



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105840987 B

(45)授权公告日 2018.07.13

(21)申请号 201610262090.0

(22)申请日 2016.04.25

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105840987 A

(43)申请公布日 2016.08.10

(73)专利权人 北京宏信环科科技发展有限公司
地址 100029 北京市朝阳区北辰西路69号7
至8层3单元706

(72)发明人 徐胜金 龚海清 胡站伟

(74)专利代理机构 北京联瑞联丰知识产权代理
事务所(普通合伙) 11411
代理人 郑自群

(51)Int.Cl.
F17D 5/02(2006.01)
F17D 5/06(2006.01)

(56)对比文件

CN 104595730 A,2015.05.06,
CN 102588745 A,2012.07.18,
CN 102563361 A,2012.07.11,
CN 203477909 U,2014.03.12,
CN 101196872 A,2008.06.11,
US 2015052979 A1,2015.02.26,

审查员 冯俊华

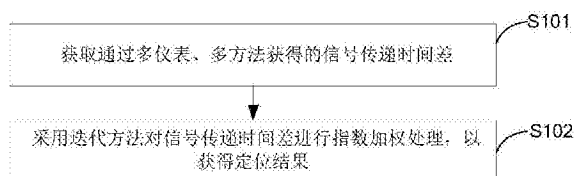
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种基于压力波和声波的管道泄漏加权定位方法及装置

(57)摘要

本发明提供一种基于压力波和声波的管道泄漏加权定位方法及装置,其方法包括获取通过多仪表、多方法获得的信号传递时间差;采用迭代方法对信号传递时间差进行指数加权处理,以获得定位结果。其装置包括获取模块以及计算模块。本发明使用基于信号物理特征建立的指数加权算法,可以显著提高多信号源综合定位精度,并且在对本样本数的要求、定位的不确定性、计算量等方面优于基于概率统计的加权定位方法。



1. 一种基于压力波和声波的管道泄漏加权定位方法,其特征在于,包括如下步骤:
 获取通过多仪表、多方法获得的信号传递时间差;
 采用迭代方法对所述信号传递时间差进行指数加权处理,以获得定位结果;
 所述采用迭代方法对所述信号传递时间差进行指数加权处理具体采用如下公式:

$$E(\Delta t_{Target}) = \frac{\sum_{i=1}^n e^{\frac{\Delta t_i - \Delta t_{Target}}{L/c}} \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n e^{\frac{\Delta t_i - \Delta t_{Target}}{L/c}}};$$

其中, Δt_i 为信号传递时间差, i 为序列号, Δt_{Target} 为真实压力

信号传递时间差, L 为管道长度, c 为管道音速。

2. 根据权利要求1所述的基于压力波和声波的管道泄漏加权定位方法,其特征在于,所述多仪表具体包括压力传感器、温度传感器和流量传感器。

3. 根据权利要求1所述的基于压力波和声波的管道泄漏加权定位方法,其特征在于,所述多方法包括时域相关分析方法、广义相关分析方法、小波奇异点检测方法以及小波系数相关分析方法。

4. 一种基于压力波和声波的管道泄漏加权定位装置,其特征在于,包括获取模块以及计算模块,其中,

所述获取模块用于获取信号传递时间差;

所述计算模块用于采用迭代计算的方法对所述信号传递时间差进行指数加权处理,以获得定位结果;

所述计算模块采用迭代计算的方法对所述信号传递时间差进行指数加权处理具体采用如下公式:

$$E(\Delta t_{Target}) = \frac{\sum_{i=1}^n e^{\frac{\Delta t_i - \Delta t_{Target}}{L/c}} \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n e^{\frac{\Delta t_i - \Delta t_{Target}}{L/c}}};$$

其中, Δt_i 为信号传递时间差, i 为序列号, Δt_{Target} 为真实压力

信号传递时间差, L 为管道长度, c 为管道音速。

5. 根据权利要求4所述的基于压力波和声波的管道泄漏加权定位装置,其特征在于,所述获取模块包括数据采集单元以及与所述数据采集单元相连接的压力传感器、温度传感器和流量传感器。

6. 根据权利要求5所述的基于压力波和声波的管道泄漏加权定位装置,其特征在于,所述获取模块通过时域相关分析方法、广义相关分析方法、小波奇异点检测方法以及小波系数相关分析方法进行分析处理以获取信号传递时间差。

一种基于压力波和声波的管道泄漏加权定位方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及管道泄漏定位技术领域,尤其涉及一种基于压力波和声波的管道泄漏加权定位方法及装置。

背景技术

[0002] 管线输送是现代输运系统的重要组成部分,在国民生产生活中管线输送是水、油、气、化工原料运输的主要形式。管线泄漏事故的发生,会给单位和个人造成巨大的经济损失,给环境造成严重污染。因此输油管道泄漏监测系统的研发一直以来受到高度重视,国内外不同厂商研发了多款管道泄漏监测报警系统,如中国专利CN202074237U、CN100552668C、CN1184931中提到的,目前主流的在线泄漏监测系统是基于对管道内流量和压力信息的综合判断来实现泄漏判断和泄漏定位的。

[0003] 目前在线泄漏监测系统的工作原理主要是利用流量平衡法和负压力波法。流量平衡法是通过对比管道进出口两个监测点的输入与输出流量差别来判断管道是否泄漏,结合统计算法具有高置信度的泄漏判断能力,进一步结合对压力波来源的分析,可以减小误报率和漏报率。对于泄漏定位,目前使用的负压力波法、声波法,都可以看作是对管道内压力脉动信号的捕捉和识别。当管道发生泄漏时,泄漏点附近局部压力降低,并向上下游传播形成负压力波,同时,泄漏产生的射流会引起管道振动并在管道内诱发流体涡,生成丰富的声波信号。由于管道中压力信号的传播速度由管道音速决定,而信号的衰减强度则与压力波频率、管道固定方式、管道材质等因素有关,在管道远端捕获的压力波动信号与泄漏点压力信号在分布形式上会有差异,特别在泄漏点距离管道两端监测点距离差异大、管道铺设环境复杂的情况下,这一现象尤为显著。

[0004] 在中等距离(1Km)以上管道中,声波的高频部分沿管道长度衰减显著,可以作为泄漏事件发生判断的声波信号集中在20Hz以下的低频部分,而负压力波本身也可以看做是一类瞬态极低频声波信号。在管道泄漏定位中,负压力波、次声波方法有广泛的应用,管道中间某位置泄漏发生时,安装在管道两端的压力传感器或声波传感器可以测量到泄漏信号,再根据泄漏信号传播到达两个传感器的时间差,就可以计算出泄漏点距两个传感器的距离。

[0005] 在中国专利CN203023812U、CN1246672C中公开了利用负压力波方法进行泄漏定位,而在中国专利CN101832472B、CN202040552U中则公开了利用声检测传感器对低频声波进行监测,从而实现对管道泄漏检测。考虑到次声波信号具有更精细的时间分辨率,出现了使用负压波和声波协同进行泄漏定位的方法,如中国专利CN101968162B中公开了一种基于负压波和声波协同检测的管道泄漏定位系统及方法,以实现输油管道泄漏的精确定位;在中国专利CN100552668C中则公开了分别利用两类压力和次声波传感器的信号和多种不同的泄漏定位算法进行泄漏定位,再使用概率权函数方法对定位结果进行加权,从而得到最终定位结果。

[0006] 在当前泄漏定位方法中,对融合压力和声波信息的泄漏检测定位结果尚没有统一

的方法,多数融合方案中,将负压力波信号、声波信号等不同信号源的定位信息作为分析样本进行综合分析。如中国专利CN100552668C中,从概率统计的角度出发,对不同的定位信息样本发生在某一区间的概率进行估计,进一步使用该概率对初始定位结果进行加权处理获得对泄露位置的期望值。使用这一方法进行加权定位时需要较大的样本数及相应的计算量以提高结果置信度;此外,当某一传感器信号定位存在显著偏差的情况下,该方法容易造成整体定位结果失效。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种基于压力波和声波的管道泄漏加权定位方法及装置,用以解决现有技术中定位误差率大以及定位失效的问题。

[0008] 本发明的第一个方面是提供一种基于压力波和声波的管道泄漏加权定位方法,包括如下步骤:

[0009] 获取通过多仪表、多方法获得的信号传递时间差;

[0010] 采用迭代方法对信号传递时间差进行指数加权处理,以获得定位结果。

[0011] 进一步的,多仪表具体包括压力传感器、温度传感器和流量传感器。

[0012] 进一步的,多方法包括时域相关分析方法、广义相关分析方法、小波奇异点检测方法以及小波系数相关分析方法。

[0013] 进一步的,采用迭代方法对所述信号传递时间差进行指数加权处理具体采用如下公式:

$$[0014] \quad E(\Delta t_{Target}) = \frac{\sum_{i=1}^n e^{\frac{\Delta t_i - \Delta t_{Target}}{L/c}} \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n e^{\frac{\Delta t_i - \Delta t_{Target}}{L/c}}};$$

其中, Δt_i 为信号传递时间差, i 为序列号, Δt_{Target} 为真实

压力信号传递时间差, L 为管道长度, c 为管道音速。

[0015] 本发明的另一个方面是提供一种基于压力波和声波的管道泄漏加权定位装置,包括获取模块以及计算模块,其中,

[0016] 获取模块用于获取信号传递时间差;

[0017] 计算模块用于采用迭代计算的方法对信号传递时间差进行指数加权处理,以获得定位结果。

[0018] 进一步的,获取模块包括数据采集单元以及与数据采集单元相连接的压力传感器、温度传感器和流量传感器。

[0019] 进一步的,获取模块通过时域相关分析方法、广义相关分析方法、小波奇异点检测方法以及小波系数相关分析方法进行分析处理以获取信号传递时间差。

[0020] 进一步的,计算模块采用迭代计算的方法对信号传递时间差进行指数加权处理具体采用如下公式:

$$[0021] \quad E(\Delta t_{Target}) = \frac{\sum_{i=1}^n e^{\frac{\Delta t_i - \Delta t_{Target}}{L/c}} \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n e^{\frac{\Delta t_i - \Delta t_{Target}}{L/c}}};$$

其中, Δt_i 为信号传递时间差, i 为序列号, Δt_{Target} 为真实

压力信号传递时间差, L 为管道长度, c 为管道音速。

[0022] 采用上述本发明技术方案的有益效果是:采用的新的加权迭代算法是基于物理模型,而非简单的基于概率统计模型,因此可以在较小的样本下,获得高置信度和更高精度的定位结果,进而降低分析过程的计算量。

附图说明

[0023] 图1为本发明基于压力波和声波的管道泄漏加权定位方法流程示意图;

[0024] 图2为本发明基于压力波和声波的管道泄漏加权定位装置的结构示意图。

具体实施方式

[0025] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。

[0026] 需要说明的是,本发明根据压力信号在传输过程中的衰减变形的物理过程出发,分析了不同定位方法结果的散布特征,并按照信号强度近似指数分布的特征,进一步说明使用指数加权获得高精度的泄漏定位结果。

[0027] 在管道压力波的初始产生阶段,包含泄漏发生瞬间产生的负压力波过程和泄漏射流建立的压力波动,都对负压力波幅值有贡献。而泄漏过程建立以后,泄漏射流并不直接产生高幅值的压力波动,而是会作为活塞声源产生高频的声音信号,由于负压力波的存在,压力波幅值在泄漏初始发生阶段显著高于后续阶段。压力波会在粘性作用、液体内的离散气体孔穴作用(discrete gas cavity model,简称DGCM)、管道粘弹性(Viscoelastic behaviour,简称VB)作用下幅值逐渐衰减,波形逐渐发展为近似三角波。

[0028] 压力波的波形从泄漏点附近的阶跃型式逐渐色散、衰减为管道远端的近似三角形的波形,其主频率中心值对应 $4^{c/L}$ (其中, L 为管道长度, c 为管道音速),这一波形会叠加,主要由于刚性管道应力波、接头和补偿器等自由端的振动,以及气穴周期性振动引发的噪音,在采集时还会引入仪表的电气噪音。

[0029] 其中,三角波按照傅里叶级数展开的形式可近似为指数形式:

$$[0030] \quad f_{tri}(wt) = \frac{8}{\pi^2} A_{tri} (\sin wt - \frac{1}{9} \sin 3wt + \frac{1}{25} \sin 5wt - \dots)$$

[0031] $\approx \frac{8}{\pi^2} A_{tri} \sin wt = \text{IM}(A_{exp} e^{iwt})$; 其中, f_{tri} 为三角波的函数形式, w 为波的圆频率, t 为时间, A_{tri} 为三角波的振幅, A_{exp} 为指数波的振幅。

[0032] 压力信号的时值 t 受数据采集单元时间同步误差、压力传感器的硬件迟滞差别影响,在消除时钟差异和仪表相应差异的前提下, $\Delta t = t_1 - t_2$ 表示泄漏信号到达上游时钟与下游时钟的时间差。

[0033] 对管道两端负压力波的探测,主要目的在于获得压力波形的匹配。而噪音对于局部波形的干扰可以视作相位干扰,近似的使用局部干扰项 m 进行指征,则信号的互相关可以表示为:

$$[0034] \quad C_{corr}(m) = E(f_1 * f_2)$$

$$[0035] \quad \propto \text{IM}(A_1 e^{i(wt_1 - kt_1)}) \cdot \text{IM}(A_2 e^{-i(w(t_2 + m) - kt_2)})$$

$$[0036] \quad \propto A e^{-\alpha x_1} e^{i(\omega t_1 - k x_1)} A e^{-\alpha x_2} e^{-i(\omega t_2 + \omega m - k x_2)}$$

$$[0037] \quad \propto A^2 e^{-\alpha(x_1 + x_2)} e^{i(-k(x_1 - x_2) + \omega(t_1 - t_2) - \omega m)}$$

$$[0038] \quad \propto A^2 e^{-\alpha L} e^{i(-k \Delta L + \omega \Delta t - \omega m)} \propto e^{i \omega (\Delta t - \Delta L/c - m)}$$

[0039] $x_1 + x_2 = L$, $x_1 - x_2 = \Delta L$; 其中, E 为数学期望, x_1 为泄露点距离上游探测器距离, x_2 为泄露点距离下游探测器距离, k 为泄露信号的波数, i 为虚数, 等于根号负1, α 为管道压力波信号衰减系数, 其衰减幅度与传播距离成指数关系, 用 $e^{-\alpha x}$ 表示, L 为上游探测器到下游探测器的距离, 即管道监测段总长度。

[0040] 当干扰项 m 不存在时, 有 $\Delta t = \Delta L/c$, 可以得到精确的信号传播时间差; 当干扰项 m 不为0时, 有 $\Delta t = \Delta L/c + m$, 造成对信号传播时间差的含噪音有偏差估计。

[0041] 根据上式, 若 m 越偏离0值, 则要求局部干扰的强度越大, 只有这样才能保证对整体波形造成显著的相位干扰。若将干扰因素视为白噪音, 则可以根据 $C_{\text{corr}}(m)$ 的形式推断 $C_{\text{corr}}(m)$ 有偏差估计出现的概率, 与偏差程度 m 呈负指数关系, 如下式所示 (相关系数 $C_{\text{corr}}(m)$ 的概率成正比):

$$[0042] \quad P(C_{\text{corr}}(m)) \propto e^{-\omega m}。$$

[0043] 考虑到不同的传感器和不同的信号处理方法, 对干扰项的感受性有差异, 因此干扰项 m 可以视作在一定范围内的随机变量; 考虑到负压力波的典型尺度, m 的范围局限在 $[-L/c, L/c]$ 之间, 根据负压力波的显著程度, 可以进一步的将 m 的范围局限在 $[-L/c, L/c]/2$ 之间, 甚至 $[-L/c, L/c]/3$ 的范围内。

[0044] 若以管道尺度标准化的偏差估计出现的概率, 则可以表述为:

$$[0045] \quad P(C_{\text{corr}}(m)) \propto e^{-|m|/(L/c)}。$$

[0046] 而本发明则对于多仪表、多方法获得的信号传递时间差, 可以按照以上指数形式概率进行时间差加权处理, 本发明实施例具体公开了一种基于压力波和声波的管道泄漏加权定位方法, 如图1所示, 包括如下步骤:

[0047] 步骤S101, 获取通过多仪表、多方法获得的信号传递时间差。

[0048] 在本实施例中, 多仪表可以包括压力传感器、温度传感器和流量传感器, 具体用于采集管道的压力参数、温度参数和流量参数。其压力传感器具体可以是HM90防爆型压力传感器, 通常压力范围在0~1MPa之间, 采样频率为10kHz, 综合精度为 $\pm 0.1\%$ FS; 流量传感器具体可以是FFK11554CNE-02R2-P型号的传感器, 其雷诺数 $Re \geq 8000$, 测量精度为0.5%, 压损是孔板流量计的1/3~1/5。本实施例中, 还可以使用其他专用次声波传感器、压力传感器获得压力脉动信息并获取单方法定位结果, 用于下一步的加权定位。

[0049] 多方法具体包括时域相关分析方法、广义相关分析方法、小波奇异点检测方法以及小波系数相关分析方法, 可以通过这些方法对采集的压力参数、温度参数和流量参数进行分析处理, 从而获取信号传递时间差。在本实施例中, 还可以引入压力梯度法、瞬态模型法等方法的定位结果, 作为辅助结果, 从而用于进一步改进基于压力脉动的定位结果。

[0050] 步骤S102, 采用迭代方法对信号传递时间差进行指数加权处理, 以获得定位结果。

[0051] 在本实施例中, 具体可以采用如下公式进行指数加权处理,

$$[0052] \quad E(\Delta t_{\text{Target}}) = \frac{\sum_{i=1}^n e^{\frac{\Delta t_i - \Delta t_{\text{Target}}}{L/c}} \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n e^{\frac{\Delta t_i - \Delta t_{\text{Target}}}{L/c}}}; \text{其中, } \Delta t_i \text{ 为信号传递时间差, } i \text{ 为序列号, } \Delta t_{\text{Target}} \text{ 为真实}$$

压力信号传递时间差, L 为管道长度, c 为管道音速。上述计算可以采用迭代方法进行, 在迭代计算中, Δt_{Target} 的初始值可以采用 Δt_i 的平均值, 或者采用某个结果相对可靠的 Δt 乘以一个接近1的系数。

[0053] 本发明使用基于信号物理特征建立的指数加权算法, 可以显著提高多信号源综合定位精度, 并且在对样本数的要求、定位的不确定性、计算量等方面优于基于概率统计的加权定位方法。

[0054] 本发明还公开了一种基于压力波和声波的管道泄漏加权定位装置, 如图2所示, 包括安装在管道上需要获取数据的端口的获取模块1, 以及与获取模块1相连接的计算模块2, 在本实施例中, 获取模块1可以有多个, 分别安装在管道上需要获取数据的端口处(如安装在端口A处的获取模块1A, 安装在端口B处的获取模块1B), 而获取模块1主要包括数据采集单元10以及与该数据采集单元10相连接的压力传感器11、温度传感器12和流量传感器13, 具体用于采集管道的压力参数、温度参数和流量参数。其压力传感器11具体可以是HM90防爆型压力传感器, 通常压力范围在0~1MPa之间, 采样频率为10kHz, 综合精度为 $\pm 0.1\% \text{FS}$; 流量传感器13具体可以是FFK11554CNE-02R2-P型号的传感器, 其雷诺数 $Re \geq 8000$, 测量精度为0.5%, 压损是孔板流量计的1/3~1/5。本实施例中, 还可以使用其他专用次声波传感器、压力传感器获得压力脉动信息并获取单方法定位结果, 用于下一步的加权定位。

[0055] 在本实施例中, 数据采集单元10通过时域相关分析方法、广义相关分析方法、小波奇异点检测方法以及小波系数相关分析方法对采集的压力参数、温度参数和流量参数进行分析处理, 从而获取信号传递时间差。在本实施例中, 还可以引入压力梯度法、瞬态模型法等方法的定位结果, 作为辅助结果, 从而用于进一步改进基于压力脉动的定位结果。

[0056] 计算模块2具体可以采用如下公式进行指数加权处理,

$$[0057] \quad E(\Delta t_{\text{Target}}) = \frac{\sum_{i=1}^n e^{\frac{\Delta t_i - \Delta t_{\text{Target}}}{L/c}} \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n e^{\frac{\Delta t_i - \Delta t_{\text{Target}}}{L/c}}}; \text{其中, } \Delta t_i \text{ 为信号传递时间差, } i \text{ 为序列号, } \Delta t_{\text{Target}} \text{ 为真实}$$

压力信号传递时间差, L 为管道长度, c 为管道音速。上述计算可以采用迭代方法进行, 在迭代计算中, Δt_{Target} 的初始值可以采用 Δt_i 的平均值, 或者采用某个结果相对可靠的 Δt 乘以一个接近1的系数。

[0058] 以下通过一个具体的实施例进一步说明本发明的方案, 在本实施例中, 试验现场为沧州某单位的两组油库之间的DN150航空煤油管道, 该管道中部有一部分, 约1600m长度分叉为埋地、地面支撑并行双管。所有测试传感器安装在双管分叉点远端, 并远离油泵、出油口, 传感器之间的油管直线距离约1663m, 其中包括2个钝角拐弯和7个“II”形伸缩节(拐角90度, 拐进深约1.5m), 每两个伸缩节之间距离不等, 约300m, 管道累计长度约1687m。压力变送器布置在管道两侧距离储罐、泵体等装置约200m以外。两个压力变送器之间的管道上, 距其中下游变送器一端约31m位置处, 人工制造一个约10mm直径的泄漏测试孔, 在泄漏测试时通过1/2inch阀门经软管流入收集桶中。

[0059] 泄漏测试中,对压力信号进行1000Hz的高频采集,并使用GPS/北斗进行同步授时,当信号传输到控制端后,根据泄漏判断结果,截取发生泄漏事件前后数分钟的压力信号,进行降噪和滤波处理,将原始信号分为0.5Hz以下的“纯净”的负压力波信号,和0.6Hz~15Hz的次声波信号。并对负压力波信号进行时域相关分析、广义相关分析,从而获得负压力波信号传播时间差,并对次声波信号进行特征提取,分别按照奇异点检测方法和小波系数相关方法获得次声波信号传播时间差。最后,采用指数加权定位法,获得最终定位结果,在加权定位迭代计算中,选择负压力波信号进行时域相关分析结果的0.9倍作为估计初值,其多次测试的定位结果如下表所示,其中,下表NaN代表的是空值:

[0060]

测试工 况	算法 1	算法 2	算法 3	算法 4	加权平均值	估 计 位 置 (m)	绝对误 差 (m)	相对误 差 (%)
1	1300	1998	1598	1238	1427	1700	49	2.9
2	1320	1560	1418	1357	1411	1690	39	2.3
3	1326	1458	NaN	1386	1390	1678	27	1.6
4	1409	1589	1396	1352	1433	1703	52	3.1
5	1390	1997	1385	1424	1446	1711	60	3.6
6	1281	1701	-19	1062	1291	1618	-33	-2
7	1332	1442	1490	1354	1404	1686	35	2.1
8	1332	1951	NaN	1348	1414	1692	41	2.4
9	1333	1998	1337	1337	1371	1666	15	0.9

[0061] 由此可知,采用本发明的加权迭代算法可以获得更高的定位精度,并且减少计算中概率估计引入的不确定性,同时减少计算量。

[0062] 本领域普通技术人员可以理解:实现上述各方法实施例的全部或部分步骤可以通过程序指令相关的硬件来完成。前述的程序可以存储于一计算机可读取存储介质中。该程序在执行时,执行包括上述各方法实施例的步骤;而前述的存储介质包括:ROM、RAM、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0063] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

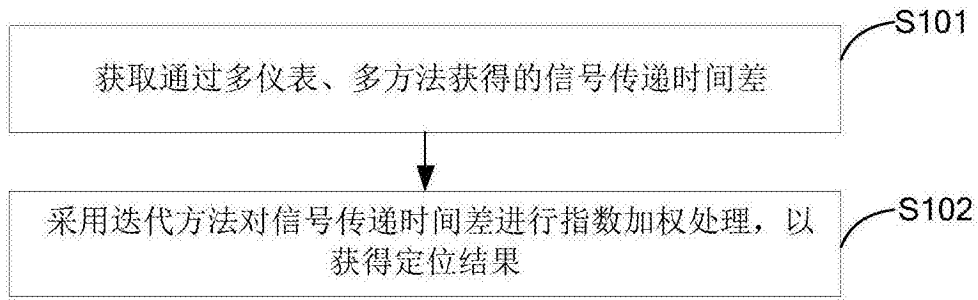


图1

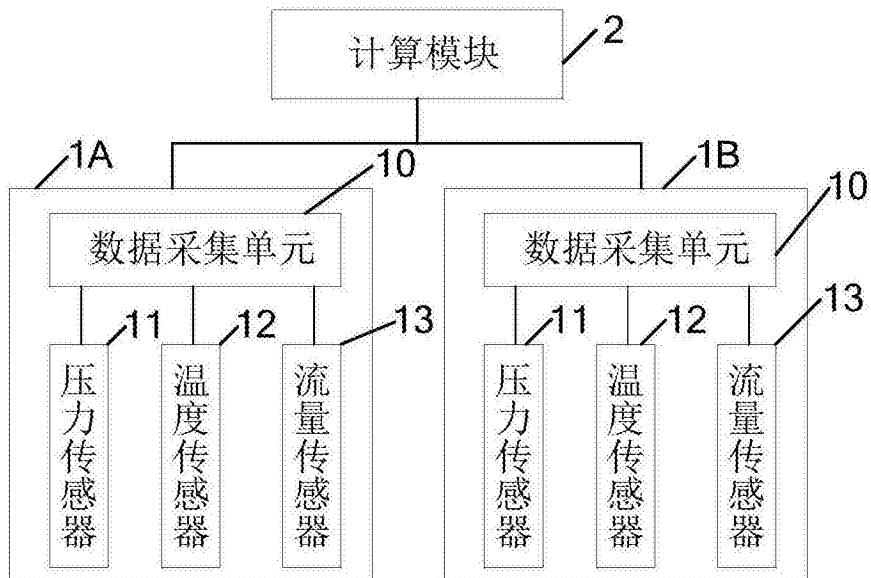


图2