



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104748953 A

(43) 申请公布日 2015. 07. 01

(21) 申请号 201410820900. 0

(22) 申请日 2014. 12. 24

(30) 优先权数据

14/140634 2013. 12. 26 US

(71) 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 M. R. 帕尼克 A. K. 贝赫拉

V. 拉贾戈帕兰 V. 赖亚利

V. V. 巴达米 B. 黑兹拉

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

72001

代理人 李强 周心志

(51) Int. Cl.

G01M 13/00(2006. 01)

G01M 7/02(2006. 01)

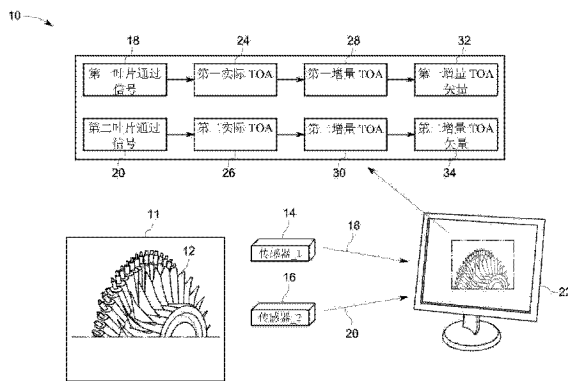
权利要求书3页 说明书12页 附图10页

(54) 发明名称

监控转子叶片的健康状况的方法和系统

(57) 摘要

本文提出了用于监控转子的健康状况的系统。所述系统包括处理子系统,所述处理子系统基于与叶片和第一感测装置对应的到达矢量的多个谐振-频率第一增量时间和与叶片和第二感测装置对应的到达矢量的多个谐振-频率第二增量时间生成测量矩阵,基于所述测量矩阵生成谐振矩阵,使得谐振矩阵中的元素基本上是线性不相关的和线性独立的,以及使用所述谐振矩阵的元素的第一子集生成谐振信号,其中,所述谐振信号基本上包括到达矢量的多个谐振-频率第一增量时间和到达矢量的多个谐振-频率第二增量时间的共同观测值和分量。



1. 一种用于监控转子的健康状况的系统,包括处理子系统、存储器和通信部分,所述系统:

基于与叶片和第一感测装置对应的到达矢量的多个谐振-频率第一增量时间和与所述叶片和第二感测装置对应的到达矢量的多个谐振-频率第二增量时间,生成测量矩阵;

基于所述测量矩阵生成谐振矩阵,使得所述谐振矩阵中的元素基本上是线性不相关的和线性独立的;以及

使用所述谐振矩阵的元素的第二子集生成谐振信号;

其中,所述谐振信号基本上包括所述到达矢量的多个谐振-频率第一增量时间和所述到达矢量的多个谐振-频率第二增量时间的共同观测值和分量。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述处理子系统基于所述谐振信号确定所述叶片的谐振-频率转子速度。

3. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述处理子系统进一步:

确定所述叶片的谐振-频率转子速度是否相对于所述叶片的历史谐振-频率转子速度有变化;以及

基于所述叶片的谐振-频率转子速度的变化,确定叶片中存在裂缝、不存在裂缝或存在裂缝的可能性。

4. 根据权利要求3所述的系统,其特征在于,所述处理子系统通过向所述谐振信号和历史谐振信号施加相关函数,确定所述谐振-频率转子速度中是否存在变化。

5. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述处理子系统通过以下进一步监控所述叶片的健康状况:

通过向历史谐振信号和所述谐振信号施加相关函数,确定指标值和相关值;以及

基于所述指标值、所述相关值和相关图,确定叶片中存在裂缝、不存在裂缝或存在裂缝的可能性。

6. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述处理子系统进一步基于所述谐振矩阵的第二子集,生成噪声信号,其中,所述噪声信号包括到达矢量的所述多个谐振-频率第一增量时间和到达矢量的所述多个谐振-频率第二增量时间的噪声。

7. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,到达矢量的所述多个谐振-频率第一增量时间包括与所述叶片的谐振-频率转子速度对应的第一增量 TOA 矢量的子集。

8. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,到达矢量的所述多个谐振-频率第二增量时间包括与所述叶片的谐振-频率转子速度对应的第二增量 TOA 矢量的子集。

9. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述处理子系统通过以下生成所述测量矩阵:

基于到达矢量的所述多个谐振-频率第一增量时间和到达矢量的所述多个谐振-频率第二增量时间,生成初始矩阵;以及

通过应用包括多项式曲线拟合或基于小波的曲线拟合的技术中的至少一个以从所述初始矩阵中去掉趋势,生成所述测量矩阵。

10. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述处理子系统通过对所述测量矩阵应用至少一种技术生成所述谐振矩阵,所述至少一种技术包括白化技术、累积量矩阵估计技术和矩阵旋转技术。

11. 根据权利要求 1 所述的系统,其特征在于,所述处理子系统通过以下生成所述谐振矩阵:

基于所述测量矩阵,通过基本上去掉所述测量矩阵中的元素之间的相关性,确定白化矩阵;

基于所述白化矩阵,确定累积量矩阵;

基于所述累积量矩阵通过基本上去掉所述累积量矩阵中的元素之间的相关性确定旋转矩阵;

基于单位矩阵和确定的旋转矩阵,通过旋转所述旋转矩阵,生成单位矩阵;以及

通过确定所述单位矩阵和所述白化矩阵的积,生成所述谐振矩阵。

12. 根据权利要求 1 所述的系统,其特征在于,所述处理子系统通过以下确定白化矩阵:

通过确定待白化矩阵的协方差生成协方差矩阵;

通过对所述协方差矩阵应用特征向量分解技术,确定所述协方差矩阵的特征向量矩阵和特征值;

确定所述特征值的平方根;

通过将所述特征矩阵和所述特征值的平方根相乘,确定积矩阵;以及

通过将所述积矩阵与所述测量矩阵相乘,确定所述白化矩阵,

其中,所述白化矩阵是在所述待白化矩阵是所述测量矩阵时的白化矩阵,并且其中,所述白化矩阵是在所述待白化矩阵是所述累积量矩阵时的旋转白化矩阵。

13. 根据权利要求 11 所述的系统,其特征在于,所述白化矩阵中的元素基本上是线性不相关的,所述白化矩阵中的元素的协方差约为零。

14. 根据权利要求 11 所述的系统,其特征在于,所述单位矩阵中的元素的协方差约为零。

15. 根据权利要求 1 所述的系统,进一步包括:

第一感测装置,所述第一感测装置用于生成与所述叶片对应的到达信号的第一时间;以及

第二感测装置,所述第二感测装置用于生成与所述叶片对应的第二到达时间。

16. 根据权利要求 15 所述的系统,其特征在于,所述处理子系统进一步通过应用平滑滤波技术和中值滤波技术中的至少一个从到达信号的第一时间和到达信号的第二时间中去掉异步信号,生成到达信号的预处理第一时间和到达信号的预处理第二时间。

17. 根据权利要求 16 所述的系统,其特征在于,所述处理子系统进一步:

基于预处理的第一到达时间和预期到达时间,确定第一增量到达时间;

基于预处理的第二增量到达时间和预期到达时间,确定第二增量到达时间;

基于各自的谐振-频率转子速度,从与叶片对应的第一增量到达时间中提取多个谐振-频率第一增量到达时间;

基于各自的谐振-频率转子速度,从与叶片对应的第二增量到达时间中提取多个谐振-频率第二增量到达时间;

基于谐振-频率第一增量到达时间和各自的谐振频率,确定多个第一增量到达时间矢量;

基于谐振 - 频率第二增量到达时间和各自的谐振频率,确定多个第二增量到达时间矢量。

18. 一种方法,包括:

基于与叶片和第一感测装置对应的到达矢量的多个谐振 - 频率第一增量时间和与所述叶片和第二感测装置对应的到达矢量的多个谐振 - 频率第二增量时间,生成测量矩阵;

基于所述测量矩阵,生成谐振矩阵,使得所述谐振矩阵中的元素基本上是线性无关的和线性独立的;以及

使用所述谐振矩阵的元素的第二子集,生成谐振信号;

其中,所述谐振信号基本上包括到达矢量的多个谐振 - 频率第一增量时间和到达矢量的多个谐振 - 频率第二增量时间的共同观测值和分量。

监控转子叶片的健康状况的方法和系统

技术领域

[0001] 本申请公开的主题涉及转子叶片或机翼,具体的,涉及用于监控转子的健康状况的方法和系统。

背景技术

[0002] 转子叶片或机翼用在许多装置中,几个示例包括轴压缩机、涡轮机、发动机或其它涡轮机械。例如,轴压缩机具有一个或多个转子,转子具有一系列级,每一级包括一排转子叶片或机翼,之后是一排静止叶片或静止机翼。相应地,每一级包括一对转子叶片或机翼以及静止机翼。通常,转子叶片或机翼提高通过入口进入轴压缩机中的流体的动能。而且,静止叶片或静止机翼一般将增大动能的流体通过扩散转换成静止压力。相应地,转子叶片或机翼以及静止机翼提高流体的压力。

[0003] 操作中,转子叶片通常以同步和异步频率振动。例如,尽管转子叶片由于转子速度/频率一般可以以同步频率振动,但转子叶片由于空气动力学的不稳定可能以异步频率振动,诸如旋转失速和颤振。在转子叶片的某些同步频率下,转子叶片有以更大的幅度振动的自然倾向。这种同步频率称作转子叶片的谐振频率。转子叶片的同步频率典型地在转子的固定转子速度下被激励。而且,谐振频率的激励可以增大转子叶片的振动幅度。这种幅度增大的振动可能损坏转子叶片或导致转子叶片中出现裂缝。

[0004] 转子叶片在极端和变化的操作条件下,诸如影响机翼的健康状况的高速、压力和温度下操作很长的小时。除了极端和变化的操作条件,某些其它因素导致机翼的疲劳和应力。这些因素例如可以包括惯性力,包括机翼的离心力、压力、谐振频率、机翼中的振动、振动应力、温度应力、机翼的复位、气体或其它流体的负荷等等。在一个时段上应力和疲劳的长时间的增加损坏转子叶片,导致转子叶片中的缺陷或裂缝。转子叶片中的这种缺陷、损坏或裂缝可以改变激励转子叶片的谐振频率的转子速度。例如,在健康的转子叶片中,如果谐振频率在转子速度 R 下被激励,则当转子叶片有缺陷时,谐振频率可能变成在 $R+r$ 的转子速度下被激励。激励转子叶片的谐振频率的转子速度的这些变化因此可能对监控转子叶片的健康状况是有用的。

[0005] 因此,期望确定激励健康的转子叶片的谐振频率的转子速度。而且,期望确定激励谐振频率的转子速度中变化的存在,以监控和评估转子叶片的健康状况。

发明内容

[0006] 本文通过各个实施例中提供用于监控转子的健康状况的系统来解决与这种传统方法有关的这些和其它缺陷。所述系统包括处理子系统,所述处理子系统:基于与叶片和第一感测装置对应的到达矢量的多个谐振-频率第一增量时间和与所述叶片和第二感测装置对应的到达矢量的多个谐振-频率第二增量时间,生成测量矩阵;基于所述测量矩阵生成谐振矩阵,使得所述谐振矩阵中的元素基本上是线性不相关的和线性独立的;以及使用所述谐振矩阵的元素的第 n 子集生成谐振信号;其中,所述谐振信号基本上包括所述到

达矢量的多个谐振 - 频率第一增量时间和所述到达矢量的多个谐振 - 频率第二增量时间的共同观测值和分量。

[0007] 提供了一种方法。所述方法包括步骤：基于与叶片和第一感测装置对应的到达矢量的多个谐振 - 频率第一增量时间和与叶片和第二感测装置对应的到达矢量的多个谐振 - 频率第二增量时间，生成测量矩阵；基于所述测量矩阵，生成谐振矩阵，使得所述谐振矩阵中的元素基本上是线性不相关的和线性独立的；以及使用所述谐振矩阵的元素的第一个子集，生成谐振信号；其中，所述谐振信号基本上包括到达矢量的多个谐振 - 频率第一增量时间和到达矢量的多个谐振 - 频率第二增量时间的共同观测值和分量。

附图说明

[0008] 当参照附图阅读下面的详细描述时，会更好理解本发明的这些和其它特征、方面和优点，其中：

[0009] 图 1 是根据本发明的实施例的叶片健康状况监控系统的图解示意；

[0010] 图 2 是根据本技术的某些方面基于增量 TOA 识别叶片的谐振 - 频率转子速度的示例性方法的流程图；

[0011] 图 3 是图示根据本技术的一个方面通过沿增量 TOA 信号移动信号窗来确定多个频率峰值的示例性方法的流程图；

[0012] 图 4 是与转子中的叶片对应的仿真增量 TOA 矢量信号的图，显示多个频率峰值的确定和所产生的值；

[0013] 图 5 是基于频率信号和确定的同步频率阈值解释第一频率峰值的确定的频率信号的仿真图；

[0014] 图 6 是根据本技术的一个实施例叶片的谐振 - 频率转子速度区的仿真图；

[0015] 图 7 是根据本技术的一个实施例用于监控转子的健康状况的方法和流程图；

[0016] 图 8 是可以用来确定叶片中存在裂缝或裂缝的可能性的指标值 (index value) 和相关值的相关图；

[0017] 图 9a 显示叶片的历史谐振信号的仿真图；

[0018] 图 9b 显示叶片的谐振信号的仿真图；

[0019] 图 10 是根据本技术的一个实施例，基于谐振 - 频率第一增量 TOA 和 谐振 - 频率第二增量 TOA 生成测量矩阵的方法的流程图；

[0020] 图 11 是根据本技术的一个实施例基于测量矩阵生成谐振矩阵的方法的流程图；

[0021] 图 12a 显示与叶片和第一感测装置对应的到达矢量的谐振 - 频率第一增量时间的仿真图；

[0022] 图 12b 显示与叶片和第二感测装置对应的到达矢量的谐振 - 频率第二增量时间的仿真图；

[0023] 图 12c 显示使用一行白化矩阵生成的子干净 (sub-cleaned) 的谐振 - 频率增量 TOA 矢量信号的仿真图；

[0024] 图 12d 显示使用图 12c 中提到的另一行白化矩阵生成半噪声信号的仿真图；

[0025] 图 12e 显示谐振信号的仿真图；

[0026] 图 12f 显示噪声信号的仿真图；以及

[0027] 图 13 是根据本技术的一个实施例生成白化矩阵 (whitened matrix) 的方法的流程图。

具体实施方式

[0028] 在介绍本发明的各个实施例的元件时,冠词“一”以及“所述”旨在表示存在一个或多个此元件。词语“包括”、“包含”和“具有”旨在是包括性的,表示除了所列元件之外有另外的元件。如本文中使用的词语“和/或”包括一个或多个关联的所列元素的任何和所有组合。

[0029] 如在说明书和权利要求中使用的近似性语言可以用来修饰任何定量表示,在不造成与它大致有关的基本功能变化时可允许变化。相应地,由诸如“大约”的词语修饰的值不局限于规定的精确值。在一些情况下,近似性语言可以对应于用于测量数值的仪器的精度。

[0030] 如本文中使用的词语“预期到达时间 (TOA)”可以用来指当叶片没有任何缺陷或裂缝,叶片在理想情形下工作,负载状况最佳,叶片中的振动最小时,叶片在旋转过程中处于参考位置的 TOA。如本文中使用的词语“谐振-频率转子速度”指装置的转子的速度,其导致激励转子中叶片的一个或多个谐振频率。

[0031] 操作中,转子中叶片的自然频率或谐振频率在装置(诸如轴压缩机)中转子的特定转子速度下被激励。后文中词语“导致激励叶片的谐振-频率的转子速度”指谐振-频率转子速度。如在下文详细讨论的,本系统和方法基于转子中的叶片到达参考位置的到达时间 (TOA, 后文称作实际 TOA) 识别叶片的谐振-频率转子速度。叶片中的一个或多个裂缝可以改变叶片的谐振-频率转子速度。根据一个实施例本系统和方法的技术效果是确定谐振-频率转子速度中的一个或多个变化,基于这些变化确定叶片中裂缝存在或裂缝存在的可能性。此技术效果提供改进的维修预兆和较低百分比的意外停机时间。

[0032] 图 1 是根据本系统的实施例叶片健康状况监控系统 10 的分解图示。如图 1 中所示,系统 10 包括在转子 11 中的一个或多个叶片或机翼,这些叶片或机翼被系统 10 监控以确定叶片中裂缝存在或裂缝存在的可能性。注意,图 1 显示了转子 11 的一部分。转子 11 例如可以是装置的组件,诸如压缩机、轴压缩机、地面型燃气涡轮机等等。例如,转子 11 包括叶片 12。为了便于理解,参照叶片 12 解释本系统和技术,然而,本系统和技术可应用于转子 11 中的每个叶片。如在目前考虑的配置中所示的,系统 10 包括一个或多个传感器 14、16,传感器 14、16 感测在参考点处叶片 12 的到达,以生成代表叶片 12 到达参考点的到达时间 (TOA) 24、26 的叶片通过信号 BPS 18、20。在后文中词语“在参考点处叶片的 TOA”被称作实际 TOA。例如,第一感测装置 14 生成第一 BPS 18,第一 BPS 18 代表叶片 12 处于参考点的第一实际 TOA 24。例如,第二感测装置 16 生成第二 BPS 20,第二 BPS 20 代表叶片 12 处于参考点的第二实际 TOA 26。参考点例如可以在传感器 14、16 下面,或者邻近传感器 14、16。实际 TOA 例如可以以时间或度的单位测量。BPS 18、20 例如可以在转子的启动状态、转子 11 的暂态、转子 11 的稳态、转子 11 的超速状态期间或其中组合状态期间生成。

[0033] 在一个实施例中,传感器 14、16 可以感测叶片 12 的前沿到达,以生成 BPS 18、20。在另一个实施例中,传感器 14、16 可以感测叶片 12 的后沿到达,以生成 BPS 18、20。在又一实施例中,传感器 14 可以感测叶片 12 的前沿到达,以生成 BPS 18,传感器 16 可以感测叶片 12 的后沿到达,以生成 BPS 20,或者反之亦然。传感器 14、16 例如可以邻近叶片 12 安装在

固定物体的一个位置上,使得叶片 12 的到达可以被有效地感测。在一个实施例中,传感器 14、16 中的至少一个安装在叶片的外壳(未显示)上。通过非限制性示例,传感器 14、16 可以是磁致伸缩传感器、磁传感器、电容传感器、涡流传感器等等。

[0034] 如在目前考虑的配置中图示的,BPS 18、20 由处理子系统 22 接收。处理子系统 22 基于 BPS 18、20,确定叶片 12 的第一实际 TOA 24 和第二实际 TOA 26。具体地,处理子系统 22 基于第一 BPS 18 确定第一实际 TOA 24,处理子系统 22 基于第二 BPS 20 确定第二实际 TOA 26。在某些实施例中,处理子系统 22 预处理第一实际 TOA 24 和第二实际 TOA 26,以从第一实际 TOA 24 和第二实际 TOA 26 中去掉噪声和异步频率。处理子系统 22 例如可以通过对第一实际 TOA 24 和第二实际 TOA 26 应用平滑滤波技术和中值滤波技术中的至少一个,预处理第一实际 TOA 24 和第二实际 TOA 26。在一个示例中,处理子系统 22 包括至少一个处理器,所述处理器耦合到存储器和通信部分。诸如传感器数据的信息可以通过有线或无线机制经由通信部分传送,并存储在存储器中以用于后续处理。在一个示例中存储器还可以包括运行应用的可执行程序和相关文件。

[0035] 而且,处理子系统 22 基于第一实际 TOA 24 和第二实际 TOA 26 监控叶片 12 的健康状况。处理子系统 22 基于叶片 12 的第一实际 TOA 24 和预期 TOA 确定与叶片 12 对应并与第一感测装置 14 对应的第一增量 TOA 28。此外,处理子系统 22 基于叶片 12 的第二实际 TOA 26 和预期 TOA 确定与叶片 12 对应并与第二感测装置 16 对应的第二增量 TOA 30。第一增量 TOA 28 对应于第一感测装置 14,因为第一增量 TOA 是基于根据由第一感测装置 14 生成的第一 BPS 18 确定的第一实际 TOA 24 确定的。第二增量 TOA 30 对应于第二感测装置 16,因为第二增量 TOA 30 是基于根据由第二感测装置 16 生成的第二 BPS 20 确定的第二实际 TOA 26 确定的。第一增量 TOA 28 或第二增量 TOA 30 可以使用以下方程 (1) 确定:

[0036] 增量 TOA = 实际 TOA - 预期 TOA (1)

[0037] 在一个实施例中,通过将第一增量 TOA 28 映射到对应的转子 11 的转子速度,可以将第一增量 TOA 28 表示为第一增量 TOA 矢量 32。在另一实施例中,通过将第二增量 TOA 30 映射到转子 11 的对应转子速度,可以将第二增量 TOA 表示为第二增量 TOA 矢量 34。例如,如果第一实际 TOA 是基于转子速度为 R_1 时在时间戳 T_1 生成的 BPS 生成的,则第一增量 TOA 是基于第一实际 TOA 确定的,通过将第一增量 TOA 映射到转子速度 R_1 ,第一增量 TOA 表示为第一增量 TOA 矢量。后面,词语“第一增量 TOA”和“第一增量 TOA 信号”可互换使用,原因是第一增量 TOA 是模拟的第一增量 TOA 信号的数字表示。而且,词语“第二增量 TOA”和“第二增量 TOA 信号”可互换使用,原因是第二增量 TOA 是模拟的第二增量 TOA 信号的数字表示。此外,词语“第一增量 TOA 矢量”和“第一增量 TOA 矢量信号”可互换使用,原因是第一增量 TOA 矢量是模拟的第一增量 TOA 矢量信号的数字表示。此外,词语“第二增量 TOA 矢量”和“第二增量 TOA 矢量信号”可互换使用,因为第二增量 TOA 矢量是模拟的第一增量 TOA 矢量信号的数字表示。

[0038] 注意,转子 11 在多个转子速度下操作。转子速度的子集激励转子 11 中的叶片的谐振频率。“激励叶片的谐振频率的转子的转子速度”在后文中称作谐振 - 频率转子速度。注意,转子中叶片的谐振 - 频率转子速度可以与另一转子中叶片的谐振 - 频率转子速度不同。而且,注意,转子 11 中叶片的谐振 - 频率转子速度可以与转子 11 中另一叶片的谐振频率转子速度不同。

[0039] 在图 1 的实施例中,处理子系统 22 分别从第一增量 TOA 28/ 第一增量 TOA 矢量 32 中提取谐振 - 频率第一增量 TOA/ 谐振 - 频率第一增量 TOA 矢量。谐振 - 频率第一增量 TOA/ 谐振 - 频率第一增量 TOA 矢量分别是第一增量 TOA 28/ 第一增量 TOA 矢量 32 的子集。此外,处理子系统 22 从第二增量 TOA 30/ 第二增量 TOA 矢量 34 中提取谐振 - 频率第二增量 TOA 30/ 谐振 - 频率第二增量 TOA 矢量 34。谐振 - 频率第二增量 TOA/ 谐振 - 频率第二增量 TOA 矢量分别是第二增量 TOA30/ 第二增量 TOA 矢量 34 的子集。在一个实施例中,处理子系统 22 基于谐振 - 频率第一增量 TOA 和谐振 - 频率第二增量 TOA,确定叶片 12 的谐振 - 频率转子速度。在另一实施例中,处理子系统 22 基于谐振 - 频率第一增量 TOA 矢量和谐振 - 频率第二增量 TOA 矢量,确定叶片 12 的谐振 - 频率转子速度。

[0040] 此外,处理子系统 22 确定谐振 - 频率转子速度相对于历史谐振 - 频率转子速度是否有任何变化,以确定叶片 12 中裂缝存在或叶片 12 中裂缝存在的可能性。当处理子系统 22 确定叶片 12 的谐振 - 频率转子速度中存在一个或多个变化时,处理子系统 22 确定叶片 12 中存在裂缝,或者确定叶片 12 中存在裂缝的可能性。参照图 7 更加详细地解释叶片 12 中裂缝的确定。

[0041] 图 2 是根据本技术的某些方面基于增量 TOA 220 识别叶片 12 的谐振 - 频率转子速度区 220 的示例性方法 200 的流程图。谐振 - 频率转子速度区 220 是导致激励叶片 12 的一个或多个谐振频率的叶片 12 的转子速度的广阔区域。例如,叶片 12 的谐振频率可以在转子速度处于 1200 转每分钟到 1400 转每分钟的范围内时被激励,因此 1200 转每分钟到 1400 转每分钟是叶片的谐振 - 频率转子速度范围。

[0042] 参考数字 202 代表与叶片 12 对应的增量 TOA。增量 TOA 202 是在叶片 12 中没有任何缺陷或裂缝,叶片 12 和转子 11 在理想情形下工作,负载状况是最佳的,以及叶片 12 中的振动是最小时,基于由第一感测装置 14 或第二感测装置 16 生成的实际 TOA 确定的。在一个实施例中,如果第一实际 TOA 24 是在当叶片 12 中没有缺陷或裂缝,叶片 12 和转子 11 在理想情形下工作,负载状况是最佳的,叶片 12 中的振动最小时由第一感测装置 14 生成的,则增量 TOA 202 可以是第一增量 TOA 28(参见图 1)。在另一实施例中,如果第二实际 TOA 26 是在叶片 12 中没有缺陷或裂缝,叶片 12 和转子 11 在理想情形下工作,负载状况是最佳的,叶片 12 中的振动最小时由第二感测装置 16 生成的,则增量 TOA 202 可以是第二增量 TOA 30(参见图 1)。在一个实施例中,通过将增量 TOA 信号 202 映射到相应的转子速度,增量 TOA 信号 202 可以表示为增量 TOA 矢量信号。示例性增量 TOA 矢量信号示于图 3 中。在图 2 的实施例中,方法 200 的每个块由图 1 的处理子系统 22 执行。

[0043] 在块 204,选择第一信号窗和第二信号窗。第一信号窗和第二信号窗是转子速度带。此外,第一信号窗和第二信号窗都具有相应的宽度。例如,在图 2 的实施例中,第一信号窗是 25 转每分钟的转子速度带,第一信号窗的宽度是 25 转每分钟。还是在图 2 的实施例中,第二信号窗是 50 转每分钟的转子速度带,第二信号窗的宽度是 50 转每分钟。第二信号窗的宽度大于第一信号窗的宽度。

[0044] 在块 206,通过反复地沿增量 TOA 信号 202 移动第一信号窗,生成多个第一频率峰值。在块 208,通过反复地沿增量 TOA 信号 202 移动第二信号窗,生成多个第二频率峰值。参照图 3 和图 4 更加详细地解释第一频率峰值和第二频率峰值的确定。

[0045] 在块 210,基于第一频率峰值和第二频率峰值,确定多个所得值。具体地,通过从相

应的第一频率峰值中减去第二频率峰值,确定所得值。所得值例如可以使用以下方程 (2) 确定:

$$[0046] \quad RV = \text{第一频率峰值} - \text{第二频率峰值} \quad (2)$$

[0047] 其中, RV 是所得值。

[0048] 在块 212, 执行检查以确定所得值是否小于确定值。在块 212, 当所得值小于确定值时, 控制转移到块 214。在块 214, 确定与第二频率峰值对应的转子速度。与第二频率峰值对应的转子速度的局部极大值确定为谐振 - 频率转子速度区 220, 此时所得值小于确定值。例如, 当与第二频率峰值对应的转子速度是 1200 转每分钟时, 1200 ± 50 的局部极大值确定为谐振 - 频率转子速度区。

[0049] 然而, 继续参照块 212, 当所得值不小于确定值, 控制转移到块 216。在块 216, 选择后续信号窗。后续信号窗的宽度大于第一信号窗的宽度和第二信号窗的宽度。例如, 通过非限制性示例, 后续信号窗的宽度可以是 75 转每分钟, 或者大于 75 转每分钟。而且, 在块 218, 通过反复地沿增量 TOA 202 移动后续信号窗, 确定多个后续频率峰值。通过反复地沿增量 TOA 202 移动后续信号窗, 确定多个后续频率峰值将参照图 3 和图 4 解释。而且, 控制转移到块 210。在块 210, 基于后续频率峰值和之前的频率峰值, 确定多个后续的所得值。在一个实施例中, 之前的频率峰值就是第二频率峰值。还是在块 212, 执行检查以确定一个或多个后续的所得值是否小于确定值。当在块 212, 后续所得值不小于确定值时, 块 216 至 212 被再次执行。然而, 在块 212, 当后续所得值小于确定值时, 控制转移到块 214。在块 214, 与后续频率峰值对应的每个转子速度的局部极大值被标识为谐振 - 频率转子速度区 220。例如, 如果 r 是与后续频率峰值对应的转子速度, 则 $r \pm 50$ 可以选择为谐振 - 频率转子速度区。图 6 显示通过使用参照图 2 描述的过程识别的叶片的仿真谐振 - 频率转子速度区。

[0050] 图 3 是图示根据本技术的一个方面通过沿图 1 中提到的第一增量 TOA 信号 202 移动信号窗 302 确定多个频率峰值 310 的示例性方法 300 的流程图。具体地, 图 3 更加详细地解释图 2 的块 206、208 和 218。多个频率峰值 310 例如可以是当信号窗 302 是图 2 中提到的第一信号窗时的第一频率峰值。类似地, 多个频率峰值 310 可以是当信号窗 302 是图 2 中提到的第二信号窗时的第二频率峰值。再者, 多个频率峰值 310 可以是当信号窗 302 是后续信号窗 (参见图 2) 时的后续频率峰值。

[0051] 在块 304, 在第一增量 TOA 202 上设置信号窗 302, 选定被信号窗 302 包含或覆盖的增量 TOA 202 的第一子集。而且, 在块 306, 基于增量 TOA 202 的第一子集生成频率峰值。例如, 通过对增量 TOA 202 的第一子集进行快速傅立叶变换确定频率信号, 从频率信号中选择频率峰值, 从而生成频率峰值, 其中, 频率峰值等于或小于确定的同步频率阈值。如本文中使用的词语“确定的同步频率阈值”是选择的数字频率值, 使得比确定的同步频率阈值大的频率基本上是异步频率; 等于或小于确定的同步频率阈值的频率基本上是同步频率。通过非限制性示例, 确定的同步频率阈值的幅度可以约为 2 赫兹。参照图 5 更加详细地解释频率峰值的确定。

[0052] 而且, 在块 308, 频率峰值被加入到多个频率峰值 310, 控制转移到块 312。在块 312, 进行检查以确定信号窗 302 是否已经沿信号增量时间 202 移动确定的次数。尽管在图 3 中, 执行检查以确定信号窗 302 是否已经移动确定的次数, 在某些实施例中, 可以执行检查以确定信号窗 302 是否已经移动通过到达增量时间 202。在块 312, 当确定信号窗 302 没

有沿第一增量 TOA 信号 202 移动确定次数时;控制转移到块 314。在块 314,通过以确定的转子速度带沿增量 TOA 信号 202 移动时间窗 302,确定移动窗。而且,在块 316,选择被移动信号窗包含或覆盖的增量 TOA 信号 202 的后续子集。在块 318,基于增量 TOA 信号 202 的后续子集,确定后续频率峰值。例如通过对第一增量 TOA 信号 202 的后续子集进行快速傅立叶变换以产生相应的频率信号,之后通过从频率信号中选择后续频率峰值,生成后续频率峰值,其中,后续频率峰值等于或小于确定的同步频率阈值。控制从块 318 转移到块 308。在块 308,后续频率峰值被加入到多个频率峰值 310。接着,在块 312,执行检查以确定信号窗 302 是否沿增量 TOA 信号 202 移动确定次数。在块 312,当确定信号窗 302 已经移动确定的次数时,确定多个频率峰值 310。

[0053] 图 4 是与转子中的叶片对应的仿真增量 TOA 矢量信号 402 的图 400,以显示多个频率峰值和所得值的确定。在一个实施例中,图 4 更加详细地解释图 2 的步骤 206、208 和 218。而且,图 4 解释图 2 的步骤 210。此外,图 4 更加详细地解释图 3 的步骤 306。通过将转子中的叶片的增量 TOA 映射到相应的转子速度,生成仿真增量 TOA 矢量信号 402。在一个实施例中,增量 TOA 矢量信号 402 可以是第一增量 TOA 矢量信号 32(参见图 1)。在另一实施例中,增量 TOA 矢量信号 402 可以是第二增量 TOA 矢量信号 34(参见图 1)。

[0054] 图 400 的 X-轴 406 代表转子的转子速度,图 400 的 Y-轴 408 代表与叶片对应的增量 TOA。参考数字 410 代表宽度为 W_1 的第一信号窗,参考数字 412 代表宽度为 W_2 的第二信号窗。第一信号窗 410 选择被第一信号窗 410 包含或覆盖的增量 TOA 矢量信号 402 的第一子集。如图 4 中所示,增量 TOA 矢量信号 402 的第一子集开始于点 414,结束于点 416。而且,图 5 中所示的频率信号 502 是基于增量 TOA 矢量信号 402 的第一子集生成的。频率信号 502 是通过对增量 TOA 矢量信号 402 的第一子集进行傅立叶变换或快速傅立叶变换确定的。而且,与第一信号窗 410 和 TOA 矢量信号 402 的第一子集对应的第一频率峰值 508(图 5 中显示)是基于频率信号 502 和确定的同步频率阈值 510(图 5 中显示)确定的。参照图 5 更加详细地解释与第一窗和增量 TOA 的第一子集对应的第一频率峰值的确定。

[0055] 第二信号窗 412 选择被第二信号窗 412 包含或覆盖的增量 TOA 矢量信号 402 的第二子集。如图 4 中所示,TOA 矢量信号 402 的第二子集开始于点 418,终止于点 420。而且,谐振信号是基于 TOA 矢量信号 402 的第二子集生成的。频率信号是通过对 TOA 矢量信号的第二子集进行傅立叶变换或快速傅立叶变换确定的。而且,与第二信号窗 412 和增量 TOA 的第二子集对应的第二频率峰值是基于频率信号和确定的同步频率阈值确定的。第二频率峰值例如可以使用参照图 5 解释的方法确定。而且,第一所得值是通过从第一频率峰值中减去第二频率峰值确定的。

[0056] 接着,第一信号窗 410 移动转子速度带 SB_1 ,以生成移动第一窗 SW_1 ,第二窗 412 移动转子速度带 SB_2 ,以生成移动第二信号窗 SW_2 。再者,与移动的第一信号窗 SW_1 对应的随后的第一频率峰值是基于被移动第一信号窗覆盖 SW_1 覆盖的增量 TOA 矢量信号 402 的子集确定的。此外,与移动第二信号窗 SW_2 对应的后续的第二频率峰值是基于被移动第二信号窗 SW_2 覆盖的增量 TOA 矢量信号 402 的子集确定的。而且,第二所得值是通过从后续第一频率峰值中减去后续第二频率峰值确定的。

[0057] 第一信号窗 410 和第二信号窗 412 被移动,直到增量 TOA 矢量信号 402 被完全跨越。而且,多个第一频率峰值、多个第二频率峰值和多个所得值是通过移动第一信号窗 410

和第二信号窗 412 确定的。多个第一频率峰值包括第一频率峰值和后续的第一频率峰。多个第二频率峰值包括第二频率峰值和后续的第二频率峰。而且,多个所得值包括第一所得值和第二所得值。

[0058] 图 5 是图 4 中提到的频率信号 502 的图 500,以解释基于频率信号 502 和确定的同步频率阈值 510 确定第一频率峰值 508。图 500 的 X-轴 504 代表增量 TOA 矢量信号 402 的第一子集的频率,图 500 的 Y-轴 506 代表频率的幅度。第一频率峰值 508 例如是通过图 1 中提到的处理子系统 22 确定的。处理子系统 22 选择比确定的同步频率阈值 510 小的频率。选择的频率是同步频率。注意,从频率信号 502 中选择比确定的同步频率阈值 510 小的频率导致从频率信号 502 中选择同步频率。而且,具有最高幅度的频率是从同步频率或所选择频率中选择的。在图 5 的实施例中,频率 512 具有最高幅度 508。最高幅度 508 被确定为第一频率峰值 508。

[0059] 图 6 是使用参照图 2 解释的方法确定的叶片的谐振-频率转子速度区 602、604 的仿真图 600。X-轴 606 代表转子的转子速度,Y-轴代表频率峰值。频率峰值可以是在图 2 的块 208 中确定的第二频率峰值,或者是在图 2 中提到的块 218 中确定的后续的频率峰值。如图 6 中所示,两个谐振-频率转子速度区 602、604 被标识。

[0060] 图 7 是根据本技术的一个实施例用于监控图 1 中提到的叶片 12 的健康状况的方法 700 的流程图。参考数字 220 代表转子 11 中(参见图 2)叶片 12 的谐振-频率转子速度区。参考数字 32 代表由图 1 中的处理子系统 22 确定的第一增量 TOA 矢量。而且,参考数字 34 代表由图 1 中的处理子系统 22 确定的第二增量 TOA 矢量。在块 702,从第一增量 TOA 矢量 32 中选择谐振-频率第一增量 TOA 矢量。如本文中使用的词语“谐振-频率第一增量 TOA 矢量”用来指第一增量 TOA 矢量 32 的子集,其中,所述子集对应于叶片 12 的谐振-频率转子速度区。在块 704,从第二增量 TOA 矢量 34 中选择谐振-频率第二增量 TOA 矢量。如本文中使用的词语“谐振-频率第二增量 TOA 矢量”用来指第二增量 TOA 矢量 34 的子集,其中,所述子集对应于叶片 12 的谐振-频率转子速度区。

[0061] 而且,在块 706,基于谐振-频率第一增量 TOA 矢量和谐振-频率第二增量 TOA 矢量生成测量矩阵。测量矩阵例如可以通过排列谐振-频率第一增量 TOA 矢量和谐振-频率第二增量 TOA 矢量生成,以生成初始矩阵,去趋势化(detrend)初始矩阵以生成测量矩阵。初始矩阵例如可以使用包括多项式曲线拟合技术或基于小波的曲线拟合技术的一种或多种技术去趋势化。而且,参照图 10 更加详细地解释测量矩阵的生成。

[0062] 在块 708,基于测量矩阵生成谐振矩阵,使得谐振矩阵中的元素基本上是线性不相关的和线性独立的。谐振矩阵例如可以通过对测量矩阵应用至少一种技术确定,其中,至少一种技术包括白化(whitened)技术、累积量矩阵估计技术和矩阵旋转技术。

[0063] 谐振矩阵包括干净的谐振-频率增量 TOA 矢量 712 和噪声数据 710。具体地,谐振矩阵的一行包括谐振-频率增量 TOA 矢量 712,谐振矩阵的另一行包括噪声数据 714。在从谐振-频率第一增量 TOA 矢量信号和噪声数据 714 中去掉噪声之后,干净的谐振-频率增量 TOA 矢量信号 712 包括第一感测装置 14 和第二感测装置 16 的共同观测值或测量。为便于理解,词语“干净的谐振-频率增量 TOA 矢量”被称作谐振信号。而且,噪声信号 710 包括谐振-频率第一增量 TOA 矢量信号和噪声数据 714 的噪声。为便于理解,“干净的谐振-频率增量 TOA 矢量信号 712”可互换称作谐振信

号 712。使用图 7 的方法的谐振信号的一个示例示于图 9a 和图 12e 中。使用图 7 的方法的噪声信号的一个示例示于图 12f 中。

[0064] 参考数字 714 代表在叶片 12 中没有缺陷或裂缝,叶片 12 工作在理想情形下,负载状况是最佳的,叶片 12 中的振动最小时产生的叶片 12 的历史谐振信号。历史谐振信号 714 显示当叶片 12 中没有任何缺陷或裂缝时映射到叶片 12 的历史干净增量 TOA 的叶片 12 的历史谐振 - 频率转子速度。

[0065] 在块 716,确定叶片 12 的谐振 - 频率转子速度相对于叶片 12 的历史谐振 - 频率转子速度是否存在变化。例如,叶片 12 的谐振 - 频率转子速度相对于叶片 12 的历史谐振 - 频率转子速度的变化是通过对谐振信号 712 和历史谐振信号 714 应用相关函数确定的。应用相关函数导致确定指标值和相关值。如本文中使用的词语“相关值”是谐振信号和历史谐振信号之间的相关度或相似度的度量。如本文中使用的词语“指标值”(index value)是谐振信号和历史谐振信号之间的相位移动的度量。相关值越高,谐振信号 712 和历史谐振信号 714 之间的相似度越高。还有,指标值越高,谐振信号 712 关于历史谐振信号 714 的相位移动越高。相应地,相关值和指标值可以用来确定谐振信号 712 关于历史谐振信号 714 的变化。

[0066] 而且,在块 718,可以基于谐振信号 712 关于历史谐振信号 714 的变化确定裂缝存在、裂缝不存在或裂缝的可能性。例如,当谐振信号 712 关于历史谐振信号 714 存在变化时,可以确定叶片 12 中存在裂缝。在一个实施例中,可以基于指标值、相关值和相关图确定裂缝存在、裂缝不存在或裂缝的可能性。在图 8 中显示基于指标值、相关值和相关图确定裂缝存在、裂缝不存在或裂缝的可能性。

[0067] 图 8 示出了根据本技术的一个实施例可以用来确定叶片 12 中裂缝存在、裂缝不存在或裂缝的可能性的相关图 800。在一个实施例中,图 8 解释图 7 的步骤 718。相关图 800 包括四个象限,包括第一象限 802、第二象限 804、第三象限 806 和第四象限 808。第一象限 802 代表低指标值和高相关值。第二象限 804 代表高指标值和高相关值。第三象限 806 代表高指标值和低相关值。而且,第四象限 808 代表低指标值和低相关值。

[0068] 在图 7 中的块 716 处确定的指标值和相关值位于相关图 800 中,以确定叶片 12 中裂缝存在、裂缝不存在或裂缝的可能性。例如,当指标值和相关值落入相关图 800 的第一象限 802 中时,可以确定叶片 12 中不存在裂缝。而且,当在块 716 处确定的指标值和相关值落入相关图 800 的第二象限 804 中时,可以确定叶片 12 中存在一个或多个裂缝。此外,在块 716 处确定的指标值和相关值落入相关图 800 的第三象限 806 中时,可以确定叶片 12 中存在裂缝存在的可能。此外,在块 716 处确定的指标值和相关值落入相关图 800 的第四象限 808 时,可以确定叶片 12 中存在裂缝的可能性。

[0069] 图 9a 示出了叶片 12 的历史谐振信号 902 的仿真图 900,图 9b 示出了使用图 7 中解释的方法生成的叶片 12 的谐振信号 906 的仿真图 904。图 900、904 的 X-轴 908 代表谐振 - 频率转子速度范围,图 900、904 的 Y-轴 910 代表干净的谐振 - 频率增量 TOA。如图 9a 中的历史谐振信号 902 所示的,当叶片处于没有裂缝和振动的健康状况时,叶片的谐振频率在谐振 - 频率转子速度 912 处被激励。然而,通过谐振信号 906 显然,叶片的谐振频率在移动了的谐振 - 频率转子速度 914 处被激励。相应地,由于由历史谐振信号 902 所示的叶片的谐振 - 频率转子速度 912 的变化或移动,可以确定叶片有裂缝。

[0070] 图 10 是根据本技术的一个实施例基于谐振 - 频率第一增量 TOA 和谐振 - 频率第二增量 TOA 生成测量矩阵的方法 1000 的流程图。在一个实施例中,图 10 更加详细地解释图 7 的块 706。谐振 - 频率第一增量 TOA 是在图 7 中的块 702 从第一增量 TOA 32 选择的。而且,谐振 - 频率第二增量 TOA 是在图 7 的块 704 从第二增量 TOA 34 选择的。在块 1002,基于谐振 - 频率第一增量 TOA 矢量和谐振 - 频率第二增量 TOA,生成初始矩阵。在一个实施例中,如果 LE_1 代表谐振 - 频率第一增量 TOA 矢量, LE_2 代表谐振 - 频率第二增量 TOA 矢量,则初始矩阵 I 可以表示如下:

$$[0071] \quad I = \begin{bmatrix} LE_1 \\ LE_2 \end{bmatrix}_{2 \times n} \quad (3)$$

[0072] 而且,在块 1004,可以通过去趋势化初始矩阵 I ,生成测量矩阵。初始矩阵例如可以通过对初始矩阵 I 应用至少一种技术而被去趋势化。所述技术例如包括多项式曲线拟合、基于小波的曲线拟合或其组合。

[0073] 图 11 是根据本技术的一个实施例,基于测量矩阵生成谐振矩阵的方法 1100 的流程图。在一个实施例中,图 11 解释图 7 中的步骤 708。在块 1102,基于测量矩阵确定白化矩阵。白化矩阵是通过基本上去掉测量矩阵中的元素之间的线性相关来确定的。具体地,白化矩阵是通过基本上去掉测量矩阵的第一行中的元素和测量矩阵的第二行中的元素之间的线性相关来确定的。相应地,白化矩阵的第一行中的元素和白化矩阵的第二行中的元素是线性不相关的。注意,两个信号“ x ”和“ y ”或两个元素“ x ”和“ y ”在 $E\{xy^T\} = 0$ 时是线性不相关的,其中,“ E ”是期望值或平均值, xy^T 是相关运算。参照图 13 更加详细地解释通过将测量矩阵变换成白化矩阵来确定白化矩阵。在一个实施例中,白化矩阵包括两行,其中第一行基本上包括谐振 - 频率第一增量 TOA 矢量和谐振 - 频率第二增量 TOA 矢量的共同观测值 / 分量,第二行基本上包括谐振 - 频率第一增量 TOA 矢量和谐振 - 频率第二增量 TOA 矢量的噪声。相应地,白化矩阵的第一行可以用来生成基本上包括谐振 - 频率第一增量 TOA 矢量和谐振 - 频率第二增量 TOA 矢量的共同观测值 / 分量的子干净 (sub-cleaned) 的谐振频率增量 TOA 矢量信号 1104。而且,白化矩阵的第二行可以用来生成基本上包括谐振 - 频率第一增量 TOA 矢量和谐振 - 频率第二增量 TOA 矢量的噪声的半噪声信号 1106。

[0074] 而且,在块 1108,通过对白化矩阵应用累积量 - 生成函数,基于白化矩阵确定累积量矩阵。在一个实施例中,累积量矩阵是四阶累积量矩阵。在一个实施例中,累积量矩阵是白化矩阵中各元素的独立性的测量。在块 1110,基于累积量矩阵可以确定旋转矩阵。旋转矩阵是通过基本上去掉累积量矩阵中的各元素之间的线性相关确定的。具体地,旋转矩阵是通过去掉累积量矩阵的第一行中的各元素和累积量矩阵的第二行中的各元素之间的线性相关确定的。相应地,累积量矩阵的第一行中的各元素和累积量矩阵的第二行中的各元素是线性不相关的。参照图 13 更加详细地解释旋转矩阵的确定。

[0075] 在块 1112,基于旋转矩阵和确定的旋转矩阵,通过使旋转矩阵旋转,通过基本上去掉旋转矩阵中各元素之间的线性关系,确定单位矩阵 (unitary matrix)。在块 1114,通过确定单位矩阵和白化矩阵的积确定谐振矩阵。谐振矩阵中的元素是线性不相关的和线性独立的。而且,单位矩阵中的元素是线性不相关的。在一个实施例中,谐振矩阵的第一行中的元素和谐振矩阵的第二行中的元素是线性不相关的和线性独立的。谐振矩阵例如是在图 7 中的块 708 处确定的谐振矩阵。谐振矩阵包括图 7 中提到的干净的增量 TOA 矢量 712 和噪

声数据 710。

[0076] 图 12a 示出了与叶片 12 和第一感测装置 14 对应的到达矢量信号 1202 的谐振 - 频率第一增量时间的仿真图 1200。到达矢量信号 1202 的谐振 - 频率第一增量时间例如可以是在图 7 中的块 702 处从第一增量 TOA 32 选择的到达矢量的谐振 - 频率第一增量时间。此外,图 12b 示出了与叶片和第二感测装置 16 对应的到达矢量信号 1206 的谐振 - 频率第二增量时间的仿真图 1204。到达矢量信号 1206 的谐振 - 频率第二增量时间例如可以是在图 7 的块 704 从第二增量 TOA 34 选择的到达矢量的谐振 - 频率第二增量时间。图 1200 的 X- 轴 1208 代表叶片的谐振 - 频率转子速度范围。图 1200 的 Y- 轴 1210 代表谐振 - 频率第一增量 TOA 1202。类似地,图 1204 的 X- 轴 1212 代表叶片的谐振 - 频率转子速度范围。图 1204 的 Y- 轴 1214 代表谐振 - 频率第二增量 TOA 1206。

[0077] 到达矢量信号 1202 的谐振 - 频率第一增量时间和到达矢量信号 1206 的谐振 - 频率第二增量时间使用在图 7 和图 10 中的块 706 解释的方法被处理以形成测量矩阵。而且,白化矩阵是通过对测量矩阵变形确定的。白化矩阵用来生成分别显示于图 12c 和 12d 中的子干净的谐振 - 频率增量 TOA 矢量信号 1216 和半噪声信号 1218。子干净的谐振 - 频率增量 TOA 矢量信号 1216 和半噪声信号 1218 是使用图 11 中的块 1102 中解释的方法生成的。如子干净的谐振 - 频率增量 TOA 矢量信号 1216 中所示的,信号 1202、1206 (参见图 12a、图 12b) 的共同观测值捕获于子干净的谐振 - 频率增量 TOA 矢量信号 1216 中。然而,子干净的谐振 - 频率增量 TOA 矢量信号 1216 仍然具有最小剩余噪声。而且,如图 12d 中所示,噪声信号 1218 包含信号 1202、1204 的大部分噪声。

[0078] 而且,白化矩阵或信号 1216、1218 使用图 11 中的块 1108-1112 处理,以生成图 12e 中所示的谐振信号 1220 和图 12f 中所示的噪声信号 1222。谐振信号 1220 和噪声信号 1222 是使用参照图 7 中的块 708 和图 11 解释的方法生成的。如图 12e 中所示,信号 1202、1206 (参见图 12a、图 12b) 的共同观测值捕获于谐振信号 1220 中,噪声信号 1222 具有零噪声。而且,如图 12f 中所示,噪声信号 1222 包含信号 1202、1204 的噪声。

[0079] 图 13 是根据本技术的一个实施例生成白化矩阵 1314 的方法的流程图。在一个实施例中,图 13 更加详细地解释图 11 的块 1102。在另一实施例中,图 13 更加详细地解释图 11 的块 1110。参考数字 1302 代表待白化矩阵。待白化矩阵 1302 例如可以是图 11 中的块 1102 中提到的测量矩阵,或者待白化矩阵 1302 可以是图 11 中的块 1108 中提到的累积量矩阵。当待白化矩阵 1302 是测量矩阵时,白化矩阵 1314 是图 11 的块 1102 中提到的白化矩阵。当待白化矩阵 1302 是累积量矩阵时,白化矩阵是图 11 的块 1110 中提到的单位矩阵。

[0080] 在块 1304,通过确定待白化矩阵 1302 的协方差,生成协方差矩阵。在块 1306,通过对协方差矩阵应用特征向量分解技术,确定特征值矩阵和特征值。在块 1308,确定特征值的平方根。而且,在块 1310,通过用特征向量矩阵乘以特征值的平方根,确定积矩阵。在块 1312,通过将积矩阵和测量矩阵相乘,确定白化矩阵 1314。

[0081] 本系统和方法在转子叶片、包含转子叶片的转子和包含转子叶片的装置以及转子健康时,通过识别转子叶片的谐振 - 频率转子速度,监控转子叶片的健康状况。而且,本系统和方法确定转子叶片的谐振 - 频率转子速度的变化。本系统和方法基于转子叶片的谐振 - 频率的变化确定转子叶片中存在或不存在裂缝。

[0082] 尽管在本文中已经图示和描述了本发明,但许多改进和变化是本领域技术人员容

易想到的。因此,应理解所附权利要求旨在覆盖落入本发明的真实精神内的所有这种变形和变化。

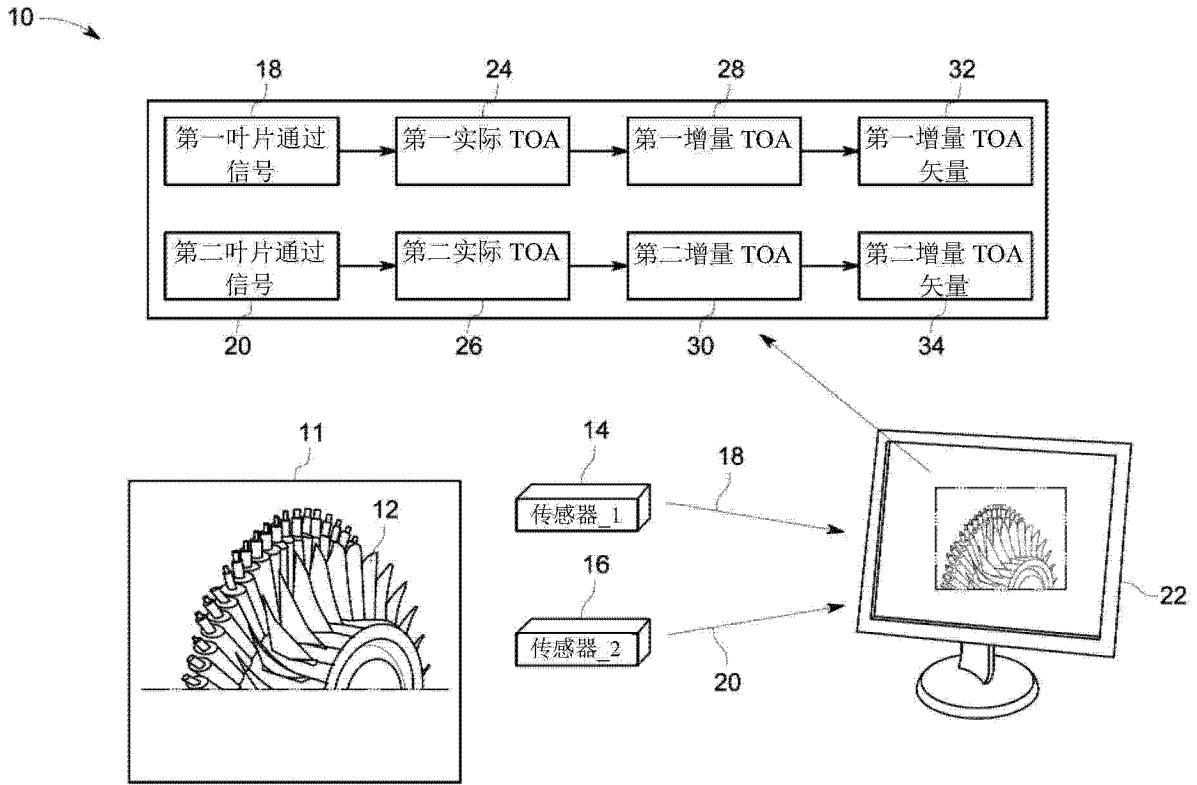


图 1

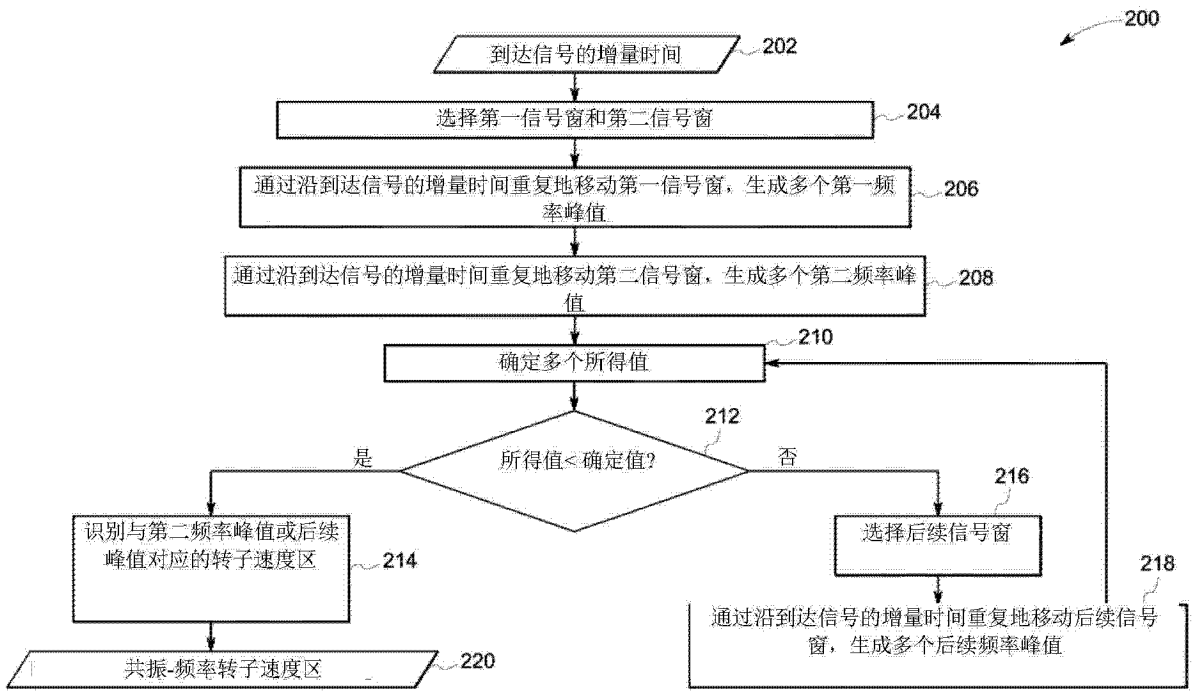


图 2

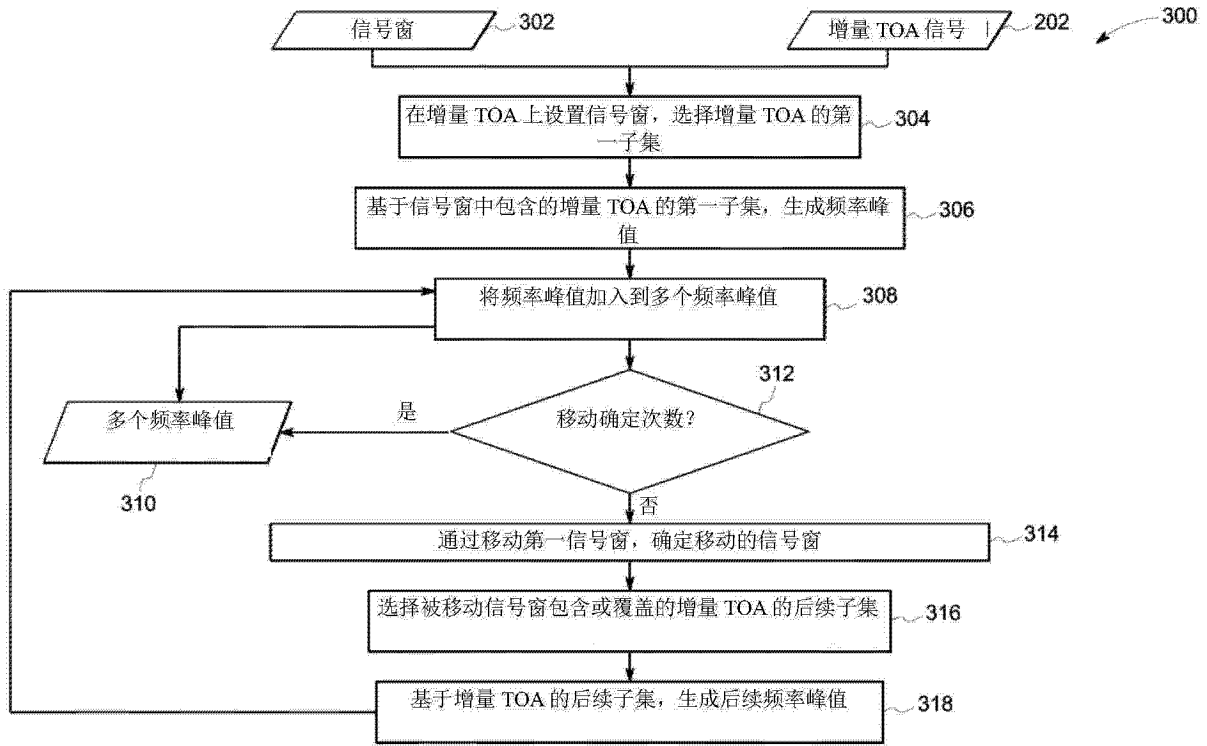


图 3

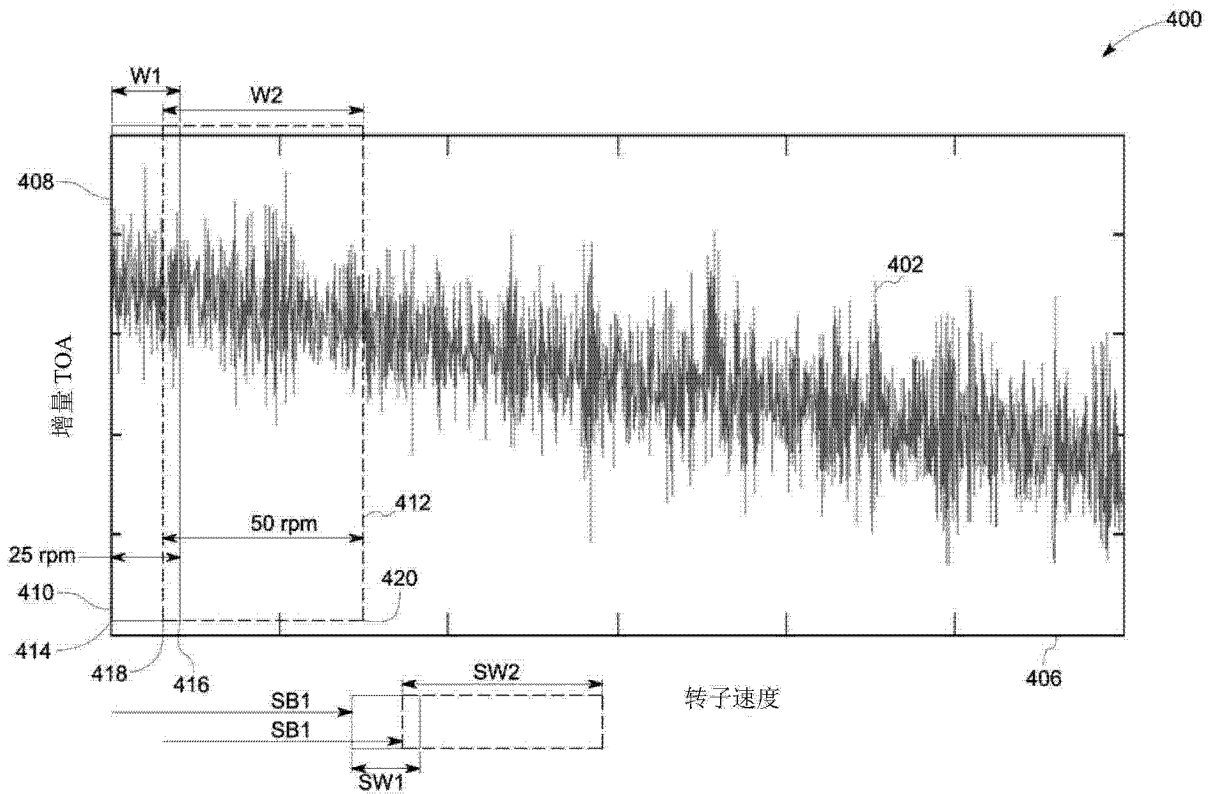


图 4

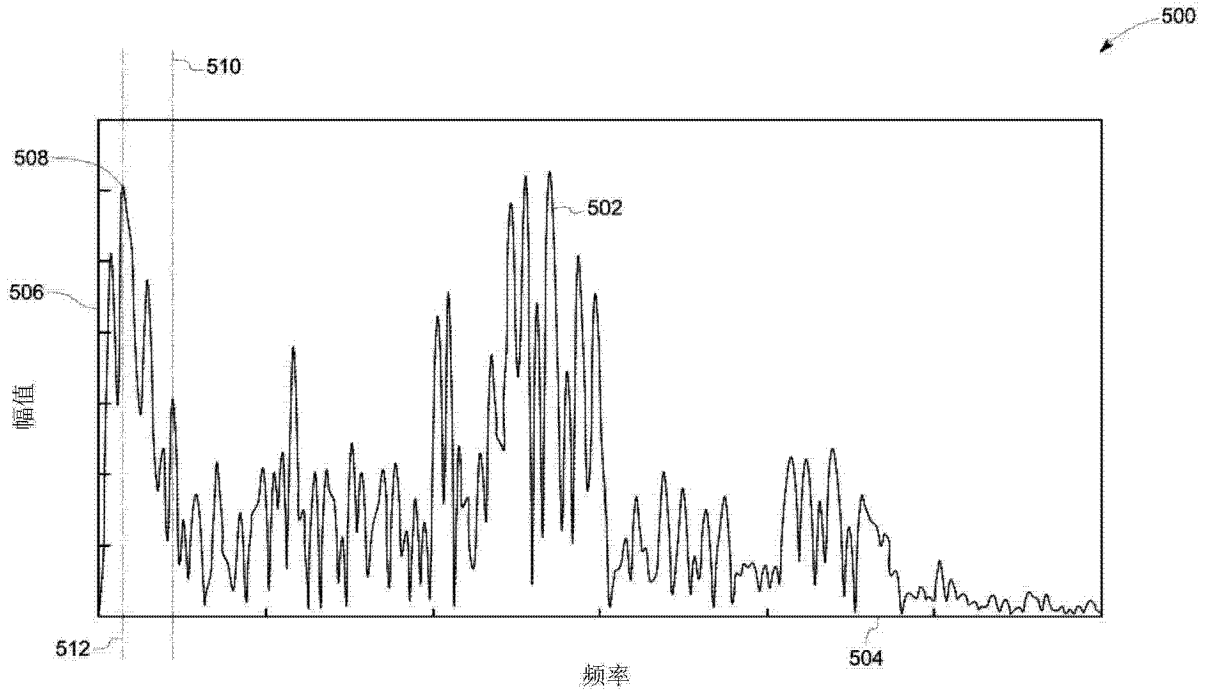


图 5

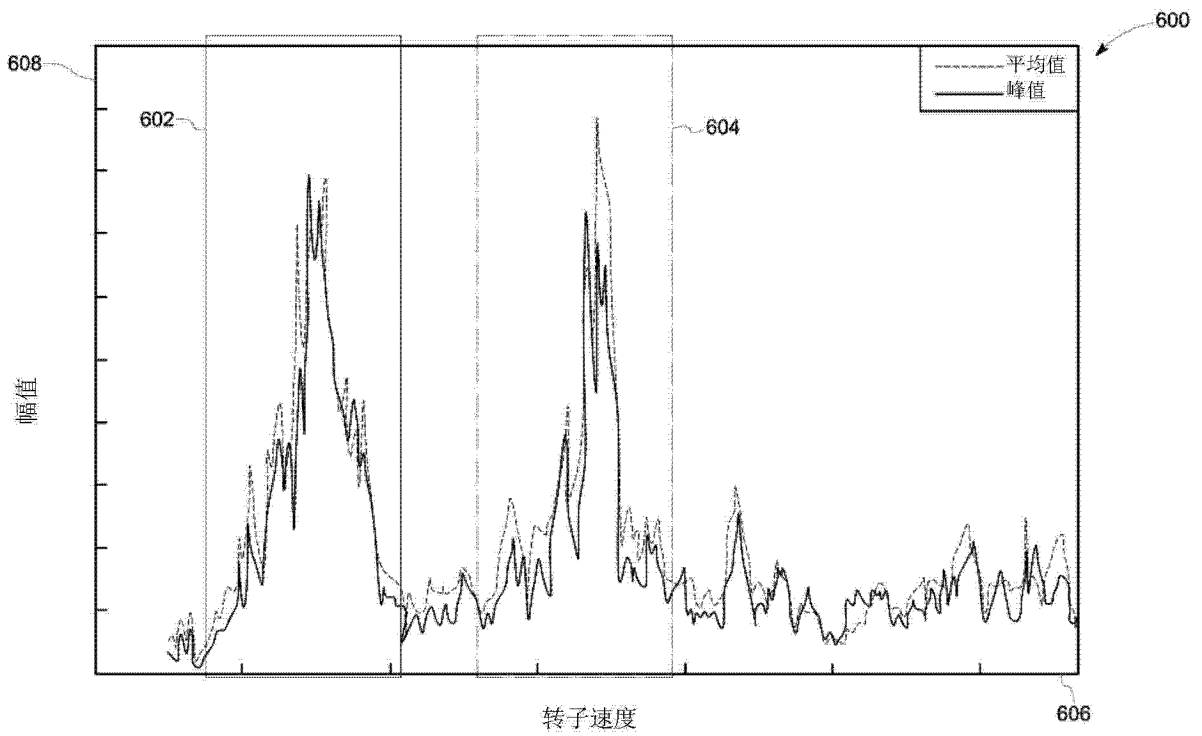


图 6

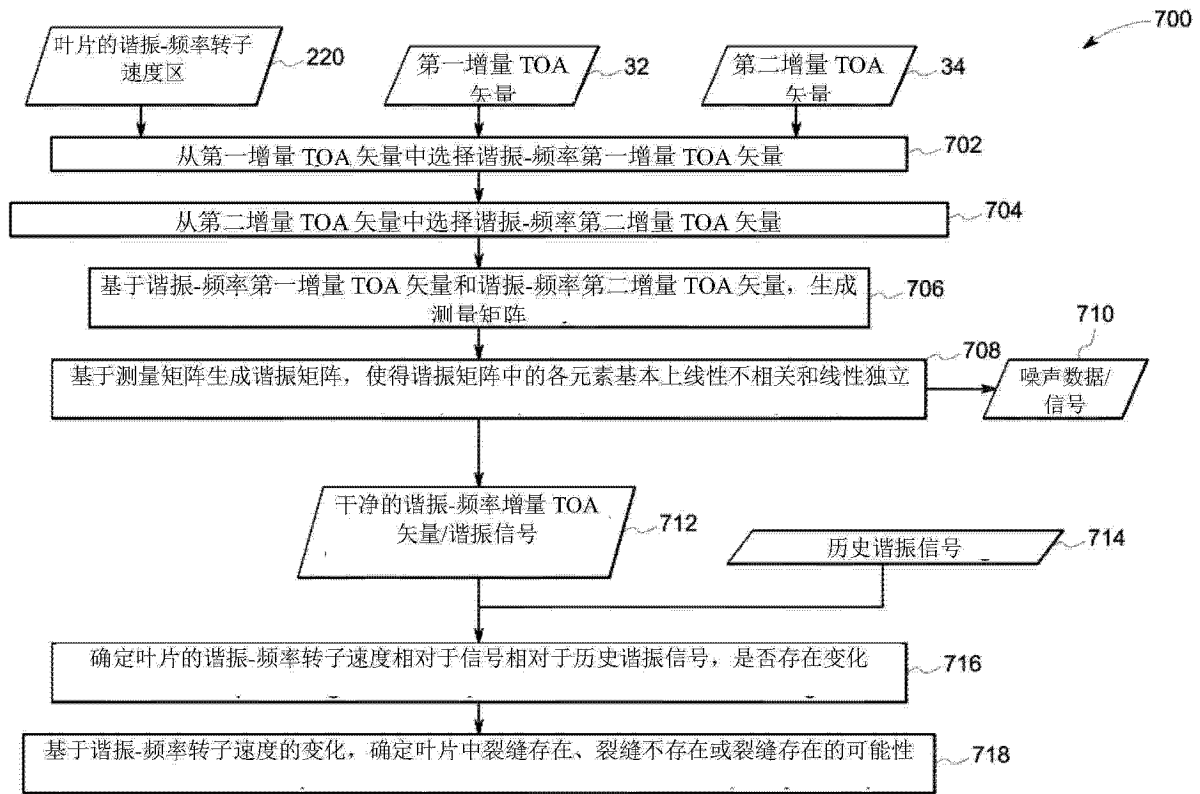


图 7

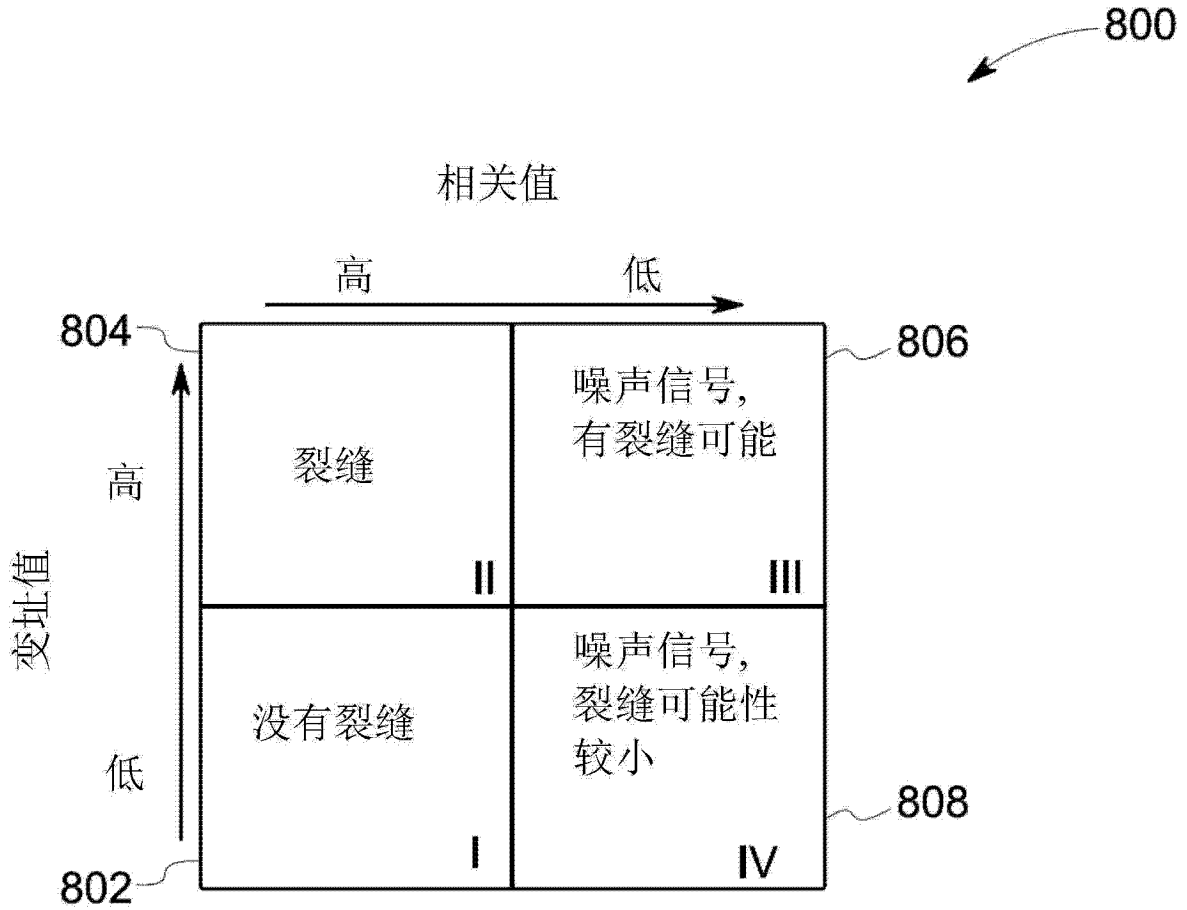


图 8

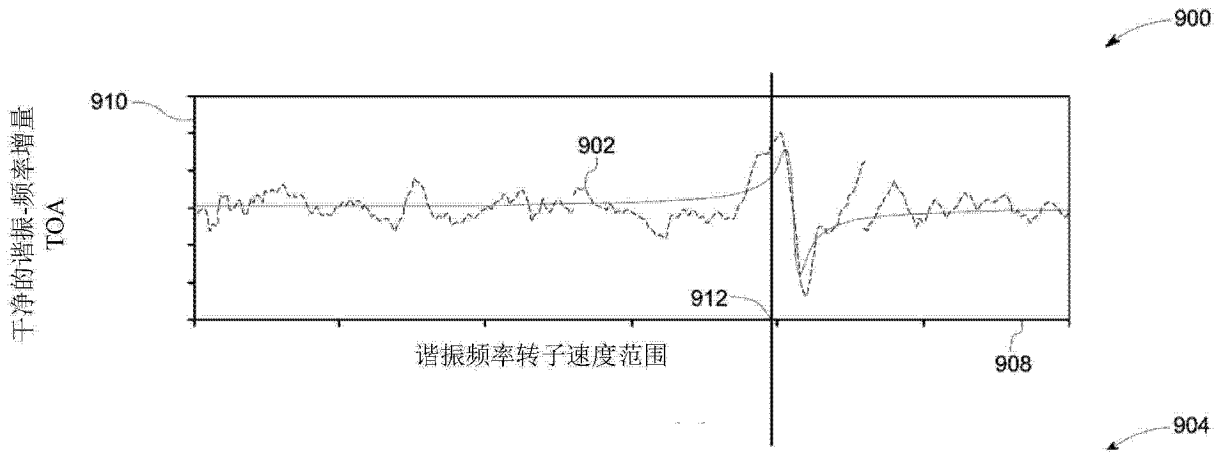


图 9a

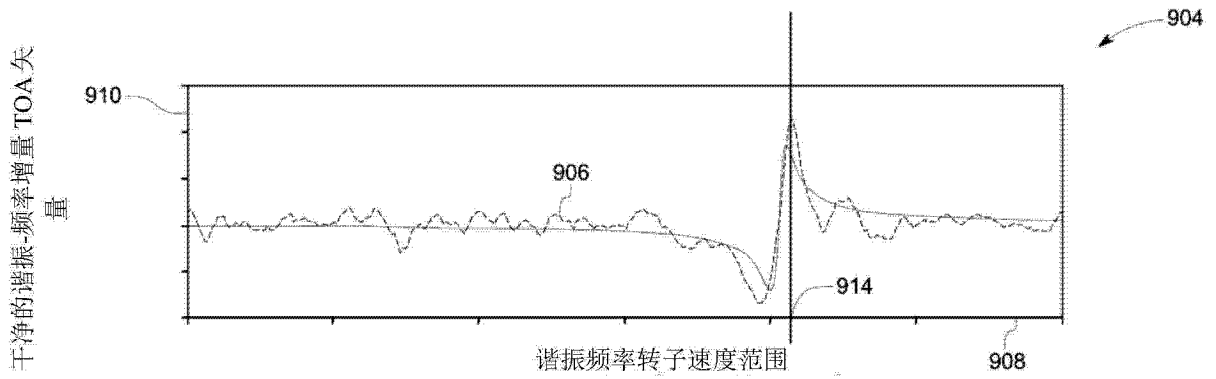


图 9b

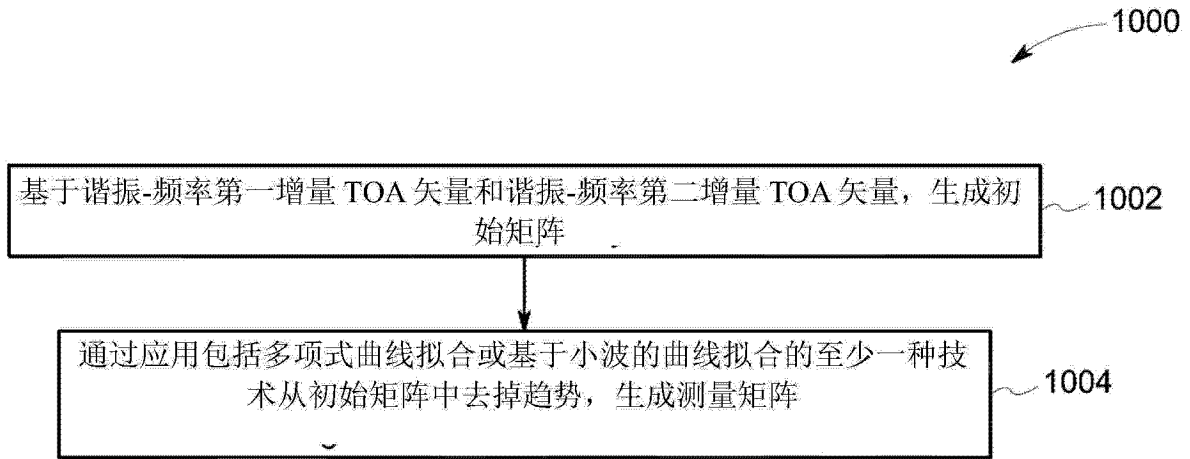


图 10

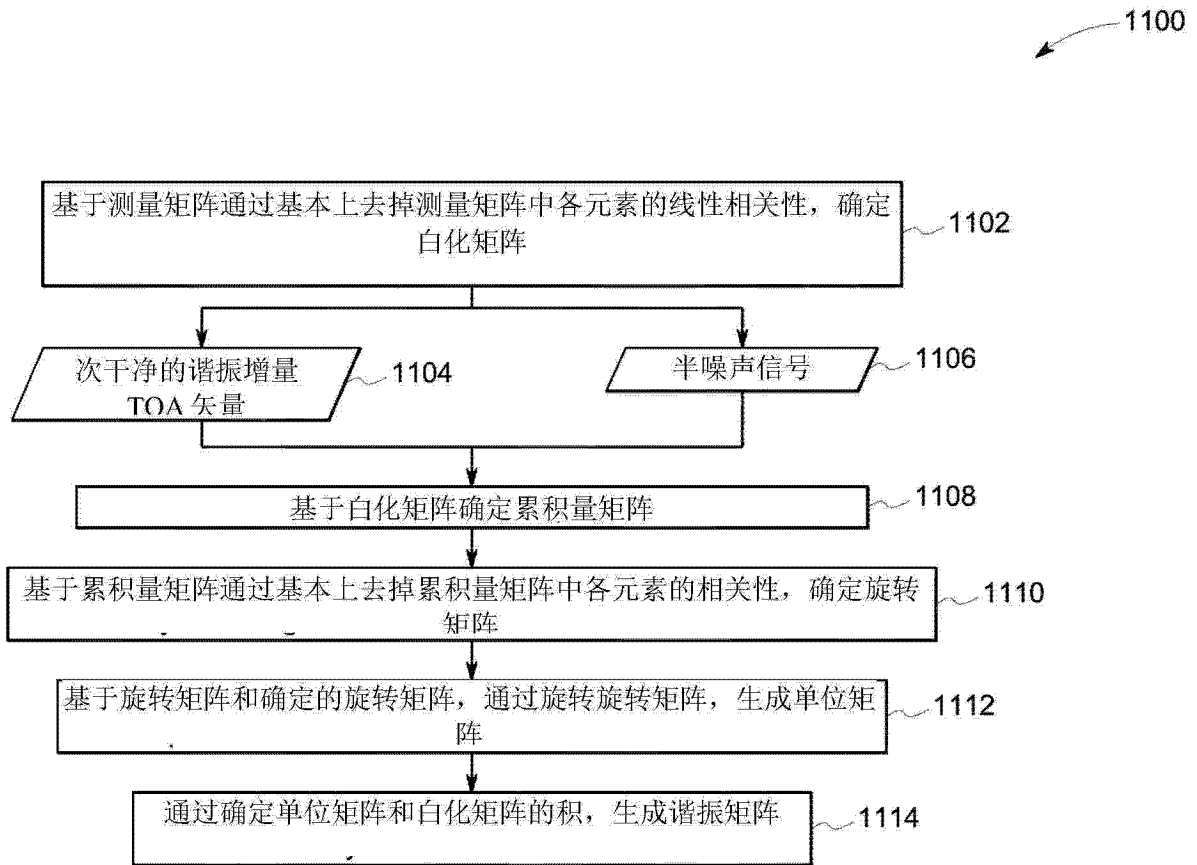


图 11

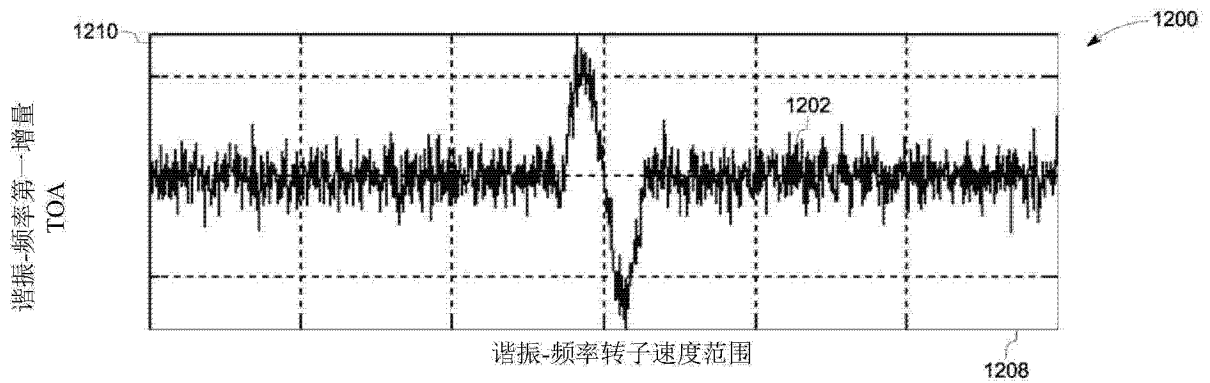


图 12a

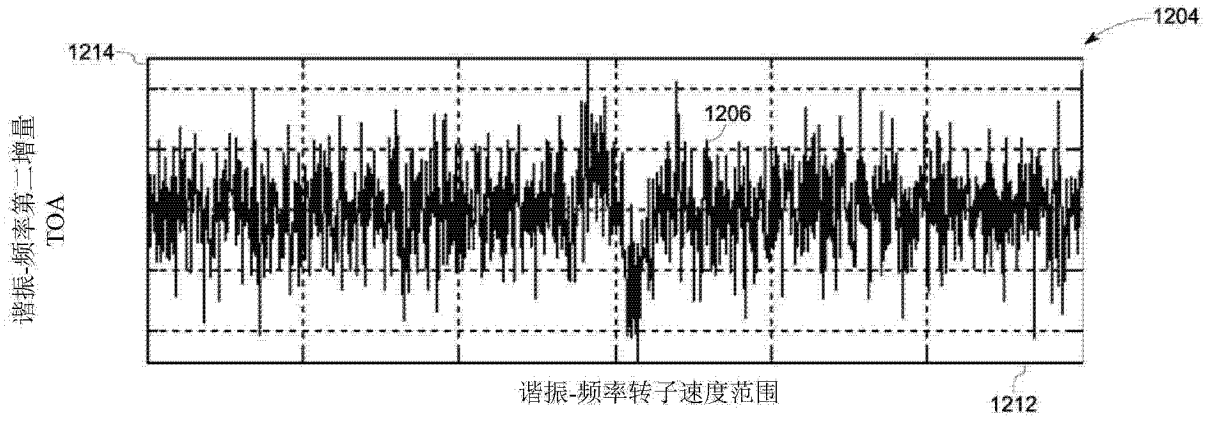


图 12b

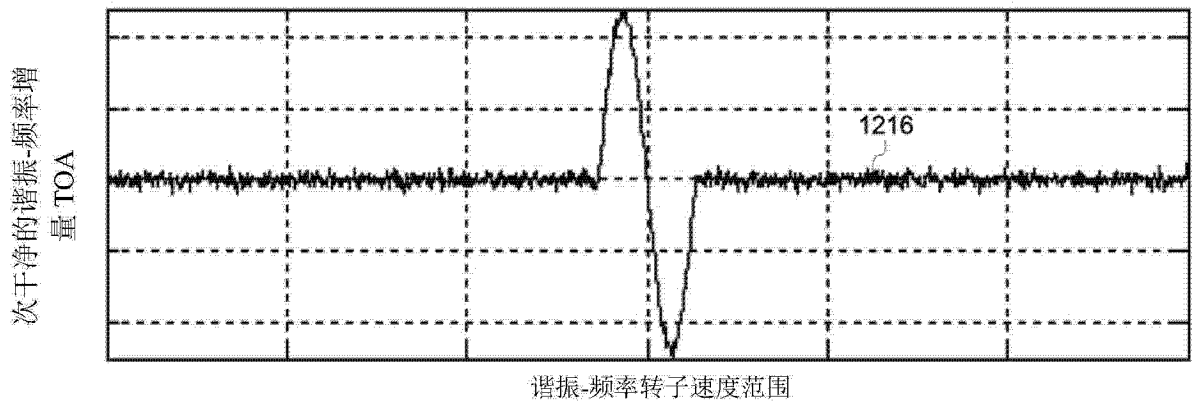


图 12c

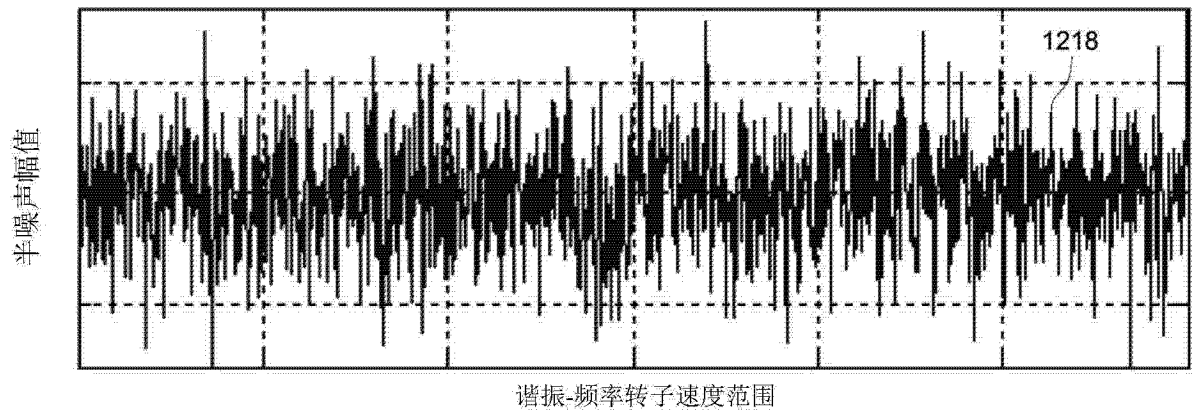


图 12d

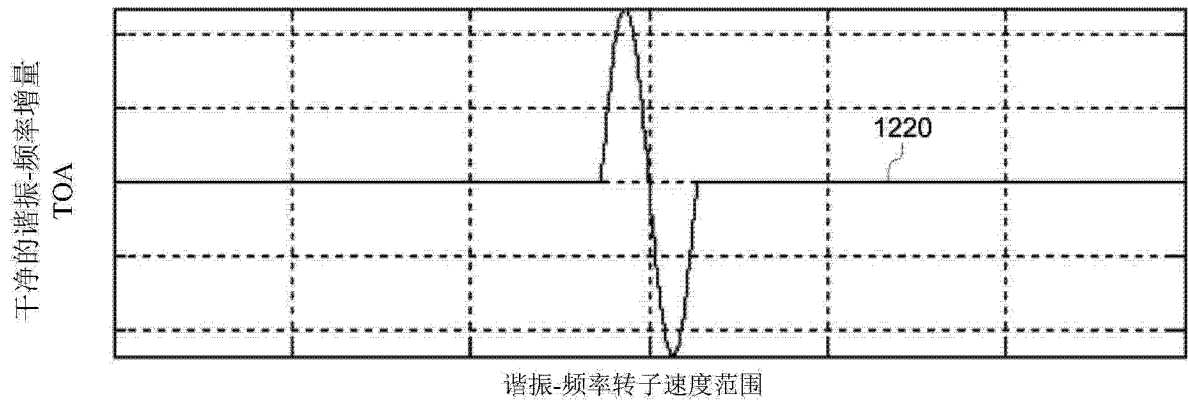


图 12e

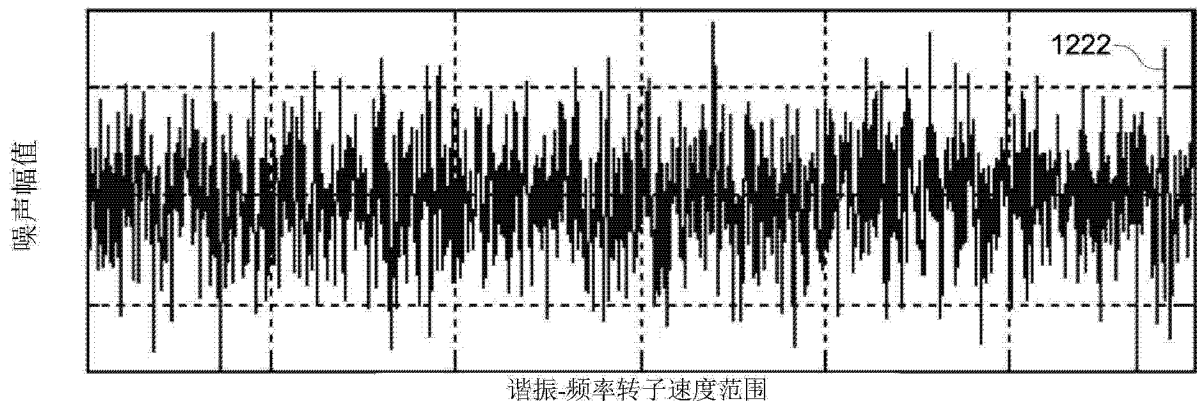


图 12f

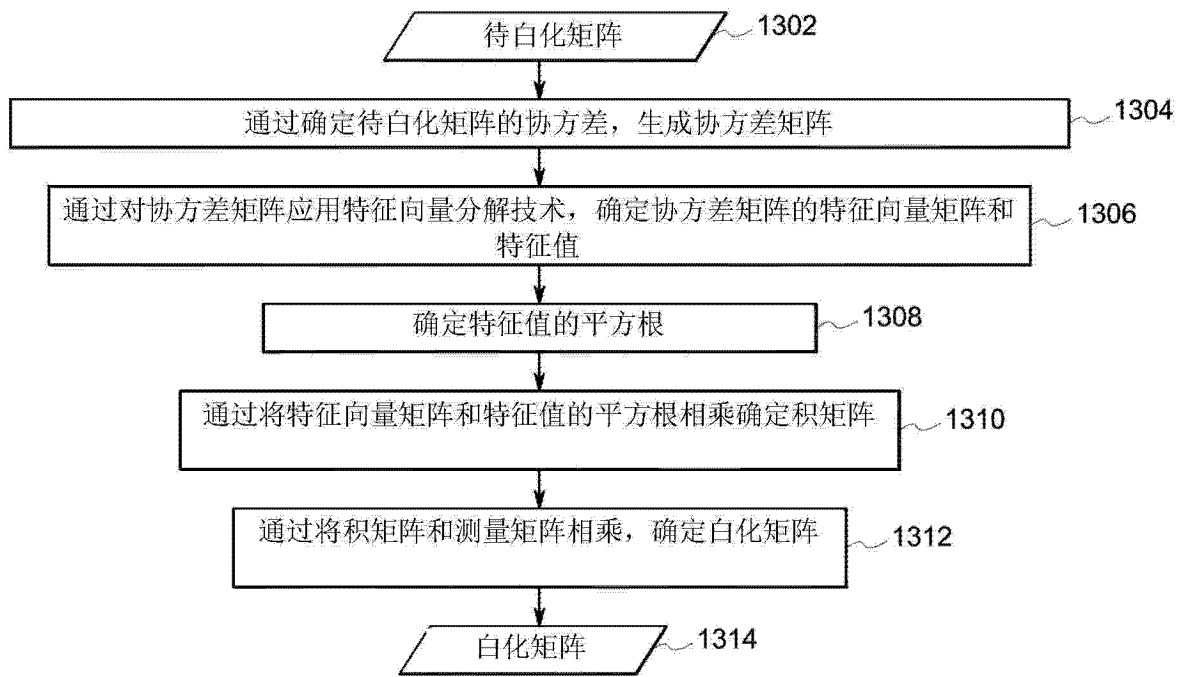


图 13