



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103822097 B

(45)授权公告日 2016. 11. 16

(21)申请号 201210465977.1

(22)申请日 2012.11.16

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103822097 A

(43)申请公布日 2014.05.28

(73)专利权人 国际商业机器公司
地址 美国纽约

(72)发明人 严骏驰 李峻荣 田春华 王瑜
黄瑾 段宁

(74)专利代理机构 北京市中咨律师事务所
11247
代理人 刘薇 于静

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

(56)对比文件

CN 1322914 A,2001.11.21,
CN 202074237 U,2011.12.14,
CN 1321846 A,2001.11.14,
RU 2421657 C1,2011.06.20,
UA 63085 A,2004.01.15,
柳战良.基于负压波法的泄漏定位关键技术.
《长输原油管道泄漏定位关键技术研究》.中国
石油大学硕士研究生学位论文,2007,

审查员 刘文丽

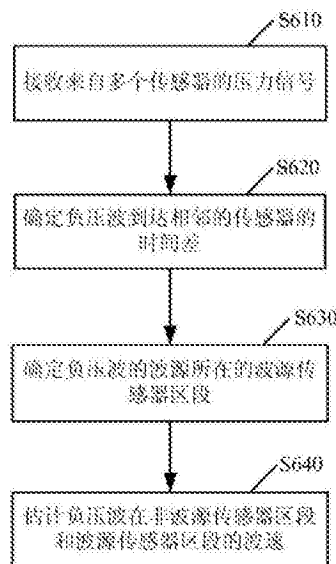
权利要求书6页 说明书12页 附图6页

(54)发明名称

在流体输送管道中估计负压波的波速的方法及装置

(57)摘要

本发明公开了一种在流体输送管道中估计负压波的波速的方法,其中所述负压波是由于所述流体输送管道发生泄漏而产生的,所述方法包括:接收来自多个传感器的多个压力信号;根据所接收的多个压力信号,确定所述负压波到达相邻的传感器的时间差;确定所述负压波的波源所在的波源传感器区段;估计所述负压波在非波源传感器区段和波源传感器区段的波速。本发明还公开了在流体输送管道中估计负压波的波速的装置。



1. 一种在流体输送管道中估计负压波的波速的方法,其中,所述负压波是由于流体输送管道的正常操作而产生的,所述方法包括:

接收来自多个传感器的多个压力信号;

确定所述负压波的波源的位置;

根据所述多个压力信号,确定所述负压波到达相邻的传感器的时间差;以及

估计所述负压波在各个传感器区段的波速,其中,确定所述负压波到达相邻的传感器的时间差包括:

对所述多个压力信号进行对齐和去噪并行处理;以及

确定对齐的相邻的传感器的压力信号的起始时间的差作为所述负压波到达相邻的传感器的时间差。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,确定所述负压波的波源的位置包括:

根据所述流体输送管道的工作日程,确定所述流体输送管道的当前执行操作的部件的位置为所述负压波的波源的位置。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中,对所述多个压力信号进行对齐和去噪并行处理包括:

在指定时间段内,对所述多个压力信号的每一个采样相同时间长度的信号片段作为采样序列;

使用多个所述采样序列,对包含对齐指标和去噪指标的目标函数进行最小化;

多次重复上述采样操作和最小化操作;以及

确定多个最小化的目标函数的值中的最小值所对应的多个采样序列为对齐的采样序列。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中,对所述多个压力信号进行对齐和去噪并行处理包括:

在指定时间段内,对所述多个压力信号的每一个采样相同时间长度的信号片段作为采样序列;

将多个所述采样序列形成采样矩阵,其中所述采样矩阵的每一行是一个所述采样序列;

对所述采样矩阵进行分解,以使分解后的第一矩阵的秩小于第一指定值,分解后的第二矩阵的稀疏性指标小于第二指定值,并且所述采样矩阵与所述第一矩阵和所述第二矩阵之间的残余误差最小;

多次重复上述采样操作、形成操作和分解操作;以及

确定多个最小化的残余误差中最小的残余误差所对应的采样矩阵中的采样序列为对齐的采样序列。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中,估计所述负压波在各个传感器区段的波速包括:

对于不存在所述负压波的波源的至少一个非波源传感器区段的每一个,根据该非波源传感器区段的两个端点传感器的距离差和所述负压波到达所述两个端点传感器的时间差,计算所述负压波在该非波源传感器区段的波速;以及

对于所述负压波的波源所在的波源传感器区段,根据所述波源的位置、所述波源传感器区段的两个端点传感器的距离差和所述负压波到达所述两个端点传感器的时间差,计算

所述负压波在所述波源传感器区段的波速。

6. 根据权利要求1所述的方法,还包括:

记录所述负压波的波源所在的传感器区段、所述负压波在各个传感器区段的波速和所述流体输送管道所输送的流体的种类,作为所述流体输送管道的基于工作日程的波速信息。

7. 一种在流体输送管道中估计负压波的波速的方法,其中所述负压波是由于所述流体输送管道发生泄漏而产生的,所述方法包括:

接收来自多个传感器的多个压力信号;

根据所接收的多个压力信号,确定所述负压波到达相邻的传感器的时间差;

确定所述负压波的波源所在的波源传感器区段;

估计所述负压波在非波源传感器区段和所述波源传感器区段的波速,其中,确定所述负压波到达相邻的传感器的时间差包括:

对所述多个压力信号进行对齐和去噪并行处理;以及

确定对齐的相邻的传感器的压力信号的起始时间的差作为所述负压波到达相邻的传感器的时间差。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中,对所述多个压力信号进行对齐和去噪并行处理包括:

在指定时间段内,对所述多个压力信号的每一个采样相同时间长度的信号片段作为采样序列;

使用多个所述采样序列,对包含对齐指标和去噪指标的目标函数进行最小化;

多次重复上述采样操作和最小化操作;以及

确定多个最小化的目标函数的值中的最小值所对应的多个采样序列为对齐的采样序列。

9. 根据权利要求7所述的方法,其中,对所述多个压力信号进行对齐和去噪并行处理包括:

在指定时间段内,对所述多个压力信号的每一个采样相同时间长度的信号片段作为采样序列;

将多个所述采样序列形成采样矩阵,其中所述采样矩阵的每一行是一个所述采样序列;

对所述采样矩阵进行分解,以使分解后的第一矩阵的秩小于第一指定值,分解后的第二矩阵的稀疏性指标小于第二指定值,并且所述采样矩阵与所述第一矩阵和所述第二矩阵之间的残余误差最小;

多次重复上述采样操作、形成操作和分解操作;以及

确定多个最小化后的残余误差中最小的残余误差所对应的采样矩阵中的采样序列为对齐的采样序列。

10. 根据权利要求7所述的方法,其中,确定所述负压波的波源所在的波源传感器区段包括:

获得所述负压波到达各个传感器的顺序;

确定所述负压波最先到达的传感器;以及

将以所述负压波最先到达的传感器的前一个传感器和后一个传感器为端点的传感器区段确定为所述波源传感器区段。

11. 根据权利要求7所述的方法, 其中, 估计所述负压波在非波源传感器区段和所述波源传感器区段的波速包括:

对于所述非波源传感器区段的每一个, 根据该非波源传感器区段的两个端点传感器的距离差和所述负压波到达所述两个端点传感器的时间差, 计算所述负压波在该非波源传感器区段的波速; 以及

根据预先记录的所述流体输送管道的基于工作日程的波速信息和所计算的所述负压波在各个非波源传感器区段的波速, 估计所述负压波在所述波源传感器区段的波速。

12. 根据权利要求11所述的方法, 其中, 估计所述负压波在所述波源传感器区段的波速包括:

根据所述流体输送管道所输送的流体的种类, 在所述基于工作日程的波速信息中查找具有相同种类的流体的信息项以形成第一候选波速信息;

根据所述波源传感器区段, 在第一候选波速信息中查找波源所在的传感器区段是所述波源传感器区段的信息项以形成第二候选波速信息;

在所述第二候选波速信息中查找与所计算的所述负压波在非波源传感器区段的波速最接近的波速信息作为匹配波速信息; 以及

从所述匹配波速信息中获得所述波源传感器区段的波速。

13. 根据权利要求11所述的方法, 其中, 估计所述负压波在所述波源传感器区段的波速包括:

根据所述波源传感器区段, 在所述基于工作日程的波速信息中查找波源所在的传感器区段是所述波源传感器区段的信息项; 以及

使用所查找的信息项回归地计算所述负压波在所述波源传感器区段的波速。

14. 一种在流体输送管道中估计负压波的波速的装置, 其中, 所述负压波是由于流体输送管道的正常操作而产生的, 所述装置包括:

接收模块, 其被配置为接收来自多个传感器的多个压力信号;

位置确定模块, 其被配置为确定所述负压波的波源的位置;

时间差确定模块, 其被配置为根据所述多个压力信号, 确定所述负压波到达相邻的传感器的时间差; 以及

波速估计模块, 其被配置为估计所述负压波在各个传感器区段的波速, 其中, 所述时间差确定模块包括:

对齐去噪处理单元, 其被配置为对所述多个压力信号进行对齐和去噪并行处理; 以及

时间差确定单元, 其被配置为确定对齐的相邻的传感器的压力信号的起始时间的差作为所述负压波到达相邻的传感器的时间差。

15. 根据权利要求14所述的装置, 其中, 所述位置确定模块被配置为根据所述流体输送管道的工作日程, 确定所述流体输送管道的当前执行操作的部件的位置为所述负压波的波源的位置。

16. 根据权利要求14所述的装置, 其中, 所述对齐去噪处理单元包括:

采样单元, 其被配置为在指定时间段内, 对所述多个压力信号的每一个采样相同时间

长度的信号片段作为采样序列；

最小化单元,其被配置为使用多个所述采样序列,对包含对齐指标和去噪指标的目标函数进行最小化;以及

确定单元,其被配置为确定多个最小化的目标函数的值中的最小值所对应的多个采样序列为对齐的采样序列。

17. 根据权利要求14所述的装置,其中,所述对齐去噪处理单元包括:

采样单元,其被配置为在指定时间段内,对所述多个压力信号的每一个采样相同时间长度的信号片段作为采样序列;

形成单元,其被配置为将多个所述采样序列形成采样矩阵,其中所述采样矩阵的每一行是一个所述采样序列;

分解单元,其被配置为对所述采样矩阵进行分解,以使分解后的第一矩阵的秩小于第一指定值,分解后的第二矩阵的稀疏性指标小于第二指定值,并且所述采样矩阵与所述第一矩阵和所述第二矩阵之间的残余误差最小;以及

确定单元,其被配置为确定多个最小化的残余误差中最小的残余误差所对应的采样矩阵中的采样序列为对齐的采样序列。

18. 根据权利要求14所述的装置,其中,所述波速估计模块包括:

第一计算单元,其被配置为对于不存在所述负压波的波源的至少一个非波源传感器区段的每一个,根据该非波源传感器区段的两个端点传感器的距离差和所述负压波到达所述两个端点传感器的时间差,计算所述负压波在该非波源传感器区段的波速;以及

第二计算单元,其被配置为对于所述负压波的波源所在的波源传感器区段,根据所述波源的位置、所述波源传感器区段的两个端点传感器的距离差和所述负压波到达所述两个端点传感器的时间差,计算所述负压波在所述波源传感器区段的波速。

19. 根据权利要求14所述的装置,还包括:

记录模块,其被配置为记录所述负压波的波源所在的传感器区段、所述负压波在各个传感器区段的波速和所述流体输送管道所输送的流体的种类,作为所述流体输送管道的基于工作日程的波速信息。

20. 一种在流体输送管道中估计负压波的波速的装置,其中所述负压波是由于所述流体输送管道发生泄漏而产生的,所述装置包括:

接收模块,其被配置为接收来自多个传感器的多个压力信号;

时间差确定模块,其被配置为根据所接收的多个压力信号,确定所述负压波到达相邻的传感器的时间差;

区段确定模块,其被配置为确定所述负压波的波源所在的波源传感器区段;以及

波速估计模块,其被配置为估计所述负压波在非波源传感器区段和所述波源传感器区段的波速,其中,所述时间差确定模块包括:

对齐去噪处理单元,其被配置为对所述多个压力信号进行对齐和去噪并行处理;以及

时间差确定单元,其被配置为确定对齐的相邻的传感器的压力信号的起始时间的差作为所述负压波到达相邻的传感器的时间差。

21. 根据权利要求20所述的装置,其中,所述对齐去噪处理单元包括:

采样单元,其被配置为在指定时间段内,对所述多个压力信号的每一个采样相同时间

长度的信号片段作为采样序列；

最小化单元,其被配置为使用多个所述采样序列,对包含对齐指标和去噪指标的目标函数进行最小化;以及

确定单元,其被配置为确定多个最小化的目标函数的值中的最小值所对应的多个采样序列为对齐的采样序列。

22. 根据权利要求20所述的装置,其中,所述对齐去噪处理单元包括:

采样单元,其被配置为在指定时间段内,对所述多个压力信号的每一个采样相同时间长度的信号片段作为采样序列;

形成单元,其被配置为将多个所述采样序列形成采样矩阵,其中所述采样矩阵的每一行是一个所述采样序列;

分解单元,其被配置为对所述采样矩阵进行分解,以使分解后的第一矩阵的秩小于第一指定值,分解后的第二矩阵的稀疏性指标小于第二指定值,并且所述采样矩阵与所述第一矩阵和所述第二矩阵之间的残余误差最小;以及

确定单元,其被配置为确定多个最小化的残余误差中最小的残余误差所对应的采样矩阵中的采样序列为对齐的采样序列。

23. 根据权利要求20所述的装置,其中,所述区段确定模块包括:

顺序获得单元,其被配置为获得所述负压波到达各个传感器的顺序;

传感器确定单元,其被配置为确定所述负压波最先到达的传感器;以及

区段确定单元,其被配置为将以所述负压波最先到达的传感器的前一个传感器和后一个传感器为端点的传感器区段确定为所述波源传感器区段。

24. 根据权利要求20所述的装置,其中,所述波速估计模块包括:

第一波速估计单元,其被配置为对于所述非波源传感器区段的每一个,根据该非波源传感器区段的两个端点传感器的距离差和所述负压波到达所述两个端点传感器的时间差,计算所述负压波在该非波源传感器区段的波速;以及

第二波速估计单元,其被配置为根据预先记录的所述流体输送管道的基于工作日程的波速信息和所计算的所述负压波在各个非波源传感器区段的波速,估计所述负压波在所述波源传感器区段的波速。

25. 根据权利要求24所述的装置,其中,所述第二波速估计单元包括:

第一查找单元,其被配置为根据所述流体输送管道所输送的流体的种类,在所述基于工作日程的波速信息中查找具有相同种类的流体的信息项以形成第一候选波速信息;

第二查找单元,其被配置为根据所述波源传感器区段,在第一候选波速信息中查找波源所在的传感器区段是所述波源传感器区段的信息项以形成第二候选波速信息;

第三查找单元,其被配置为在所述第二候选波速信息中查找与所计算的所述负压波在非波源传感器区段的波速最接近的波速信息作为匹配波速信息;以及

波速获得单元,其被配置为从所述匹配波速信息中获得所述波源传感器区段的波速。

26. 根据权利要求24所述的装置,其中,所述第二波速估计单元包括:

查找单元,其被配置为根据所述波源传感器区段,在所述基于工作日程的波速信息中查找波源所在的传感器区段是所述波源传感器区段的信息项;以及

回归计算单元,其被配置为使用所查找的信息项回归地计算所述负压波在所述波源传

传感器区段的波速。

在流体输送管道中估计负压波的波速的方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及流体输送管道的泄漏检测和定位,更具体地,涉及在流体输送管道中估计负压波的波速的方法及装置。

背景技术

[0002] 在流体输送管道的管理中,泄漏检测和定位是一项重要的技术。现有的用于管道的泄漏检测和定位的技术包括声压波(负压波)检测和定位方法、平衡方法、统计方法、实时暂态模型(RTTM)方法等,其中声压波检测和定位方法由于成本低、泄漏检测性能高和相对低的误报警而最为常用。

[0003] 在声压波检测和定位方法中,多个传感器被安装在流体输送管道的不同位置处,以持续检测声压波的压力。当泄漏发生时,传感器会检测到压力的突然下降,并且该压力的下降沿着流体输送管道从泄漏处向上游和下游传播。这样,通过检测到声压波的压力下降,可以检测流体输送管道的泄漏。

[0004] 图2是描述现有的声压波检测和定位方法的示意图。如图2所示,在流体输送管道上安装有6个传感器S1-S6。假设泄漏发生在传感器S3与S4之间,则由于泄漏而产生的声压波分别向上游和下游传播。假设在上游处的传感器S2在时间 t_1 处检测到该声压波,而在下游处的传感器S5在时间 t_2 处检测到该声压波。假设泄漏的位置与上游的传感器S2之间的距离为 d_1 ,与下游的传感器S5之间的距离为 d_2 ,则可通过下面的等式(1)计算泄漏的位置 D_{leak} :

$$[0005] \quad D_{leak} = \frac{V(t_1 - t_2) + d_1 + d_2}{2} \quad (1)$$

[0006] 其中, V 表示声压波的传播速度(也称为波速)。因此,为了能够准确地定位泄漏的位置,需要获得准确的波速 V 。

[0007] 现有的两种用于估计波速的方法是音锤模拟法和经验公式法。

[0008] 在音锤模拟法中,使用音锤作为声压波的波源,以产生声压波而向传感器传播。在已知波源与传感器之间的距离的情况下,通过测量声压波的产生时间与传感器检测到声压波的时间的差值,可以计算波速。然而,音锤模拟法是离线的模拟法,其并不能反映泄漏实际发生时的波速值,因为波速容易受到环境的影响,例如流体的种类(诸如原油、柴油等)、流体的温度、泄漏的位置、流体输送管道的拓扑结构等。此外,音锤模拟法的测量过程需要额外的成本。

[0009] 在经验公式法中,声压波的波速被认为与流体体积弹性系数、流体密度、弹性模数、管道直径、管道厚度和流体的流动速度等有关。通过获取泄漏发生时这些相关参数的值,利用经验公式计算声压波的波速。然而,经验公式法所需的相关参数实际上不太容易获得准确的值,而且经验公式本身也存在不准确性。

[0010] 因此,需要一种能够更准确地估计声压波的波速的方法,即使波速容易受到环境的影响,也能够准确地估计波速。

发明内容

[0011] 根据本发明的一个方面,提供了一种在流体输送管道中估计负压波的波速的方法,其中,所述负压波是由于流体输送管道的正常操作而产生的,所述方法包括:接收来自多个传感器的多个压力信号;确定所述负压波的波源的位置;根据所述多个压力信号,确定所述负压波到达相邻的传感器的时间差;以及估计所述负压波在各个传感器区段的波速。

[0012] 根据本发明的另一个方面,提供了一种在流体输送管道中估计负压波的波速的方法,其中所述负压波是由于所述流体输送管道发生泄漏而产生的,所述方法包括:接收来自多个传感器的多个压力信号;根据所接收的多个压力信号,确定所述负压波到达相邻的传感器的时间差;确定所述负压波的波源所在的波源传感器区段;估计所述负压波在非波源传感器区段和所述波源传感器区段的波速。

[0013] 根据本发明的再一个方面,提供了一种在流体输送管道中估计负压波的波速的装置,其中,所述负压波是由于流体输送管道的正常操作而产生的,所述装置包括:接收模块,其被配置为接收来自多个传感器的多个压力信号;位置确定模块,其被配置为确定所述负压波的波源的位置;时间差确定模块,其被配置为根据所述多个压力信号,确定所述负压波到达相邻的传感器的时间差;以及波速估计模块,其被配置为估计所述负压波在各个传感器区段的波速。

[0014] 根据本发明的再一个方面,提供了一种在流体输送管道中估计负压波的波速的装置,其中所述负压波是由于所述流体输送管道发生泄漏而产生的,所述装置包括:接收模块,其被配置为接收来自多个传感器的多个压力信号;时间差确定模块,其被配置为根据所接收的多个压力信号,确定所述负压波到达相邻的传感器的时间差;区段确定模块,其被配置为确定所述负压波的波源所在的波源传感器区段;以及波速估计模块,其被配置为估计所述负压波在非波源传感器区段和所述波源传感器区段的波速。

附图说明

[0015] 通过结合附图对本公开示例性实施方式进行更详细的描述,本公开的上述以及其它目的、特征和优势将变得更加明显,其中,在本公开示例性实施方式中,相同的参考标号通常代表相同部件。

[0016] 图1示出了适于用来实现本发明实施方式的示例性计算机系统/服务器12的框图;

[0017] 图2是描述现有的声压波检测和定位方法的示意图;

[0018] 图3是根据本发明的一个实施例的在流体输送管道中估计负压波的波速的方法的流程图;

[0019] 图4示意性地示出了在对齐去噪处理的各个阶段的负压波的波形图;

[0020] 图5是描述实施图3所示的方法的应用例的示意图;

[0021] 图6是根据本发明的一个实施例的在流体输送管道中估计负压波的波速的方法的流程图;

[0022] 图7是描述实施图6所示的方法的应用例的示意图;

[0023] 图8是根据本发明的一个实施例的在流体输送管道中估计负压波的波速的装置的示意性方框图;

[0024] 图9是根据本发明的一个实施例的在流体输送管道中估计负压波的波速的装置的示意性方框图。

具体实施方式

[0025] 下面将参照附图更详细地描述本公开的优选实施方式。虽然附图中显示了本公开的优选实施方式，然而应该理解，可以以各种形式实现本公开而不应被这里阐述的实施方式所限制。相反，提供这些实施方式是为了使本公开更加透彻和完整，并且能够将本公开的范围完整地传达给本领域的技术人员。

[0026] 所属技术领域的技术人员知道，本发明可以实现为系统、方法或计算机程序产品。因此，本公开可以具体实现为以下形式，即：可以是完全的硬件、也可以是完全的软件（包括固件、驻留软件、微代码等），还可以是硬件和软件结合的形式，本文一般称为“电路”、“模块”或“系统”。此外，在一些实施例中，本发明还可以实现为在一个或多个计算机可读介质中的计算机程序产品的形式，该计算机可读介质中包含计算机可读的程序代码。可以采用一个或多个计算机可读的介质的任意组合。计算机可读介质可以是计算机可读信号介质或者计算机可读存储介质。计算机可读存储介质例如可以是一——但不限于——电、磁、光、电磁、红外线、或半导体的系统、装置或器件，或者任意以上的组合。计算机可读存储介质的更具体的例子（非穷举的列表）包括：具有一个或多个导线的电连接、便携式计算机磁盘、硬盘、随机存取存储器（RAM）、只读存储器（ROM）、可擦式可编程只读存储器（EPROM或闪存）、光纤、便携式紧凑磁盘只读存储器（CD-ROM）、光存储器件、磁存储器件、或者上述的任意合适的组合。在本文件中，计算机可读存储介质可以是任何包含或存储程序的有形介质，该程序可以被指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用。

[0027] 计算机可读的信号介质可以包括在基带中或者作为载波一部分传播的数据信号，其中承载了计算机可读的程序代码。这种传播的数据信号可以采用多种形式，包括——但不限于——电磁信号、光信号或上述的任意合适的组合。计算机可读的信号介质还可以是计算机可读存储介质以外的任何计算机可读介质，该计算机可读介质可以发送、传播或者传输用于由指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用的程序。

[0028] 计算机可读介质上包含的程序代码可以用任何适当的介质传输，包括——但不限于——无线、电线、光缆、RF等等，或者上述的任意合适的组合。

[0029] 可以以一种或多种程序设计语言或其组合来编写用于执行本发明操作的计算机程序代码，所述程序设计语言包括面向对象的程序设计语言——诸如Java、Smalltalk、C++，还包括常规的过程式程序设计语言——诸如“C”语言或类似的设计语言。程序代码可以完全地在用户计算机上执行、部分地在用户计算机上执行、作为一个独立的软件包执行、部分在用户计算机上部分在远程计算机上执行、或者完全在远程计算机或服务器上执行。在涉及远程计算机的情形中，远程计算机可以通过任意种类的网络——包括局域网（LAN）或广域网（WAN）——连接到用户计算机，或者，可以连接到外部计算机（例如利用因特网服务提供商来通过因特网连接）。

[0030] 下面将参照本发明实施例的方法、装置（系统）和计算机程序产品的流程图和/或框图描述本发明。应当理解，流程图和/或框图的每个方框以及流程图和/或框图中各方框的组合，都可以由计算机程序指令实现。这些计算机程序指令可以提供给通用计算机、专用

计算机或其它可编程数据处理装置的处理器,从而生产出一种机器,这些计算机程序指令通过计算机或其它可编程数据处理装置执行,产生了实现流程图和/或框图中的方框中规定的功能/操作的装置。

[0031] 也可以把这些计算机程序指令存储在能使得计算机或其它可编程数据处理装置以特定方式工作的计算机可读介质中,这样,存储在计算机可读介质中的指令就产生出一个包括实现流程图和/或框图中的方框中规定的功能/操作的指令装置(instruction means)的制品(manufacture)。

[0032] 也可以把计算机程序指令加载到计算机、其它可编程数据处理装置、或其它设备上,使得在计算机、其它可编程数据处理装置或其它设备上执行一系列操作步骤,以产生计算机实现的过程,从而使得在计算机或其它可编程装置上执行的指令能够提供实现流程图和/或框图中的方框中规定的功能/操作的过程。

[0033] 图1示出了适于用来实现本发明实施方式的示例性计算机系统/服务器12的框图。图1显示的计算机系统/服务器12仅仅是一个示例,不应对本发明实施例的功能和使用范围带来任何限制。

[0034] 如图1所示,计算机系统/服务器12以通用计算设备的形式表现。计算机系统/服务器12的组件可以包括但不限于:一个或者多个处理器或者处理单元16,系统存储器28,连接不同系统组件(包括系统存储器28和处理单元16)的总线18。

[0035] 总线18表示几类总线结构中的一种或多种,包括存储器总线或者存储器控制器,外围总线,图形加速端口,处理器或者使用多种总线结构中的任意总线结构的局域总线。举例来说,这些体系结构包括但不限于工业标准体系结构(ISA)总线,微通道体系结构(MAC)总线,增强型ISA总线、视频电子标准协会(VESA)局域总线以及外围组件互连(PCI)总线。计算机系统/服务器12典型地包括多种计算机系统可读介质。这些介质可以是任何能够被计算机系统/服务器12访问的可用介质,包括易失性和非易失性介质,可移动的和不可移动的介质。

[0036] 系统存储器28可以包括易失性存储器形式的计算机系统可读介质,例如随机存取存储器(RAM)30和/或高速缓存存储器32。计算机系统/服务器12可以进一步包括其它可移动/不可移动的、易失性/非易失性计算机系统存储介质。仅作为举例,存储系统34可以用于读写不可移动的、非易失性磁介质(图1未显示,通常称为“硬盘驱动器”)。尽管图1中未示出,可以提供用于对可移动非易失性磁介质(例如“软盘”)读写的磁盘驱动器,以及对可移动非易失性光盘(例如CD-ROM, DVD-ROM或者其它光介质)读写的光盘驱动器。在这些情况下,每个驱动器可以通过一个或者多个数据介质接口与总线18相连。存储器28可以包括至少一个程序产品,该程序产品具有一组(例如至少一个)程序模块,这些程序模块被配置以执行本发明各实施例的功能。

[0037] 具有一组(至少一个)程序模块42的程序/实用工具40,可以存储在例如存储器28中,这样的程序模块42包括——但不限于——操作系统、一个或者多个应用程序、其它程序模块以及程序数据,这些示例中的每一个或某种组合中可能包括网络环境的实现。程序模块42通常执行本发明所描述的实施例中的功能和/或方法。

[0038] 计算机系统/服务器12也可以与一个或多个外部设备14(例如键盘、指向设备、显示器24等)通信,还可与一个或者多个使得用户能与该计算机系统/服务器12交互的设备通

信,和/或与使得该计算机系统/服务器12能与一个或多个其它计算设备进行通信的任何设备(例如网卡,调制解调器等等)通信。这种通信可以通过输入/输出(I/O)接口22进行。并且,计算机系统/服务器12还可以通过网络适配器20与一个或者多个网络(例如局域网(LAN),广域网(WAN)和/或公共网络,例如因特网)通信。如图所示,网络适配器20通过总线18与计算机系统/服务器12的其它模块通信。应当明白,尽管图中未示出,可以结合计算机系统/服务器12使用其它硬件和/或软件模块,包括但不限于:微代码、设备驱动器、冗余处理单元、外部磁盘驱动阵列、RAID系统、磁带驱动器以及数据备份存储系统等。

[0039] 图3是根据本发明的一个实施例的在流体输送管道中估计负压波的波速的方法的流程图。下面结合附图,对本实施例进行详细说明。

[0040] 本实施例的方法可适用于由于流体输送管道的正常操作而产生的负压波的情形。流体输送管道的正常操作例如包括流体输送管道的阀门在指定时间的开启或关闭、流体输送管道中流体的种类的改变、泵的启动或关闭、流体输送管道中空气的填充或释放等。这些操作根据流体输送管道的工作日程而执行。所谓工作日程是指调度流体输送管道上的各个部件的工作的时间表,可包括例如各阀门分别在何时开启或关闭、泵何时启动或关闭等的信息。

[0041] 如图3所示,在步骤S310,接收来自多个传感器的多个压力信号。在产生了负压波之后,流体输送管道上的多个传感器可在不同的时间处检测到负压波的压力信号。

[0042] 接着,在步骤S320,确定负压波的波源的位置。如前所述,已知负压波的产生是由于流体输送管道的正常操作而产生的,而该正常操作是按照流体输送管道的工作日程执行的。因此,根据流体输送管道的工作日程,可以确定流体输送管道上的哪个部件在执行当前操作以及操作的发生时间,从而进一步确定正在执行当前操作的部件的位置为负压波的波源的位置。

[0043] 然后,在步骤S330,根据所接收的多个压力信号,确定负压波到达相邻的传感器的时间差。

[0044] 在本实施例中,为了获得准确的时间差,对多个压力信号进行对齐和去噪的并行处理,然后确定对齐的相邻的传感器的压力信号的起始时间的差为负压波到达相邻的传感器的时间差。

[0045] 对齐和去噪的并行处理能够在对齐压力信号的同时除去信号中的噪音,以获得对齐的压力信号和分离的噪声信号。下面通过具体实施例来描述对齐和去噪的并行处理。

[0046] 在一个实例性实施例中,首先,在指定时间段内,对多个压力信号的每一个采样相同时间长度的信号片段作为采样序列。指定时间段是包括负压波的发生时间的一段时间。对于每一个压力信号,采样的起始时间可以相同或不同。接着,使用这些采样序列,对包含对齐指标和去噪指标的目标函数进行最小化,从而获得在对齐指标和去噪指标的共同约束下的目标函数的最小值。然后,再次在指定时间段内对每一个压力信号进行采样以获得采样序列,其中本次对各个压力信号的采样时间与前一次对相应压力信号的采样时间不同。使用这些采样序列对目标函数进行最小化。在多次执行了上述的采样和最小化操作后,可得到与不同采样序列对应的多个目标函数的最小值。然后,比较这些目标函数的最小值,确定这些目标函数的最小值中的最小值所对应的多个采样序列为对齐的采样序列,并且获得对应的从这些采样序列中分离的噪声信号。根据对齐的采样序列,可获得相邻的传感器的

时间差。根据分离的噪声信号,可评估对应的传感器的信噪比以获得传感器的噪声水平。在该实例性实施例中,可以使用任意的状态空间搜索方法。

[0047] 在另一个实例性实施例中,首先,在指定时间段内,对多个压力信号的每一个采样相同时间长度的信号片段作为采样序列。指定时间段是包括负压波的产生时间的一段时间。对于每一个压力信号,采样的起始时间可以相同或不同。接着,将多个采样序列形成采样矩阵,其中采样矩阵的每一行是一个压力信号的采样序列。然后,对采样矩阵进行分解,以使得分解后得到的第一矩阵的秩小于第一指定值,分解后得到的第二矩阵的稀疏性指标小于第二指定值,并且采样矩阵与第一和第二矩阵的残余误差最小。在该实施例中,第一矩阵的秩小于第一指定值可作为对齐指标,第二矩阵的稀疏性指标小于第二指定值可作为去噪指标,采样矩阵与第一和第二矩阵的残余误差可作为目标函数。相应地,所获得的第一矩阵是对齐矩阵,而第二矩阵是噪声矩阵。稀疏性指标可以是例如矩阵中非零元素的个数,也可以是其它任何表示稀疏性的指标。然后,再次在指定时间段内对每一个压力信号进行采样以获得采样序列,其中本次对各个压力信号的采样时间与上一次对相应压力信号的采样时间不同。使用再次所采样的采样序列形成采样矩阵并进行矩阵分解,以获得对齐矩阵和噪声矩阵以及残余误差的最小值。在多次执行了上述的采样操作、形成操作和分解操作后,可得到多个残余误差的最小值以及相应的对齐矩阵和噪声矩阵。然后,比较这多个残余误差的最小值,以确定多个残余误差的最小值中的最小值所对应的采样矩阵中的采样序列为对齐的采样序列。根据对齐的采样序列,可获得相邻的传感器的时间差。根据噪声矩阵,可以评估各个传感器的信噪比以获得各个传感器的噪声水平。

[0048] 图4示意性地示出了在对齐去噪处理的各个阶段的负压波的波形图,其中,左上图示出了多个传感器所检测到的原始负压波的波形图,右上图示出了对齐的负压波的波形图,左下图示出了对齐且去噪后的负压波的波形图,右下图示出了通过去噪处理提取的噪声的波形图。可以看出,通过对齐和去噪的并行处理,可以获得具有良好对齐的信号和分离的噪声信号。

[0049] 然后,在步骤S340,估计负压波在各个传感器区段的波速。流体输送管道上的传感器可将流体输送管道划分成多个传感器区段。根据在步骤S320确定的负压波的波源的位置,可以知道波源所在的波源传感器区段,不存在波源的传感器区段成为非波源传感器区段。

[0050] 在步骤S340中,对于至少一个非波源传感器区段的每一个,根据该非波源传感器区段的两个端点传感器的距离差和在步骤S330中确定的负压波到达这两个端点传感器的时间差,计算负压波在该非波源传感器区段的波速。具体地,负压波在某一非波源传感器区段的波速可以等于该区段的两个端点传感器的距离差 D_{seg} 除以这两个端点传感器的时间差 Δt ,即 $V_{seg}=D_{seg}/\Delta t$ 。接着,对于波源传感器区段,根据波源的位置、波源传感器区段的两个端点传感器的距离差和负压波到达这两个端点传感器的时间差,计算负压波在波源传感器区段的波速。具体地,负压波在波源传感器区段的波速按照下面的等式(2)计算:

$$[0051] \quad V_{seg}=(2D_{波源}-D_{seg})/\Delta t \quad (2)$$

[0052] 其中, V_{seg} 表示负压波在波源传感器区段的波速, $D_{波源}$ 表示波源的位置(即波源到流体输送管道的起点的距离), D_{seg} 是波源传感器区段的距离差, Δt 表示时间差。

[0053] 进一步地,在本实施例中,还可以记录负压波的波源所在的传感器区段、负压波在

各个传感器区段的波速和流体输送管道所输送的流体的种类,作为流体输送管道的基于工作日程的波速信息。此外,流体的温度、对应的流体输送管道的操作、操作的发生时间和传感器的信噪比也可以被记录在基于工作日程的波速信息中。

[0054] 通过以上描述可以看出,本实施例的在线确定负压波的波速的方法能够根据流体输送管道的工作日程,准确地确定负压波发生的波源位置,并通过对压力信号进行对齐和去噪并行处理,获得负压波到达相邻传感器的时间差,从而计算负压波在各个传感器区段之间的波速。另外,基于工作日程的波速信息可用于估计实际泄漏发生时的负压波的波速。

[0055] 图5是描述实施图3所示的方法的应用例的示意图。在图5所示的例子中,根据流体输送管道的拓扑结构,传感器S1、S2、S3、S4、S5、S6之间的距离 D_{12} 、 D_{23} 、 D_{34} 、 D_{45} 、 D_{56} 是已知的,并且流体输送管道上的阀门的位置 $D_{\text{阀门}}$ 也是已知的。假设在传感器S3与传感器S4之间的阀门被开启,则由此产生的负压波分别向上游(沿着传感器S3、S2、S1的方向)和下游(沿着传感器S4、S5、S6的方向)传播,并且传感器S1、S2、S3、S4、S5、S6在不同的时间检测到负压波的压力信号。对传感器检测到的压力信号进行对齐和去噪并行处理,并根据对齐的压力信号获得到达相邻的传感器的时间差 Δt_{12} 、 Δt_{23} 、 Δt_{34} 、 Δt_{45} 、 Δt_{56} 。这样,对于非波源传感器区段Seg12、Seg23、Seg45、Seg56,负压波的波速分别为 $V_{12}=D_{12}/\Delta t_{12}$ 、 $V_{23}=D_{23}/\Delta t_{23}$ 、 $V_{45}=D_{45}/\Delta t_{45}$ 、 $V_{56}=D_{56}/\Delta t_{56}$,而在波源传感器区段Seg34,负压波的波速为 $V_{34}=(2D_{\text{阀门}}-D_{34})/\Delta t_{34}$ 。然后,可记录波源传感器区段、负压波在各个传感器区段的波速、负压波的发生时间、对应的流体输送管道的操作、流体的类型、流体的温度、传感器的信噪比等信息。每当根据工作日程进行流体输送管道的操作时,都对所产生的负压波计算其在各传感器区段的波速,并记录这些波速和相关的信息,以形成基于工作日程的波速信息,用于实际泄漏发生时的负压波的波速的估计。

[0056] 图6是根据本发明的一个实施例的在流体输送管道中估计负压波的波速的方法的流程图。下面结合附图,对本实施例进行详细描述,其中对于与前面的实施例的相同部分,适当省略其说明。

[0057] 本实施例的方法可适用于由于流体输送管道的实际泄漏而产生的负压波的情形。

[0058] 如图6所示,在步骤S610,接收来自多个传感器的多个压力信号。如前所述,当流体输送管道发生泄漏时,将产生压力的下降,并且该压力的下降从泄漏位置向上下游传播,形成负压波。流体输送管道上的多个传感器可在不同的时间检测到负压波的压力信号。

[0059] 接着,在步骤S620,根据所接收的多个压力信号,可确定负压波到达相邻的传感器的时间差。为了获得准确的时间差,对多个压力信号进行对齐和去噪并行处理,然后确定对齐的相邻的传感器的压力信号的起始时间的差作为负压波到达相邻的传感器的时间差。

[0060] 对齐和去噪并行处理是对多个压力信号同时进行对齐和滤波去噪的处理,以获得对齐的压力信号和分离的噪声。对齐和去噪并行处理的具体实施已在前面的实施例中进行了具体描述,此处省略其说明。

[0061] 然后,在步骤S630,确定负压波的波源所在的波源传感器区段。在该步骤中,首先获得负压波到达各个传感器的顺序。实际上,在步骤S620中确定负压波到达相邻传感器的时间差期间,负压波到达传感器的顺序就可确定。然后,根据所确定负压波到达传感器的顺序,确定负压波最先到达的传感器,并将以负压波最先到达的传感器的前一个传感器和后一个传感器为端点的传感器区段确定为波源传感器区段。

[0062] 在图5的例子中,假设泄漏发生在传感器S3与S4之间,则在上游方向,负压波到达传感器的顺序为S3、S2、S1,而在下游方向,负压波到达传感器的顺序为S4、S5、S6。对于传感器S3和S4,在负压波先到达传感器S3而后到达传感器S4的情况下,则以传感器S3为基准,将以传感器S2和S4为端点的传感器区段Seg24(=Seg23+Seg34)确定为波源传感器区段。这种确定是基于以下的事实:由于传感器S6比传感器S5晚检测到负压波,因此,可以确定负压波的波源在传感器S5的上游或者在传感器S5与S6之间且靠近传感器S5的位置;由于传感器S5比传感器S4晚检测到负压波,因此,可以确定负压波的波源在传感器S4的上游或者在传感器S4与S5之间且靠近传感器S4的位置;这样,可以确定负压波的波源在传感器S5的上游;由于传感器S4比传感器S3晚检测到负压波,因此,可以确定负压波的波源在传感器S3的上游或者在传感器S3与S4之间且靠近传感器S3的位置;这样,进一步可确定负压波的波源在传感器S4的上游;由于传感器S3比传感器S2早检测到负压波,因此,可以确定负压波的波源在传感器S3的下游或者在传感器S2与S3之间且靠近传感器S3的位置;由于传感器S2比传感器S1早检测到负压波,因此,可以确定负压波的波源在传感器S2的下游或者在传感器S1与S2之间且靠近传感器S2的位置;这样,可确定负压波的波源在传感器S2的下游;因此,可确定负压波的波源在传感器S2的下游与传感器S4的上游之间,即在传感器区段Seg24之间。

[0063] 在负压波先到达传感器S4而后到达传感器S3的情况下,则以传感器S4为基准,将以传感器S3和S5为端点的传感器区段Seg35(=Seg34+Seg45)确定为波源传感器区段。这种确定是基于以下的事实:由于传感器S6比传感器S5晚检测到负压波,因此,可以确定负压波的波源在传感器S5的上游或者在传感器S5与S6之间且靠近传感器S5的位置;由于传感器S5比传感器S4晚检测到负压波,因此,可以确定负压波的波源在传感器S4的上游或者在传感器S4与S5之间且靠近传感器S4的位置;这样,可以确定负压波的波源在传感器S5的上游;由于传感器S2比传感器S1早检测到负压波,因此,可以确定负压波的波源在传感器S2的下游或者在传感器S1与S2之间且靠近传感器S2的位置;由于传感器S3比传感器S2早检测到负压波,因此,可以确定负压波的波源在传感器S3的下游或者在传感器S2与S3之间且靠近传感器S3的位置;这样,可确定负压波的波源在传感器S2的下游;由于传感器S4比传感器S3早检测到负压波,因此,可以确定负压波的波源在传感器S4的下游或者在传感器S3与S4之间且靠近传感器S4的位置;这样,可进一步确定负压波的波源在传感器S3的下游;因此,负压波的波源可被确定在传感器S3与S5之间,即在传感器区段Seg35之间。

[0064] 可以看出,无论负压波先到达传感器S3和S4中的哪一个,所确定的波源传感器区段都包含了实际泄漏发生的位置。

[0065] 然后,在步骤S640,估计负压波在非波源传感器区段和波源传感器区段的波速。

[0066] 对于负压波在非波源传感器区段的波速,如前所述,在获得了非波源传感器区段的距离和负压波到达端点传感器的时间差时,负压波在非波源传感器区段的波速可以等于该区段的两个端点传感器的距离差除以这两个端点传感器的时间差,即 $V_{\text{seg}}=D_{\text{seg}}/\Delta t$ 。

[0067] 对于负压波在波源传感器区段的波速,可以根据预先记录的流体输送管道的基于工作日程的波速信息以及所计算的负压波在非波源传感器区段的波速进行估计。流体输送管道的基于工作日程的波速信息可以通过图3所示的方法获得。

[0068] 在一个实施例中,首先,根据流体输送管道所输送的流体的种类,在基于工作日程的波速信息中查找具有相同种类的流体的信息项以形成第一候选波速信息。接着,根据在

步骤S630确定的波源传感器区段,在第一候选波速信息中查找波源所在的传感器区段是波源传感器区段的信息项以形成第二候选波速信息。如前所述,在步骤S630中确定的波源传感器区段实际上包括两个传感器区段,因此,具有波源传感器区段所包括的传感器区段的信息项都将被查找以形成第二候选波速信息。然后,基于所计算的负压波在非波源传感器区段的波速,在第二候选波速信息中查找与负压波在非波源传感器区段的波速最接近的波速信息作为匹配波速信息,并从该匹配波速信息中获得波源传感器区段的波速。例如,波源传感器区段的波速可以是所包含的两个传感器区段的波速的平均值。

[0069] 在另一个实施例中,首先,根据在步骤S630确定的波源传感器区段,在基于工作日程的波速信息中查找波源所在的传感器区段是波源传感器区段的信息项。由于在步骤S630确定的波源传感器区段实际上包含两个传感器区段,因此,将查找具有这两个传感器区段的信息项。然后,使用所查找的信息项回归地计算负压波在波源传感器区段的波速。具体地,可首先建立波源传感器区段的波速与其它传感器区段的波速的关系式,然后使用所查找的信息项对该关系式进行训练,以确定关系式的各项的系数,然后根据所计算的负压波在非波源传感器区段的波速,利用该关系式计算负压波在波源传感器区段的波速。在该实施例中,波源传感器区段的波速的回归计算可以例如使用在线支持向量机实现。

[0070] 通过以上描述可以看出,本实施例的在流体输送管道中估计负压波的波速的方法利用基于工作日程的波速信息来估计由于发生泄漏而产生的负压波的波速,因此,能够更准确地估计负压波的波速。

[0071] 图7是描述实施图6所示的方法的应用例的示意图。在图7所示的例子中,根据流体输送管道的拓扑结构,传感器S1、S2、S3、S4、S5、S6之间的距离 D_{12} 、 D_{23} 、 D_{34} 、 D_{45} 、 D_{56} 是已知的。假设泄漏发生在传感器S3与传感器S4之间靠近S3的位置,则由此产生的负压波分别向上游(沿着传感器S3、S2、S1的方向)和下游(沿着传感器S4、S5、S6的方向)传播,并且传感器S1、S2、S3、S4、S5、S6在不同的时间检测到负压波的压力信号。对传感器检测到的压力信号进行对齐和去噪并行处理,并根据对齐的压力信号获得到达相邻的传感器的时间差 Δt_{12} 、 Δt_{23} 、 Δt_{34} 、 Δt_{45} 、 Δt_{56} 。然后,根据负压波到达传感器的顺序,确定负压波的波源所在的波源传感器区段是Seg24。对于非波源传感器区段Seg12、Seg45、Seg56,负压波的波速分别为 $V_{12}=D_{12}/\Delta t_{12}$ 、 $V_{45}=D_{45}/\Delta t_{45}$ 、 $V_{56}=D_{56}/\Delta t_{56}$ 。而对于波源传感器区段Seg24,则根据预先记录的基于工作日程的波速信息,通过匹配或回归方法来估计波源传感器区段Seg24的波速 V_{24} 。

[0072] 图8是根据本发明的一个实施例的在流体输送管道中估计负压波的波速的装置的示意性方框图。下面根据附图对本实施例进行详细说明,其中对与前面实施例相同的部分,适当省略其说明。

[0073] 本实施例的装置800可适用于由于流体输送管道的正常操作而产生的负压波的情形。

[0074] 如图8所示,本实施例的装置800包括:接收模块801,其被配置为接收来自多个传感器的多个压力信号;位置确定模块802,其被配置为确定负压波的波源的位置;时间差确定模块803,其被配置为根据由接收模块801接收的多个压力信号,确定负压波到达相邻的传感器的时间差;以及波速估计模块804,其被配置为估计负压波在各个传感器区段的波速。

[0075] 在本实施例的装置800中,当由于流体输送管道的正常操作而产生负压波时,接收

模块801从多个传感器接收多个负压波的压力信号。接着,位置确定模块802可根据流体输送管道的工作日程,将流体输送管道的当前执行操作的部件的位置确定为所产生的负压波的波源的位置。

[0076] 然后,在时间差确定模块803中,对齐去噪处理单元8031对所接收的多个压力信号进行对齐和去噪并行处理,并由时间差确定单元8032确定对齐的相邻的传感器的压力信号的起始时间的差作为负压波到达相邻的传感器的时间差。

[0077] 在一个实施例中,在对齐去噪处理单元8031中,采样单元可在指定时间段内对所接收的每一个压力信号采样相同时间长度的信号片段作为采样序列,其中,对每一个压力信号采样的起始时间可以相同或不同。然后,最小化单元可使用由采样单元采样的多个采样序列,对包含对齐指标和去噪指标的目标函数进行最小化,以获得在对齐指标和去噪指标的共同约束下的目标函数的最小值。然后,采样单元可再次在指定时间段内对每一个压力信号进行采样以获得采样序列,其中本次对各个压力信号的采样时间与前一次对相应压力信号的采样时间不同,并由最小化单元使用这些采样序列再次对目标函数进行最小化。在采样单元和最小化单元多次执行了上述的采样和最小化操作后,可得到与不同采样序列对应的多个目标函数的最小值。然后确定单元可确定多个目标函数的最小值中的最小值所对应的多个采样序列为对齐的采样序列。然后,时间差确定单元8032可确定相邻的传感器的对齐的采样序列的起始时间的差为时间差。

[0078] 在另一个实施例中,在对齐去噪处理单元8031中,采样单元可在指定时间段内对所接收的每一个压力信号采样相同时间长度的信号片段作为采样序列,接着,形成单元将所采样的多个采样序列形成采样矩阵,其中采样矩阵的每一行是一个采样序列。然后,分解单元对采样矩阵进行分解,以使分解后的第一矩阵的秩小于第一指定值,分解后的第二矩阵的稀疏性指标小于第二指定值,并且采样矩阵与第一矩阵和第二矩阵之间的残余误差最小。在该实施例中,稀疏性指标可以使用矩阵中非零元素的个数,也可以使用其它任何表示稀疏性的指标。采样单元可多次在指定时间段内对每一个压力信号进行采样以获得采样序列,其中每一次对各个压力信号进行采样的起始时间可与前一次对相应压力信号采样的起始时间不同。然后,形成单元对每一次采样的多个采样序列形成采样矩阵,并由分解单元对采样矩阵进行分解,从而获得各采样矩阵的残余误差的最小值。然后,确定单元确定多个最小化的残余误差中的最小值所对应的采样矩阵中的采样序列为对齐的采样序列。然后,时间差确定单元8032可确定相邻的传感器的对齐的采样序列的起始时间的差为时间差。

[0079] 在时间差确定模块803中确定的负压波到达相邻传感器的时间差与在位置确定模块802中确定的负压波的波源的位置被提供给波速估计模块804。在波速估计模块804中,第一计算单元8041对于不存在负压波的波源的至少一个非波源传感器区段的每一个,根据该非波源传感器区段的两个端点传感器的距离差和负压波到达这两个端点传感器的时间差,计算负压波在该非波源传感器区段的波速。在第一计算单元8041中,负压波在非波源传感器区段的波速可等于该区段的两个端点传感器的距离差 D_{seg} 除以这两个端点传感器的时间差 Δt ,即 $V_{seg}=D_{seg}/\Delta t$ 。第二计算单元8042对于负压波的波源所在的波源传感器区段,可根据所确定的负压波的波源的位置、波源传感器区段的两个端点传感器的距离差和负压波到达这两个端点传感器的时间差,计算负压波在波源传感器区段的波速。第二计算单元8042可根据上面所述的等式(2)计算负压波在波源传感器区段的波速。

[0080] 进一步地,在本实施例的装置800中还包括记录模块805,其被配置为记录负压波的波源所在的传感器区段、负压波在各个传感器区段的波速和流体输送管道所输送的流体的种类,作为流体输送管道的基于工作日程的波速信息中的信息项。此外,记录模块805还可将流体的温度、流体输送管道的操作、操作的发生时间和传感器的信噪比记录在基于工作日程的波速信息中。

[0081] 应当注意,本实施例的装置800可以在操作上实现图3所示的在流体输送管道中估计负压波的波速的方法。

[0082] 图9是根据本发明的一个实施例的在流体输送管道中估计负压波的波速的装置的示意性方框图。下面根据附图详细说明本实施例,其中对于与前面实施例相同的部分,适当省略其说明。

[0083] 本实施例的装置900可适用于由于流体输送管道的泄漏而产生的负压波的情形。

[0084] 如图9所示,本实施例的装置900可包括:接收模块901,其被配置为接收来自多个传感器的多个压力信号;时间差确定模块902,其被配置为根据所接收的多个压力信号,确定负压波到达相邻的传感器的时间差;区段确定模块903,其被配置为确定负压波的波源所在的波源传感器区段;以及波速估计模块904,其被配置为估计负压波在非波源传感器区段和波源传感器区段的波速。

[0085] 在本实施例的装置900中,当流体输送管道发生泄漏时,流体输送管道上的多个传感器在不同的时间检测到所产生的负压波的压力信号,接收模块901可从多个传感器接收到多个压力信号。

[0086] 接着,在时间差确定模块902中,对齐去噪处理单元9021对所接收的多个压力信号进行对齐和去噪并行处理,并由时间差确定单元9022确定对齐的相邻的传感器的压力信号的起始时间的差作为负压波到达相邻的传感器的时间差。

[0087] 在一个实施例中,在对齐去噪处理单元9021中,采样单元在指定时间段内,对每一个压力信号采样相同时间长度的信号片段作为采样序列,其中对每一个压力信号进行采样的起始时间可相同或不同。接着,最小化单元使用所采样的多个采样序列,对包含对齐指标和去噪指标的目标函数进行最小化,以获得在对齐指标和去噪指标的约束下的目标函数的最小值。采样单元和最小化单元对于所接收的多个压力信号多次进行采样和最小化操作,从而可获得多个目标函数的最小值。然后确定单元可确定多个目标函数的最小值中的最小值所对应的多个采样序列为对齐的采样序列。

[0088] 在另一个实施例中,在对齐去噪处理单元9021中,采样单元在指定时间段内,对多个压力信号的每一个采样相同时间长度的信号片段作为采样序列,其中对每一个压力信号进行采样的起始时间可相同或不同。接着,形成单元将所采样的多个采样序列形成采样矩阵,其中采样矩阵的每一行是一个采样序列。然后,分解单元对采样矩阵进行分解,以使分解后的第一矩阵的秩小于第一指定值,分解后的第二矩阵的稀疏性指标小于第二指定值,并且采样矩阵与第一矩阵和所述第二矩阵之间的残余误差最小。采样单元可多次对每一个压力信号进行采样以获得采样序列,然后形成单元和分解单元对每次所采样的多个采样序列形成采样矩阵并进行采样矩阵的分解,从而获得多个残余误差的最小值。然后,确定单元可确定多个残余误差的最小值中的最小值所对应的采样矩阵中的采样序列为对齐的采样序列。

[0089] 在确定了负压波到达相邻传感器的时间差后,在区段确定模块903中,顺序获得单元9031可获得负压波到达各个传感器的顺序,然后传感器确定单元9032可确定负压波最先到达的传感器,并由区段确定单元9033将以负压波最先到达的传感器的前一个传感器和后一个传感器为端点的传感器区段确定为波源传感器区段。

[0090] 然后,在波速估计模块904中,第一波速估计单元9041对于非波源传感器区段的每一个,根据该非波源传感器区段的距离和负压波到达该非波源传感器区段的端点传感器的时间差,计算负压波在该非波源传感器区段的波速,其可以等于该区段的两个端点传感器的距离差除以这两个端点传感器的时间差,即 $V_{seg}=D_{seg}/\Delta t$ 。

[0091] 然后,第二波速估计单元9042根据预先记录的流体输送管道的基于工作日程的波速信息和由第一波速估计单元9041计算的负压波在各个非波源传感器区段的波速,估计负压波在波源传感器区段的波速。

[0092] 在第二波速估计单元9042的一个实施例中,第一查找单元根据流体输送管道所输送的流体的种类,在基于工作日程的波速信息中查找具有相同种类的流体的信息项以形成第一候选波速信息,接着第二查找单元根据在区段确定模块903中确定的波源传感器区段,在第一候选波速信息中查找波源所在的传感器区段是波源传感器区段的信息项以形成第二候选波速信息,然后第三查找单元在第二候选波速信息中查找与在第一波速估计单元9041中计算的负压波在非波源传感器区段的波速最接近的波速信息作为匹配波速信息,并且波速获得单元从匹配波速信息中获得波源传感器区段的波速。

[0093] 在第二波速估计单元9042的另一个实施例中,查找单元根据在区段确定模块903中确定的波源传感器区段,在基于工作日程的波速信息中查找波源所在的传感器区段是波源传感器区段的信息项,然后回归计算单元使用所查找的信息项回归地计算负压波在波源传感器区段的波速。在本实施例中,回归计算单元可使用在线支持向量机。

[0094] 应当注意,本实施例的装置900可以在操作上实现图6所示的在流体输送管道中估计负压波的波速的方法。

[0095] 附图中的流程图和框图显示了根据本发明的多个实施例的系统、方法和计算机程序产品的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上,流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段或代码的一部分,所述模块、程序段或代码的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。也应当注意,在有些作为替换的实现中,方框中所标注的功能也可以以不同于附图中所标注的顺序发生。例如,两个连续的方框实际上可以基本并行地执行,它们有时也可以按相反的顺序执行,这依所涉及的功能而定。也要注意的,框图和/或流程图中的每个方框、以及框图和/或流程图中的方框的组合,可以用执行规定的功能或操作的专用的基于硬件的系统来实现,或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。

[0096] 以上已经描述了本发明的各实施例,上述说明是示例性的,并非穷尽性的,并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下,对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。本文中所用术语的选择,旨在最好地解释各实施例的原理、实际应用或对市场中的技术的技术改进,或者使本技术领域的其它普通技术人员能理解本文披露的各实施例。

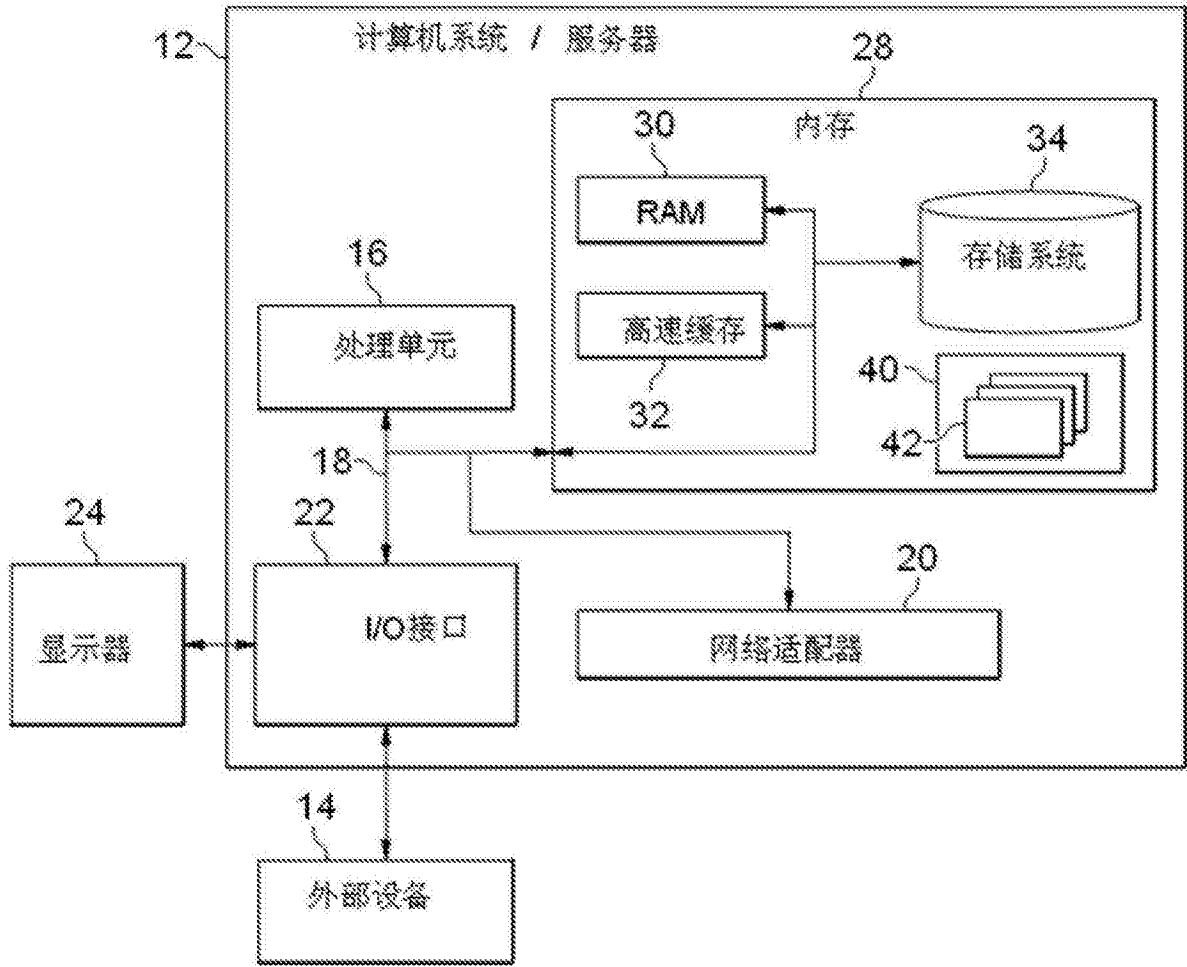


图1

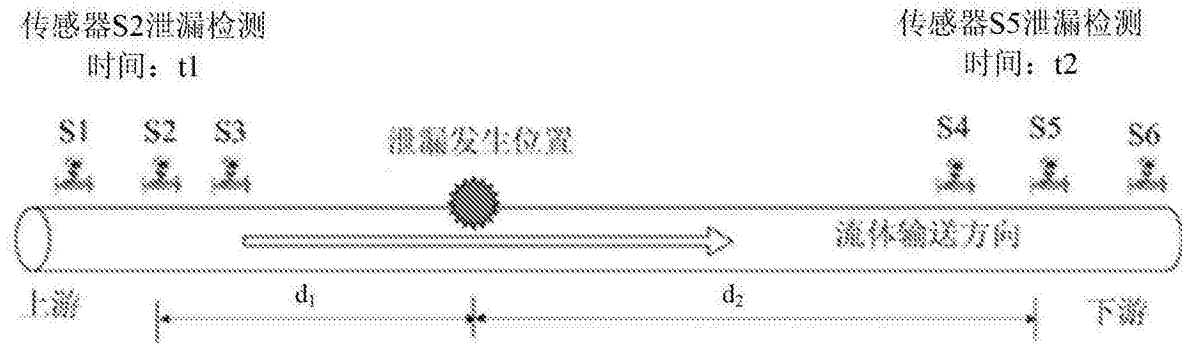


图2

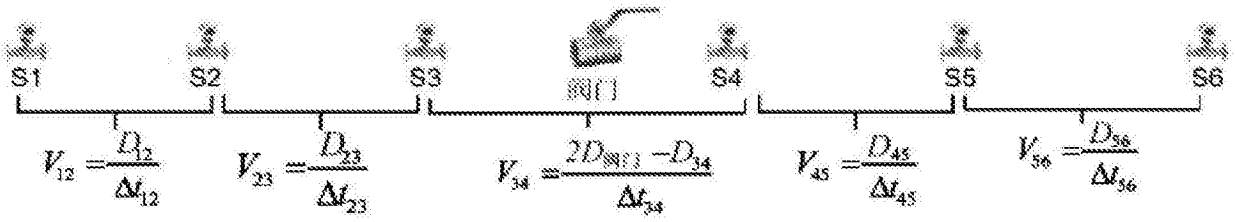


图5

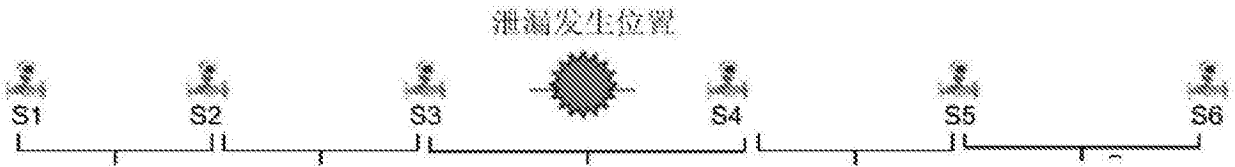


图7

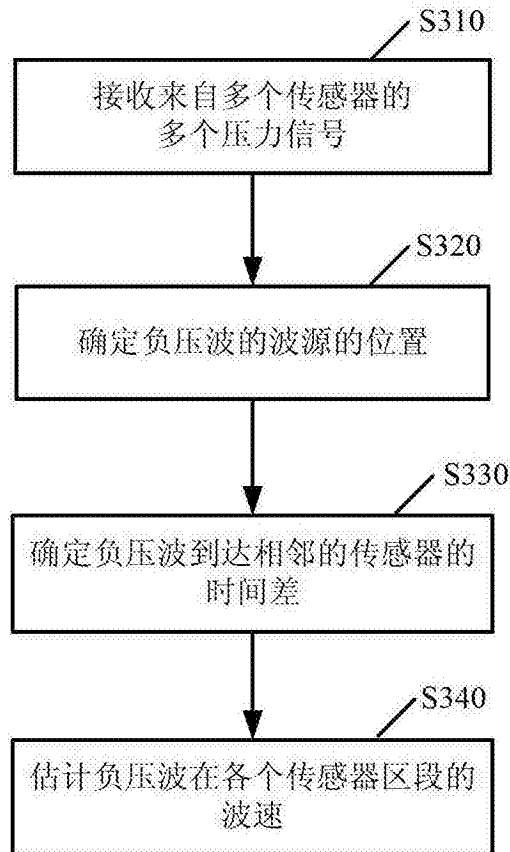


图3

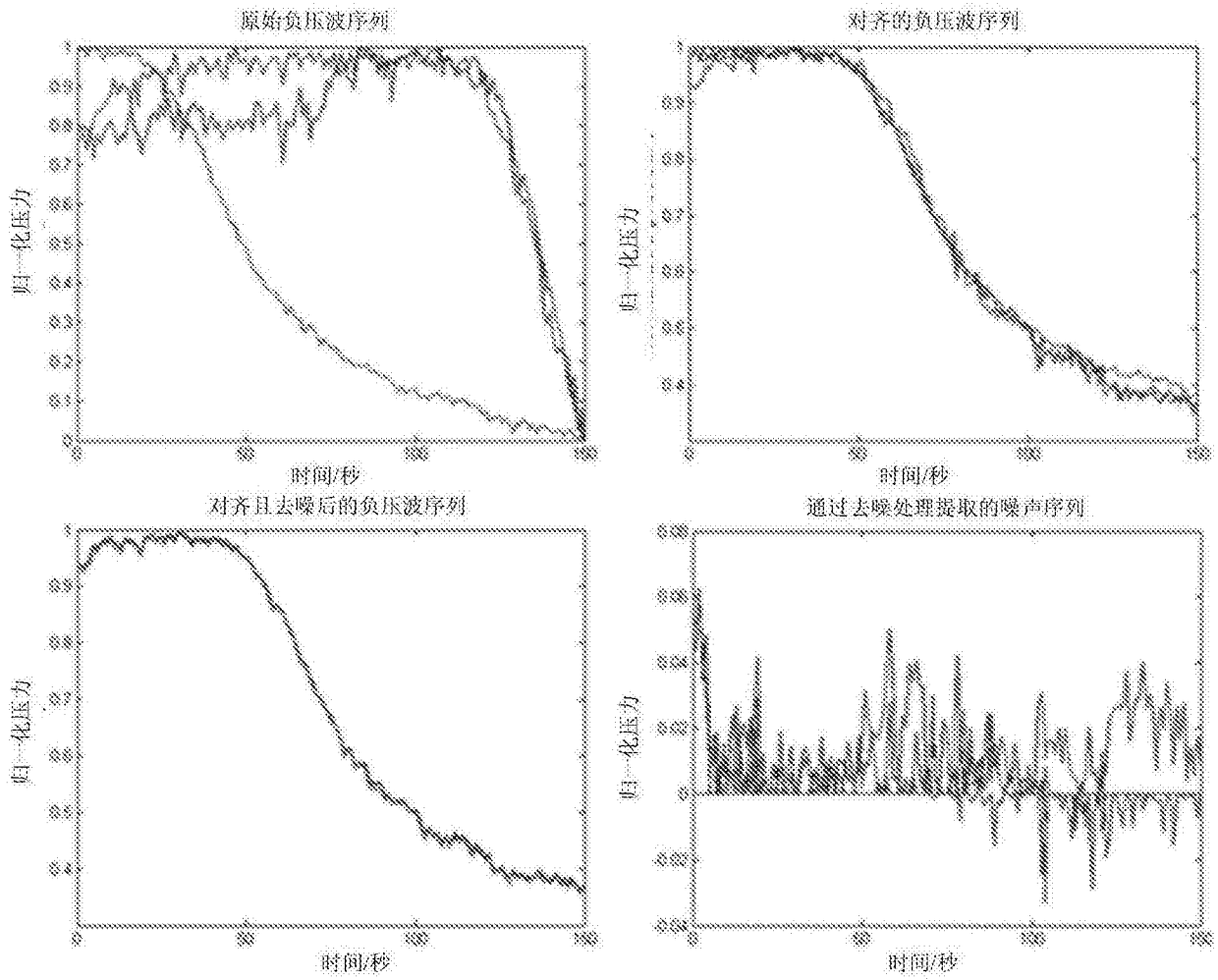


图4

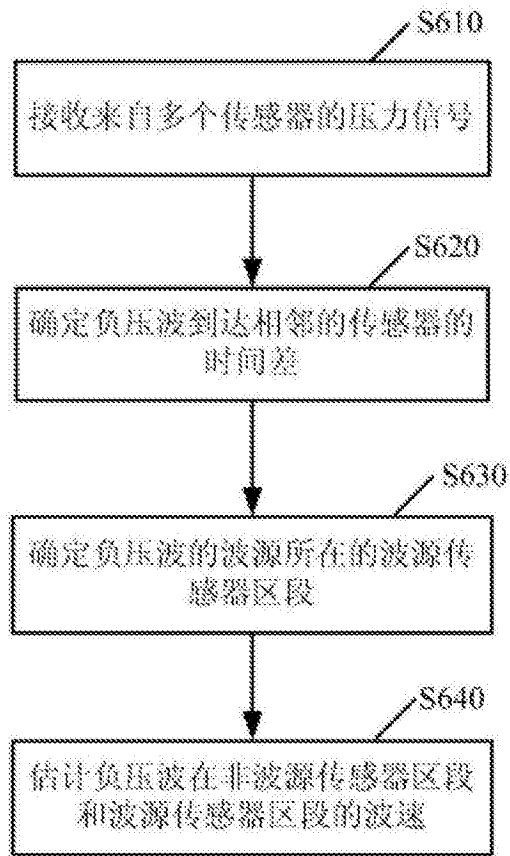


图6

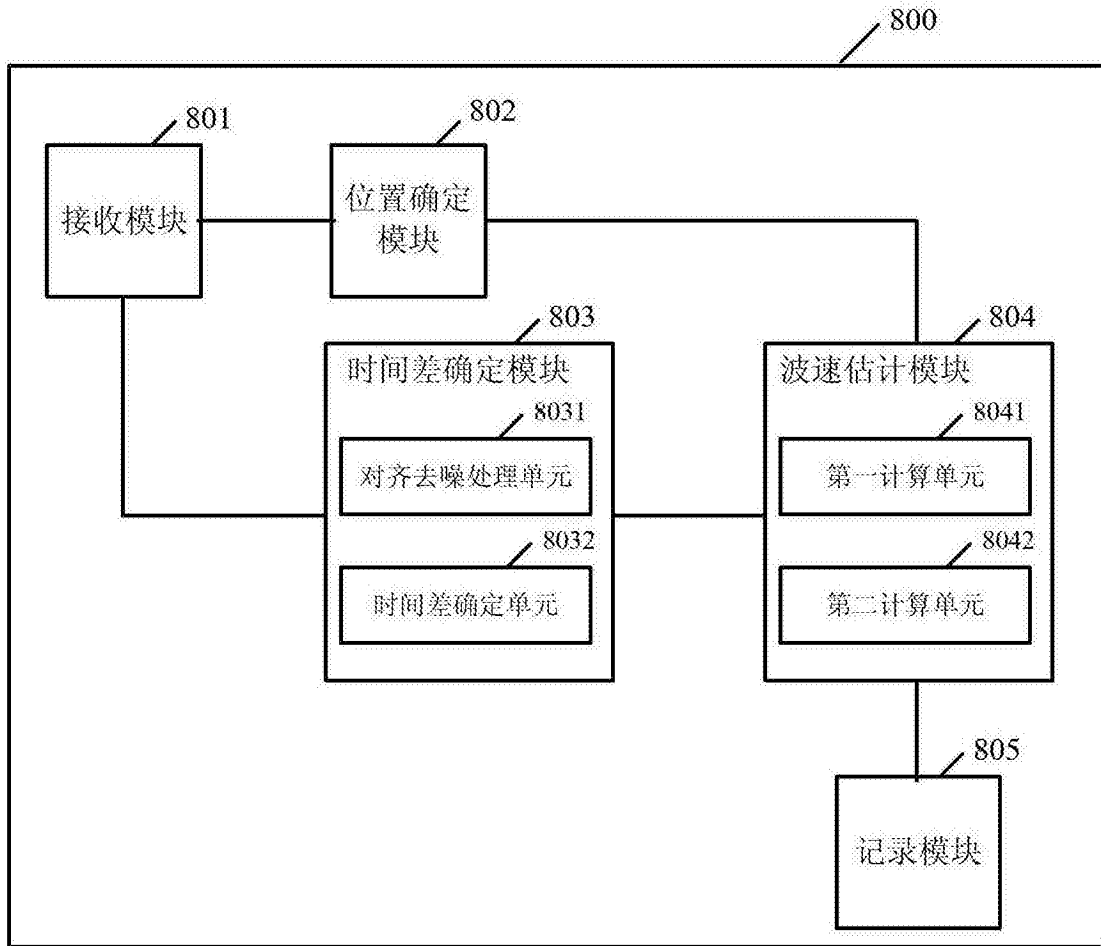


图8

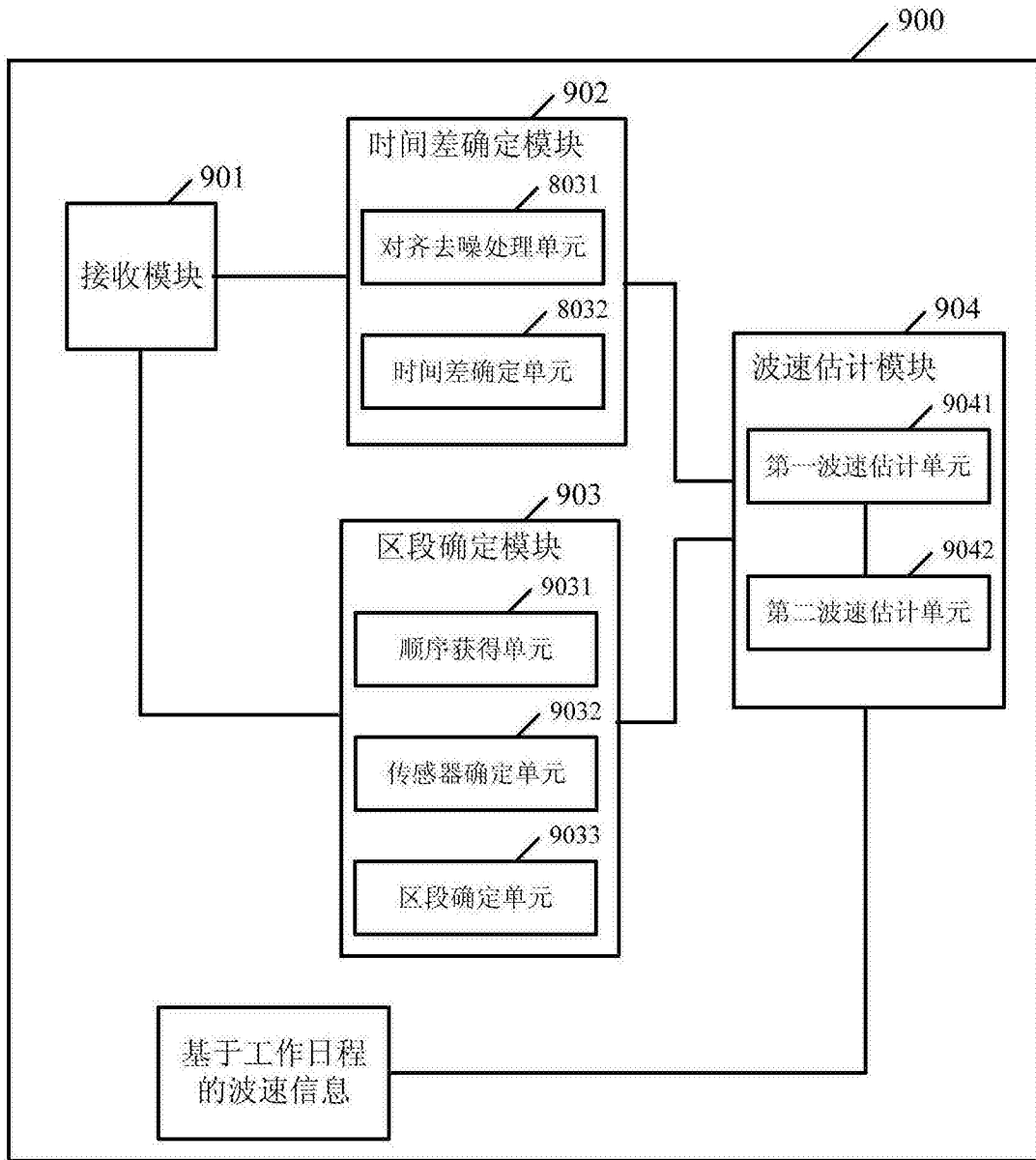


图9