



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113453626 A

(43) 申请公布日 2021.09.28

(21) 申请号 201980092452.8

(22) 申请日 2019.12.12

(30) 优先权数据

18213817.2 2018.12.19 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2021.08.18

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2019/084946 2019.12.12

(87) PCT国际申请的公布数据

W02020/126844 EN 2020.06.25

(71) 申请人 皇家飞利浦有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 R·L·M·因特格罗恩 左菲

M·T·约翰逊 D·贝拉

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

代理人 孟杰雄

(51) Int.Cl.

A61B 8/00 (2006.01)

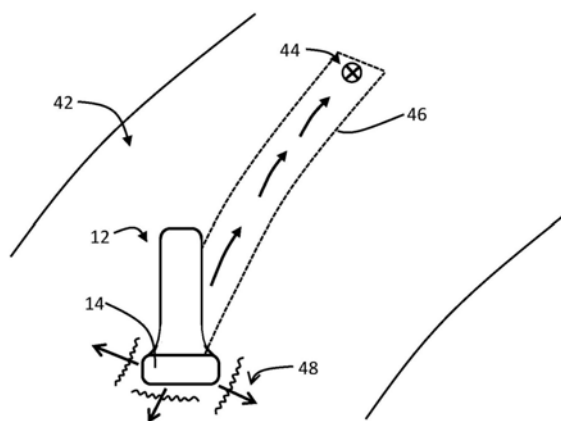
权利要求书2页 说明书20页 附图3页

(54) 发明名称

具有摩擦引导功能的超声换能器单元

(57) 摘要

一种超声换能器单元(12),例如探头,被配置有摩擦引导功能。换能器单元(12)包括在组织接触区处的振动生成模块(20),并且具有用于感测换能器单元跨接触区在其处入射的组织表面(42)的滑动方向的模块(22)。组织表面可以是外部皮肤表面或内部组织表面,例如在导管的情况下。控制模块能用于控制振动生成器的振动,以调节组织接触区处的摩擦的水平。这由控制模块使用以实现摩擦引导功能,所述摩擦引导功能用于基于响应于感测到的滑动方向而控制摩擦水平来引导用户跨入射表面滑动所述单元,例如朝向目标定位(44),例如当滑动在目标方向上时提供较低的摩擦,而使其他方向具有相对较高的摩擦阻力。



1. 一种超声换能器单元 (12), 包括:

组织接触区 (18);

在所述组织接触区处的振动模块 (20);

移动感测模块 (22), 其用于感测所述换能器单元 (12) 跨入射表面的滑动方向; 以及

控制器 (24);

所述控制器 (24) 能用于基于调节所述振动模块的振动设置来控制所述换能器单元 (12) 跨入射表面 (42) 的滑动摩擦; 并且

所述控制器 (24) 被配置为实现用于沿着跨所述入射表面的滑动路径 (46) 引导操作者的摩擦引导功能, 所述摩擦引导功能基于响应于感测到的滑动方向而控制所述滑动摩擦。

2. 根据权利要求1所述的超声换能器单元 (12), 其中, 所述控制器 (24) 被配置为当滑动方向沿着所述路径时设置相对较低的滑动摩擦, 并且当滑动方向偏离所述路径时设置较高的滑动摩擦。

3. 根据权利要求1或2所述的超声换能器单元 (12), 其中,

所述滑动路径是沿着所述路径的长度动态地确定的, 或者

所述滑动路径是预先确定的。

4. 根据权利要求1-3中的任一项所述的超声换能器单元 (12), 其中, 所述摩擦引导功能用于朝向所述入射表面上的目标定位 (44) 引导操作者。

5. 根据权利要求4所述的超声换能器单元 (12), 其中, 所述滑动路径是跨所述入射表面至所述目标定位 (44) 的最短路径。

6. 根据任一项前述权利要求所述的超声换能器单元 (12), 其中, 所述超声换能器单元包括位置感测模块, 并且其中, 所述摩擦引导至少部分地基于所述换能器单元在所述表面上的感测到的位置。

7. 根据权利要求4和权利要求6所述的超声换能器单元 (12), 其中,

基于所述感测到的位置和已知目标定位来定义当前目标滑动方向, 并且所述滑动摩擦被控制用于引导操作者在所述方向上滑动所述探头, 并且

任选地其中, 当前目标滑动方向由所述控制器 (24) 循环更新。

8. 根据权利要求6或7所述的超声换能器单元 (12), 其中, 在给定换能器单元 (12) 定位处的位置感测基于分析在所述定位处采集的超声图像。

9. 根据权利要求1-8中的任一项所述的超声换能器单元 (12), 其中, 所述控制器 (24) 被配置为应用机器学习算法以循环地确定当前目标滑动方向, 所述算法使用实时采集的超声图像作为输入, 并且

优选地其中, 所述算法是使用在跨所述表面的各个定位处采集的先前超声图像和针对每幅图像的相关联的定位信息而被训练的算法。

10. 根据权利要求1-9中的任一项所述的超声换能器单元 (12), 其中, 所述振动设置包括以下各项中的至少一项: 所述振动模块 (20) 的振动幅度和所述振动模块 (20) 的振动频率。

11. 根据任一项前述权利要求所述的超声换能器单元 (12), 其中,

所述振动模块 (20) 包括一个或多个压电性聚合物致动器; 和/或

所述振动模块 (20) 包括一个或多个超声换能器。

12. 一种引导超声换能器单元(12)的操作者来跨入射表面滑动所述单元的方法,所述方法包括:

感测所述超声换能器单元(12)的滑动方向,并且

响应于感测到的滑动方向而控制所述换能器单元(12)与所述入射表面之间的滑动摩擦,由此实现摩擦引导功能,其中,所述摩擦控制基于调节位于所述超声换能器单元(12)的组织接触区处的振动模块(20)的振动设置。

13. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述控制器(24)被配置为当滑动方向在目标方向上时设置相对较低的滑动摩擦,并且当滑动方向偏离所述目标方向时设置较高的滑动摩擦。

14. 根据权利要求12或13所述的方法,其中,所述摩擦引导功能用于朝向所述入射表面上的目标定位引导操作者,并且任选地其中,

所述摩擦引导功能用于沿着跨所述入射表面至所述目标定位的最短滑动路径引导所述操作者。

15. 一种包括代码模块的计算机程序产品,当所述程序在处理器上执行,所述处理器操作地与超声换能器单元(12)耦合时,所述代码模块使所述处理器:

接收由所述超声换能器单元包括的移动感测模块(22)的传感器输出,并且基于所述传感器输出来检测所述换能器单元的滑动方向;并且

控制位于所述超声换能器单元(12)的组织接触区处的振动模块(20)的振动设置,由此控制所述换能器单元(12)与入射表面之间的滑动摩擦,所述滑动摩擦响应于感测到的滑动方向而被控制,由此实现摩擦引导功能。

具有摩擦引导功能的超声换能器单元

技术领域

[0001] 本发明涉及超声换能器单元,例如超声探头。

背景技术

[0002] 超声是用于医学成像的重要模式,并且是用于调查许多病理的主要检查模式。

[0003] 例如,一个重要的领域是进行心血管检查。使用超声波对心血管区域进行非侵入性成像是最容易、直接和准确的。

[0004] 心脏的体格检查常常不仅包括对患者的心脏的检查,还包括对身体的其他部位的检查,包括手部、面部和颈部。心血管检查旨在识别可能导致患者症状的任何心血管病理,例如胸痛、呼吸困难或心力衰竭。

[0005] 在心脏的体格检查期间可以执行的关键观察包括:心率的测量;心脏大小的测量(例如通过叩击和感觉心脏的搏动来测量),例如作为左心室扩大的指示;以及心脏瓣膜功能和血流的检查,例如经由在四个标准位置对心脏进行听诊来观察的,其涉及不同的心脏瓣膜,这些是二尖瓣、主动脉瓣、三尖瓣和肺动脉瓣。心音和杂音给出瓣膜缺陷、容量超负荷、压力超负荷和肥大的指示。

[0006] 超声检查的一种特定形式是超声心动图。

[0007] 超声心动图是一种超声测试,其可以用于评价心脏的结构以及心脏内的血流的方向。在超声心动图方面专门训练的技术人员使用超声探头执行扫描以产生图像和视频,常常使用放置在胸壁上各个地方的特殊探头或换能器以从不同方向查看心脏。心脏病专家或心脏专家被训练来评价所采集的图像以评估心脏功能并提供结果的报告。

[0008] 由超声心动图产生的信息可以提供以下中的一项或多项的指示:

[0009] 心脏大小。变弱或受损的心脏瓣膜、高血压或其他疾病会导致心脏的腔扩大或心脏的壁变得异常增厚。

[0010] 心脏泵送强度。超声心动图可以帮助确定心脏的泵送强度。具体测量结果可以包括每次心跳期间从充满的心室排出的血液百分比(射血分数)或一分钟内由心脏泵送的血液的体积(心输出量)。

[0011] 对心肌的损害。在超声心动图期间,有可能确定心脏壁的所有部分是否正常贡献于心脏泵送活动。呈现微弱移动的部分可能在心脏病发作期间已被损害或接收太少的氧气。这可能指示冠状动脉疾病或各种其他状况。

[0012] 瓣膜问题。超声心动图指示心脏跳动时心脏瓣膜的移动。由此可以确定瓣膜是否开放足够宽以用于足够的血流(即无狭窄)和/或完全关闭以防止血液泄漏(即无瓣膜反流)。

[0013] 心脏缺陷。可以利用超声心动图来检测许多心脏缺陷,包括关于心室的问题、心脏和主要血管之间的异常连接以及出生时可能存在的复杂心脏缺陷。超声心动图也可以用于监测婴儿出生前的心脏发育。

[0014] 除上述之外,还可能(使用更先进的分析技术)评估心脏壁厚度、壁动力学和血流

模式。

[0015] 存在用于超声检查的各种不同的硬件实施方式。

[0016] 最常见的方法采用具有声学耦合到位于其尖端处的皮肤接触区的超声换能器的阵列的超声探头的形式。这是滑过患者的皮肤,通常使用在皮肤和探头之间施加的声学耦合凝胶。超声探头可以是连接到超声成像系统或设备的手持式探头设备,例如以运货车或手推车的形式安装。

[0017] 备选硬件方法是使用电子听诊器,其辅助执行心脏听诊。最近已经在该领域取得了进展,用于对听诊心音信号进行更复杂的处理,以实现例如对所得声音的改进分析和辨识,以实现基于结果的诊断。然而,与常规听诊器一样,电子听诊器依赖于临床医师聆听来自心脏的听觉声音并根据这些声音评估心脏是健康还是不健康。这是非常困难的技能并且依赖于高水平的训练和经验。其易受不准确性的影响。

[0018] 相比之下,超声是一种更加直观得多的检查模态,允许其由较不熟练的从业者执行,并且致使其较不易受人为错误的影响并因此不可靠。研究已经表明,甚至具有有限学习时段,使用超声的学生也比使用听诊器的有经验的医生执行更好的评估。

[0019] 超声探头利用超声换能器来生成声学信号。存在不同类型的超声换能器。最常见类型的换能器是压电换能器。

[0020] 一种备选和有利的类型是电容式微机械超声换能器(CMUT)。CMUT换能器是一种相对新近发展。CMUT利用电容的变化来提供能量换能功能。CMUT是使用微加工技术在硅上构建的。在硅衬底中形成腔,在腔上方悬挂着薄膜,其上的金属化层用作电极。硅衬底用作下电极。

[0021] 由于CMUT是微机械设备,因此使用该技术构建换能器的2D和3D阵列是更简单的。这意味着换能器阵列中可以包括大量CMUT,与其他换能器技术相比提供更大的带宽。

[0022] 另外,由于CMUT的较小尺寸,因此使用CMUT也更容易实现高频操作。操作的频率取决于换能器单元的大小(特别是被膜覆盖的腔的大小),并且还取决于用于膜的材料的刚度。

[0023] 另外,由于CMUT换能器被构建在硅上,因此与其他换能器技术相比,额外控制或驱动电子设备的集成也更容易。例如,这通过将控制部件与换能器集成在相同芯片上提供了减小设备的形状因子的潜力。

[0024] 最近已经记载医师中间例如在执行手动超声检查时的体格检查技能的下降。对于更有经验的临床医师来说,这可能是由于缺乏最近的实践或时间限制而出现。另外,对于确实说明良好技术能力的医学生来说,在进行检查时常常存在临床推理方面的不足,例如跟随某些观察来确定要检查哪些解剖区域或以何种顺序进行检查。有时在执行扫描时遗漏解剖区域,其是以后准确诊断所需要的。

[0025] 挑战包括知道要检查哪些解剖区域、知道检查解剖区的最佳角度以及知道在皮肤上的哪些定位放置探头适当地捕获特定视角。因此,在身体上正确定位探头以捕获图像是关键问题。

[0026] 已知用于提供视觉引导以在身体上导航探头的解决方案,特别是通过提供额外屏幕或视觉窗口以用文本或图像提供指令。然而,操作者在查看实时超声图像数据(用于进行临床评估)时同时跟随视觉探头操纵指令是非常困难和不便的。

[0027] 例如,基于在探头把手中使用触觉反馈设备的触觉反馈方法也是已知的。这些可以为用户提供某种程度的非视觉引导。然而,用当前的触觉解决方案传达方向信息是非常困难的,这意味着常常仍需要某种形式的补充视觉引导。

[0028] 因此寻求一种用于在超声检查期间向操作者提供导航引导的改进模块。

发明内容

[0029] 本发明由权利要求限定。

[0030] 根据与本发明的一个方面相一致的示例,提供了一种超声换能器单元,包括:

[0031] 组织接触区;

[0032] 在所述组织接触区处的振动模块;

[0033] 移动感测模块,其用于感测所述换能器单元跨入射表面的滑动方向;以及

[0034] 控制器;

[0035] 所述控制器能用于基于调节所述振动模块的振动设置来控制所述换能器单元跨入射表面的滑动摩擦;并且

[0036] 所述控制器被配置为实现用于沿着跨所述入射表面的特定滑动路径引导操作者的摩擦引导功能,所述摩擦引导功能基于响应于感测到的滑动方向而控制所述滑动摩擦。

[0037] 因此本发明的实施例基于为用户实现摩擦引导:在给定的时刻减小沿着优选移动方向(如由该系统确定)的摩擦并增加在非优选方向上的摩擦(或不使其减小)。

[0038] 摩擦引导是高度有效且直接的引导形式,因为其不仅向用户提供触觉反馈的形式,而且在物理上引导或使探头沿着确定的路径。该反馈被更直观地跟随,因为用户能够简单地跨表面沿着具有表观最小阻力的路径推动探头。该解决方案因此优于需要用户解释反馈信号且然后判断滑动探头的正确方式的仅振动触觉反馈。

[0039] 本发明基于围绕所谓的粘滞-滑动现象的见解的应用,其中,在彼此滑动的两个对象之间可以发生自发急动运动,即粘滞和滑动的情况交替。

[0040] 众所周知,通过在滑动对象和衬底或表面之间的界面处施加振动,可以减小滑动对象的粘滞,从而减小有效摩擦阻力。滑动摩擦的程度可以通过控制振动的振荡幅度或振荡频率来调节。

[0041] 本发明应用这些见解来实现导航或引导功能,其中,通过沿着期望的滑动方向减小相对摩擦阻力跨该表面(例如沿着给定的滑动路径)引导换能器单元。在其他方向上,摩擦阻力可以增加或保持不变。这可以阻挡或阻碍在这些方向上行进,同时允许或促进在目标方向上的移动。

[0042] 该方法依赖于获知当前的滑动方向,并且其中,作为响应,组织接触区与入射表面之间的摩擦阻力的水平被配置。摩擦当滑动在错误方向上(例如,不沿着确定的或已知的导航路径或者不在优选的导航方向上)时瞬时增加(或保持相同)并且当滑动在正确目标方向上时减小(或保持相同)。

[0043] 使用粘滞滑动控制见解来实现超声导航先前尚未被考虑。

[0044] 换能器单元可以例如是超声探头。

[0045] 入射表面例如是指入射组织表面,例如皮肤表面。组织可以是皮肤或内部组织(例如,在诸如导管的侵入式探头的情况下)。

[0046] 控制滑动摩擦例如包括控制换能器单元的组织接触区与入射表面之间的滑动摩擦。

[0047] 移动感测模块也可以感测移动速度,即滑动速度。在一些示例中,移动感测模块可以包括一个或多个加速度计。

[0048] 振动模块用于生成振动,特别是在组织接触区处。振动模块的振动设置可以包括以下中的至少一个或多个:振动幅度和振动频率。控制器基于配置振动模块的振动设置来配置滑动摩擦水平。

[0049] 所述引导是基于摩擦的:在不在目标方向上的方向上增加摩擦,并且在目标方向上的方向上减小摩擦。

[0050] 在示例中,组织接触区可以包括声学输出区,例如声学窗口。例如,其可以在声学上耦合到一个或多个超声换能器以生成成像信号。

[0051] 控制器可以完全提前确定跨入射表面的引导滑动路径,或者这种路径可以动态地或迭代地确定,例如其中,仅在任何给定时间导出当前目标滑动方向(例如滑动方向朝向入射表面上的已知目标定位)。

[0052] 因此,该路径可以被预先确定,或者可以例如基于目标滑动方向逐个时刻的实时计算来动态地出现,例如以导航到定义的目标定位。

[0053] 该控制器可以被配置为当滑动方向在沿着该路径的方向上时设置相对较低的滑动摩擦,并且当滑动方向在偏离该路径的方向上时设置较高的滑动摩擦。

[0054] 例如,滑动摩擦当滑动方向在沿着该路径的方向上时减小,和/或当滑动方向在偏离该路径的方向上时增加。

[0055] 较高和较低意味着(相对于彼此)相对较高和较低。

[0056] 如上所述,根据某些示例,滑动路径可以是沿着路径的长度动态地确定的。

[0057] 备选地,滑动路径可以是预先确定的。

[0058] 路径的动态确定可以基于循环地重新确定瞬态目标滑动方向。例如,这可以是到目标定位的最直接路径的方向。

[0059] 根据一组有利的实施例,摩擦引导功能可以用于朝向所述入射表面上的目标定位引导操作者,例如其中,滑动路径是朝向所述表面上的定义的目标定位的路径。

[0060] 例如,基于感测到的定位,可以确定跨入射表面至目标定位的目标滑动路径,并且摩擦滑动功能被控制用于沿着所述目标滑动路径引导操作者。

[0061] 滑动路径可以是跨所述入射表面至所述目标定位的最短路径。

[0062] 该最短路径可以是空间最短路径(最短距离路径)或时间最短路径(最短时间)。然而,通常这些将是相同的。

[0063] 控制器可以基于已知的目标定位以及入射表面的已知或确定的景观和/或拓扑(例如地图)确定最短路径。已知的景观或拓扑可以基于访问存储表示景观或拓扑的数据的地图、模型或其他数据集。例如,可以采用解剖模型或地图。

[0064] 备选地,该路径可以是间接路径(例如,迂回路径),以用于例如经由一个或多个航路点行进,或避开一个或多个障碍物。

[0065] 在示例中,超声换能器单元可以包括位置感测模块。摩擦引导可以至少部分基于探头在表面上的感测到的位置。例如,可以基于探头的感测到的位置并基于已知的目标定

位来确定或计算换能器单元跨该表面的目标滑动路径。

[0066] 在一些示例中,位置感测模块可以有助于或提供移动感测模块,即可以经由感测探头位置的变化来检测移动方向。在其他示例中,可以提供用于感测位置的单独的装置。这可以是传感器,或者在一些示例中可以基于所采集的超声图像的分析,例如以检测解剖界标。

[0067] 在一些示例中,摩擦引导可以至少部分基于探头相对于目标定位的感测到的位置,即基于当前位置来确定目标滑动方向。

[0068] 根据一个或多个示例,基于感测到的位置和已知的目标定位,可以限定当前目标滑动方向,并且滑动摩擦被控制用于引导操作者在所述方向上滑动探头。该目标滑动方向可以例如是至目标定位的最短路径的方向。

[0069] 当前目标滑动方向可以由控制器循环更新。例如,其可以例如以规则的间隔周期性地更新。其可以响应于感测到的移动或者新的感测到的定位而被更新。

[0070] 在包括位置感测的情况下,在给定的换能器单元定位处的位置感测可以基于分析在处于所述定位时采集的超声图像。例如,图像可以被分析以检测可以用于检测探头的位置的解剖界标。

[0071] 位置的检测可以基于当前图像视图与目标定位或感兴趣区域的已知视角的比较。其可以基于实时图像数据与对应于跨身体的不同已知定位的参考图像数据的数据集或数据库的比较。

[0072] 被用于位置检测的图像可以在每个给定定位处实时地被采集并且实时地被分析。

[0073] 根据一组实施例,控制器可以被配置为使用机器学习算法来循环地确定当前目标滑动方向。该算法可以使用实时采集的超声图像作为输入。该算法可以实现图像的图像分析。该算法可以是使用在跨入射表面的各个定位处采集的先前超声图像以及图像的相关联的定位信息训练的算法。

[0074] 振动模块的振动设置可以包括以下中的至少一项:振动模块的振动幅度和振动模块的振动频率。

[0075] 根据一组或多组实施例,振动模块可以包括一个或多个电活性聚合物(EAP)致动器,即包括EAP的致动器。

[0076] 电活性聚合物(EAP)是电反应性材料的领域中一类新兴的材料。EAP可以作为传感器或致动器进行工作并且可以容易地制造成各种形状,以允许容易地集成到各种各样的系统中。

[0077] EAP的优点包括低功率、小形状因子、灵活性、无噪声操作、准确度、高分辨率的可能性、快速响应时间以及循环致动。

[0078] EAP材料的改进的性能和特殊优点导致适用于新的应用。

[0079] 由于相比常规致动器在小的体积或薄形状因子中组合了相对大的变形和力,使用EAP实现先前不可能的功能,或者提供优于常用的传感器/致动器方案的显著优点。EAP还给出了无噪声操作、准确电子控制、快速响应以及大范围的可能致动频率,例如0-1MHz,最通常地低于20kHz。

[0080] 振动模块可以额外地或备选地包括一个或多个超声换能器,例如一个或多个CMUT换能器。

[0081] 在另外的示例中,振动模块可以包括振动致动器,例如机械或机电振动致动器。这可以包括例如偏心旋转质量振动器。

[0082] 根据本发明的另一方面的示例提供了一种引导超声换能器单元的操作者来跨入射表面滑动所述单元的方法,所述方法包括:

[0083] 感测所述换能器单元的滑动方向,并且

[0084] 响应于感测到的滑动方向而控制所述换能器单元与所述入射表面之间的滑动摩擦,由此实现摩擦引导功能,其中,所述摩擦控制基于调节位于所述超声换能器单元的组织接触区处的振动模块的振动设置。

[0085] 滑动方向可以被循环地感测,例如周期性地感测,例如以规则的间隔感测,或者响应于例如感测到移动(即移动传感器的触发)而被感测。

[0086] 在示例中,控制器可以被配置为当滑动方向在目标方向上时设置相对较低的滑动摩擦,并且当滑动方向偏离目标方向时设置较高的滑动摩擦。

[0087] 根据一组有利的实施例,摩擦引导功能被配置用于朝向入射表面上的目标定位引导操作者。例如,控制器沿着朝向目标定位的特定路径或在朝向目标定位的特定方向上(例如最直接的方向或最直接的路径)引导操作者。

[0088] 摩擦引导功能可以被配置用于沿着跨所述入射表面至所述目标定位的最短滑动路径引导操作者。

[0089] 根据本发明的另一方面的示例提供了一种包括代码模块的计算机程序产品,当所述程序在处理器上执行,所述处理器操作地与超声换能器单元耦合时,所述代码模块使所述处理器:

[0090] 接收由所述超声换能器单元包括的移动感测模块的传感器输出,并且基于所述传感器输出来检测所述换能器单元的滑动方向;并且

[0091] 控制位于所述超声换能器单元的组织接触区处的振动模块的振动设置,由此控制所述换能器单元与入射表面之间的滑动摩擦,所述滑动摩擦响应于感测到的滑动方向而被控制,由此实现摩擦引导功能。

[0092] 参考下文描述的(一个或多个)实施例,本发明的这些和其他方面将变得显而易见并被阐明。

附图说明

[0093] 为了更好地理解本发明,并更清楚地示出如何实施本发明,现在将仅通过示例参考附图,其中:

[0094] 图1示出了不同振动幅度下的对象的归一化滑动速度与归一化滑动摩擦之间的关系;

[0095] 图2示意性地图示了根据一个或多个实施例的示例超声换能器单元;

[0096] 图3图示了使用中的示例超声换能器单元;

[0097] 图4以框图形式示出了根据一个或多个实施例的又一示例超声换能器单元;

[0098] 图5图示了基于图像配准分析的位置检测模块;

[0099] 图6示出了未夹钳的已知电活性聚合物(EAP)设备;

[0100] 图7示出了受背衬层约束的已知电活性聚合物设备;并且

[0101] 图8图示了根据一个或多个实施例的用于在示例超声换能器单元中生成振动的EAP致动器的用途。

具体实施方式

[0102] 将参考附图来描述本发明。

[0103] 应当理解,详细描述和具体示例尽管指示了装置、系统和方法的示例性实施例,但仅用于说明的目的,并不旨在限制本发明的范围。本发明的装置、系统和方法的这些和其他特征、方面和优点将从以下描述、所附权利要求和附图中得到更好的理解。应该理解的是,这些图仅仅是示意性的并且不是按比例绘制的。还应当理解,贯穿附图使用相同的附图标记来指示相同或相似的部件。

[0104] 本发明提供一种配置有摩擦引导功能的超声换能器单元,例如,探头。换能器单元包括在组织接触区处的振动生成模块,并且具有用于感测换能器单元接触区入射处的跨组织表面的滑动方向的模块。控制模块能用于控制振动生成器的振动,以调节组织接触区处的摩擦的水平。这由控制模块使用以实现摩擦引导功能,该摩擦引导功能用于基于响应于感测到的滑动方向而控制摩擦水平来引导用户跨入射表面滑动该单元,例如当在目标方向上滑动时提供较低的摩擦,而使其他方向具有相对较高的摩擦阻力。

[0105] 因此本发明提供了跨所述入射表面引导(即导航)用户的摩擦引导功能,例如朝向表面上的特定目标定位,沿着跨表面的特定路径,或者在沿着表面的特定方向或轨迹上。

[0106] 摩擦引导基于控制超声换能器单元的组织接触表面与所述表面之间的摩擦,并且这通过调节在接触表面处的振动生成模块的设置来实现。当探头被感测为在绘制的目标方向或路径或轨迹上移动(例如用于到达所述表面上的目标定位)时,调节振动以提供减小的摩擦。当探头被感测为在与所确定的目标方向或路径或轨迹相异移动时,可以调节振动以提供相对较高摩擦程度(例如通过停用任何振动),使得将与表面的摩擦保持在其自然(较高的)状态处。

[0107] 可以根据与期望的移动方向或路径偏离的程度(例如根据偏离角度)来调节摩擦减小水平。例如,当移动方向完全平行于目标移动方向或路径时可以提供最大摩擦减小,然后与偏离该方向或路径的角度成比例地减小所提供的摩擦减小水平(例如,振动幅度或频率)。当移动方向与期望的方向或路径或轨迹完全相反时,振动水平可以被设置在零或最小值处。

[0108] 本发明的实施例基于围绕粘滞-滑动现象的见解的应用。

[0109] 粘滞-滑动现象是一种当彼此滑动时能够在两个对象之间发生的自发的急动运动(jerking motion),即对象之间的粘滞和对象之间的滑动的情况交替发生。

[0110] 一般来说,存在三种可能的粘滞-滑动状态,每种产生不同的瞬态摩擦阻力量。一种是粘滞(最大摩擦阻力),一种是滑动(较小的摩擦阻力),而另一种是跳起(完全不接触,其中,摩擦为零)。

[0111] 取决于滑动速度以及在接触表面处施加的振荡幅度和频率,可以发生这三种状态的特定交替模式。在宏观水平下,这导致整体的有效滑动摩擦依赖于不同状态的发生率。

[0112] 尽管跳起状态具有与其相关联的最低摩擦阻力,但是它缺乏可控性,并且因此一般是不期望的。滑动状态对于减小摩擦阻力来说是最期望和理想的,但是为了维持滑动控

制,两个对象之间的滑动应该在尽可能高的时间比例内处于滑动状态。

[0113] 粘滞-滑动现象与临界速度 $v_{\text{临界}}$ 相关联,在低于该临界速度时该现象不会发生或者以显著减小的频率发生。临界速度 $v_{\text{临界}}$ 取决于对象之间的界面处的振动幅度 Δu_z 和振动频率 ω 以及界面处的摩擦系数 μ_0 :

$$[0114] \quad v_{\text{临界}} = \mu_0 \omega \Delta u_z \quad (1)$$

[0115] 因此,针对恒定的滑动速度 v ,可以通过增加临界速度 $v_{\text{临界}}$ 来减小有效摩擦阻力,例如使得临界速度保持在滑动速度的水平以上或上升得更高于它。

[0116] 从等式(1)可以看出,这可以通过增加对象之间的界面处的振动幅度 Δu_z 或频率 ω 中的一个或两个来实现。

[0117] 因此,对于本发明,可以通过增加振动模块的振动幅度和/或频率来实现减小超声换能器单元的组织接触区与入射组织表面之间的有效滑动摩擦。摩擦减小的水平大致与增加的振动幅度和频率成比例。

[0118] 图1(左侧)示出了说明表面界面处的归一化摩擦系数 μ_{macro}/μ_0 (y轴)对超声换能器单元的归一化滑动速度 $\hat{v} = v_{\text{滑动}}/v_{\text{临界}}$ (x轴)的依赖性的图形。归一化滑动速度相对于临界速度 $v_{\text{临界}}$ 被归一化,使得 $\hat{v} = 1$ 对应于 $\hat{v} = v_{\text{临界}}$ 。当存在零振动并且滑动速度处于临界速度时,归一化摩擦系数相对于换能器单元的接触表面与组织表面之间的摩擦系数 μ_0 被归一化。

[0119] 图形曲线或线中的每个对应于不同的归一化振动幅度 $\Delta u_z/\Delta u_{z,0}$,其中, $\Delta u_{z,0}$ 对应于绝对基线表面高度 u_z 水平。从顶部到底部,曲线对应于 $\Delta u_z/\Delta u_{z,0} = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1$ 的振动幅度。上水平线对应于 $\Delta u_z/\Delta u_{z,0} = 0$ 。由于在该幅度处不存在振动并因此 $\mu_{\text{macro}} = \mu_0$ (μ_0 是当振动为零时的摩擦系数),所以它是常数值1。

[0120] 可以看出,对于给定的滑动速度,增加的振荡幅度减小了在换能器单元与入射表面之间的有效摩擦阻力(归一化的摩擦系数)。

[0121] 图1(左侧)的图形仅被限定到滑动和粘滞状态。图1(右侧)的图形示出也包括跳起状态时的同一组关系。在上面并且包括粗曲线的线和曲线从顶部到底部对应于归一化的振荡幅度 $\Delta u_z/u_{z,0} = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$,并且在粗线下面的曲线从顶部到底部对应于归一化的振荡幅度 $\Delta u_z/u_{z,0} = 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0$ 。

[0122] 如同在图1的左侧图形中,上水平线对应于 $\Delta u_z/\Delta u_{z,0} = 0$ 。

[0123] 因此,如上所述,由于粘滞-滑动现象造成的减小的摩擦可以在临界滑动速度之下发生:

$$[0124] \quad \hat{v} < 1 \rightarrow v_{\text{滑动}} < v_{\text{临界}} \rightarrow v_{\text{滑动}} < \mu_0 \omega \Delta u_z$$

[0125] 其中, $\hat{v} = v_{\text{滑动}}/v_{\text{临界}}$,并且其他符号具有与以上段落阐述的相同的名称。

[0126] 在实践中,在检查期间给定超声探头的典型滑动速度的范围的情况下,应用以上理论来减小摩擦将对所需的振动频率和幅度的范围放置某些约束。然而,可以计算出使用当前技术的振动的可用频率和幅度足以提供适当高于典型探头滑动速度的临界速度。

[0127] 例如,通过使用CMUT单元来施加振动,在2.5MHz的振动频率和200nm的CMUT膜振荡幅度处,并且通过摩擦系数 $\mu_0 = 0.4$ (不应用凝胶): $v_{\text{临界}} = 0.2\text{m/s}$ 。

[0128] 对于用CMUT单元以相同的频率和幅度施加振动,并且通过应用凝胶(摩擦系数 μ_0

$=0.03)$: $v_{\text{临界}}=0.015\text{m/s}$ 。

[0129] 一般来说,超声探头在检查期间移动或滑动的典型速度为大约 0.05m/s (5cm每秒)。因此,上述示例示出了可用振动幅度和频率诸如允许在滑动速度的该范围内控制摩擦。

[0130] 因此,由于粘滞-滑动现象依赖于在表面界面处的滑动速度和振荡频率,所以对象在表面上的滑动摩擦是可控的。

[0131] 本发明的实施例建议使用新型定向触觉反馈系统的这种见解,其跨表面(例如朝向人体上的感兴趣点)引导超声探头,以支持用户找到正确的探头定位,而不需要查看探头本身或者独立地查看所提供的视觉探头操纵指令。特别地,滑动摩擦可以被控制以使得当朝向感兴趣点滑动时摩擦减小,并且当滑动远离感兴趣点(或者例如仅间接朝向它)时摩擦增加。这引发当滑动超声探头时所感觉到的动态效应。这与当前已知的不能直接传达定向信息的振动-触觉反馈形成对比。

[0132] 本发明的实施例通过提供在不同方向上变化的摩擦阻力的形式的直接反馈来完全非视觉地实现操作者的定向引导,从而去除对查看探头操纵指令的需要。这使得操作者免于在执行检查的同时仅仅关注于所采集的超声图像信息。该解决方案对于较少经验的用户可能是特别有益的,这些用户不仅受益于导航引导,而且受益于增加的对医学图像的关注。

[0133] 图2示意性地图示了根据本发明的一个或多个实施例的示例超声换能器单元。超声换能器单元12采取超声探头的形式,其具有探头头部部分14和把手部分16。图2的右手侧示意性地描绘了通过头部部分14的横截面图,说明了其内部部件的至少部分。

[0134] 超声换能器单元12包括在该示例中跨头部14的上表面定位的组织接触区18。该区在使用中提供与探头头部被应用于的入射表面的接触界面,使得经由头部的端部跨该表面滑动探头。

[0135] 振动模块20被提供用于在组织接触区18处生成振动。振动模块20可以任选地由包括在探头中用于生成成像信号的超声换能器元件促进。在其他示例中,振动模块可以是独立的专用部件,例如机械振动器(例如偏心质量振动器)或EAP致动器布置。

[0136] 移动感测模块22还被提供用于感测换能器单元跨入射表面的滑动方向。在一些示例中,该移动传感器可以包括一个或多个加速度计。

[0137] 控制器24还被提供操作地与振动模块20和移动感测模块22耦合。

[0138] 控制器24能用于基于对振动模块20的振动设置进行调节来控制换能器单元12跨入射表面的滑动摩擦。

[0139] 该控制器被配置为实现用于跨所述入射表面引导操作者的摩擦引导功能,该摩擦引导功能基于响应于感测到的滑动方向而控制滑动摩擦。

[0140] 例如,摩擦引导功能沿着跨入射表面的特定滑动路径(其可以被预定或沿着该路径被重复地计算),和/或朝向入射表面上的目标点/定位,或在跨入射表面的某一轨迹中,或根据沿着表面的某一导航路线来引导用户。

[0141] 应注意,图2中所示的部件的相对定位和位置纯粹是示意性的,并且实际位置和大小可以不同。例如,尽管在图2中控制器24和运动感测模块22被示出为位于示例探头12的头部部分14中,但在其他示例中,一个或两者可以例如位于换能器单元12的把手部分16中。

[0142] 超声换能器单元12包含用于执行超声信号生成和感测的一个或多个超声换能器元件,例如CMUT换能器元件。如上所述,在一些示例中,这些换能器元件也有助于振动模块20。此处,可以应用噪声校正来校正作为额外施加的基线振动的结果的成像数据中引入的噪声。用于摩擦控制的振动通常处于比超声振荡更低的频率处,这意味着可以将振动噪声与数据中的成像信号区分开。

[0143] 在使用中,操作者将超声换能器单元12(在该示例中为探头)应用于身体的入射组织表面。这在超声探头的情况下可以是外部皮肤表面,或者在侵入性超声探头(例如导管)的情况下可以是例如内部组织表面。用户通过以超声检查通常所需的方式滑动在组织表面上操纵探头。超声(例如声学)设置可以例如在超声控制单元上调节,并在该控制单元的显示器上实时监测由探头生成的图像。

[0144] 在检查期间(并且优选地贯穿检查),超声换能器单元12的控制器24实现摩擦引导功能。具体地,控制器可以例如循环地为探头确定目标滑动方向。这可以被确定用于将用户引导到组织表面上的已知目标定位,或者沿着跨表面的目标路径引导用户。目标定位可以是对应于特定目标内部解剖定位的表面定位。例如,用于引导用户到组织表面上的适当位置以对心脏的区域(例如左心室,通过一个示例)进行成像。

[0145] 图3示意性地图示了根据一个或多个实施例所使用的一个示例超声换能器单元。换能器单元12被示出为应用于示例入射组织面积42,其中,在单元12的头部14的顶部处的组织接触区18被应用或按压在组织表面上,以与其进行密封接触。在示例中,可以在头部14的组织接触区和组织表面之间施加声学接合凝胶。

[0146] 超声换能器单元12的控制器24为探头确定瞬时目标滑动方向,该滑动方向是沿着朝向换能器单元的组织表面42上的目标定位44的最短路径46。控制器24可以预先确定路径46的整个路线,或者可以在任何给定时刻仅为探头确定表示到目标定位的最直接路径的瞬时目标滑动方向。在一些情况下,可以由控制器24确定该方向(或路径)以沿着朝向该定位的间接(例如迂回)路径引导换能器单元12,例如在探头的滑动行进路线内包含探头在前往目标定位44的途中经过的一个或多个航路点(way-point)。

[0147] 一旦由控制器24确定了换能器单元12的瞬时目标滑动方向或路径46,控制器就实现了摩擦引导功能,以用于基于摩擦的控制并响应于感测到的滑动方向而沿着该方向或路径引导探头。

[0148] 使用移动感测模块(例如在一些示例中为加速度计)来确定探头12的滑动方向,并将其与目标滑动方向或滑动路径的方向进行比较。探头组织接触区18和组织表面42之间的摩擦水平由控制器响应于感测到的滑动方向沿着目标方向或路径而设置在较低水平,并且响应于感测到的滑动方向与目标方向或路径相异或偏离而设置在较高水平。这在图3中示意性地图示,图3示出了对于从朝向目标点44的目标路径46的方向偏离的各种潜在滑动方向48,摩擦(由波浪线表示)处于较高的水平,导致对滑动的摩擦阻力。然而,沿着该路径的方向,通过使用振动模块20(未示出)施加具有适当频率和幅度的振动来减小滑动摩擦。这导致沿着目标路径46的滑动路径提供较低的滑动阻力。

[0149] 可以通过控制振动模块20的振动设置(例如振动幅度和/或振动频率)来实现较高和较低的摩擦水平。这些设置被增加以增加摩擦减小,而被减小以减小摩擦减小。因此,经历的摩擦水平可能与增加的振动幅度和/或频率成反比。在一些示例中,对于最大摩擦,不

施加振动,或者将振动设置在最小频率和/或幅度处。对于最小摩擦,振动可以被设置在定义的最大幅度和/或频率处。

[0150] 振动水平并且因此摩擦减小水平可以由控制器24根据感测到的滑动方向(使用移动检测模块22来感测的)与瞬时目标滑动方向或路径的方向之间的对齐程度来设置(为更接近的对齐设置更高的振动水平,反之亦然)。

[0151] 摩擦减小的程度可以例如根据对应于滑动方向的单位方向向量(即归一化到幅度1)与对应于目标滑动方向的单位方向向量(例如沿着目标路径)的标量积来设置。

[0152] 在一些示例中,控制器24可以计算感测到的当前运动方向与期望(目标)方向(朝向感兴趣点44的方向)之间的角度。当该角度接近于零时,控制器24可以调节振动水平以提供最小滑动摩擦(高振动水平)。当该角度较大时,控制器将进行调节以提供更大的摩擦(例如减小振动水平)。当该角度为与目标方向的180度(即与目标方向相反)时,控制器可以进行调节以提供最大摩擦(例如通过停用振动,或将振动设置配置为最小水平)。

[0153] 如所讨论的,根据一组或多组实施例,摩擦引导功能可以被配置用于将超声换能器单元引导到入射表面42上的目标定位44。控制器24可以循环地或者例如响应于移动而确定远离探头的当前定位的目标滑动方向,以达到该目标定位。例如,这可以对应于跨入射表面42至目标定位44的最直接或最短路径的方向。

[0154] 控制器24可以被配置为确定跨表面至目标定位的路径,例如最短路径。该路径可以预先确定或沿着该路径的长度动态确定。在该示例中或以其他方式,控制器可以在每个时刻确定探头与目标定位之间的最短路径的方向,并在该方向上摩擦引导探头。该示例最终仍然导致沿着一些路径引导探头到目标定位(如果跟随引导到完成)。

[0155] 图4以框图形式示出了根据一个或多个实施例的一个示例超声换能器单元12的部件,其被配置用于实现朝向入射表面上的目标定位的摩擦引导。

[0156] 如在图2的示例中,单元12包括振动模块20(“振动”)、控制器24(“控制”)和移动感测模块22(“移动感测”)。该单元还包括目标定位(或感兴趣点)定位器(“POI定位器”)52。目标定位检测器使用目标定位以及换能器单元12相对于目标定位的当前检测到的运动的知识以确定探头的瞬时目标移动方向。目标定位检测器还可以生成指示所确定的目标方向的摩擦操纵信号。这可以被传递给控制器或振动模块以相应地配置振动模块的振动设置。

[0157] 特别地,该信号可以针对一组可能的移动方向中的每个移动方向指示适当的振动水平,以用于在目标方向上引导探头。备选地,目标定位检测器可以使用检测到的探头瞬时移动方向,并且基于此和确定的目标定位为振动模块20确定合适的振动设置。可以基于例如利用以与偏移角度(或归一化的偏移角度)成比例设置的振动水平计算运动方向与目标方向之间的相对角度来确定该振动设置

[0158] 尽管上文将目标定位检测器52描述为单独的部件,但是在其他示例中,其功能可以被集成在控制器24中,即控制器可以实现其功能。

[0159] 超声换能器单元12还可以包括用于确定超声换能器单元12在目标表面上的当前定位或位置的位置检测模块。这可以被确定并表示为一组坐标,例如在入射表面的局部定义的坐标系中的坐标,或者可以以任何其他形式表示。

[0160] 在一些示例中,位置检测可以基于无线电定位的形式,其中,换能器单元12包括用于生成和发送电磁波定位信号的模块,并且外部接收器单元(在相对于患者或入射表面的

已知参考定位处与换能器单元间隔开)被配置为接收由换能器单元的定位模块发送的电磁信号。例如,该单元的位置可以是基于接收到的信号的感测到的衰减可确定的。可以提供多个接收器(例如至少三个接收器)以允许位置三角测量。换能器单元可以代替地包括接收器,并且一个或多个发射器置于各种参考定位处(对于换能器单元的位置检测模块是已知的)并且被配置为发送定位信号以由换能器单元接收器检测。

[0161] 在一些示例中,位置检测可以基于图像分析,特别是对在使用期间在探头的每个给定定位处实时收集的超声图像数据的分析。基于此,可以应用图像数据的解剖分析来检测探头的当前定位。例如,将图像数据与用图像或图像数据的对应的定位信息标识或标记的参考图像或图像数据的数据集进行比较。基于比较,可以确定探头的定位。定位可以循环地确定,或者例如每次感测到移动时确定。

[0162] 根据一组实施例,映射模型(例如采用机器学习算法)可以被用于检测位置。现在将参考图5简要概述基于该方法的示例工作流程。

[0163] 根据该组示例,感兴趣点定位器52(控制器24)应用被配置(例如经训练)以基于捕获的局部超声图像识别超声换能器单元12的当前定位的映射模型(例如采用机器学习算法,例如深度学习算法)。随后,可以根据换能器单元12的所导出当前定位与感兴趣点44之间的确定的几何向量来确定朝向给定目标感兴趣点44的方向(例如,沿着到感兴趣点的最直接路径的方向)。

[0164] 用于确定这种几何向量的可能工作流程可以如下所述。

[0165] 第一步包括确定在当前定位处捕获的图像是否在目标感兴趣区域ROI(在目标导航定位44处拍摄的图像中捕获的解剖区域)的已知图像视图的范围内。这在图5中示意性地图示。

[0166] 例如,图像配准算法可以应用于将捕获的图像视图(在当前定位处)与与目标感兴趣区域相关联的已知图像视图(例如目标定位下面的区域)进行比较。如果两者不匹配,或者没有检测到交叠(例如,如图5(左)所图示的),则确定当前捕获的视图在目标定位的视图之外。

[0167] 在其他示例中,例如可以采用分类器算法来确定由超声换能器单元在当前定位处捕获的视图和已知与目标定位(ROI)处的图像相关联的视图之间的解剖学相似性。

[0168] 在检测到当前视图与目标(ROI)视图之间的至少交叠的情况下(例如,如图5(右)所示),则可能仅需要对探头位置进行相对小的调节以便到达目标定位。

[0169] 可以应用图像配准算法来确定当前图像视图与目标图像(ROI)视图(例如来自模型数据库)之间的配准程度,以确定与目标ROI的定量位移或偏离(距离+方向)。

[0170] 在当前定位视图和目标定位(ROI)视图之间不存在交叠的情况下,控制器24在一些示例中可以搜索当前捕获的视图的超声图集(包括已知图像视图和它们跨入射表面的关联解剖定位的数据集),并基于识别数据集中的匹配视图来确定换能器单元的当前解剖定位。

[0171] 通过备选,可以采用分类器算法,该算法被训练以根据输入的当前图像视图预测当前(解剖)定位。方向偏离程度(例如偏离目标定位(ROI)视图的角度)可以例如使用模型估计导出,例如使用图集(数据集)中的存储的视图图像集来计算。

[0172] 在这种情况下,任选地可以不确定到目标定位(ROI)的距离:由于较大的距离要行

进,所以仅行进的轨迹方向是紧接相关的。控制器24可以根据感测到的以偶定方向来控制振动模块,以在朝向目标定位(ROI)的确定的目标方向上引导用户。

[0173] 在一些示例中,用于根据捕获的图像数据确定位置的映射模型可以利用机器学习算法,如上所述。该机器学习算法可以使用训练数据进行训练,该训练数据包括表示在跨入射表面的各个定位处由换能器单元捕获的图像的超声图像或图像数据,每幅图像标记有图像的相关联的定位。由此,该算法基于对在当前定位处捕获的输入图像数据的分析来学习(训练)以检测换能器单元的该当前定位。

[0174] 机器学习算法是处理输入数据以便产生输出数据的任何自训练算法。在当前情况下,输入数据包括表示在跨入射表面的各个定位处由换能器单元捕获的图像的超声图像或图像数据,每幅图像标记有图像的相关联的定位。输出数据包括换能器单元的当前定位的指示。

[0175] 用于在本发明中采用的合适的机器学习算法对技术人员来说将是显而易见的。合适的机器学习算法的示例包括决策树算法和人工神经网络。诸如逻辑回归、支持向量机或朴素贝叶斯模型的其他机器学习算法是合适的备选方案。

[0176] 人工神经网络(或简单地,神经网络)的结构受到人脑启发。神经网络由多个层组成,每一层包含多个神经元。每个神经元包括数学运算。特别地,每个神经元可以包括单一类型的变换的不同加权组合(例如,相同类型的变换、sigmoid等,但具有不同的加权)。在处理输入数据的过程中,对输入数据执行每个神经元的数学运算以产生数值输出,并且神经网络中的每一层的输出顺序馈入下一层。最终层提供输出。

[0177] 训练机器学习算法的方法是众所周知的。通常,此类方法包括获得训练数据集,包括训练输入数据条目和对应的训练输出数据条目。初始化的机器学习算法被应用于每个输入数据条目以生成预测的输出数据条目。预测的输出数据条目和对应的训练输出数据条目之间的误差被用于修改机器学习算法。该过程可以被重复,直到误差收敛,并且预测的输出数据条目与训练输出数据条目是足够相似的(例如,±1%)。这通常被称为监督学习技术。

[0178] 例如,在机器学习算法由神经网络形成的情况下,可以修改每个神经元的数学运算(的加权),直到误差收敛。修改神经网络的已知方法包括梯度下降、反向传播算法等。

[0179] 当前情况下的训练输入数据条目可以对应于图像或图像数据。训练输出数据条目可以是与每幅图像对应的解剖定位。

[0180] 通过非限制性示例,在以下文章中详细概述了本发明实施例中可以采用的一种示例机器学习算法:Standard Plane Localization in Fetal Ultrasound via Domain Transferred Deep Neural Networks,Chen H,Ni D,Qin J,Li S,Yang X,Wang T,Heng PA,IEEE J Biomed Health Inform.2015Sep;19(5):1627-36。

[0181] 该文章描述了一种基于深度学习的框架,其用于检测胎儿超声的标准查看平面。可以应用相同的深度学习方法并进行适当的调整,以用于使用超声图像的探头定位检测,如上所述。

[0182] 本发明的超声换能器单元包括运动感测模块22。用于实现超声换能器单元12的运动感测模块22的不同的选择是可能的。

[0183] 根据一个或多个示例,该运动感测模块包括加速度计。加速度计在其他情况下被称为G传感器。

[0184] 加速度计可以测量对象通常在三个维度上的移动(经由感测对象的加速力)。更一般地,加速度计能够感测倾斜(姿态)、加速度、振动和冲击力。例如,在其他领域中,移动设备通常可以使用其加速度计来确定其当前取向,以便旋转屏幕以进行匹配。可穿戴健身设备可以测量距离、进行的步数和移动的步速。游戏设备常常使用加速度计输入来测量游戏手机的倾斜和/或旋转,以便控制屏幕上动作。

[0185] 根据一个或多个示例,运动感测模块可以包括磁性传感器或电子罗盘。此类传感器基于地球的磁场来检测设备航向。市场上的许多消费类设备包含磁性传感器,以为地图取向和导航应用实现准确的方向指向。

[0186] 磁性传感器还能够提供准确的位置确定。

[0187] GPS还可以提供位置信息。然而,尽管GPS在室外环境中提供准确的定位检测,但给出当前的技术限制,它通常在室内不可用,并且常常仅在密集城市区偶尔可用。相比之下,磁性传感器支持航位推算,其中,可以基于感测到的移动方向并基于最后已知位置(例如,已知参考定位或起始定位)来跟踪设备位置,从而使能在室内和GPS挑战区中的精确定位。

[0188] 根据一个或多个示例,运动感测模块可以包括一个或多个陀螺仪。陀螺仪可以测量设备的旋转速率。这可以用于例如测量超声换能器单元的倾斜或姿态。

[0189] 可以额外或备选地使用任何其他形式的移动传感器,并且以上示例不是限制性的。还可以根据一个或多个示例来组合以上概述的选项中的一个或多个,使得超声换能器单元12包括上述示例运动感测模块的组合。

[0190] 如上所述,超声换能器设备包括用于生成和感测超声声学信号以用于执行成像的一个或多个超声换能器元件。在有利的示例中可以包括超声换能器阵列,例如具有基于向元件阵列的脉冲激发应用适当延迟的波束转向功能。这可以通过波束转向控制器来控制。本领域技术人员将知道用于实现超声换能器元件和阵列以用于实现超声成像的手段。

[0191] 根据一组或多组有利的实施例,还可以采用用于成像的超声换能器元件以用于促进振动模块20。为了实现特定水平处的振动,控制器24可以被配置为向整组超声换能器元件或元件的子集应用与期望振动频率匹配的频率的一致基线振荡信号。通过在基线振动信号之上或与基线振动信号叠加应用超声频率驱动信号来生成任何超声信号。

[0192] 例如,通常,所生成的振动将具有比超声声学信号低得多的频率。因此,即使使用相同的换能器部件来生成时,这两个信号不显著彼此干扰。因此,在必要时可以驱动单组换能器元件以同时生成振动信号和超声成像信号两者。反射的超声信号的感测也可能与振动生成同时,因为再次地两种信号的频率的差异意味着可以容易地将两者彼此区分和分离,例如使用高通滤波器来仅传递(较高频率)成像信号。

[0193] 在一些情况下,所生成的振动可能比所生成的超声成像信号具有更高的频率。例如,振动具有[振动幅度]*[频率]的最大值(以便实现最大摩擦减小)通常是优选的。如果换能器对于所有频率水平具有相同的可用最大幅度,则使振动比成像信号具有更高的频率能够是优选的。

[0194] 在任一情况下,这两种信号的频率通常彼此足够不同以避免两者之间的显著干扰。

[0195] 当超声换能器元件被驱动用于生成(摩擦减小)振动时,成像能力可能由于振动噪声而稍微降低。在将探头导航到入射表面上的目标感兴趣点44期间,不需要对表面下面的

解剖结构进行详细成像(因为尚未达到期望的成像定位),并且因此降低的成像能力总体上不会带来显著困难。但是,根据一个或多个示例,可以通过以交替成像和振动(振荡器)模式控制换能器元件来克服额外噪声。

[0196] 超声换能器元件可以采用任何合适的形式。换能器元件可以包括压电换能器(例如,压电微机械超声换能器(PMUT))和/或电容式换能器(例如,电容式微机械超声换能器(CMUT))。

[0197] 根据一组有利的实施例,超声换能器单元可以包括用于确定探头例如相对于入射表面的姿态(即倾斜角度)的姿态感测模块。在一些示例中,该功能可以通过移动监测模块来促进,例如在移动监测模块包括一个或多个加速度计和/或陀螺仪的情况下。

[0198] 超声换能器单元12的姿态的检测使得能够利用倾斜引导来进一步增强振动方向引导,以引导用户来获得被成像的对象或区域的特定视图。

[0199] 控制器24可以访问(本地或远程存储的)数据集,该数据集包括用于与不同解剖定位相关联的超声换能器单元12和用于对不同解剖特征或身体进行成像的一组目标倾斜角或姿态。控制器可以基于对数据集的参考,基于探头在身体上的当前定位和/或指示要捕获的期望解剖对象或视图(例如视角)的一个或多个用户输入命令来确定超声换能器单元12的目标姿态。

[0200] 运动感测模块或单独的专用倾斜传感器可以感测当前换能器单元12姿态并将其与识别的针对换能器单元的目标姿态进行比较。基于此,控制器24可以根据当前姿态确定换能器单元所需的倾斜平移,以便达到目标姿态。这可以被确定为到达目标倾斜位置所需的几何平移向量。

[0201] 这可以例如使用对应于当前探头姿态的方向向量和对应于目标探头姿态的向量之间的标量积计算来执行。这允许例如基于标准公式 $\theta = \arccos((\underline{a} \cdot \underline{b}) / (|\underline{a}| |\underline{b}|))$ 来确定两个向量之间的角度偏离,其中, $\underline{a}$ 和 $\underline{b}$ 表示两个方向向量。

[0202] 由于倾斜角或姿态仅由三维向量完全表示,因此确定所需的角平移可以在两步中执行,例如通过用一对二维向量表示每个姿态(当前姿态和目标姿态),一个向量在水平平面内(表示水平旋转)并且一个向量在竖直平面内(表示竖直旋转)。然后可以基于当前姿态和目标姿态的水平向量和竖直向量的对应的标量积的使用,将用于到达目标姿态的必要旋转平移在两部分中确定为水平旋转和竖直旋转。

[0203] 为了将操作者引导至目标姿态,可以向操作者提供触觉反馈。在一些示例中,扭矩反馈设备可以被并入在超声换能器单元12中,例如在该单元的把手部分中。扭矩反馈设备能够提供与施加的转动力相反的力反馈。这可以在当前情况下例如用于当换能器单元在与所确定的平移向量或角度相反或偏离的方向上倾斜以实现目标姿态时施加相反力。然而,当操作者以正确的平移角度或向量倾斜时,可能不施加相反力。这提供了针对不正确倾斜角度的直接抵抗力反馈,类似于用于跨表面引导正确的滑动方向的由振动模块生成的直接摩擦阻力反馈。

[0204] 本发明包括振动模块。如上所述,在某些实施例中,振动模块可以通过用于超声成像的超声换能器元件来促进。相同的元件可以用于生成振动和用于生成超声信号两者,其中,这两者可由相同元件同时生成或通过振动模式和超声模式之间交替生成。在振动和超声信号由相同元件同时生成的情况下,可以对接收到的反射信号应用信号处理,以过滤

与摩擦振动相关联的信号部分(例如低通或高通滤波器)。可以额外或备选地应用噪声校正来抵抗由振动在反射信号中生成的噪声。在一些示例中,振动控制信号可以用作信号处理的输入以用于在选择或过滤与振动相关联的信号部分中使用。

[0205] 在其他示例中,换能器元件的一个子集可以单独用于成像而另一个单独用于生成振动。在该示例中,噪声校正也可以应用于接收到的信号,因为反射信号可能仍包括由于局部振动造成的噪声分量。

[0206] 在一些示例中,可以提供单独的振动模块20(与超声换能器分开)。用于实现单独的振动模块20的不同的选择是可能的。

[0207] 根据一个或多个示例,可以提供一个或多个机械或机电振动器。

[0208] 在一些示例中,振动模块可以包括一个或多个线性谐振致动器。

[0209] 在一些示例中,振动模块可以包括一个或多个偏心旋转质量振动电机。

[0210] 这些上述示例中的一个或多个可以在各种示例中组合。

[0211] 根据一组实施例,振动模块可以包括用于生成振动的一个或多个响应材料致动器。

[0212] 一个示例是使用一个或多个电活性聚合物致动器。此类致动器可以包括一层或多层电活性聚合物材料或其主体,带有用于电刺激材料的变形的电极,从而提供致动效果。以周期性驱动方案驱动这些生成振荡或振动致动输出。

[0213] 电活性聚合物(EAP)是电敏材料的领域内的新兴材料类。EAP可以工作作为传感器或致动器并且可以容易地制造为允许容易集成到各种各样的系统中的各种形状。

[0214] 材料已经被研发有在过去十年已经显著地改进的特性,诸如致动应力和应变。EAP的优点包括低功率、小形状因子、灵活性、无噪声操作、准确度、高分辨率的可能性、快速响应时间和循环致动。

[0215] 使用电活性聚合物的设备可以细分为场驱动材料和离子驱动材料。

[0216] 场驱动EAP的示例包括压电聚合物、电致伸缩聚合物(诸如基于PVDF的弛豫铁电体聚合物)和介电弹性体。其他示例包括电致伸缩接枝聚合物、电致伸缩纸、驻极体、电致伸缩弹性体和液晶弹性体。

[0217] 离子驱动EAP的示例是共轭/导电聚合物、离子聚合物金属复合物(IPMC)和碳纳米管(CNT)。其他示例包括离子聚合物凝胶。

[0218] 场驱动EAP通过直接机电耦合由电场致动。其通常要求高场(数十兆伏每米)但是低电流。聚合物层通常薄以将驱动电压保持为尽可能低。

[0219] 离子EAP由离子和/或溶剂的电感应传输激励。其通常要求低电压但是高电流。其要求液体/凝胶电解质介质(但是一些材料系统还可以使用固态电解质操作)。

[0220] 这两类EAP具有多个家族成员,每个具有其自身的优点和缺点。

[0221] 场驱动EAP的第一显著子类是压电和电致伸缩聚合物。尽管常规压电聚合物的机电性能是有限的,但是在改进该性能中的突破已经导致PVDF弛豫铁电体聚合物,其示出自发电极化(场驱动对齐)。这些材料可以针对应变方向中的经改进的性能而被预应变(预应变实现更好的分子对齐)。通常,使用金属电极,因为应变通常在中等制度(1-5%)中。还可以使用其他类型的电极(诸如导电聚合物、基于碳黑的油、凝胶或弹性体等)。电极可以是连续的或分段的。

[0222] 场驱动EAP的另一感兴趣子类是电介质弹性体的。该材料的薄膜可以夹紧在柔顺电极之间,从而形成平行板电容器。在电介质弹性体的情况下,由施加电场引起的Maxwell应力导致膜上的应力,这使得其在厚度中收缩并且在面积中扩展。应变性能通常通过使弹性体预应变来扩大(需要保持预应变)。应变可以是应考虑的(10-300%)。这还约束可以使用的电极的类型:对于低和中等应变而言,可以考虑金属电极和导电聚合物电极,对于高应变制度而言,通常使用基于碳黑的油、凝胶或弹性体。电极可以是连续的或分段的。

[0223] 离子EAP的第一显著子类是离子聚合物金属复合物(IPMC)。IPMC包括层压在两个薄金属或基于碳的电极之间的溶剂膨胀离子交换膜并且需要电解质的使用。典型电极材料是Pt、Gd、CNT、CP、Pd。典型电解质是基于Li⁺和Na⁺水的溶液。当场被施加时,阳离子通常与水一起行进到阴极侧。这导致亲水团簇的重新组织和聚合物膨胀。阴极区中的应变导致聚合物基体的剩余部分中的应变,从而导致朝向阳极的弯曲。反转施加电压使弯曲反转。公知的聚合物膜是Nafion®和Flemion®。

[0224] 离子聚合物的另一显著子类是共轭/导电聚合物。共轭聚合物致动器通常包括由两层共轭聚合物夹住的电解质。电解质被用于改变氧化状态。当电势通过电解质被施加到聚合物时,电子被添加到聚合物或从聚合物移除,从而驱动氧化和还原。还原导致扩展中的收缩、氧化。

[0225] 在一些情况下,当聚合物自身缺乏足够的导电性(逐尺寸)时,添加薄膜电极。电解质可以是液体、凝胶或固体材料(即,高分子重量聚合物和金属盐的复合物)。最常见的共轭聚合物是聚吡咯(PPy)、聚苯胺(PAni)和聚噻吩(PTh)。

[0226] 致动器还可以由电解质中悬浮的碳纳米管(CNT)形成。电解质形成具有纳米管的双层,从而允许电荷的注射。该双层电荷注射被认为是CNT致动器中的主要机构。CNT充当具有注射到CNT中的电荷的电极电容器,其然后通过由电解质到CNT表面的移动形成的电学双层平衡。改变碳原子上的电荷导致C-C键长度的改变。结果,可以观察单个CNT的扩张和收缩。

[0227] 图6和图7示出EAP设备的两种可能的操作模式。

[0228] 该设备包括夹钳在电活性聚合物层64的相对侧上的电极60、62之间的电活性聚合物层64。

[0229] 图6示出未夹钳的设备。如所示,电压被用于使得电活性聚合物层在如所示的所有方向上扩展。

[0230] 图7示出了被设计使得扩展仅在一个方向上产生的设备。设备由载体层66支持。电压被用于使得电活性聚合物层弯曲或者变弯。

[0231] 电极、电活性聚合物层和载体可以一起被认为是构成总体电活性聚合物结构。

[0232] 该移动的属性例如产生于当被致动时扩展的主动层与被动载体层之间的相互作用。为了获得如所示的轴的非对称曲线,可以例如应用分子取向(薄膜伸展),从而迫使一个方向上的移动。

[0233] 一个方向上的扩展可以产生于EAP聚合物中的非对称性,或者其可以产生于载体层的性质中的非对称性或两者的组合

[0234] 为了本发明的目的,可以通过提供与超声换能器单元12的组织接触区18振动连通的电活性聚合物致动器来促进振动模块20。这些可以用以与期望的振动频率匹配的频率提

供的交替(振荡)驱动信号(电刺激)驱动。EAP的响应时间足以启用甚至MHz的频率振动。对于场驱动的EAP,驱动信号可以采取施加在夹着EAP材料的一个或多个层或主体的相对电极之间的(交流)电场的形式。对于离子EAP,驱动信号可以采取施加的(交流)电流的形式。在简单的实施例中,可以通过交替地致动EAP(例如,处于电压 $V=150$ 伏特处)和去致动EAP($V=0$ 伏特)来产生振动。

[0235] EAP致动器对本发明的实施例是理想的,因为其薄形式因子($\ll 1\text{mm}$),并且能够将其成形为任何期望的占位面积。其还是高度柔性的,从而允许其适用于弯曲表面。即使在非常小的大小处,其能够以1000Hz及以上量级的频率并且以大约1mm的幅度致动。如在以上示例中描述的,这些频率和幅度足以在典型探头滑动速度处在高摩擦情况(无致动)和低摩擦情况(有致动)之间移动。

[0236] 应注意,对于摩擦减小,其是对于确定由振动提供的摩擦减小程度的通常很重要的振动的频率和幅度的积。因此,具有较低频率与较高幅度的振动可以与具有较高频率但较低幅度的振动提供相同的摩擦减小效果。

[0237] 一个示例EAP致动器驱动方案包括利用由DC信号分量和叠加的高频AC信号分量组成的组合信号驱动EAP致动器。这导致生成叠加在基线致动器位移之上的表面振动。基线致动器位移可以被配置为诸如至少部分地远离入射表面提升组织接触表面,使得大部分接触表面不再与入射表面接触:仅(一个或多个)EAP致动器在接触。因此这减小与入射表面的总接触面积(“浮动接触”),其大大地减小摩擦。

[0238] DC基线信号之上的AC纹波信号此外提供振动摩擦减小。其还可以放松被捕集粒子或机械互锁表面缺陷(例如,局部表面粗糙度峰或划痕)。这进一步减小了组织接触表面18与入射表面之间的有效滑动摩擦。

[0239] 当施加DC信号时,接触表面的提升可以是诸如远离入射表面提升超声成像换能器。当成像不被用于表面之上的探头滑动导航时,这是有利的,因为其进一步减少了接触摩擦。在成像被用于引导跨表面的导航的情况下,EAP致动器可以被配置为使得DC基线信号提升不提升成像致动器远离与入射表面的接触。

[0240] 图8示意性地图示了应用于入射组织表面42的示例组织接触区18的横截面视图,组织接触区18包括设置在其表面处的一组EAP致动器元件74。这些在两个所图示的表面层下面的椭圆中图示。示例施加信号的波形被示出在示意图形74中,其中,y轴表示电压,而x轴表示时间。由控制器24施加的驱动信号包括叠加在DC基线驱动信号上方的AC(纹波)信号。得到的表面振动提供抗粘滞性质。

[0241] EAP致动器元件72被配置为使得驱动信号74生成法向取向76和横向取向78振动两者。可以使用致动元件的两个不同子集来实现致动的两个取向。这两个子集可以各自被夹钳在不同的配置中以引起不同方向振动。可以通过将EAP层夹钳在其侧表面之间来实现法向振动。可以通过将该层夹钳在其上表面和下表面之间来实现横向振动。

[0242] EAP致动器元件72可以各自包括单层EAP或多层EAP堆叠。在一些示例中,EAP致动器可以包括弯曲致动器。在该配置中,EAP层仅在一端处被夹钳,留下另一端自由弯曲。该自由端响应于交替驱动信号上下振荡(或侧到侧振荡,其取决于安装取向)。

[0243] 总体来说,AC信号的幅度越高,所经受的滑动摩擦将越低(因为振动更大)。

[0244] 根据本发明的另一方面的示例提供了一种引导超声换能器单元的操作者来将单

元跨入射表面滑动的方法。

[0245] 所述方法包括：

[0246] 感测换能器单元的滑动方向，并且

[0247] 响应于感测到的滑动方向而控制换能器单元与入射表面之间的滑动摩擦，由此实现摩擦引导功能，其中，摩擦控制基于调节位于超声换能器单元的组织接触区处的振动模块的振动设置。

[0248] 例如，摩擦引导功能可以用于沿着特定滑动路径，或在特定滑动轨迹上引导操作者，和/或用于朝向入射表面上的目标定位引导操作者。

[0249] 控制器可以被配置为当滑动方向处于目标方向上时设置相对较低的滑动摩擦，并且当滑动方向偏离目标方向时设置较高的滑动摩擦。

[0250] 如所述，在一些示例中的摩擦引导功能可以用于朝向所述入射表面上的目标定位引导操作者。

[0251] 该摩擦引导功能可以用于沿着跨所述入射表面至所述目标定位的最短滑动路径引导操作者。

[0252] 可以根据以上针对本发明的装置方面(即换能器单元12方面)提供的解释和描述来理解和解释上面步骤中的每个的实现选项和细节。

[0253] 上面关于本发明的装置方面(关于换能器单元12)描述的示例、选项或实施例特征或细节中的任何可以被应用或组合或比照并入本发明的当前方法方面中。

[0254] 根据本发明的另外的方面的示例提供一种包括代码模块的计算机程序产品，当程序在处理器上执行，所述处理器操作地与超声换能器单元耦合时，所述代码模块使所述处理器：

[0255] 接收由超声换能器单元包括的移动感测模块的传感器输出，并且基于传感器输出检测换能器单元的滑动方向；并且

[0256] 控制位于超声换能器单元的组织接触区处的振动模块的振动设置，由此控制换能器单元与入射表面之间的滑动摩擦，该滑动摩擦响应于感测到的滑动方向而被控制，由此实现摩擦引导功能。

[0257] 如上所述，某些实施例利用电活性聚合物(EAP)。适合于EAP部件的材料是已知的。电活性聚合物包括但不限于以下子类别：压电聚合物、机电聚合物、弛豫铁电聚合物、电致伸缩聚合物、电介质弹性体、液晶弹性体、共轭聚合物、离子聚合物金属复合物、离子凝胶和聚合物凝胶。

[0258] 子类别电致伸缩聚合物包括，但不限于：

[0259] 聚偏氟乙烯(PVDF)、聚偏氟乙烯-三氟乙烯(PVDF-TrFE)、聚偏氟乙烯-三氟乙烯-氟氯乙烯(PVDF-TrFE-CFE)、聚偏氟乙烯-三氟乙烯-三氟氯乙烯(PVDF-TrFE-CTFE)、聚偏氟乙烯-六氟丙烯(PVDF-HFP)、聚氨基甲酸酯或者其混合物。

[0260] 电介质弹性体的子类别包括但不限于：

[0261] 丙烯酸酯、聚氨基甲酸酯、硅树脂。

[0262] 子类别共轭聚合物包括但不限于：

[0263] 聚吡咯、聚-3,4-乙撑二氧噻吩、聚(聚苯硫醚)、聚苯胺。

[0264] 离子设备可以基于离子聚合物金属复合物(IPMC)或共轭聚合物。离子聚合物金属

复合物 (IPMC) 是合成的复合物纳米材料,其在所施加的电压或电场下显示人工肌肉行为。

[0265] 更详细地,IPMC包括离子聚合物(如Nafion或Flemion),其表面被化学地电镀或者被物理地涂覆有导体,诸如铂或金,或者碳基电极。在所施加的电压下,由于跨IPMC条的所施加的电压造成的离子迁移和再分布导致弯曲变形。聚合物是溶剂膨胀离子交换聚合物膜。场使阳离子连同水一起行进到阴极侧。这导致亲水簇的再组织以及聚合物扩展。阴极区域中的应变导致聚合物基质的其余部分中的应力,从而导致朝阳极的弯曲。反转所施加的电压使弯曲反向。

[0266] 如果经电镀的电极被布置在非对称配置中,则所施加的电压能够引起所有种类的变形,诸如扭曲、滚动、扭转、旋转以及非对称弯曲变形。

[0267] 在所有这些示例中,可以提供额外的无源层以响应于施加的电场而影响EAP层的电行为和/或机械行为。

[0268] 每个单元的EAP部件可以被夹在电极之间。电极可以是可拉伸的,使得其跟随EAP材料的变形。适合于电极的材料也已知,并且例如可以选自包括以下项的组:薄金属膜,诸如金、铜或铝;或者有机导体,诸如炭黑、碳纳米管、石墨烯、聚苯胺(PANI)、聚(3,4-乙烯二氧噻吩)(PEDOT),例如聚(3,4-乙烯二氧噻吩)聚(苯乙烯磺酸)(PEDOT:PSS)。也可以使用金属化聚酯膜,诸如金属化聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET),例如使用铝涂层。

[0269] 如上所述,实施例利用控制器。控制器可以利用软件和/或硬件以多种方式实施,以执行所需的各种功能。处理器是采用一个或多个微处理器的控制器的一个示例,所述一个或多个微处理器可以使用软件(例如,微代码)来编程以执行所需的功能。然而,控制器可以在采用或不采用处理器的情况下实施,并且还可以实施为执行一些功能的专用硬件和处理器(例如,一个或多个编程的微处理器和相关联的电路)的组合以执行其他功能。

[0270] 可以在本公开的各种实施例中采用的控制器部件的示例包括但不限于常规微处理器、专用集成电路(ASIC)和现场可编程门阵列(FPGA)。

[0271] 在各种实施方式中,处理器或控制器可以与一个或多个存储介质相关联,诸如易失性和非易失性计算机存储器,诸如RAM、PROM、EPROM和EEPROM。存储介质可以编码有一个或多个程序,当在一个或多个处理器和/或控制器上运行时,所述程序执行所需的功能。各种存储介质可以固定在处理器或控制器内,或者可以是可运送的,使得存储在其上的一个或多个程序可以加载到处理器或控制器中。

[0272] 本领域技术人员通过研究附图、公开内容以及权利要求,在实践请求保护的发明时能够理解并实现对所公开的实施例的变型。在权利要求中,“包括”一词不排除其他元件或步骤,并且词语“一”或“一个”不排除多个。单个处理器或其他单元可以履行权利要求中记载的若干项目的功能。尽管在互不相同的从属权利要求中记载了特定措施,但是这并不指示不能有利地使用这些措施的组合。如果上面讨论了计算机程序,则其可以存储/分布在合适的介质上,例如与其他硬件一起提供或作为其他硬件的部分提供的光存储介质或固态介质,但其也可以以其他形式分布,例如经由因特网或其他有线或无线电信系统分布。如果在权利要求或说明书中使用术语“适于”,则应注意术语“适于”旨在等效于术语“被配置为”。权利要求中的任何附图标记不应被解释为对范围的限制。

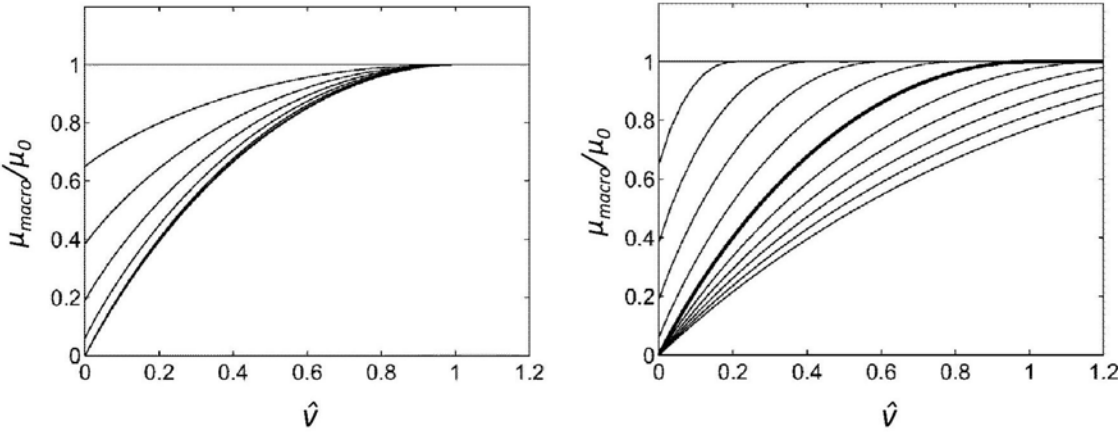


图1

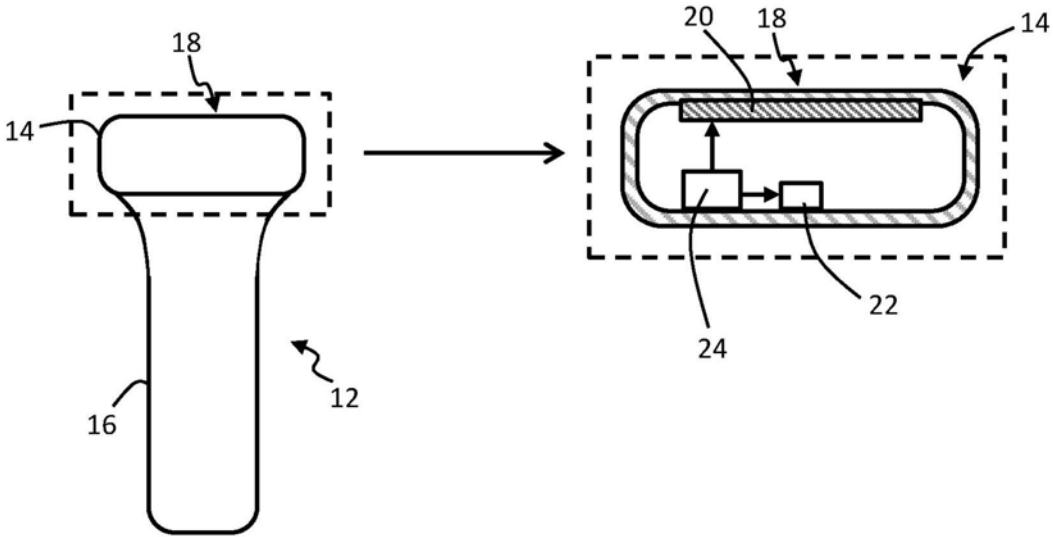


图2

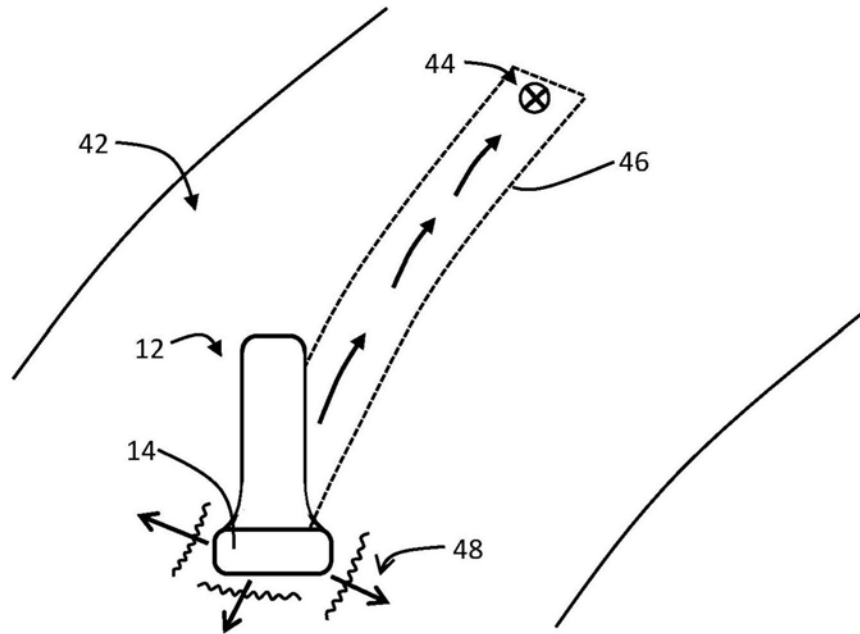


图3

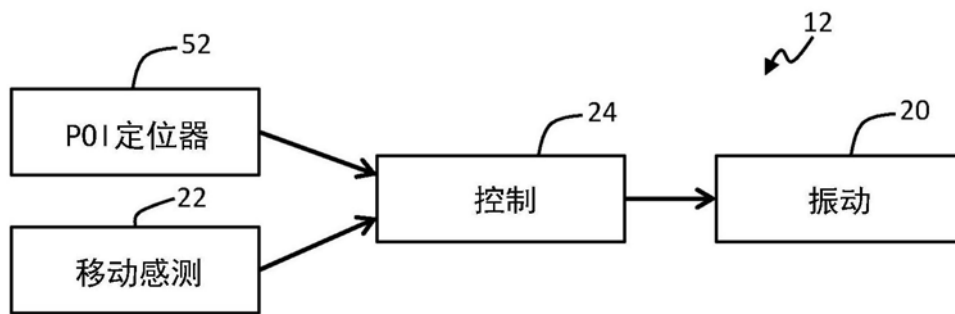


图4

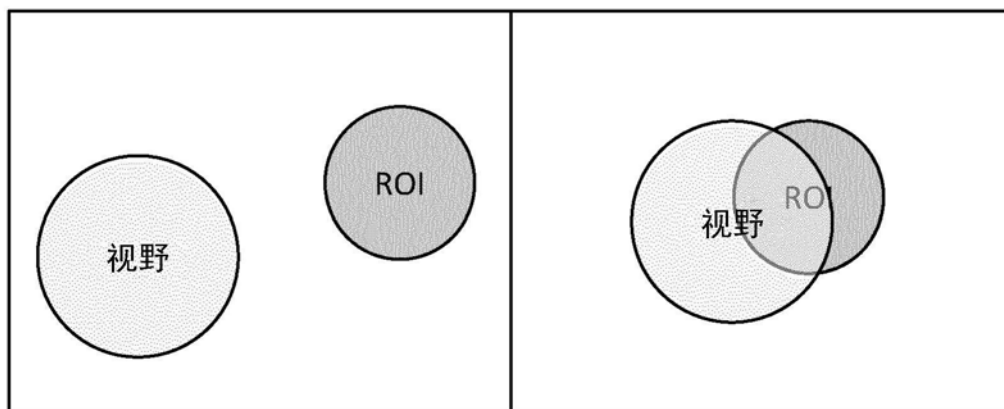


图5

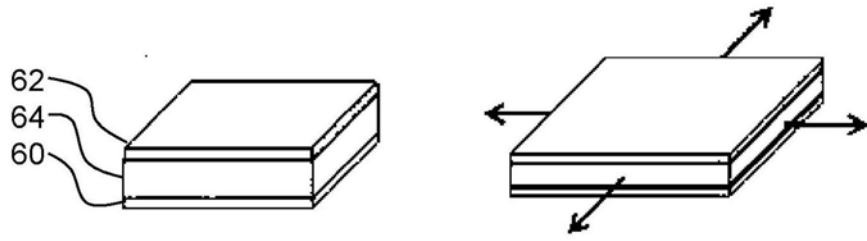


图6

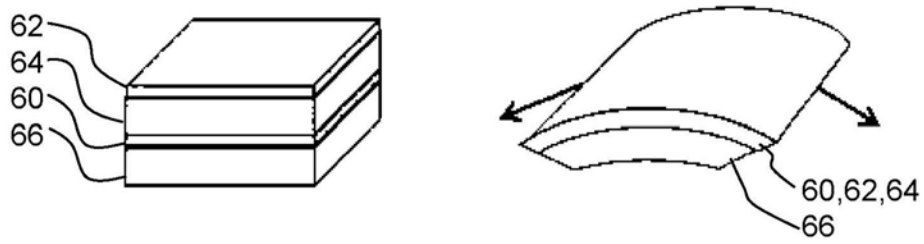


图7

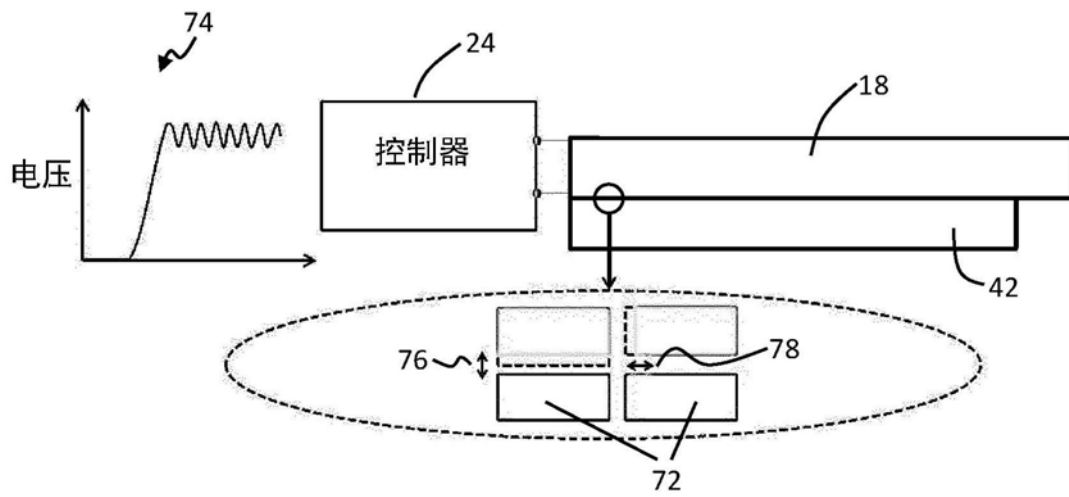


图8