

【选题策划：互联网+智能设计背景下的交互设计与体验研究】

互联网+智能设计背景下的交互设计与体验

杨随先¹, 刘行¹, 康慧¹, 李晴²

(1.四川大学机械工程学院, 成都 610065; 2.成都工业职业技术学院, 成都 610218)

摘要: **目的** 随着智能技术不断发展, 用户对使用体验的要求不断提高, 交互设计的形式和内容都发生了本质性的改变。探索智能互联网+智能设计对交互设计与体验的影响, 分析现阶段的各种交互形式所存在的问题, 并对其未来的发展趋势进行预测, 希望对交互设计学科的未来发展和相关智能产品的交互设计、实践提供参考。**方法** 总结互联网+智能设计背景下的交互设计主要研究方向的最新成果和研究动态, 从产品应用层面和技术层面出发, 针对其目前存在的问题进行讨论。**结论** 归纳、整理出现代交互设计的主要研究领域, 推导出交互设计与交互设计研究前沿的问题与趋势。基于触摸、智能语音、体感、眼动和生理信号五种交互形式的现状进行研究, 总结出影响可用性用户体验的关键因素。基于研究现状及存在问题, 指出自然、人性化、结合人工智能与大数据应用的交互形式, 多通道融合的人机交互, 以及关注服务与体验的交互设计是未来的发展趋势。

关键词: 互联网+; 智能设计; 交互设计; 用户体验

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)16-0001-13

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.16.001

Interactive Design and Experience under the Background of Internet + and Intelligent Design

YANG Sui-xian¹, LIU Xing¹, KANG Hui¹, LI Qing²

(1.School of Mechanical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2.Chengdu Industrial Vocational Technical College, Chengdu 610218, China)

ABSTRACT: With the continuous development of intelligent technology and the continuous improvement of user requirements on use experience, the form and content of interactive design have undergone essential changes. This paper aims to explore the influences of intelligent Internet + and intelligent design on interactive design and experience, analyze the problems existing in various interactive forms at present, and predict its future development trend, hoping to provide reference for the future development of interactive design discipline and the interactive design practice of related intelligent products. This paper summarized the latest achievements and research trends of the main research directions of interactive design under the background of Internet + and intelligent design, discussed its existing problems from the application level and technical level. This paper sums up the main research fields of modern interactive design, and derives the frontier problems and trends of interactive design and interactive design research. Based on the research of five interactive forms of touch, intelligent speech, body sense, eye movement and physiological signal, the key factors affecting usability and user experience are summarized, and the future development trend is predicted based on the research status and existing problems. It is pointed out that the natural and humanized interaction forms combining artificial intelligence and big data application, multi-channel fusion of human-computer interaction and interactive design focusing on service and experience are the future trend.

KEY WORDS: Internet +; intelligent design; interactive design; user experience design

收稿日期: 2019-04-12

作者简介: 杨随先 (1965—), 男, 四川人, 博士, 四川大学机械工程学院教授, 主要研究方向为产品设计理论、工业设计、计算机辅助设计、机器人机构学。

通信作者: 刘行 (1991—), 男, 河南人, 四川大学博士生, 主要研究方向为产品设计、人机交互设计。

设计与社会的发展息息相关,纵观交互设计发展的历史,从早期农业社会的手工作业阶段,到信息化时代的命令语言阶段、图形用户界面阶段及多媒体阶段^[1],社会的不断发展促进了交互体验思维和理论的革新。随着移动互联网技术、无人驾驶、显示技术和各种人工智能技术的发展,交互体验设计、服务设计、包容设计等领域的设计方法和设计形式都在发生变化。正如麦克卢汉所提到的,我们塑造了工具,工具又改变了我们。互联网、人工智能、大数据应用的发展促进了交互体验思维和产品交互设计理论的发展,而交互体验思维和产品的进步又反过来催生了技术的革新。在这种背景下,Wahl H认为,依赖传统的显示器和键盘等工具进行交互的时代即将过去,在即将到来的环境交互时代,需要尽可能地采用认知负荷较低的、符合人类自然交互规律的交互方式将技术和用户结合起来。在现代交互设计的研究领域,学者和设计师们都在试图探索新的交互媒介;优化现有的交互体验方式;开发更加智能化的交互工具;发展创新的交互体验理论;设计具有更优用户体验的智能化产品。这其中涉及到众多前沿的交互设计理论和方法,特别是如何结合互联网+、人工智能与大数据应用来开展现代交互设计理论、交互体验设计、交互工具与智能终端设计等成为了目前亟待解决的问题。

1 互联网+智能设计背景下的交互设计与体验

1.1 交互设计与体验

交互设计是定义人造物的行为的设计,包括对产品的使用行为、任务流程和信息架构的设计。其目的在于实现技术的可用性,并为用户带来愉悦感^[2]。好的交互设计需要在可用性和体验两个层面达到使用者的要求。可用性是指在特定使用环境下,产品为特定用户用于特定用途时所达成的有效性、效率和满意度^[3]。有效性指的是用户在达到特定目标、完成特定任务时的正确程度和完整程度;效率与用户使用产品、解决问题的过程中的难易程度有关;满意度指用户内心对产品的主观感受,它对用户使用产品的动机和绩效有很大影响。Alan Cooper^[4]指出,优秀的交互设计的本质是不妨碍使用者达成交互的目的,即满足可用性目标。良好的用户体验是交互设计的关键目标。用户体验的概念由Donald Norman在20世纪90年代中期提出,用来表示用户与系统进行互动时建立起来的主观心理感受^[5],是针对使用的产品、系统或服务的认知印象和回应。Jennifer Preece^[6]认为交互设计是关于创建新的用户体验的问题,好的交互设计除了达到可学习性、高效率这些可用性目标外,还应具备富有美感、令人愉快、满足用户情感等的品质,即需要达成用户体验层面的目标。交互设计研究有助

于提升用户的体验,而对用户体验的研究则可帮助设计师更加全面地了解用户在使用产品时的感受,有助于设计师发现现有产品存在的不足,并进行改进。

1.2 互联网+智能设计背景下的交互设计与体验的特点

在数字化、智能化和互联网+时代背景下,交互无处不在。人在日常生活所进行的信息交换方式代表着最自然的交互,依靠视觉、听觉、嗅觉、触觉等感觉来和外界进行信息交换,各种感觉互相协助、补充、综合以完成信息交流功能^[7]。运用语音、文字、图像、手势、动作等进行交互,是人在生活中进行自然交互的一种体现。伴随着云计算、大数据、物联网等技术的成熟和发展,加上“互联网+”这一跨界融合,技术的发展、进步,加强和延展了人类感知真实世界和与机器自然交互的能力,驱使了交互设计的变革,为设计打开了边界,从日常生活到工业生产,产品、系统和服务的设计都发生了巨大的改变。不仅扩展了交互设计的广度和维度,而且改写了交互设计的思维、架构、界面、形式和流程等内容^[8]。与此同时,对产品的用户体验设计提出了更大的挑战。例如,在大数据与人工智能背景下,人与产品之间的交互从传统“输入—反馈”的单向从属关系向“推荐—选择”的双向训练关系过渡。此时,设计师就需要转变设计思维,重新定义产品的交互界面、形式架构和流程等,通过技术与设计的融合,为用户创造更高的价值和更好的体验。

具体来说:(1)在交互界面方面,随着物联网和可穿戴技术的突破,人机交互界面不再局限于传统的图形交互界面,万物均能以数字的方式呈现并成为交互的媒介;(2)在交互形式方面,传统的交互一般采用实体操作等近距离接触的形式,技术的发展拓展了交互的距离和空间,语音、动作和眼动等远场景非接触的交互形式已逐步在产品中运用,成为了重要的交互方式之一;(3)在交互架构和流程方面,智能时代的信息流获取效率更高,信息架构和交互流程变得更为简单,寻求符合科学规律的最优解和满足用户需求的交互形式也更为直接和精确。

2 主要研究方向及其研究现状

近些年来,相关学者和设计师们都在试图探索新的交互媒介;优化现有的交互方式;开发用户体验更好的智能化产品。以用户为中心、自然、高效的交互方式成为了研究的重点。基于触摸、语音、体感、眼动和生理信号等形式的自然交互是目前交互设计领域的主要研究方向和前沿领域。本文从它们各自的技术和产品应用层面对相关研究进行了概述。

2.1 触摸交互与体验

触摸交互通过人的手指触点、手势与外在物理实

体接触而达到直接人机交互的目的,是目前应用较为广泛的交互形式。智能设计背景下,触摸交互的媒介主要是智能触摸屏,可实现多点、多用户、同一时间与产品进行精准交互,符合人的认知和行为学特点,相较于传统的按键和鼠标等输入形式能有效增强用户体验。

2.1.1 技术层面

多点触摸技术是现阶段触摸交互的主要技术之一,由硬件技术和软件算法两个部分组成,通过硬件技术实现信号的产生和获取。多点触摸硬件技术按照感应原理有表面声波式、电阻式、表面电容式、投射电容式和光学式等五种类型,其中,光学式和投射电容式的可行性较高,应用也较为广泛^[9]。通过软件算法实现多触点信号的同时采集、触点信号处理与触点手势识别,以及基于识别结果的上层交互应用^[10]。随着基于互电容检测方式的"All Point"技术的成熟,目前多点触摸技术已经可以实现任何触摸形式的识别与检测,如多指同时触摸、手掌触摸、拳头触摸等。如果说多点触摸技术实现了界面横向和纵向的二维交互,那么3D Touch技术则增加了第三维度——深度。3D Touch技术借助压力传感器实现对手势压力的辨识^[11]。此外,基于光学传感器、红外或激光等光源和显示设备的投影式多点触摸技术也是近些年来研究的热点^[10-12]。

当前,触摸交互在技术上已经基本成熟,但在用户体验上仍需进一步提升。这主要表现在两方面。

1) 触觉反馈的真实性较差。由于技术限制,市场上的马达在反馈的精度和速度达不到要求,无法模拟真实触摸感受,需要寻找更好材料和工艺的器件来提升响应时间和响应的准确性。

2) 交互动作的局限性。目前,用于人机交互的手势过于有限和单调,基于自然手势的多点触摸交互方法开发具有更广泛含义,针对特定应用领域的交互手势或指点手势是未来的研究方向之一^[10]。

2.1.2 产品应用层面

2007年,苹果公司推出了划时代的产品——iPhone。同时,苹果首次将多点触控技术应用在手持设备上。其中,手势操作是多点触控技术的重要应用,利用手势操作可以简化很多任务步骤,使用户操作空间不再局限于按钮位置。例如,手指从屏幕左右两边向内滑动即可实现返回操作,通过两个手指可做出分开、合拢的动作即可实现放大、缩小操作。手势交互相较于传统单点触摸交互极大地提升了交互的效率,增加了交互的趣味性,优化了用户体验。近些年来,随着智能产品“全面屏”概念的提出,很多企业开始给自家产品赋予更多的交互手势以取代传统的虚拟按键。例如iPhone X、小米 MIX等产品已经通过手势交互取代了传统的虚拟按键,扩大手机屏占比的同时,给用户带

来了全新的交互体验。随着屏幕技术的不断升级,基于3D Touch技术、带有压感的触摸屏被广泛应用,如iPhone 6s首次加入了3D Touch技术,用户可以通过不同的按压力度与系统进行交互,iPhone 3D touch见图1。2018年,苹果公司推出了iPad Pro。在画图过程中,用户可以通过按压力度调节笔触深浅以获得更为真实的绘画效果。此外,部分基于投影式多点触摸技术的产品也已经实现商品化,例如“Magic Cube”键盘(见图2),通过激光投射的方式改进了传统实体键盘携带不方便的缺点。



图1 iPhone 3D touch
Fig.1 iPhone 3D touch



图2 "Magic Cube"键盘
Fig.2 "Magic Cube" keyboard

目前,触摸交互应用产品主要存在以下问题。

1) 触摸手势一致性问题。目前手势操作还未形成统一规范。相同的目标任务在不同品牌的产品中往往出现不同的手势操作,也就是手势与任务之间形成了多种映射。这容易使用户产生困惑感,增加用户的学习成本。例如苹果、三星、华为、小米、OPPO等手机厂商的全面屏交互手势并不一致。

2) 触摸识别精确度不高。影响触摸识别操作精准度的因素很多,如屏幕尺寸、硬件灵敏度、用户操作的熟练度以及用户对手势本身的认知等。这些因素可能会导致手势操作达不到预期结果,特别是在进行一些较为复杂的手势操作时,用户体验的效果尚不够理想。

3) 触摸真实度有待提升。触摸反馈并不能完全模拟真实的触摸感受。例如, 点击时没有实体按键那种明确的触感反馈。

2.2 智能语音交互与体验

语音作为人类最自然的交流方式, 在与机器的交互过程中具备更多优势, 它能降低用户的使用门槛, 减小学习时间和成本, 解放操作者的双手。随着智能终端的迅速普及, 智能语音交互成为互联网时代下的一个重要交互方式。用户通过语音输入就能得到机器的反馈, 机器像人一样“能听会说”, 并“能理解、会思考”。近些年来, 语音交互已在许多领域得到应用, 在技术层面和产品应用层面均取得了长足进步, 当然也存在一些需要解决的问题。

2.2.1 技术层面

语音交互的关键技术包括语音识别技术、语义理解技术以及语音合成技术^[13], 属于自然语言处理技术的范畴。

1) 语音识别技术。语音识别技术是指将用户输入的语音转化为相应的文本或命令的技术, 目的是使机器可以“听到”人说话的内容。2011 年, 深度神经网络 (Deep Neural Network, DNN) 在语音识别上获得重大突破^[14], 性能有了大幅提升, 使语音识别技术真正地实现实用化, DNN 成为了主流的语音识别建模方式^[15]。随着深度学习的发展, 递归神经网络^[16]和卷积神经网络^[17]等在语音识别中的应用提升了语音识别的正确率^[15]。尽管语音识别技术取得了很大的进步, 但仍有一些技术瓶颈未得到根本性突破, 从而直接影响了语音交互体验的效果。其技术瓶颈主要体现在四个方面: (1) 在大量连续词汇的语句中, 音调、音速、音节之间的结合导致的音变通常会使得基元模型之间的边界不明确, 影响语音识别的正确率; (2) 在日常的言语交谈中, 人们常带有随意性, 存在方言、口音及不规则语法的现象, 目前的语音识别技术还不能很好地处理; (3) 虽然基于深度学习的语音识别系统在安静的实验室下已经到了实用化水平, 但是其性能受噪声影响较大; (4) 目前语音识别技术还不能通过语气和语调来有效识别语音发出者的情绪。

2) 语音合成技术。语音合成技术是指将文本转换成机器合成的语音的技术, 可划分为规则驱动和数据驱动两种合成方法^[18], 其目的是使机器可以像人一样“说话”。规则驱动是最初的语音合成方法, 是根据发音规则来合成语句, 如共振峰合、发音规则合成等; 数据驱动是伴随人工智能技术而兴起的方法, 是基于数据库的语音单元挑选、合成语句, 如波形拼接合成、深度神经网络等。相较于规则驱动的方法, 数据驱动的合成效果有明显提升。在实际运用过程中, 这些方法通常会取长补短地融合到一起使用^[19-21]。随着深度神经网络技术的应用与发展及拼接语音合成技术

的突破^[22], 语音交互的研究范围将不再局限于语音合成的自然度和灵活度, 而是更关注于人机交互时的情感表达。为了使语音具有情感, 刘伟^[23]等人提出了一种语音能量均衡方法以提升语音库的质量。陈^[24]等人在语音合成系统中运用隐马尔科夫模型, 将对角协方差矩阵替换为全协方差矩阵, 使声音丰富多变。目前语音合成的自然度和灵活度已经基本可以满足人的要求, 但是对语音情绪的辨识仍不够。

3) 语义理解技术。语义理解技术是指机器对语音识别结果进行分析、理解的技术, 目的是“理解”用户的意图, 它是语音交互技术的关键。语义理解主要是通过大规模语料库、词汇知识库的建设, 使用统计、搜索关键字、语义网 (Semantic Network) 等技术等方法, 让机器通过自动学习来获取语言知识^[13]。语义理解技术大致通过词法分析、句法分析、语义分析和语用分析四个过程来实现。按照文本长度可分为词汇及语义理解, 句子级语义理解, 篇章级语义理解。语义理解的内容见图 3。目前, 针对词汇级语义理解技术已经成熟, 针对句子级和篇章级的语义理解技术有待进一步提升。语义理解技术是制约语音交互体验的最大因素。一方面, 中文的复杂程度和表达语义的能力都远高于英文, 相同的词汇在不同的语用、语境下表达的意思可能大相径庭, 在针对汉语特点的语义理解技术上有待进一步提升^[25]。另一方面, 目前语义理解技术还不能有效地理解用户的情绪, 基于上下文感知的情感分析有待突破。

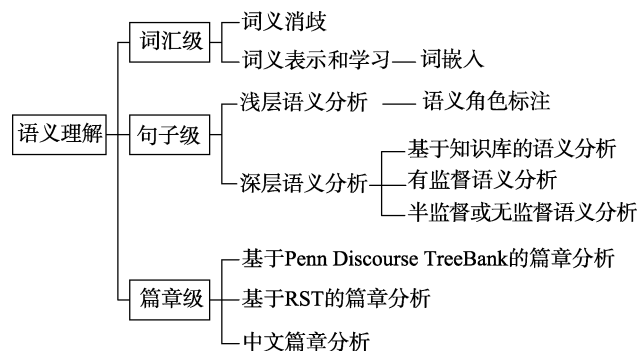


图 3 语义理解的内容

Fig.3 Contents of semantic understanding

2.2.2 产品应用层面

基于语音交互的智能产品应用已出现在了人们的生产与生活中, 丰富了产品的交互体验。比如, 基于语音识别技术, 实现了录音文件及实时语音的识别, 应用到电话、会议录音文件识别、法庭庭审实时识别、直播实时字幕等。与此同时, 基于语音合成技术的应用也十分广泛, 如新闻播报、电话语音通知等。智能语音技术的典型应用场景为语音助手。苹果公司推出的 Siri 掀起了智能语音交互的浪潮, 之后亚马逊推出的 Echo 智能音箱开启了语音交互硬件时代, 将

智能语音技术推向了新的高度,使语音交互技术的应用场景变得更加广泛。仲冬冬^[26]等人设计了一款基于语音交互的导盲机器人,通过语音识别系统与用户进行交流并为其提供语音导航功能。毛丽民^[27]等人是为老年人和残疾人设计了一款基于语音交互的医疗服务机器人,用户可以通过语音控制机器人,实现移动、抓取物品及病床模式的切换。宁志强^[28]等人开发了可对机械维修过程实时监控和指导的智能语音专家系

统,提升了维修人员故障诊断的效率。张家庆^[29]等人通过对互联网+、智能语音和云平台等技术的整合,基于医院现有信息化平台,构建了可实现移动查房的医生助手 APP,提高了临床工作效率。王磊^[30]等人基于非特定人语音控制技术和物联网技术设计了一套多样化、全方位智能家居语音控制系统,简化了传统智能家居的控制方式。基于智能语音交互的产品工作流程见图 4。

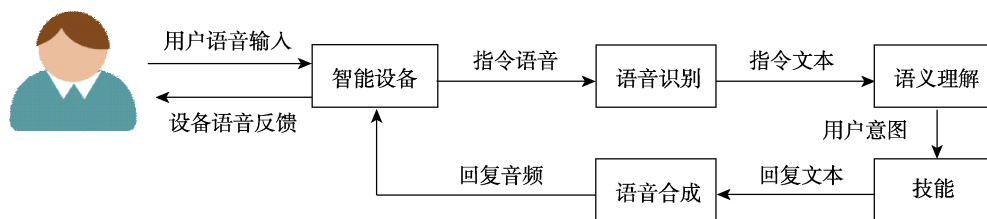


图 4 基于语音交互技术的产品工作流程

Fig.4 Product workflow based on voice interaction technology

基于语音交互技术的产品尚存在不足。

1) 语音交互的唤醒与终止方式不够自然。现阶段,语音交互产品的唤醒主要有“按键唤醒”和“激活语句”两种形式。“按键唤醒”需要用户通过按下特定键以激活语音识别模块,通过“按键唤醒”并不能有效的“解放双手”,这与自然对话的原则相违背。“激活语句”是指用户说出特定的语句以激活与设备的对话,“激活语句”的方式虽然能使用户摆脱双手的束缚,但是并不能有效的处理好语音交互的结束点,其判断交互结束的标准是用户停顿时间或系统设定的极限时间。用户在语音交互的过程中不可避免地会出现停顿,再次激活语音助手则需要重新喊出激活语句,这直接影响了语音交互的效率与体验。

2) 基于上下文环境的理解能力较弱。由于语义分析技术的限制,所以计算机在理解人的意图方面的能力还有待提升。人与人的自然交互是基于上下文语义环境的理解的。目前语音交互系统大多停留在单句的语音交互层面,缺乏对语音上下文环境理解的能力,“一问一答”的语音交互形式严重影响了用户的操作体验。

3) 语音交互异常处理方式的人性化程度不够高。当前,大多数语音交互产品系统的容错性较差,缺乏对错误操作的应对机制,容易导致用户体验较差。无论是在语音识别上,还是语义理解上,任何一个环节出现问题都会造成沟通故障,严重影响用户体验。目前,语音交互产品在应对错误的时候,往往采取通知用户“没有听清”,“无法理解”,“出现异常”等方式来应对,缺乏正确的交互方式引导且不够人性化。在无法避免错误的时候,应尽可能地设计多种人性化播报脚本和语音交互引导以提高产品的容错性,缓解异常时的尴尬。

4) 用户记忆负担较重。语音交互具有较强的时

间性,相比传统的 GUI,较长的语音信息反馈会增加用户的记忆负担,用户一旦分心可能会漏掉某些重要信息。对此已经有一些产品在纯语音交互的基础上通过增加显示器来降低用户的记忆负担,如小米的“小爱音响触屏版”和百度的“小度在家”音响。

5) 情感识别与表达能力较弱。一方面,目前语音识别技术还不能通过语气、语调、语境等因素来有效地识别语音发出者的情绪。另一方面,在情感表达方面,合成语音的情绪表现力仍不够,生硬的、机器化的声音不够拟人化,使人与产品交流时无法全身心的投入。

2.3 体感交互与体验

体感技术也称为动作感应控制技术,是指机器通过识别、解析用户的动作,并根据预定模式对相应动作做出反馈。基于体感技术的交互方式使交互过程更加自然、直接,增强了交互过程中用户的操纵感和参与感,提升了用户的沉浸感。近年来,随着 3D 技术、虚拟现实技术在各个领域的不断渗透与发展,基于体感技术的交互方式已成为交互设计的研究热点,并在游戏、展示、医疗、教育等多个领域得到了广泛的应用。

2.3.1 技术层面

体感技术按体感方式与原理可分为光学感测和惯性感测^[31]。在实践中,两种技术通常联合使用。

基于光学感测的体感交互。基于光学感测的体感交互主要涉及深度测量、前景分割和动作识别。深度测量的目的是捕捉场景中的人体骨骼数据、灰度深度图像数据,测量人与物件及周围环境的关系。主流的方法是利用多个 3D 景深摄像头和 RGB 摄像头,记录空间的每个散斑,结合原始散斑图案对测量空间进行编码,以实现深度测量。前景分割的目的是检测出肢体的具体位置并与环境分离开来。主流的方法是

利用骨架提取技术^[32]和肤色分割技术^[33],以机器学习人类行为样本为基础,对人体关键骨架节点进行识别。动作识别是指通过模板匹配、特征提取和神经网络等方法分析已获得人体肢体的特征参数,识别人体动作的类型。目前,用于体感交互动作识别的算法有隐马尔科夫模型(HMM)^[34]、动态时间规整(DTW)^[35]、支持向量机(SVM)^[36]、3D卷积神经网络(3DCNN)等。

基于光学感测的体感交互技术主要存在以下问题。

1) 受环境因素影响较大。基于光学感测的体感交互受用户服装、物体遮挡、光照条件、动态背景等环境因素影响较大,复杂环境下动作识别的正确性和鲁棒性较差。

2) 实时性较差。在体感交互动作识别和匹配过程中通常会用到大量复杂的算法,这也是导致现阶段体感交互软件延迟的主要原因之一,真实动作与虚拟动作的不一致性严重影响了用户的体验。

3) 前景分割效果不理想。目前,前景分割技术还没有成熟的理论作为指导。它主要依靠增加限制、大容量形状数据库、立体视觉等方法来解决。这样做效率低,且效果不理想。

4) 无法实现力反馈。基于光学感测的体感交互技术暂时无法实现力反馈。

基于惯性感测的体感交互。通过陀螺仪、加速度计、磁定位传感器、弯曲度传感器等传感装置来实现体感交互。其原理是通过传感器,测量数据和身体各关节运动姿态的对应关系,从而实现动作识别。相比光学感测技术,惯性感测技术可获取的动作信息量大,且受环境因素的影响较小。

基于惯性感测的体感交互技术主要存在以下问题。

1) 舒适性较差。相比于光学感测设备,它不仅需要随身佩戴各种传感设备,而且其测量结构会影响人肢体动作的自然特征,无法使用户全身心地融入到交互之中。

2) 实时性较差。由于传感器数量较多,且响应的标定和解耦计算十分复杂,导致实时处理时困难较大,也影响用户的操作体验。

3) 力反馈的真实性较差。基于惯性感测的体感交互技术虽然可以实现力反馈,但是通常都是通过小型的震动马达实现的,真实感较差。力反馈研究是未来体感交互技术的重要研究方向。

2.3.2 产品应用层面

基于体感技术的交互应用已在数字游戏领域形成了一些商品化产品,如头戴式显示器(HMD)、数据手套、VR手柄、旋转椅、万向跑步机、3D体感摄影机等,包括任天堂的X-box、微软的"Kinect"等基于光学感测技术的3D体感摄影机^[37]。微软"Kinect"3D体感摄影机见图5。HTC Vive、Oculus等VR手柄采用光学感测加惯性感测融合的方式来捕捉用户的上肢动作,实现了绝对空间定位和连贯性(刷新

率)的互补。CyberTouch、WiseForce等数据手套,在实现手部精细动作的捕捉同时,通过小型震动传感器实现了简单的力反馈,提升了体感交互的真实感。Roto VR旋转椅、Virtuix Omni万向跑步机等基于惯性感测的体感交互设备已经可以实现对小场景内行走和转向动作的捕捉和模拟。基于体感技术的交互还在医疗^[38]、家居生活^[39]、制造、建筑^[40]及网络^[41-42]等领域得到了应用。Chen^[43]等人为了预防老年人患阿兹海默症,使用"Kinect"设备开发了一款能提升老年人认知、减缓智力衰退的体感游戏。韩娜^[39]等人采用"Kinect"实现了体感控制灯、门、窗等家居设备。在体感交互中,手势作为一种语言交流的之外最重要的方式,得到了广泛的应用^[44],如实现车载信息系统的交互^[45]、机器人的交互控制过程^[46]等。谭浩^[45]等人研究并设计了在驾驶情景下手势交互的操控方式,开发出一套可操作的实体模型并进行了测试。Delden^[47-48]等人使用静态的手势,控制机器人完成了抓取任务。



图5 微软"Kinect"3D体感摄影机
Fig.5 "Kinect" 3D somatosensory camera of Microsoft

目前,体感交互在产品应用层面有六个主要问题。

1) 体感交互方式易疲劳。体感交互需要用户通过各种肢体动作来实现与机器之间的互动。这样虽然在短时间内可以带给用户不一样的交互体验,但是长时间的肢体操作也容易让用户感到疲惫。

2) 交互动作的数量有限,且准确度较差。体感交互动作的有限性和精准性是影响用户体验的关键因素。相较于用户图形界面交互和语音交互,适合交互的肢体动作数量有限,并且过于复杂的动作会给用户带来较大的认知成本。人做出的肢体动作的精准度不高,且不同的人可表现出很大的差异性,从而导致交互的准确度不同,影响用户体验。

3) 体感交互唤醒与终止方式不够自然。与语音交互相似,体感交互并不能有效控制交互的起始点和

结束点,其判断标准为用户穿上和脱下设备,或走入和走出动作捕捉区域。

4) 力反馈真实感较差。由于反馈技术的限制,体感交互产品的力反馈真实感较差,影响用户的交互体验。

5) 部分产品需要随身佩戴传感器。目前,基于惯性感测技术的体感产品(例如数据手套、万向跑步机等产品)需要佩戴传感器,且大多数传感器还未实现无线化。有线数据传输提升了交互的实时性。然而由于需要用户随身佩戴各种传感设备、数据线和电缆,所以严重限制了操作者肢体动作的自然特征,也影响了体感交互的体验。

6) 交互异常处理方式不够人性化。当前大多数体感交互产品系统的容错性较差,缺乏对错误操作的应对机制,会导致用户体验较差。

2.4 眼动交互与体验

眼动交互是指通过视线追踪技术,获取当前用户视觉注意方位,并实现计算控制的交互形式^[49]。随着产品硬件性能的提升以及视线追踪技术的发展,眼动交互形式的应用研究日渐兴起,并成为了智能交互的重要研究方向。

2.4.1 技术层面

视线追踪技术从最初的“直接用镜子观察”,发展到后来的“使用机械转动装置记录眼球运动”,到现在的“高精度测量方法”,在准确性和用户自由度方面都有了大幅的提升。现在主流的视觉追踪方法可分为硬件测量法和软件测量法^[50]。硬件测量法中,典型的一种方法是通过头盔或支架固定用户头部,发射红外光源,记录并分析眼角膜和瞳孔反射的红外光线,实现视线追踪。软件测量法的核心是图像处理技术,通过跟踪眼部图像,提取瞳孔位置来计算视线的落点位置。软件测量法的用户自由度较高,随着计算机视觉技术的快速发展,基于软件的测量方法逐渐在实践中得到应用。虽然硬件测量方法对用户有一定的干扰,但是在测量精度和准确度方面,相较于软件测量方法,它仍有明显的优势。目前,主流的瞳孔—角膜反射向量法将角膜的反射点作为参考点,无需使用装置固定头部^[51-52]。由于瞳孔是眼部图像中最暗的部分,通过二值化和椭圆拟合获得瞳孔中心,角膜反射点和瞳孔中心点构成的矢量反映了眼球的运动,通过标定就能确定眼睛的视线落点。眼动交互在技术层面主要存在以下主要问题。

1) 数据测量和分析存在挑战。一方面,当眼睛注视某静止的物体时,眼球会有轻微的抖动或一些无意识行为,如眨眼。这可能会带来异常数据,影响分析结果。另一方面,数据分析时,区分注视和眼跳这两种行为有一定的难度,对后续结果可能带来一定偏差。

2) 受环境因素影响较大。眼动识别精度受眼睛与屏幕距离、环境光亮度、标定准确度等多种因素的

影响。

3) 算法精度与佩戴舒适度较差。虽然以硬件为基础的视线追踪技术精度较高,可以达到 0.1° 左右,但是需要随身佩戴视线追踪设备。这限制了人的活动,影响交互体验。另外,基于高清相机、以软件为基础的视线追踪设备的精度只有 2° 左右,仍有待进一步提高。

2.4.2 产品应用层面

眼动测量系统是眼动交互的重要基础设备,目前已有较多产品面世。根据眼动仪的外形结构,可分为桌面固定式、桌面遥测式、可穿戴式三种类型。目前市场上最流行的眼控仪设备是 Tobii 公司的 PCEye 眼控设备。“PCEye”眼控仪见图 6。它的质量轻,体积小,可以安装在电脑以及平板电脑上使用。



图 6 “PCEye”眼控仪
Fig.6 “PCEye” eye controller

与眼动仪研发相比,基于眼动的交互系统产品则要少得多,而且大部分产品没有量产,尚停留在科学研究层面。如 Intel 公司专门为霍金量身定做的超级轮椅,基于眼动运动的检测来完成信息的输入、输出。基于眼动的交互产品应用、研究主要集中在视线反馈、视线点击和视线输入三个方面^[49]。视线反馈方面,Tateosian^[53]提出的 GazeGIS 技术实现了当用户阅读到地名时,可自动高亮地显示在电子地图上。江康翔^[54]研究表明通过动态扩大注视区域可以缩短完成搜索任务的时间。视线反馈智能性既能有效提升交互过程中的互动感,还能降低用户的任务负荷。视线点击方面,Mahajan^[55]等在其开发的眼动交互系统中加入了语音指令,通过眼动和语音的配合完成了鼠标的工作。Pfeuffer^[56]等研制了一种将眼动和触控结合的交互系统,眼动实现对目标的选取;触控对目标进行操作。这可以适用于需要多点触控操作的场景。七鑫易维公司研发的全球首款眼控智能眼镜“aGlass”具有眼动拍照功能,通过眼动来完成对焦;眨眼来完成拍照操作。视线输入要求用户有意识的移动视线实现操作,需要一定的学习成本^[57],视线输入的操作绩效与传统交互设备的相差不大。视线输入一般针对特殊人

群或在特定情景下使用,如七鑫易维公司研发的残疾人沟通辅助工具(见图7)通过视线输入,辅助残障人群与人沟通^[58-60]。



图7 残疾人沟通辅助工具
Fig7 Communication aids for the disabled

眼动交互目前存在四个主要问题。

1) 误操作。因为系统无法区分用户的注视或眨眼等操作是有意识还是无意识的,所以有可能引起系统的误操作,从而影响交互体验。

2) 应用领域较窄。眼动交互一般为残疾人服务,针对普通大众用户的使用场景挖掘不够。

3) 与其它交互通道的整合不足。在保证自然性和高效性的前提下,将视觉通道与其他通道有效整合是眼动交互的未来方向。

4) 眼动交互易疲劳。用户长时间地通过眼动的形式与计算机交互容易疲劳。此外,虽然有些产品通过设定注视超时间的方法,尝试避免误操作的问题,但是增加注视时间不仅会给用户带来用眼疲劳的问题,还会影响眼动交互的效率。

2.5 生理信号交互与体验

获取、分析和利用用户的生理状态信息(如注意力、紧张程度、疲劳程度等)是实现自然人机交互的必要途径^[61]。生理信号交互作为一种新型交互模式已经逐渐引起国内外学者的关注。它利用包括脑电波(EEG)、心电(ECG)、肌电(EMG)、皮肤电(EDA)、呼吸形态(RSP)、脉搏(PPG)、血压等生理信号来与计算机进行互动,可通过传感设备实时监控和分析用户的各种生理信号,并做出相应的反馈。

2.5.1 技术层面

生理信号交互技术是近十年迅速兴起的多学科交叉研究领域,主要包括数据采集、信号预处理、特征提取、分类识别四个环节。目前,生理信号识别方法主要有神经网络(ANN)、支持向量机(SVM)、K

近邻算法(KNN)、Fisher判别式、Mahalanobis判别式、最大似然贝叶斯分类、隐马尔可夫模型(HMM)、混合高斯模型(GMM)、随机森林(RFs)等^[62]。

基于生理信号的情感计算是当前生理信号交互研究的热点^[63-65],它通过分析生理信号特点并分析、识别用户的情感状态,从而设计与目标情感变化一致的人机交互控制方法。Picard^[66]从肌电(EMG)、呼吸作用(RSP)、皮肤电反应(SC)和血容量搏动(BVP)四种生理信号进行情感状态识别的研究,证明了生理信号进行情感状态识别的可行性。Egon^[67]等人认为以视觉刺激为诱导更易于激发情绪,并用肌电(EMG)和皮肤电(EDA)来确定用户的情绪。康宇飞^[64]讨论了基于心电(ECG)、皮肤电(EDA)、脉搏(PPG)信号多任务图融合情感计算。

基于脑电信号的交互技术是生理信号交互的热门技术^[68]。Mehmood^[69]等人使用了独立成分分析(ICA),对原始脑信号进行预处理以去除伪影,并使用LPP的特征提取方法,实现了基于统计和频域特征的基准测试。Bahar^[70]等人在研究中通过获得对音素实例的时间锁定反应,表征了连续语音的脑电图反应。Aaron^[71]等人通过测量潜艇驾驶与在导航任务中扮演不同类别艇员的被试脑电波,探索了团队协作的认知机制。卫兵^[72]研制了基于脑电波且有较高检测准确率的人机交互控制系统,基本实现了设备的控制操作。2018年3月16日,美国国防高级研究计划局(DARPA)公布了一个极具创新性的项目^[73],被称为“下一代非侵入性神经技术”(Next-Generation Nonsurgical Neurotechnology,简称N3)。高分辨率的便携式神经接口通过在人脑中多个位置同时读取和写入数据,不使用任何植入,以实现人脑和电脑系统之间的高维通信,实现更高级的人机交互。

在生理信号交互技术研究中,目前还有一些基础理论有待突破。

1) 认知神经科学的限制。由于认知神经科学的限制,人们对大脑的工作模型还未完全了解。目前的技术仅能和人脑八百五十亿神经元中的几百个连接。

2) 心理和生理学推论的复杂性限制。由于心理学和生理学理论的限制,生理信号交互很难精准地建立起神经信号与情绪、动作的对应关系。

3) 高质量生理信号的采集困难。现阶段生理信号采集技术有限,并且容易受环境影响,难以得到高分辨率的生理信号。

4) 生理信号算法的限制。由于现阶段生理信号算法和采集技术的限制,相比于其他交互技术,基于生理信号交互的正确率还较低。

2.5.2 产品应用层面

在产品应用层面上,基于生理信号的交互产品分为“植入式”和“非植入式”两类。“植入式”产品需要通过在皮肤表层(或大脑皮层)或肢体(或大脑)内部

完全植入电极来采集各种神经信号。相比于“非植入式”技术，“植入式技术”采集的信息量大、分辨率高，锋电位信号解码能够实现对外部设备多自由度的实时、精确控制^[74]。“植入式”产品属于“有创”操作，技术较难且对精准度要求高，主要用于医疗领域。典型的实践有例如 Brainco 公司的产品 Focus 1 可以用于提高用户注意力，操控智能家居以及实现对假肢控制。UMind 公司的“UDrone”意念无人机可以通过脑电波驱动无人机运行，解放用户的双手。“UDrone”无人机见图 8。雷瓜尔·库尔蒂纳（Grégoire Courtine）及其团队利用“植入式”技术，将芯片植入猴子的脑部，使瘫痪的猴子可以重新行走。2018 年 11 月 22，BrainGate 联盟发布了其最新的植入式产品“BrainGate2”^[75]。在新型



图 8 “UDrone”无人机
Fig.8 “UDrone” unmanned aerial vehicle



图 9 “BrainGate2”
Fig.9 “BrainGate2”

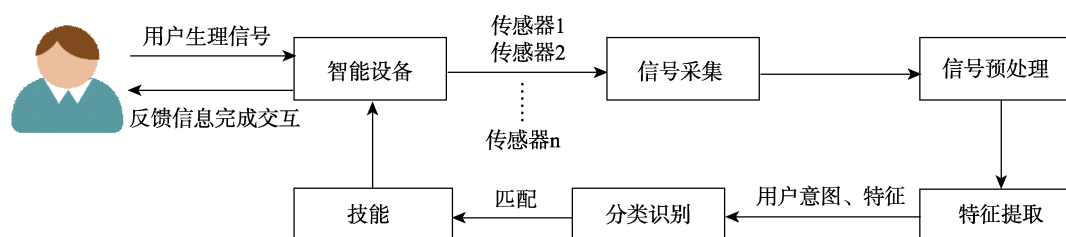


图 10 基于生理信号交互技术的产品工作流程
Fig.10 Product workflow based on physiological signal interaction technology

目前，基于生理信号交互的产品功能还比较单一，交互准确度低，易受用户注意力偏移和疲劳度的影响。由于体能限制，人长时间的集中意念、控制设备容易导致疲劳。“植入式”产品目前还不能有效避免免疫排异反应。然而“非植入式”产品不能避免携带多种电缆设备，因此，影响了用户操作体验，舒适性较差。

3 未来的研究热点与趋势

触摸交互、语音交互、体感交互、眼动交互和生理信号交互等更加自然的交互形式是目前交互设计的主要研究方向。未来，将在以下几方面开展深入研究，提升交互效率和用户体验：（1）提出更加自然、人性化的交互唤醒和终止方式；（2）计算机情感分析与表达，提升计算机主动获取和分析人的语义、情绪、行为习惯、身体状态的能力，并在情感表达上更加拟人化；（3）提升交互舒适度，尽可能降低用户的认知

负担和体力负担，减少外接设备的束缚，提高交互的舒适度；（4）开发交互异常处理技术，在无法避免错误时，应尽可能地设计多种人性化的引导，提高产品容错性，缓解其异常时的尴尬。

开发多通道融合的人机交互技术，解决单一通道交互过程中输入效率低下和交互不自然的问题，提高人机之间交互的自然性和高效性。未来的交互设计将更加关注服务与用户体验。从目标定位、事件发展与选择、过程回顾与反思的角度，去重新构建体验过程，为用户提供优质的服务。

随着大数据、自然语言处理和深度神经网络等人工智能技术在触摸交互、语音交互、体感交互、眼动交互、生理信号交互等领域的运用与不断发展，计算机在信号采集、特征提取、语义理解、情感的分析等方面的能力将不断提高，交互的正确率将显著提升，基于人工智能技术优化的产品与人的互动将更加自然与高效，其存在的问题也逐步减少。

4 结语

在互联网+、人工智能与大数据的时代背景下,交互设计的形式和内容都发生了本质性的改变。本文从产品应用层面和技术层面出发,分别对触摸、智能语音、体感、眼动和生理信号五种交互形式的现状进行了研究,概括了影响可用性及用户体验的关键因素,对未来发展趋势进行了预测,指出了未来研究的重点领域和热点技术。

参考文献:

- [1] DIX A, FINLAY J E, ABOWD G D, et al. Human-Computer Interaction(3rd Edition)[M]. Englewood: Prentice-Hall, 2003.
- [2] MOGGRIDGE B. Designing Interactions[M]. Cambridge: MIT Press, 2007.
- [3] 大卫·贝尼昂. 交互式系统设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
BENYON D. Designing Interactive Systems[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2014.
- [4] COOPER A. 交互设计之路: 让高科技产品回归人性[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
COOPER A. The Inmates Are Running the Asylum: Why High-Tech Products Drive Us Crazy and How to Restore the Sanity[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006.
- [5] 唐纳德·诺曼. 设计心理学[M]. 北京: 中信出版社, 2012.
NORMA D. The Design of Everyday Things[M]. Beijing: Citic Press, 2014.
- [6] 詹妮·普瑞斯, 伊温妮·罗杰斯. 交互设计: 超越人机交互(第四版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
PREECE J, ROGERS Y. Interactive Design: Beyond Human-Computer Interaction (4th Edition)[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2018.
- [7] 白婷, 薛澄岐, 王向荣. 移动互联网交互设计分析[J]. 计算机光盘软件与应用, 2014, 17(13): 97—99.
BAI Ting, XUE Cheng-qi, WANG Xiang-rong. Analysis of Mobile Internet Interaction Design[J]. Computer CD Software and Application, 2014, 17(13): 97—99.
- [8] 张承业, 张宪民. 人工智能驱动的人机交互技术挑战及应用思路[J]. 数字技术与应用, 2018, 36(5): 206—207.
ZHANG Cheng-ye, ZHANG Xian-min. Challenges and Application Thoughts of Human-Computer Interaction Driven by Artificial Intelligence[J]. Digital Technology and Application, 2018, 36(5): 206—207.
- [9] 张锋, 陈硕. 多点触控交互方式的回顾与展望[J]. 人类工效学, 2010, 16(4): 76—78.
ZHANG Feng, CHEN Shuo. Review and Prospect of Multi-touch Interaction[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2010, 16(4): 76—78.
- [10] 迟健男, 王志良, 谢秀贞, 等. 多点触摸人机交互技术综述[J]. 智能系统学报, 2011, 6(1): 28—37.
CHI Jian-nan, WANG Zhi-liang, XIE Xiu-Zhen, et al. Overview of Multi-touch Human-Computer Interaction Technology[J]. Transactions on Intelligent Systems, 2011, 6(1): 28—37.
- [11] 王成龙, 谢耀辉. 3D Touch 技术的研究[J]. 电脑知识与技术, 2016, 12(14): 162—163.
WANG Cheng-long, XIE Yao-hui. Research on 3D Touch Technology[J]. Computer Knowledge and Technology, 2016, 12(14): 162—163.
- [12] 牛发发. 基于投影显示的多点触摸识别相关技术研究[D]. 西安: 西北大学, 2015.
NIU Fa-fa. Research on Multipoint Touch Recognition Technology Based on Projection Display[D]. Xi'an: Northwest University, 2015.
- [13] 袁彬, 肖波, 侯玉华, 等. 移动智能终端语音交互技术现状及发展趋势[J]. 信息通信技术, 2014, 8(2): 39—43.
YUAN Bin, XIAO Bo, HOU Yu-hua, et al. Current Situation and Development Trend of Voice Interaction Technology in Mobile Intelligent Terminal[J]. Information and Communications Technologies, 2014, 8(2): 39—43.
- [14] DONG Yu, LI Deng. Deep Learning and Its Applications to Signal and Information Processing Exploratory DSP[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2011, 28(1): 145—154.
- [15] 戴礼荣, 张仕良, 黄智颖. 基于深度学习的语音识别技术现状与展望[J]. 数据采集与处理, 2017, 32(2): 221—231.
DAI Li-rong, ZHANG Shi-liang, HUANG Zhi-ying. Present Situation and Prospect of Speech Recognition Technology Based on Deep Learning[J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2017, 32(2): 221—231.
- [16] 张舸, 张鹏远, 潘接林, 等. 基于递归神经网络的语音识别快速解码算法[J]. 电子与信息学报, 2017, 39(4): 930—937.
ZHANG Ge, ZHANG Peng-yuan, PAN Jie-lin, et al. Fast Speech Recognition Decoding Based on Recursive Neural Network[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2017, 39(4): 930—937.
- [17] 张晴晴, 刘勇, 潘接林, 等. 基于卷积神经网络的连续语音识别[J]. 工程科学学报, 2015, 37(9): 1212—1217.
ZHANG Qing-qing, LIU Yong, PAN Jie-lin, et al. Continuous Speech Recognition Based on Convolutional

- Neural Network[J]. Chinese Journal of Engineering, 2015, 37(9): 1212—1217.
- [18] TABET Y, BOUGHAZI M. Speech Synthesis Techniques. A Survey[C]. Piscataway: IEEE, 2011.
- [19] BAHADINI S, SAMETI H, KHORRAM S. Implementation and Evaluation of Statistical Parametric Speech Synthesis Methods for the Persian Language[C]. Piscataway: IEEE, 2011.
- [20] WANG W Y, GEORGILO K. Automatic Speech Recognition & Understanding: Automatic Detection of Unnatural Word-level Segments in unit-selection Speech Synthesis[C]. Piscataway: IEEE, 2011.
- [21] TAKAMICHI S, TODA T, SHIGA Y, et al. Parameter Generation Methods with Rich Context Models for High-quality and Flexible Text-to-Speech Synthesis[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2014, 8(2): 239—250.
- [22] 井晓阳, 罗飞, 王亚棋. 汉语语音合成技术综述[J]. 计算机科学, 2012, 39(S3): 386—390.
JING Xiao-yang, LUO Fei, WANG Ya-qi. A Summary of Chinese Speech Synthesis Technology[J]. Computer Science. 2012, 39(S3): 386—390.
- [23] 刘伟, 谢建志. 语音合成系统中语音库样本能量均衡方法研究[J]. 信号处理, 2017, 33(2): 229—235.
LIU Wei, XIE Jian-zhi. Research on Sample Energy Equalization of Speech Library in Speech Synthesis System[J]. Journal of Signal Processing, 2017, 33(2): 229—235.
- [24] CHEN Yan-you, KUANG Ta-wen, TSAI Chun-yu, et al. Speech Variability Compensation for Expressive Speech Synthesis[C]. Piscataway: IEEE, 2013.
- [25] 中国中文信息学会. 中文信息处理发展报告(2016)[R]. 北京: 中国中文信息学会, 2016.
Chinese Information Processing Society of China. CIPS2016 Chinese Information Processing Report[R]. Beijing: Chinese Information Processing Society of China, 2016.
- [26] 仲冬冬, 陈健, 窦修超, 等. 基于MSP430单片机的导盲机器人控制系统设计[J]. 无线互联科技, 2014(6): 70—71.
ZHONG Dong-dong, CHEN Jian, DOU Xiu-chao, et al. Design of Control System for Blind-guiding Robot Based on MSP430 MCU[J]. Wireless Internet Technology, 2014(6): 70—71.
- [27] 毛丽民, 卢振利, 谢新明, 等. 基于语音交互功能的医疗服务机器人控制系统设计[J]. 高技术通讯, 2014, 24(7): 745—751.
MAO Li-min, LU Zhen-li, XIE Xin-ming, et al. Design of Control System for Medical Service Robot Based on Voice Interaction Function[J]. Chinese High Technology Letters, 2014, 24(7): 745—751.
- [28] 宁志强, 陶元芳. 智能语音交互机械故障诊断专家系统研究[J]. 中国工程机械学报, 2018, 16(1): 87—94.
NING Zhi-qiang, TAO Yuan-fang. Research on Intelligent Speech Interactive Machinery Fault Diagnosis Expert System[J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2018, 16(1): 87—94.
- [29] 张家庆, 赵迎, 吴东峰, 等. 基于“互联网+”与智能语音的医生助手 App 建设与应用[J]. 中国数字医学, 2018, 13(5): 38—40.
ZHANG Jia-qing, ZHAO Ying, WU Dong-feng, et al. Construction and Application of Doctor Assistant App Based on "Internet +" and Intelligent Voice[J]. China Digital Medicine, 2018, 13(5): 38—40.
- [30] 王磊, 何勇, 张宇, 等. 基于便携式语音的智能家居系统的设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2018, 39(5): 98—103.
WANG Lei, HE Yong, ZHANG Yu, et al. Design and Implementation of Smart Home System Based on Portable Voice[J]. Computer Engineering and Design, 2018, 39(5): 98—103.
- [31] 代艾波, 瞿畅, 朱小龙, 等. 体感交互技术在运动康复领域的应用[J]. 中国康复理论与实践, 2014, 20(1): 41—45.
DAI Ai-bo, QU Chang, ZHU Xiao-long, et al. Application of Somatosensory Interaction Technology in Sports Rehabilitation[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice, 2014, 20(1): 41—45.
- [32] 梁欢, 陈一民, 李德旭, 等. 面向移动增强现实的手势交互方法[J]. 微型电脑应用, 2018, 34(5): 12—16.
LIANG Huan, CHEN Yi-min, LI De-xu, et al. Gesture Interaction Method for Mobile Augmented Reality[J]. Microcomputer Applications, 2018, 34(5): 12—16.
- [33] 田元, 王学璠, 王志锋, 等. 基于 Kinect 的实时手势识别方法[J]. 计算机工程与设计, 2018, 39(6): 1721—1726.
TIAN Yuan, WANG Xue-fan, WANG Zhi-feng, et al. Real-time Gesture Recognition Method Based on Kinect[J]. Computer Engineering and Design, 2018, 39(6): 1721—1726.
- [34] 严焰, 刘蓉, 黄璐, 等. 基于 HMM 的手势识别研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2012, 46(5): 555—559.
YAN Yan, LIU Rong, HUANG Lu, et al. Research on HMM-based Gesture Recognition[J]. Journal of Central China Normal University(Natural Sciences), 2012, 46(5): 555—559.
- [35] 李凯, 王永雄, 孙一品. 一种改进的 DTW 动态手势识别方法[J]. 小型微型计算机系统, 2016, 37(7): 1600—1603.

- LI Kai, WANG Yong-xing, SUN Yi-pin. An Improved DTW Dynamic Gesture Recognition Method[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2016, 37(7): 1600—1603.
- [36] 石曼银. 一种基于 SVM 向量机的手势识别算法[J]. 电子测试, 2013(16): 24—25.
- SHI Man-Yin. A Gesture Recognition Algorithm Based on SVM Vector Machine[J]. Electronic Test, 2013(16): 24—25.
- [37] 林琪. 3D 体感游戏中玩家的体验空间构成及情感释放研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
- LIN Qi. Research on Player's Experience Space Composition and Emotional Release in 3D Somatosensory Game[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.
- [38] 丁晨, 王君泽, 瞿畅, 等. Kinect 体感交互技术及其在医疗康复领域的应用[J]. 中国康复理论与实践, 2013, 19(2): 136—138.
- DING Chen, WANG Jun-ze, QU Chang, et al. Kinect Somatosensory Interaction Technology and its Application in the Field of Medical Rehabilitation[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice, 2013, 19(2): 136—138.
- [39] 韩娜, 钟卓成, 吴振权, 等. 基于体感控制的智能家居系统设计与实现[J]. 信息技术, 2015(12): 91—93.
- HAN Na, ZHONG Zuo-cheng, WU Zhen-quan, et al. Design and Implementation of Smart Home System Based on Somatosensory Control[J]. Information Technology, 2015(12): 91—93.
- [40] MORIARTY B, MOY Z, AMABA C. Utilizing Explorable Visual Environments for Experiential Applications[J]. Procedia Computer Science, 2012(8): 261—266.
- [41] KAMEL BOULOS M N, BLANCHARD B J, WALKER C, et al. Web GIS in Practice X: a Microsoft Kinect Natural User Interface for Google Earth Navigation[J]. International Journal of Health Geographics, 2011, 10(1): 1—12.
- [42] ZOLLHÖFER M, MARTINEK M, GREINER G, et al. Automatic Reconstruction of Personalized Avatars from 3D Face Scans[J]. Computer Animation and Virtual Worlds, 2011, 22(2): 195—202.
- [43] CHIANG I-tsun, TSAI Jong-chang, CHEN Shang-ti. Using Xbox 360 Kinect Games on Enhancing Visual Performance Skills on Institutionalized Older Adults with Wheelchairs[C]. Piscataway: IEEE, 2012.
- [44] Yin Xiao-ming, Xie Ming. Hand Posture Segmentation, Recognition and Application for Human-robot Interaction [C]. Singapore: International Conference on Advanced Robotics, 2007.
- [45] 谭浩, 李薇, 谭征宇. 车载信息系统三维手势交互产品设计研究[J]. 包装工程, 2015, 36(18): 45—48.
- TAN Hao, LI Wei, TAN Zheng-yu. Research on 3D Gesture Interactive Product Design of Vehicle Information System[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(18): 45—48.
- [46] 齐静, 徐坤, 丁希仑. 机器人视觉手势交互技术研究进展[J]. 机器人, 2017, 39(4): 565—584.
- QI Jing, XU Kun, DING Xi-lun. Research Progress of Robot Vision Gesture Interaction Technology[J]. Robot, 2017, 39(4): 565—584.
- [47] DELDEN S V, UMRYSH M, ROSARIO C, et al. Pick-and-Place Application Development Using Voice and Visual Commands[J]. Industrial Robot, 2012, 39(6): 592—600.
- [48] DELDEN S V, UMRYSH M A. Visual Detection of Objects in a Robotic Work Area Using Hand Gestures[C]. Piscataway: IEEE, 2011.
- [49] 吴凤山, 葛贤亮, 王丽, 等. 眼动人机交互技术的类别与特点[J]. 人类工效学, 2017, 23(4): 80—86.
- WU Feng-shan, GE Xian-liang, WANG Li, et al. Categories and Characteristics of Eye Movement Human-computer Interaction Technology[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2017, 23(4): 80—86.
- [50] 袁春兴. 基于眼动的人机自然交互[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2015.
- YUAN Chun-xing. Human-Computer Natural Interaction Based on Eye Movement[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2015.
- [51] VILLANUEVA A, CABEZA R. A Novel Gaze Estimation System with One Calibration Point[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B(Cybernetics), 2008, 38(4): 1123—1138.
- [52] 张琰. 眼动仪的设计与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.
- ZHANG Ying. Design and Implementation of Eye Tracker[D]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology, 2012.
- [53] TATEOSIAN L G, GLATZ M, SHUKUNOBE M, et al. Gazegis: A Gaze-Based Reading and Dynamic Geographic Information System[C]. Heidelberg: Springer Heidelberg, 2017.
- [54] 江康翔. 基于视线追踪的交互式突显的研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2015.
- JIANG Kang-xiang. Research on Interactive Highlighting Based on Line-of-sight Tracking[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2015.
- [55] ONKAR M. Multimodal Interface Integrating Eye Gaze Tracking and Speech Recognition[D]. Toledo: University of Toledo, 2015.
- [56] PFEUFFER K, ALEXANDER J, CHONG M K, et al. Gaze-touch: Combining Gaze with Multi-touch for Interaction on the Same Surface [C]. New York: Association

- tion for Computing Machinery, 2014.
- [57] ROZADO D, RODRIGUEZ F B, VARONA P. Low Cost Remote Gaze Gesture Recognition in Real Time[J]. *Applied Soft Computing*, 2012, 12(8): 2072—2084.
- [58] CHANDRAKALA S, PRIYA P, KALAIYARASI T, et al. Embedded System Based Eye Movement Communicating Media for Paralyzed Person[J]. *International Journal of Advanced Electrical and Electronics Engineering*, 2013, 2(2): 135—137.
- [59] RAHNAMA-YE-MOQADDAM R, VAHDAT-NEJAD H. Designing a Pervasive Eye Movement-based System for ALS and Paralyzed Patient[C]. Piscataway: IEEE, 2015.
- [60] VAN DE LAAR B, GURKOK H, PLASS-OUDE BOS D, et al. Experiencing BCI Control in a Popular Computer Game[J]. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 2013, 5(2): 176—184.
- [61] 王宏安, 田丰, 戴国忠. 基于生理计算的人机交互[J]. *中国计算机学会通讯*, 2011, 7(8): 13—17.
WANG Hong-an, TIAN Feng, DAI Guo-zhong. Human-Computer Interaction Based on Physiological Computing[J]. *Communication of China Computer Federation*, 2011, 7(8): 13—17.
- [62] 张本禹, 蒋惠萍. 基于脑电的情感分析研究进展[J]. *信息系统工程*, 2017(7): 140—142.
ZHANG Ben-yu, JIANG Hui-ping. Advances in Emotional Analysis Based on EEG[J]. *China CIO News*, 2017(7): 140—142.
- [63] 温万惠. 基于生理信号的情感识别方法研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
WEN Wan-hui. Research on Emotional Recognition Based on Physiological Signals[D]. Chongqing: Southwest University, 2010.
- [64] 康宇飞. 基于生理信号的多任务图融合情感计算研究[D]. 天津: 天津大学, 2017.
KANG Yu-fei. Research on Emotional Computing Based on Physiological Signals in Multitask Graph Fusion[D]. Tianjin: Tianjin University, 2017.
- [65] 杨照芳. 心跳间期和皮肤电信号中的情感响应模式研究[D]. 重庆: 西南大学, 2015.
YANG Zhao-fang. Study on Emotional Response Model in Heart Rate Interval and Skin Electrical Signal[D]. Chongqing: Southwest University, 2015.
- [66] PICARD R W. *Affective Computing*[M]. Cambridge: MIT Press, 1997.
- [67] BROEK E L V D, LISÝ V, JANSSEN J H, et al. Affective Man-Machine Interface: Unveiling Human Emotions Through Biosignals[J]. *Biomedical Engineering Systems & Technologies*, 2010(52): 21—47.
- [68] BALDUCCI F, GRANA C, CUCCHIARA R. Classification of Affective Data to Evaluate the Level Design in a Role-Playing Videogame[C]. Piscataway: IEEE, 2015.
- [69] MEHMOOD R M, LEE H J. A Novel Feature Extraction Method Based on Late Positive Potential for Emotion Recognition in Human Brain Signal Patterns[J]. *Computers & Electrical Engineering*, 2016(53): 444—457.
- [70] KHALIGHINEJAD B, CRUZATTO DA SILVA G, MESGARANI N. Dynamic Encoding of Acoustic Features in Neural Responses to Continuous Speech[J]. *The Journal of Neuroscience*, 2017, 37(8): 2176—2185.
- [71] LIKENS A D, AMAZEEN P G, STEVENS R, et al. Neural Signatures of Team Coordination are Revealed by Multifractal Analysis[J]. *Social Neuroscience*, 2014, 9(3): 219—234.
- [72] 卫兵. 一种基于脑电 α 波的人机交互控制系统的设计与研究[D]. 合肥: 安徽大学, 2010.
WEI Bing. Design and Research of a Human-Computer Interactive Control System Based on EEG Alpha Wave[D]. Hefei: Anhui University, 2010.
- [73] 新智元. DARPA 研发脑机交互头盔, 意念操控无人机无需植入电极[EB/OL]. (2019-06-03) [2019-06-05]. <https://cloud.tencent.com/developer/article/1442137>.
Xinzhiyuan. Brain-Computer Interaction Helmet Developed by DARPA, No Implanted Electrodes are Needed for Mind-controlled UAV[EB/OL]. (2019-06-03) [2019-06-05]. <https://cloud.tencent.com/developer/article/1442137>.
- [74] 汪逸丰. 脑机交互技术国内外发展现状: 应用前景及国内现状[EB/OL]. (2018-05-09) [2019-04-09]. <http://www.istis.sh.cn/list/list.aspx?id=11335>.
WANG Yi-feng. Current Situation of Brain-Computer Interaction Technology at Home and Abroad: Application Prospect and Current Situation in China[EB/OL]. (2018-05-09) [2019-04-09]. <http://www.istis.sh.cn/list/list.aspx?id=11335>.
- [75] DeepTech 深科技. 植入大脑的芯片助瘫痪者用“意念”操控平板电脑[EB/OL]. (2018-11-24) [2019-03-24]. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/50754082>.
DeepTech. Chips Implanted into the Brain Help Paralyzed People Manipulate Tablets with "Ideas"[EB/OL]. (2018-11-24)[2019-03-24]. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/50754082>.
- [76] 陈浩淼, 申黎明, 宋杰, 等. 按摩模式对揉捏式按摩椅按摩舒适性的影响[J]. *人类工效学*, 2012, 18(2): 40—43.
CHEN Hao-miao, SHEN Li-Ming, SONG Jie, et al. Effect of Massage Mode on Massage Comfort of Kneading Massage Chair[J]. *Chinese Journal of Ergonomics*, 2012, 18(2): 40—43.