

文章编号: 1005—0523(2005)01—0135—04

经验模式分解法(EMD)在滚动轴承故障诊断中的应用

李 巍, 熊国良, 张 龙

(华东交通大学 机电工程学院, 江西 南昌, 330013)

摘要:在非平稳过程中, 由于机械设备所受的应力比平稳过程中所受的应力更为复杂, 因此, 对设备的非平稳过程进行监测有利于发现早期故障, 避免故障发展导致的严重破坏. 本文将 EMD(Empirical Mode Decomposition)法应用于机械故障诊断当中. 由于 EMD 法具有自适应的特性, 适宜于非平稳信号的分解. 该方法应用于滚动轴承的故障振动信号分析中, 结果表明该方法能够突出滚动轴承故障振动信号的故障特性, 从而提高了滚动轴承故障诊断的准确性.

关 键 词:经验模式分解法(EMD); 非平稳信号; 故障诊断; 滚动轴承

中图分类号:TH165

文献标识码:A

1 概 述

机械设备的运行状态比较复杂, 非平稳过程在机械设备运行中大量存在. 在非平稳过程中, 机械设备所受的应力比平稳过程中所受的应力更为复杂, 因此, 对设备的非平稳过程进行监测有利于发现早期故障, 避免故障发展导致的严重破坏. 非平稳过程的研究对机械故障监测和诊断具有重要的实际意义. 滚动轴承是机械设备中的常用部件. 本文以滚动轴承为研究对象, 采用一种新的非平稳信号分析方法—经验模式分解法(Empirical Mode Decomposition, 简称 EMD), 对滚动轴承在变速运行状态下的振动信号进行分析. 该方法能够突出表现信号的局部特征和时变特性, 克服了快速傅立叶变换只适宜平稳信号的局限性, 并为滚动轴承的振动信号分析提供了一种新的方法.

2 经验模式分解法(EMD)^[1]

经验模式分解法假设: 任何信号由不同的固有

简单振动模态组成, 每一个模态都具有相同数量的极值点和零交叉点, 在相邻的两个交叉点间只有一个极值点, 任何两个模态是相互独立的, 这样任何一个信号都可以被分解为若干个内在模态函数(Internal Mode Function 简称 IMF)之和, 它必须满足两个条件: (1)分解得到的 IMF 的极值(包括极大值和极小值)数目和过零点数目要相等或最多相差一个; (2)在任一时间点上, 信号的局部极大值所确定的上包络线与局部极小值所确定的下包络线的局部均值为零. EMD 的原理如下:

(1)、确定信号 $x(t)$ 的局部极大值和局部极小值形成的局部均值, 并将其组成新的序列 m_1 , 则:

$$x(t) - m_1 = h_1(t) \quad (1)$$

理想地, 如果 $h_1(t)$ 是一个 IMF, 那么 $h_1(t)$ 就是 $x(t)$ 的第一个分量. 一般一次处理不足以形成 IMF, 我们可以把 $h_1(t)$ 看作待处理的原始数据, 重复 i 次 $h_{1(i-1)}(t) - m_{1i} = h_{1i}(t)$, 若 $h_{1i}(t)$ 满足 IMF 的筛选停止原则:

$$\sum_{i=0}^T (|h_{1i}(t) - h_{1(i-1)}(t)|^2 / h_{1i}(t)^2) \leq 0.3 \quad (2)$$

记作 $c_1 = h_{1i}(t)$, 则 c_1 为信号 $x(t)$ 的第一个

收稿日期: 2004—10—10

基金项目: 江西省自然科学基金资助项目(0450017), 华东交通大学校立课题.

作者简介: 李 巍(1975—), 男, 江西萍乡人, 华东交通大学在读研究生.

IMF.

(2)、将 c_1 从原始信号 $x(t)$ 中分离出来得到:

$$r_1 = x(t) - c_1. \quad (3)$$

(3)、将 r_1 当作原始数据重复以上过程, 得到 $x(t)$ 的第二个满足 IMF 条件的分量 c_2 , 以此类推

$$r_1 - c_2 = r_2 \cdots r_{(n-1)} - c_n = r_n \quad (4)$$

直到 r_n 不可以再分时为止, 这样将式子(3)和(4)相加得到:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_i + r_n \quad (5)$$

因此, 我们可以将任意信号分解成为 n 个 IMF 分量和一个剩余分量 r_n 之和, 其中分解出的 n 个分量 c_i 分别包含了信号从高频到低频的不同频率段成分, 而剩余分量 r_n 是原始信号的中心趋势.

3 EMD 在滚动轴承故障诊断中的应用

滚动轴承是由内圈、外圈、滚动体和保持架等元件组成. 内圈、外圈分别和轴颈以及轴承座装配在一起, 滚动体是其核心元件, 它使相对运动表面间的滑动摩擦变为滚动摩擦. 若这些元件上存在缺陷, 滚动体在这些元件的表面上转动, 将产生交变的激振力, 该激振力所引起的振动将是由多种频率成份组成的随机振动. 本文采用的原始数据采集于机械故障振动诊断实验台, 转速在 500rpm、900rpm 时以及连续加速时, 轴承外圈故障和正常轴承的随机振动信号, 采样频率为 5120Hz. 对采样的振动信号提取 1024 点进行 EMD 分解, 图 1、2 分别为转速 500rpm 和 900rpm 滚动轴承外圈故障的原始信号和 EMD 分解所得的 IMF 分量.

图 3a、b 分别为转速为 500rpm 时 IMF6 和 IMF4 功率谱图. 由图可以明显看出转速在 500rpm 时滚动轴承外圈故障特征频率 29.79Hz 处及其倍频附近的峰值点. 图 4 为转速为 900rpm 时的功率谱图, 由图 4 可明显看出 900rpm 时的滚动轴承外圈故障特征频率 53.62Hz 处、二倍频 17.24Hz 处的峰值点. 对比图 3、图 4 可知, 由于滚动轴承的转速升高, 滚动轴承外圈故障特征频率从 29.79Hz 处移到了 53.62Hz 处.

当实验台连续加速变化时, 采集信号的 EMD 分解的功率谱如图 5、图 6 所示. 根据轴承结构和实验条件, 可知, 轴承外圈故障特征频率小于 100Hz, 图 6 中外圈故障的滚动轴承的 IMF5 和 IMF6 的功率谱具有明显变化的低频频率成分, 而图 5 中正常的滚

动轴承的 IMF5 功率谱中没有杂乱的低于 100Hz 的频率成分. 因此, 我们可以根据两者的功率谱图进行对比, 可知图 5 为正常轴承的功率谱图, 图 6 为故障轴承 EMD 分解后的功率谱图.

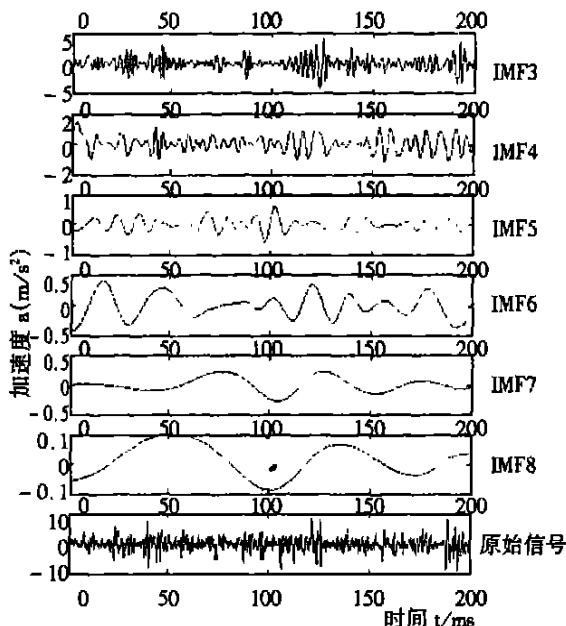


图 1 500rpm 时外圈故障的 EMD 分解

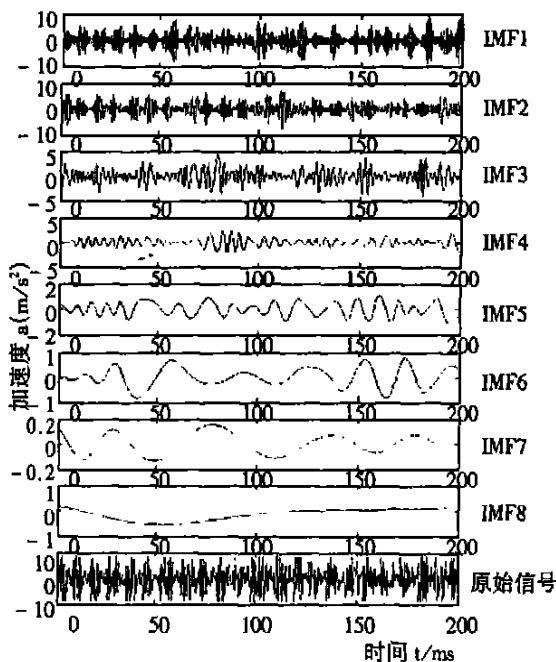
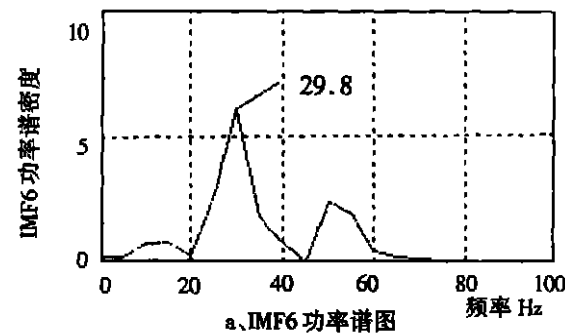


图 2 900rpm 时外圈故障的 EMD 分解

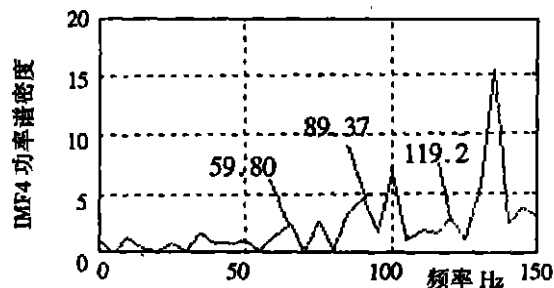
4 结论

在现实当中, 机械设备的工况往往是变化的. 滚动轴承的振动信号包含大量的特征信息, 它是一种典型的非平稳时变信号, 因此分析方法的选择变

得尤其重要. 本文采用经验模式分解的方法对滚动轴承的振动信号进行分析, 通过对转速在 500rpm、900rpm 时以及连续加速时, 轴承外圈故障和正常轴承的随机振动信号的分析处理, 结果表明经验模式分解法(EMD)能够很好的突出滚动轴承故障振动信号的故障特性, 提高了滚动轴承故障诊断的准确率.



a、IMF6 功率谱图



b、IMF4 功率谱图

图3 转速为 500rpm 时的功率谱图

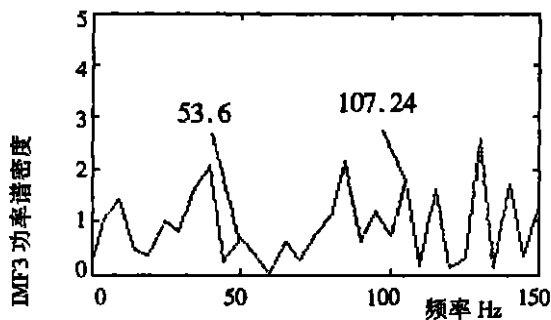


图4 转速为 900rpm 时的功率谱图

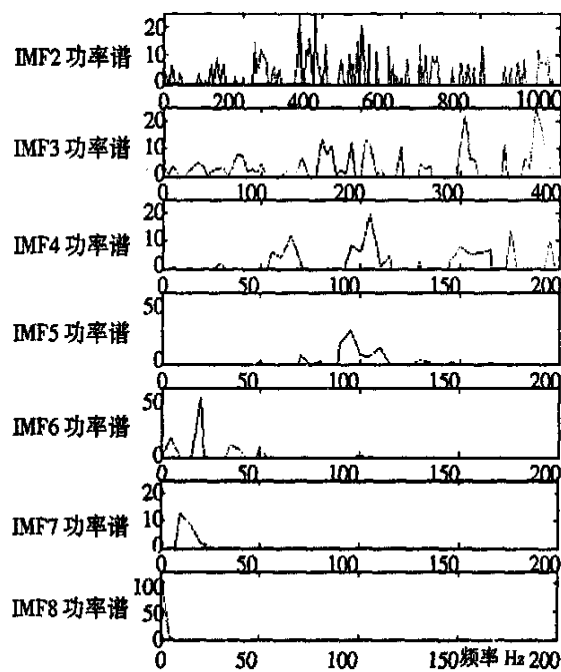


图5 正常轴承 EMD 分解后的功率谱

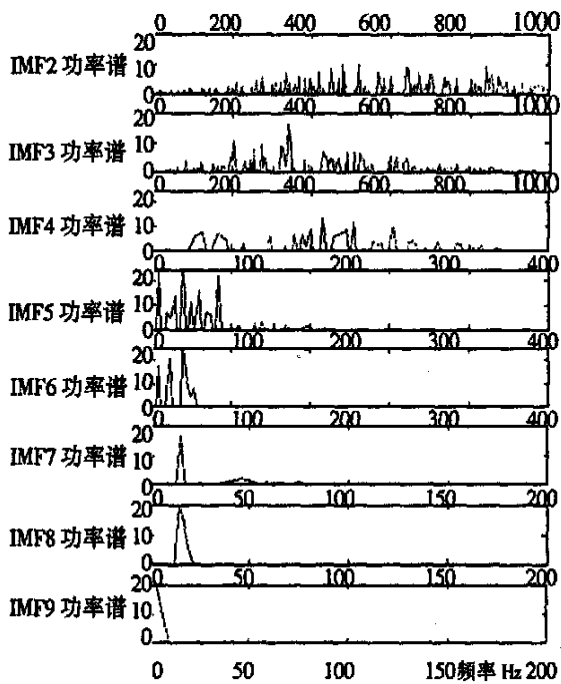


图6 外圈故障轴承 EMD 分解后功率谱

参考文献:

- [1] Norden E, Huang, Shen Zhen, et al. The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for Nonlinear and non-Stationary Time Series Analysis [J]. Proc. Royal Society Lond, 1998, 454A: 903-995
- [2] 胡劲松. 面向旋转机械故障诊断的经验模态分解时频分析方法及实验研究[D]. 浙江大学博士学位论文. 2003, 3.
- [3] 熊学军,等. EMD 方法和 Hilbert 谱分析法的应用与探讨[J]. 黄渤海海洋, 2002, 20(2): 12~21.
- [4] 王珍, 马孝江. 局域波时频法在柴油机缸套活塞磨损诊断中的应用研究[J]. 内燃机学报, 2002, 20(2): 157~160.

Application of Empirical Mode Decomposition to Fault Diagnosis of Rolling Bearing

LI Yi, XIONG Guo-liang, ZHANG Long

(School of Mechanical Engineering, East China Jiaotong Univ., Nanchang 330013, China)

Abstract: In non-stationary processes, as machines are subjected to larger stress than that in stationary processes, monitoring of the non-stationary process is helpful to find early faults and prevent machines from severe broken. In this paper, the empirical mode decomposition (EMD) is introduced to analyze mechanical faults. Since EMD is self-adaptive, it is applicable to non-stationary processes. The application of EMD shows that it can highlight the fault characteristics of vibration signals in diagnosing rolling bearings and improve the accuracy of the fault diagnosis.

Key words: empirical mode decomposition; non-stationary signal; fault diagnosis; bearing

(上接第 128 页)

若成立, 则接受签名, 否则拒绝接受签名.

上述签名验证过程是正确的. 这是因为 $\alpha^s = \alpha^{x+kh(m)} = y^{\gamma h(m)} \bmod (p)$

5 结束语

本文对 ElGamal 型签名规则作出适当修改, 并列出了几种新的签名方案. 同时给出

新方案的加强型, 使其安全性基于大整数分解和离散对数两大数学难题, 具有较高的安全性.

参考文献:

[1] ElGamal .T. , A public cryptosystem and signature scheme

based on discrete logarithms, IEEE Trans, 1985, IT-31, 469-472

[2] Agnew .G.B., et al , Improved digital signature scheme based on discrete logarithm, Electron Lett , 1990, 26(4) :1024-1025

[3] Yen .S.M. and Laih .C.S., New digital signature scheme based on discrete logarithm, Electron Lett , 1993, 29(12) :1120-1121

[4] Harn .L., New digital signature scheme based on discrete logarithm, Electron Lett , 1994, 30(5) :396-398

[5] Harn .L. and Xu .Y., Design of generalized ElGamal type digital signature schemes based on discrete logarithm, Electron Lett , 1994, 30(24) :2025-2026

[6] Lee .Y. and Hwang .T., Modified Harn signature schemes based on factorizing and discrete logarithms, IEE Proc. - Comput. Digit. Tech, 1996, 143(3) :196-198

Several New ElGamal Type Digital Signature Schemes and Their Enhanced Schemes

WANG Qing-ju, KANG Bao-yuan, HAN Jin-guang

(School of Mathematical Sciences and Computing Technology, Central South University, Hunan Changsha 410083, China)

Abstract: In this paper, we modify the design criteria of ElGamal type digital signature schemes, and several new schemes are put on the list. Moreover, an enhanced scheme is provided, whose security property is based on the factorizing and discrete logarithm problems simultaneously, so it is much safer.

Key words: digital signature; ElGamal type; factorisation discrete logarithm