



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110477951 A  
(43)申请公布日 2019. 11. 22

(21)申请号 201910813822.4

(22)申请日 2019.08.30

(71)申请人 浙江大学

地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72)发明人 郑音飞 李超 蒋东

(74)专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569  
代理人 杜阳阳

(51)Int.Cl.

A61B 8/00(2006.01)

A61B 8/08(2006.01)

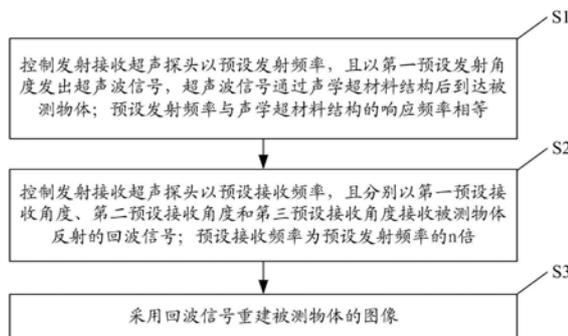
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法

(57)摘要

本发明公开了基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法。该方法通过超快复合平面波成像装置实现；该装置包括发射接收超声探头和声学超材料结构。该方法包括：控制发射接收超声探头以预设发射频率、第一预设发射角度发出超声波信号；预设发射频率等于声学超材料结构的响应频率；控制发射接收超声探头以预设接收频率，且分别以第一预设接收角度、第二预设接收角度和第三预设接收角度接收被测物体反射的回波信号；预设接收频率为预设发射频率的n倍；第一预设接收角度等于第一预设发射角度，第二预设接收角度小于第一预设发射角度，第三预设接收角度大于第一预设发射角度；采用回波信号重建被测物体的图像。本发明能够提高成像深度与成像质量。



1. 基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法, 其特征在于,

所述超快复合平面波成像方法通过超快复合平面波成像装置实现; 所述超快复合平面波成像装置包括发射接收超声探头和声学超材料结构; 所述发射接收超声探头发出的超声波信号通过所述声学超材料结构后到达被测物体, 所述发射接收超声探头还接收由所述被测物体反射的回波信号;

所述超快复合平面波成像方法, 具体包括:

控制所述发射接收超声探头以预设发射频率, 且以第一预设发射角度发出超声波信号, 所述超声波信号通过所述声学超材料结构后到达被测物体; 所述预设发射频率与所述声学超材料结构的响应频率相等;

控制所述发射接收超声探头以预设接收频率, 且分别以第一预设接收角度、第二预设接收角度和第三预设接收角度接收所述被测物体反射的回波信号; 所述预设接收频率为所述预设发射频率的 $n$ 倍,  $n > 1$ ; 所述第一预设接收角度等于所述第一预设发射角度, 所述第二预设接收角度小于所述第一预设发射角度, 所述第三预设接收角度大于所述第一预设发射角度;

采用所述回波信号重建所述被测物体的图像。

2. 根据权利要求1所述的基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法, 其特征在于, 所述采用所述回波信号重建所述被测物体的图像, 具体包括:

采用深度学习算法去除所述回波信号中的伪影信号, 得到回波优化信号;

采用所述回波优化信号重建所述被测物体的图像。

3. 根据权利要求1所述的基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法, 其特征在于,

所述声学超材料结构的响应频率通过响应频率确定装置确定; 所述响应频率确定装置包括发射探头、接收探头、与所述发射探头连接的信号发生器以及与所述接收探头连接的示波器; 所述发射探头的输出端通过所述声学超材料结构与所述接收探头的输入端连接; 所述信号发生器与所述示波器连接;

所述声学超材料结构的响应频率的确定方法为:

所述信号发生器在预设频率范围内以预设步长发出多个不同频率的电信号, 每个频率的电信号均分为两路, 第一路信号直接在示波器上显示, 第二路信号依次经过所述发射探头、所述声学超材料结构和所述接收探头后, 在所述示波器上显示;

比较每个频率下, 在所述示波器上显示的两路电信号的波形, 确定每个频率对应的第二路信号的波形的畸变程度、放大程度和延迟程度;

将畸变程度最小、放大程度最大, 且延迟程度最小的第二路信号的波形对应的信号发生器的频率确定为声学超材料结构的响应频率。

4. 根据权利要求2所述的基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法, 其特征在于, 所述采用深度学习算法去除所述回波信号中的伪影信号, 得到回波优化信号, 具体包括:

获取训练数据集; 所述训练数据集包括含伪影信号的超声训练信号和去除伪影信号的超声训练信号;

构建三层卷积神经网络;

将所述含伪影信号的超声训练信号作为输入,所述去除伪影信号的超声训练信号作为输出,对所述三层卷积神经网络进行训练,得到训练好的三层卷积神经网络;

将所述回波信号输入至所述训练好的三层卷积神经网络中,得到回波优化信号。

5.根据权利要求2所述的基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法,其特征在于,所述采用所述回波优化信号重建所述被测物体的图像,具体包括:

根据所述回波优化信号,采用波束合成方法重建所述被测物体的图像。

6.根据权利要求1所述的基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法,其特征在于, $1 < n < 3$ 。

7.根据权利要求1所述的基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法,其特征在于,所述第一预设接收角度与所述第一预设发射角度均为 $A^\circ$ ;所述第二预设接收角度为 $A - \delta^\circ$ ,所述第三预设接收角度为 $A + \delta^\circ$ ,其中 $\delta > 0$ 。

8.根据权利要求7所述的基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法,其特征在于, $5 < \delta < 7$ 。

9.根据权利要求3所述的基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法,其特征在于,所述预设频率范围为 $[0.5\text{MHz}, 15\text{MHz}]$ ;所述预设步长为 $1\text{MHz}$ 。

## 基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及超快平面波成像技术领域,特别是涉及基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法。

### 背景技术

[0002] 目前,对医学超声图像的评判标准主要集中在成像深度及成像质量两方面。

[0003] 在成像质量方面,超快平面波的出现革新了医学成像领域,成像帧频可达上千,极大地提高了常规超声成像的帧频。对比于常规超声成像的线到线的聚焦成像方式,超快平面波成像采用的是面到面的非聚焦成像方式。非聚焦的发射/接收模式是超快平面波成像的关键。2002年,Tanter等人基于超快平面波成像测量了横波速度,提出了瞬时弹性成像;2003年Bercoff团队将瞬时弹性成像首次用于乳腺癌的临床研究,也是超快平面波的首例临床应用。弹性成像的原则是对组织位移或横波速度的测量,因此牺牲图像质量(对比度和分辨率)来提高帧频的代价是可接受的。为提高图像质量,2009年Montaldo等人提出相干复合平面波成像方法,既不损失帧频的前提下,又可大幅提高成像质量。这种方法是通过增加不同发射角度的平面波数量来提高图像质量,是对成像帧频和成像质量的一种权衡。目前相干复合成像方法已成为超快成像的核心,被广泛应用于各种医学成像场景,尤其是血流成像上。2015年Tanter团队拓展了复合成像方法,提出了一种既不需要妥协帧频,同时又可以提高图像信噪比的超快多波成像方法,但是此方法计算量大、耗时长缺陷限制了其临床应用。

[0004] 在成像深度方面,低频发射序列可以带来高穿透性,但是其成像质量较差。近年来,对声学超材料的研究成为一个比较有前景的研究方向。2014年,Nicholas Fang等人利用comsol仿真设计了具有负质量密度和负体积模量的双负声学超材料,为超声成像提供了新的思路和方法。2015年,Thomas团队基于Mie共振效应实现了具有双负性质的声学超材料。但是,声学超材料的研制仍处于低频阶段,对高频超材料的研究处于摸索阶段。

[0005] 综上,现有的超快平面波成像方法是基于相干复合平面波成像的,由于平面波的非聚焦特点,导致能量丢失并影响成像深度与成像质量。

### 发明内容

[0006] 基于此,有必要提供一种基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法,以提高平面波成像的成像深度与成像质量。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0008] 基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法,所述超快复合平面波成像方法通过超快复合平面波成像装置实现;所述超快复合平面波成像装置包括发射接收超声探头和声学超材料结构;所述发射接收超声探头发出的超声波信号通过所述声学超材料结构后到达被测物体,所述发射接收超声探头还接收由所述被测物体反射的回波信号;

[0009] 所述超快复合平面波成像方法,具体包括:

[0010] 控制所述发射接收超声探头以预设发射频率,且以第一预设发射角度发出超声波信号,所述超声波信号通过所述声学超材料结构后到达被测物体;所述预设发射频率与所述声学超材料结构的响应频率相等;

[0011] 控制所述发射接收超声探头以预设接收频率,且分别以第一预设接收角度、第二预设接收角度和第三预设接收角度接收所述被测物体反射的回波信号;所述预设接收频率为所述预设发射频率的 $n$ 倍, $n > 1$ ;所述第一预设接收角度等于所述第一预设发射角度,所述第二预设接收角度小于所述第一预设发射角度,所述第三预设接收角度大于所述第一预设发射角度;

[0012] 采用所述回波信号重建所述被测物体的图像。

[0013] 可选的,所述采用所述回波信号重建所述被测物体的图像,具体包括:

[0014] 采用深度学习算法去除所述回波信号中的伪影信号,得到回波优化信号;

[0015] 采用所述回波优化信号重建所述被测物体的图像。

[0016] 可选的,所述声学超材料结构的响应频率通过响应频率确定装置确定;所述响应频率确定装置包括发射探头、接收探头、与所述发射探头连接的信号发生器以及与所述接收探头连接的示波器;所述发射探头的输出端通过所述声学超材料结构与所述接收探头的输入端连接;所述信号发生器与所述示波器连接;

[0017] 所述声学超材料结构的响应频率的确定方法为:

[0018] 所述信号发生器在预设频率范围内以预设步长发出多个不同频率的电信号,每个频率的电信号均分为两路,第一路信号直接在示波器上显示,第二路信号依次经过所述发射探头、所述声学超材料结构和所述接收探头后,在所述示波器上显示;

[0019] 比较每个频率下,在所述示波器上显示的两路电信号的波形,确定每个频率对应的第二路信号的波形的畸变程度、放大程度和延迟程度;

[0020] 将畸变程度最小、放大程度最大,且延迟程度最小的第二路信号的波形对应的信号发生器的频率确定为声学超材料结构的响应频率。

[0021] 可选的,所述采用深度学习算法去除所述回波信号中的伪影信号,得到回波优化信号,具体包括:

[0022] 获取训练数据集;所述训练数据集包括含伪影信号的超声训练信号和去除伪影信号的超声训练信号;

[0023] 构建三层卷积神经网络;

[0024] 将所述含伪影信号的超声训练信号作为输入,所述去除伪影信号的超声训练信号作为输出,对所述三层卷积神经网络进行训练,得到训练好的三层卷积神经网络;

[0025] 将所述回波信号输入至所述训练好的三层卷积神经网络中,得到回波优化信号。

[0026] 可选的,所述采用所述回波优化信号重建所述被测物体的图像,具体包括:

[0027] 根据所述回波优化信号,采用波束合成方法重建所述被测物体的图像。

[0028] 可选的, $1 < n < 3$ 。

[0029] 可选的,所述第一预设接收角度与所述第一预设发射角度均为 $A^\circ$ ;所述第二预设接收角度为 $A - \delta^\circ$ ,所述第三预设接收角度为 $A + \delta^\circ$ ,其中 $\delta > 0$ 。

[0030] 可选的, $5 < \delta < 7$ 。

[0031] 可选的,所述预设频率范围为 $[0.5\text{MHz}, 15\text{MHz}]$ ;所述预设步长为 $1\text{MHz}$ 。

[0032] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0033] 本发明提出了基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法。该方法通过超快复合平面波成像装置实现;该装置包括发射接收超声探头和声学超材料结构。该方法包括:控制发射接收超声探头以预设发射频率、第一预设发射角度发出超声波信号;预设发射频率等于声学超材料结构的响应频率;控制发射接收超声探头以预设接收频率,且分别以第一预设接收角度、第二预设接收角度和第三预设接收角度接收被测物体反射的回波信号;预设接收频率为预设发射频率的n倍;第一预设接收角度等于第一预设发射角度,第二预设接收角度小于第一预设发射角度,第三预设接收角度大于第一预设发射角度;采用回波信号重建被测物体的图像。本发明设置预设发射频率与声学超材料结构的响应频率相等,使得入射能量增强,提高了成像深度;提出单角度发射-三角度接收的超快复合成像方法,使得回波信息增多,并且通过使用单频发射-n倍频接收的方法,放大了接收信号能量,提高了成像质量。

### 附图说明

[0034] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0035] 图1为本发明实施例基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法的流程图;

[0036] 图2为本发明实施例基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法的原理图;

[0037] 图3为本发明实施例超快复合平面波成像装置的结构示意图;

[0038] 图4为本发明实施例发射接收超声探头的结构示意图;

[0039] 图5为本发明实施例单角度发射-三角度接收的示意图;

[0040] 图6为本发明实施例响应频率确定装置的结构示意图;

[0041] 图7为本发明实施例序列延时控制模块控制阵元发出一定发射角度的超声波的控制原理图。

### 具体实施方式

[0042] 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,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0043] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0044] 图1为本发明实施例基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法的流程图;图2为本发明实施例基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法的原理图。

[0045] 参见图1-图2,实施例的基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法通过

超快复合平面波成像装置实现。图3为本发明实施例超快复合平面波成像装置的结构示意图。参见图3,超快复合平面波成像装置包括发射接收超声探头1和声学超材料结构2;发射接收超声探头1发出的超声波信号通过声学超材料结构2后到达被测物体3,发射接收超声探头1还接收由被测物体3反射的回波信号。声学超材料结构2具有宽频带特性。

[0046] 图4为本发明实施例发射接收超声探头的结构示意图。参见图4,发射接收超声探头1包括发射阵元11、接收阵元12和序列延时控制模块13,发射阵元11(发射序列)和接收阵元12(接收序列)分别与序列延时控制模块13连接,序列延时控制模块13用于控制发射阵元11的发射频率和发射角度,以及控制接收阵元12的接收频率和接收角度。

[0047] 超快复合平面波成像方法,具体包括:

[0048] 步骤S1:控制发射接收超声探头以预设发射频率,且以第一预设发射角度发出超声波信号,超声波信号通过声学超材料结构后到达被测物体;预设发射频率与声学超材料结构的响应频率相等。预设发射频率指发射序列的中心频率,声学超材料结构的响应频率指超材料发挥最优性能的频率。其实现原理图如图5的(a)部分所示。

[0049] 声学超材料结构的响应频率是采用预实验方法,并通过响应频率确定装置确定的。图6为本发明实施例响应频率确定装置的结构示意图,参见图6,响应频率确定装置包括发射探头3、接收探头4、与发射探头3连接的信号发生器5以及与接收探头4连接的示波器6;发射探头3的输出端通过声学超材料结构2与接收探头4的输入端连接;信号发生器5与示波器6连接。发射探头3和接收探头4均为单阵元探头。

[0050] 本实施例中,声学超材料结构的响应频率的确定方法为:

[0051] 1) 信号发生器在预设频率范围内以预设步长发出多个不同频率的电信号,每个频率的电信号均分为两路,第一路信号(通道1中的信号)直接在示波器上显示,第二路信号(通道2中的信号)依次经过发射探头、声学超材料结构和接收探头后,在示波器上显示。

[0052] 2) 比较每个频率下,在示波器上显示的两路电信号的波形,确定每个频率对应的第二路信号的波形的畸变程度、放大程度和延迟程度。

[0053] 3) 将畸变程度最小、放大程度最大,且延迟程度最小的第二路信号的波形对应的信号发生器的频率确定为声学超材料结构的响应频率。

[0054] 作为一种可选的实施方式,所述预设频率范围为[0.5MHz, 15MHz];所述预设步长为1MHz。在该实施方式中,提供了一个采用预实验方法声学超材料结构的响应频率的具体过程。

[0055] 将信号发射器的频率依次从0.5MHz调整至15MHz(步长为1MHz),分别记录不同频率下通道1、通道2的信号,共15组信号。按照最小畸变、最优放大及最小延迟的原则,对比每组通道2接收信号与通道1发射信号,挑选通道2信号波形畸变最小、放大倍数最大且延迟最小的一组,此时,该组通道1信号的发射频率为与声学超材料相匹配的频率,即将此时信号发生器的频率确定为声学超材料结构的响应频率。

[0056] 本实施例中,第一预设发射角度是通过序列延时控制模块13控制得到的,图7为本发明实施例序列延时控制模块控制阵元发出一定发射角度的超声波的控制原理图。参见图7,具体控制过程:序列延时控制模块13在控制发射阵元发出平面波时,当发射阵元的发射角度为零时,即当发射零角度的平面波时,序列延时控制模块13只需要控制多个发射阵元同时发射即可;当发射阵元的发射角度不为零时,即当发射带有偏角的平面波时,序列延时

控制模块13控制给各个发射阵元施加延时,对于序号为x的发射阵元的延时计算公式为:

$$\tau_x = \frac{x * pitch * \sin \theta}{c}$$

, $\theta$ 表示偏角,pitch表示阵元间隔,c表示声速,通过施加这样的延时,使

不同阵元先后发出平面波,它们在波前形成一个平面(波前),并且波前与阵元的夹角为 $\theta$ 。

[0057] 步骤S2:控制发射接收超声探头以预设接收频率,且分别以第一预设接收角度、第二预设接收角度和第三预设接收角度接收被测物体反射的回波信号;预设接收频率为预设发射频率的n倍。即预设发射频率为BHz,预设接收频率为nBHz。

[0058] 其中, $n > 1$ ;第一预设接收角度等于第一预设发射角度,第二预设接收角度小于第一预设发射角度,第三预设接收角度大于第一预设发射角度。本实施例中,所述第一预设接收角度与所述第一预设发射角度均为 $A^\circ$ ;所述第二预设接收角度为 $A - \delta^\circ$ ,所述第三预设接收角度为 $A + \delta^\circ$ ,其中, $\delta$ 表示偏转角度的大小, $\delta > 0$ 。其实现原理图如图5的(b)部分所示。

[0059] 作为一种优选的实施方式, $1 < n < 3$ 。

[0060] 作为一种优选的实施方式, $5 < \delta < 7$ 。

[0061] 步骤S3:采用回波信号重建被测物体的图像。该步骤,具体包括:

[0062] 31:采用深度学习算法去除回波信号中的伪影信号,得到回波优化信号。

[0063] 具体为:

[0064] 获取训练数据集;训练数据集包括含伪影信号的超声训练信号和去除伪影信号的超声训练信号。

[0065] 构建三层卷积神经网络。第一层特征提取,第二层非线性滤波,第三层特征组合。每层模型公式都为ReLU激活函数,即 $f(x) = \text{ReLU}(W * x + b)$ ,其中,x表示输入数据,w和b均表示模型的参数。

[0066] 将含伪影信号的超声训练信号作为输入,去除伪影信号的超声训练信号作为输出,对三层卷积神经网络进行训练,得到训练好的三层卷积神经网络。

[0067] 将回波信号输入至训练好的三层卷积神经网络中,得到回波优化信号。

[0068] 32:采用回波优化信号重建被测物体的图像。具体为:根据回波优化信号,采用波束合成方法重建被测物体的图像。

[0069] 本实施例的基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法,具有以下优点:

[0070] 1、解决了平面波成像深度(穿透性差)和成像质量(分辨率及对比度差)的难题。

[0071] 2、设置预设发射频率与声学超材料结构的响应频率相等,使得入射能量增强,提高了成像深度

[0072] 3、目前,现有的常用的超快复合平面波成像,是对不同发射角度( $\dots, -A^\circ, 0^\circ, +A^\circ, \dots$ )平面波的回波信号进行相干复合成像,本实施例步骤S1和步骤S2中,采用单角度发射-三角度接收的超快复合成像方法。当发射角度为 $+A^\circ$ 的单角度时,接收角度为 $A - \delta^\circ, A + 0^\circ, A + \delta^\circ$ 的三个角度接收时,回波信号的数据量会相应增加,从而提高成像质量。

[0073] 4、目前,现有的常规超声成像都是同一频率的发射/接收序列,本实施例采用单频发射-n倍频接收的超快复合平面波成像模式,且此发射/接收频率与声学超材料最优的双负特性相匹配。这样能够使接收信号的能量进一步放大,便于成像质量的提高。

[0074] 5、基于接收到的回波信号,利用深度学习对回波信号进行深度学习处理,重建图像,去掉伪影,也可以进一步提高成像质量。

[0075] 本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

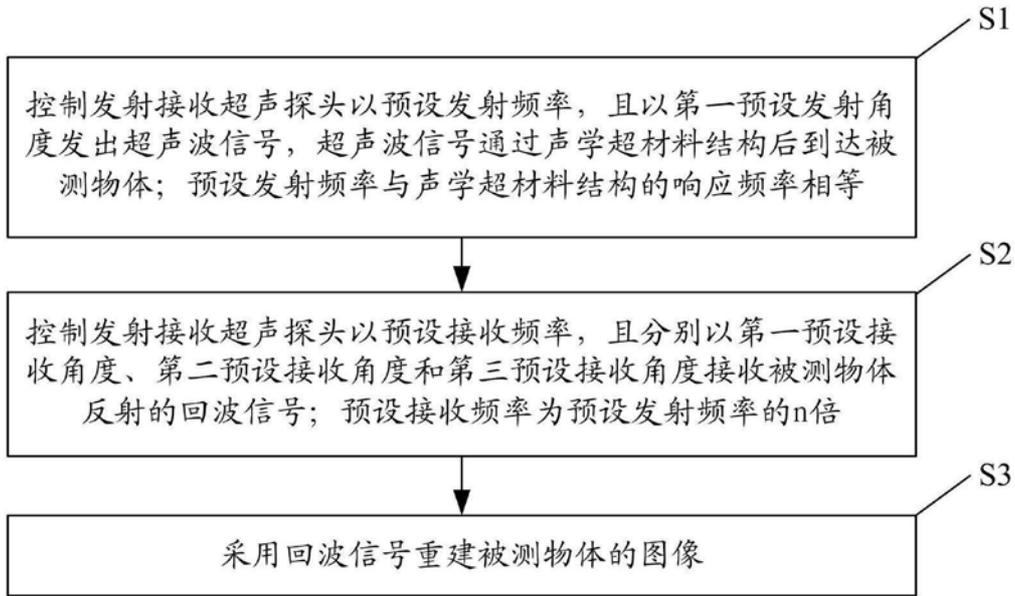


图1

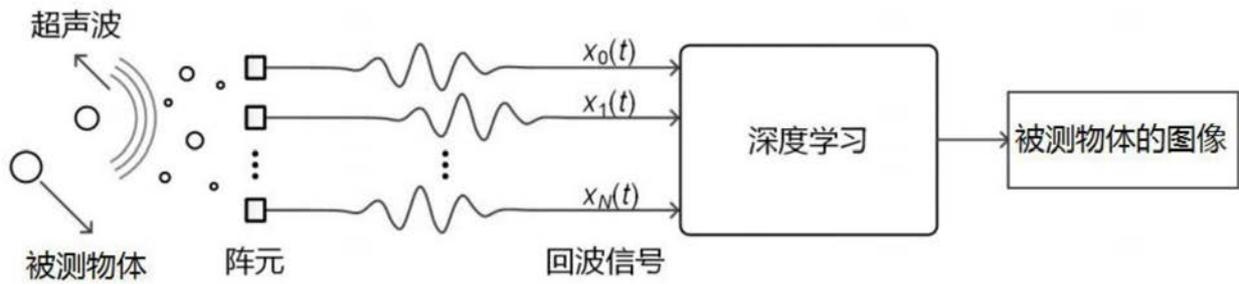


图2

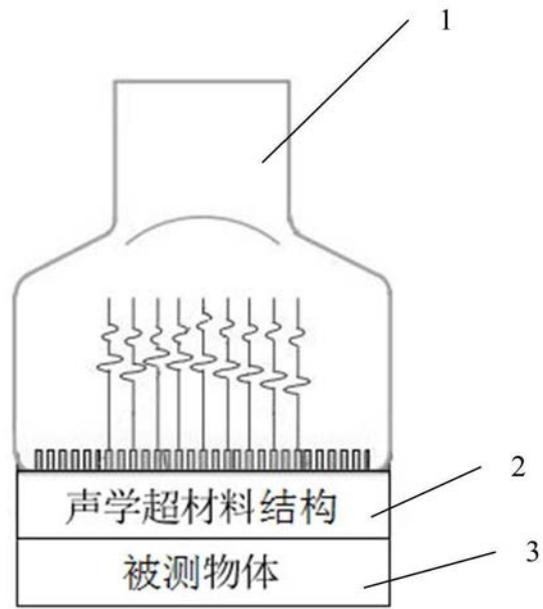


图3

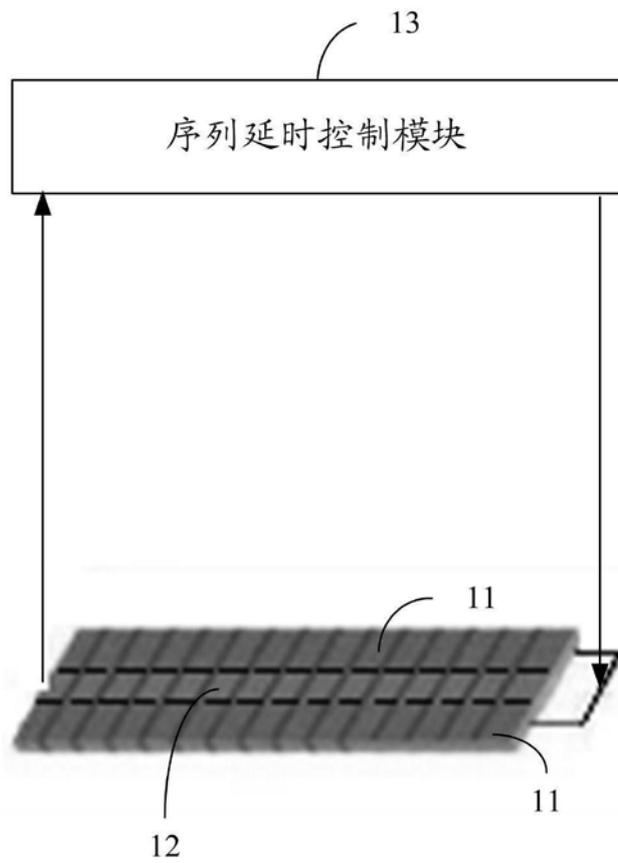


图4

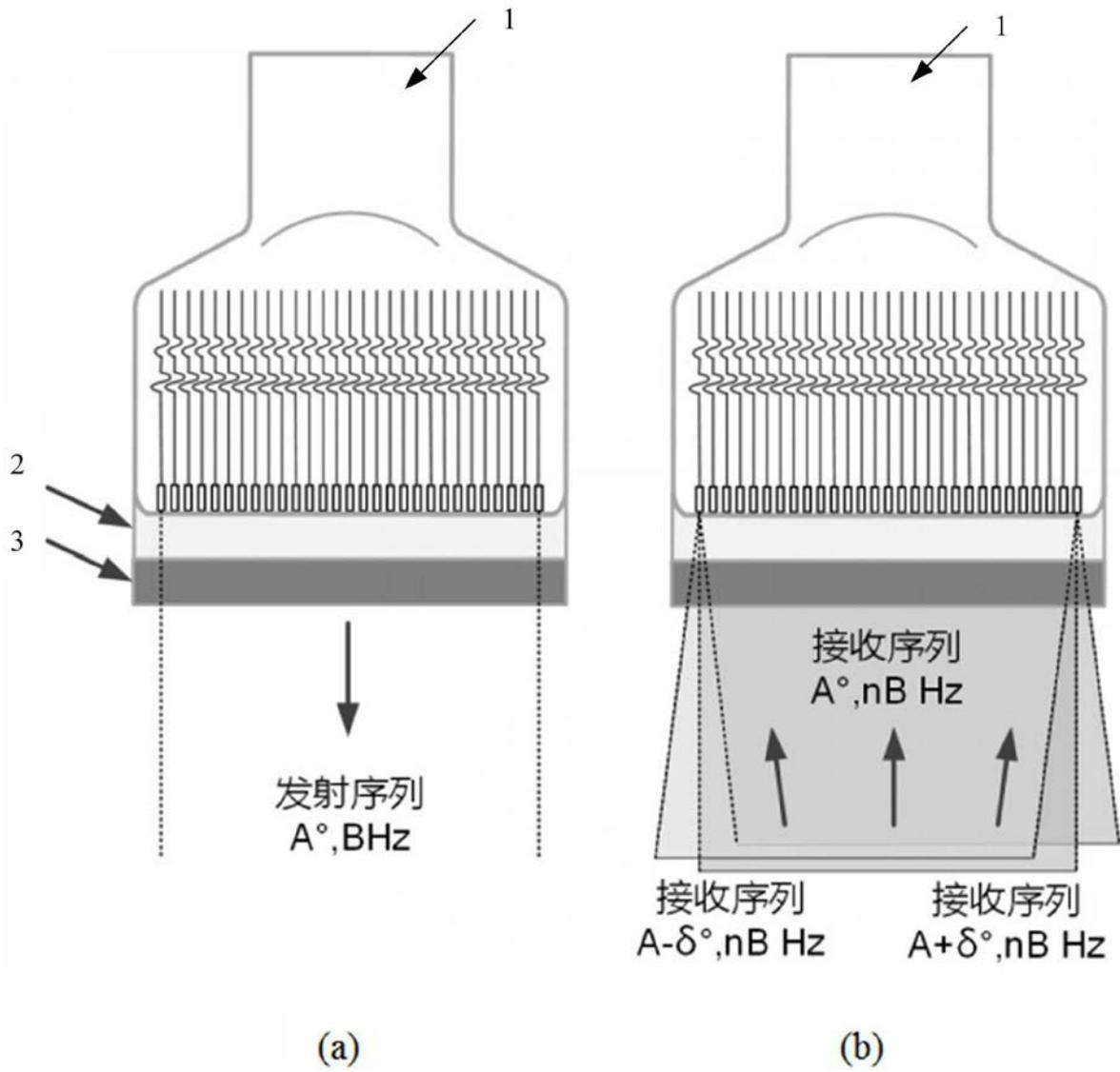


图5

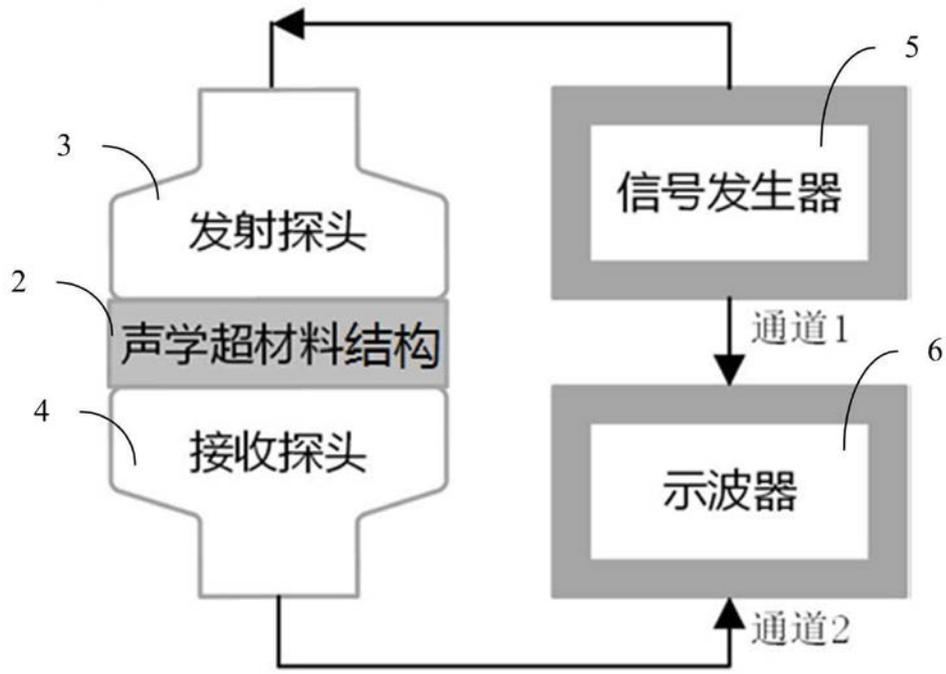


图6

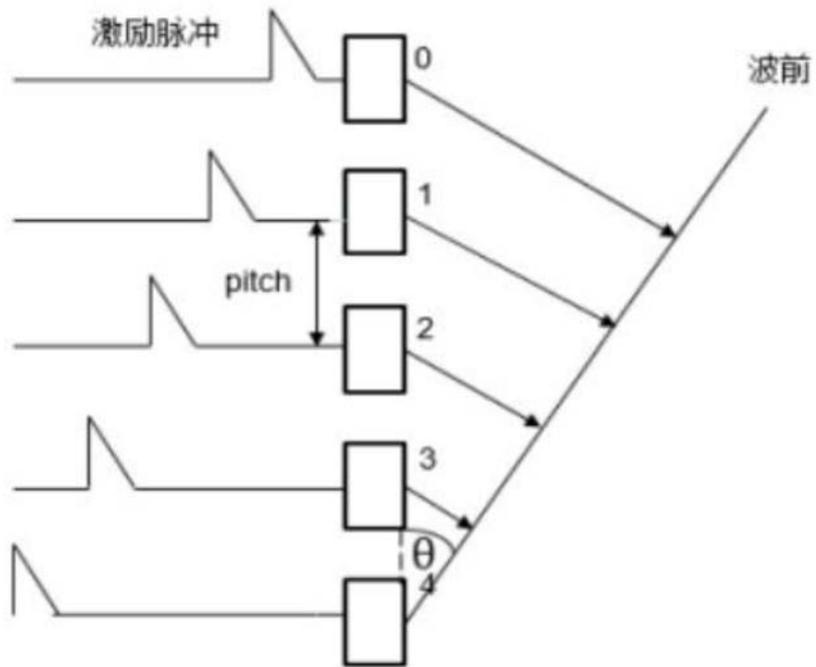


图7

专利名称(译)	基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN110477951A</a>	公开(公告)日	2019-11-22
申请号	CN201910813822.4	申请日	2019-08-30
[标]申请(专利权)人(译)	浙江大学		
申请(专利权)人(译)	浙江大学		
当前申请(专利权)人(译)	浙江大学		
[标]发明人	郑音飞 李超 蒋东		
发明人	郑音飞 李超 蒋东		
IPC分类号	A61B8/00 A61B8/08		
CPC分类号	A61B8/48 A61B8/485		
代理人(译)	杜阳阳		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

本发明公开了基于宽频带声学超材料的超快复合平面波成像方法。该方法通过超快复合平面波成像装置实现；该装置包括发射接收超声探头和声学超材料结构。该方法包括：控制发射接收超声探头以预设发射频率、第一预设发射角度发出超声波信号；预设发射频率等于声学超材料结构的响应频率；控制发射接收超声探头以预设接收频率，且分别以第一预设接收角度、第二预设接收角度和第三预设接收角度接收被测物体反射的回波信号；预设接收频率为预设发射频率的n倍；第一预设接收角度等于第一预设发射角度，第二预设接收角度小于第一预设发射角度，第三预设接收角度大于第一预设发射角度；采用回波信号重建被测物体的图像。本发明能够提高成像深度与成像质量。

