

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G06K 7/10

G06K 19/067 G01S 13/02

B60C 23/04



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02816494.6

[43] 公开日 2004 年 11 月 17 日

[11] 公开号 CN 1547723A

[22] 申请日 2002.8.23 [21] 申请号 02816494.6

[30] 优先权

[32] 2001.8.23 [33] GB [31] 0120571.5

[86] 国际申请 PCT/GB2002/003895 2002.8.23

[87] 国际公布 WO2003/019461 英 2003.3.6

[85] 进入国家阶段日期 2004.2.23

[71] 申请人 传感技术有限公司

地址 英国比斯特郡

[72] 发明人 V·A·卡利宁 J·P·贝克利

G·E·鲍恩

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

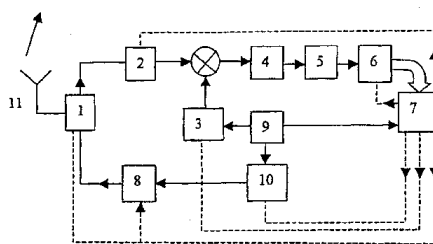
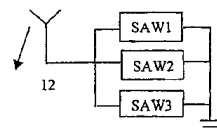
代理人 王岳 陈景峻

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 2 页

[54] 发明名称 用于被动传感器监视系统的询问方法

[57] 摘要

确定多个谐振器件(例如三个 SAW 器件)的频率的方法包括:为每个器件确定最佳询问频率,最佳询问频率具有最大功率谱密度;为每个传感器累积多个响应;对采样结果进行离散傅立叶变换以估算三个谐振频率;以及对傅立叶变换的结果求平均以提供谐振频率的指示。求平均的步骤可包括计算标准偏差和拒绝与平均频率结果相差了标准偏差的预定倍数以上的任何结果。通过所述方法确定的频率可被用于计算传感器器件的压力和温度。传感器器件可被置于车辆轮胎中。



ISSN 1008-4274

1. 一种询问多个谐振器件以确定器件的相应谐振频率的方法，包括以下步骤：
 - (1) 为每个谐振器件确定最佳询问频率；
 - 5 (2) 以由步骤(1)确定的其相应最佳询问频率来重复询问每个谐振器件多次；
 - (3) 对作为步骤(2)的结果而累积的数据进行离散傅立叶变换，以及
 - (4) 确定从步骤(3)得到的频率的平均值。
- 10 2. 权利要求1的方法，其中步骤(4)包括为每个所确定的平均频率而确定标准偏差；拒绝与平均频率相差了标准偏差的预定倍数以上的任何频率；以及在排除了被拒绝的数据之后重新计算平均频率。
3. 权利要求1或权利要求2的方法，其中最佳询问频率是通过确定来自谐振器件的信号具有最大功率谱密度时的频率而确定的。
- 15 4. 权利要求3的方法，其中最大功率谱密度是通过频率下转换，在中间频率处采样响应并计算离散傅立叶变换而确定的。
5. 权利要求3的方法，其中最大功率谱密度是借助具有自动增益控制的线性放大器来确定的，最佳频率被选择成使谱密度的峰值对其旁瓣的平均电平的比最大。
- 20 6. 权利要求3的方法，其中最大功率谱密度是通过使用限幅放大器来确定的，频率被选择成使传感器响应的长度最大。
7. 任何上述权利要求之一的方法，其中最佳询问频率位于ISM带的相应子带内。
8. 任何上述权利要求之一的方法，其中在权利要求1的步骤2的重复期间，所接收的每个信号被下转换、采样并累积以提供最佳询问频率的相干累积。
- 25 9. 权利要求8的方法，其中相干累积是通过使用在接收器和发射器合成器中的公用振荡器和DPS芯片中的时钟发生器而实现的。
10. 任何上述权利要求之一的方法，其中步骤2中的重复性询问的数量和进行这种询问的速度是这样的，与相对于询问设备的传感器的任何循环运动的周期相比，总询问周期是小的。
- 30 11. 任何上述权利要求之一的方法，其中每个相干累积在每个询

问频率处被重复,但在累积的第二循环期间 90° 的附加相移被引入到询问脉冲中,或者以累积的第二循环期间的延迟来获取采样。

12. 任何权利要求 1 到 10 之一的方法,其中采样速率以以下方式被选择: 采样间隔对应于中间频率处的 90° 相移除以一个整数。

5 13. 任何上述权利要求之一的方法,其中所确定的频率被用于计算压力和温度。

14. 任何上述权利要求之一的方法,其中谐振器件是 SAW 器件。

用于被动传感器监视系统的询问方法

本发明涉及一种基于无线询问的被动传感器发射机应答器来询问
5 传感器系统的方法，所述被动传感器应答器例如被用于测量车辆轮胎
中空气压力和温度。更具体而言，本发明的优选实施例提供了一种被
动传感器询问算法，其允许对压力和温度的高精度测量。

对被动压力和温度传感器的无线询问问题的许多解决方案在现有
技术中是已知的。传感器利用单端口延迟线或单端口谐振器，优选地
10 基于 SAW 技术，尽管其它途径亦是可能的（例如，体声波器件或电介
质谐振器）。延迟线〔见 F. Schmidt and G. Scholl, Wireless SAW
identification and sensor systems. 书名 “Advanced in Surface
Acoustic Wave Technology, Systems and Applications”, Ed. C.
W. C. Ruppel and T. A. Fjeldly, Singapore, World Scientific,
15 2002, p. 287.〕或谐振器〔见 W. Buff, S. Klett, M. Rusko, J.
Ehrenpfordt, and M. Goroll. Passive remote sensing for
temperature and pressure using SAW resonator devices. IEEE
Trans. On Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control,
vol. 45, No. 5, 1998, pp. 1388-1392.〕的使用受这样的必要性支
20 配，即一方面区分被动传感器响应而另一方面区分直接馈通信号以及
环境回波信号的必要性。这是通过采用延迟线和谐振器的脉冲响应比
任何寄生信号长的多的事实而实现的。

基于延迟线的被动 SAW 传感器的询问通常是借助很短（典型为 0.1
 μs ）的 RF 脉冲来进行的。作为结果，询问系统需要 10 MHz 或更高的
25 相对宽的带宽，这在低于 1 GHz 的免许可的工业、科学和医疗（ISM）
带中是不能获得的。基于高 Q 因子单端口谐振器的传感器较适合于这
些带，这是由于其具有窄带响应。为此，我们应将注意力集中在优选
地基于 SAW 谐振器的谐振器型被动传感器的询问上。询问的主要目的
是测量在由相对长和窄带的 RF 询问脉冲来激励的谐振器中自然振荡的
30 频率（谐振频率）。由于可以使谐振频率依赖于温度和压力，因此已
知谐振频率可允许计算温度和压力。

为了排除变化的天线阻抗对谐振频率的影响，现有技术〔见以上

提及的 W. Buff, S. Klett, M. Rusko, J. Ehrenpfordt, and M. Goroll] 提出了测量被连接于一个天线的两个相似谐振器(可能有略为不同的谐振频率)的自然振荡频率之间的差。如果两个谐振器处于相同的温度并具有不同的压力灵敏度,则可从频率差得到压力,并且温度的影响将被大大减小。这两个谐振器可通过同时在两个谐振器中的双谐波 RF 脉冲激励的自然振荡来询问[见 GB9925538.2]。当询问脉冲结束时,响应将提供一个指数衰减的拍信号,其具有与所测频率差相等的拍频。拍频可借助振幅检测和周期计数来精确地确定。

在同时测量压力和温度两者的情况下,需要被连接于一个天线的至少三个谐振器并且需要测量两个频率差以计算两个未知数,压力和温度[见 W. Buff, M. Rusko, M. Goroll, J. Ehrenpfordt, and T. Vandahl. Universal pressure and temperature SAW sensor for wireless applications. 1997 IEEE Ultrasonics Symp. Proceedings, 1997, pp. 359-362]。在此情况下测量拍频是不可能的。以下询问技术从文献中是已知的。

1. 依次通过 RF 脉冲来激励谐振器。每个谐振器的指数衰减的响应由天线拾取,被用作用于谐振频率的选通 PLL 跟踪变化的输入信号[见 A. Pohl, G. Ostermayer, and F. Seifert. Wireless sensing using oscillator circuits locked to remote high-Q SAW resonator. IEEE Trans. On Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 45, No. 5, 1998, pp. 1161-1168]。该技术较适合于单个谐振器,而在三个谐振器的情况下变得过于麻烦和不可靠,特别是当其频率彼此接近时。

2. 依次通过 RF 脉冲来激励谐振器。每个谐振器的指数衰减的响应由天线拾取,被下转换成较低的中间频率,然后自然振荡的周期被计数[见 GB9925538.2]。该方法对于单个谐振器或当谐振频率之间的距离比谐振器带宽大的多时有很好的效果。然而,如果它小于带宽的 10 倍(在 ISM 带中就是这样),则多于一个的谐振器将被 RF 脉冲激励,从而导致传感器响应中的寄生频率调制和测量精度的大幅减小。

3. 在一次运行中激励全部三个谐振器。传感器响应的频谱借助离散傅立叶变换在接收器中被分析,并且全部谐振频率被测量[见 L.

Reindl, G. Scholl, T. Osterag, H. Scherr, and F. Schmidt. Theory and application of passive SAW radio transponders as sensors. IEEE Trans. On Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 45, No. 5, 1998, pp. 1281-1291]。

5 该途径允许对大量谐振器的询问。然而，它需要使用覆盖传感器工作的整个频率范围的宽带 RF 脉冲。记住询问脉冲的峰值功率被限制于 ISM 带中（通常它不大于 10 mW），显然扩展脉冲的频谱将减小谐振器激励的效率。它不利地影响了信噪比（SNR）并因此影响了测量精度。

本发明的目的是提供一种询问方法，其保留了傅立叶分析的优点，同时提供了谐振器激励的高效率和测量的高精度。

10 依照本发明的一个方面，询问多个谐振器件以确定器件的相应谐振频率的方法包括以下步骤：

（1）为每个谐振器件确定最佳询问频率；

（2）以由步骤（1）确定的其相应最佳询问频率来重复询问每个
15 谐振器件多次；

（3）对作为步骤（2）的结果而累积的数据进行离散傅立叶变换，以及

（4）确定从步骤（3）得到的频率的平均值。

20 参考附图，从对仅为了举例而给出的本发明优选实施例的以下描述中将较好地理解本发明，在附图中：

图 1 示意性地示出用于在车辆轮胎中使用的压力和温度监视系统；并且

图 2 示出本发明提出的询问算法。

首先参考图 1，本发明特别适用于监视车辆轮胎中的温度和压力的
25 系统。然而应理解，本发明不局限于这种应用，并且适用于要监视压力和温度的其它情况，或者实际上适用于要通过被动传感器系统测量多个其它周长的其它情况。本发明的优选实施例包括三个表面声波器件 SAW1、SAW2 和 SAW3，其被连接于公用天线 12。尽管作为产生指示所传感条件的信号的装置，SAW 器件是优选的，然而应理解本发明不局
30 限于这样的器件，并且可采用能借助谐振频率来提供适当指示的其它被动传感器。

在本发明的特定优选应用（车辆轮胎压力和温度传感）中，SAW

器件 SAW1、SAW2、SAW3 以及天线 12 作为单元 A 被安装于车辆轮胎内。激励和监视单元 B 被置于车辆上以提供激励信号给轮胎安装单元并从它接收响应信号。为此，单元 B 包括天线 11，用于与包装 A 的天线 12 通信。

5 询问脉冲由通过发射器合成器 10 激励的功率放大器 8 产生。该脉冲经过 RF 开关 1 到达询问单元 B 的天线 11。所辐射的电磁波被传感器单元 A 的天线 12 拾取，由此激励传感器中的三个 SAW 谐振器。再次辐射的传感器响应被传感器天线发射并由天线 11 接收。该信号经过前端低噪放大器 2 到达频率转换器，在这里它被与接收器合成器 3 的信号混合。接收器合成器 3 和发射器合成器 10 之间的频率差等于中间频率，例如 1 MHz。该 IF 信号经过滤波器 4 和限幅放大器（其增加接收器的动态范围）到达 8 位或 10 位模拟到数字转换器 6，其具有与 IF 相比足够高的采样速率，例如 10 或 20 MHz。数字格式的传感器响应被存储在 DSP 芯片 7 的内部存储器中，在这里，它在询问过程中被以相干方式累积。然后所述芯片对全部三个 SAW 传感器执行对数据的傅立叶变换，计算三个谐振频率，执行求平均过程并计算压力和温度。DSP 芯片 7 亦控制合成器 3 和 10、RF 开关 1 和 ADC 6 的工作。此外，它亦使能和禁止功率放大器 8 和 LNA 2 以增加接收器和发射器之间的隔离。作为确保传感器响应的相干累积的措施之一，相同的石英晶体振荡器 9 被优选地用作用于两个合成器并用于 DSP 芯片的基准。

以上系统亦可通过使用增加图像通道拒绝 (image channel rejection) 的双频转换接收器来实施。可替换的接收器体系结构可基于直接频率转换。这将导致去除一个合成器并增加第二混合器和 ADC 以产生正交通道。

25 现在参考图 2，本发明的优选方法将被描述。三个谐振器 SAW1、SAW2、SAW3 具有略有不同的谐振频率和不同的温度和压力灵敏度。频率以以下方式被选择：其之间的最小距离在任何压力和温度下不小于谐振器带宽。作为结果，整个工作频带（例如 ISM 带）被分成由这三个谐振器占用的三个子带。

30 传感器 A 是通过具有等于或小于谐振器带宽的谱宽的矩形 RF 脉冲来询问的。这在询问频率接近于谐振器谐振频率的情况下确保了对谐振器的有效激励。在每个子带中，存在以以下方式被选择的几个离散

询问频率：其之间的距离等于或小于谐振器的带宽。离散询问频率的数量取决于 SAW 谐振器的 Q 因子。例如，在无载 $Q=5000$ 的情况下，具有 434 MHz ISM 带内的九个询问频率将是足够的。

5 作为结果，不论温度和压力怎样，将总存在确保三个谐振器的最佳激励的来自所选离散频率集合的三个询问频率。激励从以下意义上来说是最好的，即在询问脉冲的结尾谐振器中振荡的振幅将接近于用于给定激励振幅的最大的可能的一个。

询问过程由如图 2 中的流程图所示的五个主要阶段组成。

1. 确定使传感器响应的功率谱密度最大的三个最佳询问频率

10 在该阶段，逐个以全部离散询问频率来询问传感器。每次在启动询问脉冲之后，传感器响应被接收并且其谱密度被得到。这可例如通过频率下转换，以中间频率来采样响应并计算离散傅立叶变换而实现。之后，三个最佳频率被选择，每个子带中一个，从而给出谱密度的最大峰值。可替换的是，如果具有自动增益控制的线性放大器被用在接收器中，则可选择使谱密度的峰值与其旁瓣的平均电平的比最大的三个频率。可替换的是，如果限幅放大器被用在接收器中，则可选择使传感器响应的长度最大的三个频率。

15 在该阶段，我们可能已通过测量谱密度的峰值频率确定了三个谐振频率。然而，由于噪声的存在和傅立叶分析的有限分辨率，这将仅给予我们对自然振荡实际频率的粗略估算。

2. 传感器响应的相干累积

25 在该阶段，我们依次以每个最佳询问频率来重复对传感器的询问 N 次。由接收器拾取的信号被下转换、采样并以相干方式累积于系统存储器中的三个数据阵列中。相干累积的目的是使 SNR 增加 \sqrt{N} 倍。例如，通过使用在接收器和发射器合成器两者中并作为 DSP 芯片中的时钟发生器的公用的石英稳定化的振荡器可确保相干累积。换句话说，处于中间频率的询问信号的周期以及询问脉冲之间的距离被选择成采样周期的整数。此外，所累积的脉冲的数量 N 被选择成足够小 ($N=10\ldots 30$) 以使相干累积 (近似 1...2 ms) 所需的总时间与车辆轮胎旋转的周期相比足够小 (例如 1/40)。作为结果，传感器天线位置的变化将不导致累积期间传感器响应的相位的大变化。从使三个谐振器之间的频率差变化最大的观点来看它也是重要的，所述变化是由作为轮胎旋转的结

果的天线阻抗变化而导致的。

在进行相干累积之前，亦在三个最佳询问频率的每个处检查干扰的存在。这可例如通过比较在询问脉冲不存在的情况下所接收的信号
5 的谱密度的最大值与适当的阈电平而实现。较简单的干扰检测过程亦可被用在相干累积循环内。在此情况下，可通过在启动每个询问脉冲之前的 1-2 μs 内测量所接收的信号峰值来检测干扰。

3. 离散傅立叶变换和插值

在该阶段，作为相干累积的结果而获得的三个数据阵列被用于借
10 助离散傅立叶变换 (DFT) 来计算三个谱密度。每个谱都包含对应于单个谐振器频率响应的峰值，尽管由于两个其它谐振器的激励而可以有其它峰值。然而，主峰值具有较大的振幅，而较小的峰值被忽略。主峰值频率对应于自然振荡的相关频率。傅立叶分析的分辨率 Δf 通过零填充增加以使分析时间例如从 10-20 μs 被增加到高达 0.1-0.2 ms，从而给出 $\Delta f=5-10$ kHz。该精度对于许多应用仍是不够的。

15 通过在峰值频率附近使用正交或较高阶插值以精确地得到用于每三个谐振器的谐振频率可实现精度的进一步增加。作为结果，精度不再由傅立叶分析的分辨率来限制而主要由系统噪声来限制。

除了由于噪声而造成的频率测量误差的随机分量以外，亦存在由于
20 于传感器响应的有限长度而造成的系统分量（偏离）。偏离的值取决于中间频率处传感器响应脉冲的初始相位角，并且它可从相干累积的一个循环到另一个而变化。预测它是不可能的，这是因为初始相位是由未知谐振频率和询问频率之间的距离来确定的。以下方法被用于在很大程度上减小偏离并因此增加系统的精度。

a) 相干累积在每个询问频率处被重复两次，但 90° 的附加相移在
25 累积的第二循环期间被引入到询问脉冲中。可替换的是，以延迟 $\tau=1/(4f_{int})$ 来获取采样，其中 f_{int} 是累积的第二循环期间的额定中间频率（询问频率和本地振荡器的频率之间的差）。DFT 和插值过程亦被进行两次，并且两个所得峰值频率的平均值被得到。该平均频率变得更接近于所测的谐振频率，这是因为两个峰值频率中的偏离具有相反的
30 符号和近似相等的绝对值，因而它们相互抵消。该方法的缺点是测量的总时间被加倍。

b) 第二种方法不需要增加测量时间。相干累积在每个询问频率处

被重复一次。采样速率以以下方式被选择：采样间隔 T_s 对应于额定中间频率处的 90° 相移除以任何整数。换句话说， $T_s = \tau/n$ ，其中 $n=1, 2, 3, \dots$ 。例如，如果 $f_{int}=1$ MHz，则由于 $\tau=0.25$ μs ， T_s 可被选择成等于 0.05 μs 。对从第一个开始的采样进行第一 DFT，并且对从第 n 个开始的采样进行第二 DFT。实际上这意味着我们具有了两个采样集合之间的 90° 相移。作为对借助 DFT 和插值而得到的两个峰值频率求平均的结果，偏离的值在很大程度上被减小。举例来说，对于 350 kHz 的三个谐振频率之间的最小距离，偏离的最大值从 1.69 kHz 被减小到 0.57 kHz。

10 4. 对谐振频率数据的统计学处理和分析

阶段 1 到 3（或者仅当谐振频率慢并且不需要阶段 1 的频繁重复时，阶段 2 或 3）被连续重复，并且有关三个谐振频率的数据被存储在系统存储器中的数据阵列中。在插值的 M 次循环（ M 可在宽范围内变化，例如从 10 到 300）之后，三个谐振频率的每个的平均值 $f_{1,2,3}$ 和标准偏差 $\sigma_{1,2,3}$ 被计算。作为结果，与 $\sigma_{1,2,3}$ 相比， $f_{1,2,3}$ 的标准偏差被进一步减小到近似 $1/\sqrt{M}$ 。然后对不满足条件

$$|f_i - f_{1,2,3}| \leq k\sigma_{1,2,3}$$

（其中 k 可具有从 1 到 3 的值）的相关阵列中的所有频率 f_i 不予考虑，并且再次重新计算平均频率。进行最后的过程是为了排除相干累积期间干扰的可能影响和信号振幅的突然减小，其可导致谐振频率的粗略误差。标准偏差 $\sigma_{1,2,3}$ 亦可被用作对有关谐振频率的信息的有效性的量度。

20 5. 压力和温度的计算

在求平均之后，两个差频率被计算，然后使用例如在 Ref. [4] 中描述的途径而得到压力和温度。

所提出的询问方法的目的是实现好于 5×10^{-6} 的谐振频率测量精度。在工作于 434 MHz ISM 带中的 SAW 谐振器的情况下，它应给出好于 1 psi 的压力测量精度和好于 1°C 的温度测量精度。

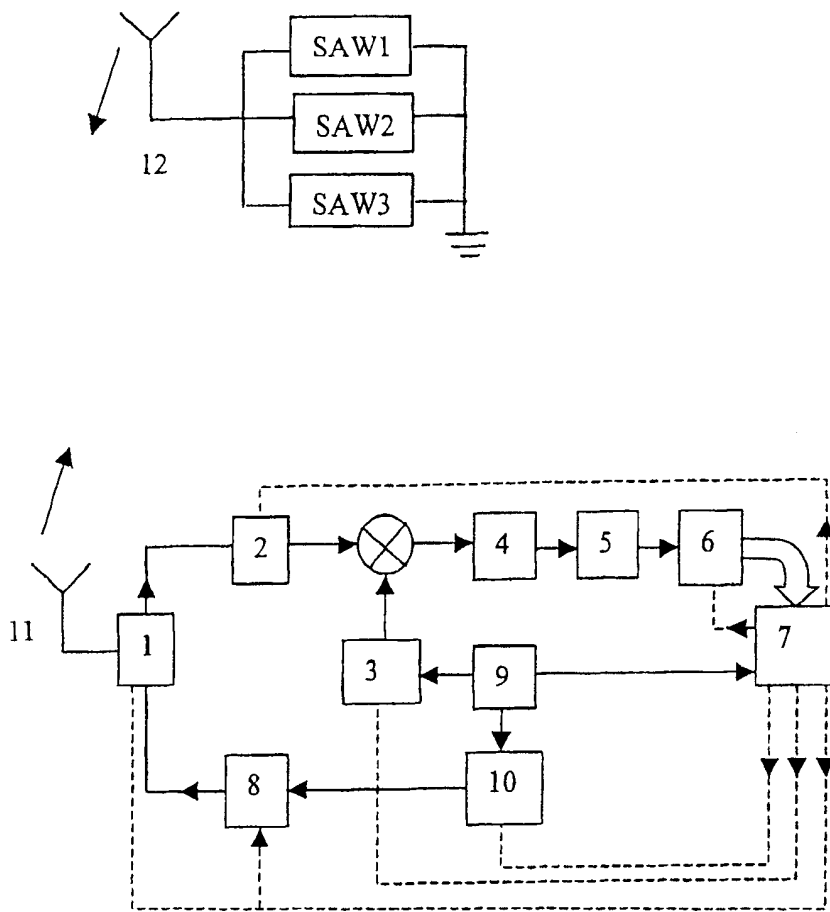


图 1

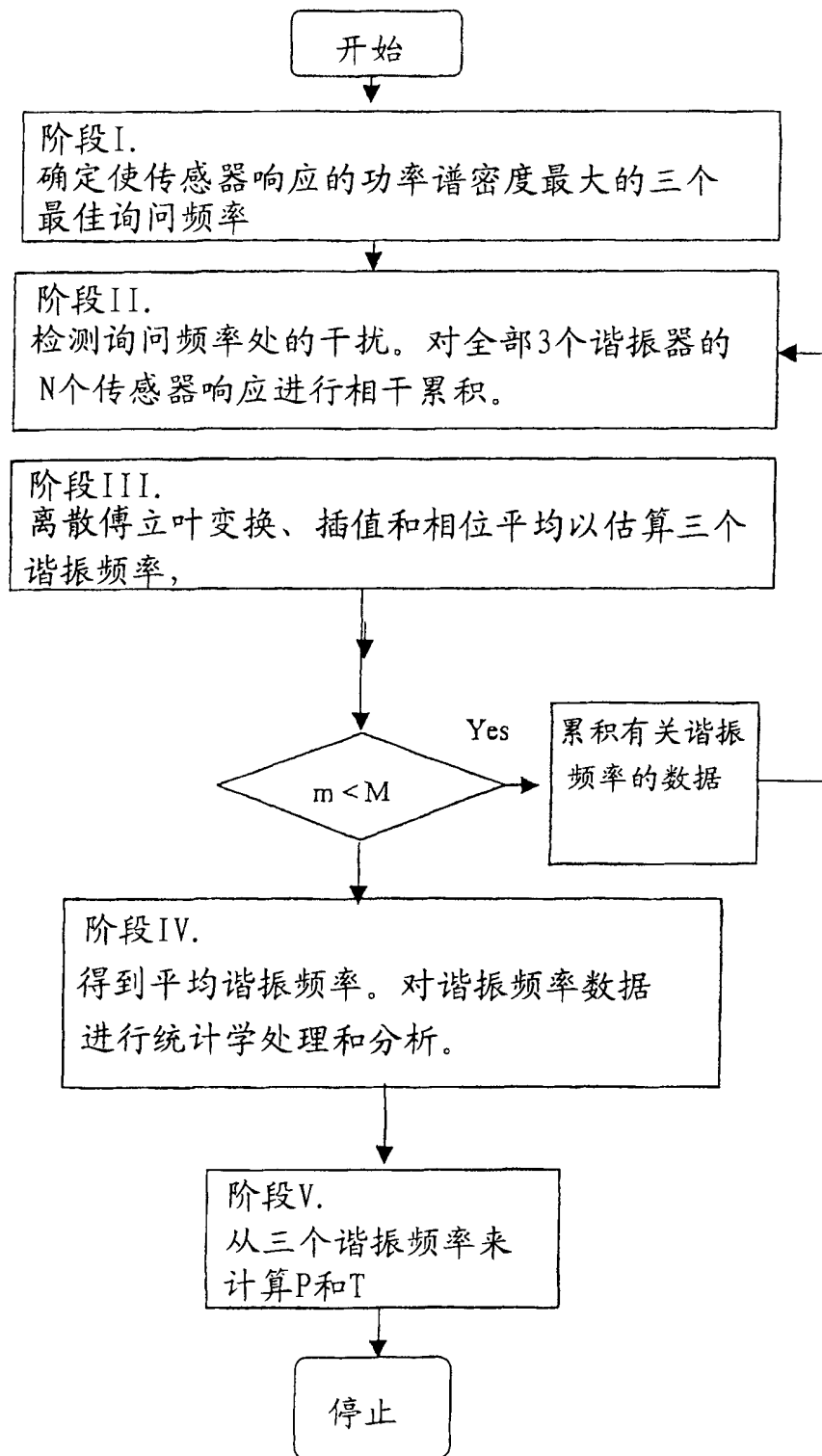


图 2