

通信网络系统中解决信息拥塞的模糊控制方法

杨洪勇¹, 武玉强²

(1. 东南大学 自动控制系统, 江苏 南京 210096; 2. 曲阜师范大学 自动化研究所, 山东 曲阜, 273165)

摘要: 针对网络系统中信息拥塞问题, 提出了一个全新的解决方案——用模糊控制的方法来解决通信网络中信息拥塞问题. 以国内外大量文献的理论为基础, 通过对计算机通信网络信息传输中相关量的分析, 构造出应用于网络信息传输中的模糊控制器. 仿真分析了模糊控制器在多种不同情况下的控制效果, 并与已有的算法进行了比较, 结果表明该模糊控制器具有较好的适应性和较强的鲁棒性.

关键词: 通信网络系统; 信息传输; 拥塞控制; 模糊控制器

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Fuzzy control method for resolving information congestion in communication network

YANG Hong-yong¹, WU Yu-qiang²

(1. Department of Automation Control, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China;

2. Institute of Automation, Qufu Normal University, Shandong Qufu 273165, China)

Abstract: A new method to solve the information congestion in communication network system is proposed by using the fuzzy control approach. Correlation quantity is analysed in the information transmission of computer communication networks and a fuzzy controller is proposed for the information transmission of the networks. The simulations analyze different control processes about fuzzy controller used in the networks and compare them with the former algorithm. The results demonstrate that this fuzzy controller has better applicability and stronger robustness.

Key words: communication network system; information transmission; congestion control; the fuzzy controller

1 引言(Introduction)

在计算机网络的使用过程中, 应该最大可能地保证网络信息的正常发送, 保证网络的正常运转, 保证网络数据安全可靠, 避免出现网络拥塞.

在计算机网络中的链路容量、交换结点中的缓存器和处理机等都属于网络的资源. 在某段时间, 若对网络中某一资源的需求超过了该资源所能提供的可用部分, 网络的性能就会降低变坏, 这种情况就叫做拥塞. 出现网络拥塞的条件可用如下的不等式表示:

对资源的需求总和 $>$ 可用资源. (1)

寻找拥塞控制的方案就是寻找使不等式(1)不再成立的条件, 当拥塞出现时表示负载暂时超过了系统中部分资源的承受能力. 有两种解决方法: 增加资源或降低负载.

增加资源的方法, 网络系统可以通过启用拨号电话网、将信息分散到多条路由、使用备用路由器等方式, 有效地提高带宽, 提供更高的通信容量. 当通信容量达到极限时, 解决拥塞的唯一方法就是降低负载. 现在有很多降低负载的方法和策略.

文献[1]提出了一种拥塞控制算法的分类方式, 将所有算法分为开环和闭环. 文献[2]讨论了影响拥塞的各种数据链路和传输策略. 文献[3]提出的漏桶算法(leaky bucket algorithm), 使突发的数据流变得平滑. 文献[4]提出的流标识(flow specification)方法是在建立连接前或传送数据前, 使发送者、接收者和网络都达成一致. 文献[5]提出了公平队列算法, 在此基础上文献[6]设计了一个改进方案, 文献[7]又提出了加权公平队列算法, 希望给文件服务器或其它服务器更多的带宽.

文献[8]提出了站到站抑制分组方案,在目标站点发生拥塞或即将发生拥塞时,向上一个结点发送一个抑制分组,使其减少发送信息流,再依次向上结点发送抑制分组.文献[9,10]提出的载荷脱落(load shedding)方法,当路由器被它所不能控制的分组要淹没时,将开始丢弃分组.

上面的拥塞控制算法都是针对单个源端到单个目的端的,一种从多个源端到多个目的端多点传送信息流的通信方案是文献[11]提出的 RSVP 协议,通过优化带宽的利用率,消除拥塞.本文对于在通信网络系统中如何避免出现信息拥塞问题,提出了一个全新的解决方案,即用模糊控制来解决通讯网络系统中信息拥塞问题.

2 信息拥塞的模糊控制方法(Fuzzy control method of congestion)

前面提到的所有拥塞控制算法中,都是用常规控制来解决该问题的.本文提出用模糊控制来解决通讯网络系统中信息拥塞问题,与前面提到的方法相比,该提议是一个全新的观点.

2.1 网络系统相关量分析(Correlation quantity analysis in network system)

下面对排队系统中的相关量进行分析,利用它们之间的关系,找出信息传输过程中引起拥塞的内部原因,以利于模糊控制器构造.

在 $M/M/1$ 排队系统中假设 p_n 为在间隔时间 t 内由源结点输入的分组(或顾客)数为 n 的概率,由文献[12]知,对于无限大缓冲区的目的结点情况下,输入分组概率与网络性能之间有下列关系

$$p_0 = 1 - \rho, p_n = \rho^n(1 - \rho).$$

网络性能 ρ 为到达率与服务率之比,是排队系统不空的概率.表 1 给出 ρ 和 p_n 的相互关系.

由表 1 可以看出(如,当 $\rho = 0.8$ 时,队列不超过 12 个顾客的概率大于 0.94,不超过 10 个顾客的概率大于 0.91,不超过 8 个顾客的概率大于 0.86)随着 ρ 增大,队列逐渐变长,系统逐渐失去平衡.

排队系统缓冲区空间与网络性能关系比较密切,对于有限缓存器时有下式成立^[12]

$$p_N = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}} \rho^N.$$

其中 N 为缓存器容量, p_N 是排队系统被充满的概率(此时网络拥塞).

表 1 输入分组概率与网络性能的关系

Table 1 Relation between the probability of input packets and network capability

ρ	$p_0 - p_8$	$p_0 - p_{10}$	$p_0 - p_{12}$
0.2	0.999999488	0.9999999795	0.999999999181
0.4	0.999737856	0.999580569	0.99993289114
0.6	0.989922304	0.9963720294	0.998693930598
0.8	0.865782272	0.9141006541	0.945024418611
0.9	0.612579511	0.6861894039	0.745813417167

表 2 中给出不同缓存器容量与网络性能 ρ 的关系,其中 C_n 表示缓存器大小为 n 时造成网络阻塞的概率, C_n 的 n 表示缓存器的容量(存放分组的个数或顾客数).

由表 2 可以看出对于同样大小的网络性能指标 ρ ,随着系统空间 N 的增大,网络阻塞的概率降低;对于同样大小的系统空间,随着 ρ 的增大,网络阻塞的概率增大.特别对于 $\rho > 1$ 时网络拥塞概率较大($\rho = 2$ 时拥塞概率在 0.5 以上),因此为了系统稳定工作,应该使 ρ 控制在 1 以内或一个更小的范围之内.

表 2 网络性能 ρ 与缓存器容量的关系

Table 2 Relation between ρ and the sizes of the buffer

ρ	C_4	C_8	C_{10}	C_{20}
0.2	0.0012804	2.05E-06	8.19E-08	8.39E-15
0.4	0.0155189	0.000393	6.29E-05	6.6E-09
0.6	0.0562109	0.006787	0.002427	1.46E-05
0.8	0.1218467	0.038756	0.023493	0.002327
1	0.2	0.111111	0.090909	0.047619
1.5	0.3838863	0.342236	0.337232	0.3334
2	0.5161290	0.500978	0.500244	0.5

2.2 模糊控制器的构造(Construction of fuzzy controller)

根据上面的讨论本文针对单输入单输出网络模型构造如下模糊控制器(见图 1).

在模糊控制器中,设置模糊输入变量 $(x(t), \rho(t))$,其中 $x(t)$ 表示在 t 时刻目的结点缓冲区中的分组数, $\rho(t)$ 表示在 t 时刻源端信息发送率 μ_1 与目的端的服务率 μ_2 之比;模糊输出变量 $c(t) \in [0,1]$,用来表示 t 时刻施加在源端发送的信息流量上的控制增益,当 $c = 1$ 时对源端流量不加任何限制,随着 c 的减小,源端信息流量逐渐减少, $c = 0$ 时系统停止源端向外发送任何信息.

模糊输入 x, ρ , 模糊输出 c 的论域分别为 $[0,6], [0,8], [0,6]$. 根据上面的分析把 ρ 划分为 5

个模糊集“ZO”,“PS”,“PM”,“PB”,“PVB”,分别表示“零”、“正小”、“正中”、“正大”、“正非常大”.对于 x 可用4个模糊划分“ZO”,“PS”,“PM”,“PB”.对于模糊输出 c 也可划分为4个模糊子集“ZO”,“PS”,“PM”,“PB”.模糊划分见图2,模糊规则库见表3.

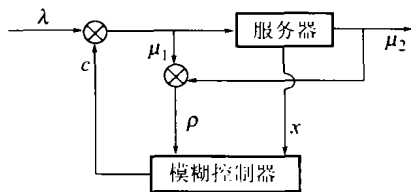


图1 模糊逻辑控制器模型

Fig. 1 Fuzzy logical controller model

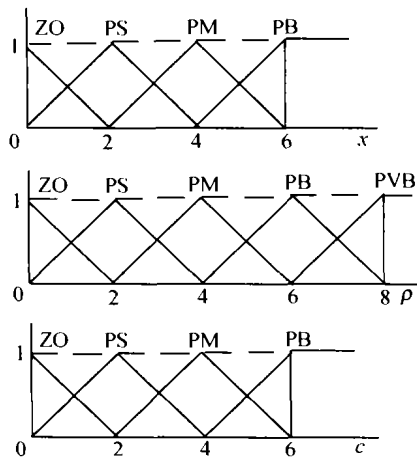


图2 各模糊量隶属函数

Fig. 2 Membership function of parameters

表3 模糊规则库

Table 3 Fuzzy rule bases c

ρ	x			
	ZO	PS	PM	PB
ZO	PB	PB	PB	PM
PS	PB	PB	PM	PS
PM	PB	PM	PS	ZO
PB	PM	PS	ZO	ZO
PVB	PS	ZO	ZO	ZO

2.3 解模糊过程(Defuzzification process)

对于模糊控制系统的解模糊过程,采用高木-关野模糊系统确定方法^[13].

假设有 M 个模糊“if-then”规则:

$L^{(i)}$: if x_1 is F_1^i , and $\dots$, and x_n is F_n^i

then y^i is Y^i .

高木-关野模糊系统的输出 $y(x)$ 等于各 y^i 的加权平均:

$$y(x) = \left(\sum_{i=1}^M \omega_i y_i \right) / \left(\sum_{i=1}^M \omega_i \right).$$

其中 y_i 为系统规则 $L^{(i)}$ 所得到的输出中心值, $i = 1, 2, \dots, M$. 加权系统 ω_i 包括了规则 $L^{(i)}$ 作用于输入系统所能取得的所有隶属函数

$$\omega_i = \prod_{k=1}^n \mu_{F_k^i}(x_k).$$

该方法是由“如果”部分的模糊量,通过各输出量加权计算,直接得到的输出量的中心值,对于输出再进行取大(或取小)可知结果所属的模糊子集,再根据量化因子直接计算对应的基本论域中的值.

2.4 算法复杂度分析(Analysis of algorithm complexity)

在高速通信网研究中,一个算法的复杂度是很重要的,本节对该算法的复杂度进行分析.由图1模糊逻辑控制模型可以看到,模糊控制器为整个系统的核心部分.模糊控制器主要有以下几个部分组成:

- 1) 模糊控制器得到输入值 x, ρ ;
- 2) 对 x, ρ 模糊化;
- 3) 根据模糊规则库,进行模糊判决,确定 c 的语言值;
- 4) 利用高木-关野解模糊方法,求出模糊控制器的输出-控制增益 c 的值.

在模糊控制器的执行过程中,第3)步时间复杂度(工作量)最大,需要查一个 5×4 表(见表3),也就是采用 if-then 规则判决,因此整个模糊控制器算法的时间复杂度为 $O(1)$. 为了更好的说明该算法的执行过程,下面本文给出了一个实例分析.

2.5 实例分析(Example analyzes)

假设网络目的结点缓存器容量为4,已有3个顾客在等待,服务率为0.5,到达率为0.4.由上面的隶属函数表示(图2)可以计算, x 相应的量化因子为 $6/4$,模糊化后 $6/4 * 3 = 4.5$; ρ 相应的量化因子为 $8/2$,模糊化后 $(8/2) * (0.4/0.5) = 3.2$. 对应的模糊规则(表3)可以描述为:

if x is PM with grade 0.75 and ρ is PS with grade 0.4 then c is PM;

if x is PM with grade 0.75 and ρ is PM with grade 0.6 then c is PS;

if x is PB with grade 0.25 and ρ is PS with grade 0.4 then c is PS;

if x is PB with grade 0.25 and ρ is PM with grade 0.6 then c is ZO.

采用中心点取值法可以确定各规则输出 c 的取值为4,2,2,0. 相应各输出对应的加权系统分别为 $0.75 * 0.4 = 0.3$, $0.75 * 0.6 = 0.45$, $0.25 * 0.4 = 0.1$, $0.25 * 0.6 = 0.15$. 代入到解模糊公式

$$c = \frac{0.3 \times 4 + 0.45 \times 2 + 0.1 \times 2 + 0.15 \times 0}{0.3 + 0.45 + 0.1 + 0.15} = 2.3,$$

对应基本论域 c 取值(图2)为 $1/6 \times 2.3 = 0.383333$.

这样通过模糊逻辑控制器后,输入信息流量 λ 经过控制量 c 控制后得到输出率 $\mu_1 = c \times \lambda$.

3 计算机仿真(Computer simulation)

本节对拥塞控制中的模糊控制器进行计算机仿真.

3.1 模糊控制器的效果仿真(Simulation of the fuzzy controller)

本文对服务器缓存器为 8, 12 的情况分别进行仿真,在仿真图 3 中,上面的两个图是应用了模糊控

制器的网络系统中队列时刻变化曲线,下面的两个图是没有应用模糊控制器的系统队列时刻变化曲线.

通过仿真计算,模糊控制器的系统队列顾客平均数为 4.85, 4.95; 没有施加控制器的系统队列平均顾客数为 21.3949, 20.2169; 系统中队列的标准方差分别为 25.1942, 24.1402, 97.4786, 104.7239. 由 Little 定理可以计算出,这 4 种情况下平均等待时间依次为 9.70, 8.90, 42.7898, 40.4339. 可以看出施加了模糊控制器的网络系统比较稳定,而没有施加控制器的系统稳定性较差.

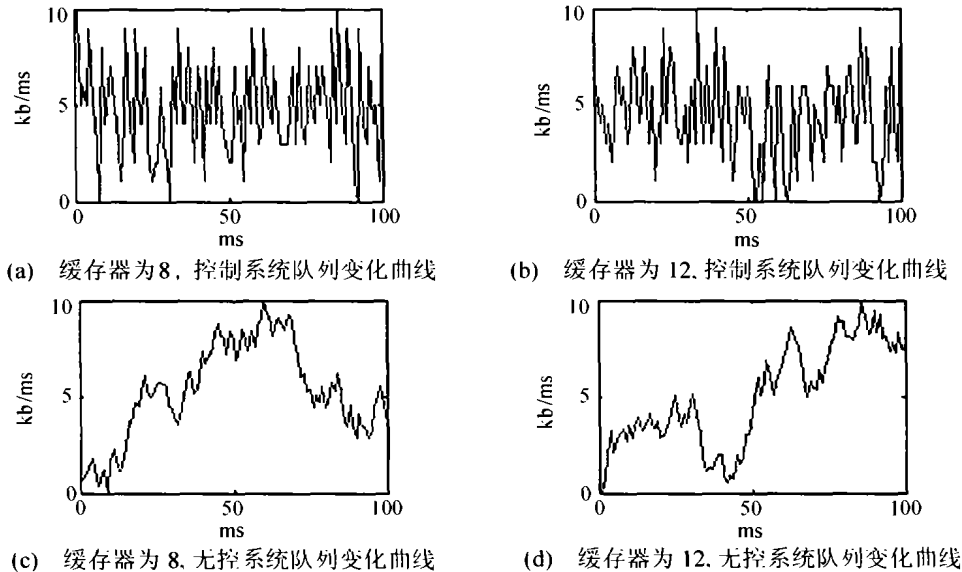


图 3 有控制队列与无控制队列仿真比较图

Fig. 3 Comparison of the queue controlled with the queue uncontrolled

3.2 按一定的概率出现突发事件(Events out-broken on a probability in network)

在网络传输中如果网络稳定传输,出现网络拥塞的可能性较小.信息拥塞主要是由网络中的大量数据信息突发拥入造成的,针对这种突发事件情况我们作了下列仿真.

下面仿真了突发事件出现概率为 20%, 10%, 5% 和无突发事件发生时系统的状态比较,假设突发到达率是随机到达率的 1.5 倍.突发事件到达率增加 1.5 倍的系统队列时刻变化曲线见图 4,系统队列平均顾客数分别为 5.45, 4.98, 5.30, 5.25. 仿真看到有突发数据到达和无突发数据到达图形形状相近.

3.3 与以前拥塞控制算法的比较(Comparing with the former congestion control method)

在前面提出的拥塞控制算法中,文献[2]和文献[4]提出的算法要求以一种预见性的速率进行传输,可以归类于开环控制,其他的拥塞控制算法属于闭

环控制.文献[3, 8, 9]提出方法是通过丢掉分组实现的,文献[5~7]提出的公平队列算法是通过改进传输方式实现的,文献[8]提出的抑制分组方案是通过减少发送信息流实现的,本文提出的模糊控制解决方案基本与文献[8]的抑制分组方案组近,下面通过仿真对这两种方案进行比较,仿真结果见图 5.

图 5 中,本文仿真了突发事件发生概率为 20%,到达率增加 2 倍和 1.5 倍的情况.上面的两个是突发到达率增加 2 倍的情况,队列中平均顾客数分别为 6.15, 11.96; 下面的两个是突发到达率增加 1.5 倍的情况,队列中平均顾客数分别为 5.98, 10.71. 左边的两个是模糊控制方案的系统队列变化曲线,右边的两个是抑制分组方案的系统队列变化曲线.可见模糊控制方案的系统队列平均顾客数比抑制分组方案的系统队列平均顾客数要小的多,左边的队列时刻变化曲线比右边的时刻变化曲线较稳定.

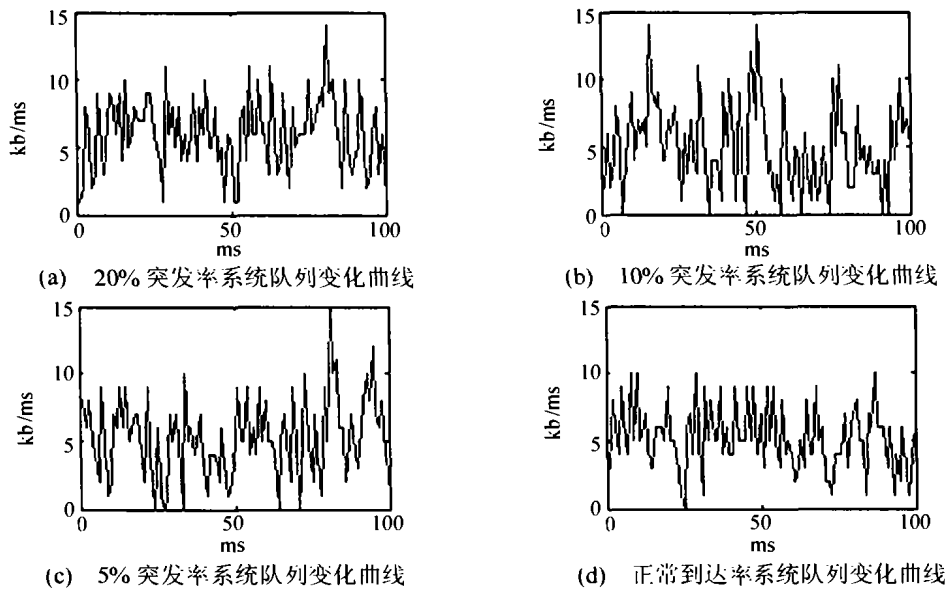


图4 突发到达增加1.5倍的系统仿真

Fig. 4 Simulation of arrival rate increasing 1.5 times

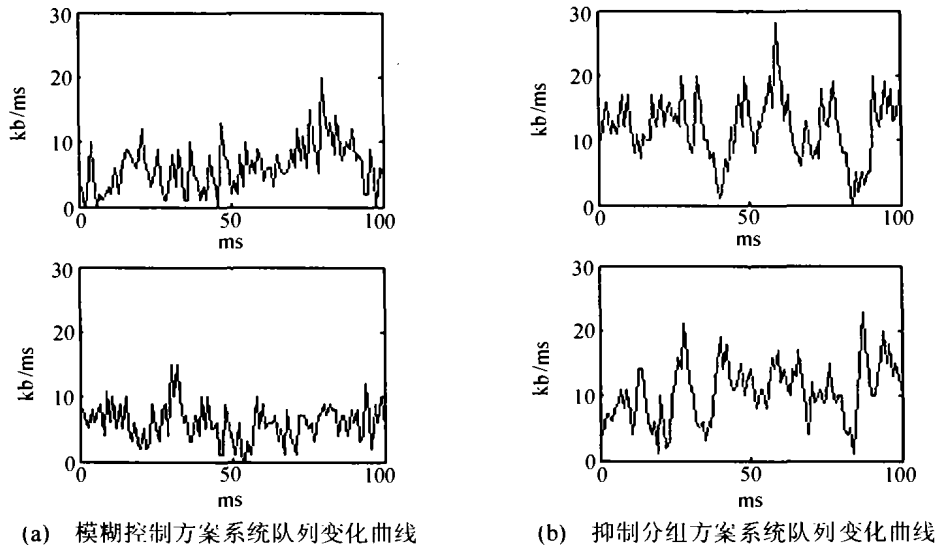


图5 模糊控制方案与抑制分组方案比较图

Fig. 5 Comparison of the fuzzy control method with the method of restrain packets

4 结论(Conclusion)

本文前面对单输入单输出网络模型(多输入单输出网络模型、多输入多输出网络模型情况下基本相同)模糊控制器的控制作用进行了分析,通过仿真测试和比较,表明本模糊控制器用于解决网络传输过程中的信息拥塞问题效果良好,仿真还表明该模糊控制器有较好的适应性、较强的鲁棒性。

参考文献(References):

- [1] YANG Cuiqing, REDDY A V S. A taxonomy for congestion control algorithms in packet switching networks [J]. *IEEE Network Magazine*, 1995, 9(4): 34 - 45.
- [2] JAIN R. Congestion control in computer networks: issues and trends [J]. *IEEE Network*, 1990, 4(3): 24 - 30.
- [3] TURNER J S. New directions in communications (or which way to the information age [J]. *IEEE Communication Magazine*, 2002, 40(5): 50 - 57.
- [4] PARTRIDGE C. A proposed flow specification, RFC - 1363 *Internet Request for Comments*, No: 1363 [R]. SRI International, Menlo Park, CA: Network Information Center, 1990.
- [5] NAGLE J. On packet switches with infinite storage [J]. *IEEE Transactions on Communication*, 1987, 35(4): 435 - 438.
- [6] DEMERS A, KESHAV S, SHENKER S. Analysis and simulation of a fair queueing algorithm [J]. *Internetworking: Research and Experi-*

- ence, 1990, 1(1):3-26.
- [7] SHREEDHAR M, VARGHESE G. Efficient fair queuing using deficit roundrobin [J]. *IEEE/ACM Trans on Networking*, 1996, 4(3): 375-385.
- [8] MISHRA P, KANAKIA H, TRIPATHI S. On hop-by-hop rate-based congestion control [A]. *IEEE/ACM Trans on Networking*, 1996, 4(2):224-239.
- [9] FLOGD S, JACOBSON V. Random early detection gateways for congestion avoidance [J]. *IEEE Trans/ACM on Networking*, 1993, 1(4):397-413.
- [10] ROMANOW A, FLOGD S. Dynamics of TCP traffic over ATM networks [J]. *IEEE J on Communications*, 1995, 13(4):633-641.
- [11] ZHANG Lixia, DEEYING S, ESTRIN D, et al. A new resource reservation protocol [J]. *IEEE Network*, 1993, 7(5):8-18.
- [12] 刘锦德, 刘后铭, 周明天, 等. 计算机网络大全[M]. 北京: 电子工业出版社, 1997.
(LIU Jinde, LIU Houming, ZHOU Mingtian, et al. *Entirety of Computer Network* [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 1997.)
- [13] 王立新. 自适应模糊系统与控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
(WANG Lixin. *Adaptive Fuzzy System and Control* [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1995.)

作者简介:

杨洪勇 (1967—), 男, 博士生, 副教授. 主要研究领域为自动控制理论, 网络通信理论及应用. E-mail: yhy9919@163.com;

武玉强 (1962—), 男, 博士, 教授. 目前主要研究领域为变结构控制, 非线性系统理论, 网络通信理论及应用. E-mail: wyq@qfnu.edu.cn.

(上接第331页)

- learning algorithm on adaptive wavelet neural networks [J]. *Science in China (Series E)*, 2001, 31(2):172-181.)
- [5] ZHANG Qinghua. Using wavelet network in nonparametric estimation [J]. *IEEE Trans on Neural Networks*, 1997, 8(2):227-236.
- [6] 李永敏, 朱善君, 陈湘晦. 根据粗糙集理论进行 BP 网络设计的研究[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(4):62-69.
(LI Yongmin, ZHU Shanjun, CHEN Xianghui. A rough set approach to BP neural network designing [J]. *System Engineering—Theory & Practice*, 1999, 19(4):62-69.)
- [7] PAWLAK Z. Why rough sets [A]. *Proc of the fifth IEEE Int Conf on Fuzzy Systems* [C]. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1996:738-743.
- [8] 张飞弓, 叶东毅. 粗糙集连续属性量化算法的灵敏度分析[J]. 福州大学学报, 2000, 28(3):28-30.
(ZHANG Feigong, YE Dongyi. Sensitivity analysis of quantifying algorithm for continuous attributes of rough set [J]. *J of Fuzhou University*, 2000, 28(3):28-30.)
- [9] DAUBECHIES I. The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis [J]. *IEEE Trans on Information Theory*, 1990, 36(5):961-1005.

作者简介:

李益国 (1973—), 男, 讲师, 博士. 主要研究方向为智能控制理论在热工过程控制中的应用. E-mail: li-yiguo@sohu.com;

沈炯 (1957—), 男, 教授, 博士生导师. 主要研究方向为先进控制理论在热工过程控制中的应用;

吕震中 (1941—), 男, 教授, 博士生导师. 主要研究方向为热工过程控制及微机应用.