

【选题策划——智能产品交互与体验设计】

以人为中心的智能产品设计现状和发展趋势

孙凌云^{1,2}, 张于扬^{1,2}, 周志斌^{1,2}, 周子洪^{1,2}

(1.浙江省设计智能与数字创意研究重点实验室, 浙江大学, 杭州 310027;

2.阿里巴巴-浙江大学前沿技术联合研究中心, 浙江大学, 杭州 310027)

摘要: **目的** 以人为本的人工智能作为一种独特的设计材料正成为智能产品设计的新关注点, 也带来了全新的挑战。分析人本人工智能背景下的智能产品设计特点, 总结人本智能产品设计的现状并预测其发展趋势, 能够对智能产品设计的未来发展提供参考。**方法** 分析机器思维与设计思维的差异, 以阐述人本人工智能背景下智能产品设计的特点。从设计方法和设计工具两个层面总结目前的研究现状, 梳理以人为中心的智能产品设计的发展脉络。**结论** 智能产品设计正逐渐从技术驱动转向以人为本, 逐步整合机器思维与设计思维。然而, 目前针对人工智能技术的设计方法和设计工具仍相对较少, 智能产品的设计实践迫切需要符合人工智能技术特性的设计教育、设计方法与工具, 以弥合机器思维与设计思维的差异。

关键词: 智能产品设计; 人本人工智能; 机器思维; 设计思维

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)02-0001-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.02.001

Current Situation and Development Trend of Intelligent Product Design under the Background of Human-centered AI

SUN Ling-yun^{1,2}, ZHANG Yu-yang^{1,2}, ZHOU Zhi-bin^{1,2}, ZHOU Zi-hong^{1,2}

(1.Zhejiang Key Laboratory of Design and Intelligence and Digital Creativity, College of Computer Science and Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 2.Alibaba-Zhejiang University Joint Institute of Frontier Technologies, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

ABSTRACT: As a design material with unique attributes, human-centered artificial intelligence has become a new focus of intelligent product design and brings about new challenges. This paper aims to analyze the characteristics of intelligent product design under the background of Human-centered AI (HAI), summarize the current situation of intelligent product design, and predict its development trend. It is hoped to provide reference for the future development of intelligent product design. By comparing and analyzing the difference between machine learning and design thinking, this paper explained the attributes of intelligent product design under the background of HAI. This paper summarized the current research status and existing problems from two aspects of design methods and design tools, showing the development of human-centered intelligent product design. The design of intelligent product is gradually shifting from technology-driven to human-centered, as well as from the perspective of machine learning to design thinking. However, there is still a lack of design methods and tools tailored to artificial intelligence. The design practice of intelligent product requires new methods and tools that conform to the characteristics of artificial intelligence, so as to bridge the gap between machine learning and design thinking.

KEY WORDS: design of intelligent product; human-centered artificial intelligence; machine learning; design thinking

收稿日期: 2019-12-16

基金项目: 科技创新 2030-“新一代人工智能”重大项目 (2018AAA0100703); 教育部指导高校科技创新规划项目; 国家自然科学基金 (61672451); 中国博士后科学基金 (2018M630658); 浙江省科技计划项目 (2019C03137)

作者简介: 孙凌云 (1981—), 男, 山东人, 博士, 浙江大学教授, 主要研究方向为人工智能、设计智能、信息与交互设计。

通信作者: 张于扬 (1997—), 女, 山东人, 浙江大学硕士生, 主攻智能产品设计。

近年来,人工智能作为一项前沿技术已经在越来越多的领域中发挥作用。随着技术的成熟和普及,各大科技公司和研究机构对人工智能的关注逐渐从技术驱动转向以人为本,人本人工智能逐渐成为一项重要议题。由于人工智能的特性以及机器思维和设计思维之间的差异,人工智能在从技术到产品的转化过程中面临着诸多挑战。在这一背景下,为解决人工智能产品设计中存在的问题,需要将传统的设计方法和设计工具,根据人本人工智能的特性进行调整和拓展,以弥合机器思维和设计思维之间的差异。

1 人本人工智能背景下的智能产品设计

1.1 人本人工智能概述

人工智能的创始人之一约翰·麦卡锡对人工智能作出了如下定义^[1]:“人工智能是用以制造智能机器(尤其是智能计算机程序)的科学理论和工程技术。人工智能与使用计算机来理解人类智能的任务相关,但是人工智能不需要限制于生物学上可观测的方法。”简单来说,人工智能就是研究如何制造具有智能的机器,即智能体。数据、算法和算力是驱动人工智能的三驾马车。人工智能的推理能力来自对大量数据的学习,因此人工智能算法依赖底层数据。算法是人工智能实现智能的直接手段,也是人工智能的基本动作。算力则为快速高效地运行算法和处理数据提供了硬件支持,比如服务器、云计算等。

人本人工智能(Human-centered AI, 简称 HAI)是指从“以人为本”的视角重新审视人工智能技术,要求设计算法之初就必须意识到它们是由人类组成的更大系统的一部分^[2]。在以机器学习(一系列能针对某个特定的任务,从经验中学习,并且能提高表现的计算机程序^[3])为代表的新一代人工智能热潮中,各大科技公司和研究机构纷纷发布各类人工智能平台、开源工具、数据集和开源算法。伴随着这股技术普及的热潮,设计团队得以发挥自身优势,从以人为本的视角探索这一新兴技术能够为用户带来的价值。人本人工智能遵循三个指导原则:人工智能技术应该受到人类智能的启发;人工智能的发展必须以人的影响为指导;人工智能的应用应该辅助和增强人类,而不是取代人类^[4]。

随着人本人工智能概念的普及,技术发展已经不再是驱动产品开发与设计的唯一力量,而需要将更多非技术因素纳入考量,人工智能产品的设计与开发,正逐渐从技术驱动迈向以人为本。技术只有转化为产品,才能改变人们的生活,而这个转化过程就是智能产品的设计过程。

1.2 人本智能背景下智能产品设计的特点

传统的智能产品往往基于既定的规则,已经具备了初步的环境感知、自身识别、信息接收和行为决策

等智慧特征^[5]。与传统的智能产品相比,人本人工智能背景下的智能产品具备类人的智能,能更自然灵活地响应环境的变化与用户的需求。如今,智能产品的概念和范畴都在不断发展进化,涵盖了由人工智能赋能的软件、硬件、云服务等多种产品形态。以消费级产品为例,常见的智能产品包括智能软件,如智能翻译软件、智能识别应用等;智能硬件,如智能音箱、智能穿戴式设备等。

作为一种新兴设计材料,人工智能技术与传统设计材料相比有很大不同,因此,在将人工智能作为设计材料进行产品设计时,设计师要充分考虑设计材料自身的特性。以机器学习为例,研究人员总结了在设计时需要考虑的机器学习系统相关的因素^[6],包括:(1)自动化水平因素,例如自动化的预测能力和稳定性;(2)能力因素,指的是机器学习模型能够支持的任务;(3)审美因素,机器学习产品的外表会影响自动化程度和使用体验;(4)控制模式因素,如采用固定的控制模式,还是可以由用户调整的控制模式;(5)硬件因素,包括供电、网络、算力(如 GPU)等;(6)学习能力因素,包括所需数据的数量和质量、迭代训练的难度、需要的计算资源等。其中,学习能力因素是人工智能与传统设计材料相比最明显的区别,主要体现为对数据的依赖^[7]。比如,多数人工智能算法会随着数据量、算力的变化,不断在训练工程中进行迭代,其表现出的准确度、运算速度等性能都有所不同。

传统人工智能产品主要从技术层面考虑人工智能的特性,关注产品性能,是典型的技术驱动的机器思维,而较少关注人工智能与人类、与环境的关系等非技术因素。这种技术驱动的产品可能会为了实现最优工程指标而损害用户的利益,如过度收集用户信息,进而侵犯隐私或扰乱现实生活。而人本人工智能产品则在满足功能性需求和实现商业目标的基础上,更多地从以人为本的角度,考量用户体验和设计伦理的问题,从三元空间(人类空间、物理空间、信息空间)的维度^[8]思考智能产品的人机交互问题。传统人工智能产品与人本人工智能产品的异同点见表1。

本文在分析人本智能产品特点的基础上,总结其设计过程所面临的挑战,并从设计方法和设计工具两方面梳理研究现状,展望人本智能产品设计未来的发展趋势,研究框架见图1。

2 研究现状

人工智能领域正面临着从技术驱动到以人为本的重要转折,因此,应用于人工智能产品的设计方法需要根据人工智能算法的特性进行调整与扩充。同时,当前的主流设计工具也需要进行适当调整。否则,参与人工智能产品设计的团队,将很难同时考虑技术的特性、用户的需求以及应用场景的限制。

	传统人工智能产品	人本人工智能产品
相同点	依赖数据驱动算法	
	呈现系统化特点	
	与各种发展中的支撑技术（如柔性电子、自然人机交互、虚拟显示、可编程材料）紧密结合	
不同点	基于单一媒体形式处理信息	跨媒体智能
	技术驱动，关注产品性能	以人为本，关注用户体验
	追求更精确的结果	注重商业目标与设计伦理的考量

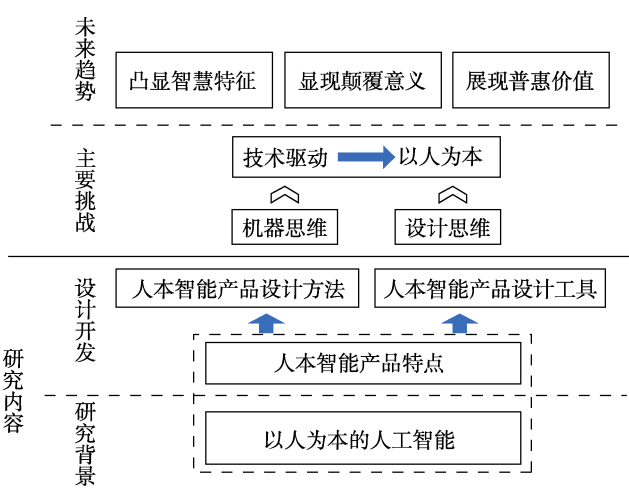


Fig.1 The framework of this article

2.1 人本智能产品设计：从机器思维到设计思维

人本智能产品设计所面临的主要挑战是弥合机器思维和设计思维之间的差距，以实现从技术驱动到以人为本的转变。

设计思维的主要内容是以人为中心，通过头脑风暴、社会化思考、可视化思考、原型实践等手段，帮助设计师深入观察用户行为，探索解决方案，优化设计概念。设计思维有助于解决问题，定义不清晰或未知的复杂问题。设计思维的五个阶段分别为：同理（Empathize）、定义（Define）、构思（Ideate）、原型（Prototype）和测试（Test）^[9]。

机器思维区别于设计思维，很少感性地思考用户的需求，而更致力于利用现有资源在工程指标上取得更优异的表现。以机器学习为例，机器思维也可以相应地映射为以下五个阶段：分析（Analyze）、合成（Define）、构思（Ideate）、调整（Tune）和验证（Validate）^[10-11]。除了单纯的验证环节，机器思维主导的设计活动还会关注一个设计思维很少关注的阶段，即维护。因为人工智能方案常常会在使用过程中进行细节的调整与改动，所以还需要花费更多精力

来维护当前的设计方案，同时观察它在实际使用过程中的表现，并寻求优化甚至是突破。

设计思维与以机器学习为代表的机器思维在解决问题的方式上存在明显差异。设计活动以人为中心，所有的设计思维和实践都需要围绕设计对象的利益相关者展开，如用户、制造者、销售者等。而机器思维的中心则转移到了需要解决的工程任务上，更关注技术的具体指标、输入输出、算法解决方案等。人本智能产品设计需要在每个阶段将两种思维方式有机结合，将机器思维过程按照设计思维的五个步骤进行相应的映射与总结。

人本人工智能背景下，许多学者和研究机构正对人本智能产品设计进行探索，推动人本思想在人工智能技术的应用中发挥作用。李飞飞在斯坦福大学启动了“以人为本的人工智能项目”，这一项目的宗旨是“推动人工智能的研究、教育、政策和实践，以造福全人类”，致力于三个方面的工作：（1）推进和发展下一代人工智能科学（着重与脑科学和认知学交叉）；（2）研究和预测人工智能对人类社会和生活的影响；（3）设计和实践以人为本的人工智能技术和应用^[4]。

同年，麻省理工学院也设立了一个人本人工智能的研究项目集群（Human-Centered AI Collection），其目标为：（1）人工智能系统必须通过向人类学习来不断改进；（2）创造一种有效和可实现的人类机器人交互体验。该项目包括计算机视觉、半监督数据注释、自然语言和非语言交流、强化学习和虚拟现实环境中人类行为的现实模拟等，这一项目将人本智能产品设计的范畴拓展为多学科交叉问题，涵盖机器学习、心理学、经济学等领域^[12]。

与此同时，学者们也着力探索设计在人本智能从技术到产品转化过程中所发挥的具体作用。以机器学习产品为例，关注人本的用户体验设计方法可以弥补机器思维的缺陷，更全面地帮助设计师识别设计机会，根据使用场景和目标用户选择合适的算法。此外，体验设计能够为机器学习的数据获取和迭代过程规划合理的路径，如界定需要被记录的用户行为、利用界面设计更便利地获取交互行为数据以帮助系统进行学习^[13]。

2.2 智能产品设计方法

相关研究表明，在开发智能产品设计方法时，应该尽可能保留设计师所熟悉的设计流程和以人为本的设计思维内核^[13-14]，以帮助设计师快速了解人工智能这种新兴设计材料。智能产品的设计流程与传统设计流程类似，可以归纳为五个阶段：（1）机会发现与团队构建；（2）产品调研与需求定义；（3）概念生成与测试评价；（4）产品开发与生产制造；（5）产品发布与运营维护。在每个阶段，软件产品与硬件产品的设计都有共通的原则和方法，比如均可以采用头脑风

暴法、问卷调查法等传统设计方法;同时,软件产品和硬件产品也有各自的关注点与特殊模式,如硬件产品的团队构成通常包含更多成员,两类产品的原型测试阶段有所不同等等。

智能产品设计需要综合考虑用户、技术、场景三个要素,然而目前设计师尚无法应对三个要素在人工智能背景下所面临的挑战,难以充分整合现有资源产出优质的概念设计方案。(1)技术方面:由于缺乏专业技术教育背景,设计师通常缺乏人工智能相关知识和技能,因此在概念设计阶段进行技术路线的构思、技术可行性的评估时缺乏相关经验。(2)用户方面:设计师往往会忽视用户对于人工智能产品的潜在价值^[15-16],比如利用用户贡献的数据来帮助优化人工智能模型。(3)场景方面:目前人工智能产品的设计和应用仍处在新兴阶段,相关法律法规并不完善,设计师很难把握人工智能合适的应用场景和不同场景下的限制条件^[17],比如用户数据涉及的隐私问题,无人驾驶汽车面对的法律风险问题等等。

许多学者和研究机构正在探索针对人工智能产品的体验设计和交互设计方法。Denis Parra 提出了人工智能的用户体验设计理论——HUMAN^[18],从以人为本的角度提出了人工智能的体验设计原则。该理论强调了整体(Holistic),即人工智能体验应该提供跨越时间和空间的、整体的交互;易用性(Useful),即人工智能体验应该提供有用、易用和好用的交互;可测量(Measurable),即人工智能体验应该根据与业务目标和消费者目标相一致的考核指标来衡量;真实性(Authentic),即人工智能体验应该基于真实的使命,并直接服务于客户的需求;灵活性(Nimble),即人工智能体验应该是灵活的,允许进行紧急调整和适应新的客户期望。

谷歌的PAIR(People+AI Research)团队发布了交互设计指南^[19],帮助用户体验设计人员和产品经理在产品团队中,构建以人为本的人工智能交互设计。该指南关注了用户需求、数据收集与评估、心理模型、可解释性与信任、反馈与控制等议题,同时也包含一些自查表和已有的设计方法推荐,如将传统的IDEO设计方法用于人工智能产品设计,或者是采用Google AI设计原则对设计方案进行评估。

微软提出了十八条普适的人工智能交互指南^[17],并针对每条指南罗列了案例。这些指南由收集到的一百六十八条指南总结而成,并经过了多轮评估。共有四十九名设计师参与了该指南的用户研究,并最终通过二十个人工智能产品的设计实例,来验证这些指南在设计实践中的价值。

服务设计等传统设计思维也可以用于智能产品的概念设计,但这类传统设计方法并没有将人工智能技术对数据的依赖以及训练过程中的迭代纳入考量。比如说,服务设计思维虽然鼓励设计师考虑所有的利

益相关者,但是由于人工智能技术具有迭代频繁、不确定性高等特性,各个利益相关者的特征与诉求可能会不断产生变化。设计师难以对处在动态变化中的用户、人工智能技术与应用场景进行统筹规划和管理。

综合来看,目前的智能产品设计方法大多处于设计原则层面,在实际项目的设计实践中仍然缺乏具体的指导方法,尚不能有效应对人工智能技术特性所带来的设计挑战。

2.3 智能产品设计工具

与传统产品设计类似,智能产品的概念设计工具也通常采用可视化的方式,将收集到的大量信息进行处理,从而帮助设计师挖掘设计洞察。智能产品的概念设计画布^[6]见图2,就是一个以可视化方式帮助设计师从机器学习全生命周期视角分析相关要素的概念设计工具。这一工具将用户、技术、场景三个方面涉及的问题,映射到机器学习技术的六个步骤中,并设置了六种问题卡片引导设计师思考智能产品的体验问题及其解决方案。

目前针对智能产品的设计工具较少,因此设计师在进行产品概念设计时大多仍在使用各种传统的概念设计工具^[20],如利用移情图来理解用户,使用头脑风暴来快速产出大量解决方案等。但是,这些概念设计工具没有将机器思维融合到传统的设计过程中,不能帮助设计师了解复杂多变的人工智能技术,因此无法很好地完成技术到概念设计方案的转化。

除了概念设计工具外,智能产品的原型设计工具也是设计师在开展设计活动时的必要工具,这是因为搭建原型并进行测试是验证设计方案的重要一环。目前主流的智能产品原型设计工具主要可以分为四类:

(1)人工智能服务平台,使用预训练好的人工智能模型来处理数据,可以通过网络平台在多个用户之间共享资源,例如IBM的Watson,但是这类工具往往需要用户自行完成硬件部署和网络连接等操作;(2)开源编程工具包,例如TensorFlow,这类工具提供的功能比较丰富,几乎可以帮助使用者完成机器学习的各个环节,但是需要较扎实的编程基础;(3)非编程工具,例如Yale和Wekinator,使用者通常无需拥有编程经验,但这些工具能够实现的功能也较为有限;(4)硬件工具,例如Google AIY、树莓派、Arduino、神经计算棒,可以用于搭建实体原型,但目前提供的硬件工具功能尚不完备,还无法满足智能产品原型制作的多样化需求。

整体来看,这些原型设计工具(尤其是前两类工具)的目标用户大多是专业的软件开发工程师而非设计师。设计师缺乏人工智能知识,因此在使用这些工具进行原型搭建时仍有较大困难,针对设计师的原型设计工具尚需进一步研究,以帮助设计师快速构建原型,及早发现设计中的问题,降低产品开发风险。

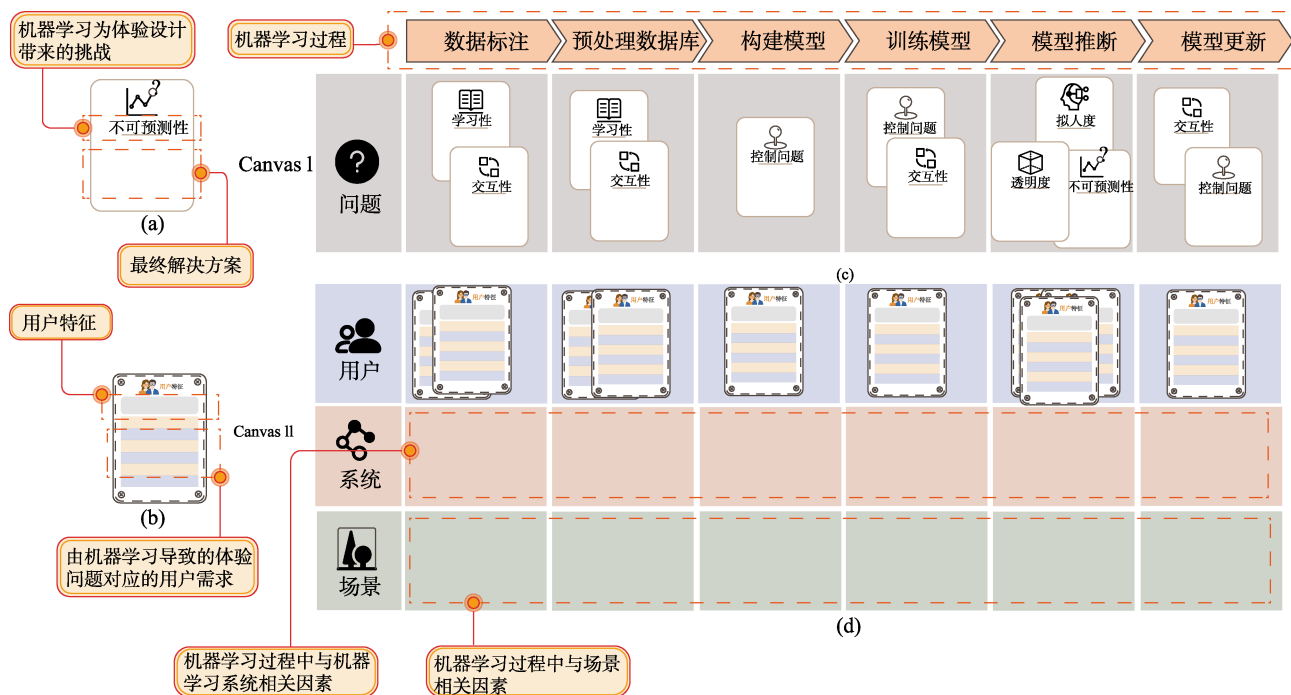


图 2 智能产品的概念设计画布

Fig.2 ML-process canvas

3 未来趋势

以人为本的智能产品设计呈现三个新趋势。

一是融合机器智能与人类智能。智能产品的设计将充分体现科技感、人性化和艺术性，深度融合机器智能与人类智能，促进智能产品具备更多的人类能力，特别是补齐感知、记忆、推理等方面的能力“短板”，从而帮助人类实现更好的发展。值得注意的是，设计师应该具备基本的技术素养以了解人本智能的智慧特征，因此作为设计人才培养的重要途径，设计教育应在课程设置中充分考虑各种发展中的支撑技术，如可编程材料、柔性电子等，以帮助设计学生拓宽思路，更好地把握技术的边界。目前智能产品设计教育的探索包括课程设置，如模块化的课程组织方式^[21]；以及针对设计学生的人工智能教材，如“Machine Learning for Designers”^[22]等。部分高校也开设了智能产品设计相关课程，如清华大学的 AI 智能体验设计《信息设计方法》公开课、浙江大学的《信息产品设计》和《设计思维与创新设计》等课程。

二是突破传统的设计范式。人本智能产品设计将颠覆传统物理世界的设计理念，打破原有的形态和介质，产生融合设计、定制式设计等类型，重新界定产品形态、产业结构与服务模型等。随着新的设计范式的出现，设计活动也需要新工具的支持。设计工具的开发应充分考虑设计师的知识背景和思维方式，同时考虑真实设计环境中设计师与工程师的协同合作，构建一套融合机器思维和设计思维的表达体系，帮助设计团队探索新的设计模式。

三是扩展设计空间。随着人本智能的发展，人类空间、物理空间、信息空间形成的三元空间，将扩展为人类空间、物理世界、智能机器世界、虚拟世界的四元空间，智能产品设计将得到更为广泛的应用，为人机交互、智能工程应用等提供新的设计方法。在人工智能技术的支持下，智能产品的交互形式将向更易于学习和使用的自然交互方向发展。相应的人机交互设计方法应考虑人工智能技术作为设计材料的特点，如数据依赖性，并结合典型设计流程探索人本智能背景下的新设计方法，以帮助设计师或设计团队更好地应对智能产品设计过程中的挑战。

随着人工智能技术的普及和智能产品设计研究的逐步完善，设计师将能够接触更加成熟的智能产品设计方法，使用更多兼具灵活性和易用性的设计工具进行智能产品设计。

4 结语

作为一项前沿技术，人本人工智能的发展推动智能产品设计成为设计领域的新兴话题。相关研究需要结合人工智能技术的特性开发适配的设计方法及设计工具，以帮助设计团队弥合机器思维和设计思维之间的差异，将动态变化的人工智能技术解决方案合理地部署到真实的使用情境中，推动智能产品设计领域的发展。

参考文献：

- [1] MCCARTHY J. What is Artificial Intelligence?[EB/OL].

- (2007-11-12)[2019-12-02]. <http://jmc.stanford.edu/articles/whatisai/whatisai.pdf>.
- [2] RIEDL M O. Human-centered Artificial Intelligence and Machine Learning[J]. Human Behavior and Emerging Technologies, 2019(1): 11184.
 - [3] MITCHELL T M. Machine Learning[M]. Springer, 1997.
 - [4] Stanford University. Introducing the Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence[EB/OL]. (2019-12-11)[2019-12-14]. <https://hai.stanford.edu/>.
 - [5] 杨楠, 李世国. 物联网环境下的智能产品原型设计研究[J]. 包装工程, 2014, 35(6): 55-58.
YANG Nan, LI Shi-guo. Intelligent Product Prototype Design in the Internet of Things Environment[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(6): 55-58.
 - [6] ZHOU Z, GONG Q. ML-Process Canvas: a Design Tool to Support the UX Design of Machine Learning-Empowered Products[C]. Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2019.
 - [7] GILLIES M, FIEBRINK R. Human-Centred Machine Learning[C]. The 2016 CHI Conference Extended Abstracts, ACM, 2016.
 - [8] HAI Z. Semantic Linking through Spaces for Cyber-Physical-Socio Intelligence: a Methodology[J]. Science Direct, 2010, 175(5-6): 988-1019.
 - [9] PLATTNER H, MEINEL C, LEIFER L. Design Thinking: Understand-Improve-Apply[M]. Springer Science & Business Media, 2010.
 - [10] 付志勇, 周煜瑶. 人工智能时代的设计变革[J]. 中国艺术, 2017(10): 58-63.
FU Zhi-yong, ZHOU Yu-yao. Design Change in the Age of Artificial Intelligence[J]. Chinese Art, 2017(10): 58-63.
 - [11] TapanVora. Design Thinking for AI: Sustainable AI Solution Design[EB/OL]. (2019-02-21)[2019-12-10]. <https://www.cuelogic.com/blog/design-thinking-for-ai>.
 - [12] MIT. Human-Centered Artificial Intelligence[EB/OL]. (2019-12-11)[2019-12-14]. <https://hcai.mit.edu/>.
 - [13] YANG Q. The Role of Design in Creating Machine-Learning-Enhanced User Experience[C]. 2017 AAAI Spring Symposium Series, 2017.
 - [14] ROZENDAAL M C, GHAJARGAR M, PASMAN G, et al. Giving Form to Smart Objects: Exploring Intelligence as an Interaction Design Material[C]. New Directions in Third Wave Human-Computer Interaction: Volume 1-Technologies, Springer, Cham, 2018.
 - [15] ZHU H, YU B, HALFAKER A, et al. Value-sensitive Algorithm Design: Method, Case Study, and Lessons[J]. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 2018(2): 194.
 - [16] YANG Q, SUH J, CHEN N C, et al. Grounding Interactive Machine Learning Tool Design in How Non-experts Actually Build Models[C]. Proceedings of the 2018 Designing Interactive Systems Conference, ACM, 2018.
 - [17] AMERSHI S, WELD D, VORVOREANU M, et al. Guidelines for Human-AI Interaction[C]. Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2019.
 - [18] SANTANDER D P. Human-Centered Machine Learning: Harnessing Visualization and Interactivity for Unlocking Black-Boxes in AI[EB/OL]. (2018-06-07)[2019-12-10]. <https://www.slideshare.net/denisparra/humancentered-machine-learning-harnessing-visualization-and-interactivity-for-unlocking-blackboxes-in-ai>.
 - [19] Google. People+AI Guidebook[EB/OL]. (2019-12-11)[2019-12-14]. <https://pair.withgoogle.com/>.
 - [20] TSCHIMMEL K. Design Thinking as an Effective Toolkit for Innovation[C]. ISPIM Conference Proceedings, The International Society for Professional Innovation Management (ISPIM), 2012.
 - [21] MCCARDLE J R. The Challenge of Integrating AI & Smart Technology in Design Education[J]. International Journal of Technology and Design Education, 2002, 12(1): 59-76.
 - [22] HEBRON P. Machine Learning for Designers[M]. O'Reilly Media, 2016.