

参数自寻优模糊控制器 在中央空调温度控制系统中的应用

吴爱国, 杜春燕, 宋晓强

(天津大学电气与自动化工程学院, 天津 300072)

[摘要] 在中央空调温度控制系统中设计应用了一种参数自寻优模糊控制器。针对中央空调温度控制系统被控对象非线性、大滞后和时变等特点, 该模糊控制器在规则可调整模糊控制器基础上引入了加权因子 α 和比例因子 K_u 的在线调整优化算法。运行结果表明, 这种算法增强了系统的鲁棒性, 在不同工作条件下, 系统保持了良好的控制品质。

[关键词] 中央空调系统; 温度控制; 模糊控制器; 参数自寻优

[中图分类号] TP29 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)10-0084-04

1 简介

中央空调系统是智能大厦的重要组成部分。一个设计完善的中央空调控制系统应在多变的外界条件下保持良好的控制品质, 这就为控制系统的鲁棒性提出了较高要求。而模糊控制将人脑的推理过程引入控制算法, 无需建立被控对象的精确数学模型, 与传统控制方法相比具有更高的鲁棒性^[1]。

简单模糊控制器控制性能的优劣决定于人们对操作规则总结的完善性^[1]。由于中央空调系统是一个大滞后、非线性的时变系统^[2], 其控制规则难以归纳完善, 影响了简单模糊控制器的控制效果。为此, 很多自适应方法被加入到简单模糊控制器中^[3~5]。笔者在可调整模糊控制器基础上引入了加权因子 α 和比例因子 K_u 的在线调整优化算法。运行结果表明, 这种算法增强了系统的鲁棒性, 在不同工作条件下, 系统保持了良好的控制品质。

2 中央空调温度控制系统的设计

2.1 系统组成

系统组成见图1, 中央空调空气处理机组主要完成空气的过滤、制冷(或加热)和加湿等几个功

能。其中, 空气的制冷(或加热)是其通过与盘管中的冷(热)水进行热交换完成的, 改变盘管中的冷(热)水流量即可改变送风温度。中央空调温度控制系统系统的控制目标是保证送风温度保持在设定点。温度传感器测量送风温度, 通过 PCI 板卡 1 送入计算机。整个模糊控制算法由软件实现, 控制量通过 PCI 板卡 2 输出出去驱动调节阀, 从而改变盘管中的水流量以影响送风温度。

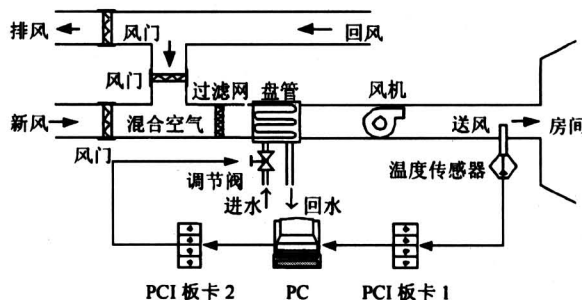


图1 系统组成

Fig.1 System components

2.2 自寻优模糊控制器的设计

文献 [1] 中指出, 在简单的模糊控制器中, 如果适当选取量化因子 K_e 和 K_c , 将误差 E 、误差变化 \dot{E} 及增量式控制量 ΔU 的论域均取为相同范围

$\{-N, \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots, N\}$,

双输入单输出简单模糊控制器的控制规则用增量式表示为

$$\Delta U = -K_u(\alpha E + (1 - \alpha)\dot{E}) \quad \alpha \in (0, 1) \quad (1)$$

式中 E , \dot{E} 和 ΔU 均为经过量化的模糊变量。 α 称为加权因子, 决定了 E 和 \dot{E} 的加权程度。 K_u 为输出比例因子, 决定了控制的强度。通过调节 α 和 K_u 的大小, 达到修改整个控制规则的目的, 因此被称为规则可调整模糊控制器, 具有易于编程实现以及易于改变控制规则等优点如图 2 所示。

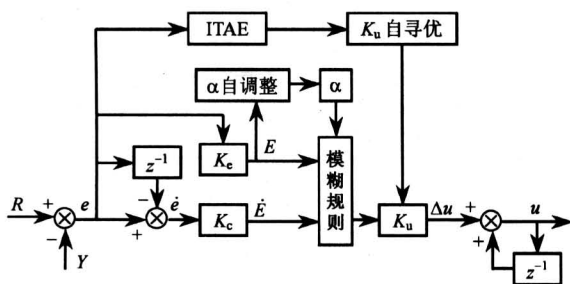


图 2 控制器结构

Fig.2 Controller structure

自寻优控制器以式 (1) 为基础, 加入 α 因子自调整和比例因子 K_u 在线自寻优 2 个功能。

1) 加权因子 α 自调整 加权因子 α 的大小反映了误差 E 和误差变化 \dot{E} 的加权程度。在中央空调温度调节的过程中应遵循这样的规则: 误差较大时, 系统以减小误差为主, α 应取大值, 以保证系统尽快达到设定温度; 误差较小时, 系统以抑制误差变化率为主, α 取小值, 以减小误差的影响, 尽快在设定温度处稳定, 从而缩短过渡时间。

为此, 自寻优模糊控制器中 α 采取连续调整形式, 按误差绝对值的大小调整误差的权重

$$\alpha_E = (\alpha_2 - \alpha_1)|E|/N + \alpha_1 \quad 0 \leq \alpha_1 \leq \alpha_2 \leq 1 \quad (2)$$

由式 (2) 确定的 α_E 随误差绝对值 $|E|$ 在 $[\alpha_1, \alpha_2]$ 之间线性变化。 $|E|$ 越小, 误差在式 (1) 中所占比重越小, 误差变化率所占比重越大。可见, 这一调节规律符合中央空调温度控制的要求, 并易于编程实现。

2) 比例因子 K_u 自寻优 K_u 决定了控制作用的强弱, 对系统的动态性能和静态性能都有影响。对于特定的系统, K_u 过大会降低系统的稳定性, 而 K_u 过小会降低系统的快速性。

在中央空调系统中, K_u 的选择取决于系统开环增益和系统滞后时间常数 2 个因素。其中前者主要取决于供水温度与室内温度的差值, 后者主要包括信号传递中的延迟以及热交换中的容积滞后等因素^[5]。供水温度与室内温度的差值会随不同工况不同季节而改变, 而信号延迟以及容积滞后难以精确量化。综合以上两点, 采用积分性能指标, 即时间乘绝对误差的积分准则对 K_u 进行在线寻优:

$$J(\text{IATE}) = \int_0^{\infty} t|e(t)|dt = \min.$$

这种性能指标能综合评价控制系统的动静态性能, 如响应快、调整时间短、超调量小及稳态误差小等^[1], 能够反应系统开环增益的变化和滞后时间常数的变化。 $J(\text{IATE})$ 参数越小, 系统控制品质越好。保持 $J(\text{IATE})$ 最小取决于保持 K_u 为最佳值。

2.3 控制算法的实现

程序流程如图 3, 下边简要说明各部分设计方法。

2.3.1 输入变量论域及量化因子的选择

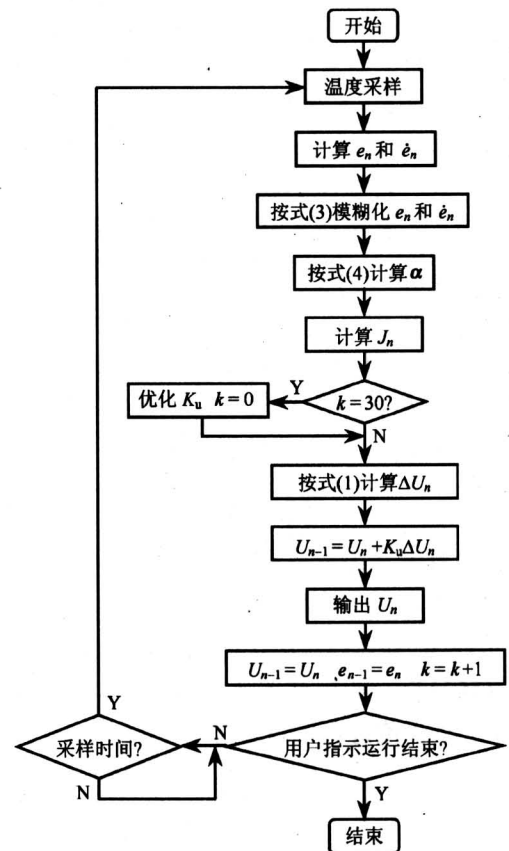


图 3 控制算法流程图

Fig.3 Flow chart of the control algorithm

中央空调设定温度范围为 $18 \sim 36^\circ\text{C}$ ，室内温度可能为 $15 \sim 36^\circ\text{C}$ 。为保证控制精度，将误差 E 的论域取为 13 级，映射到 $[-2, 2]^\circ\text{C}$ ，每级对应约 0.3°C 。与 E 一致， \dot{E} 和 ΔU 的论域均取为 13 级。即

$$E: [-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6],$$

$$\dot{E}: [-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6],$$

$$\Delta U: [-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6],$$

误差量化因子 $K_e = 6/2$ 。误差变化率取每秒变化量，范围约在 $[-0.08, 0.08]^\circ\text{C}/\text{s}$ 之间，则误差变化率量化因子 $K_{\dot{e}} = 6/0.08$ 。

2.3.2 输入变量的模糊量化方法 e 和 \dot{e} 的模糊量化采用取临近整数方法，如 e 的模糊量化方法为 $E = \text{int}(K_e e - 0.5)$ $e < 0$ 时， $E = 0$ $e = 0$ 时， $E = \text{int}(K_e e + 0.5)$ $e > 0$ 时 (3)

实际误差超出 $[-2, 2]^\circ\text{C}$ 时，按上式得到 E 值将超过 $[-6, 6]$ ，此时将所得到的 E 值限幅在 $[-6, 6]$ 之间，即当 $E > 6$ 时，取 $E = 6$ ； $E < -6$ 时，取 $E = -6$ 。 \dot{E} 也作类似的限幅。

2.3.3 α 因子自调整部分的设计 α 采取式 (2) 的调整形式，由 2.3.1 节可知 $N = 6$ 。由初期实验运行得知， α 的变动范围太小则权重调节不明显， α 的变动范围太大则系统不稳定。实验得出的最佳结果为 $\alpha_1 = 0.4$ ； $\alpha_2 = 0.6$ 。则式 (2) 变为

$$\alpha = (0.6 - 0.4)|E|/6 + 0.4 \quad (4)$$

2.3.4 K_u 自寻优部分的设计 为便于实现，将 ITAE 指标离散化和简化处理^[4]，取

$$J = \sum_{i=0}^k |e(i)| i,$$

寻优的目标是逐渐减小 J 值。取 30 s 为一个寻优周期，系统的采样周期为 1 s。用 k 累计采样次数，当 k 达到 30 时进行一次寻优。

寻优过程，首先将本次（第 n 次）得到的 J 值与上次的 J 值进行比较，若

$$|J_n - J_{n-1}|/J_{n-1} \leq 0.05$$

成立，则 K_u 不变，即 $K_{u(n+1)} = K_{u(n)}$ 。

否则按下式进行调整

$$\text{If } (J_n < J_{n-1} \text{ and } K_{u(n)} \leq K_{u(n-1)}) \text{ or}$$

$$(J_n > J_{n-1} \text{ and } K_{u(n)} > K_{u(n-1)})$$

$$\text{then } K_{u(n+1)} = K_{u(n)} - 0.002$$

else

$$\text{If } (J_n < J_{n-1} \text{ and } K_{u(n)} > K_{u(n-1)}) \text{ or}$$

$$(J_n > J_{n-1} \text{ and } K_{u(n)} \leq K_{u(n-1)})$$

$$\text{then } K_{u(n+1)} = K_{u(n)} + 0.002$$

3 运行结果

首先，系统重复运行以实现 K_u 的寻优。图 4 为首次运行曲线，设定温度 15.0°C ，供水温度为 4.0°C ，环境温度为 20°C ，开始时间为 9:40 ($t = 0$ 下同)；图 5 为第 4 次运行曲线，开始时间为 10:21，其他条件与图 4 相同。可见，经过寻优，系统的动静态性能都得到了改善：调节时间变短而且振荡被克服，系统最终稳定于 15.3°C 。

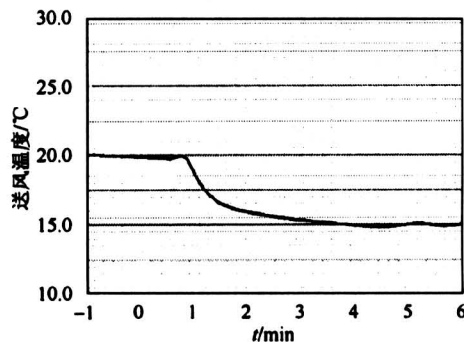


图 4 第一次运行曲线

Fig.4 Response curve of the first time running

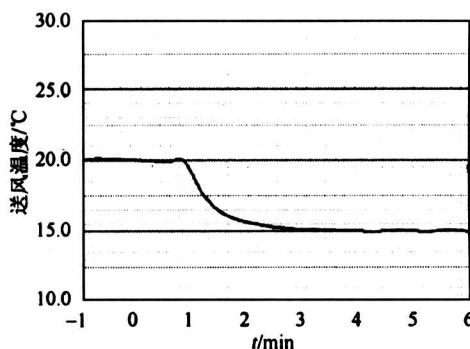


图 5 第 4 次运行曲线

Fig.5 Response curve of the fourth time running

其次，使系统在不同外界条件下工作以测试其鲁棒性。图 6 中曲线设定温度 16.0°C ，供水温度为 8.0°C ，环境温度为 20.5°C ，开始时间为 10:13；图 7 中曲线设定温度 14.0°C ，供水温度为 5.0°C ，环境温度为 22.1°C ，开始时间为 9:09。

可以看出, 在不同外界温度以及供水温度条件下, 系统保持了快速性和稳定性, 误差保持在 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内。实验结果表明系统具有较高的鲁棒性。

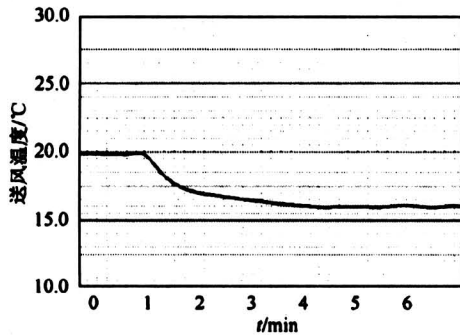


图 6 不同外界条件下运行曲线 (1)

Fig.6 Response curve under various circumstances (1)

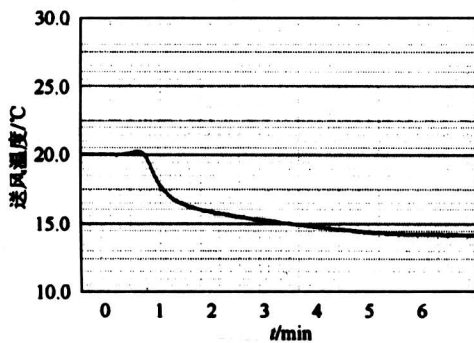


图 7 不同外界条件下运行曲线 (2)

Fig.7 Response curve under various circumstances (2)

4 结论

中央空调系统是大惯性、大滞后、非线性、时变的复杂控制对象。笔者针对其大滞后、时变的特点设计实现了一种参数自寻优模糊控制器, 应用于中央空调系统的温度控制。这一自寻优模糊控制器能够通过 α 因子自调整和 K_u 自寻优, 达到适应和跟踪系统参数变化的目的。运行结果可见, 系统的动静态性能都得到了改善, 系统具有较强的鲁棒性, 在不同工作条件下能够保持良好的控制品质。

参考文献

- [1] 李士勇. 模糊控制神经控制和智能控制论 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998
- [2] 马丙场, 倪国宗. 参数自调整模糊控制器在中央空调控制中的应用 [J]. 自动化技术与应用, 2003, 22(2): 9~12
- [3] 陈杰甫, 徐江. 模糊控制在中央空调机组中的应用 [J]. 工程设计 CAD 智能建筑, 2002, (11): 10~14
- [4] Wang Yingxu, Liu Guofan. A fuzzy controller with Self-adjusting parameters and its applications [A]. Proceedings of 4th World Congress on Intelligent Control and Automation, Vol 2 [C], 2002. 1494~1496
- [5] Zhiqiang Gao, Thomas A Trautzsch, James G Dawson. A stable self-tuning fuzzy logic control system for industrial temperature regulation [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2002, 38(2): 414~424
- [6] 修智宏, 任光. 模糊控制的近期研究热点及分析 [J]. 计算机测量与控制, 2002, 10(12): 771~774

A Fuzzy Controller With Self-Optimizing Parameters and Its Application in the Central Air-conditioning System

Wu Aiguo, Du Chunyan, Song Xiaoqiang

(School of Electrical & Automation Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

[Abstract] On the basis of analyzing characteristics of the central air-conditioning system, a fuzzy controller with self-optimizing parameters is proposed and applied into the temperature control of the system. To deal with the non-linearity, time delay and time variation of the controlled system, a method for optimizing the weighting factor α and the output scaling gain K_u is adopted in the applied rule-adjustable fuzzy controller. The experimental result indicates that the optimization method enhances the robustness of the fuzzy controller. As the temperature of the cooling water and the temperature of the circumstances change, the controller maintains satisfactory performance.

[Key words] central air-conditioning system; temperature control; fuzzy controller; parameter optimization