



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116225300 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 06

(21) 申请号 202310215767.5

(22) 申请日 2023.03.08

(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 刘爱萍 吕子寒 程琳 吴化平
周家豪 王文航 王鑫银

(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 韩立霞

(51) Int. Cl.

G06F 3/04883 (2022.01)

G06F 3/044 (2006.01)

G06F 3/041 (2006.01)

G06F 3/01 (2006.01)

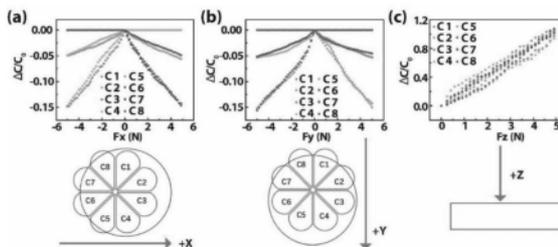
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器在手写识别中的应用方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于花瓣阵列电极的柔性电容式三维力触觉传感器在写识别中的应用方法,采用花瓣阵列电极的柔性电容式三维力传感器作为触觉传感器,佩戴在手指上识别手部运动并进行物体抓取和手写识别行为通过捕捉不同笔画书写以及不同单词书写的情况,获得传感器各单元电容输出的相对电容变化曲线并分析,从而判断使用者所书写的文字。本发明的方法原料易得,操作简单,重复性好,具有良好的触觉传感能力,同时,在手写识别中可以克服佩戴者书写角度和力度等因素的干扰,能够准确识别佩戴者书写的内容。该传感器在人机交互和可穿戴设备领域有很好的应用潜力。



1. 基于花瓣阵列电极的柔性电容式三维力触觉传感器在手写识别中的应用方法,其特征在于:包括如下步骤:

步骤一、将花瓣阵列电极的柔性电容式三维力传感器作为触觉传感器佩戴在手指上;

步骤二、用户进行物体抓取并作出书写动作;

步骤三、手写识别行为通过捕捉不同笔画书写或不同单词书写的情况,捕捉书写时各传感单元输出的相对电容变化曲线;

步骤四、将捕捉的结果带入传感器相应的三维力解耦公式中,得到传感器在二维平面上的运动轨迹,输出用户的手写结果。

2. 根据权利要求1所述的基于花瓣阵列电极的柔性电容式三维力触觉传感器在写识别中的应用方法,其特征在于:该柔性电容式三维力传感器包含一个顶部电极层、一个底部电极层和一个介质层,所述的顶部电极为八个花瓣形阵列电极,底部电极为圆形电极,所述的介质层由Ecoflex和纯度为95%的多壁碳纳米管组成。所述的柔性电容式三维力传感器的直径为14mm,厚度为1mm,与手指尺寸匹配。

3. 根据权利要求1所述的基于花瓣阵列电极的柔性电容式三维力触觉传感器在写识别中的应用方法,其特征在于:所述的柔性电容式三维力传感器需要完成三维力校准,获得其的三维力解耦。分别对传感器的X、Y和Z方向施加0~5N的切向力和0~1N的法向力,同时测量各个电容输出的电容变化值。对每个方向加载10次,记录传感器输出的相对电容变化,去除最大和最小值后取平均值,并通过解耦矩阵将三维力解耦。

4. 根据权利要求1所述的基于花瓣阵列电极的柔性电容式三维力触觉传感器在写识别中的应用方法,其特征在于:所述的三维力解耦公式为正向力的解耦矩阵为(沿Z轴方向的三维力校准):

$$[F_z] = [1.191 \ 1.191 \ 1.191 \ 1.191] * [A]$$

相对电容变化的转置矩阵可以写为:

$$[A]^T = \begin{bmatrix} \frac{\Delta C_a}{C_a} & \frac{\Delta C_b}{C_b} & \frac{\Delta C_c}{C_c} & \frac{\Delta C_d}{C_d} \end{bmatrix}$$

其中, ΔC_a 、 ΔC_b 、 ΔC_c 和 ΔC_d (a-d是顶部电极中的单位数) 分别表示顶部电极和底部电极的电容的相对变化,不会产生投影面积的变化。

同理,切向力的解耦矩阵为(沿X轴和Y轴的三维力校准):

$$\begin{bmatrix} F_{x+} \\ F_{x-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.246 & 1.084 & 1.084 & 3.246 \\ -3.141 & -1.127 & -1.127 & -3.141 \end{bmatrix} * [B]$$

$$\begin{bmatrix} F_{y+} \\ F_{y-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.118 & 3.285 & 3.285 & 1.118 \\ -3.166 & -1.072 & -1.072 & -3.166 \end{bmatrix} * [B]$$

$$[B]^T = \begin{bmatrix} \frac{\Delta C_e}{C_e} & \frac{\Delta C_f}{C_f} & \frac{\Delta C_g}{C_g} & \frac{\Delta C_h}{C_h} \end{bmatrix}$$

其中, ΔC_e 、 ΔC_f 、 ΔC_g 和 ΔC_h (e-h是顶部电极中的单位数) 分别表示顶部电极和底部电极电容的相对变化,会产生投影面积的变化。[B]是相对电容变化的矩阵。

5. 根据权利要求1所述的基于花瓣阵列电极的柔性电容式三维力触觉传感器在写识别中的应用方法,其特征在于:当佩戴在手指的触觉传感器分别沿45°和135°的对角线、水平

0°和垂直90°、顺时针和逆时针圆形书写时,得到六种常用笔划下传感器的相对电容变化曲线。

6.根据权利要求1所述的基于花瓣阵列电极的柔性电容式三维力触觉传感器在写识别中的应用方法,其特征在于:触觉传感器将捕捉到的电容变化曲线带入传感器相应的三维力解耦公式,通过结合不同笔画对应的波形和峰值特征,可以区分不同笔画,输出书写结果。

基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器在手写识别中的应用方法

技术领域

[0001] 本发明涉及柔性传感器领域,具体涉及基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器在手写识别中的应用方法。

背景技术

[0002] 触觉传感技术是在上世纪70年代首次出现的,一经问世便受到了人们的关注。随着机器人技术和电子信息技术的不断发展,触觉传感器进入了高速发展阶段。为了能够更好的反馈触觉信息,研究人员对触觉传感器的制备材料、传感器的结构和传感原理进行不断地深入探索。作为反馈外界力信息的媒介,触觉传感器不仅在人机交互和人工智能方面,还在医疗设备、生物医学、航空航天和军工领域具有广阔的应用前景和潜在的实用价值。

[0003] 人机交互是一门研究系统与用户之间的交互关系的学问。手写识别作为人与机器交互的一种方式被广泛研究。由于人手运动的复杂性,很难及时捕捉手部运动信号,因此需要借助合适的柔性传感器作为这种交互的媒介。与普通的一维力传感器相比,柔性电容式三维力传感器具有与手部皮肤共形、灵敏度高、较大的动态响应范围和良好的机械稳定性等优异特性,具有同时检测三维力信息的能力,因此广泛应用于手写识别领域。目前研究人员已经研制出多种柔性电容式三维力传感器并用于手写识别领域的研究。例如,Zhao等人设计了一种基于多孔结构的介电弹性膜的柔性电容式三维力传感器,作为手写识别的书写设备;Yang等人设计了一种具有图案化电极的柔性电容式三维力传感器,利用Matlab设计GUI实时显示手写内容。尽管基于正压力的等效三维力或真实三维力的复杂解耦等方法可以提供三维力的空间信息,但通过巧妙的结构设计及简化解耦方式来进行真实三维力识别和手部运动捕捉的研究依然是非常必要和具有挑战性的。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力传感器在手写识别中的应用方法。将花瓣阵列电极的柔性电容式三维力传感器作为佩戴在手指上识别手部运动,捕捉书写时各传感单元输出的相对电容变化曲线,判断使用者所书写的文字。该方法操作简单,重复性好,准确度高,具有良好的触觉传感能力。

[0005] 技术方案

[0006] 一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力传感器在手写识别中的应用方法,其包括如下步骤:

[0007] 步骤一、将花瓣阵列电极的柔性电容式三维力传感器作为触觉传感器佩戴在手指上;

[0008] 步骤二、识别手部运动并进行物体抓取并作出书写动作;

[0009] 步骤三、手写识别行为通过捕捉不同笔画书写或不同单词书写的情况,捕捉书写时各传感单元输出的相对电容变化曲线;

[0010] 步骤四、将捕捉的结果带入传感器相应的三维力解耦公式中,得到传感器在二维平面上的运动轨迹,输出用户的手写结果。

[0011] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:首先对三维力传感器完成三维力校准,获得其的三维力解耦;再将花瓣阵列电极的柔性电容式三维力传感器连接到测试电路并固定在食指指腹,通过手指对传感器的施加约5N的压力作用,用指腹进行文字书写然后通过捕捉传感器的相对电容变化曲线来判断书写者的书写信息。八个花瓣状传感单元的相对电容变化曲线($C_{1\sim 8}$),8条曲线的峰值形状和强度并不完全相同通过结合不同笔画对应的波形和峰值特征,可以区分不同笔画的字母或词汇。

[0012] 进一步的,该柔性电容式三维力传感器包含一个顶部电极层、一个底部电极层和一个介质层,所述的顶部电极为八个花瓣形阵列电极,底部电极为圆形电极,所述的介质层由Ecoflex和纯度为95%的多壁碳纳米管组成。所述的柔性电容式三维力传感器的直径为14mm,厚度为1mm,与手指尺寸匹配。

[0013] 进一步的,当将与X轴、Y轴或Z轴成一定角度的三维力施加到整个柔性电容式三维力传感器时,需要对传感器测得的信号进行三维力校准。

[0014] 进一步的,三维力校准的具体方法是:分别对传感器的X、Y和Z方向施加0~5N的切向力和0~1N的法向力,同时测量各个电容输出的电容变化值。对每个方向加载10次,记录传感器输出的相对电容变化,去除最大和最小值后取平均值,并通过解耦矩阵将三维力解耦。

[0015] 进一步的,三维力解耦公式如下:正向力的解耦矩阵为(沿Z轴方向的三维力校准):

$$[0016] \quad [F_z] = [1.1911 \ 1.1911 \ 1.1911 \ 1.1911] * [A]$$

[0017] 相对电容变化的转置矩阵可以写为:

$$[0018] \quad [A]^T = \left[\frac{\Delta C_a}{C_a} \quad \frac{\Delta C_b}{C_b} \quad \frac{\Delta C_c}{C_c} \quad \frac{\Delta C_d}{C_d} \right]$$

[0019] 其中, ΔC_a 、 ΔC_b 、 ΔC_c 和 ΔC_d (a-d是顶部电极中的单位数)分别表示顶部电极和底部电极的电容的相对变化,不会产生投影面积的变化。

[0020] 同理,切向力的解耦矩阵为(沿X轴和Y轴的三维力校准):

$$[0021] \quad \begin{bmatrix} F_{x+} \\ F_{x-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.246 & 1.084 & 1.084 & 3.246 \\ -3.141 & -1.127 & -1.127 & -3.141 \end{bmatrix} * [B]$$

$$[0022] \quad \begin{bmatrix} F_{y+} \\ F_{y-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.118 & 3.285 & 3.285 & 1.118 \\ -3.166 & -1.072 & -1.072 & -3.166 \end{bmatrix} * [B]$$

$$[0023] \quad [B]^T = \left[\frac{\Delta C_e}{C_e} \quad \frac{\Delta C_f}{C_f} \quad \frac{\Delta C_g}{C_g} \quad \frac{\Delta C_h}{C_h} \right]$$

[0024] 其中, ΔC_e 、 ΔC_f 、 ΔC_g 和 ΔC_h (e-h是顶部电极中的单位数)分别表示顶部电极和底部电极电容的相对变化,会产生投影面积的变化。[B]是相对电容变化的矩阵。

[0025] 进一步的,当佩戴在手指的触觉传感器分别沿45°和135°的对角线、水平0°和垂直90°、顺时针和逆时针圆形书写时,得到六种常用笔划下传感器的相对电容变化曲线。

[0026] 进一步的,以书写轨迹为45°对角线时和顺时针圆形轨迹书写为例。45°对角线书写时 C_1 和 C_2 单元产生的相对电容变化峰值最大,因为顶部和底部电极的相对位移在 C_1 和 C_2

的位置最大。 C_3 和 C_8 单元与底部电极也存在相对位移,但位移幅度比 C_1 和 C_2 单元小,呈现的电容变化也较小。由于 C_4 、 C_5 、 C_6 、 C_7 与底部电极没有相对位移,因此它们的电容变化仅由两个电极板之间的距离变化引起,因此电容变化的峰值最小。对于顺时针圆形的书写轨迹,顶部电极板和底部电极板的相对位移将经历增加、减少、然后再增加的趋势,因此相对电容变化的波形也呈“M”形。由于顺时针圆形的书写轨迹具有对称性,每个电极板输出曲线的波形和峰值大致相同。

[0027] 进一步的,触觉传感器将捕捉到的电容变化曲线带入传感器相应的三维力解耦公式,通过结合不同笔画对应的波形和峰值特征,可以区分不同笔画,输出书写结果。

[0028] 有益效果

[0029] 相对于现有技术,本发明揭示了基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器在手写识别中的应用,该方法的有益效果是:

[0030] 1、本传感器带有花瓣状阵列电极,通过改变施加在传感器上的力改变顶部和底部极板的间距和投影面积,从而改变传感器的相对电容变化并传感三维力信息,这样便可以直接分离法向力与切向力,从而降低解耦的难度,这也是该结构的独特特征。

[0031] 2、本传感器对于手写识别具有良好的识别准确性,对于不同的书写内容的区分度较大。

[0032] 3、本传感器对手指书写轨迹的捕捉是非常准确的,书写时所施加的力的大小和手指的倾斜角度对电容式三维力传感器的传感识别性能没有明显影响。

[0033] 4、通过实验证明,该柔性电容式三维力传感器在可穿戴手写识别领域有良好的应用前景。

附图说明

[0034] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图获得其他的附图。

[0035] 图1为本基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器在X轴、Y轴、Z轴方向的三维力校准。

[0036] 图2为本基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器在X轴、Y轴、Z轴方向的三维力测试。

[0037] 图3为利用本基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器书写六个常用笔划时的相对电容变化曲线。

[0038] 图4为利用本基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器书写“GOOD”和“ZSTU”时传感器各传感单元的相对电容变化曲线。

[0039] 图5为利用本基于花瓣结构的柔性电容式三维力传感器书写字母“A”到“G”的相对电容变化的相似度矩阵。

[0040] 图6为 45° 倾斜角度向本基于花瓣结构的柔性电容式三维力传感器施加力时传感器各传感单元输出的相对电容变化曲线。

具体实施方式

[0041] 为了使本发明的目的、技术方案和有益技术效果更加清晰,下面结合附图和具体实施方式,对本发明的一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器制备方法及其对应的有益效果进行详细阐述。

[0042] 应当理解的是,本说明书中描述的实施例仅仅是为了解释本发明,但本发明的保护范围并不限于所述内容。

[0043] 本发明的目的在于提供一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力传感器在手写识别中的应用方法。其包括如下步骤:

[0044] 步骤一、将花瓣阵列电极的柔性电容式三维力传感器作为触觉传感器佩戴在手指上;

[0045] 步骤二、识别手部运动并进行物体抓取并作出书写动作;

[0046] 步骤三、手写识别行为通过捕捉不同笔画书写或不同单词书写的情况,捕捉书写时各传感单元输出的相对电容变化曲线;

[0047] 步骤四、将捕捉的结果带入传感器相应的三维力解耦公式中,得到传感器在二维平面上的运动轨迹,输出用户的手写结果。

[0048] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0049] 首先对三维力传感器完成三维力校准,获得其的三维力解耦;再将花瓣阵列电极的柔性电容式三维力传感器连接到测试电路并固定在食指指腹,通过手指对传感器的施加约5N的压力作用,用指腹进行文字书写然后通过捕捉传感器的相对电容变化曲线来判断书写者的书写信息。八个花瓣状传感单元的相对电容变化曲线($C_{1\sim 8}$),8条曲线的峰值形状和强度并不完全相同通过结合不同笔画对应的波形和峰值特征,可以区分不同笔画的字母或词汇。

[0050] 进一步的,该柔性电容式三维力传感器包含一个顶部电极层、一个底部电极层和一个介质层,所述的顶部电极为八个花瓣形阵列电极,底部电极为圆形电极,所述的介质层由Ecoflex和纯度为95%的多壁碳纳米管组成。所述的柔性电容式三维力传感器的直径为14mm,厚度为1mm,与手指尺寸非常匹配。

[0051] 进一步的,当将与X轴、Y轴或Z轴成一定角度的三维力施加到整个柔性电容式三维力传感器时,需要对传感器测得的信号进行三维力校准。

[0052] 进一步的,三维力校准的具体方法是:分别对传感器的X、Y和Z方向施加0~5N的切向力和0~1N的法向力,同时测量各个电容输出的电容变化值。对每个方向加载10次,记录传感器输出的相对电容变化,去除最大和最小值后取平均值,并通过解耦矩阵将三维力解耦。

[0053] 进一步的,三维力解耦公式如下:正向力的解耦矩阵为(沿Z轴方向的三维力校准):

[0054] $[F_z] = [1.1911.1911.1911.191] * [A]$

[0055] 相对电容变化的转置矩阵可以写为:

[0056] $[A]^T = \begin{bmatrix} \frac{\Delta C_a}{C_a} & \frac{\Delta C_b}{C_b} & \frac{\Delta C_c}{C_c} & \frac{\Delta C_d}{C_d} \end{bmatrix}$

[0057] 其中, ΔC_a 、 ΔC_b 、 ΔC_c 和 ΔC_d (a-d是顶部电极中的单位数)分别表示顶部电极和底

部电极的电容的相对变化,不会产生投影面积的变化。

[0058] 同理,切向力的解耦矩阵为(沿X轴和Y轴的三维力校准):

$$[0059] \quad \begin{bmatrix} F_{x+} \\ F_{x-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.246 & 1.084 & 1.084 & 3.246 \\ -3.141 & -1.127 & -1.127 & -3.141 \end{bmatrix} * [B]$$

$$[0060] \quad \begin{bmatrix} F_{y+} \\ F_{y-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.118 & 3.285 & 3.285 & 1.118 \\ -3.166 & -1.072 & -1.072 & -3.166 \end{bmatrix} * [B]$$

$$[0061] \quad [B]^T = \left[\frac{\Delta C_e}{C_e} \quad \frac{\Delta C_f}{C_f} \quad \frac{\Delta C_g}{C_g} \quad \frac{\Delta C_h}{C_h} \right]$$

[0062] 其中, ΔC_e 、 ΔC_f 、 ΔC_g 和 ΔC_h (e-h是顶部电极中的单位数)分别表示顶部电极和底部电极电容的相对变化,会产生投影面积的变化。[B]是相对电容变化的矩阵。

[0063] 进一步的,当佩戴在手指的触觉传感器分别沿 45° 和 135° 的对角线、水平 0° 和垂直 90° 、顺时针和逆时针圆形书写时,得到六种常用笔划下传感器的相对电容变化曲线。

[0064] 进一步的,以书写轨迹为 45° 对角线时和顺时针圆形轨迹书写为例。 45° 对角线书写时 C_1 和 C_2 单元产生的相对电容变化峰值最大,因为顶部和底部电极的相对位移在 C_1 和 C_2 的位置最大。 C_3 和 C_8 单元与底部电极也存在相对位移,但位移幅度比 C_1 和 C_2 单元小,呈现的电容变化也较小。由于 C_4 、 C_5 、 C_6 、 C_7 与底部电极没有相对位移,因此它们的电容变化仅由两个电极板之间的距离变化引起,因此电容变化的峰值最小。对于顺时针圆形的书写轨迹,顶部电极板和底部电极板的相对位移将经历增加、减少、然后再增加的趋势,因此相对电容变化的波形也呈“M”形。由于顺时针圆形的书写轨迹具有对称性,每个电极板输出曲线的波形和峰值大致相同。

[0065] 进一步的,触觉传感器将捕捉到的电容变化曲线带入传感器相应的三维力解耦公式,通过结合不同笔画对应的波形和峰值特征,可以区分不同笔画的字母或词汇。

[0066] 如图1所示,当分别向传感器的X、Y和Z方向施加 $0\sim 5\text{N}$ 的力时,检测传感器输出的电容变化,无论传感器的顶部电极向任何方向移动,只有一部分的顶部电极会与底部电极产生投影面积的改变,这样便可以直接分离法向力与切向力,从而降低解耦的难度,这也是该结构的独特特征。我们可以通过观察顶部电极板相对于公共底部电极板的投影面积的变化来确定三维力的应用范围,并通过解耦矩阵将三维力解耦。

[0067] 如图2所示,是以斜坡为基准面,通过编程控制力学试验机对斜坡上的传感器施加 $0\sim 5\text{N}$ 的法向力测试的结果。利用解耦公式将三维力解耦的计算值与实际施加的力进行比较,结果证明了三维力传感器解耦方法的正确性。

[0068] 如图3所示,当手指分别沿 45° 和 135° 的对角线、水平 0° 和垂直 90° 、顺时针和逆时针圆形书写时,六种常用笔划下传感器的相对电容变化曲线有着其画对应的波形和峰值特征,可以区分不同笔画的字母或词汇。

[0069] 如图4所示,书写者分别书写英文单词“GOOD”和“ZSTU”时 C_1 - C_8 传感单元的相对电容变化曲线。每个字母的电容变化曲线可以由相应笔画的电容变化曲线组合并显示很好的一致性。

[0070] 如图5所示,由字母“A”到“G”的相对电容变化的波形相似度矩阵可以表明表明该三维力传感器在识别手写体方面具有很高的准确性。

[0071] 如图6所示,由 45° 倾斜角度向传感器施加力时传感器各传感单元输出的相对电容

变化曲线可表明,传感器对手指书写轨迹的捕捉是非常准确的,书写时所施加的力的大小和手指的倾斜角度对电容式三维力传感器的传感识别性能没有明显影响。

[0072] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明技术方案进行了详细的说明,本领域的技术人员应当理解,其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行同等替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神与范围。

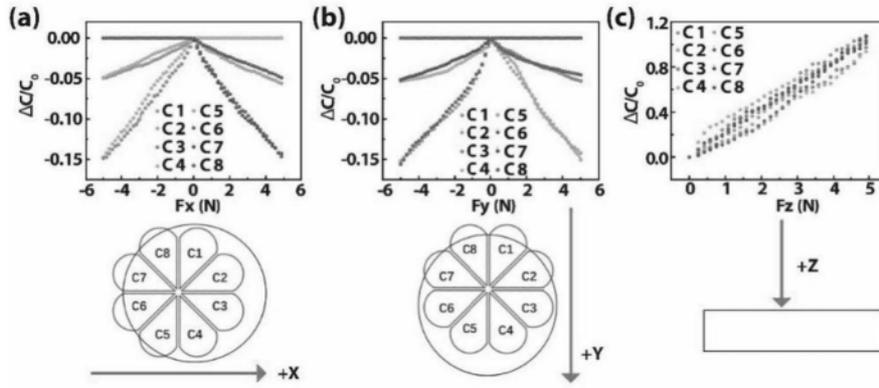


图1

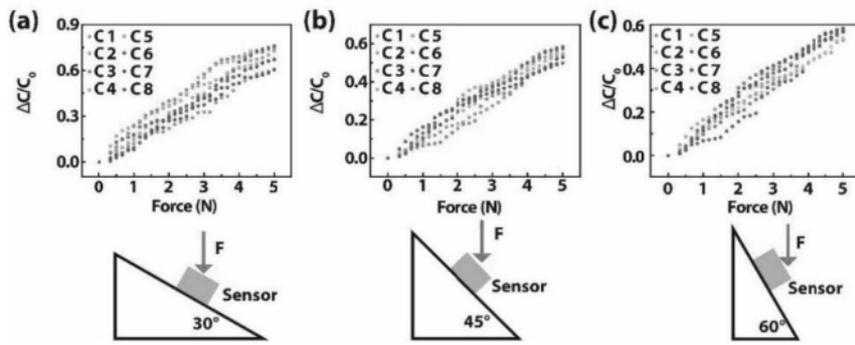


图2

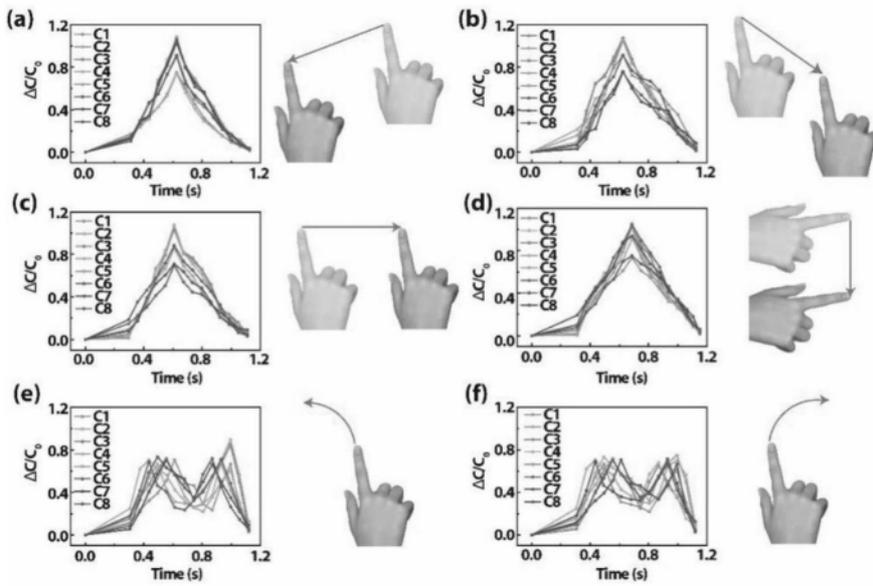


图3

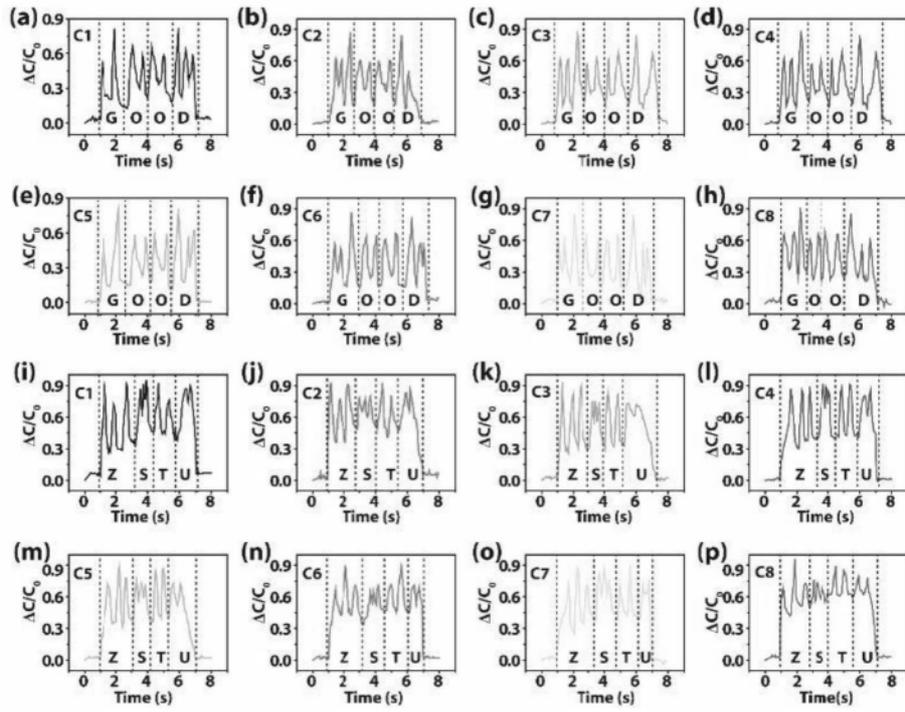


图4

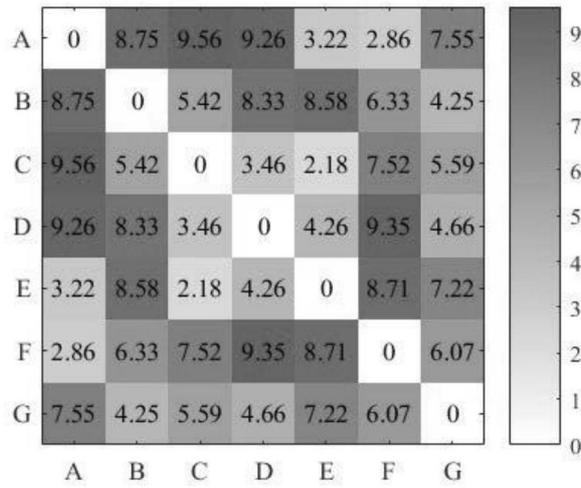


图5

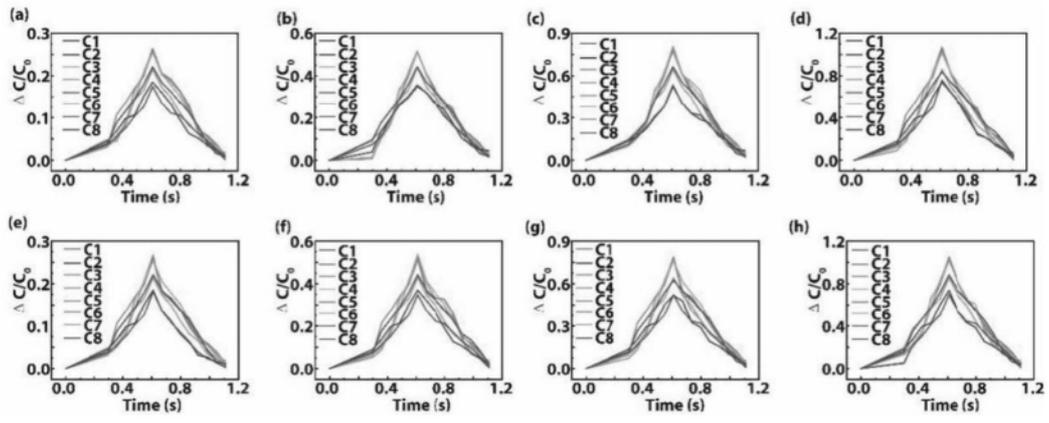


图6