

文章编号: 1000-6893(2001) 01-0094-03

子波分析和 ART 神经网络在复合材料板冲击定位中的应用

周洁敏

(南京航空航天大学 民航学院, 江苏 南京 210016)

APPLICATION OF WAVELET ANALYSIS AND ART NEURAL NETWORKS IN SMASHING LOCATION DETECTION OF COMPOSITE MATERIAL STRUCTURE

ZHOU Jie-min

(Civil Aviation College, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

摘要: 将子波分析和神经网络技术用于复合材料的无损监测, 利用子波分析良好的时频特性从强噪声中提取特征信息。并对复合材料受到冲击时的信号进行了实验处理, 提出了一种改进的自适应共振理论(ART)神经网络结构聚类算法。实验结果表明, 能实时监测复合材料受到冲击时的冲击位置和冲击大小。

关键词: 子波分析; 神经网络; 复合材料; 冲击

中图分类号: TP273; TP3; TH165 **文献标识码:** A

Abstract: This paper applies wavelet analysis and neural networks to composite materials non-destructive test (NDT). Using the good time-frequency characteristic of wavelet analysis, characteristic information can be picked up from high noise. An improved ART neural networks algorithm is presented. Experimental results show that applying wavelet analysis and neural networks to the damage test of composite structure can effectively detect the smashing position and intention when smashing appears.

Key words: wavelet analysis; neural networks; composite material; smashing

对复合材料所受冲击的定位及度量是进行复合材料损伤预测的关键技术之一。但复合材料本身性能的分散性和损伤的复杂性, 使检测的准确性和可靠性离实用还有不少距离, 其中一个非常重要的原因是信号处理手段还不够先进^[1,2]。

用子波分析作为信号处理工具能对被分析信号进行更细致分析, 获得比傅立叶分析更多的信号特征。子波变换同神经网络相结合, 其最大的优点在于网络参数可以根据子波分解较明确地确定。可利用子波分析提取复合材料损伤的特征信息, 用神经网络进行损伤位置和类型在线识别。本文利用子波分析和改进的 ART 神经网络聚类方法, 获得干扰背景下信号的有效检测。实践证明, 该方法能有效获得复合材料所受冲击的大小及位置信息^[3,4]。

1 复合材料冲击特征识别与聚类算法

子波分析是检测信号突变的有效工具, 信号 $f(x)$ 的奇异性可以由子波分析的模极大值来刻画, 因此信号的二进子波变换 $W_{2^j} f(x)$ 的模极大

值可以用来作为信号模式的特征描述。在实际应用中, 模极大值仅沿二进尺度 $2^j (j = Z)$ 检测, 在每一尺度 2^j 上记录模量 $|W_{2^j} f(x)|$ 的局部极大值的位置和相应位置上 $W_{2^j} f(x)$ 值。根据这些信息, 提出的重构算法, 可以作为用于恢复原始信号的一种逼近, 该逼近函数与原始信号的误差主要在于高频部分。损伤特征信息主要集中于低频部分, 其特征可以由子波变换的模极大值点来刻画, 并可保证其完备性。鉴于子波变换的模极大值点包含了原始信号近似完整的信息, 体现了信号的特征, 但并非所有模极大值点都对波形识别具有重要的意义, 出于提取信号的主要特征及进一步压缩用于表达波形模式特征数据的目的, 需对极大值点进行提炼, 保留真正反映原始信号主要特征的模极大值点, 剔除次要的和噪声产生的模极大值点^[5,6]。

由于可以将模式看作 N 维特征空间的点, 所以在类别关系或其它属性值方面相似的模式可能在一定程度上也会在 N 维模式空间中相互靠近。为此, 采用神经网络方法进行类别的识别。

ART 神经网络能适应外界条件的变化, 自己形成聚类空间。但由于该网络仅有一个 ρ 值, 对于复杂的损伤情况, 难以胜任实际要求。本文提出一种针对复合材料损伤监测的连续特征向量进行聚类的网

络。它是自适应共振理论(ART)的一种改型。

进行聚类, 必须选择尺度, 一般可选取欧氏距离或汉明距离。本文以相似系数和最大相关系数作为度量距离的方法。

模式 $x(x_i, 1 \leq i \leq N)$ 与样本 $y(y_i, 1 \leq i \leq N)$ 的距离定义为

$$d = \left| \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2 \sum_{j=1}^N y_j^2}} \right| \quad (1)$$

$$c = \max \left[\frac{1}{N} \left| \sum_{i=0}^{2N-1} x_i y_{i+j} \right| \right], \quad (j = 0, 1, \dots, N-1) \quad (2)$$

N 为向量 $X(x_i, 1 \leq i \leq N)$, $Y(y_i, 1 \leq i \leq N)$ 的长度。算法步骤如下:

- (1) 将一个新模式置入输入节点。
- (2) 采用自下而上的处理, 求得距离。

$$d_j = \left| \frac{\sum_{i=1}^N b_j x_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2 \sum_{j=1}^N b_j^2}} \right|$$

$$c_j = \frac{1}{N} \left| \sum_{i=0}^{2N-1} x_i y_{i+j} \right|$$

- (3) 找出具有最大值的上层节点 d_j 和 c_i 。

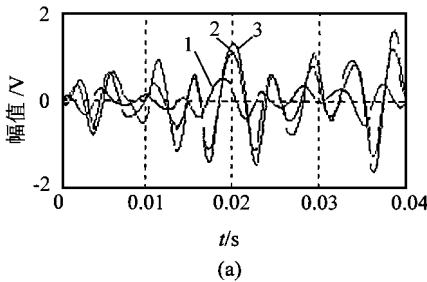
(4) 通过自上而下处理检验是否确实属于第 j 类。如果有 $d_j > \rho_1$ 或者即使 $d_j < \rho_1$ 但 $c_j < \rho_2$ 则 x 属于第 j 类, 其中 ρ_1, ρ_2 是警戒参量。如果上面条件成立, 结束转入第 (6) 步。否则继续。

- (5) 插入新的节点及其权值。
- (6) 进行新的聚类分析。

以上算法不需要将 x 进行归一化。网络的权集 $\{b_j\}$ 就是当不属于任何已存在的类别时, 将 x 添进去而组成的。

2 实验研究

利用压电传感器, 把机械系统的振动转变为电信号, 在应力 $T(t)$ 的作用下, 压电传感器表面



产生的电荷为式 (3) 所示。

$$D(t) = \iint d_{31} T_1(t) + d_{32} T_2(t) + d_{33} T_3(t) \cdot dx dy = \pi D^2 (d_{31} T_1(t) + T_2(t)) / 4 \quad (3)$$

式中: D 为压电片的直径。

实验采用多个传感器从不同的位置接收冲击信号。复合材料板有无受到冲击与受到不同的冲击, 会在各个传感器上产生不同信号, 该信号反映了不同冲击特征, 包含了复合材料板的质量、刚度和阻尼等基本物理量及变化量, 也叠加了干扰。

数据采集用美国吉时利仪器公司的 DAS1600(12 位 100kHz A/D 采集板) 以中断方式实现。当传感器接收到的信号超过某一阈值时, 系统才开始采集信号, 以避免噪声的影响。当接收到一定的数据量以后就立即进行数据处理。

从图 1(a), 图 2(a) 可知, 测试系统的重复性极好。对于信号的每一个局部特征, 不同敲击下的原始信号经子波变换后几乎完全一致。即使 d 值很小, c 值却接近 1。可见, 子波变换能有效地从冲击信号中提取冲击大小信息(1 的幅值明显小于 2 和 3)。

为了使聚类分析得到的结果可靠, 首先必须要有较合理的阈值。在某个分区的边缘进行了 4 次敲击, 样本分别为 A, B, C, D 。从图 3 可看出, 样本之间具有较大的差距。图 3(a) 为 A, B , 图 3(b) 为 C, D 的处理结果。表 1 给出了计算出的 c, d 值。可看出对于同一个分区中的采集样本之间的 c, d 。 d 一般大于 0.6, c 一般大于 0.7, 因此, 选取 d 的阈值为 0.6, c 的阈值为 0.7。

表 1 4 个样本间的 c, d 值

Table 1 The Value of c and d among the four samples

	A-B	B-C	B-D	C-D	A-D	A-C
d	0.6100	0.6876	0.6643	0.6482	0.6877	0.5360
c	0.6579	0.7949	0.7534	0.7725	0.7298	0.7195

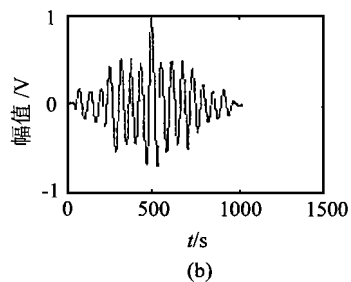


图 1 实验一波形图

(a) 在某一区域中测量 3 次经处理后的波形; (b) 图 1(a) 中 1, 3 的相关图

Fig. 1 Waveform of Lab 1

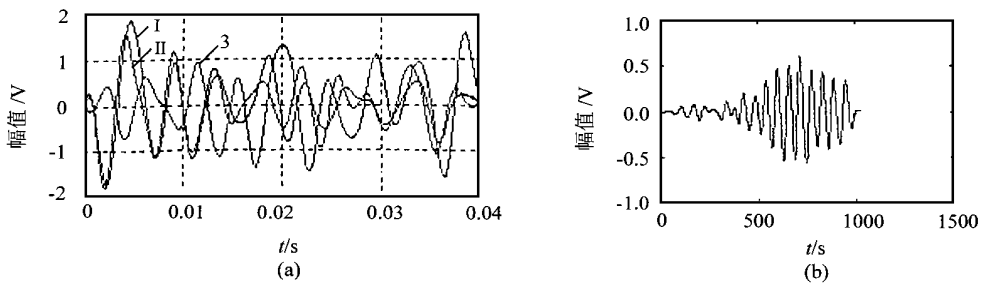


图2 实验二波形

(a) 在相邻分区中测量 2 次经处理后的波形; (b) 图 1(a) 中 3 和图 2(a) 中的相关图

Fig. 2 Waveform of Lab 2

(a) The regulated waveform after 2 measurements in a near district; (b) Pertinence of Fig. 1(a)-3 and Fig. 2(a)-1

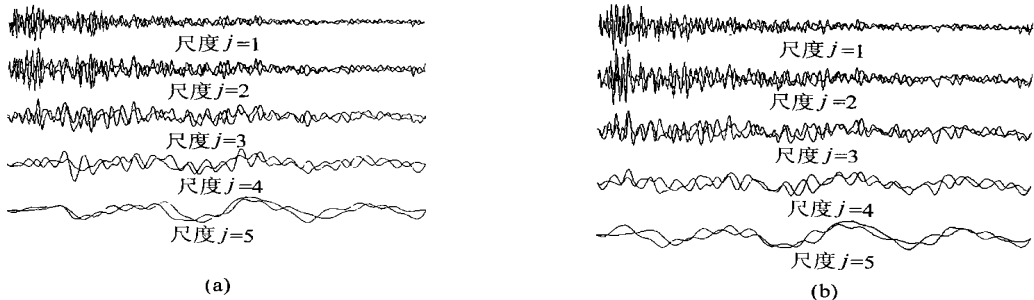


图3 样本的子波分析

(a) 样本 A, B 各阶尺度的子波分析; (b) 样本 C, D 各阶尺度的子波分析

Fig. 3 Wavelet analysis of the samples

(a) Wavelet analysis of all measures in samples A and B ; (b) Wavelet analysis of all measures in samples C and D

为了进行冲击位置的判定,把每一个冲击位置当作一个类别。实验按以下步骤进行。①获取样本 将试验板按区域划分,提取每一个区域的位置特征信息,按一定顺序连接在一起。将它们送入一数据库系统; ②实时冲击监测 设置采样阈值,当采样值超过设定阈值时,就开始采集一定量的数据,并将采集到的数据进行子波分析处理,然后进行特征信息连接; 根据经验按式(1)和式(2)设置度量方法。按照前面的算法步骤进行分类。表2为图 1(a),图 2(a)中标记样本间的 c, d 值。通过以上处理,可以确定向量的类别。对于 $35\text{cm} \times 16\text{cm}$ 的复合材料板所受冲击位置,由实验验证,在 $4\text{cm} \times 4.5\text{cm}$ 的范围内是可以准确判断的。如果需要更精确的判断,调整阈值的大小,就可以调整监测区域的大小。

表2 图 1, 2 中波形 1, 2, 3, I 之间的距离 d 和 c

Table 2 The distances c and d among waveforms 1, 2 and 3 in Figure 1 and Figure 2

样本	1		2		3	
	d	c	d	c	d	c
1			0.0048	0.9470	0.1330	0.9506
2					0.9407	0.9470
I	0.1478	0.6313	0.2171	0.6481	0.2330	0.6190

参 考 文 献

[1] Hicuman G A, Gerardi J J, Feng Y. Application of smart structure to aircraft health monitoring [J]. Journal of intelligent material system and structure, 1993, 4(3): 411 ~ 430.

[2] Hwang W S, Hwang W, Park H C. Integration of Composite Structural Design with the intelligent system concept [A]. Proceeding of the AIAA/ASME/ASCE/AHS 28th Structures, Structural Dynamics and Materials Conference [C]. USA, 1993. AIAA-93-1706, 3534 ~ 3539.

[3] Rioul O, Vetterli M. Wavelet and signal processing [J]. IEEE Signal Processing Magazine. 1991. 14 ~ 38.

[4] 陶云刚, 陶宝祺. 基于神经网络的复合材料损伤评估 [J]. 航空学报, 1994, 15(10): 1274 ~ 1277.

[5] Mallet S, Huan W. Singularity detection and processing with wavelets [J]. IEEE Trans on IT, 1992, 38(2): 618 ~ 643.

[6] 秦前清, 杨宗凯. 实用小波分析 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995. 50 ~ 75.

作者简介:

周洁敏 女, 1965 年生, 副教授。研究方向: 电子技术, 计算机测控技术, 自动化测试仪表。获江苏省科技进步三等奖一项, 航空基金优秀项目一等奖一项, 发表论文十多篇。电话: 025-4891289, Email: tygmt@nuaa.edu.cn