

文章编号:1000-582X(2002)09-0050-05

网络远程机器人学及其应用*

黄席樾¹, 马力波^{1,2}, 何传江¹, 陈东义¹

(1. 重庆大学自动化学院, 重庆 400044; 2. 贵州广播电视大学理工教学部, 贵州 贵阳 400044)

摘要:根据远程机器人控制的新趋势,研究了 Internet 远程机器人学需要解决的一些关键技术,如:网络的智能分布计算、人与计算机接口、网络与机器人接口等,对其目前的发展状况进行了综述。结合目前网络软件开发的新动向,讨论了中件技术 CORBA 在解决 Internet 远程机器人学问题中所起的作用,以及利用 Java 编程语言控制远程机器人和提高其系统性能的有效途径。探讨了 Internet 远程机器人学的应用前景,并指出网络远程机器人控制的未来发展趋势是以人为中心的人-机智能相互补充、相互协调的合作机制。

关键词:互联网络;远程机器人学;监督控制;人-计算机接口;人-机器人合作

中图分类号:TP872;TP393.092

文献标识码:A

网络远程机器人学是由机器人、Internet 通信网络、计算机、相应软硬件等设备以及操作人员组成的系统科学。它的研究内容主要有两个方面:一个是网络的智能分布式计算,这个问题是目前研究的热点,有望从美国的对象管理集团开发的中件技术 CORBA 得到突破^[1-4];另一个是接口问题,即:机器人与网络的接口(控制器)和人与计算机的接口界面^[5]。该问题涉及到计算机如何更好地为人提供服务,以及机器人如何用统一的标准连入网络,以便在工业上经济、有效、方便和可靠地应用。机器人与网络的接口,目前已由日本机器人协会(JARA)的工业机器人委员会第4工作组制定的开放式网络机器人接口标准 ORIN 得到解决^[6];而人与计算机的接口,目前正从人工智能和知识工程的角度寻求解决途径^[3]。还有其它的研究内容:例如机器人传感器、信息在网络传输中的时间延迟以及稳定性、图像信息的获取和处理、图像信息的显示质量等都是需要解决的问题^[7]。

1 网络远程机器人发展状况及其关键技术

自从 1992 年 www 开始在美国兴起以后,它向 Internet 提供一个标准的图形接口界面,并且在以后的几年中全球的 Internet 用户数量成指数般地增长。在 1994 年春天,美国加州大学伯克利分校的 ken Goldberg 博士意识到 Internet 网络的巨大作用,开始使用 www

提供对远程机器人的开放性访问的研究^[8]。

1994 年 9 月,ASEA IRb-6 型机器人通过 Web 服务器连接到 Internet 网络上。从那以后,具有 Web 访问功能的计算机用户都能够直接在计算机上操纵远程机器人。在这之前,美国加州大学伯克利分校的 ken Goldberg 博士,已经把 SCARA 型机器人连接到 Internet 上,这是第一批连接到 Web 上的机器人物理装置^[8]。

1996 年,ABBIRB1400 型机器人取代了 IRb-6 型机器人,该机器人所有软件根据第一版机器人获取的知识重新进行了编写。该远程机器人目前仍处于运行中。

最近,澳大利亚 Wollongong 大学的 Atkinson 博士和 Ciuffo 博士,把可控制关节的机器人连接到 Web 网络上,该机器人系统通过服务器支持技术,提供运动机器人的活动图像,在通信连接较快时,由于能够获得整个运动场景视图,这种方法是有效;而在系统通信连接较慢时,效果较差,因为要花很长的时间才能下载一帧图像。这种系统也耗费大量的通信带宽,从而造成向机器人发送命令时速度变慢。因此,服务器支持技术带来的问题是:对各种不同速度的通信网络连接很难调节一致。

新西兰 Massey 大学的 Nahavand 博士及其研究小组,把 ASEA ILB6/2 型机器人连接到 Web 网络上。使用 Java 和 Javascript 编程语言,能够使标准的 CGI 设备与 Web 服务器进行通信;使用机器人的 Java 框架,能

* 收稿日期:2002-05-16

作者简介:黄席樾(1943-),男,重庆奉节人,重庆大学教授。主要研究方向:智能机器人、人工智能、计算机视觉。

给机器人的运动编程;使用 Java 小应用程序上的存储按钮,能够对机器人的多种运动进行说明。这样,Java 编程语言能够提供一种给机器人编程的直观方法。但是,在机器人工作空间中很难描述对象的框架。

其他的科研机构也在对远程机器人学领域进行探索和研究,其中有麻省理工学院林肯实验室、华盛顿大学、斯坦福大学、卡内几梅隆大学机器人研究所等。研究的远程控制体系结构可归为 3 种方式:1) 预测显示或预测控制;2) 双边控制;3) 远端编程。

Conway 等人^[9]提出了远程自动化技术的方法。他们的动机就是要把人类的智能传递到远处,把机器人的自主性和人的智能结合起来。引入各种远程自动化“工具”,最为有名的就是时间离合器(time-clutch),它给出远程操作器临时地捏合和松开远端的操纵器,在完成某项任务中显示出较大的灵活性和有效性。

Wakita 等人^[10]提出智能视觉监控和高级指令规范集的结合,作为智能监控远程机器人的工具。在 1995 年 8 月,他们进行了一项基础性实验:在日本 Tsukuba 的 ETL 实验室和美国洛山机 Jet Propulsion Laboratory (JPL 实验室)之间进行。他们意识到了在设计阶段时通信带宽的重要性。由于带宽的限制,他们注意到较高层的指令(要求较小的带宽)是较为理想的,尽管指令的抽取必须足够的低,以便让远程操作器易于干涉远程机器人的工作。Obor 和 Fiorini^[11]提出一类双边远程操作的体系结构。他们讨论和考虑了 Internet 的时变特性和远程机器人的非线性动力学。提出了一项实验,其构成以硬件为主、虚拟软件为从属的操纵器。Bejezy 等人提出使用“幻觉机器人”来作为远程操作。这种思想就是要在来自远程系统的实际视频回路上重现预测机器人的模型。使用人类的“智能”来跨越知识的鸿沟或弥补模型的不一致。

Funda 和 Paul^[12]提出远程编程的概念,对付有时间延迟控制的远程机器人。这种方法是基于创建一组符号指令,弥补世界模型和本地模型之间的差异。远程机器人执行这些指令直到指令执行完成,除非预想不到的事情发生,例如:冲突干扰。

Book^[13]等人已经使用了 Internet 作为一个高级监督控制器。远程操作器有着通过 Internet 提供图形界面的仿真工作环境。Rovetta^[14]等人使用了一个折中的混合通信媒体来执行远程外科手术。这种想法相当于要使用本地的外科医生来进行更为普通的外科手术,而远程专家负责更为专门的外科手术部分,通信媒体包括变换机器人指令的 modem、图像传输的卫星通道、以及用于文件传输和文本交换的 Internet 设施。远程

外科手术的指令在 1993 年 7 月的实验中是通过键盘输入的。这些指令从远处控制机器人的位移。

总结以上的控制方式,可以认为,目前网络远程机器人学的关键技术是:第一,首先要解决的一个核心问题,是信息传输的时间延迟并且是非确定性的延迟,即时变延迟,这涉及到网络通信的信息控制问题^[15-16];第二,如何有效地提取机器人场景的图像信息和机器人本身的动力学模型;第三,捕获到的图像和动力学模型如何进行处理、存储和传输;第四,在用户的接口界面上,人与计算机用什么方式进行交互^[5-6];第五,机器人与网络的接口标准化。这些问题是当前人工智能、计算机科学、信息科学、系统科学、社会科学、心理学等学科共同关注的焦点和研究的前沿。

2 网络的智能分布式计算

2.1 中件技术^[1-2]

长期以来,人们一直使用着“客户机/服务器”的两层结构,即客户机提供用户界面、运行逻辑处理应用,而服务器接受客户机 SQL 语句并对数据库进行查询,然后返回查询结果。

两层结构系统给人们带来了相当的灵活性,但也逐渐地暴露出其客户机和服务器负担过重的现象。在现代企业面前,两层结构的弊端更显得突出,往往在业务处理上对系统提出更高的要求:

- 1) 适应不同地区、不同标准的具体情况,需具备灵活的可扩展的工作流定制;
- 2) 网络传输量较大,需要保证数据在网络传输的稳定性;
- 3) 涉及关键业务类数据,必须保证网络数据传输的准确性和安全性;
- 4) 各地网点总数增多,要求系统具备峰值数据的高负荷处理能力和平衡负载能力;
- 5) 保证数据在广域网传输和业务处理的及时性。

这样,随着网络软件发展的需要,两层结构向三层结构转变。三层结构在原有的两层结构(客户机和服务器)之间增加了一组服务,这组服务(应用服务器)包括事务处理逻辑应用服务、数据库查询代理/数据库。随着这组服务的增加,客户端和服务端负载相应减轻,跨平台、传输不可靠等问题得到了解决^[4]。

增加的这组服务就是“中间件”。中间件在三层结构中主要充当中间层,完成数据安全、完整传输,通过负载均衡来调节系统的工作效率,从而弥补两层结构的不足。

中间件是处于操作系统和应用程序之间的软件,

也可以认为它属于操作系统中的一部分。人们在使用中间件时,往往是把一组中间件集成在一起,构成一个平台(包括开发平台和运行平台),但在这组中间件中必须有一个通信中间件,因此,中间件 = 平台 + 通信。

2.2 中件技术 CORBA^[2]

CORBA 的字面含义是公共对象请求代理体系结构,是由对象管理集团(OMG)制定的标准,它强调在分布式异质环境中的交互性。CORBA 标准代表美国 800 多个公司的工业标准。CORBA 设定,在异质环境下不同平台上不同语言实现的对象能够进行互操作。它定义了一个对象请求代理(ORB)。ORB 作为中间件,使用户程序按访问本地对象的方式透明地访问远程对象的操作,并与实现远程对象的语言无关。ORB 在当前每一种主流操作系统上均有实现,支持跨操作系统的独立性。

CORBA 技术通过在客户端和服务端加入一个代理,从而屏蔽了不同计算机和不同软件系统的差异,实现了异构环境下的客户端和服务端通信。客户机和服务器能够通过 IIOP 协议(Internet InterOrt Protocol)进行通信,IIOP 协议有望成为一个 Internet 上安全通过防火墙的标准应用层协议。当使用 CORBA 时,在 Internet 上开发一个机器人分布式软件库成为可能^[4]。

2.3 Web 远程机器人学

Web 远程机器人学是机器人系统与 www 系统结合的产物。它的客户端有一个智能人机接口界面,在此界面上不仅能以在线方式控制机器人,而且可用离线方式规划机器人运动^[17]。在客户端,HTML 浏览器能够显示二维图像,包括用 JPEG/MPEG 格式表示的运动图像。VRML 浏览器能够显示三维图形并可以用鼠标/手柄进行交互式操作^[18]。利用网络软件也能够获得这些功能,例如:Java/Java Script。值得注意的是:这些媒体和软件当需要时,能够从网络远程机器人站点上下载,并且在客户端不需要预先安装任何专用软件。在目前的系统实现中,即便使用快速(JIT)编码器,Java 编码的速度与相应 C/C++ 编码的速度是不能相比的。当 Java 编码的速度不能满足要求时,可通过在客户端预装软件来增强某些关键部件的功能。

3 人 - 机接口界面^[18]

3.1 Java 编程语言作为接口软件

JavaScript 是一个平台独立的、事件驱动的、解释性的编程语言。它被嵌入在生成 Web 页的 HTML 编码中,并且,通过观看页面资源能够阅读到该语言的描述。JavaScript 语言提供一个处理有限区域数据的功

能,并允许 Web 页面对浏览器功能的某些方面进行控制。它已经被用于克服 CGI 设备的不足。例如,当通过点击图像说明机器人空间位置时,需要用两幅不同图像的点来说明三维空间中的位置。在标准的 CGI 设备控制下,每点击一次图像就会产生一个发往 Web 服务器的请求,而使用 JavaScript 语言能够说明提交到 Web 服务器的机器人运动。然而,由于浏览器之间的不一致,会使该语言失去作用。随着电子商务的开发利用并广泛使用后,浏览器标准有望得到统一。Java 语言也已用于生成机器人的框架模型。

3.2 人 - 机接口界面尽可能简单

机器人的动力学、异常性以及活动空间边界的复杂性必须对用户隐藏,同时,仍然允许灵活的操作封装。如果有可能的话,应该滤掉非常复杂的各种因素^[19]。例如,原形远程机器人系统允许用户以完整的 6 个自由度说明机器人的位置和方向,而方向定义为摇晃、倾斜和偏航。值得注意的是,对所有使用的积木块操作,只需要说明两个方向,即倾斜和旋转。旋转被定义为绕桌面的 Z 轴转动;而倾斜就是机器人手爪与 Z 轴的角度。这样就能保证通过手爪末端的两点所作出的线路总是与 XY 平面平行。与摇晃、倾斜和偏航相比,这种方式更加容易理解。在不丢失任何有用功能的情况下,尽量简化对机器人的操作。

3.3 采用 Java 编程语言提高系统性能

随着 Java 语言的引入以及把这些技术推广到 Web 网络上^[20],提供不断更新机器人信息(图像和位置信息)成为可能,并有着很大的吸引力。这一方法已经在某些机器人上得到了实现。Java 语言在减少带宽方面将是极为有用的,同时也能辅助操作者规划任务。我们知道,操纵器和场景的图形学模型能够提高远程机器人系统的性能。Browse 和 Little 发现,操作者预测是否会在操作器和积木块之间发生碰撞的错误率减小了 57%^[12]。最近,Java 语言接口界面已经实现了让操作者通过拖动放置在单摄像头拍摄的图像上的光标来控制机器人。这项技术能够最充分地利用可得到的带宽,仅仅通过传输机器人状态中的变化,来刷新操作者计算机中的模型^[20]。

人 - 机接口界面是影响用户兴趣的关键因素,是目前 web 远程机器人系统待改进的一个重要方面。在设计网络远程机器人接口界面时,原则上应考虑以下几个方面:

- 1) 接口界面必须具有可交互性;
- 2) 接口界面具有智能化或自学习功能;
- 3) 接口界面视图简单、清晰、易理解和易操作;

- 4) 图像界面所占数据尽可能少,以减小传输带宽;
- 5) 界面提供用户操作远程机器人的功能应尽可能详细和可靠。

4 网络远程机器人学的应用及未来发展趋势

4.1 网络远程机器人的应用领域^[20]

机器人学从它诞生的那天起,对于危险的环境是一项有吸引力的技术。因为人们能够把操作器搬离危险的作业现场,从而远程操作机器人在危险的环境中执行任务,因此,能够减小对人类生命危险的威胁。这些环境包括:

- 1) 裂变、检修和废物处理;
- 2) 弹药处置和矿场清理;
- 3) 太空探险、水下作业以及搜寻和救护;
- 4) 医疗应用。

除此以外,Internet 远程机器人开拓的新领域有:

1) 远程教育。在不可能购买机器人系统的地方,提供在 Internet 上访问机器人和其它昂贵设备的可能性,以达到培训操作机器人的目的。因为许多现代化工厂面临着采用大量的机器人,加工零、配件和装配设备,以提高产品质量和生产效率,培训和造就大批掌握现代操作技术、现代设计技术和现代生产管理技术的人员是我国现代化企业的当务之急。

2) 远程制造。在美国加州大学百克利分校,有一个机器人研究机构用 130 多万美元正在开发可访问 Internet 的称作 CyberCut 的机械制造服务系统。

3) 娱乐。从人们对远程机器人和其它 Internet 装置的反映情况看,许多人认为操作机器人是作为一种娱乐。一家称为 LunaCorp 的私有公司与卡内基梅隆大学将计划联手发射第一枚私有登月飞船。该项目包括在月球表面着陆两个远程操作的机器人运输工具,打算资助这项计划的顾主(投资者)包括主题公园、电视网络公司、商业赞助者以及许多科学家。

4.2 人-机分工问题

人工智能长期以来一直在寻求解决自主式机器人系统的关键技术^[21]。但是这种方法在解决自主式机器人方面,还不能达到令人满意的程度。人们能够指出这种系统的一些不切合实际的根本缺陷,并用更加实用的方法取而代之,即人作为操作者与计算机进行交互和合作来控制机器人,从而显示出更大的优越性。既然自主式机器人的智能水平不能达到很高的程度,那么由人的智能来完成自主式机器人不能完成的功能,还可以把自主式机器人目前很难达到的功能移交给人来完成,从而可以减少机器人的制造成本和运行、

维护费用,提高控制机器人的可靠性。这是在目前机器人控制技术条件下,所采用的有效控制模式趋势。这里有着人-机分工的问题。在这样的系统中,对于一项任务,机器人适合完成什么工作?人又在其中完成哪些工作?都是值得研究的课题。

4.3 未来的远程机器人系统控制模式

4.3.1 发挥人的特长和机器人的特长

以人为中心的远程机器人系统性能及完成任务的能力,很大程度上取决于操作者必须能够感知和理解任务以及有效控制操纵器的能力。在这样的人-机合作中,机器的性能是重要的,它必须提供精确的、稳定的以及灵敏的控制,必须具备一定的鲁棒性以防止外界的干扰。最近的研究主要放在跟踪提供远程机器人系统的一些基本问题上。主要是改进机器人图像显示质量、控制界面以及机器人控制器,该控制器需要阻力控制和预测建模^[22-23]。

由于采用这种策略进行远程控制仍然受到许多限制,所以,在未来的研究中,主要加强开发智能增强 IA。它的目标就是要发挥人和机器的特长。在这种方法中用计算机取代人的所有思维是不可能的,相反地,让计算机、机器人和人进行合作,以获得大于各自单独完成任务获得的功能总合。因为人擅长于作判断、理解任务、辨认对象、推理、问题求解,甚至在相当大的压力下,具有创新能力;而计算机非常擅长于存取和搜索大量的数据,重复记忆和执行多任务。远程机器人技术的应用领域,通过共同控制和协作控制获得极大的益处,从而在整体上提高系统的性能。前面提到的那些具有挑战性的问题,需要通过多学科研究途径开发人机界面,并且将依赖于人类感知和认知的研究,更多地从控制和工程的角度加以考虑以寻求解决途径。

4.3.2 人-机结合模式^[24]

远程机器人研究人员,长期以来重视和关注着人类操作者在控制闭环回路中的重要作用。人类强有力的判断、理解、推理以及问题求解等能力,确保人在未来的远程机器人操作系统中将继续起着核心作用。在这些系统中,我们将会看到人与机器在互相补充、相互加强的基础上而更加紧密地结合在一起。

参考文献:

- [1] SCHMIDT C D, LEVINE D L, MUNGEE S. The design of TAO real-time object request broker[J]. Computer communications, ELSEVIER science, 1998, 21(4): 294-324.
- [2] 朱庆华,程涛,胡春华,等. CORBA 规范在分布式制造系统中的应用[J]. 中国机械工程, 2000, 11(3): 62-67.
- [3] OQUENDO L S, ATTOUTI A. Deterministic CORBA ORB (DORB)

- for distributed real-time applications[J]. International journal of computer and application, 2001, 23(3):186-190.
- [4] 王振义, 上野义人. CORBA: 面向对象的分布式计算平台[J]. 深圳大学学报(理工版), 1999, 16(2-3):42-49.
- [5] GERTZ M, STEWART D, KHOSLA P. A human-machine interface for distributed virtual laboratories[J]. IEEE Robotics and automation, 1994, 1(4):5-13.
- [6] MIZUKAWA MAKOTO, MATSUKA HIDEO, KOYAMA TOSHIHIKO. ORIN: Open robot interface for the network(a proposed standard)[J]. Industrial robot, 2000, 27(5):344-350.
- [7] MAIR GORDON. Transparent telepresence research[J]. Industrial robot, 1999, 26(3):209-215.
- [8] GOLDBERG KEN, GENTNER STEVE, SUTTER CARL. The mercury project: a feasibility study for Internet robots[J]. IEEE Robotics & automation magazine, 2000, 1(4):35-40.
- [9] HIRZINGER G, BRUNNER B, DIETRICH J, et al. Sensor based space robotics-ROTEX and its telerobotic features[J]. IEEE Trans robot automat, 1993, 9(5):306-311.
- [10] GOLDBERG K. Disktop teleoperation via the World Wide web[J]. Robotics and automation, 1995, 654-659.
- [11] OBOE R, FIORINIP. A design and control environment for Internet-based telerobotics[J]. International Journal of Robotics Research, 1998, 23(4):864-870.
- [12] BROWSE R A, LITTLE S A. The effectiveness of real-time graphic simulation in telerobotics[J]. Decision Aiding for Complex Systems, 1991, 2:895-898.
- [13] BOOK WAYNE J, LANE HOBSON, LOVE LONNIE J, et al. A novel teleoperated long-reach manipulator testbed and its remote capabilities via the Internet[J]. IEEE International conference on Robotics and automation proceedings, 1996, 2: 1 036-1 041.
- [14] ROVETTA ALBERTO, COSNN FRANCESCA, TOSATTI LORENZON MOLINARI. Teleoperator response in a touch task with different display conditions[J]. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, 1995, 25(5):878-881.
- [15] SHERIDAN T B. Space teleoperation through time delay review and prognosis[J]. IEEE Trans robot automation, 1993, 9(5): 592-606.
- [16] CASANOVA H, DONGARRA J. NetSolve's network enabled server: Example and applications[J]. IEEE computational Science and Engineering, 1998, 5(3):57-67.
- [17] HIRUKAWA H, MATSUI T, ONDA H, et al. Prototypes of teleoperation systems via a standard communication protocol with a standard human interface[J]. Robotics and automation, 1997, 16(4):128-133.
- [18] FRYER A. Remote-control experiment using a networked robot[J]. Rob Mach perception, 1996, 5(1):12-19.
- [19] SHERIDAN T B. Space teleoperation through time delay review and prognosis[J]. IEEE Trans Robot Automat, 1993, 9(5):592-606.
- [20] 刘威, 宋爱国, 黄惟一. 基于互联网的遥控机器人系统[J]. 机器人技术与应用, 2001, 4:23-27.
- [21] SHENDAN T B. Telerobotics, automation and human supervisory Control[M]. Cambridge MA: MIT, 1992.
- [22] FIORINI P, BECZY A K, SCHENKER P S. Integrated interface for advanced teleoperation[J]. IEEE Control systems Mag, 1993, 13(5):15-20.
- [23] GERTZ M, STEWAR T, KHOSLA P. A human-machine interface for distributed virtual laboratories[J]. IEEE Robot Automat Mag, 1994, 1(4):5-13.
- [24] PRETLOVE JOHN. Telerobotics: merging man with machine[J]. Industrial Robot, 1999, 26(3):159-160.

Internet Telerobotics and Its Applications

HUANG Xi-yue¹, MA Li-bo^{1,2}, HE Chuan-jiang¹, CHEN Dong-yi¹

(1. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Department of Science and Technology, Guizhou T. V. University, Guiyang 550004, China)

Abstract: According to a new trend of telerobot control, some key techniques are researched to solve the Internet telerobotics, such as distributed intelligent computation on the Internet, human-computer interface, and Internet-robot interface etc. The current development status of the Internet telerobotics is reviewed. Based on the new directions of the network software development, the authors discuss that the middleware technique CORBA plays an important role in solving the problems of the Internet telerobotics, and it is an effective way to use Java language to control the telerobot and improve its system performance. The application perspective of the Internet telerobotics is investigated. It is indicated that the development trend of the telerobot control is a human-centred collaboration mechanism of mutual reinforce and coordination in human-machine intelligent.

Key words: internet; telerobotics; supervisory control; human-computer interface; Human-robot collaboration

(责任编辑 张 苹)