

具有触觉视觉临场感的遥操作机器人

祝 金¹, 高发荣², 席旭刚²

(1. 鸿泰精密工业(杭州)有限公司, 浙江 杭州 310018;

2. 杭州电子科技大学 智能控制与机器人研究所, 浙江 杭州 310018)

摘 要:为有效控制机器人完成复杂、精巧的任务,提高机器人在非确定环境下的作业效率,提出了一种具有触觉和视觉临场感功能的遥操作机器人控制新方法。机械手抓握或触摸物体时产生触觉,触觉信号经处理后通过数据手套的震动来刺激操控人员,实现触觉临场感,操控者可根据触觉临场感来掌握自己的手部动作;视觉临场感以视频和 3D 虚拟工作场景的形式再现。实验表明,该方法能有效提高遥操作机器人的操作能力。

关键词:交互式遥操作;机器人触觉;机器人视觉;临场感;虚拟现实

中图分类号: TP242

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2012)05-0050-06

Telerobot with Tactile Visual Telepresence

ZHU Jin¹, GAO Farong², XI Xugang²

(1. Hongtai Precision Industry (Hangzhou) Co. Ltd, Hangzhou, Zhejiang 310018, China;

2. Research Institute of Intelligent Control & Robotics, Hangzhou University of Electronic Science and Technology, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

Abstract: In order to effectively control the robot to complete a complex and delicate task and to improve the operating efficiency of the robot in a non-deterministic environment, a new method for controlling the telerobot with tactile and visual telepresence capabilities was proposed in the paper. When manipulators grip or touch objects, the tactile signal was produced, and the tactile signal after processing by the vibration of the data gloves to stimulate control personnel to achieve haptic telepresence, and then, operators control their own hand movements according to the tactile telepresence. Visual telepresence was reproduced in the form of video and 3D virtual scene. The experiments showed that this method could effectively improve the operation ability of the telerobot.

Key words: interactive teleoperation; robot tactile; robot vision; telepresence; virtual reality

近年来,随着核能技术、空间技术和海洋技术的迅速发展,迫切需要大量在危险或有害环境下工作的机器人。许多人工智能专家和机器人研究者认为^[1-2],目前机器人的研究重点应由全自主式技术转向交互技术,即在研究中重新考虑“人”的地位,将人的智能和机器人的智能有机结合起来,这样的研究更具现实意义。

所谓交互包括人与机器人的交互和机器人与环境的交互^[3],前者的意义在于由人去实现机器人在复杂或非确定环境下难以做到的规划和决策,后者的意义在于由机器人去完成人所不能到达的恶劣环境下的作业任务^[4]。遥操作系统是一个操作者-机器人的共生交互系统,其目的是帮操作者完成对远地环境的遥作(teleoperation)和遥知(teleperception)。其中:遥作是操作者对远地机器人的遥操作,将人的命令或动作传

收稿日期: 2012-04-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(60903084, 61172134); 浙江省自然科学基金项目(Y1090968, Y1111189, Y1101230); 浙江省科技计划项目(2010C33075, 2010C33131)

作者简介: 祝 金(1976—),女,浙江金华人,工程师,从事精密机械加工方法的研究及生产管理。

高发荣(1969—),男,湖北宜昌人,副教授,博士后,主要从事肌体组织耦合动力学、生物信息检测与模式识别方面的研究,本文通信作者。E-mail: frgao@hdu.edu.cn

递给机器人;遥知是通过远端机器人与环境信息交互的反馈,构成遥操作系统的控制回路。

遥知方面,从增强机器人遥操作者的感知和系统对操作者的友好性出发,人们提出了临场感的概念,并将临场感技术作为遥操作系统交互技术的核心。其本质是将机器人感知到的环境信息(包括视觉、触觉、听觉等信息)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,从而有效感知环境及控制机器人完成复杂的作业任务。工作在交互方式下具有临场感的遥操作系统是在危险、复杂或非确定环境下完成作业任务的有效手段。具有触觉传感和反馈的遥控作业系统能有效地增强操作者对远端机械手与物体接触情况的感知,以及被抓握物体的表面物理特征,从而能快速准确地完成作业任务。

目前,遥控作业中视觉临场感技术用得较多,但通过视觉并不能准确地得到现场机械手与环境作用的全部信息,由于机器人手爪通常会间断性地遮挡机器人的视线,因此视觉信息只能在手抓操作之前或者之后出现,而机器人触觉则可以在整个操作过程中实时提供具体的触觉信息如机械手与被抓物体何时开始接触、机械手与物体接触力的大小、甚至接触的形状等。在跟踪抓取、精细操作中,当存在无照明、空间狭窄等视觉障碍时,机器人的触觉能力直接决定着遥控机器人作业系统的操作性能^[5]。

本研究通过触觉临场感和视觉临场感相结合,提出了一种具有触觉和视觉临场感功能的遥操作机器人控制新方法,这种遥操作机器人同时具有触觉临场感和视觉临场感,可以使操作者真实地感受到机器人与被操作物体的触觉和视觉动态相互作用,就如同操作者自己的手在操作物体一样,有助于遥操作机器人在危险或有害的环境下完成复杂精细的作业,提高操作的正确性、准确性和自然性。

1 系统结构

本研究提出的结合触觉临场感和视觉临场感遥操作机器人控制系统结构如图 1 所示。

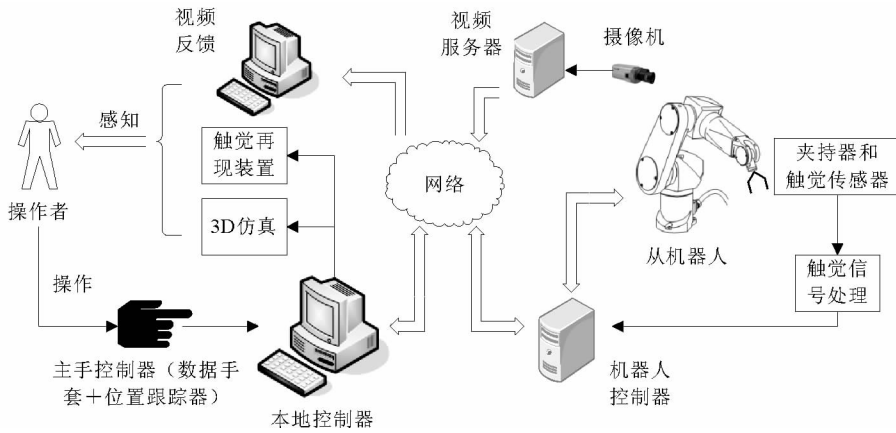


图 1 系统总体结构图

Fig. 1 Overall structural diagram of the system

其工作过程是:操作者在本地直接操作主手控制器(由数据手套和位置跟踪器组成),控制器的位置、姿态和手部运动等操作信息和控制指令通过通信环节传递给远端的从机器人,使从机器人完成与主手相同的运动。机器人在作业过程中通过视觉及手部抓握或触摸物体时的触觉,将现场信息反馈给操控者。视觉信号以视频图像和 3D 虚拟工作场景的形式、触觉信号由触觉再现的方式传达到操控人员,从而实现操控者对机器人的遥控操作及临场感知。

主手控制器由数据手套、位置跟踪器和主手控制计算机构成。数据手套和位置跟踪器构成主手控制器检测人手运动信息,由主手控制计算机提供视觉虚拟场景并向从机器人传送控制指令,使机器人再现人手运动从而实现遥操作。

数据手套的震颤器是系统的触觉再现装置,使操作者具有触觉临场感。数据手套为 CyberGloveSys-

tems 公司的具有触觉反馈的数据手套 CyberTouch^[6], 如图 2 所示。利用该数据手套 5 个手指和手腕上的 18 个传感器能够比较精确地检测各个手指关节和腕关节的角度数据。

位置跟踪器使用 Fastrak 电磁跟踪系统^[7], 由发射器、接收器和处理器组成(图 3), 是 6 个自由度(3 个位置坐标 x, y, z ; 3 个旋转角度 azimuth, elevation, roll)的交流电磁跟踪器。



图 2 数据手套
Fig. 2 Data glove



图 3 位置跟踪器
Fig. 3 Position tracker

2 触觉临场感

安装于机械手上的触觉装置由 4 组手指形的触滑觉一体化传感器组成, 每组传感器的信号经调理电路作简单处理后由数据采集卡采集到计算机, 再由计算机完成信号处理, 并与视觉反馈融合产生感觉信号和驱动机械手抓握电机的力度控制信号, 感觉信号通过数据手套的震动刺激施加于操控者对应的手指, 实现过程如图 4 所示。

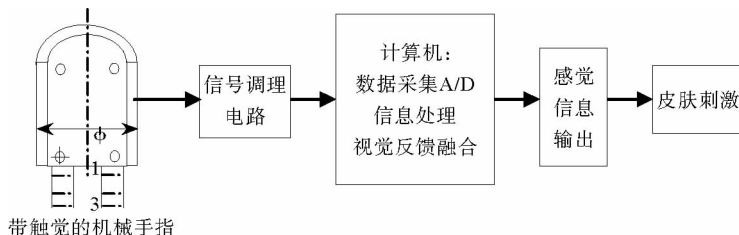


图 4 触觉临场感的实现框图
Fig. 4 The implementation diagram of tactile telepresence

触滑觉复合传感器采用高分子压电材料 PVDF(Poly(vinylidene fluoride))作敏感材料, 厚度约 $30 \sim 50 \mu\text{m}$, 其机械特性类似塑料薄膜。为了制作一体化的触觉手指, 先将敏感材料裁成矩形, 将由薄铜皮制成的电极与之粘合, 用特制模具将其包裹在图 2 所示机械手指的柱面上, 再进行机械固定并引出信号线。当传感器(机械手手指)接触物体, 或被抓物体在其表面滑动时, 传感器输出压电信号, 压电信号送电荷放大器进行放大^[8]。由于触觉、滑觉是一体化的传感器, 它们来自同一个敏感信号源, 究竟在机械手手指上的感觉信号是“接触”还是“滑动”主要取决于两者间的不同特征^[9]。

将数据手套通过主控计算机与触觉传感器和处理电路连接形成触觉临场感系统。当触觉传感器触碰被抓工件时, 由触觉处理电路完成触觉信号处理, 并分别发送到主控计算机和机器人控制器, 控制数据手套震颤器振动和机械手运动停止。如果有滑动发生, 滑动信号同样控制震颤器完成对操作者手部的振动刺激, 接触和滑动的区分通过不同的振动频度和手指组合来实现。

3 视觉临场感

3D 虚拟工作场景与所安装的视频监控系统相结合,让操作者具有视觉临场感,控制机器人完成复杂、精巧的工作,协助操作者更好地完成预定的作业任务。

3D 虚拟工作场景模块采用 OpenGL 作为三维建模工具,模块根据远端的从机器人、操作对象和工作环境的实际形态及预期运动趋势建立起相应的数学、几何模型及参数接口。在遥操作控制过程中,利用数据手套和位置跟踪器检测操作者手指运动的变化和位姿信息,再结合从机器人端的反馈信息,实时计算出机器人模型的位姿,根据得到的模型位姿等参数在虚拟场景中绘制出机器人的运行过程图像。

可视化交互系统结构如图 5 所示,界面如图 6 所示。图 6 显示了由地面抓取物体并将其放置在另一方形操作平台上的遥操作过程的虚拟场景。

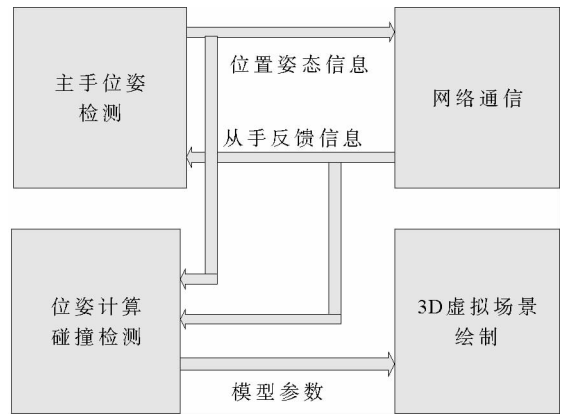


图 5 可视化交互系统结构图

Fig. 5 Structural diagram of visual interactive system

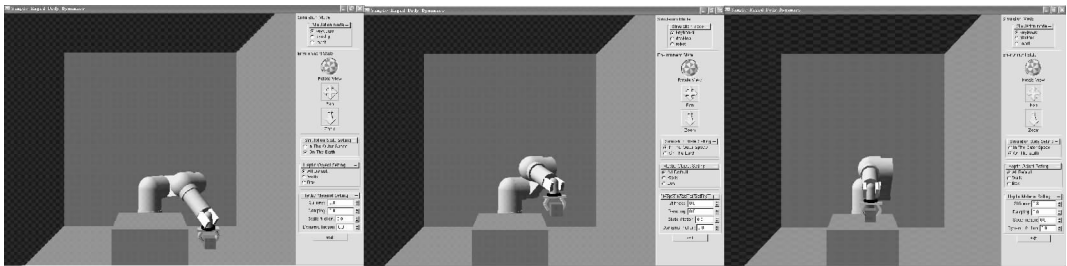


图 6 可视化交互界面图

Fig. 6 The interface diagram of visual interactive system

4 主控制端软件设计

主控制端软件的开发平台是 Windows 操作系统,编程工具为 Microsoft Visual C++ 6.0,采用面向对象的编程方法,具有良好的人机界面,易于修改控制参数,操作方便。

软件实现主手位姿和手部动作等操作信息采集、视频监控系统与 3D 虚拟工作场景显示、触觉临场感和从机器人控制指令通信等功能,包括手套检测与触觉反馈模块、位姿检测模块、临场感与操作控制模块、网络通信模块和 3D 虚拟场景显示模块等。结构上采用其中的 3D 虚拟场景显示模块作为前台显示,其他模块作为后台控制服务器的形式。

1) 手套检测与触觉反馈模块

首先获取手套上 18 个传感器的原始数据,然后对原始数据进行滤波和校正处理,得到控制机器人手爪所需格式的数据,将它们保存在数组中作为网络通信模块发送指令的一部分。根据触觉反馈信息,生成数据手套震颤器的振动强度组合并发送到数据手套执行。采样周期通过设置 Windows 定时器来完成,数据在软件界面上实时显示;同时,将每组数据保存在各自的缓冲队列中,以采样时间作为刷新频率,利用 MFC 中的设备环境类(CClientDC 类)绘制波形,显示在软件界面上。

2) 位姿检测模块

与手指检测模块类似,以一定的采样周期检测手的 6 个空间坐标值($x, y, z, azimuth, elevation, roll$),经

过滤波后把当前的采样值与上一次的采样值作比较, 差值作为网络通信模块发送指令的一部分, 用于机器人的位姿控制, 并实时显示在软件界面上。为了使人手在空间的运动情况更直观, 将检测到的空间三维位置坐标映射到二维空间内, 生成手部的运动轨迹显示在软件界面上。

3) 网络通信模块

实现主手控制子系统与从机器人控制子系统之间的通信, 控制后台服务器与虚拟显示前台之间的通信。通信采用客户机/服务器模式, 使用 TCP/IP (transmission control protocol/internet protocol) 协议, 控制指令的封装和发送以及触觉反馈信息的接收和拆封都通过网络通信模块来完成。

4) 3D 虚拟场景显示模块

将数据手套原始数据归一化并进行手势识别后, 确定控制指令类型; 对机器人某端位姿并进行解算, 确定夹持器开合距离; 将控制指令发送到 3D 虚拟显示前台程序; 根据预测显示结果, 将控制指令发送到从机器人端执行。

5 实验

操作者穿戴具有振动刺激反馈的数据手套, 手背部位固定有位置跟踪器, 通过抓取、移动、放置虚拟工件, 控制从端机械手完成对实际工件的抓取、移动、放置等操作。同时, 从机器人的状态信息、视频信息、触觉信息通过网络反馈给主端, 并由本地控制计算机仿真 3D 虚拟工作场景, 使操作者在本地具有远端实际操作的视觉和触觉临场感, 实验场景如图 7 所示。



图 7 实验场景

Fig. 7 Experimental scene

对于触觉临场感实验, 遥控机械手由张开至合拢, 抓住一个直径 10 cm 的半球形工件, 记录触觉信号和操控者触觉临场感应, 实验进行 10 次, 操作者皆能感受到触觉的震动反馈, 图 8 为记录的一次实时触觉信号, 图 9 为记录的一次实时滑觉信号。

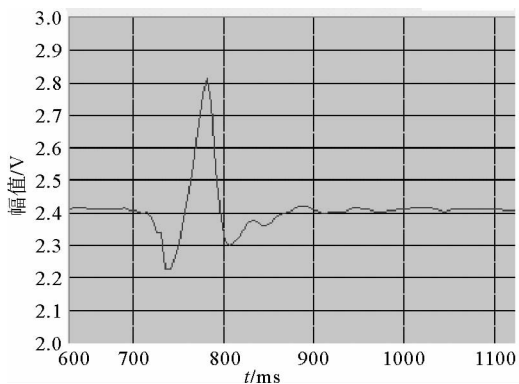


图 8 触觉信号曲线图

Fig. 8 The signal curve of tactile sensations

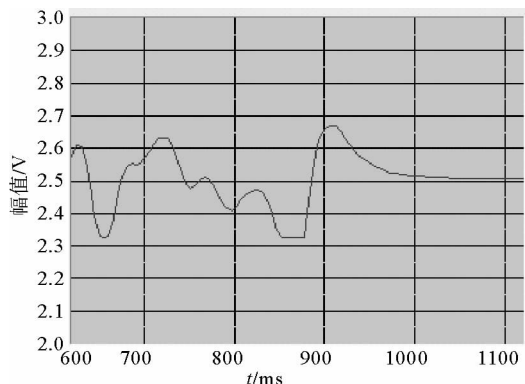


图 9 滑觉信号曲线图

Fig. 9 The signal curve of slip sensations

6 结束语

本研究设计的交互式遥操作机器人可用于危险环境下工件的抓放和精细操作, 基本达到了预期目的。通过触觉和视觉临场感交互技术, 有效增强操作者对远端机械手的运动及其与物体接触情况的感知, 产生身临其境的感受, 提高对被操作物的位置分辨率, 从而有效控制机器人完成复杂、精确的任务, 提高了机器人在

非确定环境下的作业效率,降低了机器人操作的危险等级。但所做的工作仍然是初步的,还有许多工作需要深入,特别是应该研究可靠的保护措施,避免因误动作而导致部件损坏。

参考文献:

[1]戴汝为.人-机结合的智能科学和智能工程[J].中国工程科学,2004,6(5):24-27.
DAI Ruwei, Man-computer cooperative intelligent science and intelligent technology[J]. Engineering Science,2004,6(5):24-27.

[2]PYUNG H C,JONGHYUN K. Telepresence index for bilateral teleoperations[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2012, 42(1): 81-92.

[3]SHIROMA N, MIYAUCHI R, MATSUNO F. Mobile robot teleoperation through virtual robot[C]//17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Munich, Germany, Aug. 1-3, 2008: 477-482.

[4]刘金国,王越超,李斌,等.灾难救援机器人研究现状、关键性能及展望[J].机械工程学报,2006,42(12):1-10.
LIU Jinguo, WANG Yuechao, LI Bin, et al. Current research, key performances and future development of search and rescue robot[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006, 42(12): 1-10.

[5]GALLO S, SANTOS-CARRERAS L, ROGNINI G, et al. Towards multimodal haptics for teleoperation: Design of a tactile thermal display[C]//12th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control (AMC). Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, Mar. 25-27, 2012: 1-5.

[6]ASAI K, KOBAYASHI H, TAKASE N. Palm-on haptic environment in augmented reality[C]//3rd IASTED International Conference on Human-Computer Interaction. Innsbruck, Austria, Mar. 17-19, 2008: 68-73.

[7]HAGEMEISTER N, PARENT G, HUSSE S, et al. A simple and rapid method for electromagnetic field distortion correction when using two Fastrak sensors for biomechanical studies[J]. Journal of Biomechanics, 2008, 41(8): 1813-1817.

[8]罗志增,席旭刚,叶明.用薄膜电路实现阵列触觉信号的采样[J].传感技术学报,2006,19(1):120-124.
LUO Zhizeng, XI Xugang, YE Ming. Sampling of tactile sensing array signal using a thick-film circuit[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2006, 19(1): 120-124.

[9]席旭刚,罗志增.具有触觉临场感和肌电仿生控制功能的遥控机械手研究[J].机器人,2009,31(3):270-275.
XI Xugang, LUO Zhizeng. A tele-manipulator with tactile tele-presence and myoelectric bionic control[J]. Robot, 2009, 31(3): 270-275.

“机器人与智能技术”研究专栏征稿

征稿范围:

- ◇ 机器人理论与控制技术
- ◇ 人工智能与智能控制技术
- ◇ 移动机器人及自主导航技术
- ◇ 机器人传感技术、智能传感器
- ◇ 机器视觉、图像处理与模式识别技术
- ◇ 智能系统建模与控制
- ◇ 机器人结构设计
- ◇ 多机器人系统
- ◇ 特种机器人
- ◇ 机器学习

欢迎相关领域专家、学者和工程技术人员踊跃投稿,来稿请注明“机器人与智能技术”专栏。稿件经专家评审通过后优先发表,并实行优稿优酬。

投稿平台: http://xuebao.sdust.edu.cn/index_z.asp

电子邮箱: xbgjcl@126.com; zklwh@sdust.edu.cn

联系电话: 0532-86057826