

文章编号: 1000-8055(2002)04-0442-05

含噪声的转子碰摩混沌信号分类识别

任 辉, 顾家柳, 贺尔铭, 张志禹

(西北工业大学 航空动力与热能工程系, 陕西 西安 710072)

摘要: 采用基于竞争学习和聚类分析的学习向量量化(LVQ)方法, 研究转子碰摩混沌响应信号的神经网络分类识别问题, 给出了相应的理论分析和计算结果, 着重研究了LVQ网络在不同噪声时的识别情况。分析结果表明, 该方法可以实现转子碰摩混沌信号与其它响应信号的分类识别, 并且具有良好的抗噪性能, 为转子碰摩混沌信号的分类识别提供了一种较为直接的实时处理方法。

关 键 词: 神经网络; 碰摩转子系统; 混沌时间序列

中图分类号: V 231.96

文献标识码: A

Classification and Identification of the Rotor Rub- Impacting Chaotic Signals with Noise

REN hui, GU Jia-Liu, HE Er-min, ZHANG Zhi-ru

(Northwest Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In this paper, we will try to identify the chaotic signals of the rub-impacting rotor system using learning vector quantization (LVQ) which is based on competitive learning and clustering analysis. The theory analysis and results of the computation are given. We have mainly studied the situations of the different classification when the response signals are in the different ratio of signal to noise. Our research shows that the LVQ neural network not only can identify rub-impacting chaotic signals but also work well for the signals with noise. So the network supplies a direct method for classifying such nonlinear signals of the rub-impacting rotor system and a possibility of practical application for a real rotor system.

Key words: neural network; rotor system; chaotic time series

1 前 言

转子碰摩是一种能导致旋转机械破坏的故障形式, 也是航空发动机中最常见的故障之一, 由于强烈的非线性特性, 其振动信号中通常包含复杂的频率成分, 研究表明^[1,2], 系统具有丰富的混沌运动。而混沌时间序列的特征之一就是信号本身是宽频带的, 由于信号和噪声同为宽频带, 从频域中无法提取信号特征, 也无法识别, 并且在时域不

易量化和描述, 因此难以从时域或频域中提取有用的诊断信息。在非线性时域分析方法中, 可以采用相关维数作为描述这类非线性信号特征的参数^[3], 从现有的资料和研究来看, 相关维数的参数选取和计算仍显得较为复杂, 难以实现实时处理。事实上, 以特征提取为基础的模式识别方法, 在如何表示和提取特征、需要多少特征等方面, 都存在很大的盲目性和低效率, 其识别过程必须经历从数据获取、特征提取到判决几个阶段, 所需的运算

收稿日期: 2001- 09- 12; 修订日期: 2001- 12- 12

基金项目: 航空科学基金资助项目(00C53024)

作者简介: 任辉(1959-), 女, 西北工业大学航空动力与热能工程系数据处理中心副教授, 博士

使得系统难以满足实时性要求, 而神经网络正是解决这类问题的有利工具。神经网络具有复杂的非线性映射、联想记忆和自学习能力, 利用神经网络分布式信息存储和并行处理的特点, 可以简化模式识别方法中建模与特征提取的过程, 消除由于模型不符和特征选择不当带来的影响, 有利于模式识别的实时实现。本文采用学习向量量化(LVQ)方法, 对由 Jeffcott 转子碰摩模型计算所得到的碰摩混沌振动响应信号和一般转子系统产生的振动响应信号进行分类识别, 着重研究了 LVQ 网络在不同噪声时的识别情况, 结果表明它不但能将转子碰摩混沌信号识别出来, 而且还具有良好的抗噪性能, 显示了这种识别方法在实际系统识别中将具有一定的应用前景。

2 学习向量量化(LVQ)方法

学习向量量化(LVQ)^[4,5]是一种自适应数据分类方法, 这种方法的出发点是在数据集中寻找一种自然的分组, 数据集中的每个数据矢量是 d 维数据空间中的一个点, 算法的目标是使得同一类的数据矢量在数据空间中形成一个聚类。LVQ 学习算法包括两个步骤。第一步, 采用无监督学习数据聚类方法不使用类别信息, 设置 n 个聚类中心。聚类数或者可以选定, 或者必要时通过可自适应增加新聚类的聚类技术来确定。第二步, 使用类

别信息调整聚类中心, 以使错误分类的情况数最少。在第二步有监督学习过程中, 聚类中心被微调, 以逼近期望的决策超平面。首先必须找到最接近于输入向量 X 的权向量(或聚类中心) W 。如果 X 和 W 属于相同的类别, 就将 W 移向 X ; 否则就将 W 移开输入向量 X 。LVQ 方法的步骤如下: (1)通过一种聚类方法初始化聚类中心。(2)通过表决方法标注每一聚类。(3)随机选择一个训练输入向量 X , 并找到使 $\|X - W_k\|$ 最小的 k_0 。(4)如果 X 和 W 属于同一类, 按下式更新 W_k : $\Delta W_k = \eta(X - W_k)$, 否则, 按下式更新 W_k : $\Delta W_k = -\eta(X - W_k)$, η 是学习速率。(5)如果已到达了最大迭代次数, 停止; 否则, 返回到(3)。学习完成后, LVQ 可以对输入向量分类, 将输入向量分配给与输出单元相同的数, 该输出单元所具有的权向量最接近于输入向量。

3 样本集的构成

样本集中有两类数据, 类别1代表周期和拟周期数据类, 不含有碰摩混沌运动; 类别2代表含混沌运动的碰摩信号, 并且信号中含有周期、拟周期振动。首先根据碰摩转子仿真模型^[1], 在不同状态下产生了22组第二类数据样本, 这些样本代表了第二类含周期、拟周期成分的混沌碰摩信号, 图1为其中的两组信号, 左边是信号的时域图, 右边

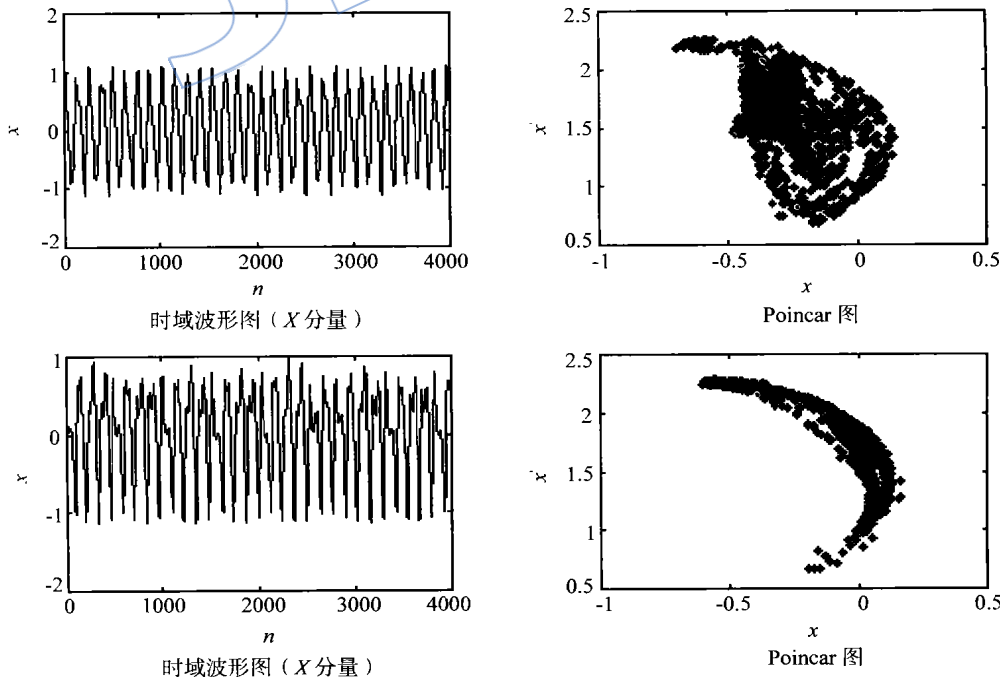


图1 碰摩混沌响应数据
Fig 1 Rub-impacting chaotic signals

是同一信号的 Poincare 图。类别一的周期、拟周期类信号由:

$$x = \sum_i x_i \cos(\omega t + \Phi_i) + n$$

产生, 其中 n 为噪声, x 或者为周期信号, 或者为拟周期信号, 利用上式共产生了 17 组样本数据, 构成了样本集中的第一类信号。

4 无噪声数据分类

在样本集中分别取 31, 21 和 12 个样本构成 3 组不同的训练集, 三组训练集所对应的测试集相同, 由 8 个样本构成。样本数据长度取不同的值时, 其分类效果如表 1。从表 1 可看出, 训练集包含的样本越丰富, 对测试集的分类效果越好, 因为网络的推

广能力强。样本长度长时, 分类效果好。

5 有噪声数据分类

给样本集中的信号加入噪声, 噪声幅值所乘系数因子分别取 1, 5, 15, 加入噪声后的样本时域信号如图 2 所示(图中, (a) 和 (b) 是类别 1 信号加入噪声后的 x 时域波形图; (c) 和 (d) 是类别 2 信号加入噪声后的 x 时域波形图)。

(1) 将训练集和测试集所含噪声的幅值系数相同时的分类结果分别列于表 2~ 表 4。从表中可看出, 当训练集和测试集含有相同的噪声时, 与表 1 的结果相比较, 可以看出噪声对 LVQ 网络的分类效果影响不大, 还可以看出, 样本长度对网络识

表1 LVQ 网络分类结果(无噪声数据)
Tab 1 Classification (without noise)

样本长度	训练集(31个) 错判数	测试集(8个) 错判数	训练集(21个) 错判数	测试集(8个) 错判数	训练集(12个) 错判数	测试集(8个) 错判数
512	4	1	3	2	1	5
1024	2	1	2	1	1	5
4096	1	0	0	1	0	4
6000	0	0	0	1	0	4

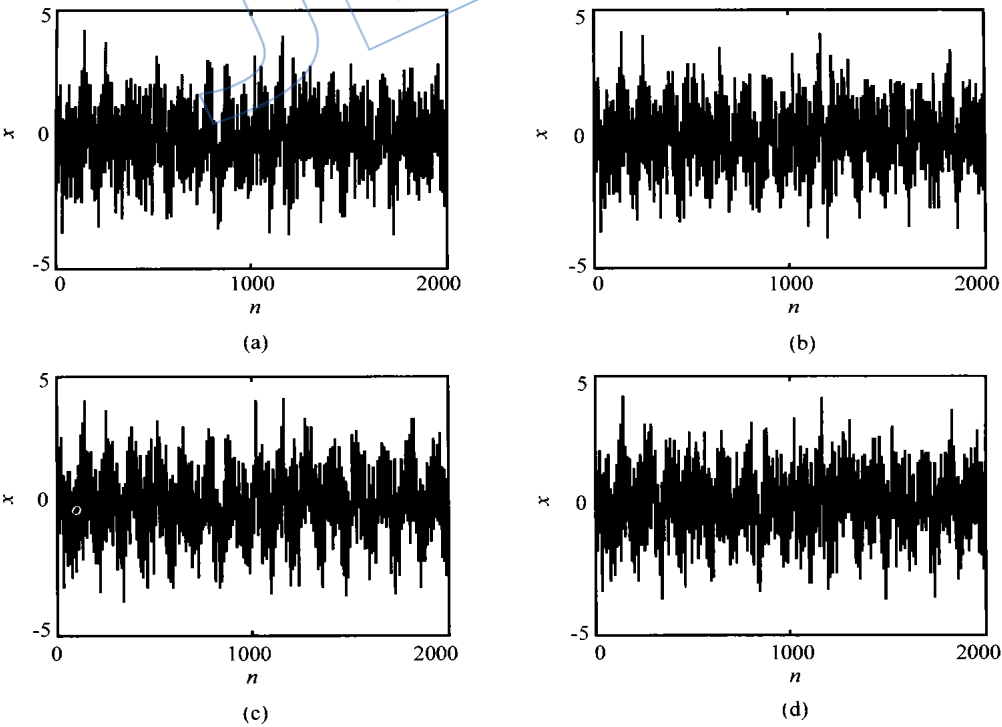


图2 含噪声的样本信号, 噪声幅值系数 $r=1$

Fig 2 Sample signals with noise, noise coefficient $r=1$

表2 LVQ 网络分类结果(噪声幅值系数 $r=1$)
Tab 2 Classification (noise coefficient $r=1$)

样本长度	训练集(31个) 错判数	测试集(8个) 错判数	训练集(21个) 错判数	测试集(8个) 错判数	训练集(12个) 错判数	测试集(8个) 错判数
512	3	2	3	3	1	5
1024	2	1	2	2	1	5
4096	0	0	0	1	0	4
6000	0	0	0	2	0	4

表3 LVQ 网络分类结果(噪声幅值系数 $r=5$)
Tab 3 Classification (noise coefficient $r=5$)

样本长度	训练集(31个) 错判数	测试集(8个) 错判数	训练集(21个) 错判数	测试集(8个) 错判数	训练集(12个) 错判数	测试集(8个) 错判数
512	3	2	2	2	1	5
1024	2	1	2	2	0	5
4096	0	0	0	1	0	4
6000	0	0	0	1	0	4

表4 LVQ 网络分类结果(噪声幅值系数 $r=15$)
Tab 4 Classification (noise coefficient $r=15$)

样本长度	训练集(31个) 错判数	测试集(8个) 错判数	训练集(21个) 错判数	测试集(8个) 错判数	训练集(12个) 错判数	测试集(8个) 错判数
512	3	1	3	2	1	5
1024	2	1	2	1	1	5
4096	0	0	0	1	0	3
6000	0	0	0	2	0	4

表5 LVQ 网络分类结果(噪声幅值系数 $r=1$)
Tab 5 Classification (noise coefficient $r=1$)

样本长度	训练集(31个) 错判数	测试集(8个) 错判数	训练集(21个) 错判数	测试集(8个) 错判数	训练集(12个) 错判数	测试集(8个) 错判数
512	3	1	3	2	1	6
1024	2	1	3	2	1	5
4096	1	1	0	0	0	3
6000	0	0	0	0	0	4

表6 LVQ 网络分类结果(噪声幅值系数 $r=5$)
Tab 6 Classification (noise coefficient $r=5$)

样本长度	训练集(31个) 错判数	测试集(8个) 错判数	训练集(21个) 错判数	测试集(8个) 错判数	训练集(12个) 错判数	测试集(8个) 错判数
512	3	2	3	3	1	4
1024	2	2	2	3	1	4
4096	1	1	0	1	0	2
6000	0	1	0	1	0	3

表7 LVQ 网络分类结果(噪声幅值系数 $r=15$)
Tab 7 Classification (noise coefficient $r=15$)

样本长度	训练集(31个) 错判数	测试集(8个) 错判数	训练集(21个) 错判数	测试集(8个) 错判数	训练集(12个) 错判数	测试集(8个) 错判数
512	3	5	3	5	1	5
1024	2	5	2	3	1	5
4096	0	3	0	4	0	4
6000	0	4	0	4	0	4

别正确率的稳定性有影响,当样本长度大于4096时,识别的错判数趋于稳定。

(2) 训练集不含噪声,测试集含有噪声时的分类结果分别列于表5~ 表7。可以看出当噪声系数 $r=1$ 和 $r=5$ 时,仍有较好的分类效果,表明这种情况下网络仍然能进行识别;而当 $r=15$ 时,测试集的错判数不论样本长度取多少,都已达到50%。

6 结 论

(1) LVQ 网络提供了对转子碰摩混沌响应信号分类识别的一种较为直接的实时处理方法。

(2) 当训练集和测试集含有相同的噪声时,噪声对 LVQ 网络的分类效果影响不大。表明 LVQ 网络可以从宽带噪声中将碰摩混沌响应信号识别出来,但识别机理还需要进一步研究。

(3) 当训练集不含噪声,测试集的噪声幅值系数为1和5时, LVQ 网络仍有较好的分类效果。

这表明用在较为理想环境下训练好的网络,可以实现对受噪声影响的碰摩转子的混沌信号的识别。

参考文献

[1] 张志禹 碰摩转子系统的分叉与混沌特性[D] 西安:西北工业大学,1999

[2] 刘献栋,李其汉 转静件碰摩模型及不对中转子局部碰摩的混沌特性[J] 航空动力学报,1998,13: (4): 361- 365

[3] 汪慰军,陈进,吴昭同 关联维数在大型旋转机械故障诊断中的应用[J] 振动工程学报,2000,13(2): 229- 234

[4] Kohonen T. Improved versions of learning vector quantization [A] In International Joint Conference on Neural Networks [C] San Diego, 1990, (1): 545- 550

[5] Kohonen T. The Self-Organizing Map [A] Proceedings of the IEEE [C] 1990, 78(9): 1464- 1480

(责任编辑 王震华)