

# 基于 Server Push 技术的 机器人远程控制方法研究<sup>1)</sup>

李晓明 杨灿军 陈 鹰

(浙江大学流体传动及控制国家重点实验室 杭州 310027)

(E-mail: lxmzju2000@hotmail.com)

**摘 要** 提出了一种基于 Server Push 技术(服务器推技术)实现的机器人远程控制方法,并利用该方法建立了一种新型的开放的基于 Internet 的机器人远程控制系统模型. 该模型实现了实时的远程数据采集及高速的控制信号响应,更适合进行在线实时机器人远程控制. 基于该系统,完成了以六自由度关节机器人为对象的远程控制试验,试验表明该模型系统在信号采集的实时性、控制指令响应时间等系统参数均优于传统系统.

**关键词** Server Push, 机器人遥操作, 控制体系结构

**中图分类号** TP202

## A New Control Architecture for Internet Based Tele-Robot System Using Server Push Technique

LI Xiao-Ming YANG Can-Jun CHEN Ying

(State Key Laboratory of Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

(E-mail: lxmzju2000@hotmail.com)

**Abstract** A new control architecture for Internet based tele-robot system was proposed. With the introduction of Server Push technique, real time on-line data acquisition and fast control signal response, which enable this new architecture suitable for online real time tele-operation, can be achieved by using hyper-text transfer protocol. A 6DOF PUMA robot tele-operation system has been developed using this architecture and the experimental results illustrate that the performance of the tele-manipulation system had been greatly improved compared with that of the traditional control system using CGI and HTTP Server. The architecture is also open-structured and can be applied in other general purposed tele-operation systems.

**Key words** Server Push, Internet based tele-robot, control architecture

1) 国家自然科学基金(50305035)资助

Supported by National Natural Science Foundation of P. R. China(50305035)

收稿日期 2002-09-29 收修改稿日期 2003-11-20

Received September 29, 2002; in revised form November 20, 2003

## 1 引言

机器人远程控制技术可广泛应用于航天、海洋、核能、远程教育等领域,Internet 的出现与发展为机器人远程控制提供了一种低成本的解决策略.因此,国内外许多科学工作者都在进行相关技术的研究<sup>[1~3]</sup>,其中一项难点在于如何解决系统的开放性与控制实时性之间的矛盾.传统的基于 Internet 的机器人远程控制系统采用 HTTP 协议,利用 CGI 技术实现机器人的在线控制<sup>[3]</sup>,从而使得 Internet 上任何用户都可以对机器人进行远处操作.然而这种控制体系结构的不足之处在于很难对机器人进行实时性(或准实时性)的控制.原因在于 HTTP 协议并不适合进行实时在线数据的连续发布,而且 CGI 程序执行速度慢.本文提出了基于 Server Push 技术的新型的面向 Internet 的机器人远程控制系统模型,该系统模型在最大程度上适应了 Internet 的开放性,并面向实时信息反馈和控制进行了优化.

## 2 基于 Server Push 技术的机器人远程控制方案设计

### 2.1 基于 Internet 的控制模型

基于 Internet 的控制需要解决两个关键问题,即不稳定大时延对系统稳定性的影响以及数据传输过程中的丢包现象.设网络中时延常数为  $\tau$ .对于 Internet,该常数是不稳定的,具有随机性,从而导致系统性能变差.理论上讲,根据香农采样定理,在消除网络的存储效应后,如果网络时延的最大值满足以下条件,可不考虑网络时延的影响<sup>[4]</sup>,

$$\tau \leq T/4 \quad (1)$$

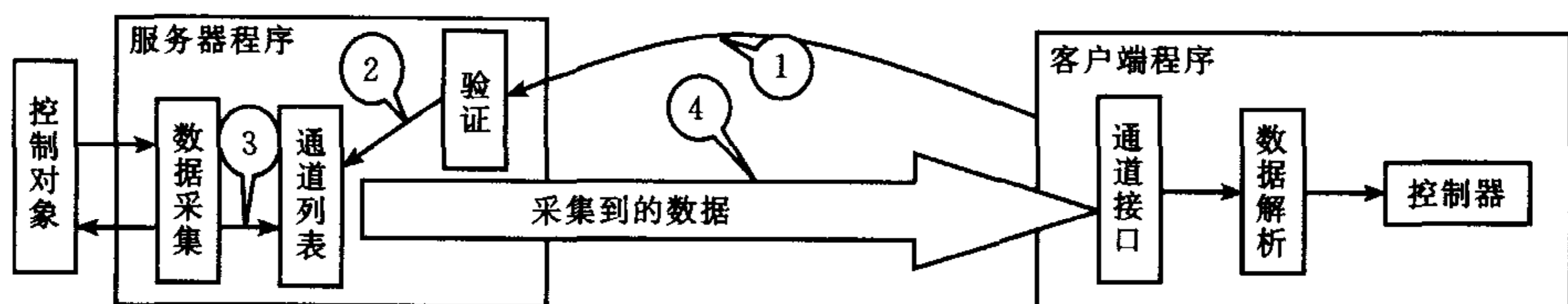
其中  $T$  为采样周期.该参数决定了所设计的控制系统在不考虑网络时延的情况下所能够控制的对象范围. $\tau$  越小,该系统所适用的范围就越广.时延的主要组成如下<sup>[5]</sup>:

$$\tau = T_c + T_p + T_d + T_v \quad (2)$$

其中  $T_c$  为通讯时延, $T_p$  为执行时延, $T_d$  为数据时延, $T_v$  为扰动时延. $T_d, T_v$  由网络的通讯状况决定, $T_c$  主要由数据传输的路由距离决定, $T_p$  主要取决于所采用的控制系统的运算量.因此,可以通过采用服务器推技术和小巧的专用的服务器端程序,使得  $T_p$  成倍减少进而提高系统性能.

### 2.2 系统架构设计

目前的基于 HTTP 协议的数据采集方法是一种离线方法,即利用 CGI 脚本设定数据采集参数,由数据采集服务器采集完数据后发送给客户端<sup>[6]</sup>.本文中把通过 Internet 进行数据采集和控制信息传输部分抽象成通道,并在此基础上采用 Server Push 技术实现了在线实时数据采集通道和系统架构模型(图 1),相比之下提高了数据采集的速度和效率,保证了



(1)建立请求;(2)验证通过,创建通道,并把通道加入服务器端通道列表;  
(3)获得数据后,利用通道发送数据;(4)通道把数据推送到客户端

图 1 系统架构与数据采集通道

Fig. 1 Model of the system architecture and the data sample pipeline



系统的开放性,并提高了控制的实时性.

### 3 系统试验与分析

我们利用该控制平台通过 Internet 对机器人进行了遥操作试验. 控制对象为 Puma560 工业机器人,由于传统的 Puma560 机器人是封闭式控制结构,我们对其进行了改造,通过 PMAC 多轴控制器进行各个关节的伺服控制,用一台工控机作为机器人控制服务器. 在控制上,采用了一种基于非时间参量的机器人规划和控制方法以解决网络时延对系统稳定性的影响,其控制结构如图 2 所示. 其中本地控制器采用 CH 语言<sup>[7]</sup>结合 PMAC 控制器实现; Internet 数据传输采用本文介绍的服务器推技术模型实现;为了避免操作人员的介入对系统稳定性的影响,远程控制器采用自主控制器实现,主要控制目标是控制机器人末端执行器跟踪一条指定的轨迹,本例中为一条正弦曲线. 图 3 和 4 给出了试验结果,图 5 为试验装备.

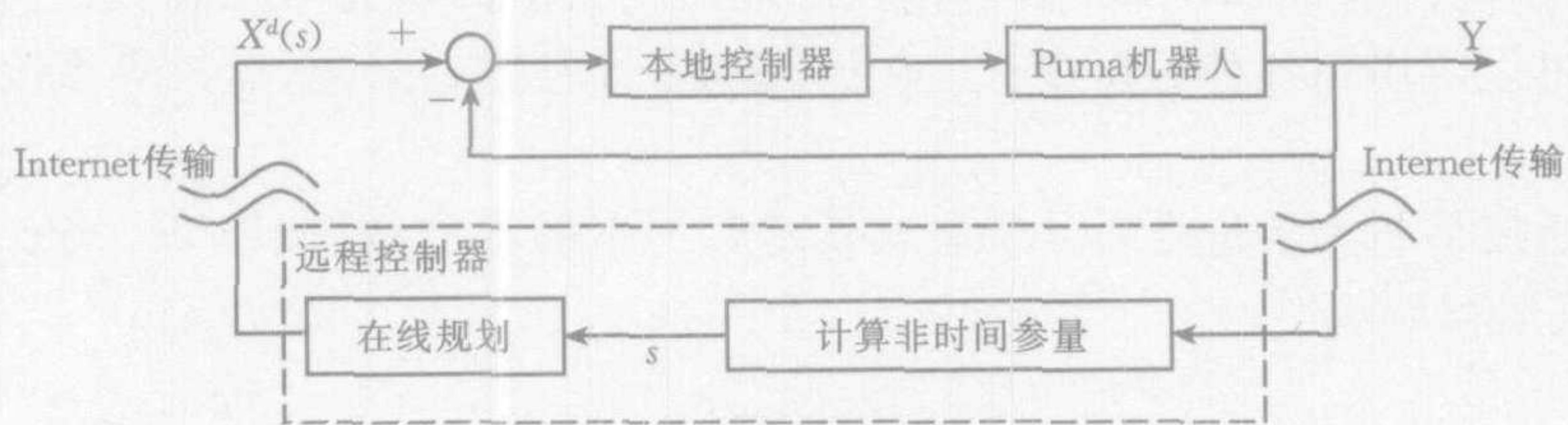


图 2 基于非时间参量的机器人规划与控制方法  
Fig. 2 Architecture of non-time based robot planning and control method

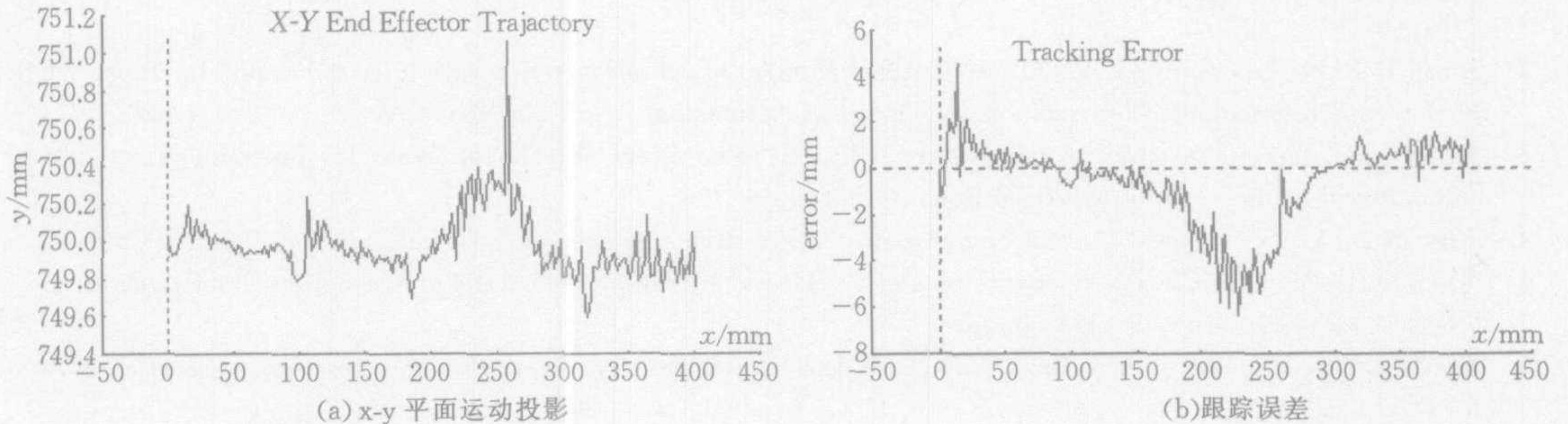


图 3 曲线跟踪遥操作试验结果  
Fig. 3 Results of a trajectory following teleoperation experiment

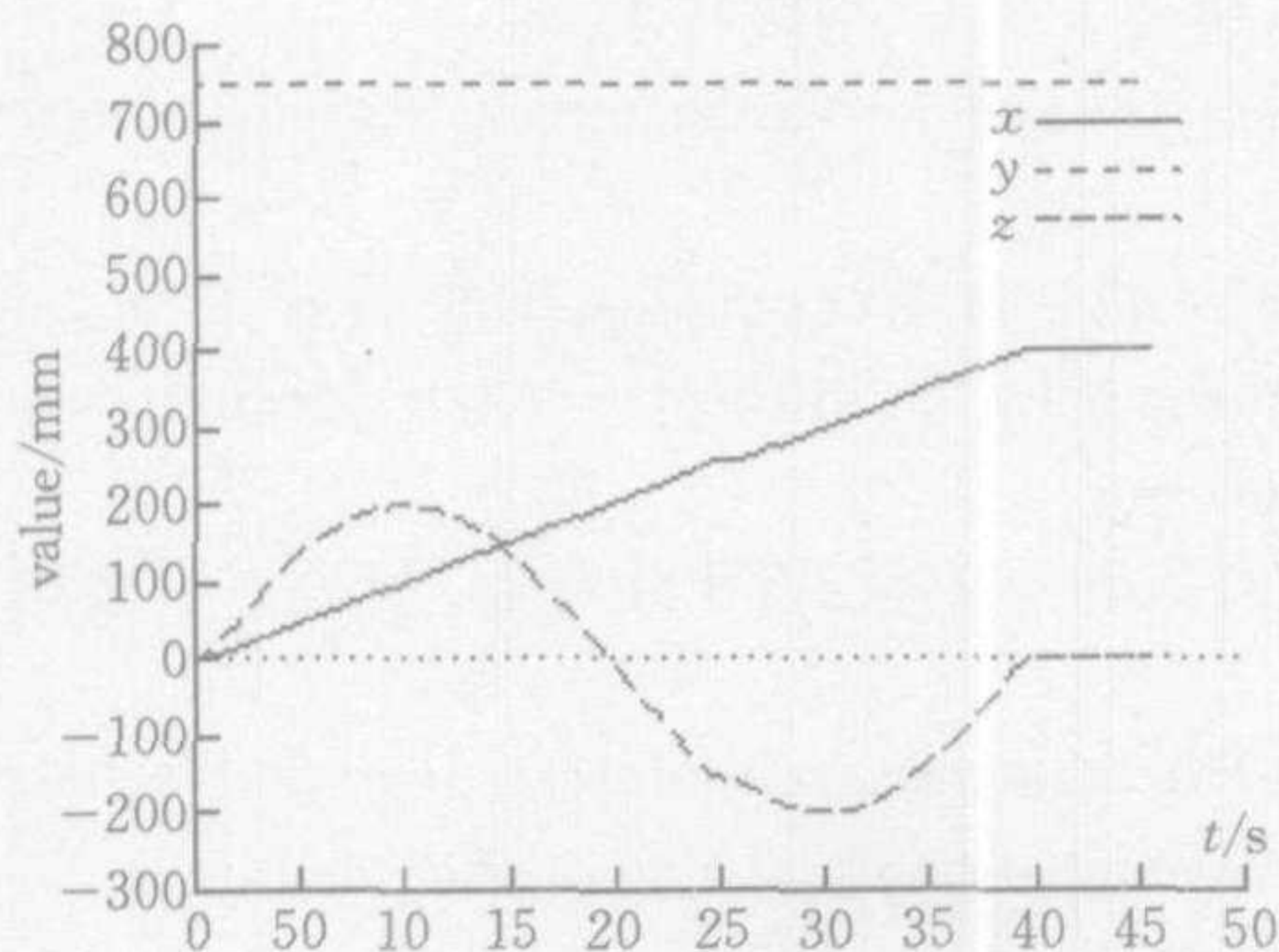


图 4 PUMA 末端执行器的运动情况  
Fig. 4 Movement of the end-effector of Puma

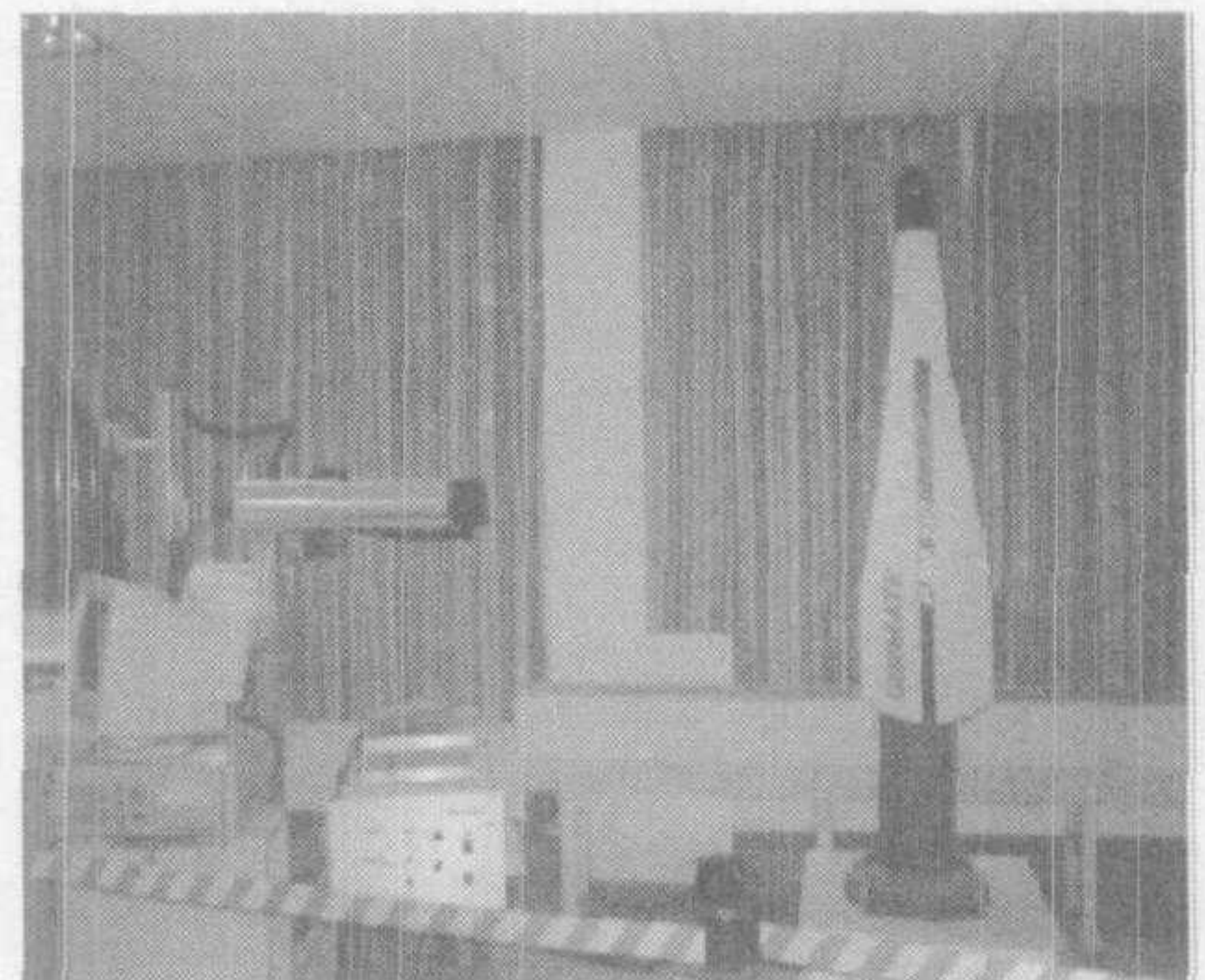


图 5 试验系统  
Fig. 5 Experimental rig



图 4 反映了机器人末端执行器的运动情况,基于 Internet 的采样频率为 5Hz,该试验在校园网内进行,其网络延迟基本在 100ms 以内.由于采用基于非时间参量的控制方法,当机器人因为网络时延没有及时收到控制命令时,会保持在上一指令指定的状态直至接收到新的命令为止.因此,系统在本地控制器稳定的前提条件下对网络时延是免疫的.但是网络时延对系统响应的快速性仍然有很大的影响.从图 3 和 4 可以看出,基于推技术实现的系统在系统响应、稳定性和准确性等方面在试验中取得了较好的效果.在 25 秒时刻附近存在着一个比较大的时延,但系统的稳定性没有受到影响.

## 4 结论

本文提出了一种基于 Server Push 技术实现的机器人远程控制系统模型,该模型更适合于在线的、实时的控制,它对控制的响应速度和采集数据的速度都远远优于传统模型.利用该系统,可以进行基于 Internet 的各种控制理论与方法的研究与实现,通过简单的扩展,该系统模型可以应用到各种需要进行远程控制或者远程数据采集、监控等系统的设计与实现中.

**致谢** 感谢加州大学戴维斯分校集成技术实验室的程辉教授(Prof. Harry H Cheng)提供 Ch 开发运行环境<sup>[7]</sup>.

## References

- 1 Elhajj I, Hummert H, Ning X, Wai Keung-Fung, Liu Yun-Hui. Real-time bilateral control of Internet-based teleoperation. In: Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation. Hefei, China; 2000. **5**: 3761~3766
- 2 Elhajj I, Xi N, Liu Yun-Hui. Real-time control of Internet based teleoperation with force reflection. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. San Francisco, CA, USA; 2000. **4**: 3284~3289
- 3 Ken Taylor, James Trevelyan. A teleoperated industrial robot on the World Wide Web. In: Proceedings of the 26th International Symposium On Industrial Robots. Singapore; 1995
- 4 Jiang W S, Yu J S. Process Control Engineering. Beijing: China Petroleum & Chemical Press, 1999 (in Chinese)
- 5 Wang Q P, Tan D L, Chen N. Network time-delay test and analysis in the control of internet-based telerobotics. *Robot*, 2001, **23** (4): 316~321(in Chinese)
- 6 Hu Xu-Dong, Yu Hong, Chen Ying. Web-based data acquisition. *Journal of Zhejiang University(Science)*, 2002, **3** (2): 135~139
- 7 Cheng H Harry. Ch shell for integration of mechatronic systems. In: Proceedings of the 1995 NSF Design and Manufacturing Grantees Conference. San Diego, CA; 1995. 95~96

**李晓明** 博士研究生.主要研究方向为机电技术集成、机器人技术、网络技术.

(LI Xiao-Ming Ph. D. candidate. His research interests include Mechatronics System Integration, Robotics and Network Technology.)

**杨灿军** 工学博士,副教授.主要研究方向为机电工程、人机智能系统、机器人技术、海洋工程.

(YANG Can-Jun Ph. D., Associate Professor. His main research interests include Mechatronics Engineering, Man machine system, Robotics and Ocean engineering.)

**陈 鹰** 工学博士,浙江大学流体传动及控制国家重点实验室教授、博士生导师.研究方向为机电工程、流体传动及控制、海洋工程、气动汽车.

(CHEN Ying Ph. D., Professor and Ph. D. director. His main research interests include Mechatronics Engineering, Fluid Power Transmission and Control, Ocean engineering and Pneumatics mobile.)