

温室温度控制系统的神经网络PID控制

屈毅, 王雪侠, 史晶

(咸阳职业技术学院电子信息学院, 陕西咸阳 712046)

摘要: 建立温室温度控制系统的数学模型。针对温室温度控制系统存在的大滞后、大惯性等问题,考虑到常规PID控制器自适应能力差、鲁棒性不强等缺陷,提出采用将具有较强的自组织、自学习和自适应能力的径向基神经网络与常规PID相结合构成RBF-PID控制策略,进行自适应的调整PID控制器的参数。在该控制策略中,采用RBF神经网络辨识器实现温度控制系统的Jacobian矩阵信息在线辨识,实现PID控制器控制参数的在线自整定。仿真研究结果表明:RBF-PID控制器对温室温度的控制具有良好的控制效果。

关键词: 温室;神经网络;自适应;数学模型

中图分类号: TP183 **文献标识码:** A **文章编号:** 94047-(2015)01-033-07

0 引言

现代温室是人工控制温室内农作物的生长环境,在不受温室外环境因素的影响下,优化温室内农作物的生长条件,有效的改善温室内农业生态,提高单位土地的农作物的产出率和社会经济效益。理论和实践研究结果表明:温室内合适的生态环境,尤其是温室的温度环境,可以有效的提高温室内农作物的产量和质量。但由于温室生态环境系统的复杂性,各种环境因素(例如温度、湿度等)之间相互影响,采用传统的控制方法,很难为温室内农作物的生长提供一个良好的生长环境^[1]。

目前,温室温度控制的研究主要采用PID控制和RBF控制等方法。PID控制具有简单、适应性强的优点,但因温室系统的数学模型含有时变参数,很难对温室的温度进行有效的控制^[2-5]。RBF控制具有较强的输入-输出映射功能、响应速度快,但是对温室温度的控制,因其超调量大、鲁棒性差,控制效果也不甚理想^[6-8]。为此,笔者将神经网络与常规PID控制律相融合,充分利用RBF神经网络的非线性映射能力和学习力,在线实时调整PID控制器的控制参数,构成的参数可调、自适应性强的神经网络RBF-PID控制器。该控制器可以很好的实现温室温度系统的高品质控制^[9]。

1 建立温室温度控制系统数学模型

在研究温室内环境控制过程中,因不同地区温、光、水、气、肥等条件的不同,所建立的温室温度控制系统的数学模型从结构到控制方法有很大的不同。本文就以陕西关中地区的温室的物理过程进行分析。此类温室结构是热水管道加热、单层透明覆盖物(薄膜或玻璃)、天窗通风以及农作物生长环境的自动控制。

依据该地区温室的实际情况,为了重点突出研究对象本质,在建立温室温度控制系统的数学模型时必须对研究对象作必要的简化:1)温室内农作物生长的空气环境均匀,温室内空气温度与土壤表层温度可视为相同,藉此可忽略温室内空气与土壤表层间的热量交换;2)在本文计算土壤传热时,可忽略温室内土壤的横向传热,只考虑纵向方向的一维传热;3)温室内的农作物(如西红柿)冠层温度分布均匀。

考虑到农作物蒸腾作用对于温室内温湿度的影响,采用文献[1]提出的含控制量的温室温度数学模型见式(1)。等式1右边各项依次为通过温室覆盖层交换的热量、通风时温室内外热量交换、温室吸收的太阳能、作物蒸腾作用吸收的热量和温度调控设施所提供的热量。

温室内种植的农作物蒸腾作用会影响到温室环

境温度和湿度, 是进行温室温度控制所必需考虑的因素。通过对陕西关中中部地区, 夏季和冬季温室小气候和蒸腾速率的实验数据分析, 参照文献

$$V\rho c_p \frac{dT_{in}}{dt} = hcA_c(T_{out}(t) - T_{in}(t)) + \rho c_p V_{in}(t)(T_{out}(t) - T_{in}(t)) + kQ_{rad}(t) - \lambda E(t)A_c + Q_{heat}(t - t_d) \quad (1)$$

$$\begin{cases} \text{winter} : \lambda E = 0.24Q_{rad} + 75.2VPD_{in} \\ \text{summer} : \lambda E = 0.25Q_{rad} \end{cases} \quad (2)$$

$$e_{in} = 0.6107 \times \exp \frac{17.4T_{in}}{239 + T_{in}} \quad (3)$$

$$VPD_{in} = e_{in}(1 - RH_{in}) \quad (4)$$

温室的温度控制模型式(1), 其中 $Q_{heat}(t)$ 的表达式见式(5)。

$$Q_{heat}(t) = C_h \times Heat(t) \quad (5)$$

把式(5)代入式(1), 并对式(1)进行变换整理, 得到式(6)。

$$\begin{aligned} \frac{dT_{in}}{dt} = & -\frac{hcA_c\rho c_p V_{in}(t)}{V\rho c_p} \times T_{in}(t) + \\ & \frac{(hcA_c + \rho c_p V_{in}(t)) \times T_{out}(t) + kQ_{rad}(t)}{V\rho c_p} + \\ & \frac{C_h Heat(t - t_d) - \lambda E(t)A_c}{V\rho c_p} \end{aligned} \quad (6)$$

$$M(t) = hcA_c + \rho c_p V_{in}(t) \quad (7)$$

$$L(t) = M(t) \times T_{out}(t) + kQ_{rad}(t) - \lambda E(t)A_c \quad (8)$$

把式(7)和式(8)代入式(6), 得到式(9)。

$$\frac{dT_{in}(t)}{dt} = -\frac{M(t)}{V\rho c_p} \times T_{in}(t) + \frac{L(t) + C_h Heat(t - t_d)}{V\rho c_p} \quad (9)$$

其中M(t)受温室覆盖层与温室内气体定容比、温室体积、温室覆盖层的面积、温室内自然通风率、热温室内气体的对流换热系数的影响。L(t)项是由室外温度、作物蒸发潜能速率、投在温室覆盖层的太阳辐射等环境变量构成, 可以作为是干扰项处理。综上可知, 温室温度系统是一个复杂、参数是时变的复杂系统。

(11)提出的方法, 计算得出夏季和冬季陕西关中地区温室农作物蒸腾速率与温室环境气候要素之间的定量关系式见式(2)~式(4)。

参考陕西关中泾阳地区冬季一温室连续三十天从早上八点到下午五点观测数据, 对M(t)变化情况进行分析, 总结出M(t)值介于36335.23与36654.98之间, 平均值为3649, 相对平均值变化率为-0.44%~0.43%。这样M(t)可当作常数, 用其平均值M'来代替。则式(9)变为式(10)。

$$\frac{dT_{in}(t)}{dt} = \frac{M'}{V\rho c_p} \times T_{in}(t) + \frac{L'(t) + C_h \times Heat(t - t_d)}{V\rho c_p} \quad (10)$$

$$L'(t) = M' \times T_{out}(t) + kQ_{rad} - \lambda E(t) \times A \quad (11)$$

对式(10)两边进行拉氏变换, 并将式(11)代入, 整理得到式(12)

$$T_{in}(s) = \frac{C_h}{M'} \times \frac{e^{-t_d s} Heat(s)}{\frac{V\rho c_p}{M'} \times S + 1} + \frac{1}{M'} \times \frac{L'(s)}{\frac{V\rho c_p}{M'} \times S + 1} \quad (12)$$

$$L'(s) = M' \times T_{out}(s) + kQ_{rad} - \lambda E(s) \times A \quad (13)$$

式中:

T_{in} 一为温室内环境温度 (°C)

T_{out} 一为温室外环境温度 (°C)

V 一为温室内的体积 (m^3)

ρ 一为空气密度 ($1.29kg/m^3$)

c_p 一为温室内气体定容比热 ($1.005J/kg \cdot ^\circ C$)

k 一为太阳辐射能被温室空气吸收的传热

系数

hc 一为温室覆盖层与温室内气体的对流换热系数;

A_c 一为温室覆盖层的面积 (m^2);

λE 一为农作物蒸发潜能速率 (m/s)

V_{in} 一为温室内自然通风率 (m^3/s)

Q_{rad} 一为投在温室覆盖层的太阳辐射 (W/m^2)

Q_{heat} 一为加热器的加热功率 (w)

RH_{in} 一为温室内空气相对湿度

e_{in} 一为中间变量;

VPD_{in} 一为温室内空气饱和和水汽压差

C_h 一为加热源的传导系数

$Heat(t)$ 一为温度调控设施控制输出的函数

由式(12)可以看出,此温室温度系统可近似为具有扰动情况下的一阶时滞惯性系统, $Heat(s)$ 是温度调控设施控制输出的传递函数. 在典型的一阶时滞惯性系统中, K 是一阶时滞惯性系统的静态增益, T 是一阶时滞惯性系统时间常数, 是一阶时滞惯性系统纯滞后时间. 我们将温室温度模型与典型的一阶惯性加时滞环节进行对照, 得到式(14)和式(15)。

$$T_m(s) = \frac{C_h}{M'} \times \frac{e^{-t_d s} Heat(s)}{V \rho c_p \times S + 1} + \frac{1}{M'} \times \frac{L'(s)}{V \rho c_p \times S + 1}$$

$$= \frac{K e^{-\tau s}}{T_s + 1} \times Heat(s) + \frac{K' \times L'(s) / C_h}{T_s + 1}$$

$$= \frac{K e^{-\tau s}}{T_s + 1} \tag{14}$$

其中:

$$K = \frac{C_h}{M'}, \quad \tau = t_d, \quad T = \frac{V \rho c_p}{M'} \tag{15}$$

2 神经网络PID控制系统设计

2.1 径向基函数神经网络 (RBF) 模型

RBF神经网络是具有n个输入、单隐层和一个输出的3层前馈网络, 由输入层空间到单隐层空间的映射是非线性变换, 隐层空间到输出空间的映射是线性变换. 该网络具有全局最优、运算量小、运算速度快、以及最佳逼近性能, 且训练方法快速易行, 使其在实时控制中成为可能^[11-13]. 其结构如图1所示。

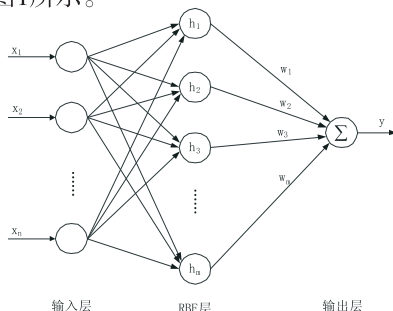


图1径向基函数神经网络结构图
Fig.1 RBF neural network structure

$$y = W^T H = \sum_0^m w_i h_i \tag{16}$$

式中: $X = [x_1, x_2, L, x_n]^T$ 为RBF神经网络的输入向量, $W = [w_1, w_2, L, w_m]^T$ 为RBF神经网络权矢量, $H = [h_1, h_2, L, h_m]^T$ 为径向基矢量, 其中 h_j 为高斯函数^[14,15]见式(17)。

$$h_i = \exp\left[-\frac{\|x - c_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right] \quad i = 1, 2, L, m \tag{17}$$

式中 x 是n维输入向量; c_i 是第i个径向基函数的中心, 与 x 具有相同维数的向量; σ_i 是第i个感知变量的中心, 与 x 具有相同维数的向量; σ_i 是第i个感知变量, 它决定了该基函数围绕中心点的宽度; $\|x - c_i\|$ 是向量 $x - c_i$ 的范数, 表示 x 与 c_i 之间的距离^[15]。

神经网络的性能指标函数^[16]为式(18)。

$$J = \frac{1}{2} (y(k) - y_m(k))^2 = \frac{1}{2} (e(k))^2 \tag{18}$$

为了RBF网络模型期望输出与实际输出之间的误差目标函数最小, 对输出权, 节点中心和节点基宽参数采用迭代算法见式(19)~式(21)。

$$w_j(k) = w_j(k-1) + \eta [y(k) - y_m(k)] + \alpha [w_j(k-1) - w_j(k-2)] \tag{19}$$

$$\begin{cases} \Delta \sigma_i = [y(k) - y_m(k)] w_i h_i \frac{\|x - c_i\|}{\sigma_i^3} \\ \sigma_i(k) = \sigma_i(k-1) + \eta \Delta \sigma_i + \alpha [\sigma_i(k-1) - \sigma_i(k-2)] \end{cases} \tag{20}$$

$$\begin{cases} \Delta c_i = [y(k) - y_m(k)] w_i \frac{\|x - c_i\|}{\sigma_i^2} \\ c_i(k) = c_i(k-1) + \eta \Delta c_i + \alpha [c_i(k-1) - c_i(k-2)] \end{cases} \tag{21}$$

式中, η 为学习效率, α 为动量因子, 且 $\eta, \alpha \in [0, 1]$ 。

Jacobian矩阵体现了输入控制量对输出响应的灵敏度, 其值可通过神经网络在线辨识得到. 取RBF网络的第一个输入为 $u(k)$, $x_1 = u(k)$, 则Jacobian矩阵的算法见式(22)。

$$\frac{\partial Y(k)}{\partial u(k)} \approx \frac{\partial Y_m(k)}{\partial u(k)} = \sum_{j=1}^m \frac{\partial w_j h_j}{\partial u(k)} = \sum_{j=1}^m w_j h_j \frac{c_{j1} - x_1}{b_j^2} \tag{22}$$

2.2 RBF-PID控制系统的设计

RBF-PID控制器可以克服常规PID控制器的不足, 在常规PID控制器的基础上利用RBF神经网络

较强的自适应性, 在线整定控制器的三个控制参数, 构成一个具有自适应能力的RBF-PID控制器^[17]。其结构图如图2所示。

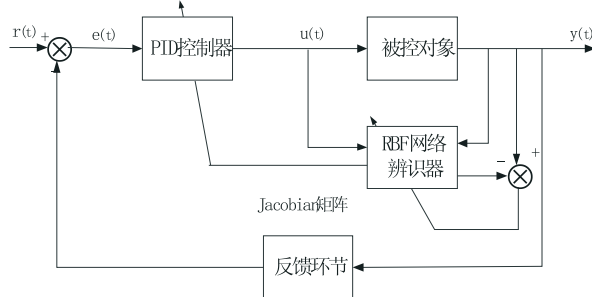


图2 RBF-PID控制器的结构

Fig.2 RBF-PID control structure

常规PID控制器为线性控制器, 根据给定值 $r(k)$ 与被控对象实际输出值 $y(k)$ 构成的偏差 $e(k)$ 进行控制^[18]。

$$e(k) = r(k) - y(k) \quad (23)$$

控制器输出 $u(k)$

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{j=0}^k e(j) + K_d [e(k) - e(k-1)] \quad (24)$$

将偏差的比例、积分和微分按线性组合构成有效控制量, 实现对被控对象控制。常规增量式数字PID的控制算法^[19]为(式25)。

$$\Delta u(k) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (25)$$

式中 K_p 、 K_i 、 K_d 分别为比例、积分、微分系数。 K_p 、 K_i 、 K_d 视为依赖于系统运行状态的可调整系数。

RBF-PID控制是将PID控制规律融入神经网络之中的新型控制器, 隐含层中含有比例(P)、积分(I)、微分(D)三个单元, 该控制器利用RBF网络辨识器提供的Jacobian信息, 在线调整PID控制器中 k_p 、 k_i 、 k_d 。三个参数, 实现PID控制器参数的在线自适应^[18,19]。该控制器实质上为一变系数的比例、积分、微分控制器, 学习算法具有很强的自适应性。控制学习算法见式(26)。

$$\begin{cases} x(1) = e(k) - e(k-1) \\ x(2) = e(k) \\ x(3) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \end{cases} \quad (26)$$

PID控制器参数 K_p 、 K_i 、 K_d 的调整采用梯度下降法见式(27)。

$$\begin{cases} \Delta K_p = -\eta_p \frac{\partial J}{\partial K_p} = -\eta_p \frac{\partial J}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial K_p} = \eta_p e(k) \frac{\partial Y}{\partial u} x(1) \\ \Delta K_i = -\eta_i \frac{\partial J}{\partial K_i} = -\eta_i \frac{\partial J}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial K_i} = \eta_i e(k) \frac{\partial Y}{\partial u} x(2) \\ \Delta K_d = -\eta_d \frac{\partial J}{\partial K_d} = -\eta_d \frac{\partial J}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial K_d} = \eta_d e(k) \frac{\partial Y}{\partial u} x(3) \end{cases} \quad (27)$$

式中 η_p 、 η_i 、 η_d 分别为比例、积分、微分的学习速率, 实现的权系数的进行调整。

3 温室温度控制系统仿真结果分析

在RBF-PID整定中, RBF辨识网络选取3-6-1结构, RBF网络辨识器的输入为 $u(k)$ 、 $y(k)$ 、 $y(k-1)$, 输出为 $y_m(k)$, RBF网络基函数半 $\sigma = 0.65$, 加权系数初值 $w_1 = 0.01$, $w_2 = 0.02$, $w_3 = 0.01$ 。温度控制系统数学模型的相关参数取值 $1/k' = 4356.3$, $T = 856.35$, $\tau = 108$ 。经过多次训练试验后, 最终参数选择为学习效率 $\eta = 0.32$, 动量因子 $\alpha = 0.06$, 比例、积分、微分的学习速率 $\eta_p = 0.5$, $\eta_i = 0.45$, $\eta_d = 0.4$ 。仿真结果如图3-5所示。

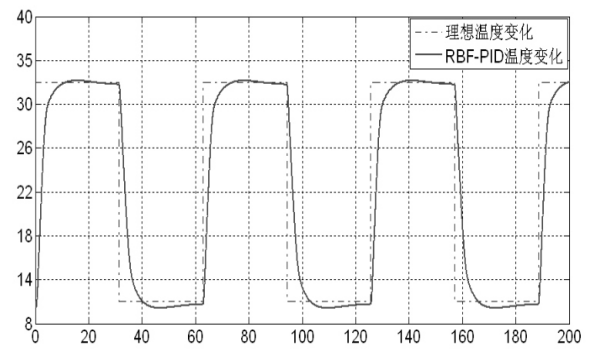


图3 性能指标函数J的优化过程

Fig.3 Optimization process of objective function J

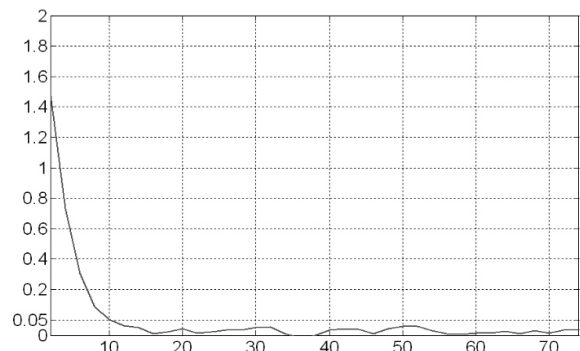


图4 RBF-PID控制系统的方波响应

Fig.4 Control system square wave response

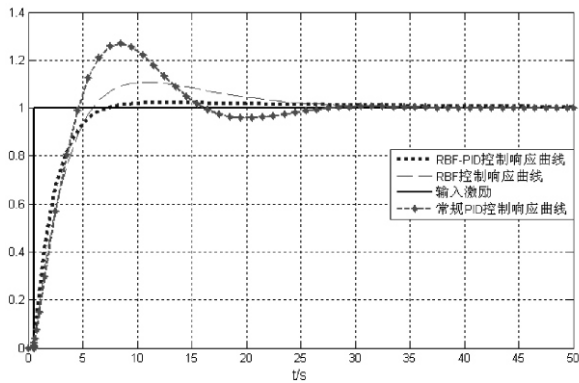


图5 三种控制器系统响应

Fig.5 Three kinds of control system response

取陕西关中中区地区地区冬天某一天10个不同时段温度值为样本值，分别输入到RBF-PID控制器，PID控制器和RBF控制器分别进行仿真，其仿真得到的数据见表1。对表1中的数据比较分析，得到表2所示三种控制器控制策略性能比。

由图3和表1可看出，PBF-PID控制器随着迭代次数的增加，性能指标函数J趋于最小，其响应时间9.01s、超调量8.01%，常规PID控制器响应时间

32.1s、超调量20.3%，RBF控制器的响应时间15.3s、超调量14.6%。通过比较分析可看出该控制器响应速度快、超调量小，可控制温室温度能在很短时间达到设定的控制效果。

由图4可看出，RBF-PID控制系统能有效的抑制室内环境温度的剧烈波动，能使温度控制系统实现无静差跟踪，抗干扰性强、鲁棒性好，并能随着温室外环境温度的变化迅速调整室内温度，使温室室内农作物生长在适宜的环境中。

由图5和表2可看出，RBF-PID控制器的平均收敛率98.12%、平均收敛速度9.01、控制精度98.4%，BP控制器的平均收敛率93.45%、平均收敛速度15.3s、控制精度95.6%，常规PID控制器的平均收敛速度32.1s、控制精度90.4%。所以可得出RBF-PID控制系统能使温室温度输出很好的跟踪给定温度值，使温度控制系统在收敛速度、控制精度等方面的性能得到较大的改善，其控制效果优于常规PID控制器和RBF控制器的控制效果。

表1样本检测结果对比

Table 1 Comparison of the detected sample

样本点	RBF-PID 控制器		常规 PID 控制器		RBF 控制器	
	响应时间 (s)	超调量(%)	响应时间(s)	超调量(%)	响应时间(s)	超调量(%)
1	9.3	8.0	35	20	16	16
2	8.9	8.1	33	19	15	16
3	9.0	7.9	32	18	15	14
4	9.1	7.9	34	21	17	13
5	8.9	8.2	31	19	14	15
6	8.8	8.3	30	20	16	13
7	9.2	7.8	33	22	14	14
8	9.0	7.9	29	21	15	15
9	8.9	8.0	31	23	15	16
10	9.1	8.1	33	20	16	14
平均值	9.01	8.01	32.1	20.3	15.3	14.6

表2 三种控制器控制策略性能比较

Table2 Three kinds of control system comparison of algorithm performance

控制策略	平均收敛率(%)	平均迭代次数	平均收敛速度(s)	控制精确率(%)
PID 控制器			32.1	90.4
BP 控制器	93.45	45	15.3	95.6
RBF-PID	98.12	28	9.01	98.4

4 结论

本文提出了一种基于RBF神经网络PID控制温室温度的控制方法，该方法针对温室室内农作物生长环境要求实现自适应性控制策略，利用梯度下降法来决定每次迭代新的搜索方向，每次迭代能使待优化方程（19-21）及方程（27）中的参数 η_p, η_i, η_d 及 η, α 达到优化，实现PID控制器参数 K_p, K_i, K_d 在线实时寻优，使温室温度控制系统在9秒时间内跟

踪系统设定的温度变化并能较高的较高的辨识精度, 从而为RBF-PID控制器的参数自适应调整提供了很好的保证。通过仿真结果分析表明RBF-PID控制能充分发挥了RB神经网络非线性映射能力强、学习泛化能力优的特点, 使其与PID控制器相融合, 构成了自适应能力强的RBF-PID控制器, 提高温室温度系统的动态响应速度, 能有效的实现温室环境温度的实时监控, 为温室内农作物的生长提高合适的生态环境。

参考文献

- [1] 屈毅, 宁铎等. 基于模糊PID控制的温室控制系统[J]. 计算机应用, 2009, 29(7): 1996-1999.
QU Yi, Ning Dou. Greenhouse control system based on Fuzzy PID control[J]. Journal of Computer Applications, 2009, 29(7): 1996-1999.
- [2] 杜尚丰, 李迎霞, 等. 中国温室环境控制硬件系统研究进展[J]. 农业工程报, 2004, 20(01): 7-12.
DU Shangfeng, LI Yingxia. Current situation on greenhouse environment control system modes in China[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(1): 7-12.
- [3] Haipeng Pan, Wei Xing. Design of a New Intelligent PID Control System of Greenhouse Temperature. Proceedings Of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation June 25 - 27, 2001, Chongqing, China.
- [4] F. Li, X. H. Bai, and J. W. Li. Study on the Greenhouse Control System Based on PID Control[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, no. 1, pp. 83-84, 2005.
- [5] N. A. Sigrimis, K. G. Arvanitis, G. D. Pasgianos. Synergism of high and low level systems for the efficient management of greenhouses[J]. Computers and Electronics in Agriculture 29(2000) 21-39.
- [6] Astrom, K. Hagglund, T. PID Controllers: Theory, Design and Tuning. ISA Publications, Research Triangle Park, NC. 1988.
- [7] P. M. Ferreira and A. E. Ruano, "Predicting the greenhouse Inside air temperature with radial networks," in Preprints of the 2nd IFAC/IGR Workshop on Intelligent Control for Agricultural Applications. Bali, Indonesia, August 2001, pp. 67-72.
- [8] P. M. Ferreira, E. A. Faia, "Neural network models in greenhouse air temperature prediction," in Neurocomputing, vol. 43, no. 1, pp. 51-75, 2002.
- [9] P. M. Ferreira, E. A. Faia, and A. E. Ruano, Application of radial basis function neural networks to a greenhouse inside air temperature model, in IFAC Agricontrol 2000. International Conference on Modelling and Control in Agriculture, Horticulture and Post-harvest Processing, vol. 2, Wageningen, The Netherlands, July 2000, pp. 172-177.
- [10] 屈毅, 宁铎等. 基于赋初值BP算法的模拟电路故障的诊断[J]. 计算机测量与控制, 2009, 17(12): 2417-2421.
QU Yi, Ning Dou. BP Algorithm Given Initial Value of Analog[J]. Computer Measurement & Control, 2009, 17(12): 2417-2421.
- [11] 汪小岳. 温室小气候环境模拟及能耗预测研究[D]. 江苏南京: 南京农业大学, 2002.
JIANG Xiaoshan. Research On Microclimate Simulation and Energy Consumption Prediction of Modern Greenhouse in Subtropical Area[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2002.
- [12] 靳红涛. 基于神经网络PID的冗余伺服系统自适应控制[J]. 农业机械学报, 2008, 44(12): 249-253.
Jin Hongtao. Neural Networks Based PID Adaptive control of Redundant Servo System. Chinese Journal Of Mechanical Engineering, 2008, 44(12): 249-253.
- [13] Breiman L. Bagging predictors[J]. Machine Learning, 1996, 24(3): 123-140.
- [14] David West, Scott Dellana, Jingxia Qian. Neural network ensemble strategies for financial decision applications[J]. Computers & Operations Research, 2005, 32(11): 2543-2559.
- [15] 宋文龙, 曹军. 基于自适应逆控制的干燥窑温度控制方法研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(3): 95-98.
Song Wenjun, Cao Jun. Approach to controlling the temperature of drying kiln using feedback-error-learning based adaptive inverse control[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(3): 95-98.
- [16] 谈晔, 吴军辉, 徐立鸿. 基于RTOS的单片机系统在温室环境控制中的应用研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(5): 99-101.
Tan Ye, Wu Junhui. Applications of single chip computer system based on RTOS in greenhouse[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(5): 99-101. (in Chinese with English abstract).
- [17] HU H J, ER L J. Stable and adaptive PID control based on neural network[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics And Astronautics, 2001, 27(2): 153-156.
- [18] YUAN HB. Research on neural network PID control with application to heavy-duty wheeled vehicle steering system[J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(5): 1185-1191.
- [19] Liu Y H, LI SH M. Single neuron PID control based on dynamic RBF neural network on line identification[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(2): 804-8.

Neural Networks Based PID Control of Greenhouse Temperature Control

QU Yi, WANG Xue, SHI Jin

(College of Electric and information Engineering,
Shaanxi University Of Science & technology, xi' an Shaanxi 71046)

Abstract: A mathematical model of greenhouse temperature is established. Confronted with problem of greenhouse temperature control which has existed such characteristic as the bigger inertia and the more lag, the conventional PID controller is not considered because it exists worse adaptive ability, and bad robustness and other defects. In the paper, a kind of intelligent PID controller based on RBF neural network with adaptive-ability and self-learning and self-organization is proposed, so as to adjust the parameters of PID controller. In the law, the parameters of PID controller are tuned on-line through the RBF neural network identifies the Jacobian matrix of Greenhouse temperature control system. The simulation results are given to demonstrate that the satisfactory performance for Greenhouse temperature control are attained by RBF-PID controller.

Key words: greenhouse neural network adaptive mathematic model

[责任编辑、校对: 王军利]

(上接第23页)

sequences, we designed two universal external expansion primers for the NS5B gene region and two universal internal primers and a special primer of expansion of C-strain, the RT-nPCR diagnostic methods was established for the identification of wild-strain CSFV and C-strain. (Result) We acquired 261bp and 157bp two bands from C-strain, but only acquired 261bp band from Shimen, SXYL2006, GX54 and SD2002 other wild-strains by using the RT-nPCR method, we detected several other common pig virus were negative. The sensitivity test showed that the method detection limit of cDNA content was 3.4×10^{-7} pg / L. 116 clinical samples test results showed that 37 samples were positive, the positive rate was 32%. We analysed some of E2 gene sequence of positive tissues confirmed the accuracy of the test results. (Conclusion) The establishment of a reverse transcription-multiplex nested polymerase chain reaction method has high sensitivity, specificity, and can intuitively differentiate between C-strain and wild-strains of CSFV.

Key words: classical swine fever; reverse transcription-polymerase chain reaction complex sets; differential diagnosis.