



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108567445 A

(43)申请公布日 2018.09.25

(21)申请号 201710155262.9

(22)申请日 2017.03.10

(71)申请人 南京大学

地址 210093 江苏省南京市鼓楼区汉口路  
22号南京大学1019信箱

申请人 同济大学

(72)发明人 袁杰 尤琦 朱昀浩 刘晓峻

程茜 王学鼎

(51)Int.Cl.

A61B 8/00(2006.01)

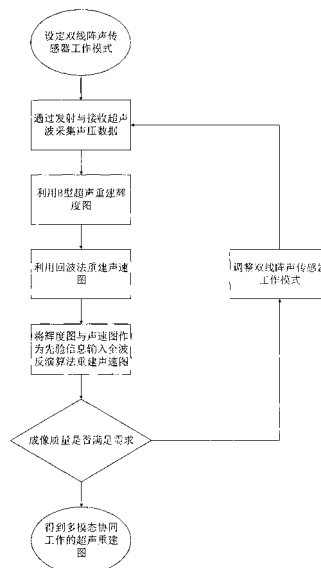
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种基于双线阵声传感器的多模态成像方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于双线阵声传感器的多模态成像方法,包括以下步骤:利用双线阵超声数据采集设备,得到传感器所在位置的实测声压信号;利用B型超声成像法处理实测声压信号,可以得到成像区域的辉度图;利用超声回波成像法处理实测声压信号,可以得到成像区域的声速轮廓图;利用全波反演法处理实测声压信号,可以得到成像区域的精确声速图;将B型超声的辉度图和回波成像的声速轮廓图作为初始信息输入全波反演法,可以显著加快其计算过程。本发明采用了双线阵声传感器,实现了一种多模态协同工作的超声成像方式,可以显著提高成像质量与成像速度。



1. 一种基于双线阵声传感器的多模态成像方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤一,利用双线阵超声数据采集设备,采用设定的发射和接收方式,得到传感器所在位置的实测声压信号,根据成像方式的不同,相应的发射和接收方式也不同,有同侧发射接收和异侧发射接收两种模式,同样的,传感器的工作方式也有逐个发射接收和一起发射接收两种方式;

步骤二,利用B型超声成像法处理实测声压信号,采用波束形成法,控制传感器以不同的时延发射超声信号,在接收时采用延迟叠加的方式处理实测声压信号,可以得到成像区域的辉度图;

步骤三,利用超声回波成像法处理实测声压信号,控制传感器以同侧发射并接收的方式工作,使其得到实测回波声压信号,并通过相位追踪法计算出传输时间差,根据传输时间差与声速之间的关系式可以计算出成像区域的声速轮廓图;

步骤四,利用全波反演法处理实测声压信号,控制传感器以一侧发射,两侧接收的方式工作,使其同时得到反射与投射声压信号,根据声波传输方程中声速与声压的关系式,可以利用全波反演算法来计算出成像区域的精确声速图;

步骤五,将B型超声的辉度图和回波成像的声速轮廓图作为初始信息输入全波反演法,可以使全波反演算法中的迭代过程显著加快,从而使得整体成像所消耗的时间显著减少。

2. 根据权利要求1所述的一种基于双线阵声传感器的多模态成像方法,其特征在于,步骤二中的波束形成法是利用线阵传感器发射不同时延的信号使信号能够聚焦在某一区域或者某一方向,目的是为了最终重建出的辉度图成像质量更高。

3. 根据权利要求1所述的一种基于双线阵声传感器的多模态成像方法,其特征在于,步骤二中的延迟叠加,是对应波束形成法的一种图像重建方法,在接收信号延迟叠加时,延迟是对应波束形成时的发射信号延迟,通过延迟后的叠加能够重建出发射信号的聚焦成像区域。

4. 根据权利要求1所述的一种基于双线阵声传感器的多模态成像方法,其特征在于,步骤三中的相位追踪法是一种利用回波信号相位信息来计算传播时间差的方法,传播时间差是由于成像区域中存在声速对比区域,从而声波传播到一部分区域的时间发生变化而产生的。

5. 根据权利要求1所述的一种基于双线阵声传感器的多模态成像方法,其特征在于,步骤三中的重建得到的成像区域声速图,由于重建方法的限制,会存在较多的伪影干扰,因此该方法用于提取成像区域的声速轮廓图,作为全波反演算法的先验信息来加速运算过程。

6. 根据权利要求1所述的一种基于双线阵声传感器的多模态成像方法,其特征在于,步骤四中的全波反演算法是一种利用迭代反演的思想来解决声波传输方程的算法,迭代的过程是不断地通过正演来调整声速分布,直至整个算法的误差到达足够小的值,即可认为得到正确的结果。

7. 根据权利要求1所述的一种基于双线阵声传感器的多模态成像方法,其特征在于,步骤五中的全波反演初始信息,是指全波反演法迭代的初始声速分布,使用B型超声的辉度图和回波成像的声速轮廓图作为初始信息代入全波反演算法,目的是为了初始分布接近正确值,从而减少整个全波反演算法的计算时间。

## 一种基于双线阵声传感器的多模态成像方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于超声成像及处理领域,特别是一种利用双线阵超声传感器和多模态成像方式优化成像速度与质量的方法。

### 背景技术

[0002] 经过几十年的研究,超声成像在各领域的应用也日趋深入。B型超声作为一种有效的超声成像方式,已受到广泛的应用,然而B型超声成像也有其缺点,其利用声波反射来重建辉度图的成像原理决定了它在某些情况下无法较好地反应成像区域的信息,比如传播路径上存在遮挡物,或是成像区域的反射不明显的情况。而声速成像作为一种具有应用前景的成像方式,却因为其成像过程的复杂性较高,计算时间较慢,而未能被广泛的应用,因此,需要一种优化的方法结合各种成像方式的优点,实现更高的成像质量和更快的成像速度。

### 发明内容

[0003] 发明目的:本发明所要解决的技术问题是针对现有的各种超声成像方式,提供了一种利用双线阵超声传感器和多模态的成像方式,优化成像速度与质量的方法。

[0004] 为了解决上述技术问题,本发明公开了一种基于双线阵声传感器的多模态成像方法,包括如下步骤:

[0005] 步骤一,利用双线阵超声数据采集设备,采用设定的发射和接收方式,得到传感器所在位置的实测声压信号,根据成像方式的不同,相应的发射和接收方式也不同,有同侧发射接收和异侧发射接收两种模式,同样的,传感器的工作方式也有逐个发射接收和一起发射接收两种方式;

[0006] 步骤二,利用B型超声成像法处理实测声压信号,采用波束形成法,控制传感器以不同的时延发射超声信号,在接收时采用延迟叠加的方式处理实测声压信号,可以得到成像区域的辉度图;

[0007] 步骤三,利用超声回波成像法处理实测声压信号,控制传感器以同侧发射并接收的方式工作,使其得到实测回波声压信号,并通过相位追踪法计算出传输时间差,根据传输时间差与声速之间的关系式可以计算出成像区域的声速轮廓图;

[0008] 步骤四,利用全波反演法处理实测声压信号,控制传感器以一侧发射,两侧接收的方式工作,使其同时得到反射与投射声压信号,根据声波传输方程中声速与声压的关系式,可以利用全波反演算法来计算出成像区域的精确声速图;

[0009] 步骤五,将B型超声的辉度图和回波成像的声速轮廓图作为初始信息输入全波反演法,可以使全波反演算法中的迭代过程显著加快,从而使得整体成像所消耗的时间显著减少。

[0010] 本发明中,优选地,步骤一中的双线阵超声数据采集设备,将两组线性超声传感器分别放在成像区域的两侧,以此来实现双向的信号传输与接收,对于超声信号来说,既可以接收回波信号,又可以接收透射波信号。

[0011] 本发明中,优选地,步骤一中的双线阵超声数据采集设备,可以控制每一个传感器单独工作,也可以控制一组传感器协同工作,具体的工作模式根据成像方式的需求而设定。

[0012] 本发明中,优选地,步骤二中的波束形成法是利用线阵传感器发射不同时延的信号使信号能够聚焦在某一区域或者某一方向,目的是为了最终重建出的辉度图成像质量更高,其中若使信号沿着某一方向聚焦,其目的是为了避开在其它方向上可能存在的遮挡物干扰超声信号传输的情况,若使信号在某一区域聚焦,其目的是为了更好地在成像结果中显示出该区域的信息,也可以两种聚焦方式结合使用,以此来反应出成像区域中不同层次的信息。

[0013] 本发明中,优选地,步骤二中的延迟叠加,是对应波束形成法的一种图像重建方法,在接收信号延迟叠加时,延迟是对应波束形成时的发射信号延迟,通过延迟后的叠加能够重建出发射信号的聚焦成像区域。

[0014] 本发明中,优选地,步骤三中的相位追踪法是一种利用回波信号相位信息来计算传播时间差的方法,传播时间差是由于成像区域中存在声速对比区域,从而声波传播到一部分区域的时间发生变化而产生的。

[0015] 本发明中,优选地,步骤三中的相位追踪法可以利用基带信号分析的方法来处理回波信号,基带信号分析是利用不同的声速分布区域下不同的实测声压信号,通过相关函数的计算得到传输时间差的一种分析方法。

[0016] 本发明中,优选地,步骤三中的重建得到的成像区域声速图,由于重建方法的限制,会存在较多的伪影干扰,因此该方法用于提取成像区域的声速轮廓图,作为全波反演算法的先验信息来加速运算过程。

[0017] 本发明中,优选地,步骤四中的传感器的发射方式,是一侧发射,两侧接收的方式,发射时每个传感器逐一发射信号,接收时两侧全部的传感器都接收信号,这样既能接收到回波信号,又能接收到透射波信号。

[0018] 本发明中,优选地,步骤四中的全波反演算法是一种利用迭代反演的思想来解决声波传输方程的算法,迭代的过程是不断地通过正演来调整声速分布,直至整个算法的误差到达足够小的值,即可认为得到正确的结果。

[0019] 本发明中,优选地,步骤五中的全波反演初始信息,是指全波反演法迭代的初始声速分布,使用B型超声的辉度图和回波成像的声速轮廓图作为初始信息代入全波反演算法,目的是为了初始分布接近正确值,从而减少整个全波反演算法的计算时间。

## 附图说明

[0020] 下面结合附图和具体实施方式对本发明做更进一步的具体说明,本发明的有关叙述和其他方面的优点将会变得更加清楚。

[0021] 图1为本发明流程图。

[0022] 图2为本发明系统示意图。

## 具体实施方式

[0023] 如图1所示,本发明公开了一种基于双线阵声传感器的多模态成像方法,包括以下步骤:

[0024] 步骤一,利用双线阵超声数据采集设备,采用设定的发射和接收方式,得到传感器所在位置的实测声压信号,根据成像方式的不同,相应的发射和接收方式也不同,可以同侧发射接收或异侧发射接收,可以设定传感器逐个发射接收或一起发射接收;

[0025] 步骤二,利用B型超声成像法处理实测声压信号,采用波束形成法,控制传感器以不同的时延发射超声信号,在接收时采用延迟叠加的方式处理实测声压信号,可以得到成像区域的辉度图;

[0026] 步骤三,利用超声回波成像法处理实测声压信号,控制传感器以同侧发射并接收的方式工作,使其得到实测回波声压信号,并通过相位追踪法计算出传输时间差,根据传输时间差与声速之间的关系式可以计算出成像区域的声速轮廓图;

[0027] 步骤四,利用全波反演法处理实测声压信号,控制传感器以一侧发射,两侧接收的方式工作,使其同时得到反射与投射声压信号,根据声波传输方程中声速与声压的关系式,可以利用全波反演算法来计算出成像区域的精确声速图;

[0028] 步骤五,将B型超声的辉度图和回波成像的声速轮廓图作为初始信息输入全波反演法,可以使全波反演算法中的迭代过程显著加快,从而使得整体成像所消耗的时间显著减少。

[0029] 如图2所示,实验中超声线性传感器共两组,分别放置在成像区域的两侧,成像区域在双线阵声传感器的中间位置。图2所示意的结构既是实验设备结构,也是重建过程中计算区域及其相关信息的示意图。

[0030] 本实例中,步骤一中的双线阵超声数据采集设备,将两组线性超声传感器分别放在成像区域的两侧,以此来实现双向的信号传输与接收,对于超声信号来说,既可以接收回波信号,又可以接收透射波信号,接收回波信号时,一侧的M个传感器按照设定好的时间延迟发射超声波,每一次发射后,这M个传感器都进入接收模式,直到所有信号源都发射过一次,得到传感器所在位置的实测声压信号 $p_m(t)$ ,其中t为整个传感器接收过程的时间长度,m下标用来标记传感器的位置,接收透射波信号时,一侧的M个传感器按照设定好的时间延迟发射超声波,每一次发射后,另一侧的M个传感器都进入接收模式,同样直到所有信号源都发射过一次,得到传感器所在位置的实测声压信号 $p_m(t)$ 。

[0031] 本实例中,步骤一中的双线阵超声数据采集设备,可以控制每一个传感器单独工作,也可以控制一组传感器协同工作,具体的工作模式根据成像方式的需求而设定,当控制单一的传感器工作时,是为了利用不同位置的传感器发射信号,来探测不同区域的信息,而控制一组传感器协同工作时,是为了使传感器阵列按照设定好的时间延迟发射超声波形成波阵面,探测成像区域中不同方向的信息,或是聚焦某一特定区域的信息。

[0032] 本实例中,步骤二中的波束形成法是利用线阵传感器发射不同时延的信号使信号能够聚焦在某一区域或者某一方向,目的是为了使最终重建出的辉度图成像质量更高,其中若使信号沿着某一方向聚焦,其目的是为了避免在其它方向上可能存在的遮挡物干扰超声信号传输的情况,若使信号在某一区域聚焦,其目的是为了更好地在成像结果中显示出该区域的信息,也可以两种聚焦方式结合使用,以此来反应出成像区域中不同层次的信息。

[0033] 本实例中,步骤二中的延迟叠加,是对应波束形成法的一种图像重建方法,在接收信号延迟叠加时,延迟是对应波束形成时的发射信号延迟,通过延迟后的叠加能够重建出发射信号的聚焦成像区域,对于沿某一方向聚焦的波束形成,信号延迟的计算公式为

$$[0034] \quad d_n = \text{round} \left( \frac{i_n \times \text{pitch} \times \sin(\pi\theta / 180)}{c_0 \times dt} \right)$$

[0035] 其中 $d_n$ 表示第 $n$ 个传感器发射信号的延迟,round代表四舍五入取整函数, $i_n$ 代表第 $n$ 个传感器,比如对于第1个传感器, $i_n=1$ ,对于第二个传感器,则 $i_n=2$ ,以此类推,pitch代表传感器的长度, $\theta$ 代表发射波阵面聚焦的方向角, $c_0$ 代表成像区域的背景声速值, $dt$ 代表抽样时间间隔,对于沿某一区域聚焦的波束形成,信号延迟的计算公式为

$$[0036] \quad d_n = \text{round} \left( \frac{F}{c_0 \times dt} \left( 1 - \sqrt{1 + \left( \frac{i_n \times \text{pitch}}{F} \right)^2 - 2 \sin(\pi\theta / 180) \left( \frac{i_n \times \text{pitch}}{F} \right)} \right) \right)$$

[0037] 其中 $F$ 代表聚焦区域中心点与传感器阵列中心之间的距离,其余参数的含义与沿某一方向聚焦的波束形成的信号延迟的计算公式中相同。

[0038] 本实例中,步骤二中的沿某一方向聚焦的波束形成采用了 $-30^\circ$ 到 $30^\circ$ 的角度区间,每隔 $1^\circ$ 作一次成像,对于沿某一区域聚焦的波束形成,采用了整个成像区域的中心点作为聚焦区域的中心点实现波阵面的聚焦。

[0039] 本实例中,步骤三中的相位追踪法是一种利用回波信号相位信息来计算传播时间差的方法,传播时间差是由于成像区域中存在声速对比区域,从而声波传播到一部分区域的时间发生变化而产生的。

[0040] 本实例中,步骤三中的相位追踪法可以利用基带信号分析的方法来处理回波信号,基带信号分析公式如下:

$$[0041] \quad x_1(t) = A(t - \tau_1)e^{-i\omega_0\tau_1}$$

$$[0042] \quad x_2(t) = A(t - \tau_2)e^{-i\omega_0\tau_2}$$

[0043] 其中 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 分别是不同声速分布图中的超声接收信号, $A$ 是超声载波的幅值, $\omega_0$ 是超声载波的角频率, $\tau$ 是超声传感器到传播区域中的散射点的传输时间,两个信号之间的复相关函数为:

$$[0044] \quad c(t) = \frac{1}{T} \int_0^T x_1(\tau)x_2^*(t + \tau) d\tau$$

[0045] 那么, $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 之间的传输时间差可以从零延迟下的复相关函数计算得到:

$$[0046] \quad \tau = \frac{\phi(0)}{\omega_0} = \frac{\tan^{-1} \left[ \frac{\text{Im}(c(0))}{\text{Re}(c(0))} \right]}{\omega_0}$$

[0047] 本实例中,步骤三中的传输时间差与声速之间的关系式为

$$[0048] \quad \tau(x, z, \varphi) = \sqrt{1 + \tan^2 \varphi} \cdot \int_0^z dz' \sigma(x - z \tan \varphi + z' \tan \varphi, z')$$

[0049] 其中 $\tau(x, z, \varphi)$ 是以 $\varphi$ 为波束形成时的发射角,声波到达 $(x, z)$ 位置的时间差,而 $\sigma(x, z) = \frac{1}{c(x, z)} - \sigma_0$ , $c(x, z)$ 代表的是 $(x, z)$ 位置的声速, $\sigma_0$ 代表的是均匀介质中的声速倒

数,即慢度,那么 $\sigma(x, z)$ 代表的就是在成像区域中 $(x, z)$ 位置的慢度差。

[0050] 本实例中,步骤三中的重建得到的成像区域声速图,由于重建方法的限制,会存在较多的伪影干扰,因此该方法用于提取成像区域的声速轮廓图,作为全波反演算法的先验信息来加速运算过程。

[0051] 本实例中,步骤四中的传感器的发射方式,是一侧发射,两侧接收的方式,发射时两侧共 $2M$ 个传感器,每个传感器逐一发射信号,接收时两侧全部的传感器都接收信号,一共接收到 $2M$ 个实测声压信号 $p_m(t)$ ,其中一侧的 $M$ 个声压信号是回波信号,另一侧的 $M$ 个声压信号是透射波信号。

[0052] 本实例中,步骤四中的声波传输方程描述了声波传输过程中声压变化与声速和声源的关系,具体方程如下

$$[0053] \quad \nabla^2 p_m(\mathbf{r}, t) - \frac{1}{c^2(\mathbf{r})} \frac{\partial^2 p_m(\mathbf{r}, t)}{\partial t^2} = -4\pi s_m(\mathbf{r}, t)$$

[0054] 其中 $p_m(\mathbf{r}, t)$ 表示传输区域中的声压分布, $s_m(\mathbf{r}, t)$ 来表示每一束声源脉冲,用下标 $m$ 来标记不同的声波,尽管每个声源的空间位置都不同,每一束声波都可以表示为时间和空间的函数,而 $c(\mathbf{r})$ 就是传输区域中的声速分布。

[0055] 本实例中,步骤四中的全波反演算法是一种利用迭代反演的思想来解决声波传输方程的算法,迭代的过程是不断地通过正演来调整声速分布,直至整个算法的误差到达足够小的值,即可认为得到正确的结果。迭代反演的数学过程如下,

[0056] 首先将全波反演方法用一个非线性数值最优化方程来描述:

$$[0057] \quad \hat{\mathbf{c}} = \arg \min_{\mathbf{c}} \{ \mathcal{F}(\mathbf{c}) + \beta \mathcal{R}(\mathbf{c}) \}$$

[0058] 其中 $\mathcal{F}(\mathbf{c})$ 代表了数据保真项, $\mathcal{R}(\mathbf{c})$ 代表了数据修正项, $\beta$ 代表了正则化参数,数据保真项 $\mathcal{F}(\mathbf{c})$ 被定义为估算数据与实际测量数据差值矩阵的二范数,具体公式如下:

$$[0059] \quad \mathcal{F}(\mathbf{c}) = \frac{1}{2} \sum_{m=0}^{M-1} \| \mathbf{g}_m - M_m H^c s_m \|^2$$

[0060] 其中 $\mathbf{g}_m \in \mathbb{R}^{N^{rec}L}$ 代表了在第 $m$ 次数据接收时得到的实测声压数据, $\mathcal{F}(\mathbf{c})$ 的梯度记作 $\mathbf{J}$ , $\mathbf{J}$ 与 $\mathbf{c}$ 有关,将 $\mathcal{F}(\mathbf{c})$ 的弗雷歇导数离散化即可得到梯度 $\mathbf{J}$ , $\mathbf{J}$ 可以被近似表示为

$$[0061] \quad [\mathbf{J}]_n \equiv \sum_{m=0}^{M-1} [\mathbf{J}_m]_n$$

$$\approx \frac{1}{[\mathbf{c}]_n^3} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{l=1}^{L-2} [\mathbf{q}_m^a]_{nL+(L-l)} \times \frac{[\mathbf{p}_m^a]_{nL+l-1} - 2[\mathbf{p}_m^a]_{nL+l} + [\mathbf{p}_m^a]_{nL+l+1}}{\Delta t}$$

[0062] 其中 $\mathbf{J}_m$ 代表了 $\| \mathbf{g}_m - M_m H^c s_m \|^2 / 2$ 的梯度, $\mathbf{J}_m$ 与 $\mathbf{c}$ 有关,而向量 $\mathbf{q}_m^a$ 代表了对近似伴随波场 $q_m(\mathbf{r}, t)$ 的抽样,通过使用 $k$ 空间拟谱法, $\mathbf{q}_m^a$ 可以通过如下方式计算

$$[0063] \quad \mathbf{q}_m^a = \frac{1}{4\pi} H^c \boldsymbol{\tau}_m$$

[0064] 其中

$$[0065] \quad [\tau_m]_{nL+l} = \begin{cases} [g_m^a - g_m]_{\mathcal{L}_m^{-1}(n)L+(L-l)} & \text{if } n \in \mathbf{N}_m \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0066] 其中  $\mathbf{N}_m = \{n: \mathcal{L}_m(n^{rec}), n^{rec} = 0, 1, \dots, N^{rec} - 1\}$ , 而  $\mathcal{L}_m^{-1}$  代表了  $\mathcal{L}_m$  的逆映射, 有了梯度  $J$  的具体表达式, 许多最优化算法都能用来解决全波反演问题, 本实例中采用梯度下降法来实现全波反演算法。

[0067] 本实例中, 步骤五中的全波反演初始信息, 是指全波反演法迭代的初始声速分布, 本实例中从B型超声的辉度图和回波成像的声速轮廓图中提取初始声速分布信息, 将其作为先验信息输入全波反演算法, 结果能够显著提高全波反演重建算法的计算速度。

[0068] 本实例流程图参照图1。

[0069] 本发明提出了一种基于双线阵声传感器的多模态成像方法, 应当指出, 步骤一中涉及的实验设备型号形式不对本专利构成限制; 超声成像过程中的成像区域大小等非关键参数, 不对本专利构成限制。应当指出, 对于本技术领域的普通人员来说, 在不脱离发明原理的前提下还可以做出若干改进和润饰, 这些也应视为本发明的保护范围。另外, 本实例中未明确的各组成部分均可用现有技术加以实现。

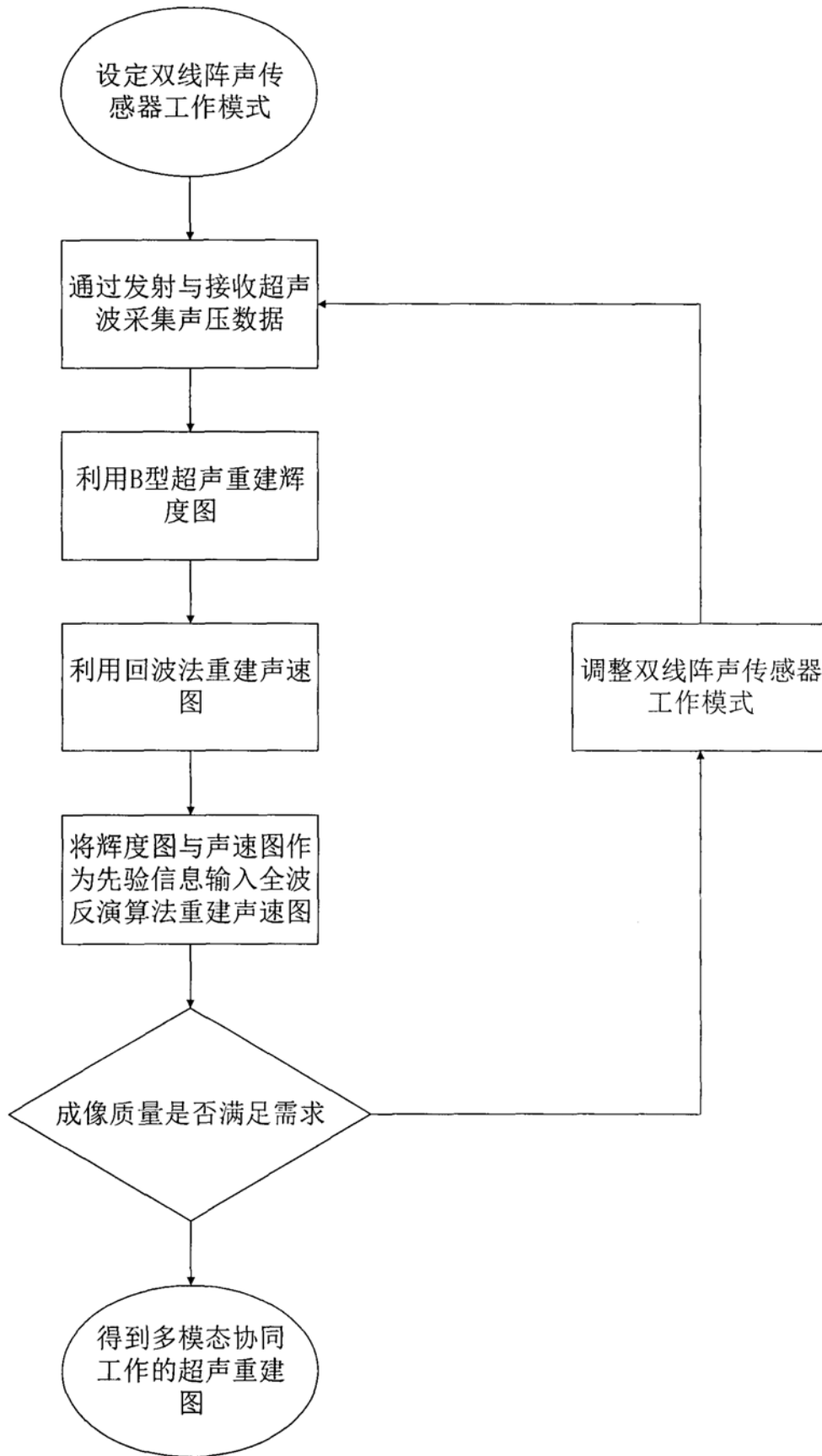


图1

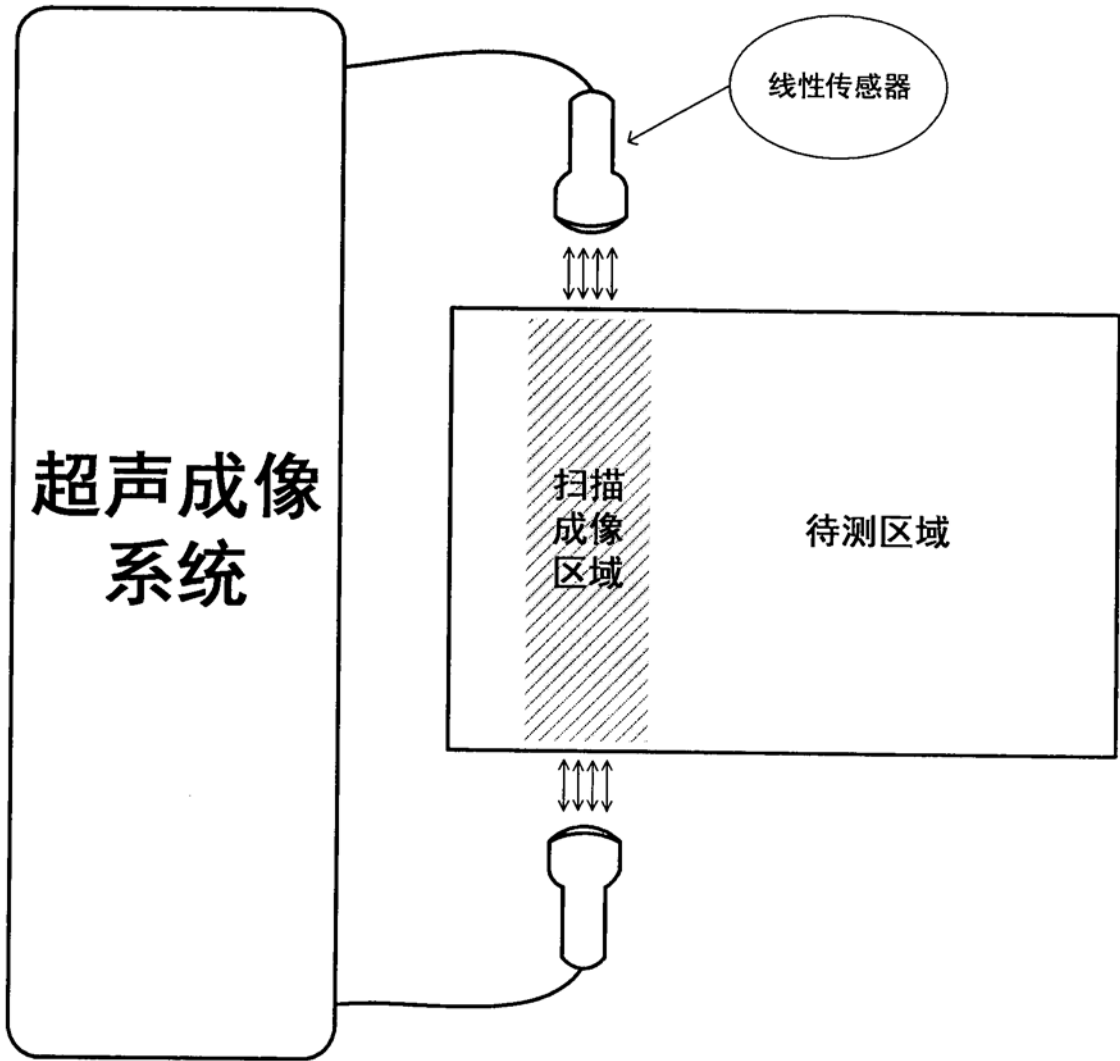


图2

专利名称(译)	一种基于双线阵声传感器的多模态成像方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN108567445A</a>	公开(公告)日	2018-09-25
申请号	CN201710155262.9	申请日	2017-03-10
[标]申请(专利权)人(译)	南京大学 同济大学		
申请(专利权)人(译)	南京大学 同济大学		
当前申请(专利权)人(译)	南京大学 同济大学		
[标]发明人	袁杰 尤琦 朱昀浩 刘晓峻 程茜 王学鼎		
发明人	袁杰 尤琦 朱昀浩 刘晓峻 程茜 王学鼎		
IPC分类号	A61B8/00		
CPC分类号	A61B8/5223 A61B8/4444 A61B8/5261		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

本发明公开了一种基于双线阵声传感器的多模态成像方法，包括以下步骤：利用双线阵超声数据采集设备，得到传感器所在位置的实测声压信号；利用B型超声成像法处理实测声压信号，可以得到成像区域的辉度图；利用超声回波成像法处理实测声压信号，可以得到成像区域的声速轮廓图；利用全波反演法处理实测声压信号，可以得到成像区域的精确声速图；将B型超声的辉度图和回波成像的声速轮廓图作为初始信息输入全波反演法，可以显著加快其计算过程。本发明采用了双线阵声传感器，实现了一种多模态协同工作的超声成像方式，可以显著提高成像质量与成像速度。

