所要求保护的主体范围内的所有这些改变和修改。

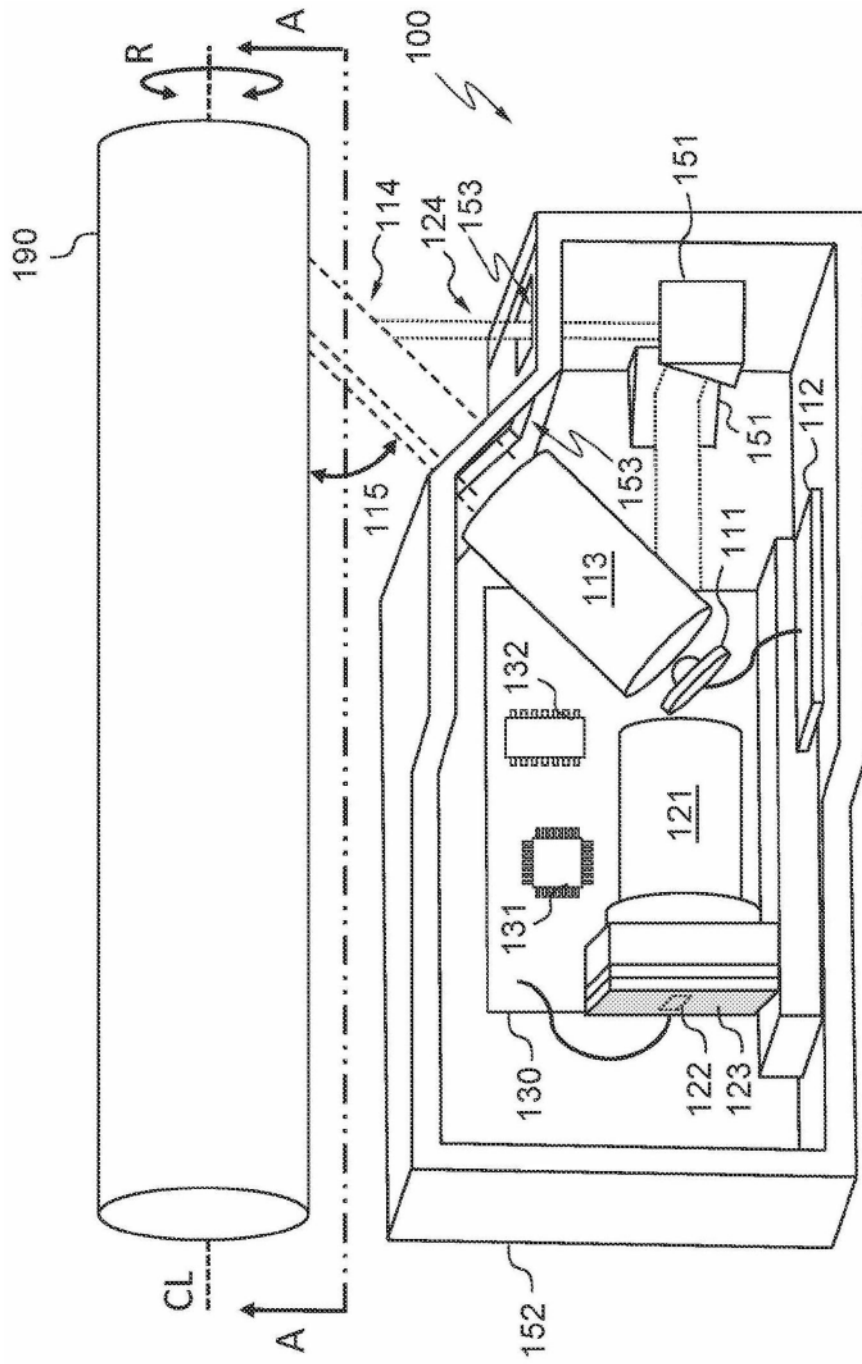


图1

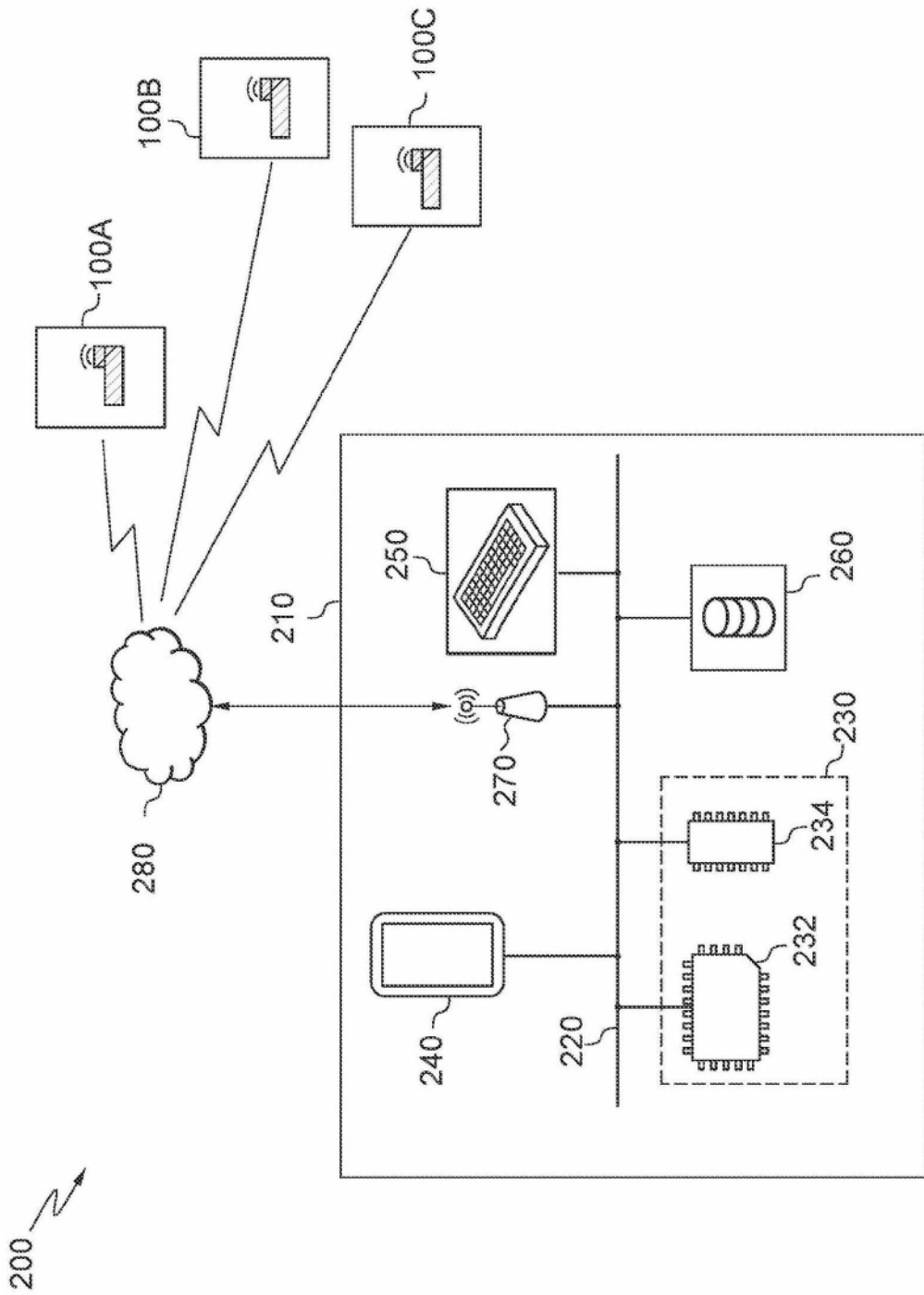


图2

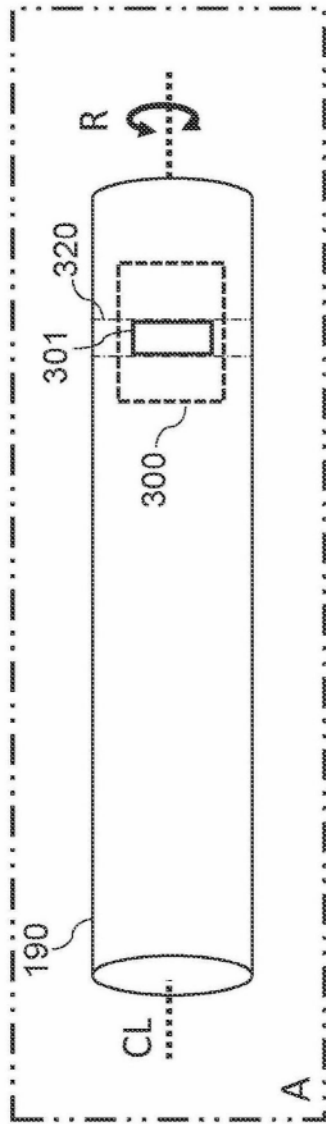


图3

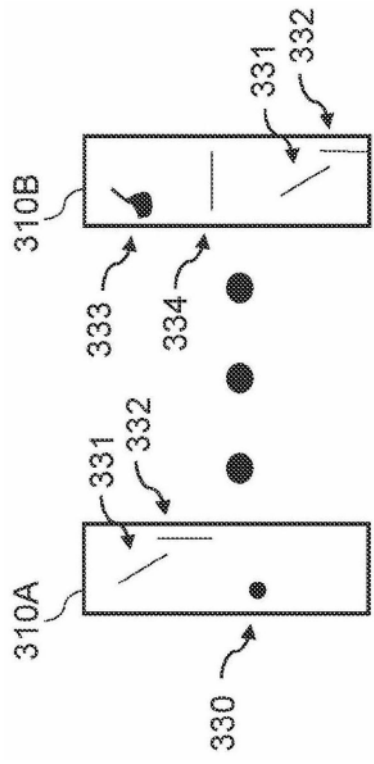


图4

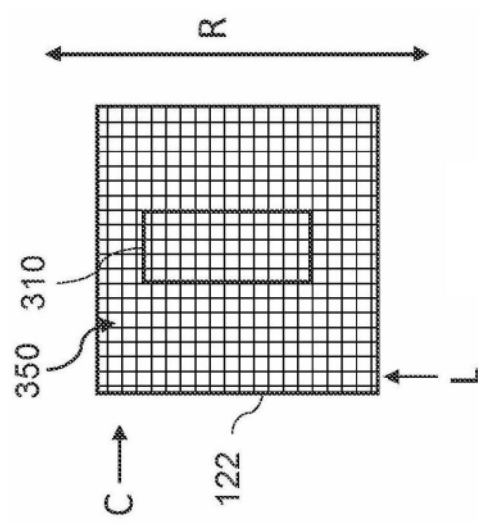


图5

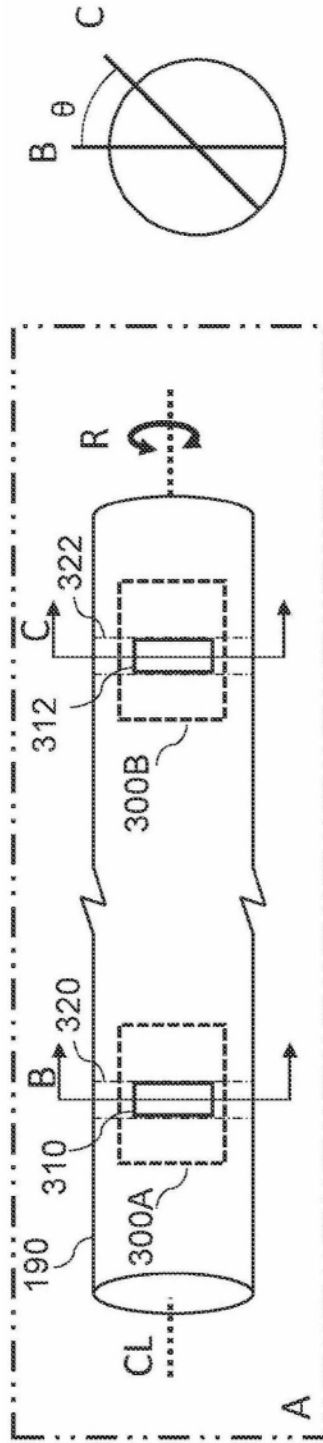


图6