

过热汽温自适应逆控制方案研究

王万召, 王 杰

(郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 针对火电厂锅炉过热汽温对象, 将神经网络辨识技术和自适应逆控制技术相结合, 提出了一种过热汽温自适应逆控制方案。该方案首先利用 RBF 神经网络在线辨识被控对象模型获得其 Jacobian 信息, 在此基础上利用对角回归神经网络(DRNN)在线辨识获得被控对象的逆模型作为控制器, 串联在控制对象前面构成自适应逆控制系统。通过对超临界 600 MW 机组过热汽温对象进行仿真研究表明, 该控制方案能很好地适应过热汽温对象特性的变化, 并且可以有效克服对象的大惯性和非线性, 获得良好的控制品质。

关键词: 锅炉; 自适应逆控制; 过热汽温; DRNN; Jacobian 信息; 串级控制; 神经网络

中图分类号: TK 223

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.09.010

0 引言

过热汽温是影响机组安全运行及经济运行的主要参数之一, 过热汽温较高时, 机组热效率则相对较高, 但过高的过热汽温是金属材料不允许的^[1]。过热汽温对象具有非线性、大惯性、大迟延、参数时变的特点, 受到的扰动因素较多, 随机组负荷变化又表现出参数快时变的特性, 使过热汽温的控制较为困难。

当前, 过热汽温控制系统的典型方案有串级控制、导前微分信号控制、相位补偿控制、状态观测器控制、分段控制等, 控制器多采用常规 PID 控制器^[2]。但是针对典型工况整定的 PID 控制器在对象特性发生变化或运行工况改变时, 控制品质下降, 甚至影响控制系统的正常运行。针对这种情况, 研究人员提出许多能够适应过热汽温对象特性变化的控制策略, 如基于神经网络的控制方法^[3-5]、基于遗传算法的控制方法^[6-7]、模糊控制方法^[8-10]、预测控制^[11-12]等。

自适应逆控制是由美国斯坦福大学的著名教授 B. Widrow 于 1986 年首次提出来的, 它使用被控对象传递函数的逆作为串联控制器来对系统的动态特性进行开环控制, 从而避免了可能因反馈引起的不稳定问题^[13]。近年来, 自适应逆控制技术以其自身的众多优点成为一个热门的研究领域, 现已成为现代控制理论向智能控制理论发展的一个全新的活跃分支^[14-16]。如何克服对被控对象精确模型解析式的依赖, 实现在线辨识被控对象的逆模型(用作逆控制器), 成为加快自适应逆控制方法走向实用的关键^[17]。由于神经网络可采用并行分布处理方法, 快速进行大量运算, 可以以任意精度逼近任意复杂的非线性函数, 成为非线性对象模型和逆模型在线辨识的一个有力工具。

本文利用对角回归神经网络 DRNN (Diagonal Recurrent Neural Network) 在线辨识方法获得过热汽温对象的逆模型, 作为逆控制器构成自适应逆控制系统。然后, 利用某超临界 600 MW 直流锅炉过热汽温控制仿真实例验证了该方案的优点和可靠性。

1 过热汽温自适应逆控制

自适应逆控制的基本思想就是要用一个来自控制器的信号去驱动对象, 而该控制器的传递函数就是该对象本身传递函数的逆, 使得对象的输出跟随指令输入。由于过热汽温对象通常具有非线性和时变性, 需要采用在线辨识算法来获得真实对象的逆模型。

由差分方程描述的过热汽温对象可表示为:

$$\mathbf{y}(k+1) = g[\mathbf{u}(k), \mathbf{u}(k-1), \dots, \mathbf{u}(k-m+1), \mathbf{y}(k), \mathbf{y}(k-1), \dots, \mathbf{y}(k-n+1)] \quad (1)$$

其中, \mathbf{u} 和 \mathbf{y} 分别是过热汽温对象的输入和输出, m 和 n 分别是其相应阶次。在满足可逆的条件下, 其对应逆模型的差分方程可表示为:

$$\mathbf{u}(k) = g^{-1}[\mathbf{u}(k-1), \dots, \mathbf{u}(k-m), \mathbf{y}(k+1), \mathbf{y}(k), \dots, \mathbf{y}(k-n)] \quad (2)$$

由此, 根据自适应逆控制的基本理论, 可提出过热汽温自适应逆控制系统结构如图 1 所示。

图 1 中 TDL 表示延时环节, r 表示过热汽温设定输入, y 表示过热汽温输出。自适应逆控制器(汽温对象逆模型)由 DRNN 在线辨识获得, 产生控制输入 u 驱动过热汽温对象。汽温对象模型辨识器采用 RBF 神经网络辨识获得, 提供对象的动态特性信息 (Jacobian 信息) 以用于对象逆模型的辨识。

2 汽温对象逆模型在线辨识

DRNN 是具有反馈的动态网络, 其内部结构如图 2 所示。

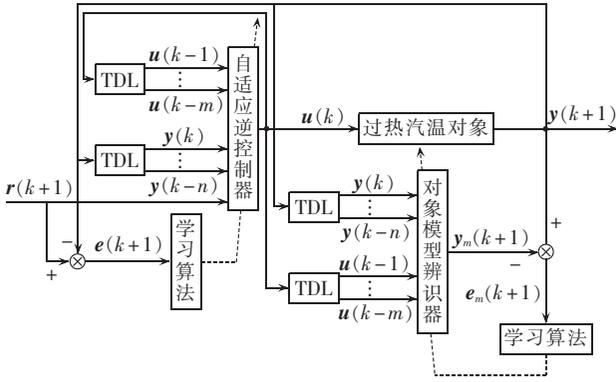


图 1 过热汽温自适应逆控制结构图

Fig.1 Adaptive inverse control of superheated steam temperature

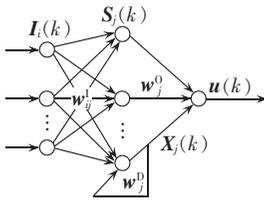


图 2 DRNN 结构图

Fig.2 Structure of DRNN

图 2 中 $X_j(k)$ 为网络回归层第 j 个神经元的输出, $S_j(k)$ 为第 j 个回归神经元输入总和, $u(k)$ 为 DRNN 的输出。

根据图 1 自适应逆控制器(对象逆模型)学习算法的任务,DRNN 的输入层为:

$$I_i = \begin{cases} u(k-i) & 1 \leq i \leq m \\ r(k+1) & i = m+1 \\ y(k-i+2+m) & m+2 \leq i \leq m+n \end{cases} \quad (3)$$

本文采用引入惯性项的权值修正算法,以加快收敛速度。取辨识指标为:

$$J(k+1) = \frac{1}{2} [r(k+1) - y(k+1)]^2 \quad (4)$$

则有:

$$\Delta w_j^0(k) = -\frac{\partial J(k)}{\partial w_j^0} = [r(k+1) - y(k+1)] \times \frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)} \frac{\partial u(k)}{\partial w_j^0} \quad (5)$$

$$\frac{\partial u(k)}{\partial w_j^0} = X_j(k) \quad (6)$$

因对象特性未知,所以对象的 Jacobian 信息

$\frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)}$ 需通过对象辨识器获得。则有:

$$w_j^0(k) = w_j^0(k-1) + \eta_0 \Delta w_j^0(k) + \alpha [w_j^0(k-1) - w_j^0(k-2)] \quad (7)$$

$$\Delta w_j^1(k) = -\frac{\partial J(k)}{\partial w_j^1} = [r(k+1) - y(k+1)] \times \frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)} \frac{\partial u(k)}{\partial w_j^1} \quad (8)$$

$$\frac{\partial u(k)}{\partial w_j^0} = \frac{\partial u(k)}{\partial X_j} \frac{\partial X_j}{\partial w_j^0} = w_{j0}^0 f'(S_j) I_i(k) \quad (9)$$

$$w_j^1(k) = w_j^1(k-1) + \eta_1 \Delta w_j^1(k) + \alpha [w_j^1(k-1) - w_j^1(k-2)] \quad (10)$$

$$\Delta w_j^p(k) = -\frac{\partial J(k)}{\partial w_j^p} = [r(k+1) - y(k+1)] \times \frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)} \frac{\partial u(k)}{\partial w_j^p} \quad (11)$$

$$\frac{\partial u(k)}{\partial w_j^p} = \frac{\partial u(k)}{\partial X_j} \frac{\partial X_j}{\partial w_j^p} = w_{j0}^p f'(S_j) X_j(k-1) \quad (12)$$

$$w_j^p(k) = w_j^p(k-1) + \eta_p \Delta w_j^p(k) + \alpha [w_j^p(k-1) - w_j^p(k-2)] \quad (13)$$

其中, η_0, η_p, η_1 分别为输出层、回归层和输入层的学习速率, α 为惯性系数。

3 汽温对象 Jacobian 信息辨识

考虑到被控对象的动态特性具有非线性和时变的特点,其 Jacobian 信息可以通过 RBF 神经网络在线辨识获得^[18],根据图 1 中汽温对象模型辨识算法的要求,RBF 神经网络的结构如下。

输入向量:

$$X_i = \begin{cases} u(k-i+1) & 1 \leq i \leq m \\ y(k-i+m+1) & m+1 \leq i \leq m+n \end{cases} \quad (14)$$

径向基向量:

$$H_j = \exp\left(-\frac{\|X - C_j\|^2}{2b_j^2}\right) \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (15)$$

网络输出:

$$y_m = \sum_{j=1}^N w_j h_j \quad (16)$$

选取性能指标函数为:

$$J_m(k) = \frac{1}{2} [y(k+1) - y_m(k+1)]^2 = \frac{1}{2} e_m^2(k+1) \quad (17)$$

根据梯度下降法,权值的修正公式如下:

$$\Delta w_j(k) = -\frac{\partial J_m}{\partial w_j} = e_m(k+1) \frac{\partial y_m}{\partial w_j} = e_m(k+1) h_j \quad (18)$$

$$w_j(k) = w_j(k-1) + \eta \Delta w_j(k) + \alpha [w_j(k-1) - w_j(k-2)] \quad (19)$$

$$\Delta b_j(k) = -\frac{\partial J_m}{\partial b_j} = e_m(k+1) w_j h_j \frac{\|X - C_j\|^2}{b_j^3} \quad (20)$$

$$b_j(k) = b_j(k-1) + \eta \Delta b_j(k) + \alpha [b_j(k-1) - b_j(k-2)] \quad (21)$$

$$\Delta c_{ji}(k) = -\frac{\partial J_m}{\partial c_{ji}} = e_m(k+1) w_j \frac{x_j - c_{ji}}{b_j^3} \quad (22)$$

$$c_{ji}(k) = c_{ji}(k-1) + \eta \Delta c_{ji}(k) + \alpha [c_{ji}(k-1) - c_{ji}(k-2)] \quad (23)$$

由于 RBF 网络的输入向量的第一个分量为 $u(k)$, 可得汽温对象的 Jacobian 信息为:

$$\frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)} \approx \frac{\partial y_m(k+1)}{\partial u(k)} = \sum_{j=1}^m \frac{\partial w_j h_j}{\partial u(k)} =$$

$$\sum_{j=1}^m w_j \frac{\partial h_j}{\partial \mathbf{u}(k)} = \sum_{j=1}^m w_j h_j \frac{\mathbf{c}(1,j) - \mathbf{u}(k)}{b_j^2} \quad (24)$$

4 仿真实验

4.1 过热汽温控制系统介绍

常规的过热汽温控制系统,通常采用串级形式,主回路采用 PID 控制规律,副回路采用 P 或 PD 控制规律。为了利用副回路对克服对象大惯性和滞后的优点,在本设计中保留副回路不变,将整个副回路和惰性区作为一个广义的控制对象,而将原来的主调节器改为自适应逆控制器,对广义对象进行开环控制。

为验证自适应逆控制方法的控制效果,首先选择某超临界 600 MW 直流锅炉^[19]在 100% 负荷典型工况进行仿真实验,并将其与常规 PI 串级控制系统进行仿真比较。随后,将机组负荷降至 75% 负荷典型工况,进行仿真实验,以考察自适应逆控制方法对机组动态特性变化的适应性。文献[19]提供的过热汽温常规 PI 串级控制的副回路采用 P 控制器 $W_{c1}(s)$,主回路采用 PID 控制器 $W_{c2}(s)$,过热汽温对象导前区串级函数为 $W_{o1}(s)$,惰性区传递函数为 $W_{o2}(s)$ 。机组在 100% 负荷和 75% 负荷的动态特性见表 1。

表 1 过热汽温传递函数

Tab.1 Transfer functions of superheated steam temperature

负荷	$W_{o1}(s)$	$W_{o2}(s)$
100%	$-\frac{0.815}{(1+18s)^2}$	$\frac{1.276}{(1+18.4s)^6}$
75%	$-\frac{1.657}{(1+20s)^2}$	$\frac{1.202}{(1+27.1s)^7}$

4.2 设定工况仿真

针对机组运行于 100% 额定负荷工况,使给定输入信号 r 阶跃变化,系统仿真时间为 2000 s,仿真结果如图 3 和图 4 所示。

图 3 为 2 种控制方法的输出响应曲线。其中常规 PI 串级控制方案的整定值采用文献[19]推荐的 100% 负荷整定参数,副调节器采用 P 调节器,比例带 δ_1 为 0.04;主调节器采用 PID 调节器,比例带 δ_2 为 0.83,积分时间 T_I 为 94.8 s,微分时间 T_D 为 23.7 s。自适应逆控制方案中汽温对象的逆模型辨识器 DRNN 的输出层、回归层和输入层的学习速率均取为 0.12,汽温对象模型辨识器 RBF 的学习速率取为 0.10。可以看出,自适应逆控制与常规 PID 控制的动态响应相比,超调量显著下降,提高了系统的控制品质。图 4 为被控对象在 100% 负荷时的 Jacobian 信息辨识结果,显示了汽温对象辨识器在线实时学习汽温对象(100% 负荷)动态特性的过程。

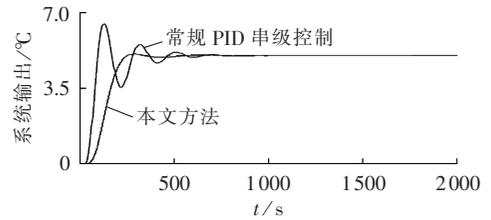


图 3 设定值 r 单位阶跃变化时系统的输出曲线(100% 负荷)

Fig.3 Response of system output to unit step change of r (100% load)

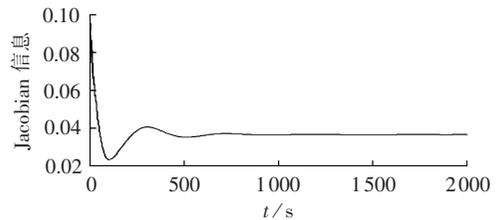


图 4 被控对象的 Jacobian 信息辨识结果(100% 负荷)

Fig.4 Identified Jacobian information of controlled object(100% load)

4.3 变动工况仿真

当机组负荷由 100% 变为 75% 时,同样使给定输入信号 r 做单位阶跃,常规 PI 串级控制方案的控制参数依然保持 100% 工况的整定参数,自适应逆控制进行在线学习,对应的系统输出响应曲线如图 5 所示。可以看到,常规 PID 控制的控制品质急剧变差,甚至难以应用,而自适应逆控制方法在机组对象特性随负荷变化时,控制效果基本不变,仍具有较好的控制品质,显示出很强的鲁棒性。图 6 为被控对象在 75% 负荷时的 Jacobian 信息辨识结果,显示了汽温对象辨识器在线实时学习汽温对象(75% 负荷)

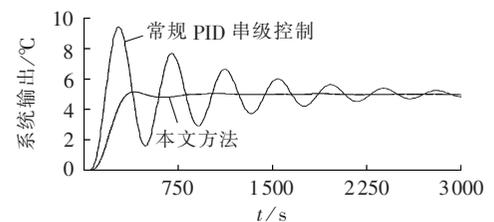


图 5 设定值 r 单位阶跃变化时系统的输出曲线(75% 负荷)

Fig.5 Response of system output to unit step change of r (75% load)

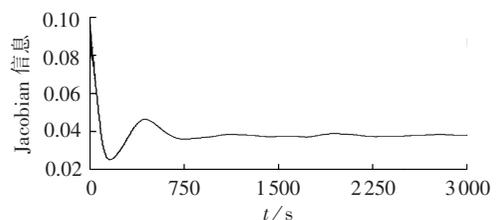


图 6 被控对象 Jacobian 信息辨识结果(75% 负荷)

Fig.6 Identified Jacobian information of controlled object(75% load)

动态特性的过程。

5 结语

本文基于自适应逆控制的基本思想,提出了单元机组过热汽温自适应逆控制算法。该控制算法不需要事先知道过热汽温对象的精确模型,首先采用 RBF 神经网络辨识方法在线辨识对象的动态特性(Jacobian 信息),进而采用 DRNN 在线辨识出对象的逆模型作为自适应逆控制器,直接串联在过热汽温对象前面构成自适应逆控制系统。仿真结果表明,本文提出的过热汽温自适应逆控制算法的控制品质优于常规 PID 串级控制方法,对汽温对象特性变化具有很强的鲁棒性。本文所提的算法具有一般性,为大惯性、参数时变的非线性对象的控制提供了一种新的解决方案。

参考文献:

- [1] 杨献勇. 热工过程自动控制[M]. 北京:清华大学出版社,2000: 187-191.
- [2] 中国动力工程学会. 火力发电设备技术手册[M]. 北京:机械工业出版社,2003:313-318.
- [3] 王万召,赵兴涛,宋艳萍. 模糊 RBF 自整定 PID 控制器在过热汽温控制中应用[J]. 电力自动化设备,2007,27(11):48-50.
WANG Wanzhao,ZHAO Xingtao,SONG Yanping. Application of fuzzy-RBF-based PID controller in superheated steam temperature control system[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(11):48-50.
- [4] 王东风,韩璞,郭启刚. 锅炉过热汽温系统的 DRNN 网络自整定 PID 控制[J]. 中国电机工程学报,2004,24(8):196-200.
WANG Dongfeng,HAN Pu,GUO Qigang. A diagonal recurrent neural network self-tuning PID control for superheated steam temperature system[J]. Proceedings of the CSEE,2004,24(8): 196-200.
- [5] 栾秀春,李士勇. 基于局部神经网络模型的过热汽温多模型预测控制的研究[J]. 中国电机工程学报,2004,24(8):190-195.
LUAN Xiuchun,LI Shiyong. A study on multiple models predictive control for superheated steam temperature based on local model network models[J]. Proceedings of the CSEE,2004,24(8):190-195.
- [6] 王东风,韩璞. 基于免疫遗传算法优化的汽温系统变参数 PID 控制[J]. 中国电机工程学报,2003,23(9):212-217.
WANG Dongfeng,HAN Pu. Variable parameters PID control for main steam temperature system based immune genetic optimization[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(9):212-217.
- [7] 李萌,沈炯. 基于自适应遗传算法的过热汽温 PID 参数优化控制仿真研究[J]. 中国电机工程学报,2002,22(8):145-149.
LI Meng,SHEN Jiong. Simulation study of adaptive GA-based PID parameter optimization for the control of superheated steam temperature[J]. Proceedings of the CSEE,2002,22(8):145-149.
- [8] 牛培峰,张密哲,陈贵林,等. 自适应模糊神经网络控制在锅炉过热汽温控制中的应用[J]. 动力工程学报,2011,31(2):115-120.
NIU Peifeng,ZHANG Mizhe,CHEN Guilin,et al. Application of adaptive fuzzy-neural control for superheated steam temperature of boilers[J]. Chinese Journal of Society of Power Engineering, 2011,31(2):115-120.
- [9] 林梅金,罗飞,李如雄. 模糊 PID 控制器在火电厂主汽温控制中的应用[J]. 动力工程,2005,25(2):231-233.
LIN Meijin,LUO Fei,LI Ruxiong. The application of fuzzy-PID controller in the temperature control of superheated steam in power plant[J]. Power Engineering,2005,25(2):231-233.
- [10] 张丽香,于晋春,谢克明. 模糊自适应前微分方式的过热汽温控制系统[J]. 动力工程,2002,22(4):1893-1896.
ZHANG Lixiang,YU Jinchun,XIE Keming. The boiler steam temperature fuzzy-adaptation guidance differential control system [J]. Power Engineering,2002,22(4):1893-1896.
- [11] 彭道刚,张浩,杨平,等. 基于灰色预测的汽温模糊免疫 PID 控制[J]. 动力工程,2007,27(1):72-75.
PENG Daogang,ZHANG Hao,YANG Ping,et al. Fuzzy immune PID control of steam temperature with the application of gray prediction[J]. Power Engineering,2007,27(1):72-75.
- [12] 许鸣珠,刘贺平,李晓理,等. 过热汽温的稳定自适应预测函数控制[J]. 中国电机工程学报,2007,27(11):88-92.
XU Mingzhu,LIU Heping,LI Xiaoli,et al. Steady adaptive predictive functional control of main steam temperature [J]. Proceedings of the CSEE,2007,27(11):88-92.
- [13] WIDROW B,WALACH E. Adaptive inverse control[M]. [S.l.]: Prentice Hall,1996:3-6.
- [14] 吴言凤,吴正国,幸善成,等. 基于自适应逆控制的有源滤波器合成阻性负载[J]. 中国电机工程学报,2007,27(13):93-97.
WU Yanfeng,WU Zhengguo,XING Shancheng,et al. Shunt active power filter synthesizing resistive loads based on adaptive inverse control[J]. Proceedings of the CSEE,2007,27(13): 93-97.
- [15] 曲永印,白晶,周振雄,等. 自适应逆控制的异步电机变频调速系统研究[J]. 控制与决策,2007,22(7):821-824.
QU Yongyin,BAI Jing,ZHOU Zhenxiong,et al. Adaptive inverse control variable frequency speed regulation of asynchronous motor[J]. Control and Decision,2007,22(7):821-824.
- [16] WIDROW B,PLETT G L,FERREIRA E,et al. Adaptive inverse control based on nonlinear adaptive filtering[C]//Proceedings of 5th IFAC Workshop Algorithms Architectures for Real-Time Control. AARTC'98. Cancun,Mexico:[s.n.],1998:247-252.
- [17] WIDROW B,PLETT G L. Adaptive inverse control based on linear and nonlinear adaptive filtering [C]//Proceedings of International Workshop on Robotics and Signal/Image Neural Networks for Identification,Control,Processing. Venice,Italy:IEEE, 1996:30-387.
- [18] 刘金琨. 智能控制[M]. 北京:电子工业出版社,2005:132-134.
- [19] 范永胜,徐治皋,陈来九. 基于动态机理分析的锅炉过热汽温自适应模糊控制系统[J]. 中国电机工程学报,1997,17(1):23-28.
FAN Yongsheng,XU Zhigao,CHEN Laijiu. Study of adaptive fuzzy control of boiler superheated steam temperature based on dynamic mechanism analysis[J]. Proceedings of the CSEE, 1997,17(1):23-28.

作者简介:

王万召(1972-),男,河南平顶山人,副教授,博士研究生,主要从事智能控制、热工自动控制等方面的研究工作(E-mail: ewangwanzhao@163.com);

王杰(1959-),男,河南周口人,教授,博士研究生导师,博士,主要从事智能计算与智能控制、计算机网络与信息安全、数据挖掘等方面的研究工作。

(下转第 63 页 continued on page 63)

- IEEE Trans on Electromagnetic Compatibility,2002,44(1):249-258.
- [14] 郭昊坤,吴军基,应展烽,等. 一种改进的马尔科夫链及其在电力线通信信道脉冲噪声建模中的应用[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(5):129-132.
- GUO Haokun,WU Junji,YING Zhanfeng,et al. The application of improved Markov chain in power line communication channel's impulse noise modeling[J]. Power System Protection and Control,2012,40(5):129-132.
- [15] 郭昊坤,吴军基,衡思坤,等. 低压电力线通信信道噪声建模及仿真[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(13):61-66.
- GUO Haokun,WU Junji,HENG Sikun,et al. Modeling and simulation of the noise in low voltage power line communication channel[J]. Power System Protection and Control,2012,40(13):61-66.
- [16] 何选森. 随机过程[M]. 北京:人民邮电出版社,2009:251-284.
- [17] 郭昊坤,吴军基,应展烽,等. 一类特殊随机序列的改进马尔科夫链建模[C]//第十六届全国青年通信学术会议论文集(上). 北京:国防工业出版社,2011:127-130.

GUO Haokun,WU Junji,YING Zhanfeng,et al. A special kind of random sequences' improved Markov chain modeling[C]// Proceedings of the 16th NCYC. Beijing,China:National Defense Industry Press,2011:127-130.

作者简介:

应展烽(1982-),男,浙江台州人,讲师,博士后,研究方向为电力系统通信、数据挖掘等(**E-mail**:yingzhanfeng@163.com);

吴军基(1955-),男,河南南阳人,教授,博士研究生导师,研究方向为电力系统保护、电能质量分析、数据挖掘等(**E-mail**:wj807@126.com);

郭昊坤(1987-),男,江苏无锡人,硕士研究生,研究方向为电力系统通信、信号处理与分析(**E-mail**:ghk1222@126.com);

万萌(1988-),女,河南南阳人,硕士研究生,研究方向为电力系统通信、信号处理与分析(**E-mail**:wanmeng1988@126.com)。

Modeling of low-voltage power line noise containing periodic pulses

YING Zhanfeng,WU Junji,GUO Haokun,WAN Meng

(School of Energy and Power Engineering,Nanjing University of Science and Technology,Nanjing 210094,China)

Abstract: As the traditional peak-type Markov chain model cannot be applied to the modeling of power line noise containing periodic pulses,a method of low-voltage power line noise modeling is proposed,which classifies the power line noise into the noise inside pulse group and the noise outside pulse group. The former is modeled with peak-type Markov chain while the latter is modeled with traditional Markov chain. Simulative results show that,the low-voltage power line noise constructed by the proposed model is not only statistically same as the real noise,but also similar to it in time-domain waveform.

Key words: low-voltage power line; communication; Markov chain model; peak-type Markov chain; noise; model buildings

(上接第57页 continued from page 57)

Adaptive inverse control of superheated steam temperature

WANG Wanzhao,WANG Jie

(School of Electrical Engineering,Zhengzhou University,Zhengzhou 450001,China)

Abstract: A scheme combining neural network identification technology and adaptive inverse control technology is proposed for the control of boiler superheated steam temperature in fossil-fired power plant, which applies the RBF neural network to online identify the Jacobian information of the controlled object and then the DRNN(Diagonal Recurrent Neural Network) to online identify the inverse model of the controlled object. The identified inverse model,as a controller,is set before and connected in series with the controlled object to form an adaptive inverse control system. Simulation with the superheated steam temperature of supercritical 600 MW unit as the controlled object shows that,the proposed control scheme,with excellent control quality,adapts well to the variable properties of object and overcomes its large inertia and nonlinearity effectively.

Key words: boilers; adaptive inverse control; superheated steam temperature; DRNN; Jacobian information; cascading control; neural networks