

基于粒子群优化的灰色神经网络组合预测模型研究^{*}

A PSO-Based Combined Forecasting Grey Neural Network Model

马吉明,徐忠仁,王秉政

MA Ji-ming, XU Zhong-ren, WANG Bing-zheng

(郑州轻工业学院计算机与通信工程学院,河南 郑州 450002)

(School of Computer and Communication Engineering,

Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

摘要:灰色神经网络在人工智能预测领域已经得到广泛的应用,但由于其自身存在局部最小化和收敛速度慢等问题,使其预测精度受到一定的限制。针对其不足,本文提出一种利用粒子群算法优化BP神经网络的学习算法,在此基础上,利用灰色预测方法对股指期货历史数据进行初步预测,并且把初步预测的结果作为优化BP神经网络的输入进行训练和预测,构建了基于粒子群优化的灰色神经网络组合预测模型(PSO-GMNN)。仿真实验结果表明,新预测模型的预测精度高于BP神经网络、灰色神经网络和灰色预测模型,同时也表明了该方法的有效性和可行性。

Abstract: Gray neural network in the field of artificial intelligence prediction has been applied widely, but it has such problems as the slow speed of convergence, and local minimum, so its forecast precision is limited partly. This paper, in view of its defects, proposes the learning algorithm of the BP neural network optimized by PSO(Particle swarm algorithm). On the basis of this algorithm, grey prediction is used to make a preliminary forecast for the stock index futures' historical data, and the results of initial forecasts are used as the input of the optimized BP neural network to be forecast and trained. A PSO-based Combined forecasting Grey Neural Network model(PSO-GMNN) is built. Finally, the simulation experiment result indicates that the prediction accuracy of the new prediction model is higher than that of the BP neural network, the gray neural network and the gray prediction model. It also shows the effectiveness and feasibility of the method.

关键词:BP神经网络;粒子群算法;灰色预测;灰色神经网络;PSO-GMNN

Key words: BP neural network; particle swarm optimization; grey; grey neural network; PSO-GMNN

doi:10.3969/j.issn.1007-130X.2012.02.027

中图分类号:TP18

文献标识码:A

1 引言

灰色神经网络模型的建立与应用是广泛领域与行业针对小样本数据的信息处理。虽然神经网

络与灰色系统理论在信息处理方面已有了较为广泛的应用,但实际的数据处理效果并不理想。将这两种方法融合建立灰色神经网络能弥补单一使用这两种模型的不足,达到良好的数据处理和预测效果^[1]。灰色神经网络建模并不复杂,而如果能对学

* 收稿日期:2011-01-03;修订日期:2011-04-13

基金项目:河南省科技攻关项目(092102210108)

通讯地址:450002 河南省郑州市郑州轻工业学院计算机与通信工程学院

Address: School of Computer and Communication Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450002, P. R. China

习算法及其模型的结构和性能进行优化,就可以使其能达到更好的效果。而粒子群算法作为一种全局优化算法具有较强的全局搜索能力,收敛速度快,它可为灰色神经网络的优化问题提供高效的解决办法。在此,本文提出一种粒子群算法优化 BP 神经网络的学习算法,利用灰色预测方法对历史数据进行初步预测,并且将初步预测的结果作为改进 BP 神经网络的输入,从而构建基于粒子群优化的灰色神经网络的组合预测模型。仿真结果表明,基于 PSO 算法的灰色神经网络的组合预测模型的预测精度更高。

2 灰色预测模型

灰色系统理论^[2,3]是一种研究少数据、贫信息、不确定性问题的新方法。灰色系统理论以“部分信息已知,部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统为研究对象,主要通过对“部分”已知信息的生成、开发,提取有价值的信息,实现对系统运行行为、演化规律的正确描述和有效监控。该理论及方法为预测事物未来发展趋势提供了一种新的解决方法。它由灰信息论、灰集合论和灰方法论三部分组成。

GM(1, 1)模型是灰色系统理论中应用最广泛的一种灰色动态预测模型。建立 GM(1, 1)模型的实质就是:首先对原始序列进行 1 次累加,使生成列呈现一定规律,然后建立一阶线性微分方程模型,求得拟合曲线对系统进行预测。灰色 GM(1, 1)预测模型在计算过程中是以计算矩阵为主,它与 MATLAB 结合可以有效地解决灰色系统理论在矩阵计算中的问题,能够适用于数据样本较小的预测问题。GM(1, 1)模型是最常用的一种灰色模型,它是由一个只包含单一变量的一阶微分方程构成的模型。

设有变量为 $x^{(0)}$ 的原始数据序列为: $x^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)]$, 生成一阶累加生成序列如下: $x^{(1)} = [x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)]$, 其中:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i) \quad (1)$$

由于序列 $x^{(1)}(k)$ 具有指数增长规律,而一阶微分方程的解恰是指数增长形式的解,因此可以认为 $x^{(1)}$ 序列满足下述一阶线性微分方程模型:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = \mu \quad (2)$$

其中, a 和 μ 为参数, a 为发展系数, μ 称为内生控制灰数。用向量表示为 $\alpha = (a, \mu)^T$, 可通过最小二乘法拟合求出:

$$\hat{\alpha} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n \quad (3)$$

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}x^{(1)}(1) & x^{(1)}(2) & 1 \\ -\frac{1}{2}x^{(1)}(2) & x^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}x^{(1)}(n-1) & x^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}_{(n-1) \times 2}$$

$$Y_n = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n-1) \end{bmatrix}_{n-1} \quad (4)$$

该微分方程的解为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a} \right] e^{-ak} + \frac{\mu}{a} \quad (5)$$

式(5)称为 GM(1, 1)模型的时间响应函数模型,它是 GM(1, 1)模型灰色预测的具体计算公式,对此式再做累减还原,得原始数列的灰色预测模型为:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \quad (6)$$

3 粒子群算法优化 BP 神经网络

3.1 基本原理

BP 网络模型是一种具有三层或三层以上前馈型的、按梯度算法使期望输出与实际输出误差沿逆传播修正各连接权值的神经网络模型。它能较好地大量的输入/输出模式映射关系进行学习和存储,而且无需事前揭示描述这种映射关系的数学方程。它的学习规则是使用梯度下降法,通过反向传播不断修正网络的权值和阈值,使模型的误差平方和最小。BP 神经网络模型拓扑结构包括输入层(Input)、隐含层(Hide Layer)和输出层(Output Layer)^[4]。

3.2 粒子群优化算法

粒子群优化算法是一种基于群体智能的算法,通过群体中粒子间的合作与竞争产生的群体智能指导搜索,具有并行全局搜索、模型简单方便、需要调整的参数少、全局搜索与局部搜索平衡等诸多优点。

PSO 算法中的粒子寻优基本公式如下:

$$\begin{aligned} v_{id}^{t+1} &= \omega v_{id}^t + c_1 \times r_1 \times (p_{id}^t - x_{id}^t) \\ &+ c_2 \times r_2 \times (p_{gd}^t - x_{id}^t) \end{aligned} \quad (7)$$

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1} \quad (8)$$

其中, $d = 1, 2, \dots, n$, $i = 1, 2, \dots, m$, n 为搜索空间的维数, m 为种群粒子数; ω 为惯性因子; r_1 和 r_2 为 $(0, 1)$ 区间服从均匀分布的随机数; c_1 和 c_2 为学习因子; t 为迭代次数; x_i^t 为迭代 t 次时粒子 i 的空间位置; V_i^t 为迭代 t 次时粒子 i 的速度; P_i^t 和 P_g^t 分别为微粒从初始到当前迭代次数搜索产生的个体极值和全局极值^[5]。

3.3 PSO 优化的神经网络学习算法思想

BP 神经网络的学习过程也就是网络连接权值和阈值的更新过程, 因此可利用 PSO 算法中粒子的位置来代替全部的连接权值和阈值。将神经网络的输出误差作为 PSO 算法中适应度函数。

神经元之间所有的连接权值以实数向量的形式表示, 用来指定粒子群中一个个体, 以这样的形式生成群体。算法迭代中新生成的个体向量还原成神经网络权值, 对所有样本通过神经网络产生的均方差进行计算, 若其值小于模型指定的均方差, 则停止训练, 否则继续进行, 直到达到最大迭代次数为止。BP 网络的激活函数选定为 Sigmoid 函数, 然后用 PSO 算法搜索出最优位置, 使下列均方误差指标达到最小:

$$E(x) = \frac{1}{2N} \sum_{p=1}^n \sum_{k=0}^c (Y_{k,p}(x) - t_{k,p})^2$$

其中, N 为样本个数; c 为神经网络输出个数; $t_{k,p}$ 为第 p 个样本的第 k 个理想输出值; $Y_{k,p}$ 为第 p 个样本的第 k 个实际输出值。

4 基于 PSO 算法优化的灰色神经网络组合预测模型 (PSO-GMNN)

本文选择三层 BP 神经网络, 其中: N_1 为输入层节点数; N_2 为隐含层节点数; N_3 为输出层节点数。节点的传递函数选取 Sigmoid 型函数 $f(x) = 1 + \frac{1}{1 + e^{-x+\theta}}$, 其中 θ 为阈值。算法中的误差准则是调整权值, 使得偏差 $E = \frac{1}{2} \sum_{ki} \varepsilon_i^2$ 最小。

根据灰色系统和神经网络结合方法, 以及模型对数据处理的特点, 灰色神经网络有三种模型。嵌入型灰色神经网络就是其中之一, 它在一般的神经网络基础上, 在其前加上灰化层对输入数据做灰化处理, 在其后加上一个白化层对网络的灰色输出信息进行还原, 以得到确定的输出结果^[6]。

基于粒子群优化灰色 BP 神经网络的嵌入型

预测模型 (PSO-GMNN), 通过灰化层弱化原始数据的随机性, 接着将会比较容易地用 BP 算法逼近预测函数。一般灰化层是将原始数据进行一次累加或多次累加生成新数据, 作为神经网络的训练样本。本文在已经确定好的 BP 神经网络模型基础上, 将粒子群优化算法与 BP 算法融合, 采用粒子群算法寻找网络的初始权值与阈值, 然后再采用 BP 神经网络算法训练经过粒子群算法寻优的初始权值与阈值, 得到模型最终的权值与阈值, 形成最终模型。这样构造的 PSO-GMNN 模型可以克服灰色神经网络学习稳定性差、可靠性低与易陷入局部极小的问题, 并且可以提供较好的逼近效果和较快的收敛速度。模型结构图如图 1 所示。

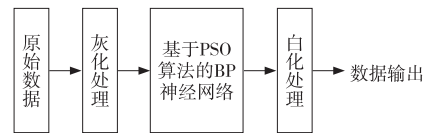


图 1 PSO-GMNN 模型结构图

5 实验及结果分析

根据上述基于粒子群优化灰色神经网络的组合预测模型, 以股指期货 (Stock Index Futures, 简称 IF) IF1010 数据进行仿真分析, 选择 2010 年 8 月 20 日至 2010 年 10 月 15 日期间 IF1010 合约周期的前 45 天的数据和后 10 天数据分别作为模型训练和预测, 并且以当日开盘价、最高价、最低价、成交量、收盘价为输入, 来预测次日的收盘价。采用 MATLAB 编程实现, 首先利用灰色预测模型对原始数据进行初步预测, 以初步预测作为优化后 BP 神经网络的输入, BP 神经网络结构为 5-10-1, 输入层的节点数为 5, 隐含层节点数为 10, 输出层节点数为 1, 目标误差率选择为 0.001, 训练步数为 1 000。分别用灰色模型、灰色神经网络预测模型 (GMNN) 和 PSO-GMNN 模型进行预测, 图 2 为 PSO-GMNN 模型的数据训练图, 图 3 为模型预测图。

由图 3 可以看出, 经过 PSO 优化的 BP 神经网络和灰色模型的组合模型预测曲线走势更加逼近实际值, 预测结果对比参见表 1。

灰色模型、BP 神经网络模型、灰色神经网络预测模型 (GMNN) 和 PSO-GMNN 模型下预测值平均误差精度分别为 0.78%、0.43%、0.35% 和 0.17%。因此, 在股指期货预测应用中, PSO-GMNN 模型具有更快的收敛速度和更高的预测精度。

表 1 预测结果对比

实际值	GM(1,1)		BP		GMNN		PSO-GMNN	
	预测值	误差(%)	预测值	误差(%)	预测值	误差(%)	预测值	误差(%)
2 878.00	2 912.35	1.19	2 870.12	0.27	2 872.78	0.18	2 879.67	0.06
2 873.00	2 910.50	1.30	2 869.50	0.12	2 876.00	0.10	2 875	0.07
2 892.8	2 882.36	0.36	2 875	0.62	2 870.11	0.78	2 882.36	0.36
2 904.0	2 887.60	0.56	2 883.26	0.71	2 893.62	0.36	2 899.14	0.17

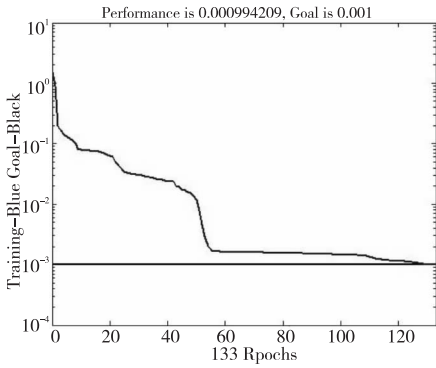


图 2 PSO-GMNN 模型的数据训练图

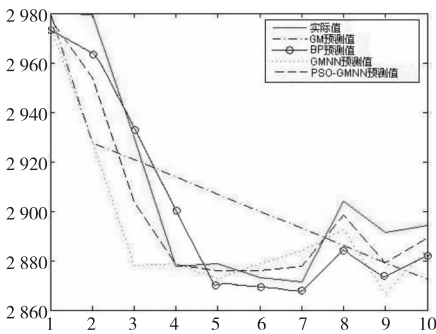


图 3 PSO-GMNN 模型预测图

[2] Torre S D L, Conejo A J, Contreras J. Simulating Oligopolistic Pool-Based Electricity Markets: A Multiperiod Approach [J]. IEEE Trans Power Syst, 2003, 18(4): 1547-1555.

[3] Tien T L. A Research on the Deterministic Grey Dynamic Model with Multiple Inputs DGDMMI (1, 1, 1) [J]. Applied Mathematics and Computation, 2003, 139(1): 401-416.

[4] 魏海坤. 神经网络结构设计的理论与方法 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.

[5] WANG Hai-Jun, BAI Mei, JIA Zhao-li, et al. Futures Prices Forecasting Based on PSO Neural Network [J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30 (10): 2428-2434.

[6] 袁景凌, 钟路, 李小燕. 灰色神经网络的研究及发展 [J]. 武汉理工大学学报, 2009, 31(3): 91-93.



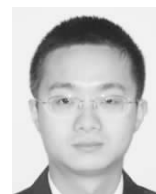
马吉明(1965 -), 男, 山西阳高人, 硕士, 教授, CCF 会员(41012217), 研究方向数据库与信息集成、数据挖掘、通信与信息系系统。E-mail: jiming_78@yahoo.com.cn

MA Ji-ming, born in 1965, MS, professor, CCF member (41012217), his research interests include database and information integration, data mining, communication and information systems.



徐忠仁(1984 -), 男, 河南长葛人, 硕士生, CCF 会员(E200015432G), 研究方向为数据库与信息集成、数据挖掘。E-mail: xunathan01@163.com

XU Zhong-ren, born in 1984, MS candidate, CCF member (E200015432G), his research interests include database and information integration, and data mining.



王秉政(1978 -), 男, 河南濮阳人, 博士, 讲师, 研究方向为数据挖掘和机器学习。E-mail: wbz@zzuli.edu.cn

WANG Bing-zheng, born in 1978, PhD, lecturer, his research interests include data mining, and machine learning.

6 结束语

本文提出了一种基于 PSO 算法优化灰色神经网络的组合预测模型, 它不仅利用了灰色预测建模所需信息少、方法简单的优点, 而且通过 PSO 算法优化 BP 神经网络有效提高了 BP 全局学习能力, 克服了原有学习策略下易陷入局部极值的缺陷。相比灰色预测模型和灰色神经网络模型, 实验证明, 基于 PSO 算法优化灰色神经网络的预测模型的预测精度更高。

参考文献:

[1] 王丰效. GM(1, 1) 组合预测模型及其应用 [J]. 统计与决策, 2006(11): 142-143.