

模糊神经网络故障诊断专家系统

关惠玲 王伟
(郑州工业大学振动工程研究所)

摘 要 模糊诊断和神经网络有机结合能够提高设备故障诊断技术水平,文章阐述了单症兆诊断模型及多症兆诊断模糊模型与神经网络的有机结合;论述以模糊诊断原理为根据发展的扩展神经网络子网和子节点的可塑性学习方法和以模糊模式识别理论指导学习样本的组织方法。简述基于上述模糊神经网络的诊断系统及诊断系统的生产现场实例验证。

关键词 故障诊断 神经网络 模糊诊断 专家系统
中图分类号:TP 206

1 前言

在故障诊断领域最成功最具代表性的诊断模型是模糊诊断模型[2]。该模型比较成功地描述了故障诊断实际。人工神经网络以其强有力的学习和并行处理能力在故障诊断专家领域迅速兴起。人工神经网络本意是模拟人脑结构去反映客观世界以解决客观世界的问题。然而,目前的神经网络模型相当于一个“黑匣子”,仅能做到故障症兆特征空间与故障模式空间之间的非线性映射,泯灭了故障诊断的技术内容和内在实质,把模糊诊断和神经网络两模型结合给神经网络赋予内容,让模糊诊断模型实现快速简单的计算,将使故障诊断技术提高一步。

目前模糊诊断模型和神经网络的结合仅在网络的输入层节点输入向量的构成上[3][4]和神经网络输出向量的解释上,如模糊模型诊断结果可信度与神经网络权值的等价性等[4]。这样的结合是非实质性的结合,仅是对神经网络的输入和输出向量以模糊解释。本文探讨模糊诊断和神经网络有机结合在故障诊断技术上的应用。

2 故障的单症兆诊断

故障的单症兆诊断基于模糊影射理论。模型为:

- 1) 症兆特征集: $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$;
- 2) 故障种类集: $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$;
- 3) 影射矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & & & \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \cdots \\ R_m \end{bmatrix}$$
$$R_i = \{r_{i1} r_{i2} \cdots r_{in}\}$$

4) 诊断模型:

$$F=C\otimes R$$

(1)

模型中 f_i 表示第 i 种故障, c_i 表示征兆的第 i 种特征,如波形征兆的陡峭特征。

R 矩阵中的 R_i 为征兆特征 C_i 在故障集 F 上的影射。 r_{ij} 表示征兆第 i 种特征对第 j 种故障的影射值。此值就是故障诊断知识。 r_{ij} 的值直接影响故障诊断准确性,其获得可有两种方法:专家打分和借鉴模糊关系方程求得。模糊关系方程求解,可能无解或多解(最大解,最小解,极小解等),且求解不易,很少有人采用,专家打分是目前通常采用的方法,专家打分存在因人而异的缺点,客观性较差。一位现场专家看到一张波形图,可以说出可能是何故障,却很难讲明波形陡峭系数对此故障的影射值。这正是知识获取“瓶颈”问题的生动体现。

将模糊模型与神经网络结合可获得令人满意的结果。引入如图 1 所示的神经网络模型:

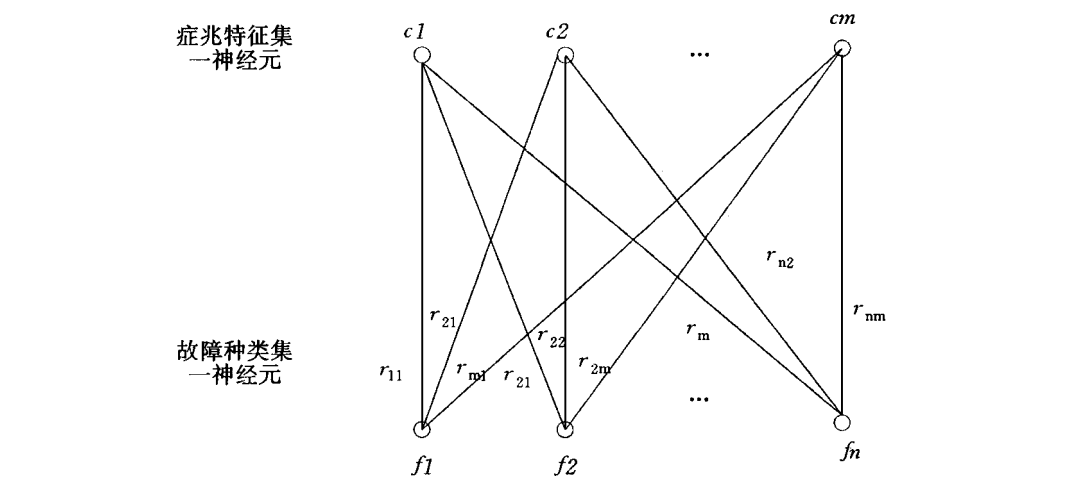


图 1 单征兆诊断神经网络模型

利用简单的 BP 算法即可得 R 矩阵。领域专家的经验是故障诊断的知识宝库。这些知识在专家头脑中是模糊值,但这些模糊值与精确值不会相差太远,充分利用专家知识,将专家打分值作为矩阵学习的初始值,学习效率高且避免了陷入极小的困境。且此模型诊断结果的模糊解释是真正意义的模糊概念,而非形式上的。

3 多征兆综合诊断模型

每个征兆对故障有一诊断结果,最终结果应为各个征兆诊断结果的综合决断。模糊决断模型基于模糊综合决策理论:

1) 征兆种类集:

$S = \{s_1 s_2 \dots s_l\} = \{\text{波形, 频谱} \dots \text{润滑油温度}\};$

2) 故障种类集:

$F = \{f_1 f_2 \dots f_n\} = \{\text{不平衡, 不对中,} \dots \text{裂纹}\};$

3) 判决矩阵:

$$J = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j_{11} j_{12} \dots j_{1n} \\ j_{21} j_{22} \dots j_{2n} \\ \dots \\ j_{l1} j_{l2} \dots j_{ln} \end{bmatrix}$$

J 矩阵中 F_i 为第 i 种征兆诊断结果向量: $F_i = \{j_{i1} j_{i2} \dots j_{in}\}$

4) 决策权系数: $W = \{w_1 w_2 \dots w_l\};$

根据专家经验和故障诊断理论,从模糊数学理论上对此模型进行两种新发展:

(1) 决策权系数集扩展为权系数矩阵

同一征兆对不同故障的权重是不一样的。例如，轴承润滑油温度对油膜失稳类故障的诊断起至关重要作用，而对其它类故障作用要小的多。因此每种故障均应有自己权系数集，所有故障权系数集构成权系数矩阵。

$$W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \dots \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11}w_{12}\cdots w_{1l} \\ w_{21}w_{22}\cdots w_{2l} \\ \dots \\ w_{n1}w_{n2}\cdots w_{nl} \end{bmatrix}$$

其中 W_i 为第 i 种故障的权系数集, $W_i = \{w_{i1}w_{i2}\cdots w_{il}\}$

(2) 决策权系数集的归一化

根据模糊数学理论，决策权系数集的归一化是：

$$\sum_{j=1}^l w_{ij} = 1 \qquad (j = 1, \dots, l) \tag{2}$$

诊断故障的征兆是有充分征兆(群)，必要征兆(群)，充要征兆(群)，辅助征兆(群) 之分的，而且具有智能的故障诊断专家系统应当在一些征兆未知条件下能正确诊断。所以决策权系数集中充分征兆(群) 权系数之和为 1，充要权系数之和为 1。

所以新发展后的模糊综合诊断模型为：

$$F = W \otimes J \tag{3}$$

至此，诊断的正确性就取决于矩阵 W 的值。 W 值的获取存在的问题类同前述影射矩阵。同样与神经网络结合，利用最简单的 BP 算法即可求得令人信服的结果。其模型如图 2 所示。

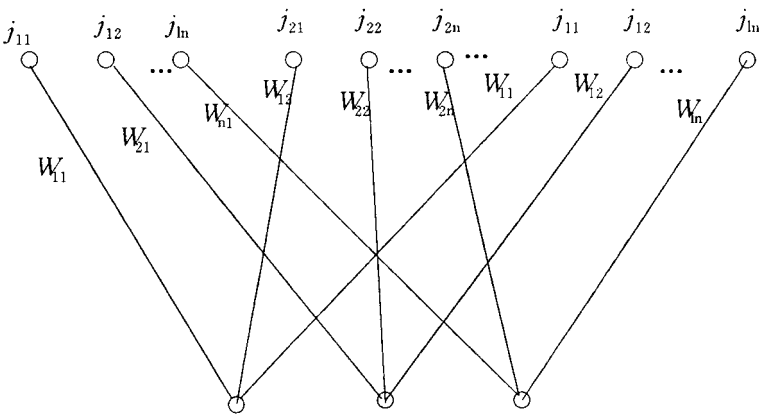


图 2 多征兆诊断神经网络模型

至此，诊断的正确性就取决于矩阵 W 的值， W 值获取存在的问题类同前述影射矩阵。同样与神经网络模型结合利用最简单的 BP 算法即可求得令人信服的结果。其模型如图 2 所示。

4 模糊理论指导神经网络训练范例的组织

仅依据神经网络理论，从结果的可感性知，三层神经网络已足够，这是基于一种故障一种标准样本而言的，故障诊断的许多概念具有模糊性。例如，任何转子的不平衡量是不能完全消除的，但在允许范围内不能诊断为不平衡故障，设 X 为最大允许的不平衡量， $Y > X$ ， $Z > X$ ， $Y \neq Z$ ，不平衡量分别为 Y 和 Z 时的状态都是不平衡故障的标准样本。因此，仅不平衡一种故障就需要一系列样本。这给训练造成很大压力，神经网络的“鲁棒”性仅解决不同样本输入后不会陷入僵局，而不能解决输出预期结果问题。当因为故障程度不同而造成输出差异时无法解释是何故。

根据模糊模式识别理论,可以识别出相近样本输入向量。因此,每一种故障提炼出一种具代表性标准样本对神经网络进行训练。在诊断时,输入向量先由模糊模式识别子系统预处理,再以处理后的样本作为网络的输入向量。

模糊模式识别系统还兼任指导网络学习。

目前故障诊断领域采用的基本上是普通神经网络。这种网络不具有“可塑性”,即学习新知识时,已有知识全部忘记,这与人脑学习规律相背离。自适应共振理论网络(ART)[4]具有可塑性,但ART占空间大且执行过程非常耗费时间,用并行处理计算机或神经网络计算机实现很好,在普通机上不适用,应用模糊模式识别指导学习,可获得不太复杂的可塑性神经网络。

根据单征兆诊断模型可知:(1)若新增加一种征兆,仅需增添一单征兆诊断模型的实例;(23)若新增一种征兆特征,仅需给C模糊集增添一元素,R矩阵增添一行;(3)新增一种故障,仅需给F模糊集增添一元素,R矩阵增添一列,这样扩充不影响各个参量的其它值,多征兆模糊诊断模型也具有同样性质。在模糊神经网络模型中:(1)特性对应着扩展一子网络,(2)和(3)特性对应着扩展一节点。这从原理上保证了通过扩展新子网和新节点可以获得学习的可塑性。具体系统功能如下所述。

(1) 学习新知识

模糊识别子系统在识别输入向量时,首先判断是否为已知模式。若为未知模式,系统将做两种处理并在学习系统中提示:(a)“此症状不认识,诊断结果可能有误”(b)“若要学习,请输入故障”。若是学习,系统为新样本扩展一新征兆识别子网和新故障节点,如图3。中虚线所示A子网和B节点,并对子网进行训练。这样原有知识不会忘记。

(2) 修正已有知识

若输入样本为已知样本,用户告诉需要学习,系统根据识别出的模式重新训练相关子网和相关节点。

这样,学习新知识不会忘记原有知识。局部网络有误,局部修正,即不影响全局功能,学习工作量又少,且物理概念明确。

5 模糊神经网络故障诊断系统

模糊神经网络故障诊断系统总网络图如图3所示。

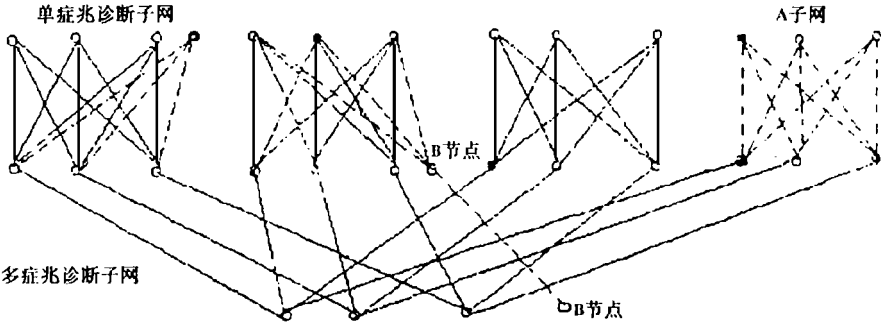


图 3 故障诊断系统总网络

单征兆诊断为振动波形。频谱等13个子网,可诊断14种常见故障。系统在Windows环境下用Borland C++语言建造。

6 生产现场考核验证

以此模糊神经网络模型为依据建立的故障诊断专家系统是1994年10月安装于中原化肥厂。现已历经一年半的考核。本文中的例子来源于现场用户报告。

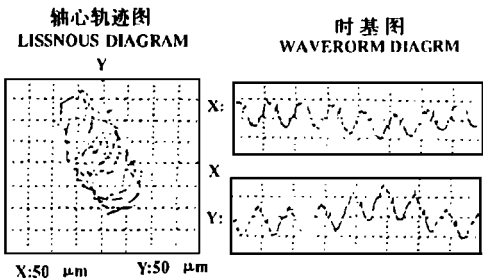
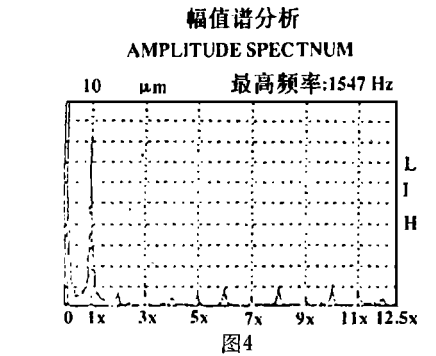
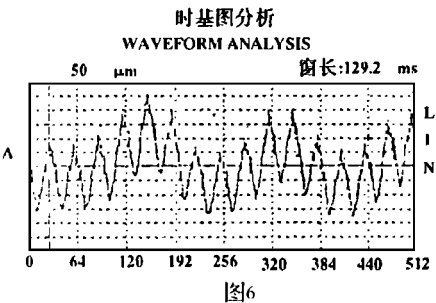


图5



设备故障诊断报告 编号 _____

设备所在车间	设备名称	位 号	使用仪器
合成车间	天然气压缩机	X-01001A	MMDS-9000

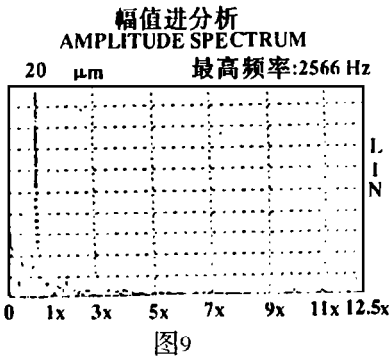
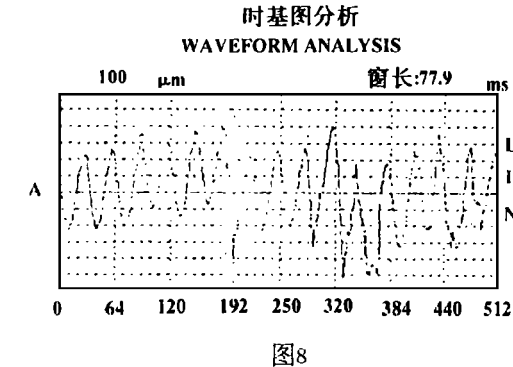
诊 断 结 论

喘 振

图7

实例，1994 年 10 月 27 日发现一故障信号，如图 4、图 5、图 6 所示，诊断结果如图 7 所示，经厂方验证，由于在机组检修完开车时操作工用天然气压缩机蒸汽透平调速器风压信号管的空气进行吹扫清理现场造成机组发生喘振。

实例二，1995 年 10 月 25 号，MMDS-9000 系统的监测系统发现二氧化碳压缩机的 X-08408A 探头信号异常。信号如图 8、图 9 所示，启动诊断系统，系统回答：“征兆模式不认识，诊断不出故障。”现场技术员分析可能是探头坏了。检查结果确为探头坏了，由于原系统设计中没有“探头坏”故障，故系统不认识。启动学习子系统，把此样本作为标准样本对系统进行了扩展子网和子节点训练。重新将实例一的信号由追忆功能调出让系统诊断，结果未变，至今未发现新的“探头坏”故障，正验证未做 [5]。



7 结论及进一步工作

通过以上分析，本文可得如下结论：

- (1) 神经网络的学习算法是求解模糊关系方程的一种有效方法。同时也是模糊数学理论的发展。
- (2) 把领域专家知识作为神经网络学习的初始权重值,实践证明学习效率高,且可以避免陷入局部极小的困境, 这尝试了一种依据工程背景解决神经网络难题的方法。
- (3) 以模糊诊断模型为依据发明的扩充子神经网络和网络节点以获得“可塑性”学习的方法, 是神经网络应用技术的发展。
- (4) 以模糊诊断模型为基础的神经网络不再是一个“黑匣子”, 而是一种具有物理概念的神经网络。这符合专家系统的透明性, 为神经网络在专家系统方面的进一步应用进行了探索。
- (5) 目前正在做的工作是基于此模型的友好解释模块的建造。

参 考 文 献

1 闫家杰等,《模糊数学基础及应用初段》, 郑州: 河南教育出版社, 1993 年
2 关惠玲等, “模糊数学在振动故障诊断中的应用”, 《第四届全国振动理论和技术会议论文集》, 1993 年 6 月
3 杨金才,《模糊神经网络在旋转机械故障诊断中的应用研究》, 郑州工学院硕士论文, 1994 年 5 月
4 施鸿宝,《神经网络及其应用》, 西安交通大学出版社, 1993 年 12 月
5 胡守仁等,《神经网络导论》, 国防科技大学出版社, 1993 年 10 月
6 史忠植等,《神经计算》, 电子工业出版社, 1993 年 11 月
7 张立明,《人工神经网络的模型及其应》, 复旦大学出版社, 1992 年 9 月
8 中原化肥厂,《MMDS-9000 系统用户报告》, 1995 年 12 月
9 《第四届全国机械设备故障诊断学术会议论文集》, 1994 年 4 月
10 《全国设备诊断技术学术会议——95 论文集》, 1995 年 6 月

Faults Diagnosis System Based on Fuzzy Neural Network

Guan Huiling Wang Wei
(Zhengzhou University of Technology)

Abstract Combing fuzzy theory with neural network may improve the technology of mechanical machinery fault diagnlsis. This paper demonstrates the combination of diagnlsis models of single symptom and multi-symptom with neural networks. According to fuzzy diagnosis model, this paper supposes a plastic learning method by adding subnet-works and subjoints. Fuzzy pattern recognition theory directs the samples origination of neural learning. Based on fuzzy neural network model, a machinery fault diagnlsis system is built and tested in production plant.

Keywords fault diagnosis neural networks fuzzy fault diagnosis expert system.