

基于BP-AGA的非线性组合预测方法研究

王 硕¹, 张有富², 金菊良²

(1. 合肥工业大学人文经济学院, 合肥 230009;

2. 合肥工业大学土木建筑工程学院, 合肥 230009)

[摘要] 运用神经网络和加速遗传算法建立非线性组合预测模型, 在BP算法训练网络出现收敛速度缓慢时启用加速遗传算法(AGA)来优化网络参数, 把AGA的优化结果作为BP算法的初始值, 再用BP算法训练网络, 如此交替运行BP算法和AGA以加快网络的收敛速度, 同时改善局部最小问题。最后给出实例研究, 结果表明, 该方法能明显提高预测精度。

[关键词] 神经网络; 加速遗传算法; 非线性组合预测; 预测精度

[中图分类号] G304 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)04-0083-05

1 引言

在预测实践中, 对于同一预测问题可以采用多种预测方法, 不同的预测方法往往能提供不同的有用信息。如果简单地预测误差平方和较大的一些方法舍弃, 会丢失一些有用的信息。科学的作法是把不同的预测方法进行适当的组合, 形成组合预测方法。组合预测可以综合利用各单项预测方法提供的信息, 集成不同信息来源的预测结果, 从而有效地提高预测精度。近年来, 组合预测研究一直是国内外预测学界探讨的热点问题。根据集结各单项预测模型的方式, 组合预测可分为线性组合预测和非线性组合预测。线性组合预测相对比较简单, 研究成果较多, 最为人们常用^[1~4]。笔者在前期工作的基础上, 提出基于BP-AGA的非线性组合预测方法, 针对BP(back propagation algorithm)神经网络在学习后期收敛速度慢、存在局部最小问题, 引入加速遗传算法(AGA, accelerating genetic algorithm)来训练网络参数, 进而建立可用于组合预测的基于遗传算法的BP神经网络模型, 并进行

实例研究。结果表明, 该方法大大优于线性组合预测方法。

2 基于BP-AGA的非线性组合预测方法

假设有 n 种方法可用于同一预测问题, 实际统计数据有 N 期, Y_k 为第 k 期统计观测值, Y_{ik} 为第 i 种方法第 k 期的拟合预测值, F_k 为基于BP-AGA的非线性组合预测方法的拟合预测值, $e_k = Y_k - F_k$ 为组合预测方法的预测误差, ($i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, N$), $SSE = \sum_{k=1}^N e_k^2$ 为组合预测方法的预测误差平方和。

人工神经网络(ANN, artificial neural network)是基于模仿人类大脑的结构和功能而构成的一种计算机信息处理系统, 它具有记忆、联想、自适应、自组织、容错性、鲁棒性等一系列优点。已经证明^[5], 对于任意 L_2 上从 R_n 到 R_m 的映射 G , 都存在一个3层BP神经网络, 可以任意精度逼近 G , 对 n 和 m 的大小没有限制。这使得预测的组合问题可以化成3层BP神经网络来

[收稿日期] 2004-03-08; **修回日期** 2004-06-17

[基金项目] 教育部科学技术研究重点资助项目(104259); 安徽省高等学校教学研究资助项目(2005126)

[作者简介] 王 硕(1964-), 男, 安徽合肥市人, 博士, 合肥工业大学教授, 博士后, 硕士研究生导师

解决。

BP算法是一种负梯度优化算法,虽然简单、直观、易于编制程序在计算机上实现,但学习速度慢、存在局部最小问题,影响网络的外推能力。在BP算法训练网络出现收敛速度缓慢时启用加速遗传算法(AGA)来优化网络参数,把AGA的优化结果作为BP算法的初始值再用BP算法训练网络,如此交替运行BP算法和AGA以加快网络的收敛速度,同时改善局部最小问题,基于BP-AGA的非线性组合预测方法分为非线性组合预测BP算法和优化组合预测BP算法的网络参数两部分。

2.1 非线性组合预测BP算法

以 $\{Y_{1k}, Y_{2k}, \dots, Y_{nk}\}$ 作为输入样本, $\{Y_k\}$ 作为输出样本,输入神经元和输出神经元节点(即神经元)数目分别为 n 和1。隐层神经元节点数目 m 一般根据问题的复杂程度,训练样本容量和实际要求由建模者的经验和试验工作确定,文献[5]研究表明, m 的取值可在 $n \leq m \leq 2n + 1$ 范围内调试。但 m 较大,网络的概括能力较低,训练时间较长,在达到给定拟合精度条件下, m 应取尽可能小的值,隐层神经元节点数目 m 可取为 $n^{[5]}$,即BP网络的拓扑结构为 $n:n:1$ (见图1)。

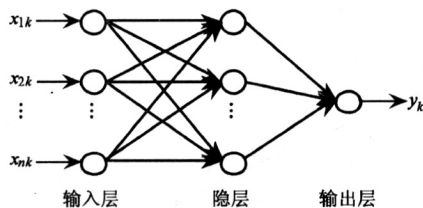


图1 BP网络模型

Fig.1 BP network model

记输入神经元为 h 、隐层神经元为 i 、输出神经元 j ,隐层节点 i 、输出层节点 j 的阈值分别为 θ_i, θ_j ,输入层节点 h 与隐层节点 i 间及隐层节点 i 与输出层节点 j 间的接线的权值分别为 w_{hi}, w_{ij} ,各节点的输入、输出分别为 x, y 。BP算法如下:

Step 1 初始化。设已归一化的输入、输出样本为 $\{x_{hk}, d_k (h=1,2,\dots,n; k=1,2,\dots,N)\}$ 。给各连接权值、阈值赋予 $(-1, 1)$ 区间上的随机值。

Step 2 置 $k=1$ 。把样本对 (x_{hk}, d_k) 提供给网络。

Step 3 计算隐层各节点的输入 x_i 、输出 y_i :

$$x_i = \sum_{h=1}^n w_{hi} x_{hk} + \theta_i, y_i = 1/(1 + e^{-x_i}),$$

$$(i = 1, 2, \dots, n).$$

Step 4 计算输出层节点的输入 x_j 、输出 y_j :

$$x_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} y_i + \theta_j, y_j = 1/(1 + e^{-x_j}).$$

Step 5 计算输出层节点所收到的总输入变化时单样本点误差 $E_k = 0.5(y_j - d_k)^2$ 的变化率:

$$\frac{\partial E_k}{\partial x_j} = y_j(1 - y_j)(y_j - d_k).$$

Step 6 计算隐层各节点所收到的总输入变化时单样本点误差 E_k 的变化率:

$$\frac{\partial E_k}{\partial x_i} = y_i(1 - y_i) \left(\frac{\partial E_k}{\partial x_j} w_{ij} \right), (i = 1, 2, \dots, n).$$

Step 7 修正各连接的权值和阈值:

$$w_{ij}^{m+1} = w_{ij}^m - \eta \frac{\partial E_k}{\partial x_j} y_i + \alpha(w_{ij}^m - w_{ij}^{m-1}),$$

$$\theta_j^{m+1} = \theta_j^m - \eta \frac{\partial E_k}{\partial x_j} + \alpha(\theta_j^m - \theta_j^{m-1}),$$

$$w_{hi}^{m+1} = w_{hi}^m - \eta \frac{\partial E_k}{\partial x_i} x_{hk} + \alpha(w_{hi}^m - w_{hi}^{m-1}),$$

$$\theta_i^{m+1} = \theta_i^m - \eta \frac{\partial E_k}{\partial x_i} + \alpha(\theta_i^m - \theta_i^{m-1}),$$

其中, m 为修正次数, η 为学习速率且 $\eta \in (0, 1)$, α 为动量因子且 $\alpha \in (0, 1)$ 。

Step 8 置 $k=k+1$,转Step 3,直至全部 N 个样本点训练完毕,转Step 9。

Step 9 转Step 2,进行新一轮学习,直至网络全局误差函数

$$E = \sum_{k=1}^N E_k = \sum_{k=1}^N (y_j - d_k)^2 / 2 \quad (1)$$

小于预先设定的一个较小值或学习次数大于预先设定的值,结束学习。

2.2 优化组合预测BP算法的网络参数

上述BP网络的参数包括 $\theta_i, \theta_j, w_{hi}$ 和 w_{ij} ,BP网络的参数优化问题是指估计网络各连接的权值和阈值,使式(1)极小化,用于优化BP网络参数的加速遗传算法包括Step 9^[2, 5]:

Step 1 BP网络参数的变化区间的构造。设 c_j 是在BP算法训练网络出现收敛速度缓慢时网络的任一参数的值,则它的变化区间构造为 $[a_j, b_j]$,其中, $a_j = c_j - d|c_j|, b_j = c_j + d|c_j|, d$ 为一正的常数。

Step 2 网络参数的编码。设编码长度为 e ,

把区间 $[a_j, b_j]$ 等分成 $2^e - 1$ 个子区间, 于是整个网络参数变化空间被离散成 $(2^e)^p$ 个格网点。其中, $p = 2n^2 + n + 1$ 。每个格网点称为个体, 它对应网络 p 个参数的一种可能取值状态, 并用 p 个 e 位二进制数表示。这样, p 个网络参数、格网点、个体、二进制数一一对应。

Step 3 至 Step 9 同文献 [2] 中 Step 2 至 Step 8 (略)。

2.3 算法中控制参数的配置^[5]

文献 [5] 研究表明, 在基于 BP-AGA 的非线性组合预测算法中, 控制参数可预先取定:

1) 在 BP 网络中, 学习因子 $\eta = 0.1$, 动量系数 $\alpha = 0.1$;

2) 在 AGA 中, 编码长度 e 可取定 10, 变异率 p_m 可取 1.0, 父代个体数目 q 取 300, 优秀个体数目 s 取 10。

3 实例研究

例 1 选用二次回归预测模型 (方法 1), 一阶线性滞后差分模型 (方法 2), 多元回归预测模型 (方法 3), 各模型的预测值及实际值见表 1^[1, 2]。

表 1 三种模型的预测值及实际值

Table 1 Three model's forecasting values and practice values

序号 k	实际值 Y_k	方法 1 的预测值 Y_{1k}	方法 2 的预测值 Y_{2k}	方法 3 的预测值 Y_{3k}	BP-AGA 的预测值 F_k
1	2 236.000 0	2 796.320 1	2 236.000 0	2 316.722 7	2 058.858 0
2	2 266.000 0	2 766.830 1	2 395.466 3	2 500.288 8	2 113.645 0
3	2 000.000 0	2 757.399 9	2 561.502 4	2 574.449 2	2 268.477 7
4	2 031.000 0	2 768.030 0	2 734.379 4	2 726.316 9	2 438.025 2
5	2 916.000 0	2 798.720 0	2 914.378 9	2 809.504 2	2 723.998 2
6	3 001.000 0	2 849.470 0	3 101.794 4	2 933.871 4	2 993.112 8
7	3 500.000 0	2 920.280 0	3 296.931 4	3 021.105 0	3 304.131 4
8	3 700.000 0	3 011.149 9	3 500.107 9	3 122.201 9	3 573.848 8
9	3 850.000 0	3 122.080 1	3 711.655 3	3 225.045 2	3 807.674 2
10	4 000.000 0	3 253.070 1	3 931.918 5	3 471.715 3	3 900.835 9
11	4 100.000 0	3 404.120 1	4 161.256 3	3 519.356 2	4 124.835 6
12	4 300.000 0	3 575.230 0	4 400.043 0	3 777.689 0	4 201.104 4
13	4 011.000 0	3 766.399 9	4 648.668 0	4 191.414 1	4 193.966 3
14	4 044.000 0	3 977.629 9	4 907.536 1	4 693.555 2	4 125.918 9
15	4 340.000 0	4 208.919 9	5 177.068 9	4 640.409 7	4 422.609 6
16	4 640.000 0	4 460.270 0	5 457.708 0	4 576.580 6	4 649.420 3
17	4 654.000 0	4 731.680 2	5 749.908 7	5 026.020 5	4 705.488 7
18	4 787.000 0	5 023.149 9	6 054.147 9	5 403.210 4	4 804.313 9
19	4 977.000 0	5 334.680 2	6 370.921 9	5 570.586 4	4 997.106 4
20	5 355.000 0	5 666.270 0	6 700.747 1	5 568.387 7	5 236.398 7
21	5 461.000 0	6 017.919 9	7 044.160 6	5 852.355 5	5 452.436 3
22	5 316.000 0	6 389.629 9	7 401.723 1	6 167.214 4	5 714.427 6
23	6 388.000 0	6 781.399 9	7 774.017 1	6 562.639 6	6 034.446 2
24	6 125.000 0	7 193.230 0	8 161.649 4	6 647.645 0	6 437.480 9
25	7 152.000 0	7 625.120 2	8 565.252 0	7 043.860 4	6 926.809 9
26	7 707.000 0	8 077.069 8	8 985.483 4	7 722.803 7	7 542.528 7
27	8 392.000 0	8 549.080 1	9 423.028 3	8 024.044 9	8 248.173 9
28	8 960.000 0	9 041.150 4	9 878.599 6	9 038.871 1	9 084.166 1
29	9 806.000 0	9 553.280 3	10 352.940 4	9 103.766 6	9 895.584 2
30	10 566.000 0	10 085.469 7	10 846.824 2	9 696.405 3	10 672.907 0
31	11 281.000 0	10 637.719 7	11 361.056 6	10 627.927 7	11 312.068 0
32	12 230.000 0	11 210.030 3	11 896.475 6	11 824.769 5	11 720.368 0
33	11 625.000 0	11 802.400 4	12 453.953 1	12 651.807 6	11 966.019 0

文献 [1] 用改进 REW 法, 得最优线性组合预测为 $k_1 = 0.240\ 740\ 76$, $k_2 = 0.018\ 518\ 52$, $k_3 = 0.740\ 740\ 72$, 线性组合预测误差平方和 $SSE_{\min} = 8\ 025\ 917.05$; 文献 [2] 用加速遗传算法 (AGA) 解决该组合预测问题, 得最优线性组合预测为 $k_1 = 0.321\ 329\ 80$, $k_2 = 0.000\ 105\ 92$, $k_3 = 0.678\ 564\ 20$, 线性组合预测误差平方和 $SSE_{\min} = 7\ 985\ 485.00$ 。

现用 BP-AGA 法来进行非线性组合预测, 选择输入层的节点为 3 个, 隐层节点为 3 个, 输出层节点为 1 个。先用 BP 训练 40 000 次, 再用 AGA 加速寻优 10 次, 再用 BP 训练 40 000 次, 其预测值 F_k 见表 1, 网络参数和组合预测误差平方和见表 2。

基于 BP-AGA 的非线性组合预测误差平方和 $SSE_{\min} = 1\ 361\ 856$, 它优于文献 [1] 和文献 [2] 中的结果。

例 2 在文献 [1] 中, 选用指数自回归模型 (方法 1), ARMA 模型 (方法 2), 季节变量回归

表 2 例 1 的网络参数和组合预测误差平方和
Table 2 Network parameters in example 1 and combination forecasting error square sum

参数	隐层神经元 i			组合预测误差平方和
	1	2	3	
w_{1i}	-1.944 115	-12.283 974	-0.357 164	1 361 856
w_{2i}	-1.698 132	28.603 524	-9.466 318	
w_{3i}	-0.746 481	-13.730 895	-4.380 855	
θ_i	4.581 246	0.975 723	-5.580 472	
w_{i1}	-11.674 119	14.075 441	-2.808 669	
θ_j		-3.659 614		

模型 (方法 3), 对某地区一年中逐月的社会商品零售预测, 各模型的预测值及实际值见表 3。

文献 [1] 用变权组合预测方法, 得线性组合预测误差平方和 $SSE_{\min} = 0.043\ 8$ 。

现用 BP-AGA 法来进行非线性组合预测, 选择输入层的节点为 3 个, 隐层节点为 3 个, 输出层节点为 1 个, 其预测值 F_k 见表 3, 网络参数和组合预测误差平方和见表 4。

表 3 某地区一年中逐月的社会商品零售预测

Table 3 Forecasting to society commodity retail month by month in year at certain regain

序号 k	实际值 Y_k	方法 1 的预测值 Y_{1k}	方法 2 的预测值 Y_{2k}	方法 3 的预测值 Y_{3k}	BP-AGA 的预测值 F_k
1	4.56	4.29	4.25	4.17	4.559 414 7
2	4.40	4.24	4.23	4.34	4.398 210 4
3	4.22	4.08	4.13	4.42	4.220 216 2
4	4.09	3.89	4.00	4.10	4.089 160 7
5	3.89	3.82	3.92	4.00	3.882 609 2
6	4.18	3.90	3.96	3.86	4.180 786 9
7	4.29	3.97	4.08	4.00	4.289 862 6
8	4.44	4.17	4.22	4.23	4.441 508 0
9	4.26	4.06	4.24	4.11	4.259 874 6
10	4.02	3.91	3.93	3.87	4.017 258 6
11	3.85	3.86	3.91	3.94	3.869 896 8
12	4.31	4.11	4.08	4.17	4.310 885 9

表 4 例 2 的网络参数和组合预测误差平方和

Table 4 Network parameters in exam.2 and combination forecasting error square sum

参数	隐层神经元 i			组合预测误差平方和
	1	2	3	
w_{1i}	2.507 595	9.164 539	-3.873 299	313×10^{-4}
w_{2i}	-9.187 477	1.106 704	6.623 136	
w_{3i}	2.323 270	-9.573 456	-8.129 233	
θ_i	-1.349 5950	-3.153 131	-2.295 055	
w_{i1}	-12.929 947	7.917 195	-7.318 830	
θ_j		0.429 278		

基于 BP-AGA 的非线性组合预测误差平方和 $SSE_{\min} = 4.660\ 313 \times 10^{-4}$, 它大大优于文献 [1] 中的结果。

参考文献

[1] 唐小我. 经济预测与决策的新方法及其应用研究 [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1997. 9~57, 125~126
[2] 王 硕, 唐小我, 曾 勇. 基于加速遗传算法的组合预测方法研究[J]. 科研管理, 2002, 23(3): 118~121

[3] 王 硕, 唐小我. 组合预测软科学方法研究[J]. 运筹与管理, 1999, 8(1): 83~86

[4] 王 硕, 唐小我. 组合预测系统综合研究[J]. 科学

管理研究, 2000, 18(4): 42~45

[5] 金菊良, 丁 晶. 水资源系统工程[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2002: 79~101

Research on Nonlinear Combination Forecasting Approach Based on BP - AGA

Wang Shuo¹, Zhang Youfu², Jin Juliang²

(1. Humanities & Economics College of Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Civil Engineering College of Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

[Abstract] A nonlinear combination forecasting model was established by using neural network and accelerating genetic algorithm (AGA) in the paper. AGA was used to optimize the network parameters as BP approach was slow with training network. Optimization results of AGA were taken as original values of BP approach, the network was trained with BP approach. Network convergence rate was increased with running BP approach and AGA alternately. Meanwhile the part least problem was improved. Examples were presented finally, as a result, the forecasting precision high in evidence.

[Key words] neural network; accelerating genetic algorithm; nonlinear combination forecasting; forecasting precision

《中国工程科学》2005 年第 7 卷第 5 期要目预告

<p>上海建设网上城市通用系统架构的 实践与前景 严隽琦</p> <p>实现中国钢铁工业的可持续发展 谢启华</p> <p>厦金大桥地区地震危险性远景探讨 彭阜南等</p> <p>军事通信抗干扰工程发展策略研究及建议 姚富强</p> <p>中国当代科学家的创造性人格 甘自恒</p> <p>大菱鲂 (<i>Scophthalmus maximus L</i>) 养殖 现状与可持续发展方向 雷霖霖等</p> <p>装备系统故障自愈工程研究 高金吉</p> <p>粘-温修正的等效粘度模型分析研究 曲庆文</p> <p>嵌入式 Internet 控制系统的设计 与分析 宗 群等</p> <p>基于 MTO 生产策略的供应链联盟集成 决策模型研究 梁 樑等</p>	<p>一种 BP 神经网络的改进方法及其 应用 李宏刚等</p> <p>构成新一代分布式系统的工业以太网 方来华等</p> <p>炉内废气循环气体浓度新模型检测 方法研究 沈远胜等</p> <p>两相分配生物反应器 ——浊点系统在生物转化中的应用 王志龙</p> <p>气体多孔电极反应微观机理及宏观 现象的研究 朱 梅等</p> <p>市场智能经济控制中的统一集方法 初探 包极峰等</p> <p>系统工程风险评估方法的研究进展 曹 云等</p> <p>地下长通道补气口位置对火灾机械排烟 效率的影响 胡隆华等</p>
---	--