



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107219376 A

(43)申请公布日 2017.09.29

(21)申请号 201710390272.0

(22)申请日 2017.05.27

(71)申请人 华北电力大学

地址 102206 北京市昌平区朱辛庄北农路2号

(72)发明人 吴诗彤 钱相臣 闫勇

(74)专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理有限公司 11246

代理人 张文宝

(51)Int.Cl.

G01P 3/80(2006.01)

权利要求书2页 说明书4页 附图2页

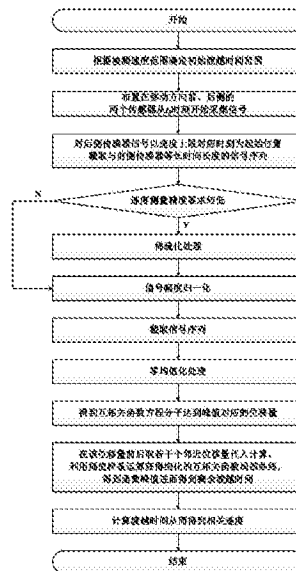
(54)发明名称

一种适应对象运动特性的互相关测速方法

(57)摘要

本发明公开了属于速度测量技术领域的一种适应对象运动特性的互相关测速方法。在被测对象移动方向前后侧各安装传感器,先根据被测对象速度范围确定渡越时间范围,对后侧传感器采集到的传感器信号以速度上限对应时刻为起始位置截取与前侧传感器信号等长时间长度的信号序列,若测量精度要求低则进行稀疏化处理。然后,对信号进行归一化后截取信号序列并进行零均值化处理,再代入互相关函数分子部分,得到峰值对应的位移量。最后,在该位移量前、后取若干邻近位移量进行互相关运算,利用插值样条运算获得互相关函数局部曲线,得到渡越时间并得到互相关速度。本发明广泛适用于工业生产过程中运动物体速度的测量,提高了互相关测速算法的实时处理速度。

CN 107219376 A



1. 一种适应对象运动特性的互相关测速方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,由已知被测对象速度的上限值 v_1 和下限值 v_2 ($v_1 \geq v_2$),依据下式(1)确定初始渡越时间的上限值 τ_1 和下限值 τ_2 ($\tau_1 \geq \tau_2$):

$$\begin{cases} \tau_1 = l/v_2 \\ \tau_2 = l/v_1 \end{cases} \quad (1)$$

其中, l 为布置于被测对象移动方向前、后两个传感器的间距;若被测对象速度范围未知,则将 v_1 、 v_2 分别设为被测对象在合理客观条件下或理论上的最大值和最小值;所述前、后两个传感器为与测量被测对象特性的相关类型的传感器;

步骤2,从 t_0 时刻开始,利用两个传感器以采样率 f_0 采集信号;其中 f_0 满足香农采样定理,且能使采样信号保持原始模拟信号的主要特征;

步骤3,根据上述被测速度下限值 v_2 和前、后侧传感器信号的波动情况合理选取采样时间长度 T 值,至少选取略大于 $2\tau_1$ 的值;

步骤4,以 t_0 时刻为起始位置,截取采样时间长度为 T 的前侧传感器信号,以($t_0 + \tau_2 - \Delta t$)时刻为起始位置截取采样时间长度为 T 的后侧传感器信号,其中 Δt 的选取根据被测对象速度变化特性确定;

步骤5,根据速度测量精度要求判断是否需要原数据列进行稀疏化处理;当精度要求较低时,等间隔抽取一部分采样数据,对原数据列进行稀疏化处理。

步骤6,利用下式(2)使信号幅度归一化:

$$\begin{cases} a_{i,norm} = \frac{a_i - a_{min}}{a_{max} - a_{min}} \\ b_{i,norm} = \frac{b_i - b_{min}}{b_{max} - b_{min}} \end{cases} \quad (2)$$

其中,序列 a_i 、 b_i ($i=1, 2, \dots, N$)分别表示前、后侧传感器信号的第 i 个采样值, a_{min} 、 b_{min} 分别表示前、后侧传感器信号中采样数据的最小值, a_{max} 、 b_{max} 分别表示采样数据的最大值,序列 $a_{i,norm}$ 、 $b_{i,norm}$ ($i=1, 2, \dots, N$)分别表示归一化处理后的 a_i 、 b_i ;

步骤7,从归一化处理后的采样值($a_{1,norm}, a_{2,norm}, \dots, a_{N,norm}$)中,以 $a_{1,norm}$ 为起始点截取前侧传感器信号($a_{1,norm}, a_{2,norm}, \dots, a_{n,norm}$),定义为序列 $a_{i,norm}$;从归一化处理后的采样值($b_{1,norm}, b_{2,norm}, \dots, b_{N,norm}$)中以 $b_{1,norm}$ 为起始点截取后侧传感器信号($b_{1,norm}, b_{2,norm}, \dots, b_{n,norm}$),定义为序列 $b_{i,norm}$; m 为位移量, $0 \leq m \leq N-n$,序列 $b_{i,norm}$ 随 m 值变化而不断更新, m 值每增加1,序列 $b_{i,norm}$ 向右移动一位,得到的新序列($b_{1+m,norm}, b_{2+m,norm}, \dots, b_{n+m,norm}$),定义为序列 $b_{i+m,norm}$;

步骤8,对上述的每一数据序列进行零均值化处理,以简化互相关函数运算:

$$\begin{cases} x_i = a_{i,norm} - \bar{a}_i \\ y_{i+m} = b_{i+m,norm} - \bar{b}_{i+m} \end{cases} \quad (3)$$

其中, \bar{a}_i 是序列 $a_{i,norm}$ 的平均值, \bar{b}_{i+m} 是序列 $b_{i+m,norm}$ 的平均值,序列 x_i 和序列 y_{i+m} 分别为序列 $a_{i,norm}$ 和序列 $b_{i+m,norm}$ 经零均值化处理后的结果;

为简化计算,以($b_{1,norm}, b_{2,norm}, \dots, b_{n,norm}$)的均值 \bar{b} 来近似代替序列 $b_{i+m,norm}$ 的均值

$\overline{b_{i+m}}$, 即 $\overline{b_{i+m}} \approx \overline{b_i} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N b_{i,\text{norm}}$, 利用下式对序列 $a_{i,\text{norm}}$ 和序列 $b_{i+m,\text{norm}}$ 进行零均值化处理:

$$\begin{cases} x_i = a_{i,\text{norm}} - \overline{a_i} \\ y_{i+m} = b_{i+m,\text{norm}} - \overline{b_i} \end{cases} \quad (4)$$

步骤9. 利用互相关函数方程计算相关系数 $r(m)$:

$$r(m) = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_{i+m}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2 \sum_{i=1}^N y_{i+m}^2}} \quad (5)$$

测量数据序列在时间上的连续性使得第 i 和第 $i+1$ 个相关系数中分母变化很小, 因此只计算上式分子, 并找出最大值所对应的位移量:

步骤10. 由展开式 $\sum_{i=1}^N y_{i+m}^2 = y_{1+m}^2 + y_{2+m}^2 + \dots + y_{n+m}^2$ 和 $\sum_{i=1}^N y_{i+m+1}^2 = y_{2+m}^2 + y_{3+m}^2 + \dots + y_{n+m+1}^2$ 可到互相关函数分母部分的迭代公式:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2 \sum_{i=1}^N y_{i+m+1}^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2 (\sum_{i=1}^N y_{i+m}^2 + y_{n+m+1}^2 - y_{1+m}^2)} \quad (6)$$

此时互相关函数分母里的 $\sum_{i=1}^N y_{i+m}^2$ 采用上式滚动更新的方法来加快计算速度, 即计算下一步时, 从求和值中减去原数列的第一个元素 (y_{1+m}^2), 再加上新数列中的最后一个元素 (y_{n+m+1}^2);

根据对象运动特征在上一步得到的位移量前后分别取若干个邻近位移量依次代入互相关函数方程 (5) 中计算, 并作相邻两点间插值样条运算, 获得细化的互相关函数局部曲线, 得到曲线达峰值时所对应的位移量进而得到剩余渡越时间 τ_r ;

步骤11. 计算渡越时间 $\tau = \tau_2 - \Delta t + \tau_r$ 从而得到相关速度 $v = L/\tau$ 。

一种适应对象运动特性的互相关测速方法

技术领域

[0001] 本发明属于速度测量技术领域。特别涉及一种适应对象运动特性的互相关测速方法。

背景技术

[0002] 随着工业4.0时代的到来,准确实时测量工业过程中各类运动对象的移动速度对精确控制和调整生产过程参数具有重要的现实意义。

[0003] 传统的互相关算法已经广泛应用于测量工业中的流体和平动物体的速度,它通过计算布置在被测对象运动方向前、后两个传感器输出信号的互相关函数的峰值来获得渡越时间,进而利用两个传感器的距离得到运动速度。然而该算法的精度和速度都有待优化。

[0004] 现有的互相关优化算法包含极性相关法、抛物线拟合算法、自适应相关算法等。极性相关法将两个传感器信号1比特量化后进行互相关运算,因而运算量大大减小、运算速度提高,但测量精度下降,若仍保证较高的测量精度,测量范围将受限制。抛物线拟合算法是对互相关函数值峰值附近的3个点使用抛物线拟合的方法求出了最大峰值的准确位置从而得到渡越时间,该方法在采样间隔较大的条件下提高了互相关运算的精度,然而若这3个代表点中有1点由于实际测量条件等因素的干扰而偏离真值,计算结果将出现较大的误差。北京航空航天大学徐立军等提出的“一种用于渡越时间测量的自适应相关算法”更适用于被测速度平稳或者变化缓慢的情况。当被测速度变化较大时不能截得理想的下游扰动信号,而影响计算速率,甚至不能得到正确的测量结果。因此,需要一种适应对象运动特性的互相关测速来有效地提高测速精度和速度。

发明内容

[0005] 本发明目的在于提供一种适应对象运动特性的互相关测速方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0006] 步骤1,由已知被测对象速度的上限值 v_1 和下限值 v_2 ($v_1 \geq v_2$),依据下式(1)确定初始渡越时间的上限值 τ_1 和下限值 τ_2 ($\tau_1 \geq \tau_2$):

$$\begin{cases} \tau_1 = l/v_2 \\ \tau_2 = l/v_1 \end{cases} \quad (1)$$

[0008] 其中, l 为布置于被测对象移动方向前、后两个传感器的间距;所述前、后两个传感器为超声传感器或静电传感器,则将 v_1 、 v_2 分别设为被测对象在合理客观条件下或理论上的最大值和最小值;所述前、后两个传感器为与测量被测对象特性的相关类型的传感器;

[0009] 步骤2,从 t_0 时刻开始,利用两个传感器以采样率 f_0 采集信号,其中 f_0 满足香农采样定理,且能使采样信号保持原始模拟信号的主要特征;

[0010] 步骤3,根据上述被测速度下限值 v_2 和前、后侧传感器信号的波动情况合理选取采样时间长度 T 值,至少选取略大于 $2\tau_1$ 的值;

[0011] 步骤4.以 t_0 时刻为起始位置,截取采样时间长度为 T 的前侧传感器信号,以 $(t_0 + \tau_2 -$

Δt)时刻为起始位置截取采样时间长度为T的后侧传感器信号,其中 Δt 的选取根据被测对象速度变化特性确定;

[0012] 步骤5.根据速度测量精度要求判断是否需要原数据列进行稀疏化处理;当精度要求较低时,等间隔抽取一部分采样数据,对原数据列进行稀疏化处理。

[0013] 步骤6.利用下式(2)使信号幅度归一化:

$$[0014] \quad \begin{cases} a_{i,\text{norm}} = \frac{a_i - a_{\min}}{a_{\max} - a_{\min}} \\ b_{i,\text{norm}} = \frac{b_i - b_{\min}}{b_{\max} - b_{\min}} \end{cases} \quad (2)$$

[0015] 其中,序列 a_i 、 b_i ($i=1,2,\dots,N$)分别表示前、后侧传感器信号的第 i 个采样值, a_{\min} 、 b_{\min} 分别表示前、后侧传感器信号中采样数据的最小值, a_{\max} 、 b_{\max} 分别表示采样数据的最大值,序列 $a_{i,\text{norm}}$ 、 $b_{i,\text{norm}}$ ($i=1,2,\dots,N$)分别表示归一化处理后的 a_i 、 b_i ;

[0016] 步骤7.从归一化处理后的采样值($a_{1,\text{norm}}, a_{2,\text{norm}}, \dots, a_{N,\text{norm}}$)中,以 $a_{1,\text{norm}}$ 为起始点截取前侧传感器信号($a_{1,\text{norm}}, a_{2,\text{norm}}, \dots, a_{n,\text{norm}}$),定义为序列 $a_{i,\text{norm}}$;从归一化处理后的采样值($b_{1,\text{norm}}, b_{2,\text{norm}}, \dots, b_{N,\text{norm}}$)中以 $b_{1,\text{norm}}$ 为起始点截取后侧传感器信号($b_{1,\text{norm}}, b_{2,\text{norm}}, \dots, b_{n,\text{norm}}$),定义为序列 $b_{i,\text{norm}}$; m 为位移量, $0 \leq m \leq N-n$, 序列 $b_{i,\text{norm}}$ 随 m 值变化而不断更新, m 值每增加1, 序列 $b_{i,\text{norm}}$ 向右移动一位, 得到的新序列($b_{1+m,\text{norm}}, b_{2+m,\text{norm}}, \dots, b_{n+m,\text{norm}}$), 定义为序列 $b_{i+m,\text{norm}}$;

[0017] 步骤8.对上述的每一数据序列进行零均值化处理,以简化互相关函数运算:

$$\begin{cases} x_i = a_{i,\text{norm}} - \bar{a}_i \\ y_{i+m} = b_{i+m,\text{norm}} - \overline{b_{i+m}} \end{cases} \quad (3)$$

[0018] 其中, \bar{a}_i 是序列 $a_{i,\text{norm}}$ 的平均值, $\overline{b_{i+m}}$ 是序列 $b_{i+m,\text{norm}}$ 的平均值,序列 x_i 和序列 y_{i+m} 分别为序列 $a_{i,\text{norm}}$ 和序列 $b_{i+m,\text{norm}}$ 经零均值化处理后的结果;

[0019] 为简化计算,以($b_{1,\text{norm}}, b_{2,\text{norm}}, \dots, b_{N,\text{norm}}$)的均值 \bar{b}_i 来近似代替序列 $b_{i+m,\text{norm}}$ 的均值 $\overline{b_{i+m}}$,即 $\overline{b_{i+m}} \approx \bar{b}_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N b_{i,\text{norm}}$,利用下式对序列 $a_{i,\text{norm}}$ 和序列 $b_{i+m,\text{norm}}$ 进行零均值化处理:

$$[0020] \quad \begin{cases} x_i = a_{i,\text{norm}} - \bar{a}_i \\ y_{i+m} = b_{i+m,\text{norm}} - \bar{b}_i \end{cases} \quad (4)$$

[0021] 步骤9.利用互相关函数方程计算相关系数 $r(m)$:

$$[0022] \quad r(m) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_{i+m}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_{i+m}^2}} \quad (5)$$

[0023] 测量数据序列在时间上的连续性使得第 i 和第 $i+1$ 个相关系数中分母变化很小,因此只计算上式分子,并找出最大值所对应的位移量;

[0024] 步骤10.由展开式 $\sum_{i=1}^n y_{i+m}^2 = y_{1+m}^2 + y_{2+m}^2 + \dots + y_{n+m}^2$ 和 $\sum_{i=1}^n y_{i+m+1}^2 = y_{2+m}^2 + y_{3+m}^2 + \dots + y_{n+m+1}^2$ 可到互相关函数分母部分的迭代公

式:

[0025]

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_{i+m+1}^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 (\sum_{i=1}^n y_{i+m}^2 + y_{n+m+1}^2 - y_{1+m}^2)} \quad (6)$$

[0026] 此时互相关函数分母里的 $\sum_{i=1}^n y_{i+m}^2$ 采用上式滚动更新的方法来加快计算速度,即计算下一步时,从求和值中减去原数列的第一个元素 (y_{1+m}^2),再加上新数列中的最后一个元素 (y_{n+m+1}^2);

[0027] 根据对象运动特征在上一步得到的位移量前后分别取若干个邻近位移量依次代入互相关函数方程(5)中计算,并作相邻两点间插值样条运算,获得细化的互相关函数局部曲线,得到曲线达峰值时所对应的位移量进而得到剩余渡越时间 τ_r ;

[0028] 步骤11.计算渡越时间 $\tau = \tau_2 - \Delta t + \tau_r$ 从而得到相关速度 $v = L/\tau$ 。

[0029] 本发明的有益效果是:

[0030] 1.该方法根据被测速度范围和速度测量精度要求来改变处理的采样时间长度和采样值数量,可适应实际工况中被测速度变化较大的情况,有效地减少了不必要的运算、提高了实时处理速度,达到更准确、快速地测量工业过程中各类运动对象移动速度的目的。

[0031] 2.本发明对采样信号进行幅度归一化处理,消除了测量传感器测量特性差别并加快了算法的收敛速度,有利于运用到智能嵌入式信号处理系统进行快速运算。

[0032] 3.发明中计算互相关函数时先粗略得到函数峰值对应的位移量,再精确计算实际位移量,利用插值样条运算得到准确的渡越时间,并利用滚动更新的方法提高运算速度,达到快速、精确确定运动对象速度的目的。

附图说明

[0033] 图1为在采样时间长度T内的a,前侧传感器信号;b,后侧传感器信号。

[0034] 图2为截取得到的a,前侧传感器信号序列;b,后侧传感器信号序列。

[0035] 图3为适应对象运动特性的互相关测速方法的流程图。

具体实施方式:

[0036] 本发明提供一种适应对象运动特性的互相关测速方法。下面结合附图和实例对本发明予以说明如下:

[0037] 1.布置于被测对象移动方向前、后的两个传感器间距为0.2m,根据经验被测对象速度范围在 $v_2=6.8\text{m/s}$ 至 $v_1=7.2\text{m/s}$ 间,确定初始渡越时间范围在27.8ms至29.4ms之间;其中,所述前、后两个传感器为与测量被测对象特性的相关类型的传感器;比如,本实施例为速度传感器或时间传感器;

[0038] 2.利用两个传感器以采样率50kHz采集信号。

[0039] 3.如图1所示,图1为采样得到的前、后侧传感器信号。根据初始被测速度下限值 6.8m/s 和前、后侧传感器信号的波动情况将采样时间长度设置为60ms;以20.2ms时刻为起始位置截取采样时间长度为60ms的前侧传感器信号, Δt 设为1ms,以47ms时刻为起始位置截取采样时间长度为60ms的后侧传感器信号。

[0040] 4.根据速度测量精度要求判断是否需要原数据列进行稀疏化处理。本方案精度

要求较低,截取得到的前、后侧传感器信号采样点数分别为3000个,等间隔抽取600个采样数据进行处理便可达到精度要求。

[0041] 5. 信号幅度归一化,序列 $a_{i,norm}$ 、 $b_{i,norm}$ ($i=1,2,\dots,600$) 分别表示归一化处理后的采样数据。

[0042] 6. 参见附图2,图2是截取信号得到前侧传感器信号序列 $a_{i,norm}$ 和后侧传感器信号序列 $b_{i+m,norm}$ 的过程。从归一化处理后的采样值 $(a_{1,norm}, a_{2,norm}, \dots, a_{600,norm})$ 中以 $a_{1,norm}$ 为起始点截取前侧传感器信号 $(a_{1,norm}, a_{2,norm}, \dots, a_{400,norm})$,定义为序列 $a_{i,norm}$;从归一化处理后的采样值 $(b_{1,norm}, b_{2,norm}, \dots, b_{600,norm})$ 中以 $b_{1,norm}$ 为起始点截取后侧传感器信号 $(b_{1,norm}, b_{2,norm}, \dots, b_{400,norm})$,定义为序列 $b_{i,norm}$ 。m为位移量, $0 \leq m \leq 200$,序列 $b_{i,norm}$ 随m值变化而不断更新后得到的新序列 $(b_{1+m,norm}, b_{2+m,norm}, \dots, b_{400+m,norm})$,定义为序列 $b_{i+m,norm}$ 。

[0043] 7. 对序列 $a_{i,norm}$ 和序列 $b_{i+m,norm}$ 进行零均值化处理分别得到序列 x_i 和序列 y_{i+m} 。

[0044] 8. 根据互相关函数方程仅计算相关系数 $r(m)$ 的分子部分,并找出最大值所对应的位移量 21 。

[0045] 9. 在位移量 21 前后分别取5个邻近位移量依次代入互相关函数中计算,即将位移量 $16-26$ 代入计算,方程分母里的 $\sum_{i=1}^n x_i y_{i+m}^2$ 采用滚动更新的方法。并作相邻两点间9点三次插值运算,获得细化的、含101个点的互相关函数局部曲线,计算得到 $r(m)$ 达到最大值时所对应的位移量 19.3 ,进而得到剩余渡越时间 $1.93ms$ 。

[0046] 10. 计算渡越时间 $\tau = \tau_2 - \Delta t + \tau_r = 27.8ms - 1ms + 1.93ms = 28.73ms$ 从而得到互相关速度 $6.96m/s$ 。

[0047] 由实验装置设定得到的参考移动速度为 $7.0m/s$,本方法的相对误差为 0.6% 。利用传统互相关方法得到的相关速度为 $6.88m/s$,相对误差为 1.7% ,通过与参考速度对比,采用适应被测对象的互相关方法测量移动速度的相对误差比传统互相关算法减小了 1.1% ;运算量比传统互相关算法减小了 88.79% 。

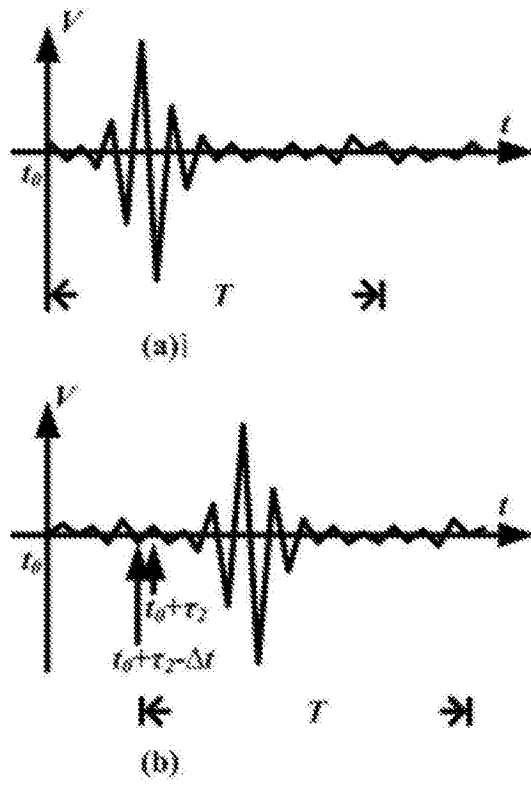


图1

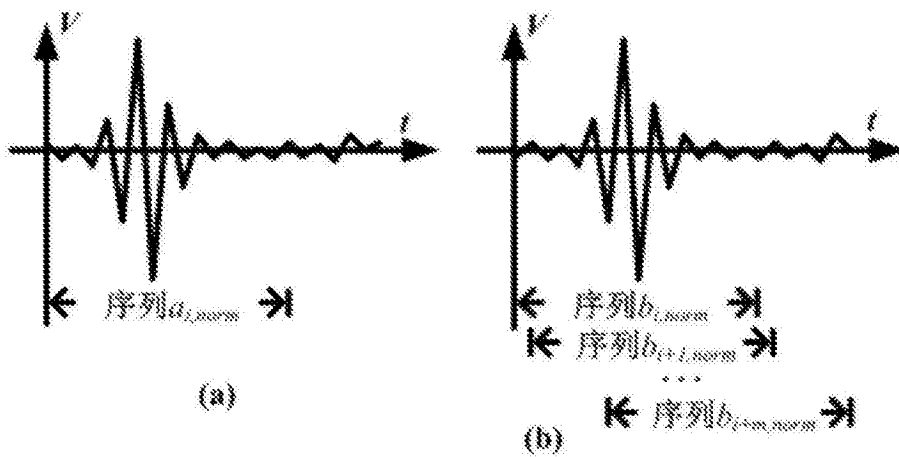


图2

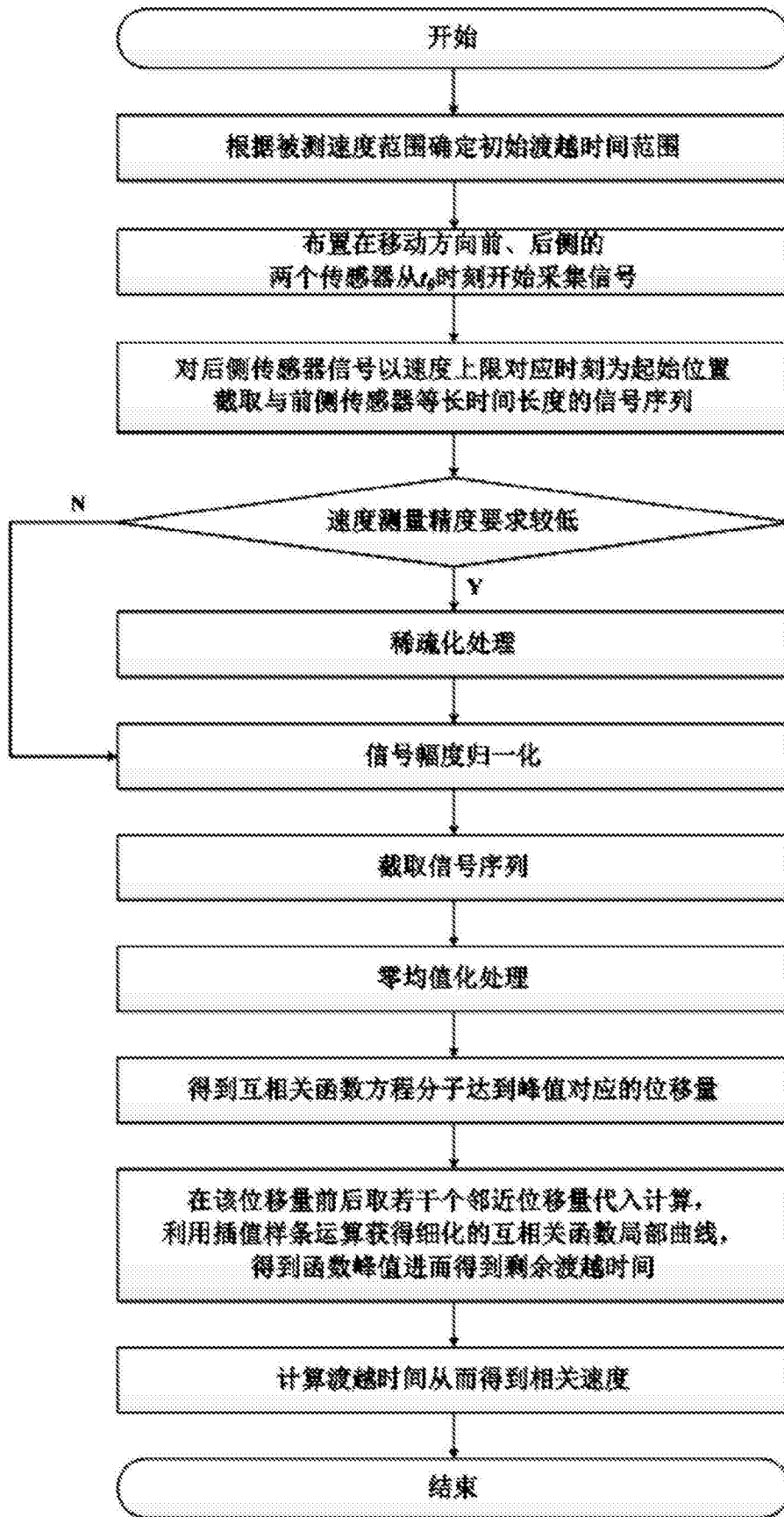


图3