



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110469782 B

(45)授权公告日 2020.07.17

(21)申请号 201910699473.8

(22)申请日 2019.07.31

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110469782 A

(43)申请公布日 2019.11.19

(73)专利权人 中国科学院声学研究所
地址 100190 北京市海淀区北四环西路21号

(72)发明人 高艳 崔希望 马一凡

(74)专利代理机构 北京方安思达知识产权代理有限公司 11472
代理人 陈琳琳 杨青

(51)Int.Cl.
F17D 5/06(2006.01)
G01M 3/04(2006.01)

(56)对比文件

CN 109506135 A,2019.03.22,说明书第31-213段,附图1-14.

CN 101016975 A,2007.08.15,全文.

CN 1598516 A,2005.03.23,全文.

CN 101832472 A,2010.09.15,全文.

CN 106704834 A,2017.05.24,全文.

CN 202252874 U,2012.05.30,全文.

CN 204031431 U,2014.12.17,全文.

CN 105485524 A,2016.04.13,全文.

CN 105840987 A,2016.08.10,全文.

CN 106352243 A,2017.01.25,全文.

CN 104702244 A,2015.06.10,全文.

CN 107607835 A,2018.01.19,全文.

CN 103917892 A,2014.07.09,全文.

CN 101008589 A,2007.08.01,全文.

US 2013289899 A1,2013.10.31,全文.

审查员 程凯

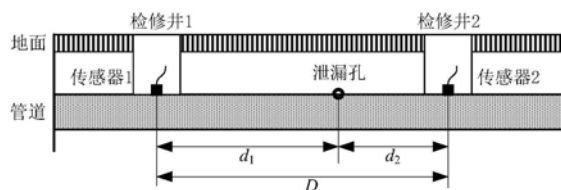
权利要求书3页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置

(57)摘要

本发明公开了一种基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置,所述装置包括:设置在管道泄漏源两端的两个传感器、信号采集卡、信号特征分析模块、LMS滤波器以及泄漏定位模块;所述信号采集卡,用于采集两个传感器的信号,然后分别发送至信号特征分析模块和LMS自适应滤波器;所述信号特征分析模块,用于对采集的信号进行时频域分析,计算信号的相关参数,由此选择LMS滤波器的重数;所述LMS滤波器,用于计算两路传感器信号的时间延迟;所述泄漏定位模块,用于通过获得的时间延迟计算泄漏源的位置。本发明的装置能够实现低信噪比条件下泄漏源的准确定位。



1. 一种基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置,其特征在于,所述装置包括:设置在管道泄漏源两端的两个传感器、信号采集卡、信号特征分析模块、LMS滤波器以及泄漏定位模块;

所述信号采集卡,用于采集两个传感器的信号,然后分别发送至信号特征分析模块和LMS自适应滤波器;

所述信号特征分析模块,用于对采集的信号进行时频域分析,计算信号的相关参数,由此选择LMS滤波器的重数;

所述LMS滤波器,用于计算两路传感器信号的时间延迟;

所述泄漏定位模块,用于通过获得的时间延迟计算泄漏源的位置;

所述信号特征分析模块包括:参数计算单元和重数确定单元;

所述参数计算单元,用于对采集的信号进行时、频域分析,计算信号的相关参数,所述相关参数包括:信号的能量、信噪比、自功率谱、互功率谱和相关系数;所述信噪比SNR的计算公式如下:

$$\text{SNR} = 10\log_{10} \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}}$$

所述相关系数 ρ 的计算公式如下:

$$\rho = \frac{\max(R_{s_1 s_2})}{\sqrt{R_{s_1 s_1}(0)R_{s_2 s_2}(0)}}$$

其中, P_{signal} 、 P_{noise} 分别表示信号和噪声的功率 $s_1(t)$ 和 $s_2(t)$ 分别为两个传感器采集的信号; $R_{s_1 s_2}$ 是 $s_1(t)$ 和 $s_2(t)$ 的互相关函数, \max 表示取最大值, $R_{s_1 s_1}(0)$ 和 $R_{s_2 s_2}(0)$ 分别表示 $s_1(t)$ 和 $s_2(t)$ 在时间延时 $\tau=0$ 时刻的自相关函数值;

所述重数确定单元,用于根据下述准则确定LMS滤波器的重数:

当信噪比 $>10\text{dB}$ 或相关系数 >0.8 ,选择单重LMS滤波器;

当 $-10\text{dB}<$ 信噪比 $<10\text{dB}$ 或 $0.5<$ 相关系数 <0.8 ,选择双重LMS滤波器;

当信噪比 $<-10\text{dB}$ 或相关系数 <0.5 ,选择多重LMS滤波器,所述多重为三重或三重以上;并且每重滤波器之间需要进行信号平滑处理。

2. 根据权利要求1所述的基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置,其特征在于,所述传感器为非侵入式的加速度传感器或振动传感器,安装在管道外壁面。

3. 根据权利要求1所述的基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置,其特征在于,所述传感器为侵入式的水听器或压力变送器,安装到管道内部。

4. 根据权利要求2或3所述的基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置,其特征在于,在每个传感器和信号采集卡之间设置一个前置放大器,所述前置放大器为放大倍数介于 $10-20\text{dB}$ 之间的金属管道前置放大器。

5. 根据权利要求2或3所述的基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置,其特征在于,在每个传感器和信号采集卡之间设置一个前置放大器,所述前置放大器为放大倍数介于 $20-40\text{dB}$ 的塑料管道前置放大器。

6. 根据权利要求1所述的基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置,其特征在于,在信号采集卡和LMS滤波器之间设置低通数字滤波器,用于滤除信号中包括的高频电磁和机械噪

声。

7. 根据权利要求1所述的基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置,其特征在于,所述单重LMS滤波器包括:第一LMS自适应滤波器和第二LMS自适应滤波器;

以 $s_1(t)$ 作为输入信号、 $s_2(t)$ 作为期望响应,输入到第一LMS自适应滤波器,输出滤波器系数向量 $h_1(t)$;以 $s_2(t)$ 作为输入信号、 $s_1(t)$ 作为期望响应,输入到第二LMS自适应滤波器,则输出滤波器系数向量 $h_2(t)$;

求取 $h_1(t)$ 和 $h_2(t)$ 最大值 $\max[h_1(t)]$ 和 $\max[h_2(t)]$ 所对应的时延,即 τ_{h_1} 和 τ_{h_2} ,则第一重LMS滤波器计算得到的时延 τ_1 如下:

$$\tau_1 = \frac{\tau_{h_1} - \tau_{h_2}}{2}$$

则时延 $\tau = \tau_1$ 。

8. 根据权利要求1所述的基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置,其特征在于,所述双重LMS滤波器包括:第一重LMS滤波器和第二重LMS滤波器;第一重LMS滤波器包含第一LMS自适应滤波器和第二LMS自适应滤波器,第二重LMS滤波器包含第三LMS自适应滤波器和第四LMS自适应滤波器;

在第一重LMS滤波器中,以 $s_1(t)$ 作为输入信号、 $s_2(t)$ 作为期望响应,输入到第一LMS自适应滤波器,输出滤波器系数向量 $h_1(t)$;以 $s_2(t)$ 作为输入信号、 $s_1(t)$ 作为期望响应,输入到第二LMS自适应滤波器,则输出滤波器系数向量 $h_2(t)$;

在第二重LMS滤波器中,以 $h_1(t)$ 作为输入信号、 $h_2(t)$ 作为期望响应,输入到第三LMS自适应滤波器,输出滤波器系数向量 $h_3(t)$;以 $h_2(t)$ 作为输入信号、 $h_1(t)$ 作为期望响应,输入到第四LMS自适应滤波器,输出滤波器系数向量 $h_4(t)$;求取 $h_3(t)$ 和 $h_4(t)$ 最大值 $\max[h_3(t)]$ 和 $\max[h_4(t)]$ 所对应的时延 τ_{h_3} 和 τ_{h_4} ,则第二重LMS滤波器计算得到的时延 τ_2 如下:

$$\tau_2 = \frac{\tau_{h_3} - \tau_{h_4}}{4}$$

则时延 $\tau = \tau_2$ 。

9. 根据权利要求1所述的基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置,其特征在于,所述多重LMS滤波器包括:n个串联的单重LMS滤波器,前一个单重LMS滤波器的输出作为下一个单重LMS滤波器的输入;所述单重LMS滤波器包括2个LMS自适应滤波器;

在第一个单重LMS滤波器中,以 $s_1(t)$ 作为输入信号、 $s_2(t)$ 作为期望响应,输入到第一LMS自适应滤波器,输出滤波器系数向量 $h_1(t)$;以 $s_2(t)$ 作为输入信号、 $s_1(t)$ 作为期望响应,输入到第二LMS自适应滤波器,则输出滤波器系数向量 $h_2(t)$;

在第二个单重LMS滤波器中,以 $h_1(t)$ 作为输入信号、 $h_2(t)$ 作为期望响应,输入到第三LMS自适应滤波器,输出滤波器系数向量 $h_3(t)$;以 $h_2(t)$ 作为输入信号、 $h_1(t)$ 作为期望响应,输入到第四LMS自适应滤波器,则输出滤波器系数向量 $h_4(t)$;

在第n个单重LMS滤波器中,以 $h_{2n-3}(t)$ 作为输入信号、 $h_{2n-2}(t)$ 作为期望响应,输入到第 $(2n-1)$ 个LMS自适应滤波器,输出滤波器系数向量 $h_{2n-1}(t)$;以 $h_{2n-2}(t)$ 作为输入信号、 $h_{2n-3}(t)$ 作为期望响应,输入到第2n个LMS自适应滤波器,则输出滤波器系数向量 $h_{2n}(t)$;

$h_{2n-1}(t)$ 和 $h_{2n}(t)$ 的横坐标是时间,纵坐标是幅值,其幅值最大处对应的的时间分别为 $\tau_{h_{2n-1}}$

和 $\tau_{h_{2n}}$ ；则多重LMS滤波器的时延 τ_n 计算如下：

$$\tau_n = \frac{\tau_{h_{2n-1}} - \tau_{h_{2n}}}{2n}$$

则时延 $\tau = \tau_n$ 。

10. 根据权利要求7-9之一所述的基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置，其特征在于，所述泄漏定位模块的具体实现步骤为：

基于LMS滤波器输出的时间延迟计算泄漏源位置：

$$d_1 = \frac{D - c\tau}{2}$$

其中， c 为声波在管道中的传播速度， d_1 为泄漏源距离一个传感器的距离；声速 c 的计算公式如下：

$$c = c_f \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2Ba}{Eh}}}$$

其中， c_f 为声波在自由场中的传播速度， B 为水的体积模量， E 为管壁的杨氏模量， a 为管道半径， h 为管道壁厚。

一种基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置

技术领域

[0001] 本发明涉及物探技术领域,特别涉及一种基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置。

背景技术

[0002] 管道是保障人民生活和经济建设的重要基础设施,但是由于腐蚀、老化、自然灾害和施工破坏等原因,管道泄漏事故频发。管道泄漏不仅会造成资源和能源的巨大浪费,而且会导致环境污染、地基沉降、道路塌陷等继发性事故。我国的管道系统多采用金属材质,经过二三十年的服役期,现已进入事故高发阶段,大量主干管线存在老化泄漏问题。以供水管道为例,根据建设部门统计的资料,目前我国城市供水管网的平均漏损率超过15%,最高达70%以上,超过国家CJJ92—2002标准($\leq 12\%$),更远落后于发达国家水平($< 10\%$)。另外,由于历史原因,许多地下管线走向不明,导致建筑单位在施工时常常会意外挖断管线。管道泄漏一直是困扰管道运输业的顽疾,因此,为维护管网安全运行,研究管道泄漏检测和定位方法具有重要的理论意义和工程应用价值。

发明内容

[0003] 本发明提出一种基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置,通过在管道上安装两个传感器(包括加速度传感器或水听器或声/振动传感器),采集管道泄漏源产生的声波信号;然后将传感器采集的信号输入LMS自适应滤波器单元,得到传感器1和传感器2采集信号的时间延迟,然后通过泄漏定位模块计算出泄漏源在管道上的位置信息。

[0004] 为了实现上述目的,本发明提出了一种基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置,所述装置包括:设置在管道泄漏源两端的两个传感器、信号采集卡、信号特征分析模块、LMS滤波器以及泄漏定位模块;

[0005] 所述信号采集卡,用于采集两个传感器的信号,然后分别发送至信号特征分析模块和LMS自适应滤波器;

[0006] 所述信号特征分析模块,用于对采集的信号进行时频域分析,计算信号的相关参数,由此选择LMS滤波器的重数;

[0007] 所述LMS滤波器,用于计算两路传感器信号的时间延迟;

[0008] 所述泄漏定位模块,用于通过获得的时间延迟计算泄漏源的位置。

[0009] 作为上述装置的一种改进,所述传感器为非侵入式的加速度传感器或振动传感器,安装在管道外壁面。

[0010] 作为上述装置的一种改进,所述传感器为侵入式的水听器或压力变送器,安装到管道内部。

[0011] 作为上述装置的一种改进,在每个传感器和信号采集卡之间设置一个前置放大器,所述前置放大器为放大倍数介于10-20dB之间的金属管道前置放大器。

[0012] 作为上述装置的一种改进,在每个传感器和信号采集卡之间设置一个前置放大

器,所述前置放大器为放大倍数介于20-40dB的塑料管道前置放大器。

[0013] 作为上述装置的一种改进,信号特征分析模块包括:参数计算单元和重数确定单元;

[0014] 所述参数计算单元,用于对采集的信号进行时、频域分析,计算信号的相关参数,所述相关参数包括:信号的能量、信噪比、自功率谱、互功率谱和相关系数;所述信噪比SNR的计算公式如下:

$$[0015] \quad \text{SNR} = 10 \log_{10} \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}}$$

[0016] 所述相关系数 ρ 的计算公式如下:

$$[0017] \quad \rho = \frac{\max(R_{s_1 s_2})}{\sqrt{R_{s_1 s_1}(0) R_{s_2 s_2}(0)}}$$

[0018] 其中, P_{signal} 、 P_{noise} 分别表示信号和噪声的功率 $s_1(t)$ 和 $s_2(t)$ 分别为两个传感器采集的信号; $R_{s_1 s_2}$ 是 $s_1(t)$ 和 $s_2(t)$ 的互相关函数, \max 表示取最大值, $R_{s_1 s_1}(0)$ 和 $R_{s_2 s_2}(0)$ 分别表示 $s_1(t)$ 和 $s_2(t)$ 在时间延时 $\tau=0$ 时刻的自相关函数值;

[0019] 所述重数确定单元,用于根据下述准则确定LMS滤波器的重数:

[0020] 当信噪比 $>10\text{dB}$ 或相关系数 >0.8 ,选择单重LMS滤波器;

[0021] 当 $-10\text{dB} < \text{信噪比} < 10\text{dB}$ 或 $0.5 < \text{相关系数} < 0.8$,选择双重LMS滤波器;

[0022] 当信噪比 $< -10\text{dB}$ 或相关系数 < 0.5 ,选择多重LMS滤波器,所述多重为三重或三重以上;并且每重滤波器之间需要进行信号平滑处理。

[0023] 作为上述装置的一种改进,在信号采集卡和LMS滤波器之间设置低通数字滤波器,用于滤除信号中包括的高频电磁和机械噪声。

[0024] 作为上述装置的一种改进,所述单重LMS滤波器包括:第一LMS自适应滤波器和第二LMS自适应滤波器;

[0025] 以 $s_1(t)$ 作为输入信号、 $s_2(t)$ 作为期望响应,输入到第一LMS自适应滤波器,输出滤波器系数向量 $h_1(t)$;以 $s_2(t)$ 作为输入信号、 $s_1(t)$ 作为期望响应,输入到第二LMS自适应滤波器,则输出滤波器系数向量 $h_2(t)$;

[0026] 求取 $h_1(t)$ 和 $h_2(t)$ 最大值 $\max[h_1(t)]$ 和 $\max[h_2(t)]$ 所对应的时延,即 τ_{h_1} 和 τ_{h_2} ,则第一重LMS滤波器计算得到的时延 τ_1 如下:

$$[0027] \quad \tau_1 = \frac{\tau_{h_1} - \tau_{h_2}}{2}$$

[0028] 则时延 $\tau = \tau_1$ 。

[0029] 作为上述装置的一种改进,所述双重LMS滤波器包括:第一重LMS滤波器和第二重LMS滤波器;第一重LMS滤波器包含第一LMS自适应滤波器和第二LMS自适应滤波器,第二重LMS滤波器包含第三LMS自适应滤波器和第四LMS自适应滤波器;

[0030] 在第一重LMS滤波器中,以 $s_1(t)$ 作为输入信号、 $s_2(t)$ 作为期望响应,输入到第一LMS自适应滤波器,输出滤波器系数向量 $h_1(t)$;以 $s_2(t)$ 作为输入信号、 $s_1(t)$ 作为期望响应,输入到第二LMS自适应滤波器,则输出滤波器系数向量 $h_2(t)$;

[0031] 在第二重LMS滤波器中,以 $h_1(t)$ 作为输入信号、 $h_2(t)$ 作为期望响应,输入到第三

LMS自适应滤波器,输出滤波器系数向量 $h_3(t)$;以 $h_2(t)$ 作为输入信号、 $h_1(t)$ 作为期望响应,输入到第四LMS自适应滤波器,输出滤波器系数向量 $h_4(t)$;求取 $h_3(t)$ 和 $h_4(t)$ 最大值 $\max[h_3(t)]$ 和 $\max[h_4(t)]$ 所对应的时延 τ_{h_3} 和 τ_{h_4} ,则第二重LMS滤波器计算得到的时延 τ_2 如下:

$$[0032] \quad \tau_2 = \frac{\tau_{h_3} - \tau_{h_4}}{4}$$

[0033] 则时延 $\tau = \tau_2$ 。

[0034] 作为上述装置的一种改进,所述多重LMS滤波器包括:n个串联的单重LMS滤波器,前一个单重LMS滤波器的输出作为下一个单重LMS滤波器的输入;所述单重LMS滤波器包括2个LMS自适应滤波器;

[0035] 在第一个单重LMS滤波器中,以 $s_1(t)$ 作为输入信号、 $s_2(t)$ 作为期望响应,输入到第一LMS自适应滤波器,输出滤波器系数向量 $h_1(t)$;以 $s_2(t)$ 作为输入信号、 $s_1(t)$ 作为期望响应,输入到第二LMS自适应滤波器,则输出滤波器系数向量 $h_2(t)$;

[0036] 在第二个单重LMS滤波器中,以 $h_1(t)$ 作为输入信号、 $h_2(t)$ 作为期望响应,输入到第三LMS自适应滤波器,输出滤波器系数向量 $h_3(t)$;以 $h_2(t)$ 作为输入信号、 $h_1(t)$ 作为期望响应,输入到第四LMS自适应滤波器,则输出滤波器系数向量 $h_4(t)$;

[0037] 在第n个单重LMS滤波器中,以 $h_{2n-3}(t)$ 作为输入信号、 $h_{2n-2}(t)$ 作为期望响应,输入到第 $(2n-1)$ 个LMS自适应滤波器,输出滤波器系数向量 $h_{2n-1}(t)$;以 $h_{2n-2}(t)$ 作为输入信号、 $h_{2n-3}(t)$ 作为期望响应,输入到第 $2n$ 个LMS自适应滤波器,则输出滤波器系数向量 $h_{2n}(t)$;

[0038] $h_{2n-1}(t)$ 和 $h_{2n}(t)$ 的横坐标是时间,纵坐标是幅值,其幅值最大处对应的的时间分别为 $\tau_{h_{2n-1}}$ 和 $\tau_{h_{2n}}$;则多重LMS滤波器的时延 τ_n 计算如下:

$$[0039] \quad \tau_n = \frac{\tau_{h_{2n-1}} - \tau_{h_{2n}}}{2n}$$

[0040] 则时延 $\tau = \tau_n$ 。

[0041] 作为上述装置的一种改进,所述泄漏定位模块的具体实现步骤为:

[0042] 基于LMS滤波器输出的时间延迟计算泄漏源位置:

$$[0043] \quad d_1 = \frac{D - c\tau}{2}$$

[0044] 其中, c 为声波在管道中的传播速度, d_1 为泄漏源距离一个传感器的距离;声速 c 的计算公式如下:

$$[0045] \quad c = c_f \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2Ba}{Eh}}}$$

[0046] 其中, c_f 为声波在自由场中的传播速度, B 为水的体积模量, E 为管壁的杨氏模量, a 为管道半径, h 为管道壁厚。

[0047] 本发明的优势在于:

[0048] 本发明的装置能够实现低信噪比条件下泄漏源的准确定位。

附图说明

[0049] 图1为两个传感器安装示意图;

- [0050] 图2为多重LMS滤波器泄漏定位原理图；
 [0051] 图3为双重LMS滤波器泄漏定位原理图；
 [0052] 图4为高信噪比条件下LMS滤波器结果；
 [0053] 图5为低信噪比条件下单重LMS滤波器结果；
 [0054] 图6为低信噪比条件下多重LMS滤波器结果；
 [0055] 图7为本发明的基于自适应滤波器的管道泄漏定位装置的示意图。

具体实施方式

[0056] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细的说明。

[0057] 本发明提出的管道泄漏定位原理如下：

[0058] 在管道暴露部分(如管道的检修井)安装两个声/振动传感器,采集管道泄漏源产生的声波信号,传感器安装如图1所示,其中传感器1与泄漏源之间的距离为 d_1 ,传感器2与泄漏源之间的距离为 d_2 ,2个传感器之间的距离 $D=d_1+d_2$ 。

[0059] 实际泄漏检测过程中,两个传感器之间的距离 D 在安装传感器时已经确定,但是泄漏源的位置是未知的,即 d_1 和 d_2 是未知的。由于 $d_2=D-d_1$,即已知 d_1 就可求出 d_2 。实际应用中首先通过计算两个传感器采集信号的时间延迟,再根据声波在管道内部流体中的传播速度,通过公式(1)实现泄漏源位置的准确计算。

$$[0060] \quad d_1 = \frac{D - c\tau}{2} \quad (1)$$

[0061] 公式(1)中未知变量为 c 和 τ ,其中 c 为声波在管道中的传播速度, τ 为传感器1和传感器2的时间延迟。声速 c 的计算公式如下：

$$[0062] \quad c = c_f \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2Ba}{Eh}}} \quad (2)$$

[0063] 其中 c_f 为声波在自由场中的传播速度, B 为水的体积模量, E 为管壁的杨氏模量, a 为管道半径, h 为管道壁厚。

[0064] 因此,由公式(1)和(2)可知,管道泄漏定位的核心是时间延迟 τ 的计算。目前在管道泄漏检测领域,时间延迟 τ 通常通过互相关(基本互相关或广义互相关)算法计算。虽然互相关算法具有很高的鲁棒性,但是当面临微漏信号、声波衰减大、以及信噪比过低等情况时,互相关算法的定位精准度将会受到严重影响。本发明提出了一种基于多重LMS滤波器的时间延迟计算方法,可以有效地解决上述问题,所提方法的原理如图2所示。

[0065] 图2为多重LMS滤波器的泄漏定位原理图,该图中包含了 n 个单重LMS滤波器组。实际使用时,需要根据信号特征选择滤波器的重数:如果信噪比高,可以只使用单重滤波器;如果信噪比低,可以选择多重LMS叠加使用。下面以双重LMS滤波器的情况为例进行详细说明,如图3所示。

[0066] 图3为双重LMS滤波器泄漏定位原理图,第一重LMS滤波器包含LMS自适应滤波器1和LMS自适应滤波器2,第二重LMS滤波器包含LMS自适应滤波器3和LMS自适应滤波器4。第一重LMS滤波器中: $s_1(t)$ 和 $s_2(t)$ 分别为传感器1和传感器2采集的信号。以 $s_1(t)$ 作为输入信号、 $s_2(t)$ 作为期望响应,输入到LMS自适应滤波器1,可以得到滤波器系数向量 $h_1(t)$ 以及时

延 τ_{h_1} ；以 $s_2(t)$ 作为输入信号、 $s_1(t)$ 作为期望响应，输入到LMS自适应滤波器2，可以得到滤波器系数向量 $h_2(t)$ 以及时延 τ_{h_2} ；第二重LMS滤波器中：以 $h_1(t)$ 作为输入信号、 $h_2(t)$ 作为期望响应，输入到LMS自适应滤波器3，可以得到滤波器系数向量 $h_3(t)$ 以及时延 τ_{h_3} ；以 $h_2(t)$ 作为输入信号、 $h_1(t)$ 作为期望响应，输入到LMS自适应滤波器4，可以得到滤波器系数向量 $h_4(t)$ 以及时延 τ_{h_4} 。其中， $h_1(t)$ 和 $h_2(t)$ 反应了 $s_1(t)$ 和 $s_2(t)$ 的时延情况， $h_3(t)$ 和 $h_4(t)$ 反应了 $h_1(t)$ 和 $h_2(t)$ 的时延情况。在高信噪比情况下， $h_1(t)$ 和 $h_2(t)$ 的示例图如图4所示。

[0067] 图4中 $h_1(t)$ 曲线的最大值对应的横坐标为0.02s，该值的物理含义是 $s_1(t)$ 比 $s_2(t)$ 超前0.02s； $h_2(t)$ 曲线的最大值对应的横坐标为-0.02s，该值的物理含义是 $s_2(t)$ 比 $s_1(t)$ 超前-0.02s，也即落后0.02s。由此可知，在高信噪比情况下，只采用单重LMS自适应滤波器（滤波器1或滤波器2）即可求得传感器1和传感器2的时延，从而实现泄漏源的准确定位。但是对于微漏信号、声波衰减大、以及信噪比过低等情况时，只采用单重LMS滤波器已经不能有效地完成精准定位，如图5所示。

[0068] 图5为低信噪比条件下单重LMS滤波器结果，可以看出：在低信噪比情况下， $h_1(t)$ 和 $h_2(t)$ 曲线的尖峰已经不明显，最大值的选取可能会受到附近峰值的干扰，从而造成定位结果错误。为提高漏点定位精度和可靠性，本发明提出了多重LMS滤波器的方法，即：进一步以 $h_1(t)$ 作为输入信号、 $h_2(t)$ 作为期望响应，输入到LMS自适应滤波器3，从而得到滤波器系数向量 $h_3(t)$ ；以 $h_2(t)$ 作为输入信号、 $h_1(t)$ 作为期望响应，输入到LMS自适应滤波器4，从而得到滤波器系数向量 $h_4(t)$ 。图6为低信噪比条件下双重LMS滤波器结果的示例图，可以看出， $h_3(t)$ 曲线的最大值对应的横坐标为0.04s， $h_4(t)$ 曲线的最大值对应的横坐标为-0.04s。使用多重LMS滤波器进行泄漏定位时，将 $h_{2n-1}(t)$ 和 $h_{2n}(t)$ 峰值对应的时间值 $\tau_{h_{2n-1}}$ 和 $\tau_{h_{2n}}$ ，先取绝对值，然后除以 $2n$ ，即可计算得到时延 τ_n ，然后再由公式(1)实现泄漏源的准确定位。

[0069] 如图7所示，本发明的装置具体包括：

[0070] 1、传感器单元

[0071] 在管道暴露部分安装两个传感器，一般可选用非侵入式的加速度传感器或振动传感器，安装在管道外壁面；或者侵入式的水听器或压力变送器，安装到管道内部。以加速度传感器为例，一般选择频率范围 $\leq 6\text{kHz}$ ，金属管道由于信号衰减较小，一般传感器间距可以设置为300-500米左右，塑料管道由于信号衰减较大，一般传感器间距可以设置为50-100米左右。

[0072] 2、信号放大和采集单元

[0073] 针对选用的传感器，配套的信号采样频率一般为传感器频率的2-5倍。以频率范围 $\leq 6\text{kHz}$ 的加速度传感器为例，信号采样频率可以设置为12-30kHz，金属管道前置放大器放大倍数可以设置为10-20dB，塑料管道前置放大器放大倍数可以设置为20-40dB。

[0074] 3、信号特征分析单元

[0075] 信号特征分析单元对采集的信号进行时、频域分析，计算信号的能量、信噪比、自功率谱、互功率谱和相关系数等参数，并且根据这些参数选择多重LMS自适应滤波器的具体重数，一般信噪比 $> 10\text{dB}$ 或相关系数 > 0.8 ，选择单重LMS自适应滤波器可以满足工程定位的精度要求；当 $-10\text{dB} < \text{信噪比} < 10\text{dB}$ 或 $0.5 < \text{相关系数} < 0.8$ ，选择双重LMS自适应滤波器可以满足工程定位的精度要求；当信噪比 $< -10\text{dB}$ 或相关系数 < 0.5 ，建议选择三重或三重以上的LMS

自适应滤波器,并且每重滤波器之间需要进行信号平滑处理。所述信噪比和相关系数的计算公式如下:

$$[0076] \quad \text{SNR} = 10 \log_{10} \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} \quad (3)$$

$$[0077] \quad \rho = \frac{\max(R_{s_1 s_2})}{\sqrt{R_{s_1 s_1}(0) R_{s_2 s_2}(0)}} \quad (4)$$

[0078] 其中, P_{signal} 、 P_{noise} 分别表示信号和噪声的功率, $R_{s_1 s_2}$ 是信号1和信号2的互相关函数, \max 表示取最大值, $R_{s_1 s_1}(0)$ 和 $R_{s_2 s_2}(0)$ 分别表示信号1和信号2在 $\tau=0$ 时刻的自相关函数值。

[0079] 4、信号处理和定位单元

[0080] 信号处理和定位单元包括:滤波器、多重LMS滤波器以及泄漏定位器。其中滤波器采用低通数字滤波器,目的是滤除信号中包括的高频电磁和机械噪声;多重LMS滤波器用于计算两路传感器信号的时间延迟;定位器的目的是通过获得的时间延迟计算泄漏源的位置。

[0081] 最后所应说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制。尽管参照实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,都不脱离本发明技术方案的精神和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

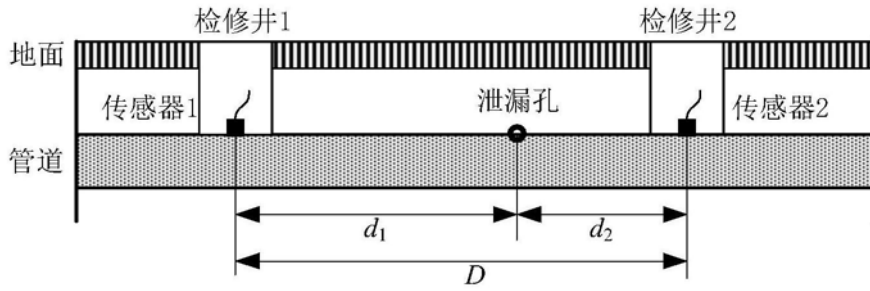


图1

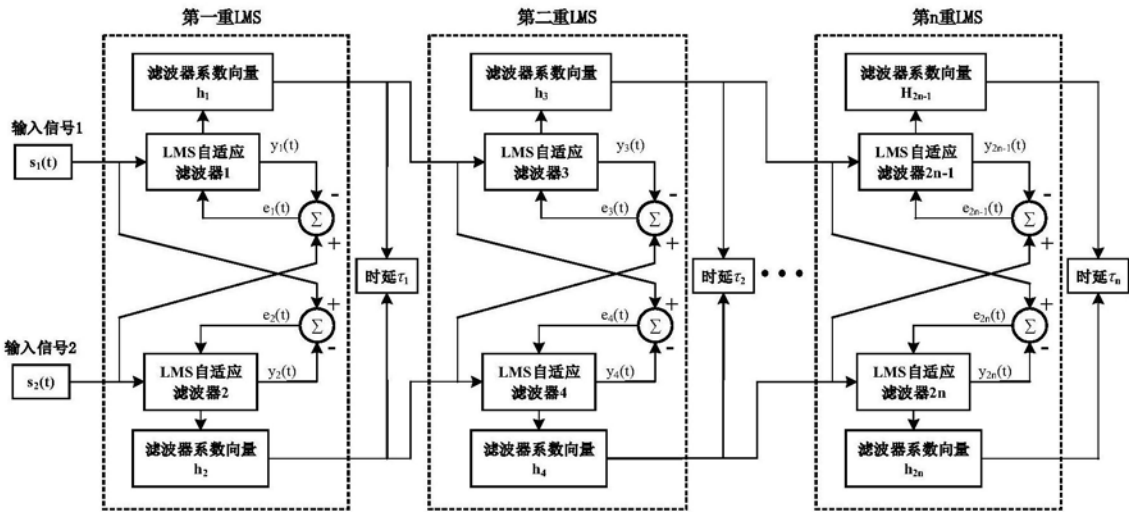


图2

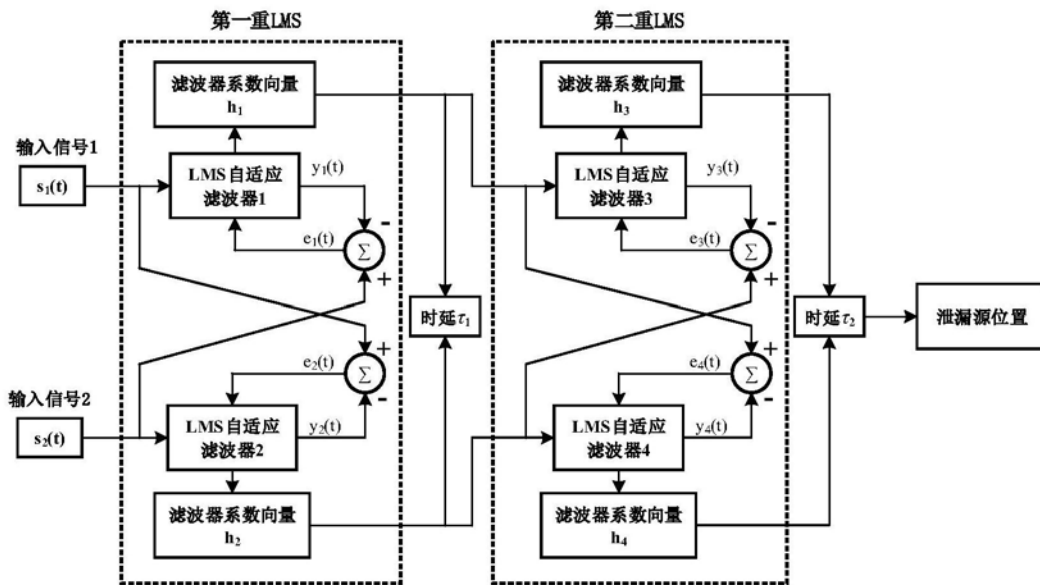


图3

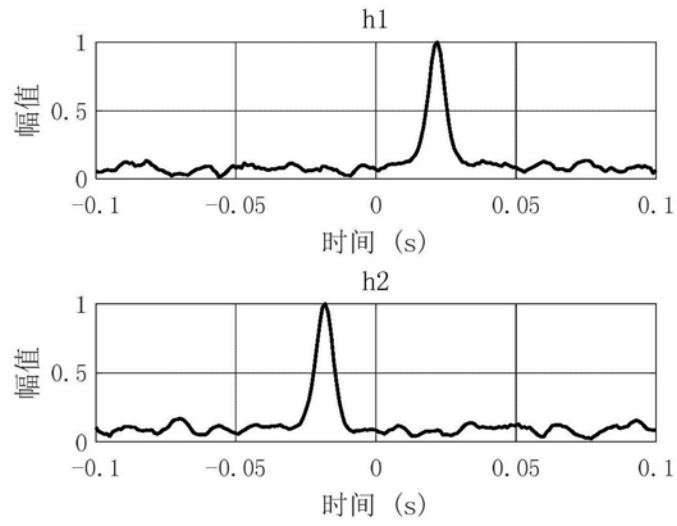


图4

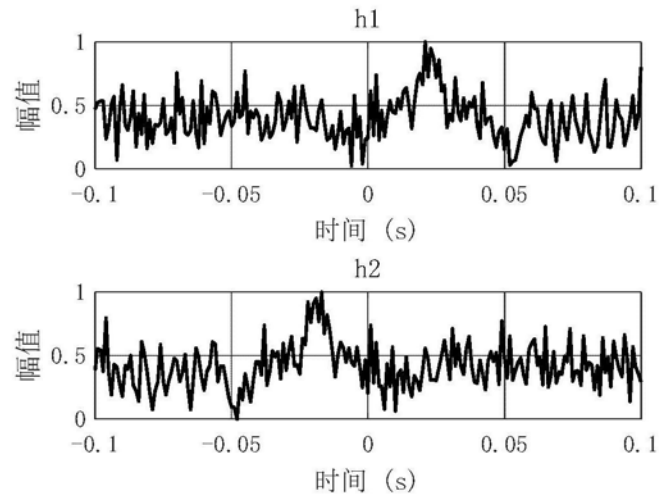


图5

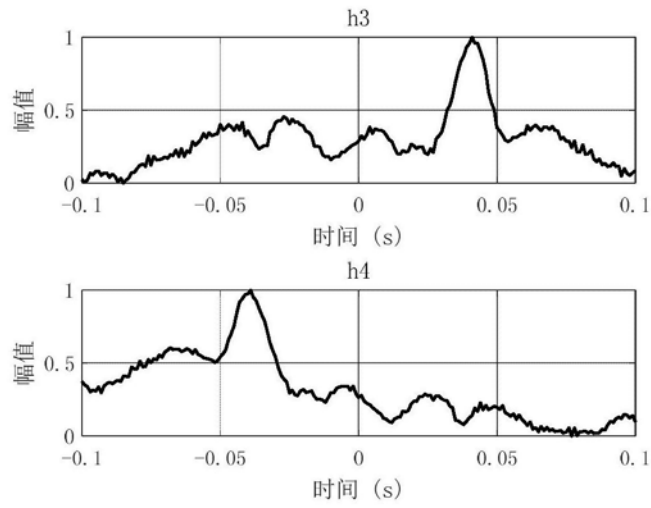


图6

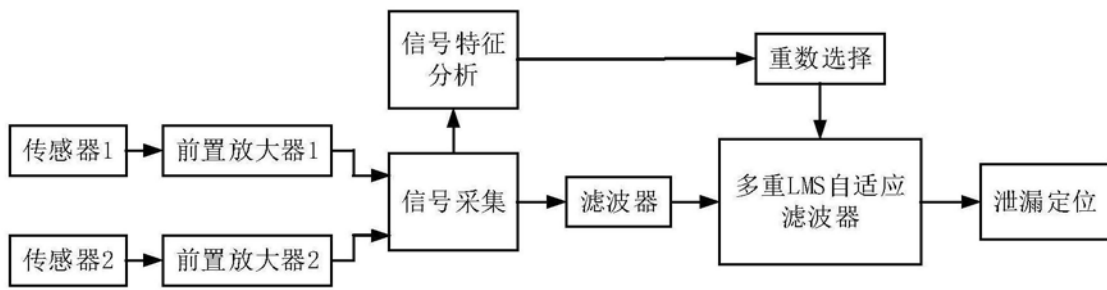


图7