老年医疗保健机器人学：20个近期研究项目综述

Weria Khaksar*

信息学系，奥斯陆大学，weriak@ifi.uio.no

信息学系机械工程与技术管理系，挪威生命科学大学 NMBU，weria.khaksar@nmbu.no

Diana Saplacan

信息学系，奥斯陆大学，dianasa@ifi.uio.no

Lee Andrew Bygrave

奥斯陆大学私法系，l.a.bygrave@jus.uio.no

Jim Torresen

奥斯陆大学信息学系，jimtoer@ifi.uio.no

研究表明，未来几十年西欧老年人口将大幅增加，这将给医疗保健系统带来压力。必须采取措施应对这些社会挑战。人们开展了对医疗保健机器人的研究，以促进老年人的独立生活。本文旨在回顾2008年至2021年医疗保健机器人学领域的近期项目。我们概述了该领域的研究重点，并为即将开展的研究提出路线图。本研究首先通过三个数字数据库进行文献检索。检索对象为相关文章，包括含有“老年护理”“辅助老龄化”“健康监测”或“老年人健康”等词语，以及含有词根“robot”的任意词语的研究项目。本文介绍并分类了最终筛选出的20个近期研究项目。随后，我们采用主题分析法对这些项目进行了分析。研究结果可概括为以下共同主题：大多数项目高度关注护理机器人的功能；机器人在护理环境中通常被视为产品；研究强调将机器人作为商业产品；而对护理机器人的设计与伦理方面的关注则较为有限。本文最后总结出代表未来研究路线图的五个关键要点，旨在推进面向老年人的机器人技术研究。

附加关键词和短语：机器人技术、老年人、医疗保健、文献综述、研究项目、2008–2021年

1 引言

由于老龄化，西欧老年人在人口中的占比将持续上升，这既是战后婴儿潮的结果，也与预期寿命延长有关 [1]。到2050年，欧洲的劳动年龄人口将降至3.64亿，较1995年减少25%。预计65岁及以上人口将从1995年的1.01亿增至2050 [2]的近1.73亿。因此，潜在抚养比（15至64岁人口与65岁及以上人口之比）将大幅下降，从1995年的4.8：1降至2050 [3]的2：1。人口中老年人占比不断上升，可能成为21世纪最重大的社会挑战之一，影响社会的方方面面，包括劳动力和金融市场、家庭结构与代际关系，以及住房、交通运输和社会保障等商品与服务的需求 [4]。这将导致护理人员数量减少，而护理接受者数量增加，从而对医疗保健系统的质量造成压力。

护理老年人的工作人员数量不断减少，这引发了一个问题：机器人技术如何助力维持或提升老年护理质量。为应对这些挑战，人们日益关注辅助技术，希望帮助老年人在自己偏好的家庭环境中尽可能长久地保持独立和活跃。机器人系统是相关举措之一，可提供支持独立生活、监测并维护人身安全的功能，还能通过陪伴提升健康和心理健康。更广泛而言，机器人技术在生产、交通运输和药物等不同领域的持续发展，彰显了机器人改善人类生活质量的重要性和潜力。机器人可从能力（提供医疗相关服务）、质量（准确且定制化地执行特定任务）、降低成本（支持甚至替代受过培训的工作人员）以及独立性（增强医疗服务使用者的自主感和自我管理能力）等方面为医疗支持作出贡献。

本文旨在回顾机器人技术在老年人医疗保健中的应用现状。重点关注2008年到2021年的研究项目，这些项目已将不同的机器人系统应用于老年人的居家护理。这些项目产生了大量研究文献、进展报告和在线介绍，本文对其进行了总结和讨论。本文还简要介绍了在居住环境中实施此类系统所引发的伦理问题。在本研究之前，自2008年以来，探讨机器人在老年护理中应用的综述论文为数不多。本文不考虑2010年之前的研究，因为自这些研究发表以来，该领域已有显著改进和创新。自2010年以来发表的大多数研究都聚焦于心理与社会辅助机器人[5–8]，而未涉及医疗保健应用。

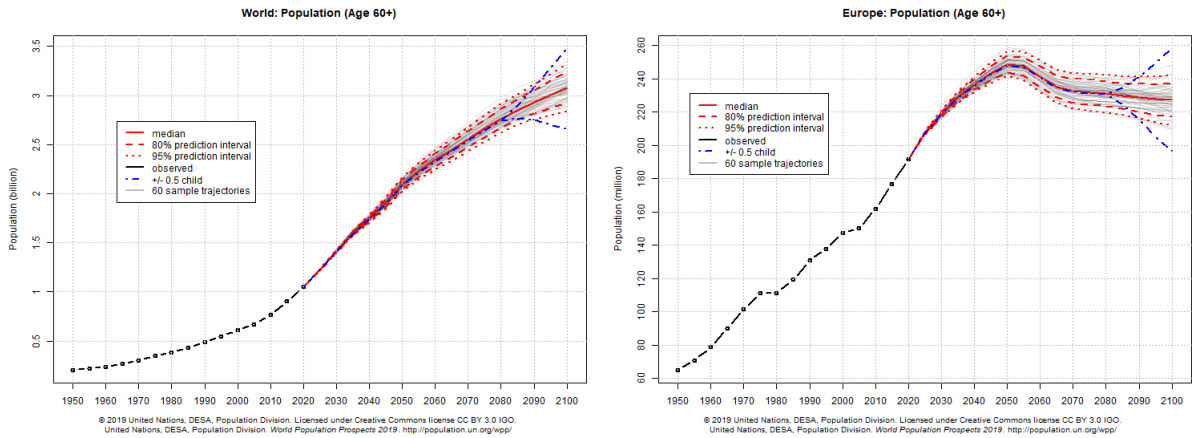
一篇论文回顾了面向老年人的环境辅助生活理念，主要探讨了不同的传感工具及相应算法 [9]。另一项研究探讨了医疗保健机器人在家庭中的作用，重点关注老年人日常活动中的当前问题 [10]。然而，若干项研究项目是在该研究发表之后才得到报道并实现商业化的。另有两项研究讨论了机器人在日常活动协助中的作用，重点是一般个人护理，而非老年人医疗保健 [11, 12]。最后，一篇综述介绍了不同机器人与传感系统在医疗保健中的应用，旨在应对认知、感觉和运动障碍[13]。尽管这些论文提供了大量信息，但该领域的文献仍缺少一篇全面综述，系统梳理与机器人用于老年人医疗保健相关的当代项目，并着重讨论当前进展、主要挑战和未来方向。虽然此前已有文献提及并简要讨论了一些已实施的机器人系统，但对当前项目进行系统综述，对于推动机器人系统在老年人医疗保健领域的未来发展至关重要。个人护理机器人技术的研发可追溯至20世纪80年代 [14]。然而，由于技术迅速进步，大多数进展都出现在过去十年间。尽管最新技术建立在早期系统设计尝试的基础上，但该领域的所有相关进展均已纳入过去十年的文献之中。

本文的主要目标是总结现有的、应用于老年人医疗保健的基于机器人的系统。与老年人医疗协助机器人系统的设计和实施相关的现有项目是本文关注的重点。文中讨论了所提技术和方法的详情，并着重介绍所采用的机器人系统。第二节介绍面向老年人的机器人，第三节介绍综述方法。第四节介绍所研究的项目，第五节呈现综述结果。第六节对研究结果进行详细讨论，第七节则给出结论和未来工作的建议。

2 机器人技术与老年人

接下来的小节将说明如何在文档中插入图、表和公式。尽管目前没有明确的年龄界限来界定一个人何时算作“老年人”，但退休年龄被广泛用作主要标准；在大多数发达国家，这一年龄为60岁或65岁。根据最新统计数据，60+ 年龄组在2017年占世界人口的13%。该群体占欧洲人口的25%，占北美人口的22% [1]。图1展示了世界人口老龄化的预测，尤其是欧洲的人口老龄化预测。

对于老年人而言，如果他们的需求得到充分满足，晚年继续居住在家中，而非住进机构护理设施，有助于提升整体生活质量。入住养老院与患者及其家庭的痛苦、抑郁症和情绪问题，以及早期死亡相关联 [10]。推行“原居安老”实践和社区照护有诸多益处，既能以较低成本满足老年人的需求、延缓他们入住养老院 [15],，也有助于政策制定。随着旨在帮助他们保持独立性的开发中的技术不断涌现，只要需求得到满足，老年人晚年或许能过得更快乐、更健康。目前已有许多技术，包括专为帮助老年人而设计的机器人技术。



(a) (b)

图1. 世界人口总体预测：(a) 60岁以上的世界人口，以及 (b) 欧洲60岁以上的人口。来源：联合国经济和社会事务部人口司（2019年）。《世界人口展望：2019年修订版》。https://population.un.org/

近年来，机器人技术在各种应用中的使用日益普遍，尤其是用于替代重复性任务或潜在危险的工作。机器人技术应用于实践的近期案例很多，例如自动驾驶车辆、包裹配送无人机，以及在工厂与熟练工人并肩工作的机器人。机器人技术最令人振奋、最有望影响我们日常生活的领域之一是医疗保健。医疗保健机器人的目标是促进或监测健康、协助完成因健康问题而难以执行的任务，或防止健康状况进一步恶化。这里所说的健康不仅包括身体健康，也涵盖心理、情绪和心理社会层面。

尽管“协助”是医疗保健机器人的主要功能，因为机器人系统应以特定方式协助用户，但医疗保健机器人也有许多不同的功能和应用，例如康复和社会交往。康复机器人是提供身体辅助的设备，其主要目的并非交流，也不会被视为社会实体。它们的任务是通过指导和评估，协助人们进行物理治疗。老年人容易理解并乐于与社交机器人互动；社交机器人也能充当伴侣。社交机器人还可以帮助人们完成任务，从而改善日常生活。社交机器人还可分为服务机器人或陪伴机器人 [16]。服务型机器人具有辅助功能，旨在通过协助行动、完成家务以及监测健康与安全，支持人们独立生活 [17]。社交机器人可以通过个性化的方式与人类互动，展现语言和非语言的社交技能与线索 [18]。陪伴机器人不会协助用户完成任务，而是旨在通过充当伴侣来提升生活质量。有些机器人兼具陪伴和协助功能。机器人有望通过满足人们在功能、心理和医疗监测方面的需求，以类似于现有较简单、较不先进的辅助技术（AT）（如可穿戴设备）的方式，支持人们独立生活并提升其生活质量。本文将探讨其中许多机器人系统如何帮助应对老年人在日常生活中遇到的问题，并着眼于实际解决方案以及机器人技术的优缺点。

3 方法

3.1 文献检索流程

表格是“浮动元素”，应在正文首次提及后插入，并使用特定样式以便识别。请勿使用图像呈现表格，否则使用辅助技术的读者将无法访问这些内容。

主要重点是寻找与机器人技术应用于老年护理相关的研究项目，而非描述单一案例研究或实验的个别论文。我们进行了广泛检索，以查找相关项目网站。根据从各项目收集的信息，我们检索了有关老年护理机器人系统的相关出版物

，检索范围涵盖三个数据库：Elsevier Science Direct、IEEE Xplore 和 Google Scholar。检索的文章包括“老年护理”“辅助老龄化”“健康监测”和“老年人健康”等主题，以及包含词根“robot”的词语。如前所述，我们进一步详细考察的仅限于过去 15 年内介绍的项目。我们剔除了重复来源，随后应用纳入标准缩小检索结果范围。每个项目都必须采用功能有所改进且经过用户研究的商用或定制机器人系统。该系统必须能够完全由试验参与者或个人用户控制，并具备速度控制和紧急停止等安全功能。此外，我们还纳入了评估这些机械臂设计和性能的研究文章。为进一步筛选综述中纳入的文章，我们还应用了一组排除标准。如果文章介绍的系统具有超出老年人医疗保健范围的功能，则不予纳入。仅用于娱乐或社交目的的机器人，以及用于医疗领域其他用途（如手术机器人）的机器人，均未列入最终清单。此外，我们仅考虑由相关项目直接资助的文章。最终，我们选出并汇总了 20 个相关研究项目，如第四节所述。

3.2 老年护理研究项目分析

在对这些项目进行初步筛选后，我们逐一分析了每个项目，并将其相互比较。我们采用归纳法，按照主题分析[19], 中所述的步骤，确定近期护理机器人项目涉及的主要类别和主题。整个过程按系统化方式进行。步骤1是为每个项目分配唯一 ID。我们选取了至少两篇主要参考文献，用以描述每个项目及其主要应用和研究发现，并熟悉了各个项目。在步骤2中，我们为每个项目生成编码。作者1和作者2分别为各个项目标注编码，然后合并双方生成的编码。其中一些编码由两位作者共同生成。两位作者总共生成了1202个（非唯一）编码。此后的所有步骤均由作者2完成。在步骤3中，我们将编码归入可能的类别，再由这些类别构成主题。共确定了47个编码类别（图2概览了各项目涵盖的类别）。其中包括机器人、老年人、功能、交互、护理、用户、产品、伦理与隐私以及安全。在步骤4中，我们将相似类别归纳为可能的主题。第一轮分析中，我们确定了项目着重探讨的10个核心主题，包括机器人的功能与护理、社交机器人和远程机器人（可远程控制，或允许用户与他人进行远程交流的机器人）、作为产品的机器人、不同用户、人机交互、非受控环境、伦理方面、机器人设计、研究以及其他方面。

在第5步（最后一步）中，我们对第一轮形成的初始主题进行仔细归类，并据此修订和重新定义了归纳出的主题。通过回顾老年护理机器人技术领域的20个不同项目，最终归纳出以下主题：a）护理机器人的功能；b）护理场景中的机器人产品；c）高度强调机器人作为商业产品；d）护理机器人的设计与伦理方面。图3展示了这些主题以及部分类别和子类别示例。最后，作者（作者1、作者2）对这些主题进行了讨论。下一节将概述老年护理机器人系统，随后介绍上述关键主题。

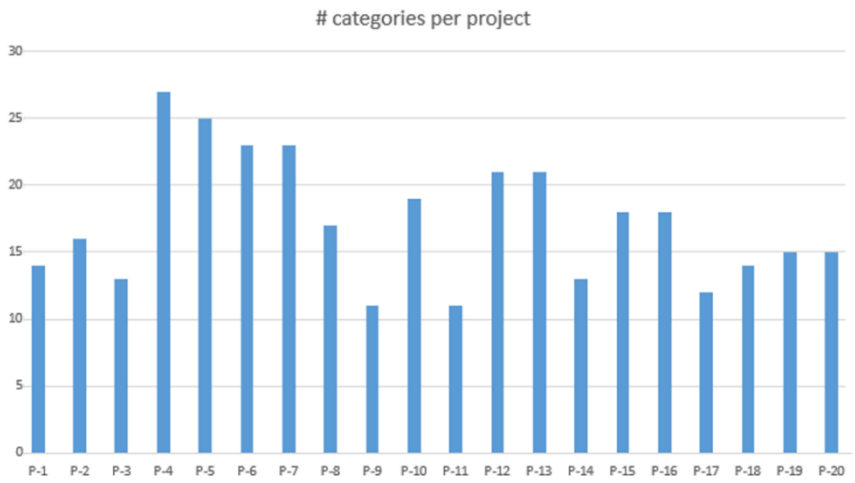


图2. 各项目识别出的类别。

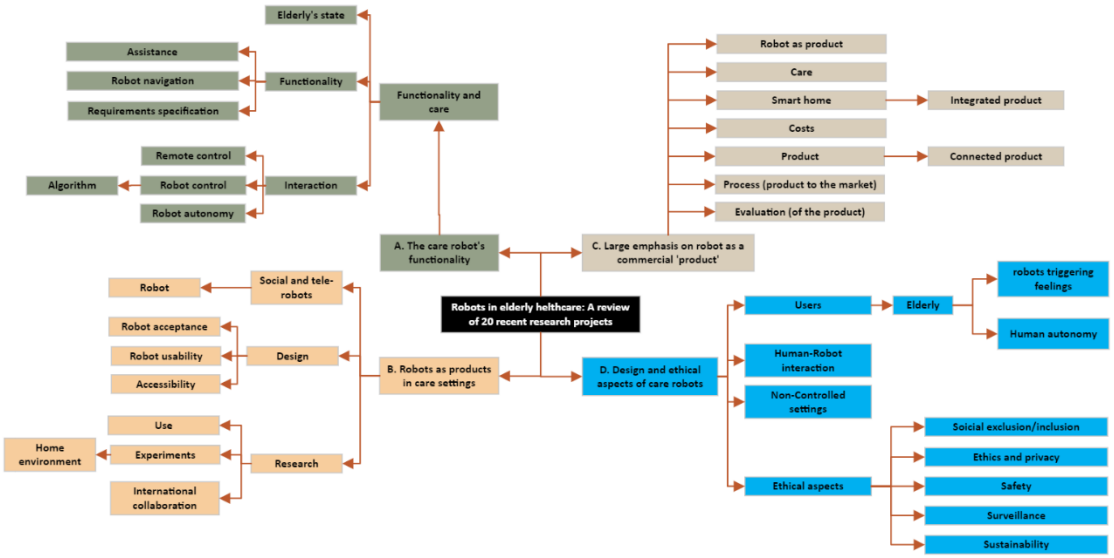


图3. 主题以及类别和子类别示例概览。

4 机器人老年护理系统（项目）

本节将逐一介绍并讨论各个研究项目，说明每个系统的功能，并将其与其他项目进行比较。表1和表2总结了这些项目及其相应的详细信息。

表1. 所研究项目及其对应的机器人、传感设备和功能列表。

#	项目	协调方	持续时间	预算（百万欧元）	机器人平台	物理描述 已实现的传感器		功能能力	接口方法
1	CompanionAble [20]	雷丁大学 英国	2008年–2012	10.7	Hector	移动式、类人、约1米高	激光扫描仪、摄像头，麦克风、扬声器	智能家居、时间管理，内容生成、提醒功能，后置托盘、家庭综合监控	音频、视频、触控屏幕，展现机器人的情绪，远程临场
2	DOMEO [21]	Robosoft（法国）	2009–2012	2.4	Kompai	移动式、类人、约1米高	激光扫描仪、3D摄像头、麦克风、扬声器	人脸识别、情绪检测，跌倒检测、健康监测，医疗数据记录、运动辅助	视听通信，远程临场，眼睛展现机器人的情绪
3	Mobiserv [22]	Stichting Smart Homes，荷兰	2009–2013	3.6	Kompai	移动式、类人，约1米高	激光扫描仪、3D摄像头，麦克风、扬声器	人脸识别、情绪检测，跌倒检测、健康监测，医疗数据记录、运动辅助	视听通信，远程临场，眼睛展现机器人的情绪
4	ExCITE [23]	厄勒布鲁大学	2010年–2013	2.8	Giraff	移动式、类人，约1米高	激光扫描仪、摄像头，麦克风、扬声器	时间管理、内容生成、提醒功能、物体识别与分类	视听沟通，远程临场
5	ACCOMPANY [24]	赫特福德大学 赫特福德大学	2011年–2014		Care-O-bot Mobile，3	类人，高约1.5米	3D摄像头、激光扫描仪，触觉传感器，麦克风、扬声器	智能家居、时间管理，内容生成、提醒功能，环境与活动监测，物体识别与分类，抓取	音频、视频、触控屏幕、远程临场
6	HOBBIT [25]	维也纳工业大学 维也纳，奥地利	2011年–2015	3.8	HOBBIT	移动式、类人，约1米高	3D摄像头、激光扫描仪，触觉传感器，麦克风、扬声器	人脸识别、情绪检测，跌倒检测、健康监测，医疗数据记录、运动辅助	音频、视频、触控屏幕、远程临场
7	Giraff Pluss [26]	厄勒布鲁大学	2012年–2015	4.1	Giraff	移动式、类人，约1米高	激光扫描仪、摄像头，麦克风、扬声器	时间管理、内容生成、提醒功能、物体识别和分类	视听沟通，远程临场
8	Robot_Era [27]	高等学校圣安娜（SSSA），意大利比萨	2012年–2015	8.5	CoRo，DoRo，以及ORo机器人	移动式、类人，高约 1.5 米	激光扫描仪、摄像头，麦克风、扬声器	人脸识别、情绪检测，跌倒检测、健康监测，医疗数据记录	音频、视频、触控屏幕、远程临场
9	SILVER [28]	英国技术战略委员会、英国	2012年–2016	4.2	LEA	移动式婴儿车，约1米高	激光扫描仪、摄像头，麦克风、扬声器	人脸识别、情绪检测，跌倒检测、健康监测，医疗数据记录、运动辅助	音频、视频、触控触摸屏、远程临场
10	VictoryaHome [29]	智能家居，荷兰挪威科技大学（科学与）技术	2013年–2016	2.4	Giraff	移动式、类人，约1米高	激光扫描仪、摄像头，麦克风、扬声器	时间管理、内容生成、提醒功能、物体识别与分类	视听沟通，远程临场

11	TERESA [30]	牛津大学	2013年–2018	3.9	Giraff	移动式、类人、约1米高	激光扫描仪、摄像头、麦克风、扬声器	时间管理、内容生成、提醒功能、物体识别与分类	视听沟通，远程临场
12	RAMCIP [31]	国家中心研究与技术 Anaptyxis，希腊	2015年–2017	4.0	RAMCIP	移动式、类人，约1米高	激光扫描仪、摄像头，麦克风，扬声器	人脸识别，情绪检测，健康监测	音频、视频、触控屏幕，远程临场
13	ENRICHME [32]	Althea Italia SPA，意大利	2015年–2018	4.0	Kompai	移动式、类人，约1米高	激光扫描仪、3D摄像头，麦克风、扬声器	人脸识别、情绪检测，跌倒检测、健康监测，医疗数据记录、运动辅助	视听通信，远程临场，眼睛展现机器人的情绪
14	GrowMeUp [33]	科英布拉大学 葡萄牙	2015年–2018	3.4	Hugo	移动式、类人，高约1.5米	激光扫描仪、摄像头，语音，温度传感器	时间管理，内容生成，提醒功能，后托盘，家庭综合监控	视听沟通
15	Mario [34]	爱尔兰国立戈尔韦大学，爱尔兰	2015年–2018	4.0	Kompai	移动式、类人，约1米高	激光扫描仪、3D摄像头，麦克风、扬声器	人脸识别、情绪检测，跌倒检测、健康监测，医疗数据记录、运动辅助	视听沟通，远程临场、眼睛展示机器人的情绪
16	RADIO [35]	国家科学研究中心，希腊	2015年–2018	3.8	Zacharias	移动式、类人约1米高	激光扫描仪、摄像头麦克风、扬声器	时间管理、内容生成、提醒功能、物体识别与分类	视听沟通，远程临场
17	SocialRobot [36]	科英布拉大学 葡萄牙	2011年–2015	1.0	SocialRobot	移动式、类人、约1米高	激光扫描仪、摄像头，麦克风、扬声器	人脸识别、情绪检测，健康监测、数据记录	视听通信，远程临场，眼睛
18	MECS [37]	奥斯陆大学，挪威	2016年–2021	1.2	索尼爱宝，NAO，TurtleBot2，Fetch，Neato，Pepper	NAO 和 TurtleBot：移动式、类人，约高0.75米；Aibo：陪伴机器人，0.2米；Neato，移动式、服务机器人，0.15米	已实现的传感器 NAO：扬声器；语音 TurtleBot2：激光雷达、摄像头，热成像摄像头、雷达-型传感器 Neato：红外传感器；扬声器	人脸识别、情绪检测，跌倒检测、健康监测，医疗数据记录	视听通信
19	VIROS [38]	奥斯陆大学，挪威	2019年–2023	2.5	TIAGo	类人，配备一只机器人手臂机械臂，1.1–高1.45米	RGB摄像头、红外摄像头、扬声器，麦克风、激光雷达，	手臂的感知与控制机械臂；TIAGo 自带的传感器；热成像和深度摄像头	非语言沟通
20	HIRo [39]	能源研究所技术，Sunnaas 医院，Halodi 机器人技术；挪威	2020年–2024	0.5	EVE	移动式、类人；身高约 1.83 米	摄像头，Microsoft Azure Kinect，配备深度和彩色摄像头，手臂中配备加速度计，躯干和腿部	人脸识别、情绪检测，健康监测、医疗数据记录、运动辅助、医院中的医疗协助	视听通信，远程临场、眼睛展示机器人的情绪

表2. 老年人医疗保健项目主要活动的分类体系。

#	活动	描述（方式）	项目																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	陪伴	旨在提供陪伴的任何硬件或软件创作 为某人提供陪伴	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●
2	时间与活动 管理	跟踪用户的日常活动及时间，并 向用户发送相应的提醒	●	●	●	●		●	●	●		●	●			●	●	●				
3	智能家居	为用户的家庭配备固定式、穿戴式和 机器人传感设备，并将它们整合到一个 系统中	●	●		●		●	●	●			●	●	●		●	●				
4	身体康复	帮助患病或受伤的老年用户恢复失去的 技能，重新获得最大程度的自理能力					●															●
5	心理治疗	通过以下方式与用户互动，改善其心理疾病 互动式沟通和活动	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●	●		●
6	沟通	让老年用户能够与以下人员进行虚拟沟通： 家庭成员、朋友、照护者和医务人员	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
7	家务劳动	进行体力家务，例如搬动或 重新摆放家居物品				●															●	
8	健康监测	利用各种设备监测老年用户的健康状况 例如摄像头等传感设备	●	●		●		●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●		●
9	身体活动 协助	协助老年用户进行身体活动， 例如步行					●								●				●		●	●

4.1 CompanionAble（用于能力与安全的集成认知辅助与智能家居伴侣机器人系统）

CompanionAble项目 [40] 将智能家居系统与“Hector”机器人相结合。项目团队称，该机器人完全自主。Hector旨在陪伴老年人，尤其是独居或每天有许多时间独处的老年人 [20]。该项目通过整合紧急呼叫与远程监测服务的跌倒检测机制，以及展现情商的个性化对话／互动（借助视觉、语音和触觉界面、“跟我来”等基于传感器的动作，以及对指令的自然语言识别），帮助他们保持独立、安全、健康和快乐，并减轻孤独感。Hector会友好地提醒用户，保管并递送钥匙、钱包等重要物品，提供认知刺激和游戏，还能与家人和朋友进行流畅的视频连接 [20, 41–43]。

4.2 DOMEO（老年人家用协助机器人 ***nce*)**

为提升老年人的福祉和自主性，DOMEO项目 [21] 开发了行动辅助机器人和陪伴机器人，以提供个性化家居服务 [44]。在这个由欧盟环境辅助生活联合计划资助的项目中，Kɷðɜai机器人平台已成功应用于真实家庭和真实用户，服务于认知衰退者 [45]。DOMEO项目旨在降低长期护理成本。它不会取代人工工作人员，而是提供监测与警报等远程呈现功能，并帮助护理人员和亲属更好地协助老年人 [46]。项目目标包括提供认知与记忆辅助、在发生紧急警报时发送视频流、促进体育锻炼，并观察用户行为。项目总预算为240万欧元 [21]。

4.3 Mobiserv（为老年人提供健康、营养和行动能力服务的集成智能家居环境）

欧盟资助的 Mobiserv 项目 [22] 旨在打造一款面向老年人的陪伴机器人，帮助他们合理安排一天的生活，通过推荐各种活动鼓励他们保持活跃，并提醒他们进食、饮水和服药。该项目由来自七个国家的八个伙伴组成，涵盖护理机构、大学、研究机构和产业界[47]。Mobiserv 项目的目标是设计、开发并评估相关技术，尽可能长时间地支持老年人在家庭环境中独立生活，或在不同程度的机构照护环境中生活，重点关注健康、营养、福祉和安全 [43, 48–51]。

4.4 ExCITE（通过具身化促进社会互动）

ExCITE 项目 [23] 的方法受到以用户为中心的方法启发，该方法用于通过机器人技术为老年护理解决方案开展原型设计、验证和完善。为了使评估结果具有意义，原型部署需在大范围内进行，并采用纵向视角 [52–54]。评估通过使用 Giraff 机器人 [55] 原型进行，该原型旨在满足未来需求。ExCITE 项目成员分布于意大利、西班牙和瑞典，终端用户参与与联盟及项目活动密切相关。研究人员在不同的终端用户测试点招募了健康的成年志愿者。每个终端用户测试点都收到一个原型，供参与者试用和使用，最长可达一年；反馈显示，老年人及其家庭的反响非常积极。项目还指出了进入各类组织所面临的挑战。ExCITE 的主要目标是评估有助于通过机器人远程呈现实现具身化的社会互动用户需求。这项评估在泛欧洲范围内以纵向视角开展 [23]。

4.5 ACCOMPANY（适用于老年人的可接受机器人伴侣）

ACCOMPANY 系统 [24] 将机器人伴侣纳入智能环境中，以激励性且符合社会规范的方式为老年用户提供服务，从而促进他们在家中独立生活 [56, 57]。ACCOMPANY 系统在日常家务中提供身体、认知和社会方面的协助，并帮助用户实现再赋能，使他们能够独立完成某些任务。该项目致力于设计用于机器人伴侣社会认知与交互的计算模型。其目标是通过具有社会交互性、易于接受且

富有同理心的交互来提供服务。该项目计划联合一个多学科联盟，以应对老年护理机器人技术在技术、以人为本和伦理方面的挑战。

4.6 HOBBIT（互助护理机器人）

HOBBIT项目 [25] 设想开发一种机器人产品，让老年人借助智能环境（环境辅助生活；AAL）等新技术感到安全，并能在自己的家庭中生活更长时间。机器人的主要目标是在维持或增强用户的自我效能感（即完成任务的自身能力）的同时，让用户“感到安全并得到支持” [58]。因此，其功能侧重于紧急情况检测（移动视觉和AAL）、应对紧急情况（安抚性对话、与亲属沟通等）以及跌倒预防措施（保持地面整洁、运送小件物品、寻找并拿取物品，以及提供提醒）。要使机器人取得可持续的成功，必须具备高可用性、高用户接受度和合理的价格 [59, 60]。为实现高用户接受度，HOBBIT项目的核心要素是互助护理理念。互助护理是一种交互设计框架，旨在帮助辅助机器人与用户建立关系 [61, 62]。

4.7 GiraffPlus

GiraffPlus [26] 是一个复杂的系统，可通过部署在家庭内部、周围以及人体上的传感器网络来监测家庭中的活动 [63]。例如，传感器可以测量血压或检测是否有人跌倒。根据个人需求，可以预先选择不同的服务，并针对老年人和医疗专业人员双方的要求进行定制 [64]。该系统的核心是一款独特的临场机器人 Giraff，项目也因此得名。该机器人采用类似 Skype 的界面，让亲属或照护者能够通过虚拟方式探访居家老年人 [65]。

4.8 Robot-Era（面向老龄人口，在真实场景中实施并集成先进机器人系统与智能环境）

Robot-Era 项目 [27] 旨在开发、实施并验证一项完整的先进机器人服务融入智能环境后的总体可行性、科学/技术有效性，以及其在社会/法律层面的合理性和最终用户的接受度。该服务将在真实条件下主动运行，并与真实的人协作，以促进独立生活，并有望提升老年人的生活质量和护理效率 [66]。Robot-Era 项目以设计、实施并验证一系列实现“健康老龄化”的机器人服务为目标。它致力于应对机器人技术和环境智能领域的基础科学与技术挑战，设计认知启发式机器人学习架构，同时考虑老年用户的需求、可接受性设计，以及实际部署所需的法律/保险法规和标准 [67–69]。

4.9 SILVER（通过机器人技术支持老年人独立生活）

SILVER项目 [28] 旨在寻找新技术，帮助老年人应对日常生活。借助机器人技术或其他相关技术，即使老年人有身体或认知障碍，也能继续在家独立生活。该项目的首要目标是建立并实施一套经协商一致的创新采购（PCP）流程，以开展跨境创新采购招标。此通用流程也应成为在SILVER项目 [70]之外制定国家级创新采购招标的基础。项目希望，未来参与国及欧盟的公共组织能够熟悉创新采购流程和工具，并利用它们满足自身需求。第二个目标是运用项目开发的创新采购流程，确定可支持老年人独立生活的新技术和服务 [71]。项目首先制定了一套通用的创新采购流程和相关文件，之后将以此为基础，就独立生活开展一项专项招标。实际的创新采购流程分为三个阶段。第一阶段是对选定技术和提案进行可行性研究。第二阶段将把最有前景的构想开发成定义明确的原型，第三阶段则旨在真实生活环境中验证并比较首批实际最终产品或服务 [72]。

4.10 VictoryaHome

VictoryaHome [29] 声称能够监测健康与安全、促进社交联系并带来安心感。其服务并不依赖自动化功能，而是赋能家人和朋友，并在需要时提供即时的人类陪伴。它包含智能

设备，例如活动监测器、跌倒检测器、自动药丸分配器、供家人和朋友使用的智能手机应用程序、供响应中心使用的在线仪表板，以及一款陪伴老年人 [73] 的移动临场设备。该项目的愿景是：“健康生活——VictoryaHome——创造可能。”VictoryaHome 不仅致力于应对特定的健康或福祉问题，还倡导自我照护、自主掌控，并创造属于自己的解决方案。该项目提供技术，帮助老年人与家人和朋友保持联系，自主选择所需的支持系统，并按照自己希望的方式生活。项目的使命是支持人们彼此照护，并为所有用户带来安心感。VictoryaHome 系统及其服务采用以用户为中心的设计方法开发，并在长期试验中，邀请大量最终用户在自己的家庭和社交环境中进行测试和评估。四个欧洲国家的家人、朋友和专业护理人员都参与了设计；此外，项目还制定了商业战略，旨在融入现有的护理模式 [74, 75]。

4.11 TERESA

TERESA 项目 [30] 旨在开发一款具有前所未有的社会智能的临场机器人，从而为在家庭、学校和医院等需要大量人际互动的场所部署机器人铺平道路 [76,77]。在临场系统中，人类操控者通过引导远程位置的机器人与人们进行远程互动，使操控者比使用标准远程会议时更能亲临现场 [78]。项目团队开发了一套新型临场系统，使操控者无需再处理有关社交场景中导航和身体姿势的底层决策。相反，TERESA 拥有社会智能，可以自动执行这些功能。TERESA 能够半自主地在人群中穿行，在对话过程中保持面对面接触，并展现恰当的身体姿势行为 [79]。

4.12 RAMCIP（轻度认知障碍（MCI）居家患者机器人助理）

RAMCIP 项目 [31] 旨在研究并开发切实可行的辅助机器人技术解决方案，服务于老年人以及患有轻度认知障碍和痴呆症的人群。这是开发多种辅助技术的关键一步。RAMCIP 将采用机器人技术界已有的技术，并将其与以用户为中心的设计活动和实际验证相结合，力求推动辅助生活领域的机器人技术实现跨越式发展 [80, 81]。参与 RAMCIP 项目的伙伴包括经验丰富的医疗技术专家，以及开发尖端机器人技术的中小型企业（SMEs）。他们怀着共同目标走到一起，致力于开启辅助技术的新一代，并借助各自丰富的经验和欧洲支持带来的助力。该项目的工作具体、重点明确、成果可交付，并有望以可衡量的方式推动最先进技术的发展。伙伴们已为项目成果确定了市场路径，并制定了经济模型；这些方案让人对开发出能够切实解决欧洲一项重大社会挑战、产生实际影响的系统充满信心 [82]。

4.13 ENRICHME（面向老年人独立照护与健康监测的机器人及辅助生活环境）

项目“ENRICHME”的名称缩写 [32] 源自“面向老年人独立照护与健康监测的机器人及辅助生活环境”。该项目旨在借助能够实现健康监测、补充照护和社会支持的技术，丰富老年人在家庭中的日常生活体验，帮助他们更长久地保持活跃与独立，并提升其生活质量 [83–85]。ENRICHME 并非旨在取代人际接触或社交活动，而是借助机器人的能力及其所支持的更广泛互联，为社会互动和包容提供助力。

4.14 GrowMeUp

在 GrowMeUp 项目中，[33], 主要目标是延长患有轻度身心健康问题（年龄从65+岁起）、独自居住在家中的老年人独立且积极生活的年限，并提升他们的生活质量。他们可以通过获得支持或激励来完成日常活动，从中感受到愉悦与慰藉 [86, 87]。GrowMeUp旨在提供一种价格可负担的机器人系统，能够随着时间推移学习老年人的需求和习惯，并增强（或“成长”）自身功能。通过这种方式，机器人系统可以弥补用户能力的逐渐衰退，为他们提供支持、鼓励和陪伴，帮助他们在家中进行日常生活活动时保持活跃、独立并积极参与社交生活。最先进的云计算技术和机器学习

机制将得到应用，使 GrowMeUp 服务机器人能够随着时间推移不断扩展和积累知识，并有望通过云端与其他多台机器人共享和分发这些知识。这样，使用云端的机器人便能相互借鉴彼此的经验，从而在减少学习成本的同时提升自身功能和能力[88, 89]。

4.15 Mario（利用护理服务机器人实现积极健康老龄化）

Mario项目 [34] 通过服务机器人提供的创新性、多层面的发明成果，应对老年人的孤独感、孤立和痴呆症问题。人工干预成本高昂，但通过机器人介导的自我认知改变和脑刺激，可以避免和/或减轻这些问题 [90]。考虑到机器人系统所发挥的作用，在语义数据分析、个性化互动以及独特应用方面，有望取得显著进展，从而更好地帮助老年人与护理服务提供者、社区、社交圈及个人兴趣建立联系 [91]。每项目标的制定都聚焦于孤独感、孤立和痴呆症 [92]。

4.16 RADIO（辅助生活环境中的机器人）

RADIO项目 [35] 采用了一种关于接受度和非侵扰性的新方法：构建一个传感设备并非隐蔽存在，而是成为用户日常生活中显而易见且被接受的一部分的系统。通过将集成式智能家居/助理机器人系统用作健康监测的传感设备，用户的注意力会从传感器本身转向传感器的功能 [93]。这样一来，传感器无需隐蔽且远离用户，也无需伪装或以笨重的方式安装；不过，它们需要被视为智能家居/助理机器人功能的自然组成部分 [94]。该项目以RADIO Home为核心，这是一个集成式智能家居和助理机器人临床监测环境，其中硬件主要用于提升用户舒适度和实现家庭自动化 [95–97]。

4.17 SocialRobot

SocialRobot 项目的主要目标[36] 是通过知识转移，并在参与项目的学术界与产业界之间建立战略协同，为应对人口结构变化的挑战提供解决方案，进而打造一个集成式社会机器人学系统（SocialRobot），助力“健康老龄化”。该项目致力于融合机器人技术与计算机科学领域，整合最先进的机器人技术以及虚拟社会护理社区的技术与服务，为解决与促进老年人独立生活和提高其生活质量相关的关键问题提供方案。SocialRobot 的开发将以“以人为中心的方法”为基础，满足老年人的个体需求。该项目将为在各自领域信誉卓著、位于欧洲周边地区的中小企业提供机会，使其追求卓越，并凭借创新产品在欧洲及国际老年护理市场上参与竞争[98]。项目拟应对的主要挑战包括：对最先进的机器人移动平台进行适应性改造，并将其整合到虚拟协作社交网络中，以实现以下目标：检测与老龄化相关的个体需求和要求（例如身体活动能力受限和认知衰退）；通过及时调动由不同群体组成的护理团队提供支持，这些群体包括家庭成员、邻居和朋友，他们不受时间和地理位置限制，开展动态的虚拟协作；通过行为分析，适应老年人随年龄增长而变化的社会关系；以及在室内和非结构化环境中导航，从而实现富有情感且共情式的人机互动，并考虑老年用户的能力与接受度[99, 100]。

4.18 MECS（多模态老年护理系统）

MECS 项目的主要目标是研究安全报警机器人的技术开发，以便机器人能够检测异常情况，从而让老年人实现独立生活[37]。项目启动时，并没有可用于研究在老年人家庭中使用安全报警机器人的特定机器人平台。因此，项目首先探讨机器人对老年人意味着什么，以及他们如何理解机器人 [101]。在第一阶段，研究人员发现，老年人不愿使用体型较大的机器人，也不愿使用会监视他们的机器人。在项目的下一阶段，研究人员让老年人体验了索尼爱宝、NAO 和 TurtleBot2 [102]。索尼爱宝和 NAO 展现出一些陪伴功能。老年用户对这些机器人持积极态度；然而，除了将它们作为伴侣之外，他们看不出这些机器人有什么实际用途。研究人员让老年参与者使用 TurtleBot2 进行了一项实验 [103], , 结果发现，用户更喜欢使用现成的产品，而不是尚未完成的研究平台。

他们还更喜欢服务型和辅助机器人，而不是监测其健康状况和进展的“护理”或“安全”报警机器人。许多老年参与者愿意在一项较长期的用户研究中使用现成的扫地机器人。在试点研究中对三种不同的扫地机器人进行测试后，MECS 为每位参与者提供了其中一种。研究人员将 Neato 和 Roomba 分发给老年人，供其使用一个月。研究人员还请非老年参与者使用这些机器人并记录使用体验。记录内容包括日记、日志和照片，之后研究人员在访谈参与者时使用了这些资料。

该项目的另一项探索涉及Fetch机器人 [104], ，研究人员在赫特福德大学的生活实验室中测试了“慢入慢出”动画原则 [105, 106]。此外，研究人员还在埃因霍温的VITALIS护理机构记录并分析了用户与Pepper机器人互动的反馈，并将其与年轻用户对该机器人的看法进行了比较 [107]。

4.19 VIROS（机器人社会中的脆弱性）

VIROS项目探讨了在医疗保健场景中部署机器人和人工智能（AI）系统所引发的法律和监管问题 [38]。VIROS旨在从技术和法律角度对机器人技术进行监管，处理这些系统所带来的安全、隐私和安保问题，以及它们在私人和公共空间中的部署问题。机器人工程、法律和社会科学领域的研究人员与设计师合作，研究如何将机器人融入家庭或医院等控制程度较低的环境中。该项目关注具体的法律问题、人工智能监管和风险评估、《通用数据保护条例》（GDPR）相关的监管问题、知情同意和数据最小化、通用设计和包容等设计要素，以及机器人工程方面的问题，例如用于提升机器人导航性能和在人机协作任务中实现控制的算法。该项目旨在自然环境中测试EVE、Lio和TIAGo等人形机器人，例如在有护士和患者的医院以及老年人的家庭中进行测试。

4.20 HIRO（医疗保健人机交互机器人）

HIRo [39] 提出了一种新理念，旨在通过引入人形机器人（EVE）来改善医院和市政机构的健康服务。该项目旨在开发一种机器人，使其能够在日常任务中为工作人员和患者提供协助，例如运送或递交医疗任务所需的设备、帮助患者在设施内寻找方向，或协助他们拾取物品或四处走动。这个跨学科团队专为该项目组建，成员包括医院和市政机构的医疗工作人员、具有开创精神的机器人开发人员，以及在患者康复、人机交互和安全方面拥有知识的研究人员。在该项目中，团队与医院和市政机构的医疗专业人员及患者密切合作，以确定他们对与人形机器人交互的需求、愿望和期望。

5 研究发现

本文分析了20个聚焦于机器人系统在老年护理中应用的研究项目。本节概述了这些项目中确定的共同主题：A）护理机器人的功能；B）作为面向非受控环境中不同护理接受者的产品的社交机器人或远程机器人；以及C）护理机器人的设计与伦理方面。下面将分别介绍这些主题。

5.1 护理机器人的功能

大多数研究项目（n = 17，ID = 1，2、3、4、6、7、8、10、11、12、13、14、15、16、18、19 和 20，见表1）都聚焦于机器人的功能和角色，以及其技术设备。在这些项目中，机器人功能常被视为有助于对老年人进行身体和认知刺激的重要且相关的因素，以保持老年人活跃、提高其生活质量并满足其需求。同样，这些机器人也被视为能够弥补老年人能力下降的工具。具体而言，项目的主要关注点是机器人应该做什么以及应该如何行动，例如，它是否应该递送物品、充当与家庭成员对话的沟通渠道、检测或预防跌倒，或拨打紧急呼叫。机器人的其他功能和角色涉及它是否应能够提供个性化对话或具备情商。

这些项目着重研究机器人应具备的多模态交互方式，例如提供提醒、警报或报警；监测用户的状态和／或充当社交陪伴者；鼓励用户锻炼；识别用户的面部表情和情绪；或作为更庞大、更复杂系统（如智能家居）的一部分。其他功能还包括

机器人提供认知辅助、记录人类行为模式（包括睡眠模式）、检测障碍物，以及提供娱乐，例如向用户介绍最新的电影、书籍和音乐，或提供社交媒体访问。此外，研究还着重探讨机器人系统如何安全地执行先进的室内和室外任务。在某些情况下，机器人被设计成模仿用户，例如点头；而另一些项目则着重研究机械臂的灵巧性及其抓取物体并安全地将其从一处移动到另一处的能力。

关于技术设备，各项目经常探讨机器人应配备哪些传感器或额外设备。讨论重点是额外设备，例如不同类型的摄像头、扬声器和麦克风，以及机器人是否应配备嵌入式屏幕或触摸屏、医疗或非医疗传感器（如血氧仪或生理传感器）、占用传感器或其他通用传感器，或不同的插件，例如增强现实插件传感器或计算机视觉传感器。

分析的研究项目还涉及另一项重要考量：如何在非受控环境（如私人住宅）中实现室内导航。机器人经常会遇到静态和动态障碍物，导致难以在环境中导航。一些项目（ID = 4、7、17 和 18）讨论的另一项技术挑战，是无论机器人是否由远程操控，都如何安全地在物理环境中沿路径穿过门口和狭窄通道。自主导航以及机器人能否自行停靠，往往也是棘手的问题。

部分研究项目（ID = 7、10、11、18 和 4）关注如何通过有效且高效的控制架构，实现对机器人的远程控制，使其易于操控。在这些情况下，控制器由人担任，机器人则应在几秒内作出响应。

超过半数的项目（ID = 4、5、6、7、8、9、10、12、15、16、17 和 20）提及并收集了有关用户需求的信息。列出的需求包括：机器人的可调高度、服务预选、机器人在社会和法律层面的可接受性、对人类用户的法律保险、制定法规和标准的必要性、机器人在家庭环境中的协作与运行需求、机器人在日常生活中的家庭和城市环境里的应用，以及机器人理解用户家中多人的行为的必要性。其他需求涉及机器人与其余技术系统的兼容性，包括如何将其整合到更大的系统中。许多项目声称致力于满足用户的个体需求，其中一些项目则聚焦于实际了解这些需求并将其映射出来的过程。

在技术解决方案方面，采用了机器学习技术和语义分析方法（ID = 15、16、18 和 19）。图 4 总结了所研究项目的不同功能方面。

5.2 护理场景中的机器人产品/作为独立护理要素的机器人

许多项目（n = 16，ID = 1、2、4、5、6、7、8、10、11、12、13、14、15、16、17 和 20）聚焦于护理理念，例如老年护理、独立生活、健康老龄化或健康老龄化。老龄化是这些项目的一项重要人口统计要素。护理方面的重点包括信息通信技术支持的老年护理、治疗管理、多模态用户观察、远程医疗与虚拟护理、整合护理场景、居家护理、网络化护理、个性化居家护理服务，以及为老年人提供认知与身体辅助。大多数项目旨在通过提高生活质量和护理效率，延缓老年人入住护理院和接受重症护理的时间。将机器人系统整合到老年护理中，被视为一种新的医疗保健范式，旨在避免长期机构护理，转而提供家庭和远程社会护理服务。

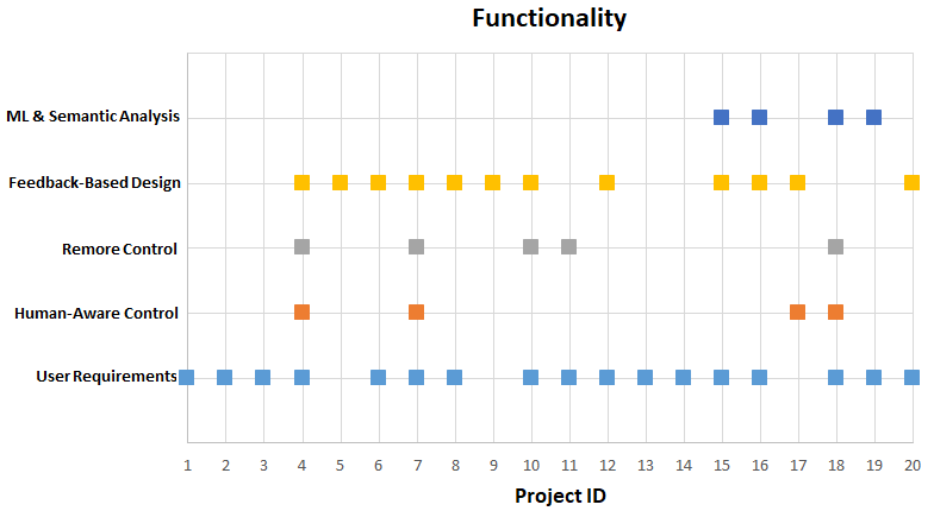


图 4. 项目功能方面的概述。

这些项目的用户包括老年人、正式照护者和非正式照护者、轻度认知和身体残障人士、轻度认知障碍患者、医疗专业人员、患者以及不同的利益相关者。然而，只有三个项目（ID = 5、6 和 10）从用户赋权的角度探讨了人类自主性，以及机器人如何通过以用户为中心的方法，在身体、认知和社会层面赋能人类用户。

在一些项目中，机器人旨在真实场景中部署，包括动态且杂乱的家庭环境。在这些情况下，机器人必须能够在低照度条件下运行，适应肤色各异的用户，以及铺设不同类型地毯和地板的环境。在另一些项目中，未来的机器人将部署在学校、医院、老年人住房设施、实验室或其他辅助生活环境中。八个项目将机器人视为智能家居环境的组成部分，或自动化智能系统的一部分。然而，这类机器人系统的测试主要在逼真的实验设置、现场实验或测试住宅中进行，机器人在其中接受了较短或较长时间的测试，而非采用整体性方法，将机器人纳入一体化的健康或居家护理服务中。图 5 展示了这些项目中机器人性质的不同方面。

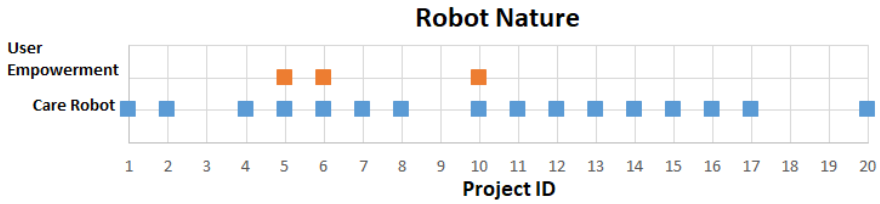


图 5. 项目功能方面的总结。

5.3 高度强调机器人作为商业“产品”

几乎所有项目（n = 17，ID = 1、2、4、5、6、7、8、9、10、12、13、14、15、16、17、19 和 20）都将机器人系统视为未来将应用于老年护理的产品，并着眼于创新或商业化。这些机器人系统被描述为新颖的技术解决方案，经过多轮原型设计，旨在进入老年护理市场，或以接近商业化的方式进行设计。其他项目关注的则是“进入市场的途径”，而非机器人产品本身，旨在开发创新采购流程、工具、商业战略和商业知识

面向不同层级的各类潜在采购方。其中一些项目还开展了可行性研究，并在受控环境中进行测试，以评估机器人的可行性。一项项目甚至包含 33 项招标（ID = 9），另一项则以在护理机构中达到 10% 的市场渗透率为目标（ID = 10）。与此同时，其他项目则聚焦于中小企业，以及开发作为集成平台的尖端机器人系统、这些系统的市场路径，以及健康老龄化技术的经济利用。一些项目旨在发挥协作的潜力，开发可用于欧盟服务机器人科研与商业市场的产品，同时寻求竞争优势，以拓展商业布局，最终推动相关技术在老年护理市场的大规模部署。最终用户被视为消费者。

一半的项目（n = 10，ID = 1、4、5、6、10、12、13、14、15 和 16）背后都有经济驱动因素。这些项目受到面向老年人的机器人产品价格高昂所带来的经济压力驱动，旨在为经济资源有限的老年人打造价格实惠的产品。其中一些项目特别关注降低老年护理成本，并指出人工干预成本高昂。这些项目还致力于建立旨在降低老年护理成本的经济模型，并探索将机器人产品整合到护理中的成本效益型解决方案。

四个项目（ID = 5、9、12 和 13）关注的是过程，而非机器人产品本身。它们的关注点要么是评估机器人产品，要么是研究机器人在进入市场前应经历的不同开发周期。只有一个项目（ID = 4）通过在多个测试地点开展短期和长期纵向研究，评估机器人的稳健性和有效性；也只有一个项目旨在通过现实场景而非实验来验证其结果（ID = 12）。此外，只有一个项目关注将机器人整合为老年护理的一部分所产生的影响（ID = 13），而非将机器人视为技术产品；也只有一个项目关注机器人的可持续性方面，例如电池寿命（ID = 4）。同一个项目（ID = 4）和另一个项目（ID = 6）关注机器人的可用性、用户接受度以及可能出现的实用性问题。该项目（ID = 4）进行了可用性测试，并得出结论：参与者需要时间才能熟悉这台设备。

所有项目（N = 20）都聚焦于某种类型的机器人，从陪伴机器人（如 Hector），到机器人助手或移动陪伴机器人（例如，ID = 1）。其他项目则聚焦于现成机器人和开放式机器人平台，例如 Kompai（如 ID= 2 和 15）。陪伴机器人在这些项目中相当受欢迎，包括 Giraff（例如 ID = 4、7 和 11），这是一种家用移动机器人远程呈现系统。在这些项目中，重点是通过开发多个原型来完善技术系统本身。其他项目则聚焦于作为社交智能系统的服务机器人、社交辅助机器人，以及像 EVE（ID = 20）这样的未来派人形机器人，或具有高度认知能力的非人形机器人。只有一个项目关注互联机器人，以及多个机器人如何通过云端共享和分发知识（ID = 14）。

约半数项目（n = 11，ID = 1、3、4、7、10、11、13、14、15、16 和 17）考虑了社会排斥或孤立的风险，以及机器人如何减轻这一风险。社会互动、社会认知、社会联结和远程互动是许多项目的核心。这些项目聚焦于社交机器人或远程机器人，旨在为老年人提供社交方式：帮助他们与家人及其他照护者保持联系，或通过与陪伴机器人直接互动来实现。人类与机器人旨在共处于同一空间，机器人则提供共情沟通渠道，具备情感理解能力，并能够以智能的方式进行沟通，从而减轻孤独感和社会孤立感。这些项目关注的问题之一是，社交机器人或陪伴机器人可能取代人类，导致老年人与其他人的社交联系进一步减少。图 6 总结了围绕将护理机器人视为一种产品而讨论的各种问题。

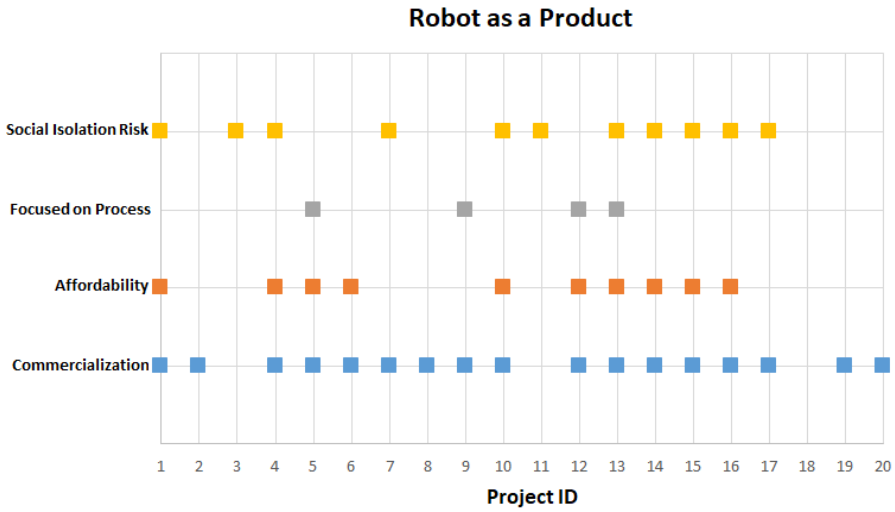


图 6. 关于机器人作为商业产品的研究发现总结。

5.4 护理机器人的设计与伦理方面

不到半数的项目（n = 9，ID = 2、3、4、5、7、14、15、18 和 19）广泛关注伦理方面的问题，例如与数据收集、数据敏感性及相关隐私问题有关的议题，或伦理准则、挑战和框架。在其中一些项目中，伦理讨论主要关注数据及其存储方式。只有一个项目（ID = 19）专门关注数字脆弱性、安全、隐私和安保方面的法律问题，同时也关注技术方面的问题。

大多数项目关注老年人的状况，以及机器人如何帮助他们保持身心健康、快乐、活跃并独立生活。老年人被视为具有不同疾病状况的用户，他们常被认为情绪低落、疲惫、患有痴呆症、有跌倒风险并正经历认知衰退。他们也被认为存在行动障碍、健康状况恶化和慢性残疾。在这些情境中，机器人旨在缓解这些挑战并提供解决方案，包括通过再赋能、促进在家独立生活、提升健康福祉和改善生活质量。机器人与用户应当相互协助、彼此照料，用户则将机器人视为伙伴。在安全方面，少数项目（n = 8，ID = 2、4、6、7、12、18、19 和 20）讨论了安全问题，重点关注机器人在家庭环境中导航和移动，或在递交任务中进行灵巧臂操作时，用户的人身安全。没有项目在讨论人身安全的同时关注安全的心理社会方面。

部分项目（n = 8，ID = 2、3、7、10、12、15、16 和 18）的一个重点领域（也许存在争议）是“监控”，即对人类健康和行为进行长期、系统的监测；机器人不仅了解人类用户的状况，还能理解家庭环境。只有三个项目（n = 3，ID = 5、6 和 10）明确关注赋予人类自主性，并采取以人为中心或以用户为中心的方法，使人类能够自行选择是否使用机器人系统，以及如何管理自身的健康与福祉。相比之下，关注点在于机器人的自主性，以及使机器人更加自主的技术解决方案。只有一个项目（ID = 6）关注机器人的可及性。

很少有项目明确考虑用户的感受，例如可能产生的挫折感或对机器人的依恋（这可能类似于对宠物的依恋），以及对机器人产生真实感情的风险。只有一个项目（ID = 4）关注用户在机器人身边感到安全的用户体验。图 7 根据所研究的项目，展示了处理护理机器人设计中的伦理方面时需要考虑的四个主要因素。

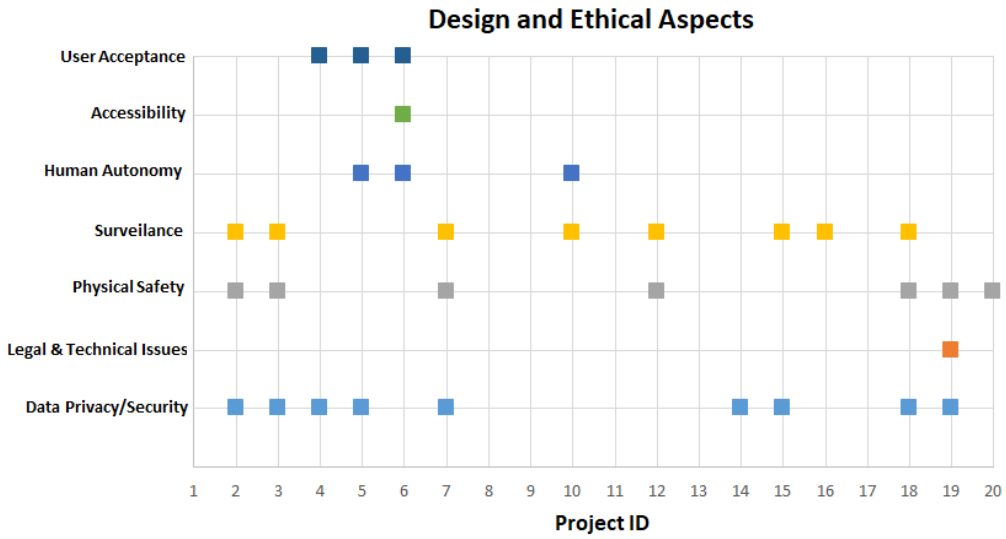


图 7. 项目设计和伦理方面总结

服务机器人早已应用于工厂和实验室，它们“擅长处理枯燥、危险和肮脏的工作”，例如清洁、做家务、水果采摘、协助外科医生，以及执行因接触化学物质而对人类有危险的活动 [108]。然而，照护并不像工厂或实验室的工作。它是一个复杂且意义重大的过程，需要高度的知识和技能，也要求具备高度的伦理敏感性，并承诺在任何情境下维护受照护者的尊严。在这种情境下，不尊重和疏离感的风险确实存在。如果老年人变得依赖他人，且部分丧失决策能力，他们尤其容易失去尊严。他们依赖照护者回应其个体需求、察觉有关其能力的细微线索，并以投入情感且有意义的方式与其沟通。这意味着要陪伴接受护理的人，让他们感到舒适，并帮助他们感受到自身的价值，无论他们是否存在能力受限的情况。根据我们的分析，我们汇总了各项目涉及的主要伦理问题。[109] 提供了一项关于护理机器人的伦理问题的深入研究。表 4 总结了我们对这些伦理问题的研究发现。

表 4. 主要伦理问题列表

#	问题	描述
1	可能减少 人际接触的数量	人际社会交往的机会可能会减少，老年人也可能会受到更多忽视 他们可能会比以前更少得到社会和家庭的照顾。如果其他人 错误地选择相信老年人的身体和情感需求正由 机器得到照料。
2	增加的 感受 of 物化和失去 控制	若不顾及老年人的感受，使用为方便护理人员而开发的机器人，可能会加剧老年人的 物化感和失去控制的感觉。例如，若使用机器人抬起 或移动他人，却不征求他们的意见，就可能出现这种情况。
3	隐私丧失	在老年护理中使用机器人，可能会导致隐私丧失和人身自由受限。 是否应允许机器人限制人类的行为，是一个主观问题， 其影响不止于老年护理。
4	人身自由丧失	
5	疏离感加剧	人际社会交往减少的风险，可能导致老年人产生疏离感。
6	欺骗与幼儿化	鼓励老年人与 机器人互动，仿佛它们是伴侣（如前所述，老年人可能自愿配合这种 欺骗，这使问题变得复杂）。
7	老年人可以 被允许的情形 控制机器人	如果机器人由老年人控制，一旦出现问题，就会涉及责任归属问题 。这还引出了其他重要问题，例如老年人的意愿应在多大程度上得到遵从 ，以及给予老年人的控制权多少与 他们的心理状态之间的关 系。

6 讨论

本文分析了机器人技术在老年护理中的应用所涉及的20个研究项目。本节将讨论：A）各项目的当前进展与共性；B）在老年护理中使用机器人和机器人系统所带来的主要挑战与机遇；以及C）针对当前项目不足之处的未来方向，以及类似项目下一步应关注的问题。以下将分别讨论这些内容。

6.1 老年护理中机器人的当前进展与共性

我们的分析结果可概括为：（i）大多数项目关注护理机器人的功能和技术设备（n = 17）；（ii）机器人（社交机器人或远程机器人）被视为护理环境中面向不同护理接受者的产品；（iii）项目高度重视将机器人作为商业产品；以及（iv）不足一半的项目（n = 9）关注机器人的伦理方面。下文将分别讨论这些核心发现。

首先，大多数项目都将重点放在技术层面，例如机器人的功能，以及打造可行产品所需满足的技术要求。换言之，关注点在于机器人系统应具备哪些功能才能实现商业化。因此，面向老年护理的机器人系统主要被视为具有经济收益潜力的产品，而非护理的组成部分。同样，多数项目关注的是流程，例如“进入市场的路径”，以及个性化机器人的提供，进一步凸显了这种以产品为导向的关注重点和商业化取向。这些项目再次缺少将护理本身作为核心关注点的要素。护理理念是从关系视角来理解的，其中至少涉及一名护理人员和一名护理接受者；但护理同时也是一种道德与政治概念 [110]，具有实践层面。我们在概念层面如何谈论护理机器人，以及如何将其纳入护理流程，都会对社会与伦理层面产生影响。例如，[111] 将护理机器人定义为“旨在协助或替代人类护理者，为老年人、儿童、病患或残障人士等弱势人群提供照护的机器人”（第251页）。从现象学的角度理解这一概念，机器人不能被视为护理人员或护理服务提供者。机器人充其量只能作为护理的组成部分，为护理流程提供支持。同样，[112] 强调了当前政策的问题：政策主要关注机器人技术的经济影响，例如着重于人身安全，却忽视了社会与文化影响，也没有考虑人与机器人长期互动究竟意味着什么。此外，[113, 114] 探讨了负责任的机器人学问题，将关注重点从潜在的经济收益转向哪些任务应交由机器人承担、哪些任务应继续由人类执行。这是我们理解护理机器人的一次重要范式转变，因为它改变了我们对护理机器人应如何设计并融入老年护理的根本认识。

其次，研究关注的是面向不同护理接受者、在非受控环境中使用的社交机器人或远程机器人产品。在大多数项目中，机器人被视为伴侣，可用于家庭或其他非受控环境；也可通过旨在促进心理健康、让老年人保持活跃、借助个性化对话缓解孤独感，或兼具这些功能的设计，支持独立生活。然而，社交机器人这一概念的实际含义却被想当然地接受了。对此，值得注意的是，[115] 指出，由于对社会层面的知识有限（包括对社会性实际所指内容的了解），社交机器人研究项目往往由工程师开展。作者认为，按照这一概念所包含的文化和情感维度，机器人不可能真正具有社会性。机器人充其量只是被拟社会化；也就是说，它们可能看起来具有社会性，却无法像人类那样进行社会和文化互动 [116, 117]。鉴于人类与机器人在社会能力方面并不匹配，研究人员经常探讨人类与机器人之间的非对称社会互动[118, 119]。

最后，虽然部分项目涉及护理机器人的设计与伦理方面，但涉及程度相当有限。相关项目的议程基本没有涉及法律方面，这令人遗憾，因为法律监管框架为机器人技术发展设定了重要参数。该框架也在不断变化，可能对该领域未来的工作产生重大影响。例如，欧盟委员会目前提出的《人工智能法案》（AIA）[120] 和《机械产品法规》（RMP）[121]，便体现了这一点。如果这两项法规获得通过，将对基于人工智能相关应用、用于老年护理的机器人系统的研究项目提出新的要求。因此，未来的项目应当考虑法律因素，以及由此带来的实际挑战对机器人技术的影响。

对于机器人技术的可持续性方面，也可以说大致如此；一些项目对此仅作了非常有限的探讨（例如，仅提及改善电池能耗）。在全球层面，联合国强调可持续性的重要性，尤其是其可持续发展目标 [122]。其中有几个

可持续发展目标与护理流程中机器人的设计、开发和集成息息相关，例如关于良好健康与福祉的可持续发展目标3、关于产业、创新和基础设施的可持续发展目标9、关于减少不平等的可持续发展目标10、关于负责任消费和生产的可持续发展目标12，以及关于促进目标实现的伙伴关系的可持续发展目标17。

6.2 老年人医疗保健机器人的挑战与机遇

需要特别指出的一点是，在关注将机器人引入老年护理所带来的益处时，不应忽视其可能引发的伦理问题。融入护理流程的机器人应被视为规模庞大、结构复杂且拥有既定实践的社会技术系统的一部分。因此，不应将机器人系统孤立看待，仅仅视为具有潜在经济收益的产品，或应对护理相关挑战的（唯一）技术解决方案。正如前文所述，应将它们视为护理的一部分，并置于庞大而复杂的社会、经济和文化背景中加以考量。

使用这些护理机器人的老年人或其他用户（例如正式照护者和非正式照护者），应被视为以用户为中心的设计（UCD）或参与式设计（PD）流程中的主要利益相关者，而不应只是孤立实验的一部分。一些有关老年人使用机器人的研究表明，机器人技术这一概念对老年人来说可能并不熟悉，而且他们往往在不了解现代先进技术的情况下被推着去使用这些技术，从而感到自己被忽视或绕过[101]。因此，我们认为，研究面向老年用户的护理机器人的人机交互（HRI）领域，可从这样的设计流程中获益：按照参与式设计方法，让用户参与相关系统构想、开发和使用的所有阶段。参与式设计已被广泛用于研究设计中的参与问题[123, 124]。参与式设计的价值观包括民主、相互学习和赋权。通过这种方法，老年人在设计、实施、采纳和使用过程中能够拥有更大的发言权，而不是仅仅就机器人的功能接受咨询。

另一项受到关注的挑战是，大多数项目并未探讨人工智能会如何影响护理机器人的隐私、安全和安保方面。正如前文所述，这应当成为优先议题，尤其是考虑到前述针对人工智能法案和《机械产品法规》的立法提案。

分析的项目未涉及的其他挑战与人权以及创建包容性护理机器人的必要性有关，这类机器人应能供不同群体的老年人使用。《世界人权宣言》第25条[125] 指出：“人人有权享有足以维持本人及其家庭的健康与福祉的生活水准，包括食物、衣着、住房、医疗护理和必要的社会服务；并有权在失业、疾病、残疾、丧偶、年老或遭遇其他无法控制的生计匮乏时获得保障。”我们关注的是享有适足生活水准的权利，即个人及其家庭有权享有适合其健康与福祉的生活水准，尤其是在老龄化或残疾的情况下。这一点十分重要，因为它与健康权[126], 直接相关；健康权包括“人人有平等机会享有可达到的最高健康水平的健康保护系统的权利；平等、及时获得基本卫生服务的权利；以及在国家和社区层面参与卫生相关决策的权利。”

还必须避免歧视，并确保所有群体都能获得并使用各项服务，包括老年人、残障人士及其他弱势群体。因此，未来关于护理机器人的研究项目需要将老年人视为一个多元群体，并考虑到这样的风险：数字素养较低的用户可能无法使用或理解机器人应用，从而进一步被边缘化。通用设计（UD）[127, 128] 的公平使用、使用灵活性、简单直观的使用、可感知信息、容错性、低体力要求，以及便于接近和使用的尺寸与空间等原则，应在物理和虚拟层面加以落实。这些原则已被证明有助于物理环境以及网页和移动应用的设计。然而，除少数现有研究[129–131] 以及[132] 最近提出的、关于在机器人技术中应用这些原则的倡议外，这些原则在 人机交互和机器人技术领域似乎尚未得到充分探讨。

未来针对老年人护理机器人的研究项目应更加重视价值敏感设计（VSD）[133, 134] 或以关怀为中心的价值敏感设计（CCVSD）[135, 136] 。技术开发流程需要保护并融入特定价值。正如本节开头所讨论的，关怀就是其中一种价值。

其他概念也需要重新审视，因为随着未来护理机器人的采用，这些概念的含义会发生变化。自主性等概念会随着时间推移而演变。例如，如今，自主性有时仅被理解为人类自主性与机器自主性的区别。研究揭示了理解人类自主性如何随着社会采用机器人而变化的重要性 [137]。其他研究强调，自主性是一个核心概念 [138] ，有助于增强人类能动性，而不贬低人类

能力，同时也是人工智能在社会中的一项核心原则，无论人工智能系统是否具有物理层。文献中讨论的另一个概念是安全 [139]。迄今为止，大多数研究机器人相关问题的研究项目都从物理角度考察安全。然而，对于与机器人进行长期交互的情形，也应关注安全的认知与社会心理维度。这样一来，某些概念可能会具有新的内涵。其他值得研究的相关概念包括人的尊严和赋权。

6.3 技术挑战与机遇

我们的研究结果表明，这些研究项目从技术角度关注护理机器人的局限性和不足之处，以及如何通过新增摄像头、传感器、扬声器、麦克风、嵌入式显示屏或插件来改进这些机器人。这些项目还探讨了静态或动态环境中的导航问题，以及与远程控制相关的问题。这些研究项目所涉及的一些技术挑战与机遇包括：采用社交机器人的参考架构，以便为一系列机器人使用标准化的软件（或硬件）组件，进而促进它们之间的互操作性 [140]。最后，机器人间交互以及人机交互也值得研究；在这类交互中，人类是一个由多个集成式（护理）机器人组成的系统的一部分。

6.4 伦理方面的讨论

随着老年护理问题在全球范围内日益迫近，尤其是在欧洲和亚洲的发达地区，大多数主要的机器人研究机构和大学都在涉足居家医疗保健领域。例如，弗劳恩霍夫研究所正在研发 Care-O-Bot [141], ，而日本 [142], 、中国 [143] 和韩国 [144] 的机器人协会也都有各自的老年护理机器人项目。

然而，人工智能在老年护理机器人中的当前实施仍处于早期阶段，在机器人完全取代其人类对应者承担护理任务之前，还需要克服许多技术和伦理障碍。联合国教科文组织世界科学知识与技术伦理委员会（COMEST）[145] 指出，目前对于机器人而言，维护人的尊严和隐私仍属于伦理上尚未探索的领域。下文将描述一些在机器人部署方面伦理界限不清、需要加以限制或谨慎处理的情况。

如果要求老年护理机器人提醒患者服用药物，机器人底层智能就需要知道患者拒绝服药时该如何应对。这对当前的人工智能平台而言尤其困难，因为患者可能出于正当理由拒绝服药；或者，向老年人发出被动提醒的机器人可能会被认为并不实用，因为它们无法替代人类护士这一对应者。另一个例子是，机器人做出预防肥胖的决定后，老年人的高热量食物被拿走。最后，还可能出现护理人员使用远程控制的机器人限制老年人行动的情况，从而引发道德与法律模糊性。

7 结论与未来工作

本文分析了 20 个近期老年护理机器人系统研究项目。我们采用主题分析法 [19]分析这些研究项目所探讨的维度。我们的研究结果从护理机器人的功能、在非受控环境中面向不同护理接受者的社交机器人或远程机器人产品，以及护理机器人的设计与伦理方面进行了讨论。我们总结出五个要点，这些要点也为未来有关老年人机器人系统的研究项目提供了路线图，本节将对此进行概述。

围绕老年人的社交与辅助机器人系统，已经开展了大量研究。在这一领域，功能、技术发展以及用于打造先进智能机器人的新旧设备均取得了显著进展。研究人员投入了大量精力，探索机器人的不同角色与行为。随着社交与辅助机器人在老龄化社会中变得愈发重要，这项工作应当继续开展。

尽管我们认可这些重大进展，但本研究表明，面向老年人的机器人系统仍有改进空间。为了在家庭和医疗保健领域更广泛地部署和使用机器人，满足这一群体日益增长的需求，我们还需要关注社会型机器人和辅助机器人的其他方面。

1) 我们建议，针对老年人护理机器人的研究项目应将关注重点从以产品为导向、注重经济收益，转向护理理念。这类机器人需要继续

作为现有（家庭或健康）护理基础设施的一部分加以开发和构想。与此同时，应以老年人的福祉为中心，而非经济收益。

2）未来的研究项目应确保老年人作为关键利益相关者，更广泛地参与护理机器人的规划、设计、实施、测试、采用和使用过程。由于参与式设计及其他类似方法以民主、相互学习和用户赋权为核心价值，因此有助于推动此类方法。

3）应更加全面地处理护理机器人的伦理维度。法律方面同样如此，尤其是鉴于人工智能法案和《机械产品法规》提案等新的或正在形成的监管框架。人权问题，例如不受歧视、包容、可及性和健康权，也应在未来的项目中得到更多关注，尤其要降低边缘化弱势群体或数字素养较低的老年人的风险。

4）未来的项目应关注自主性、安全、人格完整和尊严等关键概念的语义及实用性；随着新型护理机器人的发展，这些概念可能会获得新的内涵。

5）最后，未来的研究项目应致力于制定标准和参考架构，使未来的机器人能够彼此通信，从而实现机器人—机器人交互、人—机器人—机器人交互或类似形式的交互。总而言之，充分考虑面向老年人的社会型机器人和辅助机器人在这些方面的要求，将确保此类机器人得到更好的部署和使用，进而有望在未来提高其市场份额。

致谢

本研究得到挪威研究委员会的部分支持，资助项目包括机器人社会中的脆弱性（VIROS）项目（资助协议编号28828）和多模态老年护理系统（MECS）项目（资助协议编号247697）。

作者**贡献**

作者1发起了本文研究，并参与了研究设计、研究项目选择、引言和背景撰写，以及论文的分析、起草和修订。作者2参与了论文的分析、讨论、起草和修订。作者3参与了资金筹集以及论文的起草和修订。作者4参与了研究设计、资金筹集以及论文的起草和修订。

参考文献

[1] 联合国经济和社会事务部人口司，《2019年世界人口展望》：要点。纽约：联合国，2019年。访问日期：2022年1月24日。[在线]。网址：https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf[2] “WPP2019_10关键发现”，[在线]。网址：https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_10KeyFindings.pdf[3] W. C. Sanderson、S. Scherbov 和 P. Gerland，“概率性人口老龄化”，《PloS one》，第12卷，第6期，e0179171，2017年，doi：10.1371/journal.pone.0179171。[4] Y. Yang、R. Zheng 和 L. Zhao，“人口老龄化、健康投资与经济增长：基于跨国面板数据分析”，《International journal of environmental research and public health》，第18卷，第4期，2021年，doi：10.3390/ijerph18041801。[5] R. Bemelmans、G. J. Gelderblom、P. Jonker 和 L. de Witte，“护理中社交辅助机器人技术的潜力：系统综述”，载于《计算机科学、社会信息学与电信工程研究所讲义》，1867-8211，第59卷，《人机私人关系：第三届国际会议 HRPR 2010》，荷兰莱顿，2010年6月23日至24日，修订后的精选论文 / Maarten H. Lamers、Fons J. Verbeek（编），M. H. Lamers 和 F. J. Verbeek 编，海德堡：施普林格，2011年，第83–89页。[6] T. Shibata 和 K. Wada，“机器人疗法：老年人心理保健的新方法——简要综述”，GER，第57卷，第4期，第378–386页，2011年，doi：10.1159/000319015。[7] R. Bemelmans、G. J. Gelderblom、P. Jonker 和 L. de Witte，“老年护理中的社交辅助机器人：对效果和有效性的系统综述”，《Journal of the American Medical Directors Association》，第13卷，第2期，114-120.e1，2012年，doi：10.1016/j.jamda.2010.10.002。[8] E. Mordoch、A. Osterreicher、L. Guse、K. Roger 和 G. Thompson，“社会陪伴机器人在护理失智症老年人中的应用：文献综述”，《Maturitas》，第74卷，第1期，第14–20页，2013年，doi：10.1016/j.maturitas.2012.10.015。[9] P. Rashidi 和 A. Mihailidis，“面向老年人的环境辅助生活工具综述”，《IEEE J. Biomed. Health Inform.》，第17卷，第3期，第579–590页，2013年，doi：10.1109/jbhi.2012.2234129。[10] H. Robinson、B. MacDonald 和 E. Broadbent，“医疗保健机器人在老年人居家生活中的作用：综述”，《Int J of Soc Robotics》，第6卷，第4期，第575–591页，2014年，doi：10.1007/s12369-014-0242-2。[11] E. Martinez-Martin 和 A. P. Del Pobil，“老年护理个人机器人助手：概述”，载于《个人助手：新兴计算技术》，施普林格，查姆，2018年，第77–91页。[在线]。网址：https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-62530-0_5[12] A. Bilyea、N. Seth、S. Nesathurai 和 H. A. Abdullah，“个人护理中的机器人助手：范围综述”，《Medical Engineering & Physics》，第49卷，6，2017年，1 10 1016 2017 06 038，第 – 页，doi：. /j.medengphy. . . .[13] L. D. Riek，“医疗保健机器人技术”，《Commun. ACM》，第60卷，第11期，第68–78页，2017年，doi：10.1145/3127874。[14] H. M. van der Loos、D. J. Reinkensmeyer 和 E. Guglielmelli，“康复与医疗保健机器人技术”，载于《施普林格机器人学手册》，施普林格，查姆，2016年，第1685–1728页。[在线]。网址：https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-32552-1_64

[15] “原居安老”：老年房主对维护、翻修和适应性改造的看法，2006年。[在线]。网址：https://msd.govt.nz/documents/about-msd-and-our-work/publications-resources/journals-and-magazines/social-policy-journal/spj27/27-pages128-141.pdf[16] C. A. Cifuentes、M. J. Pinto、N. Céspedes 和 M. Múnera，《治疗与护理中的社交机器人》（英文），《Current Robotics Reports》，第1卷，第3期，第59–74页，2020年，doi：10.1007/s43154-020-00009-2。[17] J. Broekens、M. Heerink 和 H. Rosendal，《老年护理中的辅助型社交机器人：综述》，《老年科技》，第8卷，第2期，2009年，doi：10.4017/gt.2009.08.02.002.00。[18] 《设计社交型机器人》（智能机器人与自主智能体），2002年。[在线]。网址：https://scholar.google.com/citations?user=qb3jyp4aaaaj&hl=en&oi=sra[19] 《在心理学中运用主题分析》，《心理学定性研究》。[20] A. Badii 等，《CompanionAble：将移动机器人伴侣优雅地融入智能家居环境》，《老年科技》，第8卷，第3期，2009年，doi：10.4017/gt.2009.08.03.008.00。[21] 环境辅助生活计划，DOMEO——环境辅助生活计划。[在线]。网址：http://www.aal-europe.eu/projects/domeo/（访问日期：2022年1月24日）。[22] Cordis，《为老年人提供健康、营养和行动能力服务的集成智能家居环境》| MOBISERV项目| 项目情况说明书| 第七框架计划7 | CORDIS| 欧盟委员会。[在线]。网址：https://cordis.europa.eu/project/id/248434（访问日期：2022年1月24日）。[23] 环境辅助生活计划，EXCITE——环境辅助生活计划。[在线]。网址：http://www.aal-europe.eu/projects/excite/（访问日期：2022年1月24日）。[24] Cordis，《适用于老年生活的可接受机器人伴侣》| ACCOMPANY项目| 项目情况说明书| 第七框架计划7 | CORDIS| 欧盟委员会。[在线]。网址：https://cordis.europa.eu/project/id/287624（访问日期：2022年1月24日）。[25] HOBBIT项目，第七框架计划。[在线]。网址：http://hobbit.acin.tuwien.ac.at/（访问日期：2022年1月24日）。[26] Cordis，《结合社会互动与长期监测，促进独立生活》| Giraff+ 项目| 项目情况说明书| 第七框架计划7 | CORDIS | 欧盟委员会。[在线]。网址：https://cordis.europa.eu/project/id/288173（访问日期：2022年1月24日）。[27] Cordis，《在真实场景中实施和集成先进机器人系统与智能环境，以服务老龄人口》| Robot-Era项目| 项目情况说明书| 第七框架计划7 | CORDIS| 欧盟委员会。[在线]。网址：https://cordis.europa.eu/project/id/288899（访问日期：2022年1月24日）。[28] SILVER| 通过机器人技术支持老年人独立生活。[在线]。网址：https://www.silverpcp.eu/（访问日期：2022年1月24日）。[29] 环境辅助生活计划，VictoryaHome——环境辅助生活计划。[在线]。网址：http://www.aal-europe.eu/projects/victoryahome/（访问日期：2022年1月24日）。[30] TERESA| 远程临场强化学习社交智能体。[在线]。网址：https://teresaproject.eu/（访问日期：2022年1月24日）。[31] Cordis，《为轻度认知障碍患者提供居家机器人助手》| RAMCIP项目 | 项目情况说明书 | H2020 | CORDIS | 欧盟委员会。[在线]。网址：https://cordis.europa.eu/project/id/643433（访问日期：2022年1月24日）。[32] Cordis，《为老年人提供机器人与辅助生活环境，实现独立照护和健康监测》| ENRICHME项目| 项目情况说明书| H2020 |CORDIS| 欧盟委员会。[在线]。网址：https://cordis.europa.eu/project/id/643691（访问日期：2022年1月24日）。[33] https://cordis.europa.eu/project/id/643647。[在线]。网址：https://cordis.europa.eu/project/id/643647（访问日期：2022年1月24日）。[34] 家庭| Mario项目。[在线]。网址：http://www.mario-project.eu/portal/（访问日期：2022年1月24日）。[35] Cordis，《辅助生活环境中的机器人：促进独立老龄生活的隐蔽、高效、可靠且模块化的解决方案》| RADIO项目| 项目情况说明书| H2020| CORDIS| 欧盟委员会。[在线]。网址：https://cordis.europa.eu/project/id/643892（访问日期：2022年1月24日）。[36] Cordis，SocialRobot | SOCIALROBOT项目 | 项目情况说明书 | 第七框架计划7 | CORDIS | 欧盟委员会。[在线]。网址：https://cordis.europa.eu/project/id/ 285870（访问日期：2022年1月24日）。[37] 多模态老年照护系统（MECS）——信息学系。[在线]。网址：https://www.mn.uio.no/ifi/english/research/projects/mecs/（访问日期：2022年1月24日）。[38] 机器人社会中的脆弱性（VIROS）——私法系。[在线]。网址：https://www.jus.uio.no/ifp/english/research/projects/nrccl/viros/ index.html（访问日期：2022年1月24日）。[39] Prosjektbanken——挪威研究理事会，《医疗保健人机交互机器人》——Prosjektbanken。[在线]。网址：https://prosjektbanken.forskningsradet.no/ project/FORISS/309409?Kilde=FORISS&distribution=Ar&chart=bar&calcType=funding&Sprak=no&sortBy=score&sortOrder=desc&resultCount=30&offset=0&Fritekst=hiro（访问日期：2022年1月24日）。[40] Cordis，《用于能力与安保的集成认知辅助与智能家居伴侣机器人系统》| CompanionAble项目| 项目情况说明书| 第七框架计划7 | CORDIS| 欧盟委员会。[在线]。网址：https://cordis.europa.eu/project/id/216487（访问日期：2022年1月24日）。[41] H.-M. Gross 等，《我会留意你：为患有认知障碍的老年人提供的家用机器人伴侣》，载于《2011年IEEE系统、人类与控制论国际会议》，2011年。[42] H.-M. Gross 等，《面向轻度认知障碍患者的家用机器人伴侣：进一步进展》，载于《2012年IEEE系统、人类与控制论国际会议（SMC）》，2012年。[43] C. Huijnen、A. Badii、H. den van Heuvel、P. Caleb-Solly 和 D. Thiemert，《“也许它会成为伙伴，但别叫它机器人”——伴侣机器人与智能家居的无缝协作》，2011年，第324–329页。[在线]。网址：https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-25167-2_44[44] DOMEO| 让机器人成为体弱者的伴侣。[在线]。网址：https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/print/2485（访问日期：2022年1月24日）。[45] K. Zsiga、G. Edelmayer、P. Rumeau、O. Péter、A. Tóth 和 G. Fazekas，《用于为老年人提供社会支持的家庭护理机器人：在三个欧洲国家开展焦点小组研究，以了解用户态度和需求》，《国际康复研究杂志》，第36卷，第4期，第375–378页，2013年，doi：10.1097/MRR.0b013e3283643d26。[46] S. Bedaf、G. J. Gelderblom 和 L. de Witte，《支持老年人独立生活的机器人综述与分类：它们支持哪些活动，发展到了什么程度？》，《辅助技术：北美康复工程与辅助技术协会官方期刊》，第27卷，第2期，第88–100页，2015年，doi：10.1080/10400435.2014.978916。[47] MOBISERV：为老年人提供健康、营养和行动能力服务的集成智能家居环境，2010年。[48] A. Iosifidis、A. Tefas 和 I. Pitas，《基于动作体积、模糊距离和聚类判别分析的多视角动作识别》，《信号处理》，第93卷，第6期，第1445–1457页，2013年，doi：10.1016/j.sigpro.2012.08.015。[49] T. Czachórski、S. Kozielski 和 U. Stańczyk 编，《人机交互2》。柏林：施普林格，2011年。[50] E. Marami、A. Tefas 和 I. Pitas，《基于肤色分割和支持向量机的营养辅助》，载于《智能与软计算进展》，第103卷，《人机交互2》，T. Czachórski、S. Kozielski 和 U. Stańczyk 编，柏林：施普林格，2011年，第179–187页。

[51] O. Zoidi、A. Tefas 和 I. Pitas，《基于局部导向核和颜色直方图的视觉目标跟踪》，《IEEE电路与系统视频技术汇刊》，第23卷，第5期，第870–882页，2013年，doi：10.1109/TCSVT.2012.2226527。[52] Amedeo Cesta、Silvia Coradeschi、Gabriella Cortellessa、Javier Gonzalez 和 Stephen Von Rump，《通过具身化促进ExCITE中的社会互动》，2010年。[在线]。网址：https://www.researchgate.net/profile/silvia-coradeschi/publication/228963861_enabling_social_interaction_through_embodiment_in_ excite[53] A. Cesta、G. Cortellessa、A. Orlandini 和 L. Tiberio，《在实地评估远程呈现机器人》，2012年，第433–448页。[在线]。网址：https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-36907-0_29[54] A. Kristoffersson、S. Coradeschi、A. Loutfi 和 K. Severinson-Eklundh，《移动机器人远程呈现中的交互质量评估》，《交互研究》，第15卷，第2期，第343–357页，2014年，doi：10.1075/is.15.2.16kri。[55] N. Casiddu 等，《机器人界面设计：用于社会互动的Giraff远程呈现机器人》，载于《环境辅助生活》，施普林格，查姆，2015年，第499–509页。[在线]。网址：https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-18374-9_46[56] ACCOMPANY：适用于老年生活的可接受机器人伴侣——人机系统交互的多维层面，2013年。[57] P. Encarnação、L. Azevedo、G. J. Gelderblom、A. F. Newell 和 N.-E. Mathiassen，《辅助技术：从研究到实践》，AAATE 2013／编者：Pedro Encarnação、Luís Azevedo、Gert Jan Gelderblom、Alan Newell、Niels-Erik Mathiassen。阿姆斯特丹：IOS Press，2013年。[58] Cordis，HOBBIT——互助护理机器人| HOBBIT项目| 项目情况说明书| 第七框架计划7 | CORDIS| 欧盟委员会。[在线]。网址：https://cordis.europa.eu/project/id/288146（访问日期：2022年1月24日）。[59] P. Panek 和 P. Mayer，《辅助机器人采用语音控制面临的挑战》，载于《环境辅助生活》，施普林格，查姆，2015年，第3–14页。[在线]。网址：https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-11866-6_1[60] J. Pripfl 等，《面向老年人的移动社交服务机器人真实场景试验结果》，载于《2016年第11届ACM/IEEE人机交互国际会议》，2016年。[61] D. Fischinger 等，《Hobbit：支持居家独立生活的护理机器人——首个原型及经验教训》，《机器人与自主系统》，第75卷，第60–78页，2016年，doi：10.1016/j.robot.2014.09.029。[62] 你能帮我一下吗？[在线]。网址：http://hobbit.acin.tuwien.ac.at/publications/bajones_hri15_workshop.pdf[63] S. Coradeschi 等，《GiraffPlus：结合社会互动与长期监测，促进独立生活》，载于《2013年第六届国际人机系统交互会议》，2013年。[64] S. Coradeschi 等，《GiraffPlus：用于监测活动和生理参数并促进老年人社会互动的系统》，载于《人机系统交互：背景与应用3》，施普林格，查姆，2014年，第261–271页。[在线]。网址：https://link.springer.com/chapter/ 10.1007/978-3-319-08491-6_22[65] A. Cesta 等，《从传感器数据到GiraffPlus用户服务》，载于《环境辅助生活》，施普林格，查姆，2014年，第269–280页。[在线]。网址：https:// link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-01119-6_28[66] S. Glende、I. Conrad、L. Krezdorn、S. Klemcke 和 C. Krätzel，《基于利益相关者需求的营销策略，提高老年人对辅助机器人的接受度》，《国际社会机器人学杂志》，第8卷，第3期，第355–369页，2016年，doi：10.1007/s12369-015-0328-5。[67] L. Fiorini 等，《通过混合机器人云端方法，为慢性病管理提供个性化医疗支持》，《自主机器人》，第41卷，第5期，第1263–1276页，2017年，doi：10.1007/s10514-016-9586-9。[68] F. Cavallo 等，《开发从城镇到家庭的、具有社会可信度的多机器人解决方案》，《认知计算》，第6卷，第4期，第954–967页，2014年，doi：10.1007/s12559-014-9290-z。[69] 《环境辅助生活规划器：从高层推理到低层机器人执行，再返回》，2014年。[在线]。网址：https://www.aaai.org/ocs/ index.php/sss/sss14/paper/viewpaper/7740[70] Cordis，《通过机器人技术支持老年人独立生活》| SILVER项目| 项目情况说明书| 第七框架计划7 | CORDIS | 欧盟委员会。[在线]。网址：https://cordis.europa.eu/project/id/287609（访问日期：2022年1月24日）。[71] SILVER通讯 2/2016。[在线]。网址：https://us11.campaign-archive.com/?u=ae6c44ff2fd9c166d32db739d&id=df0564495b（访问日期：2022年1月24日）。[72] 方法| SILVER。[在线]。网址：https://www.silverpcp.eu/project-overview/methodology/（访问日期：2022年1月24日）。[73] VictoryaHome一周年，2014年。[在线]。网址：https://www.aalforum.eu/wp-content/uploads/2016/04/a-serrano_track-b2-4.pdf[74] ……老年人支持案例中的接受度：运用理论和以人为本的设计，规划VictoryaHome系统的引入，2015年。[在线]。网址：https://essay.utwente.nl/67079/1/spitters,%20s.j.i.m.%20-%20s1020986%20(verslag).pdf[75] D. Kerr、J. Serrano 和 P. Ray，《颠覆性数字技术在老年人居家医疗保健中的作用：远程呈现机器人》，《数字医学》，第4卷，第4期，第173页，2018年，doi：10.4103/digm.digm_20_18。[76] Teresa：具备社会智能的半自主远程呈现系统，2015年。[在线]。网址：https://teresaproject.eu/wp-content/uploads/2015/03/teresa_ icra15ws.pdf[77] 面向老年人的远程呈现机器人社会导航系统，2016年。[在线]。网址：http://robotics.upo.es/~lmercab/publications/papers/perez-higueras- icsrws16.pdf[78] M. Pantic、V. Evers、M. Deisenroth、L. Merino 和 B. Schuller，《社会与情感机器人学教程》，载于《第24届ACM国际多媒体会议论文集》，美国纽约州纽约，2016年。[79] J. Vroon、G. Englebienne 和 V. Evers，《响应式社会代理》，2016年，第126–137页。[在线]。网址：https://link.springer.com/chapter/10.1007/978- 3-319-47437-3_13[80] C. Abdelnour 等，《[P4–322]：阿尔茨海默病患者及其照护者对于在家中获得服务机器人的支持，意见是否存在差异？》，《阿尔茨海默病与痴呆》，第13卷，7S_第29部分，2017年，doi：10.1016/j.jalz.2017.06.2192。[81] J. Gerłowska 等，《评估面向记忆障碍老年患者的多模态机器人助手的感知吸引力、可用性和社会影响》，《神经学前沿》，第9卷，第392页，2018年，doi：10.3389/fneur.2018.00392。[82] A. Korchut 等，《服务机器人面临的挑战——认知障碍老年人的需求》，《神经学前沿》，第8卷，第228页，2017年，doi：10.3389/fneur.2017.00228。[83] PAL Robotics，EnrichMe——PAL Robotics：领先的服务机器人。[在线]。网址：https://pal-robotics.com/collaborative-projects/enrichme/（访问日期：2022年1月24日）。[84] R. Agrigoroaie、F. Ferland 和 A. Tapus，《ENRICHME项目：首次与老年人交互的经验教训》，2016年，第735–745页。[在线]。网址：https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-47437-3_72

[85] Enrichme：面向环境辅助生活的环境智能与机器人技术集成，2017年。[在线]。可访问：https://www.aaai.org/ocs/index.php/sss/sss17/paper/viewpaper/15296[86] GrowMeUp项目与动作识别技术的适用性，2015年。[在线]。可访问：https://ap.isr.uc.pt/archive/610.pdf[87] D. Georgiadis 等人，“老年护理与健康老龄化的机器人云生态系统：GrowMeUp方法”，载于《第十四届地中海医学与生物工程及计算会议 2016》：施普林格，查姆，2016年，第919–924页。[在线]。可访问：https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319- 32703-7_179[88] C. Dantas 等人，“个人护理机器人面向用户、研究人员和开发者的伦理合规验证方法”，载于2017年，第754–762页。[在线]。可访问：https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-56538-5_76[89] J. Oliveira 等人，“会说话的机器人：老龄化社会接受机器人所面临的挑战”，载于2017年第26届IEEE机器人与人类交互通信国际研讨会（RO-MAN），2017年。[90] Cordis，《利用护理服务机器人实现积极健康老龄化》| MARIO项目| 项目情况说明书| H2020 | CORDIS| 欧盟委员会。[在线]。可访问：https://cordis.europa.eu/project/id/643808（访问日期：2022年1月24日）。[91] D. Casey 等人，“失智症患者想要什么：设计一款可接受的陪伴机器人MARIO”，载于2016年，第318–325页。[在线]。可访问：https:// link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-41264-1_44[92] M. Mongiovì、D. R. Recupero、A. Gangemi、V. Presutti、A. G. Nuzzolese 和 S. Consoli，“通过新型机器阅读器协调从文本中提取的知识”，载于《第八届知识获取国际会议论文集》，美国纽约州纽约，2015年。[93] G. Siantikos、T. Giannakopoulos 和 S. Konstantopoulos，“使用音频分析和 RaspberryPI 监测日常生活活动：浴室活动监测案例研究”，载于2016年，第20–32页。[在线]。可访问：https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-62704-5_2[94] 《物联网平台的组件与服务》：施普林格，查姆，2017年。[95] RADIO| 面向独立老龄生活的隐蔽、高效、可靠且模块化解决方案。[在线]。可访问：http://www.radio-project.eu/（访问日期：2022年1月24日）。[96] T. Giannakopoulos、S. Konstantopoulos、G. Siantikos 和 V. Karkaletsis，“多模态互联日常生活活动识别服务系统的设计”，载于《物联网平台的组件与服务》：施普林格，查姆，2017年，第323–333页。[在线]。可访问：https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319- 42304-3_16[97] C. Antonopoulos 等人，“辅助生活环境中的机器人：实现独立老龄生活的隐蔽、高效、可靠且模块化的解决方案——RADIO视角”，载于2015年，第519–530页。[在线]。可访问：https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16214-0_48[98] D. Portugal、P. Alvito、E. Christodoulou、G. Samaras 和 J. Dias，“服务机器人在老年护理中心部署的研究”，《社会机器人国际期刊》，第11卷第2期，第317–341页，2019年，doi：10.1007/s12369-018-0492-5。[99] M. Belk、P. Germanakos、E. Papatheocharous、P. Andreou 和 G. Samaras，“在自适应交互系统中整合人为因素与语义标注”，《开放网络技术杂志》（OJWT），第1卷第1期，第15–26页，2014年。[在线]。可访问：http://clok.uclan.ac.uk/18395/[100] M. Belk、C. Fidas、P. Germanakos 和 G. Samaras，“多样性安全：研究言语过程和意象过程对用户身份验证机制的影响”，载于2013年，第442–459页。[在线]。可访问：https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-40477-1_27[101] D. Saplacan、J. Herstad 和 Z. Pajalić，《独立生活的老年人对机器人的看法分析：挪威背景下的一项描述性研究》：IARIA，2020年。[在线]。可访问：https://vid.brage.unit.no/vid-xmlui/handle/11250/2649051[102] Sø 和 M. yland，“‘嘿，我在这儿走路呢！’——关于老年人与自主机器人之间空间相遇的探索性研究”，[在线]。可访问：https:// www.duo.uio.no/handle/10852/57435[103] W. Khaksar、M. Z. Uddin 和 J. Torresen，“不确定空间中的多查询运动规划：增量式自适应随机路线图”，《应用数学与计算机科学国际期刊》，第29卷第4期，第641–654页，2019年，doi：10.2478/amcs-2019-0047。[104] Fetch Robotics，Fetch移动操作机器人——Fetch Robotics。[在线]。可访问：https://fetchrobotics.com/fetch-mobile-manipulator/（访问日期：2022年1月24日）。[105] T. Schulz、P. Holthaus、F. Amirabdollahian 和 K. L. Koay，“人类对采用慢入慢出速度曲线移动的机器人的感知”，载于2019年第14届ACM/IEEE人机交互国际会议（HRI），。[106] T. Schulz、P. Holthaus、F. Amirabdollahian、K. L. Koay、J. Torresen 和 J. Herstad，“执行清洁任务时，人类对采用线性速度曲线或慢入慢出速度曲线移动的机器人的感知差异”，载于2019年第28届IEEE机器人与人类交互通信国际会议（RO-MAN），2019年。[107] W. Khaksar、M. Neggers、E. Barakova 和 J. Torresen，“老年护理机器人感知中的代际差异”，载于2021年第30届IEEE机器人与人类交互通信国际会议（RO-MAN），加拿大不列颠哥伦比亚省温哥华，2021年8月–2021年8月，第551–558页。[108] A. Gallagher、D. Nåden 和 D. Karterud，“老年护理中的机器人：一些伦理问题”，《护理伦理学》，第23卷第4期，第369–371页，2016年，doi：10.1177/0969733016647297。[109] D. Saplacan、W. Khaksar 和 J. Torresen，“护理机器人引发的伦理挑战：对现有法规、理论及研究空白的综述”，载于2021年IEEE先进机器人及其社会影响国际会议（ARSO），2021年。[110] J. C. Tronto，《道德边界：关怀伦理的政治论证 / Joan Tronto》，第1版。伦敦：劳特利奇，2020年。[在线]。可访问：https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781003070672/moral-boundaries-joan-tronto[111] S. Vallor，“护理机器人与照护者：在二十一世纪维系关怀的伦理理想”，（英文；en），《哲学与技术》，第24卷，268，2011年，3，251 101007 13347 011 0015 no. pp. – doi: . /s - - -x。[112] M. Coeckelbergh、J. Loh、M. Funk、J. Seibt 和 M. Nørskov，《构想社会中的机器人——权力、政治与公共空间：机器人哲学2018/TRANSOR 2018论文集，2018年2月14日至17日，奥地利维也纳大学 / Mark Coeckelbergh、Janina Loh、Michael Funk、Johanna Sebt 和 Marco Nørskov 编》。阿姆斯特丹：IOS Press，2018年。[113] 是否委托：护理机器人、道德能动性与道德责任，2014年。[在线]。可访问：https://research.utwente.nl/files/24784466/aisb50- s17-vanwynsberghe-paper.pdf[114] A. van Wynsberghe 和 N. Sharkey，“负责任的机器人学专刊：导言”，（英文；en），《伦理与信息技术》，第22卷第4期，第281–282页，2020年，doi：10.1007/s10676-020-09562-y。[115] J. Seibt、M. Flensborg Damholdt 和 C. Vestergaard，“构想社会机器人学”，《交互研究》，第21卷第1期，第111–144页，2020年，doi：10.1075/is.18061.sei。[116] J. Seibt、M. Flensborg Damholdt 和 C. Vestergaard，“构想社会机器人学”，《交互研究》，第21卷第1期，第111–144页，2020年，doi：10.1075/is.18061.sei。[117] J. Seibt、M. Flensborg Damholdt 和 C. Vestergaard，“构想社会机器人学”，《交互研究》，第21卷第1期，第111–144页，2020年，doi：

10.1075/is.18061.sei。

[118] M. Nørskov、J. Seibt 和 O. S. Quick，《文化可持续的社交机器人学：Robophilosophy 2020 会议论文集》，2020年8月18日至21日，奥胡斯大学及线上会议 / Marco Nørskov、Johanna Seibt 和 Oliver Santiago Quick 编。荷兰阿姆斯特丹：IOS Press，2020年。[119] R. Hakli 和 J. Seibt，“《机器人的社会性与规范性》：导言”，载于《机器人的社会性与规范性》：施普林格，查姆，2017年，第1–10页。[在线]。可访问：https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-53133-5_1[120] 欧盟法律数据库 - 52021PC0206 - EN - 欧盟法律数据库。 [在线]。可访问：https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1623335154975&uri=CELEX%3A52021PC0206（访问日期：2022年1月25日）。[121] Docsroom，欧盟委员会 DocsRoom。[在线]。可访问：https://ec.europa.eu/docsroom/documents/45508（访问日期：2022年1月25日）。[122] 17项目标| 可持续发展。[在线]。可访问：https://sdgs.un.org/goals（访问日期：2022年1月25日）。[123] T. Bratteteig 和 I. Wagner，“厘清参与式设计中的权力与决策”，载于《第12届参与式设计会议论文集：研究论文：第1卷——PDC '12》，美国纽约州纽约市，2012年。[124] T. Bratteteig 和 I. Wagner，“剖析参与式设计中的参与概念”，（英文；英文），《计算机支持的协同工作》，第25卷，第6期，第425–475页，2016年，doi：10.1007/s10606-016-9259-4。[125] 联合国，《世界人权宣言》| 联合国。[在线]。可访问：https://www.un.org/en/about-us/universal-declaration-of-human-rights（访问日期：2022年1月25日）。[126] Unscn，《健康权——联合国人权事务高级专员办事处项目情况说明书第31号——UNSCN》。[在线]。可访问：https://www.unscn.org/en/resource-center/archive/nutrition-human-rights ?idnews=1589 （访问日期：2022年1月25日）。[127] M. F. Story、J. L. Mueller 和 R. L. Mace，《通用设计文件：为各种年龄和能力的人群进行设计》，修订版：通用设计中心，北卡罗来纳州立大学，邮政信箱8613，罗利，北卡罗来纳州27695-8613（24美元）。电话：800-647-6777（免费电话）；网站：http://www.design.ncsu.edu，1998年。[在线]。可访问：https://eric.ed.gov/?id=ED460554[128] 北卡罗来纳州立大学通用设计中心——关于中心——Ronald L. Mace。[在线]。可访问：https://projects.ncsu.edu/design/cud/about_us/usronmace.htm（访问日期：2022年1月25日）。[129] 《服务机器人技术进展》，2008年。[130] 《日常生活辅助机器人的机器人管理系统通用设计》，2009。[131] 《以通用设计理念实现机器人广泛应用——机器人与环境交互设计的核心概念》，2009。[132] D. Saplacan，“情境化能力：理解信息与通信技术的日常使用”，[在线]。可访问：https://www.duo.uio.no/handle/10852/81852[133] S. Umbrello、M. Capasso、M. Balistreri、A. Pirni 和 F. Merenda，“运用价值敏感设计，通过人工智能实现联合国可持续发展目标：老年护理机器人的案例”，《心智与机器》，第31卷，第3期，第1–25页，2021年，doi：10.1007/s11023-021-09561-y。[134] B. Friedman，“价值敏感设计”，《Interactions》，第3卷，第6期，第16–23页，1996年，doi：10.1145/242485.242493。[135] A. van Wynsberghe，“设计用于护理的机器人：以护理为中心的价值敏感设计”，《科学与工程伦理》，第19卷，第2期，第407–433页，2013年，doi：10.1007/s11948- 011-9343-6。[136] A. van Wynsberghe，“设计用于护理的机器人：以护理为中心的价值敏感设计”，《科学与工程伦理》，第19卷，第2期，第407–433页，2013年，doi：10.1007/s11948- 011-9343-6。[137] P. Formosa，“机器人自主性与人类自主性：社交机器人、人工智能（AI）与自主性的本质”，（英文；英文），《心智与机器》，第31卷，第4期，第595–616页，2021年，doi：10.1007/s11023-021-09579-2。[138] L. Floridi 等，“AI4People——构建良好人工智能社会的伦理框架：机遇、风险、原则与建议”，《心智与机器》，第28卷，第4期，第689–707页，2018年，doi：10.1007/s11023-018-9482-5。[139] A. Martinetti、P. K. Chemweno、K. Nizamis 和 E. Fosch-Villaronga，“结合人机交互重新界定安全：对现行标准和法规的批判性综述”，《前沿：化学工程》，第3卷，第32页，2021年，doi：10.3389/fceng.2021.666237。[140] L. Asprino、P. Ciancarini、A. G. Nuzzolese、V. Presutti 和 A. Russo，“社交机器人的参考架构”，《网络语义学杂志》，第72卷，100683，2022年，10 1016 2021 100683 p. doi: . /j.websem. . .[141] 弗劳恩霍夫制造工程与自动化研究所，Care-O-bot 4。 [在线]。可访问：https://www.care-o-bot.de/en/care-o-bot-4.html（访问日期：2022年1月25日）。[142] M. Foster，“日本老龄化：机器人或将在未来的老年护理中发挥作用”，路透社，2018年3月28日。https://www.reuters.com/article/us-japan-ageing-robots-widerimage-idUSKBN1H33AB（访问日期：2022年1月25日）。[143] “下一个细分市场——中国的老年护理机器人”，瑞士科学之家（中国）新闻，2021年8月5日。http://swissnexinchina.org/trends/2021/8/5/the-next-niche- market-elderly-care-robotics-in-china（访问日期：2022年1月25日）。[144] K. Arin，“卫生部拨款13亿韩元用于开发机器人护理服务——《韩国先驱报》”，《韩国先驱报》，2019年6月3日。http://www.koreaherald.com/ view.php?ud=20190603000581 （访问日期：2022年1月25日）。[145] 知识与技术，机构作者：世界科学与技术伦理委员会，《COMEST机器人伦理报告》。[在线]。可访问：https:// unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000253952（访问日期：2022年1月25日）。