

灰色预测模糊自适应 PID 控制在供热系统中的应用

李 兵¹, 范莉惠²

(1. 唐山学院, 河北 唐山 063000; 2. 华北理工大学 电气工程学院, 河北 唐山 063009)

摘要: 由于供热系统在集中供热时的非线性、时变性、随机干扰以及对象模型的不确定性, 使供热系统调节速度慢, 供热不均匀, 造成了能源的极大浪费。为了改善这一现象, 将灰色预测、模糊控制、常规 PID 三种控制思想融合起来, 设计了一种灰色预测模糊自适应 PID 控制器, 它以室外温度作为输入, 以二次回水温度作为输出, 对供热系统中的二次回水温度进行控制, 使回水温度随室外温度的变化进行调节。

关键词: 供热系统; 回水温度; 灰色预测; 模糊自适应 PID 控制器

中图分类号: TP273⁺.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-349X(2015)03-0018-03

DOI: 10.16160/j.cnki.tsxyxb.2015.03.007

Application of Grey Prediction Fuzzy PID Control in the Heating System

LI Bing¹, FAN Li-hui²

(1. Tangshan College, Tangshan 063000, China; 2. College of Electrical Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan 063009, China)

Abstract: Due to the non-linearity, time-varying, random disturbance and consumer uncertainty of the central heating system, the adjusting speed is slow, and the heating uneven, resulting in a great waste of energy. In order to improve on this, grey prediction, fuzzy control, and conventional PID control can be integrated to design a grey prediction fuzzy adaptive PID controller, which, with the outdoor temperature as input, and secondary return water temperature as output, is capable of controlling the temperature of the secondary return water, making the return water temperature change with outdoor temperature.

Key Words: heating system; return water temperature; grey prediction; fuzzy PID control

目前,集中供暖已成为我国北方城市冬季供热的一种主要形式。城市建设现代化的一个非常重要的标志就是集中供热代替了传统的分散式供热,这种变化有助于提高经济效益、节约能源、减少污染。由于各种原因,我国集中供暖的技术水平以及整体的管理水平还比较低,供暖专家和控制专家一直在对热网调节和控制进行研究,以使热网的供热质量最好、运行状态最优、成本最低。

灰色预测是一种针对系统未来行为的、结构简单的超前控制,它根据系统现有行为特征中的发展规律,预测系统未来的行为,并以预测出的系统未来的发展趋势为依据,制定出合理的控制决策。灰色预测具有实时性和自适应性的特点^[1]。基于供热系统大惯性、大时滞的特性,笔者设计了一

种基于灰色预测的模糊自适应 PID 控制器,这种控制器结合了灰色预测和模糊自适应 PID 控制的特点,通过模糊控制不断调整 PID 控制的 3 个参数 K_p , K_i , K_d , 增强了系统的自适应性。在反馈的过程中通过灰色预测对反馈值进行预测,使系统做到提前控制,起到了减小供热系统惯性和延迟的作用,可以很好地解决供热系统时滞、控制精度、稳定性等问题。

1 灰色预测模糊自适应 PID 控制器的设计

灰色预测是以系统的行为数据作为采样信息,也就是以采样时刻的数据以及采样之前系统输出的几步历史数据作为原始数据,根据新陈代谢的原理,建立灰色 GM(1,1) 预测模型,通过模型的预测,得到系统未来一步或多步行为数据的预测值,然后对预测值和给定值进行比较,从而得到系统的输

收稿日期: 2014-11-14

基金项目: 河北省科技支撑计划项目(13276201D)

作者简介: 李兵(1962-),女,河北抚宁人,教授,博士,主要从事自动控制研究。

入量,即系统的误差和误差变化率。将误差及误差变化率作为模糊PID控制器的输入,通过模糊控制对PID控制的3个参数进行实时整定,以确定系统的超前控制值,这样就可以实现对系统相应的提前控制^[2]。控制系统的结构如图1所示。

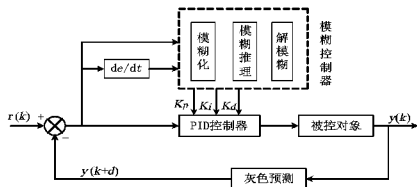


图1 灰色预测模糊PID系统的结构

2 灰色GM(1,1)预测模型

运用累加生成将没有规律的原始数据经过累加,生成接近某一函数的具有较强规律的新数列,并建立微分方程的过程就是灰色建模^[9]。经灰色GM(1,1)模型得到的数据还要经过累加逆运算还原为非生成数列才可以使用。建立该预测模型只需一个数列,过程如下:

首先对原始数列 $x^{(0)} = \{x^{(0)}(k) | k = 1, 2, 3, \dots, N\}$ 作一阶累加生成运算:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i),$$

并建立白化方程:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u,$$

这是一个变量的一阶微分方程模型。令参数列 $a = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}$, 根据最小二乘法,可以得其估计值为:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T y_N,$$

$$\text{其中 } B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(N-1) + x^{(1)}(N)) & 1 \end{bmatrix},$$

$$y_N = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(N) \end{bmatrix}.$$

则微分方程的解为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}]e^{-ak} + \frac{u}{a},$$

对其作一阶累加生成逆运算,即累减运算,就可得到 $x^{(0)}$ 的预测模型,即

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}](1 - e^a)e^{-ak}.$$

表1 室外温度和回水温度的对应值

℃

室外温度	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3
回水温度	50.3	49.3	48.3	47.3	46.3	45.4	44.4	43.4	42.4	41.4	40.4	39.4

3 模糊自适应PID控制器的设计

模糊控制器的结构是双输入三输出,其中,以误差 e 和误差变化率 ec 作为控制器的两个输入,经过模糊控制器中的模糊化、模糊推理和解模糊,输出PID控制的3个参数的修正量 K_p, K_i, K_d ,将这3个参数送入PID控制器中对PID参数进行实时修正。这样就可以满足不同状态、不同时刻的误差 e 和误差变化率 ec 对PID控制器3个参数的要求,即构成了模糊自适应PID控制器^[4]。

3.1 输入量、输出量的模糊化

输入量误差 e 和误差变化率 ec 的基本论域均为 $[-3, 3]$; 输出量 K_p, K_i, K_d 的基本论域分别为 $[-0.3, 0.3]$, $[-0.03, 0.03]$, $[-0.3, 0.3]$ 。输入量和输出量均取7个模糊子集: $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, 模糊子集中各元素分别代表的含义是:负大、负中、负小、零、正小、正中、正大。输入量和输出量的隶属度函数均选用对称三角形函数。

3.2 模糊控制规则表的建立

综合PID参数自整定原则,以及供热系统控制专家根据经验对供热系统进行的分析和归纳,依据模糊控制规则建立的基本思想,得出输入量 e, ec 与输出量 K_p, K_i, K_d 的模糊控制规则,如图2所示。

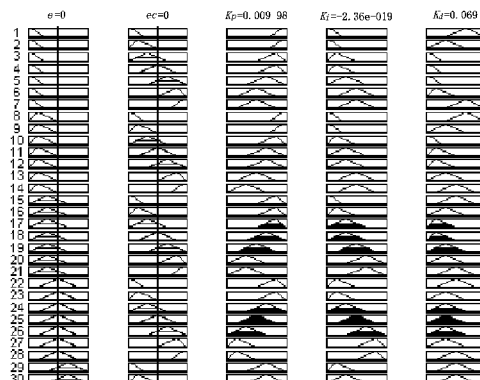


图2 模糊控制规则

3 系统仿真及结果分析

在Matlab中的Simulink仿真环境下,建立供热系统中二次回水温度控制系统的仿真结构图,如图3所示,其中的模糊自适应PID控制模块的仿真图,如图4所示。

控制系统输入的室外温度和对应的二次回水温度期望值是唐山市热力公司提供的数据,见表1。室外温度随时间的变化如图5所示。

在Simulink中通过对控制系统的仿真,得到回水温度的实际值和期望值的比较图形,如图6所示。

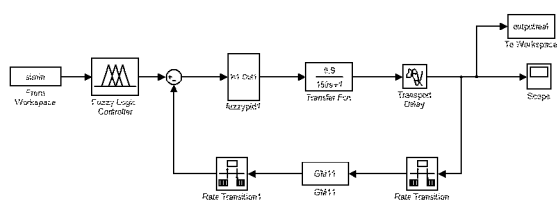


图 3 二次回水温度控制系统的仿真结构

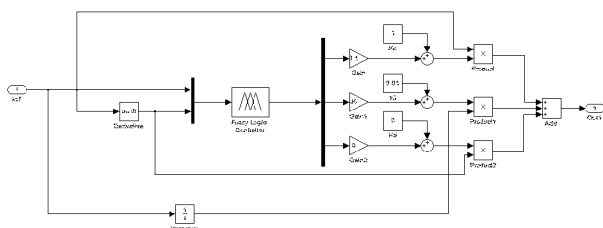


图 4 模糊自适应 PID 控制模块

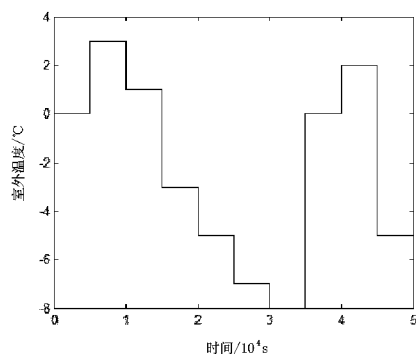


图 5 室外温度随时间的变化

由图 6 的仿真结果可以看出,无论是在室外温度变化缓慢或剧烈时,系统都能快速准确地调节至回水温度的期望值,且超调量小。调节曲线和设定曲线拟合程度很好,控制

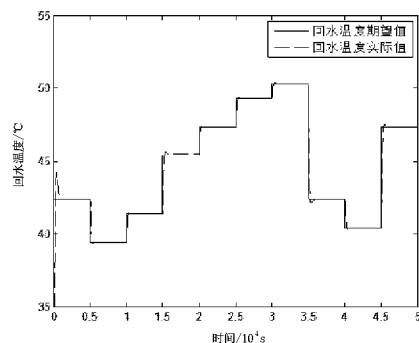


图 6 回水温度的实际值和期望值的比较

效果比较理想。这表明将灰色预测模糊自适应 PID 控制器应用在供热系统中,不仅解决了供热系统的大时滞问题,还可以使系统进行快速、准确的调节,保证了系统响应的稳定性和精确度。

参考文献:

- [1] 陶云奇,许江,李树春.改进的灰色马尔柯夫模型预测采煤工作面瓦斯涌出量[J].煤炭学报,2007,32(4):391-395.
- [2] 杨成晨,张九根.基于灰色预测模糊 PID 算法的空调房间温度控制[J].测控技术与仪器仪表,2012,38(4):57-58.
- [3] 罗伟.基于灰色预测的参数自校正构架电阻炉温度模糊控制系统[J].计算机测量与控制,2013,21(4):965-967.
- [4] 邓小龙,张建林,陆锦军,等.纺织空调系统的模糊 PID 控制研究及应用[J].仪器仪表学报,2008,20(3):763-767.

(责任编辑:夏玉玲)

(上接第 17 页)

3 结论

通过本文的讨论得出这样的结论:对于同一个种群的动力学系统,如果给出不同的诱导控制区域,那么就可以找出不同的控制函数。所以诱导控制理论在种群动力学系统中应用的关键是确定诱导控制区域,寻找控制函数。从控制函数的形式,可以证明控制函数是连续的,同时可知,在 Ω_0 已知的情况下,如果 u_1, u_2 被施加在系统上,则可使系统(1)的轨线进入 Ω_0 ,即 u_1, u_2 是针对 Ω_0 的诱导控制,这就是诱导控制的具体含义。

参考文献:

- [1] 陈兰荪.数学生态模型与研究方法[M].北京:科学出版社,1988:199-231.

- [2] 陆征一.数学生物学进展[M].北京:科学出版社,2006:131-171.
- [3] Thome M. Lecture notes in control and information science:231[M]. London:Springer Verlag,1998,140-153.
- [4] 祝占法.具二类功能反应的捕食与被捕食系统的诱导控制[J].温州大学学报,2009,30(4):30-37.
- [5] 赵立纯.具有阶段结构单种群系统的诱导控制[J].物理学报,2005,25(A):710-717.
- [6] 赵立纯.一个具有偏害关系的三种群模型的诱导控制[J].生物数学学报,2005,20(1):37-42.
- [7] Zhao L C. Induction control of a two-species competitive system[J]. Journal of Biomathematics,2003,18(3):263-268.

(责任编辑:夏玉玲)