

文章编号:1671-6833(2014)03-0082-04

# 基于 HORB 的网络化温度控制系统设计与实现

张 谦, 李红军, 温盛军, 王东云

(中原工学院 电子信息学院, 河南 郑州 450007)

**摘 要:**采用基于 HORB 的网络通信平台设计并实现了基于异构平台的网络化温度控制系统. 首先, 建立了基于 HORB 的网络通信实验平台. 接着, 选用研华板卡 PCL812PG 采集温度和 PCI1760U 产生 PWM 波构建基于铂尔贴的微反应过程温度实验系统, 并开发了相应的通用驱动程序. 针对微反应过程温度的网络化控制设计了基于 CGT (Command Generator Tracker) 的模型输出跟随控制器. 应用所建立的网络通信平台和设计的控制器, 实现了对微反应过程温度的网络化控制, 该系统具有故障局部化、功能分散化及控制协同化特点. 仿真与实验均验证了网络控制系统设计及控制方法的有效性.

**关键词:**网络控制系统; HORB; CGT; 铂尔贴

**中图分类号:** TP273

**文献标志码:** A

**doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.03.020

## 0 引言

网络控制系统(NCS)是利用通信网络实现地域上分布的现场传感器、控制器及执行器之间的信息相互交换,以达到被控对象的实时反馈控制的控制系统. NCS 的概念在 20 世纪 90 年代初被提出,现已引起人们的广泛关注<sup>[1]</sup>. 网络控制系统中存在一些不同于传统控制系统的基本问题,如节点的驱动方式、数据采样、网络诱导时延等<sup>[2]</sup>. 网络控制系统有系统连线减少、低成本、易于诊断和维护、更加灵活等优点<sup>[3-5]</sup>. 网络控制在汽车发动机、感应加热、机器人等领域都有广泛的应用<sup>[6-8]</sup>. 对于网络控制系统的构建,文献<sup>[9-10]</sup>分别对过程控制实验平台与远程实验物流控制系统做了研究. 笔者以 HORB 为网络通信平台,开发出具有很好移植性的网络控制系统,利用以太网、工控机、研华板卡搭建了微反应器温度的网络控制实验系统. 同时设计了基于 CGT 的模型输出跟随控制器,网络控制系统的网络延迟通过设计一个鲁棒并行补偿器进行解决. 仿真与实验验证了网络实验系统设计及控制方法的有效性.

## 1 网络实验系统结构

本实验用到两台连接到网络的计算机、研华

的 PCL812PG 板卡、PCI1760U 板卡、微反应器、铂尔贴、传感器. 实验系统的框图如图 1 所示.

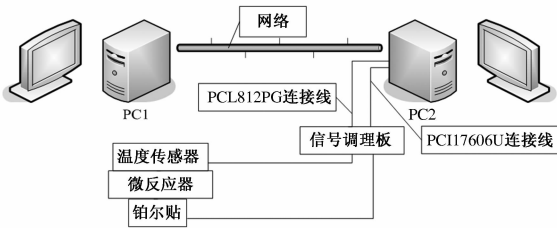


图 1 网络实验系统框图

Fig. 1 Networked experimental system

- (1) 温度传感器:采用 LM35 精密温度传感器采集微反应器的温度,输出 0~1 V 电压信号.
- (2) 铂尔贴:制冷装置,通过占空比不同的 PWM 波信号,可以产生不同的制冷效果.
- (3) PC1:通过网络接收微反应器的温度信息,用特定的算法对接收的数据进行计算,再通过网络返回计算结果.
- (4) PC2:接收 PC1 发送过来的数据,根据数据控制 PCI1760U 板卡,输出相应的 PWM 波;控制 PCL812PG 板卡采集电压信号,发送到 PC1.
- (5) 信号调理板:把温度传感器产生的 0~1 V 电压信号转换为 0~5 V 电压信号;根据 PWM 波来控制铂尔贴供给电压的通断,进而控制微反

收稿日期:2013-11-18;修订日期:2013-12-02

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61074022,61304115);科技部国际科技合作与交流项目(2010DFA22770)

作者简介:张谦(1957-),男,河南平顶山人,中原工学院教授,主要从事智能控制理论与嵌入式系统应用等方向研究, E-mail:zztizdhyjs2012@163.com.

应器的温度。

(6) PCL812PG 板卡:具有 16 路的 AD 通道与 4 路 DA 通道等功能,电压采集的范围为 0 ~ 5 V,12 位精度。

(7) PCI1760U 板卡:PWM 波输出,输出范围限定在 0% ~ 100%。

2 基于 HORB 的网络通信系统设计

HORB 是用 Java 语言编写的网络通信平台,原理图如图 2 所示。它封装了网络通信中的细节,留出编程接口。本地程序可以远程创建远端程序对象,调用该方法,方便编程。但这也增加了数据传送与处理的复杂性,增加了网络总体的延迟时间。

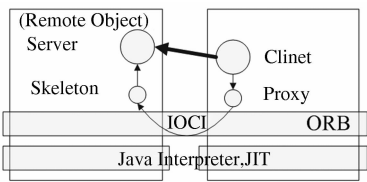


图 2 HORB 原理图

Fig. 2 The principle of HORB

2.1 网络通信系统设计

利用 HORB 平台,根据远端 IP 创建对象就可进行通信。为了传输数据的安全和管理计算机方便,增加服务器端对各个参与通信的实验端与控制端进行控制,程序流程图如图 3 所示。实验端与控制端都需要向服务器提供 IP 与任务等信息,让服务器能够根据信息进行实验的管理。这样设计的网络通信系统体现了故障局部化、功能分散化及控制协同化原则,是基于异构平台构建的多智能体故障分散控制系统,比以前的网络通信系统具有更好的平台移植性和安全性。

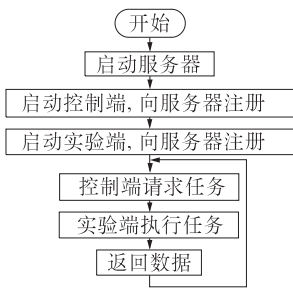


图 3 通信实验程序流程图

Fig. 3 Flowchart on communication program

2.2 系统驱动程序设计

实验系统所选用的板卡没有提供 Java 语言

使用的驱动程序,需要开发 JNI 接口能调用的动态链接库。利用提供的 Adsapi32.dll 来生成动态链接库 PCL812PG.dll 和 PCI1760U.dll。下面以 PCI1760U.dll 为例说明生成动态链接库的过程。

(1) 编写调用 PCI1760U.dll 的 Java 文件 pwm.java。这个文件里要有 System.loadLibrary 函数与本地函数的声明。研华所提供的库函数中,参数大部分都是以指针的形式,而 Java 语言中是没有提供类似指针的功能。在声明本地函数时,所有的参数都变换为一个 Java 语言支持的类型。

(2) 用 Java 命令编译编写的 Java 文件,然后用 javah 命令生成编写 dll 文件时所需要的一个头文件 pwm.h。在 pwm.h 中,自动生成了所需编写的新函数的格式。

(3) 用 VC6.0 新建一个 Win32 Static Library 类型的工程,取名为 PCI1760U,然后把生成的头文件拷贝到工程文件夹下。此工程还需要 JDK 里的头文件 jni.h、jni\_md.h 和研华程序的头文件 driver.h。driver.h 定义板卡有关的数据结构。

(4) 新建一个 cpp 文件。在编写 cpp 文件时,在新的函数中,主要处理重写的函数与原函数不同的地方,但实现同样的功能。

编译之后,即可获得所需的 PCI1760U.dll。

3 基于 CGT 的模型输出跟随控制

基于 CGT 的模型输出跟随控制方法运用模型输出跟踪控制结构,来达到实际系统跟踪参考模型的目的。文献[11]提出了如图 4 所示的模型输出跟踪控制结构图。 $u^*(t)$  是根据参考模型的前馈输入, $u(t)$  是保证闭环稳定性的反馈输入。

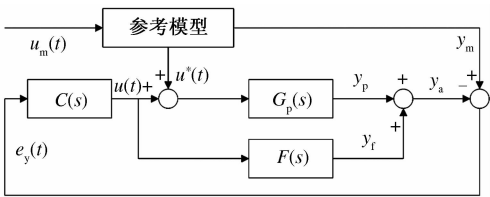


图 4 模型输出跟踪控制

Fig. 4 Model output following control

当没有网络延时的系统为  $G_p(s)$  时,带网络延时的实际系统可表示为

$$G_p(s) = G(s) \cdot e^{-T_d s} \tag{1}$$

式中: $T_d$  为一次通信的网络延时时间。把延时部分展开可得

$$G_p(s) \approx G_p^*(s) = G(s) \cdot \left( \frac{1}{1 + \frac{T_d}{n}s} \right)^n, n = 1, 2, \dots \tag{2}$$

在此,对于网络控制系统导致的网络延时  $T_d$ ,我们通过设计一个鲁棒并行补偿器  $F(S)$  来进行补偿,具体设计为

$$F(s) = \frac{sG(s)}{(s + \frac{n}{T_d})} \sum_{i=1}^n F_{1i}(s) + \sum_{j=1}^{m_2-m_1-1} \delta^j F_{2j}(s); \quad (3)$$

$$F_{1i}(s) = \left( \frac{T_d}{s + \frac{n}{T_d}} \right)^{i-1}, i = 1, \dots, n; \quad (4)$$

$$F_{2j}(s) = \frac{\beta_j n_j(s)}{d_j(s)}, j = 1, \dots, m_2 - m_1 - 1. \quad (5)$$

式中:  $m_2$  和  $m_1$  是  $G(s)$  分母与分子的阶数;  $\delta$  是一个小的正常数;  $d_j(s)$  是  $n_{dj} (\geq m_2 - m_1 - j)$  阶的稳定多项式;  $n_j(s)$  是  $m_{nj} (= n_{dj} - (m_2 - m_1 - j))$  阶的稳定多项式, 参数  $\beta$  的选择是根据下面 Hurwitz 多项式:

$$r(s) = \beta_{m_2-m_1-1} s^{m_2-m_1-1} + \dots + \beta_1 s + \beta_0, \beta_0 = k. \quad (6)$$

原系统加入鲁棒并行补偿  $F(s)$  后,实际的需要控制的系统为

$$G_a(s) = G_p(s) + F(s). \quad (7)$$

设计  $C(s) = -k_e, k_e$  为常数设

$$\begin{cases} \hat{G}(s) = G_p^*(s) + F(s); \\ \tilde{G}(s) = G_p(s) - G_p^*(s); \\ G_a(s) = \tilde{G}(s) + \hat{G}(s). \end{cases} \quad (8)$$

当  $k_e$  满足不等式:

$$\|\tilde{G}(j\omega)\| < \left\| \frac{1}{k_e} + G(j\omega) + \sum_{i=1}^{m_2-m_1-1} \delta^i F_{2i}(j\omega) \right\|, \quad \forall \omega \in [0, \infty). \quad (9)$$

系统稳定.

对于讨论的实验系统  $\hat{G}(s)$ , 提出以下假设:

(1) 对于 ASPR 讨论的实验系统  $\hat{G}(s)$  和  $k_e$ , 满足公式(9).

(2) 对于近似的实验系统  $G_p^*(s)$ , 状态方程矩阵为  $A, B, C$ , 就存在  $\Omega_{ij}$  满足

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Omega_{11} & \Omega_{12} \\ \Omega_{21} & \Omega_{22} \end{bmatrix} = I. \quad (10)$$

式中,  $\Omega_{11}$  的特征值不等于  $A_m$  特征值的倒数.

(3) 参考输入  $u_m(t)$  和它的各阶导数  $u_m^i(t)$ , ( $i = 1, \dots, n + m_2 - m_1$ ) 是有界的. 则根据 CGT 理论, 可得

$$u^*(t) = S_{21}x_m(t) + S_{22}u_m(t) + S_3(t). \quad (11)$$

其中,  $S_{ij}, i, j = 1, 2$  要满足以下方程:

$$\begin{cases} S_{11} = \Omega_{11}S_{11}A_m + \Omega_{12}C_m^T; \\ S_{12} = \Omega_{11}S_{11}B_m; \\ S_{21} = \Omega_{21}S_{11}A_m + \Omega_{22}C_m^T; \\ S_{22} = \Omega_{21}S_{11}B_m; \\ S_3(t) = \Omega_{21}v(t); \\ \Omega_{11}\dot{v}(t) = v(t) - S_{12}\dot{u}_m. \end{cases} \quad (12)$$

## 4 仿真与实验

基于铂尔贴的微反应过程的温度过程辨识模型为

$$G(s) = \frac{0.165}{162.5s + 1}. \quad (13)$$

网络控制系统的网络延时如图 5 所示. 可以看出,  $T_d$  近似为 19 s. 在仿真与实验时,  $n$  取 3. 参考模型输入为

$$u_m = \begin{cases} 4 & 0 < t \leq 1\,140; \\ 4 + 2\sin(\pi t/1\,140), & 1\,140 < t < 3\,420. \end{cases} \quad (14)$$

参考模型选取为

$$G_m(s) = \frac{1}{60s + 1}. \quad (15)$$

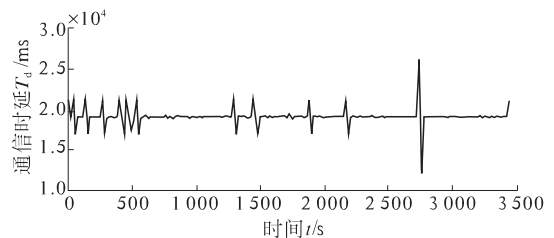


图 5 数据传送延时

Fig. 5 Time delay on network

根据公式(9),  $k_e$  取 0.1 来保证系统的稳定性. 仿真结果如图 6. 点划线是期望下降温度随时间变化图, 可以看出, 在前 1 140 s, 期望下降温度为 4 °C, 在 1 140 s 后, 下降温度是正弦变化的; 虚线为系统输出; 实线为参考模型输出. 在 0 ~ 1 140 s 阶段, 系统的输出能最终跟踪上参考模型输出, 达到期望下降 4 °C 并且保持相对稳定. 在 1 140 ~ 3 420 s 阶段, 参考模型输出随正弦变化, 系统下降温度能够跟踪上参考模型输出的变化.

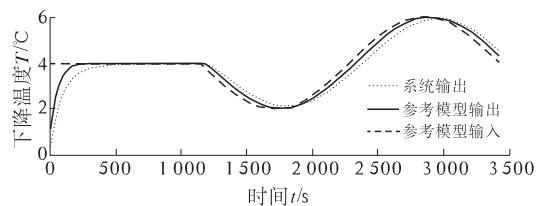


图 6 系统仿真数据图

Fig. 6 Simulation result

图7为实际系统的输出图.无论期望下降温度为固定的值,还是不断随时间变化的,系统输出都能很好地跟踪上参考模型的输出.保持相对温度误差在3%左右,对于温度控制,已经满足要求.实验时的参数选取还需要进一步的优化,以达到很好的跟踪性.

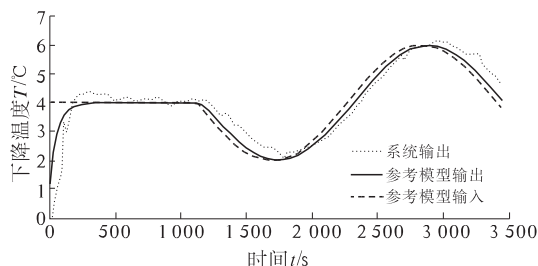


图7 系统实验数据图

Fig.7 Experimental result

## 5 结束语

笔者利用 HORB、工控机、研华 PCL812PG 与 PCI1760U 板卡搭建了一个网络化温度控制系统,并给出基于 CGT 的模型输出跟随控制方法实现了微反应过程温度的网络化控制.该网络系统实现了多智能体之间的跨平台通信;通用驱动程序的设计解决了研华板卡与 Java 网络通信程序之间的通信问题;基于 CGT 的模型输出跟随控制方法有效地解决了由于延时带来的系统稳定性问题和跟踪控制问题.

## 参考文献:

[1] 张端金,张浩,王磊.长时延多包传输网络控制系

统的稳定性分析[J]. 郑州大学学报:工学版,2009,30(2): 91-94.

[2] 游科友,谢立华.网络控制系统的最新研究综述[J]. 自动化学报,2013,39(2): 101-118.

[3] 王瑞敏,费树岷,柴琳.网络控制系统的预测补偿[J]. 控制理论与应用,2011,28(10): 1473-1479.

[4] 李玉清,方华京.大时延网络控制系统的研究方法与新动态[J]. 计算机测量与控制,2005,13(12): 1408-1411.

[5] 吴钦木,李叶松,秦忆.网络控制系统稳定性分析和控制方法[J]. 电气传动,2006,36(6): 8-15.

[6] LI Tao, FU Min-yue, XIE Li-hua, et al. Distributed consensus with limited communication data rate [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2011, 56(2): 279-292

[7] 张治国,郭国旗,郭建党,等.网络控制系统在感应加热设备上的应用[J]. 钢管,2006,35(6): 39-42.

[8] TARN T J, XI N. Planning and control of internet-based teleoperation [C]//Proceedings of SPIE: Telemanipulator and Telepresence Technologies V. 1998: 189-195.

[9] 游国祖,谈英姿.基于三层网络控制的过程控制实验平台[J]. 实验室研究与探索,2011,30(3): 39-53.

[10] 朱光灿,郑萍,邵子惠,等.基于 WebAccess 的远程实验物流控制系统设计[J]. 实验室研究与探索,2012,31(1): 68-72.

[11] DENG Ming-cong, WEN Sheng-jun, INOUE A. Adaptive output following control of a networked thermal process[J]. International Journal of Intelligent Control and Systems, 2009, 14(2): 134-140.

## HORB Based Networked Temperature Control Design and Implementation

ZHANG Qian, LI Hong-jun, WEN Sheng-jun, WANG Dong-yun

(School of Electronic and Information Engineering, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** In this paper, a networked temperature control system with the characteristics of cross-platform is designed and realized through the HORB based networked communication platform. Firstly, HORB based networked communication experimental platform is established. Secondly, temperature control system of a micro-reactor process with peltier device is considered, where Advantech's PCL812PG board is used to collect temperature and PCI1760U board to generate PWM wave. Also, the drivers of the Advantech's boards are developed for the networked system. Thirdly, the model output following controller based on CGT (Command Generator Tracker) is designed for the networked temperature control of micro-reactor process. Then, the implementation is discussed using the designed platform and proposed method, where fault localization, cooperative communication and distributed control are ensured. Simulation and experiment are given to show the effectiveness of the designed communication system and the proposed control method.

**Key words:** networked control; HORB; CGT; Peltier