



智能时代人机交互的一些思考

范俊君^{1,2,3}, 田丰^{1,2,3*}, 杜一⁴, 刘正捷⁵, 戴国忠¹

1. 中国科学院软件研究所人机交互北京市重点实验室, 北京 100190

2. 中国科学院软件研究所计算机科学国家重点实验室, 北京 100190

3. 中国科学院大学计算机与控制学院, 北京 100049

4. 中国科学院计算机网络信息中心, 北京 100190

5. 大连海事大学信息科学技术学院, 大连 116026

* 通信作者. E-mail: tianfeng@iscas.ac.cn

收稿日期: 2017-11-03; 接受日期: 2018-01-04; 网络出版日期: 2018-02-27

国家重点研发计划 (批准号: 2016YFB10011405)、国家自然科学基金 (批准号: 61232013, 61422212, 61402435, 61572479) 和中国科学院前沿科学重点研究计划 (批准号: QYZDY-SSW-JSC041) 资助项目

摘要 在信息技术迅猛发展的背景下, 人工智能的爆发及在诸多行业的成功应用再次引发人们对计算机全方位为人类服务的美好想象. 然而, 作为人与计算机之间信息沟通的桥梁和以人为中心指导系统开发的方法论, 人机交互没有得到应有的同步发展, 其瓶颈效应日益彰显. 究其原因, 可以归纳为以下两点: 一是没有吸取好历史的发展经验; 二是智能时代下应用场景的变化导致新的需求, 对人机交互提出了巨大的挑战. 本文回顾了人机交互的发展历史, 重点讨论了人机交互的发展模式、心理学模型、交互界面、交互设计原则和研究框架等多个核心问题, 并总结了当前人机交互出现的重要思想理论, 提出在智能时代下对人机交互未来发展必要的讨论和思考.

关键词 人机交互, 用户界面, 心理学模型, 研究框架, 人工智能

1 引言

作为人类发明的一种高级工具, 计算机从诞生发展到现在, 对人们的工作和生活都产生了深刻的影响. 人机交互技术作为人与计算机之间信息交流的接口和以人为中心指导系统开发的方法论, 对人和计算机的发展都起着非常重要的作用. 对人机交互的广泛研究, 提供了人们对人的交互意图和相应的生理、心理限制以及相关知识的描述, 发展交互技术, 帮助人们完成以前无法完成的任务. 同时, 人机交互的另一个主要研究目的是提供以人为中心的系统设计方法论, 使系统更好满足用户功效性和情感性的需求, 提高用户与计算机之间的交互质量和用户体验^[1].

在智能时代背景下, 随着计算机技术日益广泛地融入人类生活各个领域, 人机交互也越来越无处不在、无时不在. 移动互联网的普及使得人们可以时刻在线; 触屏交互技术使各个年龄段的人都可以

引用格式: 范俊君, 田丰, 杜一, 等. 智能时代人机交互的一些思考. 中国科学: 信息科学, 2018, 48: 361–375, doi: 10.1360/N112017-00221
Fan J J, Tian F, Du Y, et al. Thoughts on human-computer interaction in the age of artificial intelligence (in Chinese). Sci Sin Inform, 2018, 48: 361–375, doi: 10.1360/N112017-00221

无障碍使用计算机; 虚拟现实的兴起使人们可以随时沉浸到数字世界; 而人工智能的突破则使机器能更好地理解人的意图, 满足人的需求. 然而, 人机交互技术并没有因为信息技术所取得的成就而得到同步发展, 目前人与计算机的主流交互方式仍然是基于“单手单眼”的传统模式, 这使得人机交互成为了人类和计算机共同发展的瓶颈. 究其原因, 主要可以归纳为两个方面: 一是没有充分总结吸取人机交互历史的发展经验, 从历史中寻找发展规律; 二是智能时代下应用场景的变化带来新的问题, 传统的人机交互思想理论无法很好地适应新的需求, 对人机交互提出了巨大的挑战.

为了应对智能时代的挑战, 把握智能时代人机交互的机遇, 实现人的智能与机器智能的共同发展. 本文首先回顾了人机交互的发展历史, 然后重点概述了人机交互的核心问题和在智能时代需求下产生的新理论思想. 最后, 对人机交互的新定义、从人机交互到人机共生、人机交互与人工智能的关系等问题提出了思考和讨论.

2 人机交互发展历史

在 1960 年现代人机交互学科的开创者 Licklider^[2] 提出人机共生 (man-computer symbiosis) 的概念, 认为人应该和计算机进行交互. 1992 年, 国际计算机学会 (association for computing machinery, ACM) 下的人机交互兴趣小组 (special interest group on computer-human interaction, SIGCHI) 把人机交互定义为一门对人类使用的交互式计算机系统进行设计、评估和实现, 并对其所涉及的主要现象进行研究的学科^[3]. 1999 年美国总统顾问委员会报告中将“人机交互和信息处理”列为 21 世纪信息技术基础研究的 4 个主要方向之一. 2007 年美国国家科学基金 (national science foundation, NSF) 在其信息和智能系统分支 (information and intelligent systems, IIS) 中把以人为本的计算列为 3 个核心技术领域之一, 其具体主题包含多媒体和多通道界面、智能界面和用户建模、信息可视化以及高效的以计算机为媒介的人人交互模型等. 同年, 欧盟第 7 框架计划中也包含了自然人机交互的内容. 从 2012 年开始, ACM 在计算机学科领域分类系统中把人机交互列为计算机学科重要分支领域, 标志着人机交互在计算机学科中开始占据重要位置. 2016 年中国国家自然科学基金在《国家自然科学基金“十三五”发展规划》中把人机交互列为重点支持的课题.

从人机交互相关的文章数量来看, 从 1980 年的 74 篇增长到了 2014 年的 11165 篇. 其中专注于人机交互的会议有 100 个, 期刊有 25 个¹⁾. 参与研究的单位包括了国内外的许多知名大学和研究机构, 例如 Massachusetts Institute of Technology、Carnegie Mellon University、Stanford University、北京大学、清华大学、Microsoft 研究院、Google 研究院、中国科学院软件研究所等.

计算机发展的过程, 也是人机交互发展的过程. 计算机与人的交互方式从无交互到命令语言交互, 再发展到现在占据主流的图形交互, 已经具有直接操作和“所见即所得”的特点. 图形用户界面的产生使得计算机成为人人可以操作的工具, 使 Bill Gates “每个人有一台电脑”的理想成为现实. 因此, 可以说是图形用户界面造就了个人计算机时代的辉煌.

在图形用户界面时代, 人机交互系统的研究可以简约看作是模型、范式和开发平台的研究, 在近三十年的发展中取得了不菲的成就. 但是这些技术的核心思想和方法大都是在 20 世纪六七十年代提出和发展的^[4]. 在多媒体、多通道、虚拟现实、移动计算和人工智能迅速发展的智能时代, 计算机的处理速度和性能仍然在迅猛地提升. 虽然计算机硬件技术已经不是障碍, 但是用户使用计算机的交互能力并没有得到相应的提高, 其中一个重要原因就是缺少与新交互需求相适应的、高效自然的人机交

1) <http://www.hcibib.org/>.

互界面,缺少成熟统一的能满足当代人机交互需求的交互技术^[3]。同时,要完成智能时代对人机交互提出的要求和挑战,一些阻碍当代人机交互发展的理论问题和技术问题需要得到根本性的解决。其中理论问题包括认知模型、分布式认知理论、基于场景上下文的知识表示、人机交互中新的理论模型研究、全球知识经济中的人机交互等,技术问题包括用户界面工具、无处不在的交互式计算、社会半透明的人机交互、人机协同设计的交互技术、支持创新工程的交互技术等。

3 人机交互核心问题

对一个领域中知识的掌握蕴含着对该领域中历史的理解和认同。通过对人机交互发展历史和研究成果的总结,本文归纳出人机交互发展的若干核心问题,包括发展模式、心理学模型、交互界面和研究框架。

3.1 发展模式

从人机交互历史的发展规律来看,人机交互的发展模式可以归纳为技术的革新、范式的变迁、关键人和事件三者之间的关系。如图1所示,技术的革新导致范式的变迁,范式的变迁产生关键的人和事件;而关键的人和事件实现了范式的变迁,范式的变迁又进一步促进技术的革新。伴随这一过程的结果是人机交互技术从概念提出到研究实现,再走向应用。首先,从技术的更新和范式变迁的关系来看,技术的革新导致当前范式已经不能满足技术发展的需求,因此对范式的变迁提出了要求,新范式的出现如果满足了技术发展的需求,又会进一步促进技术的革新。从范式的变迁和关键的人和事件的关系来看,新范式的需求需要关键的人和事件来产生和实现。

20世纪初第二次工业革命完成后积累的大量的信息数据需要处理,需要的运算能力远远超出了个体人类大脑处理能力的极限。1945年,Bush^[5]提出Memex,展望了一种具有强大的信息采集、信息存储、信息检索的功能并配有一系列如显示器、照相机等实现功能的其他外部设备的系统。次年,标志现代计算机诞生的ENIAC在美国公诸于世。

随着计算机计算能力的发展,人与计算机的信息交流成了阻碍计算机继续发展的瓶颈。1963年,Sutherland^[6]实现了Sketchpad,使用图形化的方法与计算机进行交互,对人机交互和图形交互界面具有启蒙作用。1964年,Douglas C. Engelbart发明了鼠标,开启了个人电脑和图形用户界面的黄金时代^[7]。

在Moore定律的推动下单位计算成本急剧下降,人类随时随地使用计算机成为了迫切的需求。在1977年,Kay等^[8]提出一种平板电脑Dynabook,展现了一种移动的计算设备,可以认为是现在平板电脑和手机的雏形。1991年,Weiser^[9,10]提出普适计算的概念,把计算机嵌入到各种类型的设备中,建立一个将计算和通信融入人类生活空间的交互环境,从而极大地提高个人的工作以及与他人合作的效率。

在计算机发展的过程中,范式的变迁起着关键的作用,可以说是范式的变迁引导着人机交互的发展。例如WIMP(window, icon, menu, pointing)范式的出现使图形用户界面的需要得到了满足,极大促进了图形用户界面发展和繁荣,创造了个人计算机时代的辉煌。但是随着计算能力和交互场景的发展,WIMP界面无法满足日益发展的交互需求,存在着“桌面”隐喻、使用感知通道有限、输入/输出带宽不平衡等问题,这些问题制约了人机交互的发展,无法适应普适计算下的交互场景。

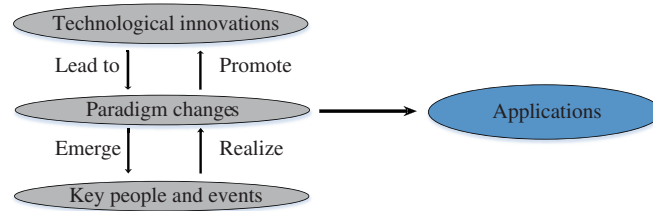


图 1 (网络版彩图) 技术革新、范式变迁、关键人和事件的关系

Figure 1 (Color online) Relationship among the innovation of technology, the change of paradigm, and key people and events

为突破这种限制, 需要新的范式来满足新技术的需求. 一些学者提出 Post-WIMP^[11] 和 Non-WIMP^[12] 的概念, 力图突破图形用户界面限制, 满足新应用场景, 使交互过程更为自然. 例如针对笔交互场景的 PIBG 范式 (physical object, icon, button, gesture)^[13], 面向普适计算交互场景的实物用户界面 (tangible user interface)^[14], 基于可控变形材料的基原子交互界面 (radical atom)^[15] 等. 这些新范式正在推动着人机交互向前发展, 激发未来的研究.

3.2 心理学模型

在人机交互研究中, 心理学模型用于预测人类用户是如何与计算机系统进行交互. 通过对人类交互行为的预测, 可以指导交互系统设计者设计出更加高效、友好的人机交互界面^[16].

为指导人机交互中的认知建模工作, Card 等^[17] 提出著名的心理学认知模型框架, 其中包含人类处理器模型 (the model human processor, MHP) 和 GOMS (goals, operations, methods, selection rules) 模型. MHP 模型描述了人类信息处理系统的系统架构和量化参数. 它的主要思想是将人比喻成计算机, 把人脑处理信息的方法看作是计算机一样对外界信息进行加工. 在人与计算机的交互过程中, 把人的认知模型简化成感知系统、运动系统和认知系统. GOMS 模型是关于用户在与计算机系统交互过程中使用知识和认知过程的模型, 可以用来预测用户会用什么方法和操作, 并且可以计算熟练用户在一定的界面设计条件下所消耗的时间. 在很长一段时期里, GOMS 模型在人机交互界面的设计和评价上体现出非常重要的价值.

从心理学模型的描述能力来看, GOMS 模型最根本的局限性在于更多关注熟练用户在执行具体操作时的感知运动过程, 而忽略了高层信息加工中的认知处理过程. 为了解决这些问题, 大量的研究者在 GOMS 框架下进行了各种新的尝试. 任务-动作语法模型 (task-action grammar, TAG) 用来描述用户在成功处理并执行任务时大脑所需要掌握并处理的规则, 为用户掌握任务时所需付出的学习代价提供了良好的量化基础^[18]. SOAR 模型能够解决非熟练用户的行为建模与预测问题, 能够就用户发现僵局的时间、为打破僵局而查找解决策略的时间以及找到解决方案前所需消耗的步骤提供合适的判断细节^[19]. ACT-R 是一种严格从认知基础理论出发的认知框架, 它对人类大脑中的认知和感知操作进行了基本元素的定义, 用不可分的认知操作元素和相应的构成框架对人的认知行为进行建模, 因此在认知研究中具有相当强大的描述和预测能力^[20].

随着人机交互研究的关注点越来越倾向于多通道、多任务的自然交互场景, 多媒体学习的认知理论研究成果表明, 视觉通道和听觉通道的信息融合要优于单独的视觉通道和听觉通道^[21]. EPIC 模型把人类感知和运动处理方面的关键因素整合到其认知理论框架中, 对相应机制在人类行为中的影响进行建模, 具体到了交互常用的眼、耳、手等多通道的人类感知和运动系统, 还包括了注意力、工作记忆、

大脑处理规则等认知系统的相关描述,为复杂的多通道多任务场景建模提供了比较完整的可计算、可运行的基础描述^[22].

以上所述的 MHP, GOMS, SOAR, ACT-R, EPIC 等心理学模型都能够用来对人类的交互操作任务进行认知心理学建模. 更容易理解、更加准确、可计算的心理学模型的发展,能够推动更加严谨的认知理论的新发展. 具体到人机交互的实践中,心理学模型可以在如下两个方面体现其作用:一是从心理学模型入手,去发现交互过程中的关键现象;二是利用心理学模型实现对人类用户交互任务的建模和预测.

3.3 交互界面

用户界面 (user interface, UI) 包括支持人与机之间交互的软件和硬件系统,是人机交互系统的重要组成部分^[23]. 用户界面发展到现在经历了 3 个主要时代,分别是批处理界面 (batch interface, BI)、命令行界面 (command line interface, CLI) 和图形用户界面 (graphical user interface, GUI). BI 是计算机刚刚出现时使用的用户界面,通过纸条打孔编码的方式进行输入,也被称作“无交互”的用户界面,是在计算机的计算能力低下、生产成本高昂情况下的无奈之举,并且出错成本非常高,使用体验极差. 在 CLI 中,用户通过键盘和一系列编码进行输入. 但是这些编码输入命令的语法严格并且响应范围有限,使用前需要学习专业的知识,因此只有专业人员才能够操作. 受益于鼠标的发明,人机交互进入 GUI 时代. GUI 依靠隐喻来与屏幕上的内容或对象进行交互,用户可以更容易地学习鼠标的移动和动作,更多地探索界面. 例如,“桌面”和“拖动”是视觉界面的隐喻,最终被翻译成计算机的严格的编码语言来执行.

随着新的交互场景和交互技术的出现,GUI 已经无法满足新一代交互的需求了,因此更加自然直观,更为人性化的自然用户界面 (natural user interface, NUI) 被认为是下一代交互界面的主流. 在 NUI 界面下,用户只须以最自然的交流方式(如自然语言和肢体动作)来与计算机交互,与计算机交流就如同和一个真实的人交流一样. 自然用户界面时代,键盘和鼠标等将会逐渐消失,取而代之的是更为自然、更具直觉性的科技手段,如触摸控制、动作控制、自然语言控制等.

用户界面研究涉及界面设计、界面开发和界面评估 3 个部分,其中包含隐喻 (metaphor)、可见性 (affordance)、界面范式 (paradigm) 和用户体验 (user experience) 4 个基本元素,如图 2 所示.

隐喻是把用户界面中的概念比拟为一种人们熟悉的概念或现象,用于解释其交互方式. 这些隐喻都不是真实的事物,而是用来指代界面元素本身,以便于用户识别和操作它们. 例如 WIMP 界面中,将图形界面元素比喻为大家熟悉的桌面、窗口等.

可见性是指物品在人们长期使用过程中所形成的固有的性质和用途,可以使我们初次见到事物就能够了解如何与其交互. 隐喻和可见性本身都包含了“暗示”的意思,不过可见性是站在“物”的角度来说的,而隐喻是站在“人”的角度来说的.

范式是指一种占主导地位的理论框架或科学世界观. 界面范式则指的是可用于指导用户界面的范式. 界面范式可以被认为是界面设计的指南,其目的是指导设计人员构思用户是如何来使用计算机的. 最著名的界面范式是前面提到的 WIMP 界面范式,它规定了图形用户界面的基本组成单元,在指导图形界面开发中起到了非常重要的作用.

用户体验是指用户对产品的总体主观感受,包含用户在使用产品的过程中所感受到的全部内容总和^[24,25],具有动态性、情境依赖性和主观性的特点^[26]. 迄今为止,在用户体验的构成方面形成了几个比较有代表性的理论,如情境体验理论^[27]、最佳体验理论^[28]等. 用户体验的评价方法可以分为构建模型进行评价和直接评价两大类^[29].

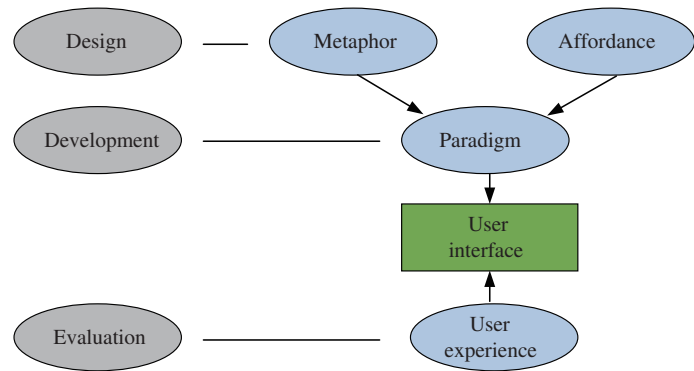


图 2 (网络版彩图) 用户界面框架
Figure 2 (Color online) User interface framework

Norman 指出在急于开发自然用户界面时, 一些饱经考验和容易理解的交互设计正在被推翻、忽视和违反. 新的技术需要新的方法, 但是拒绝遵循既定的原则, 可能导致可用性的灾难. 例如在任天堂推出保龄球游戏时, 把甩动和释放游戏中的保龄球设计为与真实情况一致, 通过手持控制器上的开关进行控制. 释放开关类似于从手中释放球, 这是易于学习和使用的. 但是在比赛进入高潮时玩家也会释放他们手中的控制器, 其后果是控制器会从手中飞出, 把电视屏幕打破 [30].

在开发一个新的交互平台时, 尝试全新的技术有其合理性, 但由于缺乏完整的交互控制说明, 忽视与已建立操作习惯的一致性以及对历史和人机交互研究成果的无知等原因会给用户带来极大的困扰. 因此, 交互设计原则是人机交互发展中非常重要的一部分. Norman 等 [31] 总结了一些完全独立于技术之外的交互设计基本原则, 如可视性、反馈、一致性、无破坏性操作、可发现性、可扩展性、可靠性等. 除此以外, 研究人员和开发人员也提出了一些对交互设计非常重要的交互设计原理, 如 Fitts 定律 [32,33]、Hick 定律 [34]、7±2 法则 [35] 等. 了解并且遵从这些开发设计原理能提高开发效率, 提升产品的有效性和有用性.

3.4 研究框架

当计算机的技术潜能首次被认识到时, Nickerson 就曾经总结道: “未来的需求就不再是面向计算机的人, 而是面向人的计算机”. 如果希望设计一个有用、安全、高效、令人满意的系统, 必须对正在使用或者将要使用系统的人有充分的了解. 而了解这些人的特点、能力、相同点和不同点, 需要涉及很多学科领域, 包括传统的人因工程、人机交互、社会计算等. 设计人员和开发人员在学习这些理论和方法时, 通常需要去查找、搜集和参考不同领域的书籍和文献, 但把来自不同领域的内容融合为一个体系化的知识结构对很多人来说还是一个严峻的挑战. 为了把相关学科的知识综合在一起, 帮助与设计相关的人类特征, Ritter 等 [36] 提出了一个被称之为 ABCS (anthropometrics, behavior, cognition, social factors) 的框架. ABCS 框架的缩写代表了在设计系统时需要审视和用户相关的人体测量学、行为、认知和社会因素 4 个方面.

ABCS 框架提供了一种组织用户特征信息的方法, 因此关于设计与用户能力相关的信息可以使用 ABCS 框架来组织, 将人的体态、感知、思考, 以及与其他人交流的方式都整合起来. 但是从系统开发的角度来看, 人机交互系统开发的过程归根到底是一个软件开发的过程 [37], 因此需要一个软件开发研究框架来指导和支撑人机交互系统的研究和发展.

ACM SIGCHI 2005 召开了关于 “未来用户界面设计工具” 的专题讨论会, 指明了方法论和研究框

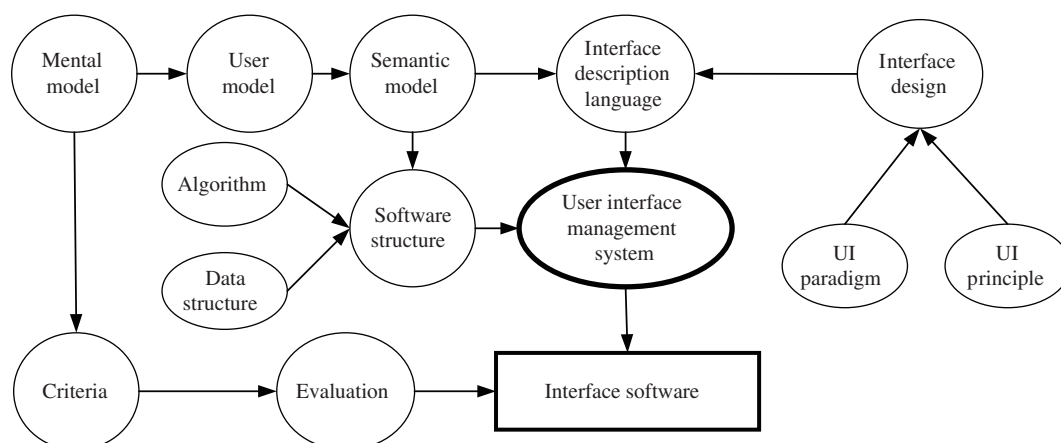


图 3 人机交互研究框架

Figure 3 HCI research framework

架对人机交互发展的重要性, 提出下一代的用户界面应该从范式、模型和软件框架 3 个层次展开^[38]. 通过对人机交互核心问题的研究, 本文提出了人机交互的软件研究框架, 如图 3 所示. 整体研究框架由多个人机交互的核心研究内容组成, 如用户界面范式、交互设计原则、心理学模型等, 这些研究内容可以被归类到范式、模型和软件框架 3 大部分. 用户界面范式和设计原则共同指导界面设计, 是用户界面开发的重要组成部分; 通过心理学模型的研究构建用户模型, 结合应用场景定义语义模型; 语义模型和界面设计进一步对界面描述语言的定义和结构起关键作用; 心理学模型的成果形成界面评估准则, 对界面软件的评估有着指导性的影响; 支撑算法和数据结构也是软件开发框架的重要组成部分, 它们决定框架的软件结构, 是用户界面管理系统软件开发层面的基石.

4 人机交互的新思想理论

人机交互是一个不断变化的领域, 这种变化是为了响应技术革新以及满足随之而来的、新用户的需求. 从应用场景来看, 人机交互从图形用户界面过渡到自然用户界面, 发展更人性化的交互界面成为人机交互进一步发展迫在眉睫的任务; 从研究层面来看, 人机交互从微观上升到宏观, 使用计算机技术使个人参与到社会管理活动中的方法成为人机交互关注的重点; 从研究重心来看, 人机交互从交互导向转移到实践导向, 其分析单元由个体交互行为上升到日常的社会实践活动; 从研究范围来看, 人机交互由人类、计算机的二元空间扩展到人类、计算机和环境组成的三元空间, 人类自身所在的环境也成为了人机交互研究重点关注的一部分.

4.1 自然用户界面

自然用户界面是人机交互界面的新兴范式转变. 通过研究现实世界环境和情况, 利用新兴的技术能力和感知解决方案实现物理和数字对象之间更准确和最优化的交互, 从而达到用户界面不可见或者交互的学习过程不可见的目的, 其重点关注是传统的人类能力 (如触摸、视觉、言语、手写、动作) 和更重要、更高层次的过程 (如认知、创造力和探索)^[39]. 因此, 自然用户界面具有简单易学、交互自然和直觉操作的优点, 能够支持新用户在短时间内学会并适应用户界面, 并为用户提供愉悦的使用体验^[40].

在 20 世纪 90 年代, Mann^[41] 开发了许多用户界面策略, 使用与现实世界的自然交互作为 CLI 或 GUI 的替代品, 并将这项工作称为“自然用户界面”、“直接用户界面”和“无隐喻计算”。在 2008 年的“预测过去”会议演讲中, Microsoft 的用户体验总监 August 将 NUI 描述为类似于从 CLI 转向 GUI 的下一个演进阶段。2010 年, Wigdor 和 Wixon^[40] 在他们的书中仔细区分自然用户界面, 提供了建立自然界面的操作以及可用于实现的技术。总而言之, 自然用户界面应该是以人为中心、多通道、非精确性、高带宽的^[42]。

目前被认为实现了自然交互界面的研究工作和商业化产品包括 Jefferson Han 的 Perceptive Pixel、Microsoft 公司的 PixelSense 和 Xbox Kinect、Edusim 的 3D Immersive Touch、加拿大创业公司 Thalmic Labs 推出的创新性臂环 MYO 等。

4.2 基于现实的交互

基于现实的交互 (reality-based interaction, RBI) 是对新一代人机交互方式的概括, 如自然用户界面、虚拟现实技术、增强现实技术、上下文感知计算、手持或移动交互、感知和情感计算、语音交互及多模态界面等。

RBI 强调利用用户的已有知识和技能, 不需要额外学习太多新的知识^[43]。RBI 从不同层面来对新的交互模式进行描述, 包括人们对基本常识的理解、对自身肢体动作的理解、对环境的理解, 以及对其他人的理解, 并基于这 4 个层面建立了基于现实的感知框架^[11]。框架从底至上分为以下 4 个层级: 简单物理感知、身体意识和技能、环境意识和技能、社交意识和技能。简单物理感知处于框架中的底层, 它包含了人类对外部世界的感知和常识性知识, 例如重力、惯性等; 框架的第 2 层是身体意识和技能, 它包含了人类对身体的感知, 以及控制和协调身体运动的能力; 框架的第 3 层是环境意识和技能, 包含了人类对周围环境的感知、操作以及导航的技能; 框架的最顶层是社会意识和技能, 包含了人类对其他人的感知及与其他人进行交流的技能。RBI 框架能够用于分析自然用户界面的真实感特性, 为自然交互提供了一个基本的原则, 使人与计算机的交互方式更像是在自然世界中的交互, 对指导自然用户界面的设计和研究具有非常重要的作用。Flying Kite 是基于 RBI 框架开发的用户界面反馈设计方法的系统原型, 通过实验证明了使用 RBI 框架指导用户界面开发可以显著提升人机交互系统的用户体验^[44]。

4.3 技术媒介的社会参与

随着互联网技术的迅速发展以及互联网在全球范围内快速普及, 越来越多的公众开始接触、熟悉和运用网络平台这一高效沟通工具。他们通过各种表达方式在网络平台上发表对于公共事务及公共话题的意见和建议, 从而促使网络成为一种重要的民意表达方式。典型事例如 2013 年雅安地震事件, 救援组织不仅通过社会媒体的方式进行协调资源, 而且还有数百万人向红十字会提供捐款援助, 以支持应急响应和救灾重建。可见, 以互联网社交工具等为技术媒介, 可以让公众更多地参与到共同协作、社会事件和公共管理中来。例如维基百科和百度百科等宏大知识全库的编制、知乎等社会化问答网站的建立。

可以预见, 技术媒介的社会参与 (technology-mediated social participation, TMSP) 可在增强个人创造力、促进家庭成员交流、增加社区繁荣、启发企业创新、引导公民参与政策、解决国际冲突等方面不无裨益。TMSP 潜在的应用领域和期望产生的效果是多方面的, 具体包括医疗、灾难响应、能源、

教育、文化多样性、环境和气候、公民科学、经济健康、全球化和发展、政治参与、本地公民参与和公共安全等^[45]。

Shneiderman 等^[46]提出了读者-领导者框架,激励公众通过社会技术媒介参与到社会管理中来。当用户开始关注社交媒体时,他们成为了读者;然后随着参与度的加深,这些读者部分会成为贡献者,再成为合作者,甚至成为管理者。

4.4 实践导向的方法

在早期阶段,人机交互所使用的概念框架是基于认知心理学的 MHP 方法。其关注点在于人与计算机之间的关系,通过用户界面使人的身体和精神状况与计算机的接口之间取得更好的相互适应。在这个框架内,人们做了大量有用的工作并且许多工作还在进行中。这类工作把精力集中在更普遍的可用性问题上,寻求制定措施和方法帮助设计更好用的系统,其代表是以用户为中心的设计。这一传统理论框架最大的问题是其主要研究重点在用户界面的设计方法是实验室研究。而实验室研究作为获取界面使用知识或者新系统设计方法的来源,早已被证明适用性是有限的^[47,48]。

相比于传统的面向交互的方法,面向实践的方法 (practice-oriented approaches, POA) 把视角从交互转移到实践活动上,其分析单元由个体行动转变为人的日常实践,关注点从个人行为或者社会规范上升到日常活动的组织和重组。Shove 等^[49]提出了 POA 的 3 个研究主题,包括人机交互研究中的人与计算机去中心化、实践的动态和情境本质、通过设计向实践的转变。

近年来随着人机交互应用范围迅速扩大,组织机构、就业率、物质性、甚至社会责任等成为了人机交互的研究热点问题。虽然主流人机交互的重点仍然在系统的交互性和可用性水平上,但是人机交互研究人员逐渐表现出对实践和个人经验的兴趣,开始探索一些基于 POA 的研究课题^[50~55]。

4.5 人机共生系统

计算机在我们生活的各个方面都发挥越来越大的作用,社会和信息技术在复杂的过程中不断相互渗透和相互影响。在这种情况下,人机共生系统 (cyber-human system, CHS)^[56]由人机交互、以人为中心的计算、通用接入、数字社会与技术等发展而来,并进一步扩展到数字政府、信息隐私、人与机器人交流等概念,其目的是探索潜在的变革和颠覆性的思想,以及基本理论和技术的创新,研究人与计算机之间日益增加的关系,并提出增进人类能力的广泛目标。

CHS 是一个迅速发展的领域,得到了美国国家科学基金会研究计划的大力支持,其资助的研究主题包括人类、计算机和环境在内的 3 个维度。人的维度是把团体作为目标一致的群体和把社会作为非结构化连通的人的集合,将其范围扩展,囊括从支持、拓展人的能力到满足人的需求;计算机的维度包含从固定的计算设备,到人类随身携带的移动设备,到嵌入在周围物理环境中的传感器和视觉/音频设备的计算系统;环境维度包含从离散的物理计算设备到沉浸式虚拟环境,及其中间的混合现实系统等。

5 智能时代人机交互的思考

1997 年,电脑“深蓝”战胜国际象棋冠军。这场“人机大战”是人机竞争的序幕,展现了一个新时代的来临,一个我们称之为“智能时代”的时代。随着深度学习方法成功应用于多个领域,人工智能迎来了第 3 个发展高潮。在最新的一场的“人机大战”中,Google 的人工智能 AlphaGo 打败了曾获得多项世界冠军的围棋高手李世石,再次揭开人们对“智能革命”的关注。另一方面,可穿戴设

备^[57,58]等新的交互设备的出现使得人机交互空间发生了极大变化,与此同时,语音分析、手势识别、运动跟踪、凝视控制等技术不断进步,使用心电图、声音、面部特征等独特个人特征的安全认证技术的发展,都在引导着人机交互技术的发展轨迹和范围.在计算机技术迅速发展之际,人机交互却没有取得应有的成果,因此需要从计算机科学角度,探讨人机交互的发展.

5.1 人机交互的新定义

人机交互最早始于计算机学科与人因学的交叉,随着技术的不断发展,认知心理学、社会学及设计学逐渐被引入到人机交互中.如今,人机交互涉及了计算机科学、心理学、社会学、人机工程学等多个研究和应用领域,成为广受关注的交叉学科^[3].

在智能时代背景下,人工智能和传感器技术迅猛发展.新技术的发展对人机交互提出了新的要求,人机交互研究内容从微观到宏观、从交互转向实践、从虚拟转向现实、从心理学层面转到社会学层面.传统的交互定义已经无法满足人机交互发展的需求.因此,从定义上对人机交互进行重新审视显得十分必要.有的定义从融合性和移动性角度,对普适计算、移动计算等与人机交互密切相关的领域进行了划分^[59].这些定义具有一定的指导价值,但是没有满足在计算智能化情况下的交互需求.

未来的人机交互,将会演变成“交互人”和“智能机”在物理空间、数字空间及社会空间等不同空间上的交互.这里的“交互人”指的是能和计算机自然交互的人类,“智能机”指的是具有人的意图表达和感知能力的智能计算机.图4给出了基于“交互人”与“智能机”两个角色的人机交互的交互模型.未来人机交互技术的发展,除从各类不同角度上对人机交互的各类因素进行研究外,人作为人机交互的核心,也将随着技术的发展与交互设备融为一体.因此,未来的人机交互将趋同于“感知”,计算机的主要交互行为将变成感知行为、感知自然现象、感知人的现象、感知人类行为,从而实现为人类服务.

自然交互技术的发展,将使人机交互越来越接近真实世界中人与物、人与人的交互.所涉及的人在生理、认知、情感、社会、文化等方面的属性,在深度和广度上都将会不断超越目前人机交互涉及的水平,因此需要那些以人为主要研究对象的更多相关学科更深度的支持和交叉融合.人类经过长期进化,形成了在物理世界和社会关系中高度发达的“直感”.比如,人可以很好地感觉到自己的任何举动在物理世界或社会关系中可能产生的作用,并基于这样一种认识来指导自己的所作所为.如何认识这种“直感”,并在人机交互的设计和建造中加以再现,这是一个十分艰巨但意义重大的研究课题.

5.2 从人机交互到人机共生

如果说电脑改变了人们的工作方式,那么目前正以前所未有的方式快速发展的智能手机、可穿戴设备等正在改变人们的生活方式.由于对这些移动设备的依赖,某种程度上人与计算机已经在一定程度上形成了一种“共生”关系.

人机交互发展的总体趋势是持续向着以用户为中心、交互方式更加直观的方向发展^[60].在发展过程中,首先是侧重于交互的人机交互(HCI),然后到以人为中心的计算(human-centered computing, HCC),最终走向去中心化的人机共生系统(CHS).早在1960年,Licklider^[2]就提出了“人机共生”的概念,指出计算机可以帮助人类增强解决问题的能力,例如辅助记忆、增强实时思考能力、管理数据和交流等.在人工智能和便携设备逐渐走入个人生活和社会生活的今天,个人和社会的发展已经难以适应机器的智能.正如前面所提到的,未来人机交互的“人”将会随着技术的发展进化为与交互设备融为一体的“交互人”,也是人机共生系统里面的“人”.这对人机交互的设计、开发和评估活动的方法提出

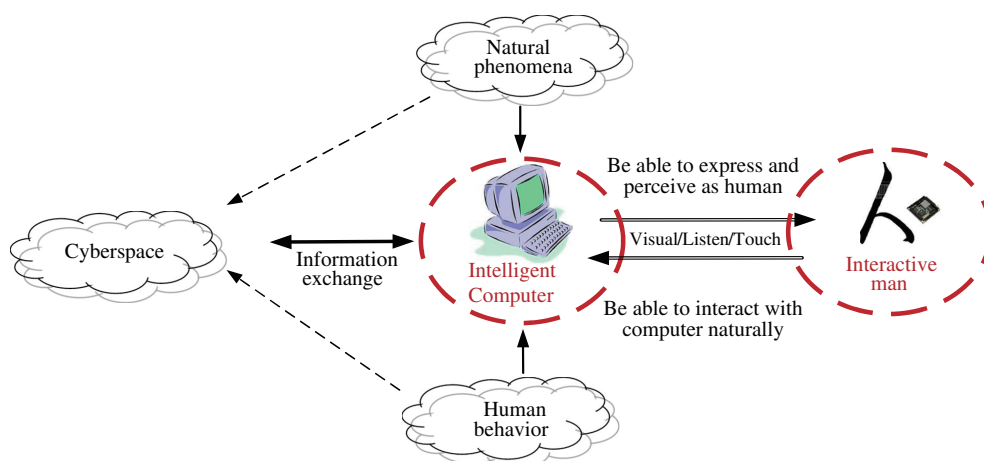


图 4 (网络版彩图) 基于“交互人”与“智能机”的交互关系示意图

Figure 4 (Color online) Relationship between “interactive man” with “intelligent computer”

了严峻挑战. 首先, 这要求人机交互的设计、开发和评估活动从实验室更多地转向原生态真实世界, 即“turn to the wild”. 在实际应用环境中开展设计、开发和评估, 交互方式要求更自然高效.

人机交互研究和应用的发展需要以对交互现象系统深入的认识为基础. 交互现象的研究 (即通常所说的用户研究), 以往无论在学术界还是工业界, 都主要采用基于实验室和研究人员与用户面对面为主要特征的研究方法, 这将无法适应无处不在的交互现象, 未来的交互现象研究将需要工具的支持. 迅速发展的移动计算、普适计算、传感技术以及大数据技术, 为相应工具的发展提供了广泛可能. 可以预见, 未来的用户研究实践发展趋势将是人工方法与自动工具的结合, 从而为未来人机交互发展提供相适应的支持.

5.3 人机交互与人工智能

随着人工智能的突破性发展, 体现出超越人类智力、带动产业变革和深入社会生活的趋势. 人工智能迅猛发展的势头给人类社会的进步带来了美好的憧憬, 同时也带来了关于人类未来的隐忧, 甚至不少著名的专家学者发出人工智能有可能威胁人类自身生存的警告. 有些专家则认为, 人工智能发展的未来是人机合作. 智能时代下的社会是人的智能和人工智能共同创造的, 智能社会是人机共生的社会. 人工智能能放大人的智能, 使人的智能不依赖于自然的进化而得到迅速的发展; 人的智能发展人工智能, 人工智能的进步依赖于人的智能进步. 人的智能和人工智能是彼此互补、相互促进的^[61].

Lighthill 报告^[62] 标志着人工智能的第 1 次低潮; 20 世纪 80 年代末, 随着各国政府停止对人工智能的经费资助, 人工智能进入第 2 次低潮. 回首历史, 人工智能历史发展中的两次低潮, 却伴随着人机交互的高速发展^[63]. 在这一时期出现了包括 WIMP 范式、图形用户界面 (GUI) 在内的很多人机交互的基础理论与实践成果. 然而, 人机交互与人工智能并非此消彼长的. 人机交互是人工智能的一个研究途径, 在人工智能发展遇到瓶颈之时人机交互往往能够提供新的研究思路. 而人工智能则给人机交互带来突破, 驱动人机交互的发展, 并把人机交互提升到一个新的发展空间.

从人工智能的角度看, 人机交互是人工智能的一个研究途径. 机器学习先驱 Michael Jordan 提出人工智能最先获得突破的领域是人机对话, 更进一步的成果则是能帮人类处理日常事务甚至做出决策的家庭机器人. 正是由于人机对话的需求推动人工智能的发展, 例如人工智能 Apple 公司的

Siri、Microsoft 公司的小冰、Google 公司的 Google Home、Amazon 的 Echo 等, 都是为了解决传统人机对话方式低效不自然的问题而催生的人工智能应用。

从人机交互的角度看, 人工智能为人机交互带来突破。鼠标键盘、触屏等传统的人机交互技术难以使人与计算机实现如同人与人之间那样高效自然的交互, 而语音识别、图像分析、手势识别、语义理解、大数据分析等人工智能技术能帮助计算机更好地感知人类意图, 完成人类无法完成的任务, 驱动着人机交互的发展。

从人类的角度看, 人工智能的发展是计算机技术的发展, 而计算机技术发展的最终目的是为人类服务。人工智能要为人类服务, 就不可避免需要研究人工智能的特性, 研究人的特性, 以及研究人和人工智能交互过程中遇到的问题, 这也正是人机交互所研究的问题。

因此, 人工智能和人机交互是相辅相成, 相互促进的关系。理性认识人机交互与人工智能的关系, 在未来人机交互的发展中将具有指导性意义。

参考文献

- 1 Dai G Z, Tian F. Pen-based User Interface. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2014 [戴国忠, 田丰. 笔式用户界面. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2014]
- 2 Licklider J C R. Man-computer symbiosis. IRE Trans Human Factor Electron, 1960, HFE-1: 4-11
- 3 Hewett T T, Baecker R, Card S, et al. ACM SIGCHI Curricula for Human-Computer Interaction. New York: ACM, 1992
- 4 Myers B A. A brief history of human-computer interaction technology. Interactions, 1998, 5: 44-54
- 5 Bush V. As we may think. ACM Sigpc Notes, 1979, 1: 36-44
- 6 Sutherland I E. Sketchpad: a man-machine graphical communication system. In: Proceedings of Spring Joint Computer Conference, Detroit, 1964
- 7 Eskins D, Sanders W H. The multiple-asymmetric-utility system model: a framework for modeling cyber-human systems. In: Proceedings of the 8th International Conference on Quantitative Evaluation of Systems, Aachen, 2011
- 8 Kay A, Goldberg A. Personal dynamic media. IEEE Comput, 1977, 10: 31-41
- 9 Weiser M. The computer for the twenty-first century. Sci Am, 1991, 265: 94-104
- 10 Weiser M. Some computer science issues in ubiquitous computing. Commun ACM, 1993, 36: 75-84
- 11 Jacob R J, Girouard A, Hirshfield L M, et al. Reality-based interaction: a framework for post-WIMP interfaces. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Florence, 2008
- 12 Green M, Jacob R. SIGGRAPH'90 workshop report: software architectures and metaphors for non-WIMP user interfaces. ACM SIGGRAPH Comput Graph, 1991, 25: 229-235
- 13 Dai G Z, Wang H. Physical object icons buttons gesture (PIBG): a new interaction paradigm with pen. In: Proceedings of the 8th International Conference on Computer Supported Cooperative Work, Xiamen, 2004. 11-20
- 14 Ishii H. Tangible bits: beyond pixels. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction, Bonn, 2008
- 15 Ishii H, Lakatos D, Bonanni L, et al. Radical atoms: beyond tangible bits, toward transformable materials. Interactions, 2012, 19: 38-51
- 16 Olson J R, Olson G M. The growth of cognitive modeling in human-computer interaction since GOMS. Human-Comput Interact, 1990, 5: 221-265
- 17 Card S K, Newell A, Moran T P. The Psychology of Human-Computer Interaction. New York: CRC Press, 2008
- 18 Payne S J, Green T R G. Task-action grammars: a model of the mental representation of task languages. Human-Comput Interact, 1986, 2: 93-133
- 19 Laird J E, Newell A, Rosenbloom P S. SOAR: an architecture for general intelligence. Artif Intell, 1987, 33: 1-64
- 20 Anderson J R. Rules of the Mind. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1993
- 21 Zhou F, Wong V, Sekuler R. Multi-sensory integration of spatio-temporal segmentation cues: one plus one does not always equal two. Exp Brain Res, 2007, 180: 641-654

- 22 Kieras D E, Wood S D, Meyer D E. Predictive engineering models based on the EPIC architecture for a multimodal high-performance human-computer interaction task. *ACM Trans Comput-Human Interact*, 1997, 4: 230–275
- 23 Hartson H R, Hix D. Human-computer interface development. *ACM Comput Surv*, 1986, 21: 5–92
- 24 Mirnig A G, Meschtscherjakov A, Wurhofer D, et al. A formal analysis of the ISO 9241-210 definition of user experience. In: *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, Seoul, 2015. 437–450
- 25 Hassenzahl M, Tractinsky N. User experience — a research agenda. *Behav Inf Technol*, 2006, 25: 91–97
- 26 Roto V, Hassenzahl M, Vermeeren A, et al. Understanding, scoping and defining user experience: a survey approach. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Boston, 2009. 719–728
- 27 Toffler A. *Future shock*. *Am J Sociol*, 1970, 429: 104
- 28 Csikszentmihalyi M. *Beyond Boredom and Anxiety*. San Francisco: Jossey-Bass Publishers, 1975
- 29 Law E L C, Schaik P V. Modelling user experience — an agenda for research and practice. *Interact Comput*, 2010, 22: 313–322
- 30 Norman D A. Natural user interfaces are not natural. *Interactions*, 2010, 17: 6–10
- 31 Norman D A, Nielsen J. Gestural interfaces: a step backward in usability. *Interactions*, 2010, 17: 46–49
- 32 Bi X J, Li Y, Zhai S M. Fitts law: modeling finger touch with fitts' law. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Paris, 2013. 1363–1372
- 33 Fitts P M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *J Exp Psychol Gen*, 1992, 121: 262
- 34 Schneider D W, Anderson J R. A memory-based model of Hick's law. *Cogn Psychol*, 2011, 62: 193–222
- 35 Miller G A. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychol Rev*, 1956, 63: 81–97
- 36 Ritter F E, Baxter G D, Churchill E F. *Foundations for Designing User-Centered Systems*. Berlin: Springer, 2014
- 37 Myers B, Hudson S E, Pausch R. Past, present, and future of user interface software tools. *ACM Trans Comput-Human Interact*, 2000, 7: 3–28
- 38 Dan R O, Klemmer S R. The future of user interface design tools. In: *Proceedings of CHI'05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, Portland, 2005. 2134–2135
- 39 Glonek G, Pietruszka M. Natural user interfaces (NUI): review. *J Appl Comput Sci*, 2012, 20: 27–45
- 40 Wigdor D, Wixon D. *Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2011
- 41 Mann S. *Intelligent Image Processing*. Hoboken: John Wiley and Sons, 2001
- 42 Liu W Y. Natural user interface- next mainstream product user interface. In: *Proceedings of IEEE International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design*, Yiwu, 2011
- 43 Jacob R J K, Girouard A, Hirshfield L M, et al. Reality-based interaction: unifying the new generation of interaction styles. In: *Proceedings of CHI'07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, San Jose, 2007. 2465–2470
- 44 Lv F, Zhang H Q, Hou W J, et al. A natural user interface feedback design method based on reality framework. *J Beijing Univ Posts Telecommun (Soc Sci Edit)*, 2015, 17: 14–21
- 45 Shneiderman B. Technology-mediated social participation: the next 25 years of HCI challenges. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Human-Computer Interaction: Design and Development Approaches*, Orlando, 2011
- 46 Preece J, Shneiderman B, Review T. The reader-to-leader framework: motivating technology-mediated social participation. *AIS Trans Human-Comput Interact*, 2009, 1: 13–32
- 47 Thomas J C, Kellogg W A. Minimizing ecological gaps in interface design. *IEEE Softw*, 1989, 6: 78–86
- 48 Landauer T K. Let's get real: a position paper on the role of cognitive psychology in the design of humanly useful and usable systems. *Des Interact*, 1991, 33: 60–73
- 49 Shove E, Pantzar M, Watson M. The dynamics of social practice: everyday life and how it changes. *Acta Sociologica*, 2012, 65: 1511–1514
- 50 Pierce J, Strengers Y, Sengers P, et al. Introduction to the special issue on practice-oriented approaches to sustainable HCI. *ACM Trans Comput-Human Interact*, 2013, 20: 1–8

- 51 Bidwell N J, Siya M, Marsden G, et al. Walking and the social life of solar charging in rural africa. *ACM Trans Comput-Human Interact*, 2013, 20: 499–505
- 52 Wakkary R, Desjardins A, Hauser S, et al. A sustainable design fiction: green practices. *ACM Trans Comput-Human Interact*, 2013, 20: 23
- 53 Tomlinson B, Blevins E, Nardi B, et al. Collapse informatics and practice: theory, method, and design. *ACM Trans Comput-Human Interact*, 2013, 20: 24
- 54 Pink S, Mackley K L, Mitchell V, et al. Applying the lens of sensory ethnography to sustainable HCI. *ACM Trans Comput-Human Interact*, 2013, 20: 499–505
- 55 Disalvo C, Watson M. Commentaries on the special issue on practice-oriented approaches to sustainable HCI. *ACM Trans Comput-Human Interact*, 2013, 20: 666–684
- 56 Eskins D, Sanders W H. The multiple-asymmetric-utility system model: a framework for modeling cyber-human systems. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Quantitative Evaluation of Systems*, Aachen, 2011
- 57 Rehman M H U, Liew C S, Wah T Y, et al. Mining personal data using smartphones and wearable devices: a survey. *Sensors*, 2015, 15: 4430–4469
- 58 Abowd G D, Mynatt E D. Charting past, present, and future research in ubiquitous computing. *ACM Trans Comput-Human Interact*, 2000, 7: 29–58
- 59 Greenfield A. *Everyware: the Dawning Age of Ubiquitous Computing*. Berkeley: Peachpit Press, 2006
- 60 Goertz W, Reinhart M. *Hype Cycle for Human-Machine Interface*. Stanford: Gartner, 2015
- 61 Tong T X. From “man-machine war” to man-machine symbiosis. *Study Dialectics Nat*, 1997 [童天湘. 从 “人机大战” 到人机共生. *自然辩证法研究*, 1997]
- 62 McCarthy J. Artificial intelligence: a general survey. *Artif Intel*, 1974, 5: 385–392
- 63 Grudin J. AI and HCI: two fields divided by a common focus. *AI Mag*, 2009, 30: 48–57

Thoughts on human-computer interaction in the age of artificial intelligence

Junjun FAN^{1,2,3}, Feng TIAN^{1,2,3*}, Yi DU⁴, Zhengjie LIU⁵ & Guozhong DAI¹

1. *Beijing Key Laboratory of Human-Computer Interaction, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;*

2. *State Key Laboratory of Computer Science, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;*

3. *College of Computer and Control, Chinese Academy of Sciences University, Beijing 100049, China;*

4. *Computer Network Information Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;*

5. *College of Information Science and Technology, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China*

* Corresponding author. E-mail: tianfeng@iscas.ac.cn

Abstract With the rapid development of information technology, the extensive development of artificial intelligence and its successful applications in several industries have given rise to great imaginations of providing computer services to human beings once again. However, as the interface of information communication between humans and computers-human-computer interaction-has not been properly developed, the resulting bottleneck effect has become increasingly evident. The reasons for this can be summarized as follows: (1) lack of learning history of the development experience; and (2) changes in the application scenarios in the age of artificial intelligence result in new demands, which presents a huge challenge to human-computer interaction. This paper presents a review of the history of the development of human-computer interaction, focuses on the core issues of human-computer interaction, and summarizes the important theory of thoughts. Lastly, we present some necessary discussions and reflections on the future development of human-computer interaction.

Keywords human-computer interaction, user interface, mental model, research framework, artificial intelligence



Junjun FAN is currently a doctoral student at the Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, China. His research interests include human-computer interaction and physiological computing.



Feng TIAN is a professor and the deputy chief engineer at the Institute of Software, Chinese Academy of Sciences. He is interested in interaction techniques and tools of pen-based user interface, multi-modal user interface, ubiquitous computing, and 3D user interface.



Yi DU is an associate professor at the Department of Big Data Technology and Application Development of Computer Network Information Center, Chinese Academy of Sciences. His research interests include human-computer interaction and visual analytics.



Guozhong DAI is a professor at the Institute of Software, Chinese Academy of Sciences. His main research interests include human-computer interaction and computer graphics.