

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G01M 13/00

G01M 13/02 G01H 1/00

G01H 11/00 G01N 29/00

G04B 23/00



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 96180264.2

[45] 授权公告日 2004 年 2 月 18 日

[11] 授权公告号 CN 1138975C

[22] 申请日 1996.12.5 [21] 申请号 96180264.2

[30] 优先权

[32] 1996. 2. 23 [33] US [31] 08/606,431

[86] 国际申请 PCT/US96/19465 1996.12.5

[87] 国际公布 WO97/31253 英 1997.8.28

[85] 进入国家阶段日期 1998.10.22

[71] 专利权人 监控技术有限公司

地址 美国弗吉尼亚州

[72] 发明人 沃尔特·C·赫尔南得茨

审查员 丁惠玲

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

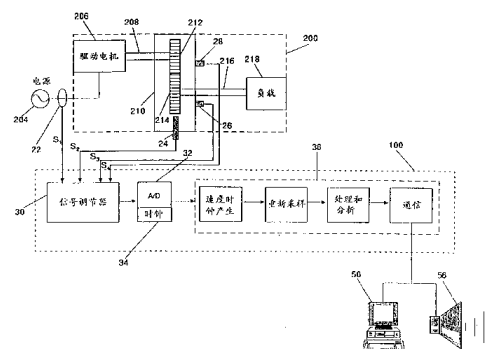
代理人 李 湘

权利要求书 4 页 说明书 9 页 附图 10 页

[54] 发明名称 捕捉和分析含准周期信号分量的机器信号的方法和装置

[57] 摘要

一种处理来自机器(200)的准周期信号的方法和装置(100)。称为速度时钟(36)的动态非均匀信号控制了信号的处理。这种处理放置了泄漏混叠信号和交叉的频率分辨率。被现有采样方法破坏的相位信息得以保存。本发明还可以去除大量的屏蔽信号而不改变信号。通过放置混叠信号,保存相位信息并去除无用的信号分量,本发明在信号处理上获得了巨大的改进。



1. 一种捕捉和分析包含至少一个准周期信号分量的旋转机器信号的方法，其特征在于包括以下步骤：

a) 在所述机器上放置至少一个传感器(22、24、26、28)，所述传感器是从由编码器、振动传感器和温度传感器组成的一组传感器中选择出来的；

b) 从所述至少一个传感器(22、24、26、28)中获取初始机器信号数据；

c) 调节(30)所述初始机器信号以去除混叠分量并产生调节的信号数据；

d) 数字化(32)所述调节信号数据以产生均匀采样的数据；

e) 处理(36)所述均匀的采样数据以产生修正的机器信号数据，所述机器信号数据具有正比于所述准周期信号分量频率的非均匀采样速率，其变化率小于截止值；以及

f) 分析(36)所述修正机器信号数据以确定机器的操作条件和性能。

2. 如权利要求1所述的方法，其特征在于所述处理(36)的步骤进一步包括：

g) 从所述数字化信号中得出第二信号，其中所述第二信号具有随时间变化的准周期频率分量；

h) 从所述第二信号提取频率变化小于所述截止值的分立时间点阵列；

i) 通过在大于或等于所述数字化信号数据的最大频率分量的两倍的取样频率下，对所述分立时间点进行取样，从所述分立时间点阵列中产生速度时钟阵列；以及

j) 在所述速度阵列的控制下重复采样所述数字化信号数据以产生所述修正的机器信号数据。

3. 如权利要求2所述的方法，其特征在于至少一个传感器(22、24、26、28)包括至少一个转轴编码器(24)。

4. 如权利要求3所述的方法，其特征在于所述第二信号从所述至少一个转轴编码器(24)得出所述转轴编码器(24)每转的多个脉冲。

5. 如权利要求4所述的方法，其特征在于所述提取步骤进一步包括以下步骤：

k) 当所述第二信号为零振幅时确定零交叉点；以及

l) 低通滤波所述零交叉点以产生所述修正的分立时间点。

6. 如权利要求5所述的方法，其特征在于所述生成步骤进一步包括以下步骤：

- m) 将多个滤波时间点插入所述修正分立时间点以产生滤波时间点组；以及
- n) 有选择地去除所述滤波时间点组的子组以产生所述速度时钟阵列。

7. 如权利要求 6 所述的方法，其特征在于所述重复采样步骤进一步包括以下步骤：

o) 内插所述数字化信号数据以产生与所述速度时钟阵列对应的重复采样数据。

8. 如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，所述内插采用 $\sin(x)/x$ 内插。

9. 如权利要求 8 所述的方法，其特征在于所述内插进一步包括以下步骤：

p) 完成数学旋转运算以从所述修正的分立时间点中去除线性增量从而使所述修正分立时间点的平均值为零；

q) 在每对所述修正分立时间点之间的非整数指数位置进入时间零值的整数以产生第二组零交叉点和所述修正的分立时间点；

r) 低通滤波所述第二组零交叉点以产生所述滤波时间点组；以及

s) 将对应所述线性增量的时间量加入所述滤波时间点的每个单元。

10. 如权利要求 9 所述的方法，其特征在于所述重复采样数据构成与特定频率对应的固定长度的数据记录。

11. 如权利要求 10 所述的方法，其特征在于所述特定频率从所述重复采样数据中去除以产生修正的重复采样数据。

12. 如权利要求 11 所述的方法，其特征在于进一步包括以下步骤：

t) 在所述分析步骤之前重复步骤 (g), (h), (i) 和 (j) 以产生进一步修正的机器信号数据。

13. 如权利要求 12 所述的方法，其特征在于所述特定频率是所述机器内特定转轴转动频率的整数倍。

14. 如权利要求 13 所述的方法，其特征在于所述重复采样数据构成与特定频率对应的固定长度的数据记录。

15. 如权利要求 14 所述的方法，其特征在于所述特定周期与所述机器的摆动齿周期对应。

16. 如权利要求 15 所述的方法，其特征在于，进一步包括以下步骤：

u) 利用非均匀间距的时间间隔的时钟阵列重复采样所述重复采样数据，其中所述非均匀间距补偿了频率效应。

17. 如权利要求 16 所述的方法，其特征在于进一步包括以下步骤：

v) 平均化相继的数据记录以产生同步平均的结果；以及

w) 对所述数据记录完成傅立叶变换以提供频域结果。

18. 如权利要求 5 所述的方法，其特征在于所述提取步骤进一步包括以下步骤：

x) 利用锁相环路处理得出所述分立时间点的阵列，其中作为低通滤波器的锁相环路具有所述截止频率并且所述锁相环路的所述零交叉点定义了所述修正的分立点。

19. 如权利要求 6 所述的方法，其特征在于所述速度时钟阵列具有与机器部件每次旋转对应的整数个单元。

20. 如权利要求 19 所述的方法，其特征在于所述整数等于 2 的整数幂。

21. 如权利要求 14 所述的方法，其特征在于所述去除步骤进一步包含以下步骤：

y) 形成与所述特定周期整数倍对应的所述修正重复采样数据的时间延迟组；以及

z) 将所述修正重复采样数据从所述延迟修正重复采样数据中减去。

22. 如权利要求 21 所述的方法，其特征在于进一步包括将所述结果传送给操作者的步骤：

23. 一种从机器(200)中捕捉和分析信号的装置(100)，其特征在于包括：

放置在机器(200)周围以检测机器信号数据的传感器(22、24、26、28)，所述传感器是从由编码器、振动传感器和温度传感器组成的一组传感器中选择出来的；

调节装置(30)，用来去除所述机器信号数据中的混叠分量；

模拟-数字转换装置(32)，用来将所述调节信号数据数字化为数字化信号数据；

处理装置(36)，用来处理所述数字化信号数据以产生修正的机器信号数据，所述机器信号数据包含正比于所述初始机器信号数据频率的频率采样速率，其中所述采样速率差异小于截止频率；以及

分析装置(36)，用来分析所述修正机器信号数据以确定机器的操作条件。

24. 如权利要求 23 所述的装置，其特征在于进一步包括：

得出装置，用来从所述数字化信号中得出第二信号，其中所述第二信号具有随时间变化的准周期频率分量；

提取装置，用来从所述第二信号提取频率变化小于所述截止值的分立时间点阵列；

产生装置，通过在大于或等于所述数字化信号数据的最大频率分量的两倍的取样频率下，对所述分立时间点进行取样，从所述分立时间点阵列中产生速度时钟阵列；以及

重复采样装置，用来利用所述速度时钟阵列重复采样所述数字化信号数据以产生所述修正的机器信号数据。

捕捉和分析含准周期信号分量的机器信号的方法和装置

发明领域

本发明涉及监视运行过程中机器的状态和性能的数字信号处理方法和装置。

背景技术

振动监视被广泛用来确定运行过程中机器的状态并且向维护计划决策提供信息。由于处理周期信号用的快速傅立叶变换(FFT)的发展,对于机械振动作频谱分析的工作不断普及。许多复杂的系统(例如直升机驱动齿轮系)会产生复杂的高能振动信号。在这种情况下,即使当传感器紧靠监视部件放置,基于傅立叶的分析也只能得到有限的成功。复杂机械中所设置传感器的振动分析的复杂性和难度引出了本发明。

转让给本发明受让人的美国专利 No. 4, 931, 949 揭示了为监视旋转齿轮而对振动信号所作的时域处理。特别是通过在通过传感器的旋转齿轮间隔内作线性内插形成高精度时钟来控制加速计信号的采样。由于本发明在保存有用调制信号的同时避免将高频杂散信号成份引入分析中,所以对该方法作出了改进。

美国专利 No. 4, 448, 240 揭示了与美国专利 No. 9, 931, 949 相似的测速计信号线性内插方法。该方法对来自飞机引擎的加速计信号进行采样从而在一系列速度范围内对振动进行同步平均,由此检测出引擎旋转频率处的不平衡。该方法带来了不希望出现的效应,即在较佳实施例中允许出现混叠现象的同时又消除了信号 FM 边带内对分析有用的相位信息。本发明通过采用称为“速度时钟”的动态非均匀信号克服了这些缺憾。速度时钟在保留所需的 FM 调制信号的同时又避免了在监视频率处出现的问题。

Succi 的参考文献揭示了用于分析直升机齿轮箱振动的频域技术,参见 Succi, George P., “利用内插滤波器的多齿轮轴同步平均”一文,发表于 Proceedings of the 49th Meeting of the Society for Machinery Failure Prevention Technology, Vibration Institute(1995)。该方法破坏了 FM 调制并且更为不利的是要依赖于昂贵而专门的

高速硬件对编码器信号进行采样。附着在转轴上的编码器有每圈检测一次的单个元件。不管采样速率多少，该方法都易于产生与转速调制有关的混叠现象，其中转速调制大于转轴转速的一半。显然，本发明提供了一种出色的解决方案，它采用普通而便宜的采样硬件就避免了混叠现象并且保留了 FM 调制。

转让给本发明受让人的美国专利申请 No.08/045,604 揭示了产生诊断滚动轴承内缺陷用的相关振动谱的频域方法。该方法利用未处理的编码器信号来控制加速计信号的初始采样但是不对编码器信号进行处理。通过谱域内的进一步处理，在轴承元件之间建立起了振动谱的相关性。由于时域处理技术形成了增强的编码器信号，所以本发明有所不同。随后，该增强信号被用来以防止在处理结果中出现现象的方式对机械信号作重复采样。

转让给本发明受让人的美国专利申请 No.08/290,375 利用速度时钟来处理测速计信号以检测涡轮机转子中的扭转共振。扭转共振中的频率变化被用来检测构成转子的刚性转轴、圆盘和叶片的机械变化。该方法只处理编码器信号，不对振动或其它信号进行处理。它也无法检测非转子部件(例如齿轮和轴承)的变化。它还无法对各种速度下运转的部件(例如在复杂的齿轮箱中)作无错误处理。本发明在处理各种转速下复杂机械中非转子部件的其它传感器信号和检测变化方面与上述工作明显不同。

发明内容

简而言之，本发明包括处理机械信号的方法和装置，它改进了对运行过程中机器的状态和性能的监视。它去除了主要的屏蔽信号分量并且防止出现可能屏蔽或出错的虚假信号对重要的诊断信号分量产生影响。虚假信号指的是由信号获取和处理过程中引入的干扰信号。通过在防止出现虚假信号的同时保存重要的相位信息，本发明所提供的结果在动态范围和频率分辨率上是发明人所知其它技术达不到的。

泄漏是 FFT 处理中的一种数学上的虚假信号，其谱能量出现在没有实际信号的频率处。泄漏以远离谱中峰值的边缘斜坡的形式出现并且直到现在它还限制着保留诊断上重要的相位信息或者 FM 信号分量的所有处理技术的动态范围。RPM 拖尾是频率峰值的扩展，它是由无法补偿所有运行中机器的非稳定转速的处理引起的。

在较佳实施例中，本发明处理的是来自测速计或编码器的准周期信号。该处理引出被称为“速度时钟”的动态非均匀信号来控制各种机器信号的处理。这里准周期指的是包含一个或多个在相邻周期内无明显变化但是在较长时间周期会发生变化的频率分量的信号。

在形成速度时钟的过程中，本发明在编码器信号振幅为零时(零交叉时刻)进行处理以产生称为重复采样时刻的新系列时刻，它们构成速度时钟。零交叉时刻一般被认为发生于整数指数位，例如一、二、三等。然而，作为对某些信号分量所作的无虚假信号处理的基础，速度时钟一般在非整数指数位(例如指数 $2/7$ 、 $4/3$)包含重复采样时刻。

速度时钟控制下的处理有选择地去除了对分析无用的主要信号分量而无需改变信号，这类信号例如包括转轴转动速度的谐波等。速度时钟根据待去除的主要信号分量形成。用该速度时钟处理防止了该分量及其谐波的泄漏和RPM拖尾。由于没有泄漏和RPM拖尾，所以可以去除这些分量以显露出对诊断有意义的信号，先前这些信号是隐藏着的。选定信号分量的速度时钟处理与去除可以重复一定的次数以去除多重分量并可以用于速度固定或变化的机器。

本发明的信号处理改进极大提高了准周期机器信号中谱的灵敏度和分辨率，而这又明显改善了对大量难题的检测，例如复杂运行机器中齿轮和轴承发生的断裂、碎裂、蚀坑、剥落、摩擦、磨损和轰鸣等现象，否则这些都无法监视。

借助附图可以对上述装置和方法有清楚的理解。

附图的简要说明

图1示出了按照较佳实施例的获取和分析来自旋转机器的信号的本发明。

图2示出了编码器信号机器零交叉(ZC)时刻值。

图3示出了用于接近恒速的机器的编码器信号谱成份。

图4示出了产生速度时钟的处理步骤。

图5a示出了时域内低通滤波器系数的相对大小。

图5b示出了频域内低通滤波器的成份。

图6a示出了低通滤波器产生的修正时刻，该滤波器对来自均匀旋转的机器的编码器信号进行滤波。

图6b示出了低通滤波器产生的修正时刻，该滤波器对来自非均匀旋转的机

器的编码器信号进行滤波。

图 7a 示出了速度时钟重复采样时刻的设定，速度时钟由时钟增加和十进制步骤形成。

图 7b 示出了通过三重抽取对重复采样时间密度的进一步修正，它去除了每 4 个时刻增加组中的 3 个。

图 8a-8d 示出了包含时钟增加的单个数学步骤。

图 9 示出了通过内插重复采样的步骤。

图 10 示出了两个咬合齿轮追逐齿的处理结果。

实施发明的较佳方式

在下面的描述中，各附图中相同的部件的用相同的标号表示。

本发明是一种处理来自机器 200 的准周期信道的方法和装置 100，它防止了虚假信号的产生并且去除了不需要的信号而不改变信号。产生的速度时钟由重复采样时刻构成并且用来通过内插控制信号的重复采样。重复采样明显改善了随后用各种周期技术(例如来自声学、电信和相关领域的技术)处理的信号。在制备随后处理的信号中，本发明极大地提高了最终分析结果的灵敏度和分辨率。本发明在某些利用数字信号处理技术(通常用于作为时间函数的物理信号)步骤中将时间处理为从属变量。

图 1 示出了监视旋转机器 200 的本发明 100，该机器包含向驱动齿轮箱 210 输入转轴 208 的电机 206 供电的电源 204，它包含至少两个称为输入齿轮 212 和输出齿轮 214 的咬合齿轮以及驱动负载 218 的输出轴 216。

利用合适的装置(例如霍尔效应或其它电学传感器 22、转轴编码器 24、振动传感器 26 和温度传感器 28)从机器 200 获取信号。编码器传感器 24 可以是转动齿轮 214 上轮齿的磁性检测器或者其它传感器，它提供每次转动的周期或脉冲信号。除了具有合适带宽和灵敏度的压力或声学传感器以外，振动传感器 26 包括普通型传感器。温度传感器 28 可以包含非接触传感的光学装置。

图 1 用 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 表示的传感器信号被放大并且借助模拟信号调整装置 30(例如商用的信号调整 PC 板)对虚假信号滤波和放大。调整的信号随后被送至商用模拟-数字(A/D)转换器 32。A/D 转换器 32 以计算机时钟 34 确定的采样速度对调整的信号进行采样。

A/D 转换器 32 的采样产生代表各传感器信号的数字信号。数字信号被送至商用数字信号处理器(DSP)36 板,它暂时存储数字信号部分,产生下述速度时钟,重复采样暂时存储的数字信号,并处理和分析重复采样的信号。

速度时钟频率位于选定的传感器信号准周期频率分量附近。在较佳实施例中,该频率分量为编码器信号的载波频率(“编码器载波”)。一旦形成,速度时钟就被用来控制来自机器 200 的数字信号的重复采样和处理。重复采样的数字信号被称为速度时钟数据。

图 2 示出了带通滤波之后编码器信号的模拟轨迹。编码器信号每个周期内有两次振幅为零。这些被称为零交叉时刻(ZC)的时刻主要由编码器载波频率确定。因此编码器信号从肉眼上看是一个简单的正弦波。但是它的谱成份一般是相当复杂的。

图 3 示出了一台机器的编码器信号谱,该机器包括分别带有 5 个和 7 个齿轮的输入齿轮 212 和输出齿轮 214。齿轮咬合将输入转轴 208 与输出转轴 216 的转动耦合起来。咬合齿轮的轮齿比确定了输入转轴 208 与输出转轴 216 之间的旋转比。如果输入转轴 208 的旋转速度为 10Hz,则输出转轴 216 的旋转速度为 50/7。编码器信号的载波频率(“编码器载波”)为 50Hz,该速度为输出齿轮 214 上的齿轮通过编码器传感器 24 的速度。编码器载波经过相对编码器载波频率而言截止频率为 f_c 和 f_c 的数字化滤波。

所示编码器谱的其它分量为输入转轴 208 与输出转轴 216 转速谐波处的 FM 和 AM 效应。这些分量主要因为所检测输出齿轮 214 中的不完整或者输入转轴 208 与输出转轴 216 每圈一次效应产生。60Hz 处的谱分量包括电学噪声和输入转轴 208 的 10Hz 转速的第一阶谐波。这种情况下的速度时钟在 50Hz 的编码器载波(“时钟频率”)附近形成。

图 4 示出速度时钟形成的步骤。在步骤 1 中,数字编码器信号经带通滤波,其带通中心在时钟频率附近。通带宽一般小于时钟频率。由数字化滤波的标准方式完成的该步骤将编码器载波的谐波及其边带与其它信号分量隔离开来。

在步骤 2 中,内插带通滤波信号以确定其零交叉时刻。由于零交叉时刻代表了每个周期的 2 次采样,所以 2 次/周期的零交叉时刻建立起等于编码器载波频率的 Nyquist 频率。因此,通过仅仅处理零交叉时刻形成的速度时钟的频率成份等同于更密的采样信号。仅仅处理零交叉时刻明显减少了计算需求量。

在步骤 3 中, 零交叉时刻在一般为 0.1-10Hz 之间的截止频率处低通滤波, 确定滤波的零交叉时刻间距的频率分量得以保留。在基于滤波零交叉时刻的时刻处重复采样数字信号产生的重复采样信号保留了除滤波零交叉时刻以外的较高频率。这种重复采样信号谱保留了诊断信号分量和相位信息, 对于低频分量没有屏蔽效应。

图 5 示出了用于低通滤波零交叉时刻的有限冲量响应滤波器, (5a)为时域形式而(5b)为频域形式。该滤波器具有较低的脉动通带、陡峭的滚降和小于 100dB 的停止带。低通滤波零交叉时刻的结果称为修正时刻。

图 6a-6b 示出了用于机器 200 均匀(周期)旋转(图 6a)和缓慢变化(准周期)旋转(图 6b)的修正时刻间距。在均匀旋转下, 编码器载波是周期性的并且修正时刻是等间距的, 与零交叉时刻一致。对于非均匀旋转, 修正时刻的间距是不均匀的。

在步骤 4 中, 修正时刻的密度由称为“时钟增加和抽取”的处理调节以产生构成重复采样次数的速度时钟, 该次数满足所关心频率的 Nyquist 判据并且提供每个所关心周期内重复采样次数的整数, 大多数情况下为编码器转动周期。这种速度时钟控制下的重复采样防止了转速谐波附近的泄漏而不会破坏其它重要的边带信息。该结果保留了重要的诊断频率分量, 极大地提高了所有后面分析步骤中的精度、灵敏度和分辨率。

在步骤 4 中, 同适当地增加或减少时钟, 重复采样可以与任何具有与编码器转动周期固定关系的机器周期同步。为了处理转速为编码器 3/4 转速的第二机器分量的信号, 调节速度时钟以使重复采样次数为基于编码器的时钟的 3/4。这导致二次分量的每次转动的重复采样次数是整数倍, 防止了转速谐波附近的泄漏和拖尾。

图 7a-7b 示出了在形成非均匀旋转机器的速度时钟过程中的时钟增加和减少步骤。在图 7a 中, 四倍因子的时钟增加产生与编码器每圈内重复采样次数的四倍。在图 7b 中, 重复采样次数的时间密度由三分之一减少进一步修正, 去除了每 4 个增加次数组中的 3 个。本实例中的时钟增加和减少被用来产生大于编码器旋转每圈内重复采样次数的 1/3。通过利用这种间距的速度时钟, 重复采样产生了速度时钟的数据但在编码器转速的 3/4 处机器分量转速谐波附近没有泄漏的虚假信号。这种对不同速度的速度时钟调整即使在编码器信号对于较低的转动分量不存在情况下也有信号。这种速度时钟可以例如用来去除与直升机齿轮箱内缩减

齿轮深度有关的泄漏。

图 8a-8d 示出了通过防止累积误差改进速度时钟精度的多步骤时钟增加装置。虽然任何时钟可以具有恒定的精度，但是系统误差将随着时间而积累。例如，一时钟慢 86400 分之一则每天慢一秒并且一年慢 6 分钟以上。图 8a-8d 中的步骤被用来消除速度时钟的这种累积误差。这些动作是涉及图形时间函数的数学步骤，沿着坐标(Y 方向轴)为修正的时间大小并且沿着横坐标(X 方向轴)为指数或位置。修正的时间函数首先旋转到横坐标(图 8a)以去除相继值之间时间上增加的线性分量，仅仅保留数值的可变部分。接着，等间距新的零时刻的整数内插于每对旋转修正时刻之间的指数位置上(图 8b)。通过向每个引入合适的变量分量并且形成时刻滤波组(图 8c)旋转修正时间组和内插的新的零时刻随后经低通滤波以调整新的零时刻。随后通过向每个数值加入合适的时间线性增加使时间滤波组转回修正时间的初始方向(图 8d)。这些操作的结果是具有与原始修正时刻相同频率成份但是密度更高而没有累积误差(由标准技术引入)的滤波时刻密度组。接着，合适减少度有选择地去除滤波组的单元并且产生具有所需重复采样时间间距的速度时钟。

修正的时间和时间滤波组满足低通滤波器中所有频率的 Nyquist 判据。因此对于编码器信号 S_2 (其在任何实数指数位置具有实数值)都存在连续的数学函数。构成速度时钟数据的重复采样次数因此在所有情况下都得到了定义。

图 9 示出了下一步骤，它通过内插初始数字信号的暂存数值重复采样。重复采样值在每个构成速度时钟的重复采样处内插。虽然可以采用多项式滤波器或其它形式的滤波器，但是一般采用诸如截断 Shannon 滤波器之类的线性滤波器。滤波器系数比较好的是由最小平方估计器技术确定，这使得将滤波器与数字信号匹配过程中的误差最小。在每个重复采样时刻前后内插器一般采用来自初始数字信号的固定数目的样本。

通常需要去除无泄漏的同步信号分量，它可以利用一系列的装置完成。一种方法是相位滞后减法，其中数据记录被减去相位滞后等于同步周期的数据记录自身。从信号中去除较大分量一般会提高谱的灵敏度并且提取出未检测到的有意义的诊断值分量。

在去除同步分量之后，通过利用合适构造的速度时钟以同步于并去除附加的信号分量，速度时钟数据可以得到进一步处理。例如，对来自齿轮箱的振动数据

的处理可以形成于转速和信号电源频率分量附近并且施加在数字振动信号上。这些速度时钟处理的步骤首先去除转速谐波和随后线频率分量的屏蔽效应。作为净结果的谱在检测信号的灵敏度和分辨率上得到了增强提取。

与同时破坏屏蔽泄漏和相位信息的方法不同，在速度时钟控制下的重复采样防止了转速谐波附近的泄漏而不会破坏重要相位信息。消除泄漏和保留相位信息的组合效应使得本发明在分析复杂振动(例如来自直升机齿轮箱的振动)中特别出众。

设计在各种速度运行的设备的应用中，编码器载波频率可以明显变化并且形成明显的虚假信号。因此采用带通滤波器来形成用于变速应用的速度时钟，即“可变速度时钟”。可变速度时钟跟踪并且有选择地阻尼而不是限制编码器载波频率的变化量。在这种情况下，跟踪带通滤波器在只包括较低的编码器载波频率调制方面类似于静止滤波器。因此，它去除了快速的过渡而是跟踪任意大频率范围内的编码器载波。可变速度时钟控制下的处理可以与其它速度时钟处理步骤一起处理。例如基于电学线频率的时钟可以用于消除在可变速度时钟控制下重复采样前后因为变速电机电学效应引起的谱分量以去除泄漏屏蔽效应和转轴转速谐波的拖尾。

作为诸如共振之类的谱峰伪扩展的拖尾由可变速度时钟的采样速率改变引起。拖尾反映了信号分量中明显的频率变化，这是由于补偿编码器载波频率变化引起的。拖尾正比于重复采样频率的变化，在可变速度应用中最为明显并且一般需要消除。

通过在称为“挂钟”的恒定时钟控制下的附加重复采样防止拖尾虚假信号。挂钟独立于速度时钟内编码器转速中的振动。因此，其控制下的重复采样将去除速度时钟引入的拖尾虚假信号。一旦去除拖尾虚假信号，则可以利用大量的用于周期信号的技术进行处理。挂钟重复采样也可以用来提供恒速设备的高分辨率。

带耦合转动的机器分量通过包含速度时钟处理的摆动齿轮技术进行分析。追摆动齿轮处理依赖于这样的事实，即使大小不同耦合分量具有固定关系的转动周期。该周期是所有耦合分量至少转动一次并且返回其初始角位置所需的时间。带摆动齿轮周期重复采样整数的速度时钟控制下的重复采样防止了所有耦合分量的转速谐波附近的拖尾和泄漏。此外，作为摆动齿轮周期整数倍的数据记录可以平均化以增强相对摆动周期而言的周期信号分量。

图 10 为齿轮箱摆动齿轮每个周期内重复采样整数倍的数据记录平均谱, 齿轮箱 210 具有 39 个齿轮的输入齿轮和 9 个齿轮的输出齿轮 214。摆动齿轮周期是 117 个齿轮咬合所需的时间。如果输出齿轮 214 的旋转周期为 1 秒, 则输入齿轮 212 的转动周期为 $39/9$ 秒并且摆动齿轮周期为 13 秒。附图显示了与每个齿轮相连的分量。

通过合适分割摆动齿轮记录形成的平均子记录将连接 39 个齿轮或 9 个齿轮的信号分量隔离。平均化子记录 $39/117$ 与摆动齿轮记录长度之积将有关 9 个齿轮的信号隔离开来。有关 9 个齿轮中第 8 个齿轮的信号分量具有异常模式, 表明可能存在缺陷。

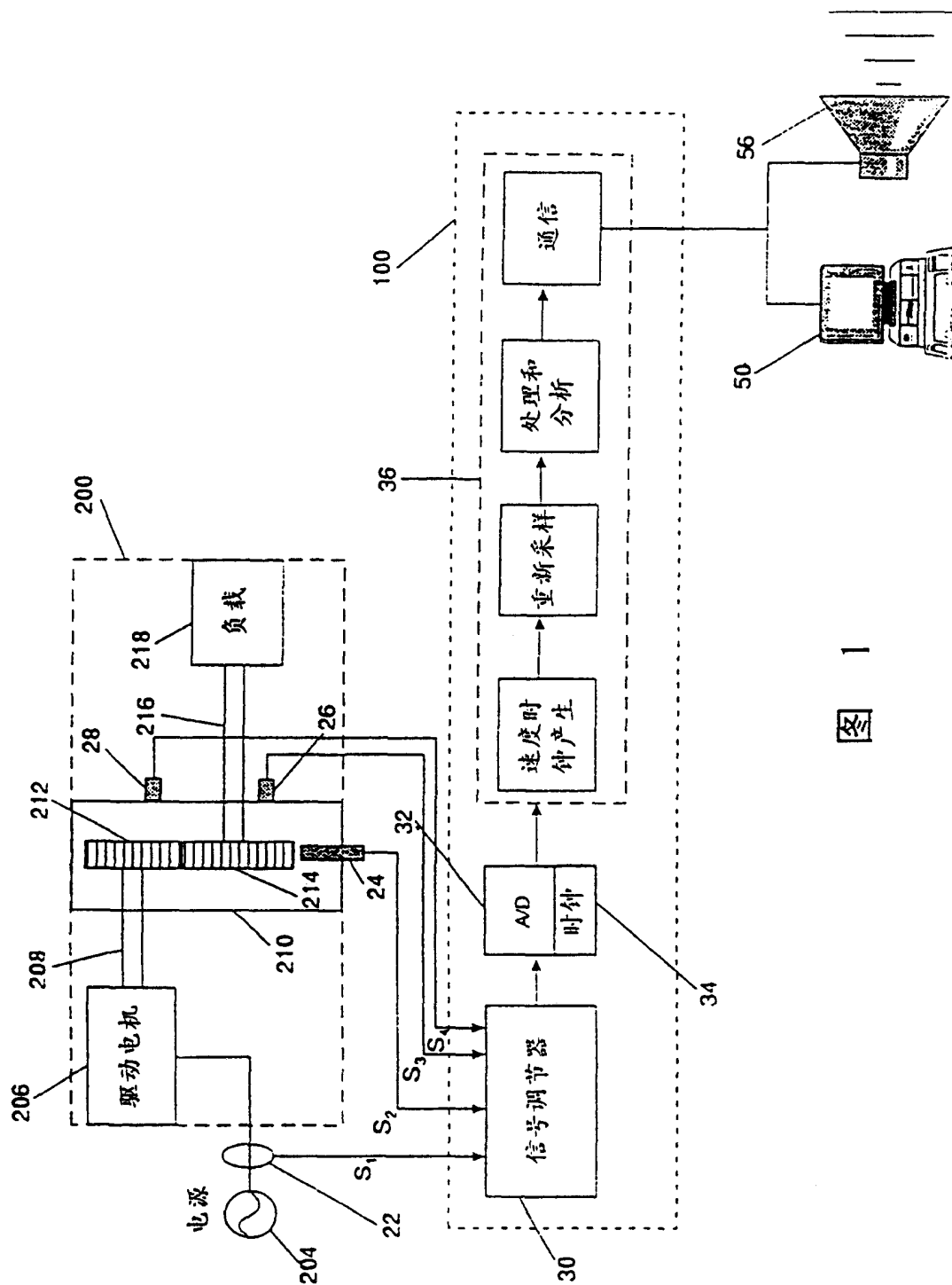
在完成各种速度时钟处理的步骤之后, 借助各种时域和频域方法对速度时钟数据进行处理。在平均化情况下, 数据记录以恒定的重复采样整数倍方式形成。如果处理包括快速傅立叶变换, 则数据记录长度进一步限定为 2^p 次重复采样, 这里 p 为整数。

在频域变换之后, 速度时钟数据可以经过边带代数处理以去除不需要的信号分量, 包括振幅调制(AM)噪声。为此, 数字信号经过带通滤波以形成带通信号, 带宽延伸超过载波和有关边带的两个谐波。带通信号被用来形成数字子信号, 每个子信号由一个载波谐波及其边带组成。下边带和子信号上边带的复共轭被相加以形成组合的下边带。对上边带和其它子信号下边带的复共轭作同样的处理以形成组合的上边带。组合的上和下边带随后相乘以产生无幅度调制的信号而不改变信号。

采样、重复采样或者信号处理的速度时钟控制可以在本发明的装置 100、外部装置 50(速度时钟信号输出之后)或者利用来自外部装置 50 的速度时钟输出在内部进行, 速度时钟的外部应用包括诊断发生器故障、控制变速电机和处理来自复杂耦合装置(例如多驱动轴车辆中的齿轮箱)的振动。

总之, 本发明具有许多优点。首先, 它防止了信号分量(例如转轴转速谐波的)附近的谱泄漏。它还应用于以不同速度转动的分量谐波和其它信号, 例如去除了振动信号中的电学效应。其次, 它防止了提供极高频率分辨率的 RPM 拖尾。第三, 它完成了变速和恒速机器的这些目标。第四, 它完成了其目标并且同时保留了重要诊断信息而不会引入分析膺象信号。

虽然借助较佳实施例对本发明作了描述, 但是本发明的范围和精神由后面所附权利要求限定。



一
[天]

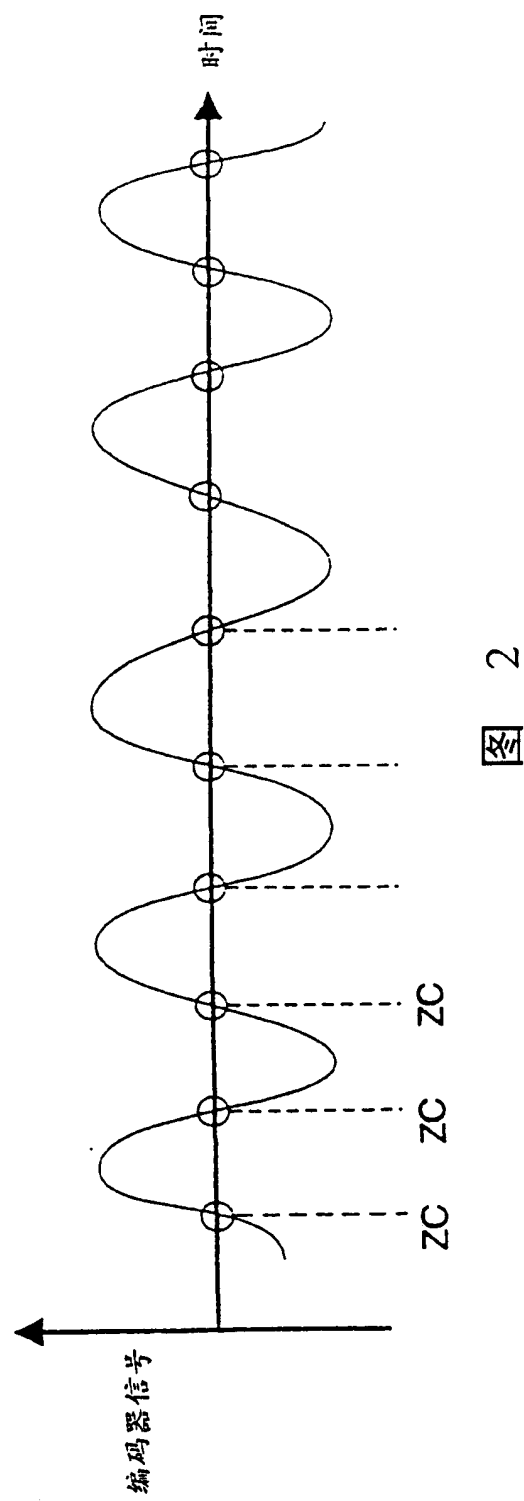


图 2

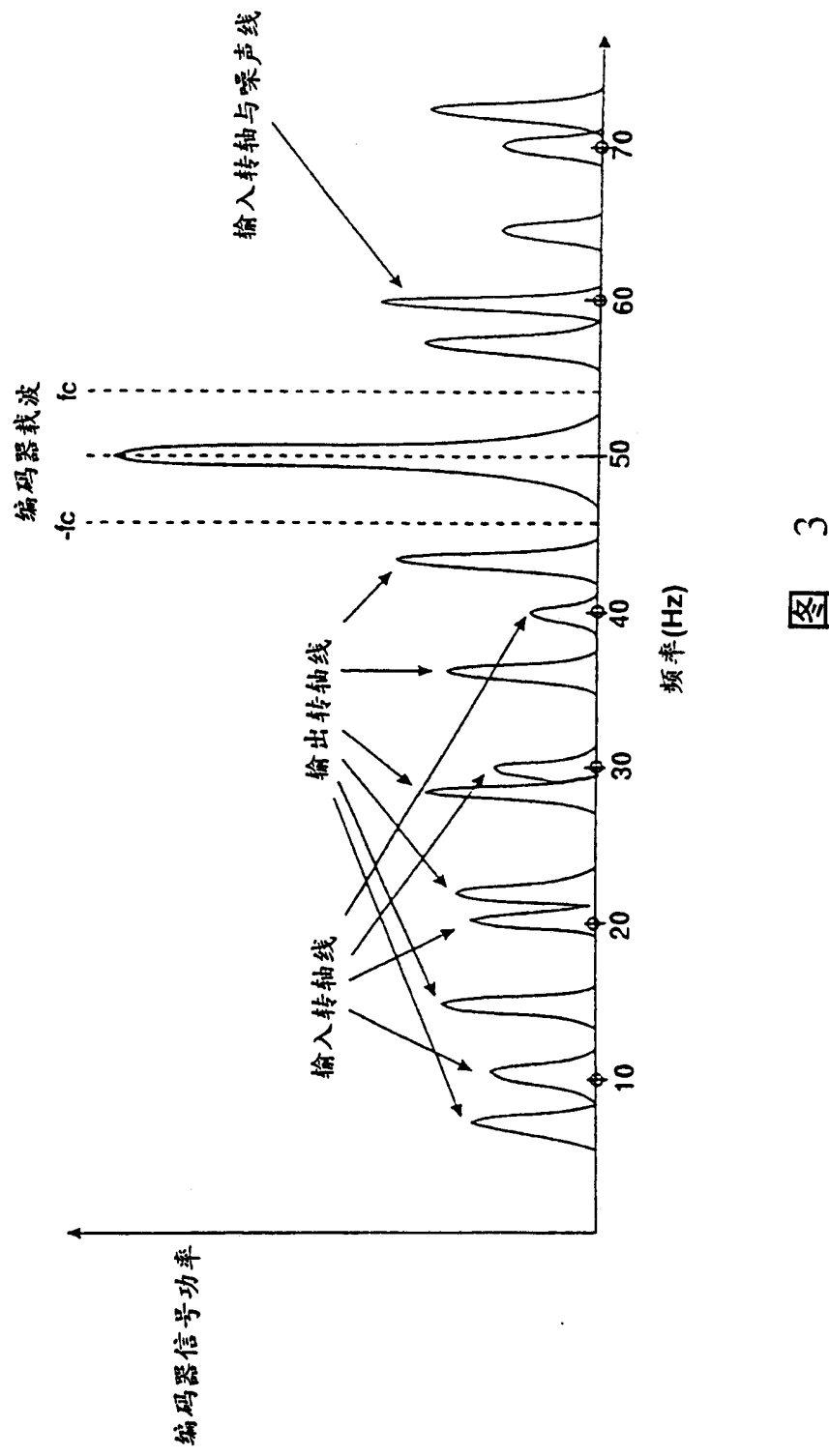


图 3

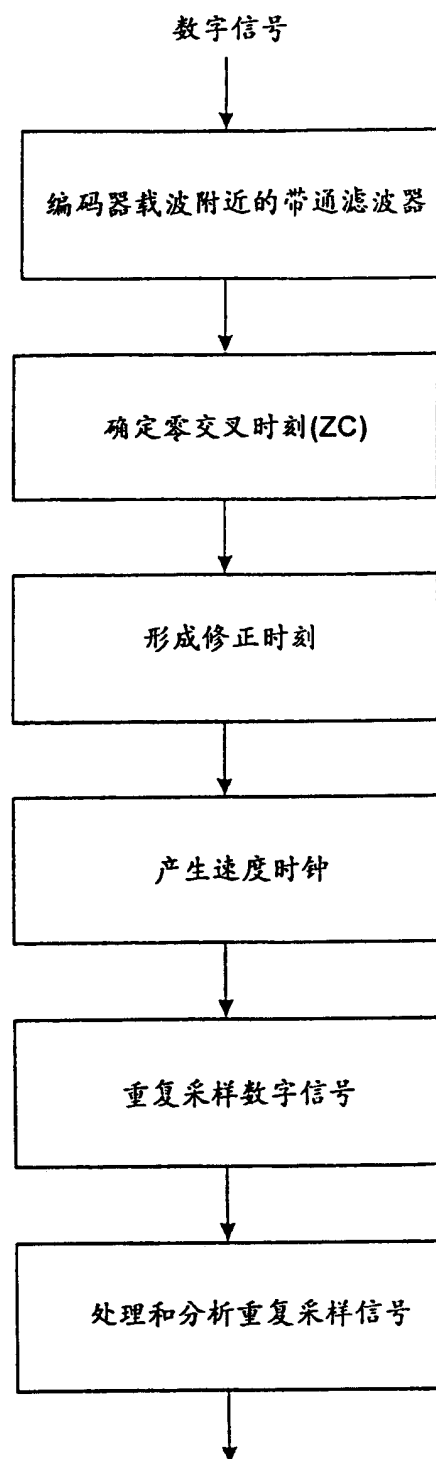


图 4

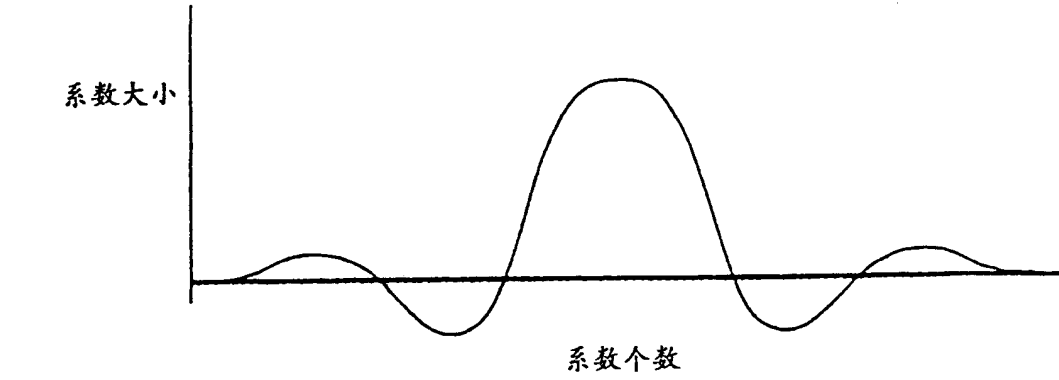


图 5a

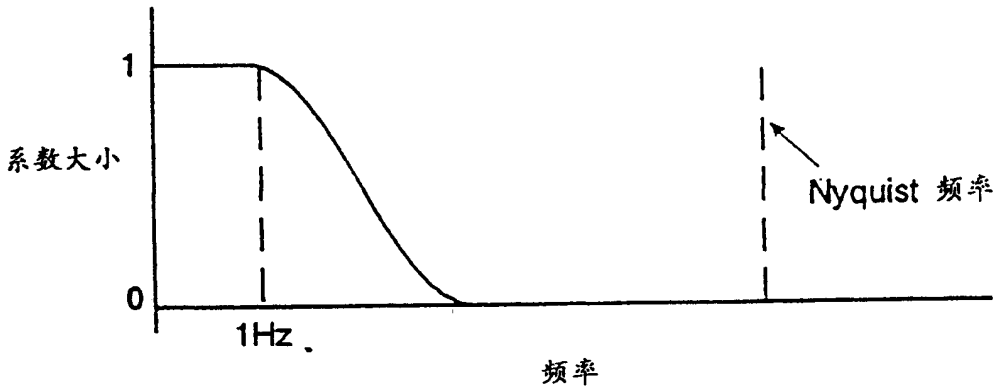


图 5b

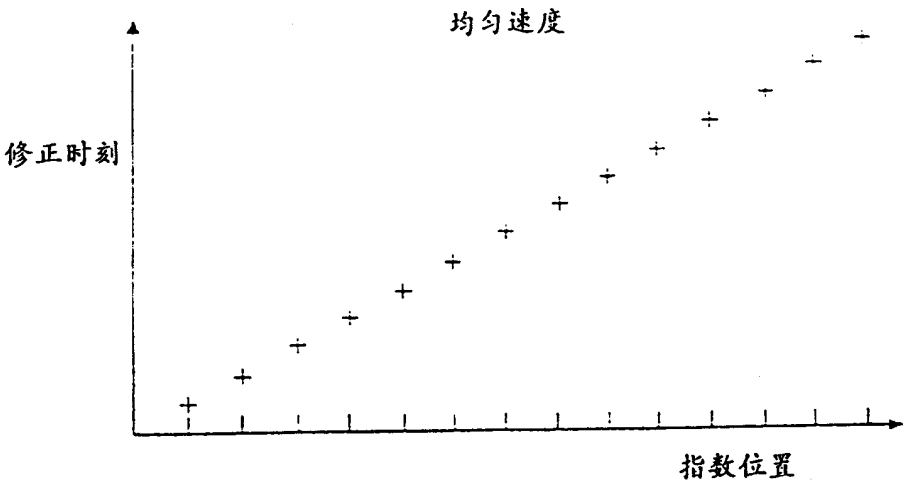


图 6a

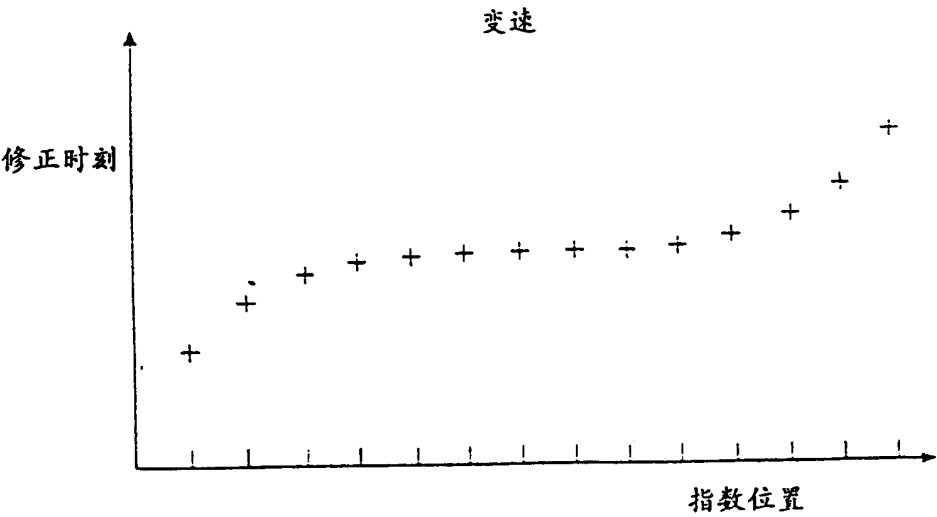


图 6b

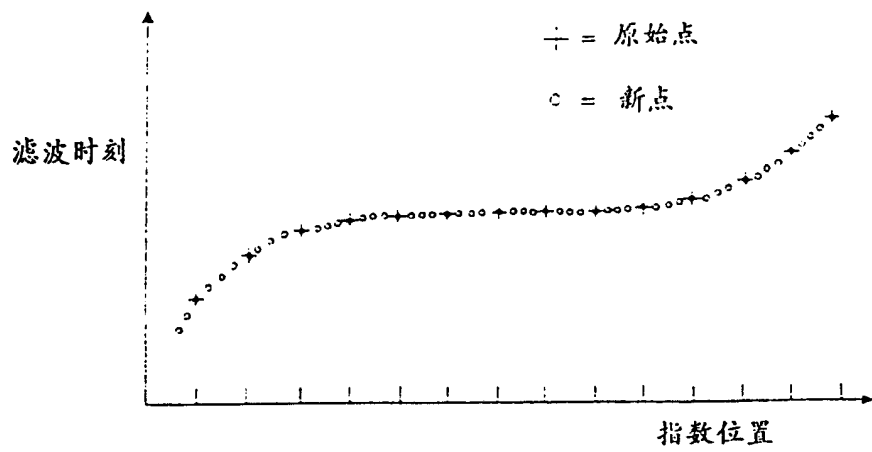


图 7a

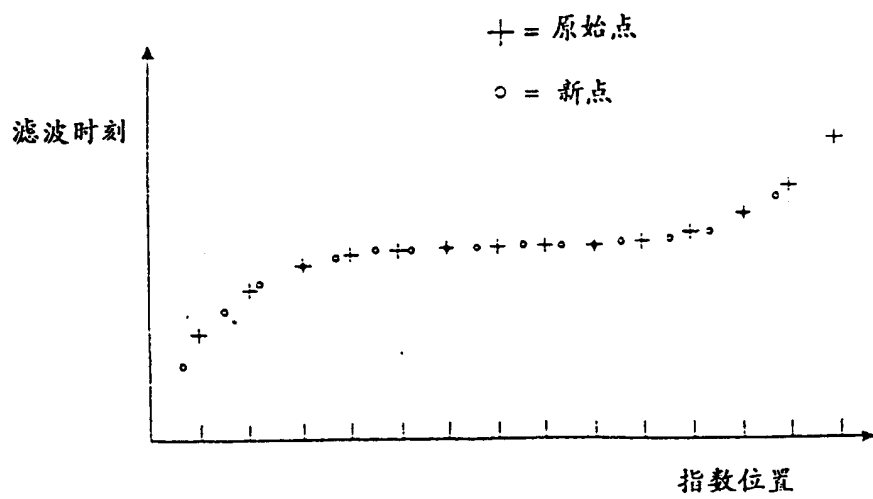


图 7b

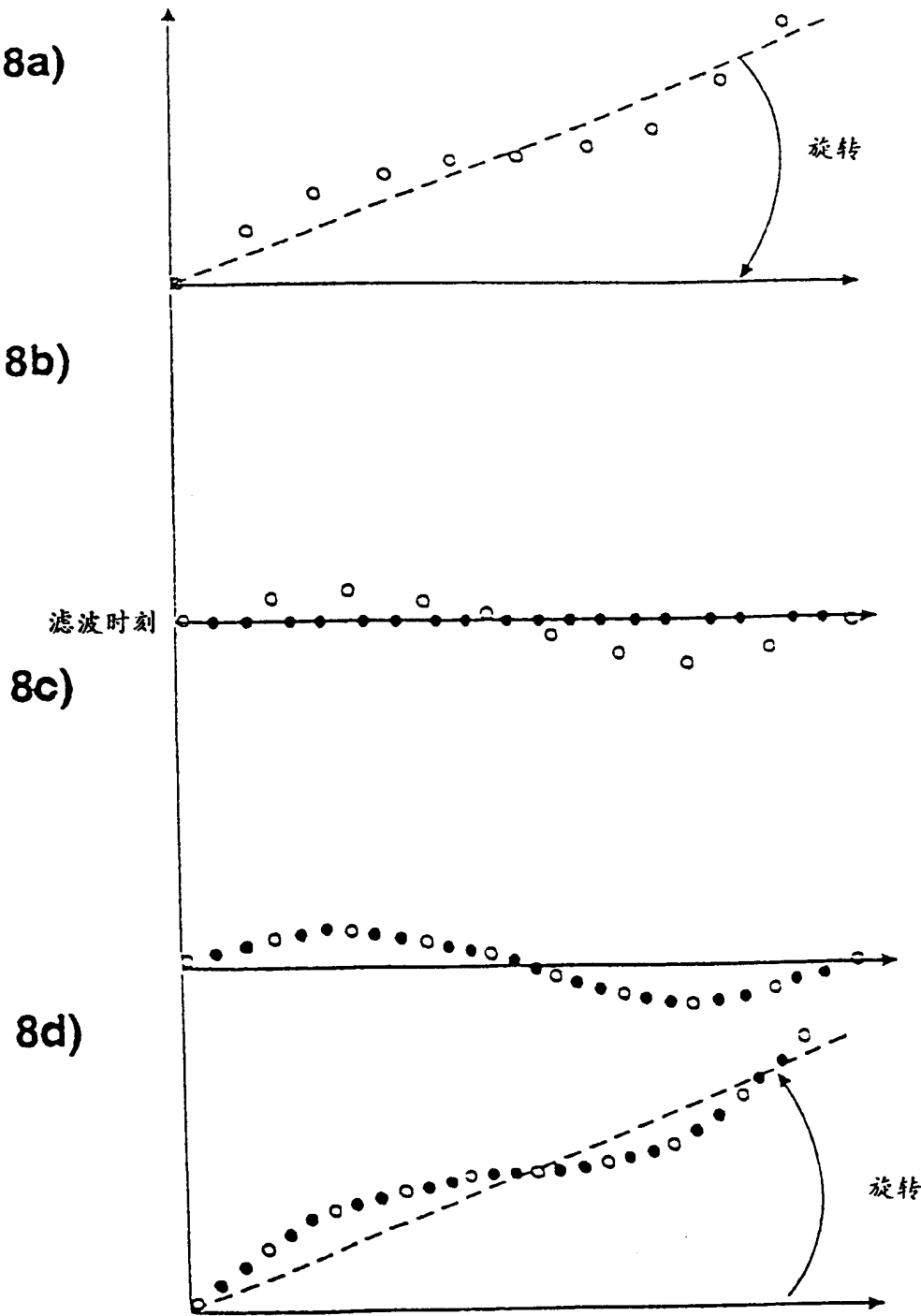


图 8

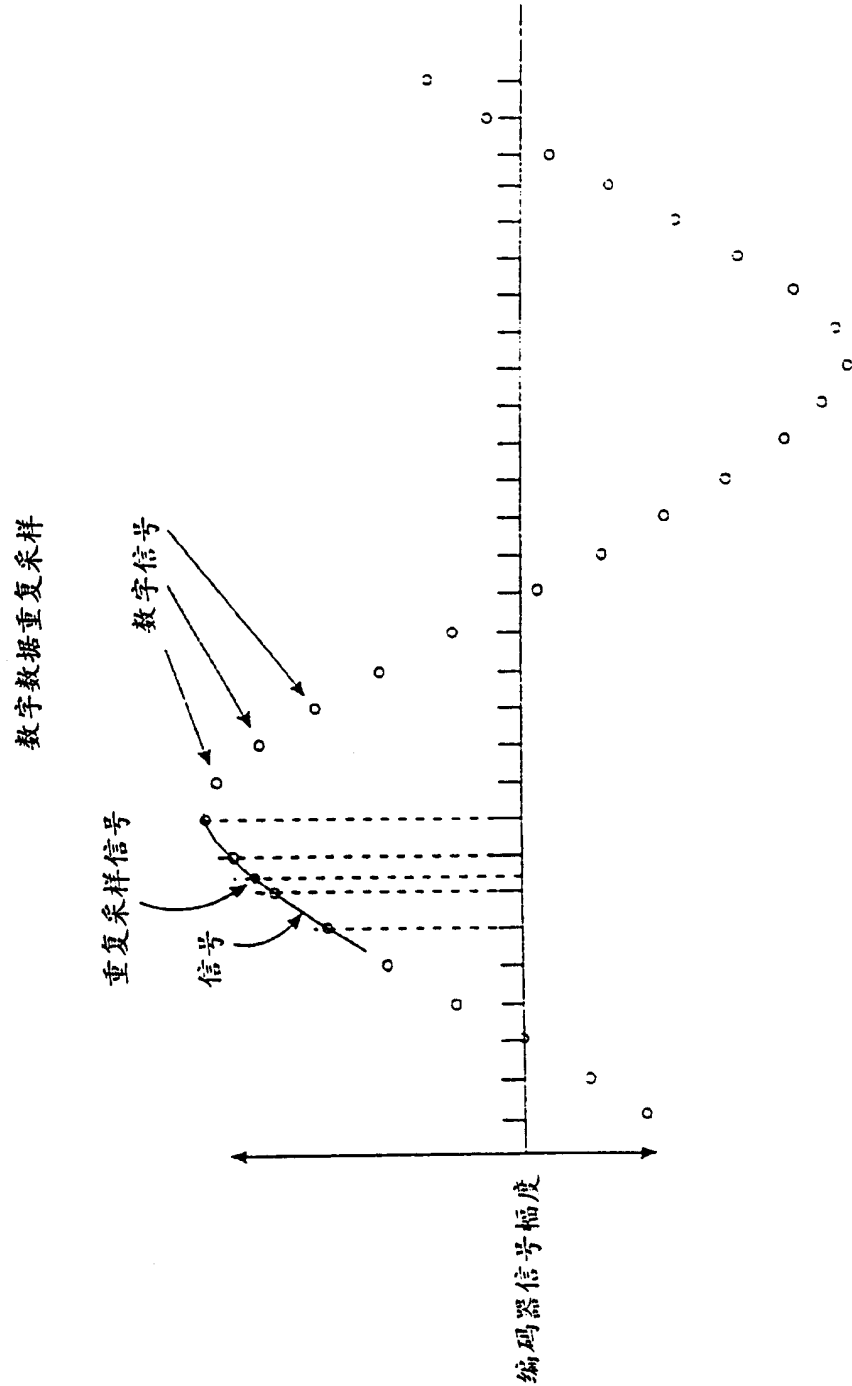


图 9

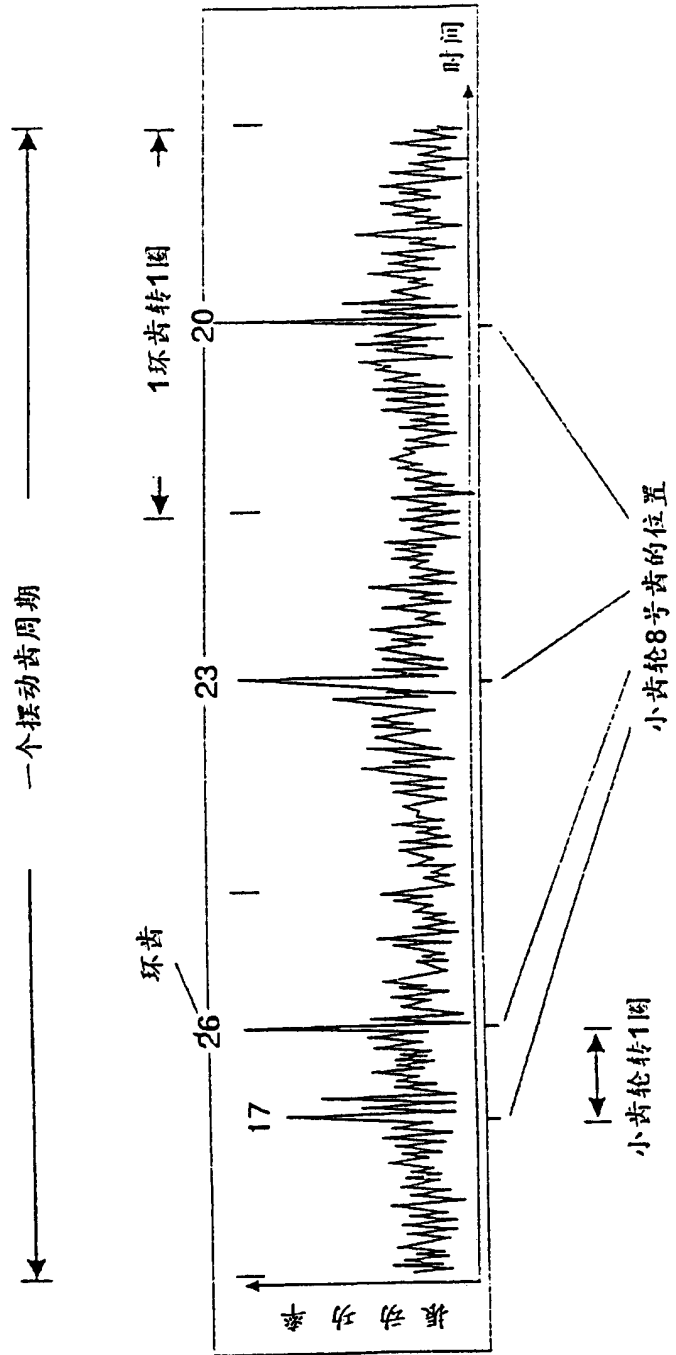


图 10