

文章编号: 1002-0446(2000)06-0514-05

基于虚拟现实的临场感遥控作业系统的研究动向*

陈俊杰 黄惟一 宋爱国

(东南大学仪器科学与工程系 南京 210096)

摘要: 本文阐述了虚拟现实技术在临场感遥控作业系统中的研究和应用背景、状况和内容. 综述了临场感遥控作业虚拟现实系统的最近进展. 重点介绍了它在监控和协作控制、劣质视觉反馈的遥控及具有通信时延的遥控方面的研究动向. 指出临场感遥控作业虚拟现实系统是今后临场感技术研究和发展的主流, 并对我国今后在这方面的研究应遵循的基本原则提出了建议.

关键词: 机器人, 虚拟现实, 临场感, 遥控作业, 人机交互

中图分类号: TP24

文献标识码: B

1 引言

虚拟现实(Virtual Reality, 简称 VR)是利用计算机生成一种逼真的视、听、力、触和动等感觉的虚拟环境,通过各种传感设备使操作者“沉浸”到该环境中,实现操作者和环境直接进行自然交互.它实际是一种全新的人机交互技术.

VR 技术的起源可回溯到 50 年代的美国,而正式提出“Virtual Reality”一词是 80 年代末期美国可视编程语言(VPL-Visual Programming Language)公司的创始人 J. Lanier. 1990 年,在美国达拉斯(Dallas)召开的 Siggaph 国际会议对 VR 进行了专题研讨,并首次确定了 VR 的三大主要技术构成,即实时三维计算机图形生成技术,多传感器交互技术以及高分辨率显示技术,为 VR 的研究奠定了基础并指明了方向.临场感的概念来自于 1965 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.80 年代中期,临场感技术开始受到重视,美国学者称之为“telepresence”,日本学者称之为“tele-existence”.“telepresence”侧重于远地环境在操作者周围的再现,而“tele-existence”侧重于操作者在远地环境中的再现(由类人形机器人实现).

虽然两者的侧重点不同,但其本质和概念是相同的,即将远地从机器人感知到的机器人和环境的交互信息以及环境的信息(包括视觉的、力觉的、触觉的和动觉的等信息),实时地、真实地反馈给操作者,使操作者产生身临其境的感觉,从而有效地感知环境及控制从机器人完成复杂的作业任务.

临场感遥控作业虚拟现实系统实际上就是虚拟现实技术在遥控系统中的典型应用,是虚拟现实技术和临场感技术的完美结合.其主要目的就是创建更加适合的操作环境,以便主端操作者更加有效地感受来自远地实际工作环境中的各种信息,从而更加有效地完成操作任务.就目前的技术水平看,临场感遥控作业虚拟现实系统的实现原理一般可以这样来简单描述:首先

* 基金项目: 国家高技术项目(863-512-980509); 国家自然科学基金项目(69705006); 国家教委博士点基金项目(98028619)

收稿日期: 2000-02-25

在本地计算机上建立远地真实环境和从机械手的 3-D 仿真模型,即虚拟环境和虚拟手模型,然后,操作者一边监视计算机屏幕上虚拟环境和虚拟手,一边操作主机械手运动.其位置及运动指令分别向两处传递:一方面实时地传递给虚拟环境或虚拟手,另一方面经通信环节时延后传递给远地真实环境或从机械手,并分别控制各自的运动.当虚拟环境和虚拟手交互时,其虚拟作用力(包括虚拟触觉等)立即(无时延)实时地反馈到操作者手部.这样操作者就可以产生实时的虚拟的视觉、力觉、触觉和运动觉等临场感.

而远地真实环境和从机械手的交互经通信时延后反馈到本地计算机以修正 3-D 虚拟环境和虚拟手模型.若虚拟环境和虚拟手等效于远地真实环境和从机械手,则操作者实时地操纵虚拟手同虚拟环境交互作用就等效于操作者时延地操纵远地真实的从机械手同环境的交互作用而系统的稳定性及透明性不受到时延的影响.因此,远地从机械手所需完成的作业任务就可由操作者控制虚拟手与虚拟环境的作用来完成.

目前,对临场感遥控作业系统的研究主要分成两条思路.一是通过选择合理的控制算法,控制遥控作业系统主端和从端的力和位置信息,以达到保证系统稳定和优良的操作性能的目的^[1-5],或采用“移动等待”策略;二是采用虚拟现实技术.而后者,从已有的研究成果及它对临场感技术的贡献看,已显示出巨大的潜力.而且,我们认为它将是今后临场感技术研究的主要方向.

2 临场感遥控作业虚拟现实系统的主要研究内容

临场感遥控作业虚拟现实系统研究的主要内容可以概括成如下几个方面:

- 基于计算机图形学的虚拟环境的三维场景的仿真及其自动建模;
- 基于复杂对象物理特性的运动学和动力学建模及可视化仿真;
- 传感器及其交互技术以及多传感器信息融合技术,其中包括人机交互传感器技术和现实环境正确感知的传感器技术;
- 虚拟现实的软、硬仿真平台开发,并使其具有高速、高可靠、轻便及紧凑性;
- 人机交互界面的智能化及自然化,并使系统具有鲁棒性和实用性;
- 高分辨率及高速画面刷新显示技术;
- 基于网络的通信,其中包括通信时延、通信量等问题;
- 对有关人类行为的认识模型的建立.

3 临场感遥控作业虚拟现实系统的研究动向

由于在危险、有害和未知等极端及复杂环境中操作的需要,系统的通信时延与稳定性及透明传输等问题亟需解决.因此,对于基于虚拟现实技术的临场感遥控作业系统的研究,不少国家的学者、投资商及政府部门都给予了极大的关注^[6].基于过去的成果,目前的研究主要突出在以下几个方面.

3.1 监控和协作控制

3.1.1 监控

过去的临场感遥控作业系统仅是一个操作者控制一个单一机器人(或机械手),而现在更为先进的方法是操作者起着监控者的作用.更确切的说,操作者可以利用虚拟现实系统中生动的虚拟图形(虚拟环境)间接地控制远地的从机器人,而远地从机器人(或机械手)可以是一台

亦可以是数台. 在这里 VR 亦可以作为实际发送到远地实际机器人的运动指令的预测器.

法国巴黎机器人实验室(the Laboratoire de Robotique de Paris)的研究人员在单个控制工作站由操作者利用虚拟监控的方法多通道地控制处于法国和日本的远地不同类型的四台从机器人^[1]. 这种多通道的控制使用了相同的控制算法, 其监控方法非常直观、方便. 操作者戴着用来测量其手和手指位置的数据手套, 而通过它又将虚拟环境与虚拟手交互的力反馈信息提供给操作者手指. 根据操作者希望的任务使远地真实环境与从机器人在本地的虚拟环境与虚拟手按照一定的指令运动或交互, 其任务指令又发到远地的各个从机器人, 而远地从机器人按照其本身的传感信息去执行相应的任务.

在这方面的研究工作还有美国加州大学伯克利分校(the University of California, Berkeley)的 Blackman 和 Stark 研究了基于虚拟环境和虚拟手建模的监控方法^[8]. 他们在操作者端和远地从机器人和环境端的两台工作站上运行从机器人各个局部任务目标的一列“任务指令序列原文件(Task Sequence Script)”, 达到其监控目的. 实验表明, 其基于模型的监控系统优于过去的手控系统, 其意义主要在于减少了远地机器人与环境不必要的碰撞次数. 而美国喷气发动机实验(Jet Propulsion Laboratory)的 Backes 及其同事利用这种监控方法研究了远地从机器人轨迹的遥控^[9]. 操作者利用虚拟环境中的 3-D 图形来确定远地从机器人的运动方向和路径. 其方法直观、易于理解, 对完成各种不同类型的任务, 操作者没有疲劳感.

3.1.2 协作控制

利用虚拟手的监控遥控方法也可以使用在由处于不同地理位置的数个操作者协作控制单台机器人.

美国宾夕法尼亚大学(Pennsylvania University)的 Cannon 和 Thomas 与圣达国家实验室(Sandia National Laboratory)的 McDonald 及其同事做了这方面的研究工作^[10]. 参与协作控制的每一位监控者都戴着数据手套, 用来控制一套从远地环境和机器人及反馈回来的可视共享“虚拟工具(Virtual Tools)”. 当代表远地环境的机械手的“虚拟工具”从一处移动到另处的时候, 相应的机器人的轨迹则自动生成. 而且, 由一个监控者控制的“虚拟工具”的运动立刻在所有控制工作站重新产生. 因此, 参与协作控制的所有监控者(包括其它领域的专家)就可以据此作出相应决策并协调后取得操作共识, 而最后由最初的监控者发出协作控制指令给远地的机器人执行相应的任务. 这项研究在核辐射场地清理机器人遥控系统中作了试验. 结果表明其设备的利用率(机器人运动时间与整个任务执行时间的比)是未采用协作控制时的两倍. 而且, 在执行复杂任务时的决策能力, 协作控制策略较单一的操作者手控系统有更大的潜力.

此外, 利用 Internet 网作为通讯链用于机器人的协作控制也得到许多国家研究者的广泛关注并给予了极大的兴趣^[11,12].

3.2 劣质视觉反馈的遥控

在实际应用中, 无论是单一操作者的手控系统还是监控和协作控制系统都会由于远地环境和机器人劣质的或缺少视觉而使反馈信息匮乏(如在深海、烟雾环境或视觉受限的场合等). 在这样的情况下, 远地从机器人执行相应的任务则需要花费更长的时间或完全不可能完成任务. 因而, 这个问题一直是研究者致力解决的, 而对虚拟现实临场感遥控作业系统则显得更为重要.

目前, 美国、日本和英国等都在致力于上述方面的研究. 其中较为典型的是日本国际贸易部(MITI)的 Qyama 及其同事研究了一个辅助 VR 遥控系统, 用于解决上述问题^[13]. 操作者控

制运动学特征上等价远地 6 自由度从机器人的主机械臂. 立体摄像机安装在远地从机器人处, 所提供的视觉反馈在机械臂工作站或在操作者的立体头盔显示器(HMD)上显示, 并在其上产生从机器人及其环境的 3-D 虚拟模型, 则在远地操作现场劣质视觉反馈的情况下也能利用主机械臂对虚拟从手进行较好地遥作. 但成功的关键是在虚拟环境和远地的真实环境之间能够对这种 3-D 模型精确标定. 研究人员通过选择真实环境和虚拟环境的对应点利用最小二乘法做了相应的标定工作. 实验结果表明其标定误差在与摄像机视线平行方向上最大为 3cm. 在这样的误差情况下, 从机器人可以完成一般精度的任务, 如旋动管道上的手柄以阻止烟雾的泄漏等. 如果需要完成更为精确的任务, 则需要更好的标定方法. 在这方面, W. Kim 向我们提出了一个较好的解决方案^[14]. 其主要思路一是使用四个摄像机获得远地操作现场的数据, 二是用更精确的非线性方法推广最小二乘标定方法. 在完成空间修理任务中, 其标定误差仅 1cm.

3.3 具有通信时延的遥作

通信时延是临场感遥控作业系统的重要因素. 遥控作业系统中由于时延的存在会造成系统的不稳定并使其操作性能下降, 因此, 它一直是研究者致力解决的问题.

专家们普遍认为, 运用虚拟现实技术解决临场感遥控作业系统中时延是十分有效的手段. 这方面以往研究焦点的一个主要方面是集中在虚拟环境和虚拟手的几何学、动力学和运动学建模以及消除建模误差上. 当然, 这也是目前及今后研究的重要方面. 但这有两个不足: 一是以往的虚拟模型与真实环境和机器人的各种特性相比过于简化了, 今后在方面还要做大量的工作; 二是对于非结构化环境则无法精确建模. 针对第二个问题, 美国斯坦福大学(Stanford University)的 Rosenberg 提出了所谓“虚拟夹具(Virtual Fixtures)”的方法^[15], 不需要对环境建立虚拟模型则可以解决遥作系统的时延及力反馈问题. 这些“虚拟夹具”是一些加在远地工作空间各端面的抽象的传感器数据, 并且仅与操作者交互. 它们可以与远地工作空间的被操作对象那样占据同样的物理空间, 而又没有几何上或物理上的约束. 后来, Rosenberg 又把“虚拟夹具”用来提高“插销入孔”遥控任务的性能. 他把可塑性“夹具板”置于戴有头盔式显示器(HMD)的操作者的前面. 操作者的位置输入由外骨架装置给定, 而当与“虚拟板(不可视)”交互时, 操作者就会感觉到反馈力. 降低的操作性能用时延下增加的运动时间(相对于无时延时)的百分率来度量. 结果表明, 当不使用“虚拟夹具”且时延是 450ms 时, 运动时间增加 45%. 而“虚拟夹具”却提供了有效的控制(定位), 使其定位误差减少到大约 3%.

4 我国的研究现状

由于临场感技术在许多领域的重要性, 我国 863 高技术计划中, 智能机器人主题已将临场感技术及相关的虚拟现实技术列为关键技术进行研究. 因此, 近年来, 我国逐渐开展了对临场感遥控作业虚拟现实系统的研究. 清华大学智能技术及系统国家重点实验室这几年来在这方面做了相关的研究工作, 研究了视觉遥现技术, 开发了一套“视觉临场感环境(VTE-Vision Telepresence Environment).”上海交通大学和哈尔滨工业大学等院所近几年来在这方面也有相应的研究报道. 东南大学自 1992 年开始从事国家 863 高技术计划中的非视觉临场感的理论及实验方面的研究工作以来, 也开展了临场感遥控作业虚拟现实系统的理论和实验研究, 构造了其初步的实验装置, 并先后多次作了研究成果报道.

5 结束语

临场感遥控作业虚拟现实技术是一种全新的人机交互技术,它涉及人工智能、计算机图形学、人机工程学、认知科学、仿生学、多媒体技术、传感技术、控制技术、信息处理技术、机电工程及网络技术等多学科领域。它的发展对临场感技术以至于非确定性环境下作业的第三代机器人有着非常重要的意义,而且,笔者认为,它是今后临场感技术发展的主流。因此,今后我们的研究应考虑在这方面给予更大的关注和投入。由于研究经费的限制,我们可以遵循这样的原则:(1)密切注意国外最新研究动向,借鉴成功经验;(2)理论上大量探索并建立其较为完善的研究体系;(3)结合具体的遥控操作任务,建立物理性实验装置;(4)视觉虚拟现实和力觉虚拟现实的研究应同时并举,并使系统具有较高的实用性和鲁棒性。

参 考 文 献

- 1 Anderson R J, Spong M W. Bilateral Control of Teleoperators with Time Delay. Proc Of IEEE Int Conf on Rob and Auto, 1988: 131- 173
- 2 Niemeyer G, Slotine J J. Stable Adaptive Teleoperation. IEEE J of Oceanic Engineering, 1991, 16(1): 152- 163
- 3 Lee S, Lee H S. Modeling Design, and Evaluation of Advanced Teleoperator Control System with Short Time Delay. IEEE Trans on Rob and Auto, 1993, 9(5): 607- 623
- 4 Kim W S, Hannaford B, Bejezy A K. Force-reflection and Shared Compliant Control in Operating Telem anipulators w ith Time Delay. IEEE Trans on Rob and Auto, 1992, 8(2): 176- 185
- 5 宋爱国, 黄惟一. 空间遥控作业系统的自适应无源控制. 宇航学报, 1997, 18(3): 26- 32
- 6 Burdea G C. Invited Review: The Synergy Between Virtual Reality and Robotics. IEEE Trans. on Rob. and Auto, 1999, 15(3): 400- 410
- 7 Kheddar A, Tzafestas C, Coiffet P, Kotoku T, Kawabata S, Inamoto K, Tanie K, Mazon I, Langier C, Chellali R. Parallel Multirobot Long Distance Teleoperation Proc ICAR 97, Monterey CA, 1997: 1007- 1012
- 8 Blackmon T, Stak L. Model-based Supervisory Control in Telerobotics. Presence-Telep, Virtual Environ, 1996, 5(2): 205- 223
- 9 Backes P, Peter S, Phan L, Tso K. Task Lines and Motion Guides. Proc 1996 IEEE Int Conf Robot Automat, Minneapolis MN, 1996: 50- 57
- 10 Cannon D, Thomas G. Virtual Tools for Supervisory and Collaborative Control of Robots Presence-Teleop. Virtual Environ, 1997, 6(1): 1- 28
- 11 Paulos E, Canny J. Delivering Real Reality to the World Wide Web Via Telerobotics. Proc IEEE Int Conf Robot Automat. Minneapolis MN, Apr, 1996: 1694- 1699
- 12 Roberto oboe and Paelo Fiorini. A Design and Control Environment for Internet-based telerobotics. The International Journal of Robotics Research, April 1998: 433- 449
- 13 Oyama E, Tsunemoto N, Tachi S, Inoue Y. Experimental Study on Remote Manipulation Using Virtual Reality. Presence-Teleop Virtual Environ., 1993, 2(2): 112- 124
- 14 Kim W. Virtual Reality Calibration and Preview/predictive Display for Telerobotics. Presence-Teleop. Virtual Environ, 1996, 5(2): 173- 190
- 15 Rosenbeg L. The Use of Virtual Fixture to Enhance Telem anipulation w ith Time delay. Proc ASME WAM, 1993, 49: 29 - 36

(下转第 526 页)