

振动触觉编码的研究现状

杜静宜¹⁾ 黄志奇²⁾ 雷涛玮³⁾ 陈东义⁴⁾

^{1) 2) 3) 4)} (电子科技大学 自动化工程学移动计算研究中心, 成都市 中国 610000)

摘 要 触觉作为人的一种独特的感官通道具有独特的优势, 它不仅能最大限度的贴合人体的生理构造, 传递硬度、大小、纹理、形状、温度等视觉无法传递的信息, 而且拥有快速准确的特性, 触觉不仅可以实现全方位的感知, 而且能够有效感知一些很难被视觉或听觉形式表达的更真实复杂的信息, 和外界环境进行一系列的交互。振动触觉编码的设计是开发触觉的一个重要途径, 也是未来人机交互的一种重要手段。本文从振动触觉感知机理入手, 讨论了不同振动参数的振动触觉分辨率, 并按照方向导航和文字交互的应用对振动信息编码进行归纳总结, 介绍了振动信息编码的实验手段和结论, 最后展望了振动信息编码领域未来的发展前景。

关键词 人体感知特性 触觉语言 人机交互 振动触觉 触觉编码

The Current Situation and Prospect of Vibration Tactile Coding

Du Jing-Yi¹⁾ Huang Zhi-Yi²⁾ Lei Tao-Wei³⁾ Chen Dong-Yi⁴⁾

^{1) 2) 3) 4)} (Department of Mobile Computing Center, University of Electronic Science and Technology of China, City Cheng Du)

Abstract In recent years, with the progress and development of science and technology, the research on artificial intelligence and wearable devices continues to deepen, and people increasingly find ways to provide more comfortable and comprehensive usage experience. Auditory and visual technologies have been fully developed and utilized, while as an emerging field, tactile sense is a research direction with great potential. As a kind of unique human sensory channel, tactile sense has unique advantages. It can convey the information about the maximum of joint human body physiological structure, such as hardness, texture, shape, size and temperature which can not be transmitted by visual and auditory sense. Besides, tactile sense has the property of being fast and accurate. As a result, it performs well in some special situations, such as supergravity scenario, high-speed rotating scenario or very noisy environment, etc. The design of vibrational tactile coding is an important way to develop tactile sense and achieve human-computer interaction better. However, haptic coding has many defects. It is used in narrow application scene and conveys unclear meaning. Compared with the mature development of vision and hearing, it is necessary to design the vibration haptic coding patterns further to overcome these defects. The research on information transmission of tactile sense is very meaningful. For example, it offers convenience for special crowd like blind people or workers engaged in blind education. It provides navigation service for blind people by changing the vibration frequency and vibration intensity of blind vest. When in situation where hearing is cut, vision disappears or fails, tactile sense is a considerate way for some special groups to provide timely and accurate information assistance. Besides, tactile sense can help express the plane flight information in virtue of combined vibration tactile coding. However, these research aimed at providing a set of specific coding for specific scenario, in which relatively vague information are conveyed, such as emotion, direction and so on. Based on these, designing a set of universal coding patterns for most usage scenarios to deliver exact and accessible information is very necessary. In this paper, the resolution of tactile vibration is discussed based on the mechanism of tactile vibration perception. According to the application of directional navigation and text interaction, the

本课题得到国家重点研发计划项目(No. 2017YFB1002803)资助。杜静宜(通信作者), 女, 1996年生, 硕士研究生, 13438156872, 主要研究领域为触觉信息编码。E-mail: uestc_du@163.com。黄志奇, 男, 1976年生, 博士, 副教授, 主要研究领域为可穿戴计算、增强现实与媒体互动。E-mail: zhiqih@uestc.edu.cn。雷涛玮, 女, 1997年生, 硕士, 主要研究领域为触觉信息编码和智能织物。E-mail: leitwei@163.com。陈东义(通信作者), 男, 1956年生, 博士, 教授/博导, 主要研究领域为增强现实、可穿戴计算与无线传感器网络。E-mail: chenxigt@hotmail.com。

vibration information coding is summarized, and the experimental methods and conclusions of vibration information coding are introduced. Besides, the prospect of vibration information coding field is proposed.

Key words Human Perception Property; Tactile Language; Human Computer Interaction; Vibration Tactile; Tactile Coding

1 引言

人体表面(如皮肤)是一个巨大的触觉感受器,我们依靠它与外界进行形形色色的沟通。尽管视觉在我们的日常生活中占据着不可撼动的位置,但皮肤才是我们最大且最古老的感知器官。一直以来科学研究都低估了借助触觉传递丰富信息的能力,这与触觉的一些特殊的属性有关。例如触觉很少独立于其他的感觉通道(如听觉、视觉或嗅觉)而存在,因此触觉常被作为其他感官的补充,但是触觉相比于其他感官而言优势也相当显著,触觉不仅可以实现全方位的感知,减轻试听负担,而且能够有效感知一些很难被视觉或听觉形式表达的更真实复杂的信息,和外界环境进行一系列的交互互动。触觉指一种或多种接触感觉,包括本体感受的反馈、人体主动接触触觉以及基于各种驱动技术产生的被动接触感知。触觉感受器遍布人体皮肤,覆盖率超过 98%^[1]。

人们日常生活中的一个微小的动作如走路、吃饭等可能蕴含皮肤感受器和大脑神经网络复杂海量的触觉信息加工,基于人体各部位感知分辨率的差异,由此催生了针对不同落点的可穿戴触觉表达和再现装置,这些装置为不同场景的触觉再现提供了丰富的实现手段。触觉包括皮肤触摸觉和肌肉运动觉。Shimoga^[2]按照刺激模块的工作原理,将触觉刺激分为振动触觉、气动触觉、电触觉和功能性肌肉神经刺激等类别,其中振动触觉是触觉感知的最有效手段,因为振动触觉的装置简单小巧、响应速度快、舒适度好,安全性高,可作用于人体各个部位的皮肤。

触觉信息利用触觉硬件系统和触觉编码向用户传递单个振动器的振动或者刺激脉冲的组合。这些信息是由触觉特征或参数组成,包括振动频率,振动幅度,波形和持续时间,应用于身体的不同部位。这些参数的组合可以用来创建节奏或者模式,并产生明显不同的触觉的“词语”,称为触觉语言。借助于触觉交互设备,将触觉语言编码后呈现给使用者是触觉表达技术研究的热点。针对一些特

殊场景的需求,如盲人的方向导航、飞行员的高空方向信息提示、潜水员的水下作业、消防员的紧急救火等,基于振动触觉对信息进行编码及合理表达的研究和应用应运而生。本文从触觉感受机理入手,探讨不同参数的振动触觉的分辨率以及触觉信息编码手段,并对主流的振动触觉编码方案及应用进行归类研究。

2 振动触觉感知的基础研究

1.1 触觉感知机理

通常认为,人体的触觉感知如湿、压、痛、痒、关节位置、肌肉感知、运动等是由多种触觉感受器综合作用的结果,即特定种类的感受器对作用物体的特定属性进行分析时会受到该作用物体其他干扰属性的影响,这些干扰属性会接收来着其他皮肤感受器的编码。例如,对特定条件下特定时间内的持续刺激,慢适应受体如 Ruffini 小体和 Merkel 盘会配合做出反馈;对于刺激的开合和关闭(如皮肤变形),快适应受体如 Meissner 小体和 Pacinian 小体会配合做出反馈。人体的触觉感受器主要包括四种,分别是 Ruffini 小体感受器、Merkel 盘感受器、Meissner 小体感受器和 Pacinian 小体感受器。它们各自分工又互相协作,这四种感受器的特性如下表 1 所示。其中, Ruffini 小体对皮肤变形做出反应,变形程度和诱发的电位成正比,因此 Ruffini 小体对高频振动十分敏感, Meissner 小体集中在四肢末端无毛发区域,特别是在手指尖等部位,它主要负责身体周围的高敏感性侦察。上述两种感受器属于快适应受体,即对短时间的刺激拥有敏锐的反应。与之相对的 Merkel 盘和 Pacinian 小体属于慢适应受体,它们对于持续性刺激反应良好,给人们提供形状感和粗糙感。按照触觉刺激方式的不同,可将触觉刺激分为振动刺激^[3]、压力刺激^[4]、电刺激^[5]、热刺激^[6]、喷射刺激^[7]等。其中,振动触觉表达方法因其简单实用、一致性好、结构紧凑、安装灵活等优点被认为是最有前途的一种触觉表达方法。

表 1 四种触觉感受器的特性

感受器	感知信号类型	感知频率	可感知的距离范围	反应模式	接受域大小
Ruffini 小体	皮肤深处	0-30hz	3-4mm	慢适应	大
Merkel 盘	连续触摸与压力	0-15hz	>10mm	慢适应	小
Meissner 小体	纹理变化	50hz 左右的振动	3-4mm	快适应	小
Pacinian 小体	高频振动	200-300hz 的振动	>20mm	快适应	大

1.2 振动触觉感知分辨率

目前针对人体振动触觉感知阈值的研究中，相关的参数主要包括空间落点、振动频率、振动强度、振动时间^[8]。感知阈值指的是人体能感受到物体的刺激或刺激强度/数量变化的最小量，例如指尖的两点阈值约为 2.5mm。

(1) 空间落点：身体不同部位的振动触觉敏感性各不相同，触觉振动的实验的选择原则是在保证敏感度和操作可行性的前提下，尽可能的提高舒适度。针对触觉振动空间落点的研究大多集中在敏感部位如手指、手腕处，或者次敏感部位如腰部、背部、脚踝处。不同的空间落点位置各有优劣，手指手腕处的振动识别精度更高，但面积较小，背部腰部的振动面积更大，可以提供更大的阵列，却具有较差的触觉灵敏度。因此，针对性地选择空间落点的位置可以有效提高振动触觉编码信息的传递效率。人体不同空间落点的触觉差别阈限如图 1 所示^[9]。

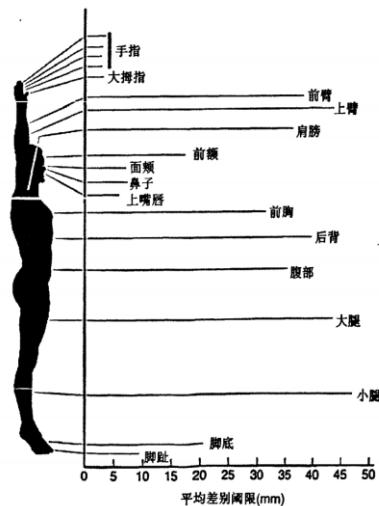


图 1 人体不同空间落点的触觉差别阈限

(2) 振动频率：尽管人类可以听到的频率范围为 20-20000Hz，但是人类的皮肤可以感受到的频率范

围只在 10Hz 到 400Hz 之间^[10]，其中人体最为敏感的频率为 250Hz^[11]。研究表明，振动强度和振动频率之间有着密不可分的关联性，即使在振动强度未发生变化的情况下，当振动频率改变时，人体可以感知到的主观振动强度也会随之改变^[12]。尽管存在这种令人头疼的关联性，对振动频率的研究仍是有意

义的，因为人体对振动频率的变化十分敏锐，常常使用振动频率的变化来表达一些更细腻精密的触觉信息。

(3) 振动强度：皮肤可以感知的振动强度，即振动的力量，是振动触觉的重要参数。关于振动强度的设置，过低的振动强度会导致人体的感受器无法感知到具体的振动，过高的振动强度会让人产生疼痛^[12]。人手腕部能感知的适宜振动强度范围为 0.80-2.00N^[13]。除此以外，影响振动强度的因素不仅仅是单个振子的振动强度，还与同时振动的振子数量有着显著的相关性。在对作用在大腿上的振动触觉装置的实验中，Cholewiak^[14]发现，即使每个振子振动强度保持不变的前提下，随着振动振子的数量的递增，被试感受到的振动强度也会随之递增，这与人体某些特殊的感知特性有关。

(3) 振动时间：振动时间包括两个关键的时间参数，即振动持续时间和振动间隔时间。不同振动间隔时间和振动持续时间的组合反映了振动的节奏快慢，而振动的节奏极大地影响了人们接收振动触觉信息的效率，此外，不同振动节奏的组合能传递更为丰富的语义信息。Gunther 的研究中表明，刺激作用时间小于 0.1 秒时会产生刺痛感，而随着强度与时间的增加，振动的刺痛感会减轻并产生平滑的触觉感知。在大多数的触觉表达装置中，振动持续时间的范围在 80ms 到 500ms 之间。人识别触觉图案的能力与振动时间相关^[15]，研究表明，振动持续时间从 80ms 增加到 320ms 时，人的触觉识别能力逐渐增强，若高于这一范围，将会使被试者产生不适。

3 振动信息编码的应用

本节主要讨论使用振动触觉对不同振动信息的编码方式。按照振动信息的种类,信息可分为方向方位信息,表情和图案信息,数字和字母信息。针对方向方位的振动编码研究很多,这是源于盲人导航领域对振动触觉的强烈需求。因此,本节按照方向信息和其他语义信息分别讨论其特征及具体应用。

3.1 面向方向导航的振动信息编码

使用振动信息编码传递环境感知信息是目前最广泛和流行的手段,因为环境感知信息简单明确,区分度大,而振动触觉适于传递语义集小但语义间区分度大的信息。

振动信息编码在盲人导航领域有着广泛的应用。中国是全世界盲人最多的国家之一,眼部疾病在中国也是一个主要的公共卫生问题。截止 2014 年,中国约有盲人 600~700 万,占世界盲人总数的 18%,另有双眼低视力患者 1200 万。基于数量庞大的盲人群体,为盲人提供一定程度的方向导航信息,是研究者迫切想解决的难题。目前,为盲人提供类似于视觉信息的主要方式有听觉和触觉两方面。盲人的听觉感官十分灵敏,他们使用听觉接收抽象的信息,助听器就是借助盲人的敏锐听觉为他们提供方向信息,但是助听器会屏蔽盲人对其他非方位听觉信息的接收,因此涌现了更多借助于触觉表达的振动编码方案。当盲人在道路上行走时,通过不同振动参数如空间落点、振动频率、振动强度和振动时间的组合编码,可以向盲人提供丰富多样的环境感知信息。

Eli Dykaar 等人研制了一种基于 Kinect 深度摄像头的振动触觉背心,Kinect 是微软推出的一款摄像头,它主要包含一个 RGB 彩色摄像头和一个 3 维深度提取的红外摄像头。背心上的马达以 8×4 的网格阵列排布(如图 2 所示),使用背心为盲人提供振动信息提示,位于头盔上的红外深度捕捉相机——Kinect 负责捕获深度图像信息,Kinect 捕获的深度图形被划分为子图像,通过解析子图像算法控制马达的振动。该触觉背心提供了三种模式供使用者选择,第一种模式设定马达以固定频率和强度振动,物体的深度小于深度阈值就控制马达振动;第二种模式在第一种模式的基础上进行改进,可以传递更大的信息密度,定义了一个特定的深度

阈值,当物体靠近时图像采集到的目标位置的图像深度减小,根据采集到的深度值与阈值的比较,来控制对应的马达振动,目标越近,电机振动的强度越强;第三种模式加入了物体移动速度的维度,如果一个物体相对于使用者移动得非常快,我们就会以非常高的频率震动马达。如果一个物体相对于用户是静止不动的,电机就会缓慢地振动。以这种方式有效地编码了物体的深度(运动强度)和物体的相对速度(运动频率)。第三种模式的学习难度相较于前两种方式更复杂难学,但是用户可以获得的方位信息更加丰富立体。该振动装置对图像信息和振动编码集进行精准映射,并且三种模式符合盲人群体对导航信息的多样化需求。

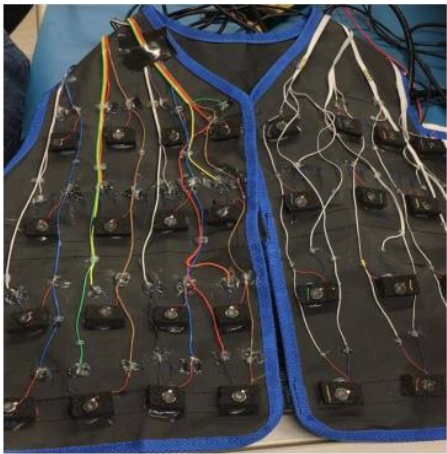


图 2 振动触觉背心示意图

除了盲人导航领域的应用,国内外的研究者将振动触觉编码应用于驾驶导航和信息提示。2018 年,东南大学的杨怀宁^[16]等设计了一套组合式振动编码为飞行员提供空间方位信息,飞行员对偏转方向和偏转角度两种姿态信息的表达有需求,偏转方向分为俯仰和横滚两大类,可表达俯仰和横滚的前后左右四个具体的偏转方向。偏转角度为 $[0^\circ, 90^\circ]$,对低偏转角范围 $[0^\circ, 50^\circ)$ 内的提示精度要求更高,为 5° ,在 $[50^\circ, 90^\circ]$ 范围内提示精度为 10° ,具体如表 2 所示。分别对飞行姿态的方位信息进行单一参数模式的编码和组合参数模式的编码,组合参数包括振动位置、振动节奏和振动次序,将这些参数进行有序组合成 5 种组合模式。

表 2 每个方向提示角度区间表

90°		
[70°,80°)	[80°,90°)	
[50°,60°)	[60°,70°)	
[35°,40°)	[40°,45°)	[45°,50°)
[20°,25°)	[25°,30°)	[30°,35°)
[5°,10°)	[10°,15°)	[15°,20°)
	[0°,5°)	

研究人员针对5种组合编码模式设计了测试实验,测试指标分别为学习难易度、认知载荷和准确率3个方面。被试每人接受240次振动提示(其中包括个60个组合振动编码模式,为保证可靠性,每种振动编码模式重复4次),实验人员除了要记录被试的测试结果,还要记录被试从感知振动到做出选择的反应时间。实验结果表明PRM模式(振动位置+振动节奏+振动次序)的学习时间为187s,准确率高达98%,相比于其他组合振动模式,拥有更短的学习时间和更高的准确率。PRM模式示意图如下图3所示^[16]。

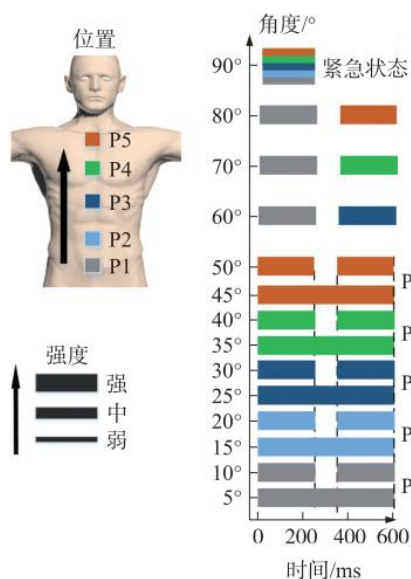


图3 PRM模式示意图

3.1 面向文字交互的振动信息编码

在触觉文字编码领域,主要的研究方法有莫尔斯码和布莱叶盲文。P. Nila等^[17]使用莫尔斯码作为盲人间交流通信手段,为盲人提供了一个人机交互平台。在[18]中,研究人员研制了一个手持式振动触觉系统,其概念是利用手指的压力,借助莫尔斯码将信息转化为振动,在[19]提出了一种使用三键键盘传输莫尔斯电码的简单而有效的方法,为聋哑人翻译正常人的声音提供了一个可行和有效的解决方案。郝飞等^[20]分别使用类莫尔斯码、类布莱叶盲文以及三角码的方法对文字信息进行编码,实验结果表明类莫尔斯码的文字交互效果优于类布莱叶盲文,这是因为莫尔斯码和触觉信息都拥有相同的被动感知特性,同时说明触觉信息编码的关键是简洁性和快速性。三角码相较另两种方法传递文字编码信息的效果最佳,三种方法的正确率和反应时的参数对比如图4和图5所示^[20]。三角码编码规

则简单,由三个码字分别对应脐部、左肩、右肩三种空间落点,符合人体感知的客观规律,使用3位码可表征26个字母及数字0,使用2位码可表征1-9数字。三角码同时也符合人体的触觉感知特性,相较莫尔斯码更直观和便于记忆,因此可作为面向文字交互的一种重要编码方案。

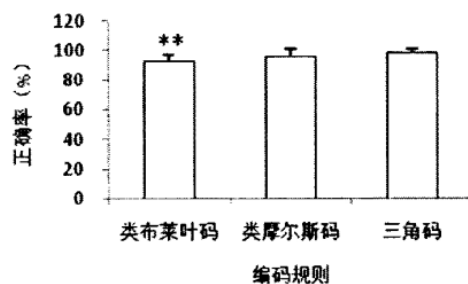


图4 类莫尔斯码、类布莱叶码和三角码的正确率

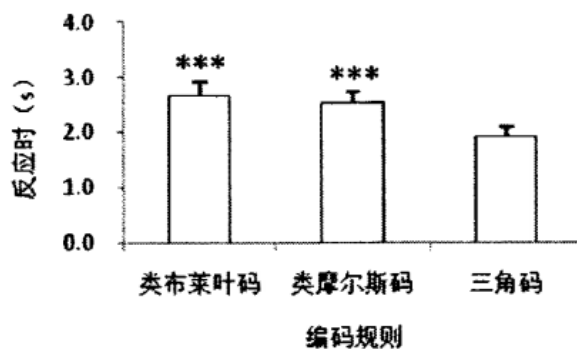


图5 类莫尔斯码、类布莱叶码和三角码的反应时

4 总结与展望

纵观国内外针对不同触觉信息进行的编码方案,基于方向导航的振动信息编码应用明显多于对文字信息的编码研究。这与要传递的信息属性有着直接关系,由于有关方向性的语义集拥有较强的简洁性和较大的区分度,且基于方向导航的信息更贴近人体触觉的感知特性,人体的不同空间落点可以建立与方向方位信息一一映射的对应关系。但是由于方向信息本身的局限性,无法传递类似于文字那样复杂的描述性信息。随着技术手段的进步,越来越多的方位信息编码装置走向精密化,致力于为盲人或其他特殊群体提供更细腻、人性化的触觉方位信息。

针对触觉编码的方案设计仍是一个新型领域。如何更好的将人体的感知特性与针对触觉编码高效地结合起来,仍需进一步的研究和探索,在探索

方位信息编码表达的研究中,振动触觉的参数设置与信息编码效率关系紧密,更好地组合这些参数信息,设计准确的触觉信息编码,快速传递丰富的语义信息,成为振动触觉编码领域研究的重中之重。

除此以外,振动触觉表达技术和触觉再现技术也正在上升期,要想为这些触觉表达和再现技术中提供更完善贴切的振动触觉编码,必须结合触觉感知的特殊性,考虑触觉织物的温度、纹理、形状等,实现丰富有层次的触觉表达,制定拥有可移植性高扩展性的信息编码,在提高信息的识别率的同时,又兼顾舒适感。

目前国内外振动信息编码的研究仍处于初步阶段,人们对触觉体验的高阶追求以及特殊行业对触觉编码的迫切需求必然会推动它迅速发展起来。

致 谢 感谢得到国家重点研发计划项目(No. 2017YFB1002803)对本课题的资助,同时也感谢编辑部 and 审稿人对本文提出的宝贵建议!

参 考 文 献

- [1] D. Ravikanth, M. Mishra and P. Hariharan, "Review on Haptics technology and its modeling, rendering and future applications on texture identification," 2015 International Conference on Man and Machine Interfacing (MAMI), Bhubaneswar, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/MAMI.2015.7456593.
- [2] K. B. Shimoga, "A survey of perceptual feedback issues in dexterous telemanipulation. II. Finger touch feedback," Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium, Seattle, WA, USA, 1993, pp. 271-279, doi: 10.1109/VRAIS.1993.380769.
- [3] Lynette A. Jones, Brett Lockyer & Erin Piatetski (2006) Tactile display and vibrotactile pattern recognition on the torso, *Advanced Robotics*, 20:12, 1359-1374, DOI: 10.1163/156855306778960563
- [4] Benall-Khoudja M, Hafez M, Kheddar A. VITAL: An electromagnetic integrated tactile display[J]. *Displays: Technology and Applications*, 2007, 28(3):133-144.
- [5] H. Kajimoto, N. Kawakami, S. Tachi and M. Inami, "SmartTouch: electric skin to touch the untouchable," in *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 24, no. 1, pp. 36-43, Jan.-Feb. 2004, doi: 10.1109/MCG.2004.1255807.
- [6] Oron-Gilad T., Salzer Y., Ronen A. (2008) Thermoelectric Tactile Display Based on the Thermal Grill Illusion. In: Ferre M. (eds) *Haptics: Perception, Devices and Scenarios. EuroHaptics 2008. Lecture Notes in Computer Science*, vol 5024. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69057-3_43
- [7] Y. Makino and H. Shinoda, "Selective stimulation to skin receptors by suction pressure control," *SICE 2004 Annual Conference*, Sapporo, 2004, pp. 2103-2108 vol. 3.
- [8] A. Barghout, J. Cha, A. El Saddik, J. Kammerl and E. Steinbach, "Spatial resolution of vibrotactile perception on the human forearm when exploiting funneling illusion," 2009 IEEE International Workshop on Haptic Audio visual Environments and Games, Lecco, 2009, pp. 19-23, doi: 10.1109/HAVE.2009.5356122.
- [9] Department of Biochemistry and Molecular Biophysics Thomas Jessell, Siegelbaum S, Hudspeth A J. *Principles of neural science*[M]. New York: McGraw-hill, 2000.
- [10] Cholewiak, R.W. and Wollowitz, M., "The design of vibrotactile transducers", *Tactile Aids for the Hearing Impaired*, I. Summers, ed, Whurr Publishers Ltd: London, 1992. pp 57-82 Craig, J.C. and Sherrick, C.E., "Dynamic Tactile Displays", *Tactual Perception: A Sourcebook*, W. Schiff and E. Foulke, eds., Cambridge University Press, 1982. pp 209-233.
- [11] H. Minagawa, N. Ohnishi and N. Sugie, "Tactile-audio diagram for blind persons," in *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 431-437, Dec. 1996, doi: 10.1109/86.547946.
- [12] Craig, J.C. Difference threshold for intensity of tactile stimuli. *Perception & Psychophysics* 11, 150-152 (1972). <https://doi.org/10.3758/BF03210362>
- [13] 郝飞, 陈丽娟, 卢伟, 宋爱国. 人手腕部振动强度触觉感知的短时记忆特性[J]. *生理学报*, 2014, 66(06):683-690.
- [14] Cholewiak R W. Spatial factors in the perceived intensity of vibrotactile patterns.[J]. *Sensory processes*, 1979, 3(2).
- [15] Summers I R, Cooper P G, Wright P, Gratton D A, Milnes P, Brown B H. Information from time-varying vibrotactile stimuli.[J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1997, 102(6).
- [16] 杨怀宁, 吴涓, 欧阳强强. 用于表达飞行姿态信息的组合式振动触觉编码 [J]. *传感技术学报*, 2018, 31(5):700-704. DOI:10.3969/j.issn.1004-1699.2018.05.008.
- [17] P. Nilas, P. Rani and N. Sarkar, "An innovative high-level human-robot interaction for disabled persons," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2004. Proceedings. ICRA '04. 2004, New Orleans, LA, USA, 2004, pp. 2309-2314 Vol.3, doi: 10.1109/ROBOT.2004.1307406.
- [18] P. S. Luna, E. Osorio, E. Cardiel and P. R. Hedz, "Communication aid for speech disabled people using Morse codification," *Proceedings of the Second Joint 24th Annual Conference and the Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering Society* [Engineering in Medicine and Biology, 2002, pp. 2434-2435 vol.3.
- [19] P. S. Luna, E. Osorio, E. Cardiel and P. R. Hedz, "Communication aid for speech disabled people using Morse codification," *Proceedings of the*

Second Joint 24th Annual Conference and the Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering Society] [Engineering in Medicine and Biology, 2002, pp. 2434-2435 vol.3.



Du Jing-Yi, born in 1996, M.A.student. Her research interests include tactile information coding and wearable computing.

Huang Zhi-Qi, born in 1976, Ph.D, associate professor at the School of

Automation Engineering. His research interests include wearable computing, augmented Reality and interactive media.

Lei Tao-Wei, born in 1997, M.A.student. Her research interests include tactile information coding and wearable smart fabrics.

Chen Dong-Yi, born in 1956, Ph.D, professor at the School of Automation Engineering. His research interests include augmented reality, wearable computing, and wireless sensor networks.

Background

Tactile perception is an important parallel multi-information perception channel with wide perception distribution and strong intuition. It has the advantages of high resolution, short response time and strong intuition. The environmental information that can be obtained through tactile stimulation, in addition to direct ontological tactile perception such as texture, hot and cold, etc. What's more, we can also rely on the sense of touch to achieve a wide range of all-round perception, and express information that is difficult to transmit through visual channels in a special environment. Which has important significance to the research on tactile coding of information and its perceptual characteristics and expression technology. In view of the unique advantages of human touch in information acquisition and perception, in many applications such as flight driving, medical assistance, battlefield information sharing, and blind tactile navigation, tactile expression technology can be used to make full use of human's own tactile perception channel to obtain information quickly and efficiently, reduce the audio-visual burden, ensure operational safety and improve operational accuracy. Although more and more studies have provided guidance for controlling tactile parameters to transmit information, tactile communication (for non-sensory impaired persons) is still a relatively new field, and there are few resources to guide the system creation of complex tactile information sets. On the one

[20] 郝飞.信息的触觉编码及振动触觉表达技术的研究[D].江苏:东南大学,2014. DOI:10.7666/d.Y2781706.

hand, although some stimulus factors affecting tactile perception are qualitatively obtained through experimental research, how to quantitatively measure the relationship between these parameters and tactile perception and how to effectively combine these parameters is still a problem need to be solved. On the other hand, there are a lot of perceptual hallucinations in the process of perceiving vibrotactile information, such as motion-like phenomena and sensory transitions, and there are great differences in the perception of vibrotactile information among different individuals. This is also one of the difficulties that researchers need to solve. It is very important to take human subjective feelings and individual differences into account in the process of tactile coding. It can be seen that the research results of the expression and transmission technology of vibration tactile information by domestic and foreign researchers are limited. There are still many problems to be solved in the research process, but its important significance and application value will promote its faster development. In this paper, we begin with the tactile perception mechanism of vibration. The vibration tactile perception threshold of human body is discussed in detail, including related parameters such as space placement, vibration frequency, vibration strength and vibration time. At last, we summarized classic research project of the vibration information coding at present stage.