

基于虚拟监控技术的机器人系统

赵晓光¹ 徐 德¹ 谭 民¹

(1 中国科学院自动化研究所, 北京市中关村东路 95 号, 100080)

摘 要: 介绍了一种虚拟现实技术(VR)与智能机器人监控技术协同作业的机器人系统, 该系统使用虚拟现实技术建造具有良好交互性的人机界面, 并且结合智能机器人监控技术, 实现了虚拟监控操作。通过机器人系统, 将虚拟操作结果作为一个整体对象投射到工作现场, 完成了实际作业, 并以水下机器人检查钻井平台水下部分的焊缝工作为背景, 说明了本系统各种功能的实现过程。

关键词: 虚拟现实; 虚拟监控; 投射式虚拟现实; 监控技术

中图法分类号: TP391; TP24

近十年来, 随着计算机软、硬件技术的飞速发展, 虚拟现实技术(virtual reality, VR)取得了卓越的成就, 并被广泛应用在实际系统中。虚拟现实的主要特点有交互性、沉浸感和想像力。这些特性有利于提高机器人系统的操作能力, 在机器人领域, 虚拟现实技术主要用在遥操作系统、仿真试验系统和人机交互系统中, 许多研究者正在从事这些方面的研究工作。Yrivedi^[1]等研究了应用虚拟现实的概念, 将机器人操作系统集成, 使用实时仿真、可视化技术生成高级的、灵活的、集成的用户界面, 讨论了开发一种试验环境的可能性。在该试验环境中, 对虚拟世界和真实世界中的操作都可以进行试验。Nelson 等^[2]使用分立传感器模型, 在虚拟环境中描述并验证了一种遥操作机器人的框架模型, 该框架在虚拟环境中实时动态更新物体模型, 来模拟真实世界的特性。Kosuge 等^[3]提出一种空间遥控机器人的控制方法, 此方法基于虚拟工具, 半自动地设定任务方向, 并且使用这种思想设计了一个空间机器人控制器。Yoshikawa 等^[4]给出了一种通过与动力学模型结合建造虚拟模型的方法。Popa 等^[5]为医学穿刺开发了一个虚拟环境, 在这个环境中, 当训练者把持专用手柄进行练习时, 会感受到刺入真实人体组织的力感。Tsumaki 等^[6]基于最优接近速度和虚拟现实概念, 提出了预测显示和提高建模误差鲁棒性的技术。Freund 等^[7]给出了几年来在遥操作领域研究的一些结果, 提出“投射式虚拟现

实”(projective virtual reality, P-VR)概念。Burdea^[8]回顾了将虚拟现实技术与机器人技术结合的益处, 认为机器人技术与虚拟现实技术的协同将会成为今后几年的研究方向。

在机器人研究领域, 水下机器人是目前研究的重点之一。尤其随着海洋石油工业的发展, 采油逐渐向深海发展, 以至于需要在潜水员难以到达或不能到达的深度下工作, 亟需研制一种能够代替潜水员工作的水下机器人。本文研究的水下机器人系统, 就是以水下采油平台导管架焊缝检测为背景, 机器人由移动潜器和安装在其上的机械手组成, 机器人的基本任务是携带检测仪器到达平台导管架的连接处, 并且由机械手把持检测仪器的探头, 沿着导管的焊缝移动, 检查焊缝被海水侵蚀和损坏的程度, 检测结果将作为工作人员维护和检修的基本依据。

本文研究的水下机器人是一种无缆 ROV (remotely operated vehicles), 这种机器人在水下不受缆绳的干扰和限制, 活动范围大, 灵活性高, 便于携带小型机械手潜入较深的水中, 由载体的运动弥补机械手工作空间的不足。为了观察和指导水下机器人及机械手的操作, 机器人往往带有水下摄像机, 跟踪机械手的运动, 操作员通过观察摄像图像操作机器人。然而, 当海水的能见度很低时, 如机器人在靠近海底运动时, 潜器的推进装置会掀起大量的泥沙, 使海水的能见度几乎为零, 摄像机不能正常工作, 此时可以采用声纳装置协

助工作。使用声纳成像装置能够探测到水下物体的位置、形状,但处理速度较慢,不适合实时控制的要求。即便在能见度较高的海水中,水下摄像的有效范围一般也只有2m左右,不能在大范围内观察周围环境。摄像机的位置是固定的,视角较小,不能灵活地转换视点,这些限制都会影响机器人的操作效率和作业精度。为了克服这些困难,许多研究者进行了卓有成效的研究。Otsuo等研制了一种高敏感度水下彩色摄像机,能够观察10m范围内广阔水域中的情况^[9];Zheng等提出一种新的3D激光图像显示方法,使用载有距离信息的不同频率的信号来显示3D图像^[10]。但是这些方法的性能仍依赖于可见度。Lin等应用虚拟遥控操作方式为ROV导航^[11],文中研究的虚拟建模和图像显示方法适用于水下机械手虚拟监控。Gracanin等研究了基于虚拟环境的水下机器人的导航和控制方法^[12]。这些研究成果说明了虚拟现实技术应用于水下机器人的可行性及其广阔的发展前景。

1 虚拟监控

虚拟监控(virtual supervisory control, VSC)是将虚拟现实技术和智能机器人的监控思想结合而成的。在机器人的研究与应用中,一个重要的工作是不断结合新技术来提高机器人系统的操作能力并减轻人类操作员的劳动,监控技术的应用就是这类工作的完美体现。通过融合人机智能,人类在高层级上完成决策任务工作,机器人在低层级上自治完成作业,只在必要的时候,人类操作员才介入到低层级中,干预机器人的操作。20世纪80年代以来,计算机技术的发展为机器人智能监控提供了强大的技术支持,智能监控技术得到了广泛应用,大大促进了机器人技术的发展。

1990年后,虚拟现实技术在机器人领域的应用为智能监控提供了新的技术手段。虚拟监控的涵义是在智能监控的基础上,结合虚拟现实技术,发展交互性更强、能更好地融合人机智能,实现智能监控的人机接口或人机界面系统。在虚拟监控系统中,采用虚拟现实技术为人类操作员提供机器人工作现场的各种信息,尤其是当机器人处于人类不能或不宜到达的有害、危险环境中时,如太空、深海、核辐射环境等,为远地操作员提供大视角、多方位的视觉信息;根据各种传感器得到的工作现场情况,由监控技术生成实际仿真信息,将这些信息以可视化形式传达给操作员,以利于操作

员快速、准确地作出决策,提高工作效率,减少错误操作。

2 投射式虚拟现实

经过十几年的研究和实践,虚拟现实技术与机器人技术的结合使虚拟现实技术向可操作方向发展,“投射式虚拟现实”概念的提出,为机器人技术提出了又一研究方向。投射式虚拟现实是研究如何将虚拟现实世界中对虚拟对象的操作在真实世界中得以实现。从这个意义上讲,投射的概念是双向的,首先是虚拟现实对象要反映真实世界中的情况,即建立起一个虚拟的工作环境和虚拟操作对象,并且产生对虚拟对象的操作,然后通过机器人系统向真实世界中投射虚拟操作,而不是投射虚拟环境和虚拟操作对象。为了实现投射操作,建立的虚拟环境和虚拟操作对象要与真实环境相符合,并且能够根据真实环境和对象的改变而更新,因此,需要综合多种传感器信息,不断修正虚拟环境模型、虚拟操作对象模型和真实环境之间的偏差,修正虚拟操作与真实机器人操作之间的偏差,以便提高投射操作的精度。

3 投射式虚拟监控水下机器人系统

为了检验投射式虚拟监控机器人系统,笔者设计并建造了一个基于水下机器人的投射式虚拟监控系统(projective virtual supervisory for underwater robot, PVSUR)。该系统融合了多种传感器信息,采用虚拟现实技术建立可视化人机操作界面,支持多种输入设备,结合机器人监控技术和P-V R思想,为操作员提供真实现场信息,并且提供复杂操作前的仿真操作,减小投射操作的误差,同时提高操作安全性。

3.1 系统结构

PVSUR系统的结构如图1所示,该系统由水下机器人系统、视觉VR系统和监控系统3部分组成。水下机器人系统由移动潜器和安装在其前端的一台5自由度机械手构成。机械手的5个关节都为旋转关节,分别装有角度测量传感器;手末端装有一个探针结构,附带一个一维力传感器;机座处装有两部水下摄像机,构成3D视觉,用来观察周围环境和机械手的作业情况。视觉VR系统中视觉处理单元处理摄像机信息,根据周围环境信息定位机器人,并在机械手作业过程中提供实时视觉信息。虚拟图形处理单元根据已知的环

境信息和机器人的结构信息, 首先要在系统中建立一个虚拟模型, 它包括与真实环境相近的虚拟环境和与真实机器人结构相同的虚拟机械手, 执行操作时系统搜集传感器信息, 更新事先建立的虚拟模型, 提供可视图形界面。监控系统提供人机交互界面, 完成人机智能的融合与工作任务的合理分配, 可以将监控指令发送到虚拟图形处理

单元, 实现虚拟监控或执行任务前的仿真操作。监控系统亦可接受虚拟图形处理单元返回的虚拟监控结果和仿真结果, 将其投射到水下环境中。

3.2 系统功能实现

水下机器人的任务是跟踪检查水下钻井平台导管架焊缝, PVSUR 系统的功能实现过程如下。

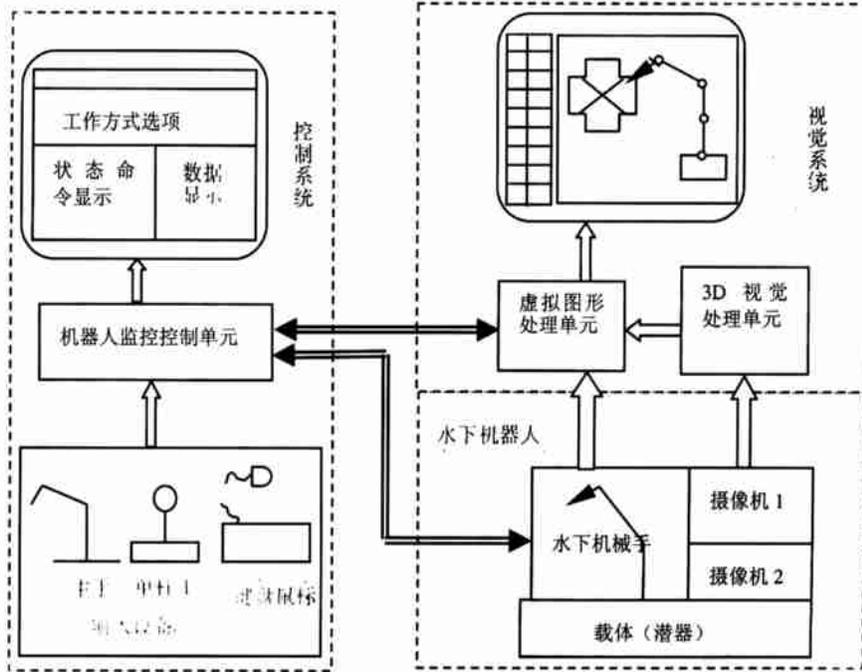


图 1 投射式监控虚拟水下机器人结构示意图

Fig.1 Structure of the P-V R Underwater Robot System

1) 机器人定位。机器人下水后, 首先由视觉系统根据焊缝的空间位置为机器人定位, 将潜器定位在适当的位置, 使焊缝的一部分进入机械手的工作空间中, 然后固定潜器, 进入焊缝检查阶段。定位过程中, 可视的虚拟图形界面根据潜器上传感器的反馈信息, 给操作者提供机器人当前的方位显示, 操作员可通过此图形界面信息引导潜器向目标点靠近, 实现虚拟导航功能。

2) 虚拟监控。潜器固定后, 通过鼠标、键盘、操纵杆等输入设备操作机械手, 使机械手末端到达焊缝上的某点, 图 2 为监控过程中的人机操作界面。人机操作界面采用全中文窗口显示, 整个界面分为任务规划区、数据显示区和信息提示区。任务规划区由 9 个按钮和两个提示信号组成, 按钮分别为“展开手臂”、“检查”、“维修”、“调整”、“仿真”、“运行”、“其他”和“退出”, 两个提示信号为运行指示和工作状态指示; 数据显示区以 1s 的刷新速率显示机器人所携带的机械手的关节值、机械手末端的空间位置, 并以滑动块直观地给出关节角度, 显示网络通讯和串行通讯的信息; 信息

提示区以固定窗口或对话框形式提示警告信息、错误信息、系统信息及工作状态信息。

在这个过程中, 为了防止机器人(移动潜器)定位不当而导致机械手碰撞, 可以启用图形仿真功能, 对当前情况进行仿真, 根据仿真结果修正机器人方位。将机器人和机械手定位后, 启动虚拟监控功能, 在虚拟图形界面上实现监控作业的全部功能。在虚拟监控过程中, 可以验证控制算法, 测试监控系统功能, 分析机械手末端跟踪焊缝的误差, 根据这些试验结果, 进行必要的修正, 以提高系统的精度和保证操作的安全性。图 3 为机器人正在跟踪检查焊缝的虚拟监控界面。

3) 投射虚拟操作。虚拟监控操作得到满意的结果后, 进入投射操作, 将虚拟监控结果向真实环境中投射。在投射操作中, 虚拟图形处理单元根据实际机器人传感器信息, 更新图形界面, 摄像机的实时图像作为视觉传感器信息, 辅助操作员观察工作现场的情况, 监控系统允许操作员随时介入, 干预投射过程。投射操作将虚拟操作转化为真实作业。



图2 监控系统人-机操作界面

Fig. 2 Human-Machine Interface of Supervisory System

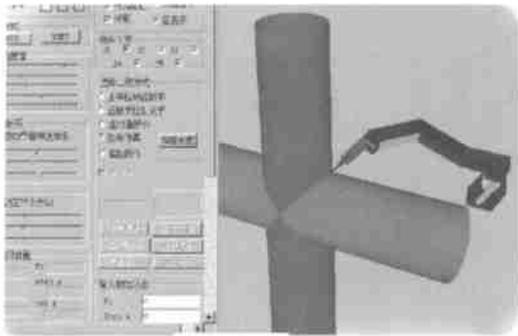


图3 虚拟监控视觉界面

Fig. 3 Visual Interface of the Virtual Supervisory

从上述系统功能的实现过程看出, 投射式虚拟监控系统既是一个虚拟仿真平台, 可以用来进行机器人系统的仿真试验, 同时又可以支持多个输入设备, 作为操作员的训练平台, 特别是投射功能的实现, 使该系统具备了操作真实世界的的能力, 能够应用到更广泛的领域中。图4为仿真平台的实物图。



图4 仿真平台实物图

Fig. 4 Simulation Test-Bed

4 结 语

虚拟现实技术与智能机器人监控技术协同作业的机器人系统的突出特点是, 既可作为人类操作员的训练平台, 提供逼真的现场操作感觉, 又是一个仿真平台, 可以根据机器人工作现场的实际情况, 进行仿真试验, 还是一个功能多样的智能机器人操作平台, 可以实施实际作业。这种投射式系统通过机器人赋予虚拟现实操作能力, 为虚拟现实技术更广泛、更具实效地应用在机器人领域作了有益的研究。

参 考 文 献

- 1 Yrivedi M M, Chen C X. Developing Tele-robotics System Using Virtual Reality Concepts. The 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Yokohama, Japan, 1993
- 2 Nelson B J, Khosla P K. Integrating Force and Vision Feedback Within Virtual Reality Environment for Telerobotic Systems. The 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Albuquerque, New Mexico, 1997
- 3 Kosuge K, Itoh T, Fukuda T, et al. Scaled Telemanipulation System Using Semi-autonomous. The 1995 IEEE/RS International Conference on Intelligent Robots and Systems 1995
- 4 Yoshikawa T, Ueda H. Construction of Virtual World Using Dynamics Modules and Interaction Modules. The 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation Minneapolis Minnesota, 1996
- 5 Popa D O, Singh S K. Creating Realistic Force Sensations in a Virtual Environment: Experimental System, Fundamental Issues and Results. The 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation Leuven, Belgium, 1998
- 6 Tsumaki Y, Uchiyama M. Predictive Display of Virtual Beam for Space Teleoperation. The Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems Osaka, Japan, 1996
- 7 Freund E, Rossmann J. Projective Virtual Reality: Bridging the Gap between Virtual Reality and Robotics. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1999, 15(3): 411~422
- 8 Burdea G C. Invited Review: The Synergy Between Virtual Reality and Robotics. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1999, 15(3): 400~410
- 9 Otsuo U K. Development and Sea-Trial of Ultra-High Sensitive Underwater Color Video Camera. Intervention/ROV'92 San Diego, CA USA, 1992

10 Zheng G, Zheng B. A New Laser 3D Image Information Display Method for ROV. Intervention/ ROV' 92, San Diego, CA USA, 1992. 183 ~ 188

11 Lin Q P, Kuo C G. Virtual Tele-Operation of Underwater Robots. The 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation Albuquerque, New Mexico, 1997

12 Gracanin D, Pvalavanis K, Tsourveloudis N C, et al. Virtual-Environment-Based Navigation and Control of Un-

derwater Vehicles. IEEE Robotics & Automation Magazine, 1999. 53 ~ 62

13 Tsumaki Y, Uchiyama M. A Model-Based Space Teleoperation System with Robustness against Modeling Errors. The 1997 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation Albuquerque, New Mexico, 1997

第一作者简介: 赵晓光, 博士, 博士后。现主要从事机器人控制、机器人视觉、智能控制、虚拟现实和遥操作等方向的研究工作。
E-mail: z. zyg@163. com

A Robot System Based on Virtual Supervisory

ZHAO Xiaoguang¹ XU De¹ TAN Min¹

(1 Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, 95 East Zhongguancun Road, Beijing, China, 100080)

Abstract: This paper introduces a robot system with the synergy between virtual reality (VR) and intelligent supervisory robotics. In the system, the human-computer interface that has better interaction is built by VR and the virtual supervisory operation is achieved through combining with intelligent robotic. The result of virtual supervisory operation is acted as the whole object to project to the reality world and to complete the task. There are three features in the proposed system: (1) It is a training platform for human operator to give a reality tele-present sense; (2) It is a test-bed for simulating the local status of robot; (3) It is a multi functions platform of intelligent robot to achieve reality operation. In the paper, checking the welding of sea oil pipes is employed to illuminate the functions of the proposed robot system.

Key words: virtual reality; virtual supervisor; projective VR; supervisory control

About the first author: ZHAO Xiaoguang, Ph. D, post-doctoral fellow. Her research interests include robot control, intelligent control, robot vision virtual reality and tele-operation.
E-mail: z. zyg@163. com

《武汉大学学报·信息科学版》编辑委员会

名誉主任: 宁津生

主任: 李德仁

委员: 毋河海 王新洲 刘 甬 刘经南 刘耀林 朱元泓 朱灼文
仲思东 张正禄 张祖勋 苏光奎 杜清运 杜道生 李建成
李清泉 郑肇葆 柳建乔 晁定波 龚健雅 舒 宁 詹庆明

主 编: 李德仁(兼)

副 主 编: 柳建乔(常务)