

Rolling Bearing Fault Diagnosis Based on Spectral Kurtosis

Yun Zhang¹, Xumeng Fang², Dong Yang², Yangang Si²

¹Department of Airborne Vehicle Engineering, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai Shandong

²Unit 92074 of PLA, Ningbo Zhejiang

Email: hjhy_zy@126.com

Received: Jun. 25th, 2016; accepted: Jul. 11th, 2016; published: Jul. 20th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Spectral Kurtosis is a high-order statistic proposed recently, which can find the impulsive component and its position in the frequency domain from the strong noisy signal. The rolling bearing fault diagnosis method based on spectral kurtosis is studied. The bearing outer fault data is used to conduct the experiment. The results show that the method can effectively recognize the outer fault feature of bearing and achieve the diagnosis of outer fault.

Keywords

Rolling Bearing, Spectral Kurtosis, Fault Diagnosis

基于谱峭度的滚动轴承故障诊断方法研究

张 贇¹, 方旭萌², 杨 栋², 斯彦刚²

¹海军航空工程学院飞行器工程系, 山东 烟台

²中国人民解放军92074部队, 浙江 宁波

Email: hjhy_zy@126.com

收稿日期: 2016年6月25日; 录用日期: 2016年7月11日; 发布日期: 2016年7月20日

摘要

谱峭度是近年来发展起来的一种高阶统计量，它能有效的从含有强噪声信号中发现暂态成分及其在频域中的位置。本文对基于谱峭度的滚动轴承故障诊断方法进行研究，利用轴承外圈故障数据进行实验分析，结果表明该方法能够准确的识别出滚动轴承外圈故障特征，有效的诊断出轴承外圈故障。

关键词

滚动轴承，谱峭度，故障诊断

1. 引言

滚动轴承是广泛应用于发动机转子系统、齿轮箱的关键零件，其突发性故障将会造成巨大的损失。在飞机发动机工作时的恶劣环境条件下，极易发生点蚀、疲劳剥落和磨损等故障，滚动轴承的运行状态会直接影响发动机的性能(包括精度、可靠性及寿命等)。据统计，飞机发动机发生的故障中大部分是由滚动轴承故障引起的，因此，滚动轴承的故障诊断方法已经成为研究的重点[1]。

滚动轴承发生故障时，外圈、内圈以及滚动体之间存在着摩擦与碰撞，目前用于提取碰撞引起的冲击或奇异成分的方法主要有小波变换[2]、匹配追踪[3]、希尔伯特-黄变换[4]等，然而轴承在实际运行时受到的干扰很大，并且自身存在很多激振源，微弱的冲击特征往往被其他激振源及干扰形成的强背景噪声所掩盖，如何从强背景噪声中检测冲击特征仍然是个难点。

谱峭度(Spectral kurtosis, SK)是近年来发展起来的一种高阶统计量，它能有效的从含有强噪声信号中发现暂态成分及其在频域中的位置，它还能作为滤波器来恢复埋在强背景噪声中的随机信号，在某些型号的滚动轴承故障诊断中得到了应用[5]。因此，本文将谱峭度方法应用于轴承实验台 6205-2RS 型号滚动轴承外圈的故障诊断，成功的实现了从强噪声振动信号中提取出滚动轴承外圈故障特征，验证了该方法对 6205-2RS 型号滚动轴承故障诊断的有效性。

2. 基于谱峭度的滚动轴承故障诊断方法

设 $X(t, f)$ 为信号 $x(t)$ 的短时傅立叶变换，定义 $X(t, f)$ 的 n 阶谱矩为[5]

$$S_{nx}(f) = \left\langle |X(t, f)|^n \right\rangle \quad (1)$$

式中， $\langle \cdot \rangle$ 表示时间平均算子， t 和 f 分别表示时间和频率。

将谱峭度定义为能量归一化的四阶谱矩，即

$$K_x(f) = \frac{S_{4x}(f)}{S_{2x}^2(f)} - 2. \quad (2)$$

谱峭度的物理意义就是能够描述信号在频率 f 处偏离高斯的程度，偏离高斯过程越大，谱峭度的值就越大。瞬态冲击信号占主导的频率段的谱峭度较大，而平稳高斯背景噪声信号占主导频率段的谱峭度很小。因此可以通过比较谱峭度的大小，将谱峭度较大的频带信号分离出来，从而得到瞬态冲击故障信号。

滚动轴承的振动信号模型可以表示为：

$$Z(t) = X(t) + O(t) \quad (3)$$

式中： $Z(t)$ 为实测信号， $X(t)$ 为被检测的故障信号， $O(t)$ 为噪声。

$X(t)$ 是由瞬时冲击力引起的系统结构共振， $X(t)$ 的振动模型可以解释为：

$$X(t) = \sum_k x_k h(t - \tau_k) \quad (4)$$

式中： $h(t - \tau_k)$ 为单个冲击在时间 $t - \tau_k$ 时引起的脉冲响应； x_k 和 τ_k 分别为第 k 个脉冲的随机幅值和发生时间。

在假定噪声服从稳态高斯分布的情况下，实测振动信号 $Z(t)$ 的谱峭度 $K_z(f)$ 为：

$$K_z(f) = K_x(f) / [1 + \rho(f)]^2 \quad (5)$$

$$\rho(f) = S_{2o}(f) / S_{2x}(f) \quad (6)$$

式中： $\rho(f)$ 为噪信比，它是噪声 $O(t)$ 的二阶谱矩 $S_{2o}(f)$ 与信号 $X(t)$ 的二阶谱矩 $S_{2x}(f)$ 之比； $K_z(f)$ 为信号 $Z(t)$ 的谱峭度，它仅仅是关于频率 f 的函数，因此在信噪比高的频带 $K_z(f)$ 近似等于 $K_x(f)$ 。

若计算整个频带的谱峭度值就能找到峭度最大的频带，从而寻找其中隐藏的瞬态信号。Antoni 在文献[6]中引入了峭度图的定义。峭度图是一个关于频率 f 和窗长 N_w 的函数，使峭度图最大的频率 f 和窗长 N_w 对应的正好就是谱峭度值最大的频带的中心频率 f_c 和带宽 B_w 。

$$B_w \approx 2f_s / N_w \quad (7)$$

式中： f_s 为信号的采样率。

在确定了谱峭度值最大的频带的中心频率 f_c 和窗长 N_w 后，利用带通滤波器，设计滤波的频率段，对信号进行滤波处理就可以得到去除背景噪声的轴承冲击故障信号。在滤波后信号中就可以明显的看出冲击信号，再对信号进行包络解调分析得到包络图，从包络图中可以分析出冲击频率，从而得到轴承的故障特征频率。

3. 滚动轴承故障实验

采用轴承外圈故障信号数据来验证本文方法的有效性。轴承实验台采用滚动轴承型号为 6205-2RS，滚动轴承参数如表 1 所示。两个滚动轴承支撑一个转子，由电机驱动转轴转动，转轴的转速为 1797 r/min。对其中一个滚动轴承的外圈进行单点故障设置，故障直径为 0.17 毫米、深度为 0.28 毫米。加速度传感器被放置在轴承座上采集振动信号，采样频率为 36,000 Hz。根据轴承参数及转轴转速可以计算出滚动轴承外圈损伤的故障特征频率为 104 Hz。

采集的轴承原始信号如图 1 所示，从原始信号图中很难观察到滚动轴承的外圈故障频率特征。对外圈信号进行谱峭度分析，选取不同的窗长 $N_w = 2^0, 2^1, \dots, 2^9$ ，分别计算谱峭度，得到如图 2 所示的三维谱峭度图，在峭度图中可以明显观察到当 $f_c = 12000$ Hz， $N_w = 2^{5.5}$ 时谱峭度达到最大值 Kurt = 0.6。选取 $f_c = 12000$ Hz， $N_w = 2^{5.5}$ ，设计带通滤波器，对原始振动信号进行处理，得到滤波后的信号(见图 3(b))。与原始信号相比，滤波后的信号出现明显的周期性冲击，为准确识别出滤波后振动信号中轴承内圈的故障特征信息，对滤波信号进行包络解调分析，得到如图 3(c)所示的信号包络。从包络图中可以明显看到具有较大能量的 104 Hz 频率成分及其倍频，这与外圈故障特征频率是一致的，说明本文算法有效的诊断出了轴承外圈故障。

4. 结论

本文对谱峭度方法在滚动轴承故障诊断的应用进行了研究，利用峭度图和带通滤波法将轴承瞬态冲

Table 1. Rolling bearing parameters

表 1. 滚动轴承参数

内径(mm)	外径(mm)	厚度(mm)	滚子直径(mm)
25	52	13.5	7.4

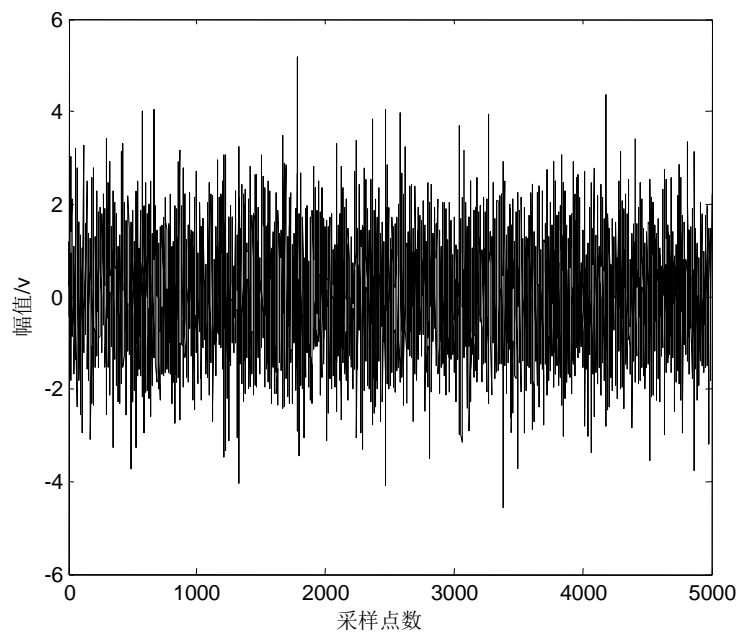


Figure 1. Measured rolling bearing vibration signal

图 1. 采集的滚动轴承振动信号

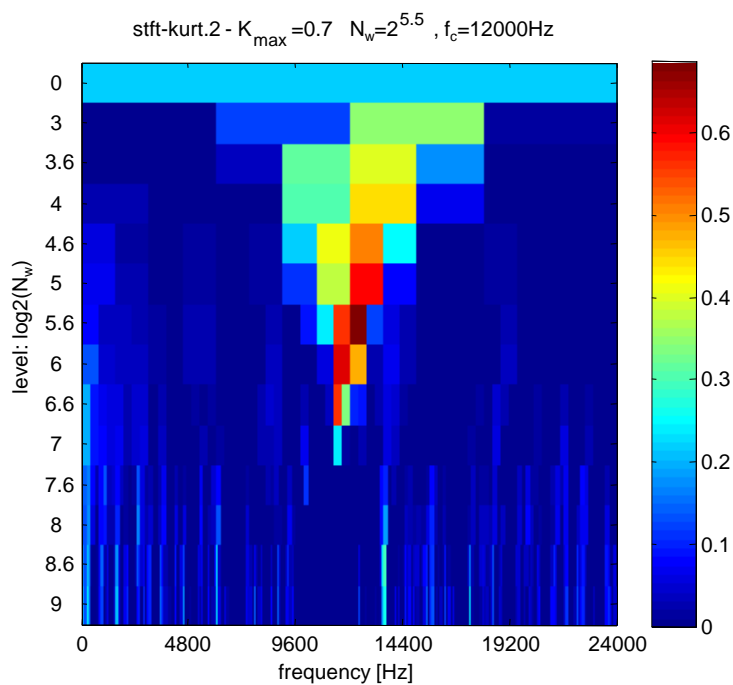


Figure 2. Spectral kurtosis

图 2. 谱峭度图

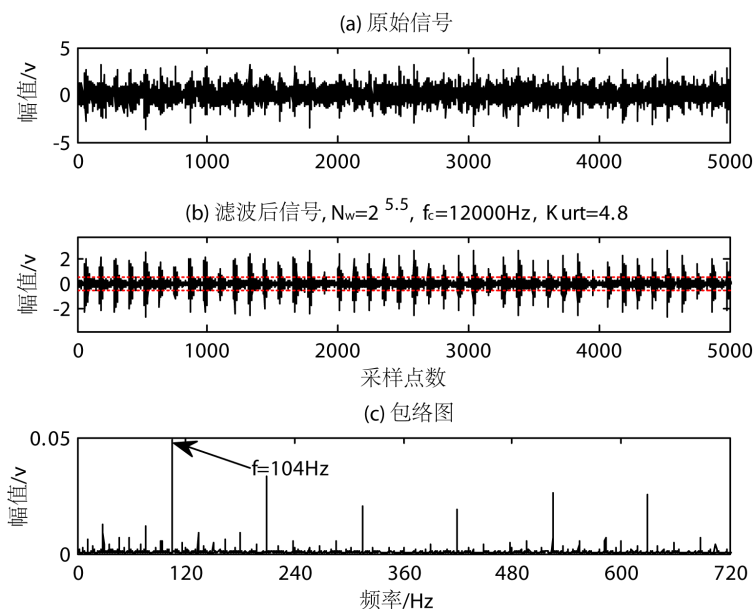


Figure 3. Original signal, filtered signal and its envelope

图3. 轴承的原始信号、滤波后信号和包络图

击故障特征信号分离出来。利用轴承外圈故障数据对该方法进行实验分析，结果表明该方法能够在较强的背景噪声下识别出滚动轴承外圈故障特征，有效的诊断出轴承外圈故障。

基金项目

本文得到国家自然科学基金(编号 51505492)，山东省自然科学基金(编号 ZR2013EEQ001)，以及泰山学者建设工程专项经费资助。

参考文献 (References)

- [1] 陈果. 航空器检测与诊断技术导论[M]. 北京: 中国民航出版社, 2007: 145-149.
- [2] 樊薇, 李双, 蔡改改, 等. 基于小波基稀疏信号特征提取的轴承故障诊断[J]. 振动工程学报, 2015, 28(6): 972-980.
- [3] 崔玲丽, 王婧, 邬娜, 等. 基于轴承故障信号特征的自适应冲击字典匹配追踪方法及应用[J]. 振动与冲击, 2014, 33(11): 54-60.
- [4] 郑近德, 程军圣. 改进的希尔伯特-黄变换及其在滚动轴承故障诊断中的应用[J]. 机械工程学报, 2015, 51(1): 138-145.
- [5] Antoni, J. (2006) The Spectral Kurtosis: A Useful Tool for Characterising Nonstationary Signals. *Mechanical Systems and Signal Processing*, **20**, 282-307. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ymssp.2004.09.001>
- [6] Antoni, J. and Randall, R.B. (2006) The Spectral Kurtosis: Application to the Vibratory Surveillance and Diagnosis of Rotation Machines. *Mechanical Systems and Signal Processing*, No. 20, 308-331. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ymssp.2004.09.002>

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>