

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2026.01.042

# 基于模糊神经网络 PID 的中央空调温度调节与启停控制

祁跃东<sup>1</sup>, 杨梅<sup>2</sup>, 陈洪宽<sup>2</sup>, 刘洋博<sup>2</sup>

(1. 红塔烟草(集团)有限责任公司, 云南 玉溪 653100; 2. 红塔烟草(集团)有限责任公司 昭通卷烟厂, 云南 昭通 657000)

**摘要:**针对中央空调系统的温度调节和开关混合控制需求,提出一种基于模糊比例积分原理的模糊神经网络控制策略。该策略融合了传统比例-积分-微分控制、模糊逻辑算法,并引入径向基函数神经网络,以增强系统的自适应和学习能力。仿真实验结果表明:所提出的算法能在 50 ms 内迅速达到阶跃信号峰值,300 ms 后控制精度达到 95%,优于传统控制算法。该控制算法提高了系统的响应速度、控制精度;并增强了抗干扰能力,对提升中央空调系统的能效和稳定性具有重要意义。

**关键词:**模糊控制;神经网络;PID 控制器;中央空调;调温启停;混合控制

**中图分类号:**TM925 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2026)01-0225-04

## Temperature Regulation and Start-stop Control of Central Air Conditioner Based on Fuzzy Neural Network PID

QI Yuedong<sup>1</sup>, YANG Mei<sup>2</sup>, CHEN Hongkuan<sup>2</sup>, LIU Yangbo<sup>2</sup>

(1. Hongta Tobacco (Group) Co., Ltd., Yuxi 653100, China;

2. Zhaotong Cigarette Factory, Hongta Tobacco (Group) Co., Ltd., Zhaotong 657000, China)

**Abstract:** This paper proposes a fuzzy neural network control strategy based on fuzzy proportional integral principle, meeting the requirements of temperature regulation and switch hybrid control in central air-conditioning system. The strategy integrates the traditional proportional integral-differential control and fuzzy logic algorithm, and introduces radial basis function neural network to enhance the adaptive and learning ability of the system. The simulation results show that the proposed algorithm can quickly reach the peak of the step signal within 50 milliseconds, and the control accuracy reaches 95% after 300 milliseconds, which is superior to the traditional control algorithm. The control algorithm improves the response speed and control precision of the system, and strengthens the anti-interference ability, which is of great significance to the improvement of the energy efficiency and stability of the central air conditioning system.

**Keywords:** fuzzy control; neural network; PID controller; central air conditioning; temperature control start and stop; hybrid control

## 0 引言

中央空调系统是现代智能建筑中用于调节室内温度和湿度的关键设施,其直接影响着室内环境的舒适度和能源消耗<sup>[1]</sup>。随着模糊控制和神经网络技术的发展,传统的比例-积分-微分(proportional-integral-derivative, PID)控制方法已难以满足日益增长的精确控制需求。当前,行业面临的主要困境包括系统非线性和滞后问题的处理,以及对环境变化适应性的提升<sup>[2]</sup>。尽管已有研究尝试通过模糊 PID 控制策略来解决这些问题,但其效果具有不确定性,且对环境变化的适应性有限<sup>[3]</sup>。目前,模糊控制技术因其良好的非线性处理能力而被广泛应用于控制系统中,但如何

提高其自适应能力和学习能力仍是研究的热点<sup>[4-5]</sup>。径向基函数(radial basis function, RBF)神经网络因其快速的收敛速度和较低的计算需求而被引入控制系统中,但如何精确调整其参数仍是一个挑战<sup>[6-7]</sup>。因此,研究提出将神经网络与模糊控制相结合,构建模糊神经网络 PID 控制算法,以期通过智能算法动态调整 PID 参数,提高控制的自适应性和学习能力。研究的创新点在于利用径向基函数神经网络的快速收敛和低计算需求特性,以及通过粒子群优化(particle swarm optimization, PSO)和反向传播神经网络(back propagation neural network, BPNN)混合算法优化初始参数,从而实现更精确、快速的中央空调调温启停控制。

**第一作者简介:**祁跃东(1966—),男,云南江川人,高级工程师,本科,研究方向为动力能源设备及控制、节能减排技术、烟草制丝,13577089128@163.com。

## 1 基于模糊神经网络PID控制算法的中央空调调温启停混合控制

### 1.1 基于RBF神经网络的模糊PID控制器设计

模糊控制的效果具有不确定性,且对环境变化的适应性有限。因此,模糊控制需要增强其自适应和学习能力。融合了神经网络技术与模糊逻辑的新型模糊神经网络可以减少模糊逻辑中的主观判断,并提升系统的适应能力,使其能够更有效地应对复杂工作场景<sup>[8-9]</sup>。在可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)的应用研究中,引入了RBF神经网络技术。RBF神经网络的架构较为简单,所需的计算资源也较为合理,这使得它成为PLC系统中的一个理想选择<sup>[10-11]</sup>。该神经网络的结构设计具体如图1所示。

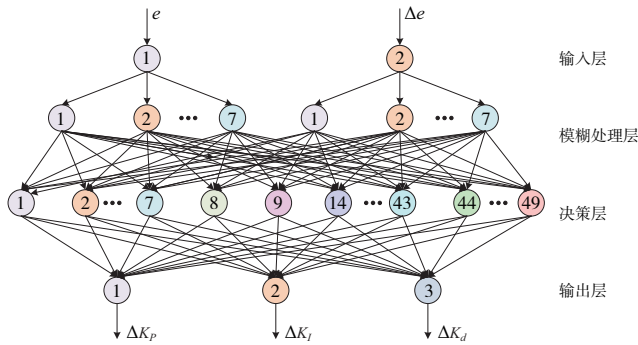


图1 模糊RBF神经网络结构图

图1中,模糊RBF神经网络PID控制器包含四层结构:输入层接收偏差 $e$ 及其变化率 $\Delta e$ ;模糊层采用7个高斯隶属函数对每个输入进行模糊化,共需优化14个中心值与14个宽度参数;决策层由2个输入的7个模糊集交叉生成49条模糊规则;输出层通过147个可调权重将规则激活强度映射为 $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 和 $\Delta K_d$ 。全网共计175个可调参数,可通过智能优化算法进行整定。模糊神经网络PID控制器在结构设计与模糊PID控制器大致相同,对PID控制系统的三个主要调节参数实施了实时优化,具体如图2所示。

图2中,模糊神经网络PID控制器采用模糊神经网络技术来调整PID的参数。该控制器接收误差 $e$ 和误差变化率 $e_c$ 作为输入信号,随后输出PID参数的调整值 $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$ ,以此实现PID参数的实时调整。在模糊化层级中,每个单元格都与1个特定的隶属函数相匹配,这些函数通过高斯函数来计算输入变量的隶属度,进而将输入变量的模糊化区间细分为7个独特的模糊集。输

出层负责解模糊化处理,包含3个神经元节点,输出PID参数的调整值<sup>[12-13]</sup>。控制器的输出如式(1)所示。

$$u(k) = \Delta u(k) + u(k-1) \quad (1)$$

式中: $u(k)$ 为 $k$ 时刻的系统输出; $\Delta u(k)$ 为 $k$ 时刻系统输出的增量; $u(k-1)$ 为 $k-1$ 时刻的系统输出。性能评价函数的具体定义则如式(2)所示。

$$E(k) = \frac{1}{2} [r(k) - y(k)]^2 = \frac{1}{2} [e(k)]^2 \quad (2)$$

式中: $r(k)$ 为在 $k$ 时的目标设定值; $E(k)$ 为性能指标; $e(k)$ 为控制误差; $y(k)$ 为在 $k$ 时测量的实际输出。为了确保实际输出值与目标值之间的差异最小化,误差需被降至最低。研究采用了梯度下降法来实时调整第3层至第4层的权重,以及高斯隶属函数的参数,包括中心点和宽度<sup>[14-15]</sup>。

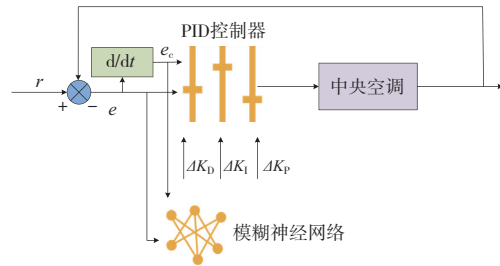


图2 模糊PID控制器架构示意图

### 1.2 模糊神经网络PID控制器的参数优化

研究设计了基于RBF神经网络的模糊PID控制器,尽管这种设计在理论上具有优势,但在实际应用中,要充分发挥模糊神经网络PID控制器的性能,选择最佳的初始参数是至关重要的。基于此,该研究选用了PSO技术来对模糊神经网络的参数进行调优。粒子群优化以其在全局搜索中的表现而闻名,能够为模糊神经网络的初始参数提供一个接近最优的解决方案。利用BPNN算法进行细致调整,以便让这些参数更加接近于最优解。在 $N$ 维空间内,构建一个由 $M$ 个粒子构成的群体,每个粒子代表一个可能的最优解<sup>[16]</sup>。粒子的位置更新如式(3)所示。

$$V_i(t+1) = wV_i(t) + c_1r_1[p_{best} - X_i(t)] + c_2r_2[g_{best} - X_i(t)] \quad (3)$$

式中: $V_i(t+1)$ 为在时间 $t+1$ 时刻,第 $i$ 个粒子的速度; $w$ 为惯性权重; $V_i(t)$ 为在时间 $t$ 时刻,第 $i$ 个粒子的速度; $c_1$ 和 $c_2$ 为学习因子; $r_1$ 和 $r_2$ 为介于0和1之间的随机数; $p_{best}$ 为第 $i$ 个粒子所经历的最优位置; $X_i(t)$ 为在时间 $t$ 时刻,第 $i$ 个粒子的位置; $g_{best}$ 为整个PSO所经历的最优位置。粒子的

速度更新如式(4)所示。

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1) \quad (4)$$

式中  $X_i(t+1)$  为在时间  $t+1$  时刻,第  $i$  个粒子的位置。研究采用了 PSO 算法优化预先设定的模糊

神经网络初始参数。为了进一步提高控制精度,研究通过 BPNN 算法对这些参数进行实时微调。该复合策略用于优化模糊神经网络 PID 控制器的过程,详细步骤展示如图 3 所示。

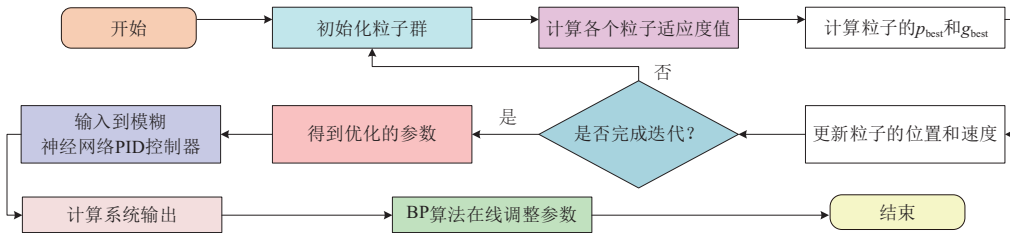


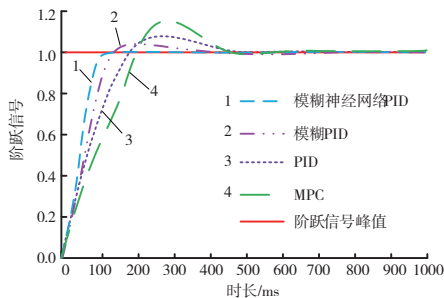
图 3 基于 PSO-BPNN 的 PID 优化流程图

图 3 中,首先初始设定粒子群的相关参数,粒子的维度设定为 175。将这些优化后的参数应用到系统中,利用模糊神经网络 PID 控制器来计算系统的反应。最终根据系统的实际反应与目标之间的差异,使用 BPNN 算法进行反向传播,实时调整模糊神经网络的参数<sup>[17-18]</sup>。

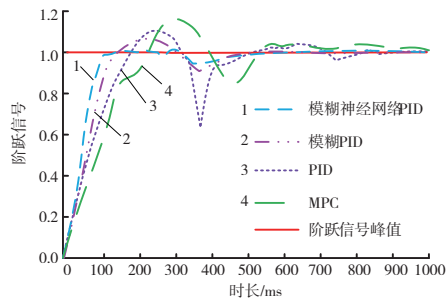
## 2 基于模糊神经网络 PID 的中央空调调温启停混合控制性能评估

研究在 MATLAB R2020a 软件的 Simulink 环境中,通过搭建模糊 PID 控制器对中央空调系统

进行仿真实验。实验中,系统响应于一个单位阶跃输入,其最大值被设定为 1,模拟时间跨度被设定为 1 000 ms。初始的 PID 控制器参数被赋予了特定的数值,  $\Delta K_p = 5.5, \Delta K_i = 0.05, \Delta K_d = 1$ 。为了检验研究提出的模糊神经网络 PID 控制策略的有效性,研究将模糊神经网络 PID 控制算法与 PID 控制算法、模糊 PID 控制算法、模型预测控制(model predictive control, MPC)算法进行对比分析。4 种算法的阶跃响应与受随机干扰的仿真曲线如图 4 所示。



(a) 4种算法的阶跃响应曲线

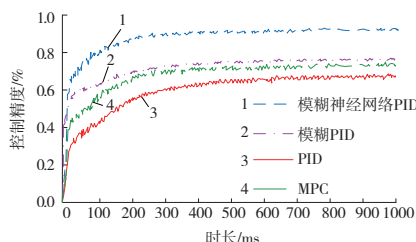


(b) 4种算法受随机干扰的仿真曲线

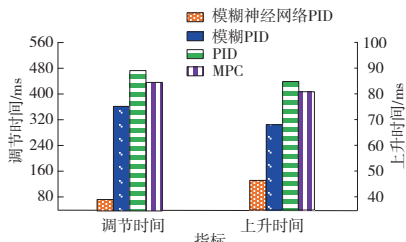
图 4 阶跃响应与受随机干扰的仿真曲线

图 4(a) 中,模糊神经网络 PID 控制算法展现出了其卓越的性能,能够在 50 ms 内迅速达到阶跃信号的峰值,表明该算法在处理温度变化时具有极高的灵敏度和效率。图 4(b) 中,采用模糊神经网络 PID 控制算法的中央空调系统显示出了其

最强的抗干扰能力。系统的曲线波动幅度最小,这表明该算法能够有效地减少外部干扰对系统稳定性的影响。4 种算法的温度控制精度与调节、上升时间如图 5 所示。



(a) 4种算法的控制精度



(b) 4种算法的调节、上升时间

图 5 温度控制精度与调节、上升时间对比

图5(a)中,模糊神经网络PID控制算法的温度控制精度显著高于其他几种算法,300 ms后达到了95%的控制精度。表明模糊神经网络PID控制算法能够更快地响应温度变化,实现更精确的温度控制。图5(b)中,模糊神经网络PID控制算法的调节时间为80 ms,上升时间为48 ms,显著低于其他算法。说明模糊神经网络PID控制算法具有更快的响应速度和更短的稳定时间,能够迅速调整系统状态以适应其温度变化。

### 3 结语

针对中央空调系统的温度调节和开关混合控制的需求,研究开发了一种基于模糊比例积分原理的模糊神经网络PID控制策略。通过结合传统PID控制与模糊逻辑算法,并引入RBF神经网络,以提高中央空调系统的能效和稳定性,同时增强控制策略的自适应和学习能力。研究结果表明:该算法在50 ms内能迅速达到阶跃信号峰值,300 ms后控制精度能达到95%,显著优于其他算法。这表明所提出的控制算法在响应速度、控制精度和抗干扰能力方面均具有显著优势。然而,算法在实际复杂环境下的稳定性和鲁棒性还需进一步验证。未来的研究将致力于算法的实地测试和优化,以期在更广泛的应用场景中实现更优的控制效果。

### 参考文献:

- [1] 王瑞,秦建敏.多传感特征融合的空调送风温度模糊PID控制方法[J].传感技术学报,2023,36(6):943-948.
- [2] 杨威,戴劲松,王茂森.基于模糊RBF-PID的张紧装置电机控制研究[J].机械制造与自动化,2023,52(6):193-198.
- [3] 赵慧玲.基于PID控制技术的变风量空调系统多变量解耦回路控制[J].电子器件,2023,46(2):498-502.
- [4] 张硕,张爱华,董世杰,等.基于Smith模糊多级积分分离PID的加热盘温度控制[J].西北工业大学学报,2024,42(5):939-947.
- [5] 祖文超,高亚南.太阳能—地源热泵式空调自适应模

糊PID复合控制方法[J].山东农业大学学报(自然科学版),2024,55(1):123-130.

- [6] 张勇,赵冠华,龚乐.基于干扰观测器的模糊PID控制在冶炼炉中的应用[J].工业加热,2025,54(1):27-31.
- [7] 陈伟,涂钊,刘建宏,等.基于油电混动六旋翼无人机的模糊PID飞行控制策略研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2024,43(8):124-132.
- [8] 肖乾,葛一帆,符远航,等.基于BP神经网络PID自适应控制的激振系统研究[J].机床与液压,2025,53(1):52-57.
- [9] BUDAK E, KORKMAZ M, DOĞAN A, et al. Experimental analysis of pid-controlled heat recovery air handling unit by machine learning methods [J]. Heat Transfer Research, 2023, 54(18):37-52.
- [10] 张馨,孔祥书,郑文刚,等.基于模型预测控制的菇房空调整能控制方法[J].农业机械学报,2024,55(3):352-361.
- [11] 翟鑫,刘薇,刘玲玲.考虑打纬影响的碳纤维角联织机经纱张力控制方法[J].科学技术与工程,2025,25(4):1587-1594.
- [12] 吴杰,张辉.遗传算法优化的双线圈磁流变制动器模糊PID控制[J].汽车工程,2024,46(3):526-535.
- [13] 陈思宁.基于视觉舒适度的展示墙智能化照明控制系统[J].兵工自动化,2025,44(1):28-32.
- [14] 陈岁繁,杨松,李其朋.基于BP-NSGA-II优化的高速电梯轿厢水平振动变论域模糊PID控制[J].噪声与振动控制,2024,44(2):63-69,81.
- [15] 王伟峰,杨泽,赵轩冲,等.矿井带式输送机液压拉紧Fuzzy-PID控制技术[J].煤炭科学技术,2024,52(3):217-224.
- [16] 腰彩红,李扬,王建春,等.温室草莓精准灌溉系统的设计与试验[J].河北农业大学学报,2024,47(6):17-23,39.
- [17] 李智辉,杨曦,肖刚,等.基于模糊PID控制的燃料电池稳压技术研究[J].武汉理工大学学报,2024,46(1):138-143.
- [18] 李景景,谢鹏.基于模糊PID算法的电动汽车再生制动控制仿真[J].计算机仿真,2024,41(10):101-105.

收稿日期:2024-11-06

(上接第224页)

- [10] DROST B, ULRICH M, NAVAB N, et al. Model globally, match locally: Efficient and robust 3D object recognition [C]//2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Francisco, CA, USA: IEEE, 2010: 998-1005.
- [11] 马如林,蒋华,张庆霞.一种哈希表快速查找的改进方法[J].计算机工程与科学,2008,30(9):66-68.

- [12] 姚朋.基于几何特征的异尺度点云配准算法研究[D].重庆:重庆理工大学,2024.
- [13] 王婉琪.基于几何特征点云配准算法研究[D].长春:长春理工大学,2023.
- [14] 张强.基于局部几何信息的ICP点云配准算法研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2022.
- [15] 杨现辉.基于对偶四元数的点云配准算法研究[D].南京:南京航空航天大学,2010.

收稿日期:2025-06-11