

# 温室温度控制系统神经网络 PID 控制算法研究

薄永军 (天津渤海职业技术学院, 天津 300402)

**摘要** 在以优质、高效、高产为目的的现代化农业发展新阶段, 温室自动化技术的研究受到广泛重视。对于温室自动控制系统, 由于其非线性、强耦合、纯滞后、大惯性的自身特性, 传统 PID 控制已难以满足高品质温室控制系统的需求。由于 BP 神经网络具有强大的学习能力及非线性映射性, 将 BP 神经网络控制引入常规 PID 控制中, 采用 BP 神经网络 PID 控制方案, 设计温室温度的自动控制系统并进行仿真验证。仿真结果表明, 相比于传统的 PID 控制系统, 所设计的基于 BP 神经网络 PID 控制系统具有更强的自适应能力与稳健性, 控制品质具有明显优势。

**关键词** 温室自动化; 神经网络 PID 控制; 稳健性

中图分类号 S126 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2014)13-04102-03

## Study of a Control Algorithm for Greenhouse Temperature System Based on Neural Network of PID

BO Yong-jun (Tianjin Bohai Vocational Technical College, Tianjin 300402)

**Abstract** The automation technology has been widely used in greenhouse for the purpose of new stage of modern agricultural development is high-quality, efficiency and high yield. For greenhouse automatic control system, due to its nonlinear, strong coupling, large inertia, pure lag, traditional PID control is difficult to meet the high quality of greenhouse control system requirements. This paper introduced the BP neural network control into conventional PID control, for BP neural network has strong ability of learning and nonlinear mapping, designing greenhouse temperature automatic control system and simulation, use the BP neural network PID control scheme. The simulation results show that, compared to the traditional PID control system, the design of PID control system based on BP neural network has better adaptive ability and robustness, control quality has obvious advantages.

**Key words** Greenhouse automation; Neural network PID control; Robustness

在传统农业向现代化农业转型的今天, 以温室大棚等自动化技术为代表的设施农业作为农业科技研究中的重要领域之一, 受到了国内外学者的广泛关注。温室环境的实时监测与调控是温室自动控制系统的关键, 而实现温室自动控制的基础就是温室环境系统动态模型的建立。在温室数学模型建立的基础上, 传统温室系统温度、湿度控制大多采用常规 PID 控制, 控制方法简便且易于实现。但由于温室环境系统具有强非线性、多变量、强耦合以及抗干扰能力较差的特性<sup>[1]</sup>, 且所处的环境存在大量不确定因素, 难以建立其精确的数学模型, 因此传统的 PID 控制方式已难以满足高品质温室控制系统需求。

为提高温室自动控制中的稳健性, 避免传统 PID 控制方法的不足, 引入神经网络 BP 设计具有自适应能力的智能 PID 控制系统是一种有效的解决方法。在建立温室环境下小气候数学模型的基础上, 采用 PID 控制与神经网络 BP 算

法相结合的控制方案, 以温室系统中最重要影响因子温度为被控对象, 设计其控制系统, 利用数值仿真, 与传统 PID 控制方法进行比较, 验证了该研究提出的 BP 神经网络 PID 在温室控制中的有效性和稳健性。

## 1 温室环境小气候建模分析与研究

**1.1 温室环境影响因子分析** 温室环境因子是指植物生长过程中的关键因素, 包括温度、湿度、光照、CO<sub>2</sub> 浓度和营养液, 其中温度是环境控制中最为重要的控制指标。

温室控制系统由气候控制系统和灌溉控制系统两部分组成。气候控制主要以温室内太阳辐射、温湿度因子、CO<sub>2</sub> 浓度等为对象进行控制; 而对于营养液的控制称为灌溉控制。

温室的气候控制系统结构如图 1 所示。图中干扰包括光照、外界温度、外界 CO<sub>2</sub> 浓度、外界相对湿度等; 控制器输入分别为光照误差、温湿度误差、CO<sub>2</sub> 浓度误差。

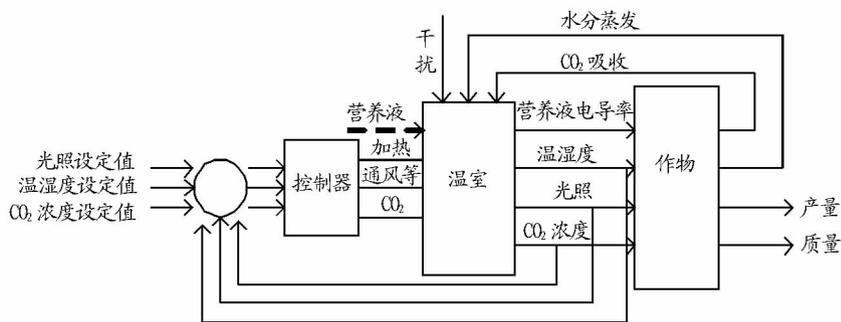


图1 温室环境控制系统流程

**1.2 温室控制系统热交换原理** 温室系统的温度特性可用温室的热量平衡描述。温室系统的热量收入分为两部分: 温室表面的热量平衡与温室内部的热量平衡<sup>[2]</sup>。依据温室内

外各干扰量对温室系统的影响,当吸热总量与散热总量趋于平衡时,可写出此状态下温室热交换的热平衡方程,如下式所示:

$$\Delta q = q_l + q_a + q_r + q_g - q_c - q_s - q_e - q_p - q_d - q_{wu} - q_{sh} \quad (1)$$

式中,  $q_l$  为太阳辐射提供热量;  $q_s$  为通风换热排出热量;  $q_c$  为温室与外界空气的热量交换;  $q_g$  为温室采暖系统散发热量;  $q_d$  为温室与土壤的热量交换;  $q_e$  为植物蒸腾作用消耗热量;  $q_p$  为植物光合作用消耗热量;  $q_r$  为植物自身散发热量;  $q_a$  为温室内灯具、设备等散发热量;  $q_{wu}$ 、 $q_{sh}$  为温室内喷雾及湿帘的热量交换。

需要指出的是,由于植物光合作用中的耗能量与自身散发热量非常小,在实际计算中可忽略不计,即可视为:  $q_p = 0$ ,  $q_r = 0$ 。

### 2 基于 BP 神经网络 PID 控制算法

针对温室控制系统非线性、大惯性、纯滞后特性,该研究采用常规 PID 控制与 BP 神经网络控制相结合的方法,设计基于 BP 神经网络的 PID 控制器,使得控制系统具有更好的在线整定能力与良好的稳健性。

常规 PID 控制设计的核心分别是比例系数、积分时间与微分时间 3 个参数的在线整定,在很大程度上影响了控制品质与系统鲁棒性。神经网络表现出的超强学习能力与非线性模型任意逼近的表达能力,可很好地处理 PID 控制中的参数整定问题。将两者有机地结合所设计的 BP 神经网络 PID 控制器,通过 BP 神经网络的自身特性,调整 PID 控制的 3 个参数  $K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$ 。基于 BP 神经网络的 PID 控制器设计结构图如图 2 所示。

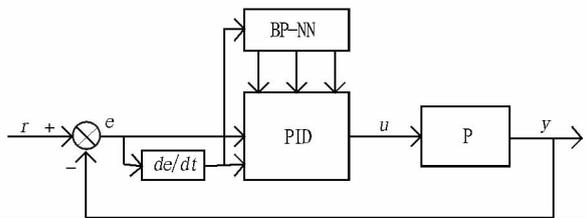


图 2 基于 BP 神经网络 PID 控制器结构

在 PID 控制模块中,经典增量式数字 PID 控制算式为:

$$u(k) = u(k-1) + K_p [e(k) - e(k-1)] + K_I (e(k)) + K_D [(e(k) - 2e(k-1) + e(k-2))] \quad (2)$$

式中,  $K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$  分别为比例系数、积分系数、微分系数 3 个在线可调节参数;  $u(k)$  表示控制器的输出。

将 BP 神经网络控制算法引入常规 PID 控制中,使神经网络模块的输出层对应 PID 模块的 3 个控制参数  $K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$  [3]。该研究选取 3 层 BP 神经网络,输入层、隐含层、输出层的节点数分别为  $M$ 、 $Q$ 、3 个节点,图 3 给出 BP 神经网络结构图。

NN 的输入层为:

$$O_j^{(1)} = x(j), (j=1,2,\dots,M-1) \quad (3)$$

式中,  $M$  的选取取决于被控系统的复杂程度。

NN 的隐含层输入输出为:

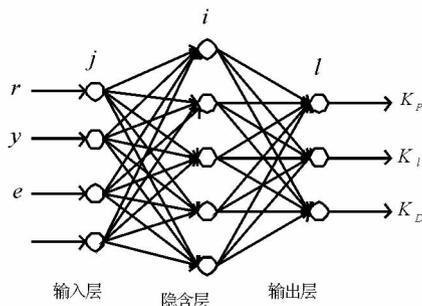


图 3 BP 神经网络结构

$$\begin{cases} net_i^{(2)}(k) = \sum_{j=0}^M \omega_{ij}^{(2)} O_j^{(1)}(k) \\ O_j^{(2)}(k) = f[net_i^{(2)}(k)] \end{cases}, i=0,1,2,\dots,Q \quad (4)$$

式中,  $\omega_{ij}^{(2)}$  为隐含层的加权系数,隐含层神经元的活化函数

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}},$$

上标分别代表输入层、隐含层、输出层。

NN 的输出层输入输出为:

$$\begin{cases} net_i^{(3)}(k) = \sum_{j=0}^M \omega_{ij}^{(3)} O_j^{(2)}(k) \\ O_l^{(3)}(k) = g[net_i^{(3)}(k)], (l=1,2,3) \\ O_1^{(3)}(k) = K_p \\ O_2^{(3)}(k) = K_I \\ O_3^{(3)}(k) = K_D \end{cases} \quad (5)$$

式中,3 个可调参数  $K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$  不可为负值,取输出层神经元

激活函数  $g(x) = \frac{e^x}{e^x + e^{-x}}$ 。

基于 BP 神经网络 PID 控制算法的步骤可归纳为:①根据被控对象结构与复杂性,选取 BP 神经网络结构,确定输入层、隐含层、输出层的节点数;②隐含层初始化,对隐含层的加权系数  $\omega_{ij}^{(2)}$  赋初值;③通过采样得  $r(k)$  与  $y(k)$ ,由此可知  $e(k) = r(k) - y(k)$ ;④计算 BP 网络 NN 各层神经元的输入与输出,输出层的输出即为 PID 控制器的 3 个可调参数  $K_p$ 、 $K_I$  与  $K_D$ ;⑤根据式(2)所示经典增量式数字 PID 控制算式可得 PID 控制输入  $u(k)$ ;⑥通过 BP 神经网络自身学习能力,在线调整加权系数,实现 PID 3 个控制参数  $K_p$ 、 $K_I$  与  $K_D$  自适应调整;⑦置  $k = k + 1$ ,返回至②。

### 3 基于 BP 神经网络 PID 温室控制系统设计及仿真

该研究选取冬季加热控制阶段,对温室温度进行控制。在冬季加热控制中,主要考虑室外温度及光照因素,控制系统设计如图 4 所示。

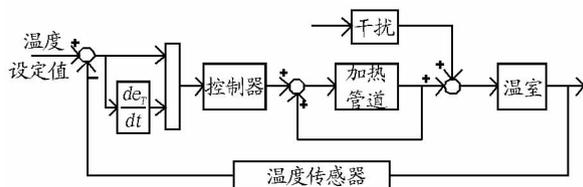


图 4 冬季温室环境控制结构图

控制系统的设计中采用两输入:设定温度与实际温度之间的差值以及相应的误差变化率;输出为加热管道阀门开

度。理论与试验结果证明:加热设备是具有平衡能力的对象,可用二阶纯滞后环境描述<sup>[4]</sup>;而对于二阶不振荡系统,通过参数辨识器可降为一阶模型。因此,可采用一阶比例惯性滞后环境描述温室温度控制的数学模型。

冬季室内温度动态模型可用温度变化量  $\Delta T$  与热量变化率  $\Delta Q$  之间的传递函数表示:

$$W(S) = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{Ke^{-\tau s}}{TS + 1} \quad (6)$$

式中,  $K$  为静态增益系数;  $T$  为时间常数;  $\tau$  为纯滞后时间常数。

根据温室系统模型大惯性、大延迟特点,取  $K = 1, T = 600, \tau = 3000$ , 采样时间  $t_s = 1$  s。该研究选取 3 层 BP 网络, 网络结构为 4-5-3, 输入层的输入信号为输入值  $r(k)$ 、输出值  $y(k)$ 、误差值  $e(k)$  和单位 1, 采用上一节所述 BP 网络 PID 控制算法设计其控制器并进行仿真验证, 图 5、6 分别给出常规 PID 控制与 BP 神经网络 PID 控制的阶跃响应曲线。

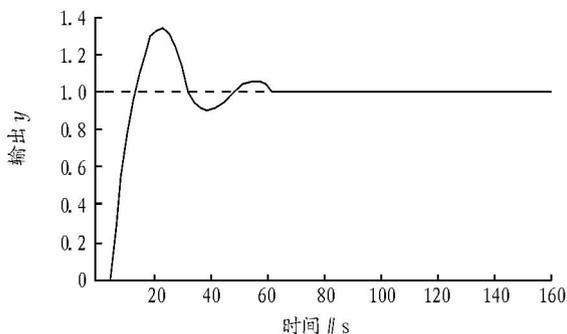


图5 常规 PID 控制阶跃响应曲线

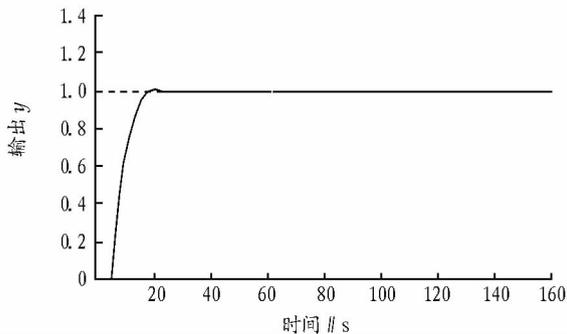


图6 BP 神经网络 PID 控制阶跃响应曲线

对比图 5、6 仿真结果可以看出, 相比常规 PID 控制, 引入了 BP 神经网络的 PID 控制系统在性能上得到了明显改善, 基本无超调, 调整时间也缩短了很多, 控制品质得到极大优化。

为了验证系统所设计控制系统的鲁棒性, 在 100 s 时分别对常规 PID 控制系统与 BP 神经网络 PID 控制系统引入外界干扰, 系统响应仿真分别如图 7、8 所示。

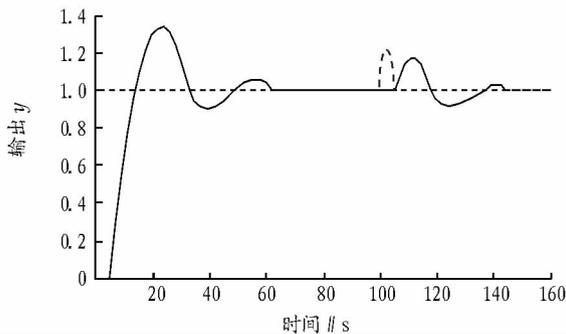


图7 外界干扰下常规 PID 控制阶跃响应曲线

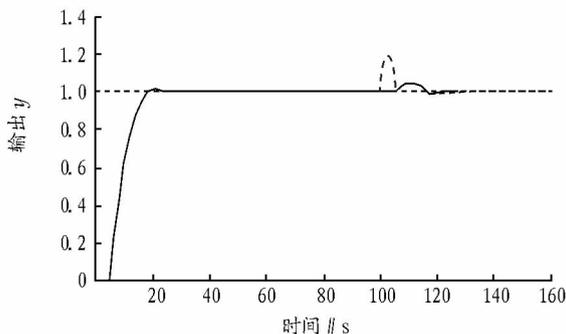


图8 外界干扰下 BP 神经网络 PID 控制阶跃响应曲线

由仿真试验可知, 在施加外界干扰的情况下, 常规 PID 控制出现了较大的振荡, 且持续时间较长; 而 BP 神经网络 PID 控制系统的波动明显比常规 PID 控制要小得多, 且很快回复到稳定状态。因此, 在存在外界干扰或内部参数摄动的情况下, BP 神经网络 PID 控制系统具有更强的鲁棒性。

#### 4 结论

针对温室控制系统非线性、大延迟、大惯性等自身特性, 该研究将智能算法引入温室控制系统的设计中。首先, 通过对温室环境小气候数学模型的建立, 以及环境因子的分析, 得出温室温度的动态模型; 其次, 利用 BP 网络自身超强的学习能力和非线性模型任意逼近的特性, 采用 BP 神经网络与常规 PID 控制相结合的设计方案, 设计了温室温度基于 BP 神经网络的 PID 控制器并进行仿真验证。仿真结果表明, 相比常规 PID 控制, 根据 BP 神经网络 PID 控制所设计的控制系统具有更好的动态性能, 且具有更强的鲁棒性。

#### 参考文献

- [1] 屈毅, 宁锋. 温室温度控制系统的神经网络 PID 控制[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 307-311.
- [2] BERNIER H, COTTINET M L. A Low-cost real-time multitasking computerized controller for farm buildings[J]. ASEA, 2013, 87: 45-51.
- [3] 李强. 大滞后温度系统的控制方法研究[D]. 重庆: 西南交通大学, 2009.
- [4] 高迟, 吕元峰. 基于模糊神经网络的温室控制系统[J]. 农机化研究, 2009(10): 187-189.