

9-11/8

临场感机器人技术的研究进展

东南大学仪器科学与工程系 宋爱国 黄惟一

TP242

A

【摘要】 临场感是机器人研究中的一个新概念。本文介绍了临场感技术的主要研究内容，回顾了近几年来国内外研究现状，提出了后续研究的几点建议。

【关键词】 临场感 / 主从式遥控机器人 / 传感器 / 虚拟环境

一、引言

智能机器人研究的现状表明，能工作在非确定性环境下的全自主式智能机器人是短期内难以达到的目标，这是由于几项支撑技术（机构、控制、传感和人工智能）尚未达到提供全自主所需的水平。以临场感为中心的交互技术是解决人不可到达的非确定性环境下作业的有力手段，所谓交互技术包括人与机器人的交互和机器人与环境的交互，前者的意义在于引进人的思维帮助机器人实现非确定性环境中的规划和决策，而机器人则可在人不可到达的恶劣环境下进行工作。这里的关键在于人—机器人—环境的交互界面问题。如果没有操作者对机器人工作环境的正确和有效的感知，则就不可能作出正确的决策来控制机器人完成工作。临场感的目的就在于提供给操作者以远地工作现场信息的真实再现，以帮助操作者实时地、真实地感知机器人和环境的交互信息。

临场感的概念可以追溯到 1963 年 Sutherland 的思想，把计算机显示器作为看、听、触以及人与真实世界相互作用的窗口。临场感一般可用“tele-existence”和“telepresence”来表达，“tele-existence”具有“遥在”的含义，它在意义上侧重于操作者在远地工作现场的再现，即机器人成了操作者的“化身”；“telepresence”具有“远距呈现”的含义，它在意义上侧重于远地工作现场在操作者周围的再现。尽管场感可以用不同的词汇描述，其概念的本质却是一样的，即由远地机器人上的多种传感器检测环境的信息以及机器人同环境的交互信

息，再实时地传递给本地的操作者，同时操作者周围的多种传感器检测操作者的身体、头部及四肢的位姿和速度等信息，作为控制远地机器人的输入指令，从而实现本地操作者和远地机器人在感觉和运动上的一致性，使操作者产生远在工作现场的“身临其境”的感觉，如图 1 所示。

临场感机器人的实现，将大大改善遥控机器人的作业能力，因此近年来，研究临场感的本质和技术实现引起了许多机器人学者的重视。

二、临场感的构成及研究内容

经过近几年来的理论和实验研究，关于临场感机器人的构成及提供给操作者的感觉模式已有较为一致的认识。日本 Tachi 通过制定 8 年的临场感极限机器人计划，构造了临场感机器人实验系统来研究临场感的实现。Tachi 认为临场感可分为以下两类，即真实世界的临场感和虚拟世界的临场感。如果计算机生成的多感觉环境源于远地的机器人多传感器信息，则属于前一类的情况；如果计算机生成的多感觉环境源于软件的执行，则属于后一类情况。前者可用于恶劣环境下的遥控作业，后者可用于操作者的练习过程。临场感机器人的最终形式将由以下几部分构成：智能机器人及其监控子系统，“遥在”子系统和增强传感子系统。Tachi 得出了传感器对于临场感技术是至关重要的结论。

临场感和人类的感知密切相关，根据人类感知的不同，临场感也可相应地划分为视觉临场感、听觉临场感、力觉临场感、触觉临场感、味觉临场感等。由于将临场感的概念以完美的技术实现难度很大，如果过分追求各种感觉的临场感，将会导致耗巨资而得不到实用系统或开发出对任务和操作者是无用的技术。我们认为临场感的研究应把握住如下方向：即临场感是提高遥控机器人在未知环境下作业能力的手段，而不是目的。正是基于这一方向，美、日等国在临场感技术基础研究中，主要开发和机器人遥控作业

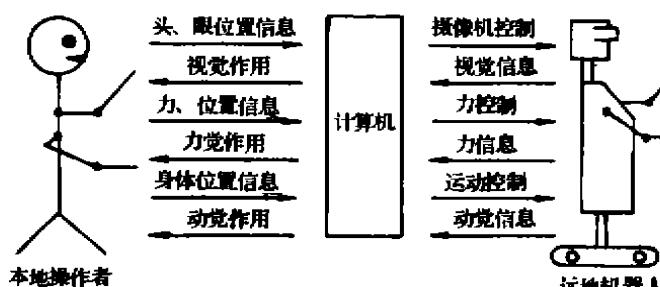


图 1 临场感概念示意图

《电气自动化》1996 年第 2 期

密切相关的视觉临场感、力觉临场感和虚拟环境技术，并从理论上解决通讯时延造成的影响。

三、视觉临场感的进展

视觉临场感是临场感最主要的方式，视觉临场感的重要性已被广泛承认并投入很多人力物力去研究。早在六十年代初，由于遥控作业的需要，美国阿波罗实验室着手研制了主从式立体电视，具有初步的视觉临场感的效果。它通过检测操作者头部在上下和左右两个方向上的偏转角度，控制远地机器人的工作现场的两台摄像机的角度和方向，摄像机上装有偏振片，操作者戴上偏振眼镜就可观察到立体显示图像，操作者转动头部就可改变显示的目标，从而实现“所看即所见”的效果。

八十年代中后期，临场感技术受到重视，不少研究者相继发展了表现三维视觉空间的技术，如动态变焦镜和头盔显示器（1986）。其中最有代表性的是日本Tachi研制的头盔式显示器。头盔式显示器戴在操作者头部，它可以检测出操作者头部和眼球的转动角度，从而控制远地机器人的视觉系统，调整摄像机的焦距和角度，反馈的视频信号通过头盔上的双CRT显示装置，将两幅不同角度获取的同一目标的图像显示给操作者的双眼，则可达到临场感的目的（如图2所示）。

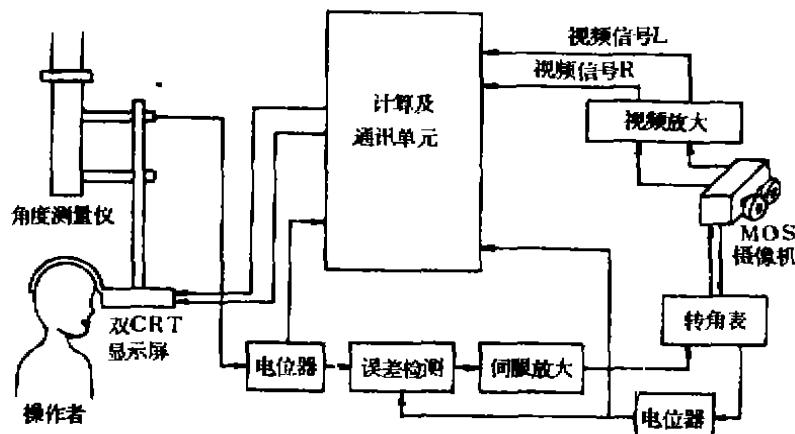


图2 视觉临场感装置

四、力觉临场感的进展

力觉临场感也是临场感的主要形式之一，在遥控机器人同环境发生力的相互作用过程中，力觉临场感是必不可少的感知因素。

六十年代末，应遥控作业之需，出现了外骨架装置（exoskeleton），它可以穿在操作者的手臂部，使操作者获得现场的直接接触感，典型样品由美国GE公司设计。这种装置作为主从式遥控机器人的上手装置，由于结构庞大，体积重，力反馈位置偏差大而限制了它的应用。

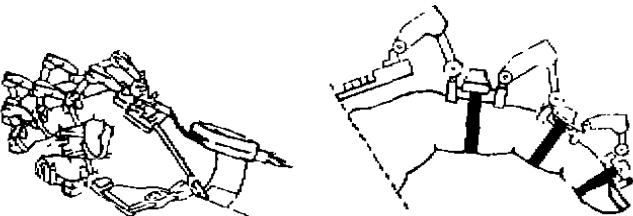


图3 Hand Master 的结构

八十年代中期，针对遥控机器人力觉临场感的需要，人们研制了手套式的人机接口装置，目前已有三种商品化的人手跟踪器。（1）VPL Data Glove；（2）Dexterous Hand Master；（3）Mattel's Power Glove。Data Glove 利用光纤传感器测量手指的弯曲，而人手在空间的位姿则由三维磁场传感器检测。Hand Master 使用复杂的骨架固定在手背上，其结构较复杂，但测量精度较高，其结构如图3所示，软带与衬垫把联杆机构固定在指关节的中点，每个关节上装有小巧的磁霍尔传感器测量转角。手部位姿的测量方法与 Data Glove 相同。

Power Glove 使用扁平的塑料应变计作为手指弯曲敏感元件，根据导电塑料电阻的变化测手指弯曲角度，手部的位姿则通过超声传感器检测。

具有力觉临场感的手套式人机接口，不仅要检测手指和手的位置和运动，而且要把远地机器人手爪同环境的接触力反馈信息作用于人手，这几种手套式人机接口，一般都采用了在手指关节中安装上微型气缸，用气泵向气缸内实时送入空气，气缸最大可产生1磅的力，当机器人手部碰到外部环境中的物体时，气缸内充气使手指受力，操作者便能感到好象真的碰到了物体。

五、通讯时延与虚拟环境技术

具有初步临场感的主从式遥控机器人系统以其灵活性和实用性而开始在太空活动、海洋探险方面得到广泛应用。工作在空间轨道上的遥控机器人同地面工作站之间的通讯时延已达3秒之多，无绳水下遥控机器人以声波方式同母船通讯，其通讯时

延由几秒可到近十秒,这样大的通讯时延严重影响了主从式遥控机器人系统的工作性能:(1)造成了系统的不稳定;(2)降低了临场感的效果。

Anderson 和 Spong(1988)采用电路二端口网络的方法分析了系统不稳定的原因,得出如下结论:(1)主从机器人之间的通讯时延造成了通讯线的有源性,从而导致系统的不稳定。(2)存在时延的遥控机器人系统实现稳定的作业,不是不可能的,关键的思想在于对通讯环节加控制,使它具有无源传输线的性质。尔后的工作使得这一思想充满了希望,Anderson(1989)利用散射算子理论,提出了一套保证通讯环节无源性的控制算法,Niemeyer(1991)利用功率波变量理论提出了相类似的一套无源控制算法,保证系统在时延下的稳定性。Hannaford(1993)对上述的几种无源控制算法,构造了实验系统进行了研究,结果表明:几种无源控制算法都能保证系统在时延下的稳定性,但这种稳定性的取得是牺牲系统的临场感品质为代价的。Hannaford 指出今后的研究当从稳定性和临场感两个方面同时考虑来消除通讯时延造成的影响,否则的话,没有操作者正确的感知,就没有操作者正确的决策,稳定性也就失去了意义。

无源控制算法主要是针对力觉临场感受到时延的影响,由于时延影响了所有的反馈和前馈信息的实时性,特别是视觉信息的滞后会造成操作者的决策失误,目前比较有效的手段是建立远地机器人和环境的预测模型,提供一个具有实时性的虚拟环境给操作者。美国 NASA 的 KMS 实验室(1991)针对空间作业遥控机器人的通讯时延问题,研制了遥控机器人环境模拟器 GLETS (the Global-local Environment Telerobotics simulator),GLETS 使操作者置身于一个实时的、交互式的、视觉可调的远距遥控机器人工作点的虚拟人工环境中,GLETS 具有以下功能:

1. 模拟远地机器人和工作现场环境。
2. 用远地视觉传感器的信息反馈不断地修正虚拟环境的模型。
3. 采用具有力觉、触觉临场感的手套式人机接口和声音控制接口来操纵虚拟环境的机器人,同时此控制指令也作用于远地的真实的机器人。
4. 提供了一个灵活的、目标定向的软件结构,其中包括了机器人大学的基本动力学方程,这使得软件能被重复使用,能够扩展,具有可靠性和轻便性。

德国空间试验室 DLR 针对空间机器人研究建立了试验装置 ROTEX(1993),目的在于验证这种基于多

传感器反馈的虚拟环境和操作者最佳感知及交互控制的新概念。

类似的工作在其它国家中也开始实行,加拿大空间组织 CSA 设计了空间移动机器人系统 MSC 以克服通讯时延的影响;日本的“ETS-T”规划采用监控和部分自主的合成控制思想设计用于空间设备维护的遥控机器人系统。

六、我国的研究情况

由于临场感机器人技术的重要性,我国“863”计划中,智能机器人主题已将临场感技术及相关的虚拟环境技术列为关键技术进行研究。

1989 年清华大学对军用智能机器人临场感系统进行了理论和实验研究,其研究主要侧重于视觉临场感的原理及实现方法,对信号的通讯方法作了探讨。从 1992 年开始中科院合肥智能机械研究所机器人传感器实验室同东南大学仪器科学与工程系合作,开始从事非视觉临场感的基础理论研究,已经构造了单自由度的主从式遥控机器人实验系统,具有初步的力觉临场感效果,该系统可以模拟远距遥控机器人的通讯时延,研究各种无源控制算法的有效性,以及通讯时延对系统性能的影响。

七、结束语

临场感技术是传感、控制、仿生、信息处理等许多高新技术的综合,它的研究方兴未艾,它的发展对非确定性环境下作业的第三代机器人有非常重要的意义,我们认为目前需要重点解决的问题如下:(1)尽快开发测量人体运动的技术,包括头部、眼球、手臂和指关节等的运动。(2)制造与人类感觉器官功能及尺寸相仿的视、听、触觉传感器的工艺技术。(3)多传感器的信号传输及信号融合技术。(4)由虚拟环境提供的非视觉临场感技术。(5)机器人与环境的相互作用力信息在操作者的感觉区域何处再现的研究。(6)由于空间和结构的限制,操作者周围的多传感器和多感觉反馈元件(如加力元件)如何合理安排的问题。

我国的研究起步晚,另一方面由于资金的限制,应遵循如下的研究原则:(1)密切注意国外最新动向,借鉴成功经验。(2)结合具体作业任务,建立试验床,研制具有实用性力觉临场感系统。(3)在理论上探索在大时延情况下,提高系统稳定性和临场感程度的控制方法。

参 考 文 献

- [1] Jack Wilson, Telepresence-goal or byproduct of remote systems, Int. Conf. on Adv. Rob., 1985 (下转第 8 页)