



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105973752 B

(45)授权公告日 2019.10.01

(21)申请号 201610255639.3

审查员 陆坚

(22)申请日 2016.04.22

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105973752 A

(43)申请公布日 2016.09.28

(73)专利权人 上海理工大学

地址 200093 上海市杨浦区军工路516号

(72)发明人 顾建飞 苏明旭 田昌 贾楠

(74)专利代理机构 上海申汇专利代理有限公司

31001

代理人 吴宝根

(51)Int.Cl.

G01N 11/00(2006.01)

G01N 29/024(2006.01)

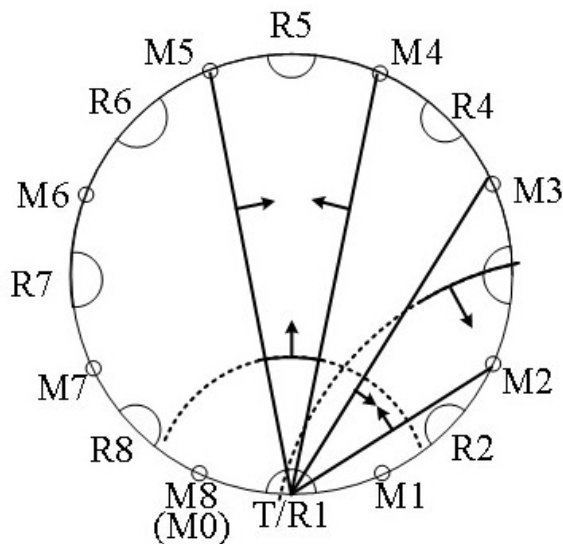
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

集成透射式和反射式超声过程层析成像方法

(57)摘要

本发明涉及一种集成透射式和反射式超声过程层析成像方法,相对于单一的透射式或反射式超声层析技术,可以在不增加换能器数目的前提下,大幅提高所获的投影数据量。综合考虑透射波峰值大小信息和反射波的渡越时间信息,更好的约束目标物出现位置的区域,从而大大减少原始强度图像的造影,提高识别的分辨率;以透射式层析成像作为成像基础,加入反射图像信息的双模式重建,可实现图像阈值优化,能连续地识别动态目标的位置和尺寸特征;透射信息与反射信息的结合不同于其他形式的多模态层析成像技术,是超声波的具体形式,集成时不会碰到需要安装不同测量手段的激励源、不同采集设备等问题,因此大幅提高透射式和反射式超声过程层析成像系统的集成度。



1. 一种集成透射式和反射式超声过程层析成像方法,其特征在于,n个超声换能器阵列排布在被检测物件的周围,各个超声换能器位置确定,每个超声换能器与一个对应的通道的发射和接收电路相连,超声换能器阵列工作时,一个换能器作为发射器,其他换能器和此发射器同步接收信号,并通过可编程门阵列FPGA设定发射时序来控制通道切换,将各个通道对应的换能器依次切换为发射和接收状态,其余为接收状态,所有换能器都发射一次即完成一次扫描;不停重复扫描,接收换能器接收到声波信号后经接收放大电路放大,通过高速A/D采集,再通过FPGA将各个通道的波形数据传送到微处理器ARM的存储单元,通过网线连接以太网控制器与上位机进行数据传输,后台的信号处理模块对波形数据进行处理之后送入图像重建算法,根据透射波峰值的大小,判断被检测物件路径,结合反射波在该路径的所得的渡越时间信息,确定该路径上被检测物件具体的位置,在此双模式下进行波形信息重建,对最优的图像分割阈值进行判断,最终完成流型识别;

所述在此双模式下进行波形信息重建方法为同时确定每条投影路径上透射波峰值和反射回波的渡越时间,在透射波指向性明确的基础上,加入反射波对障碍物位置信息的辅助判断,更好地约束目标物出现位置的区域,实现步骤如下:

1) 读取i发射换能器到j接收换能器 $T_{i-Rj}$ 路径上透射波峰值矩阵 $S_{T_{i,Rj}}$ 和反射回波的渡越时间 $T_{T_{i,Rj}}$ ,单位为s,以及声速v,单位为m/s;

$$\text{其中 } S_{T_{i,Rj}} = \begin{cases} 1, & V_{T_{i,Rj}} \geq V_T \\ 0, & V_{T_{i,Rj}} \leq V_T \end{cases}$$

式中,其中i、j表示的是发射换能器编号和接收换能器的编号, $V_{T_{i,Rj}}$ 是 $T_{i-Rj}$ 路径上的衰减后信号幅值与背景信号幅值的比值; $V_T$ 是信号阈值;

2) 若 $i=j$ ,置 $S_{T_{i,Rj}}=0$ ,执行下一步;

3) 若 $i \neq j$ 且 $S_{T_{i,Rj}}=0$ ,读入该对应路径上的自发自收换能器所获得的渡越时间 $T_{T_{i,Ri}}$ ,取圆弧的外侧,即凸面侧,与 $M_j, M_{(j-1)}, T_i$ 所围成的区域为新的区域,图像矩阵对此区域增加权重“2”,表示存在被测物体的可能较大, $T_i$ 为第i个发射换能器位置, $M_j$ 为第j+1和第j接收换能器间隔的中点位置, $M_{(j-1)}$ 为第j和第j-1接收换能器间隔的中点位置;圆弧的圆心位于发射换能器位置,圆弧直径为该自发自收回波在渡越时间内传播的距离;

4) 若 $i \neq j$ 且 $S_{T_{i,Rj}}=1$ ,读入该对应路径上的接收换能器所获得的渡越时间 $T_{T_{i,Rj}}$ ,取椭圆弧的内侧,即凹面侧,与 $M_j, M_{(j-1)}, T_i$ 所围成的区域为新的区域,图像矩阵对此区域增加权重“1”,表示存在被测物体的可能较小;椭圆弧的椭圆焦点为发射、接收换能器的位置,椭圆弧上的点到两焦点的距离之和为该接收换能器接收回波信号的在渡越时间内传播的距离;

所述对最优的图像分割阈值进行判断,是将透射式层析成像作为成像的基础,加入反射重建图像的补充信息,首先,对透射式不施加图像阈值矩阵作用,获得透射原始强度图像;通过搜索反射强度图像的最大权重值,获得在反射图像上被测物轮廓的位置;最后,求解被测物轮廓的位置在原始透射强度图像上的权重值;

其通过搜索反射强度图像的最大权重值,获得在反射图像上被测物轮廓的位置数学过程为:

$$V(x_r, y_r) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{Ti, Rj} \times M_{Ti, Rj}(x = x_r, y = y_r)$$

式中,  $V(x_r, y_r)$  为被测物轮廓的位置在原始透射强度图像上的权重值,  $n$  为超声换能器阵列中超声换能器的个数,  $n=8$ ;  $M_{Ti, Rj}$  为  $Ti-Rj$  路径上所定义的标准化敏感系数矩阵;  $(x_r, y_r)$  是反射强度图像上被测物轮廓的位置, 假设可以获得单一反射式重建图像的被测物体轮廓的个数为  $m$ , 利用轮廓的位置的辅助信息, 将其施加到透射式重建过程中, 实现对重建过程最优图像阈值的求解; 采用最小二乘拟合的方法求解透射重建图像的最优阈值  $T_{opt}$ , 其

数学计算过程如下: 
$$\min \left\{ \sum_{r=1}^m [V(x_r, y_r) - T_{opt}]^2 \right\}$$

其中, 运算符号  $\min$  的功能是使得其作用的表达式取得最小值;

解得  $T_{opt}$  之后, 将透射原始图像的权重值  $V(x, y)$  与  $T_{opt}$  进行比较, 将图像分割为两个部分, 分割后的图像为: 若  $V(x, y) > T_{opt}$  为黑,  $V(x, y) < T_{opt}$  为白, 即为通常所说的图像二值化, 以获得更为直观的流型图像。

## 集成透射式和反射式超声过程层析成像方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种超声过程层析成像,特别涉及一种集成透射式和反射式超声过程层析成像方法。

### 背景技术

[0002] 两相流的相界面,即流型,极大地影响了流动参数的测量精度。对过程流型进行实时地成像分析,在许多工业和科学研究领域起着主导作用。例如,石油管道中的气、液两相输送或者冶金行业液、固两相的浆料运输,其相关的流型参数的测量对流动过程的成本核算,质量监测及其重要。

[0003] 在过程层析技术领域,超声波以其方向性好,穿透能力强,对被检测物质或人体没有损害以及无放射性物质等特点,已成为工业过程检测的重要方法之一。早期研究者们已经对利用单一的透射波信号或者单一的反射波信号进行了大量的研究。过去20年间,传统的透射式层析成像和反射式的层析成像都得到较快的发展,但是也出现了一些技术瓶颈,目前尚没有成熟的技术可用于现场的在线自动监测。主要因素是,单一的透射式二值线性反投影算法以及反射式弧形反投影算法会存在两个不足。一是如果投影数据量有限,两者重建的原始强度图像都存在造影,降低了对流型的分辨率。二是原始强度图像进行精确的二值分割处理时,单模式的重建算法无法对最优的图像分割阈值进行判断。

[0004] 透射式层析成像和反射式层析成像,是两种各有侧重的成像方法。前者重建的物体形状封闭性较好;后者重建的尺寸稳定性较好,两种模式在重建形状和尺寸方面表现出了互补性。但是,这两种模式又有很多相似的地方,二者都是声波的波形信息,并且测量模式都可以采取通的用扇形束扫描。所以,透射信息与反射信息的结合不同于目前有着广泛研究价值的多模态层析成像技术,它不会碰到需要安装不同测量手段的激励源、采集设备等问题,这给集成透射式-反射式超声过程层析成像系统带来了便利。因此将这两种模式综合运用是一种非常理想的检测方案。

### 发明内容

[0005] 本发明是针对透射式层析成像和反射式层析成像各自存在的问题,提出了一种集成透射式和反射式超声过程层析成像方法,通过同时获得扇形束扫描过程中的透射波峰值和反射波的渡越时间,设计综合两者信息的双模式重建算法,获得更多的有效投影数据以及实现图像二值分割的最优求解。

[0006] 本发明的技术方案为:一种集成透射式和反射式超声过程层析成像方法,若干个超声换能器阵列排布在被检测物件的周围,各个超声换能器位置确定,每个超声换能器与一个对应的通道的发射和接收电路相连,超声换能器阵列工作时,一个换能器作为发射器,其他换能器和此发射器同步接收信号,并通过可编程门阵列FPGA设定发射时序来控制通道切换,将各个通道对应的换能器依次切换为发射和接收状态,其余为接收状态,所有换能器都发射一次即完成一次扫描;不停重复扫描,接收换能器接收到声波信号后经接收放大电

路放大,通过高速A/D采集,再通过FPGA将各个通道的波形数据传送到微处理器ARM的存储单元,通过网线连接以太网控制器与上位机进行数据传输,后台的信号处理模块对波形数据进行处理之后送入图像重建算法,根据透射波峰值的大小,判断被检测物件路径,结合反射波在该路径的所得的渡越时间信息,确定该路径上被检测物件具体的位置,在此双模式下进行波形信息重建,对最优的图像分割阈值进行判断,最终完成流型识别。

[0007] 所述在此双模式下进行波形信息重建方法为同时确定每条投影路径上透射波峰值和反射回波的渡越时间,在透射波指向性明确的基础上,加入反射波对障碍物位置信息的辅助判断,更好地约束目标物出现位置的区域,实现步骤如下:

[0008] 1) 读取*i*发射换能器到*j*接收换能器*T<sub>i-Rj</sub>*路径上透射波峰值矩阵*S<sub>Ti,Rj</sub>*和反射回波的渡越时间*T<sub>Ti,Rj</sub>*,单位为*s*,以及声速*v*,单位为*m/s*;

$$[0009] \quad \text{其中 } S_{Ti,Rj} = \begin{cases} 1, & V_{Ti,Rj} \geq V_T \\ 0, & V_{Ti,Rj} \leq V_T \end{cases}$$

[0010] 式中,其中*i*、*j*表示的是发射换能器编号和接收换能器的编号,*V<sub>Ti,Rj</sub>*是*T<sub>i-Rj</sub>*路径上的衰减后信号幅值与背景信号幅值的比值;*V<sub>T</sub>*是信号阈值;

[0011] 2) 若*i = j*,置*S<sub>Ti,Rj</sub> = 0*,执行下一步;

[0012] 3) 若*i ≠ j*且*S<sub>Ti,Rj</sub> = 0*,读入该对应路径上的自发自收换能器所获得的渡越时间*T<sub>Ti,Ri</sub>*,取圆弧的外侧,即凸面侧,与*M<sub>j</sub>*,*M<sub>(j-1)</sub>*,*T<sub>i</sub>*所围成的区域为新的区域,图像矩阵对此区域增加权重“2”,表示存在被测物体的可能较大;圆弧的圆心位于发射换能器位置,圆弧直径为该自发自收回波在渡越时间内传播的距离;

[0013] 4) 若*i ≠ j*且*S<sub>Ti,Rj</sub> = 1*,读入该对应路径上的接收换能器所获得的渡越时间*T<sub>Ti,Rj</sub>*,取椭圆弧的内侧,即凹面侧,与*M<sub>j</sub>*,*M<sub>(j-1)</sub>*,*T<sub>i</sub>*所围成的区域为新的区域,图像矩阵对此区域增加权重“1”,表示存在被测物体的可能较小;椭圆弧的椭圆焦点为发射、接收换能器的位置,椭圆弧上的点到两焦点的距离之和为该接收器接收回波信号的在渡越时间内传播的距离。

[0014] 所述对最优的图像分割阈值进行判断,是将透射式层析成像作为成像的基础,加入反射重建图像的补充信息,首先,对透射式不施加图像阈值矩阵作用,可获得的透射原始强度图像;通过搜索反射强度图像的最大权重值,获得在反射图像上被测物轮廓的位置;最后,求解被测物轮廓的位置在原始透射强度图像上的权重值;

[0015] 其通过搜索反射强度图像的最大权重值,获得在反射图像上被测物轮廓的位置数学过程为:

$$[0016] \quad V(x_r, y_r) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{Ti,Rj} \times M_{Ti,Rj}(x = x_r, y = y_r)$$

[0017] 式中,*V(x, y)*为重建图像中各网格的权重值,*n*为超声换能器阵列中超声换能器的个数,*M<sub>Ti,Rj</sub>*为*T<sub>i-Rj</sub>*路径上所定义的标准化敏感系数矩阵;*(x<sub>r</sub>, y<sub>r</sub>)*是反射强度图像上被测物轮廓的位置,假设可以获得单一反射式重建图像的被测物体轮廓的个数为*m*,利用轮廓的位置的辅助信息,将其施加到透射式重建过程中,实现对重建过程最优图像阈值的求解;采用最小二乘拟合的方法求解透射重建图像的最优阈值*T<sub>opt</sub>*,其数学计算过程如下:

$$[0018] \quad \min \left\{ \sum_{r=1}^m [V(x_r, y_r) - T_{\text{opt}}]^2 \right\}$$

[0019] 其中,运算符号min的功能是使得其作用的表达式取得最小值;

[0020] 解得 $T_{\text{opt}}$ 之后,将透射原始图像的权重值 $V(x, y)$ 与 $T_{\text{opt}}$ 进行比较,将图像分割为两个部分,分割后的图像为:若 $V(x, y) > T_{\text{opt}}$ 为黑, $V(x, y) < T_{\text{opt}}$ 为白,即为通常所说的图像二值化,以获得更为直观的流型图像。

[0021] 本发明的有益效果在于:本发明集成透射式和反射式超声过程层析成像方法,相对于单一的透射式或单一的反射式超声层析技术,此法可以在不增加换能器数目的前提下,大幅提高所获的投影数据量。算法可以综合考虑透射波峰值大小信息和反射波的渡越时间信息,可以更好的约束目标物出现位置的区域,从而大大减少了原始强度图像的造影,提高了识别的分辨率;单模式的重建算法无法对最优的图像分割阈值进行判断,最优图像阈值的不确定性会给连续成像造成困难。以透射式层析成像作为成像基础,加入反射图像信息的双模式重建,此法可实现图像阈值优化,能连续地识别动态目标的位置和尺寸特征;透射信息与反射信息的结合不同于其他形式的多模态层析成像技术,两者是超声波的具体形式,集成时不会碰到需要安装不同测量手段的激励源、不同采集设备等问题,因此可以大幅提高透射式-反射式超声过程层析成像系统的集成度。

#### 附图说明

[0022] 图1为本发明集成透射式和反射式超声过程层析成像系统结构示意图;

[0023] 图2为本发明中处理波形信息的过程示意图;

[0024] 图3为本发明实施例中投影过程示意图

[0025] 图4为本发明实施例中透射式反投影重建过程示意图;

[0026] 图5为本发明实施例中反射式反投影重建过程示意图;

[0027] 图6为本发明实施例中耦合双模式波形信息重建的过程示意图。

#### 具体实施方式

[0028] 如图1所示集成透射式和反射式超声过程层析成像系统结构示意图,系统主要包括三大部分:测量区域100、多通道超声发射/接收系统200、图像重建及显示系统300。其中,测量区域100包括圆柱管道110和装有若干个超声换能器120的阵列装置130组成。在整个成像系统开始工作时,在待测圆柱管道110的某个需要研究的圆截面上,安装一圈由若干个超声换能器120组成的圆环阵列装置130。待测管道可以是其它形状,对应装有若干个超声换能器的阵列装置也可以根据管道截面形状设计,保证待测管道到各个超声换能器的位置关系明确即可。待测目标140沿着管道110流动方向150运动,其在研究截面的位置处的大小和数目均有发生变化。所述的若干个超声换能器120与超声换能器个数对应通道数的超声发射/接收系统200中的发射/接收电路210相连,其中有且只有一个换能器作为发射器,其他换能器同步接收信号(发射器也接收信号),并通过可编程门阵列FPGA 220设定发射时序来控制通道切换230,目的是将各个通道对应的换能器依次切换为发射和接收状态,其余为接收状态。待所有换能器都发射一次即完成一次扫描。以此,不停重复扫描。扫描投影数据

是接收换能器接收到声波信号后经接收放大电路放大,通过高速A/D 240采集,再通过FPGA 220将各个通道的波形数据传送到微处理器ARM 250的存储单元260。通过网线270连接以太网控制器280与上位机310进行数据传输。后台的信号处理模块320对波形数据进行处理之后送入图像重建算法330,完成实时的流型识别(流型识别包括待测物体的位置、大小及形状)。

[0029] 在本发明采用的扇形束扫描的工作模式中,信号处理模块320处理过程如图2所示:假设在管径为D(单位:m)的被测管道上均匀布置8个换能器120,换能器的发散角大于 $160^\circ$ 的柱面式超声换能器。图2是1号换能器发射,其余接收的情形。对自发自收的1号换能器而言,没有透射的信息只有反射的信息。所以,对图2的发射/接收情形,总共可以获得7个透射波信号和 $8-n$ 个反射波信号, $n$ 表示的是处在被物体遮挡区域的换能器总数。考虑到实际波形在介质中的衰减,最远的反射波声程可认为是管道直径的两倍,即 $2D$ 。所以,每条投影路径上都选取需处理的波形信号长度 $2D$ 。另外,由于换能器个数和管道尺寸固定(以8个换能器为例),则每条投影的波形信号所含透射波的位置距离信号起点的长度 $D_{Ti,Rj}$ (单位:m)可按式确定:

[0030]

$$D_{Ti,Rj} = \begin{cases} D, & |i-j|=4 \\ \sqrt{2 * \left(\frac{D}{2}\right)^2 * [1 - \cos(135^\circ)]}, & |i-j|=3 \text{ or } 5 \\ D * \frac{\sqrt{2}}{2}, & |i-j|=2 \text{ or } 6 \\ \sqrt{2 * \left(\frac{D}{2}\right)^2 * [1 - \cos(45^\circ)]}, & |i-j|=1 \text{ or } 7 \end{cases} \quad (1)$$

[0031] 其中 $i$ 、 $j$ 表示的是发射换能器编号和接收换能器的编号( $i, j=1, 2 \dots 8$ ),确定透射波的检测位置,以此来区分透射波和反射波。然后相应的检测区域提取透射波的峰值信息。在反射波处理区域,主要是通过信号阈值进行判断,提取反射波峰值处的时间信息,即反射波的渡越时间。最后将 $Ti-Rj$ 路径上的透射波峰值和反射回波的渡越时间传到重建算法模块330,进行图像重建。

[0032] 以水(连续相)、空气(离散相)组成的气液两相流为例,如果超声波在混合物介质中传播的波长比气泡的直径小得多时,声波对气泡的衍射现象可以忽略。此时,透射模式或反射模式成像的断层重建,都可以满足射线近似下传播特点。实施过程具体可以按照图3的投影所示。其中,1号换能器作为发射器,并选取其中的透射波410,420,430。透射波410,420,作用在被测对象上产生的反射波440、450分别被自发自收的1号换能器和3号接收换能器接收到。

[0033] 基于上述几何近似理论,透射式的二值线性反投影算法重建过程需先定义标准化敏感系数矩阵,并与对应的信号矩阵相乘。然后定义图像阈值矩阵,进行图像二值化。对于8个换能器构成的扫描模式,上述算法的数学模型为:

$$[0034] \quad V(x, y) = B(x, y) \times \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 S_{Ti,Rj} \times M_{Ti,Rj}(x, y) \quad (2)$$

[0035] 式中,  $V(x, y)$  为重建图像中各网格的权重值;  $M_{Ti,Rj}(x, y)$  为  $Ti-Rj$  路径上所定义的标准化敏感系数矩阵;  $B(x, y)$  为图像阈值矩阵; 透射波峰值矩阵  $S_{Ti,Rj}$  处理过程如下:

$$[0036] \quad S_{Ti,Rj} = \begin{cases} 1, & V_{Ti,Rj} \geq V_T \\ 0, & V_{Ti,Rj} \leq V_T \end{cases} \quad (3)$$

[0037] 式中,  $V_{Ti,Rj}$  是  $Ti-Rj$  路径上的衰减后信号幅值与背景信号幅值的比值;  $V_T$  是信号阈值。

[0038] 对应地, 图4所示的是透射式反投影过程的示意图。投影时发现接收到的透射波强度很弱时, 如传播路径中被物体遮挡的5号换能器, 对应的反投影过程是: 由接收换能器间隔的中点  $M_5$ ,  $M_4$  和发射换能器位置  $T/R_1$  组成的三角形区域表示目标物的影响区间, 图像矩阵对此区域增加权重“2”, 表示存在被测物体的可能较大; 当投影中发现接收到的透射波强度很强时, 如图3所示的没有物体遮挡的3号换能器, 对应的反投影三角区增加权重“1”, 表示存在被测物体的可能较小。所以, 透射式重建的主要是根据透射波峰值的大小, 判断该路径上无物体。即指向性好, 可以确定该路径上物体有无方面的信息。但是, 其缺点是无法确定该路径上障碍物体具体的位置。

[0039] 基于几何近似理论, 反射模式使用的是弧形反投影算法。重建过程根据投影路径信息以及该路径的所得的渡越时间确定反投影弧线的位置。综合叠加一次扫描中所有投影路径所得的弧线, 可以得到障碍物的轮廓。图3示例的反射波信号的反投影重建过程如图5所示, 对自发自收的换能器1, 反投影是一条圆弧, 圆心位于  $T/R_1$ , 圆弧直径为发射器发出信号到障碍物后回到发射器的回波(自发自收)在渡越时间内传播的距离; 对于接收换能器3而言, 反投影是一条椭圆弧, 椭圆的焦点为发射、接收换能器的位置, 椭圆弧上的点到两焦点的距离之和为该接收换能器接收回波信号的在渡越时间内传播的距离。所以, 反射式重建可以确定被测物的位置信息, 但是指向性不好。

[0040] 改进的图像重建算法以单模式的透射反投影算法和反射反投影算法为基础。图像重建算法模块内嵌的改进算法分为改进原始强度图像的耦合双模式波形信息重建算法和图像阈值最优化的耦合双模式图像的图像处理两个部分:

[0041] 1、改进原始强度图像的耦合双模式波形信息重建算法

[0042] 同时确定每条投影路径上透射波峰值和反射回波的渡越时间, 在透射波指向性明确的基础上, 加入反射波对障碍物位置信息的辅助判断, 更好地约束目标物出现位置的区域。实现步骤如下:

[0043] (1) 读取  $Ti-Rj$  路径上透射波峰值矩阵  $S_{Ti,Rj}$  (0或1) 和反射回波的渡越时间  $T_{Ti,Rj}$  (单位:s) 以及声速  $v$  (单位:m/s)。

[0044] (2) 若  $i = j$ , 置  $S_{Ti,Rj} = 0$ , 执行下一步。

[0045] (3) 若  $i \neq j$  且  $S_{Ti,Rj} = 0$ , 读入该对应路径上的自发自收换能器所获得的渡越时间  $T_{Ti,Ri}$ 。然后按图6所示的方法, 取圆弧的外侧(凸面侧), 与  $M_j, M(j-1), Ti$  所围成的区域为新的区域, 图像矩阵对此区域增加权重“2”。



[0046] (4) 若  $i \neq j$  且  $S_{Ti,Rj} = 1$ , 读入该对应路径上的接收换能器所获得的渡越时间  $T_{Ti,Rj}$ 。然后按图6所示的方法, 取圆弧的内侧(凹面侧), 与  $M_j, M_{(j-1)}, T_i$  所围成的区域为新的区域, 图像矩阵对此区域增加权重“1”。

[0047] 通过上述方式结合两种波形信息, 更好地约束目标物出现位置的区域, 大大减少了原始强度图像的造影。

[0048] 2、图像阈值最优化的耦合双模式图像的图像处理方法

[0049] 对原始强度图像进行精确的二值分割处理, 是一种后期图像处理技术。它是提高流型分析的有效的手段之一, 其过程是要选取一个比较合理的图像阈值, 以确定图像中每个像素点应该属于目标区域还是背景区域, 从而产生相应的二值图像。目前, 单模式的重建算法由于缺少被测物体的辅助信息无法对最优的图像分割阈值进行判断。基于上述分析, 为求解重建过程最优图像阈值, 将单一的透射式层析成像作为成像的基础, 加入单一的反射式重建图像关于被测物体位置的补充信息。其实施过程如下: 首先, 对单一透射式不施加图像阈值矩阵作用, 可获得的透射原始强度图像; 第二, 可获得反射式原始重建图像上权重值最大的位置, 这些位置出现在是被测物的轮廓上, 通过搜索反射强度图像的最大权重值, 可以获得这些在反射图像上被测物轮廓的位置。最后, 求解这些被测物轮廓的位置在原始透射强度图像上的权重值。其数学过程为:

$$[0050] \quad V(x_r, y_r) = \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 S_{Ti,Rj} \times M_{Ti,Rj}(x = x_r, y = y_r) \quad (4)$$

[0051] 其中,  $(x_r, y_r)$  是反射强度图像上被测物轮廓的位置, 8为换能器个数。假设可以获得单一反射式重建图像的被测物体轮廓的个数为  $m$  (单位: 个)。利用这些轮廓的位置的辅助信息, 将其施加到透射式重建过程中, 实现对重建过程最优图像阈值的求解。该过程主要采用最小二乘拟合的方法求解透射重建图像的最优阈值  $T_{opt}$ , 其数学计算过程如下:

$$[0052] \quad \min \left\{ \sum_{r=1}^m [V(x_r, y_r) - T_{opt}]^2 \right\} \quad (5)$$

[0053] 其中, 运算符号  $\min$  的功能是使得其作用的表达式取得最小值。

[0054] 解得  $T_{opt}$  之后, 将透射原始图像的权重值  $V(x, y)$  与  $T_{opt}$  进行比较, 将图像分割为两个部分。分割后的图像为: 若  $V(x, y) > T_{opt}$  (为黑),  $V(x, y) < T_{opt}$  (为白), 即为通常所说的图像二值化, 以获得更为直观的流型图像。

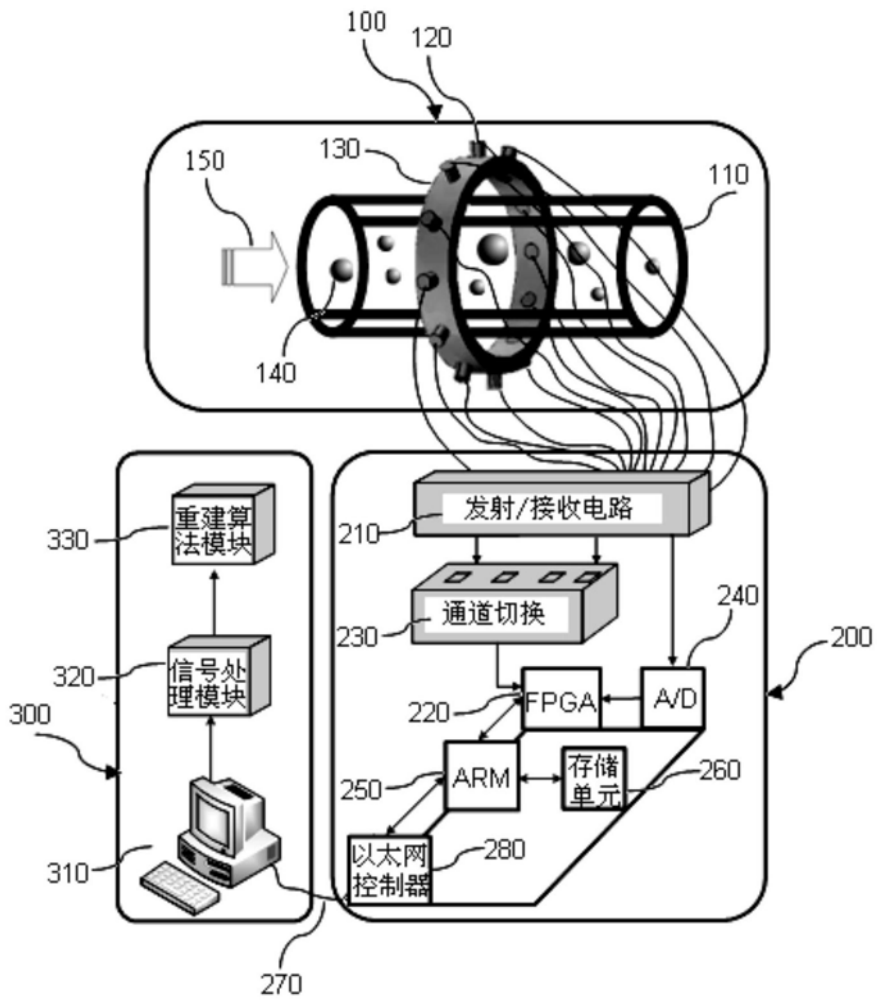


图1

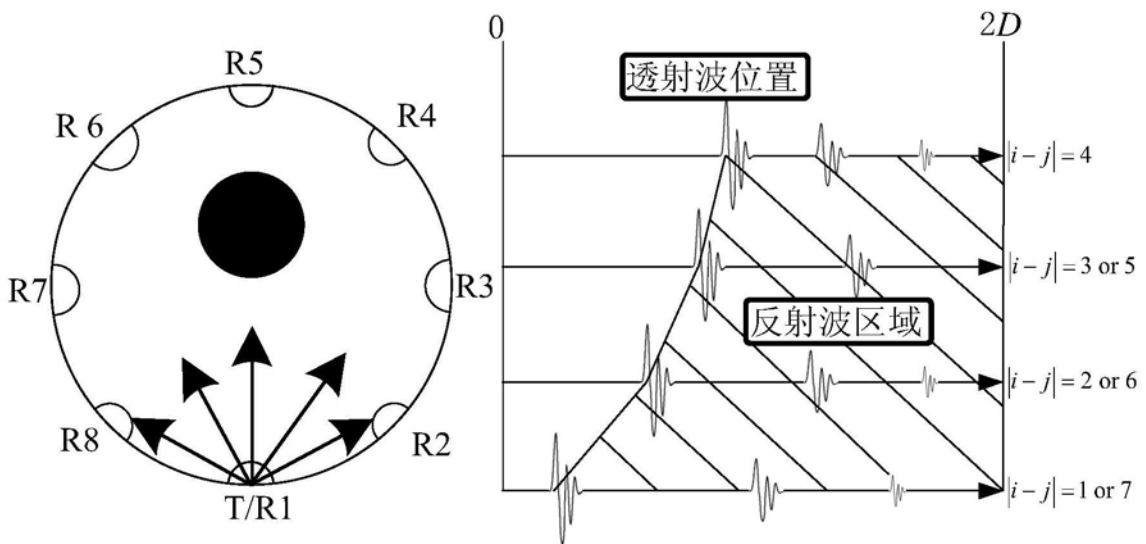


图2

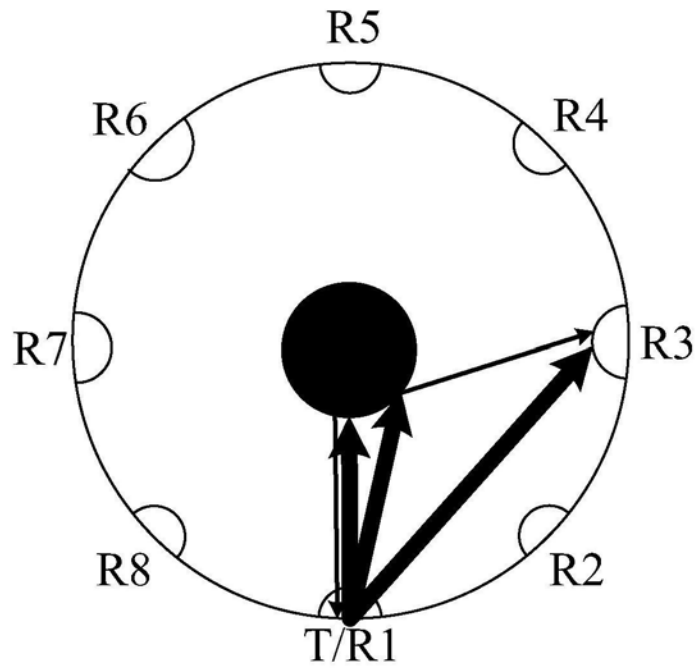


图3

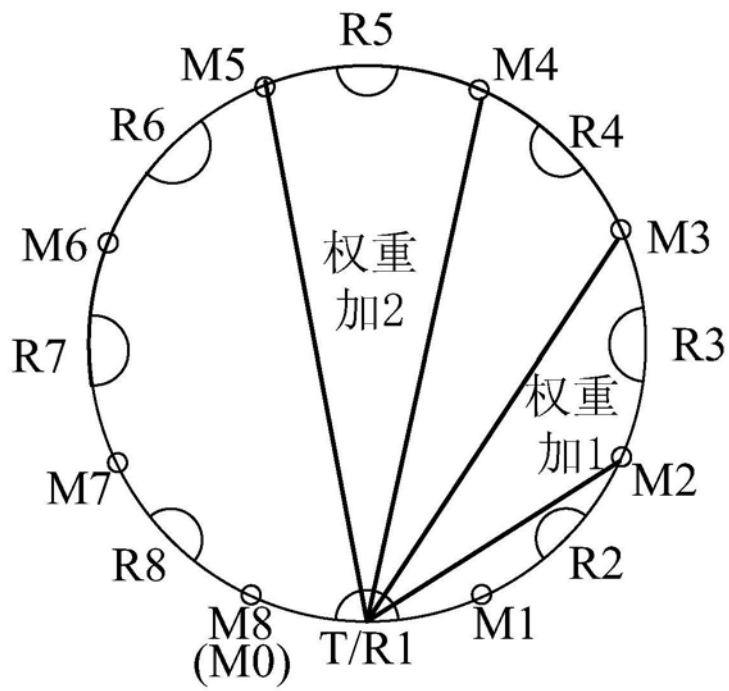


图4

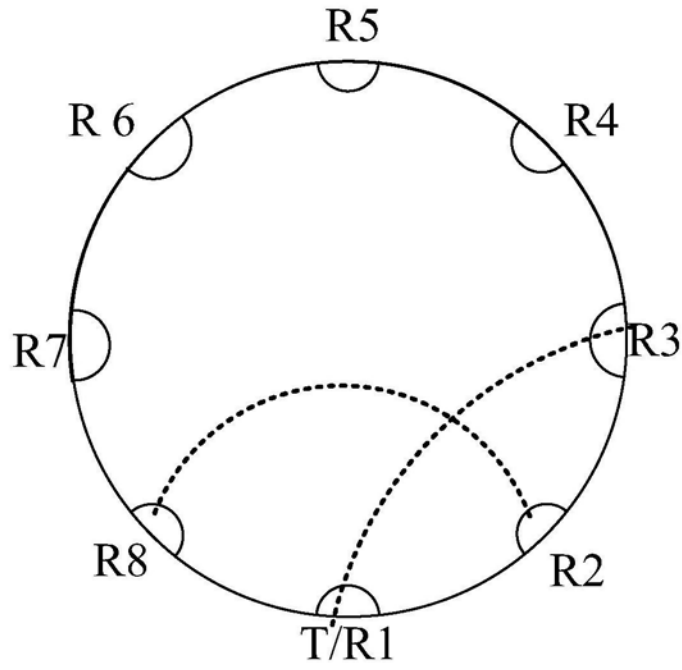


图5

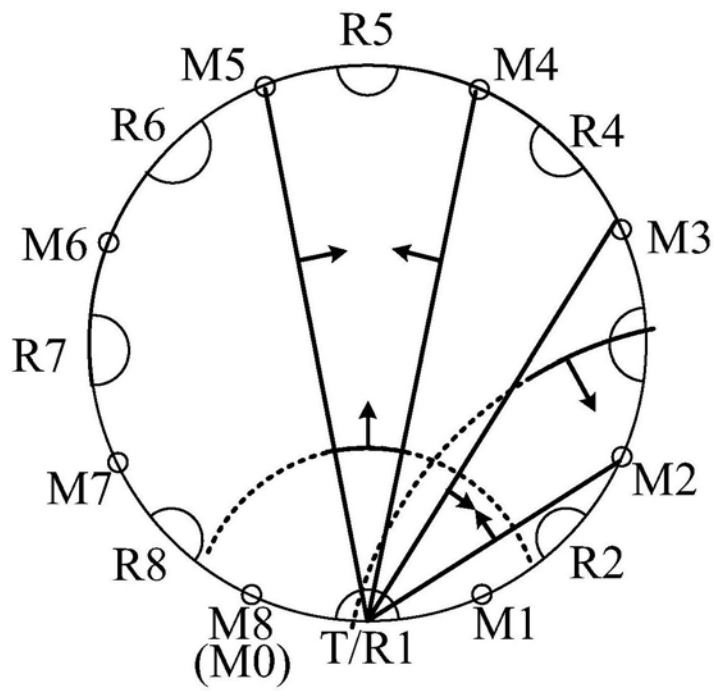


图6