

基于小波包变换的减速机降噪方法研究

任学平, 马文生, 宋小龙, 杨文志, 苏凤歧

(内蒙古科技大学机械工程学院, 包头 014010)

摘要: 在小波包降噪的基础上, 提出了一种对小波包降噪后的残差信号进行频谱分析和统计分析的新方法, 该方法首先对原始振动信号进行小波包降噪, 然后根据降噪后的振动信号和原始振动相比的差值提取残差信号, 最后通过对残差信号进行频谱分析提取产生噪声信号的特征频率, 通过对残差信号的统计量分析判断设备运行状况。实例验证了小波包降噪和小波包降噪后残差统计分析的正确性。

关键词: 小波包分析; 降噪; 减速机; 残差信号; 故障诊断

中图分类号: TB53

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2008)-03-0381-05

Denoising method study in speed reducer on wavelet packet transform

REN Xue-ping, MA Wen-sheng, SONG Xiao-long, YANG Wen-zhi, SU Feng-qi

(Mechanical Engineering School, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: A new residual signal spectrum analysis and statistics analysis method is proposed after wavelet packet denoising. Firstly, the original vibration signal is decomposed by wavelet packet theory, and the residual signal is extracted between the denoised vibration signal and the original vibration signal. Finally, the characteristic frequency of fault signal is extracted by residual signal spectrum analysis, and the machine running state is judged by residual signal statistics analysis.

Key words: wavelet packet analysis; de-noising; speed reducer; residual signal; fault diagnosis

1 引言

近年来国内外许多学者都在进行小波及小波包降噪方面研究, 斯坦福大学 Donoho^[1]提出了小波收缩方法用于函数的估计及信号的降噪方法, 天津大学王太勇等^[2]提出了一种基于奇异值分解降噪的机械设备振动信号经验模式分解方法, 这类方法可以有效地提高信噪比, 突出原始信号的故障特征。这些学者往往都是在如何对含噪信号进行更精确降噪方面研究, 本文的创新点在于利用数学中残差统计方法对降噪后的残差信号进行统计量分析, 通过本方法可以从含噪信号中分离出原始信号和噪声信号, 通

过对噪声信号的频谱分析可以直接判断出产生噪声信号的频率。

2 小波包降噪

2.1 小波包变换^[3,4]

当给定正交尺度函数 $\phi(t)$ 和小波函数 $\Psi(t)$, 其二尺度关系为:

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum h_{0k} \phi(2t-k) \quad (1)$$

$$\Psi(t) = \sqrt{2} \sum h_{1k} \phi(2t-k) \quad (2)$$

式中, h_{0k} 、 h_{1k} 是多分辨率分析中滤波器系数。

为了进一步推广二尺度方程, 定义下列的递推关系:

$$w_{2n}(t) = \sqrt{2} \sum_{k \in \mathbb{Z}} h_{0k} w_n(2t-k) \quad (3)$$

收稿日期: 2008-01-09; 修回日期: 2008-02-28

作者简介: 任学平 (1963-), 男, 河北人, 博士, 教授, 主要从事机械工程测试与故障诊断研究。

通讯作者: 马文生, E-mail: mawensheng1@sina.com

$$w_{2n+1}(t) = \sqrt{2} \sum_{k \in \mathbb{Z}} h_{1k} w_n(2t-k) \quad (4)$$

式中 h_{0k}, h_{1k} 仍然是式(1)和式(2)中的滤波系数。当 $n=0$ 时, $w_0(t)=\phi(t), w_1(t)=\psi(t)$ 。以上定义的函数集合 $\{w_n(t)\}_{n \in \mathbb{Z}}$ 为由 $w_0(t)=\phi(t)$ 所确定的小波包, 由此, 小波包 $\{w_n(t)\}_{n \in \mathbb{Z}}$ 是包括尺度函数 $w_0(t)$ 和小波母函数 $w_1(t)$ 在内的一个具有一定联系的函数的集合。

小波包变换是从小波变换延伸出来的一种对信号进行更加细致的分析与重构方法, 它将频带进行多层次划分, 对小波分析没有细分的高频部分进行了多次分解, 从而提高了时频分辨率, 它的分解过程如图1所示。

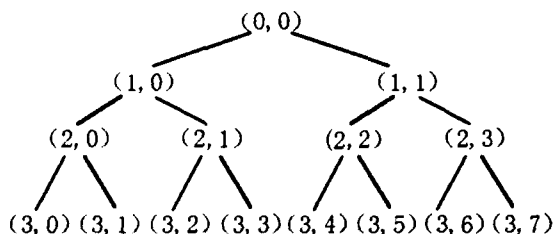


图1 小波包树3层分解树形结构

Fig.1 Three layers wavelet packet tree decompose

2.2 小波包降噪原理及步骤^[5]

一维含噪信号模型可表示如下形式:

$$y(n)=f(n)+z(n) \quad (5)$$

$y(n)$ 为含噪信号, $f(n)$ 为真实信号, $z(n)$ 为高斯噪声信号。

通常, 利用小波包对含噪信号可以按照以下步骤进行降噪:

①信号的小波包分解

选择一个小波基并确定一个小波分解的层次 N , 然后对信号进行 N 层小波包分解。

②计算最佳树(即确定最佳小波包基)

对于一个给定的熵标准, 计算最佳小波包分解树。

③对各个分解尺度下的高频系数选择一个适当的阈值进行阈值量化处理。为了得到最优的结果以满足特定的分析和信息评价标准, 阈值要通过反复实验不断调整来确定。

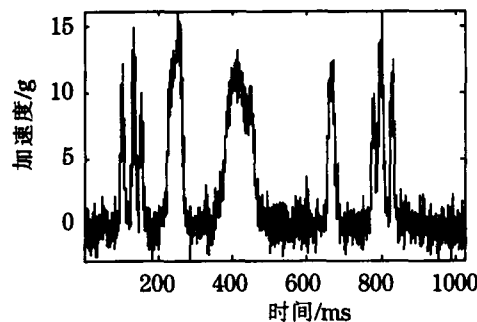
④小波包重构

根据第 N 层的小波包分解低频系数和量化处理系数进行小波重构。

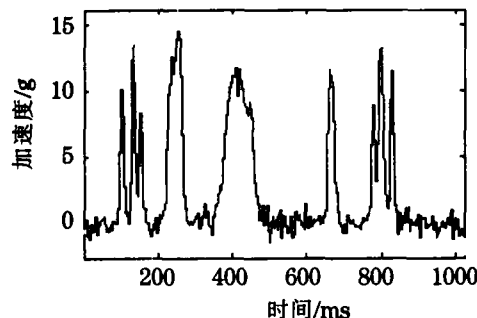
在这四个步骤中, 最关键的是如何选择阈值和如果进行阈值的量化, 从某种程度上说, 它直接关系到信号降噪的质量。

3 计算机仿真结果及分析

图2为含高频噪声的信号, 图3为正弦加噪信号, 用小波包变换对两个信号进行降噪, 为了便于比较, 这里采用同样的小波基函数和分解层数。其中, 小波基选用 harr 小波, 分解层为3层。加噪后原始信号、降噪后的信号分别如图2、图3所示。



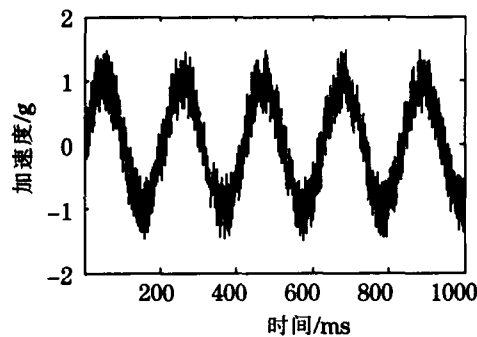
(a)加噪后的原始信号



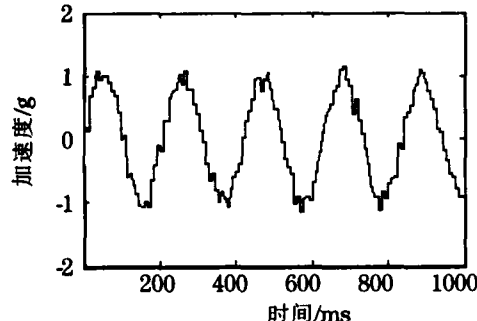
(b)小波包降噪后的信号

图2 高频加噪信号的仿真分析

Fig.2 Simulation analysis of high frequency signal plus noise



(a)加噪后的原始信号



(b)小波包降噪后的信号

图3 正弦加噪信号的仿真分析

Fig.3 Simulation analysis of sine signal plus noise

从图 2 和图 3 的仿真结果可见,信号中的噪声部分被从信号中去掉,小波包降噪后的谱线清晰,逼近原始信号,保留原始信号的特征,说明小波包降噪的优良性。

4 小波包降噪实例分析

4.1 振动测试系统简介

本次测试所选用 ZonicBook/618E 型测试系统,它是一种便携式测试系统,可以直接测量振动加速度、振动烈度(速度),测量范围宽,有最大值保持功能,并有相关处理软件,可以对其所测的数据作进一步分析。ZonicBook/618E 是一个 8 通道的振动信号分析仪器,最大可以扩展到 56 个通道,可以对微小振动及超强振动进行测量,它可以储存 1000 组以上测点的数据,具有信息管理的功能,仪器可以与计算机进行通信,实现现场监测的功能,并通过 eZ-Analyst 软件进行实时状态监测和频谱分析。本测试系统示意图如图 4 所示:

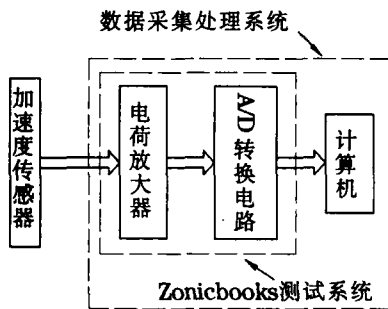


图 4 测试系统示意图
Fig.4 Schematic diagram of the testing system

4.2 减速机传动简图及测点布置

某钢厂轧机电机的电功率是 500kW, 转速是 1000r/min, 在轧钢过程中, 振动信号不平稳, 并伴随有噪声, 对此架轧机主减速机进行振动测试, 用加速度传感器分别安装在减速机 II 轴(高速轴)外壳上, 方向为垂直轴的方向, 测量和 II 轴的垂直方向的振动, 减速机传动简图及测点布置图如图 5 所示。

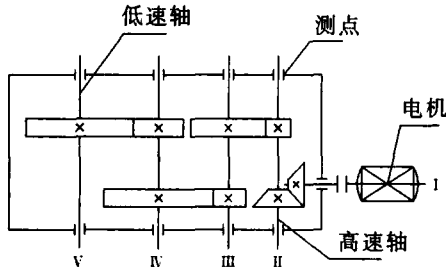
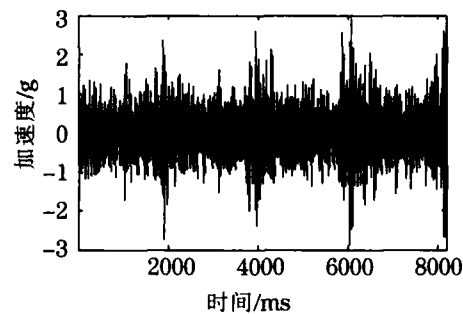


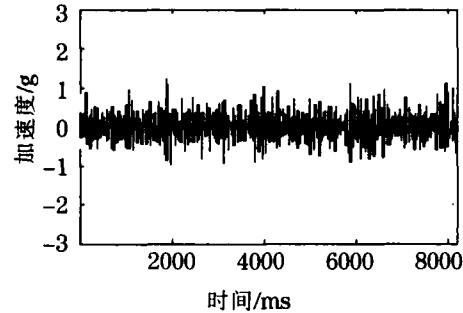
图 5 减速机传动简图及测点布置图
Fig.5 Schematic diagram of reducer structure

4.3 减速机振动信号的小波包降噪^[6-9]

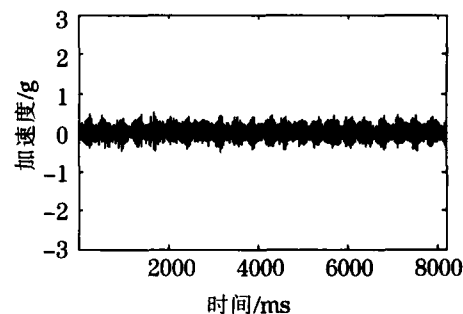
图 6(a)为 2007 年 5 月 12 日发生故障时采集含噪信号时域图, 从图中可以看到有强烈冲击信号并伴随有大量的噪声信号, 对故障信号进行小波包降噪, 选取 harr 小波基, 分解层数为 4 层, 降噪后的波形如图 6(b)所示。图 6(c)为 2007 年 11 月 4 日检修后采集含噪信号时域图, 同样选取 harr 小波基进行降噪, 分解层数为 4 层, 降噪前后的波形如图 6(d)所示。



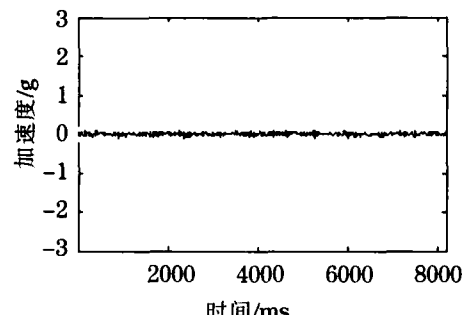
(a)2007 年 5 月 12 日检修前含噪信号



(b) 2007 年 5 月 12 日检修前降噪信号



(c)2007 年 11 月 4 日检修后含噪信号



(d)2007 年 11 月 4 日检修后降噪信号

图 6 轧机主减速机振动信号降噪前后信号波形比较
Fig.6 Comparison between the signal waveforms before and after reducer denoising

表 1 降噪后残差信号的统计量
Table 1 The residual signal statistic analysis after denoise

测点	均值	中值	最大值	最小值	范围	标准差	均值误差	中值误差
检修前	-3.32e-18	0.003084	3.305000	-2.849000	6.154000	0.458100	0.344100	0.275200
检修后	1.497e-18	-0.00235	0.481400	-0.498800	0.980200	0.144600	0.116800	0.101800

从图 6(a)、6(b)、6(c)和 6(d)降噪前后时域波形图对比可以看到,小波包降噪方法明显将信号中的大部分噪声进行了有效的滤除,谱线清晰可见,不仅有效的保留了原始信号中有用信号的峰值和突变部分,而且信号的时域波形较为平滑,说明小波包降噪效果较好,保证了信号在降噪过程中不产生失真现象。

4.4 减速机振动信号的残差统计分析

为了进一步得到噪声信号的特征信息,判断检修前后信号降噪情况,对降噪后的信号和原始信号相比的残差信号进行提取,残差信号的时域波形图

和频谱图如图 7 所示。

通过图 7(a)、7(c)可以到看,检修前后残差时域图差别很大,在检修前有杂乱噪声信号,并有周期性的冲击信号,而在检修后信号幅值明显减小,无明显的冲击信号,轧机主减速机工作平稳。从图 7(b)的残差信号频谱图可以到看,在检修前频谱图在 26Hz 和 38Hz,87Hz 和 99Hz 两处都有等频的 12Hz 的转频产生,这个转频是Ⅱ轴的转频,经过检修发现Ⅱ轴上齿轮有断齿现象,正好与测试结果吻合。

通过对降噪后残差信号进行统计量计算,得到表 1。

5 结 论

(1)提出了对小波包降噪后的残差信号进行频谱分析和统计分析的新方法。实例表明,通过对小波包降噪可以有效的提取信号特征,通过残差信号的频谱分析可以有效的提取了故障频率,通过统计量数值可以判断设备运行状况。

(2)运用 Matlab 软件对小波包降噪进行计算机仿真,取得了满意的效果。

(3)利用本文提出的对小波包降噪后的残差信号进行频谱分析和统计分析,获得了满意的结果,因此充分验证了小波包降噪和小波包降噪后残差统计分析的正确性。

参 考 文 献

[1] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage[M]. Biometrika, 1994, 81(3): 425-455.
[2] 王太勇, 王正英, 胥永刚. 基于 SVD 降噪的经验模式分解及其工程应用[J]. 振动与冲击, 2005, 24(4): 96-99.
WANG taiyong, WANG Zhengying, XU yonggang. Empirical mode decomposition and its engineering applications based on SVD denoising[J]. Journal of Vibration and Shock, 2005, 24(4): 96-99.
[3] 何正嘉, 曾艳阳, 张西宁. 现代信号处理及其工程应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社. 2007.
HE Zhengjia, ZI Yanyang, ZHANG Xining. Modern signal processing technology and its application[M]. Xi'an Jiaotong University Press, 2007.
[4] 飞思科技产品研发中心. 小波分析理论与 MATLAB7 实现[M]. 北京: 电子工业出版社. 2005.
Feisi science and technology research center. Wavelet an-

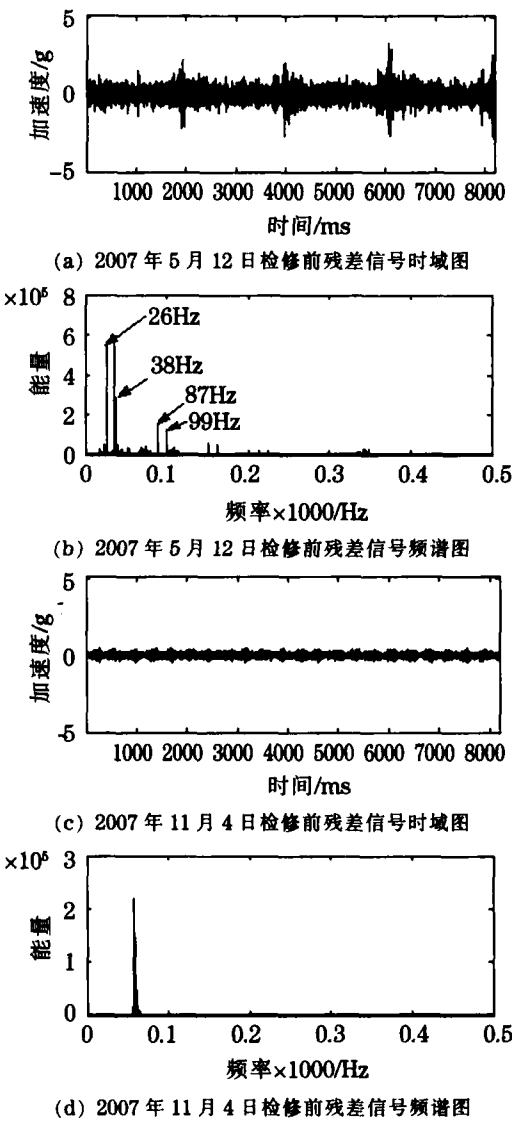


图 7 检修前后残差信号时域图和频谱图
Fig.7 The residual signal statistics time domain and its spectrum before and after overhauling

- alysis theory and MATLAB application[M]. Publishing house of electronics industry, 2005.
- [5] 范显峰, 姜兴渭. 基于小波包变换的信号去噪方法研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(7): 809-811.
Fan Xianfeng, Jiang Xingwei. Signal de-noise based on wavelet packets transform[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35(7): 809-811.
- [6] 陈果. 一种转子故障信号的小波降噪新方法[J]. 振动工程学报, 2007, 20(3): 285-290.
CHEN Guo. A new denoising method for rotor faults signal[J]. Journal of Vibration Engineering, 2007, 20(3): 285-290.
- [7] 王国栋, 胡邦喜, 高立新等. 自适应小波降噪在轴承故障诊断中的应用[J]. 噪声与振动控制, 2007, 27(5): 100-104.
WANG Guodong, HU Bangxi, GAO Lixin. Application of adaptive wavelet denoising on bearing fault diagnosis[J]. Noise and Vibration Control, 2007, 27(5): 100-104.
- [8] 任震, 张征平, 黄雯莹, 等. 基于最优小波包基的电动机故障信号的消噪与检测[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(8): 53-57.
REN Zhen, ZHANG Zhengping, HUANG Wenying. De-noising and detection of faulted motor signal based on best wavelet packet basis[J]. Proceedings of the Csee, 2002, 22(8): 53-57.
- [9] 赵学智, 陈统坚, 叶邦彦, 等. 基于卷积型小波包变换的信号消噪算法[J]. 数据采集与处理, 2003, 18(3): 292-295.
ZHAO Xuezhi, CHENG Tongjian, YE Bangyan, et al. Denoising algorithm based on convolution type of wavelet packet transformation[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2003, 18(3): 292-295.

简 讯

声学设计与环境噪声控制暨配套装备研讨交流会在沪举行

由中国环保产业协会噪声与振动控制委员会与北京国建信文化发展中心联合主办的“声学设计与环境噪声控制暨配套装备研讨交流会”于2008年4月18日至4月20日在上海物资大厦举行。来自全国109个单位143名代表出席了会议,会议邀请章奎生、邵斌、杨志刚、任文堂、方庆川、吕玉恒等六位专家作了专题报告,内容涉及我国演艺建筑设计及发展动态;典型建筑声学设计;环境噪声控制设计实例剖析;城市交通噪声和社会生活噪声现状及控制技术;工业噪声控制方法;新型绿色环保装备及材料的设计应用等。会议出版了论文集,共有24篇论文入选,同时介绍了52家企业(公司)概况。会议交流了近年来建筑声学 and 噪声控制技术的新进展,国外一些公司或代表(德国、美国、日本、奥地利、韩国等)也在会上介绍了新材料、新结构、新仪器以及典型工程。会议交流了经验,沟通了信息,建立了联系,推动了我国建筑声学 and 噪声控制技术的发展。

中船第九设计研究院工程有限公司 吕玉恒