

文章编号:1008-1534(2013)03-0143-04

## 基于预测模糊的供暖系统控制算法研究

张苏英<sup>1</sup>, 齐雪莲<sup>1</sup>, 郭慧聪<sup>2</sup>, 何 源<sup>2</sup>

(1. 河北科技大学电气工程学院, 河北石家庄 050018; 2. 河北科技大学信息科学与工程学院, 河北石家庄 050018)

**摘 要:**针对复杂的供暖系统中存在的大时滞、大惯性和不确定性, 引入预测模糊控制算法对该系统进行调节。预测模糊控制算法是将预测控制和模糊控制两种控制算法优点充分结合的一种控制算法。通过 Matlab 仿真实验表明, 在调节供暖系统中使用预测模糊控制比单纯使用预测控制能够产生更好的调节效果。

**关键词:**预测模糊控制; 预测控制; 控制量; Matlab 仿真

中图分类号: TP29      文献标志码: A      doi: 10.7535/hbgykj.2013yx0303

### Study on control algorithm of heating system based on predictive fuzzy control

ZHANG Suying<sup>1</sup>, QI Xuelian<sup>1</sup>, GUO Huicong<sup>2</sup>, HE Yuan<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering and Information Science, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050018, China; 2. School of Information Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050018, China)

**Abstract:** Heating system usually has disadvantage of large delay, large inertia and uncertainty. Predictive fuzzy control method, which combines the advantage of predictive control and fuzzy control, is introduced to adapt the system. Simulation by Matlab shows that using predictive fuzzy control has more advantage than predictive control in regulating.

**Key words:** predictive fuzzy control; predictive control; control variable; Matlab simulation

随着城市化的日益发展, 城市的相关基础设施也正处于不断建设中。其中作为基础设施之一的城市供热, 对城市居民的日常生活、企业的生产等起着最直接的影响。如何更有效地对城市供热网进行管理和控制, 是城市发展中的重要问题<sup>[1]</sup>。为了对供热系统进行控制, 在供热管网中用户端加装调节阀来控制热水的流量, 以实现室内温度的可调, 从而科学分配热量, 达到节约热量、经济

运行的目的。

供热系统是一个复杂的动力学系统, 存在大时滞、大惯性以及各种不确定性。要设计满意的控制器必须能实现自适应控制, 为此本文采用了广义预测控制(GPC)。该方法以受控自回归积分滑动平均(CARIMA)模型为基础, 结合辨识, 自校正机制和多步预测优化策略将模糊控制和预测控制 2 种方法结合起来。模糊控制是一种语言控制, 不依赖于精确的数学模型, 对参数的变化不敏感, 适应性强, 有较好的鲁棒性。因此, 将模糊控制和预测控制 2 种方法结合起来, 形成内在机理上互补的集成控制策略, 将会提高复杂工业过程的控制性能。

收稿日期: 2012-10-22; 修回日期: 2012-12-12

责任编辑: 李 穆

基金项目: 河北省教育厅重点科研课题(ZD20100206)

作者简介: 张苏英(1961-), 女, 河北深州人, 教授, 主要从事智能控制理论及应用方面的研究。

通讯作者: 齐雪莲。E-mail: qixuelian26628@163.com

### 1 供热系统的数学模型

供热系统用解析的方法很难得出其模型的精确数学表达式,因此采用了在运行条件下通过实验来辨识获取系统的模型。该实验是在调试某用户端暖气时进行的一次试验<sup>[2]</sup>。操作大致原理如下:由于控制供热系统用户端的散热量主要是通过控制暖气的进水阀的开度来完成的,因此在某一时刻,改变暖气进水阀的开度,以改变供水流量,然后在等时间间隔采样数次暖气进水阀和出水阀的温度差,这样就得到了一组以进水阀的开度为输入,进水管与出水管的温差为输出的系统数据。根据这些数据采用两点法辨识系统的数学模型为

$$G(s) = \frac{1.91e^{-60s}}{(1+173.61s)^2}, \quad (1)$$

考虑到 GPC 算法是以 CARIMA 模型为基本模型,所以首先要将系统模型化为该形式<sup>[3]</sup>。将式(1)离散化并转化为 CARIMA 模型:

$$A(z^{-1})y(k) = B(z^{-1})u(k-q-1) + \frac{\xi(k)}{\Delta}. \quad (2)$$

式中:采样时间  $T_s = 10$  s;时滞  $q = 6$ ;  $\xi$  为白噪声信号;  $\Delta = 1 - z^{-1}$ 。

$$A(z^{-1}) = 1 - 1.888z^{-1} + 0.8912z^{-2};$$

$$B(z^{-1}) = z^{-q}(0.003049z^{-1} + 0.002935z^{-2}).$$

### 2 预测模糊控制器的设计

预测模糊控制算法的特点是以预测控制为主,结合模糊控制思想,它的好处是可以充分发挥模糊控制和预测控制的优点,相互补充<sup>[4]</sup>。其大致结构框图如图 1 所示。

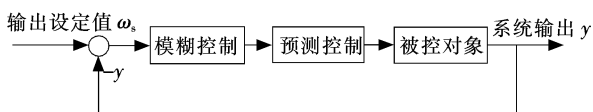


图 1 预测控制与模糊控制结合设计框图

Fig. 1 Block diagram of the predictive and fuzzy control

以下分别来介绍预测控制部分和模糊控制算法部分的设计过程。

#### 2.1 预测控制

为了求系统的输出预测值,对于系统模型(2)引入丢番图(Diophantine)方程:

$$1 = E_j(z^{-1})A(z^{-1})\Delta + z^{-j}F_j(z^{-1}); \quad (3)$$

$$E_j(z^{-1})B(z^{-1}) = G_j(z^{-1}) + z^{-(j-1)}H(z^{-1}). \quad (4)$$

式中:  $E_j(z^{-1})$  和  $F_j(z^{-1})$  是由  $A(z^{-1})$  和预测长度  $j$  唯一确定的多项式,而  $G_j(z^{-1})$  和  $F_j(z^{-1})$  是

$E_j(z^{-1})$  和  $B(z^{-1})$  卷积的结果。

由于任何时刻的噪声都是未知的,所以在忽略干扰后对于未来的  $k+j$  时刻预测的输出值为

$$\bar{y}(k+j|k) = E_j(z^{-1})B(z^{-1})\Delta u(k+j-1|k) + F_j(z^{-1})y(k), \quad (5)$$

由推导可得,输出的已知部分为

$$f_N(k) = z^{N-1}[G_N(z^{-1}) - z^{-(N-1)}g_{N,N-1} - \dots - g_{N,0}]\Delta u(k) + F_N(z^{-1})y(k).$$

可以把输出的预测值写成以下向量形式:

$$y(k|k) = G\Delta\tilde{u}(k|k) + \tilde{f}(k)$$

其中:

$$\Delta\tilde{u}(k|k) = [\Delta u(k|k), \dots, \Delta u(k+N_u-1|k)]^T,$$

$$\tilde{f}(k) = [f_1(k), \dots, f_N(k)]^T.$$

取最小方差控制为最优控制,即<sup>[5-6]</sup>:

$$\min J(k) = E\left\{ \sum_{j=N_1}^{N_2} [y(k+j|k) - \omega_s(k+j)]^2 + \sum_{j=1}^{N_u} \lambda(j) [\Delta u(k+j-1|k)]^2 \right\},$$

其中,  $\omega_s(k)$  是设定的参考轨迹;  $N_1$  和  $N_2$  分别为优化时域的起始和终止时刻,  $N_u$  为控制时域,  $\lambda$  为控制加权系数<sup>[7]</sup>。

可得控制性能指标的最优解为

$$\Delta\tilde{u}(k|k) = (\lambda I + G^T G)^{-1} G^T [\vec{\omega}(k) - \vec{f}(k)].$$

广义预测的自校正通过当被控对象的参数变化时,使用参数估计法(渐进消记忆的递推最小二乘法)来估计出系统参数,然后用参数估计值代替旧值进行控制规律的推导<sup>[8]</sup>。

#### 2.2 模糊控制

模糊部分的控制算法的输入是当前输出测量值与设定值的偏差  $E$  和偏差的变化  $EC$ ,而总系统的控制器输入则是利用预测模型预估出未来的输出值与设定值之间的偏差和偏差变化来确定的<sup>[9]</sup>。

根据经验值,模糊控制输入变量  $E$  和  $EC$  选取 5 个模糊子集{负大(NB),负小(NS),零(Zero),正小(PS),正大(PB)},  $E$  的论域为  $[-6, 6]$ ,  $EC$  的论域为  $[-12, 12]$ ,控制输出的模糊子集也取{负大(NB),负小(NS),零(ZERO),正小(PS),正大(PB)},输出的论域为  $[-6, 6]$ 。输入与输出的隶属函数均为 Z 型、三角型、梯型、S 型<sup>[10-11]</sup>。模糊控制部分输入的隶属函数曲线具体如图 2 所示,输出的控制规则如表 1 所示。

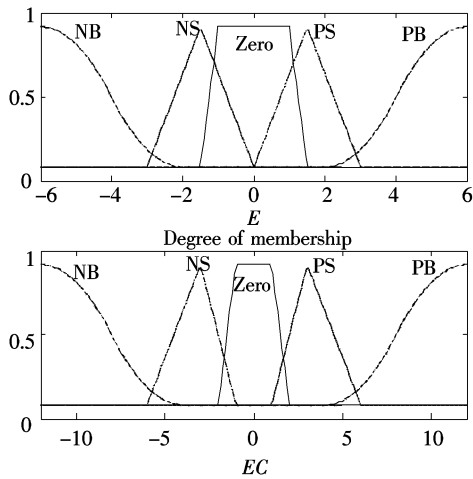


图 2 模糊控制的隶属函数

Fig. 2 Membership functions of fuzzy control

表 1 模糊规则控制表

Tab. 1 Fuzzy controller table

EC	E				
	NB	NS	Zero	PS	PB
NB	NB	NB	NS	NS	PS
NS	NB	NS	Zero	NS	PS
Zero	NB	NS	Zero	Zero	PS
PS	NB	NS	Zero	PS	PB
PB	NS	NS	Zero	PS	PB

将预测和模糊控制算法相结合具体算法如图 3 所示。

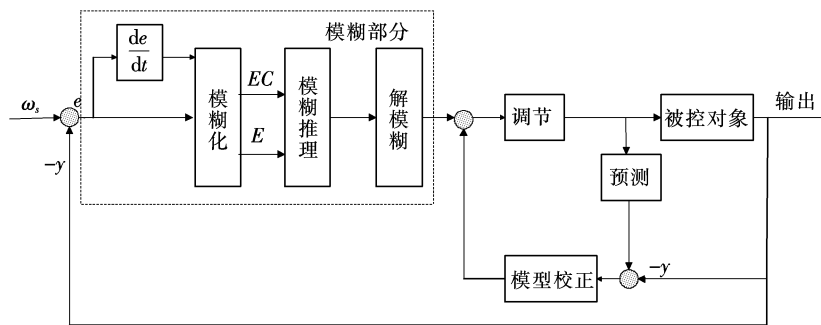


图 3 预测模糊控制框图

Fig. 3 Block diagram of predictive fuzzy control

### 3 系统的 Matlab 仿真

使用 Matlab,对加入预测模糊控制器的图 3 进行仿真,观察系统加入阶跃信号以后,系统的阶跃响应和控制量的变化曲线如图 4 所示。

在图 4 中,横坐标表示采样周期数,纵坐标表示系统的响应幅值及控制量幅值。可以看出在系统中加入预测模糊控制器以后系统几乎完全克服了时滞,并表现出平稳的调节效果。

如果把预测模糊调节器中的模糊算法去掉,只使用预测算法作为控制器时,再给系统加入阶跃信号,观察系统的阶跃响应及控制器所发控制量的变化曲线如图 5 所示。

由图 5 可以见,单纯使用预测控制器调节平稳性差,并且调节量的变化比较剧烈,所以在实际调节时实现比较困难,而把预测控制和模糊控制相结合

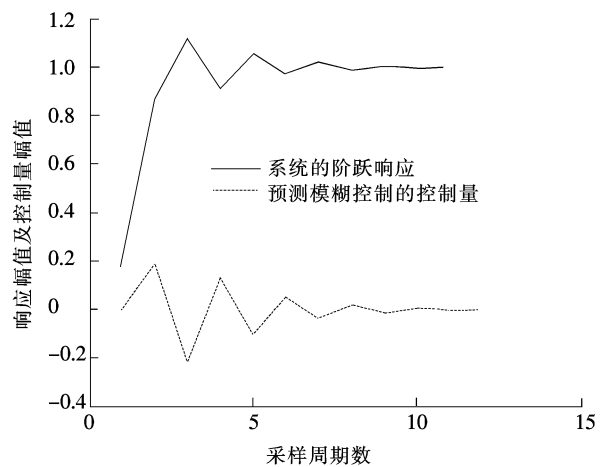


图 4 系统加入预测模糊控制器的阶跃响应和控制量的曲线图

Fig. 4 Step response and controlling variable of the predictive fuzzy control system

则可以更有效地改善系统的平稳性并使系统完成平稳的调节过程,因此在实际当中会比较容易实现。

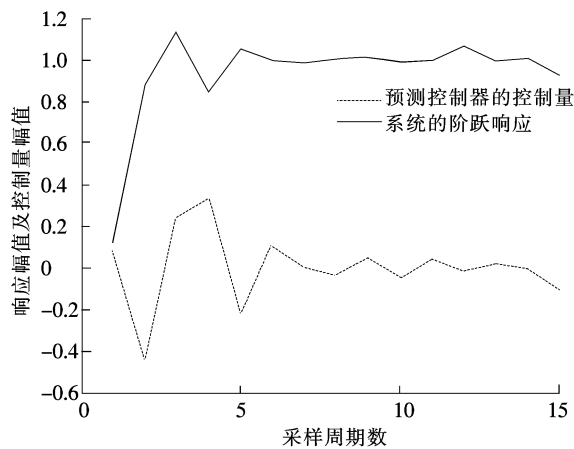


图5 系统加入预测控制器的阶跃响应和控制量的曲线图

Fig. 5 Step response and controlling variable of the GPC system

## 4 结论

对于供暖系统这种存在不确定性的被控对象,预测控制在理论上有良好的控制效果,但在供暖系统这类存在较多扰动的系统中,单纯的使用预测控制在调节时会因扰动而出现调节量大或稳定性差而难以实现。本文通过引入对参数不敏感的模糊控制加入预测控制,使2种控制方法的优点结合起来,对系统进行调节取得了良好的控制效果。仿真结果表明预测模糊控制要比单纯使用预测控制效果更好,尤其是在对用于控制阀调节时,平稳的调节更容易实现从而可以有效的延长器件的使用寿命。

## 参考文献/References:

- [1] 旁 静. 智能化控制在城市供热网中的应用[J]. 科技传播, 2011(12):196-197.  
PANG Jing. Application of intellectualized control in municipal heating supply network [J]. Applied Technology, 2011(12): 196-197.
- [2] 许青松,高经伍,刘 冰,等. 模糊自适应PID控制器在集中供热系统中的应用[J]. 技术与方法,2011,30(17):76-78.  
XU Qingsong,GAO Jingwu,LIU Bing, et al. The application of fuzzy adaptive PID controller in central heating system [J]. Technique and Method, 2011, 30(17): 76-78.
- [3] 张永立. 预测模糊自整定PID集成控制系统在温度控制中的应用研究[J]. 河北科技大学学报,2006, 27(3): 242-245.  
ZHANG Yongli. Application of model predictive fuzzy self-tuning PID control system for temperature regulation [J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2006, 27(3): 242-245.
- [4] 肖 林,肖哲运,丁志江. 基于Modbus协议的PLC多路温度控制系统的实现[J]. 河北科技大学学报,2011, 32(6): 594-597.  
XIAO Lin, XIAO Zheyun, DING Zhijiang. Realization of PLC multi-channel temperature control system based on Modbus protocol [J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2011, 32(6):594-597.
- [5] 马晓雨,刘 杰,郑 岩. CSTR系统的II型模糊控制器设计[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2010,27(2):73-76.  
MA Xiaoyu, LIU Jie, ZHENG Yan. Design of type-II fuzzy controller of CSTR[J]. Journal of Hebei University of Engineering(Natural Science Edition), 2010,27(2):73-76.
- [6] 晏俊秋,肖 成,张 磊. 风力发电机的模糊PID控制器设计[J]. 河北工业大学学报,2010,39(2):44-47.  
YAN Junqiu, XIAO Cheng, ZHANG Lei. Fuzzy PID controller for wind turbines[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2010,39(2):44-47.
- [7] 丁宝苍. 预测控制的理论与方法[M]. 北京:机械工业出版社, 2008.  
DING Baocang. Theory and Method of Predictive Control [M]. Beijing: China Machine Press, 2008.
- [8] 孙优贤,褚 健. 工业过程控制技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006.  
SUN Youxian, CHU Jian. Industrial Process Control Technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [9] 安国庆,王忠杰,赫素敏,等. 基于上位机模糊PID控制的自动调压系统的设计[J]. 河北工业科技,2008,25(2): 90-92.  
AN Guoqing, WANG Zhongjie, HE Sumin, et al. Design of automatic voltage-regulating system based on fuzzy-PID control in host link computer [J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2008, 25(2): 90-92.
- [10] 李 伟,刘朝英,李建增,等. 模糊鲁棒控制器在结晶过程中的应用[J]. 河北科技大学学报,2011,32(4):359-363.  
LI Wei, LIU Chaoying, LI Jianzeng, et al. Application of fuzzy robust controller in crystallization [J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2011, 32(4): 359-363.
- [11] 刘宏民,贾春玉,单修迎. 智能方法在板形控制中的应用[J]. 燕山大学学报,2010,34(1):1-5.  
LIU Hongmin, JIA Chunyu, SHAN Xiuying. Application of intelligent methods in flatness control[J]. Journal of Yanshan University, 2010,34(1):1-5.