

【工业设计】

## 基于文献计量的服务机器人交互研究态势分析

袁晓芳<sup>a</sup>, 周大涛<sup>a</sup>, 吴瑜<sup>a,b</sup>

(武汉理工大学 a.艺术与科技学院 b.高端装备智能工业设计湖北省工程研究中心, 武汉 430070)

**摘要:** **目的** 为全面剖析中国服务机器人交互领域的研究态势, 探究人-服务机器人交互 (Human-Robot Interaction, HRI) 的研究创新方向。**方法** 对 CNKI 数据库收录的 309 篇 (2001-2020 年) 与“服务机器人+交互”主题有关的文献进行计量分析, 并展开 CiteSpace 时区演化图谱、VOSviewer 密度热点图谱和 BibExcel 战略坐标图谱等知识图谱的绘制。**结果** 从研究演化、研究热点和研究质量三个角度揭示了中国 HRI 研究的状态和趋势。**结论** 结果表明, 在新的角色属性和深层交互需求产生和发展的趋势背景下, 相较于在定位、规划、识别等“计算智能”层面上进行的 HRI 研究和应用, 中国现阶段的 HRI 研究缺少对用户体验、多模态自然交互和社会交互等“人本智能”的设计考量, 成为制约服务机器人应用创新和产业发展的问题点。可以说, 考虑人本设计 (Human-centered Design) 及应该如何塑造 HRI 变得至关重要。

**关键词:** 人机交互; 服务机器人; 文献计量; 知识图谱; HRI 设计

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)24-0057-10

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.24.007

### Research Situation Analysis of Service Robot Interaction Based on Bibliometrics

YUAN Xiao-fang<sup>a</sup>, ZHOU Da-tao<sup>a</sup>, WU Yu<sup>a,b</sup>

(a.School of Art and Design b.Hubei Provincial Engineering Research Centre for Intelligent Industrial Design of Advanced Equipment, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

**ABSTRACT:** The paper aims to comprehensively analyze the research situation in the field of service robot interaction in China and explore the research innovation directions of Human-Robot Interaction (HRI). Based on the bibliometric analysis of 309 articles (2001-2020) related to the theme of "Service Robot + Interaction" in the CNKI database, relevant knowledge maps are developed, such as CiteSpace Time Zone Evolution Map, VOSviewer Density Hotspot Map and BibExcel Strategic Coordinate Map, so that the state and trends of HRI research in China can be understood from three aspects: research evolution trend, research hotspots, and research quality. This study shows that, against the background of the trend of new role attributes and deep interaction needs, compared to HRI research and applications conducted at the level of "computational intelligence" such as positioning, planning and recognition, the current HRI research in China lacks the design of "Human-centered AI", such as the lack of attention to user experience, multimodal natural interaction, and social interaction, which has become a problematic point affecting service robot application innovation and industrial development. It is paramount to consider how HRI can and should be shaped by human-centered design.

**KEY WORDS:** human-robot interaction; service robot; bibliometric analysis; knowledge map; HRI design

收稿日期: 2022-07-18

基金项目: 国家重点研发计划智能机器人专项资助 (2018YFB1308500); 教育部 2021 年第二批产学研合作协同育人项目 (202102055018)

作者简介: 袁晓芳 (1982—), 女, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为人机交互与智能设计。

通信作者: 周大涛 (1992—), 男, 博士生, 主要研究方向为 HRI 和 HMI。

国际机器人联合会 (International Federation of Robotics, IFR) 将服务机器人定义为“一种半自主或全自主工作的机器人, 它能完成有益于人类的服务工作, 但不包括从事生产的设备”<sup>[1]</sup>。作为战略性新兴产业的典型代表之一, 服务机器人的技术水平和产业应用在各国科技发展中具有重要的战略地位<sup>[2]</sup>, 在服务民生福祉、推动科技创新、刺激经济发展和增强国防力量等方面都具有重要的价值和意义<sup>[3]</sup>。随着人工智能技术的突破、核心零部件成本的下降, 服务机器人开始面向家庭、教育、医疗和商业等市场开展服务工作, 同时, 在人口结构、社会服务成本、教育成本和突发公共卫生事件等现实压力 and 高质量服务需求的催化下, 服务机器人产业未来仍将迅速扩张且潜力巨大, 无论是在个人/家庭服务领域, 还是在专业服务领域, 服务机器人都将会有非常多的应用<sup>[4]</sup>。区别于工业机器人在结构化生产环境中重复、规范和高精度的程序化交互, 服务机器人需要在非结构化生活环境中执行更加复杂的交互任务<sup>[5]</sup>, 具有动态、多样和模糊的交互特征。技术的进步驱动着服务机器人能够以自主方式完成越来越多的任务, 这使人与机器人之间的“社交”距离已经由相互隔离、互不干预, 发展到了充分的人机协作、交互融合, 其角色属性不断深入和多样化, 影响到越来越多的个人环境和人类需求<sup>[6]</sup>, 考虑如何重新定义人-机器人之间的相互关系变得至关重要<sup>[7]</sup>。在这种背景下, 人-服务机器人交互 (Human-Robot Interaction, HRI) 作为消融人机交流界限、使服务机器人更好地融入人类日常生活的关键, 受到了学术界和产业界的广泛关注, 成为服务机器人领域的研究热点。

HRI 作为一个特定的研究方向开始于 20 世纪 90 年代初期, 其致力于理解、设计和评估供人类使用或与人类一起使用的机器人系统, 其目的是实现人类和机器人交互的可用性、适用性和实用性<sup>[8]</sup>。从技术发展角度, 机器人交互可以归类为受限 (Formal) 和非受限 (Informal) 两种交互方式<sup>[9]</sup>; 其中, 受限人机交互是指必须通过中间介质 (工具、载体、软件或编程等) 进行任务表述的间接交互方式, 如机器人的示教再现、编程语言和图形交互等就属于典型的受限交互方式; 随着语音识别、图像分析、手势识别和情感识别等人工智能技术的发展, 语音交互、手势交互、情感交互和脑机交互等自然、高效的服务机器人非受限人机交互获得了广泛应用。从用户体验的角度来看, 这种非受限人机交互更能满足服务机器人的应用需求, 成为当前 HRI 领域的研究热点。总的来说, HRI 是一种需求导向性明显的研究领域, 能够积极响应技术的发展, 并满足随之而来的、新的用户需求, 对服务机器人行业 and 产业的发展具有直接驱动作用。因此, 及时、全面、有效地对中国服务机器人交互领域的研究态势进行分析, 发现研究或创新机会点, 对

推动服务机器人领域的理论深化、技术发展和应用创新等具有重要意义。基于此, 本研究对 2001-2020 年中国知网 (CNKI) 数据库收录的“服务机器人+交互”主题的有效文献进行计量分析, 使用 CiteSpace<sup>[10]</sup>、VOSviewer<sup>[11]</sup>和 BibExcel<sup>[12]</sup>等文献计量工具绘制相关知识图谱, 以此明确过去 20 年间中国服务机器人交互的研究演化、研究热点和研究质量, 探讨 HRI 未来的发展方向, 为相关人员或工程师的创新设计提供借鉴。

## 1 研究设计

### 1.1 数据来源

从资源传播的角度, 在机器人或人机交互学科上所发表的研究文献是推动该领域发展的重要基础<sup>[13]</sup>, 通过对该类主题文献的提取和分析能够探究服务机器人交互领域的研究态势。因此, 本研究选择中国知网 (CNKI) 作为文献数据来源, 以“服务机器人 AND 交互”为主题检索词, 对时间跨度为 2001 年 1 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日的目标文献进行全面检索, 在逐条去除重复文献、非研究性文献 (报纸、启事) 以及与研究主题无关的文献后, 共获得有效文献 309 条, 包括 28 条期刊数据、169 条学位论文数据、3 条会议数据和 9 条成果数据, 选择“Refworks”作为文献数据记录的导出格式, 并存储为 txt 文件。

### 1.2 研究方法

随着新兴主题研究和多学科交叉研究的不断涌现, 相较于同行专家的经验述评, 文献计量提供的定量指标能够确保分析的系统性和客观性<sup>[14]</sup>, 成为开展学科和行业情报分析的有力手段<sup>[15]</sup>。本研究使用文献计量方法对上述 309 条文献数据进行分析, 依据文献计量的规则和相关研究经验<sup>[16-18]</sup>, 选择能够描述文献研究主题的关键词作为计量对象, 主要的研究步骤如图 1 所示。

1) 系统化采集。在 CNKI 数据库中, 通过设置主题词、时间跨度、文献类型和语言等检索条件, 实现对相关研究文献的查准、查全, 这是文献计量分析的前提基础。

2) 规范化处理。文献数据的规范主要包括两个方面: 一是由于数据库信息收录的规范问题, 在多数情况下, 导出的文献数据信息会存在符号使用不规范 (大小写、全称与缩写、标点符号等)、部分信息缺失等问题; 二是由于不同的表达习惯, 造成关键词表述存在多词一义的现象, 如“人机交互”“人-机器人交互”“人-机器人交互技术”和“人机交互 (HRI)”。规范数据信息是保证后续文献分析质量的必要条件, 因此, 本研究在一名 HRI 领域专家的帮助下, 通过多次调研分析, 对关键词数据进行了符号统一、信息

补充和同义词合并。

3) 科学化统计。使用 BibExcel 对文献数据记录中的关键词出现频次进行统计和筛选, 并结合关键词共现分析和聚类分析来揭示各个研究主题间的关联强度和内容, 这是文献计量分析的关键步骤。在这一步骤中, 为避免范围过大的低频词对后续文献计量分析的干扰, 依据相关使用经验, 本研究选择高频词(词频 $\geq 3$ )作为分析对象, 并过滤掉“服务机器人”“人机交互”2 个干扰高频词(高频但无意义的关键词), 共获得有效高频关键词 116 个(累积词频占比为 67%), 用以计量中国服务机器人交互领域的研究特点。

4) 可视化呈现。为直观展示各个研究主题间的结构关联情况, 结合上述步骤输出的高频关键词共现数据进行知识图谱绘制, 这是文献计量分析的重要手段。本研究获得的图谱类型及作用主要为: 基于 CiteSpace 的时区演化图谱来全面梳理服务机器人交互领域在过去 20 年间的研究演化; 基于 VOSviewer 的密度热点图谱来直观标识服务机器人交互领域的研究热点; 基于 BibExcel 的战略坐标图谱来定量揭示服务机器人交互领域的研究质量。

5) 建构性解读。结合可视化知识图谱, 从研究与应用的角度提出相应的趋势、问题与挑战, 这是文献计量分析的重要内容, 能够为未来服务机器人交互的研究工作提供参考。

## 2 图谱分析

### 2.1 研究演化图谱

为梳理中国服务机器人交互领域的研究演化过程, 本研究将规范处理后的 309 条文献数据加载到 CiteSpace 软件(5.0 R1 版本)中进行时区演化图谱(一种考虑时间因素的关键词关联网络图)<sup>[19]</sup>的绘制, 从而在时间维度上可视化展示各个关键词的演化过程。具体的参数设置为: 选择网络节点的时间切片(Time Slicing)标准为 5 年; 节点类型(Node Types)设置为 Keywords; 设置每个切片中保留频率最高的前 200 个关键词; 选择 Pathfinder 对图谱中的细小分支进行修剪, 以保证图谱的可读性。结果如图 2 所示: 一个圆圈节点代表一个关键词, 节点越大表示关键词出现的频率越高; 线条表示关键词之间存在联系; 关键词所属时区以该关键词首次出现的时间为依据进行划分(每 5 年为一个时区, 共 4 个时区)。

由图 2 可知, 依据主题关键词所在的时区位置、技术类型和应用方向, 可以将中国服务机器人交互领域在过去 20 年间的研究演化过程划分为 HRI 1.0 弱人期、HRI 2.0 智人期和 HRI 3.0 类人期:

1) HRI 1.0 弱人期(2001-2005 年)主要关注路径规划、运动规划、任务规划和控制系统等基础技术, 其应用研究对象主要包括移动机器人、智能机器人和商业服务机器人, 这一时期的研究内容主要以技术发展为导向, 目标是实现服务机器人的自动规划和运动, 主要执行信息层面的交互内容, 具有重控制、弱感知和多离散的交互特点。

2) 随着智能技术的进步和应用场景的延伸, 研究进入 HRI 2.0 智人期的技术积累阶段(2006-2010 年), 该阶段主要关注语音识别、手势交互、人脸识别、情感计算、视觉交互、自然语言处理和脑机接口等智能交互方面, 是智能 HRI 技术探索和开发的集中爆发期。

3) 随着互联网的发展和普及, 研究进入 HRI 2.0 智人期的技术应用阶段(2010-2015 年), 该阶段主要以市场应用为导向, 关注医疗、助老、陪伴、商业及社交等领域的应用研究, 形成了较为独立的应用市场细分, 并围绕人机协作、环境理解等方面的应用需求开展了人体检测、目标追踪、行为识别、动作识别、物体识别和体感交互等方面的研究, 同时, 云技术作为新概念也首次出现在 HRI 研究领域, 可以说, 整个 HRI 2.0 智人期是一个多元化发展时期, 主要强调行为层面的交互内容。

4) 2016 年开始, 人工智能、神经网络等技术在 HRI 领域获得了广泛应用, 为机器人提供了强大的“后脑”<sup>[20]</sup>, 开展了如智能家居、情景感知、仿人服务机器人、拟人化、自然人机交互等更具类人属性的 HRI 研究, 在这种技术应用的驱动下, 研究进入 HRI 3.0

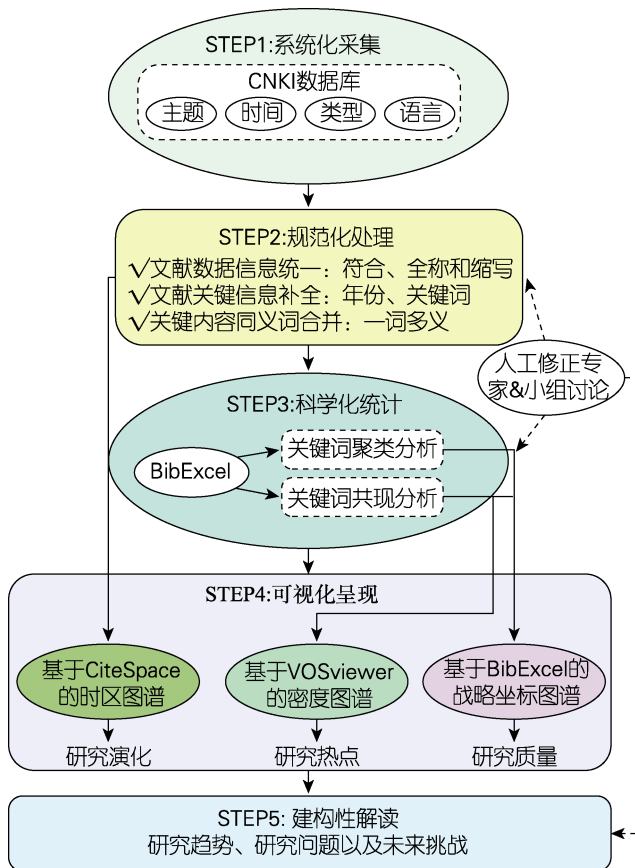


图 1 文献计量的分析过程  
Fig.1 Analysis process of bibliometrics

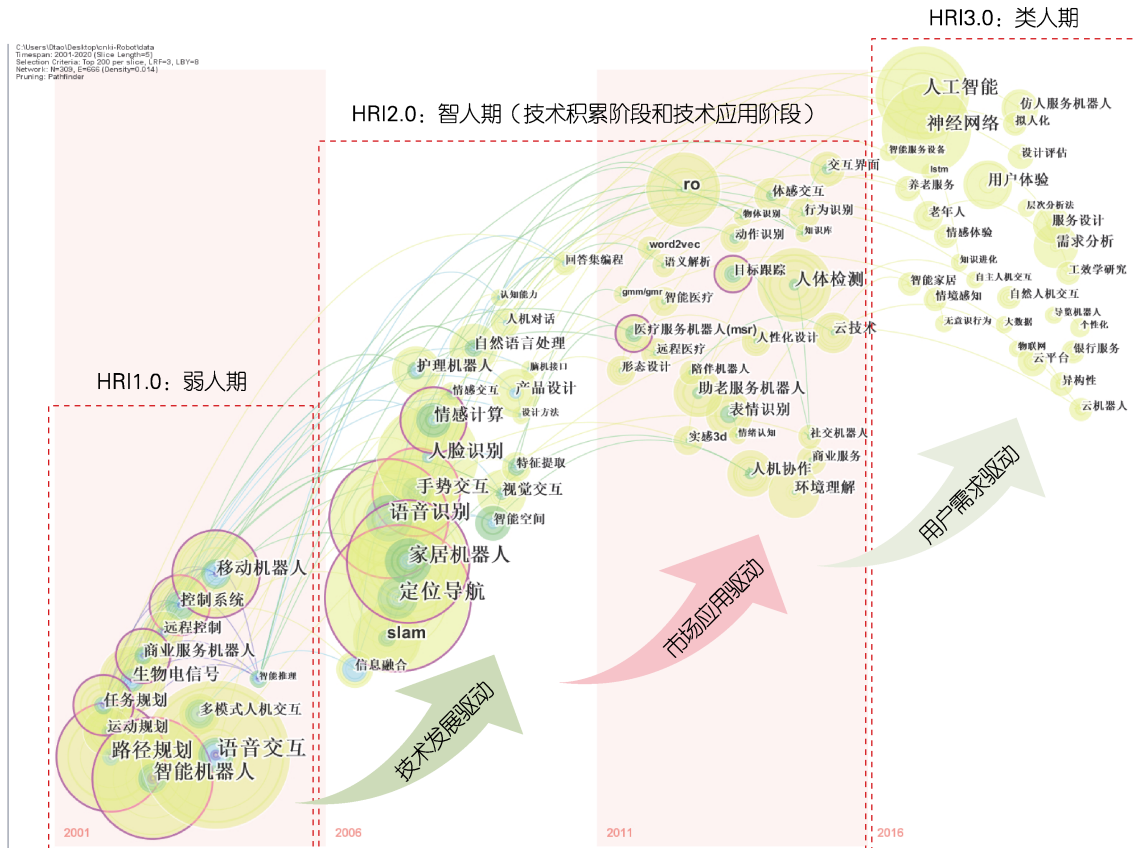


图2 关键词(主题)时区演化图谱

Fig.2 Time-zone evolution map of keywords (themes)

类人期,这一时期以用户需求为导向,集中开展了围绕HRI体验设计的研究,包括用户体验、服务设计、需求分析、情感体验与设计评估、功效学研究等,这一时期的机器人、交互场景和人类之间的边界变得模糊,趋于融合共存,同时,基于大数据、物联网、云平台等具有普适计算特征的HRI也获得了发展,主要关注如何把信息空间编织到人类生活的物理空间中,即实现人(Human)-机(Robot)-环(Context)的集成和融合,改善或提升类人交互体验的自然感和真实感,可以说这一时期是服务机器人“智商”与“情商”的融合阶段,主要突出社会层面的交互内容。

## 2.2 研究热点图谱

为了标识中国服务机器人交互领域的研究热点,本研究采用关键词共现分析和VOSviewer软件进行密度热点图谱的计算和生成。其中,关键词共现分析是指统计一组“词汇对”共同出现在文档中的次数,一般认为词汇对共同出现的次数越多,代表该词汇对所表述的主题关系越密切<sup>[21]</sup>,进而用以分析各个研究主题之间的亲疏关系。使用BibExcel统计116个高频关键词两两之间的共现次数,结果如表1所示。

将上述116个高频关键词的共现数据导入VOSviewer进行密度热点图谱的绘制,通过VOSviewer密度热点图谱上的颜色变化可以直观、快速地发现该领域的研究热点。结果如图3所示:关键词标

表1 高频关键词的共现次数(部分)

Tab.1 Co-occurrence frequency of high frequency keywords (part)

关键词1	关键词2	共现次数	关键词1	关键词2	共现次数
人脸识别	语音交互	7	定位导航	路径规划	4
人机协作	认知模型	6	产品设计	设计方法	4
路径规划	任务规划	5	SLAM	定位导航	4
避障	定位导航	5	语音识别	语音识别	3
ROS	人脸识别	5	生物电信号	远程医疗	3
ROS	路径规划	5	神经网络	自然语言处理	3
语音识别	智能机器人	4	神经网络	智能机器人	3
语音交互	语音识别	4	设计方法	设计方法	3
手势交互	手势交互	4	人脸识别	视觉交互	3
任务规划	智能推理	4	人机协作	室内服务机器人	3
人机协作	人机协作	4	情境感知	无意识行为	3
人机对话	语音识别	4	目标跟踪	人体检测	3
情感计算	智能机器人	4	路径规划	智能机器人	3
路径规划	智能推理	4	路径规划	人体检测	3
路径规划	移动机器人	4	老年人	需求分析	3
路径规划	商业服务机器人	4	控制系统	情感计算	3
家居机器人	手势交互	4	家居机器人	体感交互	3

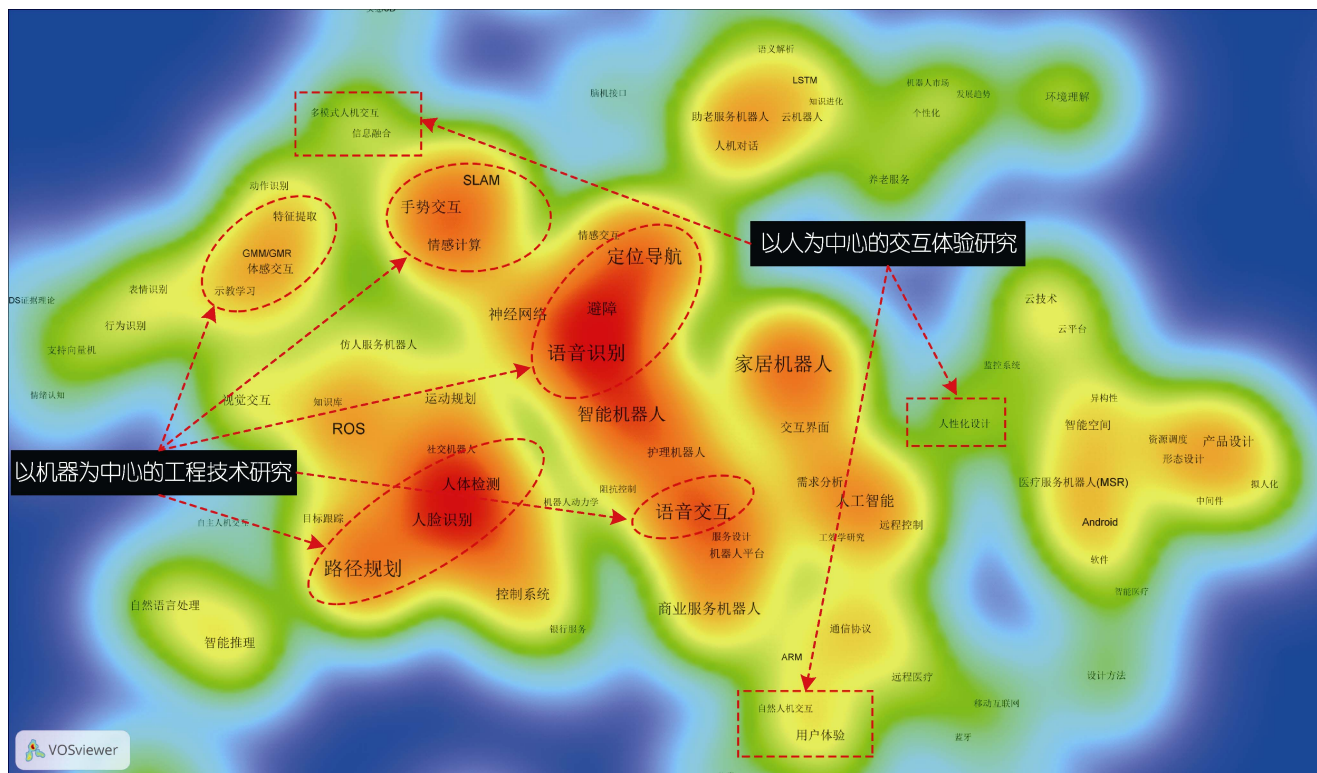


图 3 关键词 (主题) 的密度热点图谱  
Fig.3 Density hotspot map of keywords (themes)

签的字号大小代表该研究主题的权重大小(即共现次数), 标签越大, 权重越大; 关键词标签的背景颜色(红、黄、绿的渐变色)依据其密度的大小来填充, 密度的大小依赖于周围关键词的数量以及这些关键词的权重大小, 绿色表示密度热点低的区域, 红色代表密度热点高的区域, 而黄色为密度热点的中间区。

由图 3 可知, 2001-2020 年中国服务机器人交互研究的主要内容集中在“以机器为中心”的工程技术方面(该部分内容的红色偏多), 主要关注如何实现服务机器人在复杂环境中进行有效感知、认知和行动的能力, 如语音识别、避障、人脸识别、人体检测、路径规划和定位导航等识别决策技术, 其次是手势交互、SLAM(即时定位与地图构建)等技术研究; 多模式人机交互、信息融合、情感交互、自然人机交互、用户体验和人性化设计等“以人为中心”的交互体验研究处在整个研究领域的边缘区域(该部分内容的黄色和绿色偏多)。从整体上来看, 相较于在“计算智能”方面的技术导入, 现阶段的 HRI 研究缺少对“人本智能”(Human-centered AI, HAI)<sup>[22]</sup>的设计考量。

### 2.3 研究质量图谱

为了揭示中国服务机器人交互领域的研究质量, 在上述关键词共现分析的基础上, 采用聚类分析和战略坐标分析来系统地计算和表达各个研究主题的关联情况和发展状况。在聚类分析中, 为避免过于分散

(异常)的主题关键词对后续研究质量分析的干扰, 结合 SPSS 系统聚类结果, 本研究共去除了 43 个指向性明显的技术类关键词(如任务规划、运动规划、路径规划、避障、定位导航等)和指向性泛化的关键词(如机器人市场、发展趋势、智能机器人等), 最终保留了 73 个与 HRI 应用场景、交互技术和行为体验相关的关键词。同时, 为保证各个关键词在语义层面上具有类内的最大相关性和类间的最小相关性, 本研究多次组织小组进行调研和讨论, 进行人工逐项对比分析, 最终将 73 个关键词划分为 15 个主题类团, 结果见表 2。

结合 BibExcel 分析的高频关键词共现数据, 使用 Matlab 程序来计算上述 15 个主题类团向心度(Centrality)和密度(Density)的绝对坐标值: 向心度可以用类团关键词与其余类团关键词两两共现频次的均值来计算, 密度可以用类团内部关键词两两共现频次的均值来计算, 结果见表 3。进一步以表 3 中的坐标值为参数, 绘制战略坐标图, 结果如图 4 所示。战略坐标图是一种依据向心度和密度坐标值来划分 4 个象限的二维平面图, 用以概括性地描述某研究主题的内部发展情况以及主题间的相互影响情况。其中, X 轴为向心度, 表示主题类团之间的联系强弱, 向心度越大, 说明该主题类团与其他主题类团之间有着紧密的联系, 趋于核心地位; Y 轴为密度, 表示主题类团内部的发展强弱, 密度值越大, 说明该主题类团自身的发展越趋于成熟, 研究关注度越高。

表2 73个高频关键词的聚类结果  
Tab.2 Clustering results of 73 high frequency keywords

类团序号	类团名称(研究主题)	关键词
1	环境智能	环境理解、情境感知、无意识行为、智能家居、智能空间自适应学习、个性化、家居机器人
2	拟人化交互	拟人化、人性化设计、仿人服务机器人
3	脑机交互	交互界面、脑机接口
4	多模态交互	多模式人机交互、自然人机交互、信息融合、实感 3D
5	体验设计与评估	层次分析法、工效学研究、设计评估、需求分析、用户体验
6	老年服务	养老服务、助老服务机器人、老年人
7	云服务	云机器人、云技术、云平台、物联网
8	情感交互	情感计算、DS 证据理论、表情识别、情绪认知、支持向量机、情感体验
9	体态交互	GMM/GMR、HMM 理论、动作识别、手势交互、特征提取、体感交互
10	视觉交互	物体识别、视觉交互、人脸识别、人体检测
11	智能认知	认知能力、知识库、智能推理、知识进化、认知模型、人工智能
12	社会交互	目标跟踪、社交机器人、陪伴机器人、自主人机交互、行为识别
13	人机协作	人机协作、示教学习
14	语音交互	LSTM、Word2Vec、人机对话、神经网络、语义解析、语音识别、语音交互、自然语言处理
15	医疗监护	护理机器人、蓝牙、移动互联网、远程医疗、医疗服务机器人(MSR)、智能医疗

表3 15个主题类团的战略坐标值  
Tab.3 Strategic coordinates of 15 thematic clusters

类团序号	向心度坐标(X轴)	密度坐标(Y轴)
1	0.706 4	0.591 5
2	1.315 3	0.000 0
3	1.027 4	0.000 0
4	0.708 8	0.223 4
5	0.860 0	0.647 0
6	1.544 9	0.639 3
7	0.847 8	0.273 5
8	0.892 6	0.353 9
9	1.029 9	0.827 6
10	1.396 8	0.249 7
11	1.106 2	0.288 7
12	1.185 3	0.081 6
13	1.943 6	0.000 0
14	1.105 4	0.858 0
15	0.425 0	0.457 7
均值	1.073 0	0.366 1

由图4可知,中国服务机器人交互领域的研究质量情况如下:

1) 老年服务和语音交互是第一象限主题类团,具有较高的向心度和密度。该类研究主题的内部和外部联系密切,表明老年服务和语音交互与其他众多研

究主题关系紧密,且自身的研究发展也趋于成熟,已经形成了系统化的研究内容或方向,对该类主题的研究能够影响到其他研究主题的发展,是现阶段 HRI 的研究热点。

2) 体态交互、体验设计与评估、环境智能和医疗监护是第二象限主题类团,具有较高的密度和较低的向心度。该类研究主题的内部联系紧密,但外部关联不强,表明该类研究虽然受到了研究人员的广泛关注,也已开展了相关研究来完善相关技术和应用,但该类研究主题较为独立,在与其他主题的深化合作和交叉应用等方面仍会有较大的研究空间,是现阶段 HRI 的研究重点。

3) 多模态交互、情感交互、脑机交互和云服务是第三象限主题类团,具有较低的向心度和密度。该类研究主题外部关联不强,内部联系松散,表明这种以自然交互为目标的研究主题仍处在 HRI 研究的边缘,且自身发展也不够成熟,缺少系统的理论研究体系,应用发展受限,是现阶段 HRI 的研究缺口。

4) 社会交互、智能认知、拟人化交互、视觉交互和人机协作是第四象限主题类团,具有较高的向心度和较低的密度。该类研究主题的外部关联性强,内部联系松散,表明以人为中心的社会化交互已经成为 HRI 的研究核心,对其他研究主题的发展具有影响作用,但其自身的研究方向或内容较为松散,可能会被分解为多个研究主题,具有较大的研究潜力,是现阶段 HRI 的研究亮点。

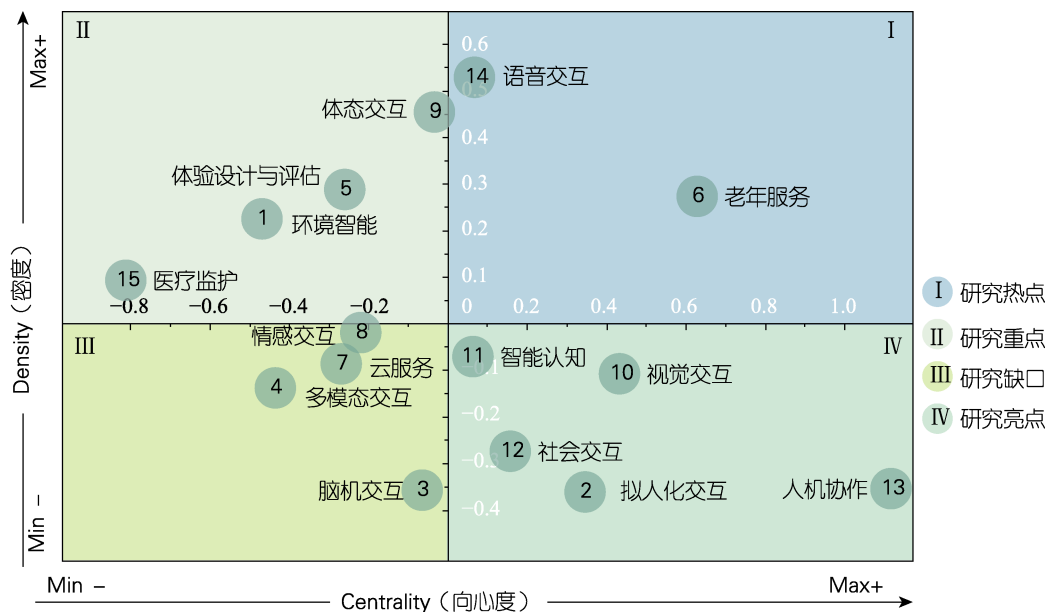


图 4 15 个主题类团的战略坐标图谱  
Fig.4 strategic coordinate map of 15 thematic clusters

### 3 态势讨论

#### 3.1 紧跟研究趋势——人本设计介入 HRI 研究的必要性

由图 2 研究演化图谱可知,随着技术的进步和需求的变化,中国服务机器人交互领域的研究过程可以划分为: HRI 1.0 弱人期—HRI 2.0 智人期—HRI 3.0 类人期,呈现出服务机器人交互技术越来越丰富、应用场景越来越广泛和交互需求越来越深层的发展趋势。交互技术由基础的运动和路径规划,发展到语音、人脸、体态,甚至是情感交互、自然交互;应用场景已由最开始的商业服务延伸到家居、医疗、个人和社交场景;交互需求也由单一的信息交互转变为高效的行为交互,并发展成为类人的社会交互。这一趋势的转变给 HRI 研究带来了挑战:一方面,进入 HRI 3.0 类人期,服务机器人交互的角色属性已由被动的辅助工具转变为主动参与社会活动的类人载体<sup>[23]</sup>,其功能表现不仅要求具备自然的交互方式,如语音交互、视觉交互、体态交互等,还应满足与目标用户群体在特定场景下的感知、认知和行为习惯等相匹配的社会交互体验;另一方面,机器人技术的进步给人带来种种便利的同时也影响到了越来越多的个人环境和敏感的人类需求<sup>[24]</sup>,从而引发一系列社会和情感问题<sup>[25-27]</sup>。

在这种趋势背景下,可以明确 HRI 的最终目标不仅是开发省时、省力的机器人,而且要开发人们可以接受的,能够满足社交和情感需求,并尊重人类价值的机器人,重点在于人们对机器人的行为和态度,以及人们与机器人物理、技术和交互功能之间的关系<sup>[28]</sup>。因此,对服务机器人来说,要想为人们的生活提供长期、紧密和深入的附加价值,就必须强调通过设

计塑造一个“以人为中心”的用户体验<sup>[29]</sup>(User Experience, UX/UE)的必要性。这里的用户体验包含了用户的情绪、信念、偏好、感知和使用服务机器人之前、期间和之后的态度等众多的人本设计(Human-centered Design),积极的人本体验设计能够驱动服务机器人应用范围的扩散,而负面的人本设计可能会阻止人类从服务机器人的特性中获益<sup>[30]</sup>。

#### 3.2 转变研究思维——人本设计介入 HRI 研究的重要性

由图 3 密度热点图谱可知,当前中国服务机器人交互研究主要集中于“计算智能”(技术属性为主)的工程技术研究,依赖于从工程人员的角度提升机器人的个别技能,缺少对“人本智能”(技术环境与社会属性并重)的设计考量。尽管计算智能技术的发展使服务机器人的识别和推理能力大幅提升,甚至部分已超越了人类智能,但服务机器人作为“社会伙伴”<sup>[31]</sup>的角色,在教育、医疗、家庭和商业等领域中的应用价值仍然未能被大众所接受<sup>[32-34]</sup>。主要原因是面对复杂环境下工作任务多变的服务机器人,使其完全类人地与人进行自主交互还难以实现,且当前技术水平下的 HRI 应用存在“技术的感性局限”,即只追求技术理性的手段和目的,而不关心这种手段和目的在人的自然感性、社会感性和理性感性等本质规律中的合理性。如教育机器人的语音功能和背景故事对儿童情绪、融洽关系、人际关系和学习质量的影响<sup>[35]</sup>;社交机器人的拟人化对熟悉度、信任感等良性人机交互的影响<sup>[36]</sup>;机器人表达任务失败时的透明度,即“出丑效应”(Pratfall Effect)对提升人机关系的作用<sup>[37-38]</sup>;“尝鲜效应”(新奇性消失后,用户对机器人的兴趣

下降)对 HRI 长期互动的影响<sup>[39-40]</sup>。从上述服务机器人交互的研究趋势上看,随着语音、手势、表情等交互技术的成熟和普及,计算智能技术的导入将不再是驱动 HRI 发展应用的唯一力量,未来需要将更多人本因素(用户体验、用户研究、社会交互、情感道德、人机信任等)纳入设计考量范围。

如图 5 所示,HRI 在本质上和必要性上是一个多学科的、以问题为基础的研究领域,成功的 HRI 既需要来自计算机科学、人工智能、机械科学及传感器等工程技术软件和硬件的支撑,也需要认知科学、语言学、心理学和人类学等社会科学方面的贡献<sup>[6]</sup>,并最终通过设计的物化(理解和塑造)来满足人的需求并被社会接纳。因此,相较于当前多从“以机器为中心”的计算智能层面来研究如何创建实用机器人(Usable Robot)<sup>[41]</sup>,未来应当转变研究思维,考虑“以人为中心”的人本智能对 HRI 应用发展的驱动作用。换言之,必须考虑利用人本设计的协调和引导作用,从社会科学角度理解和辨析用户在感知、认知和行为层面对服务机器人交互的感性认识,据此关注和指导人本智能层面的工程技术开发,实现服务机器人交互的技术理性和社会感性之间的关系塑造,从以人为本的设计视角探索 HRI 能够为用户带来的积极体验和社会价值。

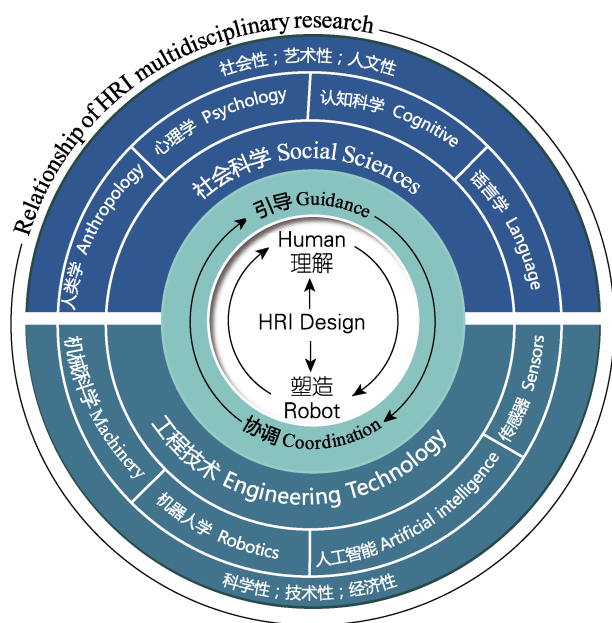


图 5 设计在 HRI 研究中的协调和引导作用

Fig.5 Coordination and guidance of design in HRI research

### 3.3 拓展研究内容——人本设计介入 HRI 研究的挑战性

服务机器人作为一种虚拟的或机械的人造工具,多数具有典型的生命特征<sup>[42]</sup>,其能够以一种半自主或全自主工作的方式为人类提供社会生活服务。相较于人-机器交互(Human-Machine Interaction, HMI)和

人-计算机交互(Human-Computer Interaction, HCI)所扮演的生产制造、功能延伸和信息支撑等工具角色,HRI 明显兼具伙伴、指导和类人化身<sup>[43]</sup>的社会角色。因此,在这种先验动机的影响下,用户多追求或习惯采用类人的社交线索进行自然交互<sup>[44-45]</sup>,且随着服务机器人与人类生活的日渐紧密,这种自然、高效的交互方式必然成为影响用户体验的重要指标<sup>[46-47]</sup>。相关研究表明,人机自然、本真的交互方式必须是多模态的(Multimodal)<sup>[48-50]</sup>,即通过融合视觉、听觉、触觉等多个感官通道及其承载的手势、表情、文字、语音、图像等多种效应媒介来充分模拟人与人之间的信息传递方式。与单一模态交互相比,多模态交互能够提供多样化的交互方式,在移动交互、自然交互上具有明显优势:从交互体验角度来说,多模态交互允许用户充分利用人的多种感官通道和效应媒介以并行、协作的方式完成三维空间中不精确的交互任务,旨在为用户提供更自然、更透明的交互;从机器感知和意图推理的角度来说,多模态融合并行交互能够利用各个模态之间信息的互补性、重复性、等价性等特点,消除复杂交互环境下的任务歧义,提升人机交互的准确性和鲁棒性;另外,受限于服务机器人在外观结构上的物理条件(无屏幕、小屏幕、无动作或动作受限等),处于非结构化环境(高噪音、远距离、动态、复杂等)中的服务机器人在信息展示质量和容量上都十分有限,因此,单一模态的交互反馈往往会存在信息过载或缺相问题,而多模态交互能够实现跨模式的任务分配,成为增强信息反馈灵活性和可靠性的有效方式<sup>[51]</sup>。

由图 4 战略坐标图谱可知,现阶段对语音识别、视觉识别、环境感知等单一模态交互技术的研究比较活跃,而对多模态交互的研究存在明显缺口。开展技术研究提升服务机器人单一模态的性能、个性化和适应性等有其必要性,但从服务机器人的类人应用特征和复杂交互环境来看,多模态交互应该被视为一种提升服务机器人交互灵活性、稳健性和高效性的有效手段,作为实现人-服务机器人自然(类人)交互的桥梁,多模态交互必然会成为 HRI 应用中普遍且不可缺少的部分。因此,基于 HRI 3.0 类人期的趋势背景,结合人本智能交互的研究思维,开展面向 HRI 的多模态交互设计方法研究,这应该成为服务机器人实现人本交互的重点突破方向。

## 4 结语

为全面剖析中国服务机器人交互的研究态势,基于文献计量方法,对中国知网(CNKI)数据库中检索到的 309 篇(2001-2020 年)与“服务机器人+交互”主题相关的有效文献进行计量分析,并围绕该领域的关键问题和研究挑战展开了讨论。在研究趋势上,进入 HRI 3.0 类人期,服务机器人的交互技术、场景和



需求都有了明显的进步、拓展和转变,其应用角色从具备功能性的工具属性逐渐转变为兼具类人特征的社会属性,自然和社交将成为 HRI 研究的基本目标,追求“智商”向“情商”的跳跃;在这种趋势背景下,相较于从计算智能层面来创建实用机器人的研究思维,未来更应该考虑从人本智能层面开展服务机器人交互的开发和设计;在研究内容上,强调人本设计的协调和引导作用,着重开展多模态融合并行交互的设计方法研究,塑造服务机器人交互的技术理性和社会感性之间的关系,以提供自然、灵活的积极用户体验。

虽然本研究的整个过程严格遵循了文献计量分析的使用规范,但在文献的时效性(文献发表时间滞后于研究开展时间)和广泛性上还存在一定的局限。未来的工作将添加 Web of Science、Scopus、Google 学术等数据库的相关分析结果,及时查准、查全最新的学术研究成果,补充和拓展本研究的讨论范围。

#### 参考文献:

- [1] International Federation of Robotics (IFR). Service Robots [EB/OL]. [2021-07-22]. <https://ifr.org/service-robots>.
- [2] 颜云辉, 徐靖, 陆志国, 等. 仿人服务机器人发展与研究现状[J]. 机器人, 2017, 39(4): 551-564.  
YAN Yun-hui, XU Jing, LU Zhi-guo, et al. Development and Research Status of Humanoid Service Robots[J]. Robot, 2017, 39(4): 551-564.
- [3] 王田苗, 陶永, 陈阳. 服务机器人技术研究现状与发展趋势[J]. 中国科学: 信息科学, 2012, 42(9): 1049-1066.  
WANG Tian-miao, TAO Yong, CHEN Yang. Research Status and Development Trends of the Service Robotic Technology[J]. Scientia Sinica (Informationis), 2012, 42(9): 1049-1066.
- [4] 亿欧智库. 2020 中国服务机器人产业发展研究报告 [EB/OL]. (2020-05-28) [2021-08-20]. <https://www.iyiou.com/news/202005281003949>.  
Equal Ocean. Research Report on the Development of Service Robot Industry in China in 2020[EB/OL]. (2020-05-28) [2021-08-20]. <https://www.iyiou.com/news/202005281003949>.
- [5] GEMIGNANI G. Living with Robots: Interactive Environmental Knowledge Acquisition[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2016, 78: 1-16.
- [6] BARTNECK C, BELPAEME T, EYSSEL F, et al. An Introduction[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2020
- [7] JOST C, LE PÉVÉDIC B, BELPAEME T, et al. Human-Robot Interaction: Evaluation Methods and Their Standardization[M]. Cham: Springer International Publishing, 2020.
- [8] GOODRICH M A, SCHULTZ A C. Human-robot interaction: a survey[M]. Hanover, Mass.: now, 2007
- [9] 杜广龙. 面向多自由度机器人的非受限智能人机交互的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.  
DU Guang-long. Unrestricted Intelligent Human-Computer Interaction Research for Multi-Degree Robot[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [10] CHEN Chao-mei. CiteSpace II: Detecting and Visualizing Emerging Trends and Transient Patterns in Scientific Literature[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2006, 57(3): 359-377.
- [11] VAN ECK N J, WALTMAN L. Software Survey: VOSviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping[J]. Scientometrics, 2010, 84(2): 523-538.
- [12] ASTRÖM F, DANELL R, LARSEN B, et al. Celebrating Scholarly Communication Systems: A Festschrift for Olle Persson at his 60th Birthday[M]. International Society for Scientometrics and Informetrics, 2009.
- [13] 张佳乐, 骆汉宾, 尹紫微. 基于 Citespace 的建设全寿命周期机器人研究与应用分析[J]. 土木工程与管理学报, 2021, 38(1): 145-156.  
ZHANG Jia-le, LUO Han-bin, YIN Zi-wei. Research and Application Analysis of Robots Based on Citespace in Construction Life Cycle[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2021, 38(1): 145-156.
- [14] HAMMARFELT B, RUSHFORTH A D. Indicators as Judgment Devices: An Empirical Study of Citizen Bibliometrics in Research Evaluation[J]. Research Evaluation, 2017, 26(3): 169-180.
- [15] 朱庆华, 何振宇. 信息时代下的文献计量学新发展——评邱均平教授的《文献计量学》(第二版)[J]. 情报理论与实践, 2021, 44(3): 203-205.  
ZHU Qing-hua, HE Zhen-yu. New Developments in Bibliometrics in the Information Age[J]. Information Studies: Theory & Application, 2021, 44(3): 203-205.
- [16] 韩燕, 彭爱东. 基于技术形成三要素的技术机会识别研究——以医疗服务机器人领域技术为例[J]. 情报理论与实践, 2020, 43(5): 156-162.  
HAN Yan, PENG Ai-dong. Study on Technology Opportunity Identification Based on Elements of Technology Formation: A Case of the Technology of Medical Service Robot[J]. Information Studies: Theory & Application, 2020, 43(5): 156-162.
- [17] 乔治, 张新平. 基于文献计量分析的国际工业遗产研究态势解析[J]. 包装工程, 2021, 42(8): 93-101.  
QIAO Zhi, ZHANG Xin-ping. Bibliometric Analysis of Research Trends on International Industrial Heritage[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(8): 93-101.
- [18] TAN Hao, SUN Jia-hao, WANG Wen-jia, et al. User Experience & Usability of Driving: A Bibliometric Analysis of 2000-2019[J]. International Journal of Human-Computer Interaction, 2021, 37(4): 297-307.
- [19] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.  
CHEN Yue, CHEN Chao-mei, LIU Ze-yuan, et al. The Methodology Function of Cite Space Mapping Knowl-

- edge Domains[J]. *Studies in Science of Science*, 2015, 33(2): 242-253.
- [20] 王天然. 机器人技术的发展[J]. *机器人*, 2017, 39(4): 385-386.  
WANG Tian-ran. The Development of Robot Technology[J]. *Robot*, 2017, 39(4): 385-386.
- [21] 刘金花, 崔金梅. 基于 VOSviewer 的领域性热门研究主题挖掘[J]. *情报探索*, 2016(2): 13-16.  
LIU Jin-hua, CUI Jin-mei. VOSviewer-Based Mining of Territorial Hot Research Topics[J]. *Information Research*, 2016(2): 13-16.
- [22] RIEDL M O. Human-Centered Artificial Intelligence and Machine Learning[J]. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 2019, 1(1): 33-36.
- [23] MATARIĆ M J. Socially Assistive Robotics: Human Augmentation Versus Automation[J]. *Science Robotics*, 2017, 2(4): eaam5410.
- [24] CLABAUGH C, MATARIĆ M. Robots for the People, by the People: Personalizing Human-Machine Interaction[J]. *Science Robotics*, 2018, 3(21): eaat7451.
- [25] 易显飞, 刘壮. 社会化机器人引发人的情感认同问题探析——人机交互的视角[J]. *科学技术哲学研究*, 2021, 38(1): 71-77.  
YI Xian-fei, LIU Zhuang. On the Influence of Socialized Robot on Human Emotional Identity—From the Perspective of "Human-Robot" Interaction[J]. *Studies in Philosophy of Science and Technology*, 2021, 38(1): 71-77.
- [26] FRAUNE M R. Effects of Robot-Human Versus Robot-Robot Behavior and Entitativity on Anthropomorphism and Willingness to Interact[J]. *Computers in Human Behavior*, 2020, 105: 106220.
- [27] SULLINS J P. Robots, Love, and Sex: The Ethics of Building a Love Machine[J]. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 2012, 3(4): 398-409.
- [28] PRATI E. How to Include User eXperience in the Design of Human-Robot Interaction[J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2021, 68: 102072.
- [29] ALENLJUNG B, LINDBLOM J, ANDREASSON R, et al. User Experience in Social Human-robot Interaction[J]. *International Journal of Ambient Computing and Intelligence*, 2017, 8(2): 12-31.
- [30] LINDBLOM J, ANDREASSON R. Current Challenges for UX Evaluation of Human-Robot Interaction[M]// *Advances in Ergonomics of Manufacturing: Managing the Enterprise of the Future*. Cham: Springer International Publishing, 2016: 267-277.
- [31] DUMOUCHEL P, DAMIANO L. *Living with Robots* [M]. Cambridge: Harvard University Press, 2017.
- [32] HENSCHER A, et al. Social Cognition in the Age of Human-Robot Interaction[J]. *Trends in Neurosciences*, 2020, 43(6): 373-384.
- [33] BUDKOV V Y, PRISCHEPA M V, RONZHIN A L, et al. Multimodal human-robot interaction[C]// *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*. Moscow, Russia. IEEE: 485-488.
- [34] SAVELA N, TURJA T, OKSANEN A. Social Acceptance of Robots in Different Occupational Fields: A Systematic Literature Review[J]. *International Journal of Social Robotics*, 2018, 10(4): 493-502.
- [35] KORY-WESTLUND J M, BREAZEAL C. Exploring the Effects of a Social Robot's Speech Entrainment and Backstory on Young Children's Emotion, Rapport, Relationship, and Learning[J]. *Frontiers in Robotics and AI*, 2019, 6: 54.
- [36] DAMIANO L, DUMOUCHEL P. Anthropomorphism in Human-Robot Co-Evolution[J]. *Frontiers in Psychology*, 2018, 9: 468.
- [37] MIRNIG N, STOLLNBERGER G, MIKSCH M, et al. To Err is Robot: How Humans Assess and Act Toward an Erroneous Social Robot[J]. *Frontiers in Robotics and AI*, 2017, 4: 21.
- [38] KWON M, HUANG S H, DRAGAN A D. Expressing Robot Incapability[C]// *Proceedings of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*. Chicago, IL, USA. New York: ACM, 2018: 87-95.
- [39] SMEDEGAARD C V. Reframing the role of novelty within social HRI: From noise to information[C]// *2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*. Daegu, Korea (South). IEEE: 411-420.
- [40] [ŠABANOVIĆ S, BENNETT C C, CHANG Wan-ling, et al. PARO robot affects diverse interaction modalities in group sensory therapy for older adults with dementia[C]// *2013 IEEE 13th International Conference on Rehabilitation Robotics*. Seattle, WA, USA. IEEE: 1-6.
- [41] JONES K S, SCHMIDLIN E A. Human-Robot Interaction[J]. *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, 2011, 7(1): 100-148.
- [42] 付璐. 服务于生活的“机器人”设计美学[J]. *文艺争鸣*, 2010(24): 131-133.  
FU Lu. "Robot" Design Aesthetics Serving Life[J]. *Literary and Artistic Contending*, 2010(24): 131-133.
- [43] 何灿群, 肖维祯. 服务机器人中的拟人化设计研究[J]. *装饰*, 2020(4): 27-31.  
HE Can-qun, XIAO Wei-zhen. Research on the Anthropomorphic Design of Service Robots[J]. *Art & Design*, 2020(4): 27-31.
- [44] SCHOLTZ J. Theory and evaluation of human robot interactions[C]// *36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2003. Proceedings of the. Big Island, HI, USA. IEEE: 10pp.
- [45] GOERTZ W, REINHART M. Hype Cycle for Human-Machine Interface[EB/OL]. (2015-07-14)[2021-07-26]. <https://www.gartner.com/en/documents/3093220/hype-cycle-for-human-machine-interface-2015>.
- [46] WIRTZ J, PATTERSON P G, KUNZ W H, et al. Brave New World: Service Robots in the Frontline[J]. *Journal of Service Management*, 2018, 29(5): 907-931.