

【特别策划】

人工智能产品与服务体系研究综述

孙效华, 张义文, 侯璐, 周雯洁, 张绳宸
(同济大学, 上海 200092)

摘要: **目的** 在新一代人工智能发展背景下, 分析并明确人工智能产品及其服务体系的特征与价值, 指出未来发展趋势, 为相关设计、技术与应用研究提供参考。**方法** 从人工智能的概念出发, 给出人工智能产品及其服务体系的定义; 收集并分析典型的人工智能产品和相关研究, 总结整理人工智能产品的关键特征和支撑技术; 探索人工智能产品的典型服务场景, 对相关研究现状进行综述; 基于前文分析对未来发展趋势及挑战进行预测。**结论** 指明了人工智能产品具有情境感知、自适应学习、自主决策、主动交互与协同的典型特征; 描绘了以数据和计算能力为基础、算法为核心、多种底层技术与通用技术为支持的场景应用的人工智能产品支撑技术框架; 分析了人工智能产品的服务体系在不同场景中可以赋予的价值; 预测了由技术驱动向设计驱动转化、由单品视角向服务体系视角转变的未来发展趋势。

关键词: 人工智能; 人工智能产品; 服务体系; 服务场景

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)10-0049-13

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.10.009

Review on Artificial Intelligence Products and Service System

SUN Xiao-hua, ZHANG Yi-wen, HOU Lu, ZHOU Wen-jie, ZHANG Sheng-chen
(Tongji University, Shanghai 200092, China)

ABSTRACT: In the era of a new generation of artificial intelligence, this work aims to analyze and identify the characteristics and value of artificial intelligence products and service systems, indicates the future development trends, and provides references for related design, technology and application research. Starting from the concept of artificial intelligence (AI), the concepts of AI products and service systems is defined in this paper. Typical AI products and related research are reviewed and analyzed, and the key features and supporting technologies of artificial intelligence products are summarized. Then, this paper explores the typical service scenarios of AI products and reviews the current status of relevant research. Finally, the future trends and challenges are predict based on the previous analysis. This paper indicates that the typical characteristics of AI products include context awareness, adaptive learning, autonomous decision-making, proactive interaction and collaboration. Framework of supporting technologies of AI products is described, that data and computing power as base, algorithms as core, and multiple underlying technologies and general technologies supporting applications in various scenarios. The value that the service system of AI products can bring is analyzed in different scenarios. The future trends are predicted as the transformation from tech-driven to design driven, and the switch of perspective from single AI product to service system.

KEY WORDS: artificial intelligence; AI products; service system; service scenario

随着近年来深度学习算法的兴起, 以及大数据、计算能力等多方面技术的进步, 人工智能迎来了自 1956 年达特茅斯会议上被首次提出后的第三次发展

浪潮。2019 年中央全面深化改革委员会第七次会议审议通过了《关于促进人工智能和实体经济深度融合的指导意见》, 政府在工作报告中首次提出了“智能+”

收稿日期: 2020-05-01

作者简介: 孙效华 (1972—), 女, 河南人, 博士, 同济大学教授、博士生导师, 主要研究方向为人工智能与机器人、交互设计与技术、大数据与信息可视化分析、车载人机界面与汽车互联服务创新。

通信作者: 张义文 (1991—), 男, 山东人, 同济大学博士生, 主要研究方向为人工智能产品及无人车中的交互设计。

的概念,人工智能产品正面临着政策、技术、社会等多方面的发展机遇。然而,当前有相当一部分“智能产品”实质上仅停留在数字化、网络化的阶段,并不具备以新一代人工智能技术为核心的自主感知、认知和决策能力。同时,社会对于人工智能产品的需求也发生了变化,不再停留在对人类个体的模拟以实现辅助功能上,而是需要其发挥人工智能的优势以解决系统化的问题。因此,在新一代人工智能发展的背景下,有必要对人工智能产品的涵义、特征与支撑技术进行分析,并探究其服务体系可以为社会、产业等场景赋予的价值。

1 人工智能产品及其服务体系概述

1.1 人工智能产品的定义

人工智能(Artificial Intelligence, AI)是与人类及动物具有的自然智能(Natural Intelligence)相对的概念,简单来说就是用计算机程序来模拟人的智能,或者说是受智能启发的计算(Intelligence-inspired Computing)^[1-3]。通过分析总结,将采纳以下人工智能的定义,即“系统能够正确阐释并从外部数据中进行学习,以利用学习的成果来适应性地实现特定目标和任务的能力^[4]”。人工智能产品即指运用人工智能的理论、方法和技术处理问题的产品或系统^[5]。微软在一项人工智能系统交互指南的研究中,使用了AI系统(AI-infused System)来指代运用了人工智能技术且直接面向终端用户的系统^[6]。还有一些文献中则进一步描述了人工智能产品所呈现出的具体能力,包括:(1)感知能力,可以感知并获取外部世界的信息;(2)记忆和思维能力,可以对感知到的信息进行存储并用类似人的思维进行加工,产生知识并支持决策;(3)学习能力和自适应能力,可以在与环境的相互作用中通过学习积累知识,以适应变动的环境;(4)行为决策能力,可以对外界刺激做出反应,形成决策并产生相应行为^[7]。Ren F等人^[8]也在其关于HCI与智能机器人的综述文章中,将拥有“感知、学习、理解或推理形成新知识和应对新情况”的能力的机器人称为智能机器人,并将其作为一种典型的人工智能产品。

应当意识到,现在绝大多数的AI仍然是“弱人工智能(Weak AI/Narrow AI)”,即其能力局限于某一特定领域,与理想状况下可以解决不同领域中的各种复杂问题的“通用人工智能(Artificial General Intelligence)”仍有较大距离。因此无论人工智能程度的强弱及其应用领域的范围,均属于本文中人工智能产品的范畴。产品化或系统化的人工智能可以与人进行交互,因此人机交互领域中对人工智能产品的“拟人智能”特征进行了强调,认为人工智能产品并不是单纯的工具,而是具有社会性的。张小龙等人^[9]则在交互层面界定了人工智能产品或系统,指出其智能性

可以体现在前端对于用户信息输入方式的灵活性和复杂性的接受度,或者后端对于信息处理和整合能力,而前端与后端的智能性不一定同时具备。综上所述,人工智能产品的AI能力与作用范围是具有差异的,而当其与人进行交互时将会呈现出拟人智能的特征,并且不同特征或能力与人的联系紧密性有区别。

1.2 人工智能产品的服务体系

由于单一的人工智能产品其作用范围往往是有限的,在面对复杂的应用场景时如何充分发挥人工智能的价值,就更需要系统层面的考量。随着更高性能的计算、智能化的分析、低成本的数据获取及万物互联融入人们的生活,人工智能技术驱动下的创新不应局限于人工智能产品或系统的开发,而应更多地关注能够满足用户需求的增值服务创造,创新的人工智能产品的服务体系已经成为智能时代社会发展的必然趋势^[10]。通过将关注点从人工智能产品扩展到其全生命周期的外围服务,横向、纵向延伸各产业链条,重构人、人工智能产品及信息、产业等相关要素之间的关系,对服务体系进行有效集成和全局优化,具有自感知、自优化、自组织能力的人工智能产品或系统将更好地满足用户需求,为社会创造更广泛、更持续的价值^[11]。针对如何构建人工智能产品的服务体系,Allmendinger G^[12]提出了“感知+联结+相关利益方+交互”的方式,以借助人工智能技术实现服务系统中相关利益方的协同和资源整合。Valencia A等人^[13-14]指出,人工智能产品的服务体系核心组成要素分为三个层面:结构化的产品、智能化的技术、联结化的服务。其中,智能化的技术能够提升结构化产品的效用及功能,而联结化的服务意味着通过数字及网络,使得结构化产品的部分功能和效用能够脱离产品本身而存在,产生更多的附加价值。另外,通过与各领域拥有人工智能产品的服务体系构建经验的专家进行访谈,了解到服务系统构建中设计发挥作用的五个方面:预见未来场景、创造良好用户体验、整合利益相关者需求、提出问题解决方案和发掘可实现的目标^[15]。

2 人工智能产品关键特征与技术

2.1 典型人工智能产品分析

2.1.1 智能服务机器人

国际机器人联合会(IFR)对服务机器人的定义为:“为人类或设备执行有用任务的机器人(不包括工业自动化应用)^[16]”。智能服务机器人则是在传统服务机器人的基础上,运用人工智能技术,赋予其自适应的感知、认知、决策以及学习能力,使其在复杂环境中可以在一定程度上自主化地完成相应任务,并通过学习不断提升自己的能力。智能服务机器人大致

表 1 典型智能服务机器人产品
Tab.1 Typical intelligent service robots

产品类型	主要用途	主要功能	支撑 AI 技术	典型案例
家用服务机器人	家务、陪护、娱乐、教育、健康服务、安全监控等	自主定位导航、人脸唤醒、语音唤醒、知识问答、数据监测与分析等	语音识别与合成、自然语言处理、计算机视觉、深度学习、知识图谱等	罗宝吸尘机器人；robi 家居机器人；360 儿童机器人
商用服务机器人	导购、导览讲解、物流、安防、巡检、咨询、送餐等	自主导航、智能自动避障、自主路径规划、远程视频监控交互、自动跟随等	自然语言处理、计算机视觉、深度学习、知识计算引擎与知识服务等	Temi 服务机器人；Pepper 导览讲解机器人；派宝导购机器人

表 2 典型无人车产品
Tab.2 Typical autonomous vehicles

产品类型	主要用途	主要功能	支撑 AI 技术	典型案例
载人式无人车	公共交通、私人出行、园区慢行交通等	复杂环境感知、智能决策、自适应路线规划、车路协同控制等	计算机视觉、深度学习、自主定位导航等	Waymo 无人车；特斯拉 Autopilot；百度 Apollo Go 无人出租车
非载人式无人车	特种作业、物流运输、环卫清洁等	作业环境感知、协同式队列驾驶、车路协同控制、云端智能运营、紧急避让、精准避障等	计算机视觉、深度学习、自主定位导航、自适应学习等	金龙阿波龙 GOVO 无人驾驶消毒清扫车；驭势无人物流车

可分为家用和商用两个方向，可以在居家、养老、商业、物流等多种场景进行应用，其功能与作用范围也各有不同。典型智能服务机器人产品分析见表 1。

服务机器人服务的对象和场景具有多样性和复杂性，需要对新的开放场景、新的对象和新的任务具有自适应能力。Tenorth M 等人^[17]提出了虚拟知识库（Virtual Knowledge Base）技术，结合内部知识库和传感器信息，支持机器人执行复杂的任务。Lemaignan S 等人^[18]则将机器人知识图谱的知识获取来源分为三类：来自传感器的知识和数据、来自人机交互过程中的知识和数据以及来自相关知识库的知识和数据。Sun X 等人^[19]研究了由机器人部署的典型空间类型，分析了每种空间中所需的机器人任务，以此考虑了三种自适应学习方法（自主学习、利用实时现场数据的无监督学习和引导式学习）的适用性和应用方式。服务机器人如何在交互的过程中给人带来愉悦的体验，也是当前研究的热点话题。Röning J 等人^[20]研究了服务机器人中的情感交互，开发了一种面向 HRI 的分布式系统，结合了所有基本的感官元素，可以识别用户情绪并通过情感交互提供个性化服务。

2.1.2 无人车

无人车（Autonomous Vehicle，AV）是综合运用多种人工智能技术的代表性产品，通过自主规划、决策和控制，实现自主无人驾驶。代表性的自主式无人车如 Waymo 无人车、特斯拉 Autopilot 以及百度 Apollo 等。无人车利用多种雷达、摄像头及高精地图等对周围环境建立感知，通过深度学习、计算机视觉等方法，对路况、信号灯和环境中的行人、车辆、障碍物等进行识别，最终通过智能规划与决策控制车辆的行为^[21]。随着现代通信与网络技术的发展，无人车

可以通过与行人、道路设施、其他车辆、云平台等的智能信息交换与共享，实现复杂环境感知、智能决策与协同控制等功能^[22]。无人车根据其用途，可主要分为载人式无人车和非载人式无人车两种，其中载人式无人车主要满足人的出行需求，非载人式无人车主要面向各种作业场景来完成特定任务，如物流运输、环卫清洁、特种作业等。典型无人车产品见表 2。

无人车的核心在于无人驾驶系统，其驾驶能力并非一成不变，而是不断从与环境和驾驶员的交互中提升。Vanderhaegen^[23]提出了一种基于机器学习的模型，该模型侧重于两种能力，即人与系统的协作能力和系统从这些协作动作中自我学习的能力，使无人驾驶系统可以提升性能及管理系统阈值，以增强自主性。模仿学习使无人驾驶系统可以通过示例或演示来学习执行特定任务，此方法可用于无人车中的个性化自动驾驶行为，以最大程度地提高用户的舒适度，降低自定义驾驶行为生成的复杂性，使其对于非专业用户而言更易于使用^[24]。人工智能技术还应用于优化人与无人车的交互体验。麻省理工学院交通与物流中心的研究人员，通过搜集大量 Tesla Autopilot 真实驾驶数据，利用深度学习算法进行分析，探明人类与 AI 的互动机制，即“如何在不断提升道路安全的同时不牺牲驾驶的愉悦性^[25]”。在人车协同场景下，Abbink D A 等人^[26]探索了触觉共享控制在人车协同中的应用，实验证明，触觉共享控制可以提升人车协同的绩效。

2.1.3 AIoT 系统及个人终端产品

人工智能物联网（AIoT）是人工智能（AI）与物联网（IoT）的融合，可以收集海量信息并在云端或本地中控设备进行智能分析，以实现万物智联。其技术架构一般以云端服务器和个人拥有的本地中控

设备为中心，结合一系列物联网终端产品组成。

AIoT 系统中采用人工智能技术对物联网设备产生的大量数据进行整合与分析，通常需要较强的计算能力，一般将相应计算部署于云端或个人拥有的本地中控设备。本地中控设备在 AIoT 系统中起到协调控制、综合数据、提供主要人机交互界面的作用，具有一定的计算能力，因此通常将部分相应速度要求高的计算部署在本地中控设备。在相关研究中，Mahdavinnejad M 等人对应用于物联网的机器学习技术进行了总结^[27]。Li H 等人对机器学习技术在边缘设备进行计算的方法进行了探索^[28]。在实际产业应用中，中控设备主要包括手机、平板电脑、智能音响、个人机器人等类型。

AIoT 对于数据感知层面有着很高要求。AIoT 的个人终端产品需要持续收集个人信息并不干扰用户生活，一般形式有智能家居产品、物联网传感器、佩

戴式智能配件以及智能服装与智能织物等，典型 AIoT 个人终端产品见表 3。

其中，佩戴式智能配件和智能服装与智能织物均属于可穿戴产品。可穿戴产品是可以穿戴在身上、感知人体数据并传递信息的计算设备，其轻量、灵活、无感等特性，使其成为 AIoT 个人终端产品的理想形态^[29]。可穿戴式的 AIoT 个人终端产品具有自感知和自分析能力，使其可以自主化地完成用户数据的监测与分析，完成用户数据量化，并通过数据分析作出判断和分析，提供个性化建议。这些产品也成了人的智能化延伸，人可以更好地感知外部与自身的信息，能够在计算机、网络甚至其他人的辅助下，更为高效率地处理信息，实现更为无缝的交流。其应用领域可以分为两大类，即自我量化与体外进化。

可穿戴式 AIoT 个人终端产品因其与用户身体直接接触，其最核心的价值也在于对用户生理数据的感

表 3 典型 AIoT 个人终端产品
Tab.3 Typical AIoT personal terminal products

产品类型	主要用途	主要功能	支撑 AI 技术	典型案例
智能家居产品	生活起居、智能安防、医疗保健、信息交流、休闲娱乐等	在一般家电功能基础上，具备可编程、可远程控制、数据采集和分析等功能	语音识别与合成、计算机视觉、深度学习、知识计算引擎与知识服务等	米家系列 IoT 生态；Philips Hue
物联网传感器	智能安防、医疗保健等	自动记录与分析安防、健康等数据，安防、医疗联网等	计算机视觉、深度学习、大数据挖掘等	各类装载物联网功能的传感设备
佩戴式智能配件	运动健身、医疗保健、信息交流、休闲娱乐等	自动存储和传输数据信息、跟踪或管理个人信息等	计算机视觉、数据挖掘、深度学习、知识计算引擎与知识服务等	Apple Watch ； Google Glass ； Jawbone UP24
智能服装与智能织物	运动健身、医疗保健等	测算跑步线路与距离、监测心率及呼吸数据等	机器学习、深度学习、数据挖掘等	Glowfaster；小米智能鞋

表 4 典型智能个人助理及娱乐产品
Tab.4 Typical intelligent personal assistant and entertainment products

产品类型	主要用途	主要功能	支撑 AI 技术	典型案例
系统终端集成智能助理	生活助手、休闲娱乐、终端控制、社交聊天等	对话式智能问答、实时翻译、语音指令、个性化内容推荐等	自然语言处理、语音识别与合成、知识计算引擎与知识服务等	苹果 Siri；蔚来 Nomi
家用智能语音交互硬件或平台	儿童教育、休闲娱乐、生活助手、家庭陪伴、终端控制、社交聊天等	家电控制、内容点播、语音遥控、语音提示、接打电话、手机定位等	自然语言处理、语音识别、知识计算引擎与知识服务等	HomePod；天猫精灵；叮咚音箱
专用对话机器人	导购、咨询、客服服务、资讯推送等	位置引导、促销信息、楼层信息查询、智能推荐/智能搜索等	自然语言处理、语音识别与合成、智能识别、自主定位导航、知识计算引擎与知识服务等	心理咨询机器人 Woebot
视频、图像娱乐应用	图像处理、社交聊天等	图像风格转换、实时人脸贴图、人脸美化等	计算机视觉等	Prisma；FaceApp；Apple Animoji
文字娱乐应用	社交聊天、游戏等	按需生成文本、开放领域对话、合成游戏脚本等	自然语言处理、理解与生成，知识计算引擎与知识服务等	AI Dungeon 生成式文字游戏

知与分析, 用户对于相关信息的感知是使用体验的重要影响因素。Ravichandran R 等人^[30]对睡眠传感器的应用展开了深入的调查与定性分析, 发现当前睡眠传感技术提供的信息会影响用户对睡眠的感知, 不利于达到健康睡眠的目标, 据此提出了改善睡眠传感技术反馈的设计建议。Yang R 等人^[31]针对个人健康监测系统展开了调查, 发现用户期望、身体特征、活动类型及生活方式的差异, 会影响用户对系统感知准确性的评估, 据此提出了设计建议, 更好地提升系统感知的准确性。同时在一项影响智能可穿戴产品应用因素的研究中, 发现健康管理应用的可用性及产品外观都对产品的采用率有较大影响, 因此, 在智能可穿戴产品的设计中, 需要特别强调其作为贴身伴侣与时尚符号的特性^[32]。

2.1.4 智能个人助理及娱乐产品

智能个人助理及娱乐产品是人工智能技术面向个人用户的直接应用。其中, 典型的智能个人助理产品使用智能语音交互技术, 结合知识计算引擎与知识服务, 提供知识检索功能或与各类应用软件进行集成, 使用自然的人机交互将各类分散的应用功能进行整合。智能娱乐产品则运用自然语言理解、风格迁移、实时人脸、动作与物体识别等人工智能技术, 提供新型娱乐体验。典型智能个人助理及娱乐产品见表 4。

其中, 智能个人助理主要依赖智能语音交互技术。智能语音交互是基于语音输入的新一代交互模式, 通过说话可以得到反馈结果。智能语音交互系统则是运用了自然语言处理、语言识别等技术, 从而具备拟人化的智能特征。通过感知和分析用户意图和情感, 自发性帮助用户完成任务, 以提供更人性化的服务体验。智能个人助理产品帮助用户解放双手和双眼, 在需要多感官协同的场景下效率更高。例如, 车载场景下通过语音点播音乐, 医疗场景下医生在沟通病情的同时记录病历, 工业场景下在双手占用的同时下达指令。智能语音交互产品可以在教育、养老、客服等多种场景中应用。

不论是基于语音还是基于文本的对话式交互产品, 其与用户都是通过自然语言直接进行交互的, 用户体验很大程度上被自然语言中的拟人特征所影响。百度 AI 用户体验部门在研究人与人工智能产品的语音交互体验中, 提出注重系统的交互响应时间和反馈语速, 以及智能系统的人设和人称代词设计, 营造更为自然和富有情感的语音交互体验^[33]。而不同应用场景下, 人工智能对话机器人所扮演的角色与提供的内容, 都是与情境和任务密切相关的。Bruss M 等人^[34]利用 AI 技术开发了应用于汽车 HMI 中的主动响应式语音助手, 以实现仿人类助手的反应模式, 通过意图预测为驾乘人员提供主动式的操作建议与内容推荐。Fitzpatrick K K 等人^[35]开发的心理咨询机器人 Woebot, 是基于“认知行为疗法 (CBT)”的人工智

能对话机器人, 可以为有焦虑和抑郁症状的大学生提供自助心理疏导, 以期改善心理健康。

智能娱乐产品则包含应用计算机视觉技术的视频、图像娱乐应用和文本生成技术的文字娱乐应用等类型。在视频和图像娱乐应用方面, 风格转移技术被用于图像滤镜处理^[36-37]。实时人脸和动作识别技术则被广泛应用于数字化妆^[38]。在文字娱乐应用方面, 社交聊天机器人和文字游戏等是常见的技术应用。与针对特定任务进行对话交互的个人助理类型对话机器人不同, 作为智能娱乐产品的社交聊天机器人通常进行开放域 (Open domain) 对话, 使用检索式或生成式的对话系统, 与用户进行不限定话题的对话^[39]。Fendt M 等人则基于叙事文本生成技术, 开发了交互式的文本冒险游戏^[40]。

2.1.5 行业人工智能产品

人工智能产品在各种行业领域, 都具有广阔的应用空间。医疗行业会产生大量的临床诊断数据, 通过对大数据进行处理并发现特征, AI 可以为医生提供诊断建议, 如利用递归神经网络建立预测模型以辅助诊断的 Doctor AI^[41]。以生物识别技术为核心的智能支付产品已经大量普及, 而在整个金融行业内, 人工智能可以提升风险防控的效率和精度, 提升理赔、营销、投资顾问、客服等业务流程的效率与体验, 并为客户提供差异化服务^[42]。2016 年, 由 IBM 基于 Watson 技术研发的“人工智能律师 Ross”的出现, 代表着人工智能产品开始应用于法律领域^[43]。基于语音、文字处理技术以及知识图谱的人工智能产品, 提供了法律信息检索、文书审阅、案件预测、智能咨询等功能, 为用户提供了更专业、更高效的法律服务。教育行业则因为人工智能技术的应用, 真正有机会实现“因材施教”。智适应教育产品可以对每个学生的学情进行侦测, 以算法模型规划学习路径并推送学习内容。Cui W 等人^[44]的研究表明, 使用智适应学习产品的中国学生在中学数学和英语方面, 表现得比传统课堂更好。物流体系往往是一个涉及人员众多的庞大体系, 在大量人员参与下强调效率与精准。物流行业内的人工智能产品应用既有在系统层面上的, 如仓库选址、智能调度、运营管理等; 也有在运行层面上的, 例如分拣机器人、配送机器人等。林立等人^[45]对智能无人快递配送小车及多个小车之间的任务分配策略进行了研究, 提升了配送效率与灵活性。典型行业人工产品见表 5。

行业人工智能产品研究的-大特点是与一线应用结合紧密, 企业研究机构拥有丰富的应用场景。例如在医疗领域中, 由于医疗数据存在多模态的特征, 所以 AI 医疗辅助诊断系统需要对各种模态数据都具有理解能力。依图科技一项发表在 Nature Medicine 的研究表明, 利用 NLP 技术处理中文文本型电子病历, 并通过深度学习和知识图谱对病历数据进行解

表 5 典型行业人工智能产品
Tab.5 Typical AI products in industries

产品类型	主要用途	主要功能	支撑 AI 技术	典型案例
医疗行业 人工智能 产品	医疗咨询、自诊辅助、导诊服务、辅助诊断、精准医疗、临床科研等	预问诊并生成问诊报告、智能语音录入病历、疾病相关性分析、患病原因分析、疾病谱分析、病情预测和评估等	自然语音处理、语音识别、机器学习、深度学习、计算机视觉、知识计算引擎与知识服务等	“云医声”智能语音助手，“晓医”导诊助手，Microsoft BioNLP，IBM Micromedex，腾讯觅影 AI 医疗辅助诊断系统
金融行业 人工智能 产品	投资、投研、投顾，风险管理，用户身份核验等	交易与营销反欺诈、操作风险识别、趋势预测、投资策略优化、市场分析、活体检测与人脸对比等	时间序列分析、深度学习、知识图谱、大数据挖掘、生物识别技术等	Advance.ai e-KYC，Betterment 智能投顾平台，融 360 人工智能个人金融助理
法律行业 人工智能 产品	智能研判、法律文书审阅、案件预测、智能咨询等	当事人法律在线咨询、法官判案和量刑辅助、律师判决文书分析等	自然语言处理、语音识别、文本识别、语义检索、知识计算引擎与知识服务等	睿法官智能研判系统，Docket Alarm 智能研判产品，法狗狗咨询机器人
教育行业 人工智能 产品	智适应教育、虚拟学习助手、生涯规划、智能批改、智能学情管理等	学习者个性化学习规划、内容管理、自适应测评、情绪监测、学生作业智能批改、学习数据管理等	图像识别、机器学习、深度学习、自然语言处理、知识计算引擎与知识服务等	松鼠 AI 智适应教育产品，“批改网”智能批改平台，“狸米学习”智能学情管理产品
物流行业 人工智能 产品	智能运营管理、仓库选址、决策辅助、智能调度等	多时段自动配置订单、自动识单、供应链风险预测、车货匹配等	机器学习、数据挖掘、多智能体优化、群体智能技术、自主无人系统技术等	Starship 智能配送机器人，菜鸟智能分单系统产品，京东地狼拣货机器人

构，可以形成智能病种库以构建临床辅助诊断模型^[46]。同时，AI 医疗辅助诊断尚不能取代人类医生的诊断角色，因此建立医生与 AI 医疗产品之间的有效协同也是当前面临的关键问题。Google 研究院在一项医疗 AI 诊断助手的研究中发现，仅有准确的算法诊疗预测对于人和智能系统的有效协同是不够的，因此他们调查了医学专家在一开始与 AI 系统协作时希望获取的信息类型，以支持人机协同的决策机制^[47]。

2.2 人工智能产品的特征

通过对当前典型人工智能产品的分析，总结出人工智能产品的四个关键特征：情境感知、自适应学习、自主决策及主动交互与协同。把握好人工智能产品的关键特征，将为人工智能产品的设计研究与开发，以及人工智能产品的服务体系构建提供有效的指导。

2.2.1 情境感知

情境感知（Context-awareness）是指人工智能产品可以像人一样感知情境因素的变化，以支持在适当的时机，以适当的方式向用户提供适当的反馈^[48]。情境因素既包括交互过程中与人有关的信息，又包括与物理环境及其他实体相关的状态信息^[49]。获取更多的情境信息有助于人工智能产品更有效地完成任务，前提是对感知到的信息进行有效处理而不被过量信息干扰^[50]。因此，对于人工智能产品而言，如何利用其情境感知的能力获取并向用户提供合适的信息，有助于支持其完成相应的任务目标。为了增强系统的可理

解性与可控制性，Bellotti V 等人^[51]从人的角度提出了具有情境感知特征的产品或系统的设计框架，其中包括四项设计原则：（1）使用户明确系统感知的功能和所理解的内容；（2）提供前馈与反馈；（3）加强身份和行为公开；（4）允许用户控制。Lim B Y 等人^[52]则通过两个实验探究了用户在真实场景中感兴趣的信息，以此来指导具有情境感知特征的产品或系统设计中应当向用户提供的信息类型，以及在不同条件下如何进行调节，并对如何提供不同的可理解类型给出了设计建议。

2.2.2 自适应学习

自适应学习（Adaptive Learning）是指人工智能产品在执行复杂任务或与人交互的过程中，依靠不断地采集环境信息，或在用户反馈积累和向用户的主动询问中获取关键信息，以此支持模型不断学习与修正，提升模型预测的准确性^[53]。如何在复杂和动态的环境中进行自适应学习，一直是阻碍人工智能产品性能取得突破性进展的一个问题。加州大学伯克利分校的一个研究团队在其一篇“A Berkeley View of Systems Challenges for AI”论文中提到了这个问题，并强调了执行在线学习的能力对人工智能产品至关重要，如何在动态环境中行动并持续学习是最有希望的研究方向之一^[54]。Cakmak M 等人^[55]介绍了人工智能产品主动学习和询问的三种交互模式（第一种是每轮都进行询问，第二种仅在特定条件下询问，第三种则在用户明确要求时询问），并通过一项实验验证了每

种模式的优势与不足,提出了一些针对主动学习的智能系统设计的指导原则。Chao C 等人^[56]研究了机器人以非语言的自然手势的形式,向人类询问以进行学习的交互过程,初步数据显示主动学习有助于提高透明度,从而提高机器人学习的准确性和效率。Rosenthal S 等人^[57]针对人对于机器人询问的响应不够准确的问题,提出了以机器人状态信息为询问补充的方法,设计了人机协作任务实验,从机器人状态的四个维度(不确定性、情境、预测和特征选择)改变了询问内容,以实验结果指导了四个维度的有效组合。

2.2.3 自主决策

自主决策是人工智能产品自主性(Autonomy)的一个重要体现,指可以不受人的干预,在非结构环境下以一定的控制策略自主地进行决策,并持续执行一系列行为以完成预定目标^[58]。这是由于人工智能产品可以随着时间的推移而进行学习和变化,动态设置自己的目标,以及通过外部传感器信息或者输入数据以适应本地条件^[59]。与传统的通过执行预设的程序来代替用户完成设定的任务的自动系统不同,人工智能产品可以在无监督的状态下执行任务以完成用户目标,具有一定的自我管理与自己引导能力^[60]。因此,传统的自动化研究更多地关注于自动化对用户表现的影响,以及用户一定程度上的主观感受;人工智能产品的自主性则会导致用户较高的情感反应,人与自主系统的交互中需要更多地考虑社交和心理因素^[61]。Norman^[62]建议在设计中加入保护措施(如验证步骤)或者控制产品或系统的自主程度,以防人工智能产品或系统产生不必要的自适应行为。Höök^[63]建议在智能用户界面设计中对用户期望进行管理,以免在与不可预测的人工智能系统交互中,对用户产生误导或使用户挫败。Rader 等人^[64]研究了用户如何使用算法决策系统并评判潜在后果,对于人工智能系统的行为进行了解释以提升透明度,将有助于用户确定系统是否存在偏见或是否可以对其看到的内容进行控制。

2.2.4 主动交互与协同

基于人工智能产品自感知、自适应、自学习与自决策的能力,在与人的交互中,人工智能产品也呈现出区别于传统产品的特征。一方面是在交互中呈现出的主动性,即与传统的由用户发起和系统做出反馈所构成的交互不同,人工智能产品通过预测用户而主动发起交互;另一方面是其具有协同性,即与传统的作为辅助人的工具不同,人工智能产品可以作为团队成员的角色与人进行协作,共同完成预设目标。这也反映了人工智能产品设计中的重要价值观,即拥有自主性的产品不是为了取代人类,而是为了让人类更好地完成目标。特别是很多时候人的能力仍然对于最终目标的实现有着不可取代的作用^[65]。Vanhala J 等人^[66]通过一个名为“Morphome”

的项目,研究了日常环境中如何以主动响应式解决方案来控制智能对象和服务,探索了不同用户或居民在使用该系统时的不同态度和行为,强调了具有主动响应式特征的产品或系统的研究需要融合社会、文化及技术等各个方面。刘烨等人^[67]针对人工智能产品与人的协同,在回顾总结已有的人机交互模型(包括MHP、GOMS、PMJ模型等)的基础上,提出了一个符合人类认知机理和心理规律的人机合作心理模型,以应对人工智能时代的人机协同。

2.3 人工智能产品支撑技术

人工智能产品所表现出来的智能特征,是与多种人工智能技术的支撑密不可分的。人工智能技术的核心是算法模型,近年来掀起的第三次人工智能浪潮正是随着深度学习算法的发展而兴起的。新一代人工智能以深度神经网络代表的驱动数据为智能核心,其对于数据和计算能力有着极高的要求。因此,互联网和物联网带来的大数据和硬件升级带来的强大计算能力,是人工智能技术发展的基础。在数据和算力的双重指数级提升条件下,知识表达、计算机视觉、自然语言处理等技术有了突破性进展,进而推动了各种通用技术的蓬勃发展。潘云鹤院士对人工智能 2.0 时代下的技术与社会形势进行了分析,将面向人工智能 2.0 的新兴人工智能技术研究归纳为五大方向:大数据人工智能、群体智能、跨媒体智能、人机混合增强智能及自主无人系统^[68]。国务院、工信部也通过了《新一代人工智能发展规划》,着力推动这几大方向上的关键共性技术研究,并加快人工智能技术在医疗、交通、教育、城市治理等多领域内的应用与产品转化。人工智能产品支撑技术架构见图 1。

3 典型服务应用场景

目前,人工智能产品的性能在很多细分领域或任务上已经超越了人类,起到了显著的辅助作用。然而在复杂的社会需求面前,作用范围有限的人工智能产品将面临很大的局限。在不同的场景需求下,构建人工智能产品的服务体系可以有效弥补单品受到的限制,产生更为广阔的价值。

3.1 智能家居服务场景

家居是人最重要的生活社交场所之一。传统的家居生活场景碎片化程度较高,在相对较为狭小的空间内需要满足不同家庭成员的需求,集成了就寝、烹饪、学习、娱乐等场景,很难系统地进行服务。随着人工智能技术向家居场景渗透,智能家居近年来已为大众所接受,安全、舒适、节能、个性化的智能家居环境成为了很多人的追求。经过多年的发展,智能家居产品逐渐摆脱通过手机 APP 远程控制和多产品互联的弱智能阶段,开始与人工智能深度融合,实现自主学

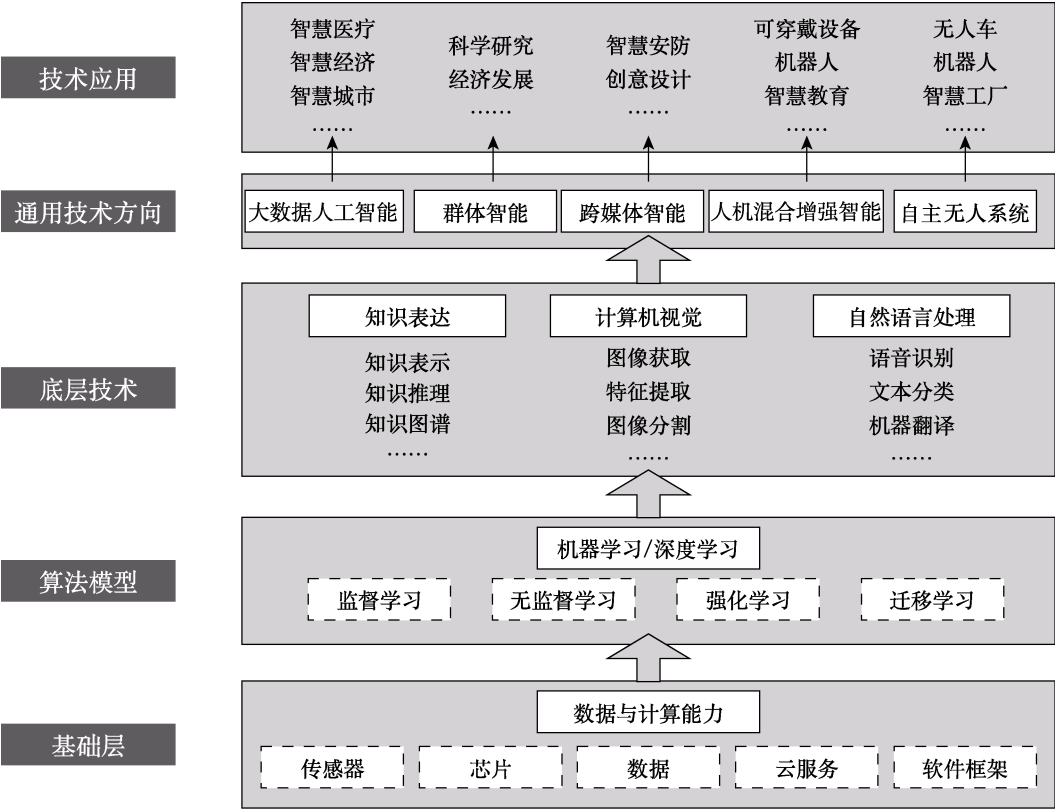


图 1 人工智能产品支撑技术架构
Fig.1 Framework of supporting technologies for AI products

习、主动记忆、自主决策，为家居空间中的用户提供个性化的服务。

为了在家居环境下提供个性化服务，Senarathna 等人^[69]以能够自主识别环境的智能机器人为核心构建了家居服务体系，通过观察用户行为自发调整智能家居的环境条件，控制智能房屋的氛围，以满足人的需求。该系统中应用的人工神经网络经过训练可检测人类的不同姿势，支持机器人对用户行为进行识别，并根据识别出的用户行为，控制家庭中可用的人工智能产品，让环境条件更适合人类的状况。服务机器人和其他人工智能产品通过无线网络实现互联，语音交互功能也已被应用到机器人系统中，以促进用户对整个系统的自然交互与控制。王年文等人^[70]运用服务系统设计框架，设计了一套适合老年人陪护机器人的服务系统，包括：机器人信息终端与各服务行业的智慧化支撑平台和机器人终端服务系统、检测系统、智能分析系统和家人用户服务系统。机器人终端可以通过互联网将老年人的生活与外界环境、子女生活紧密联系在一起；同时收集老年人的信息并进行上传，从而形成一个庞大的云端大数据，为医护人员和家人对老年人身心的了解提供数据。Lu F 等人^[71]提出了一种与家庭服务机器人相结合的家庭智能空间系统，基于知识分配、智能分配和无线网络技术，建立人与服务机器人共存的人工家庭服务环境。在这样的一个智能空间系统中，家庭服务机器人通过与智能空间的交互

获得了更多的环境信息，包括基于与智能空间交互的设备调度和基于场景知识的智能家居用户行为理解，更全面地感知空间中的人和物。该服务体系将有潜力成为老年人和残疾人居家服务场景下的有力解决方案。

3.2 智能交通服务场景

在现代城市中，交通的可达性和运输效率是衡量城市运营水平的重要指标。然而随着城市人口越来越多，城市规模不断变大，如何打造高效、舒适、快速出行的交通系统，已经成为城市管理机构面临的一大挑战。在无人车逐渐落地，以及智能交通设施和云平台不断完善的背景下，以无人车为核心的服务体系能够在提升安全、减少拥堵、改善健康、提高生产力、共享交通等方面带来巨大好处，将逐渐成为改变城市交通管理与运营方式的新的服务体系。

对于受益于无人车服务体系的用户而言，其角色也发生了根本性的转变，用户不再注重驾驶任务的体验，而更多地考虑出行整个旅程的体验。因此，汽车不再是作为单一的产品为驾乘人员提供服务，而是作为未来出行服务体验中的关键承载和核心接触点。Wang W 等人^[72]提出了无人车的服务体系设计模型，通过三个基本维度（用户参与度、用户旅程及接触点）构建三种视角，即用户场景视角、产品服务系统架构视角及任务导向的交互视角。该模型有潜力进行普适化以对人工智能产品的服务体系设计空间进

行描述。(1)从用户场景视角,运用场景的方法进行用户旅程的分析,洞悉场景中的用户痛点;(2)从产品服务系统架构的视角,更加关注与产品如何集成与服务平台,与整个业务逻辑的整合;(3)从任务导向的交互视角,更关注用户在使用情景中的交互模式,以及与智能交互技术的融合应用。Shi J等人^[73]针对典型慢速交通场景(校园、机场、偏远社区与工业园区)进行了基于无人驾驶车辆的服务体系设计,该STS(Slow Traffic System)平台由四个主要服务模块组成,包括基于时间规划的共享出行服务、基于路线优化的共享出行服务、本地信息共享服务和点对点包裹运送服务。这样一个平台利用人工智能技术规划系统内人、车辆和环境的关系,提高了服务流程效率,并对环境产生了可持续影响。Kim S等人^[74]则对无人驾驶出租车的服务体系进行了研究,运用服务的灵活性来弥补尚不完善的无人驾驶技术。其在研究中利用“绿野仙踪法”(Wizard of Oz)来实现一个无人驾驶出租车服务系统的原型,并在包括真实出租车的场景中进行实地测试,以发掘乘客痛点并提供基于用户体验的设计解决方案。

3.3 智能医疗与健康服务场景

医疗健康一直是国家战略和全球关注的重点。现如今,人工智能作为新一代智能科学技术,目前在医疗领域的应用已非常广泛,其应用场景也越发丰富,包括医学影像辅助、临床决策支持、语音录入病历、药物挖掘、健康管理、病理学等,人工智能技术正逐渐成为影响医疗行业发展,提升医疗服务水平的重要因素。Agosta G等人^[75]针对特殊儿童辅助治疗(如自闭症谱系障碍(ASD),注意力缺陷多动障碍(ADHD),唐氏综合症或精神分裂症等)的需求,提出了“嬉戏式监督智能空间(P3S)”的概念,以智能空间服务体系支持游戏行为疗法。空间中嵌入多种运动传感器与执行器,使儿童可以通过多种形式的全身互动对空间中的人工智能实体及各种屏幕上的虚拟世界进行控制,而集成在环境中的智能声光等可以动态地适应用户体验,提供愉悦的反馈并营造舒适的氛围。Rodríguez M D等人^[76]基于自主智能体,构建了医疗环境下的环境智能系统,在医院的各处都可以对医生和患者等不同角色的用户的特定需求进行响应。

同时,随着生活水平的逐渐提高,越来越多的人开始注重自身健康检测与管理,以智能可穿戴设备为核心的智能健康服务体系也逐渐普及,为大众提供健康服务。单一的人工智能可穿戴产品局限于个人用户服务的功能上,缺少数据的集合分析和更大范围的服务领域。随着产品的广泛传播和应用,从设备收集的合并数据可以为用户带来远远超出个人范围的功能或服务,同时为个人用户及社会增加服务的价值。Ma J^[77]将多种智能可穿戴设备集成为一个有机的服

务体系,为用户提供智能的个人服务。该服务体系主要有四个功能,包括多种可穿戴设备管理、多设备情境感知数据收集与融合、可穿戴数据的时序分析与同步和来自多个传感器的云数据存储。Ma Y C等人^[78]提出了一种用于长期健康监测的新型可穿戴设备和计算平台——智能服装平台。利用新兴的电子纺织技术,将各种传感器嵌入衣服中以监测健康状况,通过嵌入智能衣服的网关将传感器信号传输到智能手机以进行信号处理,并与后端云服务平台进行连接,以进行长期传感器数据记录与挖掘。基于该平台还可以开发各种应用程序,为用户提供不断完善的健康服务。Sun X等人^[79]则希望将智能可穿戴产品的服务体系的研究重点,从个人服务层面拓展到社会服务层面。通过整合大量在人群中应用的智能可穿戴设备,与在公共环境中广泛存在的智能设施进行通讯与协同,以中央数据为平台进行数据收集与处理,形成了一个生态化的智能服务系统(E-Wearable System)。该服务系统可以带来社会层面的功能或服务,同时也将提升为个人用户带来的服务价值。

3.4 智能城市与社区服务场景

社区是城市中的一个非常重要的单元,其承载的群体虽然在量级上存在差异,但是都存在多元化和多层次的需求,牵涉到公共治理与服务的多个方面。正是因为其相关利益方较为复杂,传统公共治理与服务中会面临不同职能方沟通不畅、人力资源浪费、决策缺少数据支持等问题。人工智能产品及服务体系可以发挥群体智能的优势,在数据感知与分析、全局管理与协调、自主或辅助决策、专业领域服务等方面提供有效的支持。社区某种程度上可以被认为是微缩版的城市场景,因此针对社区场景进行人工智能产品及服务体系的应用研究,将有潜力扩展到城市服务场景。

在智能社区与城市服务场景的研究方面, Kim E等人^[80]提出了一种集成的社区服务平台系统架构。该架构可以提供与大到智能城市和小到智能家居相关联的公共智能社区服务,如能源、水电、公共安全和公共卫生等方面,把居民的日常生活的个人空间、社区空间到城市空间有机地结合起来,有助于构建智慧城市服务生态系统,并可能支持新的智慧社区服务商业模式。Chuang F等人^[81]面向老年社区进行了智能社区服务系统设计,将智慧老年社区的服务模式模块化,包括传感技术层、用于公共信息的虚拟专用网、数据库、专用系统、申请系统和综合应用服务平台,形成由老年人支持和服务管理的智能综合体。通过智慧老年社区服务系统的构建,可以有效整合老年人社区的社会资源,为老年人群提供更好的服务并提高其生活质量。Olszewski R等人^[82]为了了解居民在城市内部及周边活动的日常规律,将多种人工智能产品集成多智能体系统对城市居民行为进行建模,并对影响模拟质量的相关城市信息进行了更为详细地梳

理,包括居民基本信息、对其他居民的信任程度、对机构的信任程度、利他主义、生活满意度等。居民与公共空间内的人工智能产品之间的相关互动,也细分为为了专注式互动、象征性互动和社交网络互动三种,为智慧社区乃至智慧城市的构建提供了支持。

4 趋势与挑战

4.1 从技术驱动向设计驱动转化

人工智能技术的普及已经成为了未来技术社会发展的必然趋势,将来绝大多数的产品及服务中都将有人工智能层面的元素集成其中。现在的人工智能产品的演化主要是由人工智能技术的发展所驱动的。然而,现在的人工智能产品在给人类带来诸多便捷高效的功能的同时,也在社会上引发了广泛的忧虑与争议。比如,逐渐落地的无人车是否可以在安全性等问题上收获公众的信任;基于人脸识别、语音识别等技术的产品是否会侵犯人的隐私;机器人的算法做出相应决策的依据是什么;以 Deepfake 为代表的深度图像合成技术被滥用;数据导致算法存在偏见等伦理问题。这些问题的根源在于目前基于深度学习算法的人工智能像是一个“黑箱子”,人们以一定的输入得到的输出是不可控的。单纯地依靠人工智能技术的进步难以解决复杂社会中的复杂问题,因此利用设计的引导和协调能力驱动人工智能产品研究,将是未来的重要趋势。设计驱动人工智能产品研究所面临的挑战包括:(1)如何增强人工智能产品的可解释性,促进人与人工智能产品之间的信任与协同;(2)如何加速人工智能技术向人工智能产品与应用的转化;(3)如何以应用场景的需求反驱人工智能技术的研发,拓展人工智能边界;(4)如何设计公平、负责任的人工智能产品,以帮助构建更为和谐的社会。

4.2 从单品视角向服务体系视角转变

随着物联网、5G 通讯等技术的发展,人工智能产品已经呈现出联结化的趋势。一些工业、居家场景下基于实际需求,实现了“智能管理系统+人工智能单品”的人工智能产品生态系统雏形。然而,人工智能产品的服务体系不仅是信息通讯上的联结,而且更重要的是价值上的联结。例如目前的新型冠状病毒肺炎疫情中,出现了不少无人车、机器人、人工智能辅助诊疗系统等人工智能产品的身影。然而受众多现实因素的影响,这些人工智能产品之间难以形成有效的协作,或者缺少面向紧急场景的适应性优化,因此发挥的作用十分有限。在人工智能产品的服务体系视角下,可以从系统层面上分析与整合场景的需求,考虑人工智能可以赋予场景怎样的价值,进而将人工智能产品视作服务体系的触点进行设计,实现价值的有机互补与联结。因此,

在人工智能产品的服务体系的构建中进行元设计、开发与评测研究,将使人工智能产品的应用价值更高、应用范围更为灵活,其服务体系的构建也更为高效、响应更为迅速。

5 结语

人工智能技术的发展深刻地改变了人工智能产品所呈现的形态及其服务体系所带来的价值。首先对新一代人工智能技术背景下的人工智能产品及其服务体系进行了定义;然后通过对典型人工智能产品和相关研究分析,总结了人工智能产品的特征,构建了人工智能产品的支撑技术架构;进一步地探索了人工智能产品的典型服务场景,整理了人工智能产品的服务体系相关研究;最后对人工智能产品与服务体系的未来趋势进行了展望,指出了设计驱动与服务视角的重要作用。

参考文献:

- [1] NILSSON N J. Artificial Intelligence: a New Synthesis[M]. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1998.
- [2] GOERTZEL B. The Structure of Intelligence: a New Mathematical Model of Mind[M]. Berlin: Springer Science & Business Media, 2013.
- [3] KAPLAN A, HAENLEIN M. Siri, Siri, in My Hand: Who's the Fairest in the Land? On the Interpretations, Illustrations, and Implications of Artificial Intelligence[J]. Business Horizons, 2019, 62(1): 15-25.
- [4] 林军. “数字化”、“自动化”、“信息化”与“智能化”的异同及联系[J]. 电气时代, 2008(1): 132-137.
LIN Jun. “The Similarities and Differences and Connections between Digitization”, “Automation”, “Informatization” and “Intelligence”[J]. Electric Times, 2008(1): 132-137.
- [5] 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, 2019.
- [6] 刘卫国. 现代化、信息化、数字化、智能化及其相互关系[J]. 中国铁路, 2011(1): 83-86.
LIU Wei-guo. Modernization, Informatization, Digitization, Intelligentization and Their Relations[J]. China Railway, 2011(1): 83-86.
- [7] REN F, BAO Y. A Review on Human-Computer Interaction and Intelligent Robots[J]. International Journal of Information Technology & Decision Making, 2019.
- [8] GOERTZEL B. Artificial General Intelligence[M]. New York: Springer, 2007.
- [9] 张小龙, 吕菲, 程时伟. 智能时代的人机交互范式[J]. 中国科学: 信息科学, 2018, 48(4): 406-418.
ZHANG Xiao-long, LYU Fei, CHENG Shi-wei. Hu-

- man-computer Interaction Paradigm in the Era of Intelligence[J]. Science in China: Information Science, 2018, 48(4): 406-418.
- [10] LEE J, ABUALI M. Innovative Product Advanced Service Systems (I-PASS): Methodology, Tools, and Applications for Dominant Service Design[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011, 52(9-12): 1161-1173.
- [11] 郑茂宽. 智能产品服务生态系统理论与方法研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2018.
- ZHENG Mao-kuan. Research on the Theory and Method of Intelligent Product Service Ecosystem[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2018.
- [12] ALLMENDINGER G, LOMBREGLIA R. Four Strategies for the Age of Smart Services[J]. Harvard Business Review, 2005, 83(10): 131.
- [13] VALENCIA A, MUGGE R, SCHOORMANS J, et al. The Design of Smart Product-Service Systems Psss: an Exploration of Design Characteristics[J]. International Journal of Design, 2015, 9(1).
- [14] PORTER M E, HEPPELMANN J E. How Smart, Connected Products are Transforming Companies[J]. Harvard Business Review, 2015, 93(10): 96-114.
- [15] VALENCIA C A M, MUGGE R, SCHOORMANS J P L, et al. Challenges in the Design of Smart Product-Service Systems (Psss): Experiences from Practitioners[C]. Proceedings of the 19th DMI: Academic Design Management Conference. Design Management in an Era of Disruption, London, 2014. Design Management Institute, 2014.
- [16] VIRK G S, MOON S, GELIN R. ISO Standards for Service Robots[M]. Advances in Mobile Robotics, 2008.
- [17] TENORTH M, BEETZ M. Know Rob: Knowledge Processing for Autonomous Personal Robots[C]. 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2009.
- [18] LEMAIGNAN S, ROS R, SISBOT E A, et al. Grounding the Interaction: Anchoring Situated Discourse in Everyday Human-robot Interaction[J]. International Journal of Social Robotics, 2012, 4(2): 181-199.
- [19] SUN X, DORNIG J, ZHANG S. Adaptive Learning for Robots in Public Spaces[C]. International Conference on Intelligent Human Systems Integration. Springer, Cham, 2019.
- [20] RÖNING J, HOLAPPA J, KELLOKUMPU V, et al. Minotaurus: a System for Affective Human-robot Interaction in Smart Environments[J]. Cognitive Computation, 2014, 6(4): 940-953.
- [21] 马楠, 高跃, 李佳洪, 等. 自动驾驶中的交互认知[J]. 中国科学: 信息科学, 2018(8): 9.
- MA Nan, GAO Yue, LI Jia-hong, et al. Interactive Cognition in Self-driving[J]. Science in China: Information Science, 2018(8): 9.
- [22] 李克强, 戴一凡, 李升波, 等. 智能网联汽车(ICV)技术的发展现状及趋势[J]. 汽车安全与节能学报, 2017, 8(1): 1-14.
- LI Ke-qiang, DAI Yi-fan, LI Sheng-bo, et al. Development Status and Trend of Intelligent Connected Vehicle (ICV) Technology[J]. Journal of Automotive Safety and Energy Conservation, 2017, 8 (1): 1-14.
- [23] VANDERHAEGEN F. Cooperation and Learning to Increase the Autonomy of ADAS[J]. Cognition, Technology & Work, 2012, 14(1): 61-69.
- [24] ARGALL B D, CHERNOVA S, VELOSO M, et al. A Survey of Robot Learning from Demonstration[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2009, 57(5): 469-483.
- [25] FRIDMAN L, BROWN D E, GLAZER M, et al. MIT Advanced Vehicle Technology Study: Large-scale Naturalistic Driving Study of Driver Behavior and Interaction with Automation[J]. IEEE Access, 2019(7): 102021-102038.
- [26] ABBINK D A, MULDER M, BOER E R. Haptic Shared Control: Smoothly Shifting Control Authority?[J]. Cognition, Technology & Work, 2012, 14(1): 19-28.
- [27] MAHDAVINEJAD M S, REZVAN M, BAREKATAIN M, et al. Machine Learning for Internet of Things Data Analysis: a Survey[J]. Digital Communications and Networks, 2018, 4(3): 161-175.
- [28] LI H, OTA K, DONG M. Learning IoT in Edge: Deep Learning for the Internet of Things with Edge Computing[J]. IEEE Network, 2018, 32(1): 96-101.
- [29] 宋明亮, 李金樱, 谢紫赞. 可穿戴医疗健康产品设计研究——抗血栓压力泵设计[J]. 美术大观, 2014(8): 126.
- SONG Ming-liang, LI Jin-ying, XIE Zi-yun. Research on the Design of Wearable Medical and Health Products: Design of Antithrombotic Pressure Pump[J]. Viewer of Art, 2014(8): 126.
- [30] RAVICHANDRAN R, SIEN S W, PATEL S N, et al. Making Sense of Sleep Sensors: How Sleep Sensing Technologies Support and Undermine Sleep Health[C]. Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2017.
- [31] YANG R, SHIN E, NEWMAN M W, et al. When Fitness Trackers Don't Fit End-user Difficulties in the Assessment of Personal Tracking Device Accuracy[C]. Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, 2015.
- [32] ADAPA A, NAH F F H, HALL R H, et al. Factors Influencing the Adoption of Smart Wearable Devices[J]. International Journal of Human-Computer Interaction, 2018, 34(5): 399-409.
- [33] 孙妍彦, 李士岩, 陈宪涛. 情感化语音交互设计——百度 AI 用户体验部门人机交互研究地图与设计案例[J]. 装饰, 2019(11): 12.
- SUN Yan-yan, LI Shi-yan, CHEN Xian-tao. Emotional Voice Interaction Design: a Case Study of Human-computer Interaction Research Map and Design in Baidu AI User Experience Department[J]. Zhuangshi, 2019(11): 12.

- [34] BRUSS M, PFALZGRAF A. Proactive Assistance Functions for HMIs through Artificial Intelligence[J]. ATZ Worldwide, 2016, 118(12): 40-43.
- [35] FITZPATRICK K K, DARCY A, VIERHILE M. Delivering Cognitive Behavior Therapy to Young Adults with Symptoms of Depression and Anxiety Using a Fully Automated Conversational Agent (Woebot): a Randomized Controlled Trial[J]. JMIR Mental Health, 2017, 4(2): 19.
- [36] GATYS L A, ECKER A S, BETHGE M. Image Style Transfer Using Convolutional Neural Networks[C]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016.
- [37] JOHNSON J, ALAHI A, FEI-FEI L. Perceptual Losses for Real-Time Style Transfer and Super-Resolution[J]. European Conference on Computer Vision, 2016(4): 694-711.
- [38] CHEN H J, HUI K M, WANG S Y, et al. Beautyglow: On-demand Makeup Transfer Framework with Reversible Generative Network[C]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2019.
- [39] CHEN H, LIU X, YIN D, et al. A Survey on Dialogue Systems: Recent Advances and New Frontiers[J]. ACM SIGKDD Explorations Newsletter, 2017, 19(2): 25-35.
- [40] FENDT M W, YOUNG R M. Adapting IRIS, a Non-Interactive Narrative Generation System, to an Interactive Text Adventure Game[C]. 2014 Proceedings of the Twenty-Seventh International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference, 2014.
- [41] CHOI E, BAHADORI M T, SCHUETZ A, et al. Doctor ai: Predicting Clinical Events Via Recurrent Neural Networks[C]. Machine Learning for Healthcare Conference, 2016.
- [42] QI Y, XIAO J. Fintech: AI Powers Financial Services to Improve People's Lives[J]. Communications of the ACM, 2018, 61(11): 65-69.
- [43] 张炳南. 浅谈人工智能之于律师行业的影响[J]. 牡丹江大学学报, 2020, 29(3): 9-12.
- ZHANG Bing-nan. On the Influence of Artificial Intelligence on Lawyer Industry[J]. Journal of Mudanjiang University, 2020, 29(3): 9-12.
- [44] CUI W, XUE Z, THAI K P. Performance Comparison of an AI-based Adaptive Learning System in China[C]. 2018 Chinese Automation Congress (CAC). IEEE, 2018.
- [45] 林立, 谭青青, 胡凯程. 智能无人快递小车(机器人)创新服务设计研究[J]. 山东工业技术, 2018(16): 108-109.
- LIN Li, TAN Qing-qing, HU Kai-cheng. Research on Intelligent Autonomous Delivery Vehicles (Robots) Innovative Service Design[J]. Shandong Industrial Technology, 2018(16): 108-109.
- [46] LIANG H, TSUI B Y, NI H, et al. Evaluation and Accurate Diagnoses of Pediatric Diseases Using Artificial Intelligence[J]. Nature Medicine, 2019, 25(3): 433-438.
- [47] CAI C J, WINTER S, STEINER D, et al. "Hello AI": Uncovering the Onboarding Needs of Medical Practitioners for Human-AI Collaborative Decision-Making[J]. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 2019, 3(CSCW): 1-24.
- [48] 陈媛媛. 基于活动的情境感知模型与情境感知交互设计[D]. 大连: 大连海事大学, 2013.
- CHEN Yuan-yuan. Interactive Design of Activity-based Situational Awareness Model and Situational Awareness[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2013.
- [49] DEY A K. Understanding and Using Context[J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2001, 5(1): 4-7.
- [50] GRUDIN J. Desituating Action: Digital Representation of Context[J]. Human-Computer Interaction, 2001, 16(2-4): 269-286.
- [51] BELLOTTI V, EDWARDS K. Intelligibility and Accountability: Human Considerations in Context-aware Systems[J]. Human-Computer Interaction, 2001, 16(2-4): 193-212.
- [52] LIM B Y, DEY A K. Assessing Demand for Intelligibility in Context-aware Applications[C]. Proceedings of the 11th International Conference on Ubiquitous Computing, 2009.
- [53] 李璟璐, 孙效华, 郭炜炜. 基于智能交互的汽车主动响应式交互设计[J]. 图学学报, 2018, 39(4): 668-674.
- LI Jing-lu, SUN Xiao-hua, GUO Wei-wei. Automotive Active Response Interaction Design Based on Intelligent Interaction[J]. Journal of Cartography, 2008, 39(4): 668-674.
- [54] STOICA I, SONG D, POPA R A, et al. A Berkeley View of Systems Challenges for AI[J]. 2017.
- [55] CAKMAK M, CHAO C, THOMAZ A L, et al. Designing Interactions for Robot Active Learners[J]. IEEE Transactions on Autonomous Mental Development, 2010, 2(2): 108-118.
- [56] CHAO C, CAKMAK M, THOMAZ A L. Transparent Active Learning for Robots[C]. 2010 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI). IEEE, 2010.
- [57] ROSENTHAL S, DEY A K, VELOSO M. How Robots' Questions Affect the Accuracy of the Human Responses[C]. RO-MAN 2009-The 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication. IEEE, 2009.
- [58] 谭建荣, 刘振宇, 徐敬华. 新一代人工智能引领下的智能产品与装备[J]. 中国工程科学, 2018(4): 35-43.
- TAN Jian-rong, LIU Zhen-yu, XU Jing-hua. Intelligent Products and Equipment Led by a New Generation of Artificial Intelligence[J]. Chinese Journal of Engineering Science, 2018(4): 35-43.
- [59] DEVISSER E J, PAK R, SHAW T H. From Automation to "Autonomy": the Importance of Trust Repair in Human-machine Interaction[J]. Ergonomics, 2018, 61(10): 1409-1427.

- [60] HANCOCK P A. Imposing Limits on Autonomous Systems[J]. *Ergonomics*, 2017, 60(2): 284-291.
- [61] ENDSLEY M R. From Here to Autonomy: Lessons Learned from Human-automation Research[J]. *Human Factors*, 2017, 59(1): 5-27.
- [62] NORMAN D A. How Might People Interact with Agents[J]. *Communications of the ACM*, 1994, 37(7): 68-71.
- [63] HÖÖK K. Steps to Take before Intelligent User Interfaces Become Real[J]. *Interacting with Computers*, 2000, 12(4): 409-426.
- [64] RADER E, COTTER K, CHO J. Explanations as Mechanisms for Supporting Algorithmic Transparency[C]. *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2018.
- [65] BEHYMER K J, FLACH J M. From Autonomous Systems to Sociotechnical Systems: Designing Effective Collaborations[J]. *The Journal of Design, Economics, and Innovation*, 2016, 2(2): 105-114.
- [66] VANHALA J, MÄYRÄ F, KOSKINEN I. Living in Metamorphosis: Proactive Computing in the Home Environment[J]. *Interactions*, 2005, 12(4): 28-31.
- [67] 刘烨, 汪亚珉, 卞玉龙, 等. 面向智能时代的人机合作心理模型[J]. *中国科学: 信息科学*, 2018(4): 3.
LIU Ye, WANG Ya-min, BIAN Yu-long, et al. Man-machine Cooperative Psychological Model for the Era of Intelligence[J]. *Science in China: Information Science*, 2018(4): 3.
- [68] PAN Y. Heading toward Artificial Intelligence 2.0[J]. *Engineering*, 2016, 2(4): 409-413.
- [69] SENARATHNA S M S S, MUTHUGALA M A V J, JAYASEKARA A G B P. Intelligent Robot Companion Capable of Controlling Environment Ambiance of Smart Houses by Observing User's Behavior[C]. *2018 2nd International Conference on Electrical Engineering (EE-Con)*. IEEE, 2018.
- [70] 王年文, 苑莹. 老年人陪护机器人服务系统设计研究[J]. *包装工程*, 2017, 38(18): 72-76.
WANG Nian-wen, YUAN Ying. Research on the Design of Robot Service System for the Elderly[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(18): 72-76.
- [71] LU F, TIAN G, WANG X. Intelligent Space System Oriented to the Home Service Robot[C]. *2012 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*. IEEE, 2012.
- [72] WANG W, ZHOU F, LI W, et al. Designing the Product-service System for Autonomous Vehicles[J]. *IT Professional*, 2018, 20(6): 62-69.
- [73] SHI J, SUN X. Driverless Vehicle-based Urban Slow Transportation Service Platform[C]. *International Conference on Cross-Cultural Design*. Springer, Cham, 2018.
- [74] KIM S, CHANG J J E, PARK H H, et al. Autonomous Taxi Service Design and User Experience[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2020, 36(5): 429-448.
- [75] AGOSTA G, BORGHESE L, BRANDOLESE C, et al. Playful Supervised Smart Spaces (P3S): a Framework for Designing, Implementing and Deploying Multisensory Play Experiences for Children with Special Needs[C]. *2015 Euromicro Conference on Digital System Design*. IEEE, 2015.
- [76] RODRÍGUEZ M D, FAVELA J, PRECIADO A, et al. Agent-based Ambient Intelligence for Healthcare[J]. *AI Communications*, 2005, 18(3): 201-216.
- [77] MA J. WEAR I: A Multi-Wearable Organic System for Smarter Individual Services[C]. *2018 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCom/IOP/SCI)*. IEEE, 2018.
- [78] MA Y C, CHAO Y P, TSAI T Y. Smart-clothes: Prototyping of a Health Monitoring Platform[C]. *2013 IEEE Third International Conference on Consumer Electronics? Berlin (ICCE-Berlin)*. IEEE, 2013.
- [79] SUN X, LOU Y, LI T, et al. Designing Wearable Device-based Product and Service Ecosystem[C]. *International Conference on Cross-Cultural Design*. Springer, Cham, 2015.
- [80] KIM E, KEUM C. Integrated Community Service Platform System Linked to Smart Home and Smart City[C]. *2016 Eighth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*. IEEE, 2016.
- [81] CHUANG F. Construction and Value Study of IT-based Smart Senior Citizens' Communities[C]. *2014 Sixth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*. IEEE, 2014.
- [82] OLSZEWSKI R, PAŁKA P, TUREK A, et al. Spatio-temporal Modeling of the Smart City Residents' Activity with Multi-Agent Systems[J]. *Applied Sciences*, 2019, 9(10): 2059.