

# 基于混沌时间序列分析的股票价格预测

程瑜蓉<sup>\*1</sup> 郭双冰<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学商学院 成都 610051; 2. 电子科技大学应用数学学院 成都 610054)

**【摘要】**根据股票市场是非线性动力系统的假设,利用混沌理论对混沌时间序列的分析方法,提出了股票价格预测方法。同时利用重构相空间的嵌入维数和延迟时间分别确定径向基函数模型网络的结构和训练样本对,对实际的股票时间序列预测结果表明,该方法能有效地进行短期预测,并与前馈神经网络模型相比,可得到较好的预测结果,因而在股票时间序列预测中有广泛的实用价值。

**关键词** 混沌时间序列; 股票价格; 神经网络; 预测

中图分类号 F830.59 文献标识码 A

## Stock Price Prediction Based on Analysis of Chaotic Time Series

Cheng Yurong<sup>1</sup> Guo Shuangbing<sup>2</sup>

(1. Commercial College, Chengdu University of Technology Chengdu 610051;

2. School of applied mathematics, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** A method of stock price prediction is presented by hypothesis of stock market being non-linear dynamic system and analyzing method of chaos theory for chaos time series in this paper. Meanwhile, structures of radial basic function (RBF) network and pairs of training samples are determined by embedding dimension and delay time of reconstruct phase space respectively. Predicting results for real world stock time series show that the method is able to do effectively short-term prediction. In comparison with traditional forward feedback neural network (BP), the method can make better predicting performance, thus it can be widely used in stock price prediction.

**Key words** chaotic time series; stock price; neural network; prediction

随着混沌动力学的发展,混沌揭示了有序与无序,确定性与随机性的统一<sup>[1]</sup>。混沌指出了原本认为不可预测的复杂事物具有可预测性,混沌预测开辟了预测研究新的领域,为原来不可预测的复杂系统的预测提供了预测研究新的理论与方法。文献[2]得到股票价格的变动表现出混沌的特征,因此可以把混沌时间序列的分析方法应用在股票的价格预测。

混沌时间序列分析的基础是重构相空间,混沌时间序列的预测问题可以理解成动力系统研究的“逆问题”。通过股票价格时间序列重构股票市场非线性动力系统,给定相空间中的一串迭代序列,构造一个非线性映射来表示这一动力系统,此非线性映射就可作为预测模型。逼近此非线性映射可采用局部线性模型<sup>[3]</sup>,全局多项式模型<sup>[4]</sup>,前馈神经网络模型(BP)<sup>[5,6]</sup>,径向基函数模型(RBF)<sup>[7,8]</sup>,小波神经网络<sup>[9,10]</sup>等。

由于神经网络模型具有巨量并行性,存储分布性,结构可变性,高度非线性,自学习性和自组织等特点,而且可以逼近任何连续函数,目前广泛应用神经网络作为非线性函数逼近模型。由于BP网络存在局部最优问题,训练速度慢、效率低,而径向基函数RBF神经网络则在一定程度上克服了这些问题,所以本文采

2003年3月17日收稿

\* 女 33岁 硕士 讲师 主要从事市场营销、市场调查方面的研究

用RBF模型逼近非线性映射。为了确定RBF网络的结构,根据混沌时间序列的分析方法,应用估计的重构相空间嵌入维数、延迟时间分别确定RBF模型的输入维数、训练样本对。运用该方法对东方明珠股票价格的预测结果表明,该方法能有效地短期预测股票的价格,并与相同网络结构的BP网络进行比较,该方法确定的RBF网络对股票价格的预测误差较小。

## 1 混沌时间序列分析方法

混沌时间序列预测模型的理论基础是相空间重构理论。假设观测到的时间序列为  $\{x(t), t=1, 2, \dots, L\}$ , 则在  $m$  维状态空间中利用延迟坐标法重构的一点状态矢量可表示为

$$X(t) = [x(t-t), x(t-2t), \dots, x(t-mt)] \quad (1)$$

式中  $m$  为嵌入维数,  $t$  为延迟时间。文献[11]证明了如果  $m \geq 2D+1$  ( $D$  为原动力系统相空间的维数), 重构的  $X(t)$  是原动力系统相应的一条轨道到  $R^m$  中的嵌入, 可得到  $R^m$  上的一个动力系统  $F: R^m \rightarrow R^m$  满足

$$X(t+1) = F(X(t)) \quad (2)$$

从而得到了一个函数  $f: R^m \rightarrow R$  使得

$$x(t-t+1) = f(x(t-t), x(t-2t), \dots, x(t-mt)) \quad (3)$$

如果能根据已知的时间序列  $x(t)$  求出满足式(2)或式(3)的  $\hat{F}$  或  $\hat{f}$ , 那就可得到一个非线性预测模型。

文献[11]的嵌入定理对重构参数的选择没有任何指导性的建议, 这一定理要求数据无噪声且长度为无限, 对任意的延时参数  $t$  和嵌入维数  $m \geq 2n+1$  ( $n$  为动力系统的拓扑维) 不会导致重构的退化, 而实际得到的时间序列既叠加有噪声, 又是有限长度的,  $t$  值太小, 重构的轨迹被压缩在嵌入空间的主斜线附近, 导致较小的信息获取, 称作冗余问题, 当  $t$  值太大时, 延迟坐标之间变得不相关, 也无法体现真正的动态性质, 这称作不相干问题。另外, 当对分析的系统没有什么先验认识, 无从得知其拓扑维数  $n$  时, 嵌入维数  $m$  的选择也成问题。

### 1.1 延迟时间估计

研究表明,  $t$  和  $m$  的选择可归结为重构窗口  $t_w$  的选择问题。在此结论指导下, 可先确定一个嵌入维数  $m$ , 再寻求  $t$ 。对重构参数  $t$  的求取方法较多, 其中比较有影响的方法有自相关、互信息、高阶相关、填充元素、小窗解、波动乘积等, 但这些方法都存在一个缺点, 计算量比较大、也较复杂或计算的  $t$  值不稳定。因此采用重构信号强度的方法<sup>[12]</sup>, 从重构扩展的几何角度解释  $t$  的作用既直观又容易实现。

### 1.2 嵌入维数估计

文献[13]确定嵌入维数, 当维数不够大时, 由于投影的原因, 会出现一些伪邻近点。而当维数足够大时, 邻近点的比例将不再随维数的增加而增加。为了减少计算量, 本文采用文献[14]改进后的伪邻近法。

## 2 RBF网络模型

设RBF神经网络的输入层有  $M$  个节点, 隐含层有  $H$  个节点, 输出层有 1 个节点(用于预测输出取为 1)。RBF 网络模型如图 1 所示。

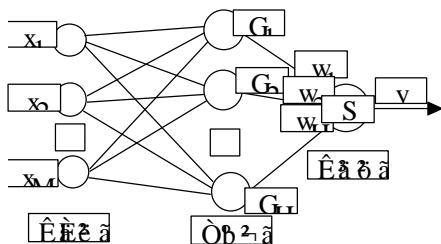


图1 RBF网络模型

网络模型如图 1 所示。

最常用的径向基函数选为高斯函数, 即

$$G(r) = \exp(-r^2 / s^2) \quad (4)$$

设  $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  为 RBF 网络的输入, 隐含层与输入层完全连接, 隐含层节点  $i$  的作用函数,

$$G_i(v) = \exp(-v^2 / s_i^2) \quad i=1, 2, \dots, H \quad (5)$$

$s_i$  为第  $i$  个节点作用函数的宽度。计算输入向量与中心的距离为,

$$d_i = \|X - c_i\| \quad i=1, 2, \dots, H \quad (6)$$

$c_i$  为第  $i$  个节点作用函数的中心。通过作用函数变换, 得到隐含层节点的输出为

$$h_i = G_i(\|X - c_i\|) = \exp(-\|X - c_i\|^2 / s_i^2) \quad i=1, 2, \dots, H \quad (7)$$

网络的输出为

$$y = \sum_{i=1}^H w_i G_i(\|X = c_i\|) \tag{8}$$

式中  $w_i$  为隐含层至输出层的权值。

### 3 股票价格的预测

将混沌时间序列分析方法确定的RBF网络结构对东方明珠的股票价格进行预测,采用以前历史数据。在实验中,首先按下式对数据进行归一化处理

$$x(i) = (y(i) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y(i)) / \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y(i) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y(i))^2 \right\}^{1/2} \tag{9}$$

式中  $y(i)$  为原始序列,  $x(i)$  为归一化的时间序列,  $N$  为时间序列的长度。为了评价预测的效果,定义预测相对误差为

$$p_{err} = \frac{\sum_{k=1}^K (x(k) - \hat{x}(k))^2}{\sum_{k=1}^K x^2(k)} \tag{10}$$

首先对股票序列进行重构相空间,得到延迟时间  $t = 3$ , 嵌入维数  $m = 4$ , 选前200个点用于预训练,再选后20个点作为测试集。预测值与真实值的比较如图2所示。

表1 两种预测模型的性能参数比较

预测模型	相对误差	输入大小	训练步数
BP 神经网络	0.032 8	4	3 000
RBF 网络	0.025 6	4	200

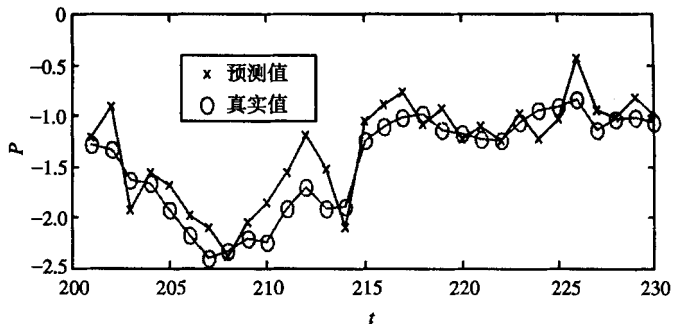


图2 预测值与真实值的比较图

上述实验结果表明RBF网络短期预测股票时间序列是可行的。预测相对误差  $p_{err} = 0.0256$ 。两种预测模型的性能参数比较如表1所示,从表中看出,RBF网络模型的相对误差比BP神经网络小,而且预训练次数少,其优点表明本文确定的RBF网络模型在股票预测中具有广泛的应用前景。

### 4 结 论

根据股票市场存在着的非线性、时变性和不确定作用关系,利用混沌理论对混沌时间序列的分析方法,提出股票价格预测方法。由重构相空间的嵌入维数和延迟时间确定RBF网络的结构和训练样本对,该预测模型对实际的股票时间序列预测结果表明该方法能够有效地进行短期预测,与BP神经网络相比,该方法可以得到较好的预测结果,并在股票时间序列预测中有一定的实用价值。

### 参 考 文 献

[1] Holger K, Thomas S. Nonlinear time series analysis[M]. Tsinghua university publishing company, 2001  
 [2] 高安秀枢. 分数维[M]. 北京:地震出版社, 1989  
 [3] Frammer, Sidorowich. Predicting chaotic time series[J]. Phys. Rev. Lett., 1987,59(8):845-848  
 [4] McDonnell J R, Waagen D. Evolving recurrent perceptions for time series modeling[J]. IEEE Trans. Neural Networks, 1994, 5(1): 24-38  
 [5] Gencay R. Nonlinear prediction of noise time series with feedforward network[J]. Phys .Lett. A , 1994,187(6): 397-403  
 [6] 王 维, 贺京同. 人工神经网络在非线形经济预测中的应用[J]. 系统工程学报, 2000, (2): 202-207  
 [7] Casdal M. Nonlinear prediction of chaotic time series[J]. Physica D, 1989, 35(3): 335-356

- [8] 王明进, 程乾生. Kohonen 自组织网络在混沌时间序列预测中的应用[J]. 系统工程与理论实践, 1997, 17(7): 12-18
- [9] 扬一文, 刘贵忠. 基于小波网络的非线性时间序列预测及其在股市中的应用[J]. 模式识别与人工智能, 2001, 14(2): 243-248
- [10] Cao L, Hong Y, Fang H, *et al.* Predicting chaotic time series using wavelet network[J]. *Physica D*, 1995, 85(1): 225-238
- [11] Takens F Detecting strange attractors in fluid turbulence, in: *Dynamical Systems and Turbulence*[C]. Springer, Berlin, 1981
- [12] Rosenstein M T, Collins J J, *et al.* Reconstruction expansion as geometry-based framework for choosing proper delay times[J]. *Physica D*, 1994, 73(1): 82-98
- [13] Kennel. Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using a geometrical construction[J]. *Phys. Rev. A*, 1992, 45(3): 3 403-3 411
- [14] Cao Liangyue. Practical method for determining the minimum embedding dimension of a scalar time series[J]. *Physica D*, 1997, 110(1): 43-50

编辑 刘文珍

(上接第457页)

表1 两种定价方法使垄断厂商获取的消费者剩余率比较

定价方法	获取的消费者剩余率		
	2段/(%)	3段/(%)	4段/(%)
等分需求区间	50	67	75
采用固定折扣率	50	65	72

## 2 结束语

本文比较分析了线性需求函数条件下垄断厂商二度价格歧视的两种不同定价方法, 得出研究结果说明: 在现实经济生活中垄断厂商在实行二度价格歧视时既可以选择以需求量的多少来决定不同的价格, 也可以选择向消费者宣称打折幅度的办法, 因为这两种价格歧视方法的最优解基本相同。同时, 这些结果充分解释了在实际经济生活中厂商们为什么常常使用打折的方法而不是采取等分需求区间的方法实行价格歧视, 这是因为在获取消费者最大剩余基本相间的前提下, 厂商更宁愿选择简单易行的方法。另外在实际经济生活中垄断厂商面临的需求函数更可能是非线性的, 如 $P=a/Q(a>0)$ , 在这类情形下, 最优固定折扣率的存在性、唯一性和求解以及两种定价方法的比较等问题需进一步研究。

## 参 考 文 献

- [1] 唐小我. 二度价格歧视情形下垄断厂商收益最大化条件[J]. 电子科技大学学报, 1997, 26(2): 194-198
- [2] 唐小我, 倪得兵. 垄断厂商在固定折扣率条件下的二度价格歧视研究[J]. 运筹与管理, 2000, 9(3): 81-85
- [3] Chen Shaogang, Tang XiaoWo, Zhao Shurong. Study on divisional number of demands in case of second-degree price discrimination. proceedings of 2002 International Conference on Management Science and Engineering [C]. Moscow, 2002. 950-954
- [4] 唐小我, 曾 勇, 李仕明, 等. 管理经济分析 - 理论与应用[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2000

编辑 漆 蓉