



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102519726 B

(45) 授权公告日 2015.06.03

(21) 申请号 201110445140.6

(22) 申请日 2011.12.28

(73) 专利权人 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 潘楠 伍星 迟毅林 刘畅 柳小勤 毛剑琳

(51) Int. Cl.

G01M 13/04(2006.01)

(56) 对比文件

CN 1756944 A, 2006.04.05, 全文.

US 2009/0114020 A1, 2009.05.07, 全文.

KR 10-210-0094452 A, 2010.08.26, 全文.

王宇 等. 基于盲解卷积和聚类的机械弱冲击声信号提取. 《振动工程学报》. 2009, 第 22 卷

(第 6 期), 第 620 页第 1.1 节, 第 621 页第 1.2 节, 第 622 页第 2 节, 图 7-8.

李豫川 等. 基于形态滤波和稀疏分量分析的滚动轴承故障盲分离. 《振动与冲击》. 2011, 第 30 卷 (第 12 期), 第 171 页最后 1 段 - 第 172 页最后 1 段, 图 4.

审查员 吴梅英

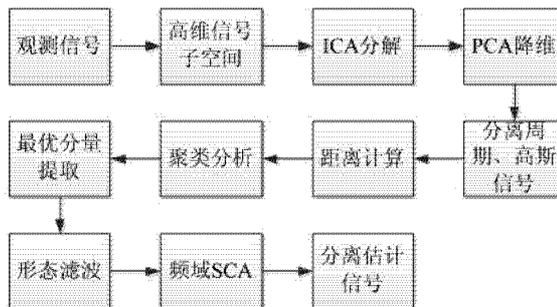
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54) 发明名称

一种针对滚动轴承复合故障的声学诊断方法

(57) 摘要

本发明专利涉及一种针对滚动轴承复合故障的声学诊断方法,属于机械设备状态监测及故障诊断技术领域。本发明首先球化观测声信号成信号空间,使用 PCA 进行降维,随后执行 EFICA 算法获得独立分量,接着通过归一化峭度分离来区分冲击分量、周期分量和高斯噪声,利用包络谱 J-散度形成距离矩阵并进行模糊 C 均值聚类,结合冲击信号的峭度指标优选独立分量,获得估计信号并进行形态滤波,取滤波后已近似于瞬时混合且冲击成分明显的信号进行频域 SCA,将复合故障信号彻底分离开来,最终分析分离信号的包络解调谱,进行故障判断。与振动监测需要在机械设备表面安装传感器不同,声学监测只需在设备周围摆放数个传声器,即可从接受到的机械声信号中提取故障信号。



1. 一种针对滚动轴承复合故障的声学诊断方法,其特征是:首先卷积球化观测声信号成信号空间,通过 PCA 对信号空间进行降维;随后执行 EFICA 算法,得到独立分量;利用归一化峭度来区分冲击分量、周期分量和高斯噪声;接着采用包络谱 J-散度作为独立分量间距离测度计算分量间的距离,形成距离矩阵,并对距离矩阵进行模糊 C 均值聚类,结合冲击信号的峭度指标优选独立分量,与周期信号叠加形成估计信号;最后通过形态滤波滤除非调制信号,由频域稀疏分量分析对估计信号做进一步的分离,最终在欠定条件下对滚动轴承复合故障信息进行提取。

2. 根据权利要求 1 所述的一种针对滚动轴承复合故障的声学诊断方法,其具体步骤包括如下:

- (1) 初始化时延参数 N 、主分量数目 n_m 和聚类数目 $n_{cluster}$;
- (2) 对传声器拾取的声信号 $x(t)$ 进行中心化处理,卷积球化观测信号 $x(t)$ 成信号空间 $\tilde{x}(t)$;
- (3) 对 $\tilde{x}(t)$ 进行 PCA 处理和球化,得到 $\hat{x}(t)$,对数据 $\hat{x}(t)$ 执行 EFICA 算法,得到独立分量 $ic(t)$;
- (4) 设置阈值 T ,计算 $ic(t)$ 的归一化峭度 $kurt_{ic}$,当 $kurt_{ic} < T$ 时,该分量记为 $pr_i(t)$;当 $kurt_{ic} \geq T$ 时,该分量记为 $r_i(t)$;
- (5) 计算 $r_i(t)$ 分量间的包络谱 J-散度,形成距离矩阵 D ,对 D 执行模糊 C 聚类处理,从而识别特征近似的分量;
- (6) 如果 $r_i(t)$ 存在,对每个聚合类中的 $r_i(t)$ 进行优选,获得最优分量 $y_i(t), i = 1, \dots, n_{cluster}$;如果 $pr_i(t)$ 存在,将 $pr_i(t)$ 中的所有分量相加,获得估计信号 $y_{pr}(t)$,最后形成估计信号 $y(t) = [y_i(t), y_{pr}(t)]^T$,如果 $pr_i(t)$ 不存在,则最终估计信号 $y(t) = y_i(t)$;
- (7) 对估计信号 $y(t)$ 进行形态滤波,取滤波后已近似于瞬时混合且冲击成分明显的信号进行频域 SCA,将复合故障信号彻底分离;
- (8) 分析分离信号的包络解调谱,进行故障判断。

一种针对滚动轴承复合故障的声学诊断方法

技术领域

[0001] 本发明专利涉及一种针对滚动轴承复合故障的声学诊断方法,通过声学监测提取、分离故障特征信息,属于机械设备状态监测及故障诊断技术领域。

背景技术

[0002] 机械振动是机械声信号的产生根源,而机械声信号是机械振动信号传播的延续,两者是相互统一的整体。当机械系统如滚动轴承或齿轮出现故障时,其特征信号常常会出现明显的冲击成分,同时声学特性亦会发生改变,从而蕴含设备状态信息。声学测量还具有无损、非接触、简便易行等特点,因此在高温、高腐蚀、大型复杂机组等不适合进行振动监测的情况下可利用机械声信号代替振动信号进行故障诊断。

[0003] 据统计,大约有 30% 的机械故障都是由滚动轴承引起,滚动轴承工作的好坏将直接影响整台机械设备的工作状态。实际设备运行时,经常会造成两种或两种以上滚动轴承复合故障共存。传声器接收到的信号在传输过程中经衰减、耦合,蕴含于其中的故障信号极易被其他干扰信号和外界噪声所掩盖甚至淹没而形成典型的卷积混合模型,从而使得故障信息的提取更近似于一个盲解卷积过程。由于现场测试时传声器个数有限,而机械声源数目众多加之复合故障的存在,造成很多声学测试仅仅满足观测信号数目 m 小于故障源数目 n 的欠定条件。需要抑制这些干扰和噪声,以期在欠定条件下准确的提取机械故障特征,从而进行故障诊断。发明内容

[0004] 本发明提出了一种从机械声信号中提取轴承复合故障信息的欠定盲解卷积方法,可在不适合进行振动监测且传声器数目小于故障源数目的情况下,利用机械声信号代替振动信号进行故障特征提取及诊断。

[0005] 本发明的方案是:首先对传声器拾取的声信号进行卷积球化,生成信号空间,进而通过 PCA 对信号空间进行降维,缩减高维信号子空间维数。随后执行 EFICA 算法,得到独立分量。接着利用归一化峭度来区分冲击分量、周期分量和高斯噪声,采用包络谱 J- 散度作为独立分量间距离测度计算分量间的距离,形成距离矩阵,消除时域延迟的影响。对距离矩阵进行模糊 C 均值聚类,识别特征近似的分量。结合冲击信号峭度指标优选独立分量,获得估计信号,对估计信号进行形态滤波,取滤波后已近似于瞬时混合且冲击成分明显的信号进行频域 SCA,将复合故障信号彻底分离开来,最终分析分离信号的包络解调谱。由此便可根据已知的机械设备零部件信息便可判断故障有无及故障源所在。

[0006] 本发明的具体步骤包括如下:

[0007] (1) 初始化时延参数 N 、主分量数目 n_c 和聚类数目 n_{cl} ;

[0008] (2) 对传声器拾取的声信号 $x(t)$ 进行中心化处理,卷积球化观测信号 $x(t)$ 成信号空间

[0009] $\tilde{x}(t)$;

[0010] (3) 对 $\tilde{x}(t)$ 进行 PCA 处理和球化(对信号空间进行降维,缩减高维信号子空间维

数),得

[0011] 到 $\hat{x}(t)$, 对数据 $\hat{x}(t)$ 执行 EFICA 算法, 得到独立分量 $ic(t)$;

[0012] (4) 设置阈值 T , 计算 $ic(t)$ 的归一化峭度 $kurt_{ic}$, 当 $kurt_{ic} < T$ 时, 该分量记为 $pr_1(t)$;
当 $kurt_{ic}$

[0013] $\geq T$ 时, 该分量记为 $r_n(t)$;

[0014] (5) 计算 $r_n(t)$ 分量间的包络谱 J- 散度, 形成距离矩阵 D , 对 D 执行模糊 C 聚类 (FCM)

[0015] 处理, 从而识别特征近似的分量 ;

[0016] (6) 如果 $r_n(t)$ 存在, 对每个聚合类中的 $r_n(t)$ 进行优选, 获得最优分量 $y_i(t), i = 1, \dots, n_{cluster}$;

[0017] 如果 $pr_1(t)$ 存在, 将 $pr_1(t)$ 中的所有分量相加, 获得估计信号 $y_{pr}(t)$, 最后形成估计信号 $y(t) = [y_i(t), y_{pr}(t)]^T$, 如果 $pr_1(t)$ 不存在, 则最终估计信号 $y(t) = y_i(t)$;

[0018] (7) 对估计信号 $y(t)$ 进行形态滤波, 取滤波后已近似于瞬时混合且冲击成分明显的信号进行频域 SCA, 将复合故障信号彻底分离开来 ;

[0019] (8) 分析分离信号的包络解调谱, 进行故障判断。

[0020] 本发明的优点和积极效果 : 由于机械振动信号蕴含的信息丰富, 物理意义清晰, 量值变化范围大, 便于识别和决策, 所以振动诊断法成为目前最常用、最有效的机械故障诊断方法。然而在某些振动信号不易拾取的场合, 声学诊断法 (Acoustic-Based Diagnosis, ABD) 往往表现出其独特的优势。因此, 够排除或抑制干扰噪声信号, 从设备状态信息的声信号中准确的提取出待识别的目标信号, 进而进行机械故障诊断是完全可行的。

附图说明

[0021] 图 1 本发明实施例 1 中旋转机械故障模拟实验台及传声器位置图。

[0022] 图 2 本发明实施例 1 旋转机械故障模拟实验台运行时传声器拾取声信号的时域波形。

[0023] 图 3 本发明实施例 1 旋转机械故障模拟实验台运行时传声器拾取声信号的幅值谱。

[0024] 图 4 本发明实施例 1 改进块模型盲解卷积算法估计信号的时域波形。

[0025] 图 5 本发明实施例 1 改进块模型盲解卷积算法估计信号的包络谱。

[0026] 图 6 本发明实施例 1 最终分离信号的包络谱。

[0027] 图 7 本发明滚动轴承复合故障声学诊断方法的实施框图。

具体实施方式

[0028] 以下结合实施例和附图对本发明作进一步阐述, 但本发明的保护内容不限于所述范围。

[0029] 实施例 1：

[0030] 以某旋转试验台中轴承复合故障声学诊断实验为实施实例：

[0031] 图 1 表示两个传声器和试验台的位置关系，传声器距复合故障轴承直线距离均超过 600mm，是为远声场监测。故障轴承相关参数为：节圆直径 $D=39\text{mm}$ ，滚动体直径 $d=7.5\text{mm}$ ，滚动体数目 $Z=12$ ，接触角 $\alpha=0$ 。轴承内圈主轴旋转，外圈固定。转速为 800r/min，即旋转频率 f_r 为 13.33Hz 时，计算可得轴承外圈故障特征频率为 64.61Hz，内圈故障特征频率为 95.38Hz，滚动体故障特征频率为 5.38Hz。

[0032] 图 2 和图 3 是实验台运行时传声器拾取到信号的时间波形及幅值谱。由于整个系统零部件较多，运行时各种声信号间相互干扰，同时受到墙壁及地面的反射作用，致使轴承故障弱冲击信号被完全淹没在高斯噪声及周期信号等干扰之中，直接对其进行包络分析难以得到准确的故障信息。

[0033] 图 4 和图 5 是经改进块模型盲解卷积算法后估计的信号。由于传声器距离试验台较远，初始化时延参数 $M=60$ ，主分量数目 $n_m=50$ ，因为聚类数目若设的过多会造成能量分散使故障特征不明显，所以设置聚类数目 $n_{cluster}=3$ ，设定峭度系数阈值 $\tau=0.3$ ，小于此阈值的认为是周期信号。从时域波形图中可以发现 1、2 号估计信号冲击特征明显，推测其可能是由轴承故障而产生的冲击成分。对其作包络分析进行进一步验证，从包络谱中已能明显看出内、外圈通过频率及滚动体通过频率，但其混杂在一起，无法区分彼此。

[0034] 图 6 是对图 4 和图 5 中两个估计信号使用形态滤波去除非调制信号干扰，随后进行频域 SCA 的最终结果，从图 5 中的分离信号可以清晰看到 65Hz 的谱线及其倍频（130Hz、195Hz 等），符合计算出的外圈故障特征（64.7Hz）。从图中第 3 个分离信号中可以看到 13Hz 和 95Hz 的谱线及倍频两侧间隔为电机旋转频率（13Hz）的边频（如 108Hz），符合计算出来的内圈故障特征（95.38Hz），外圈、内圈故障特征已被分离开来。虽然滚动体故障微弱、幅值较小，但在图 4 中分离信号滚动体故障特征频率（5Hz）及符合滚动体故障特征的边频成分仍可被清晰辨识，与计算出的滚动体故障特征频率（5.38Hz）相吻合。些许误差由频率分辨率 $\Delta f=1\text{Hz}$ 造成。

[0035] 图 7 是实施框图。图中，由传声器拾取到的两路观测信号经实施步骤所述流程后最终得到的分离估计信号，对估计信号进行包络分析，即可进行故障判断。

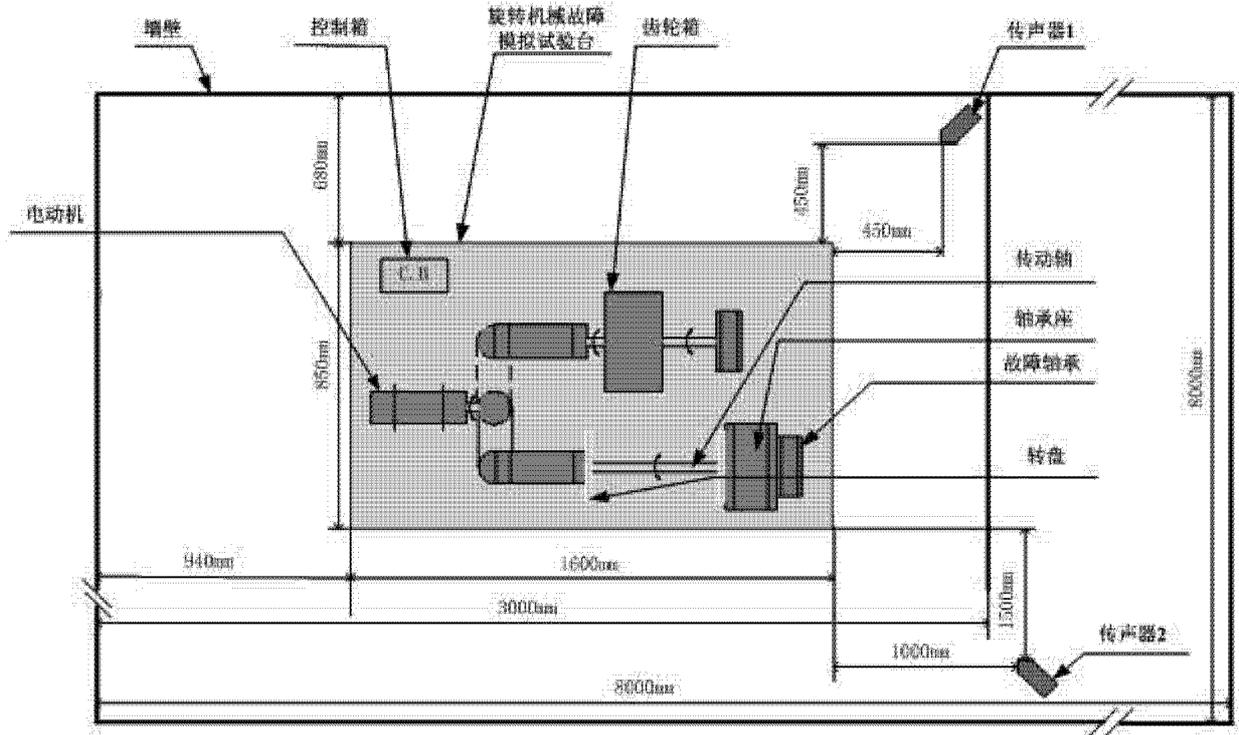


图 1

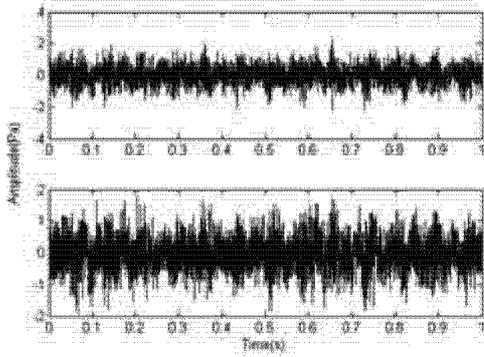


图 2

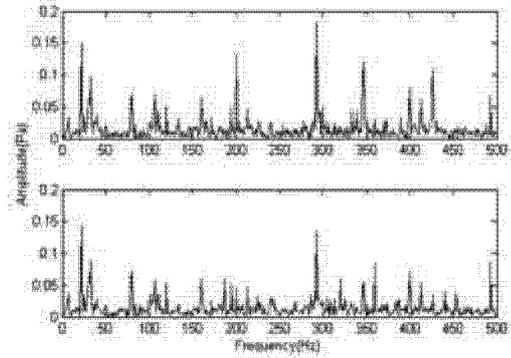


图 3

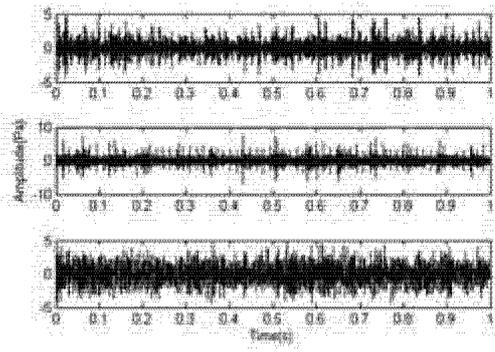


图 4

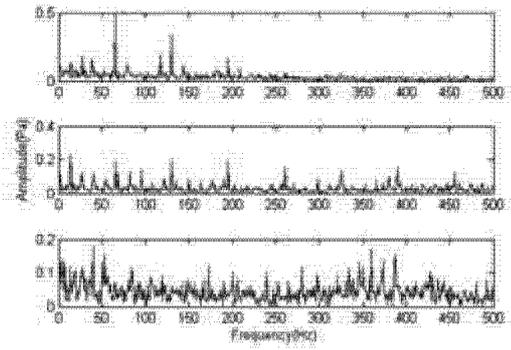


图 5

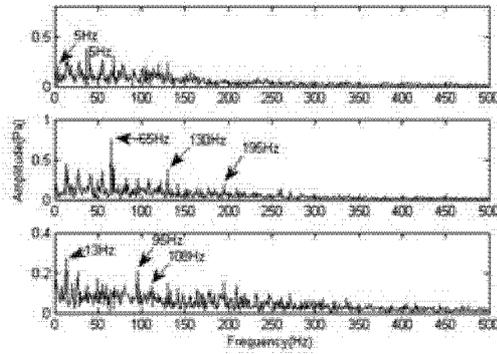


图 6

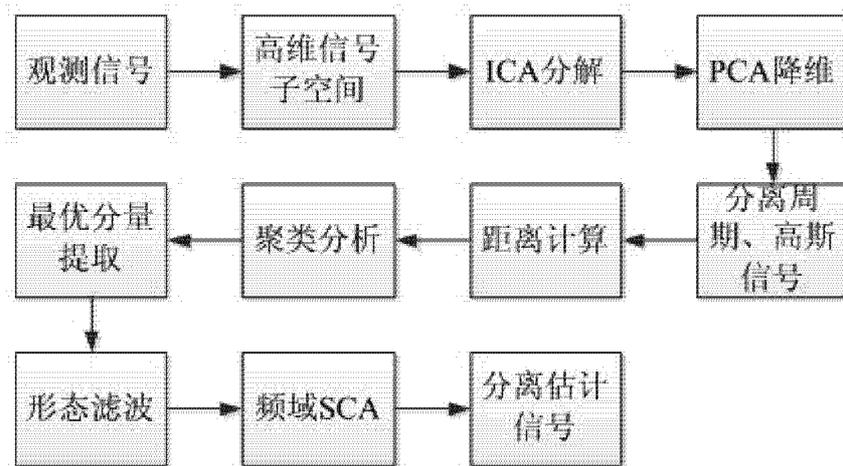


图 7