

基于文献分析的服务机器人研究综述

陈亮, 韩月, 刘怀玉
(华南理工大学, 广州 510006)

摘要: **目的** 结合服务机器人市场产品, 从学术文献的角度梳理、分析和归纳服务机器人的研究进展、关键问题和重点领域, 指出未来发展趋势, 为相关研究和创新设计提供参考。**方法** 从服务机器人的定义和分类出发, 梳理服务机器人产品的发展历程; 以国内外相关文献为基本数据, 采用文献计量法进行发文量分析、关键词突现分析和文献共被引分析; 在此基础上, 提出服务机器人未来的发展趋势。**结论** 梳理了近 50 年的典型服务机器人产品, 并将其总结为结构、感知和智能三个发展阶段; 发文量统计表明, 近十年有关服务机器人的学术文献大幅度增长; 突现关键词和文献共被引分析表明, 服务机器人的研究更依赖于新理论和新技术的结合, 体现人机共融的社会学理论是当前的研究热点; 规模化、智能化、类人化和交互形式多样化是未来服务机器人发展的重要趋势。

关键词: 服务机器人; 文献计量法; Citespace; 人机共融

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)08-0012-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.08.002

Review on Service Robots Based on Bibliometric Analysis

CHEN Liang, HAN Yue, LIU Huai-yu
(South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

ABSTRACT: Combining with service robots market products, this work aims to analyze and summarize the development history, find key issues and hot areas in service robots from the perspectives of academic literature, and point out the future development trend, so as to provide a reference for related research and innovative design. Starting from the definition and classification of service robots, the typical service robot products in the past 50 years are summarized into three development stages: structure, perception, and intelligence. Based on the relevant literature as the basic data, the bibliometrics analysis is used to analyze the article amount, the burst keywords, and the co-citation network, respectively. On this basis, the future development trend of service robots is proposed. The result shows that the academic literature on service robots has increased greatly in the past ten years, and service robot research is motivated by the combination of new theories and new technologies. The sociological theory of human-robot symbiosis is the current research hotspot. Trends of service robots are characterized by scale, intelligence, humanization, and diversified interaction.

KEY WORDS: service robots; bibliometric analysis; Citespace; human-robot symbiosis

随着人工智能、物联网、人机交互等技术的迅猛发展和人们对高质量服务需求的快速增长, 采用机器人代替人力完成日常服务工作已经成为一种普遍趋势。越来越多的服务机器人出现在教育娱乐、家庭陪伴、会展商务、健康医疗等生活场景中^[1]。国际机器人联合会数据显示, 2020 年全球个人/家用服务机器

人和专业服务机器人销售总量为 2 694 万台, 销售额达到 204 亿美元, 预计 2023 年将分别达到 5 584 万台和 398 亿美元^[2]。2020 年中国国际服务贸易交易会的服务机器人专题展区成为最受关注的主题展区之一。服务机器人的快速发展是技术发展和社会需求共同作用的结果, 而某些突发的社会性公共事件, 例如

收稿日期: 2021-01-02

基金项目: 国家自然科学基金 (51975216)

作者简介: 陈亮 (1975—), 男, 山东人, 博士, 华南理工大学教授, 主要研究方向为信息与交互设计、教育机器人。

新型冠状病毒肺炎疫情的爆发，也对服务机器人的发展起到了一定的导向作用。本文以近年来服务机器人领域的科技文献为研究素材，结合服务机器人现有的市场产品，采用科学计量法梳理国内外服务机器人的发展历程、应用场景、关键技术和热点问题，探讨服务机器人的发展动向，为未来服务机器人的创新设计提供借鉴。

1 服务机器人的定义、分类与发展

1.1 服务机器人的定义

机器人一般可分为特种机器人、工业机器人和服务机器人三大类。国际标准化组织（ISO）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。由此可见，服务机器人的核心任务是服务，而服务的对象是社会生活中的人，因此从某种意义上讲，服务机器人也往往具备语言、情感、个性等方面的社交能力，也可将其称为社交机器人^[3-4]。总体而言，服务机器人应该具有以下特性：具有一定的物理载体和移动能力，可以与人进行社交沟通，以完成指定服务工作为目标。

服务机器人的物理载体通常由基本骨架、运动系统、控制系统、外壳、交互界面等几部分构成^[5]，大小和形态应尽量接近人类社会生活中的常见物品，体现人机之间的协调、平等和共融等。其移动能力和移动方式因服务功能和场景而定，可采用轮式、履带式、步行、飞行等，也可由人携带，如小型智能宠物产品。

服务机器人的人机交互能力可以提升用户社交体验的自然性和真实性^[6]，因此服务机器人不仅应当具备自然的交互方式，如视觉交互、语音交互、体感交互等，还应具有与其服务对象匹配的知识、技能或偏好设置^[7]，甚至能感知环境或情绪^[8]，实现针对特定场景或对象的精准服务^[9]。

服务机器人的终极目标是完成针对人类的某种服务工作，如教育、娱乐、引导、健康、陪伴等。它可以是服务活动中人类个体的替代，也可以是服务活动的延伸或多个服务活动的整合，因此服务能力、服务质量、服务效率和用户体验是衡量其性能的重要标准^[10-11]。

除此之外，安全、环保、节能、美观、便捷等也是现代服务机器人应该具有的重要特性^[12]。

1.2 服务机器人的分类

服务机器人的分类方式有很多种，例如国际机器人联合会将其分为个人/家用服务机器人和专业服务机器人两大类。然而这种分类方法没有考虑到市场的平衡关系，例如 2020 年全球个人/家用服务机器人的销售量为 2 670 万台，销售额为 65 亿美元，而专业服务机器人的销售量虽然只有 24 万台，但销售额却高达 139 亿美元。本文根据服务场景和服务内容的不同，将服务机器人划分为家庭服务机器人、医疗服务机器人和公共服务机器人三大类。服务机器人的分类见图 1。

家庭服务机器人主要承担日常家庭生活服务，如清洁、烹饪、除草、教育、娱乐、看护、陪伴等^[13]。这类机器人具有自主化服务或半自主化服务的特点，并且体积小巧、造型美观，具有良好的人机交互能力。

医疗服务机器人主要用于辅助医疗、康复训练和医疗后勤保障等的服务活动^[14]。辅助医疗机器人可以完成简单的医疗处置，如注射、包扎、换药等任务。康复训练机器人可以辅助患者进行肢体康复训练^[15]，也可以协助运动员完成特定训练任务^[16]。近年来快速发展的外骨骼机器人也属于这一类机器人^[17]。医疗后勤服务机器人主要为医生或病患提供防疫检测、环境消毒、医疗运送等服务。

公共服务机器人主要用于酒店、机场、银行、餐厅、商场、会展等场所，可以进行公众指引、问询和安防等服务，例如安防巡检机器人、盘点机器人、餐饮机器人、讲解机器人、物流机器人等^[18-20]。

1.3 服务机器人的产品发展历程

服务机器人产品的发展与新技术和人类社会的 服务需求紧密相关，但早期的产品并没有以服务功能为设计核心。直到 20 世纪 80 年代，由“机器人之父”美国人恩格尔伯格设计的护士助手机器人 HelpMate 才被普遍认为是第一台真正意义上的服务机器人^[21]。进入 21 世纪，尤其是近 10 年以来，大数据、人工智能和 多维传感器技术被广泛应用于机器人，使服务机器人有了跨越式的发展。本研究整理了近五十年来服

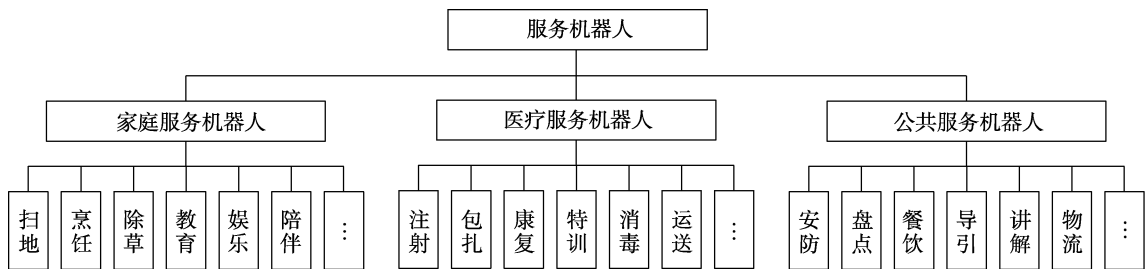


图 1 服务机器人的分类
Fig.1 Classification of service robots

务机器人行业的部分典型产品,根据这些产品的结构和服务能力,可以将服务机器人的产品演进过程分成三个阶段。服务机器人产品发展历程见表 1,典型服务机器人产品见图 2。

结构与功能探索阶段(2000 年以前):此阶段的服务机器人产品多以人形或生物仿生为基本形态,注重物理载体和机械动作,服务能力比较单一,主要以代替人类繁重或单调的体力劳动为主,如搬运、清洁等。机器人感知能力弱、交互能力差,工作中对场地和人员数量都有一定限制。尽管如此,这些服务机器人一经出现就引发了强烈的社会关注,服务机器人的概念迅速深入人心,服务机器人的独立商业市场也逐渐形成。

感知与控制优化阶段(2000 年至 2010 年):此阶段的服务机器人产品在仿生形态上更加逼真,自由

度也更加灵活^[22],并逐步具备了感知能力和人类情感的表现能力。控制功能也得到了加强,工作中不需要太多的人工干预,在人员较多的公共场合也能安全地开展。这些服务机器人迅速成为人类生活的有力帮手,有些甚至能通过情感表达和社交互动为自闭症儿童的治疗提供帮助^[23],如 Nao 机器人。

智能与社交进化阶段(2010 年至今):此阶段的服务机器人产品的形态不再单纯以仿生为主,而是形成了多样化的态势,体积也更加小巧。同时还把智能和社交作为基本要求^[24],能够快速响应、群体协作,甚至自我决策,还具有与人类高度相似的感知能力和情绪表现力,能够有针对性地进行社交互动和情感交流^[24]。可以说这一时期的服务机器人处于一个追求高智商和高情商的跳跃阶段。

表 1 服务机器人产品发展历程
Tab.1 Development of service robot products

年份	名称	研发机构	产品描述
1970	Wabot-1	日本早稻田大学	世界上第一台人形机器人,双足步行,眼睛和耳朵可以测量距离和方向,双手可以搬运物体
1983	OmniBot2000	日本 Tomy	第一代玩具机器人,可远程遥控,预置播放内容和动作,可携带小型物品
1988	HelpMate	美国 TRC	第一台服务机器人,采用了传感器技术,能协助护士在医院里为病人送饭、送药、送邮件
1996	Trilobite	瑞典 Electrolux	最早的全自动扫地机器人,采用超声波仿生技术,可以在完全黑暗的环境中自动避障
1999	AIBO ERS-110	日本索尼	第一代犬型宠物机器人,具有人工智能系统,可培养个性化习惯,拥有动物情感和情绪表现
2000	Asimo	日本本田	最著名的仿人机器,能跑、跳、开瓶、倒水等,可以识别声音、姿态,具备记忆和辨识能力
2003	Robocoaster	德国 KUKA	机动游戏机器人,通过多自由度机械臂,带动末端座椅,完成滑翔、翻滚、俯冲等机动动作
2006	Ri-Man	日本名古屋物理与化学研究所	医疗护理机器人,具有视觉、听觉、嗅觉和触觉传感器,可进行患者搬运和基于嗅觉的健康诊断
2009	KOBIAN	日本早稻田大学	表情机器人,能够表达喜、怒、哀、乐、悲、恐、惊等几乎所有人类情绪,能展现细微表情
2010	Nao	法国 Aldebaran Robotics	双足人形教育机器人,具有 25 个自由度,肢体语言丰富、逼真,可感知环境并与人交互
2014	Jibo	MIT 媒体实验室	全球首款社交机器人,具有人格化的 AI,可创建幽默、贴心的交流氛围,具有类人的情商
2015	Care-O-bot	德国 Fraunhofer	老年陪伴机器人,采用多模块化设计,能实现家务服务、语音互动、健康管理和行为辅助
2017	Sophia	中国香港汉森	第一个获得国家公民身份的类人机器人,具有逼真的面部细节,能识别表情、语言、眼神
2018	Geek+	北京极智嘉	仓储分拣机器人,具有高效的协同工作算法,能够进行路径规划、交通管理和任务决策
2020	UBTECH	深圳优必选	新型冠状病毒肺炎疫情防控专用机器人,每台机器人均可与总指挥系统联动,具有跨平台数据共享和决策能力

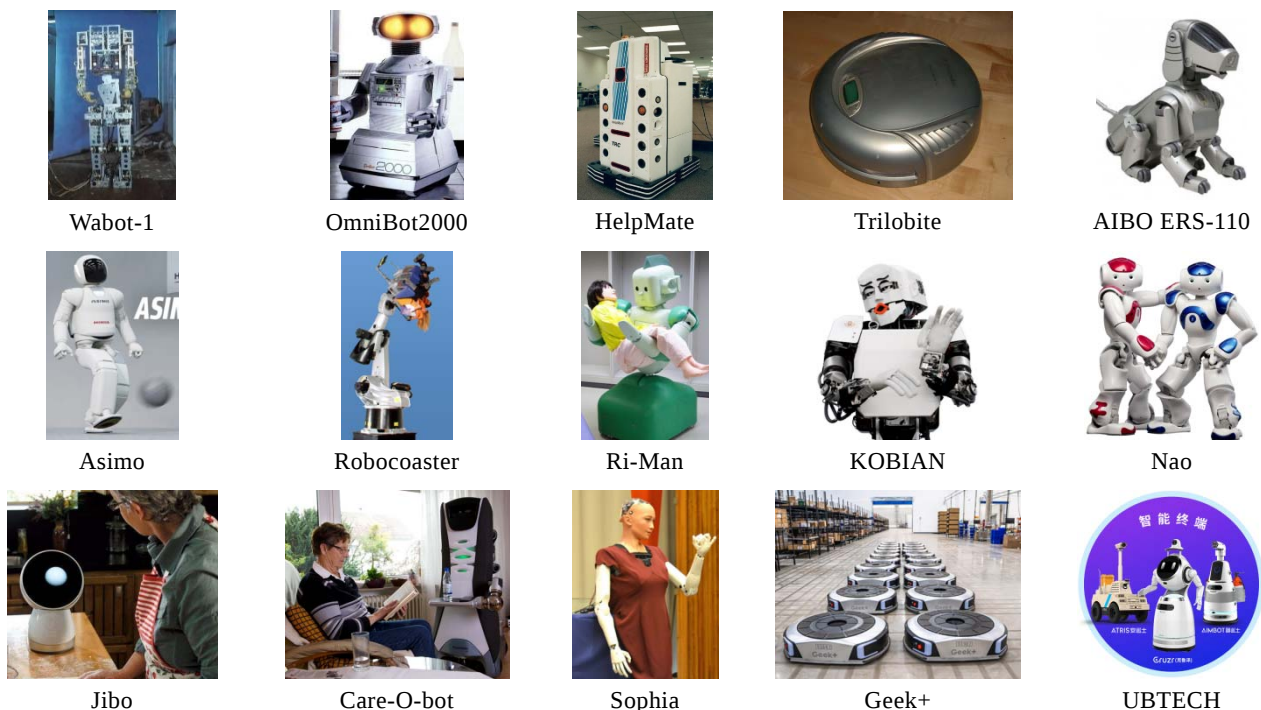


图 2 典型服务机器人产品
Fig.2 Typical service robot products

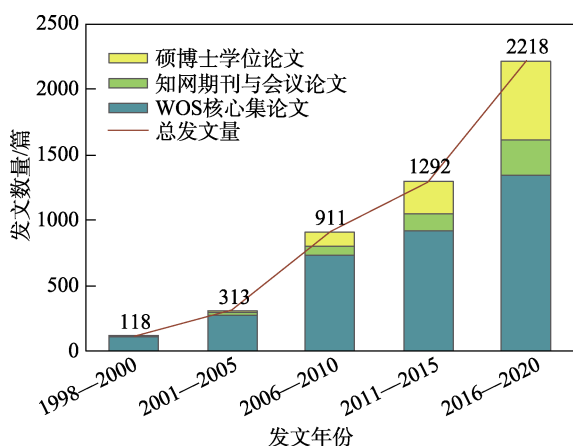


图 3 国内外服务机器人发文数量分布
Fig.3 Number of publications in service robot area

2 服务机器人研究的文献分析

2.1 发文量分析

为探究服务机器人在学术领域的研究现状和发展趋势，以“服务机器人 (Service Robot)”为主题关键词收集了 1998 年至 2020 年的相关学术文献，并进行了发文量统计。具体过程为：从 Web of Science (WOS) 核心数据库提取了英文论文 3 386 篇；从中国知网 (CNKI) 数据库中分别提取了中文期刊与会议论文 (中文核心、CSSCI、CSCD) 507 篇，国内硕博学位论文 959 篇，文献总量共计 4 852 篇；以 5 年为一个周期进行数量统计，绘制出服务机器人学术

文献的发文量走势，国内外服务机器人发文数量分布见图 3。

从图 3 中可以看出，服务机器人的学术文献发文量近年来呈明显上升趋势。总发文量从 2000 年以前的 118 篇增长到近 5 年的 2 218 篇，增幅近 20 倍。其中，发表在 WOS 核心库中的英文文献增长率相对稳定，而发表在中国知网的普通论文和硕博学位论文都在近 5 年出现了大幅度激增。这说明在服务机器人作为全球学术研究热点的大背景下，国内高校和科研院所已经崛起为世界服务机器人研究的一股强大力量。尤其是更多的青年学者正成为服务机器人研究的生力军，硕博学位论文发文量在近两个 5 年周期内成倍增加，相信在今后的一段时间内，这种趋势还将更加明显。

2.2 关键词突现分析

关键词突现是指在某段时期内相关领域突然增加的关键词，关键词共现分析源于文献计量分析中的耦合分析。综合关键词突现分析与关键词共现分析，可以提取出相关领域具有突出推动作用的技术、理论和方法等研究热点与热点的演变^[25]。本文采用 Citespace (5.6.R5 版本) 软件，运用了突发检测算法 (Burst Detection Algorithm)^[26]，从文献标题、关键词、摘要及其它文献标识符中，聚类出使用频次有突发性变化的专业术语^[27-28]。为了不失一般性，本文仅对来自 WOS 核心数据库的 3 386 篇英文文献进行关键词突现与分析，合并同义关键词节点，设置最短时间

为 2 年，状态转换值为 1，状态差异比率为 2，由此得到突现强度最高的 26 个关键词。

前 26 个突现关键词时间分布（1998 年至 2020

年）见图 4，表示的是这些突现关键词的突现时间和持续时间分布。前 26 个突现关键词共现图谱（1998 年至 2020 年）见图 5，图中字体大小代表突现强度，

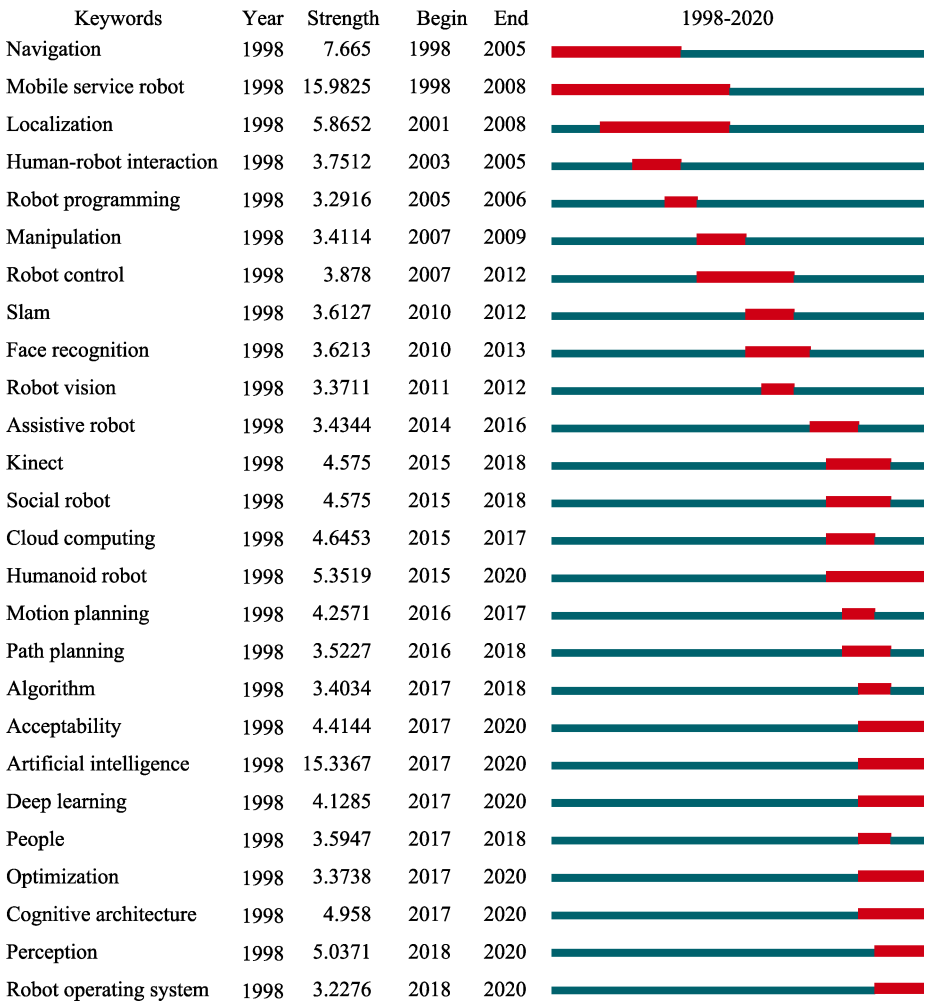


图 4 前 26 个突现关键词时间分布（1998 年至 2020 年）
Fig.4 Top 26 keywords with the strongest citation bursts (from1998 to 2020)

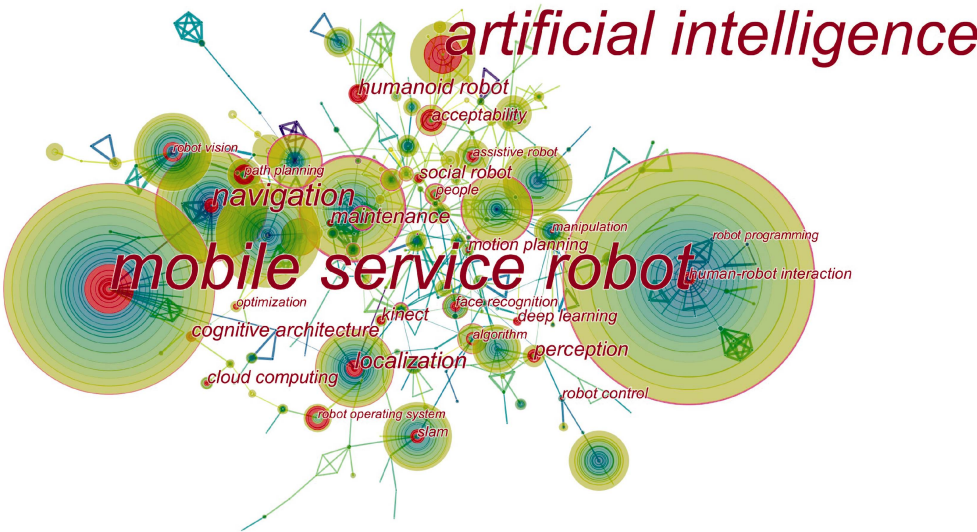


图 5 前 26 个突现关键词共现图谱（1998 年至 2020 年）
Fig.5 Top 26 keywords network (from 1998 to 2020)

节点圆圈大小代表词频多少。根据突现结果可以看出，突现强度大于 10 的关键词有“mobile service robot”(15.982 5)和“artificial intelligence”(15.336 7);突现时间持续 5 年以上的关键词有“mobile service robot”(1998 年至 2008 年)、“navigation”(1998 年至 2005 年)、“localization”(2001 年至 2008 年)、“robot control”(2007 年至 2012 年)、“humanoid robot”(2015 年至 2020 年)。由此说明，这些技术在服务机器人的研究中发挥了关键作用。

另外从时间角度来看，2010 年以前突现的关键词体现出，这一时期的服务机器人需要较强的人工协作，如“robot programming”“manipulation”“robot control”等。2010 年至 2015 年突现的关键词反映了这一时期的服务机器人，在视觉和环境感知方面已经可以实现部分自主识别，如“slam”“face recognition”“robot vision”等。而 2016 年以来突现的关键词表明，服务机器人正在集成多种新兴技术，向自主控制和决策方面发展，如“artificial intelligence”“cloud computing”“deep learning”等。

还可以发现，1998 年至 2020 年共检测到 26 个技术研究热点，但有 15 个出现在近 5 年内。这说明近年服务机器人的研究与多种新技术、新领域迅速融合，并且其外延被不断扩大，尤其是“acceptability”“people”“perception”“cognitive architecture”等社会学热点关键词的突现，表明服务机器人正在向类人的方向进化，趋向于构筑一种人机共融的社会关系。

2.3 文献共被引分析

若两个文献同时被第三个文献引用，则这两个文献是一种共被引 (Co-citation) 关系，经常被一起引用的文献表示它们在研究主题、理论或方法上具有很强的相关性。对文献进行共被引分析有助于挖掘出相关研究的基本知识元和知识群，揭示关键研究领域及其内在关联^[29]。本研究以来源于 WOS 核心数据库中的 3 386 篇英文文献为基础，在 Citespace (5.6.R5 版本) 软件中进行文献共被引分析。计算采用的标准为 g-index (k=25)，时间切片为 1 年，通过 LLR 算法进行聚类，模块值 Q=0.898 2，共生成节点 1 179 个，节点连线 3 116 条。提取轮廓值 S>0.8 的前 10 个规模最大的聚类，绘制出文献共被引聚类时间线图谱，见图 6。图 6 中圆圈的大小表示文献被引频次的多少；红色实心圆圈表示该文献突现强度高，在短时间内迅速成为关注热点；紫色外圈表示该文献中心性较强，在较长时间内都占有重要地位^[30]。

从聚类体现的研究领域来看，服务机器人的研究始终围绕机器人本体、环境和人三个因素展开，如#5 和#7 聚类均与机器人结构相关，#0、#6、#10 聚类均与环境相关，#1、#2、#3、#4 和#8 聚类均与人或服务相关。可见服务机器人的研究始终遵循着一条原则，即让机器人在认识环境的条件下更好地服务于人。

从时间角度来看，图 6 中也呈现出了服务机器人学术研究与其产品进化相似的三个阶段，即结构、感知、智能。这说明服务机器人的学术研究和产品研发

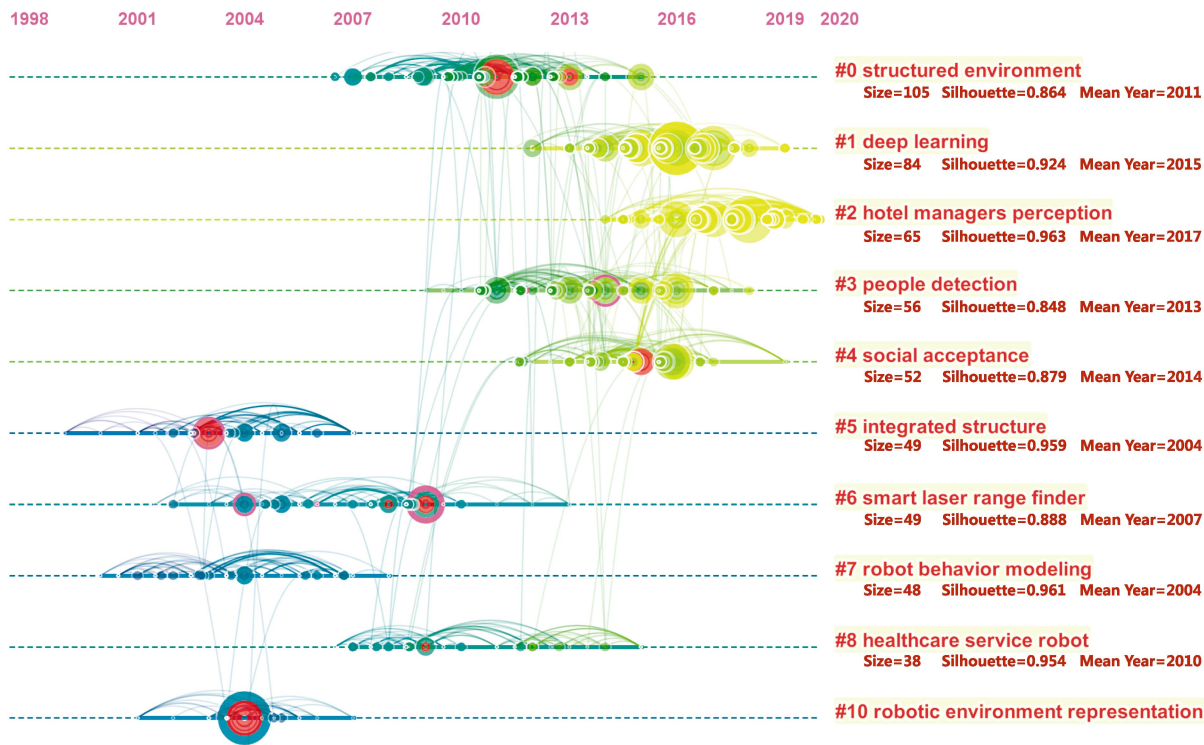


图 6 文献共被引时间线图谱
Fig.6 Co-citation timeline visualization

保持了较好的一致性,尤其是#1、#2、#3、#4 这几个与人因和智能相关的研究领域,进一步给出了当前服务机器人社交化和智能化的发展趋势。另外,有些聚类的时间跨度较短,有些聚类的时间跨度较长,表明这些研究领域在不同的历史时期发挥了不同的作用。各聚类也并不是完全孤立,前期研究往往是后期的基础,不同聚类之间也相互交叉、相互引用、相互支撑,共同构筑了服务机器人研究的知识群。

3 服务机器人的发展趋势

通过梳理服务机器人的产品发展历程和分析近年来的学术研究文献,可以发现服务机器人正处于一个理论研究和产业市场共同蓬勃发展的时期,服务机器人在人类社会生活中正扮演着越来越重要的作用。与此同时,不断产生的新技术,如 5G 通信、区块链、量子计算等,必将对服务机器人的发展起到巨大的推动作用。本文结合相关研究,提出未来服务机器人的发展将呈现出规模化、智能化、类人化和交互形式多样化几个趋势。

3.1 规模化

服务业市场的巨大消费潜力和精密制造、芯片等新技术的进步,必定推动服务机器人向规模化方向发展,并形成特色产业和独特的消费市场。可以预测,未来几年服务机器人的数量和类型都会出现大规模的增长,人类日常生活的各个方面都会出现服务机器人的身影,针对不同人群、不同场景,甚至一个服务的不同环节都会出现具有专属功能的服务机器人,某些人群还会依靠服务机器人提高生活质量。与此同时,为保证规模化的健康、长期和可持续发展,相应的技术标准、法律法规和管理制度等也将不断完善。

3.2 智能化

近年来,服务机器人的智能化已经成为其重要特征之一,而这一趋势还会随着人工智能技术的提升得到加强。未来的服务机器人将具有更强大的数据分析和智能决策能力,例如大量的终端机器人在提供服务的同时分布采集数据,并将数据实时上传到云端存储,经处理后再把数据分享给其他机器人,实现机器人集群的协同工作和整体进化。另外,无人工干预也是智能化的一种表现,机器人不仅能够自主完成服务任务、系统维护等基本功能,甚至还能根据服务对象的特点自主制定精准和个性化的服务策略。这些智能化不仅是人类智能的模仿,还会在很多方面超越人类,例如影像的实时存储和海量信息的快速检索。

3.3 类人化

人类对机器人最初的幻想就是让其像人一样工作和思考,人类对这种幻想的追求从未停止过。服务

机器人外观造型和感官功能的类人化,有助于实现机器与人之间的物理接触,而思维逻辑和交互方式的类人化,则有助于实现机器与人之间的心理和情感交流,机器人的社会学问题已经成为当前研究的热点。另一方面,人机接口技术实现了人类肢体的复现或器官的延伸,从某种程度上实现了人类生物体的机器化和机器人的类人化。

3.4 交互形式多样化

随着服务机器人与人类社会生活的日益融合,与机器人之间进行自然、高效的交互必将成为影响使用者体验的重要指标。新型的服务机器人需要针对具有不同语言、年龄、种族、文化等的人群提供多样化的交互形式,甚至在某些突发事件和异常环境中,均能给出有效的交互方案。例如在 2019 年末爆发的全球新型冠状病毒肺炎疫情,服务机器人在测温、消毒、物流等方面发挥了重要作用^[31],并且随着疫情常态化这一形式的到来,服务机器人的非接触式交互将在很长一段时期成为主流。手势交互、语音交互、视觉交互及其他新型的交互模式将越来越多地出现在服务机器人与人的交流场景中。

4 结语

新的技术和新的社会需求对服务机器人的设计也提出了新的要求。本文从市场产品的角度分析了服务机器人定义、分类和历史发展,从学术文献的角度统计了发文量,进行了突现关键词提取和聚类,绘制了文献共被引时间线图,归纳了服务机器人的热点研究问题和关键知识群,最后进一步提出,规模化、智能化、类人化和交互能力多样化是未来服务机器人发展的重要趋势。

参考文献:

- [1] 陶永,王田苗,刘辉,等.智能机器人研究现状及发展趋势的思考与建议[J].高技术通讯,2019,29(2): 149-163.
TAO Yong, WANG Tian-miao, LIU Hui, et al. Insights and Suggestions on the Current Situation and Development Trend of Intelligent Robots[J]. Chinese High Technology Letters, 2019, 29(2): 149-163.
- [2] 搜狐. 2020 年全球工业机器人报告[EB/OL]. (2020-10-20) [2020-12-29]. https://www.sohu.com/a/426112892_100176301
SOHU. Global Industrial Robotics Report 2020[EB/OL]. (2020-10-20)[2020-12-29]. https://www.sohu.com/a/426112892_100176301
- [3] HO T H, TOJIB D, TSARENKO Y. Human Staff vs. Service Robot vs. Fellow Customer: Does It Matter Who Helps Your Customer Following a Service Failure Incident?[J]. International Journal of Hospitality Manage-

- ment, 2020, 87: 10.
- [4] WOLBRING G, YUMAKULOV S. Social Robots: Views of Staff of a Disability Service Organization[J]. *International Journal of Social Robotics*, 2014, 6(3): 457-468.
- [5] 蒋志宏. 机器人学基础[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2018.
- JIANG Zhi-hong. *Fundamentals of Robotics*[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2018.
- [6] 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.
- [7] 覃京燕. 人工智能对交互设计的影响研究[J]. *包装工程*, 2017, 38(20): 27-31.
- QIN Jing-yan. Impaction of Artificial Intelligence on Interaction Design[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(20): 27-31.
- [8] 窦金花, 覃京燕. 基于情境感知多维数据可视化的产品服务系统创新设计研究[J]. *包装工程*, 2017, 38(2): 87-91.
- DOU Jin-hua, QIN Jing-yan. Product Service System Innovation Design Based on Context Awareness Multi-dimensional Data Visualization[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(2): 87-91.
- [9] 李波, 薛端, 黄鑫. 云机器人系统研究综述[J]. *计算机工程与应用*, 2017, 53(17): 26-40.
- LI Bo, XUE Rui, HUANG Xin. Survey of Cloud Robot System[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2017, 53(17): 26-40.
- [10] VAN PINXTEREN M M E, WETZELS R W H, RUGER J, et al. Trust in Humanoid Robots: Implications for Services Marketing[J]. *Journal of Services Marketing*, 2019, 33(4): 507-518.
- [11] 何人可, 王玥虹, 马超民. 家用服务机器人人机交互亲密度意象研究[J]. *包装工程*, 2021, 42(6): 1-8.
- HE Ren-ke, WANG Yue-hong, MA Chao-min. Intimacy and Perceptual Imagery of Home-use Robot Interaction[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(6): 1-8.
- [12] ANGHEL I, CIOARA T, MOLDOVAN D, et al. Smart Environments and Social Robots for Age-Friendly Integrated Care Services[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(11): 31.
- [13] 梁荣健, 张涛, 王学谦. 家用服务机器人综述[J]. *智慧健康*, 2016, 2(2): 1-9.
- LIANG Rong-jian, ZHANG Tao, Wang Xue-qian. A Review of Home Service Robot[J]. *Smart Healthcare*, 2016, 2(2): 1-9.
- [14] 杨晶东, 单体展. 基于网格的运动统计特征配准算法在医疗服务机器人中的应用[J]. *第二军医大学学报*, 2018, 39(8): 892-896.
- YANG Jing-dong, SHAN Ti-zhan. Application of Feature Matching Algorithm Based on Grid-based Motion Statistics in Medical Service Robot[J]. *Academic Journal of Second Military Medical University*, 2018, 39(8): 892-896.
- [15] 王秋惠, 魏玉坤, 刘力蒙. 康复机器人研究与应用进展[J]. *包装工程*, 2018, 39(18): 83-89.
- WANG Hui-qiu, WEI Yu-kun, LIU Li-meng. Review of Rehabilitation Robot on Research and Application[J]. *Packaging Engineering*, 2018, 39(18): 83-89.
- [16] 马艳娥, 郝彦涛, 赵晓艳, 等. 橄榄球机器人的抓取及发射控制系统[J]. *信息通信*, 2020(8): 113-114.
- MA Yan-e, XI Yan-tao, ZHAO Xiao-yan, et al. Grasp and Launch Control System of Rugby Robot[J]. *Information & Communications*, 2020(8): 113-114.
- [17] 戴宗妙, 都军民. 外骨骼机器人研究现状及面临的问题[J]. *现代制造工程*, 2019(3): 154-161.
- DAI Zong-miao, DU Jun-min. Research Status and Facing Problem of Exoskeleton Robot[J]. *Modern Manufacturing Engineering*, 2019(3): 154-161.
- [18] LU L, CAI R Y, GURSOY D. Developing and Validating a Service Robot Integration Willingness Scale[J]. *International Journal of Hospitality Management*, 2019, 80: 36-51.
- [19] ZHONG L, SUN S, LAW R, et al. Impact of Robot Hotel Service on Consumers' Purchase Intention: a Control Experiment[J]. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 2020, 25(7): 780-798.
- [20] TRIEBEL R, ARRAS K, ALAMI R, et al. SPENCER: a Socially Aware Service Robot for Passenger Guidance and Help in Busy Airports[C]. Berlin: 10th International Conference, 2016.
- [21] 王立权, 孟庆鑫, 郭黎滨, 等. 护士助手机器人的研究[J]. *中国医疗器械信息*, 2003(4): 20-22.
- WANG Li-quan, MENG Qing-xin, GUO Li-bin, et al. Nurse Assistant Robot[J]. *China Medical Device Information*, 2003(4): 20-22.
- [22] KIM B M, KWAK S S, KIM M. S, et al. Design Guideline of Anthropomorphic Sound Feedback for Service Robot Malfunction-with Emphasis on the Vacuum Cleaning Robot[C]. New York: 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2009.
- [23] KOZIMA H, NAKAGAWA C. Social Robots for Children: Practice in Communication-Care[C]. New York: 9th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, 2006.
- [24] MCGINN C. Why Do Robots Need a Head? The Role of Social Interfaces on Service Robots[J]. *International Journal of Social Robotics*, 2020, 12(1): 281-295.
- [25] 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 Knowledge Domains[J]. *Studies in Science of Science*, 2015, 33(2): 242-253.