

基于聚类和模糊神经网络的故障诊断

何萌¹, 王彤²

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 空军工程大学 理学院, 陕西 西安 710051)

摘要:模糊神经网络能够发挥模糊逻辑和神经网络的特性,在武器装备的故障诊断中应用越来越广泛。文中提出了一种基于聚类和模糊神经网络的故障诊断模型,该模型首先通过基于关系度的聚类方法得到模糊神经网络的初始结构,并用梯度下降法对网络的参数进行修改,以得到泛化能力好的诊断网络。仿真结果表明该模型是有效的。

关键词:模糊神经网络;信息融合;故障诊断

中图分类号: TP183 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)01-0043-03

随着武器装备复杂性的增加,要得到精确完善的系统模型越来越困难,同时传统基于解析模型的故障诊断方法过分依赖模型,缺乏鲁棒性,因此无模型的故障诊断技术成为目前研究的热点^[2]。模糊神经网络(Fuzzy Neural Network, FNN)能够结合模糊逻辑和神经网络技术的各自优点,既能处理专家知识和经验,又能够通过自学习增加系统的决策能力,在装备故障诊断领域成为一个很有前途的方法^[3-5]。

1 聚类算法和初始模糊规则的确定

目前常采用的基于目标函数的模糊聚类算法,如模糊C均值(FCM, Fuzzy c-Means)等算法,均需要用户事先给定聚类个数 c ,然而聚类结果对聚类个数非常敏感,聚类个数直接影响模糊划分的有效性,对于不同的聚类个数,其聚类结果差异很大。文献[6]提出了一种基于关系度的聚类方法,该方法不需要事先确定聚类个数。算法的主要步骤如下:

设 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 是包含 n 个 $r+1$ 维输入输出数据的集合,每个点表示为 $x_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(r), x_i(r+1)\}$ 。将给定的数据按照关系度的大小,划分为不同的类。

Step1 定义 n 个矢量 $v_i, i = (1, 2, \dots, n)$, 令 $v_i = x_i$, 即 x_i 是 v_i 的初值。

Step2 计算参考矢量 v_i 与比较矢量 v_j 之间的关系度。 $r_{ij} = \exp(-\|v_i - v_j\|/2\sigma^2)$ 。 $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$; $\|v_i - v_j\|$ 表示 v_i 和 v_j 之间的欧氏距离, σ 是高斯函数的宽度。

Step3 修改 v_i 与 v_j 之间的关系度,使得 $r_{ij} = 0$ 。(若 $r_{ij} < \xi$); $r_{ij} = r_{ij}$ (其它)。 ξ 是一个小的常数。

Step4 计算: $v'_i = \{v'_i(1), v'_i(2), \dots, v'_i(r), v'_i(r+1)\}$: $v'_i = (\sum_{j=1}^n r_{ij} v_j) / (\sum_{j=1}^n r_{ij})$ 。

Step5 若所有的 v'_i 和 v_i 相同,则转到 Step6, 否则,令 $v_i = v'_i$, 返回 Step2。

Step6 基于最终结果 v_i , 可以确定聚类的个数等于收敛矢量的数目,具有相同收敛矢量的原始数据被划分为同一类,并且收敛矢量是聚类的中心。

通过上述聚类算法可以将已知数据分为 u 类,并得到相应的聚类中心 $u_m = (u_{1m}, u_{2m}, \dots, u_{rm}, u_{(r+1)m})$, 实际上分别为隶属度函数的中心和输出层权值,再通过计算输入数据点和聚类中心的偏差求得隶属度函数宽度,从而得到 u 个初始模糊规则,这样就得到了 FNN 的隐层神经元数及其参数。

2 FNN 的学习算法

根据上面的初始参数可以构造出初始 FNN,文中为了简化描述,FNN 学习算法只对多输入单输出的系统进行描述,结果可以推广多输入多输出的系统。网络共有 4 层,即输入层、EBF 层、归一化层和输出层。典型的基于 Madamni 模糊规则的模糊神经网络结构见图 1。

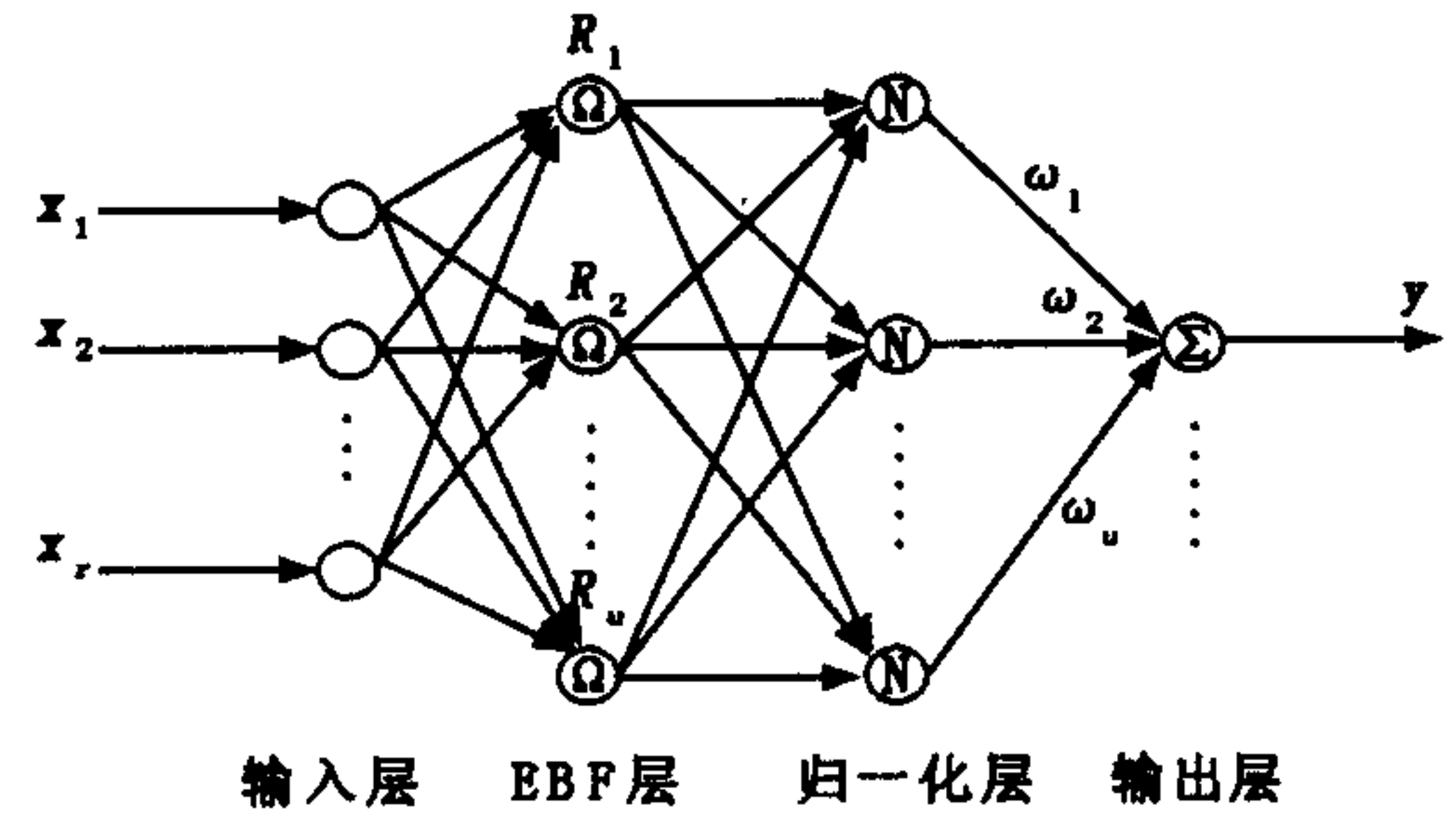


图 1 模糊神经网络结构

输入层:每个节点代表一个输入变量,其中 $x_i, i = 1, 2, \dots, r$, 为输入变量。

EBF 层:每个节点代表一条模糊规则,作用是实现输入变量的模糊化和匹配模糊规则前件。文中分别采用高斯函数计算输入变量的隶属度、积运算计算模糊规则适应度。第 j 个节点的输出为 $\delta_j = \exp[-\sum_{i=1}^r (x_i - c_{ij})^2 / \sigma_{ij}^2]$ 。式中, $j = 1, 2, \dots, u$; c_{ij}, σ_{ij} 为相应高斯函数的中心和宽度; u 为节点数。

归一化层:第 j 个节点输出 $\phi_j = \delta_j / \sum_{j=1}^u \delta_j = \{ \exp[-\sum_{i=1}^r (x_i - c_{ij})^2 / \sigma_{ij}^2] / \sum_{j=1}^u \exp[-\sum_{i=1}^r (x_i - c_{ij})^2 / \sigma_{ij}^2] \}$ 。

输出层:采用加权平均反模糊化的方法,网络输出 $y = \sum_{j=1}^u \phi_j \psi_j = \{ \sum_{j=1}^u \omega_j \exp[-\sum_{i=1}^r (x_i - c_{ij})^2 / \sigma_{ij}^2] / \sum_{j=1}^u \exp[-\sum_{i=1}^r (x_i - c_{ij})^2 / \sigma_{ij}^2] \}$ 。极小化误差函数为 $E = \frac{1}{2} \|D - Y\|^2$ 。式中: Y 是 FNN 的实际输出向量; D 为期望输出向量。

采用前馈神经网络的梯度下降法进行参数修改,输出层权值、隶属度函数的中心和宽度相应的修改算法为: $\omega_j(t+1) = \omega_j(t) - \eta \partial E / \partial \omega_j + \alpha \Delta \omega_j$; $\Delta \omega_j = \omega_j(t) - \omega_j(t-1)$; $c_{ij}(t+1) = c_{ij}(t) - \eta \partial E / \partial c_{ij} + \alpha \Delta c_{ij}$; $\Delta c_{ij} = c_{ij}(t) - c_{ij}(t-1)$; $\sigma_{ij}(t+1) = \sigma_{ij}(t) - \eta \partial E / \partial \sigma_{ij} + \alpha \Delta \sigma_{ij}$; $\Delta \sigma_{ij} = \sigma_{ij}(t) - \sigma_{ij}(t-1)$ 。式中: η 为学习速率; α 为动量系数。

3 仿真研究

设某型导弹部件有 4 种典型故障类型 $F_1 - F_4$ 。用于仿真实验的训练样本^[3]见表 1。

通过聚类算法得到 3 个聚类中心,聚类中心分别为(120.93, 54.93, 0.063, 0.363, 0.392, 0.116), (116.83, 47.58, 0.052, 0.347, 0.466, 0.064), (135.21, 50.57, 0.508, 0.455, 0.117, 0.051),从而得到了初始模糊规则并构造了 FNN 结构,该 FNN 有 3 个隐层节点(EBF 神经元)。经过训练后,利用实际样本数据对该故障诊断系统进行仿真试验,结果见表 2。

表 1 训练样本

征兆参数		故障可信度			
X_1	X_2	F_1	F_2	F_3	F_4
135.4	56.8	0.95	0.05	0.05	0.05
135.4	50.3	0.60	0.60	0.20	0.05
135.4	45.1	0.05	0.60	0.05	0.05
122.8	56.8	0.05	0.60	0.05	0.05
122.8	50.3	0.05	0.20	0.60	0.20
122.8	45.1	0.05	0.05	0.05	0.05
114.9	56.8	0.05	0.05	0.95	0.20
114.9	50.3	0.05	0.95	0.95	0.05
114.9	45.1	0.05	0.05	0.20	0.05

表 2 仿真结果

征兆参数		故障可信度			
X_1	X_2	F_1	F_2	F_3	F_4
135.4	57.0	0.9254	0.05	0.05	0.05
122.8	45.2	0.05	0.05	0.05	0.05
114.8	50.3	0.05	0.9438	0.9438	0.05
136.4	45.8	0.05	0.4458	0.05	0.05
121.4	56.3	0.05	0.7688	0.05	0.05
112.7	50.7	0.05	0.78125	0.78125	0.05

经过分析,当实际数据与样本数据接近时,网络可以精确给出几乎与样本完全相同的结果,而当实验数据与样本数据偏离较大时,网络依然能够给出准确结果。

4 结束语

本文研究了一种基于聚类和模糊神经网络结合的故障诊断模型。该模型能有效利用样本的聚类信息,构造出合理的 FNN 结构。根据仿真结果,证明了方法的有效性。同时为了能够将该方法应用于复杂武器装备的多类故障诊断,有待于一步的研究基于信息融合的故障诊断。

参考文献:

- [1] 杨 军,冯振声,黄考利编著. 装备智能故障诊断技术[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [2] 孙 旭,惠晓滨,李永宾. 远程故障诊断系统中的故障信息[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2004,(5):39-41.
- [3] 刘丙杰,刘勇志. 基于模糊神经网络的导弹故障诊断[J]. 弹箭与制导学报,2003,23(2):68-70.
- [4] 蔡开龙,杨秉政,谢寿生. 基于模糊神经网络的航空发动机故障诊断研究[J]. 机械科学与技术,2004,23(1):96-98.
- [5] Roya Javadpour. A Fuzzy Neural Network Approach to Machine Condition Monitoring[J]. Computers & Industrial Engineering, 2003,(45):323-330.
- [6] 翟东海,李 力,靳 蕃. 基于模糊神经网络的非线性系统模型的辨识[J]. 计算机学报,2004,27(4):561-565.

(编辑:姚树峰)

The Research for Fault Diagnosis Model Based on Clustering Algorithm and Fuzzy Neural Network

HE Meng¹, WANG Tong²

(1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China; 2. The Science Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710051, China)

Abstract: Since fuzzy neural network (FNN) can integrate the advantages of fuzzy logic and neural networks, it is widely applied to equipment fault diagnosis. A fault diagnosis model based on clustering algorithm and FNN is presented in this paper. The Relationship Clustering Method is used in structure identification, and the network parameters are updated by gradient descent method as its learning algorithm. The result of simulation indicates that the model is effective.

Key words: fuzzy neural network; clustering algorithm; fault diagnosis