



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103940612 A

(43) 申请公布日 2014. 07. 23

(21) 申请号 201410140890. 6

(22) 申请日 2014. 04. 10

(71) 申请人 昆明理工大学

地址 650093 云南省昆明市五华区学府路
253 号

(72) 发明人 郭瑜 代士超 伍星 刘畅
谢金葵 贺玮

(51) Int. Cl.

G01M 13/04 (2006. 01)

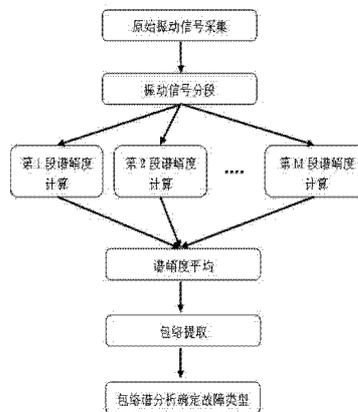
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种滚动轴承故障特征提取方法及系统

(57) 摘要

本发明涉及一种滚动轴承故障特征提取方法及系统,属于故障诊断技术与信号处理分析技术领域。本发明包括信号采集模块;信号处理模块;谱峭度优化模块;特征提取模块。本发明由于在对优化的共振解调频带进行提取过程中,可以有效避免采集信号中高峰值脉冲干扰对优化的共振解调频带选取的影响,同时又不需要人为进行参与,大大减少了因为人为失误造成的共振解调频带选取误差,能够更好的保证提取出的优化的共振解调频带更加准确,故障特征提取结果更加正确。本发明由于在对优化的共振解调频带提取过程中不需要人工干预,更加有利于实现故障特征提取及诊断检测自动化,更加节省时间,效率更高。



1. 一种滚动轴承故障特征提取方法,其特征在于:包括:

信号采集模块,用于通过加速度传感器获取滚动轴承故障振动信号;

信号处理模块,用于对工况下的滚动轴承故障振动信号进行分段;

谱峭度优化模块,用于依次对分段后的信号用快速谱峭度图算法计算每段信号的不同子频带的谱峭度;再对各段信号计算所得的子频带谱峭度进行对应子频带求平均;平均之后通过比较选出谱峭度最大值对应的子频带从而得到优化的共振解调频带;

特征提取模块,用于利用谱峭度优化模块所得到的优化的共振解调频带对所采集的滚动轴承故障振动信号进行包络频谱分析,得到滚动轴承故障振动信号包络后的频率谱线,将其与滚动轴承存在的故障类型所对应的理论特征频率对比,从而确定滚动轴承存在的故障类型。

2. 根据权利要求1所述的滚动轴承故障特征提取方法,其特征在于:所述滚动轴承故障振动信号是时域信号。

3. 根据权利要求1所述的滚动轴承故障特征提取方法,其特征在于:所述信号处理模块具体为对所采集的滚动轴承故障振动信号 $x(t)$ 等长度分为 M 段。

4. 根据权利要求1所述的滚动轴承故障特征提取方法,其特征在于:所述谱峭度优化模块具体为:在分段后,对每一段信号分别运用快速谱峭度图算法计算出每段信号中各子频带的谱峭度,获得所述采集信号各子频带所对应的多次谱峭度计算结果;对获得所述采集信号各子频带所对应的多次谱峭度计算结果,进行对应子频带谱峭度求平均,获得优化的谱峭度图;通过比较优化的谱峭度图中各子频带谱峭度选出最大值对应的子频带,其中心频率 f_0 和带宽 Δf_0 为优化的共振解调频带。

5. 根据权利要求1所述的滚动轴承故障特征提取方法,其特征在于:所述特征提取模块具体为:利用谱峭度优化模块所得到的优化的共振解调频带对所采集的滚动轴承故障振动信号进行包络频谱分析,得到滚动轴承故障振动信号包络后的频率谱线,将其与滚动轴承存在的故障类型所对应的理论特征频率对比:

如果处于理论特征频率值正负 2Hz 范围内出现突出的谱线,则可以确定存在与对理论特征频率值相对应的故障类型。

6. 根据权利要求4所述的滚动轴承故障特征提取方法,其特征在于:所述谱峭度的计算公式为:

$$K = \frac{E[|c_k^i(n)|^4]}{\{E[|c_k^i(n)|^2]\}^2} - 2$$

式中, $| \cdot |$ 和 $E[\cdot]$ 分别表示取模和数学期望, $c_k^i(n)$ 为第 k 级第 i 个子频带复包络信号,其中 k 为分解级数, $i=0, 1, \dots, 2^{k-1}$ 为子频带复包络信号位置系数, n 是与时间 t 有关的时间序列,取值为从 0 到包络信号的长度。

7. 根据权利要求4所述的滚动轴承故障特征提取方法,其特征在于:所述子频带谱峭度求平均的计算公式为:

$$\bar{K} = \left(\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_{0,m}, \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_{1,m}^0, \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_{1,m}^1, \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_{1.5,m}^0, \dots, \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_{k,m}^{2^{k-1}} \right)$$

式中, $K_{k,m}^{2^{k-1}}$ 为第 m 段信号中第 k 级第 2^{k-1} 个子频代复包络信号所对应的谱峭度。

8. 一种滚动轴承故障特征提取系统,其特征在于:包括:

信号采集模块,用于通过加速度传感器获取滚动轴承故障振动信号;

信号处理模块,用于对工况下的滚动轴承故障振动信号进行分段;

谱峭度优化模块,用于依次对分段后的信号用快速谱峭度图算法计算每段信号的不同子频带的谱峭度;再对各段信号计算所得的子频带谱峭度进行对应子频带求平均;平均之后通过比较选出谱峭度最大值对应的子频带从而得到优化的共振解调频带;

特征提取模块,用于利用谱峭度优化模块所得到的优化的共振解调频带对所采集的滚动轴承故障振动信号进行包络频谱分析,得到滚动轴承故障振动信号包络后的频率谱线,将其与滚动轴承存在的故障类型所对应的理论特征频率对比,从而确定滚动轴承存在的故障类型。

一种滚动轴承故障特征提取方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种滚动轴承故障特征提取方法及系统,属于故障诊断技术与信号处理分析技术领域。

背景技术

[0002] 共振解调是目前被广泛应用的一种振动特征提取技术,对信号冲击成分的提取有很好的效果。共振解调的过程需要确定中心频率和带宽进行带通滤波,利用传统快速谱峭度图的方法确定滤波中心频率和带宽是比较有效和便捷的方法。

[0003] 传统快速谱峭度图算法在计算共振解调频带时会受到采集信号中高峰值脉冲的干扰,导致在对滤波中心频率和带宽的选择时会产生分析误差,而不能达到利用共振解调技术对故障进行特征提取和诊断的目的。

[0004] 本发明所提出的方法能很好地解决传统方法中受高峰值脉冲干扰时共振解调频带选取不准确的问题,从而获得优化的共振解调频带,实现对故障特征的准确提取。

发明内容

[0005] 本发明提供了一种滚动轴承故障特征提取方法及系统,以子频带谱峭度平均的方法,获取优化的共振解调频带,实现包络分析中滤波参数的准确选取,解决传统基于谱峭度包络分析方法当采集信号中存在高峰值脉冲干扰时共振解调频带选取不准确的问题。

[0006] 本发明的技术方案是:一种滚动轴承故障特征提取方法,包括:

信号采集模块,用于通过加速度传感器获取滚动轴承故障振动信号;

信号处理模块,用于对工况下的滚动轴承故障振动信号进行分段;

谱峭度优化模块,用于依次对分段后的信号用快速谱峭度图算法计算每段信号的不同子频带的谱峭度;再对各段信号计算所得的子频带谱峭度进行对应子频带求平均;平均之后通过比较选出谱峭度最大值对应的子频带从而得到优化的共振解调频带;

特征提取模块,用于利用谱峭度优化模块所得到的优化的共振解调频带对所采集的滚动轴承故障振动信号进行包络频谱分析,得到滚动轴承故障振动信号包络后的频率谱线,将其与滚动轴承存在的故障类型所对应的理论特征频率对比,从而确定滚动轴承存在的故障类型。

[0007] 所述滚动轴承故障振动信号是时域信号。

[0008] 所述信号处理模块具体为对所采集的滚动轴承故障振动信号 $x(t)$ 等长度分为 M 段。

[0009] 所述谱峭度优化模块具体为:在分段后,对每一段信号分别运用快速谱峭度图算法计算出每段信号中各子频带的谱峭度,获得所述采集信号各子频带所对应的多次谱峭度计算结果;对获得所述采集信号各子频带所对应的多次谱峭度计算结果,进行对应子频带谱峭度求平均,获得优化的谱峭度图;通过比较优化的谱峭度图中各子频带谱峭度选出最大值对应的子频带,其中心频率 f_0 和带宽 Δf_0 为优化的共振解调频带。

[0010] 所述特征提取模块具体为：利用谱峭度优化模块所得到的优化的共振解调频带对所采集的滚动轴承故障振动信号进行包络频谱分析，得到滚动轴承故障振动信号包络后的频率谱线，将其与滚动轴承存在的故障类型所对应的理论特征频率对比：

如果处于理论特征频率值正负 2Hz 范围内出现突出的谱线，则可以确定存在与对理论特征频率值相对应的故障类型。

[0011] 所述谱峭度的计算公式为：

$$K = \frac{E[|c_k^i(n)|^4]}{\{E[|c_k^i(n)|^2]\}^2} - 2$$

式中， $|\cdot|$ 和 $E[\cdot]$ 分别表示取模和数学期望， $c_k^i(n)$ 为第 k 级第 i 个子频带复包络信号，其中 k 为分解级数， $i=0, 1, \dots, 2^{k-1}$ 为子频带复包络信号位置系数， n 是与时间 t 有关的时间序列，取值为从0到包络信号的长度。

[0012] 所述子频带谱峭度求平均的计算公式为：

$$\bar{K} = \left(\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_{0,m}, \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_{1,m}^0, \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_{1,m}^1, \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_{1.5,m}^0, \dots, \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_{k,m}^{2^{k-1}} \right)$$

式中， $K_{k,m}^{2^{k-1}}$ 为第 m 段信号中第 k 级第 2^{k-1} 个子频带复包络信号所对应的谱峭度。

[0013] 一种滚动轴承故障特征提取系统，包括：

信号采集模块，用于通过加速度传感器获取滚动轴承故障振动信号；

信号处理模块，用于对工况下的滚动轴承故障振动信号进行分段；

谱峭度优化模块，用于依次对分段后的信号用快速谱峭度图算法计算每段信号的不同子频带的谱峭度；再对各段信号计算所得的子频带谱峭度进行对应子频带求平均；平均之后通过比较选出谱峭度最大值对应的子频带从而得到优化的共振解调频带；

特征提取模块，用于利用谱峭度优化模块所得到的优化的共振解调频带对所采集的滚动轴承故障振动信号进行包络频谱分析，得到滚动轴承故障振动信号包络后的频率谱线，将其与滚动轴承存在的故障类型所对应的理论特征频率对比，从而确定滚动轴承存在的故障类型。

[0014] 本发明的有益效果是：

本发明中的故障特征提取方法及系统，不需要操作者拥有大量的检测经验，以及繁多的历史数据作为支持就可以对故障特征提取过程中的优化的共振解调频带进行准确提取，适用范围更广。

[0015] 本发明由于在对优化的共振解调频带进行提取过程中，可以有效避免采集信号中高峰值脉冲干扰对优化的共振解调频带选取的影响，同时又不需要人为进行参与，大大减少了因为人为失误造成的共振解调频带选取误差，能够更好的保证提取出的优化的共振解调频带更加准确，故障特征提取结果更加正确。

[0016] 本发明由于在对优化的共振解调频带提取过程中不需要人工干预，更加有利于实现故障特征提取及诊断检测自动化，更加节省时间，效率更高。

附图说明

[0017] 图 1 为本发明的流程图；

图 2 为本发明中轴承故障振动信号的时域波形示意图；

图 3 为本发明中构建一系列树状滤波器组及子频带谱峭度示意图；

图 4 为本发明优化的谱峭度图；

图 5 为传统谱峭度图；

图 6 为本发明中滚动轴承故障振动信号包络后的频率谱线图；

图 7 为传统快速谱峭度算法得到的滚动轴承故障振动信号包络后的频率谱线图；

图 8 为本发明的系统结构图。

具体实施方式

[0018] 实施例 1 :如图 1-8 所示,一种滚动轴承故障特征提取方法,包括：

信号采集模块,用于通过加速度传感器获取滚动轴承故障振动信号；

信号处理模块,用于对工况下的滚动轴承故障振动信号进行分段；

谱峭度优化模块,用于依次对分段后的信号用快速谱峭度图算法计算每段信号的不同子频带的谱峭度；再对各段信号计算所得的子频带谱峭度进行对应子频带求平均；平均之后通过比较选出谱峭度最大值对应的子频带从而得到优化的共振解调频带；

特征提取模块,用于利用谱峭度优化模块所得到的优化的共振解调频带对所采集的滚动轴承故障振动信号进行包络频谱分析,得到滚动轴承故障振动信号包络后的频率谱线,将其与滚动轴承存在的故障类型所对应的理论特征频率对比,从而确定滚动轴承存在的故障类型。

[0019] 所述滚动轴承故障振动信号是时域信号。

[0020] 所述信号处理模块具体为对所采集的滚动轴承故障振动信号 $x(t)$ 等长度分为 M 段。

[0021] 所述谱峭度优化模块具体为：在分段后,对每一段信号分别运用快速谱峭度图算法计算出每段信号中各子频带的谱峭度,获得所述采集信号各子频带所对应的多次谱峭度计算结果；对获得所述采集信号各子频带所对应的多次谱峭度计算结果,进行对应子频带谱峭度求平均,获得优化的谱峭度图；通过比较优化的谱峭度图中各子频带谱峭度选出最大值对应的子频带,其中心频率 f_0 和带宽 Δf_0 为优化的共振解调频带：

所述谱峭度的计算公式为：

$$K = \frac{E[|c_k^i(n)|^4]}{\{E[|c_k^i(n)|^2]\}^2} - 2$$

式中, $| \cdot |$ 和 $E[\cdot]$ 分别表示取模和数学期望, $c_k^i(n)$ 为第 k 级第 i 个子频带复包络信号,其中 k 为分解级数, $i=0, 1, \dots, 2^{k-1}$ 为子频带复包络信号位置系数, n 是与时间 t 有关的时间序列,取值为从 0 到包络信号的长度。

[0022] 所述子频带谱峭度求平均的计算公式为：

$$\bar{K} = \left(\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_{0,m}, \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_{1,m}^0, \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_{1,m}^1, \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_{1.5,m}^0, \dots, \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_{k,m}^{2^{k-1}} \right)$$

式中, $K_{k,m}^{2^{k-1}}$ 为第 m 段信号中第 k 级第 2^{k-1} 个子频代复包络信号所对应的谱峭度。

[0023] 所述特征提取模块具体为:利用谱峭度优化模块所得到的优化的共振解调频带对所采集的滚动轴承故障振动信号进行包络频谱分析,得到滚动轴承故障振动信号包络后的频率谱线,将其与滚动轴承存在的故障类型所对应的理论特征频率对比:

如果处于理论特征频率值正负 2Hz 范围内出现突出的谱线,则可以确定存在与对理论特征频率值相对应的故障类型。

[0024] 一种滚动轴承故障特征提取系统,包括:

信号采集模块,用于通过加速度传感器获取滚动轴承故障振动信号;

信号处理模块,用于对工况下的滚动轴承故障振动信号进行分段;

谱峭度优化模块,用于依次对分段后的信号用快速谱峭度图算法计算每段信号的不同子频带的谱峭度;再对各段信号计算所得的子频带谱峭度进行对应子频带求平均;平均之后通过比较选出谱峭度最大值对应的子频带从而得到优化的共振解调频带;

特征提取模块,用于利用谱峭度优化模块所得到的优化的共振解调频带对所采集的滚动轴承故障振动信号进行包络频谱分析,得到滚动轴承故障振动信号包络后的频率谱线,将其与滚动轴承存在的故障类型所对应的理论特征频率对比,从而确定滚动轴承存在的故障类型。

[0025] 实施例 2:如图 1-8 所示,一种滚动轴承故障特征提取方法,包括:

信号采集模块,用于通过加速度传感器获取滚动轴承故障振动信号;

信号处理模块,用于对工况下的滚动轴承故障振动信号进行分段;

谱峭度优化模块,用于依次对分段后的信号用快速谱峭度图算法计算每段信号的不同子频带的谱峭度;再对各段信号计算所得的子频带谱峭度进行对应子频带求平均;平均之后通过比较选出谱峭度最大值对应的子频带从而得到优化的共振解调频带;

特征提取模块,用于利用谱峭度优化模块所得到的优化的共振解调频带对所采集的滚动轴承故障振动信号进行包络频谱分析,得到滚动轴承故障振动信号包络后的频率谱线,将其与滚动轴承存在的故障类型所对应的理论特征频率对比,从而确定滚动轴承存在的故障类型。

[0026] 具体参数如下:1)滚动轴承的接触角度:0°;2)滚动轴承的滚动体直径:7.5mm;3)滚动轴承的滚动体个数:12个;4)滚动轴承的节径为:39mm;5)在进行高频采样时,滚动轴承的转速为 1200rpm,故障类型为外圈点蚀故障。本实施例中选用的传感器为压电传感器,将压电传感器设置于滚动轴承的轴承座上为后续步骤做准备。

[0027] A、将压电传感器(如 PV 系列传感器、IEPE/ICP 加速度计等)固定在本实施例中的滚动轴承的轴承座上,开机后开始对故障滚动轴承进行高频采样,采样过程中的频率为 20KHz,采样时间为 10s。在进行高频采样过程中,保证压电传感器尽量少的受到外界环境和噪声的干扰,保证采样的准确性。采样得到的时域信号如图 2 所示(含有高峰值脉冲)。

[0028] B、对所采集的滚动轴承故障振动信号 $x(t)$ 等长度分为 M 段。理论上,分段长度大

于一个故障脉冲周期且小于采集信号长度的一半,对所采集故障振动信号 $x(t)$ 等长度分为 M 段,当高价值脉冲干扰幅值较大时可适当增加分段数。本方案中以 1s 时长为分段长度,将采集信号分为 10 段。

[0029] C、在分段后,对每一段信号分别运用快速谱峭度图算法计算出每段信号中各子频带的谱峭度,获得所述采集信号各子频带所对应的多次谱峭度计算结果;对获得所述采集信号各子频带所对应的多次谱峭度计算结果(子频带谱峭度分布如图 3 所示),进行对应子频带谱峭度求平均,获得优化的谱峭度图(如图 4 所示);通过比较优化的谱峭度图中各子频带谱峭度选出最大值对应的子频带,其中心频率 f_o 和带宽 Δf_o 为优化的共振解调频带。(其中,对采集信号用 Fast Kurtogram 算法中的滤波算法提取复包络信号,是应用 1/3- 二叉树带通滤波器组来实现的)。

[0030] 对比图 4 和 5 可看出由传统 Fast Kurtogram 算法所得到的谱峭度最大值所对应的中心频率 $f_o=3281.25\text{Hz}$ 和带宽 $\Delta f_o=312.5\text{Hz}$ (见图 5) 在之后共振解调后的频谱图 7 中无法识别轴承故障特征频率,而采用本发明方法所得到的谱峭度最大值对应的中心频率 $f_o=4375\text{Hz}$ 和带宽 $\Delta f_o=1250\text{Hz}$ (见图 4) 能准确的用于之后的轴承故障特征提取(见图 6)) (其中,图 4、5 中的 $K(\max)$ 表示的是子频带谱峭度最大值)。

[0031] $(f_o, \Delta f_o) = \operatorname{argmax} \{K(f_i, \Delta f_k)\}$; 式中, $K(f_i, \Delta f_k)$ 为第 k 级, 第 i 个子频带的谱峭度, f_i 为第 i 个子频带的中心频率, Δf_k 为第 k 级子频带的带宽, 函数 $\operatorname{argmax} \{K(f_i, \Delta f_k)\}$ 用以求取 $K(f_i, \Delta f_k)$ 最大值时所对应的参数 f_o 和 Δf_o 。

[0032] D、利用谱峭度优化模块所得到的优化的共振解调频带对所采集的滚动轴承故障振动信号进行包络频谱分析,得到滚动轴承故障振动信号包络后的频率谱线,将其与滚动轴承存在的故障类型所对应的理论特征频率对比:

如果处于理论特征频率值正负 2Hz 范围内出现突出的谱线,则可以确定存在与对理论特征频率值相对应的故障类型。

[0033] 其中,计算得到的滚动轴承外圈故障频率理论值为 96.92Hz,在图 6 中 96.7Hz 处出现突出的谱线,据此可判断其为外圈故障。

[0034] 通过图 6、图 7 对本发明与传统方法进行对比可知,采用本发明的方法提取的轴承故障特征频率谱线十分清晰,且与故障频率计算公式得到的结果相吻合。

[0035] 一种滚动轴承故障特征提取系统,包括:

信号采集模块,用于通过加速度传感器获取滚动轴承故障振动信号;

信号处理模块,用于对工况下的滚动轴承故障振动信号进行分段;

谱峭度优化模块,用于依次对分段后的信号用快速谱峭度图算法计算每段信号的不同子频带的谱峭度;再对各段信号计算所得的子频带谱峭度进行对应子频带求平均;平均之后通过比较选出谱峭度最大值对应的子频带从而得到优化的共振解调频带;

特征提取模块,用于利用谱峭度优化模块所得到的优化的共振解调频带对所采集的滚动轴承故障振动信号进行包络频谱分析,得到滚动轴承故障振动信号包络后的频率谱线,将其与滚动轴承存在的故障类型所对应的理论特征频率对比,从而确定滚动轴承存在的故障类型。

[0036] 上面结合附图对本发明的具体实施方式作了详细说明,但是本发明并不限于上述

实施方式,在本领域普通技术人员所具备的知识范围内,还可以在不脱离本发明宗旨的前提下作出各种变化。

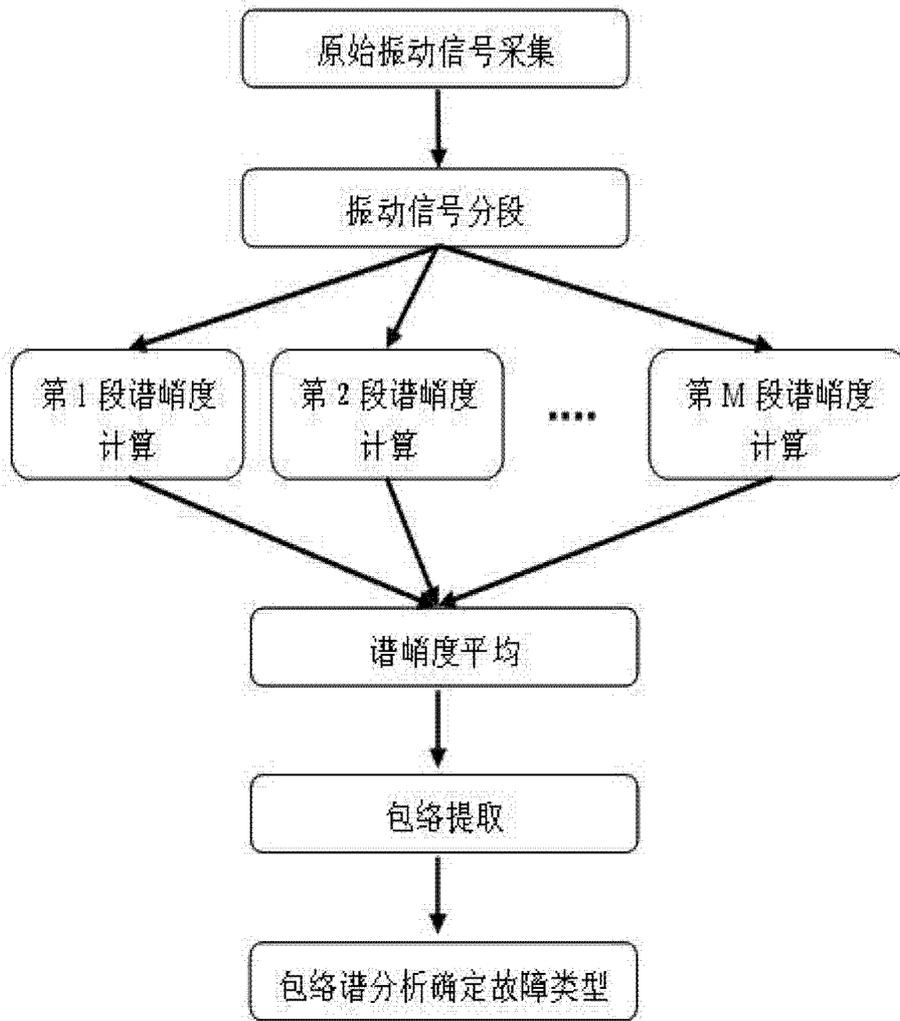


图 1

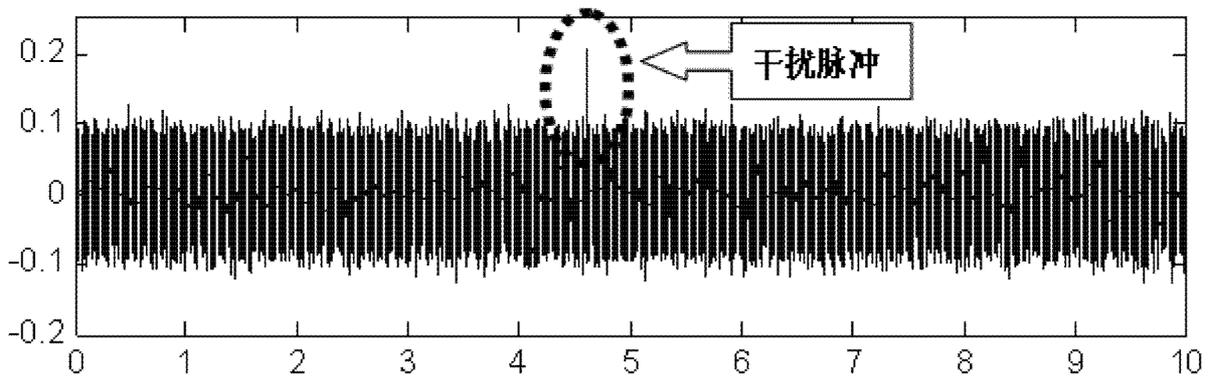


图 2

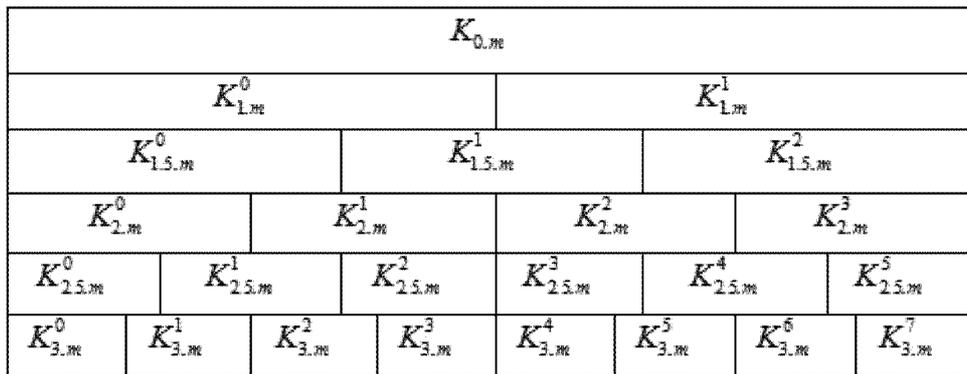


图 3

$K(\max)=1.2$, 在第3级, 中心频率 $f_0=4375\text{Hz}$, 带宽 $\Delta f_0=1250\text{Hz}$

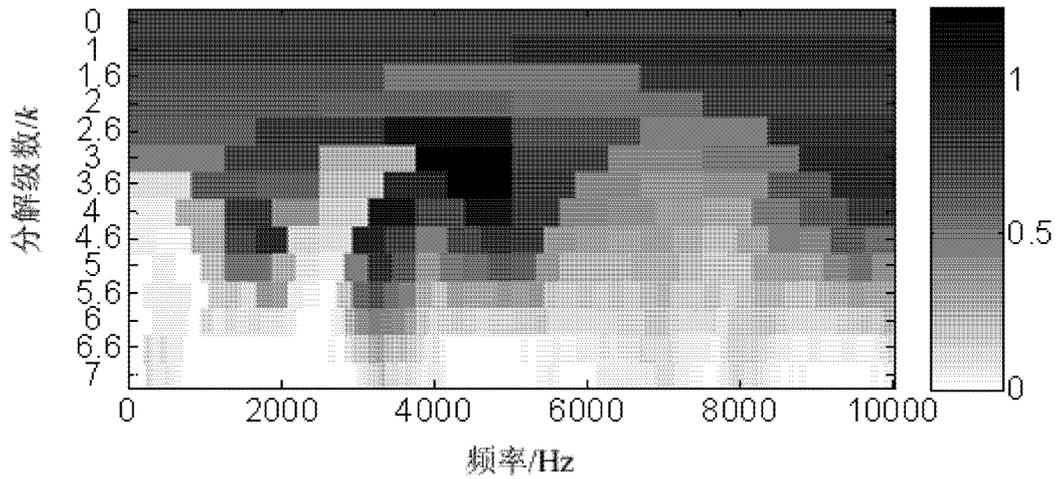


图 4

$K(\max)=2.4$, 在第5级, 中心频率 $f_0=3281.25\text{Hz}$, 带宽 $\Delta f_0=312.5\text{Hz}$

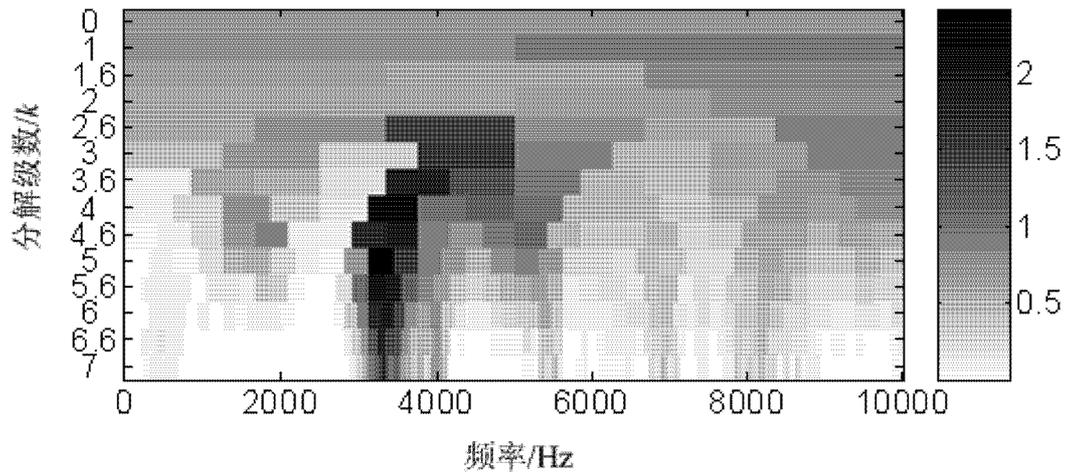


图 5

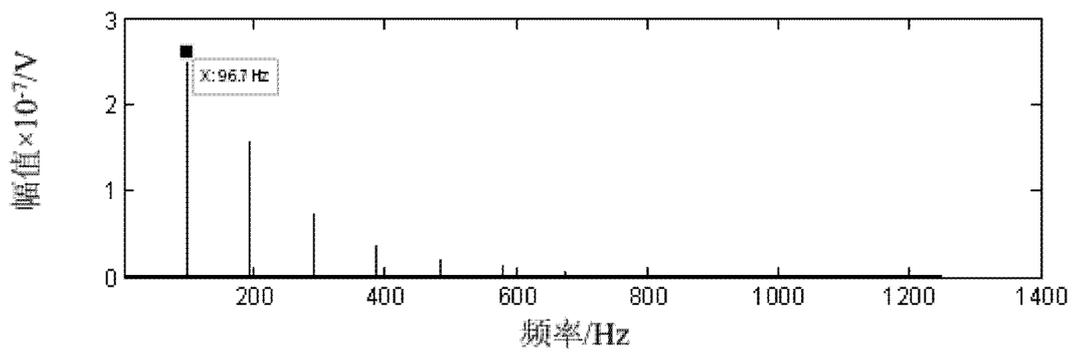


图 6

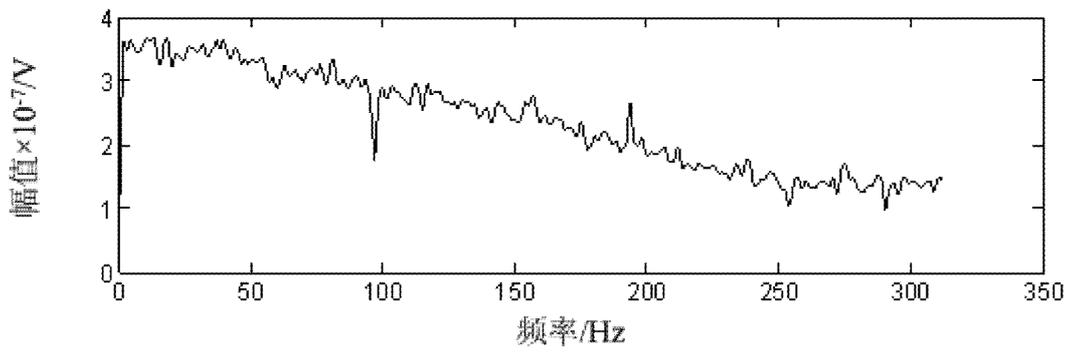


图 7

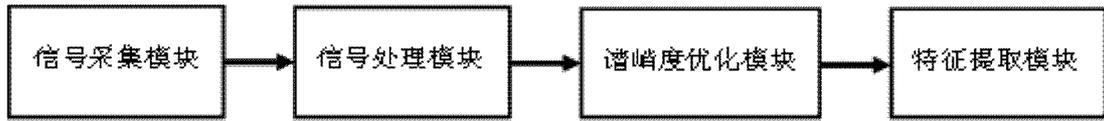


图 8