



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103674550 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 26

(21) 申请号 201310680168. 7

(22) 申请日 2013. 12. 16

(71) 申请人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街
29 号

(72) 发明人 左洪福 张营 陈志雄 刘若晨
佟佩声

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

代理人 许方

(51) Int. Cl.

G01M 13/04 (2006. 01)

G01R 23/16 (2006. 01)

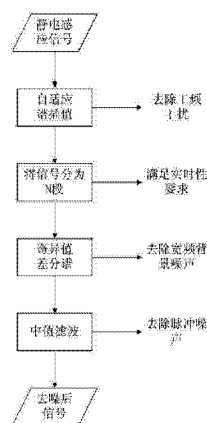
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54) 发明名称

一种滚动轴承静电监测信号实时混合去噪方法

(57) 摘要

本发明公开一种滚动轴承静电监测信号实时混合去噪方法。该方法包括：采用自适应谱插值法实时抑制静电感应信号中的工频干扰分量；根据系统实时性要求，将静电感应信号分为若干小段，对每段信号运用奇异值差分谱法滤除宽频背景噪声；采用中值滤波滤除脉冲噪声。本发明在保证系统实时性要求的条件下，有效去除静电感应信号中混有的不同类型噪声干扰，提高了静电监测技术的早期故障识别能力。



1. 一种滚动轴承静电监测信号实时混合去噪方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 采用自适应谱插值法实时抑制静电信号工频干扰分量,所述自适应谱插值法步骤如下:

(1.1) 对原始静电信号进行傅里叶变换,计算其频谱;

(1.2) 以频率分辨率 $d\omega$ 为步长,在 45Hz 到 50Hz 内自动搜寻频率幅值最大点 f_{gp} 作为工频准确频率;

(1.3) 将 $f_{gp} - 5d\omega$ 到 $f_{gp} + 5d\omega$ 频率内每一点的幅值采用插值结果进行代替,而相位保持不变;

(1.4) 对插值后的频谱进行傅里叶反变换,得到消除工频后的静电信号;

(2) 根据系统实时性要求将信号分解成若干小段,每段信号长度不超过 1024 点,对每一小段信号运用奇异值差分谱法滤除宽频背景噪声;

(3) 对上述去噪后每一小段信号采用中值滤波去除脉冲噪声,重构信号得到最终去噪信号。

一种滚动轴承静电监测信号实时混合去噪方法

[0001] 技术领域

本发明涉及一种滚动轴承静电监测信号实时混合去噪方法,属于信号处理技术领域。

[0002] 背景技术

滚动轴承作为旋转机械关键部件,其运行状态往往直接影响到整台设备的精度、可靠性及寿命。由于滚动轴承的寿命离散性很大,定时维修会造成“过度维修”或者“维修不足”,因此,对滚动轴承进行状态监测具有重要意义。

[0003] 随着科技发展,大量行之有效的技术被应用于滚动轴承的状态监测,主要有振动监测,声发射技术,温度测量,磨损颗粒分析等,其中振动监测应用最为广泛,同时振动信号多种时频域分析方法有效地提高了其故障识别能力,但是振动监测方法仅能监测滚动轴承相对严重故障,如裂纹,麻点,表面剥落等。目前,一种基于静电感应的监测技术以其高灵敏性为滚动轴承的状态监测提供了一种新的方法,静电监测能够早于振动监测发现故障征兆。但是噪声干扰问题影响了静电监测技术的早期故障识别能力,因此静电信号去噪方法对于促进静电监测技术的应用具有重要意义。

[0004] 经过对现有技术的检索发现,文献“轴承钢早期胶合故障静电在线监测方法及试验”,发表于2012年9月15日,摩擦学学报,首次提出了运用奇异值差分谱方法对磨损区域静电信号进行去噪,取得了比较良好的效果,但是此方法没有考虑工频干扰强烈时,奇异值差分谱法容易错误选取重构分量个数的问题,忽略了脉冲噪声对静电感应信号的影响,同时直接进行奇异值分解运算,计算量大,耗时长,难以满足实时性要求。

[0005] 发明内容

本发明针对现有技术存在的不足,提出了一种滚动轴承静电监测信号实时混合去噪方法,综合运用多种方法滤除静电感应信号中混有的工频干扰、背景噪声以及脉冲噪声等,有效地提高了静电监测技术早期故障识别能力。

[0006] 本发明为解决其技术问题采用如下技术方案:

一种滚动轴承静电监测信号实时混合去噪方法,包括如下步骤:

(1) 采用自适应谱插值法实时抑制静电信号工频干扰分量,所述自适应谱插值法步骤如下:

(1.1) 对原始静电信号进行傅里叶变换,计算其频谱;

(1.2) 以频率分辨率 $d\omega$ 为步长,在45Hz到50Hz内自动搜寻频率幅值最大点 f_{sp} 作为工频准确频率;

(1.3) 将 $f_{sp}-5d\omega$ 到 $f_{sp}+5d\omega$ 频率内每一点的幅值采用插值结果进行代替,而相位保持不变;

(1.4) 对插值后的频谱进行傅里叶反变换,得到消除工频后的静电信号;

(2) 根据系统实时性要求将信号分解成若干小段,每段信号长度不超过1024点,对每一小段信号运用奇异值差分谱法滤除宽频背景噪声;

(3) 对上述去噪后每一小段信号采用中值滤波去除脉冲噪声,重构信号得到最终去噪

信号。

[0007] 本发明的有益效果如下：

(1) 本发明结合静电监测信号的特点,综合运用自适应谱插值,奇异值差分谱和中值滤波等方法,有效去除静电监测信号中混有的不同类型噪声干扰,避免单一方法的局限性,有效提高了滚动轴承早期故障识别能力。

[0008] (2) 本发明所提自适应谱插值法,自动搜索工频准确频率,增强了谱插值法的实时性和准确性。

[0009] (3) 本发明在运用奇异值差分谱去噪前,先将信号分解为若干小段,有效避免了奇异值分解和中值滤波计算量大、耗时长的问題,满足了系统实时性需求。

[0010] 附图说明

图 1 为本发明滚动轴承静电监测信号实时混合去噪方法流程图。

[0011] 图 2(a) 为实例中滚动轴承早期故障静电监测信号波形图;图 2(b) 为实例中滚动轴承早期故障静电监测信号频谱图。

[0012] 图 3(a) 为实例中滚动轴承早期故障静电监测信号去噪后波形图;图 3(b) 为实例中滚动轴承早期故障静电监测信号去噪后频谱图。

[0013] 具体实施方式

下面结合附图对本发明创造做进一步详细说明。

[0014] 如图 1 所示,本发明的方法具体实施步骤如下：

(1) 采用自适应谱插值法实时去除工频干扰分量

谱插值法假设信号的频谱在工频及相关谐波成分位置处与其相邻的频率成分为连续变化过程。要满足谱插值去噪过程的实时性和自动性,需准确确定工频频率。对原始静电信号进行傅里叶变换,计算其频谱,然后以频率分辨率 $d\omega$ 为步长,在 45Hz 到 50Hz 内自动搜寻频率幅值最大点 f_{gp} 作为工频准确频率,将 $f_{gp} - 5d\omega$ 到 $f_{gp} + 5d\omega$ 频率内每一点的幅值采用线性插值结果进行代替,而相位保持不变；

线性插值方法如下所示：

$$f(x) = \frac{b-x}{b-a} f(a) + \frac{x-a}{b-a} f(b)$$

其中 a 和 b 为选择进行插值的两点, $a < x < b$, $f(a)$ 和 $f(b)$ 是 $x=a$ 和 $x=b$ 时的已知数据点, $f(x)$ 是要计算的插值函数值。

[0015] (2) 将信号分解成若干小段,每段信号长度一般不超过 1024 点。

[0016] (3) 运用奇异值差分谱进行去噪

首先对离散数字信号 $Y = [y(1), y(2), y(3), \dots, y(N)]$, 构造 Hankel 矩阵如下：

$$X = \begin{bmatrix} y(1) & y(2) & \dots & y(n) \\ y(2) & y(3) & \dots & y(n+1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y(N-n+1) & y(N-n+2) & \dots & y(N) \end{bmatrix}$$

式中 $1 < n < N$, 令 $m = N - n + 1$, 则 $X \in R^{m \times m}$ 。

[0017] 然后将此矩阵进行奇异值分解, 为了描述奇异值序列的突变情况, 定义奇异值差分谱:

$$b_i = \sigma_i - \sigma_{i+1} \quad i = 1, 2, \dots, q-1$$

其中 $\sigma_i (i = 1, 2, \dots, q)$ 为 Hankel 矩阵的奇异值。则将所有 b_i 形成的序列 $B = (b_1, b_2, \dots, b_{q-1})$ 称为奇异值的差分谱序列, 描述了两两相邻的奇异值的变化情况。突变点往往携带有更重要的信息, 最大突变点尤其值得关注。这种最大突变点显然代表着理想信号和噪声的分界, 在此突变位置之前的奇异值所对应的分量为有用信号, 而突变位置之后的其他奇异值所对应的分量则为噪声。

[0018] (4) 运用中值滤波去除脉冲噪声

本发明成功应用与滚动轴承寿命实验的实时监测中, 并取得了良好的去噪效果。试验轴承型号为 6207, 实验径向载荷 20kN, 转速 3000 转 /min。采样频率 10kHz, 每隔 1min 存储一段长 10240 点的数据。

[0019] 图 2(a) 为滚动轴承早期故障静电监测信号波形图, 其中明显包含背景噪声和随机脉冲, 对其进行频谱分析, 图 2(b) 为早期故障静电监测信号的频谱图, 从中可以看到频谱成分复杂, 50Hz 工频干扰明显, 故障特征频率成分几乎淹没在噪声中, 难以据此做出正确的诊断。采用本发明的实时混合去噪方法进行噪声去除, 图 3(a) 为滚动轴承早期故障静电监测信号去噪后波形图, 从中可以看到背景噪声和随机脉冲得到抑制, 对其进行频谱分析, 图 3(b) 为早期故障静电监测信号去噪后的频谱图, 从中可以看到工频得到有效抑制, 轴承外圈故障特征频率得到凸显, 说明了本发明所提方法的正确性和有效性。

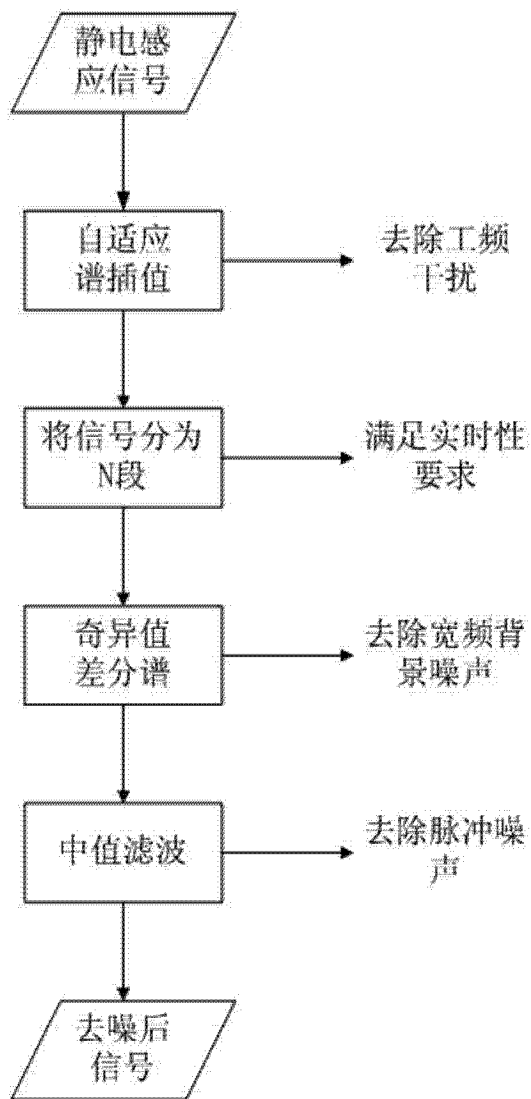


图 1

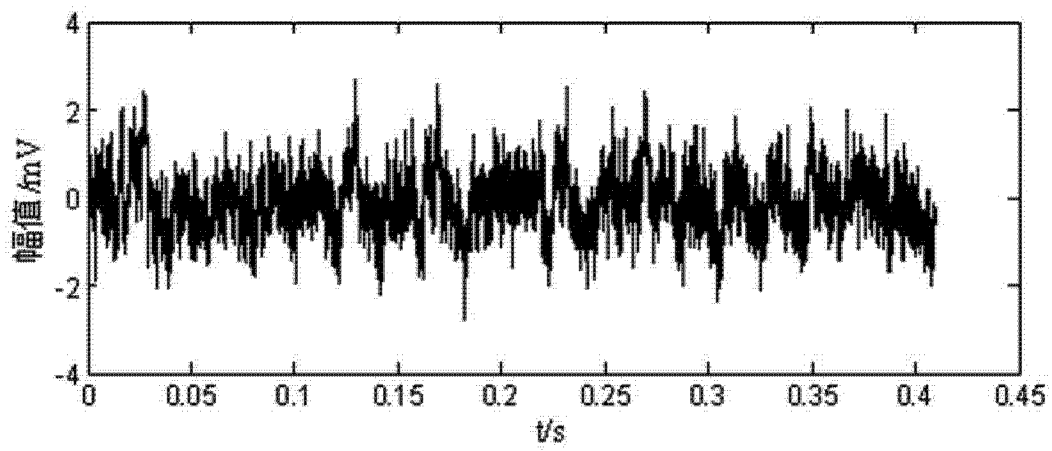


图 2 (a)

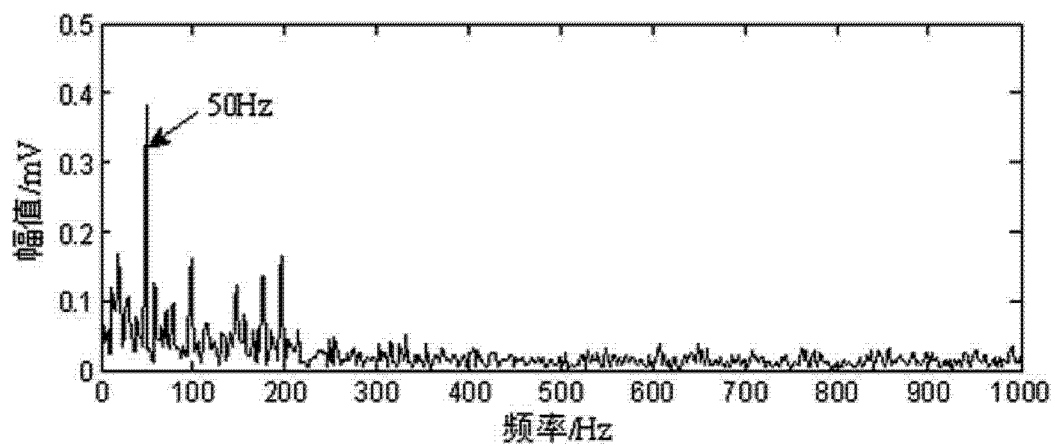


图 2 (b)

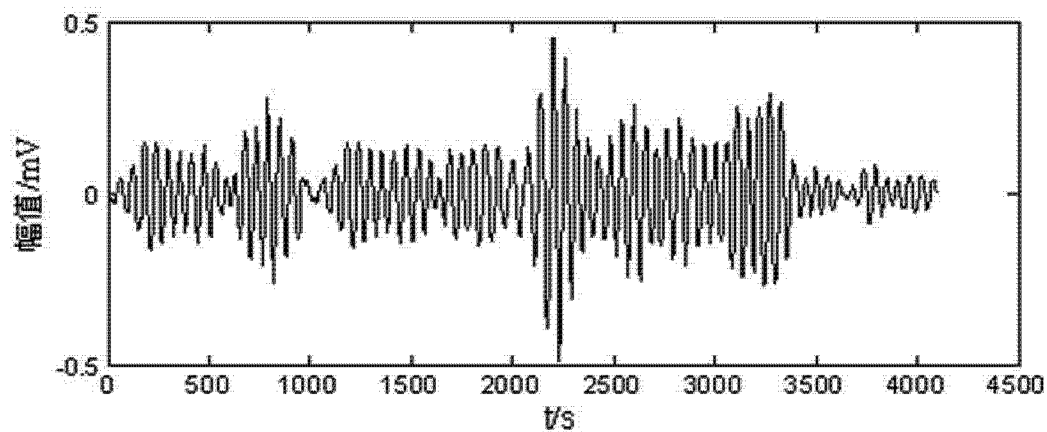


图 3 (a)

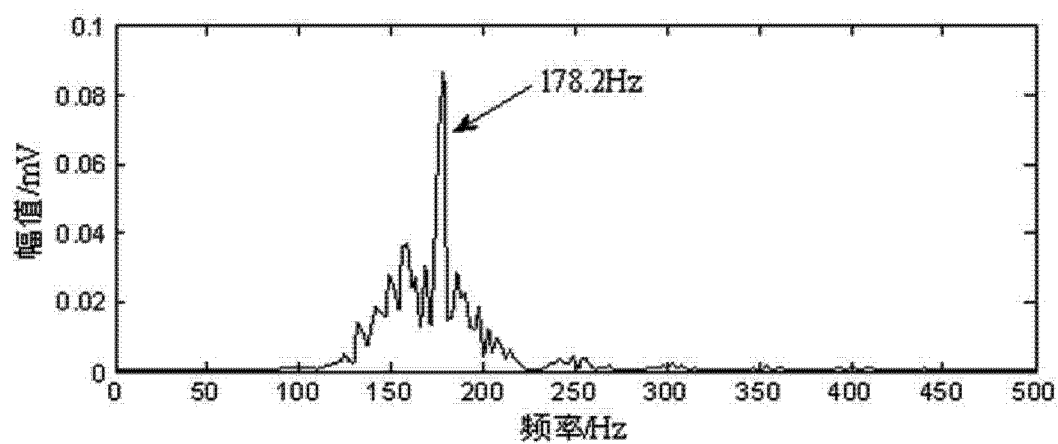


图 3 (b)