

基于自适应神经网络的电路系统故障诊断研究

曲婧华

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:针对人工神经网络的特点,对传统BP算法进行了全面改进,通过采用自适应学习率和动量因子修正等方法,有效克服了传统BP算法在实际应用中学习收敛速度慢和容易出现局部极小点的缺点。以电路系统的故障诊断为例,引入了模糊数学中的隶属度函数,对故障特征量进行处理后作为自适应神经网络的输入,故障编码作为网络的输出。实验仿真结果表明,该系统对电路故障类型能够有效地进行诊断和识别。

关键词:自适应神经网络;故障诊断;隶属度函数

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)04-0082-03

故障诊断又叫状态分离或状态分析,通过对系统运行时的信号数据进行适当处理,找出与故障原因密切相关的特征量,再通过模式识别、规则推理或数学建模方法,从而确定系统是否有故障及故障发生的部位和原因等。电路系统故障诊断研究历经了3个发展阶段:利用简单仪表进行的人工检测;利用传感器技术、现代测试技术及信号处理技术,实现对多故障模式的监测、识别和诊断;利用人工智能技术,结合领域知识,实现对诊断对象的状态识别、推断故障原因和状态预测。其中,使用人工神经网络技术实现智能故障诊断是近些年研究的热点。

1 自适应神经网络

人工神经网络是由大量的处理单元(神经元)广泛互联而成的网络,其主要特点是复杂的非线性动力学、网络的全局作用、大规模并行处理及高级的学习联想能力^[1-2]。BP(Back-propagation)神经网络是最典型、应用最广泛的一类人工神经网络,其核心是BP算法。BP算法的实质是梯度下降法,存在着易陷入局部极小点以及收敛速度慢等问题。自适应神经网络,通过采用自适应学习率和动量因子修正等方法,有效克服了BP算法的不足,是解决电路系统故障诊断问题的有效途径。

1.1 BP算法步骤

BP神经网络由输入层、隐层和输出层构成,各层间通过连接权来连接,连接权起着特征传递的作用。隐层可以有一层或多层,在学习过程中起着特征探测和特征抽取的作用。

传统BP算法是通过反复调整网络各层神经元之间的权值和阈值,以达到不断逼近网络输入和输出参数之间复杂非线性函数的目的。调整的原则是使网络输出值和样本输出值之间的误差越来越小,网络训练好的标准是使误差达到要求的精度。BP算法^[2-4]包括如下基本步骤:①初始化网络及学习参数;②提供训练模式,训练网络,直到满足学习要求;③前向传播过程:对给定的训练模式输入,计算网络的输出模式,并与期望模式比较,若有误差,则执行④,否则,返回②;④后向传播过程:计算同一层单元的误差,修正权值和阈值,返回②。

1.2 自适应BP算法的改进

1.2.1 加快迭代收敛

收稿日期:2005-11-01

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(2004F21)

作者简介:曲婧华(1982-),女,山东烟台人,硕士生,主要从事电路与系统研究。

为了避免得到局部最小解,避免由一个训练样本模式转换为另一个训练样本模式输入时误差可能过大而引起的权值系数过调,加快收敛速度,防止震荡,在迭代公式中,增加动量因子 a 进行修正,即:

$$w_{ij}(n_0 + 1) = w_{ij}(n_0) + \eta \sum_{p_1=1}^p \delta_{ij}^{p_1} x_i^{p_1} + a(w_{ij}(n_0) - w_{ij}(n_0 - 1)) \quad (1)$$

式中, n_0 是循环次数, η 是学习率, p 是学习样本的数量, $w_{ij}(n_0 + 1)$ 表示神经元之间的权值。

1.2.2 自适应学习率

$$\eta = \mu / \sum_j (y_i(n_0))^2 \quad (2)$$

其中, μ 为控制因子常数, $y_i(n_0)$ 为第 i 个神经元的输出值。学习率 η ($0 < \eta < 1$) 为网络规模和网络状态的函数,由自适应 BP 算法自动计算得到。它的作用是自动调节算法迭代计算时的步长,当学习开始阶段,将步长调整为较大的值,以加快学习过程;当快到极值点时,将步长调整为较小的值,以利于算法收敛,使算法寻优过程更流畅。

2 电路系统的故障诊断

使用自适应神经网络进行电路系统的故障诊断时,引入了模糊数学中的隶属度函数^[5-6],对故障特征量进行处理后作为自适应神经网络的输入,故障编码作为网络的输出。用典型故障样本集合的特征向量和对应于故障输出的标准样本集合作为老师信号,对自适应神经网络进行训练。训练完成后,故障诊断信息被转换为网络系统的权值和阈值储存在网络中。当输入任意故障识别特征量时,通过自适应神经网络的计算,即可判读电路系统相应的故障类型。

这里以某雷达系统的一种振荡电路为例,介绍自适应神经网络在电路系统故障诊断中的应用。

2.1 故障模式的确定

经过分析,该振荡电路的 8 种典型故障模式见表 1。

表 1 典型故障模式列表

故障 0	故障 1	故障 2	故障 3	故障 4	故障 5	故障 6	故障 7
正常	波形失真	振荡波 动太大	反馈失效	不起振	起振	频率失调	综合故障

2.2 输入向量隶属度函数的确定

选取该振荡电路的 8 种典型电压信号作为故障信息,经归一化处理后,作为自适应神经网络的输入。在归一化处理时,选择“升半柯西分布”函数作为输入向量的隶属度函数,其表达式为

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & , \text{当 } 0 \leq x < a \text{ 时} \\ k(x-a)^2 / [1 + k(x+a)^2] & , \text{当 } 0 \leq x < \infty \text{ 时} \end{cases} \quad (3)$$

其中,参数 k 和 a 是待定的常数, k 决定了分布曲线的变化率, k 越大则表示对于信号的变化,隶属度反应越敏感;当 k 一定时, a 变大相当于将曲线向右平移,即隶属度减小。这里,参数 k 和 a 的取值根据电路系统的具体数值来确定。

2.3 故障模式的判定

目前用于故障诊断的决策方法主要有阈值法和假设检验法两类^[2]。这里使用阈值函数来判定振荡电路的故障模式。用 F_k 表示故障模式类型,则

$$F_k = \begin{cases} 0(\text{正常}), & y_k > \varphi_k \\ 1(\text{故障}), & y_k \leq \varphi_k \end{cases} \quad (4)$$

其中, y_k 为输出层第 k 个神经元的输出值, φ_k 为常数(根据经验数据由专家设定的阈值)。

3 故障诊断的仿真应用

在 Matlab6.1 仿真环境下^[7],使用神经网络设计工具对该振荡电路的故障诊断进行仿真。其中,输入节点数为 9,隐层节点数为 6,输出层节点数为 8,动量因子为 0.82,阈值 φ_k 为 0.95。传统 BP 算法经过 23 586 次、自适应 BP 算法经过 13 269 次训练调整后,均方误差达到 0.000 1,满足误差要求(如图 1 所示)。可见,

在学习速度以及训练精度上自适应 BP 算法要优于传统 BP 算法。

为检验经过训练的神经网络的故障诊断结果,分别使用典型的训练故障样本集合和测试故障集合对网络进行测试,结果见表 2。从表中可以看出,其训练模式与测试模式的平均正确率达到 96.5%,故障诊断率高,诊断效果理想。

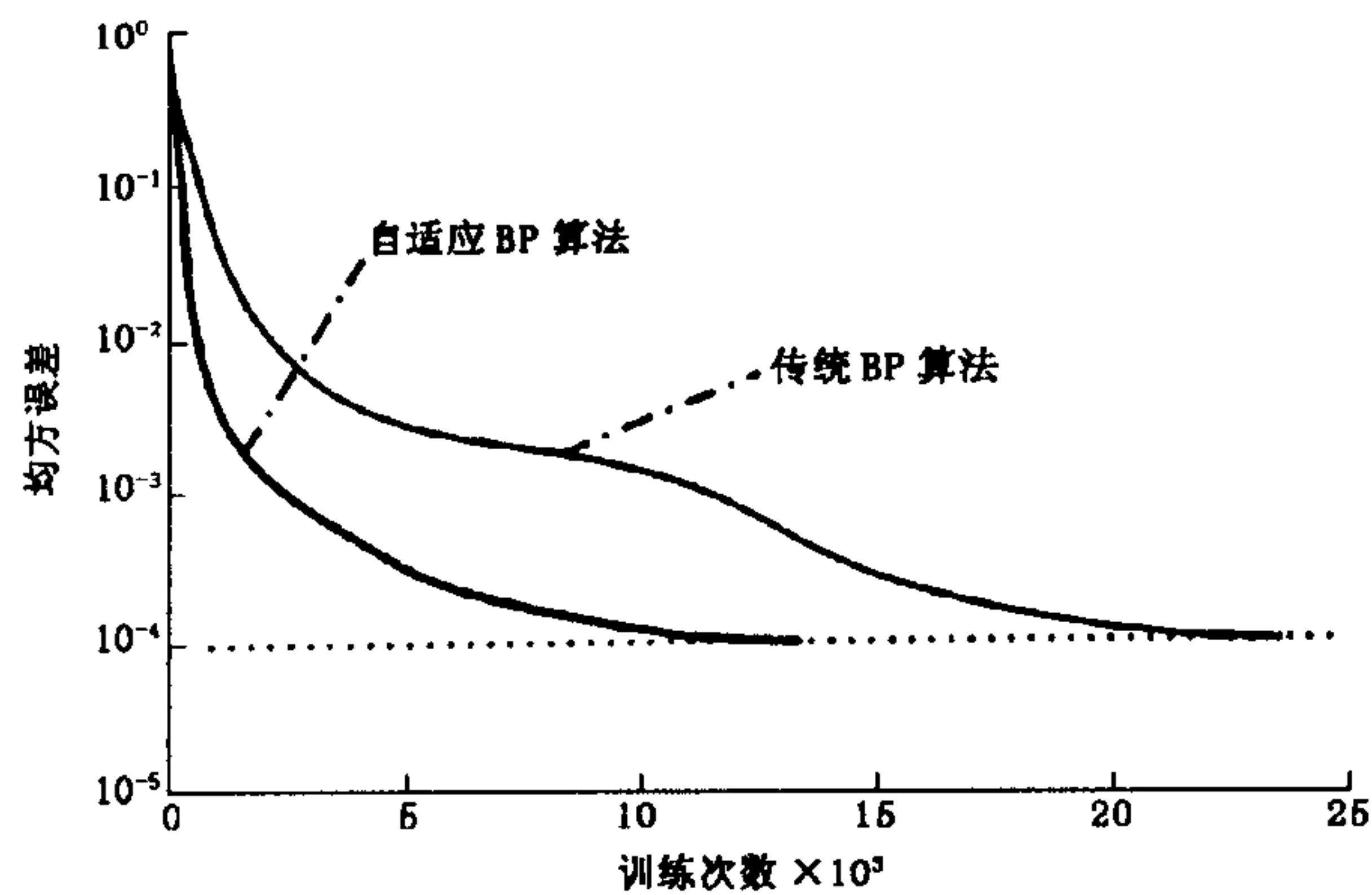


图 1 网络训练过程及训练速度对比

表 2 电路系统故障诊断结果

类型	总数	正确诊断数目	正确率/%
训练样本	110	109	99
测试样本	35	31	88

4 结束语

基于自适应神经网络的电路系统故障诊断方法不仅可以提高故障诊断的速度和准确度,且易于在计算机上实现,从而便于将本方法与状态检修系统集成,进行在线或离线故障诊断。不过,本文中故障模式的判定方法尚需根据经验数据由领域内专家参与决策,有待进一步研究改进。

参考文献:

- [1] Peng Chong. An Expert System for Circuit Fault Diagnosis Based on Artificial Neural Networks[J]. Systems Engineering and Electronics, 2002, 24(10):45-48.
- [2] 王承,谢勇乐. 小波神经网络在模拟电路故障诊断中的应用[J]. 系统仿真学报,2005,17(8):1936-1938.
- [3] 管桦,魏瑞轩. 一种用于传感器故障检测的改进残差检验法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2005,6(3):26-28.
- [4] 鞠训光,于洪珍. 基于神经网络-模糊推理构建弹药贮存温度湿度监控系统[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2005,6(6):34-37.
- [5] 李季,严东超. BP神经网络改进算法在电气故障诊断系统中的应用[J]. 电力科学与工程,2005,11(1):69-72.
- [6] 王正武,张瑞平. 基于神经网络的故障模糊诊断研究[J]. 系统工程学报,2005,20(3):330-334.
- [7] 从爽. 面向 MATLAB 工具箱的神经网络理论与应用[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2003.

(编辑:田新华)

Research on Fault Diagnosis of Circuit System Based on Adaptive Neural Network

QU Jing-hua

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract: The traditional back-propagation algorithm has some disadvantages, for instance, the speed of learning convergence is too slow and local extreme values are present in the process of search sometimes. In order to solve the problems described above, this paper applies adaptive learning rate and momentum term to improve the general back-propagation algorithm. Taking the circuit system's fault diagnosis for example, the basic fault features are transformed by means of using the fuzzy sets of fuzzy mathematics, and take as the inputs of the adaptive neural network. And then, the fault codes are used as the outputs of adaptive neural network. The experiment simulation results show that this method can be used to diagnose and identify the fault types of circuit system effectively.

Key words: adaptive neural network; fault diagnosis; fuzzy sets