

基于遗传算法优化BP神经网络的钟差预报

潘绍林¹ 张显云² 邓小东²

1 毕节市勘测设计研究院 2 贵州大学 矿业学院

DOI:10.32629/gmsm.v3i4.791

[摘要] 高精度的卫星钟差在非差精密单点定位中尤为重要。鉴于卫星钟差的高精度及时效性,对其进行模型建立与预报显得十分必要。神经网络具有很好的泛化能力,能处理各种非线性问题,故本文采用反向传播算法(BP算法)神经网络预报模型。

[关键词] 钟差预报; BP神经网络; 遗传算法; 预报精度

中图分类号: TP389.1 **文献标识码:** A

引言

卫星钟与系统时间之间的同步只能由卫星钟自己维持,而导航卫星载钟的频率总波动是5种不同噪声的线性叠加,极易受外界及其自身因素的影响,其复杂细致的变化规律很难掌握,故要建立一个精确的数学模型来表征卫星钟差的变化规律是非常困难的,为此诸多学者建立并发展了许多卫星钟差预报模型。其中,二次多项式模型进行卫星钟差预报时,误差会随着预报的时间延长而不断积累,并且受已知钟差序列个数的影响。灰色模型因其建模所需历元少(仅需4个历元),易于程序实现,在卫星钟差的建模与预报中得到了广泛运用,但该模型要求钟差序列呈指数规律变化,在实际钟差的建模与预报时,模型的拟合或预报效果有时会出现很大的误差,甚至完全失去预报作用。神经网络具有通过学习训练以任意精度逼近任意非线性函数的能力,突破了建立参数模型的做法,在钟差预报中取得了良好的效果。

1 遗传算法优化的BP神经网络模型

1.1 BP神经网络模型

BP神经网络由Rumelhard和McClelland于1986提出,其结构一般具有输入层、隐含层、输出层,层与层之间多采用全互联方式,同一层的节点之间不存在相互连接。隐含层可以是一层也可以是多层,

表1 预报残差序列的统计特性(单位: ns) Table 1 Statistics of the prediction errors (unit: ns)

卫星编号	方案1						方案2					
	BP			GABP			BP			GABP		
	RMS	mean	range	RMS	mean	range	RMS	mean	range	RMS	mean	range
PRN01	3.129	5.490	10.45 2	1.62 0	2.75 4	5.091	2.77 4	4.412	9.919	1.62 0	2.75 4	5.091
PRN03	10.08 5	29.43 4	35.13 3	4.71 1	7.93 6	15.46 9	9.16 9	12.84 2	27.99 7	4.17 2	7.93 6	15.47 0
PRN22	4.546	3.581	17.36 1	0.35 7	0.58 0	1.082	0.55 8	0.830	1.819	0.35 7	0.58 0	1.082
PRN31	5.545	9.341	18.16 9	2.72 5	4.59 7	8.598	5.12 2	7.700	16.41 9	2.72 5	4.59 7	8.610
PRN32	8.940	14.17 3	28.03 2	4.47 1	7.57 9	14.11 2	8.76 7	12.98 1	27.91 0	4.47 1	7.57 9	14.11 1

但具有一个隐含层的三层网络可以逼近任意非线性函数,所以本文采用具有一层隐含层的BP神经网络,其学习步骤如下: Step1确定网络输入层、隐含层、输出层的节点数,给定神经元激励函数,利用MATLAB中的newff建立BP神经网络,设置网络参数,初始化网络的权值和阈值。Step2网络的训练与测试。

1.2 遗传算法

遗传算法是以达尔文的生物进化论“适者生存、优胜劣汰”和孟德尔的遗传变异理论为基础,模拟生物界进化过程。它具有大范围快速全局搜索能力,不依赖于求解问题的种类,通过随机方式产生若干个所求解问题的数字编码,即染色体,形成初始群体;通过适应度函数给每个个体一个数值评价,淘汰低适应度的个体,选择高适应度的个体参加

遗传操作,经过遗传操作后的个体集合形成下一代新的种群,对这个新种群进行下一轮进化,可以获得最适宜的个体,即问题的满意解。

1.3 基于遗传算法优化的BP神经网络钟差预报方法

BP神经网络具有通过学习训练以任意精度逼近任意非线性函数的能力,被广泛应用于非线性序列预测,但该模型具有对网络初始权值的依赖性较强,极易收敛于局部极小,往往停滞于误差梯度曲面平坦区,收敛速度慢,网络隐含层节点数的确定等缺点。而遗传算法是一种全局优化自适用概率搜索算法,可扩展性较强,易与其它算法结合。因此,通过遗传算法优化BP神经网络的初始权值和阈值,使优化后的BP神经网络能够更好地预测,输出最优的卫星钟差预报值。

遗传算法优化BP神经网络的步骤:

Step1创建任意离散随机种群, 个体编码使用二进制编码。

Step2适应度函数的确定。适应度函数采用排序的适应度分配函数, 目标函数为预测样本的预测值与期望值的误差矩阵的范数。

Step3选择操作。采用随机遍历抽样。

Step4交叉操作。采用最简单的单点交叉算子。

Step5变异操作。变异以一定概率产生变异基因数, 用随机方法选出发生变异的基因。如果所选的基因的编码为1, 则变为0; 反之, 则变为1。

Step6将GA得到的最优权值和阈值代入BP神经网络中训练, 进而进行卫星钟差预报。

2 算例分析

为验证基于遗传算法优化BP神经网络模型在卫星钟差预报中可行性和优越性, 采用2012年9月16日IGS提供的采样率为5min精密钟差分别进行BP和GABP训练并进行钟差预测。考虑到此时星载原子钟的种类, 各选取一颗作为代表, 它们分别是PRN01 (Block IIF Rb)、PRN03 (Block IIA Cs)、PRN22 (Block IIR Rb)、PRN31 (Block IIR-M Rb)、PRN32 (Block IIA Rb) 卫星。设计如下两种方案进行BP和GABP建模, 并进行钟差的预报与分析。

方案1: 以2012年9月16日01:00-01:59时共12个历元的原始钟差数据来预报接下来2小时共24个历元的卫星钟差。

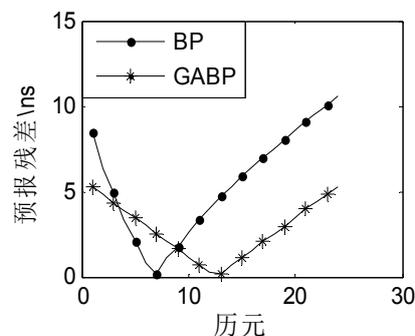
方案2: 以2012年9月16日00:00-01:59时共24个历元的原始钟差数据来预报接下来2小时共24个历元的卫星钟差。

在进行BP神经网络预测前, 首先要进行网络结构的确定, 对网络结构的确定目前还没有标准的方法可遵循, 一般都是通过不断探索和尝试来确定的。网络结构选取的优劣在BP神经网络预测中占据非常重要的地位。因此, 本例中输入层包括二个节点, 它表示精密钟差连续两历元等采样间隔的原始序列, 输出层为一个节点, 它表示网络最终输出的卫星钟差这一变量。隐含层节点数对BP神

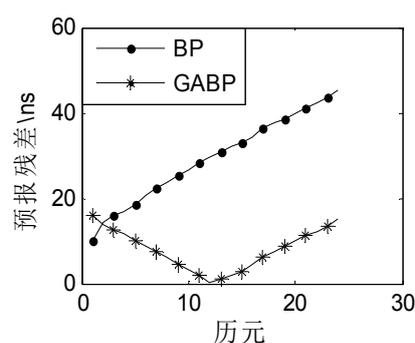
经网络的性能影响很大。对隐含层数目的确定, 到目前为止, 还没有一个通用的理论公式, 而是针对特定的实际问题, 依照经验和现有的理论指导 (如Kolmogorov定理), 设计并采用一个固定的网络结构; 也可设计出多个不同的网络结构, 然后分别对这些结构进行试验尝试, 选取较优的一种网络结构。所以通过不断尝试得到较优的BP网络结构关系2-5-1。其中神经网络的隐含层神经元的传递函数采用tansig(), 输出层神经元的传递函数采用logsig(), 训练函数采用trainlm(), 训练次数为1000, 学习速率为0.1, 训练目标为10⁻¹⁵。对于遗传算法优化的BP神经网络, 为便于同传统的BP神经网络进行比较, 所设置的网络训练参数与BP神经网络所设置的一样, GA种群数为40, 最大遗传代数为50, 交叉概率为0.7, 变异概率为0.01。算例分析时, 对预报残差取绝对值, 采用均方根误差(RMS), 平均误差(mean), 极差(range, 最大误差与最小误差之差的绝对值)作为统计量。

采用两种方案进行BP和GABP模型钟差预报, 得到表1和图1-图2所示结果。

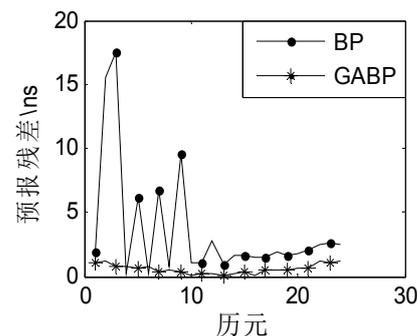
1.1 PRN01



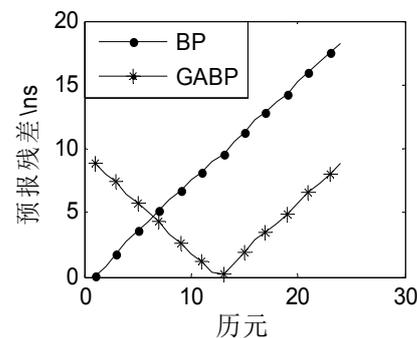
1.2 PRN03



1.3 PRN22



1.4 PRN31



1.5 PRN32

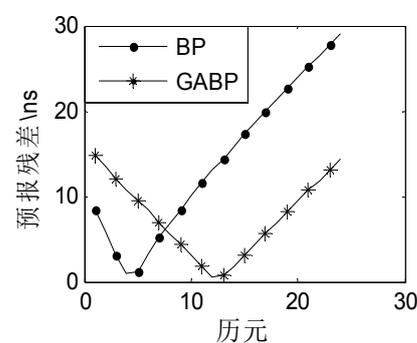
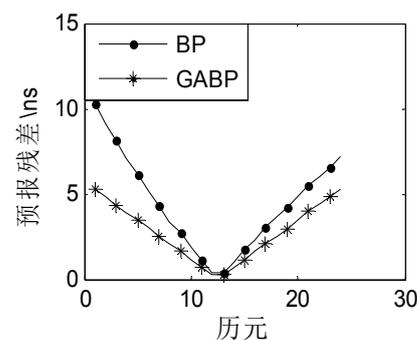


图1 方案1下五颗卫星钟差预报残差序列

Figure 1 Prediction error of 5 satellites under scheme1

2.1 PRN01



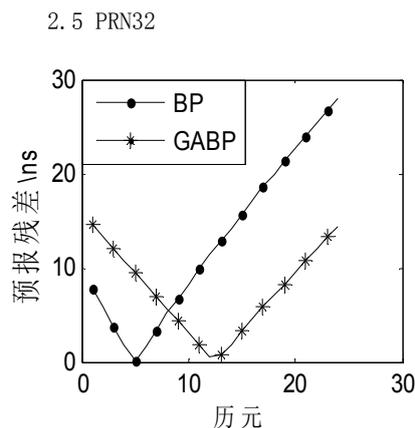
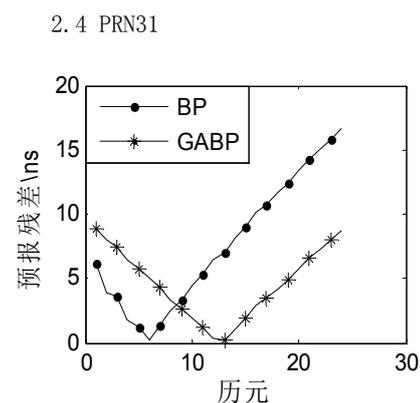
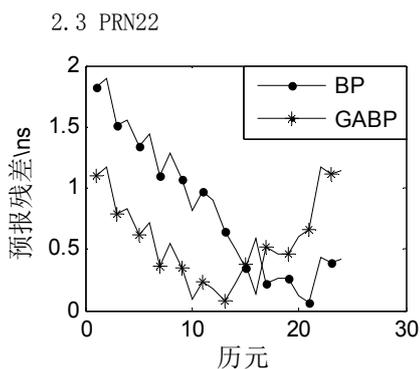
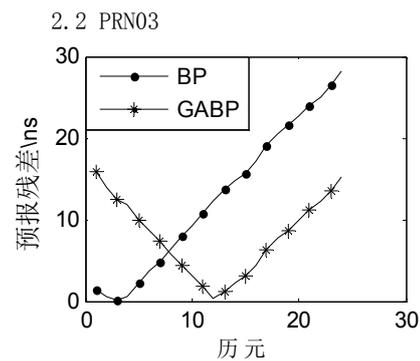


图2 方案2下五颗卫星钟差预报残差序列
2 Prediction error of 5 satellites
under scheme2

由表1和图1-图2可以得出:

(1) 方案2与方案1相比, 传统的BP神经网络模型随训练数据增加预报精度有所提高, 这说明训练数据和测试数据达到一定的比例进行BP神经网络训练能提高钟差预报精度; 而GABP模型预测精度基本一致, 这体现了同情况下训练数据少或不足时, 采用GABP模型具有一定优势。

(2) 相同条件下不论是进行Rb钟还是Cs钟的预报, GABP模型的预报稳定性和预报精度均高于BP模型, 说明通过遗传算法得到了更好的网络权值和阈值, 从而提高了钟差预报的精度。

(3) 不论采用GABP模型还是传统的

BP模型进行预报, Rb钟的预报稳定性和预报精度均好于Cs钟, 这是由于载有Cs钟的卫星发射时间最早, Cs钟自身精度不高, 加之长时间使用导致设备老化, 随着卫星的更新换代, 星载原子钟的稳定性不断提升。

3 结束语

BP神经网络具有很好的泛化能力, 只含有一个隐含层的三层BP神经网络就可以逼近任意非线性函数, 但其容易陷入局部极小等不足, 鉴于此, 提出通过遗传算法优化BP神经网络的初始权值和阈值, 建立了GABP模型。此处值得一提: BP神经网络结构确定是个难点, 没有一个通用的理论公式。故而针对不同类型卫星钟差文件, 不断尝试与试验, 选取较优的网络结构。相对于BP神经网络模型, 本文提出的GABP模型更适用于卫星钟差预报, 精度得到了改善。

[参考文献]

- [1] 黄观文, 杨元喜, 张勤. 开窗分类因子抗差自适应序贯平差用于卫星钟差参数估计与预报[J]. 测绘学报, 2011, 40(1): 15-21.
- [2] 刘继业, 等. 基于改进粒子群优化LS-SVM的卫星钟差预报研究[J]. 宇航学报, 2013, 34(11): 1509-1515.
- [3] 王继刚. 组合模型预报导航卫星钟差[J]. 大地测量与地球动力学, 2012, 32(1): 84-88.