

【精品栏目——人机交互与用户体验】

认知神经科学与人机交互的融合：人机交互研究的新趋势

杨海波^{1,2}

(1.教育部人文社会科学重点研究基地天津师范大学心理与行为研究院, 天津 300074;
2.天津师范大学心理学部, 天津 300387)

摘要:目的 厘清认知神经科学与人机交互研究融合的发展历程、存在的问题与其未来发展趋势。方法 采用文献元分析法, 分别对认知神经科学、人机交互、脑机接口等不同领域的相关文献进行了分析, 首先简要介绍了认知神经科学的发展历程, 叙述了脑功能成像技术的演化进程; 其次论述了认知神经科学领域的研究结果对人机交互研究的支持作用; 然后叙述了基于认知神经科学和脑成像技术的人机交互研究的认知模型发展历程, 并简要介绍了一些从认知神经科学和脑成像角度开展的人机交互研究; 接着重点介绍了认知神经科学与人机交互研究结合的典型领域, 即脑机接口领域, 介绍了脑机接口的发展历史、脑机接口的认知模型、脑机结构研究存在的问题; 最后总结了认知神经科学与人机交互融合的必要性和可能性, 在对目前现状进行总结的基础上预测了未来的发展趋势。结论 认知神经科学与人机交互研究的融合, 为人机交互研究提供了新的思路和方法, 未来的基于认知神经科学的人机交互研究, 可以更好地揭示人机交互过程中的用户特征和交互规律。

关键词: 人机交互; 认知神经科学; 脑机接口; 认知模型

中图分类号: TB472 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)22-0055-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.22.010

The Fusion of Cognitive Neuroscience and Human-Computer Interaction: New Trends in Human-Computer Interaction Research

YANG Hai-bo^{1,2}

(1.Key Research Base of Humanities and Social Sciences of the Ministry of Education, Academy
of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University, Tianjin 300074, China;
2.Faculty of Psychology, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

ABSTRACT: The work aims to analyze the development history, existing problems and future development trends of the fusion of cognitive neuroscience and human-computer interaction research. Literature meta-analysis was used to analyze related literatures in different fields, such as cognitive neuroscience, human-computer interaction, and brain-computer interface. First, the development history of cognitive neuroscience was briefly introduced, and the evolution process of brain function imaging technology was described. Then, the inspiration of the research results in the field of cognitive neuroscience on human-computer interaction research was discussed, followed by the development history of cognitive model of human-computer interaction research based on cognitive neuroscience and brain imaging technology. A brief introduction to some human-computer interaction researches conducted based on cognitive neuroscience and brain imaging was made. And, the typical field (i.e. the field of brain-computer interface) of fusion of cognitive neuroscience and human-computer interaction research was emphatically introduced, including the development history of brain-computer interface, the cognitive model of brain-computer interface, and the existing problems of brain-computer structure research.

收稿日期: 2019-09-15

基金项目: 天津市哲学社会科学规划重点项目(TJJX15-002)

作者简介: 杨海波(1978—), 男, 陕西人, 博士, 天津师范大学心理学部教授, 主要从事用户体验评估、认知加工与认知发展方面的研究。

Finally, the necessity and possibility of the fusion of cognitive neuroscience and human-computer interaction were summarized, and the future development trend was predicted on the basis of summarizing the current status. The results show that, the fusion of cognitive neuroscience and human-computer interaction research provides new ideas and methods for human-computer interaction research. Future human-computer interaction research based on cognitive neuroscience can better reveal users' characteristics and interaction rules in the process of human-computer interaction.

KEY WORDS: human-computer interaction; cognitive neuroscience; brain-computer interface; cognitive model

人类不仅具有感知、记忆和思考外界环境信息,并根据信息内容作出决策的认知能力,还具有情绪表达、共情、人际交往等社会行为能力,更具有自我反省等复杂的综合能力。人类的这些能力,决定了每一个个体都具有独特发展的过程和社会角色。从认知神经科学的角度看,人类所有的行为和心理活动都是由神经系统的功能决定的,尤其是大脑的功能决定。大脑是由“数十亿个”神经元组成,每个神经元又与数千个神经元相连,组成神经网络,这种复杂的神经网络造就了人类强大的认知能力^[1]。在过去的几十年中,认知神经科学对大脑的研究已经取得了跨越性的发展,发现了一些基本原理^[2],这些发现不仅对心理学、精神病学等领域产生了重大影响,而且还对教育、设计、管理等多个领域产生了重要影响。

2016年,中国科学院神经科学研究所、中国科学院脑科学与智能技术卓越创新中心等单位的科学家,在"Neuron"上联合发表了一篇题为"China Brain Project: Basic Neuroscience, Brain Diseases, and Brain-Inspired Computing"的论文,向全世界介绍了中国脑计划在基础神经科学、脑疾病和脑启发计算上的研究进展,这标志着中国脑计划进入了一个新的时期^[3]。随着中国脑计划的全面推进,认知神经科学与人机交互研究的融合,已经变得越来越有可能实现。

迄今为止,在人机交互研究领域,大多数研究人员将注意力集中在一些易于观察的外显行为指标上,比如操作反应时间、任务完成正确率、击键的速度、鼠标单击准确性、眼睛视线变化等^[4],很少有研究人员关注用户外显行为的神经活动规律与运作机制^[5]。近年来,随着认知神经科学的快速发展,该领域的技术和研究成果为人机交互研究人员提供了新的、揭开用户行为后面的认知神经机制的思路和方法,大大扩展了人机交互研究的领域,对人机交互研究的多个方面产生了深远影响。认知神经科学主要致力于探讨大脑与神经系统的功能及日常生活中人们外显行为的内在神经机制^[6]。具体到人机交互领域,认知神经科学的相关理论、研究思路和研究方法,可以帮助人机交互研究人员建立更准确、更强大的人类认知加工模型。这些模型可以使研究人员仅通过智能计算就可以评估人机交互的特点并预测用户的交互行为。此外,认知神经科学的研究方法将拓展人机交互研究人员的研究视野和研究领域,可以帮助人机交互研究人员探讨已有研究方法与工具无法精确研究的问题,比如

兴趣、满意度等。甚至在未来,认知神经科学的研究思路和方法还可以帮助人机交互研究人员通过开发与大脑直接接触的脑机接口设备,来真正缩小用户与智能外接设备之间的距离。

1 认知神经科学研究技术的发展

1.1 脑的基本知识

大脑是一个由多个子系统组成的复杂且精密的系统,每个子系统都高度专门化以完成特定任务。近几十年来,科学家们使用各种脑成像技术来探讨大脑的运作机制,基于已有研究成果,科学家已经构建起大脑详细的地形图,将大脑的不同区域与特定认知功能相关联^[1]。大脑主要分为大脑皮层和皮层下组织两个部分,皮层下组织在系统发育上较老,主要是与个人生命存活相关的基本功能区域,这些功能既包括呼吸、心跳、血压等重要方面,也包括记忆、决策等高级心理加工过程。大脑皮层是高度进化的脑组织,是人类脑组织中最大、最复杂的部分,既负责综合感觉、运动处理等复杂心理功能,也负责包括推理、计划、语言加工和模式识别等高级功能^[7]。

大脑皮层的左右半球功能存在一定的差异,比如大多数语言功能主要位于左半球,而右半球则更多与抽象和空间推理加工有关。已有多项研究表明,大脑皮层可以进一步划分为专门负责不同功能的单独区域,比如,头后部的枕叶区域主要用于视觉信息的处理;颞叶区域,大致沿着皮质的侧面和下部区域,涉及记忆、模式匹配、语言处理和听觉信息处理等;额叶皮层参与了多种功能,比如空间推理、注意、计划、决策、推理、复杂情感等^[7]。

1.2 脑成像技术的发展

大脑的每个部分都是由神经元组成的,神经元内部通过动作电位传导、神经元之间通过神经递质交换进行信息传递。在这个过程中,为了确保信息的顺利传递,神经元需要消耗更多的氧气和葡萄糖,这就导致相应的大脑激活区域的血流量增加^[8]。部分脑成像技术就是通过监控和记录脑内区域的血氧变化,来实现对大脑激活情况的监控,进而推断大脑加工外界信息或对各种刺激作出反应时的加工过程。使用脑成像技术,研究人员可以获得大脑结构像和完成任务过程中的功能像。通过进一步分析图像,研究人员可以推

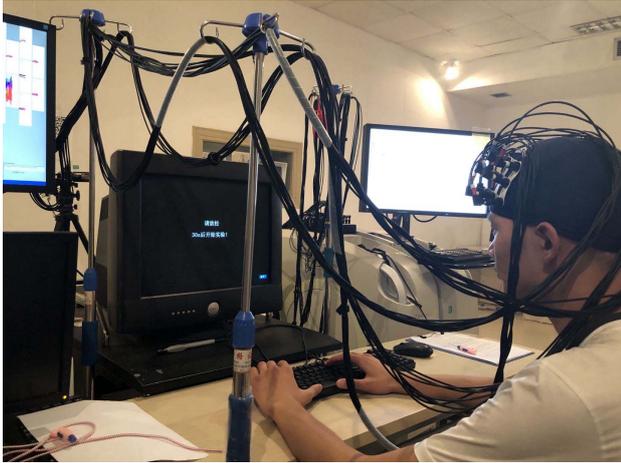


图3 近红外光谱成像系统

Fig.3 Functional near-infrared spectroscopy system

量局部神经元激活后氧合血红蛋白 (oxy-Hb) 和脱氧血红蛋白 (deoxy-Hb) 的浓度变化。基于与 fMRI 相似的生理机制, fNIRS 被认为是检测大脑层区域激活的可靠、有效方法^[16]。与 fMRI 技术不同的是, fNIRS 技术的最大优势是不需要严格控制实验环境, 环境要求很低, 允许被试在一定范围内自由活动, 也可以开展多人同步研究, 这就能满足多种环境下的人机交互研究, 因此是人机交互研究人员的理想选择之一^[17]。已有研究表明, fNIRS 已成功用于评估人机交互过程中的用户的心理状态^[18]。但是, fNIRS 仅能记录大脑皮层以下几毫米范围内的血氧变化情况, 无法探测深层脑组织的神经活动情况。不过, 由于人机交互研究所关注的心理加工过程大多数与大脑皮层有关, 例如执行控制和视觉空间加工等, 因此从这个角度讲, fNIRS 是人机交互的脑成像研究的最佳选择方法之一。

2 基于认知神经科学的人机交互研究

2.1 人机交互的认知神经基础

人机交互过程涉及的心理加工活动不仅多、而且相对比较复杂, 因此这个过程不仅涉及到大脑不同区域的机能, 而且也涉及到大脑不同区域之间的协同加工。认知神经科学的大量关于认知过程的研究, 为人机交互过程的研究提供了认知神经基础。

认知过程主要包括感知觉、注意、记忆和思维等过程。认知神经科学的研究表明, 视觉感知觉的大脑皮层主要是位于枕叶的初级视觉皮层 V1 和 V2、次级视觉皮层 V3 和 V4 等区域。视觉信息经由视觉神经通路传至 V1、V2 区后, 然后分成腹侧通路和背侧通路两条通路。腹侧通路是负责对物体及其细节产生完整而精细的视知觉, 即识别某物体是什么; 而背侧通路负责对视觉刺激的空间知觉, 即识别物体位于哪里。听觉信息主要传递到颞叶的初级听皮层和次级听皮层, 然后得到进一步的加工^[2]。

对于注意加工而言, 外侧颞叶和外侧额叶是注意调控中的重要区域。外侧颞叶主要参与根据已有知识对当前刺激所引起的注意进行调控, 外侧额叶主要负责加工当前刺激本身所引起的注意^[19]。根据 Fan 等人的观点, 注意网络分为警觉、定向和执行控制三个子系统^[20]。警觉是对即将出现的刺激做好反应准备, 涉及到的脑区有丘脑、额叶和顶叶; 定向主要是对空间位置和客体的选择, 涉及到的脑区有颞-顶联合区、额叶眼动区、上丘等区域; 执行控制主要是监控功能, 解决不同信息之间的冲突, 涉及的脑区有外侧前额叶和前扣带回等。

记忆是指获得的信息或经验在脑内贮存和提取的神经活动过程, 也是大脑中存储的知识和外界输入的信息之间的交互过程。已有研究发现, 前额叶、颞叶、杏仁核等参与了记忆过程。功能神经成像的研究表明, 事件记忆的编码过程与左侧前额叶的激活有关, 记忆的提取则与右侧前额叶的激活有关, 前额叶的背外侧区是工作记忆的最重要的脑区, 海马是记忆形成和长时记忆存储的主要脑区^[21]。

2.2 人机交互认知神经模型的发展

近年来, 随着可用性已不再是界面设计的唯一重要因素, 人机交互研究已经开始关注用户体验。人们对一些交互界面的兴趣日益浓厚, 不仅是因为这些产品可以支持用户有效地实现目标, 而且可以在交互过程中最大限度地提高用户的积极情感体验。已有研究表明, 用户倾向于使用或购买能够给自己带来积极情绪体验的产品^[22]。

早期的一些人机交互领域的研究中, 研究人员倾向于使用认知模型模拟来代替真实的人机互动, 进而减少经济成本和时间成本^[23], 这有点像工业和工程研究领域的模拟。这些认知模型是过去几十年以来, 心理学、工业设计、行为分析和人机交互等领域, 共同积累和总结出来的模型, 能够帮助研究人员在某些限定的领域内, 较好地模拟出用户的行为表现。通用的操作模式是, 采用既定的认知加工模型来预测某个用户 (或特定用户群体) 如何与交互界面进行互动并执行指定任务。但是, 也有不少研究人员对这些模型提出了批评, 他们认为, 使用这些模型时, 研究人员不能清晰地区分出大多数认知加工过程 (包括感觉、知觉、思维等), 却仅仅采用“如果……, 那么……”的假设规则, 这就会导致这些模型无法反映用户真正的心理加工过程^[24]。

同时, 由于人机交互过程具有非常典型的主观性和个体差异性, 因此, 传统的诸如问卷调查、自我报告、深度访谈等主观性很强的研究方法, 很难清晰区分出用户之间的体验差异。在具体的操作过程中, 这些研究方法要么在人机交互过程完成后使用 (事后测量), 要么需要中断正在进行的人机交互过程进行评

估（事中测量），这两种情形都容易出现归因错误和认知偏差。另外，这些研究方法也不能测量出用户认知活动随时间变化而变化的过程。而且，由于人类的自我内省能力有限，事后报告很难准确地提供人机交互过程的认知变化和情绪反应的信息，而且这个过程的部分行为和反应是内隐的、自主无法报告出来的^[25]，因此自主报告很可能无法真实揭示人机交互过程的用户认知加工和情绪反应。

为了弥补自主报告数据的不足，一些研究人员将行为记录法引入人机交互研究。这些行为观察和记录的方法（例如记录用户人机交互过程中任务执行的情况）是对自主报告数据的有益补充，可以在一定程度上反映用户交互过程的主观体验。然而与自主报告方法一样，行为方法无法检测到用户的内隐反应^[25]。此外，一些研究人员将心电图（ECG）、肌电图（EMG）、眼电图（EOG）或皮肤电活动（EDA）之类的心理生理学方法和指标引入研究，用来识别人机交互过程中用户的认知和情绪状态的变化^[14]。比如人机交互过程中，用户出现情绪体验后，心理生理方法立即就会检测出周围神经系统的电活动，用所测得的生理活动的不同维度（如效价和唤醒水平）来表征情绪反应，进而揭示和推断出用户的情绪状态。尽管心理生理学方法比自主报告法或行为记录法更适用于评估人机交互中的用户反应，但从外周神经系统测得的生理信息也是间接信息，因为情绪过程的主要加工过程和情绪状态的产生中枢都在大脑。因此，测量人机交互最有效的方法是通过记录大脑而非周围神经系统中的神经活动。

计算神经科学模型在一定程度上弥补了上述方法的缺陷。计算神经科学模型是对传统认知模型的发展和补充，不仅可以复演用户进行人机交互过程的认知加工，而且可以解释这些认知加工在大脑中的产生过程。一方面，基于认知神经科学的方法可以提供一些脑激活的基础数据，这些数据有助于评估、计算神经科学模型的理论假设与模型架构的科学性和可行性，进而有助于改进基于传统认知模型的设计。更重要的是，计算神经科学模型会在传统研究方法不擅长的领域充分发挥作用。例如，视觉感知是认知神经科学研究中最广泛的认知加工之一，但是，传统的认知模型在复演人类视觉信息加工方面的能力非常差。随着从认知神经科学角度对视觉感知的进一步深入研究，基于认知神经科学的视觉感知模型在理解人类加工视觉信息方面取得了很大的进步。例如，Jilk 等人从计算认知神经科学角度重新架构了视觉感知的认知模型，将视觉神经科学模型的功能与传统的认知模型相结合，形成一个新的模型，有助于人机交互研究人员进一步梳理相关问题^[24]。这种基于行为方法和认知神经科学方法的混合架构，是人机交互研究的认知建模方法的未来主要方向。

目前，已经有部分研究采用认知神经科学的思路和方法探讨人机交互领域的问题，由于这些方法可以比其他方法更能深层次理解人机交互过程的加工规律，因此取得了一系列标志性成果。例如，Ardenne 采用认知神经科学研究的思路和方法，探讨了支配个体奖励相关行为的大脑回路。功能性磁共振成像的结果表明，特定的脑区是奖励行为的关键脑区^[26]。对于人机交互而言，将该研究结果与神经成像技术结合，就可以用来识别人机交互过程中的用户愉悦水平和互动体验程度。

对于采用认知神经科学的方法开展人机交互而言，当前主要挑战是如何证明认知神经科学方法介入人机交互后所带来的价值，远远超过传统的行为研究中所获得的价值。一项研究采用认知神经科学的思路和脑成像方法来探讨人们如何感知计算机动画人物，这些动画人物的物理现实程度各不相同。研究表明，受试者将虚拟角色视为现实的倾向与已知发挥“心理作用”的大脑区域的激活相关。神经影像学方法的研究证据表明，用户将虚拟实体（例如化身）视为一个具有自主性的同伴，而不仅仅是一台没有情感的计算机^[27]。一些其他研究领域已经证明，认知神经科学的介入产生了巨大的价值，这预示着认知神经科学的研究思路和方法，应用于人机交互研究领域具有光明的前景。

2.3 基于认知神经科学的人机交互评估

视觉加工和记忆加工是人机交互研究的关键领域，同时也是认知神经科学研究中的两个重要领域，因此，基于认知神经科学的视觉加工模型和记忆加工模型，就特别适合迁移到人机交互研究领域。早在二十年前，Itti 等研究人员就利用脑成像技术构建了基于脑成像信息的视觉注意和记忆加工模型，并用这两个模型来预测视觉显示特性如何影响用户的感知和回忆，并初步建立起视觉注意的神经计算模型^[28]。该模型应用了一系列特定功能的过滤器，比如颜色、强度和方向，这些过滤器模拟了用户浏览交互界面过程中的视网膜水平和神经系统加工。对于一个给定图像而言，该模型会生成相应的显著性地图，该显著性地图会从量化角度，直观地反映出该图像的哪些区域最有可能吸引用户的视觉注意。

另外，该模型的一个目标，是调查交互界面上的视觉属性与界面操作人员的“情境意识”之间的关系。情境意识是指一个人感知和理解不断变化的环境并预测未来可能发生的事件的能力。具体到人机交互研究中，情境意识就是用户感知和理解人机交互界面的特点，并根据交互界面实时提供的信息，预测界面的变化模式并作出相应的反应。在这个过程中，用户通过记忆保存当前人机交互情境中不断更新的界面信息，进而根据记忆中的多个界面信息完成与当前界面的信息交互。

一些研究试图将个体的认知绩效、神经影像和人机交互界面的属性建立联系,从而提供界面属性与大脑活动之间的直接联系。有研究探讨了视觉显著性是如何影响记忆过程的。具体研究要求被试先记住二维地图上既定的几个图标的位置,然后在测试地图中增加更显著的图标(更大、更鲜艳),检查这种更大的显著图标是否与空间回忆误差低有相关^[29]。类似的研究很多,主要是从认知神经科学角度探讨视觉注意和记忆系统在大脑中的运作模式。对于人机交互的设计者而言,基于这些研究结果,就可以适应性修改人机交互界面的实时显示内容,进而提高操作人员的工作效率。

3 脑机接口与人机交互研究

3.1 脑机接口的发展

随着认知神经科学的发展,其与信息科学、计算机科学及其他工程科学之间的联系变得越来越紧密,彼此间的互动变得越来越活跃。这种跨学科的融合,就促成了认知神经科学与人机交互研究相融合的一个典型新生领域:脑机接口(brain-computer interface, BCI)。脑机接口是指人脑与外部设备间建立的直接连接通路,实现人机之间的信息交互^[30]。在过去的十几年中,脑机接口领域的研究大大促进了可植入大脑芯片的研发和应用,该芯片可以将用户的神经冲动转

化为可以控制外部设备(如机械手、机械臂)的信号^[31]。尽管脑机接口技术对截肢患者或其他残疾人而言是一个了不起的进步,但对于健康人群来讲,不太可能会为了简单的人机交互而主动进行危险的脑部手术^[32]。但是近十年来,随着非侵入式神经记录技术的发展,越来越多的研究尝试使用无创性的神经电生理记录技术(EEG)^[33]或脑成像技术(如近红外光谱脑成像技术)^[18],作为神经活动信号的记录设备与其他外部设备连接,并基于此神经活动信号直接控制外部设备。这些非侵入性技术可以完全避免可植入技术的风险,并为基于健康群体的人机交互研究提供便捷、可行的途径。

对于从事人机交互研究的人员而言,应该密切关注脑机接口对该领域所带来的机遇。需要注意的是,基于认知神经科学的人机交互研究与基于认识神经科学的脑机接口研究,在理论基础、研究思路、具体方法等方面存在显著的不同^[34]。脑机接口领域的研究人员并不是主动诱发用户大脑产生某种信号并以此直接控制计算机及外部设备系统,而是在用户实际执行某个特定任务时,通过多种可行的方式记录用户的脑激活模式,并基于此建模用户认知神经加工模式,然后基于此模式建立交互信息加工系统,最终实现基于脑机接口的人机交互^[35]。这种方法类似于通过生理传感器测量和反馈个体的情绪状态^[36]。脑机接口设备见图4。



图4 脑机接口设备
Fig.4 Brain-computer interface devices

3.2 脑机接口的认知基础

在传统的研究方法条件下,研究人员擅长于使用各种仪器设备采集用户的行为信息来推断或模拟用户的认知加工状态。典型的做法是,研究人员通过观察和记录用户的外显行为变化模式,进而基于已有研究确定的内在逻辑来推断用户的认知过程和加工深度,需要注意的是,人们根据界面提供的信息实时进行互动的能力是人类特有的能力,尽管研究人员尝试构建可以模拟类似行为的计算机模型,可是当前的理论模型和硬件技术等方面,还是达不到研究人员所期望的理想水平,无法精细地确立每个用户外在表现出来的细微动作与其内部认知加工状态之间的关系。但是通过脑成像技术,研究人员可以直接测量用户认知

加工过程中的脑激活模式,这在一定程度上可以推动计算机对用户认知加工过程的建模^[37]。在一些已有的研究中,研究人员将用户的认知状态作为人机交互界面设计的重要评估指标,并基于认知状态的变化信息来对人机交互界面进行改进^[38]。实际上,就像鼠标和键盘是直接的可操纵的界面一样,大脑成像也可以通过感知计算界面来改变下一代的人机交互模式,或许这会从根本上颠覆和更新传统的人机交互的研究体系^[39]。

早期的认知神经科学研究主要基于脑损伤病人开展研究。通过研究由脑损伤导致的认知功能选择性丧失,研究人员能够理解特定大脑部位负责或调节的不同认知功能。随着脑成像技术的发展,研究人员采用不同类型群体之间的对照,来确定特定认知活动所

引发的特定脑区激活,但是这种方法的缺点是,由于实验室实验设计的需要,用户所完成的认知活动基本上都是以孤立的方式存在,并且是在精心安排、严格控制的环境中完成,因此,这种研究的生态效应比较低,研究结果的适用范围比较小。

同时需要注意的是,用户在现实世界人机交互过程中的认知活动引起的大脑激活模式,与这种隔离性的、实验室严格控制的认知活动所引起的大脑激活模式,应该存在一定差异。因此,一些研究人员已经开发出适合在实验室外的自然环境中使用的可穿戴式的脑成像系统^[17]。这些可穿戴式的脑成像设备可以与自然环境中已有的传感器相结合,更加便利地将自然环境中的大脑活动与引发这种活动的任务联系在一起。需要强调的是,使用这种方法,研究人员不仅能够测量比实验室中构建的场景更为复杂情景中的认知活动,而且还能够研究那些耗时较长的认知加工过程。

3.3 脑机接口与认知状态评估

已有大量研究表明,用户执行某些任务时的外显认知活动强度与其脑激活模式呈中高强度相关,因此研究人员使用脑成像信号评估了用户在一些特定任务上的认知努力程度,并建立了相应的模型。在这些模型的可适用的范围内,只要按照要求设置并良好控制各种条件,就可以将完成不同认知任务时的脑激活模式用于评估人机交互过程和用户特征分析^[22]。如果这种脑激活与认知加工相结合的模型得到进一步的证实,那么研究人员就可以在更广泛的情境下使用该方法来开展人机交互研究。

到目前为止,研究人员在用户操作效能指标(例如任务完成时长、操作错误率)方面取得了较好的成果,也在使用行为指标和生理指标评估认知加工过程方面进行了探索^[40]。比如一些研究结果发现,可以将鼠标移动和眼动追踪作为注意的度量指标,将心率和皮肤电反应作为觉醒度和操作疲劳的度量指标^[41]。但是,需要注意的是,这些方法都是间接测量,且都是从逻辑层面推断用户的认知负荷大小,没有真正实现了对认知加工过程的直接测量。随着认知神经科学方法与人机交互研究的结合,就有希望开发出一种更直接的、量化的人机交互过程中的认知加工的评估方法。

如果不断完善这个设想,并在实际研究过程中进行设计、测试、评估和再设计之间的迭代,那么就可以设计出基于用户实时认知加工的脑激活状态变化的自动适应界面。这个新设想,可以为用户提供基于自身认知与神经变化规律的、自适应的、让人产生愉悦体验的人机交互界面。实际上,研究人员已经在这方面投入了大量精力,以寻找最佳的人机交互过程,包括显示空间、信息输入、交互加工过程、应用环境等。

一项采用脑成像技术的研究,探讨了超文本标记语言和级联样式表的自适应式网页交互机制,以便根据用户的特征,实时推送适应于该用户的特定页面布局和内容^[42]。另一项研究使用机器学习技术,对用户、周围环境和任务进行了建模,以此探讨在用户进行人机交互过程中,究竟在何时呈现信息提示,可以最大程度减少对用户交互过程的打扰^[43]。

在基于脑机接口的用户自适应人机交互中,还需要注意的是,在明确当前认知任务特点的前提下,必须考虑当前用户认知资源的有限性。确定好用户认知资源的大小后,脑机接口就可以根据用户认知资源的大小和当前的任务特征调整信息流,这样可以避免基于脑机接口的人机交互过程中,信息超负荷或者信息过少而带来的不良体验。另外,还需要清楚人机交互所涉及的认知加工过程是否共用一个认知资源。比如,言语加工和空间加工是由大脑的不同区域负责,这些任务的加工过程在很大程度上是独立的,因此他们的共用认知资源就比较少^[44]。也就是说,在具体的人机交互过程中,当一个人在言语加工任务上超负荷并且无法理解任何其他言语信息的情况下,其空间加工任务基本不受影响。通过这种方法,研究人员就可以大致了解不同任务、不同通道下认知资源的分配模式,从而实现最大的通信带宽。在具体的实施过程中,如果用户在言语加工任务上超载,那么后续要呈现的言语信息可以转换为其他形式(比如空间模态)的信息进行呈现,反之亦然。还有一种处理情况,当用户在完成任务过程中认知超负荷时,脑机接口系统就通过获取的大脑激活信息得知这种情况,那么系统就自动调整信息交互量,显示较少的信息,直到用户有足够的认知资源来处理当前信息。

4 结语

随着中国脑计划的全面启动,各行各业都会面临全面而深刻的影响。同时,随着智能时代的到来,人机交互是企业、设计人员、科研人员、用户等都需要考虑的一个重要问题。目前,认知神经科学的发展已经为人机交互研究提供了研究思路、研究范式和研究技术上的全面支持。可以预期,在未来几年里,认知神经科学与人机交互将会深度融合,产生出更多高价值、高影响力的成果。

参考文献:

- [1] 蒲慕明,徐波,谭铁牛. 脑科学与类脑研究概述[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(7): 725-736.
PU Mu-ming, XU Bo, TAN Tie-niu. Brain Science and Brain-Inspired Intelligence Technology-An Overview[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(7): 725-736.

- [2] 李澄宇, 杨天明, 顾勇, 等. 脑认知的神经基础[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(7): 755-764.
LI Cheng-yu, YANG Tian-ming, GU Yong, et al. Neural Basis of Brain Cognition[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(7): 755-764.
- [3] PU M M, DU J L, IP N, et al. China Brain Project: Basic Neuroscience, Brain Diseases, and Brain-Inspired Computing[J]. Neuron, 2016, 92(3): 591-596.
- [4] 邓胜利, 张敏. 基于用户体验的交互式信息服务模型构建[J]. 中国图书馆学报, 2009, 35(1): 65-70.
DENG Sheng-li, ZHANG Min. Construction of Interactive Information Service Model Based on User Experience[J]. Journal of Library Science in China, 2009, 35(1): 65-70.
- [5] ZHU D, BIEGER J, GARCIA M G, et al. A Survey of Stimulation Methods Used in SSVEP-Based BCIs[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2010(5): 1-12.
- [6] 徐波, 刘成林, 曾毅. 类脑智能研究现状与发展思考[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(6): 793-802.
XU Bo, LIU Cheng-lin, ZENG Yi. Research Status and Developments of Brain-inspired Intelligence[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(6): 793-802.
- [7] 刘勋, 吴艳红, 李兴珊, 等. 认知心理学: 理解脑、心智和行为的基石[J]. 中国科学院院刊, 2011(6): 620-629.
LIU Xun, WU Yan-hong, LI Xing-shan, et al. Cognitive Psychology: Foundations for Understanding Brain, Mind, and Behavior[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2011, 26(6): 620-629.
- [8] RAMNANI N, OWEN A M. Anterior Prefrontal Cortex: Insights into Function from Anatomy and Neuroimaging[J]. Nature Rev Neuroscience, 2004, 5(3): 184-194.
- [9] 苏淞, 唐红红. 认知神经科学在神经营销中的应用[J]. 北京工商大学学报(社会科学版), 2017, 32(1): 24-33.
SU Song, TANG Hong-hong. The Application of Cognitive Neuroscience in Neuromarketing[J]. Journal of Beijing Technology and Business University (Social Sciences), 2017, 32(4): 24-33.
- [10] 徐宝国, 何乐生, 宋爱国. 基于脑电信号的人机交互实验平台的设计和使用[J]. 电子测量与仪器学报, 2008, 22(1): 81-85.
XU Bao-guo, HE Le-sheng, SONG Ai-guo. Design and Application of Human-machine Interactive Experimental Platform Based on EEG[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2008, 22(1): 81-85.
- [11] VASILJEVIC G A M, MIRANDA L C D, MENEZES B C D. Mental War: an Attention-Based Single/Multiplayer Brain-Computer Interface Game[C]. In International Conference on Computational Science & Its Applications, 2018.
- [12] CURRAN E A, STOKES M J. Learning to Control Brain Activity: a Review of the Production and Control of EEG Components for Driving Brain-computer Interface (BCI) Systems[J]. Brain & Cognition, 2003, 51(3): 326-336.
- [13] D'ESPOSITO M, ZARAHN E, AGUIRRE G K. Event-related Functional MRI: Implications for Cognitive Psychology[J]. Psychological Bulletin, 1999, 125(1): 155-164.
- [14] FAIRCLOUGH S H. Fundamentals of Physiological Computing[J]. Interacting with Computers, 2009, 21(1): 133-145.
- [15] 胡飞, 钱程. 功能性近红外光谱技术前沿进展及其应用于用户体验度量的可能[J]. 设计艺术研究, 2019, 9(1): 7-14.
HU Fei, QIAN Cheng. Advances in Functional Near Infrared Spectroscopy and Its Possibility for Measuring the User Experience[J]. Design Research, 2019, 9(1): 7-14.
- [16] GIROUARD A, SOLOVEY E T, HIRSHFIELD L M, et al. Distinguishing Difficulty Levels with Non-invasive Brain Activity Measurements[J]. Human-Computer Interaction, 2009(3): 5726.
- [17] STRANGMAN G, CULVER J P, THOMPSON J H, et al. A Quantitative Comparison of Simultaneous BOLD fMRI and NIRS Recordings during Functional Brain Activation[J]. Neuroimage, 2002, 17(2): 719-731.
- [18] LLOYDFS, BLASI A, ELWELL C E. Illuminating the Developing Brain: the Past, Present and Future of Functional Near Infrared Spectroscopy[J]. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 2010, 34(3): 269-284.
- [19] BUSCHMAN T J, MILLER E K. Top-Down Versus Bottom-Up Control of Attention in the Prefrontal and Posterior Parietal Cortices[J]. Science, 2007, 315(20): 1860-1862.
- [20] FAN J, MCCANDLISS B D, SOMMER T, et al. Testing the Efficiency and Independence of Attentional Networks[J]. Journal of Cognitive Neuroscience, 2002, 14(3): 340-347.
- [21] OTTEN L J. Task-dependency of the Neural Correlates of Episodic Encoding as Measured by fMRI[J]. Cerebral Cortex, 2001, 11(12): 1150-1160.
- [22] CHEN C M, WU C H. Effects of Different Video Lecture Types on Sustained Attention, Emotion, Cognitive Load, and Learning Performance[J]. Computers & Education, 2015, 80: 108-121.
- [23] AFERGAN D, PECK E M, SOLOVEY E T, et al. Dynamic Difficulty Using Brain Metrics of Workload[J]. Proc Acn Chi Acn Press, 2014(4): 3797-3806.
- [24] JILK D J, LEBIERE C, O'REILLY, et al. SAL: an Explicitly Pluralistic Cognitive Architecture[J]. Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, 2008, 20(3): 197-218.
- [25] MINNERY B S, FINE M S. FEATURE Neuroscience and the Future of Human-computer Interaction[J]. Interactions, 2009, 16(2): 70-75.
- [26] ARDENNE K, MCCLURE S M, NYSTROM L E, et al.

- BOLD Responses Reflecting Dopaminergic Signals in the Human Ventral Tegmental Area[J]. *Science*, 2008, 316(7): 1264-1267.
- [27] CHAMINADE T, HODGINS J, KAWATO M. Anthropomorphism Influences Perception of Computer-animated Characters Actions[J]. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2007, 2(3): 206-216.
- [28] ITTI L. A Model of Saliency-based Visual Attention for Rapid Scene Analysis[J]. *IEEE Trans*, 1998(20): 178.
- [29] PARASURAMAN R, WILSON G F. Putting the Brain to Work: Neuroergonomics Past, Present, and Future[J]. *Human Factors: the Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2008, 50(3): 468-474.
- [30] AHN M, LEE M, CHOI J, et al. A Review of Brain-Computer Interface Games and an Opinion Survey from Researchers, Developers and Users[J]. *Sensors*, 2014, 14(8): 14601-14633.
- [31] SCHALK G, MILLER K J, ANDERSON N R, et al. Two-dimensional Movement Control Using Electro-corticographic Signals in Humans[J]. *Journal of Neural Engineering*, 2008, 5(1): 75-84.
- [32] VELLISTE M, PEREL S, SPALDING M C, et al. Cortical Control of a Prosthetic Arm for Self-feeding[J]. *Nature*, 2008, 453(8): 1098-1101.
- [33] LIU Y, WANG J, YIN E, et al. A Tactile ERP-Based Brain-Computer Interface for Communication[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2018(9): 1-9.
- [34] BIRBAUMER N, STREHL U, HINTERBERGER T. Brain-Computer Interfaces for Verbal Communication[J]. *Manuel De Gestion Des Aires Protégées Dafrique Francophone*, 2004, 55(4): 228-232.
- [35] BADCOCK N A, PREECE K A, DE W B, et al. Validation of the Emotive EPOC EEG System for Research Quality Auditory Event-related Potentials in Children[J]. *Peer J*, 2015(3): 907.
- [36] SANGTAE A, KIWOONG K, CHAN J S. Steady-State Somatosensory Evoked Potential for Brain-Computer Interface-Present and Future[J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2016(9): 213.
- [37] NICOLAS A L F, GOMEZ G J. Brain-computer Interfaces, a Review[J]. *Sensors*, 2012, 12(2): 1211-1279.
- [38] 牛亚峰, 薛澄岐, 王海燕, 等. 复杂系统数字界面中认知负荷的脑机制研究[J]. *工业工程与管理*, 2012, 17(6): 72-75.
- NIU Ya-feng, XUE Cheng-qi, WANG Hai-yan, et al. The Preliminary Exploration and Study on Brain Mechanism of Cognitive Load in the DHCI of Complex System[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2012, 17(6): 72-75.
- [39] PAVITRAKAR V R. Survey of Brain Computer Interaction[J]. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2013, 2(4): 1647-1652.
- [40] 李金波, 许百华. 人机交互过程中认知负荷的综合评测方法[J]. *心理学报*, 2009, 4(1): 35-43.
- LI Jin-bo, XU Bai-hua. Synthetic Assessment of Cognitive Load in Human-Machine Interaction Process[J]. *Acta Psychologica Sinica*, 2009, 41(1): 35-43.
- [41] BELKACEM A N, SHIN D, KAMBARA H, et al. Online Classification Algorithm for Eye-movement-based Communication Systems Using Two Temporal EEG Sensors[J]. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2015, 16: 40-47.
- [42] CHEN C M, HUANG S H. Web-based Reading Annotation System with an Attention-based self-regulated Learning Mechanism for Promoting Reading Performance[J]. *British Journal of Educational Technology*, 2014, 45(5): 959-980.
- [43] PODOPRIKHINDA. Implementation of the "Labyrinth" Game by Brain-computer Interface Tools[J]. *Computational Mathematical and Modelling*, 2015, 26(4): 555-565.
- [44] BADDELEY A. Working Memory: Theories, Models, and Controversies[J]. *Annual Review of Psychology*, 2012, 63: 1-29.