

DOI: 10.19816/j.cnki.10-1594/tn.2022.02.001

# 人机交互遥操作机器人技术前沿和发展趋势

——访东南大学宋爱国教授

张莹<sup>1,2</sup>

(1.北京市科学技术研究院信息与人工智能技术研究所 北京 100089;2.《微纳电子与智能制造》编辑部 北京 100089)

**编者按:**面对未知的环境,仅靠机器人还达不到人的智能水平,需要将人的智能引入机器人的智能系统,人和机器人协助配合,共同完成危险和有害环境下的未知的复杂任务。人机交互遥操作机器人技术需要突破力触觉感知技术、力触觉反馈技术、力触觉的控制和视觉跟力触觉融合4个方面的问题,人机交互遥控操作机器人可广泛应用于探月工程、国家载人航天工程、核电安全、养老助老及康复领域并发挥重要作用。《微纳电子与智能制造》杂志有幸采访到东南大学宋爱国教授为读者讲述人机交互遥操作机器人技术进展。

**关键词:**人机交互;遥操作机器人;力触觉

**中图分类号:**TP242 **文献标识码:**A **国家标准学科分类代码:**510

宋爱国,东南大学仪器科学与工程学院教授,现任东南大学电仪控制学部主任、空间科学与技术研究院院长、数字医学全国重点实验室副主任、机器人传感与控制技术研究所所长。宋爱国教授长期从事机器人传感与控制技术研究,获得国家杰出青年基金,作为第一完成人获国家技术发明二等奖1项,教育部技术发明一等奖3项,江苏省科技进步一等奖2项。

《微纳电子与智能制造》:您多年从事传感器及人机交互遥操作机器人方面的基础研究和前沿关键共性技术,多项成果在探月工程、国家载人航天工程、核电安全、养老助老及康复领域得到应用,请您分享一下人机交互遥控机器人的研究进展和前沿技术。

**宋爱国:**面对未知的环境和多变的任务,机器人的智能还达不到人的智能水平,需要把人的智能引入机器人的智能系统,人和机器人协助配合,共同完成危险和有害环境下的未知的复杂任务,这里的关键就在于人机交互。人机交互包括两个方面的内容:一是机器人与环境交互,机器人感知环境信息;二是人与机器人交互,人感知到机器人获取的环境信息,同时机器人要能感知到人的意图。人和机器人临场感交互的完全实现要突破4个方面的技术。



第一,力触觉感知技术。即力触觉传感器技术和基于力触觉信息感知环境的技术。第二,力触觉反馈技术。力触觉反馈技术可以传递压力、加速度、震动等各种信息,把机器人感知到的力触觉信息重现并准确地作用于人,使机器人成为人的肢体的延伸。另一方面,机器人与环境交互感知到的信息反馈给操作者,使人真正的感受到机器人与环境的相互力作用,从容实现对环境物理属性的感知与识别。第三,力触觉的控制。人-机器人-环境形成闭环,在执行任务时要求机器人能够正确地感知环境,又能准确地完成作业任务,就要解决控制的问题,其中的工程技术问题是要实现通讯延时的控制和机器人自

主感知、自主作业。第四,视觉跟力触觉融合。相对于成熟的机器人运动控制技术,以运动控制技术带动机器人的动作,无论是搬运、抓取还是旋转等动作都是刚性,缺少力触觉传感导致人无法与机器人进行协同交融的工作。机器人的力控制一直都是技术难点,力控制离不开视觉识别,视觉和力触觉融合的方式能够实现机器人精细作业装配,例如装配中准确抓取并拧螺丝。

**《微纳电子与智能制造》:**您多年潜心研究力传感器,请您介绍一下我国在力传感器技术,特别是高端领域的应用和发展情况。传感器技术对我国高端装备及机器人的应用是不是也存在着“卡脖子”的问题?

**宋爱国:**我认为在力传感器的设计和误差补偿方面,我们国家跟国外是没有差距的,甚至要领先国外。但是,在材料和工艺方面还存在差距。材料方面,作为传感器的弹性体材料,要求其弹性范围在合适区间,径向分布要求非常均匀。目前国际上最好的弹性体材料是不锈钢和钛合金材料,均匀度非常好。我国的不锈钢和钛合金材料主要是做结构件使用,没有专门用于弹性体使用,易产生千分之一或者万分之一的塑性变形,传感器的塑性变形导致的灵敏度漂移,则需要重新标定,否则将超过误差允许范围。材料的限制对我国传感器长期的稳定性带来一定的影响。工艺方面,溅射工艺存在差距,我国在快速的追赶阶段。总体来看,我国的误差和精度分析研究的领先,一定程度弥补了材料和工艺方面的不足,因此我国的传感器总精度比国外普遍高,保障了航天任务的实施。

**《微纳电子与智能制造》:**在空间探测人机交互遥操作的视觉和力触觉融合技术方面,您的团队填补了国内空白,也达到了国际领先水平。请您介绍一下这项技术在空间技术领域的应用情况,以及在民用领域的发展前景。

**宋爱国:**军民融合实际上就是将航天中的技术用于民用领域,技术是相通的,不同的是应用背景和具体要求不同。航天环境恶劣,对技术可靠性的要求也是最高的。我们在航天机器人领域研制了系列化的高精度多维力传感器和力反馈控制器,已经应用在探月玉兔机器人和空间舱内外的机器人上。这些技术也已经应用于民用领域,比如医疗手术操作机器人。医疗领域不存在高低温、强辐照的问题,注重的是小型化,例如血管介入手术机器人、骨科手术机器人、腹腔镜手术机器人,要求多维力传感器

做得非常小而精细。在工业领域,远程反馈和控制操作也有很好的应用。按照传统的工作方式,船舶需要回到港口进行维修。利用有线、无线通讯技术和力反馈的遥操作技术,就能在船舶上安装焊接机器人,机器人可协同完成远程焊接等维护作业任务。

**《微纳电子与智能制造》:**康复机器人是近年研究人员关注的热点,请您介绍一下康复机器人的发展历史,以及虚拟现实、人工智能技术对康复机器人发展的促进作用。康复机器人是一个多学科、跨领域的研究,请您从产学研协同提升康复机器人发展提出建议和意见。

**宋爱国:**20世纪80年代初,国外开始研究康复机器人,当时以康复护理功能为主,康复护理机器人主要是为病人提供端茶倒水、穿衣喂饭喂药等护理工作。到90年代初,康复医学,或者称之为运动神经康复医学发展迅猛,研究发现大脑具有可塑性,运动神经功能受到损伤会慢慢重构。对于脑卒中出血性偏瘫的病人,如果能够在早期进行及时训练,通过运动和力的反复刺激其运动感知神经,运动功能会慢慢的恢复。传统的康复训练师工作量非常大,效率非常低,康复训练师和病人是一对人,甚至两个康复训练师训练一个病人,因此康复训练机器人应运而生。美国麻省理工学院Hogan教授首先提出用机器人代替康复训练师的想法。康复机器人的研究涉及到医学、机器人、人工智能技术的结合。

康复训练研究发现,调动病人的积极性对于提升康复训练效果有重要的作用。随之,研究人员引入了虚拟现实技术,包括有力的反馈、视觉听觉的反馈等等,把人机交互技术、机器人技术和虚拟现实技术相结合。例如设计摘苹果、抓小球的趣味游戏,增加虚拟刷牙、虚拟穿衣服的训练,通过机器人交互进行康复训练。

2010年,康复医学研究发现,病人利用自身的生理信号驱动机器人、驱动虚拟现实进行主动恢复达到更好的康复效果。另外开展了基于脑电信号识别别人的意图的康复研究,研究发现,病人的两个手不会同时不能动,用功能健全的手去驱动运动功能丧失的手,通过镜像训练,也能够实现运动康复。

在顺应病人意图和状态方面,康复医学研究致力于通过多次训练采集的数据,对于病人常见状态和情感进行深度学习模型训练。在康复期中,机器人通过实时识别病人情绪,及时调整康复训练模式和游戏,调控病人训练积极性。机械臂控制方面,神

经网络的学习得到广泛应用,受限于深度学习需要大样本量数据,尚未实现大数据深度学习。国内病人虽然基数大,需要几千个病人的不同控制过程的训练数据,数据采集存在较大困难。若采集数据少会出现学习不充分、不安全的问题。

康复机器人实际上是医学虚拟现实、人机交互、传感器、脑机接口和意图识别等多技术的综合领域,需要医工结合和产学研用相结合。日本、欧洲国家的康复医院设有研究院、企业,通过研究院研制的最新成果在医院使用并迭代,技术成熟后在企业投产。近5年,我国医工结合和产学研结合的效果明显提升,高校设立医学院或医工研究院,加强与企业在康复机器人技术上的转化、应用与合作。目前不少康复机器人企业的原创性技术还不足,迫切需要高校、科研院所的新技术,特别是具备产品转化的成熟技术。产学研合作和利益分配模式也是要探索的问

题,可采用传统交钥匙或技术入股的方式进行利益分配。

**《微纳电子与智能制造》:**国际自主智能机器人大赛已经举办多届,比赛的目的是推动人形机器人的技术发展,以竞赛的形式展示最新的技术成果。您对比赛提炼科学问题和设置挑战性技术命题有什么建议?

**宋爱国:**人形机器人存在的科学问题和挑战性有很多,比如如何让机器人自主用钥匙开门,并进行装配作业,就非常有挑战性。机器人需要用手指取钥匙,如何像人一样准确拿取钥匙,是非常有难度的。这项工作涉及到机器人设计,或在机器人平台上做硬件和软件的二次开发。例如在机器人手上二次开发柔性触觉或者力学传感器、编写环境感知算法、研究视觉和力触觉融合、解决力控制等问题。这几个关键环节实现都具有挑战性。