

# 新型网络控制器在组态软件中的应用研究

王洋<sup>1,2</sup>, 付敬奇<sup>2</sup>, 张勇旭<sup>2</sup>

(1. 上海电机学院, 上海 200012;

2. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072)

**摘要:** 基于网络延时及软件延时给控制系统带来的新问题, 从网络控制系统先进控制器设计角度出发, 探究通过改进网络控制器的设计方法, 提高网络控制性能。通过在相同网络条件下进行仿真实验, 验证了改进的 PID-Smith 预估器能够更好地改善网络控制系统的控制性能。将这种改进的网络控制器技术应用于组态软件设计中, 将来组态软件在工业自动化过程控制的应用中可以发挥更好的网络控制功能, 从而提升组态软件产品的控制功能。

**关键词:** 组态软件; 网络延时; PID 控制器; 软件延时

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)12-0236-04

## Application Research of New Net Controller Technology in Configuration Software

WANG Yang<sup>1,2</sup>, FU Jing-qi<sup>2</sup>, ZHANG Yong-xu<sup>2</sup>

(1. Shanghai Electrical College, Shanghai 200012, China;

2. School of Mechanical Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** The new problem toward control system based on network delay and software delay is solved by the design of advanced controller. The simulation experiments under the same network conditions show that the improved PID-Smith predictor is better to ameliorate the network control performance. Apply the new net controller technology in configuration software, so that configuration software can play a better control performance in the field of industrial automation to improve control performance in configuration software products.

**Key words:** configuration software; network-induced delay; PID controller; software delay

## 0 引言

工业控制网络的发展为实现工业现场大规模、大范围信息资源的共享提供了可能。但是, 信息在网络传输过程中往往也会产生延时等不确定现象, 为网络控制的顺利实施设置了障碍。

同时, 在现代工业过程控制中, 很多被控对象本身都具有延时特性和时变特性, 这些延时现象的产生往往影响到控制系统的稳定性, 如何更好地解决这些延时问题是当今控制领域研究的重点内容之一, 也是组态软件网络控制模块设计开发过程中的理论基础和实现难点。

## 1 工业网络监控系统延时分析

### 1.1 工业网络监控系统中延时产生原因

工业控制现场很多控制和监控数据通过网络传输, 由于网络的介入, 控制系统的信息传输过程中就会不可避免地产生延时, 这些经由传输网络产生的延时统称为网络诱导延时<sup>[1]</sup>。当前在网络控制系统研究中, 网络诱导延时是网络控制系统研究中需要解决的主要问题之一<sup>[2]</sup>。网络延时根据延时产生的原因不同呈现出或固定、或随机、或有界、或无界的不规则变化特征<sup>[3]</sup>。由于网络延时的存在, 给控制系统带来了很多问题, 有可能导致控制系统的控制性能下降, 或引起控制系统的不稳定等<sup>[4]</sup>。

### 1.2 工业网络监控系统中延时的组成分析

在考虑工业网络监控系统中的网络延时组成时, 可以从三个方面来考虑, 将工业网络监控系统的延时分三种: 被控对象延时、网络传输延时和软件延时。三种延时的分层结构图如图 1 所示。

收稿日期: 2010-04-09; 修回日期: 2010-07-25

基金项目: 上海市优秀青年教师专项基金(Sdj-09111)

作者简介: 王洋(1984-), 女, 辽宁营口人, 讲师, 博士, 研究方向为传感器及自动化仪表的智能化、网络化技术。

(1)被控对象延时。第一种延时是现场控制层被控对象自身的延时  $\tau_p$ , 该延时主要由被控对象自身特性决定, 如工业过程控制中的温度控制对象, 自身就具有延时特性, 在化工、钢铁、冶金等工业过程控制中比较常见<sup>[5]</sup>。

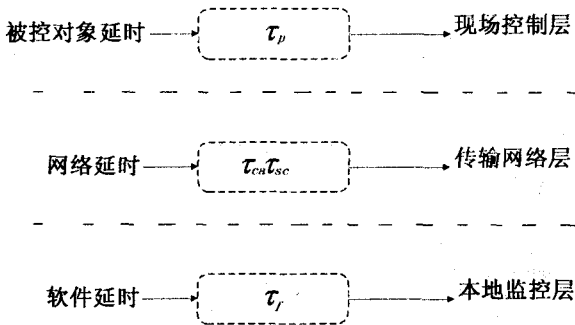


图 1 工业网络控制系统延时分层结构图

(2)网络延时。第二种延时是监控系统传输网络产生的延时  $\tau_{cn}$  与  $\tau_{sc}$ , 这部分延时是由数据包在通信网络中发送时产生的<sup>[6]</sup>。

(3)软件延时。第三种延时是由监控软件运行时引起的软件延时  $\tau_f$ , 通常在一般的网络控制系统中, 现场控制器和执行器都是由硬件来实现, 而这些硬件设备在处理信息时执行速度较快, 一般执行时间在微秒级, 可以忽略<sup>[7]</sup>。但是, 在工业网络监控系统中, 当控制器通过软件实现, 即利用高级编程语言实现控制器, 从而构成一种软件自动化网络控制系统。因此, 软件延时也是工业网络监控系统的重要组成部分, 软件代码运行时间对整个监控系统的影响要重点分析考虑。软件延时实际上就是软件程序代码运行时间, 包括主程序的读取, 函数调用, 数据包计算分析等共同构成了软件延时。同时软件延时又具有一定的特点, 那就是软件延时一般比较恒定, 软件延时主要由程序代码结构设计决定。在利用 C# 语言进行编程开发网络控制器时, 由于软件延时的存在, 也会给控制器的应用带来新的难题和挑战<sup>[8,9]</sup>。

软件延时主要由系统硬件资源和软件代码自身结构的合理性共同决定, 首先是硬件资源对软件延时的影响, 软件延时与计算机硬件资源的分配有关, 一般在一台工业网络监控系统的工程师计算机上, 在计算机上运行的操作系统和其他软件将会占用一定的硬件资源, 而监控系统占有的资源是否充足都决定了软件延时的大小。

综合上面关于工业网络监控系统中的延时组成分析可知, 整个工业网络监控系统要解决的延时问题主要是三种延时带来的。下面将分别从先进网络控制器算法方面和软件程序结构优化设计方面展开研究分

析, 分别解决这些延时对整个工业网络控制系统带来的影响。

## 2 PID - Smith 预估控制器设计

### 2.1 Smith 预估控制原理

Smith 预估器是由 Ota M. Smith 在 1957 年提出的。Smith 预估器的基本原理是通过估计对象的动态特性, 用一个预估模型进行补偿, 以便使被延迟的被调量超前反应到调节器, 使调节器提前动作, 从而得到一个没有时滞的被调量反馈到控制器, 使得从控制的角度来看整个系统没有时滞环节, 使系统的控制品质与被控过程无滞后时相同<sup>[10]</sup>。

### 2.2 PID - Smith 预估控制器的设计

目前关于解决网络控制系统延时问题, 一般要求在控制器或执行器中存储网络延时的一些历史数据信息, 或者假设网络延时是一个恒定值, 网络延时分布已知, 或者网络延时要求小于采样周期。这些假设需要将网络延时放大, 但很难得到准确值, 同时由于网络延时又具有随机性和不确定性, 因而难以得到精确的数学模型。

对传统的 Smith 控制器进行改进, 在控制器设计中考虑加入软件延时的情况下, 对传统 Smith 预估器进行改进, 在控制器端来补偿网络延时对系统造成的影响。改进后的 Smith 预估器与 PID 控制器的结合, 可以很好地解决被控对象本身延时和软件延时给控制系统带来的问题, 比单独的 PID 控制器具有更好的控制性能。下面介绍这种改进的控制器的设计方法。

假设被控对象传递函数为  $G_p(s)$ , 被控对象的时滞环节为  $e^{-\tau_p s}$ 。考虑在控制器端进行 Smith 预估补偿, 并考虑软件延时对系统的影响, 改进预估器的网络控制系统如图 2 所示。图中  $G_{pm}(s)$  和  $e^{-\tau_{pm} s}$  为预估模型。

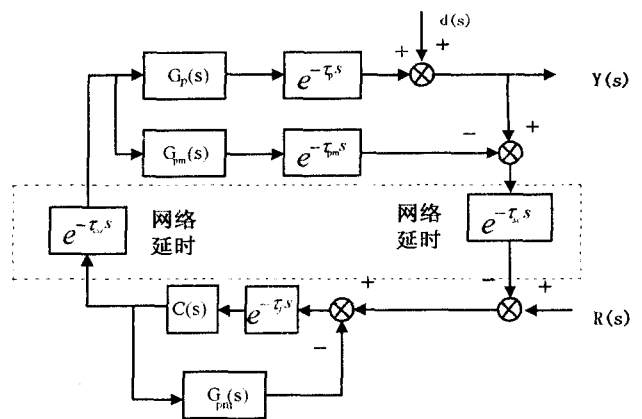


图 2 基于改进的预估器的网络控制系统图  
针对图 2, 系统的传递函数为:

$$\frac{y(s)}{r(s)} = \frac{C(s)e^{-\tau_f}e^{-\tau_{ca}}G_p(s)e^{-\tau_p}}{1 + C(s)G_{pm}(s) + C(s)e^{-\tau_{ca}}(G_p(s)e^{-\tau_p} - G_{pm}(s)e^{-\tau_{pm}})e^{-\tau_x}} \quad (1)$$

其特征方程如式(2)所示:

$$1 + C(s)G_{pm}(s) + C(s)e^{-\tau_{ca}}(G_p(s)e^{-\tau_p} - G_{pm}(s)e^{-\tau_{pm}})e^{-\tau_x} \quad (2)$$

当  $\tau_{pm} = \tau_p, G_{pm}(s) = G_p(s)$  时,即被控对象的预估模型等于真实模型,式(2)可以化简为:

$$\frac{y(s)}{r(s)} = \frac{C(s)e^{-\tau_f}e^{-\tau_{ca}}G_p(s)e^{-\tau_p}}{1 + C(s)G_p(s)} \quad (3)$$

通过上面的变换推导可以得出,当被控对象的参数与被控对象预估模型参数完全相同的前提下,这种改进的预估补偿器很好地解决了传统预估补偿中存在的现实问题。在改进后的预估模型中,消除了建模工作给系统稳定性带来的影响,提高了系统对于网络延时的随机性、时变性和不确定性的适应能力<sup>[11]</sup>。

由于在实际网络控制系统中,被控对象往往复杂程度各异,所以对被控对象的建模有很多实际困难,对于这种改进的预估补偿器的稳定性带来挑战,所以下面将通过仿真研究验证预估器的稳健性。

### 3 算法仿真与分析

#### 3.1 算法仿真

下面对这种改进的预估器进行仿真实验,验证其收敛性。重点研究 Smith 预估补偿模型与实际被控对象模型及参数存在不匹配时,网络存在延时情况时整个网络控制系统的鲁棒性和抗干扰能力。本实验系统采用单回路网络控制系统仿真模型,采用以太网总线型控制网络为传输介质。

针对网络控制系统的控制方法进行研究,整个系统由传感器、控制器、执行器和被控对象组成,控制器  $C(s)$  采用 PID 控制器,传感器采样周期为 200 毫秒,参考输入信号为阶跃信号。

在仿真系统的控制对象传递函数为:

$$G_p(s)e^{-\tau_p} = \frac{be^{-\tau_p}}{Ts + 1} = \frac{1}{75s + 1}e^{-80s} \quad (4)$$

式中  $\tau_p$  为被控对象自身的延时,被控对象的预估模型为:

$$G_{pm}(s)e^{-\tau_{pm}} = \frac{b_m e^{-\tau_{pm}}}{T_m s + 1} \quad (5)$$

常规 PID 控制的参数整定采用 Ziegler - Nichols 方法获得,该方法整定比例系数  $K_p$  的思想是:首先设  $K_D = K_I = 0$ ,然后增加  $K_p$  直至系统开始震荡,再将  $K_p$  乘以 0.6,即为整定后的比例系数  $K_p$ <sup>[12]</sup>。

整定公式如下:

$$K_p = 0.6K_m, K_D = \frac{K_p T}{40\omega_m}, K_I = \frac{K_p \omega_m}{\pi} \quad (6)$$

式中,  $K_m$  为系统开始震荡时的  $K$  值,  $\omega_m$  为震荡频率。

本系统中常规 PID 控制器的参数为  $K_p = 3, K_I = 0.22, K_D = 0.08$ 。对于所有仿真对象中的 Smith 预估模型和参数始终保持不变,即:

$$G_{pm}(s)e^{-\tau_{pm}} = G_p(s)e^{-\tau_p} = \frac{be^{-\tau_p}}{Ts + 1} = \frac{1}{75s + 1}e^{-80s} \quad (7)$$

整个系统采用实时闭环控制,被控对象的输入信号是  $r$ , 输出  $y$ , 在仿真实验中,网络延时  $\tau_{ca}, \tau_{xc}$  的延时范围是  $0 \sim 400ms$ , 并且具有随机性,呈现正态分布。软件延时  $\tau_f$  设为固定延时,取值为  $50ms$ 。在仿真分析中,进行了三组仿真实验,第一组是预估模型参数与被控对象参数完全匹配,第二组和第三组是预估模型参数与被控对象参数不完全匹配即存在模型误差。实验模型参数如下:

仿真案例 I: 被控对象与预估模型参数完全匹配:

$$b = 1, T = 75, \tau_p = 80, b_m = 1, T_m = 75, \tau_{pm} = 80;$$

仿真案例 II: 改变被控对象的参数,Smith 预估模型保持不变:

$$b = 1.2, T = 65, \tau_p = 80, b_m = 1, T_m = 75, \tau_{pm} = 80;$$

仿真案例 III: 改变被控对象的参数,Smith 预估模型保持不变:

$$b = 1, T = 85, \tau_p = 60, b_m = 1, T_m = 75, \tau_{pm} = 80。$$

被控对象与预估模型参数完全匹配情况下响应曲线为  $y_1$ , 被控对象与预估模型参数不完全匹配情况下响应曲线为  $y_2, y_3$ 。系统阶跃响应曲线仿真结果如图 3 和图 4 所示。

#### 3.2 仿真结果分析

当网络延时和软件延时同时存在,并且网络延时具有  $\tau_{ca}, \tau_{xc}$  随机性和不确定性,在实验中网络延时  $\tau_{ca}, \tau_{xc}$  在  $0 \sim 400ms$  之间变化,面对具有纯时滞环节的控制对象,改进的 PID - Smith 预估控制器表现出良好的动态稳健性。通过仿真实验可以看到,当被控对象模型与 Smith 预估模型参数完全匹配时,系统对输入阶跃信号表现出良好的跟踪性能;而当被控对象发生变化时,即实际控制对象模型与 Smith 预估模型的参数不能完全匹配时,系统的输出出现一定的波动,但是从输出结果看基本仍可以满足控制性能要求,从而说明改进的 PID - Smith 网络控制器具有良好的动态性能和鲁棒性。

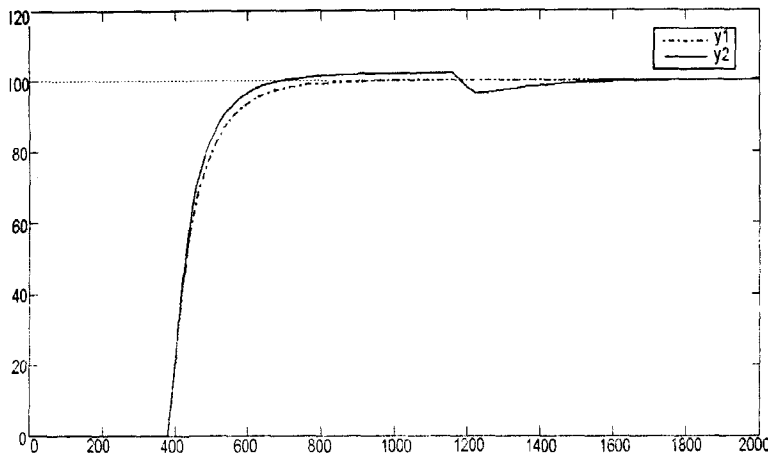


图 3 网络控制系统阶跃响应曲线  
( $y_1$ : 仿真案例 I;  $y_2$ : 仿真案例 II)

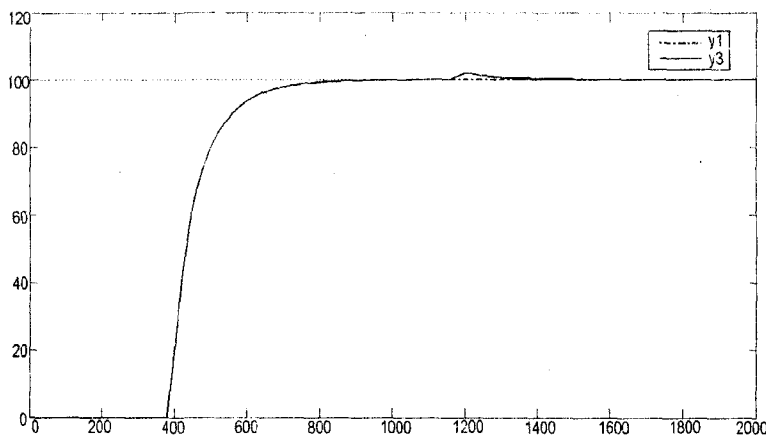


图 4 网络控制系统阶跃响应曲线  
( $y_1$ : 仿真案例 I;  $y_3$ : 仿真案例 III)

#### 4 结束语

从网络控制系统先进控制器设计角度出发,探究通过改进网络控制器的设计方法,提高网络控制性能的方法。通过对传统 Smith 预估补偿方法进行改进,由此解决由于前向、后向网络延时和软件延时引入的新问题。然后通过相同网络条件下进行仿真实验,验证了改进的 PID-Smith 预估器能够更好地改善网络控制系统的控制性能,提高整个网络控制系统的稳

健性。

#### 参考文献:

- [1] Yang T C. Networked control system: a brief survey[J]. IEE Proceedings - Control Theory and Applications, 2006, 153(4): 403 - 412.
- [2] Yang T C, Yu H, Fei M R, et al. Networked control systems: a historical review and current research topics[J]. Journal of Institute of Measurement and Control, 2005, 38(1): 12 - 16.
- [3] Yu H, Harding C, Hasan M S. Overview of networks and control[C]//Presented at the International Conference on Instrumentation, Control and Information Technology. Japan: [s. n.], 2005: 205 - 210.
- [4] 朱张青, 周 川, 胡维礼. 短时限网络控制系统的鲁棒  $H_2/H_\infty$  状态观测器设计[J]. 控制与决策, 2005, 20(3): 280 - 284.
- [5] 郭晓军, 袁 阳. 不确定时延网络控制系统的建模与稳定性研究[J]. 湖南工业大学学报, 2008, 22(5): 65 - 69.
- [6] Walsh G, Ye H, Bushnell L. Stability analysis of networked control systems[J]. IEEE Transactions Control Systems Technology, 2002(10): 438 - 446.
- [7] 张庆灵, 邱占芝. 网络控制系统[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [8] 郑小宁. 基于因特网的远程控制技术研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2002.
- [9] 程 彬, 李立伟, 何文雪. NET 环境下工控组件的设计与制作[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(11): 15 - 19.
- [10] 张光新. 啤酒生产过程的全自动化控制及其应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
- [11] Tipsuwan Y, Chow M Y. Fuzzy logic microcontroller implementation for DC motor speed control[C]//The 25th Annual Conf of the IEEE Industrial Electronics Society. San Jose, CA, USA: [s. n.], 1999: 1271 - 1276.
- [12] 刘金琨. 先进 PID 控制及其 Matlab 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.

(上接第 235 页)

- [6] 张施展, 高景昌. 基于 WMI 技术的计算机自动化管理[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2006(4): 451 - 454.
- [7] 戴大蒙, 李虎雄, 陈赛婷. 综合性能监控管理模型的设计与实现[J]. 计算机应用, 2007(1): 255 - 256.
- [8] 姜 边. 一种基于 .NET 元数据的对象持久化框架[J]. 计算机应用, 2005(4): 833 - 836.
- [9] 宋 昕, 盛 晨, 王新华. 基于 WMI 的计算机管理技术的研究与实现[J]. 浙江科技学院学报, 2007(1): 23 - 26.
- [10] 唐 忠, 何慧敏, 苏 飞. 基于 WMI 技术服务器网管软件设计和实现[J]. 桂林电子科技大学学报, 2008(6): 462 - 465.
- [11] 姜劲松, 吴礼发, 张 萍. 基于 WMI 的系统管理的设计与实现[J]. 计算机应用, 2004(3): 16 - 17.
- [12] 孙 涛, 姜良华, 席加铭. 基于 WMI 的公共机房学生操作行为限制系统[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2009(3): 57 - 60.