

模糊自组织神经网络在汽轮机 转子故障诊断中的应用*

汪 健 蒋东翔 倪维斗
(清华大学)

[摘要] 针对汽轮机转子故障分类问题,采用模糊数学和自组织特征映射神经网络方法诊断汽轮机转子的故障。该方法具有结构算法简单、无监督自学习和侧向联想等功能。经故障实例验证是一种十分有效的汽轮机转子故障分类方法。

关键词 汽轮机转子 故障诊断 模糊数学 神经网络

中图法分类号 TK267; TP18

0 前言

汽轮机转子故障诊断实质上是一种状态识别与分类问题,是根据传感器测量的各种状态参数来判断其运行状态,一旦发生异常即刻进行诊断,找出故障原因。目前人们已经提出并研究了多种汽轮机转子的故障诊断方法,如:模糊综合评判、模糊聚类分析、模式识别、BP神经网络、专家系统等,这些方法都有其各自的优点和不足。

人工神经网络以其独特的联想、记忆和学习功能在机械设备故障诊断领域受到广泛关注^[1],其中研究较多的是BP神经网络及其改进算法。本文把模糊数学和自组织特征映射神经网络用于汽轮机转子的故障诊断,该诊断方法既吸收了现有诊断方法的优点,同BP神经网络相比又有其自己的独特之处,如:结构算法简单、无监督自学习速度快和侧向联想等功能。

1 自组织特征映射人工神经网络的结构与学习

自组织特征映射人工神经网络的结构如图1所示^[2,3]。该网络由输入层和输出层组成,其中输入层的神经元个数的选取按输入网络的向量个数而定,输入神经元接收网络的输入信号;输出层则是由神经元按一定的方式排列成一个平面。输入层的神经元与输出层的神经元通过权值相互联结在一起。当网络接收到外部的输入信号以后,输出层的某个神经元便会兴奋起来。

具体的使用过程是:首先训练神经网络,然后进入工作状态。其训练过程分以下几个步骤:

- (1) 随机选取权值 W ;
- (2) 并将准备好的一个样本 $X_i (i = 1, 2, 3 \dots n, \text{样本的个数})$, 输入到神经网络中, 计算联结权值与输入模式的距离 $\|X_i - W_c\|$;
- (3) 求最小的距离 $\|X_i - W_c\| = \min \|X_i$

* 国家“攀登 B”支持项目

收稿日期 1996-09-25

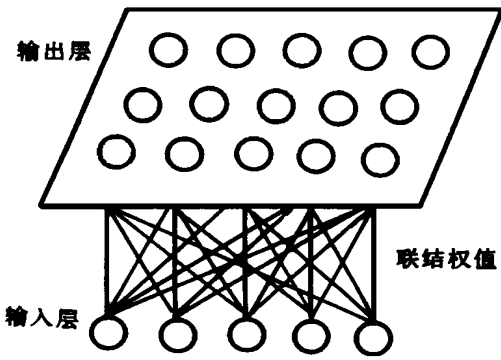


图1 自组织特征映射模型

- W_{ij} , 距离最小的那个神经元兴奋, 称之为获胜元。与它相邻的神经元为之邻域 $N_c(t)$ 。

(4) 调整权值:

$$\begin{cases} W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \tau(t) [W_{ij}(t) - X_i] & j \in N_c(t) \\ W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) & j \notin N_c(t) \end{cases}$$

式中 $\tau(t)$ 为学习因子;

(5) 调整学习因子和邻域, 直达学习因子减到 0, 或者达到邻域的要求。这时的获胜元才是最终的获胜者。并将该获胜元记录下来;

(6) 返回到第 (2) 步。接着训练第二个样本, 依次类推, 训练完所有的样本, 并分别记录下每个样本映射的位置。训练完毕。

2 汽轮机转子故障诊断知识的自学习

对于汽轮机转子的故障诊断通常是通过测量转子的振动信号, 通过时域和频域分析来判别汽轮机转子的运行状态。这里利用了已有的研究成果^[5 6 7], 即通过对转子典型故障特征与机理的研究, 建立的转子振动频谱特征标准模式样本作为神经网络的训练样本, 它们是转子不平衡 M_1 、不对中 M_2 、油膜振荡 M_3 、部件松动 M_4 、蒸汽振荡 M_5 、碰摩 M_6 。其标准样本模式如下:

$$M_1(0, 0, 0, 0, 0.9, 0.05, 0.05, 0, 0);$$

$$M_2(0, 0, 0, 0, 0.4, 0.5, 0.1, 0, 0);$$

$$M_3(0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0);$$

$$M_4(0.8, 0, 0, 0, 0.2, 0, 0, 0, 0);$$

$$M_5(0.3, 0.1, 0.6, 0, 0, 0, 0, 0);$$

$$M_6(0.05, 0.1, 0.05, 0.3, 0.1, 0.2, 0.1, 0.1);$$

将所有这些标准样本知识输入到自组织神经网络系统中去, 系统经过训练, 反复调整权值, 训练完成后在输出层映射的结果为图 2 所示。该神经网络的输入层为 8 个神经元, 输出为 64 (8×8) 个神经元。从图 2 中可以看出, 当故障征兆相近的, 映射在输出平面的位置也接近 (例如 M_1 和 M_2), 这种特性为自组织特征映射神经网络所具有的拓扑映射特性。训练完成后, 进行模式标记, 并记录下网络的联结权值, 以待诊断时使用。

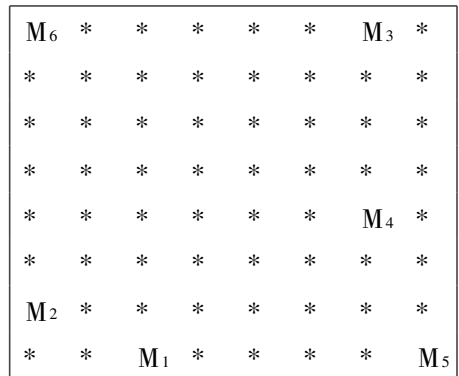


图2 所有训练结果

3 故障诊断实例

某 200 MW 汽轮机转子的振动故障信号经过频域分析和模糊数学处理之后的特征向量分别为^[6 7]:

$$F_1(0, 0, 0, 0.9, 0.1, 0, 0, 0);$$

$$F_2(0, 0, 0, 0.4, 0.6, 0, 0, 0);$$

$$F_3(0, 0, 0, 0.6, 0.4, 0, 0, 0);$$

$$F_4(0.05, 0.1, 0.05, 0.3, 0.2, 0.1, 0.1, 0.1);$$

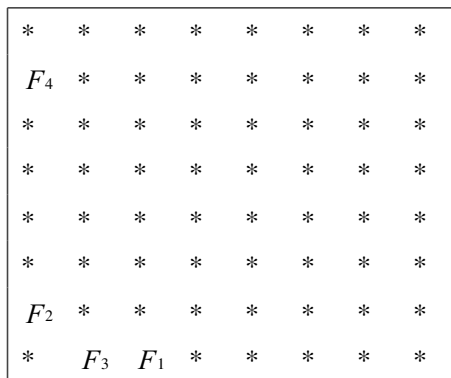


图 3 故障诊断结果

这四个故障经专家诊断: 分别确诊为不平衡 F_1 、不对中 F_2 、不平衡加不对中 F_3 、碰摩 F_4 。

现将这几组数据, 经过处理以后送入已训练的自组织特征映射神经网络之中, 网络映射的结果显示于图 3 中。 F_1 的映射结果与 M_1 的位置相同, F_2 与 M_2 的位置相同, 因此网络判断出第一、二种输入模式的故障为 M_1 不平衡和 M_2 不对中。第三种模式输入网络后, 给出的映射结果与 M_1 和 M_2 的位置都最近, 按照网络拓扑映射的特征, 可以判断出模式三 F_3 的故障为 $M_1 + M_2$ 即不平衡加不对中, 模式四 F_4 的数据输入网络后, 映射的位置与训练的结果都不相同, 从图 2 中可以看出, 它的位置距离 M_6 的位置相对近些, 由此判断, 模式四的故障接近 M_6 , 即可确定模式四 F_4 的故障类型为碰摩。

4 结论

本文探讨了模糊自组织特征映射人工神

神经网络在汽轮机转子故障诊断中的应用方法。该网络具有结构算法简单、无监督自学习速度和侧向联想功能等优点。经故障实例验证是一种实用的有效的汽轮机转子故障分类方法。

参考文献

- 1 吴蒙, 贡壁, 何振亚. 神经网络和机械故障诊断. 振动工程学报, 1993, 6(2): 153-163
- 2 焦季成. 神经网络系统理论. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1990
- 3 Kohonen. The self-organizing map. Proceedings of IEEE, 1990, 78(9): 1464-1481
- 4 Ni Weidou, Wang Jian. Fault diagnostic system on knowledge for steam turbogenerator. Proceedings of The IEEE Conference on Industrial Technology Guang Zhou, China 5-9 December, 1994
- 5 米切尔. J.S. 机器故障的分析与监测. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 6 蒋东翔, 黄文虎等. 旋转机械运行状态的模糊模式识别. 哈尔滨工业大学学报, 1995, 27(1): 89-93
- 7 蒋东翔. 分布式智能监测与诊断系统的理论与实践. 哈尔滨工业大学, 博士学位论文, 1994

作者简介: 汪健, 女, 1963年生, 讲师。本科毕业于西安交通大学能源与动力工程系。1997年获清华大学工学博士学位, 专业为动力工程及控制。博士论文题目: 基于热力参数的大型机组热力循环的集成故障诊断系统。参与国家“攀登 B”计划项目“现代电能系统的运行与控制的新理论和新技术”的科研课题。曾从事热力系统数值仿真, 并主要从事火力发电站热力系统状态监测与故障诊断系统、神经网络、模糊数学等的研究与应用。发表相关文章若干篇。(联系地址: 清华大学人事处)

(辉 编)

朋友们, 春节好!

discusses the design philosophy of the modification scheme and proposes a new type of high-temperature boiler flue gas tube construction. **Key words** high-temperature boiler flue gas tube, failure analysis, structural design

模糊自组织神经网络在汽轮机转子故障诊断中的应用 = (Application of Fuzzy Self-organizing Neural Networks in a Steam Turbine Rotor Fault Diagnosis) [刊, 中] / Wang Jian, Jiang Dongxiang, Ni Weidou (Qinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(1). - 43- 45

In the light of the problems involved in a steam turbine rotor fault diagnosis proposed in this paper is a new diagnostic method based on a fuzzy self-organizing neural network. The proposed method features a simple structural algorithm, supervision-free self-study and lateral thought association, etc. This highly effective method for turbine rotor failure classification has been verified in the course of its practical use. **Key words** steam turbine rotor, failure diagnosis, fuzzy mathematics, neural network

能源及化工过程中的事故仿真 = (Failure Simulation in Energy Sources and Chemical Engineering Processes) [刊, 中] / Xiao Lichuan, Xue Guoxin (Jiangsu Petrochemical Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(1). - 46- 48

After a discussion of the universal method for failure setting in energy sources and chemical engineering processes the authors come up with a transitional general function for the interface of failure status and normal operating condition. A generally applicable form of failure occurrence and an exit from ascertainment criteria are also given. Furthermore, other details concerning the failure entering form and its succession have been taken into account. **Key words** failure, simulation, transitional general function, failure ascertainment, failure succession

炉内冷态流场数值模拟算法讨论及验证 = (A Discussion and Verification of the Numerical Simulation of a Cold-state Flow Field in a Boiler) [刊, 中] / Sun Ping, Fan Jianren, Cen Kefa (Zhejiang University), Xie Hailong (Northeast Electrical Power Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(1) - 49- 52

Studied in this paper are some convergence promotion methods for the simulation of flow fields in a boiler furnace by the use of a Simpler method and the specific features of Quicke scheme. Heating surfaces in the furnace are treated through the use of multi-hole rate in conjunction with resistance distribution. The calculated results agree well with experimental ones. **Key words** simulation of flow field, Quicke scheme, multi-hole rate

旋转机械振动故障的模糊诊断 = (Fuzzy Diagnosis of Rotating Machinery Vibration Faults) [刊, 中] / Ruan Yue, Xu Shichang (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. 01998, 13(1). - 53- 56

After making an analysis of the existing difficulties in the failure analysis of rotating machinery vibration failures this paper presents a mathematical model for conducting failure mechanism study and failure diagnosis. On the basis of symptoms asserting a positive and negative trend of the vibration failures proposed is a fuzzy recognition matrix of fault diagnosis with the realization of a complex failure diagnosis. **Key words** vibration failure, fuzzy diagnosis, mathematical model, rotating machinery

自然循环蒸发系统运行特性分析模型 = (A Model for Analysing the Operating Characteristics of a Natural Circulation Boiling System) [刊中] / Wang Guangjun, Li Hongyuan (Northeast Electrical Power Engineering Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power - 1998, 13(1). - 57- 60

Proceeding from a basic physical equation a distribution parameter model of natural circulation boiling system was established and a numerical calculation method based on a fluid microelement tracing philosophy also proposed. By using this model it is possible to not only conduct the static-state calculation of the boiling system