

改进模糊自回归模型在预测网络接通率中的应用

申 晨*, 孙永雄, 黄丽平, 刘李蓬, 李树秋

(吉林大学 计算机科学与技术学院, 长春 130012)

(* 通信作者电子邮箱 sunyx@jlu.edu.cn)

摘 要:针对通信网络中性能指标预测的需要,提出了基于改进的模糊自回归模型的接通率预测方法,研究了拟合度门限自适应的模糊自回归模型。将中值滤波应用于模糊自回归模型的数据预处理中,在此基础上,针对部分应用拟合度门限不明确的特点,将拟合度门限计算式加入预测模型中,实现模型拟合度门限的自适应。仿真实验表明:基于 Fuzzy AR 模型的预测方法可以用于对接通率的预测,预测结果拟合度较高。

关键词:模糊预测;自适应拟合度;模糊自回归模型;接通率预测;数据预处理

中图分类号: TP399 **文献标志码:** A

Improved fuzzy auto-regressive model for connection rate prediction

SHEN Chen*, SUN Yongxiong, HUANG Liping, LIU Lipeng, LI Shuqiu

(College of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun Jilin 130012, China)

Abstract: Specific to the need of performance prediction in communication networks, a connection rate prediction method based on fuzzy Auto-Regressive (AR) model was proposed and improved, and the fuzzy AR model based on adaptive fitting degree threshold was studied. The median filtering method was applied to pre-process the data of fuzzy AR model. On this basis, for the uncertain thresholds of some applications, the fitting degree threshold formula was added to the prediction model to make it adaptive. The simulation results show that the prediction method based on fuzzy AR model can be used to predict the connection rate with a higher fitting degree.

Key words: fuzzy prediction; adaptive fitting degree; fuzzy Auto-Regressive (AR) model; connection rate prediction; data preprocessing

0 引言

随着通信网络的发展,承载网络的通信技术已不再是主要问题,而网络性能的管理越来越受到广泛关注,通信网络关键性能指标的性能预测更是当前面临的主要问题。通信网络的接通率是一个时间序列,目前在时间序列的预测方面已经有许多有益的探索^[1-3]。针对通信网络中接通率性能指标数据的特点^[4],使用基于模糊时间序列^[5-7]的预测算法,并对预测算法进行参数自适应机制方面的研究和改进,为通信网络中性能指标数据的预测方法提供新思路。最后,通过仿真实验验证改进模型对接通率预测的有效性。本文实验数据来源于中国移动通信公司某分公司的 TD-SCDMA (Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access) 网络运行接通率历史数据。

1 模糊自回归模型

若原始时间是实数序列,则自回归 (Auto-Regressive, AR) 模型^[8]的基本表达式是:

$$x_t = \sum_{i=1}^p \varphi_i x_{t-i} \quad (1)$$

其中 p 是 AR 模型的阶数,记为 $AR(p)$ 。

若原始时间序列是模糊时间序列,则模糊自回归 (Fuzzy

AR) 模型^[9-11]的基本表达式为:

$$\tilde{x}_t = \sum_{i=1}^p \varphi_i \tilde{x}_{t-i} \quad (2)$$

其中: p 是 Fuzzy AR 模型的阶数,记为 $FAR(p)$, p 由时间序列的自相关系数和偏自相关系数来确定^[12-13]。

与 AR 模型相比, Fuzzy AR 模型在对接通率预测方面的优势在于:实数形式的接通率并不能准确反映当前系统的运行情况,而模糊数承载了更多的信息,更能反映系统运行的特点^[14]。接通率序列的实质应该是一组模糊数。本文使用 Fuzzy AR 模型作为对接通率的预测模型。

如果观测数据虽为模糊数,但是由于某些原因,仅记录了一组实数,那么将这组实数看作模糊数的精确化,需要通过此精确数构造一组模糊数,而后进行模糊时序分析。

2 Fuzzy AR 模型应用于接通率预测及其改进

2.1 Fuzzy AR 模型在预测中的应用

本文中所使用的接通率仅记录了一组实数。经过单位根检验,发现原始的接通率序列通过了单位根检验,证明该序列为一平稳序列,可以对该序列进行建模操作。经过计算,该序列符合 $AR(2)$ 模型。

下面需要对该序列进行模糊化操作。由于接通率序列的波动范围较小,导致按照传统方法进行模糊化所形成的模糊

收稿日期:2012-11-02;修回日期:2012-12-08。

基金项目:吉林省重点科技发展项目(20120436,20100309);吉林省发改委高新技术项目(20106421)。

作者简介:申晨(1988-),男,河北保定人,硕士研究生,主要研究方向:计算机通信; 孙永雄(1970-),男,甘肃武威人,副教授,硕士,主要研究方向:计算机通信、医学图像处理; 黄丽平(1988-),女,吉林辽源人,硕士研究生,主要研究方向:3G 网络优化、医学图像处理; 刘李蓬(1989-),男,吉林图门人,硕士研究生,主要研究方向:计算机通信、医学图像处理; 李树秋(1966-),男,黑龙江尚志人,副教授,博士,主要研究方向:计算机网络与通信、嵌入式技术、计算机支持协同工作。

序列^[15-16]其模糊宽度也较小,容易限制拟合度门限的范围或直接导致传统的线性规划方法无解。因此在计算模糊宽度时,需要对模糊宽度适当的扩大 k 倍。实验中取 $k=5$ 。

设已经获得接通率的 T 个性能数据(按时间先后顺序排列) $x_t(t=1,2,\dots,T)$,设:

$$U_t = \max(x_{t-1}, x_t, x_{t+1}); t=2,3,\dots,T-1$$

$$V_t = \min(x_{t-1}, x_t, x_{t+1}); t=2,3,\dots,T-1$$

$$U_1 = \max(x_1, x_2)$$

$$V_1 = \min(x_1, x_2)$$

$$U_T = \max(x_{T-1}, x_T)$$

$$V_T = \min(x_{T-1}, x_T)$$

由此得,

$$\alpha_t = (U_t + V_t)/2; t=1,2,\dots,T \quad (3)$$

$$c_t = k \times (U_t - V_t)/2; t=1,2,\dots,T \quad (4)$$

这样,原始时间序列 x_t 就转化为模糊时间序列

$$\underline{x}_t = (\alpha_t, c_t); t=1,2,\dots,T$$

由于接通率序列的特殊性,其数值通常在0.95~1波动,变化范围较小,且经常会有连续的1出现。当计算模糊宽度时,就会出现连续的0。当使用线性规划方法进行求解时,可能会导致无解。线性规划方法的参数估计可以转化为如下所示的线性规划^[6]:

$$\min J = \sum_{i=p+1}^N \varphi c_i^T; t=p+1, p+2, \dots, N \quad (5)$$

s. t. $c_i \geq 0$

$$\varphi \alpha_i^T + (1 - \lambda_0) \varphi c_i^T \geq \alpha_i - (1 - \lambda_0) c_i$$

$$\varphi \alpha_i^T - (1 - \lambda_0) \varphi c_i^T \leq \alpha_i + (1 - \lambda_0) c_i$$

$$\varphi c_i^T > 0$$

其中:

$$\varphi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p)$$

$$\alpha_i = (\alpha_{i-1}, \alpha_{i-2}, \dots, \alpha_{i-p})$$

$$c_i = (c_{i-1}, c_{i-2}, \dots, c_{i-p})$$

由于已经确定接通率的差分序列其阶数为 $p=2$,若有3个连续的三角模糊数,其模糊宽度为零,设为

$$c_{t_0} = c_{t_0-1} = c_{t_0-2} = 0; t_0 \geq 3$$

则在式(1)中,当 $t=t_0$ 时,式(5)中第2和第3个约束条件退化为 $\varphi \alpha_{t_0}^T \geq \alpha_{t_0}$ 和 $\varphi \alpha_{t_0}^T \leq \alpha_{t_0}$ 。此时,除非满足 $\varphi \alpha_{t_0}^T = \alpha_{t_0}$,否则以上线性规划将无解。若有多组连续的三个或三个以上0出现,则此时有解的概率极低。这使得 Fuzzy AR 模型不能直接应用于接通率的预测。

由于上述原因,并且模糊宽度为零也不符合模糊序列的实际情况,因此需要对模糊化的序列的模糊宽度作进一步的处理,以消除上述影响。因此,引入了中值滤波来对上述模糊化序列进行预处理。中值滤波广泛应用于图像处理领域的噪声去除,但在接通率预测中,引入中值滤波的主要作用是抑制序列的过大波动,同时使序列变化趋势更加突出,以符合 Fuzzy AR 模型对数据的要求,便于求解。

中值滤波器^[17]窗口的长度可以在实践中根据实际的数据特点进行调整,实验中取中值滤波的窗口长度为 $n=7$ 。经过中值滤波处理,模糊宽度序列变化更加平缓,同时消除了“零宽度”的情况,更加突出了序列变化的趋势,这使得 Fuzzy AR 模型可以应用于接通率序列,并进行预测。

2.2 拟合度自适应

在传统的线性规划方法中,拟合度门限均由用户指定。但在部分情况下,用户并没有确定拟合度门限的依据,给定的拟合度门限也并不合理。本文对传统的线性规划方法进行了改进,用户无需指定一个拟合度门限,或者可以根据需要,指

定一个拟合度门限的取值范围。本文将“吝啬原理”具体化,类似于 AIC(Akaike Information Criterion)准则^[18],将拟合度门限计算式纳入到线性规划方法的目标函数中,同系统的模糊度进行综合评价,求得最优解。此最优解中包含了最佳的拟合度门限和模糊度的组合,这为用户对拟合度门限的合理选择提供了依据和指导。

拟合度门限和模糊度存在一一对应关系。用户期望得到的是较高的拟合度门限和较低的模糊度,因此需要寻找一组最优的拟合度门限和模糊度组合。

首先需要根据拟合度门限和模糊度的散点图,判断以拟合度门限 λ 为自变量,模糊度 J 的函数的类型,并进行拟合。设拟合所得到的函数为 $J^* = f(\lambda)$ 。其中: λ 为拟合度门限, J^* 为模糊度的估计值。 $f(\lambda)$ 反映了系统的模糊度随拟合度门限的变化而变化的大致趋势。当有某一个拟合度门限 λ_0 ,其对应的实际模糊度明显低于估计的模糊度的时候,本文认为这一拟合度门限较优。为了求得最优的拟合度门限,将式(1)中的目标函数增加一项 $-f(\lambda)$,同时可以指定 λ 取值的上下界 $\lambda_{\min}, \lambda_{\max}$ 。由此,原始线性规划方法中的线性规划转变为:

$$\min J = \sum_{i=p+1}^N \varphi c_i^T - f(\lambda); t=p+1, p+2, \dots, N \quad (6)$$

s. t. $c_i \geq 0$

$$\lambda_{\min} \leq \lambda \leq \lambda_{\max}$$

$$\varphi \alpha_i^T + (1 - \lambda) \varphi c_i^T \geq \alpha_i - (1 - \lambda) c_i$$

$$\varphi \alpha_i^T - (1 - \lambda) \varphi c_i^T \leq \alpha_i + (1 - \lambda) c_i$$

$$\varphi c_i^T > 0$$

此时求出的解在拟合度门限和模糊度之间求得了最佳平衡,此拟合度最优。

3 实验分析

实验数据及处理结果如表1所示:接通率为原始数据,来源于中国移动通信公司某分公司的业务数据,采集日期为2010年11月2日0:30至2010年11月3日0:00,采集时间间隔为30 min,每日共48个数据。原始数据通过了单位根检验^[19],然后再进行三角模糊化处理,得出接通率的模糊中值和模糊宽度。

使用以上数据代入式(5),即使当拟合度门限设置为0.1时,利用 LINGO 软件求解,仍然无解。于是,使用窗口长度 $n=7$ 的中值滤波器对上述模糊序列的模糊宽度进行滤波,得到中值滤波后的模糊宽度序列。原模糊宽度序列和中值滤波后的模糊宽度序列折线图如图1所示。

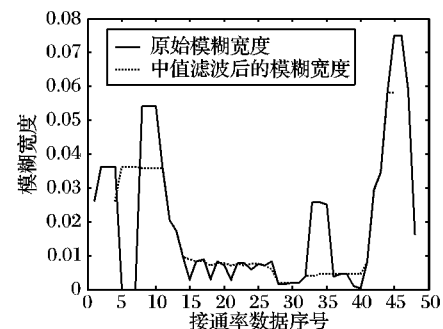


图1 中值滤波前后接通率的模糊宽度对比

由图1可知,经过中值滤波之后,模糊宽度序列更加平滑,同时消除了“零宽度”的情况。此时使用式(5)求解,并令拟合度门限从0.1开始以0.05的幅度增加,分别求解。每个拟合度门限所求得的模糊度如表2所示。在拟合度门限不大于0.5时,线性规划有解,表明使用中值滤波对模糊序列进行

处理收到了较好的效果。由于在接通率应用中并未确定具体的拟合度门限值,因此使用基于自适应拟合度门限的 Fuzzy

AR 模型进行计算。接下来对模糊度随拟合度的变化函数进行拟合。

表 1 原始接通率及中值滤波前后的模糊序列对照表

采集时刻	接通率	接通率的模糊中值	接通率的模糊宽度	中值滤波后的接通率模糊宽度	采集时刻	接通率	接通率的模糊中值	接通率的模糊宽度	中值滤波后的接通率模糊宽度
0:30	0.9896	0.99480	0.02600	—	12:30	0.9944	0.99370	0.00750	0.00750
1:00	1	0.99275	0.03625	—	13:00	0.9922	0.99360	0.00700	0.00700
1:30	0.9855	0.99275	0.03625	—	13:30	0.9950	0.99385	0.00825	0.00600
2:00	1	0.99275	0.03625	0.02600	14:00	0.9955	0.99520	0.00150	0.00200
2:30	1	1	0	0.03625	14:30	0.9949	0.99520	0.00150	0.00200
3:00	1	1	0	0.03625	15:00	0.9949	0.99450	0.00200	0.00200
3:30	1	1	0	0.03625	15:30	0.9941	0.99450	0.00200	0.00200
4:00	1	0.98915	0.05425	0.03575	16:00	0.9941	0.99490	0.00400	0.00400
4:30	0.9783	0.98915	0.05425	0.03575	16:30	0.9957	0.99055	0.02575	0.00400
5:00	0.9857	0.98915	0.05425	0.03575	17:00	0.9854	0.99055	0.02575	0.00450
5:30	1	0.99285	0.03575	0.03575	17:30	0.9954	0.99040	0.02500	0.00450
6:00	0.9918	0.99590	0.02050	0.02050	18:00	0.9939	0.99465	0.00375	0.00450
6:30	0.9987	0.99525	0.01725	0.01725	18:30	0.9954	0.99450	0.00450	0.00450
7:00	0.9957	0.99680	0.00950	0.00950	19:00	0.9936	0.99450	0.00450	0.00450
7:30	0.9949	0.99515	0.00275	0.00875	19:30	0.9940	0.99380	0.00100	0.00450
8:00	0.9946	0.99625	0.00825	0.00825	20:00	0.9939	0.99395	0.00025	0.00450
8:30	0.9979	0.99635	0.00875	0.00825	20:30	0.9939	0.99225	0.00825	0.00825
9:00	0.9981	0.9975	0.00300	0.00700	21:00	0.9906	0.98800	0.02950	0.02950
9:30	0.9969	0.99645	0.00825	0.00775	21:30	0.9821	0.98370	0.03450	0.03450
10:00	0.9948	0.9955	0.00700	0.00775	22:00	0.9768	0.98840	0.05800	0.05800
10:30	0.9941	0.99425	0.00275	0.00700	22:30	1	0.98500	0.07500	0.05800
11:00	0.9937	0.99525	0.00775	0.00750	23:00	0.97000	0.98500	0.07500	—
11:30	0.9968	0.99525	0.00775	0.00700	23:30	0.99350	0.98175	0.05875	—
12:00	0.9952	0.99560	0.00600	0.00750	00:00	0.97730	0.98540	0.01620	—

表 2 拟合度门限与模糊度对应关系表

拟合度门限 λ	模糊度 J	拟合度门限 λ	模糊度 J
0.10	0.44202	0.35	0.44245
0.15	0.44207	0.40	0.44265
0.20	0.44211	0.45	0.44285
0.25	0.44216	0.50	0.44305
0.30	0.44224		

以 λ 为自变量, J 为函数值对表 2 数据进行拟合, 考虑使用多项式函数进行拟合。拟合函数为:

$$J^* = f(\lambda) = 0.0066\lambda^2 + 0.0014\lambda + 0.4421 \quad (7)$$

将式(7)代入式(6)中, 同时令 $\lambda_{\min} = 0.1, \lambda_{\max} = 0.55$ 。

利用 LINGO 软件求解改进的线性规划表达式, 得 $\lambda = 0.5069450, \varphi_1 = 1.499830, \varphi_2 = -0.4999433$ 。由以上分析可知, 此时求出的 λ 值是给定区间上在指定目标函数下的最优解。所以在以上目标函数所设定的最优条件下, 此时所求得的一组解是 Fuzzy AR 模型对接通率模糊序列建模的最优解。然后利用以上所求参数对接通率的模糊序列下一时刻值进行预测, 由于中值滤波导致序列两端的模糊宽度数据缺失, 因此首先在序列两端使用距离相应位置最近的七个数据的中值补齐序列的模糊宽度, 然后预测得 (0.98952, 0.05799)。使用不同日期的业务数据, 重复上述预测过程, 共进行 3 次, 计算结果如表 3 所示。由表 3 的计算结果, 三次运算的平均拟合度为 0.94368, 处于较好水平, 证明预测较为成功。

表 3 预测结果及拟合度表

实验次数	φ_1	φ_2	拟合度门限	预测结果	真实结果	拟合度
1	1.4998300	-0.4999433	0.5069450	(0.98952, 0.05799)	(0.98865, 0.05675)	0.99246
2	-0.1570248	1.1557820	0.3666022	(0.97863, 0.01798)	(0.97635, 0.00625)	0.90590
3	1.3877150	-0.3889061	0.6232319	(0.99385, 0.00574)	(0.9946, 0.0054)	0.93268

4 结语

Fuzzy AR 模型是一种已经在许多领域成功应用的模型^[20]。本文根据接通率数据的特点, 使用中值滤波方法对模糊化后的接通率序列进行了预处理, 消除了原本存在的将 Fuzzy AR 模型应用于接通率预测上的障碍, 使得 Fuzzy AR 模型可以顺利地应用。接下来, 针对部分应用中拟合度门限没有合理的选取策略的问题, 提出了在 Fuzzy AR 模型求解中自

适应的拟合度门限算法, 为拟合度门限的合理选取提供了依据和指导。实验表明, 改进型的 Fuzzy AR 算法能够较好地应用于接通率的建模和预测, 且拟合度较高。当然, 上述方法还存在一定不足: 在目标函数的选取中可能还有更加有效和合理的目标函数, 相对于传统的线性规划算法, 这一算法计算量偏大等, 这也是今后探索和努力改进的方向。

(下转第 1229 页)

4 结语

基于协作多小区 OFDM 系统,本文首先探讨在多小区信道 PDP 存在差异且已知条件下多小区联合信道估计扩展算法 MC-eJCE,进而提出未知该信息条件下具有实用意义的修正算法 MC-mJCE。仿真中注意到当使用 CP 长度替代多小区精确 PDP 先验信息时,MC-mJCE 相比 MC-eJCE 有一定的 MSE 性能损失,这为本文所提算法的进一步优化提供了空间,也是下一步需研究的重点。

参考文献:

- [1] GESBERT D, HANLY S, HUANG H, *et al.* Multi-cell MIMO cooperative networks: A new look at interference[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2010, 28(9): 1380–1408.
- [2] IRMER R, DROSTE H, MARSCH P, *et al.* Coordinated multi-point: Concepts, performance, and field trial results[J]. IEEE Communications Magazine, 2011, 49(2): 102–111.
- [3] LI Y, SOLLENBERGER N R. Adaptive antenna arrays for OFDM systems with cochannel interference[J]. IEEE Transactions on Communications, 1999, 47(2): 217–229.
- [4] JEREMIC A, THOMAS T A, NEHORAI A. OFDM channel estimation in the presence of interference[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2004, 52(12): 3429–3439.
- [5] XUE P, KANG D K, KIM D K. Improved multi-cell joint channel estimation for TD-SCDMA downlink[C]// VTC Spring 2008: Proceeding of the IEEE Vehicular Technology Conference. Singapore: IEEE Press, 2008: 1458–1462.
- [6] KANG G, WECKERLE M, COSTA E, *et al.* Time and frequency domain joint channel estimation in multi-branch systems[C]// Proceedings of the 5th WSEAS International Conference on Applied Electromagnetics, Wireless and Optical Communications. Corfu,

Greece: WSEAS Press, 2005: 25–30.

- [7] CHEN X, ZHANG N, CAO Y, *et al.* Further investigation on pilot design for MIMO OFDM systems in multi-cell environment[C]// VTC 2009-Fall: Preceeding of the 70th IEEE Vehicular Technology Conference. Anchorage, AK: IEEE Press, 2009: 1–5.
- [8] GOLDSMITH A. Wireless communications[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [9] SATHYENDRAN A, SOWERBY K W, SHAFI M. A statistical approach to the analysis of DS/CDMA cellular systems employing RAKE receivers and sectorized antennas[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1999, 48(1): 8–19.
- [10] SIMEONE O, BAR-NESS Y, SPAGNOLINI U. Pilot-based channel estimation for OFDM systems by tracking the delay-subspace[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2004, 3(1): 315–325.
- [11] BARHUMI I, LEUS G, MOONEN M. Optimal training design for MIMO OFDM systems in mobile wireless channels[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2003, 51(6): 1615–1624.
- [12] SONG B, GUI L, ZHANG W. Comb type pilot aided channel estimation in OFDM systems with transmit diversity[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2006, 52(1): 50–57.
- [13] CHU D. Polyphase codes with good periodic correlation properties[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1972, 18(4): 531–532.
- [14] KAY S M. Fundamentals of statistical signal processing, Volume I: Estimaion theory[M]. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall Press, 1993.
- [15] 3GPP TS 25.996 V8.0.0. Spatial channel model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations(Release 8) [S]. [S. l.]: 3GPP, 2008.

(上接第 1224 页)

参考文献:

- [1] ROJAS I, VALENZUELA O, ROJAS F, *et al.* Soft-computing techniques and ARMA model for time series prediction[J]. Neurocomputing, 2008, 71(4/5/6): 519–537.
- [2] KAYACAN E, ULUTAS B, KAYNAK O. Grey system theory-based models in time series prediction[J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(2): 1784–1789.
- [3] 张哈,王霞. 基于小波分解的网络流量时间序列建模与预测[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(8): 3134–3136.
- [4] 陈巍. 移动通信网络系统接通率评估体系的研究[D]. 上海: 上海海事大学, 2006.
- [5] 吴今培. 模糊诊断理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [6] 吴今培. 模糊时间序列建模及应用[J]. 系统工程, 2002, 20(4): 72–76.
- [7] SONG Q, CHISSOM B S. Fuzzy time series and its models[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1993, 54(3): 269–277.
- [8] BOX G E P, JENKINS G M. Time series analysis forecasting and control[M]. 2nd ed. San Francisco, CA: Holden-Day, 1976.
- [9] KASABOV N K, SONG Q. DENFIS: Dynamic evolving neural-fuzzy inference system and its application for time-series prediction[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2002, 10(2): 144–154.
- [10] HATHAWAY R, BEZDEK J C. Switching regression model and fuzzy clustering[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 1993, 1

(3): 195–204.

- [11] KIM E, PARK M, JI S, *et al.* A new approach to fuzzy modeling[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 1997, 5(3): 328–337.
- [12] 刘次华. 随机过程[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2008.
- [13] VALENZUELA O, ROJAS I, ROJAS F, *et al.* Hybridization of intelligent techniques and ARIMA models for time series prediction[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2008, 159(7): 821–845.
- [14] 李鸿吉. 模糊数学基础及实用算法[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [15] 邵维亮, 刘雄, 景崇毅. 基于模糊时间序列的机场旅客周转量预测[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(7): 1640–1643.
- [16] 桂斌, 黄立冬, 周杰, 等. 金融时间序列模糊边界预测研究[J]. 小型微型计算机系统, 2012, 33(10): 2283–2286.
- [17] 邢藏菊, 王守觉, 邓浩江, 等. 一种基于极值中值的新滤波算法[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(6): 533–536.
- [18] AKAIKE H. A new look at the statistical model identification[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 1974, 19(6): 716–723.
- [19] 易丹辉. 数据分析与 Eviews 应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
- [20] TANAKA H, ISHIBUCHI H. Identification of possibilistic linear systems by quadratic membership functions of fuzzy parameters[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1991, 41(2): 145–160.