

加快神经网络训练速度的方法 在旋转机械故障诊断中的应用

哈尔滨工业大学 刘占生** 武新华 夏松波

【摘要】 根据一双跨转子实验台,模拟了转子与静子在轮盘处及轴颈处碰磨、轴系不对中及转子不平衡故障,通过一个信号自动处理装置记录下转子正常振动信号及发生各种故障时的信号,然后利用研制的人工神经网络系统对故障示例进行学习。通过在实际中诊断故障,证明这种是可行的。本文还针对人工神经网络(BP 算法)存在的训练速度慢的问题,提出了一个加快网络训练速度的新方法(ARBP 算法),较大提高了网络的训练速度。

主题词: 转子 故障诊断 神经网络

分类号: TP277 TK267

发动机状态监测与故障诊断系统能在发动机出现故障后及时诊断故障的原因及部位,提高发动机的可靠性^[1]。由于人工智能专家系统方法的知识获取问题很难解决,因此近年来又开始研究将人工神经网络方法用于机械故障诊断中并获得较大成功^[2-5]。但在应用过程中,也存在许多问题^[5-8],如前馈网络BP 算法训练速度慢等。本文在将这种方法应用于转子故障诊断的基础上提出了一种加快BP 网络训练速度的新方法。较大地提高了神经网络的训练速度。

1 改进的BP 算法(ARBP 算法)

经过大量的实验研究发现,网络权值一般在训练初期权值变化比较复杂,但当训练达到一定次数后,权值呈单调规律变化,这个时期利用网络历史权值的信息,用AR 模型估计新的权值,可提高网络训练速度。

为了应用方便采用AR (2) 二阶自阶回归模型,如公式(1)所示,历史序列有6 个值,用最小二乘估计模型参数。这里仅根据近期给定的6 个观测数据进行估计,在取得新的观测数据后,去掉历史最久的数据对参数估计的影响,使得估计结果只反应近期几组数据带来的信息。

$$x(t) = Q_1 x(t-1) + Q_2 x(t-2) \quad (1)$$

用最小二乘法可估计出模型参数 Q_1, Q_2 ^[9],如公式(2)所示。

$$Q_1 = (\alpha_1 Y_2 - \alpha_2 Y_1) / (\beta_1 Y_2 - \beta_2 Y_1), \quad Q_2 = (\alpha_1 \beta_2 - \alpha_2 \beta_1) / (\beta_2 Y_1 - \beta_1 Y_2) \quad (2)$$

$x(t)$ 表示当前时刻网络连接权值的估计值, $x(t-1), x(t-2), \dots$ 分别表示前一个时刻及前几个时刻的历史权值序列。在用此模型时,为了使预测数据准确,历史序列在输入模型前应减去均值,预测后的权值再加上此均值^[9]。

ARBP 算法的基本原理是首先根据传统的BP 算法迭代,并每隔一定的迭代次数 Δn 保存

一组网络权值, 这样就可根据要求对每一个连接权值保存 Δ_m 个历史数据, 根据这 Δ_m 个历史权值序列用上节所述的方法估计新的权值, 并以此作为网络的初始权值继续迭代 Δ_n 次, 将此新的权值作为观测值 $x(t)$, 并将其与前 $\Delta_m - 1$ 个历史权值序列一起作为新的历史序列再次对网络权值进行估计, 以此类推, 直到网络输出误差小于给定值。

这种算法的工作过程如下: (1) 确定历史权值序列的元素个数 Δ_m , 确定 AR 序列之间 BP 网络迭代次数 Δ_n , 确定网络的初始权值; (2) 用 BP 算法训练网络, 并且每迭代 Δ_n 次记忆一个权值作为 AR 模型的历史序列, 直到 AR 历史序列数达到 Δ_m 个; (3) 将 Δ_m 个 AR 序列值分别减去这 Δ_m 个序列的平均值; (4) 利用梯度下降法求得的优化权值公式的 AR (2) 自回归模型估计网络新的权值; (5) 将此估计权值加上前 Δ_m 个权值序列的平均值, 作为序列的最后一个新值, 同时去掉序列最前面的一个值, 这样就形成了新的 AR 序列, 然后继续用 BP 算法迭代 Δ_n 次; (6) 若此时网络输出误差小于给定误差则结束, 否则转 (3) 继续运行。

这里需注意两点, 一是 Δ_n 的选取很重要, 它对提高网络的训练速度影响较大, 二是 Δ_m 的值不能太大, 若太大计算机内存可能不够, 若太小 AR 模型不易收敛。

2 实验数据的测量及归一化与模拟诊断

通过实验模拟各种故障, 研究在各种故障状态下的输出, 可用这些模拟故障训练网络。本

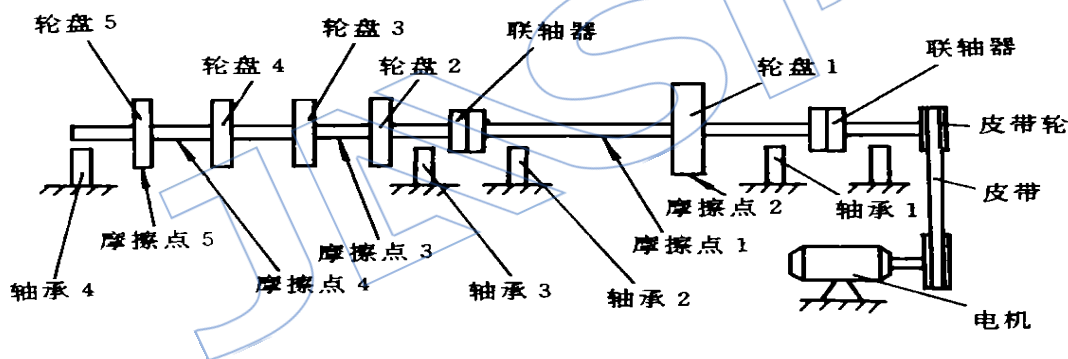


图1 双跨转子实验台

文首先通过实验模拟了转子不平衡、轴系不对中和转子动静碰摩 3 种故障。实验装置如图 1 所示。

转子动静碰摩故障是在图 1 所示的实验台上完成的, 在 800 r/min 时在轮盘上及轴颈处使转子与静子碰摩, 碰摩装置如图 2 所示, 并分别在各种故障下测量轴承处的轴振动频谱成份, 如表 1 所示。轴系不对中故障的模拟是将 3 号轴承标高提高 1 mm, 对各轴承处的轴振动进行测试和分析, 结果如表 1 所示。不平衡故障的模拟是在 3 号盘及 4 号盘处分别加入 $30 \text{ g} \cdot \text{cm}$ 及 $40 \text{ g} \cdot \text{cm}$ 的不平衡质量, 分别测得这两种情况下轴振动频谱成份, 如表 1 所示。

测取的数据若不经处理直接输入到神经网络进行训练, 可使训练结果不稳定, 发生误诊断, 若将其归一化, 可使网络的稳定性提高, 并能突出一些影响较大的征兆。按文献[10]的方法, 首先确定各个征兆的报警值(单位: μm) $0-1/2$ 、 $1/2$ 、 $1/2-1$ 倍频幅值均为 20; 1、2、3、4、5 倍频幅值分别为 160、80、60、60、60;

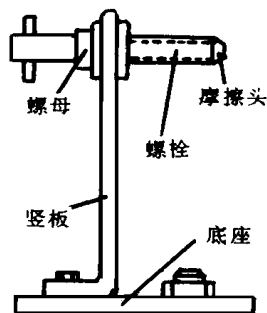


图2 摩擦装置

并以此报警值按模糊隶属函数中的升半柯西公式(3)来对各个征兆 x 进行归一化,其中 x_a 为该征兆 x 的报警值。

$$\mu(x)=x_2/(x_a^2+x^2)$$

(3)

根据此式可将表 1 所列的各个故障示例归一化,如表 2 所示。

表 1 各种故障下的振动数据 (单位: μm)

示 例	输 入 值 (倍频幅值)							
	0- 1/2	1/2	1/2- 1	1	2	3	4	5
1 加入 30 $g \cdot \text{cm}$ 不平衡质量后的轴振动	1	1	0	244	40	20	2	3
2 加入 40 $g \cdot \text{cm}$ 不平衡质量后的轴振动	0	0	1	480	27	3	2	2
3 轴系不对中故障示例	1	2	1	196	65	1	0	1
4 轴颈处动静摩擦故障示例	7	3	10	131	40	4	6	20
5 轮盘处动静摩擦故障示例	7	10	7	105	40	20	3	2

为了验证上述方法的正确性,我们选取了一个 8 输入节点,4 个隐节点及 3 个输出节点的三层网络作为研究对象,节点转移函数为 Sigmoid 函数,训练示例是通过上述实验测取的 3 种典型故障的 5 个示例,如表 2 所示。

表 2 归一化后的各种故障下的训练示例

示例号	输 入 值									输 出 值		
	0- 1/2 倍频幅值	1/2	1/2- 1	1	2	3	4	5		1	2	3
1 内	0.0	0.0	0.0	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0		0.8	0.0	0.0
2 容	0.0	0.0	0.0	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0		1.0	0.0	0.0
3 同	0.0	0.0	0.0	0.6	0.4	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	1.0
4 表	0.1	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.0	0.1		0.0	1.0	0.0
5 1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0		0.0	1.0	0.0

用传统的BP 算法及本文提出的ARBP 算法对表 2 所示的 5 个示例进行了训练,结果如表 3 所示。从此表可看出,ARBP 算法速度要比传统BP 算法速度高很多,要求的精度越高,

表 3 BP 算法与 ARBP 算法的性能比较

训练误差	BP 算法迭代次数	ARBP 算法迭代次数	历史权值个数 $\triangle m$	训练间距 $\triangle n$
0.00002	485283	1713		
0.00006	193106	1521		
0.00010	125439	1500		
0.00060	36421	1421	6	100
0.00140	14375	1367		
0.000220	6371	1293		

ARBP 算法的优越性越突出。用模拟训练后的网格,对各种故障下测试的数据进行诊断,结果是正确的。

3 结果分析

由于 ARBP 算法是用 AR 模型来估计网络权值, 而 AR 模型一般是用来处理平稳随机序列的, 它根据大量的已知序列来估计未来时刻的权值, 而将其用于神经网络权值的估计则由于计算机内存的限制不可能提供太多的历史序列。而网络权值, 在迭代初期变化比较复杂, 因此当历史序列值太少时, 训练可能不收敛, 解决这一问题的方法有两个: (1) 加大训练间距 Δn ; (2) 在用 ARBP 算法前, 先用 BP 算法迭代, 使权值越过非单调段。通过以上分析可看出, 本文所提出的序列分析与 BP 算法相结合的 ARBP 算法能加快网络的训练速度, 在实际应用中达到了比较理想的效果。但针对网络存在的稳定性问题还有待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 陈大光 燃气涡轮发动机的状态监测与故障诊断 航空学报, 1989, 10(6): 1- 12
- 2 张小栋, 朱均等 BP 网络在 200MW 汽轮发电机组故障模糊诊断中的应用研究 振动、测试与诊断, 1994, 14(4): 23- 30
- 3 邝朴生 人工神经网络技术及其在故障诊断中的应用, 设备诊断工程 1995, 1: 26- 30
- 4 臧朝平, 张思 BP 神经网络模型在旋转机械故障诊断中的应用 第三届振动理论及应用学术会议, 1993: 382- 387
- 5 Hoskins J C, Himmelbau D M. Artificial Neural Network Models of Knowledge Representation in Chemical Engineering Comput Chem Engine, 1988, 12(9): 881- 890
- 6 Hong Y Xu, Baird C R. Synergism of Neural Networks and Expert Systems for System Identification Expert Systems with Applications, 1992: 225- 233
- 7 Alexander G Parlos, Benito Fernandez, Amir F Aliya, Wei K Tsa An Accelerated Learning Algorithm for Multilayer Perceptron Networks IEEE Transactions on Neural Networks, 1994, 5(3): 493- 497
- 8 Bianchini M, Gori M, Maggini On the Problem of Local Minima in Recurrent Neural Networks IEEE Transactions on Neural Networks, 1994, 5(2): 167- 177
- 9 甘仞初 动态数据的统计分析 北京理工大学出版社, 1991
- 10 Liu Zhansheng Machine Learning Method Applied to Acquire Knowledge of a Fault Diagnostic Expert System of Rotating Machineries Journal of Harbin Institute of Technology, 1996, 3(1): 14- 19

(责任编辑 魏星禄)

programming special attention was paid to the addition of artificial viscosity, so that the solution could not be polluted. Baldwin-Lomax Turbulence model is applied to programming. The program has been verified by plate laminar flow, plate turbulent flow and Goldman Turbine vane flow. Firstly, the calculation of the plate laminar flow coincided with Blasius similarity solution; Secondly, the result of the plate turbulent flow was confirmed well with empirical formula and the calculation of Wilcox; Finally, with respect to the Goldman turbine vane flow field, the comparison was made between calculated results and experimental data of pressure distribution over blade profile. It indicated their consistency except fluctuations of the calculated results at leading and trail edge of vane blade. The source of the fluctuations lied in simple H type grid which could not describe the true blade profile and caused so big shear that the calculation scheme was deteriorated. The calculated Mach contour lines agreed to the simulation results of China. All of those indicated that the program suits to designing system of turbomachinery.

Key Words Cascade flow Three dimensional flow Numerical computation

FRACTURE MECHANICS ANALYSIS OF FATIGUE STRENGTH OF LAP- WELDED JOINTS

Ding Lei and Fan Yinhe

(2nd Dept. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

ABSTRACT According to the elastic fracture mechanics, a parameter of lap stress intensity K_0 was used to describe the fatigue strength of lap-welded joints. Various influential factors of the K_0 have been analysed by finite element method. Therefore an empirical formula for K_0 was deduced. From fatigue experiments of the lap-welded joints specimens made by two kinds of material (GH150 and 1Cr18Ni9Ti), two ΔK - N curves were obtained. The fatigue life of various complicated lap-welded joints can be estimated more accurately with the ΔK - N curves presented in this paper.

Key Words Lap welding Fatigue strength Linear elastic fracture mechanics

FAULT DIAGNOSIS OF ROTATING MACHINERY USING BACK PROPAGATION NEURAL NETWORK

Liu Zhansheng, Wu Xinhua, Xia Songbo

(Power Engineering Dept. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

ABSTRACT The faults of rub between rotor and stator, misalignment test rig of the shafting, and unbalance of the rotor are simulated at a compressor test rig. The normal vibration signals of the rotor and the signals of the various emerging faults are registered and sampled by an automatic signal processor. Then a new-developed back propagation neural network is employed to learn the fault diagnosis from the sampled faults and a new method for accelerating the learning speed has been proposed in this paper.

Key Words Rotor Neural networks Fault diagnosis