

用多传感器融合系统识别摩擦副的磨损状态

黄澍川

(长沙铁道学院机械工程系 长沙 410075)

摘要 用于机械摩擦副磨损状态监测的多传感器融合系统, 是本世纪80年代末问世的一项新技术。在讨论了融合系统的构成和不同传感器信息的预处理之后, 提出了一种基于自组织神经网络的多传感器融合系统。将这种融合系统用于实际机械摩擦副磨损状态监测的结果证明, 其正确识别率明显地比单一传感器的高, 容错能力强, 而且由于自组织神经网络有在线学习的功能, 系统可以用于在线监测。

关键词 传感器 融合系统 神经网络 磨损监测 故障诊断

目前, 在机械摩擦副磨损状态的监测和故障诊断技术中除广泛使用的铁谱技术外, 主要使用的还有光谱技术、振动技术、测温、噪声和测量润滑油的性能指标等。在本世纪80年代末, 有人利用多传感器集成与融合技术对摩擦副磨损状态进行监测, 在金属切削刀具方面取得了一定的成效^[1]。由于摩擦副的磨损和磨损测量受诸多因素的影响, 而且磨损状态和影响磨损的各种参数之间的关系又难以运用显式表达, 致使磨损状态的识别相当困难。神经网络对非线性映射具有良好的逼近、自适应和自组织能力, 因而选择合适的人工神经元网络作为信息的融合方式, 将声、光、电、热等传感器的信息加以处理后整合, 是建立容错性强的识别系统的可行方法。

作者在对融合系统的构成和不同传感器信息和预处理进行分析讨论的基础上, 建立了一种基于自组织神经网络的多传感器融合系统, 并用其对摩擦副的磨损状态进行了识别。

1 融合系统的构成

按照融合系统接收信息表征方式的不同, 可以分为数据层融合、特征层融合和决策层融合3种。作者采用的融合系统是在特征层上利用BP网络, 对各个子系统的磨损状态进行识别, 得到各传感器对磨损状态的识别信度, 然后用自谐振人工神经网络(ART网络)在决策层上进行融合。

融合系统的构成如图1所示。

1.1 传感器信号的预处理

1.1.1 油样光谱信息的预处理

油样光谱分析获取的信息是各种元素的浓度, 只要选择好元素的类型, 就可以控制输入到神经网络的信息维数, 使计算量不致过大。

在机械摩擦副磨损状态的监测中, 一般选择的元素有 Fe, Cu, Cr, Ni, Sn, Al 和 Si。由于

油样中这7种元素的浓度相差较大,而且不同次数测量同一元素的浓度也互不相同,如果将测量结果直接送入BP网络进行处理,势必导致BP算法过程中节点Sigmoid函数饱和而使节点失效,故须要进行归一化处理,将特征参数变换到一致的数据范围。对油样光谱分析可以采用下式进行归一化:

$$X'_i = \frac{X_i}{\sum_{j=1}^n X_j} \quad (X = X_1, X_2, \dots, X_n)$$

式中: X'_i 表示归一化后的浓度, X_i 表示第 i 个元素的浓度, n 表示采用元素的个数。经过归一化后,特征参数的幅值都在 $[0, 1]$ 中。

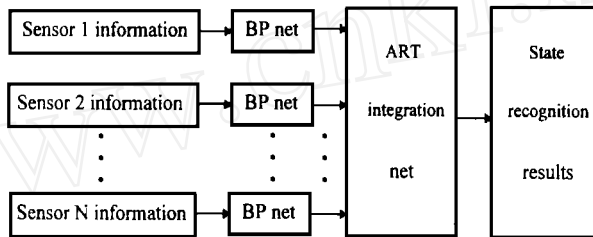


Fig 1 The construction of the fusion system

图1 融合系统的结构

1.1.2 振动和噪声及温度信息的预处理

通常,噪声信息和温度信息都只用作辅助信息,而使用最多的是振动信息。在机械系统中,振动信息的获取大多是采用加速度传感器测量加速度的变化。对于这类信息,作者采用的是经快速傅里叶变换(FFT)后的功率谱。

由于BP网络的最少训练样本数 D 与网络输入特征维数 d 之间具有 $D = 2(d + 1)$ 的关系,为了节省计算时间和训练时间,必须合理选择输入特征维数 d 。在压缩特征维数上采取序贯前向搜索算法(SFS),采用的判据为 $J = \text{trace}(\tilde{S}_w^{-1} S_b)$ 。其中: J 为表征向量的信噪比, S_w 为类内离散度矩阵,表征 d 维特征空间同类数据点的离散程度, S_b 为类间离散度矩阵,表征在 d 维特征空间不同数据点的离散程度。依据选择 d 维最大信噪比特征的原则,在 N 维特征中搜索 d 维作为BP网络的输入。SFS虽然是一种次优算法,不能保证选择最优特征,但在本系统中经实验验证是可行的。当然,经过SFS算法选择出的 d 维特征也应当经过归一化处理,以避免BP算法中节点Sigmoid函数饱和而导致节点失效。

1.2 BP神经网络模型

BP网络是由非线性变换单元组成的前馈网络,主要由输入层、隐含层和输出层组成,图2所示为三层BP网络的基本结构^[2]。

在机械摩擦副的磨损监测过程中,可以采用能够逼近任意非线性函数的三层BP神经网络,其学习过程系由前向计算过程和误差反向传播过程组成。权值的学习满足Hebb规则。设输入矢量为 $X \in R^n$, 即 $X = (X_0, X_1, \dots, X_{N-1})^T$, 输出 $y = (y_0, y_1, \dots, y_{m+1})^T$, 输入输出满足非线性变换:

$$f(u_j) = \frac{1}{1 + e^{-u_j}} = \frac{1}{1 + e^{-(\sum q_j x_j)}}$$

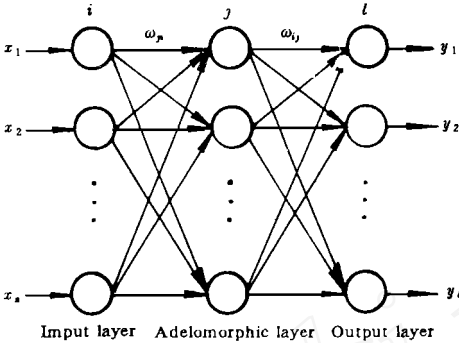


Fig. 2 The construction diagram of BP net

图2 BP 网络结构图

式中: x_i 表示输入矢量, ω 表示权值, Q_j 表示门限 在本融合系统中,BP 网络的输出送至决策层进行融合, 因而实际输出 y' 是BP 网络的输出 y 通过下式变换:

$$y'_i = \frac{y_i}{\sum_{j=1}^m y_j}$$

式中: y'_i 表示信度 这种计算信度的方法虽然比较简单, 但可以表征出待识别状态属于何种状态的程度

1.3 基于ART 网络的决策层融合

对于分布式多传感器信息融合系统, 由于决策层上具有输入样本维数少、信息量大和能够处理异步融合等优点, 因而采用了基于ART 网络的决策层融合, 有关这种网络的构成和工作原理详见文献 [3]

在实际融合系统中,ART 融合网络的输入是信度, 是 $n \cdot p$ 维矢量(其中, p 为传感器个数, n 为状态的种数). ART 神经网络是一种聚类网络, 将其用在识别方面需要在输出端作上标记

表 1 几种不同方法试验结果的比较

Table 1 The comparison of the results of three different methods

Type of sensor	Correct recognition rate	Error-judging rate
Spectrum technique	85	15
Noise sensor	79	21
Fusion sensor	96	4

2 实用结果与分析

在对某机务段的机械设备(如 C666,UBB-112, C6140和30/5t 桥式起重机等)进行实际监测和故障诊断的过程中, 主要采集的信息是油样光谱信息和振动信息, 辅以铁谱分析和温度传感器的信息 这些信息的获取是异步的, 但在融合系统中,ART 网络能够有效地处理这些异步信息 表1列出了该融合系统对摩擦副磨损状态的识别效果 可以看出 多传感器融合

系统的正确识别率明显比对照使用的2种单一传感器的都高,表明这种融合系统的容错能力强。分析认为,如果将整个系统设计成基于知识的融合系统,则其势必能够更加有效而准确地识别机械摩擦副的磨损状态。

3 结论

讨论了信息融合系统的构成及其在机械摩擦副磨损状态识别中的应用,提出了由自谐振人工神经(ART)网络在决策层进行融合的融合系统,其对机械设备摩擦副磨损状态的正确识别率明显比对照使用的光谱技术和噪声传感器的都高,而且由于ART网络具有在线学习功能,可以应用于在线识别。

参 考 文 献

- 1 Noori-Khajavi A, Domroese M. An experimental study of strategies for integrating sensor information in machining. *Annals of the CIRP*, 1989, 38(1): 425~428
- 2 张立明. 人工神经网络的模型及其应用. 上海: 复旦大学出版社, 1993. 34~37
- 3 White F. A model for data fusion. in: *SPIE conf on Sensor Fusion*. Orlando: FL, 1988. 1431~1437

Recognition of Wear State of the Friction Pairs with Multisensor Fusion System

Huang Shuchuan

(Mechanical Engineering Department

Changsha Railway College Changsha 410075 China)

Abstract The multisensor fusion system used for monitoring the wear state of the mechanical friction pairs is a new technique which came out in 1980's. After discussing the construction of fusion system and the pretreatment of different sensor information, it is suggested that the multisensor fusion system based on the self-form nervous net. The results of monitoring the wear state of actual mechanical friction pairs with this fusion system showed that the correct recognition rate of the multisensor is higher than that of single sensor, and its allowance ability is also stronger. Owing to the self-form nervous net have the on line function, the system can be used for monitoring on line.

Key words sensor fusion system nervous net wear monitoring failure diagnosis