



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117242353 A

(43) 申请公布日 2023. 12. 15

(21) 申请号 202280027603.3

(74) 专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有限公司 11270

(22) 申请日 2022.03.09

专利代理师 薛恒 张铮铮

(30) 优先权数据

FR2102407 2021.03.11 FR

(51) Int.Cl.

G01P 3/48 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.10.10

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/FR2022/050421 2022.03.09

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/189754 FR 2022.09.15

(71) 申请人 赛峰集团

地址 法国巴黎

申请人 法国国家信息与自动化研究院

(72) 发明人 达尼·阿布德 阿克塞尔·巴劳

马克西姆·雷伯 优丝拉·玛尼斯

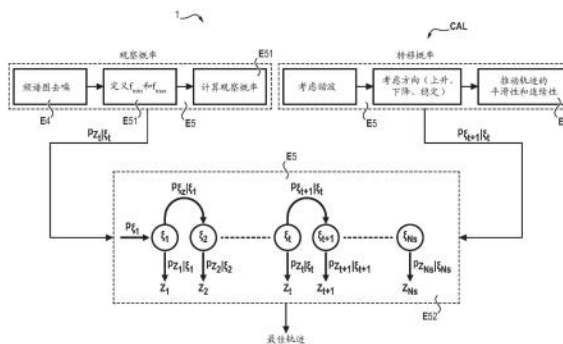
权利要求书3页 说明书15页 附图8页

(54) 发明名称

用于估计轮式车辆速度的方法、设备及计算机程序

(57) 摘要

本发明涉及一种用于估计轮式车辆的运动速度(v)的方法,其中(E5)估计在滤波频谱图(S(f_t, t))中代表车辆(VE)的车轮(RO)的速度(v)的频率轨迹(ξ_t),如下:(E51)基于该滤波频谱图(S(f_t, t))的计算振幅估计轨迹(f_t)的观察概率(p_{z_t} | ξ_t);(E52)估计与概率(p_ξ)和概率(p_{ξ_t | z_t})的乘积成比例的后验观察定律(p_{z_t} | ξ_t);以及(E53)基于该定律(p_{ξ_t | z_t})估计该轨迹(f_t),以及(E6)基于该轨迹(ξ_t)估计该车辆的车轮的运动速度(v)。



1. 一种用于估计车辆(VE)的行驶速度(v)的方法,所述车辆具有至少一个用于在地面上滚动的车轮(R0),其特征在于,所述方法包括:

(E1) 通过所述车辆的至少一个惯性或振动传感器(CAP)测量惯性或振动信号;

(E2) 至少一个计算器(CAL)计算所述信号在相对于连续时刻(t)定义的多个连续时间窗(W_t)上的多个频谱(SP_t),所述多个频谱(SP_t)形成至少一个频谱图(SP),所述至少一个频谱图(SP)是所述连续时刻(t)的函数;

(E4) 至少一个噪声衰减和/或确定性特征提取滤波器(FIL)对所述频谱图(SP)进行滤波,以获得所述信号在所述连续时刻(t)上的至少一个滤波频谱图($S(f_t, t)$);

(E5) 所述计算器(CAL)估计在所述连续时刻(t)上的所述滤波频谱图($S(f_t, t)$)中代表所述车辆(VE)的所述车轮(R0)的所述速度(v)的频率轨迹(ξ_t),包括:

(E51) 所述计算器(CAL)根据所述滤波频谱图($S(f_t, t)$)在每个时刻(t)的计算振幅估计所述频率轨迹(ξ_t)的观察概率($p_{Z_t|\xi_t}$);

(E52) 所述计算器(CAL)估计所述频率轨迹(ξ_t)的观察的后验定律($p_{\xi_t|Z}$),所述频率轨迹(ξ_t)的所述观察的所述后验定律($p_{\xi_t|Z}$)与所述频率轨迹(ξ_t)的规定的转移概率(p_{ξ})和所述频率轨迹(ξ_t)的观察概率($p_{Z_t|\xi_t}$)的乘积成比例;以及

(E53) 所述计算器(CAL)根据所述频率轨迹(ξ_t)的所述观察的所述后验定律($p_{\xi_t|Z}$)估计所述连续时刻(t)的所述频率轨迹(ξ_t);以及

(E6) 所述计算器(CAL)根据已经估计的所述频率轨迹(ξ_t)估计所述车辆的所述车轮在所述连续时刻(t)的所述行驶速度(v)。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

(E2) 所述计算器(CAL)确定频率值($\{f^1, \dots, f^{L_s}\}$)的支持度(Ω);以及

(E53) 所述计算器(CAL)在每个时刻(t)将所述频率轨迹(ξ_t)估计为支持度(Ω)中的频率值(f^1, \dots, f^{L_s}),直到此时刻(t),所述频率值(f^1, \dots, f^{L_s})将所述频率轨迹(ξ_t)的所述观察的后验定律($p_{\xi_t|Z}$)最大化。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

(E2) 所述计算器(CAL)确定频率值($\{f^1, \dots, f^{L_s}\}$)的支持度(Ω);以及

(E53) 所述计算器(CAL)将每个时刻(t)的频率(ξ_t)估计为所述频率(ξ_t)的所述观察的后验定律($p_{\xi_t|Z}$)的重心,所述重心在所述支持度(Ω)的所述频率值(f^1, \dots, f^{L_s})处获取并受到这些频率值(f^1, \dots, f^{L_s})的影响。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

(E2) 所述计算器(CAL)确定频率值($\{f^1, \dots, f^{L_s}\}$)的支持度 Ω ;以及

(E51) 所述计算器(CAL)在已知轨迹取决于针对每个时刻(t)滤波和归一化的频谱图($S(f_t, t)$)的所述计算振幅时估计所述观察概率($p_{Z_t|\xi_t}$)。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:(E51) 所述计算器(CAL)

估计所述观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 是根据以下等式进行的:

$$P_{Z_t|\xi_t=f_t}(z_t) = |S(f_t, t)| \cdot 1_{[f_{\min}(t), f_{\max}(t)]}(f_t)$$

其中 $|S(f_t, t)|$ 是对每个时刻 t 进行滤波的所述频谱图 $S(f_t, t)$ 的所述计算振幅,

$f_{\min}(t)$ 是测量到的最小频率轨迹,

$f_{\max}(t)$ 是测量到的最大频率轨迹,

$f_{\min}(t)$ 和 $f_{\max}(t)$ 满足 $f_{\min}(t) \leq \xi_t \leq f_{\max}(t)$,

$1_{[f_{\min}(t), f_{\max}(t)]}(f_t)$ 是当 f_t 介于 $f_{\min}(t)$ 和 $f_{\max}(t)$ 之间时取值为1,当 f_t 低于 $f_{\min}(t)$ 或高于 $f_{\max}(t)$ 时取值为0的函数。

6. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:(E51)所述计算器(CAL)

估计所述观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 是根据以下等式进行的:

$$P_{Z_t|\xi_t=f_t}(z_t) = \prod_{\substack{j: j \cdot f_t < \frac{F_s}{2}}} \frac{1}{c_t} |S(j \cdot f_t, t)| 1_{[f_{\min}(t), f_{\max}(t)]}(f_t)$$

其中 j 是正整数或实数,满足 $j \cdot f_t < \frac{F_s}{2}$,

其中 f_t 表示每个滤波频谱图 $S(f_t, t)$ 在所述时刻 t 的所述频率,

其中 F_s 是作为所述滤波频谱图 $S(f_t, t)$ 的函数而被预先确定的阈值频率。

7. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

(E2) 所述计算器(CAL)确定频率值($\{f^1, \dots, f^{L_s}\}$)的支持度 Ω ;以及

(E3) 所述计算器(CAL)规定时刻 N_s 的所述频率轨迹 ξ_t 的所述转移概率 $p_\xi(f_1, \dots, f_{N_s})$,

所述转移概率是从时刻1的给定初始概率 P_{ξ_1} 开始的, $t \in \{1, \dots, N_s\}$,并且每个频率 $f_t \in \Omega$,

所述转移概率的等式如下:

$$p_\xi(f_1, \dots, f_{N_s}) = p_{\xi_1}(f_1) \prod_{t=1}^{N_s-1} p_{\xi_{t+1}|\xi_t=f_t}(f_{t+1})$$

其中 N_s 是大于或等于2的规定整数个连续规定时刻 t ,

其中 $p_{\xi_{t+1}|\xi_t=f_t}(f_{t+1})$ 是从当前时刻 t 的轨迹的频率 ξ_t 到下一时刻 $t+1$ 的频率轨迹的频率 ξ_{t+1} 的转移概率。

8. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,从所述当前时刻 t 的所述频率轨迹的所述频率 ξ_t 到所述下一时刻 $t+1$ 的所述频率轨迹的所述频率 ξ_{t+1} 的所述转移概率

$p_{\xi_{t+1}|\xi_t=f_t}(f_{t+1})$ 遵循以所述时刻 t 的所述滤波频谱图($S(f_t, t)$)的所述频率 f_t 为中心的条件高斯定律。

9. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,以所述频率 f_t 为中心的所述条件高斯定律具有标准偏差 $\sigma_t = \Delta t \cdot \gamma_t$,其中, Δt 是所述时刻 t 的所述频谱图的计算时间分辨率, γ_t 是所述频率轨迹 ξ_t 在所述时刻 t 和所述下一时刻 $t+1$ 之间演变的计算平均速度。

10. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在於,所述方法还包括:

(E6) 所述计算器 (CAL) 通过将所述频率轨迹 (ξ_t) 乘以 $2\pi R$ 来估计所述车辆的所述车轮的所述行驶速度 (v), 其中 R 是预定的或估计的所述车轮 (R_0) 的半径。

11. 根据权利要求8至10中任一项所述的方法,其特征在於,所述噪声衰减和/或确定性特征提取滤波器 (FIL) 包括相对于随机特征的滑动中值滤波器和/或确定性特征分离滤波器。

12. 一种用于估计车辆 (VE) 的行驶速度 (v) 的设备 (1), 所述车辆具有至少一个用于在地面上滚动的车轮 (R_0), 其特征在於,所述设备包括:

所述车辆的惯性或振动传感器 (CAP), 用于 (E1) 测量惯性或振动信号;

计算器 (CAL), 其被配置为 (E2) 计算所述信号在相对于连续时刻 (t) 定义的多个连续时间窗 (W_t) 上的多个频谱 (SP_t), 所述多个频谱 (SP_t) 形成至少一个频谱图 (SP), 所述至少一个频谱图 (SP) 是所述连续时刻 (t) 的函数; 以及

滤波器 (FIL), 用于衰减噪声和/或提取所述频谱图 (SP) 中的确定性特征, 以 (E4) 获得所述信号在所述连续时刻 (t) 上的至少一个滤波频谱图 ($S(f_t, t)$),

所述计算器 (CAL) 被配置为 (E5) 估计在所述连续时刻 (t) 上的所述滤波频谱图 ($S(f_t, t)$) 中代表所述车辆 (VE) 的所述车轮 (R_0) 的所述速度 (v) 的频率轨迹 (ξ_t), 包括:

(E51) 所述计算器 (CAL) 根据所述滤波频谱图 ($S(f_t, t)$) 在每个时刻 (t) 的计算振幅估计所述频率轨迹 (ξ_t) 的观察概率 ($p_{z_t|\xi_t}$);

(E52) 所述计算器 (CAL) 估计所述频率轨迹 (ξ_t) 的观察的后验定律 ($p_{\xi_t|z}$), 所述频率轨迹 (ξ_t) 的所述观察的所述后验定律 ($p_{\xi_t|z}$) 与所述频率轨迹 (ξ_t) 的规定的转移概率 (p_{ξ}) 和所述频率轨迹 (ξ_t) 的观察概率 ($p_{z_t|\xi_t}$) 的乘积成比例; 以及

(E53) 所述计算器 (CAL) 根据所述频率轨迹 (ξ_t) 的所述观察的所述后验定律 ($p_{\xi_t|z}$) 估计所述连续时刻 (t) 的所述频率轨迹 (ξ_t); 以及

所述计算器 (CAL) 被配置为 (E6) 根据所述频率轨迹 (ξ_t) 估计所述车辆的所述车轮在所述连续时刻 (t) 的所述行驶速度 (v)。

13. 一种计算机程序, 所述计算机程序包括当在计算器 (CAL) 中执行时, 用于实现根据权利要求1至11中任一项所述的用于估计所述车辆的所述行驶速度 (v) 的方法的代码指令。

用于估计轮式车辆速度的方法、设备及计算机程序

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于估计车辆的行驶速度的方法、设备和计算机程序,该车辆具有用于在地面上滚动的车轮。

[0002] 本发明的应用领域,特别地,为滚动陆地机动车辆和具有起落架的飞机,该起落架具有在起飞或着陆时在地面上滚动的轮子。

背景技术

[0003] 在惯性导航领域中,车辆的瞬时速度是非常重要的数据。在现有技术中,通常由放置在车辆的车轮上的附加速度传感器(里程表)测量速度信号。这种传感器的安装具有成本,而且在一些应用中,特别是在航空和军事陆地导航中,并不总是能够设想安装这种传感器。

[0004] 本发明寻求除去诸如里程表或位置传感器的直接速度传感器。

[0005] 本发明的一个目的是开发一种用于估计车辆的行驶速度的方法、设备和计算机程序,该车辆具有用于在地面上滚动的车轮。该方法能够通过除去诸如里程表或位置传感器的直接速度传感器,根据至少一个惯性或振动传感器(其可以例如是加速度计、陀螺仪或麦克风)来精确地估计轮式车辆的瞬时速度。

[0006] 在现有技术中,例如在Rickard Karlsson和Fredrik Gustafsson于2017年发表的文献“The Future of Automotive Localization Algorithms: Available, reliable, and scalable localization: Anywhere and anytime”中,已经尝试过通过利用惯性信号中存在的信息来克服缺少直接速度传感器的问题。根据该文献,通过在每个时刻选择频谱图中能量更大的频率来计算从惯性信号估计瞬时速度。这种类型的方法可以有效地应用于噪声低的一些简单应用中,但是不能应用于上述噪声比通常非常高的应用领域中。由Rickard Karlsson和Fredrik Gustafsson在该文献中描述的方法对诸如发动机燃烧的环境噪声是不稳固的,并且需要峰值容易识别的频谱,但这在存在内燃机时是不可能的。此外,惯性或振动信号的频谱中富含谐波,而这些谐波会经历相当大的能量泄漏,这使得通过傅立叶变换识别峰值变得困难。现有技术中的绝大多数惯性导航系统不能用于占主导地位的环境噪声。

[0007] 在一些应用中,特别是在传感器数量非常有限的航空应用和军用陆地车辆中,位置传感器的安装非常困难,在航空学中甚至是不可能的。瞬时速度信号的存在对于导航系统以非常精确的方式估计载体的位置非常重要。为此,需要在不必向车辆的车轮上增加硬件设备的情况下测量该瞬时速度。

发明内容

[0008] 本发明旨在获得一种用于估计车辆的行驶速度的方法、设备和计算机程序,该车辆具有在地面上滚动的车轮,从而克服上述缺点,实现上述目的。

[0009] 为此,本发明的第一目的是一种用于估计车辆的行驶速度的方法,该车辆具有至

少一个用于在地面上滚动的车轮,该方法包括:

[0010] 通过该车辆的至少一个惯性或振动传感器测量惯性或振动信号;

[0011] 至少一个计算器计算该信号在相对于连续时刻定义的多个连续时间窗上的多个频谱,该多个频谱形成至少一个频谱图,该至少一个频谱图是该连续时刻的函数;

[0012] 至少一个噪声衰减和/或确定性特征提取滤波器对该频谱图进行滤波,以获得该信号在该连续时刻上的该信号的至少一个滤波频谱图;

[0013] 该计算器估计在该连续时刻上的该滤波频谱图中代表该车辆的该车轮的该速度的频率轨迹,包括:

[0014] 该计算器从该滤波频谱图在每个时刻的计算振幅估计该频率轨迹的观察概率;

[0015] 由该计算器估计该频率轨迹的观察的后验定律,该后验定律与该频率轨迹的规定的转移概率和该频率轨迹的观察概率的乘积成比例;以及

[0016] 由该计算器从该频率轨迹的该观察的后验定律估计该连续时刻的该频率轨迹;以及

[0017] 该计算器根据已经估计的该频率轨迹估计该车辆的该车轮在该连续时刻的该行驶速度。

[0018] 因此,本发明提出了一种用于估计惯性或振动信号的方法,该方法对噪声是稳固的,并且使用存在于测量的(惯性或振动)信号中的频率信息以及基于特定的专门概率方法的方法。与现有技术不同的是,本发明使得在不使用里程表的情况下克服环境噪声并提取车辆的速度信号成为可能,从而允许在真实情况下利用数据。本发明将其表达为时频平面上每个点的振幅和转移定律的函数,使得有可能在利用系统的运动学(诸如谐波)时促进轨迹的连续性、方向和平滑性。惯性信号在存在车辆导航系统的情况下是一直存在的。就振动传感器而言,车辆的车轮发出的振动频率与车辆的速度成比例(将车辆的速度简单地乘以车轮的周长)。

[0019] 根据本发明的一个实施例,还提供了:该计算器确定频率值的支持度;以及该计算器在每个时刻将该频率轨迹估计为支持度中的频率值,直到此时刻,该频率值将该频率轨迹的该观察的后验定律最大化。

[0020] 根据本发明的一个实施例,还提供了:该计算器确定频率值的支持度;以及该计算器将每个时刻的频率估计为该频率的该观察的后验定律的重心,该重心在该支持度的该频率值处获取并受到于这些频率值的影响。

[0021] 根据本发明的一个实施例,还提供了:该计算器确定频率值的支持度 Ω ;以及由计算器在已知轨迹取决于针对每个时刻滤波和归一化的频谱图的该计算振幅时估计该观察概率。

[0022] 根据本发明的一个实施例,还提供了:该计算器估计该观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 是根据以下等式进行的:

$$P_{Z_t|\xi_t=f_t}(z_t) = |S(f_t, t)| \cdot 1_{[f_{\min}(t), f_{\max}(t)]}(f_t)$$

[0023] 其中 $|S(f_t, t)|$ 是对每个时刻 t 进行滤波的该频谱图 $S(f_t, t)$ 的该计算振幅,

[0024] $f_{\min}(t)$ 是测量到的最小频率轨迹,

[0025] $f_{\max}(t)$ 是测量到的最大频率轨迹,

[0026] $f_{\min}(t)$ 和 $f_{\max}(t)$ 满足 $f_{\min}(t) \leq \xi_t \leq f_{\max}(t)$,

[0027] $1_{[f_{\min}(t), f_{\max}(t)]}(f_t)$ 是当 f_t 介于 $f_{\min}(t)$ 和 $f_{\max}(t)$ 之间时取值为1, 当 f_t 低于 $f_{\min}(t)$ 或高于 $f_{\max}(t)$ 时取值为0的函数。

[0028] 根据本发明的一个实施例, 还提供了: 该计算器估计该观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 是根据以下等式进行的:

$$P_{Z_t|\xi_t=f_t}(z_t) = \prod_{\substack{j \\ |j \cdot f_t < \frac{F_s}{2}}} \frac{1}{c_t} |S(j \cdot f_t, t)| 1_{[f_{\min}(t), f_{\max}(t)]}(f_t)$$

[0029] 其中 j 是正整数或实数, 满足 $j \cdot f_t < \frac{F_s}{2}$,

[0030] 其中 f_t 表示每个滤波频谱图 $S(f_t, t)$ 在该时刻 t 的该频率,

[0031] 其中 F_s 是作为该滤波频谱图 $S(f_t, t)$ 的函数而被预先确定的阈值频率。

[0032] 根据本发明的一个实施例, 由该计算器确定频率值的支持,

[0033] 该计算器估计该频率轨迹 ξ_t 的该观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 是根据以下等式进行的:

$$P_{Z_t|\xi_t=f_t}(z_t) = \prod_{f \in \Omega} P_{Z_t[f]|\xi_t=f_t}(z_t[f])$$

[0034] 对于 $\xi_t = f_t \in \Omega$, $P_{Z_t[f_t]|\xi_t=f_t}(z_t[f_t] = 1) = 1$ 取决于每个时刻 t 的滤波频谱图的计算振幅,

$$\text{对于 } f \neq f_t, P_{Z_t[f]|\xi_t=f_t}(z_t[f] = 1) = 0$$

[0035] 其中, Z_t 是观察的二进制向量, 其大小 N_s 是为时刻 $t \in \{1, \dots, N_s\}$ 规定的, 使得 $\bar{f}_t = f$ 时 $Z_t[f] = 1$, 否则 $f \neq \bar{f}_t$ 时 $Z_t[f] = 0$ 。

[0036] 根据本发明的一个实施例,

$$P_{Z_t[f_t]|\xi_t=f_t}(z_t[f_t] = 1) = \frac{1}{c_t} |S(f_t, t)| \cdot 1_{[f_{\min}(t), f_{\max}(t)]}(f_t)$$

[0037] 其中, $|S(f_t, t)|$ 是对每个时刻 t 进行滤波的频谱图 $S(f_t, t)$ 的计算振幅,

$$c_t = \max_{f \in [f_{\min}(t), f_{\max}(t)]} z_t[f]$$

[0038] $f_{\min}(t)$ 是测量到的最小频率轨迹,

[0039] $f_{\max}(t)$ 是测量到的最大频率轨迹,

[0040] $f_{\min}(t)$ 和 $f_{\max}(t)$ 满足 $f_{\min}(t) \leq \xi_t \leq f_{\max}(t)$,

[0041] $1_{[f_{\min}(t), f_{\max}(t)]}(f_t)$ 是当 f_t 介于 $f_{\min}(t)$ 和 $f_{\max}(t)$ 之间时取值为1, 当 f_t 低于 $f_{\min}(t)$ 或高于 $f_{\max}(t)$ 时取值为0的函数。

[0042] 根据本发明的一个实施例, 还提供了: 由该计算器确定频率值的支持度 Ω ;

[0043] 由该计算器规定时刻 N_s 的该频率轨迹 ξ_t 的该转移概率 $p_{\xi}(f_1, \dots, f_{N_s})$, 该转移概率是从时刻1的给定初始概率 P_{ξ_1} 开始的, $t \in \{1, \dots, N_s\}$, 并且每个频率 $f_t \in \Omega$, 该转移概率的

等式如下：

$$p_{\xi}(f_1, \dots, f_{N_s}) = p_{\xi_1}(f_1) \prod_{t=1}^{N_s-1} p_{\xi_{t+1}|\xi_t=f_t}(f_{t+1})$$

[0044] 其中 N_s 是大于或等于2的规定整数个连续规定时刻 t ,

[0045] 其中 $p_{\xi_{t+1}|\xi_t=f_t}(f_{t+1})$ 是从当前时刻 t 的轨迹的频率 ξ_t 到下一时刻 $t+1$ 的频率轨迹的频率 ξ_{t+1} 的转移概率。

[0046] 根据本发明的一个实施例,从该当前时刻 t 的该频率轨迹的该频率 ξ_t 到该下一时刻 $t+1$ 的该频率轨迹的该频率 ξ_{t+1} 的该转移概率 $p_{\xi_{t+1}|\xi_t=f_t}(f_{t+1})$ 遵循以该时刻 t 的该滤波频谱图的该频率 f_t 为中心的条件高斯定律。

[0047] 根据本发明的一个实施例,以该频率 f_t 为中心的该条件高斯定律具有标准偏差 $\sigma_t = \Delta t \cdot \gamma_t$,其中, Δt 是该时刻 t 的该频谱图的计算时间分辨率, γ_t 是该频率轨迹 ξ_t 在该时刻 t 和该下一时刻 $t+1$ 之间演变的计算平均速度。

[0048] 根据本发明的一个实施例,还提供了:由该计算器通过将该频率轨迹乘以 $2\pi R$ 来估计该车辆的该车轮的该行驶速度,其中 R 是预定的或估计的该车轮的半径。

[0049] 根据本发明的一个实施例,该噪声衰减和/或确定性特征提取滤波器包括相对于随机特征的滑动中值滤波器和/或确定性特征分离滤波器。

[0050] 本申请的第二主题是一种用于估计车辆的行驶速度的设备,该车辆具有至少一个用于在地面上滚动的车轮,该设备包括:

[0051] 该车辆的惯性或振动传感器,用于测量惯性或振动信号;

[0052] 计算器,其被配置为计算该信号在相对于连续时刻定义的多个连续时间窗上的多个频谱,该多个频谱成至少一个频谱图,该至少一个频谱图是该连续时刻的函数;

[0053] 滤波器,用于衰减噪声和/或提取该频谱图中的确定性特征,以获得该信号在该连续时刻上的至少一个滤波频谱图,

[0054] 该计算器被配置为估计在该连续时刻上的该滤波频谱图中代表该车辆的车轮的速度的频率轨迹,包括:

[0055] 由该计算器根据该滤波频谱图在每个时刻的计算振幅估计该频率轨迹的观察概率;

[0056] 由该计算器估计该频率轨迹的观察的后验定律,该后验定律与该频率轨迹的规定的转移概率和该频率轨迹的观察概率的乘积成比例;以及

[0057] 由该计算器根据该频率轨迹的该观察的后验定律估计该连续时刻的该频率轨迹;以及

[0058] 该计算器被配置为根据该频率轨迹估计该车辆的该车轮在该连续时刻的该行驶速度。

[0059] 本发明的第三主题是计算机程序,包括当在计算器中执行时,用于实现如上所述的用于估计车辆的行驶速度的方法的代码指令。

附图说明

[0060] 在阅读仅通过参考附图的下图的非限制性示例给出的以下描述时,将更好地理解本发明。

[0061] 图1表示了根据本发明的实施例的用于估计车辆的行驶速度的方法的过程的流程图的示例,该车辆具有用于在地面上滚动的车轮。

[0062] 图2示意性地表示了根据本发明的实施例的用于估计车辆的行驶速度的方法、设备和程序的信号的频谱图的计算步骤的示例,该车辆具有用于在地面上滚动的车轮。

[0063] 图3表示了根据本发明的实施例的用于估计车辆的行驶速度的方法、设备和程序的时频平面中的时间信号的频谱图的示例,该车辆具有用于在地面上滚动的车轮。

[0064] 图4示意性地表示了根据本发明的实施例的用于估计车辆的行驶速度的设备的示例,该车辆具有用于在地面上滚动的车轮。

[0065] 图5表示了根据本发明的实施例的可由用于估计车辆的行驶速度的方法、设备和程序测量的原始信号的示例,该车辆具有用于在地面上滚动的车轮。

[0066] 图6表示了根据本发明的实施例的可由用于估计车辆的行驶速度的方法、设备和程序计算的图5的信号的频谱图,该车辆具有用于在地面上滚动的车轮。

[0067] 图7表示了根据本发明的实施例的可由用于估计车辆的行驶速度的方法、设备和程序计算的图5的信号的滤波频谱图的示例,该车辆具有用于在地面上滚动的车轮。

[0068] 图8表示了根据本发明的实施例的可由用于估计车辆的行驶速度的方法、设备和程序根据图5的信号计算的频率轨迹的观察概率的示例,该车辆具有用于在地面上滚动的车轮。

[0069] 图9表示了根据本发明的实施例的可由用于估计车辆的行驶速度的方法、设备和程序根据图5的信号计算的频率轨迹的转移概率的示例,该车辆具有用于在地面上滚动的车轮。

[0070] 图10表示了根据本发明的实施例的可由用于估计车辆的行驶速度的方法、设备和程序根据图5的信号计算的频率轨迹的示例,该车辆具有用于在地面上滚动的车轮。

[0071] 图11示意性地表示了根据本发明的实施例的用于估计车辆的行驶速度的设备的示例,该车辆具有用于在地面上滚动的车轮。

具体实施方式

[0072] 参考图1至图10,下面将更详细地描述用于估计车辆VE的瞬时行驶速度 v 的方法、设备1和计算机程序的实施例和示例性实施例,该车辆VE具有用于在地面上滚动的车轮R0。

[0073] 在本发明的上述应用领域中,在使用来自诸如陆地车辆或航空系统的复杂机械系统的振动信号的情况下,这些信号受到噪声(环境噪声、燃烧噪声和空气动力噪声等),尤其是对于干扰和异步旋转源的强烈影响。因此,在低信噪比的条件下,识别表示车辆VE在时频平面中的行驶速度 v 的正确轨迹特别困难:仅有少数与瞬时频率相关的峰值能够辨别,并且由于噪声引起的假峰值可以局部地代替峰值。这第一个困难可以通过增加步骤E4来解决,步骤E4通过噪声滤波来预处理时频表示,以改善车轮特征相对于背景噪声的出现。所提出的去噪方法E4不仅能够衰减背景噪声,而且能够在所寻找的分量强烈非平稳(上升状态、下降状态)的情况下衰减时频平面中的准平稳分量;相反地,在所寻求的分量准平稳的情况下

衰减非平稳分量。

[0074] 然后,信号的多分量性质和发动机中(如在飞机发动机中)存在异步分量的可能性意味着在同一频带中,几个谐波可以共存、交叉、非常接近甚至混淆。因此,简单地跟随每个时刻的最大值可能会偏离正确的轨迹,并因此提供对速度 v 的错误估计。为了克服这个问题,除了频谱图的振幅之外,本发明在估计过程中提供了对最佳轨迹的附加约束,以得到对转移概率的估计。考虑几个谐波和感兴趣的轨迹的方向,使得例如给予更接近所寻求的瞬时频率的轨迹更多的权重成为可能,这对于不同分量之间的耦合力矩是有利的。通过对转移概率的估计来增加这些规律性约束也使得在存在与预处理步骤E4之后的残余噪声相关的孤立峰值的情况下避免跳跃和不连续性成为可能。

[0075] 目标是在频谱图中随时间推移的所有可能的轨迹中搜索最佳频率轨迹 ξ_t 或者 ξ ,该最佳频率轨迹满足所考虑的约束并且代表车辆VE的车轮RO的速度 v 。通过成本函数或以等效的方式通过概率密度来测量一个轨迹相对于另一个轨迹的最佳性。为此,频谱图和约束的信息以概率的形式表示。更具体地,可以由具有转移密度 $P_{\xi_{t+1}|\xi_t}$ 和给定初始概率 P_{ξ_1} 的马尔可夫链来对频率轨迹 ξ_t 或 ξ_1, \dots, ξ_{N_S} 建模。该转移密度被定义为附加约束的函数(连续性、谐波、方向等)。在每个时间步长 t ,以取决于频谱图的振幅的概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 来提供频谱图的观察。可将车辆VE的行驶速度 v 的频率轨迹 ξ_t 选择为使后验定律 $P_{\xi_1, \dots, \xi_{N_S} | Z_1, \dots, Z_{N_S}}$ 最大化(或者通过计算其平均值)的那个频率轨迹。也可以通过关注二阶矩来计算该估计的不确定性。用户可以在物理数据输入接口INT1上输入要考虑的谐波数量。

[0076] 在附图中,用于估计具有一个(或多个)用于在地面上滚动的车轮RO的车辆的行驶速度 v 的方法包括第一步骤E1:测量来自车辆的一个(或多个)惯性或振动传感器CAP的惯性或振动的时间信号 X 。该惯性或振动传感器CAP可以位于车辆的发动机外部。该惯性或振动传感器CAP可以存在于车辆VE的用于在地面上滚动的车轮RO上。由于极端环境,传感器经常会出现故障或测量误差。传感器CAP可以是或包括一个(或多个)加速度计和/或一个(或多个)陀螺仪和/或一个(或多个)声学传感器和/或一个(或多个)麦克风。本发明可以使用不位于发动机中的惯性传感器。此外,在车辆VE包括由6个惯性传感器(3个加速度计和3个陀螺仪)组成的惯性单元的情况下,本发明可以利用由这6个惯性传感器中的几个或全部形成的传感器CAP的冗余来提高速度信息 v 的准确性(6个传感器上同时出现测量误差的风险较低)。图5示出了原始信号 X 作为横坐标为时间的函数的示例。

[0077] 在第一步骤E1之后的第二步骤E2期间,由一个(或多个)计算器CAL分别在几个连续(或滑动)时间窗 W_t 上计算时间信号 X 的几个频谱 SP_t ,这些时间窗 W_t 是相对于连续时刻 t 定义的,例如如图2所示。每个时间窗 W_t 可以例如以时刻 t 为中心,并且相对于时刻 t 具有预定的有限时间宽度(例如,连续的时间窗 W_t 可以具有相同的时间宽度)。计算器CAL计算几个连续的部分时间信号 Y (或时间段 Y),分别等于信号 X 乘以连续时刻 t 的连续时间窗 W_t 。例如,连续时刻 t 属于集合 $\{1, \dots, N_s\}$,其中 N_s 是大于1的预定义数量。时刻 t 可以是相同采样步长到最接近的规定常数的倍数,并且在下文中由采样步长到最接近的规定常数的整数来表示。采样步长和/或采样频率可以由用户在物理数据输入接口INT1上输入,或者可以预先记录在计算器CAL中。采样步长和/或采样频率定义了每秒采集的样本数量和时刻 t 。

[0078] 计算器CAL可以是或包括一个或多个计算机、一个或多个服务器、一个或多个机器、一个或多个处理器、一个或多个微处理器。计算器CAL可以包括一个或多个物理数据输入接口INT1、一个或多个物理数据输出接口INT2。这个或这些物理数据输入接口INT1可以是或包括一个或多个计算机键盘、一个或多个物理数据通信端口、一个或多个触摸屏等。这个或这些物理数据输出接口INT2可以是或包括一个或多个物理数据通信端口、一个或多个屏幕等。用于估计具有一个或多个用于在地面上滚动的车轮R0的车辆的行驶速度v的设备1特别地包括传感器CAP、计算器CAL和滤波器FIL,如图11中的示例所示。滤波器FIL可以包括在计算器CAL中,或者与计算器CAL分开。传感器CAP被配置为执行上文提到的步骤E1。滤波器FIL被配置为执行下文提到的步骤E4。计算器CAL被配置为执行下文提到的步骤E2、E3、E5、E6(以及可能的E4)和子步骤E51、E52、E53。计算器CAL和/或滤波器FIL和/或传感器CAP可以由计算机程序PR编程,该计算机程序PR包括实现用于估计车辆的行驶速度v的方法,即执行步骤E1和/或E2和/或E3和/或E4和/或E5和/或E6以及子步骤E51和/或E52和/或E53的代码指令。计算器CAL包括非易失性存储器MEM(或非易失性记录介质MEM),其中计算机程序PR被永久记录。非易失性存储器MEM或非易失性记录介质MEM可由计算机读取,并且包括记录在其上的指令,这些指令当由处理器执行时,使得处理器执行步骤E1和/或E2和/或E3和/或E4和/或E5和/或E6以及子步骤E51和/或E52和/或E53。上文和下文提到的该方法、设备1和程序PR使用的信号X和数据被记录在存储器MEM中。

[0079] 用于估计具有车轮R0的车辆VE的行驶速度v的设备1可以嵌入到车辆VE上。用于估计行驶速度v的设备1可以是惯性导航辅助工具,并且可以集成到包括在存在于车辆上的惯性单元中的惯性导航设备中。该惯性单元可以包括3个非平行方向上的3个加速度计、围绕3个非平行方向的3个陀螺仪、惯性导航设备和导航功能。

[0080] 根据本发明的一个实施例,计算器CAL在第二步骤E2期间为每个部分时间信号Y计算等于该部分时间信号Y的傅立叶变换(例如可以是快速傅立叶变换(fast Fourier transform,FFT))的频谱 SP_t ,该傅立叶变换限于相应的时间窗 W_t (短时傅立叶变换(short-time Fourier transform),也称为STFT)。因此,计算器CAL计算时间信号X的滑动窗口 W_t 上的傅立叶变换,并因此分别计算多个连续时刻t的多个频谱 SP_t 。每个频谱 SP_t 给出作为频率f的函数的频谱振幅。

[0081] 由此获得的频谱序列 SP_t 为提供测量信号X的每个传感器CAP形成连续时刻t的频谱图SP。频谱图SP由计算器CAL计算。每个频谱 SP_t 形成频谱图SP的一列,如图3中的示例所示。因此,如果大量传感器CAP提供多个信号X,则计算器CAL对应地计算多个频谱图SP和多个频谱图 $S(f_t, t)$ 。在几个频谱图SP和 $S(f_t, t)$ 的情况下,这些频谱图SP和 $S(f_t, t)$ 对于同一传感器可经历不同的处理操作。

[0082] 时频平面中的表示,诸如例如来自图5的信号的图3和图6的表示,以图像的形式表示:

[0083] 在横坐标(时间)轴上:连续时刻t;

[0084] 在纵坐标轴上:每个时刻t的相应频谱 SP_t 的频率 f_t ;

[0085] 在垂直时间t轴上的灰度级和对数标度中:每个时刻t的相应频谱 SP_t 的振幅的绝对值,该振幅的绝对值与灰度级标度ECH相关。

[0086] 图3作为示例表示了由记录在汽车VE上的横向加速度计形成的惯性传感器CAP获

得的惯性信号X的时频平面中的频谱 SP_t 。图5至图10中的记录的示例是在汽车VE上从惯性传感器CAP获得的。机械系统的响应很大程度上取决于它运行的状态,因此在每个时刻以速度v调节信号X的分析结果是有利的。时频的表示使得揭示与机械源相关的特征成为可能。这种表示提供了频率内容随时间演变的想法。也可以使用其他时频的表示,诸如维格纳(Wigner)表示等。

[0087] 在具有车轮R0的车辆VE中,车轮R0可以发出振动,该振动通过一系列峰值(频率轨迹 ξ_t)在时频平面中表现出来。与车轮相关的源表现为速度v没有突然跳跃的连续平滑轨迹(频率轨迹 ξ_t)。基频(频率轨迹 ξ_t)及其谐波(其他频率分量COMP)在时频平面上能量最大。车辆VE的车轮R0的速度v的频率通过根据系统状态(加速、减速、停止等)而变化的平滑轨迹在连续频谱中表现出来。因此,估计信号X的瞬时频率的简单方法相当于在待跟随的分量的频带(频率轨迹 ξ_t)中寻找最大能量峰值的位置。考虑到车轮基本的多谐波以及连续性约束和方向信息的添加,使得衰减与干扰分量(诸如车辆发动机的燃烧)相关的连续轨迹成为可能。

[0088] 在第二步骤E2之后的第四步骤E4期间,由一个(或多个)噪声衰减和/或确定性特征提取滤波器FIL对频谱 SP_t 进行滤波,以获得连续时刻t上信号X的滤波频谱图 $S(f_t, t)$ 。在频谱图 $S(f_t, t)$ 中,时刻t的频率用 f_t 表示。该预处理E4使得提供更清晰的时频表示成为可能。在该步骤E4中,可以区分目标分量(速度v)是准平稳或高度非平稳的两种情况。在准平稳目标分量(速度v)的情况下,滤波器FIL可以包括确定性(因此可预测)特征相对于随机(因此不可预测)特征的分离滤波器(DRS:确定性随机分离),该随机特征包括背景噪声和非平稳干扰分量。在高度非平稳的目标分量(速度v)的情况下,滤波器FIL可以被配置成降低背景噪声和非时变频率(例如通风噪声、电气分量),并且可以为此目的包括滑动中值滤波器。从图5的信号中滤波出的频谱图 $S(f_t, t)$ 的示例如图7所示。滤波频谱 $S(f_t, t)$ 的最大频率变化(以确保信号的连续性)可以由计算器CAL确定,或者已经预先记录在计算器CAL中,或者由用户在物理数据输入接口INT1上规定。

[0089] 在第四步骤E4之后的第五步骤E5期间,由计算器CAL估计频率轨迹 ξ_t ,该频率轨迹代表在连续时刻t上的滤波频谱图 $S(f_t, t)$ 中车辆VE的车轮R0的瞬时速度v。该步骤E5包括将在下文描述的子步骤E51、E52、E53。在下文中,频率轨迹 ξ_t 也被表示为 ξ 。

[0090] 实际上,车辆VE的车轮R0的行驶速度v产生频谱图 $S(f_t, t)$ 的时频平面中的某个频率分量,该频率分量可能具有随时间变化的某个频率(等于频率轨迹 ξ_t 的后续内容)和随时间变化的某个振幅。 $S(f_t, t)$ 频谱图中的该频率 ξ_t 随时间t变化,因此在频谱图 $S(f_t, t)$ 中(并且因此在此图3的时频平面中)形成了车辆VE的车轮R0的速度v的作为时间t的函数的频率轨迹 ξ_t 。该频率轨迹 ξ_t 与频谱图 $S(f_t, t)$ 中其它频率分量COMP的其它频率的轨迹混合,如图3所示。根据一个实施例,对于在地面上滚动的车轮R0,该车轮R0在连续时刻t的瞬时旋转频率(每秒转数)是作为时间t的函数的频率轨迹 ξ_t 。根据另一个实施例,对于在地面上滚动的车轮R0,该车轮R0在连续时刻t的切向速度(每秒转数乘以车轮R0的半径并乘以 2π)是作为时间t的函数的频率轨迹 ξ_t 。

[0091] 设 N_s 为频谱图 $S(f_t, t)$ (图2中的横轴)中的时间段或连续时刻t的数量(大于等于2),也就是时刻 $t \in \{1, \dots, N_s\}$ 。设 L_s 为滤波频谱图 $S(f_t, t)$ 中频率发射箱的数量(大于等于2)。时刻t的每个频谱图 $S(f_t, t)$ 的频率表示为 f_t 。还将待估计的真实未知频率轨迹 ξ_t 表示为

$\bar{F} = (\bar{f}_1, \dots, \bar{f}_{N_s})$ 。连续时刻 t 的数量 N_s 可以由计算器CAL确定,或者已经预先记录在计算器CAL中,或者由用户在物理数据输入接口INT1上规定。

[0092] 根据本发明的一个实施例,由计算器CAL在第二步骤E2期间确定频率值 $\{f^1, \dots, f^{L_s}\}$ 的支持度 Ω ,即 $\Omega = \{f^1, \dots, f^{L_s}\}$ 。值 $\{f^1, \dots, f^{L_s}\}$ 的支持度 Ω 是频谱图 $S(f_t, t)$ 的频率的支持度,并且可以包括包含在零和最大频率之间的所有频率值,例如均匀分布的频率,其可以是到最接近的规定常数的规定频率步长的倍数。支持度 Ω 的频率值的数量 L_s 是有限的,并且可以由计算器CAL确定;或者已经预先记录在计算器CAL中;或者由用户在物理数据输入接口INT1上规定。频率步长可以由计算器CAL根据采样频率和/或根据窗 W_t 的持续时间来计算。

[0093] 还将待估计的频率轨迹 ξ_t 表示为 $\bar{F} = (\bar{f}_1, \dots, \bar{f}_{N_s})$ 。因此,对于从1到 N_s 的连续时刻 t ,频率轨迹 ξ_t 等于一组频率 ξ_1, \dots, ξ_{N_s} ,也就是说, $\xi_t = (\xi_1, \dots, \xi_{N_s})$,其为模拟待估计轨迹 ξ_t 的随机变量。频率轨迹 ξ_t 可以在频谱图 $S(f_t, t)$ 的频率值的支持度 $\Omega = \{f^1, \dots, f^{L_s}\}$ 下取频率值 ξ_1, \dots, ξ_{N_s} 。

[0094] 频率轨迹 ξ_t 随时间 t 的连续频率链 ξ_1, \dots, ξ_{N_s} 可以用转移概率 $P_{\xi_{t+1}|\xi_t}$ 和给定的初始概率 P_{ξ_1} 来描述。

[0095] 根据一个实施例,在第二步骤E2之后和第四步骤E4之前的第三步骤E3期间,从给定的初始概率 P_{ξ_1} 开始,由计算器CAL根据将从当前时刻 t 的该轨迹的频率 ξ_t 到下一时刻 $t+1$ 的该轨迹的频率 ξ_{t+1} 的转移概率链接起来的马尔可夫链来规定频率轨迹 ξ_t 的转移概率 p_ξ 。这种转移概率 p_ξ 遵循一个先验定律。在下文中,频率轨迹 ξ_t 的转移概率 p_ξ 表示为 $p_\xi(f_1, \dots, f_{N_s})$ 。从图5的信号中计算出的转移概率 p_ξ 的示例如图9所示。描述速度随时间的可能演变的转移概率是提前指定的。具体而言,较大的频率变化具有较低的概率,而较小的变化具有较高的概率。这种转移概率定义了所谓的马尔可夫链。

[0096] 根据本发明的一个实施例,对于 $t \in \{1, \dots, N_s\}$ 和对于每个频率 $f_t \in \Omega$ (即每个 $f_1, \dots, f_{N_s} \in \Omega$),计算器CAL在步骤E3期间根据以下等式计算从时刻1的给定初始概率 P_{ξ_1} 开始的时刻 N_s 的频率轨迹 ξ_t 的转移概率 $p_\xi(f_1, \dots, f_{N_s})$:

$$p_\xi(f_1, \dots, f_{N_s}) = p_{\xi_1}(f_1) \prod_{t=1}^{N_s-1} p_{\xi_{t+1}|\xi_t=f_t}(f_{t+1})$$

[0097] $p_{\xi_1}(f_1)$ 是给定的时刻 $t=1$ 的初始概率。在这个等式中, $p_{\xi_{t+1}|\xi_t=f_t}(f_{t+1})$ 是从当前时刻 t 的轨迹的频率 ξ_t 到下一时刻 $t+1$ 的轨迹的频率 ξ_{t+1} 的转移概率。

[0098] 因此,频率轨迹 ξ 的联合定律,由以下公式给出:

[0099] $\forall (f_1, \dots, f_{N_s}) \in \Omega^{N_s}, p_\xi(f_1, \dots, f_{N_s}) = p_{\xi_1}(f_1) \prod_{t=1}^{N_s-1} p_{\xi_{t+1}|\xi_t=f_t}(f_{t+1})$ (先验定律(2))

[0100] 根据本发明的一个实施例, 计算器CAL在步骤E3期间, 根据以在时刻 t 的滤波频谱图($S(f_t, t)$)的频率 f_t 为中心的条件高斯定律 N , 计算从当前时刻 t 的轨迹的频率 ξ_t 到下一时刻 $t+1$ 的轨迹的频率 ξ_{t+1} 的转移概率 $P_{\xi_{t+1}|\xi_t=f_t}(f_{t+1})$, 即:

[0101] $P_{\xi_{t+1}|\xi_t=f_t}(f) \equiv N(f_t, \sigma_t^2)$, 其中, σ_t^2 是条件高斯分布 N 的方差, 并且频率 f_t 是条件高斯分布 N 的平均值。从而能够保持待跟随的谐波的某种规律性, 并且在连续的时刻 t 和 $t+1$ 之间添加连续性约束。

[0102] 根据本发明的一个实施例, 计算器CAL在步骤E3期间计算条件高斯定律 N 的标准偏差 σ_t , 其为 $\sigma_t = \Delta t \cdot \gamma_t$, 其中, Δt 是滤波频谱图($S(f_t, t)$)的计算时间分辨率, γ_t 是频率轨迹 ξ_t 在时刻 t 和下一时刻 $t+1$ 之间演变的计算平均速度。因此, 通过减小方差 σ_t^2 , 平滑效果将更强。当在每个时刻 t 提供频率轨迹 ξ_t 的演变方向(例如上升、下降、稳定)时, 由计算器CAL计算的转移定律 $P_{\xi_{t+1}|\xi_t=f_t}(f_{t+1})$ 也可以考虑该方向。例如, 计算器CAL可以使用转移分布 $P_{\xi_{t+1}|\xi_t=f_t}(f_{t+1})$, 该转移分布在频率轨迹 ξ_t 上升的情况下截断为 $\xi_{t+1} \geq \xi_t$, 并且在频率轨迹 ξ_t 下降的情况下截断为 $\xi_{t+1} \leq \xi_t$ 。在频率轨迹 ξ_t 变得恒定(停止下降和上升)的情况下, 例如在零值处(车辆VE的停止对应于零速度 v), 有必要将 γ_t 设置为相当低的值。

[0103] 在第五步骤E5的第一子步骤E51, 由计算器CAL根据对每个时刻 t 滤波的频谱图 $S(f_t, t)$ 的计算振幅来估计车辆VE的行驶速度 v 的频率轨迹 ξ_t 的观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 。在下文中, 车辆VE的行驶速度 v 的频率轨迹 ξ_t 的观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 表示为 $P_{Z|\xi=(f_1, \dots, f_{N_s})}(Z_1, \dots, Z_{N_s})$ 。从图5的信号中计算出的观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 的示例如图8所示。

[0104] 根据本发明的一个实施例, 计算器CAL在子步骤E51期间在已知轨迹取决于针对每个时刻 t 滤波和归一化的频谱图 $S(f_t, t)$ 的计算振幅时计算观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 。

[0105] 根据本发明的一个实施例, 计算器CAL在子步骤E51期间根据以下等式计算对于 $t \in \{1, \dots, N_s\}$ 和对于每个频率 $f_t \in \Omega$ (即每个 $f_1, \dots, f_{N_s} \in \Omega$) 频率轨迹 ξ_t 的观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$:

$$P_{Z|\xi=(f_1, \dots, f_{N_s})}(Z_1, \dots, Z_{N_s}) = \prod_{t=1}^{N_s} P_{Z_t|\xi_t=f_t}(Z_t)$$

[0106] 计算器CAL在子步骤E51期间计算具有为时刻 $t \in \{1, \dots, N_s\}$ (以及对于每个频率 $f_t \in \Omega$, 即每个 $f_1, \dots, f_{N_s} \in \Omega$) 规定的大小 N_s 的观察的二进制向量 Z 或 Z_t , 并且使得观察的二进制向量 Z_t 的坐标 $Z_t[f]$ 中的每个(因此观察的二进制向量 Z_t 的坐标 $Z_t[f]$ 为 (Z_1, \dots, Z_{N_s})) 等于:

[0107] 如果 $\bar{f}_t = f = f_t$, 则 $Z_t[f] = 1$;

[0108] 否则如果 $f \neq \bar{f}_t$ 或 $f \neq f_t$, 则 $Z_t[f] = 0$ 。

[0109] 在前述部分中, $Z = (Z_1, \dots, Z_{N_s})$ 是观察。

[0110] 观察的密度或概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 写为如下:

$\forall (f_1, \dots, f_{N_s}) \in \Omega^{N_s}, \forall (z_1, \dots, z_{N_s}), P_{Z_t|\xi_t=(f_1, \dots, f_{N_s})}(z_1, \dots, z_{N_s}) = \prod_{t=1}^{N_s} P_{Z_t|\xi_t=f_t}(z_t)$ (观察定律(1))

[0111] 观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 是根据频谱图 $S(f_t, t)$, 其中 $f_t \in \Omega$, 的振幅 $|S(f_t, t)|$ 定义的。事实上, 有可能对目标轨迹 ξ_t 有一个概念, 然后根据该点 (f_t, t) 与其他点 (f, t) , $f \in \Omega$ 相比的频谱图的振幅水平来确认是否非常可能观察到 $\xi_t = f_t$ 。

[0112] 所用方法的主要思想是在已知每个时刻 t 的目标频率 ξ_t 时根据描述观察分布的频谱图计算概率密度。事实上, 对于一个给定的 $\xi_t = f_t \in \Omega$, 频率 f_t 的系数 Z_t 在时刻 t 很有可能等于1, 也就是说真频率 \bar{f}_t 很有可能等于 f_t 。

[0113] 根据本发明的一个实施例, 计算器CAL在子步骤E51期间根据以下等式计算频率轨迹 ξ_t 的观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$:

$$P_{Z_t|\xi_t=f_t}(z_t) = \prod_{f \in \Omega} P_{Z_t[f]|\xi_t=f_t}(z_t[f])$$

[0114] 对于 $\xi_t = f_t \in \Omega$,

[0115] $P_{Z_t[f_t]|\xi_t=f_t}(z_t[f_t] = 1)$ 取决于每个时刻 (t) 的滤波频谱图 $(S(f_t, t))$ 的计算振幅,

[0116] $P_{Z_t[f]|\xi_t=f_t}(z_t[f] = 1) = 0$, 其中 $f \neq f_t$ 。

[0117] 根据本发明的一个实施例, 计算器CAL在子步骤E51期间根据以下等式计算观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$:

$$P_{Z_t|\xi_t=f_t}(z_t) = |S(f_t, t)| \cdot \mathbf{1}_{[f_{\min}(t), f_{\max}(t)]}(f_t)$$

[0118] 其中, $|S(f_t, t)|$ 是对每个时刻 t 进行滤波的该频谱图 $S(f_t, t)$ 的该计算振幅,

[0119] $f_{\min}(t)$ 是测量到的最小频率轨迹,

[0120] $f_{\max}(t)$ 是测量到的最大频率轨迹,

[0121] $f_{\min}(t)$ 和 $f_{\max}(t)$ 满足 $f_{\min}(t) \leq \xi_t \leq f_{\max}(t)$,

[0122] $\mathbf{1}_{[f_{\min}(t), f_{\max}(t)]}(f_t)$ 是当 f_t 介于 $f_{\min}(t)$ 和 $f_{\max}(t)$ 之间时取值为1, 当 f_t 低于 $f_{\min}(t)$ 或高于 $f_{\max}(t)$ 时取值为0的函数。

[0123] 根据本发明的一个实施例, 计算器CAL在子步骤E51期间进行如下计算

$$P_{Z_t[f_t]|\xi_t=f_t}(z_t[f_t] = 1) = \frac{1}{c_t} |S(f_t, t)| \cdot \mathbf{1}_{[f_{\min}(t), f_{\max}(t)]}(f_t)$$

[0124] 其中 $|S(f_t, t)|$ 是对每个时刻 t 进行滤波的频谱图 $S(f_t, t)$ 的计算振幅。

[0125] 计算器CAL在子步骤E51期间计算除数系数 c_t , 其作为位于最小频率轨迹 $f_{\min}(t)$ 和最大频率轨迹 $f_{\max}(t)$ 之间的频率 f 的最大值 $z_t[f]$, 即:

$$c_t = \max_{f \in [f_{\min}(t), f_{\max}(t)]} z_t[f]$$

[0127] 计算器CAL在子步骤E51期间测量或确定最小频率轨迹 $f_{\min}(t)$ 。计算器CAL在子步

骤E51期间测量或确定最大频率轨迹 $f_{\max}(t)$ 。车辆VE的行驶速度 v 的频率轨迹 ξ_t 包括在最小频率轨迹 $f_{\min}(t)$ 和最大频率轨迹 $f_{\max}(t)$ 之间。因此, $f_{\min}(t) \leq \xi_t \leq f_{\max}(t)$ 。

[0128] 计算器CAL在子步骤E51期间将函数 $1_{[f_{\min}(t), f_{\max}(t)]}(f_t)$ 计算为介于 $f_{\min}(t)$ 和 $f_{\max}(t)$ 之间的单时隙函数,也就是说,对于 f_t 介于 $f_{\min}(t)$ 和 $f_{\max}(t)$ 之间,函数取值为1,对于 f_t 低于 $f_{\min}(t)$ 或高于 $f_{\max}(t)$,函数取值为0。

[0129] 最小频率轨迹 $f_{\min}(t)$ 和最大频率轨迹 $f_{\max}(t)$ 使得仅考虑将跟随的频率轨迹 ξ_t 附近的分量的峰值,并定义频率轨迹 ξ_t 所在的频带成为可能。

[0130] 根据本发明的一个实施例,最小频率轨迹 $f_{\min}(t)$ 在时间 t 上是固定的,也就是说 $f_{\min}(t) = f_{\min}$ 。

[0131] 根据本发明的一个实施例,最大频率轨迹 $f_{\max}(t)$ 在时间 t 上是固定的,也就是说 $f_{\max}(t) = f_{\max}$ 。

[0132] 根据本发明的另一个实施例,最小频率轨迹 $f_{\min}(t)$ 随时间 t 而变化。

[0133] 根据本发明的另一个实施例,最大频率轨迹 $f_{\max}(t)$ 随时间 t 而变化。

[0134] 在目标频率轨迹 ξ_t 散布在其他干扰谐波可能共存的宽频带(例如斜坡)上的情况下,优选地选择随时间 t 变化的频带。这相当于定义了围绕频率轨迹 ξ_t 的两条轨迹 $f_{\min}(t)$ 和 $f_{\max}(t)$ 。例如,所选择的频带在所考虑的时间 t 的整个周期内仅包含一个完整的连续轨迹 ξ_t 。由转移定律 p_ξ 引入的连续性约束具有给予与频率轨迹 ξ_t 的平滑曲线相链接的峰值更多权重的效果。根据本发明的一个实施例,轨迹 $f_{\min}(t)$ 和 $f_{\max}(t)$ 可以由计算器CAL自动计算。根据本发明的一个实施例,用户可以通过随机选择频谱图 $S(f_t, t)$ 中围绕待跟随的峰值序列(振幅最大值)的频谱图 $S(f_t, t)$ 的点,然后通过插值这些点,向计算器CAL规定轨迹 $f_{\min}(t)$ 和 $f_{\max}(t)$ 。频带的定义是可选的,但是使得显著提高方法的性能并最小化计算成本成为可能,特别是在观察到的信号包含大量谐波的情况下。还可以识别停止间隔,并将这一信息纳入 f_{\min} 和 f_{\max} 的定义,以及此后的转移定律。如果该信息不可用,从频谱图 $S(f_t, t)$ 估计停止时刻的简单方法是将频谱图 $S(f_t, t)$ 在所有频率 f 上的每个时刻 $S(f_t, t)$ 的振幅之和与给定阈值进行比较($\text{if } \sum_f A(f, t_0) < \epsilon$,然后在时刻 t_0 停止,其中 $\epsilon > 0$ 是待设置的阈值(例如整个时间轴上所有值的中值))。最小频率轨迹 $f_{\min}(t)$ 和/或最大频率轨迹 $f_{\max}(t)$ 可以由用户在物理数据输入接口INT1上输入,或者已经预先记录在计算器CAL中。在设备1集成到车辆VE的导航设备中的情况下,先验的可能数据,诸如例如 $f_{\min} = 0$ 和 f_{\max} ,可以由用户在物理数据输入接口INT1上输入,或者已经预先记录在计算器CAL中,用于实时导航。

[0135] 在已知目标频率 $\xi_t = f_t \in \Omega$ 时,计算器CAL计算每个时刻 t 的观测概率 Z_t 。

[0136] 根据本发明的一个实施例,在具有中频(Intermediate Frequency, IF)的单分量信号的情况下,如果无噪声信号的频谱图 $S(f_t, t)$ 可用,则 $P_{Z_t | \xi_t \neq \bar{f}_t}(z_t) = 0 \quad \forall f_t \neq \bar{f}_t$,也就是说,只能观察频率 \bar{f} 的频谱 Z_t 。否则, $P_{Z_t | \xi_t = f_t}$ 对于频谱图 $S(f_t, t)$ 的振幅在时刻 t 为最大值的所有频率 f_t ,都很重要。因此,在 $[f_{\min}(t), f_{\max}(t)]$ 中的时刻 t 出现几个峰值(通常与噪声有关)的情况下,函数 $f_t \rightarrow P_{Z_t | \xi_t = f_t}(z_t)$ 可以是多模态的。也就是说,这个相同的观察到的频谱可以对应于几个可能的频率的解 f_t 。通过考虑几倍目标谐波的频谱图 $S(f_t, t)$ 的振幅,将有可能偏向一种模式而不是另一种模式。根据本发明的一个实施例,计算器CAL在子

步骤E51期间根据以下等式计算观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ ：(在这种情况下,概率写成几个概率的乘积)：

$$P_{Z_t|\xi_t=f_t}(z_t) = \prod_{j|j \cdot f_t < \frac{F_s}{2}} \frac{1}{c_t} |S(j \cdot f_t, t)| 1_{[f_{\min}(t), f_{\max}(t)]}(f_t)$$

[0137] 其中, j 可以是任何正整数或实数,满足 $j \cdot f_t < \frac{F_s}{2}$,

[0138] 其中, F_s 是根据频谱图 $S(f_t, t)$ 而预先确定的阈值频率。

[0139] 在第五步骤E5的第二子步骤E52中,由计算器CAL估计频率轨迹 ξ_t 或频率 ξ_t 的观察的后验定律 $p_{\xi|Z}$ 。这个观察的后验定律 $p_{\xi|Z}$ 与频率轨迹 ξ_t 的转移概率 p_{ξ} 和频率轨迹 ξ_t 的观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 的乘积成正比,也就是说 $p_{\xi|Z} \propto p_{\xi} \cdot P_{Z_t|\xi_t}$ 。这种频率轨迹 ξ_t 的观察的后验定律 $p_{\xi|Z}$ 也表示为 $P_{\xi_1, \dots, \xi_{N_s} | Z_1, \dots, Z_{N_s}}$ 或 $p_{\xi|Z}(f_1, \dots, f_{N_s})$ 。

[0140] 根据本发明的一个实施例,在第五步骤E5的第二子步骤E52中,计算器CAL计算观察的后验定律 $p_{\xi|Z}$ 。

$$p_{\xi|Z}(f_1, \dots, f_{N_s}) \propto p_{\xi}(f_1, \dots, f_{N_s}) P_{Z|\xi=(f_1, \dots, f_{N_s})}(z_1, \dots, z_{N_s})$$

[0141] 根据本发明的一个实施例,在第五步骤E5的第二子步骤E52中,计算器CAL计算观察的后验定律 $p_{\xi|Z}$ 。

$$p_{\xi|Z}(f_1, \dots, f_{N_s}) \propto \prod_{t=1}^{N_s-1} p_{\xi_{t+1}|\xi_t=f_t}(f_{t+1}) \prod_{t=1}^{N_s} P_{Z_t|\xi_t=f_t}(z_t)$$

[0142] 根据本发明的一个实施例,在第五步骤E5的第二子步骤E52中,计算器CAL计算观察的后验定律 $p_{\xi|Z}$,该观察的后验定律等于频率轨迹 ξ_t 的转移概率 p_{ξ} 、频率轨迹 ξ_t 的观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 和由计算器CAL计算的乘法因子 C 的乘积,也就是说 $p_{\xi|Z} = C \cdot p_{\xi} \cdot P_{Z_t|\xi_t}$ 。

[0143] 根据本发明的一个实施例,乘法因子 C 可以取值等于1。

[0144] 根据本发明的一个实施例,在第五步骤E5的第二子步骤E52中,计算器CAL计算乘法因子 C 等于：

$$C^{-1} = \sum_{f_1 \in \Omega} \sum_{f_2 \in \Omega} \dots \sum_{f_{N_s} \in \Omega} p_{\xi}(f_1, \dots, f_{N_s}) P_{Z|\xi=(f_1, \dots, f_{N_s})}(z_1, \dots, z_{N_s})$$

[0145] 根据本发明的一个实施例,在第五步骤E5的第二子步骤E52中,计算器CAL计算观察的后验定律 $p_{\xi|Z}$ 等于：

$$p_{\xi|Z}(f_1, \dots, f_{N_s}) = C \cdot p_{\xi}(f_1, \dots, f_{N_s}) P_{Z|\xi=(f_1, \dots, f_{N_s})}(z_1, \dots, z_{N_s})$$

[0146] 根据本发明的一个实施例,在第五步骤E5的第二子步骤E52中,计算器CAL计算观察的后验定律 $p_{\xi|Z}$ 。

$$p_{\xi|Z}(f_1, \dots, f_{N_s}) = C \cdot \prod_{t=1}^{N_s-1} p_{\xi_{t+1}|\xi_t=f_t}(f_{t+1}) \prod_{t=1}^{N_s} p_{Z_t|f_t|\xi_t=f_t}(z_t[f_t] = 1)$$

[0147] 在第五步骤E5的第三子步骤E53中, 计算器CAL根据频率轨迹 ξ_t 的观察的后验定律 $p_{\xi|Z}$ 估计连续时刻 t 的频率轨迹 ξ_t 。计算器CAL在已知由观测概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 给出的观察 Z 时, 从频率轨迹 ξ_t 的观察的后验定律 $p_{\xi|Z}$ 计算频谱图中所有可能轨迹中的最佳轨迹 $\hat{\xi} = (\hat{f}_1, \hat{f}_2, \dots, \hat{f}_{N_s})$ 作为频率轨迹 ξ_t 。从图5的信号计算出的频率轨迹 ξ_t 的示例如图10所示。可以由计算器CAL在物理数据输出接口INT2上(例如通过显示在屏幕上)提供频率轨迹 ξ_t 或 \hat{f} 和/或频率轨迹 ξ_t 或 \hat{f} 的一个或多个频率值(其可以等于车轮R0的瞬时频率)。可以由计算器CAL在物理数据输出接口INT2上(例如通过显示在屏幕上)提供已经由计算器计算出的计算置信区间。在设备1集成到车辆VE的导航设备中的情况下, 频率轨迹 ξ_t 或 \hat{f} 和/或 ξ_t 频率轨迹或 \hat{f} 的一个或多个频率值可以存储在存储器M或另一个存储器中, 并在用于实时导航的另一个滤波器中被实时评估。

[0148] 根据本发明的一个实施例, 在第五步骤E5的第三子步骤E53中, 计算器CAL将每个时刻 t 的频率轨迹 ξ_t 估计为支持度 Ω 中的频率值 f^1, \dots, f^{L_s} 之一, 该支持度使车辆VE在该时刻 t 的行驶速度 v 的频率轨迹 ξ_t 的观察的后验定律 $p_{\xi|Z}$ 最大化。在这种情况下, 计算器CAL在频率值 $\{f^1, \dots, f^{L_s}\}$ 的支持度 Ω 下为每个瞬间 t 选择频率轨迹 ξ_t 。因此, 在这种情况下, 频率轨迹 ξ_t 等于 $\hat{f} = \operatorname{argmax} p_{\xi|Z}(f_1, \dots, f_{N_s})$ 最大化的估计器。这个优化问题的解决可以容易地进行, 例如通过使用动态规划。

[0149] 根据本发明的一个实施例, 在第五步骤E5的第三子步骤E53中, 计算器CAL通过观察概率 $P_{Z_t|\xi_t}$ 与转移概率 p_{ξ} 的高斯核的(例如二维的)卷积来计算观察的后验定律 $p_{\xi|Z}$ 。

[0150] 根据本发明的一个实施例, 在第五步骤E5的第三子步骤E53中, 计算器CAL根据以下等式递归地计算后验律 $P_{\xi_t|Z_1, \dots, Z_t}$:

$$p_{\xi_t|Z_1, \dots, Z_t} \propto (p_{\xi_t|Z_1, \dots, Z_{t-1}} * N) p_{Z_t|\xi_t}$$

[0151] 其中, $*$ 是卷积算子, N 是表示密度 $P_{\xi_t|\xi_{t-1}}$ 的高斯核。这些操作成本并不高。

[0152] 然后, 估计每个时刻 t 的频率轨迹 ξ_t 或作为后验定律 $P_{\xi_t|Z_1, \dots, Z_t}$ 重心的频率 ξ_t , 其分别从支持度 Ω 的频率值 f^1, \dots, f^{L_s} 处获取, 并分别受到这些频率值 f^1, \dots, f^{L_s} 的影响。由此获得的频率 ξ_t 在这种情况下是支持度 Ω 的频率值 f^1, \dots, f^{L_s} 的线性组合, 其权重由后验定律 $p_{\xi|Z}$ 形成, 分别从支持度 Ω 的频率值 f^1, \dots, f^{L_s} 处获取。因此在这种情况下, 车辆VE的行驶速度 v 的频率轨迹 ξ_t 等于:

$$\hat{f}_t = \sum_{f \in \Omega} f \cdot p_{f|\xi_t|Z_1, \dots, Z_t}$$

[0153] 因此, 频率轨迹 ξ_t 是后验均值, 会产生更平滑的结果。

[0154] 在第五步骤E5之后的第六步骤E6期间,计算器CAL从频率轨迹 ξ_t 估计连续时刻t的车辆VE的车轮R0的行驶速度v。可以由计算器CAL在物理数据输出接口INT2上(例如通过显示在屏幕上)提供车辆VE的车轮R0的行驶速度v。在有导航设备的情况下,车辆VE的车轮R0的行驶速度v可以存储在存储器MEM或另一存储器中,并在用于实时导航的另一个滤波器中被实时评估。

[0155] 根据本发明的一个实施例,在第六步骤E6中,计算器CAL通过将车辆VE的行驶速度v的频率轨迹 ξ_t 乘以车轮R0的周长 $2\pi R$ 来估计车辆VE的车轮R0在时刻t的行驶速度v,其中R是车轮R0的半径,并且例如在通过任何方法进行导航期间预定或估计该R值。速度v也被表示为 \hat{v} ,并且在这种情况下是切向速度。因此 $\hat{v} = 2\pi R \xi_t$ 或 $\hat{v} = 2\pi R \hat{f}$ 。车轮R0的半径R和/或直径和/或车轮R0的周长 $2\pi R$ 可以由用户在物理数据输入接口INT1上输入,或者已经预先记录在计算器CAL中。

[0156] 根据本发明的另一个实施例,在第六步骤E6中,计算器CAL将车辆VE的车轮R0在时刻t的行驶速度v估计为车辆VE的车轮R0的旋转频率(每秒转数),等于时刻t的频率轨迹 ξ_t 。

[0157] 本发明特别地具有以下优点:

[0158] 移除传感器,不再需要里程表。这是非常有趣的,特别是在传感器非常昂贵的航空领域,这不仅因为传感器对极端环境(高压和高温)的抵抗,还因为协调上的原因,其中最轻微的传感器也会改变结构的模态特性。

[0159] 通过使用存在于大量线性相关谐波中的信息来精确估计瞬时速度v,使得估计该速度的细微变化而不是粗略估计成为可能。

[0160] 还考虑了频率或转速的截取问题(通常存在于飞机发动机中),以及这种变化的连续性。

[0161] 该方法通过允许用户先验地给出速度(例如根据图4,如果处于上升状态或准静止状态),提供了日益提高估计准确性的可能性。虽然该信息不是强制性的,但它可以显著提高所获得信号的质量。

[0162] 当然,上述实施例、特性、可能性和示例可以相互组合或相互独立地选择。

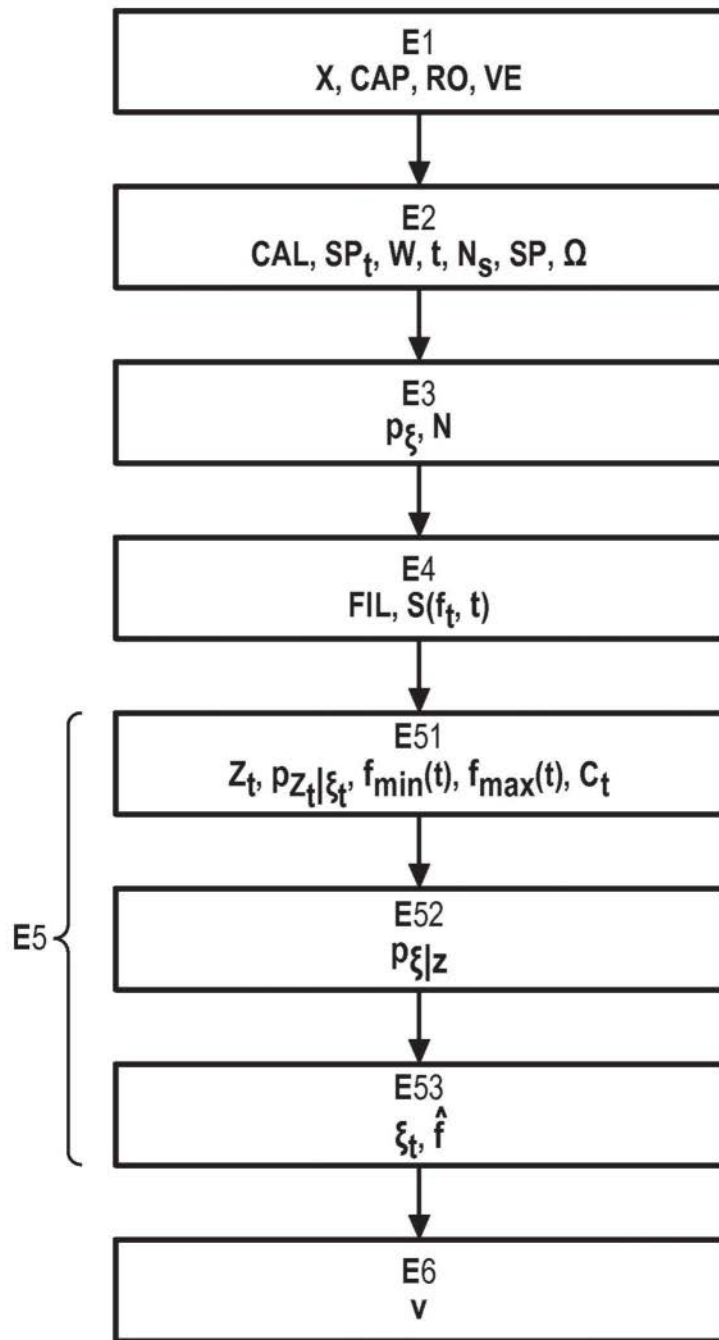


图1

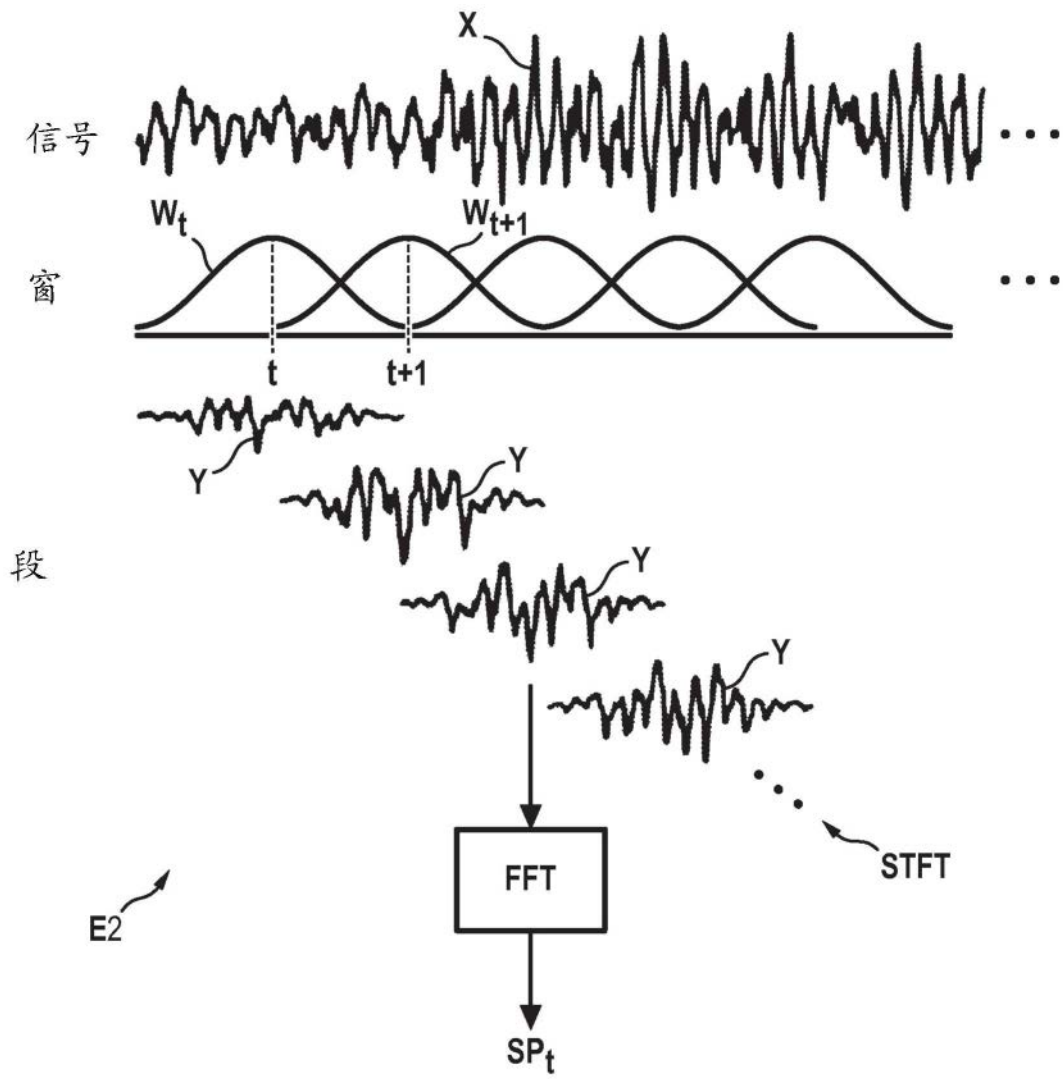


图2

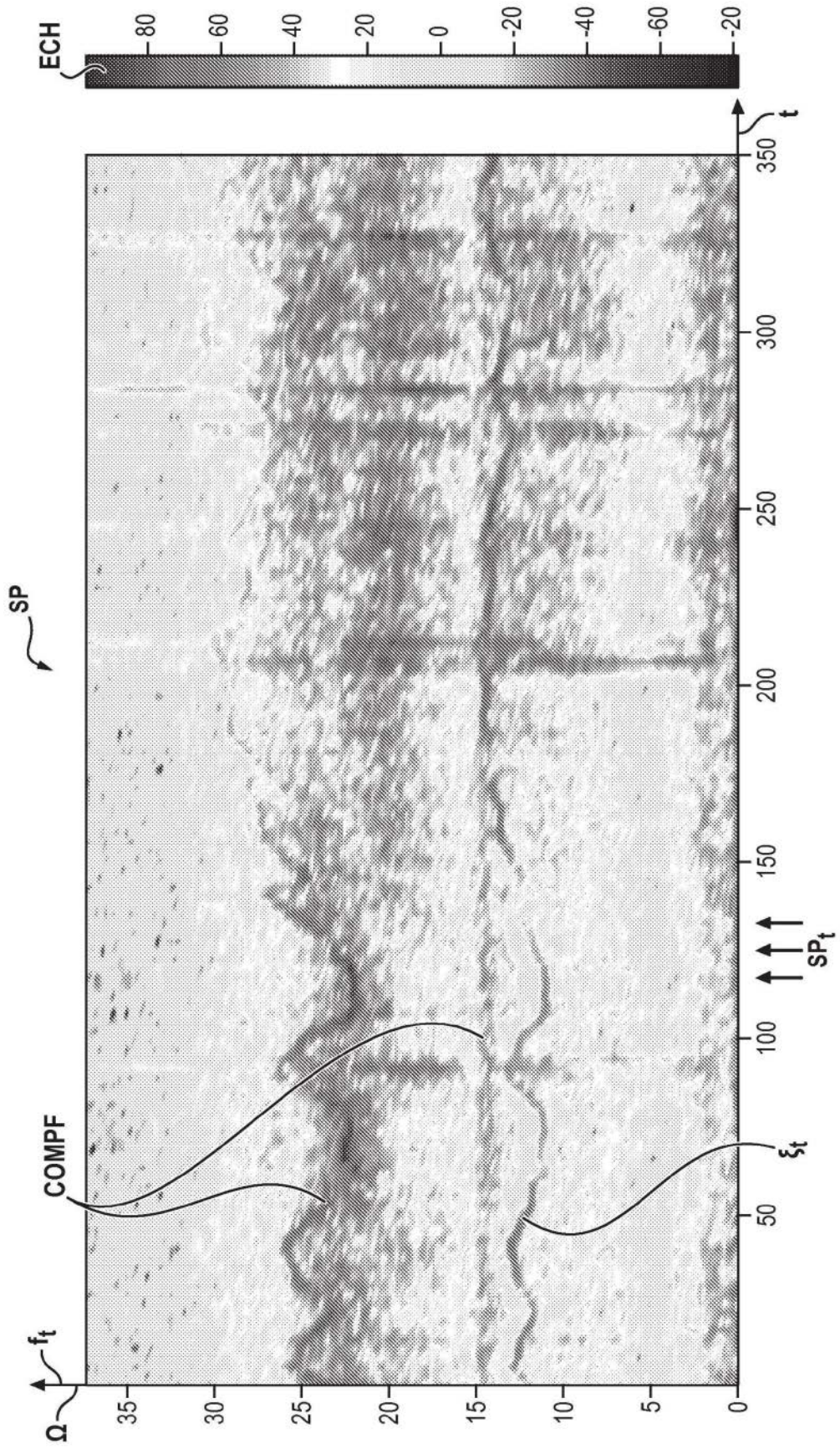


图3

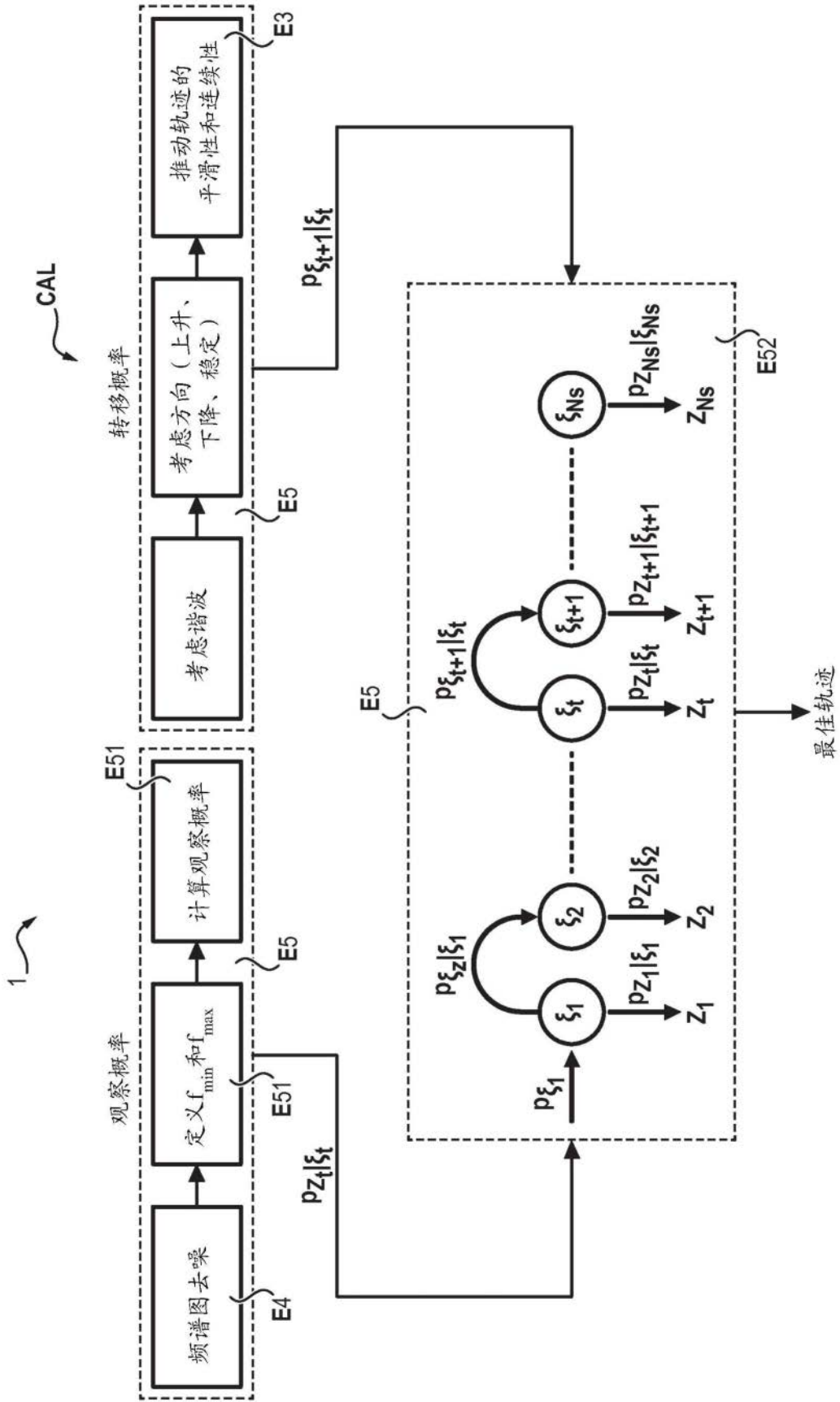


图4

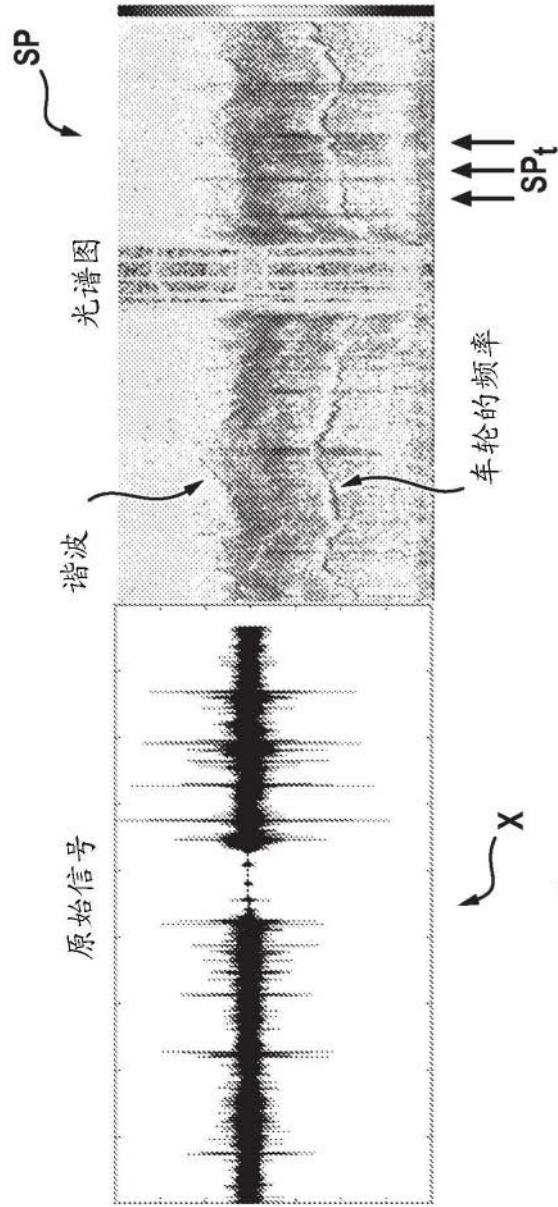


图 6

图 5

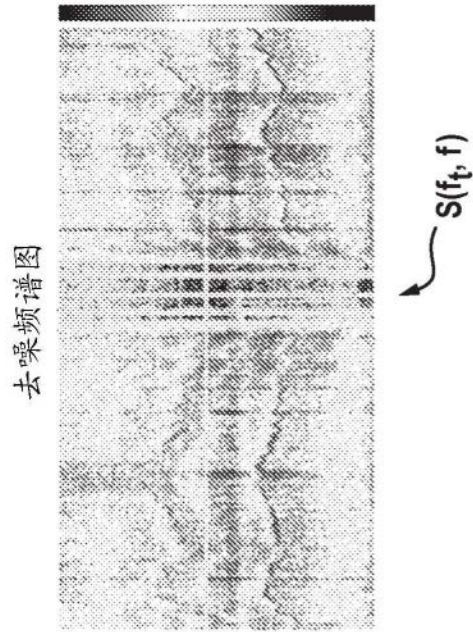


图7

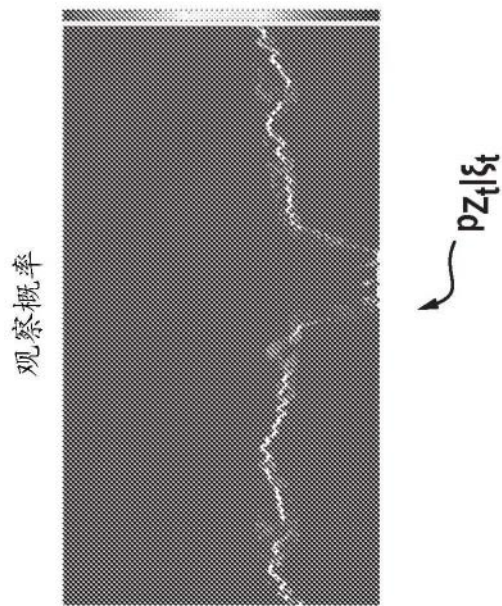


图8

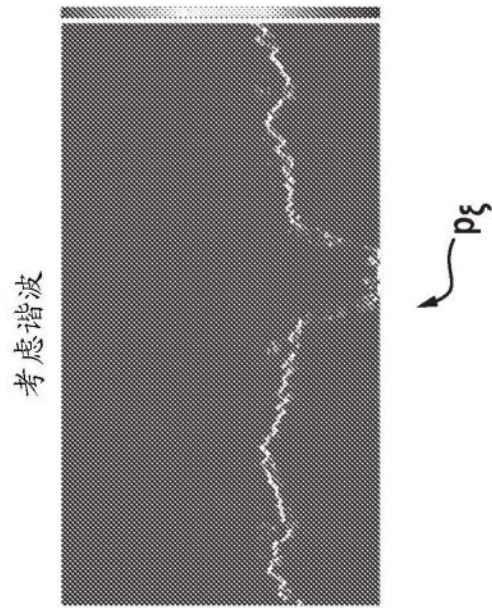


图9

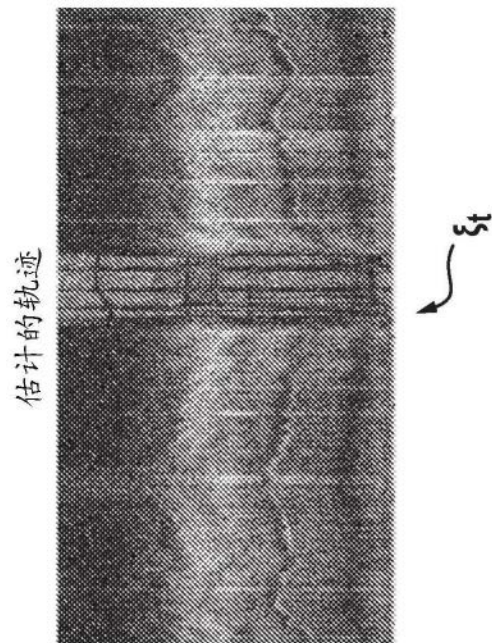


图10

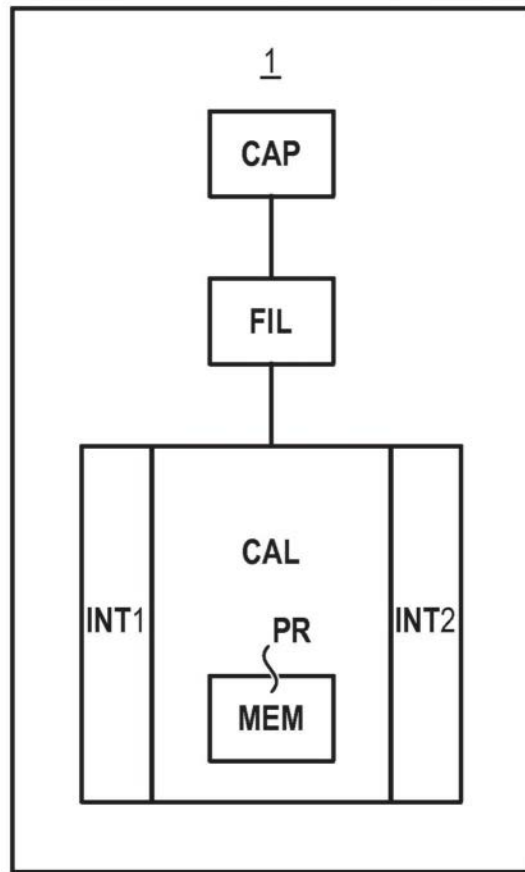


图11