

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.05.028

基于积分分离模糊 PID 的温度控制系统设计^①

吴廷强¹, 阎昌国¹, 罗德莲²

1. 遵义师范学院 工学院, 贵州 遵义 563002; 2. 遵义师范学院 物理与电子科学学院, 贵州 遵义 563002

摘要: 针对温度控制系统采用传统 PID 控制方法易出现响应速度慢、超调量大、控制精度低等问题, 提出了一种基于积分分离模糊 PID 控制的改进方法. 阐述了该方法的工作原理, 设计了控制器参数, 并结合温室温度控制系统对该方法以及传统 PID、模糊 PID 进行了系统性能实验的对比分析. 结果表明, 采用该方法设计的温室温度控制系统, 有响应速度更快、超调量更小和控制精度更高等优点, 具有较强的工程应用价值.

关键词: 温度控制系统; 传统 PID; 积分分离; 模糊 PID

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9868(2017)05-0185-05

温度是农植物生长的一个重要物理量, 过高与过低的温度都会抑制农植物的生长, 故合理地控制温度对促进农植物生长、提升其产量有着十分重要的意义^[1-2]. 目前, 温度的控制方法以 PID 控制最为常见, 它具有结构简单和稳定性好的优点. 而在复杂的温室温度控制系统中, 因其被控对象的大时滞性、强非线性与不确定性等特点, 很难建立被控对象的精确数学模型, 致使用传统 PID 设计的系统存在适应能力弱和控制精度低等问题^[3-4]. 为此, 本研究提出了一种积分分离模糊 PID 温度控制的改进方法, 该方法兼容了 PID 控制与模糊控制^[5-6]的优点, 使得其不再依赖被控对象的精确数学模型, 而且还能大大地提升温度控制系统的整体性能. 通过仿真与实验结果证明, 与传统 PID 控制方法相比, 用本研究所提出的方法设计的温度控制系统有更高的控制精度与更强的鲁棒性能, 更能符合温度控制系统的发展需求.

1 工作原理

图 1 为本研究所提出的积分分离模糊 PID 控制方法的结构框图, 主要由模糊控制器与积分分离 PID 控制器两部分组成. 其中, 模糊控制器是一个 2 维输入、3 维输出的系统, 其输入为温度偏差量 e (给定值 r 与输出值 y 的实时检测量之差) 与 ec (温度偏差量的变化率), 输出为 PID 控制器的增益调节量 ΔK_p (比例调节量)、 ΔK_i (积分调节量) 与 ΔK_d (微分调节量). 则 PID 控制器的各参数 K_p 、 K_i 与 K_d 可表示为

$$\begin{cases} K_p = K_{p0} + \Delta K_p \\ K_i = K_{i0} + \Delta K_i \\ K_d = K_{d0} + \Delta K_d \end{cases} \quad (1)$$

式中: K_{p0} 、 K_{i0} 与 K_{d0} 为 PID 控制器的初始控制参数, 均是常量; 而 ΔK_p 、 ΔK_i 与 ΔK_d 是关于 e 与 ec 的函数, 均是变量. 因此, 模糊控制器能根据不同的 e 与 ec 实现 PID 控制参数的在线自整定, 从而增强了该方法的适应性与灵活性. 而作为基本控制器的积分分离 PID 控制器的传递函数可表示为

① 收稿日期: 2016-10-09
基金项目: 贵州省科技厅基金(黔科合 LH 字[2016]7019 号); 贵州省科技厅基金(黔科合 LH 字[2015]7054 号); 贵州省科技厅基金(黔科合 LH 字[2015]7043 号).
作者简介: 吴廷强(1975-), 男, 贵州遵义人, 讲师, 主要从事机电一体化应用技术研究.

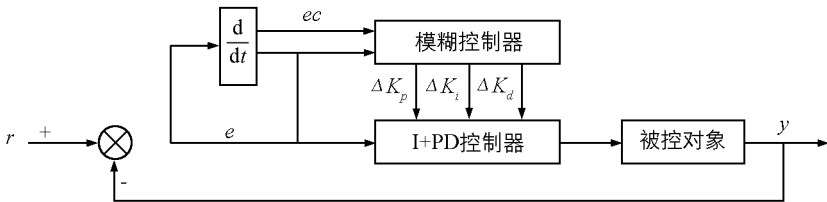


图 1 积分分离模糊 PID 结构框图

$$G(s)=K_p+\frac{\beta * K_i}{s}+K_d s \tag{2}$$

其中, β 为分离系数. 针对温室的温度被控对象, 在本研究所提方法中, β 的具体取值为

$$\beta=\left\{\begin{array}{ll} 1 & |e| \leqslant 5^{\circ} \text{C} \\ 0.5 & 5^{\circ} \text{C} < |e| < 10^{\circ} \text{C} \\ 0 & |e| \geqslant 10^{\circ} \text{C} \end{array}\right. \tag{3}$$

当 $|e| \geqslant 10^{\circ} \text{C}$ 时, 取 $\beta=0$, 规定此时不引入模糊控制算法, 控制器等价于 PD 控制, 能提高系统的快速响应能力; 当 $5^{\circ} \text{C} < |e| < 10^{\circ} \text{C}$ 时, 规定此时引入模糊控制算法, 且取 $\beta=0.5$, 控制器等价于半积分分离模糊 PID 控制器, 能避免 PD 到 PID 控制转换时产生较大的扰动; 当 $|e| \leqslant 5^{\circ} \text{C}$ 时, 规定此时引入模糊控制算法, 且取 $\beta=1$, 控制器等价于模糊 PID 控制, 能提高系统的控制精度与鲁棒性.

2 控制器设计

2.1 初始控制参数设计

研究已表明, 温室温度控制系统的数学模型可用一阶惯性滞后环节来描述^[7-8]. 其传递函数为

$$G_0(s)=\frac{K * e^{-\tau s}}{Ts+1} \tag{4}$$

式中: K 取 0.9, 为被控对象的静态增益; T 取 150, 为被控对象的惯性时间常数; τ 取 60, 为被控对象的滞后时间常数. 因其含有大滞后环节, 故本研究采用了表 1 所示的 ISTE 最优整定法^[9]来求取初始控制参数:

$$\left\{\begin{array}{l} K_{p0}=\frac{a_1}{k}\left(\frac{\tau}{T}\right)^{b_1}=2.633 \\ K_{i0}=\frac{K_{p0} * \left(a_2+b_2\left(\tau / T\right)\right)}{T}=0.016 \\ K_{d0}=K_{p0} a_3 T\left(\frac{\tau}{T}\right)^{b_3}=66.30 \end{array}\right. \tag{5}$$

表 1 ISTE 最优整定法

τ / T 范围	a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	b_3
0.1~1	1.042	0.987	0.385	-0.897	-0.238	0.906

因此, 可得如图 2 所示的频率响应曲线. 由图 2 知, 经 PID 校正后, 系统开环穿越频率有所提高, 相角裕度约为 60° , 幅值裕度约为 6 dB, 表明整定后的初始控制参数能使系统有较强的快速性与稳定性.

2.2 模糊控制器设计

在设计模糊控制器时, 其输入 e, ec 与输出 $\Delta K_p, \Delta K_i$ 与 ΔK_d 均选取 7 个模糊子集^[10], 即为: 负大(N_B), 负中(N_M), 负小(N_S), 零(Z_O), 正小(P_S), 正中(P_M), 正大(P_B). 输入变量的论域选取 $[-6, 6]$, 输出变量的论域选取 $[-3, 3]$, 所有模糊子集的 N_B, P_B 的隶属函数都采用高斯型分布, 剩余的选用三角形分布, 则可得如图 3 所示的各隶属函数曲线.

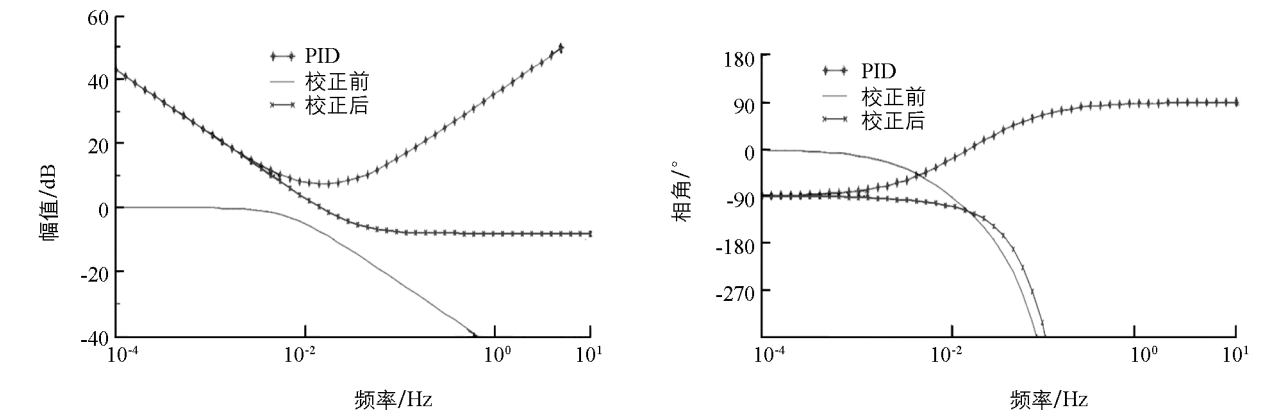


图 2 频率响应图

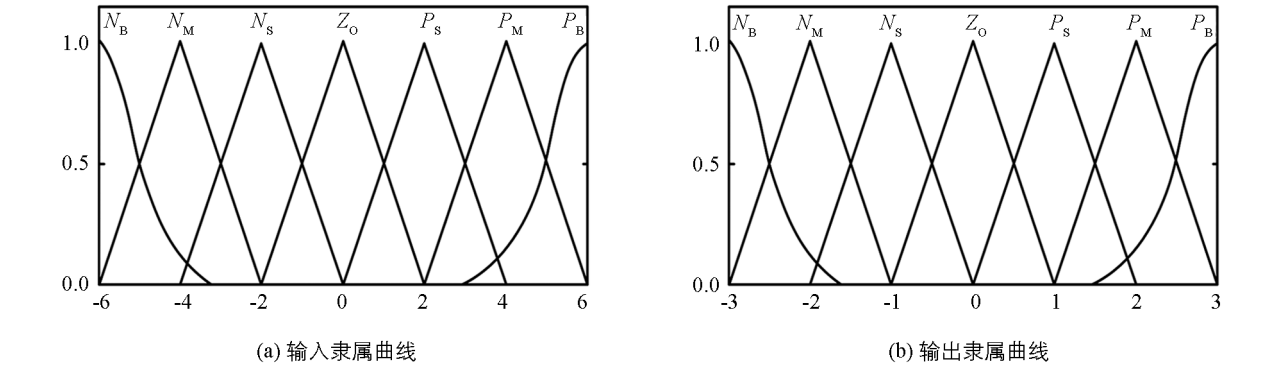


图 3 隶属曲线图

为反映输入输出变量间的关系, 需建立模糊控制律, 规定第 i 条的控制律描述为:

if $e = A_i$ and $ec = B_i$, then $\Delta K_p = C_i$, $\Delta K_i = D_i$, $\Delta K_d = E_i$

其中, A_i, B_i, C_i 为输入输出变量在各自论域上的模糊子集. 则该模糊控制器共有 $7 \times 7 = 49$ 条以上形式的 if-then 语句, 这 49 条模糊语句可表示为如表 2 所示的模糊规则见表 2.

表 2 模糊规则表

$\Delta K_p / \Delta K_i / \Delta K_d$		ec						
		N_B	N_M	N_S	Z_O	P_S	P_M	P_B
e	N_B	$P_B/N_B/P_S$	$P_B/N_B/N_S$	$P_M/N_M/N_B$	$P_M/N_M/N_B$	$P_S/N_S/N_B$	$Z_O/Z_O/N_M$	$Z_O/Z_O/P_S$
	N_M	$P_B/N_B/P_S$	$P_B/N_B/N_S$	$P_M/N_M/N_B$	$P_S/N_S/N_M$	$P_S/N_S/N_M$	$Z_O/Z_O/N_S$	$N_S/Z_O/Z_O$
	N_S	$P_M/N_B/Z_O$	$P_M/N_B/N_S$	$P_M/N_S/N_M$	$P_S/N_S/N_M$	$Z_O/Z_O/N_S$	$N_S/P_S/N_S$	$N_S/P_S/Z_O$
	Z_O	$P_M/N_M/Z_O$	$P_M/N_M/N_S$	$P_S/N_S/N_S$	$Z_O/Z_O/N_S$	$N_S/P_S/N_S$	$N_M/P_M/N_S$	$N_M/P_M/Z_O$
	P_S	$P_S/N_M/Z_O$	$P_S/N_M/Z_O$	$Z_O/Z_O/Z_O$	$N_S/P_S/Z_O$	$N_S/P_S/Z_O$	$N_M/P_M/Z_O$	$N_M/P_M/Z_O$
	P_M	$P_S/Z_O/P_B$	$Z_O/Z_O/N_S$	$N_S/P_S/P_S$	$N_M/P_S/P_S$	$N_M/P_M/P_S$	$N_M/P_B/P_S$	$N_B/P_B/P_B$
	P_B	$Z_O/Z_O/P_B$	$Z_O/Z_O/P_M$	$N_M/P_S/P_M$	$N_M/P_M/P_M$	$N_M/P_M/P_S$	$N_B/P_B/P_S$	$N_B/P_B/P_B$

3 系统性能实验分析

3.1 仿真结果与分析

农作物生长对环境温度的要求比较高, 适宜生长温度一般为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右. 假定被控对象的温度变化范围为 $0 \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, 在 Matlab/Simulink 环境下选择同样的数学模型对传统 PID 控制、纯模糊 PID 控制及本文提出的积分分离模糊 PID 控制进行对比分析, 结果见图 4. 由图 4 可知, 在温度设定为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的阶跃特性时, 传统 PID 控制器的超调量约

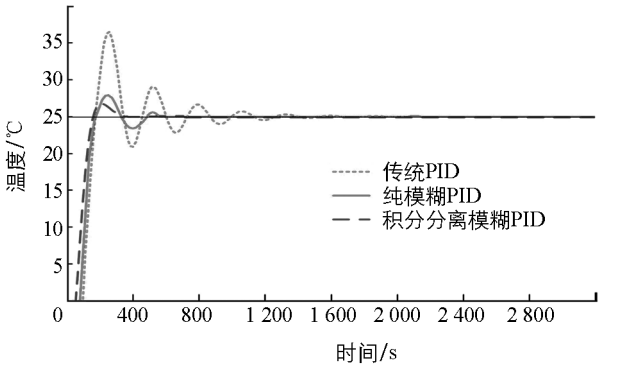


图 4 仿真结果

为 44%，温度波动较大，调节时间长达 1 000 s；纯模糊 PID 控制器的超调量较传统 PID 控制器小，约为 12%，调节时间约为 550 s；而本研究所提出的积分分离模糊 PID 控制器上升时间最快，超调量小至约为 8%，调节时间也短至约为 400 s。因此，本研究所提出的积分分离模糊 PID 控制方法具有良好的动、静态特性与鲁棒性，显著改善了系统控制的整体效果。

3.2 实验结果与分析

采用单片机与 DS18B20 搭建了一个温室温度模拟系统，其控制算法流程见图 5，运行效果见图 6。实验时设置上位机每分钟更新一次采集值，记录从开始控制到 15 min 结束的温度值见表 3。

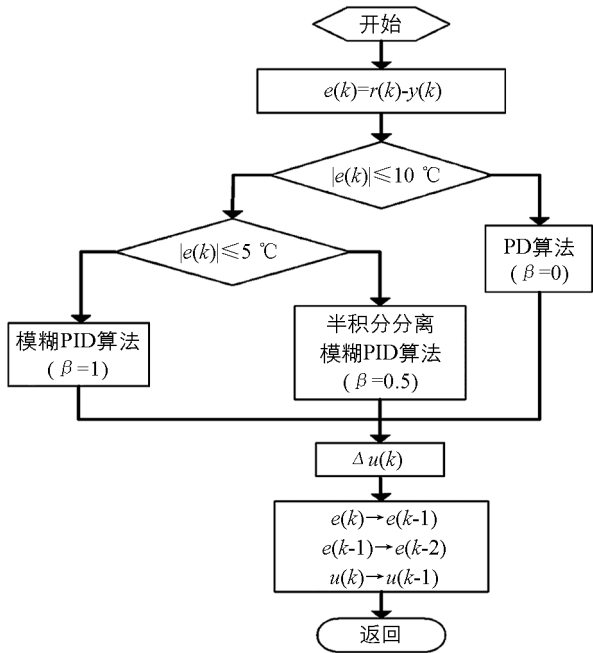


图 5 控制算法流程图

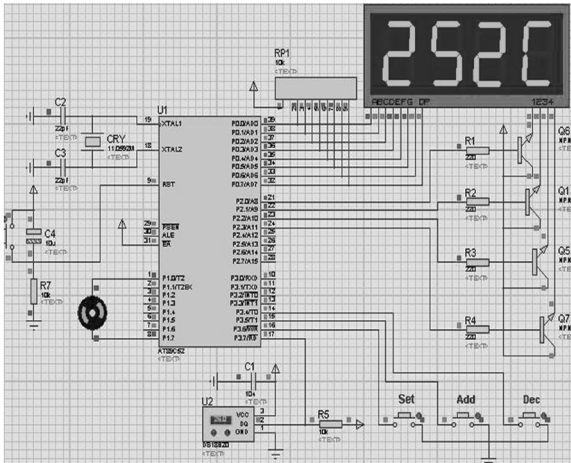


图 6 模拟系统效果图

由表 3 可知，从开始控制到 8 min 时，系统进入了预设稳定状态，该阶段最大偏差约为 0.2 °C，满足农作物的适宜生长需求。

表 3 实验测试结果

时间/ min	温度/ ℃	时间/ min	温度/ ℃	时间/ min	温度/ ℃
1	27.3	6	25.7	11	24.8
2	27.0	7	25.5	12	25.0
3	26.4	8	25.2	13	25.1
4	26.2	9	25.1	14	24.9
5	26.0	10	24.9	15	25.2

4 结 论

本研究提出了一种基于积分分离模糊 PID 温度控制的改进方法，给出了该方法的详细设计过程，并通过算法对比仿真与模拟系统实测数据证实了该方法的正确性与可行性。结果表明，该方法较之传统 PID 控制方法有更小的超调、更快的响应速度及更小的稳态误差。因此，本研究所提的温度控制方法不仅更能适用于温室这一大惯性、大时滞、强非线性的复杂系统，而且还能为温室环境的控制提供更好的思路，具有较强的工程应用价值。

参考文献:

- [1] 毕玉革, 麻硕士. 我国现代温室环境控制硬件系统的应用现状及发展 [J]. 农机化研究, 2009, 31(3): 226—229.
- [2] 杨学坤, 蒋 晓, 诸 刚. 温室环境控制技术的研究现状与发展趋势 [J]. 中国农机化学报, 2013, 34(4): 16—18.
- [3] 王 君, 于海业, 张 蕾. 温室环境控制系统的发展 [J]. 中国农学通报, 2010, 26(12): 371—375.
- [4] 丁为民, 汪小昆, 李毅念, 等. 温室环境控制与温室模拟模型研究现状分析 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(5): 162—168.
- [5] 王立新. 模糊系统与模糊控制教程 [M]. 王迎军, 译. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [6] 李莉芝, 赵红芹, 苗茵钰, 等. 脉冲控制技术在加热炉控制系统中的实现 [J]. 自动化仪表, 2010, 31(1): 45—47.
- [7] 岳文杰, 谢守勇, 陈 翀, 等. 基于模糊 PID 的温室温度控制器设计与仿真 [J]. 农机化研究, 2014, 4(4): 194—197.
- [8] 方 鑫, 党宏社. 高速模糊 PID 温度控制器的设计与实现 [J]. 化工自动化及仪表, 2009, 36(6): 75—77.
- [9] 邱 丽, 曾贵娥, 朱学峰, 等. 几种 PID 控制器参数整定方法的比较研究 [J]. 自动化技术与应用, 2005, 24(11): 28—31.
- [10] 陈 岩, 杜晓明. 模糊 PID 控制在温室环境中的应用 [J]. 农机化研究, 2010, 32(8): 173—177.

The Design of a Temperature Controller System Based on the Integral Apart Fuzzy PID

WU Ting-qiang¹, YAN Chang-guo¹, LUO De-lian²

1. School of Engineering, Zunyi Normal College, Zunyi Guizhou 563002, China;

2. School of Physics and Electronic Science, Zunyi Normal College, Zunyi Guizhou 563002, China

Abstract: Taking into consideration the disadvantages of the traditional PID (proportional integral derivative) control method—low response speed, large overshoot and low control precision—for the temperature control system, the authors propose in this paper an improved control method, which is based on integral apart fuzzy PID. The working principles of this method are expounded, and the relative controller parameters are designed. A comparison was made of the traditional PID control, the fuzzy PID control and the proposed integral apart fuzzy PID control through an experiment with a greenhouse temperature control system, and the results indicated that the proposed integral apart fuzzy PID had faster response, smaller overshoot and higher control precision, thus showing promising potentials for engineering application.

Key words: temperature control system; traditional PID; integral apart; fuzzy PID

责任编辑 潘春燕

