

学科交叉与设计创新研究进展

徐迎庆^{1,2}, 王韞^{1,2,3}, 付心仪², 焦阳², 杨佳伟^{1,2}, 路奇^{1,2}, 陈迪², 乐恢榕^{2*}

1. 清华大学美术学院, 北京 100084
2. 清华大学未来实验室, 北京 100084
3. 北京航空航天大学机械工程及自动化学院, 北京 100191

摘要 多学科交叉与融合是科学研究的重要特征之一, 特别是在当今其更是科技发展和创新的必由之路。清华大学未来实验室从成立伊始就致力于打破学科壁垒, 开展学科交叉与设计创新领域的前沿探索。结合未来实验室的几个学科交叉研究探索, 介绍了基于人工智能的通用嗅觉计算理论与方法研究、未来材料与设计研究、智慧人居设计创新研究、无障碍设计创新研究、适老化服务设计研究、终身学习的理论与方法研究等相关领域的主要研究内容、国内外研究现状、未来实验室目前的研究进展以及对未来的展望和建议。

关键词 学科交叉; 设计创新; 未来实验室

随着社会和经济迅速发展, 新一轮科技革命和教育改革加速汇聚。2021年2月, 国务院学位委员会、教育部印发通知, 新设置“交叉学科”门类, 成为中国第14个学科门类, 这是中国学科设置方式的重大突破。学科交叉研究就是通过利用多个学科或专业知识体系, 对相关信息、技术、理论进行相互整合和理解来解决问题的研究模式, 学科之间相互交融, 成为彼此的工具与媒介, 自上而下地推动“学科交叉、融合创新”建设。

学科交叉融合和设计创新是知识发展和社会实践需求的必然结果。清华大学未来实验室成立于2017年12月15日, 作为清华大学科研体制机制改革的重大举措和学校首批授权独立自主运行的跨学科交叉研究实体实验室, 旨在构建跨学科交叉创新的独特环境, 在设计创新前沿领域开展工作。5年来, 未来实验室本着不断创新、探索未来领域、突破学科壁垒的使命感, 深入开展跨学科交叉研究与学术交流。目前来自60多个专业背景的110余

收稿日期: 2023-02-28; 修回日期: 2023-04-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(6217070900); 科学技术部国家外国专家项目(G2021102010L); 清华大学国强研究院科研项目(2020GQG0004)

作者简介: 徐迎庆, 教授, 研究方向为人机交互、计算机图形学、文化遗产数字化等, 电子信箱: yqxu@tsinghua.edu.cn; 乐恢榕(通信作者), 首席研究员, 研究方向为复合材料、生物材料、先进陶瓷, 电子信箱: Lehr@mail.tsinghua.edu.cn

引用格式: 徐迎庆, 王韞, 付心仪, 等. 学科交叉与设计创新研究进展[J]. 科技导报, 2023, 41(8): 17-25; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.08.002

人初步建成“设计、艺术、科学、技术”深度融合的设计创新团队,在人工智能的通用嗅觉计算理论与方法研究、未来材料与设计研究、智慧人居设计创新研究、无障碍设计创新研究、适老化服务设计研究、终身学习的理论与方法研究等领域探索未来的可能性。本文介绍相关学科交叉与设计创新的主要研究内容、研究进展以及对相关领域未来的发展方向的展望和建议。

1 基于人工智能的通用嗅觉计算理论与方法研究

通用嗅觉计算的本质是通过设计和构建目标适配的感知系统,对空间中可挥发性物质的信息进行采集、感知、处理和解析,并提出面向通用嗅觉的智能分析与决策理论与方法。通用嗅觉计算研究需要多科学的交叉与融合,是未来全球产业竞争的重要基础,将在自动控制、公共安全、装备制造、智慧医疗、虚拟现实、人工智能等众多领域产生颠覆性的影响。嗅觉传感器研发是通用嗅觉计算理论的直接应用,是国内外知名研究机构和企业界长期关注和多国政府大力支持的方向。

嗅觉计算系统是由一个以传感器阵列形式存在的物理化学传感系统和以一个基于人工智能的模式识别系统组成的高级传感器系统。硬件系统方面:包括N个可感知不同气体分子的基础传感单元、相应的采集基础传感单元信号的电子电路元器件、片上计算单元及数据存储单元、气体采集系统及相应的外围系统等。软件层面包括基于人工智能的信号识别与处理的算法系统、气味数据库系统、数据可视化系统等。基础传感单元的开发、信号处理与识别的智能算法研发是嗅觉计算的主要研究内容。此外,由于嗅觉计算具有极强的拓展性与泛在性,如何利用已有的硬件系统更好地拓展其应用范围,提高其性能表现,也是目前的研究热点之一。

1982年英国 Warwick 大学的 Persand 和 Dod 模仿哺乳动物嗅觉系统的结构和机理,将日本费加罗公司生产的3个商用气体传感器组成阵列,实现了

对几种有机挥发气体的有效区分,提出了“电子鼻”概念,标志着嗅觉计算的正式开始^[1]。随着气体传感单元中新材料、新原理的不断发展,电子鼻技术也突飞猛进。如:美国 Sensigent 公司生产的 Cyranose 320 型电子鼻,它由 32 路气体传感单元组成阵列,气体传感单元中敏感材料由化学修饰的单壁碳纳米管、金属纳米颗粒及导电复合材料等构成。可以识别百万分之一浓度量级的的气体。同时,传感单元还可以定制化,利用设备提供多种分类算法,广泛用于消费品、化工、食品等领域。法国 Alpha MOS 公司生产的 HERACLES Neo 型快速气相色谱电子鼻,利用色谱分离原理,分析产品的香气以及构成气味的化学分子,其精度高、使用方便、可控制产品的感观,能更好地满足客户的要求。同时,国内公司也开展了相关产品的开发,典型代表如苏州慧闻公司生产的 IDM-D02 型电子鼻气味识别系统。它同样采用阵列传感单元,通过智能算法分析,可用于口气监测和医疗诊断、冰箱蔬果新鲜度监测分析、智能炒茶控制、酒类的区分识别等领域。

清华大学未来实验室嗅觉计算课题组针对气相中含量为百万分之一浓度量级的微量物质,开发了多类金属氧化物半导体基的气敏材料,可针对醇类、醛类、羧酸类、酯类及苯类等气味分子进行快速有效识别。例如:将这些材料制备成气体传感单元,与小米公司合作使其研发的机器狗“铁蛋”成为世界上首个具备通用嗅觉能力的机器狗;针对气相中含量为十亿分之一浓度量级的痕量物质(如三硝基甲苯, TNT),基于质量敏感性传感器谐振式微悬臂梁,开发了含氟材料修饰的功能性多孔材料,利用氢键力,可特异性可逆吸附气相中的 TNT 分子,无需接触即可检测公共环境下是否有危险爆炸物的存在。此外,实验室发挥交叉学科优势,利用多模态通用嗅觉计算技术,结合近红外光谱技术,排除了检测组间串扰问题,提高了检测速度,配合碧桂园集团的扶贫工作,实现了对多种农产品(例如小西瓜、百香果和草莓)甜度的高效无损检测,识别准确率可达 97.5%,百利甜度误差为 ± 0.5 。此外,实验室与国内知名企业合作,开展针对嗅觉计算在食品烤箱中的应用研究。

随着不同敏感材料的开发,气敏基础单元器件可检测的气体范围愈发广泛。同时,为了进一步扩大嗅觉计算的识别能力,组成阵列的气敏单元的数量及种类必然会越来越多。因此,在嗅觉计算的硬件层面,在兼顾灵敏度的同时,开发更具选择性、一致性及稳定性的气敏材料成为未来嗅觉计算领域的一大方向。此外,气敏传感单元的功耗需要进一步降低,进而扩大阵列传感器的规模,同时使设备更具小型化、微型化特点。算法层面,随着硬件系统采集气味种类和数量的增加,需要采用更多基于深度学习的算法,这将会把嗅觉计算的能力进一步提高。由于材料微加工能力、芯片计算能力、无线数据通信和人工智能算法的快速发展,众多气体传感单元可以无线发送感知到的气体传感数据,而基于此的机器学习将产生新一代的更具拟人性能的嗅觉计算技术。

嗅觉计算的理论与技术为嗅觉模态的设计创新提供了基础支撑和方向指引。一方面,在处理认知事物、活动特性及其变化等问题或需求时,设计者可以跳出传统的视觉、听觉、触觉等常见模态,探寻利用事物本征的嗅觉信息进行全新设计,嗅觉计算可以提供直接的支持与辅助。例如,本研究团队提出了一种基于嗅觉信息采集家居活动识别的系统设计,可以在不使用视听觉信息采集的前提下对用户日常活动进行识别预测,保护了用户的隐私,从而赋能家居系统为用户提供更贴心服务的能力。另一方面,在虚拟现实(VR)与人机交互设计的前沿探索中,嗅觉计算越来越受到学术界与产业界的重视,它对人的感官体验、情绪记忆、认知行为等有着重大影响,因此嗅觉计算的基础理论与发现对于未来的嗅觉体验设计有重要的引领作用,可以生成很多创新嗅觉的相关应用,例如远程嗅觉再现、VR嗅觉模拟、实时气味调制(调香)等。

2 未来材料与设计研究

材料是人类赖以生存和发展的物质基础。新材料、信息技术和生物技术都是新技术革命的重要组成部分。研究材料的组织结构、生产工艺、理化

性质和使用效能是材料科学的使命,也是新兴交叉学科大发展的基础所在。清华大学未来材料与设计研究中心致力于建成一个跨越学科壁垒,发展与生物医疗、环保科技、新能源、人工智能等领域的交叉研究,推动新型材料及新工艺的应用。

在人工智能与材料结合的研究领域,特别是在服务机器人上的理论与应用研究方面,研究者不仅要着眼于结构上的优化设计,更需要轻量化材料的选择与快速成型制造的技术,将拓扑优化设计、碳纤维复合材料、3D打印技术三者结合,实现新型材料代替铝合金在机器人上的轻量化应用,实现机器人整体减重,并降低机电系统的能耗。在新能源材料领域,特别是各种催化剂材料、电极材料领域的研究中,研究者不仅要着眼于材料相关性能指标的提升,更需要开发先进制备工艺与先进表征手段,制备出表面原子级结构精准可调的新型材料,理解材料应用过程中的微观性质甚至是表界面上原子组分和结构的变化。在生物材料领域,特别是光催化纳米复合材料在抗微生物领域的研究中,研究者既要着眼于复合半导体纳米材料的结构设计,还需要对固体表面进行改性,改善抗微生物功能涂层的界面结合力及耐磨性能,实现持久的抗微生物性能,提高产品的服役寿命。

清华大学未来材料与设计研究中心着眼于轻量化复合材料的3D打印技术,针对服务机器人的设计与制造,设计了多种外观新颖的可移动服务平台,并制作了多个版本的机械臂,摸索了3D打印短碳纤维复合材料的制造工艺、复合材料与金属材料的连接方式,以及通过碳纤维包覆工艺提升材料的刚性和导热性能,使复合材料在人工智能装备领域中具有更广泛应用^[2];着眼于对新能源材料的表面物理化学过程的定性定量分析,针对高温气/固电化学界面这一研究对象,研究中心开发出了能应用于未来基础理论研究的表面原子级结构可调的新型材料体系,将研究精度提高到原子级别,同时与国内外大科学装置与研究中心开展合作,发展国内领先的高温气/固电化学界面原位表征技术,理解高温气/固电化学界面上反应过程的本征特性;着眼于对纳米复合材料在抗菌领域的应用,针对铝合

金、玻璃、塑料以及陶瓷等基体,研究中心设计了多种光催化纳米复合材料,如Ce-ZnO、CuO-NiO、La-TiO₂等,利用p-n结原理大幅度提高表面自由电子和电子空穴浓度,从而提高吸收太阳光的能力。通过对固体表面的纳米结构改性,将这些复合纳米材料与不同固体表面结合,实现快速高效持久的抗微生物能力,从而降低疾病的传染风险^[9]。

材料科学的未来发展必然需要多学科的交叉与协作。例如,将实验科学与数据科学密切协作,精准预测材料的性能、作用机制和使用寿命,人工智能的发展也离不开材料科学的助力,智能机器人、可穿戴医疗设备、虚拟现实成像、物联网城市系统等场景,需要智能传感器具有极高的灵敏度、柔韧性、透明度和稳定性等,这些都对材料提出了新的要求。在未来的研究中,希望研究者跳出物理、化学等传统自然科学学科,与数据科学、计算机科学、微电子科学、设计学等更多学科密切配合,研发出种类更多、性能更好的新材料。

3 智慧人居设计创新研究

随着科技的进步,第五代移动通信技术(5G)的到来将信息传递的速度与潜力进一步提升,物联网也已经逐渐走入了千家万户,结合大数据分析手段与人工智能技术,可以赋予人居生活中的元素更多的“智能”属性,如何构建一套完整互联的可交互智慧人居系统仍在探索中。未来智慧人居是学科高度交叉的领域,主要的研究方向包括:智慧人居综合平台建设的基础理论与方法研究、智慧人居设计研究、人居环境下的智能感知与多模态人机交互研究、人居环境下的用户体验研究等。

在智慧人居综合平台建设的基础理论与方法研究中,智慧人居平台分为消费级和实验级2类。消费级平台是指为个人或家庭使用而进行设计、营销和销售的智能家居产品,平台的主要构建者包括创新型家电产业、智能硬件厂商、互联网公司、通信运营商和房地产等各类公司。实验平台是物联网系统面向人居环境的集成解决方案,包含智能家居驻地设备、云计算、通信网络集成、应用功能、用户

交互方法和管理系统等多维的综合应用^[4]。

在智慧人居的设计研究方面,主要包括以下几方面的研究内容:用户需求分析和用户体验设计,从用户的核心需求出发,提升相关产品的用户体验;人居设备交互界面设计,除了传统的界面交互设计研究,当前的人居设备交互界面设计增加了交互策略逐步采用自适应场景模式、交互通道逐步转向多模态、交互程度逐步呈现低干扰度等特性^[5];智慧人居系统的架构设计,包括设备之间的通讯协议、数据安全机制、网络拓扑结构等,确保智慧人居系统的可靠性和稳定性;智慧人居场景设计,包括家庭安防、环境监测、家庭娱乐等多种应用场景的设计,通过人工智能算法实现更加自动化、便捷的人居生活体验。

在人居环境下的智能感知与多模态人机交互研究方面,未来智慧的交互方式正在逐渐由传统的交互模式,演变为基于多模态智能设备的交互模式。其智能感知与多模态交互通道主要包括视觉、听觉、触觉、嗅觉等,视觉通道包括手势交互、姿态交互、眼动交互等,听觉通道主要为语音交互,触觉通道包括手部和身体触觉交互、压力交互等^[6],嗅觉交互包括气味识别和气味播放交互^[7]。多模态交互相较于传统的交互方式,可以应用在未来智慧人居的更丰富的场景下,例如在厨房场景,结合视觉、听觉和嗅觉交互,可以感知用户烹饪过程中使用的食材、烹饪方式等,并指导用户学习新的烹饪方法和养成健康的饮食习惯。

在人居环境下的用户体验研究方面,现有的用户体验评估框架或方法主要针对现成的、独立的产品和单一用户场景^[8-10],目前还较难适用于整个智慧人居的体验评估,因为智慧人居是一个配备了相互连接与交互操作设备的动态环境^[11],并且通常由多个人居住,这些人可能长期分享复杂的社交关系和不同的用户偏好^[12-13]。因此,适用于动态且复杂的智慧人居体验评估的方法框架将是未来的主要发展趋势。

清华大学未来实验室在未来智慧人居研究方面,重点开展面向智慧人居的多模态人机交互理论与方法研究,包括:(1)构建未来智慧人居的综合

实验平台:从“感知”“思考”“执行”3个维度,构建面向未来智慧人居的综合性实验平台并开展实践应用,探讨智慧人居多通道传感器网络构建、多模态大规模数据采集存储与集成、全屋智能用户体验框架等问题;(2)在用户体验研究方面开展深入研究,依托基础实验平台,动态获取环境中的多源异构大数据,包括但不限于视频、图片、语音、步态、气味、温度等,这类大数据具有海量、多维度、价值密度低、产生速度快等特征。对所采集的数据进行脱敏、清洗、标注、特征提取、融合等处理,形成智慧人居环境下人的行为和情感海量数据库,提供相关研究的数据支撑;(3)依托于基础实验平台,以用户自然行为和情感大数据为支撑,基于模式识别、用户行为分析、情感计算等为核心技术,重点探究基于智能感知的多模态人机交互理论与方法,融合听觉、视觉、触觉、嗅觉模态,构建多元信息和多模态交互的耦合模型,实现具有自然交互和优质体验的未来智慧人居典型示范应用。

面向未来的智慧人居,将依托前沿的技术手段和“以人为本”的设计理念,打破现有的智能产品孤岛模式,由单体“智能”向整体“智慧”转型,以用户为中心,提供一整套智能化、个性化、人性化的多模态人机交互产品和解决方案,为用户打造人居环境和实体相融合的智慧、舒适、温馨、便捷的个性化家居体验。

4 无障碍设计创新研究

习近平总书记指出:“不断满足人民群众对美好生活的需要,必须保护好残疾人权益,残疾人事业一定要继续推动。无障碍建设问题,是一个国家和社会文明的标志,我们要高度重视。”^[14]无障碍设计研究聚焦于残障人群的实际需求,通过有效的设计来实现残障群体在生活、学习、工作中“无障碍”地使用各类产品、服务和系统。目前在世界范围内,来自不同领域的诸多学者开始关注如何利用新的研究方法和技术手段来关注残障人士的多元需求、探索残障辅助技术,以提高全社会的关注。

自20世纪90年代以来,通用设计、包容性设

计、无障碍设计的概念逐渐从环境空间设计领域引入到各类信息产品中,旨在拓展可从信息技术中受益的用户范围。随着计算机技术、传感技术、可穿戴设备和智能材料的发展,无障碍计算、普适可达性和辅助技术也成为无障碍设计创新及应用前沿的热点领域。在智能终端产品中,无障碍设计通常采取感官代偿的设计方法,通过人的视觉、听觉、触觉等感官的代偿可塑性,来突破受损感官造成的感知壁垒^[15]。例如,针对视觉障碍,各类基于计算机视觉的辅助技术可以帮助视障人群“看到”周围环境,并通过语音^[16]或触觉装置^[17]提供信息反馈。就像明眼人阅读电脑屏幕的信息一样,为视障人群开发的触觉显示器能通过凹凸不平的动态触觉屏幕,帮助他们触摸理解文字和图形图像内容。针对听觉障碍,成熟的语音转文字软件以及基于动作捕捉和分析的手语翻译手套^[18]可以助力听障人士与健听人进行语言沟通,而一些可穿戴^[19]或落地式^[20]的振动触觉设备则可以帮助他们“听到”音乐。

清华大学未来实验室从“感”和“知”的角度更深入地探索残障群体对外部世界的编码解码方式^[21],除了拓展信息无障碍的可能性之外,尤其关注残障人士使用辅助产品时的体验问题。“盲人计算机”团队^[22-23]历时10年,设计开发了能够辅助盲人学习和理解图形信息的工具,并通过多角度用户实验验证了该设备的易用性。该设备采用创新的结构设计,实现了良好的触觉认知体验和相对低廉的成本控制。它不仅能够动态生成盲文和丰富的触觉图形信息,还可以作为盲人学习的有效工具广泛应用于学校、图书馆、博物馆、无障碍服务公共场所及盲人家庭。“触觉音乐”团队正在研发基于触听协同的音乐体验装置,聚焦听障人士的音乐需求、触觉对听觉的增益方法、触觉与听觉的审美通感机制等多个维度,旨在帮助他们以多感知模态的方式参与到听觉艺术活动中。

随着科技的发展、智能设备的普及,人们对信息获取和交互操作的需求日益增加,这给无障碍设计带来了更多机会和挑战。智能设备将不断扩展它的应用边界,逐渐朝着生活环境的智能化发展,从而更好地提升更加广泛人群的福祉。

5 适老化服务设计研究

人口老龄化目前已经成为全世界面临的问题,中国在最近的10年中快速进入了人口老龄化的阶段。对于人口基数大的国家来说,对老年人的关爱与照顾是目前面临的巨大挑战,通过新的技术代替人工可以在一定程度上缓解这种挑战。技术的落地应用通常需要好的设计作为支撑,在过去的10年中,有越来越多的设计师关注适老化设计研究。

在适老化的设计领域中,居家环境和生活用具的适老化设计是研究人员关注的重点^[24]。此外,也有部分设计研究人员关注医疗健康方面的适老化设计,尤其是在医院就医和居家生活中健康检测的情境下^[25]。另外,随着科技的发展,智能产品的适老化设计在国家和社会的推动下受到了多方的关注^[26]。这些研究从早年间关注需要照护的患有疾病的失能老人逐渐扩展到健康的老年人群,积极老龄化就是在这样的情况下提出的概念^[27]。除了通过设计解决老龄化的问题,在这个过程中也有设计师和研究人员关注适老化的设计方法研究,期间诞生了“通用设计”“包容性设计”等一系列的设计研究理论和方法,为后来的适老化设计打下坚实的理论基础^[28]。

国外的部分国家和地区很早就步入老龄社会的阶段,如北欧和日本等对相关研究开展的较早。从无障碍设计到用户体验设计的浪潮中,有大量的研究关注老年群体^[29]。除了从人因工程角度关注可用性,逐渐的有研究人员提出以人文关怀的视角关注老人的尊严^[30-31]。在国内的适老化研究中,对于实践的探索早于理论的研究^[32]。大量的研究关注建筑适老化的问题,尤其是在居家养老和社区养老的政策下^[33]。随着国内物联网的飞速发展,设计师将更多的注意力放在智能产品适老化设计的应用上,如智能手机的界面适老化等^[34]。

清华大学未来实验室老龄用户体验及服务系统设计研究中心(AeX)成立于2019年,致力于帮助老年人在数字化时代中更好的生活;基于“以人为本”的设计研究理念,深入探索老年群体在数字化生活中面临的困境,并通过体验设计的方式提升他

们的生活幸福感;秉承“感知-推断-激发”(sensing-reasoning-actuating)的设计原则,通过基础的软硬件平台的搭建来进行健康咨询、行为监测及救助、老年人新技术适应性等各个分支的研究;理论研究方面,深入探索了基于场景的设计研究方法和老年人参与式设计的研究方法;应用方面,在老年人的居家健康检测、室内外空间寻路行为、智能健康饮食系统、社交机器人等领域展开了研究。

对于已经来临的数字化时代,适老化的设计研究更具交叉性。通过不同学科背景的协作,创造出对老年人友好的生活环境。除了对技术的关注,适老化设计研究也应该从人文关怀的角度考虑到老人的尊严。同时,国内的老年人生活环境和文化背景与国外有诸多差异,因此在未来增强对设计理论本土化的研究是十分有必要的。

6 终身学习的理论与方法研究

终身学习的理论与方法研究主要是希望通过阐释终身学习理念的发展及内涵,探讨终身学习理念对未来人才培养的影响,通过创新的学习工具、学习模式以及跨学科的学习实践等方式来探索终身学习理念下的未来人才培养路径,并希望通过实践案例来为终身学习理念下未来人才的培养提供参考。通过传递终身学习理念,使学习贯穿整个生命过程,让人们更好地面对变化、了解世界、创造美好生活、构建更理想的人类社会。

终身学习的理论与实践近些年来受到了各个国家的教育研究者与实践者广泛关注。1965年,在联合国教科文组织(UNESCO)召开的国际会议上,保罗·朗格朗以终身教育为主题作学术报告,随后出版《终身教育引论》,逐步获得巨大的国际影响力。1996年,联合国教科文组织在其发布的《学习:财富蕴藏其中》报告中提出终身学习的内涵由四大支柱构成,即学会认知、学会做事、学会合作和学会生存。2019年2月,党中央、国务院发布了《中国教育现代化2035》,其中提出“建成服务全民终身学习的现代教育体系”是2035年主要发展目标之一。2020年,欧盟联合研究中心代表与欧盟教

育、青年、体育和文化总局合作开发了 LifeComp 终身学习能力框架。在此基础上,终身学习理念不断形成并在国内外成为了贯穿人一生的素养能力,越来越多的研究关注如何从青少年阶段开始培养学生的终身学习能力。

清华大学终身学习实验室是清华大学和丹麦乐高基金会共同建立的校级实验室,依托于清华大学未来实验室,集合了教育学、心理学、设计学、工程学、管理学等多学科交叉的人才,希望能够将理论和实践相结合,去探索如何培养面向未来的终身学习者。近年来,实验室对终身学习理念下的未来人才培养开展了深入研究,设计了创新学习工具,如实体交互学唐诗套件、实体交互叙事系统等;探索了未来人才创新学习模式,如玩中学项目式学习等。此外,根据这些创新的学习模式以及学习工具进行了一系列未来人才跨学科的学习活动实践,通过跨学科的项目实践,培养大、中、小学生的创新能力、合作能力、提出问题和解决问题的能力,鼓励学生利用技术和动手学习的活动参与创新学习,从而激发学生的学习兴趣,培养学生终身学习的动力和能力。

在终身学习理念下,为了培养面向未来的创新人才,需要通过构建终身学习体系保障未来人才的学习工具革新,通过提升终身学习素养赋能未来人才的全面发展,通过探索终身学习的模式打破未来人才培养的学科壁垒。学科交叉融合是重大创新的突破点和人才培养的有效途径,也是发达国家创新型人才培养的主要模式。在学习型社会的当下,清华大学终身学习实验室以培养具有终身学习理念的未來人才为使命,通过创新学习工具、学习模式以及跨学科的学习实践引导,让学习贯穿我们生命始终,拥有在未来不确定的时代长久的竞争力。

7 结论

清华大学未来实验室从学科交叉与设计创新的视角出发,立足于国际前沿的热点科学方向,关注国家重大需求与民生息息相关的生产与生活领

域,秉持社会责任情怀,重点从基于人工智能的通用嗅觉计算理论与方法研究、未来材料与设计研究、智慧人居设计创新研究、无障碍设计创新研究、适老化服务设计研究、终身学习的理论与方法研究等几方面开展交叉学科的理论、方法、应用研究。本文从以上角度出发,对相关领域的理论、设计、技术、应用等展开综述研究,梳理相关领域的前沿发展动态,从学科交叉和设计创新的维度,对未来发展给出展望与建议,希望可以补充交叉学科前沿研究领域综述类成果的空白,为学术界和产业界的相关同仁提供参考。

参考文献(References)

- [1] Persaud K, Dodd G. Analysis of discrimination mechanisms of the mammalian olfactory system using a model nose[J]. *Nature*, 1982, 299(5881): 352-355.
- [2] 陈宏伟, 刘岗, 王晓伟, 等. 轻量化复合材料与3D打印技术在服务机器人上的应用与展望[J]. *工程研究: 跨学科视野中的工程*, 2022, 14(1): 10.
- [3] 赵云, 何伟伟, 许建兵, 等. 通过氢还原热处理提升TiO₂薄膜的抗菌性能[EB/OL]. [2023-04-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20220927.0904.002.html>.
- [4] 付心仪, 张鹤, 薛程, 等. 智能家居综合实验平台设计研究与应用实践[J]. *包装工程*, 2022, 43(16): 50-58.
- [5] 盖森, 鲁艺, 张印帅, 等. 面向智能家居系统的主动交互设计研究[EB/OL]. [2023-04-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2925.TP.20230302.1755.005.html>.
- [6] 王韞, 何丽雯, 王党校. 智能家居中的触觉交互体验[J]. *包装工程*, 2022, 43(16): 37-49, 108.
- [7] 路奇, 张煜, 孙宇驰, 等. 智能家居气味识别装置产品设计研究及实践[J]. *包装工程*, 2022, 43(16): 27-36.
- [8] Nur A I, Santoso H B, Putra P. The method and metric of user experience evaluation: A systematic literature review [C]//10th International Conference on Software and Computer Applications 2021. Kuala Lumpur, Malaysia: Association for Computing Machinery, 2021: 307-317.
- [9] Maia C L B, Furtado E S. A Systematic review about user experience evaluation[C]//Design, User Experience, and Usability: Design Thinking and Methods: 5th International Conference. Toronto, Canada: Springer, 2016: 445-455.
- [10] Posland S. Ubiquitous computing smart devices, environ-

- ments and interactions[M]. New York: John Wiley & Sons, 2009.
- [11] Marikyan D, Papagiannidis S, Alamanos E. A systematic review of the smart home literature: A user perspective [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2019, 138: 139–154.
- [12] Garg R, Cui H. Social contexts, agency, and conflicts: Exploring critical aspects of design for future smart home technologies[J]. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 2022, 29(2): 1–30.
- [13] Reisinger M R, Prost S, Schrammel J, et al. User requirements for the design of smart homes: Dimensions and goals[C]//European Conference on Ambient Intelligence. Cham: Springer, 2019.
- [14] 四大举措, 促进残疾人事业全面发展[EB/OL]. (2022-06-25)[2023-01-13]. http://www.qstheory.cn/laigao/ycjx/2022-06/25/c_1128776215.htm.
- [15] 熊兴福, 李姝瑶. 感官代偿设计在产品中的应用[J]. *包装工程*, 2009(10): 3.
- [16] Microsoft. Seeing AI in new languages [EB/OL]. (2023-01-01)[2023-01-13]. <https://www.microsoft.com/en-us/ai/seeing-ai>.
- [17] Liu G H, Yu T Y, Yu C, et al. Tactile compass: Enabling visually impaired people to follow a path with continuous directional feedback[C]//Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'21). New York: Association for Computing Machinery, 2021: 1–13.
- [18] Gollner U, Bieling T, Joost G. Mobile lorm glove: Introducing a communication device for deaf-blind people [C]//Proceedings of the Sixth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI'12). New York: Association for Computing Machinery, 2012: 127–130.
- [19] Petry B, Illandara T, Nanayakkara S. MuSS-bits: Sensor-display blocks for deaf people to explore musical sounds [C]//Proceedings of the 28th Australian Conference on Computer-Human Interaction (OzCHI'16). New York: ACM, 2016: 72–80.
- [20] Nanayakkara S, Taylor E, Wyse L, et al. An enhanced musical experience for the deaf: Design and evaluation of a music display and a haptic chair [C]//Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '09). New York: Association for Computing Machinery, 2009, 337–346.
- [21] 王韞, 徐迎庆. 负责任的人工智能与设计创新[J]. *包装工程*, 2021, 42(6): 1–6, 36.
- [22] 焦阳, 龚江涛, 徐迎庆. 盲人触觉图像显示器 Graille 设计研究[J]. *装饰*, 2016(1): 94–96.
- [23] 焦阳, 龚江涛, 鲁晓波, 等. 盲人触觉交互的演进及未来趋势分析[J]. *中国计算机学会通讯*, 2016, 12(3): 48–52.
- [24] Fisk D, Charness N, Czaja S J, et al. Designing for older adults: Principles and creative human factors approaches [M]. Boca Raton: CRC press, 2004.
- [25] Wilson J, Heinsch M, Betts D, et al. Barriers and facilitators to the use of e-health by older adults: A scoping review[J]. *BMC Public Health*, 2021, 21(1): 1–12.
- [26] Mollenkopf H, Fozard J L. Technology and the good life: Challenges for current and future generations of aging people[J]. *Annual Review of Gerontology and Geriatrics*, 2003, 23(1): 250–279.
- [27] 王淑婷, 于帆. 积极老龄化背景下智能家居产品交互设计研究[J]. *美与时代*, 2022(6): 127–130.
- [28] 赵超. 老龄化设计: 包容性立场与批判性态度[J]. *装饰*, 2012(9): 16–21.
- [29] 胡飞, 张曦. 为老龄化而设计: 1945年以来涉及老年人的设计理念之生发与流变[J]. *南京艺术学院学报(美术与设计)*, 2017(6): 33–44, 235.
- [30] Charness N, Bosman E A. Human factors and design for older adults[J]. *Handbook of the Psychology of Aging*, 1990, 3: 446–464.
- [31] 张为威, 刘明惠, 王韞. 数字时代的包容性: 设计伦理视角下老龄化智能产品设计研究[J]. *装饰*, 2022(5): 46–51.
- [32] 彭辉. 基于CNKI的近二十年我国老龄化设计研究可视化分析[J]. *包装工程*, 2022, 43(4): 286–292.
- [33] 周燕珉, 刘佳燕. 居住区户外环境的适老化设计[J]. *建筑学报*, 2013(3): 60–64.
- [34] 李雪亮, 巩淼森. 移动互联网视角下老年人智能产品服务设计研究[J]. *包装工程*, 2016, 37(2): 57–61.

A review of the interdisciplinary research and design innovation

XU Yingqing^{1,2}, WANG Yun^{1,2,3}, FU Xinyi², JIAO Yang², YANG Jiawei^{1,2}, LU Qi^{1,2}, CHEN Di², LE Huirong^{2*}

1. Academy of Arts & Design, Tsinghua University, Beijing 100084, China
2. The Future Laboratory, Tsinghua University, Beijing 100084, China
3. School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100191, China

Abstract Multidisciplinary intersection and integration is one of the significant features of scientific research, and it is an important path for technological development and social innovation. The Future Laboratory of Tsinghua University is committed to breaking disciplinary barriers and conducting cutting-edge exploration in the field of multidisciplinary research and design innovation since inception. This article introduces the main research topics in related fields of the Future Laboratory, i. e. olfactory computing theory and method research based on artificial intelligence, future materials and design research, smart human habitat design and innovation research, accessibility design research, elderly-friendly service design research, theory and method research of lifelong learning. This article introduces an overview of research topics and a review of each domain followed by the current research progress in the Future Laboratory and the development suggestion. It is hoped that this article can provide necessary references for colleagues in academia and industry conducting research on multidisciplinary study and design innovation.

Keywords multidisciplinary research; design innovation; the Future Laboratory ●



(责任编辑 徐丽娇)