

基于情感的触觉研究及交互设计

焦阳¹⁾ Hong Z. Tan²⁾ 徐迎庆¹⁾ 鲁晓波¹⁾

¹⁾(清华大学美术学院, 北京 100084)

²⁾(普渡大学 触觉界面研究实验室, 西拉法叶 美国 47907)

摘 要 触觉拥有丰富的情感属性。本文从设计角度, 研究基于情感的触觉交互的情感反馈、设备分析与交互设计。首先从人的触觉生理角度剖析了情感的愉悦度-强度的评价分析方法, 从主观与客观两方面介绍了情感的测量方法, 并通过生理研究揭示了触觉愉悦度与外界触觉信号的关系。然后根据人的触觉情感反馈机制, 阐述并分析几类基于情感的触觉设备及其设计思考。最后根据触觉情感研究成果, 从设计角度提出了在人机交互中基于情感的触觉交互设计指导原则。

关键词 触觉; 情感; 触觉情感设备; 触觉交互设计

中图法分类号 ***** **DOI 号** *投稿时不提供 DOI 号*

Affective Haptics Research and Interaction Design

Yang Jiao¹⁾ Hong Z. Tan²⁾ Yingqing Xu¹⁾ Xiaobo Lu¹⁾

¹⁾(Academy of Arts and Design, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

²⁾(Haptic Interface Research Lab, Purdue University, West Lafayette, IN 47907, USA)

Abstract Emotion is one of the properties of the sense of touch. From the view of design, the present study explores the affective haptics as well as human affective response, device analysis and interaction design. Firstly, the affective evaluation method - the Valence-Arousal Space - is analyzed in haptic physiology, and the subjective and objective affective detection methods are illustrated, as well as the connection of human haptic valence and haptic stimulus by physiology research. Secondly, a series of affective haptic devices are analyzed according to human affective responses. Lastly, some affective haptics design guidelines and principles are introduced in design perspective with the help of affective haptics research results.

Key words sense of touch; emotion; affective haptic device; haptic interaction design

1 触觉信号及其情感

触觉是人的本能感觉, 并能带来丰富的情感体验。朋友的握手、爱人的拥抱, 以及母亲的爱抚, 都包含着不同意义的愉悦的情感。同时, 触觉也有不愉快的感觉: 被击打时的疼痛, 和过冷或过热的

刺痛与灼伤感[1]。触觉拥有丰富的情感带入的特点, 能极大的影响用户的情感和体验。

触觉及触觉交互可用性的研究已经有很长的历史。从上世纪 70 年代起, 随着四种触觉感受器的发现[2]、触觉心理物理学[3]的研究, 在这一领域逐渐形成了一套外部的物理刺激与触觉的心理感受强度的函数关系理论。在情感方面, 1980 年 Russell

收稿日期: 2018年6月15日; 最终修改稿收到日期: 年-月-日 *投稿时不填写此项*. 本课题得到国家重点研发计划大幅面高分辨触控设备(No.2016YFB1001402)、国家自然科学基金重点项目(No.61232013)资助. 焦阳(通信作者), 男, 1987年生, 博士, 博士后研究院, 主要研究领域为触觉交互、实体交互. E-mail: jymars@live.cn. Hong Z. Tan, 女, 1965年生, 博士, 教授, 主要研究领域为触觉交互. E-mail: hongtan@purdue.edu. 徐迎庆, 男, 1959年生, 博士, 教授, 主要研究领域为自然用户界面、文化遗产数字化. E-mail: yqxu@tsinghua.edu.cn. 鲁晓波, 男, 1959年生, 学士, 教授, 主要研究领域为信息艺术设计

第1作者手机号码(投稿时必须提供, 以便紧急联系, 发表时会删除): 18001261425 E-mail: jymars@live.cn 此部分6号宋体*

教授的“环状情感模型”[4]开创了人的情感的定量研究,而 Picard 教授的“情感计算”理论将情感与人机交互相结合[5],致力于人机交互的和谐性和智能性。

然而,融合触觉的交互及情感体验依然是现今人机交互课题的重大挑战。目前,涉及到情感的触觉交互操作及反馈通常十分有限,比如触摸屏的点触、拖拽,轻按和重按等操作,以及震动、力反馈等触觉反馈;而且以上触觉操作通常作用于玻璃等光滑材质的显示屏幕或触摸板上,缺乏更深层的触觉信息。在完整的交互过程中,目前的业界状态基本呈现为“视觉为主,触听觉辅助”的交互模式,并没有过多涉及到触觉带来的情感带入,临场的体验感和沉浸感还需增强。

针对情感的触觉交互及设计,本文首先从人的角度切入,探讨人的情感生理研究方法,以及对触觉信号的情感反馈机制;再由内及外,根据人的情感反馈特征,对目前的触觉情感研究进行分析,即何种设备、何种触觉信号能传递更丰富的情感属性,增强用户的情感体验;最后,将以上结论应用于触觉交互中,针对情感体验进行设计,期望增强触觉交互的体验感和沉浸感。

2 人对触觉信号的情感反馈机制

2.1 情感评价方式

人的情感活动十分复杂,通常来说,目前在情感研究领域有两种情感的评价方式:分类评价和维度评价。Hevner 在 1935 年提出了 67 种可描述的情感,并将之分为 8 大类别[6]。但是这种方式对于不同类别的情感缺乏有效的关联,因此在触觉情感领域中,多数采用维度评价研究。1980 年 Russell 教授提出了“环状情感模型(Circumplex Modal of Affect)”[4],将人的所有情感对应到一个“愉悦度”和“强度”的二维平面直角坐标系中,如图 1:

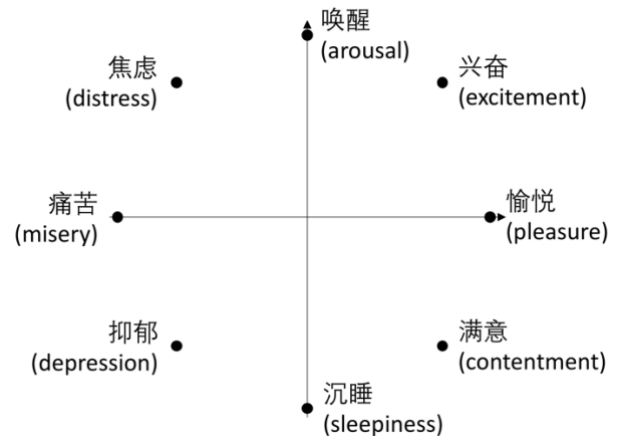


图 1 环状情感模型[4]

在该情感模型中,横坐标代表愉悦度(Valence),纵坐标代表强度(Arousal),每个维度都是线性的,且坐标系中的数值越大,即越远离中心点,则代表情感的程度越深。反之,越接近中心点,则情感程度越浅,在中心点处则代表人的平常状态。图 1 中位于两坐标轴之间的 4 个点(兴奋、满意、抑郁和焦虑)为愉悦度-强度的共同作用,更细化的 15 点情感对照见[7]。因此,人的情感都可以对应到由某程度的愉悦度和某程度的强度所组成的唯一点上。

环状情感模型是一种简洁、直观且有效的情感评价方式。不同于情感的多种分类方式,该模型利用愉悦度和强度的正交性,构建了普适的情感空间。另外,对于此模型,一些学者在“愉悦度”和“强度”之外,试图扩充更多的维度,比如“控制度(Dominance)”[8]。但实验表明控制度与另外两个维度呈现一定的相关性,不足以作为必须两两正交的第三个维度。因此,目前的情感评价研究主要采用愉悦度和强度的研究方式。基于此评价模型,任何外界的刺激信号可以作用于人,并定量地得出该信号在愉悦度-强度平面的位置,进而建立物理的刺激信号与人的情感反馈的联系。

2.1 情感评价方式

基于上述的环状情感模型,在触觉情感研究中,另一个重要问题是:如何真实有效的测量人的情感,使之关联到愉悦度-强度的平面。通常情感的测量方式分为主观和客观。主观测量顾名思义,即为被试者对接收到的外界信号进行主观评价。例如大量触觉情感实验遵循如下思路:被试者感受到了某特定触觉信号(如震动、摩擦运动等),然后主观定量的给出该信号在愉悦度和强度两个维度上的数值,从而建立触觉信号和情感反馈的联系。对此,佛罗里达大学 Lang 教授提出了“自我评价人体模

型(Self-Assessment Manikin, SAM)” [9], 通过小人模型形象的表现了愉悦-悲伤和唤醒-沉睡的渐变过程, 如图 2:

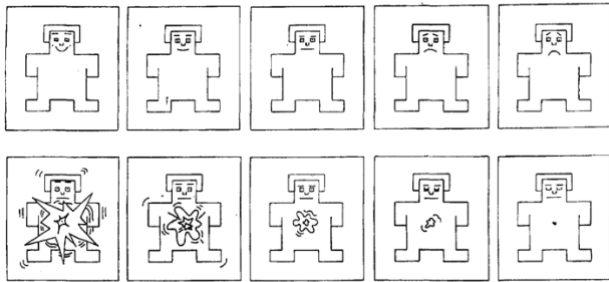


图2 自我评价人体模型[9]

该自我评价模型在每个维度上用五个小人表达了不同程度的状态, 另外在两两相邻状态之间, 又插入了 4 个中间状态, 从而在每个维度上有 9 种状态供被试选择。实验证实, 该模型在情感实验中之有效, 在区别度和复杂度中间取得了较好的平衡, 而且其适用范围广泛, 比如不仅对触觉情感, 还被证实可用于视觉图像和声音情感实验的主观测量。[10, 11]

主观方式可以直观反映被试的情感, 且实验相对简单。然而, 在这类心理和情感实验研究中, 被试者在某些情境中无法十分准确的感受自身的心理和情感, 又或者被试者出于某些原因, 对自身的情感活动做了进一步的理性思考和加工, 继而给出有偏差的主观结论。这些都是主观方式可能存在的问题。

相对主观测量方式, 客观测量方式即为通过外界观察、设备等捕捉被试者的情感, 力求测量更真实、客观的情感数据。面部表情、语音、肢体语言等的观察和识别能一定程度上推测人的情感状态, 而引入皮肤电(galvanic skin response)、心率(heart rate), 和最近发现的无髓鞘传入神经(unmyelinated afferents)等检测设备, 能从生物学和神经学角度客观检测人的情感状态。

在强度维度上, 皮肤电和心率信号经过特征提取后, 能与情感的强度维度呈现显著关联。意为人的情感强度越强烈, 特征信号值越大, 反之亦然。据此可以客观测量情感的强度维度。在愉悦度维度上, 近年来神经科学发现, 当对人有毛发的皮肤表面施以类似抚摸的作用力时, 人会感觉愉悦, 同时无髓鞘传入神经感受器(C-Tactile)活动活跃[12], 因此推断出 C-Tactile 与人的触觉愉悦度呈正相关性。

进一步的 C-Tactile 实验探讨了抚摸的速度与愉悦程度的关系。如图 3a 所示, 该机械摇摆装置按

特定速度做往复运动, 末端为软质毛刷, 与前臂上侧相接触, 产生摩擦运动。

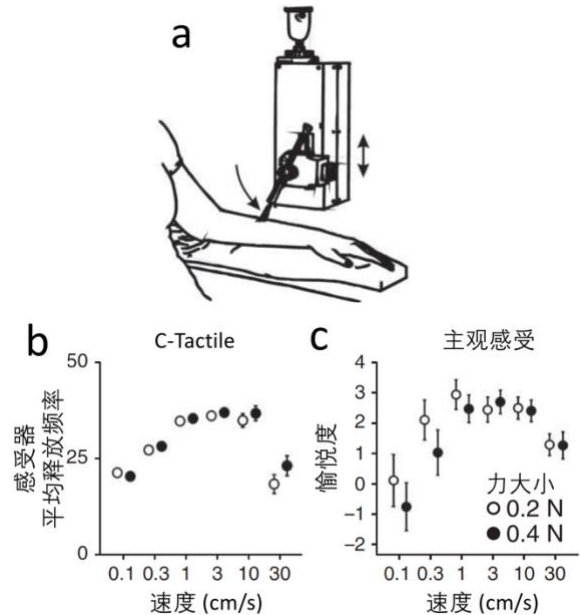


图3 C-Tactile 神经实验及速度-愉悦度关系分析[12]

通过对 C-Tactile 和主观感受的测量, 感受器平均释放频率与愉悦度对速度的函数关系如图 3b、3c 所示。两个曲线呈相似性, 且均为倒“U”型。中间部分愉悦感较强, 速度过慢和过快时愉悦感变弱。因此该实验结论为: 当有毛发的皮肤表面接收到的触觉信号速度范围为 1~10cm/s, 且触觉压力较小时, 愉悦感最强[12]。

上述研究从人内在的角度揭示了人的触觉情感反馈机制, 为基于情感的触觉设备设计和触觉交互设计提供了重要理论基础和设计指导。

3 触觉情感设备分析

根据人的触觉情感反馈机制, 在现有的硬件及技术条件下, 一些触觉相关的设备被相继开发, 来探索触觉与情感的关联, 并为触觉交互设计提供了硬件基础。

3.1 振动器(tactor)及相关设备

振动器, 或振动马达, 是目前人机交互中触觉反馈应用最多的设备之一。移动手机、智能手表、手环, 以及诸多可穿戴设备等均内置了振动器。振动器体积小巧, 在与皮肤接触时, 人的触觉感受器可以接收到物体的振动信号, 从而实现提醒与唤起注意力的作用。通常来说, 振动器可以调节的参数有振幅、振动时常、振动频率, 以及包络频率。针对单个振动器, Yoo 等人研究了这 4 项振动器参数与人的情感反应的关系[13]。该实验将一中频响应

线性的振动器粘贴在手机后方,用户手拿手机,针对不同参数组合的振动信号,进行愉悦度-强度空间的主观评价:强度维度方面,振幅和振动时常与强度呈正相关,提高振动频率在某些情况下能提高强度,包络频率与强度无明显相关性;愉悦度方面,振幅、振动时长和包络频率与愉悦度呈负相关,提高震动频率在某些情况下能提高愉悦度[13]。

进一步分析,在单一振动器的条件下,提升强度(比如提高振幅和振动时常)会很大程度降低愉悦度,反映出用户不倾向与接收过强的提醒信号。另外当振动频率又 60Hz 逐渐提高到 200Hz 时,愉悦度和强度都有一定提高,是由人对触觉振动频率的敏感特性曲线决定的。人的皮肤触觉对 200-300Hz 的振动最敏感[14],因此振幅在这一范围时,人的感觉最舒适。因此,以上结论可以直接指导触觉交互设计:在触觉提醒的信号设计中,倾向于使用 200-300Hz 之间的震动频率,且信号强度以刚好起到唤起效果为宜,不宜过强。

多个振动器的组合振动是目前热门研究方向。由于人的触觉生理结构特点,在触觉感知上有一些“错觉”,比如将多个振动器排成一排,与人的皮肤接触,并按照特定的振动时常和振动间隔,使之依次振动,人会将这些离散的振动感觉合为一个连续信号,从而感觉成一段连续的、移动的触觉信号(称为 apparent motion)[15]。

对此, van Erp 教授利用振动器模拟连续的触觉移动信号[16],并研究在多个振动器的场景下,何种参数能产生相对愉悦的情感。如图 4a 所示,4 个振动器呈一排,分布在手臂内侧。振动器沿一个方向依次振动,模拟连续触觉信号。通过实验,在使用较低强度时,等效移动速度为 10cm/s 时,感知的愉悦度最强,如图 4b。此结论与 2.2 节的生理实验结论相吻合,可证实 1~10cm/s 的运动速度为触觉最佳的情感状态。

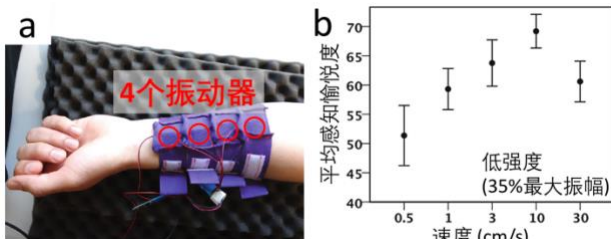


图4 振动器矩阵实验场景及速度-愉悦度关系分析[16]

本研究结论对触觉信号设计有重要借鉴价值。相比单振动器,多个振动器的矩阵式排布可以传递丰富的信号(如振动位置、移动方向、频率等)。与

此同时,设计师需要将触觉情感因素考虑在内,用户在接受触觉反馈、进行触觉交互时提高愉悦感,将显著提升触觉交互的体验。

3.2 触觉显示设备

触觉显示设备(Tactile Display)是一种广泛的说法,意为能产生触觉信号和作用的设备,振动器也可包含在内。本节讨论的更侧重于“完整的设备”的范畴。在这个领域, Bianch 教授探索了基于纺织物的柔软度触觉显示器[17]和能产生类似“爱抚”的织物触觉显示器[18],如图 5-6:

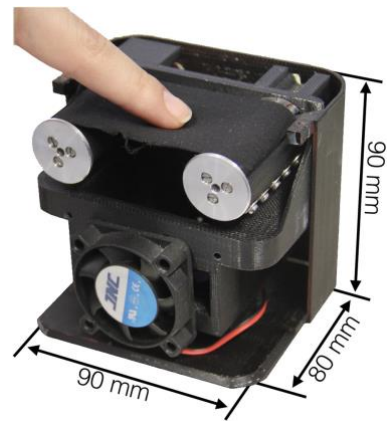


图5 基于纺织物的柔软度触觉显示器[17]



图6 “爱抚”织物触觉显示器[18]

图 5 的设备与手指接触的地方是一块柔性织物,两端通过舵机可以实时调节织物两端的张力,以此调节织物的柔软度。图 6 的设备通过一块柔性织物在人手腕处做往复的摩擦运动,以此产生类似“爱抚”的效果。以上两个设备分别就张力大小、摩擦速度、织物质地等做了实验与讨论分析,两设备有一些共性:它们的左右张力增大,即压力增强时,用户感知的愉悦度下降。此结论与振动器振动幅度的影响一致,即人的触觉情感不倾向于接收过强的触觉信号。然后,当它们的移动速度较为缓慢时,愉悦感较强。由此可见,较慢(1~10cm/s)的触觉信号不仅适用于皮肤表面大范围的移动,对于某一特定位置的相对运动也同样适用。

3.2 自然物质的触觉情感性

在实体交互中,实体的选材非常重要,不同的材质、表面纹理会导向不同的效果,尤其会影响用户的情感状态。Drewing 最近的一项研究探索了人分别触摸 47 种不同的物质所产生的情感关联[19]。实验中,47 种物质装在不同罐子里,用户不能观看,仅能用手触摸,猜测它是什么,用一些形容词来描述,并以愉悦度-强度空间给出情感反馈。将实验结果的形容词与情感维度进行匹配分析,发现描述物质的形容词与情感的相关性较弱。在愉悦度方面,物质的粗糙度与愉悦度呈较弱的负相关性,即物质越粗糙,触摸愉悦度呈越低的倾向。而在强度方面,没有找到与之相关的形容词。

由此可见,自然物质种类丰富多样,在触摸过程中,单一的物质信息并不能充分影响人的情感。因此在触觉交互设计中,需要将物质材质和一系列的交互动作、使用场景相结合,才能更好的影响用户情感,达到更好的交互目的。

4 基于情感的触觉交互设计

第二部分的触觉情感生理研究为触觉情感交互设计提供了重要的理论支撑,随后的触觉情感设备研究从某些单一的方面揭示了目前的触觉情感研究的实用性。比如讨论单独的振动器、触觉显示器或自然物质的触觉情感反馈,而没有放在人机交互的实际场景中研究融合情感的触觉交互设计。本节试图根据前文的触觉情感研究成果,从设计角度探讨在人机交互中,基于情感的触觉交互设计指导原则。

4.1 以触觉的生理特点为基础

相比视觉和听觉,触觉的生理特点决定了触觉的信息接收能力较小,因此在触觉的交互设计中,需要将触觉的操作和反馈放置在一个合理的交互地位上,且任何交互行为的设计都应以触觉的生理特点为基础。

比如在设计提醒、唤醒功能的触觉信号中,需要考虑用户所处场景的情况,最好将触觉信号的强度进行自适应调节,以刚好能唤醒用户注意力的强度为黄金线。在保证功能的同时提升了用户的愉悦感。然后,目前的力反馈座椅、手柄及一些可穿戴设备可以引入触觉“抚摸”而产生愉悦感的研究成果。在通过触觉信号提供振动位置、方向、等语义信息时,考虑与之匹配的振动强度和运动速度,继

而从信息和情感双角度提升触觉交互的舒适感。

4.2 增强触觉沉浸感与体验感

触觉的感觉和交互的特点之一是触觉的临场感、沉浸感与体验感。当用户在触摸实体、感受自身与外界零距离接触时,就会凸显这种感觉。因此,涉及到触觉的情感因素在增强的沉浸状态下可能会进一步放大,更深的影响用户的情感和交互体验。从另一角度,“用户体验”强调用户在交互时的主观感受,而主观感受很大程度就是用户的情感状态。因此,针对触觉情感的专门的设计,正是提升触觉交互体验的重要方法。

4.3 融合视、听、触觉的多通道交互

如前文所述,触觉信道容量较小,以目前的交互技术,视觉、听觉和触觉的信息交互能力大致为 7: 2: 1。因此,触觉交互研究不仅仅是孤立的触觉,而是多感官多通道的交互。比如在虚拟现实(VR)领域中,通过可穿戴设备,使用户在视觉沉浸的同时,用户的手指、身体也能感受到与虚拟世界匹配的触觉信号。在多通道交互场景中,虽然各通道的交互信息各不相同,但用户的情感是一致的,并凌驾于单独的感官之上。因此,设计者需要将触觉情感与视觉和听觉的情感相结合,进行整体设计,避免各感官间的情感撕裂,从而营造统一的、协调的情感体验。

综上,触觉交互设计离不开情感的研究与运用。通过人的触觉生理特点及情感反馈,设计者需要以此为基础,使触觉信号更贴近用户的情感需求。同时需参考目前对单项的触觉情感设备的研究成果,针对具体交互场景和实际需求进行设计,为用户提供更佳的情感体验。

参 考 文 献

- [1] E. B. Goldstein and J. Brockmole, *Sensation and perception*. Cengage Learning, 2016.
- [2] L. A. Jones and S. J. Lederman, *Human hand function*. Oxford University Press, 2006.
- [3] G. T. Fechner, "Elements of psychophysics, 1860," *Dennis, W., éditeur: Readings in the history of psychology*, pp. 206-213, 1948.
- [4] J. A. Russell, "A circumplex model of affect," *Journal of personality and social psychology*, vol. 39, no. 6, p. 1161, 1980.
- [5] R. W. Picard, "Affective computing," 1995.
- [6] K. Hevner, "Experimental studies of the elements of expression in music," *The American Journal of Psychology*, vol. 48, no. 2, pp. 246-

- 268, 1936.
- [7] J. Posner, J. A. Russell, and B. S. Peterson, "The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology," *Development and psychopathology*, vol. 17, no. 3, pp. 715-734, 2005.
- [8] H. A. Demaree, D. E. Everhart, E. A. Youngstrom, and D. W. Harrison, "Brain lateralization of emotional processing: historical roots and a future incorporating "dominance"," *Behavioral and cognitive neuroscience reviews*, vol. 4, no. 1, pp. 3-20, 2005.
- [9] M. M. Bradley and P. J. Lang, "Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential," *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*, vol. 25, no. 1, pp. 49-59, 1994.
- [10] P. J. Lang, "International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual," *Technical report*, 2005.
- [11] M. M. Bradley and P. J. Lang, "The International Affective Digitized Sounds (; IADS-2): Affective ratings of sounds and instruction manual," *University of Florida, Gainesville, FL, Tech. Rep. B-3*, 2007.
- [12] L. S. Löken, J. Wessberg, F. McGlone, and H. Olausson, "Coding of pleasant touch by unmyelinated afferents in humans," *Nature neuroscience*, vol. 12, no. 5, p. 547, 2009.
- [13] Y. Yoo, T. Yoo, J. Kong, and S. Choi, "Emotional responses of tactile icons: Effects of amplitude, frequency, duration, and envelope," in *World Haptics Conference (WHC), 2015 IEEE*, 2015, pp. 235-240: IEEE.
- [14] I. R. Summers, *Tactile aids for the hearing impaired*. Whurr Publishers London, 1992.
- [15] A. Israr and I. Poupyrev, "Tactile brush: drawing on skin with a tactile grid display," in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2011, pp. 2019-2028: ACM.
- [16] G. Huisman, A. D. Frederiks, J. B. van Erp, and D. K. Heylen, "Simulating affective touch: Using a vibrotactile array to generate pleasant stroking sensations," in *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications*, 2016, pp. 240-250: Springer.
- [17] M. Bianchi and A. Serio, "Design and characterization of a fabric-based softness display," *IEEE transactions on haptics*, vol. 8, no. 2, pp. 152-163, 2015.
- [18] M. Bianchi *et al.*, "Design and preliminary affective characterization of a novel fabric-based tactile display," in *Haptics Symposium (HAPTICS), 2014 IEEE*, 2014, pp. 591-596: IEEE.
- [19] K. Drewing, C. Weyel, H. Celebi, and D. Kaya, "Feeling and feelings: Affective and perceptual dimensions of touched materials and their connection," in *World Haptics Conference (WHC), 2017 IEEE*, 2017, pp. 25-30: IEEE.