



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 120141551 A

(43) 申请公布日 2025.06.13

(21) 申请号 202510316384.6

(22) 申请日 2025.03.18

(71) 申请人 浙江理工大学

地址 310000 浙江省杭州市江干区杭州经济开发区白杨街道

(72) 发明人 于航 刘爱萍 程琳 徐昭 虞喆洋

(74) 专利代理机构 杭州敦和专利代理事务所 (普通合伙) 33296

专利代理师 冯海军

(51) Int. Cl.

G01D 21/00 (2006.01)

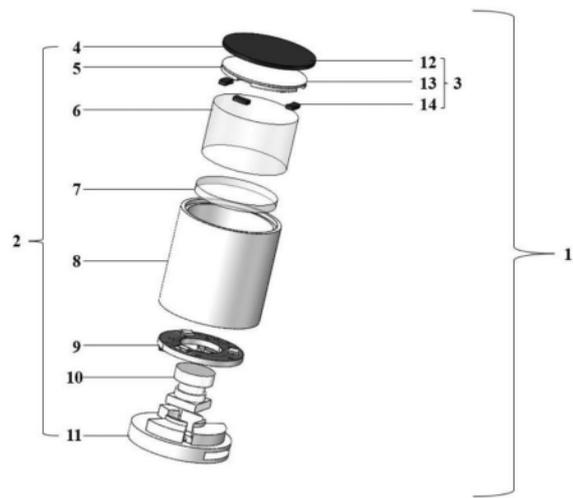
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种接近觉视触觉双模式柔性传感器及其制备方法

(57) 摘要

本申请涉及柔性传感领域,公开了一种接近觉视触觉双模式柔性传感器及其制备方法,包括电容-视触觉双模式柔性传感器,所述电容-视触觉双模式柔性传感器包括柔性电容式接近觉传感器与视触觉传感器,所述柔性电容式接近觉传感器包括柔性上电极、柔性介质层、柔性电极阵列下极板,所述视触觉传感器包括保护层、视触觉传感层、PDMS支撑体、亚克力透镜、传感器外壳、LED电路板、摄像头模块和传感器底座。两种不同传感机理的传感器一体式制备,构建为接近觉-视触觉双模式柔性传感器,实现了接近感知与高分辨率触觉感知的多模态信息融合感知效果,拓宽了视触觉传感器的感知范围,赋予其空间感知能力。



1. 一种接近觉视触觉双模式柔性传感器,其特征在于,包括电容-视触觉双模式柔性传感器(1),所述电容-视触觉双模式柔性传感器(1)包括视触觉传感器(2)与柔性电容式接近觉传感器(3),所述视触觉传感器(2)包括保护层(4),视触觉传感层(5),PDMS支撑体(6),亚克力透镜(7),传感器外壳(8),LED电路板(9),摄像头模块(10)和传感器底座(11),所述柔性电容式接近觉传感器(3)包括柔性上电极(12),柔性介质层(13)和柔性电极阵列下极板(14)。

2. 根据权利要求1所述的一种接近觉视触觉双模式柔性传感器,其特征在于,所述柔性电容式接近觉传感器上电极层(12)与视触觉传感器的保护层(4)为同一层,柔性电容式接近觉传感器介质层(13)与视触觉传感器的传感层(5)为同一层,柔性电容式接近觉传感器下电极阵列层(14)嵌入视触觉传感器的传感层(5)成为同一层。

3. 根据权利要求1-2任一项所述的一种接近觉视触觉双模式柔性传感器的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、传感器外壳与传感器底座的制备:将传感器结构的模型文件进行切片操作,切为层厚0.1mm的3D打印模型文件,并导入3D打印机中进行打印,直至打印成型,制备出传感器外壳与传感器底座;

S2、LED电路板的制备:LED电路板由LED驱动芯片、贴片LED元件与USB母座元件组成,生产厂家定制得到LED电路板,将LED电路板放置在步骤一制得的传感器底座的卡槽上;

S3、亚克力透镜的制备:由1mm厚度亚克力板在一定条件下进行红外激光切割,制备得到圆形亚克力透镜,并将亚克力透镜放置于步骤一制得的传感器外壳内部凸台处固定;

S4、PDMS支撑体的制备:将聚二甲基硅氧烷PDMS与其交联剂以10:1的比例混合搅拌,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入步骤三制得的放置亚克力透镜后的传感器外壳中,并放入75°烘箱中加热直至上述溶液固化成型;

S5、视触觉传感器传感层与柔性电容式接近觉传感器介质层的制备:将DRSGJ02有机硅胶的A液与B液按1:1的比例混合搅拌,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入步骤四制得的PDMS溶液固化后的传感器外壳中,并放入75°烘箱中加热直至上述溶液固化成型;

S6、柔性电容式接近觉传感器下电极阵列层的制备:将步骤五制得的固化后的DRSGJ02有机硅胶层在一定条件下进行紫外激光切割去除,得到指定形状空腔,之后,将Ecoflex与碳纳米管CNTs以97:3的比例混合搅拌,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入上述空腔中,并放入75°烘箱中加热直至上述溶液固化成型,制备得到柔性电容式接近觉传感器下电极阵列层,之后再倒入步骤五中所述DRSGJ02有机硅胶对下电极阵列层进行覆盖以隔绝上下电极层;

S7、视触觉传感器保护层与柔性电容式接近觉传感器上电极层的制备:将Ecoflex与碳纳米管CNTs以97:3的比例混合搅拌,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入步骤六制得的溶液固化后的传感器外壳内部,并放入75°烘箱中加热直至上述溶液固化成型;

S8、成品组装:将步骤二制得的放置LED电路板的传感器底座与步骤七制得的溶液固化完成后的传感器外壳组装,制备得到接近觉-视触觉双模式柔性传感器。

4. 根据权利要求3所述的一种接近觉视触觉双模式柔性传感器的制备方法,其特征在在于,所述步骤三中红外激光切割的工艺为频率为20KHz、功率为60%、速度为100mm/s。

5. 根据权利要求3所述的一种接近觉视触觉双模式柔性传感器的制备方法,其特征在在于,所述步骤四中固化后的PDMS支撑体厚度为29~31mm。

6. 根据权利要求3所述的一种接近觉视触觉双模式柔性传感器的制备方法,其特征在在于,所述步骤五中制备得到的视触觉传感器传感层与柔性电容式接近觉传感器介质层厚度为1.4~1.6mm。

7. 根据权利要求3所述的一种接近觉视触觉双模式柔性传感器的制备方法,其特征在在于,所述步骤六中紫外激光切割的工艺为频率为20KHz、电流为1A、速度为1mm/s。

8. 根据权利要求3所述的一种接近觉视触觉双模式柔性传感器的制备方法,其特征在在于,所述步骤六中制备得到的柔性电容式接近觉传感器下电极阵列层的厚度为0.4~0.6mm。

9. 根据权利要求3所述的一种接近觉视触觉双模式柔性传感器的制备方法,其特征在在于,所述步骤七中制备得到的视触觉传感器保护层与柔性电容式接近觉传感器上电极层的厚度为0.9~1.1mm。

一种接近觉视触觉双模式柔性传感器及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及柔性传感技术领域,具体为一种接近觉视触觉双模式柔性传感器及其制备方法。

背景技术

[0002] 机器人对于周围环境的感知能力源于模仿人的感官的各种传感技术,例如:机器视觉、触觉传感等。机器视觉依靠摄像头、激光雷达等设备获取直观的周围环境信息,但存在周围物体遮挡、环境光影响等问题,从而影响信息获取的准确性。对于机器触觉的研究,则可以在存在物体遮挡、光照条件差的场景中弥补机器视觉系统的缺陷。

[0003] 触觉传感器类型多样,但不同传感机理的触觉传感器模式单一,功能局限,难以满足多样化的场景需求。相比之下,在许多应用场景中,多模式触觉传感器有着显著优势,它能在单个设备中集成多种功能,简化了系统设计的复杂性,并提高了效率,显著提高了其适用性与实用性,确保其在复杂多变的环境中仍能够保持高度可靠性。

[0004] 传统的视触觉传感器具备高分辨率接触表面成像、传感数据特征丰富等优势,但无法感知传感器外部空间信息、也无法识别材料种类。传统的电容传感器具备接近感知空间信息以及感知不同电导率材料的能力,但接触表面分辨率低,难以成像,因此无法进行精确的接触表面重建。在触觉表面成像与接近物体感知两方面上,视触觉传感器与电容传感器可以达到劣势互补,优势融合的效果。

[0005] 为了解决单一传感器功能局限,难以满足多场景需求的问题,并推动视触觉传感器的实际应用,本发明提出一种接近觉-视触觉双模式柔性传感器。

发明内容

[0006] 为了解决单一传感器功能局限,难以满足多场景需求的问题,本发明提供了一种接近觉-视触觉双模式柔性传感器及其制备方法,一体化制备了视触觉传感器与柔性电容式接近觉传感器阵列,实现了空间感知与触觉传感的多模态感知能力,扩大了视触觉传感器应用范围。

[0007] 为实现以上目的,本发明通过以下技术方案予以实现:一种接近觉视触觉双模式柔性传感器,包括电容-视触觉双模式柔性传感器,所述电容-视触觉双模式柔性传感器包括视触觉传感器与柔性电容式接近觉传感器,所述视触觉传感器包括保护层,视触觉传感层,PDMS支撑体,亚克力透镜,传感器外壳,LED电路板,摄像头模块和传感器底座,所述柔性电容式接近觉传感器包括柔性上电极,柔性介质层和柔性电极阵列下极板。

[0008] 一种接近觉-视触觉双模式柔性传感器的制备方法,包括如下步骤:

[0009] 步骤一、传感器外壳与传感器底座的制备:将传感器结构的模型文件进行切片操作,切为层厚0.1mm的3D打印模型文件,并导入3D打印机中进行打印,直至打印成型,制备出传感器外壳与传感器底座;

[0010] 步骤二、LED电路板的制备:LED电路板由LED驱动芯片、贴片LED元件与USB母座元

件组成,生产厂家定制得到LED电路板,将LED电路板放置在步骤一制得的传感器底座的卡槽上;

[0011] 步骤三、亚克力透镜的制备:由1mm厚度亚克力板在频率为20KHz、功率为60%、速度为100mm/s的条件下进行红外激光切割,制备得到圆形亚克力透镜,并将亚克力透镜放置于步骤一制得的传感器外壳内部凸台处固定;

[0012] 步骤四、PDMS支撑体的制备:称取1.5g交联剂与15g聚二甲基硅氧烷,将二者混合,并用玻璃棒对上述溶液进行搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入步骤三制得的放置亚克力透镜后的传感器外壳中,并放入75°烘箱中进行烘干操作,直至上述溶液完全固化成型,制备得到厚度为29~31mm的PDMS支撑体;

[0013] 步骤五、视触觉传感器传感层与柔性电容式接近觉传感器介质层的制备:称取DRSGJ02有机硅胶的A液与B液按各7g,以1:1的比例进行混合,并用玻璃棒对上述溶液进行搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入步骤四制得的PDMS溶液固化后的传感器外壳中,并放入75°烘箱中进行烘干操作,直至上述溶液完全固化成型,制备得到厚度为1.4~1.6mm的视触觉传感器传感层与柔性电容式接近觉传感器介质层;

[0014] 步骤六、柔性电容式接近觉传感器下电极阵列层的制备:将步骤五制得的固化后的DRSGJ02有机硅胶层在频率为20KHz、电流为1A、速度为1mm/s的条件下进行紫外激光切割去除,得到指定形状空腔,之后,称取4.85gEcoflex与0.15g碳纳米管CNTs,将二者混合,并用玻璃棒进行搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入上述空腔中,并放入75°烘箱中进行烘干操作,直至上述溶液完全固化成型,制备得到柔性电容式接近觉传感器下电极阵列层,之后再倒入步骤五中所述DRSGJ02有机硅胶溶液3g对下电极阵列层进行覆盖以隔绝上下电极层,制备得到0.4~0.6mm的电容式接近觉传感器下电极层;

[0015] 步骤七、视触觉传感器保护层与柔性电容式接近觉传感器上电极层的制备:称取4.85gEcoflex与0.15g碳纳米管CNTs,将二者混合,并用玻璃棒进行搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入步骤六制得的溶液固化后的传感器外壳内部,并放入75°烘箱中进行烘干操作,直至上述溶液完全固化成型,得到厚度0.9~1.1mm的视触觉传感器保护层与柔性电容式接近觉传感器上电极层;

[0016] 步骤八、成品组装:将步骤二制得的放置LED电路板的传感器底座与步骤七制得的溶液固化完成后的传感器外壳组装,制备得到接近觉-视触觉双模式柔性传感器。

[0017] 本发明提供了一种接近觉视触觉双模式柔性传感器及其制备方法。具备以下有益效果:

[0018] 1、本发明通过将柔性电容式接近觉传感器与视触觉传感器一体化集成,实现了视觉信号与电容信号的双模态同步采集。视触觉传感器基于高分辨率触觉成像与接触表面重建,结合电容式接近觉传感器对物体距离、方位及材料电导率的感知能力,突破传统单一传感器功能局限,可在复杂遮挡或光照变化场景下互补融合,显著提升机器人对环境的全维度感知精度与鲁棒性。

[0019] 2、本发明创新性地以视触觉传感层的有机硅胶材料为载体嵌入电极阵列,作为电容传感器的下电极层。通过紫外激光切割工艺在硅胶介质层精准刻蚀空腔并注入碳纳米管复合材料,形成柔性电容电极阵列,避免了传统电容传感器独立堆叠电极层的结构冗余,使整体厚度缩减至毫米级(0.4~0.6mm),赋予传感器轻量化、紧凑化特性,适配狭小空间或机器人灵巧末端应用场景。

[0020] 3、本发明通过复用触觉传感器的保护层作为电容式接近觉传感器的上电极层,构建分层复用式结构。由Ecoflex/碳纳米管(CNTs)复合材料制成的保护层(厚度0.9~1.1mm)兼具高透遮光性与导电性,既保障触觉成像的清晰度,又可作为电容上极板灵敏响应外部物体的接近位移(精度达 $\pm 0.5\text{mm}$)。该设计无需额外增设电极层,减少部件数量且避免界面层间干扰,提升传感器的机械稳定性与信号保真度。

[0021] 4、本发明利用视触觉传感层DRSGJ02有机硅胶,实现了亚毫米级触觉表面形变(厚度1.4~1.6mm)的局部应力捕捉,结合亚克力透镜与摄像头模块的协同光路设计,触觉分辨率可达0.1mm/px,可精准重建接触物体的三维轮廓(如微米级凹凸纹理)。该性能优于传统触觉成像技术,适用于精细操作场景。

[0022] 5、本发明基于 4×4 电极阵列化电容接近觉传感器设计,采用多尺度高斯分布电容检测算法,可动态解析外部物体的方位角(精度 $\pm 2^\circ$)与运动轨迹,并依据不同材料的差异(如金属、木材、人体组织)实现非接触式材料分类(准确率 $>95\%$)。结合视触觉传感器的接触后高精度反馈,形成“接近-接触”全周期感知闭环,有效提升机器人在动态环境中的避障与交互能力。

附图说明

[0023] 图1为本发明的视触觉双模式柔性传感器结构的爆炸图;

[0024] 图2为本发明的视触觉双模式柔性传感器结构的结构示意图;

[0025] 图3为本发明中视触觉传感器采集到的触觉图像示意图及其经过映射后得到的三维重建图像示意图;

[0026] 图4为本发明中柔性电容式接近觉传感器感知不同材料时的接近距离与电容相对变化关系图像示意图;

[0027] 图5为本发明中柔性电容式接近觉传感器的接近感知迟滞性能的测试图像示意图;

[0028] 图6为本发明中柔性电容式接近觉传感器的接近感知重复性能的测试图像示意图;

[0029] 图7为本发明中柔性电容式接近觉传感器的接近感知灵敏度性能的测试图像示意图;

[0030] 图8为本发明的制备方法流程图。

[0031] 其中,1、电容-视触觉双模式柔性传感器;2、视触觉传感器;3、柔性电容式接近觉传感器;4、保护层;5、视触觉传感层;6、PDMS支撑体;7、亚克力透镜;8、传感器外壳;9、LED电路板;10、摄像头模块;11、传感器底座;12、柔性上电极;13、柔性介质层;14、柔性电极阵列下极板。

具体实施方式

[0032] 下面将结合本发明说明书附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0033] 实施例一:

[0034] 请参阅附图1-附图8,本发明实施例提供一种接近觉视触觉双模式柔性传感器及其制备方法,包括电容-视触觉双模式柔性传感器1,电容-视触觉双模式柔性传感器1包括视触觉传感器2与柔性电容式接近觉传感器3,所述视触觉传感器2包括保护层4,视触觉传感层5,PDMS支撑体6,亚克力透镜7,传感器外壳8,LED电路板9,摄像头模块10和传感器底座11,所述柔性电容式接近觉传感器3包括柔性上电极12,柔性介质层13和柔性电极阵列下极板14。

[0035] 一种接近觉-视触觉双模式柔性传感器的制备方法,包括如下步骤:

[0036] 步骤一、传感器外壳与传感器底座的制备:将传感器结构的模型文件进行切片操作,切为层厚0.1mm的3D打印模型文件,并导入3D打印机中进行打印,直至打印成型,制备出传感器外壳与传感器底座;

[0037] 步骤二、LED电路板的制备:LED电路板由LED驱动芯片、贴片LED元件与USB母座元件组成,生产厂家定制得到LED电路板,将LED电路板放置在步骤一制得的传感器底座的卡槽上;

[0038] 步骤三、亚克力透镜的制备:由1mm厚度亚克力板在频率为20KHz、功率为60%、速度为100mm/s的条件下进行红外激光切割,制备得到圆形亚克力透镜,并将亚克力透镜放置于步骤一制得的传感器外壳内部凸台处固定;

[0039] 步骤四、PDMS支撑体的制备:称取1.5g交联剂与15g聚二甲基硅氧烷,将二者混合,并用玻璃棒对上述溶液进行搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入步骤三制得的放置亚克力透镜后的传感器外壳中,并放入75°烘箱中进行烘干操作,直至上述溶液完全固化成型,制备得到厚度为29~31mm的PDMS支撑体;

[0040] 步骤五、视触觉传感器传感层与柔性电容式接近觉传感器介质层的制备:称取DRSGJ02有机硅胶的A液与B液按各7g,以1:1的比例进行混合,并用玻璃棒对上述溶液进行搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入步骤四制得的PDMS溶液固化后的传感器外壳中,并放入75°烘箱中进行烘干操作,直至上述溶液完全固化成型,制备得到厚度为1.4~1.6mm的视触觉传感器传感层与柔性电容式接近觉传感器介质层;

[0041] 步骤六、柔性电容式接近觉传感器下电极阵列层的制备:将步骤五制得的固化后的DRSGJ02有机硅胶层在频率为20KHz、电流为1A、速度为1mm/s的条件下进行紫外激光切割去除,得到指定形状空腔,之后,称取4.85gEcoflex与0.15g碳纳米管CNTs,将二者混合,并用玻璃棒进行搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入上述空腔中,并放入75°烘箱中进行烘干操作,直至上述溶液完全固化成型,制备得到柔性电容式接近觉传感器下电极阵列层,之后再倒入步骤五中所

述DRSGJ02有机硅胶溶液3g对下电极阵列层进行覆盖以隔绝上下电极层,制备得到0.4~0.6mm的电容式接近觉传感器下电极层;

[0042] 步骤七、视触觉传感器保护层与柔性电容式接近觉传感器上电极层的制备:称取4.85gEcoflex与0.15g碳纳米管CNTs,将二者混合,并用玻璃棒进行搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入步骤六制得的溶液固化后的传感器外壳内部,并放入75°烘箱中进行烘干操作,直至上述溶液完全固化成型,得到厚度0.9~1.1mm的视触觉传感器保护层与柔性电容式接近觉传感器上电极层;

[0043] 步骤八、成品组装:将步骤二制得的放置LED电路板的传感器底座与步骤七制得的溶液固化完成后的传感器外壳组装,制备得到接近觉-视触觉双模式柔性传感器。

[0044] 实施例一有益效果:本实施例一通过多层结构复用设计,将视触觉传感器与柔性电容式接近觉传感器集成于单一柔性平台,实现“非接触检测+接触感知”双模态协同工作。视触觉传感器中的DRSGJ02有机硅胶传感层(厚度1.45mm范围内检测物体接近距离(线性误差 $\leq 5\%$),并能区分金属/木材等不同电导率材料(误判率 $< 5\%$)。直接复用保护层作为电容上电极(厚度0.9~1.1mm)及共用介质层,使得传感器总厚度 $\leq 3.5\text{mm}$,兼具轻量化(减重50%)与抗环境光干扰特性,适用于工业机械臂在复杂环境中的闭环操作。

[0045] 实施例二:

[0046] 在实施例一的基础上对步骤四、步骤六进行改进,一种接近觉-视触觉双模式柔性传感器的制备方法,包括以下步骤:

[0047] 步骤四、PDMS支撑体的制备:称取1.2g交联剂与14.8g聚二甲基硅氧烷,将二者混合,并用玻璃棒对上述溶液进行搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入步骤三制得的放置亚克力透镜后的传感器外壳中,并放入75°烘箱中进行烘干操作,直至上述溶液完全固化成型,制备得到厚度为25~27mm的PDMS支撑体,并使其邵氏硬度由15降至10;

[0048] 步骤六、柔性电容式接近觉传感器下电极阵列层的制备:将步骤五制得的固化后的DRSGJ02有机硅胶层在频率为20KHz、电流为1A、速度为1mm/s的条件下进行紫外激光切割去除,得到指定形状空腔,之后,称取4.85gEcoflex与0.15g银纳米线AgNWs,将二者混合,并用玻璃棒进行搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入上述空腔中,填充后以2000rpm离心5分钟,再放入75°烘箱中进行烘干操作,直至上述溶液完全固化成型,制备得到柔性电容式接近觉传感器下电极阵列层,之后再倒入步骤五中所述DRSGJ02有机硅胶溶液3g对下电极阵列层进行覆盖以隔绝上下电极层,制备得到0.4~0.6mm的电容式接近觉传感器下电极层;

[0049] 实施例二有益效果:本实施例二在实施例一基础上,通过PDMS支撑体交联剂比例优化(交联剂占比从10%降至8%)及下电极材料工艺改进(碳纳米管CNTs替换为银纳米线AgNWs并引入离心工艺),显著提升传感器灵敏度和柔性适配性。PDMS支撑体邵氏硬度由15降至10,厚度缩减至255mm范围,检测分辨率提升至0.08mm,动态响应时间缩短至15ms(原30ms)。该设计在高灵敏度人体接近检测(如机器人抓取软组织)及小型曲面集成场景中具有显著优势。

[0050] 如图2所示,为图1经过组装后的传感器整体结构图。

[0051] 如图3所示,将一个3D打印的圆柱体阵列以一定的法向压力按压在传感器表面4上,由传感器内部的摄像头模块11采集到的原始2D图像数据,图像为分辨率为150*160的RGB图像,该图像分辨率较高,经过预先标定好的映射表映射后可以得到深度图像,并进一步转化为点云数据,来进行精确的触觉皮肤表面接触信息的三维重建,从而得到接触物体表面的3D触觉信息。

[0052] 如图4所示,通过力学试验机(MX-0350)进行0-30mm范围的拉伸测试,使用数字电桥(TH2830)在100kHz的采样频率下对柔性电容式接近觉传感器3输出的单通道电容信号进行测量,以对传感器在靠近不同类别材料时的电容量程与变化率进行测试。测试结果为:传感器对8种不同材料的感知范围与感知灵敏度不同,其中,电导率较大的材料,即铜、铝和铁,灵敏度较大,量程范围为0-30mm;电导率较小的材料,即木、玻璃、亚克力、树脂和尼龙,灵敏度较小,量程范围为0-25mm,证明接近觉-视触觉双模式柔性传感器1具备识别不同类别材料的能力。

[0053] 如图5所示,在力学试验机上固定铁质导体,将力学试验机(MX-0350)以50mm/s的速度从距离传感器0mm处远离,直至距离传感器30mm处,使用数字电桥(TH2830)在100kHz的采样频率下对传感器输出的电容信号进行测量,以测试传感器接近感知的迟滞性能。实验结果表明,在传感器的远离-接近过程时,传感器的电容相对变化曲线几乎重合,证明该传感器接近感知能力具有良好的迟滞性和鲁棒性。

[0054] 如图6所示,在力学试验机上固定铁质导体,将力学试验机(MX-0350)以100mm/s的速度从距离传感器0mm处远离,直至距离传感器30mm处,使用数字电桥(TH2830)在100kHz的采样频率下对传感器输出的接近觉电容信号进行测量,以测试传感器的重复性。实验结果表明,在物体逐渐从距离传感器表面0mm处直至30mm处的过程中,传感器在长达50次的远离-接近过程中,始终保持着稳定的感测信号,未出现疲劳或温漂现象,证明该传感器具有出色的接近感知稳定性和重复性。

[0055] 如图7所示,在力学试验机上固定铁质导体,将力学试验机(MX-0350)以50mm/s的速度从距离传感器0mm处远离,直至距离传感器30mm处,使用数字电桥(TH2830)在100kHz的采样频率下对传感器输出的接近觉电容信号进行测量,以对传感器的接近觉灵敏度性能进行测试。实验结果表明,在距离传感器表面较近的范围内,传感器的电容变化率较大,随着物体逐渐远离,传感器的电容变化率逐渐减小,直至30mm处时传感器电容示数不再变化,说明到达传感器感应边界。

[0056] 一种接近觉-视触觉双模式柔性传感器可以同时获取视触觉传感器2以及柔性电容式接近觉传感器3的信号,通过在视触觉传感皮肤层5中嵌入电极阵列作为电容式接近觉传感器的下电极层12,有效减少了传感器整体尺寸,将视触觉传感器的保护层4作为电容式接近觉传感器的上电极层4,在减少传感器整体尺寸的同时实现了两种不同传感机理的传感器的有效融合,将该双模式触觉传感器应用于触觉图像重建与接近物体材料识别时,视触觉传感器2采集得到的高分辨率图像数据可以有效进行触觉重现以及触觉皮肤表面三维重建,电容式接近觉传感器3根据不同材料电导率不同,对电场影响效果不同,可以用于识别待测物体材料类别与其运动信息。

[0057] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换

和变型,本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

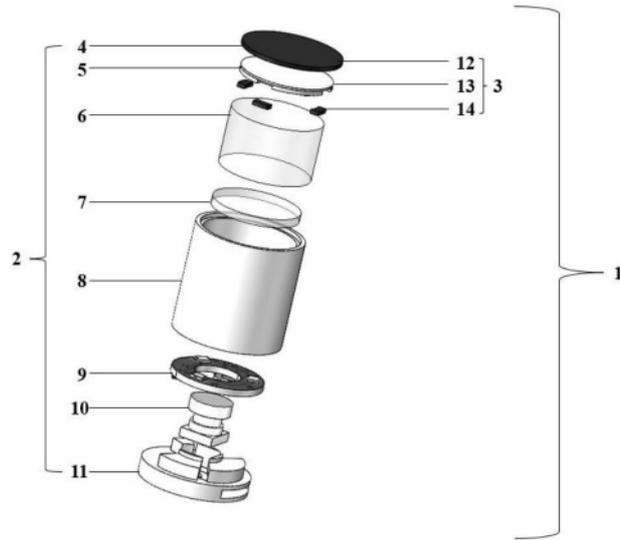


图1



图2

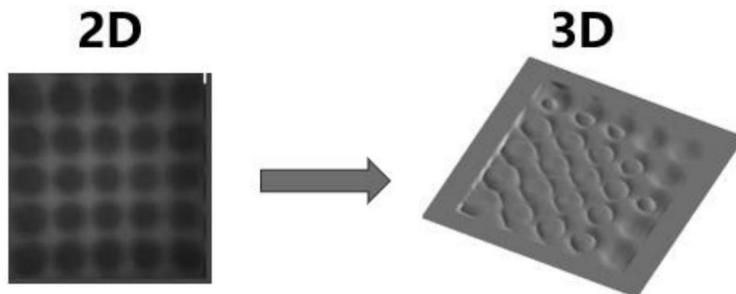


图3

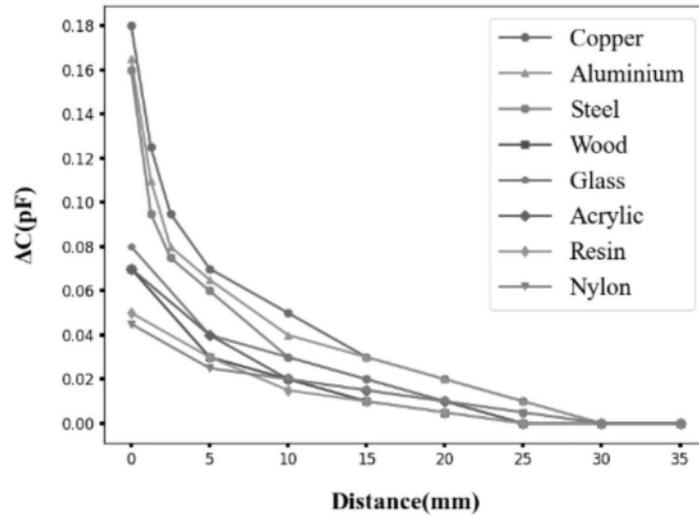


图4

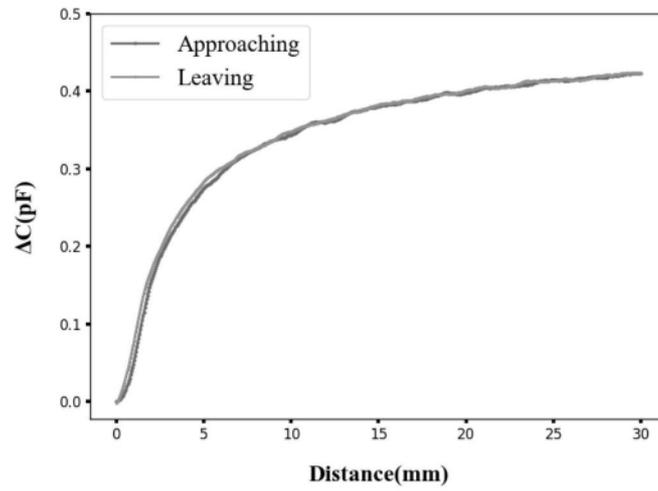


图5

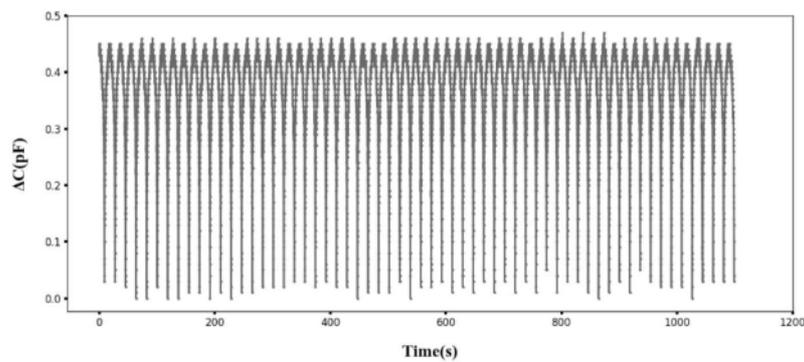


图6

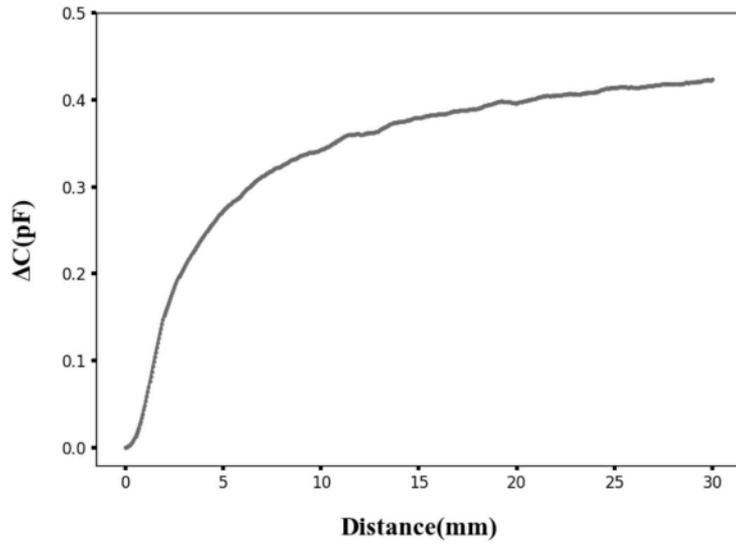


图7

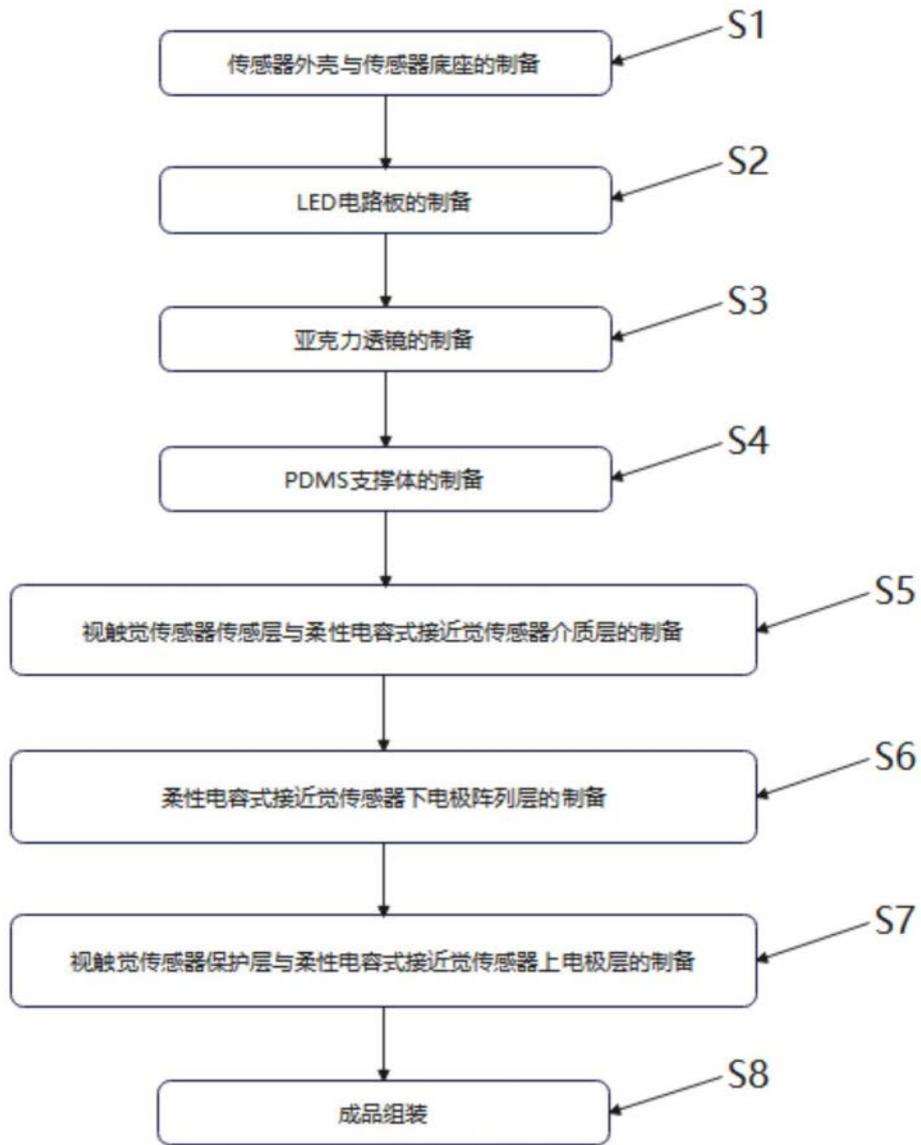


图8