



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103837601 A

(43) 申请公布日 2014. 06. 04

(21) 申请号 201210487851. 4

(22) 申请日 2012. 11. 26

(71) 申请人 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 张碧星 谢馥励 宫俊杰 师芳芳

(74) 专利代理机构 北京法思腾知识产权代理有
限公司 11318

代理人 杨小蓉 杨青

(51) Int. Cl.

G01N 29/26 (2006. 01)

G01N 29/22 (2006. 01)

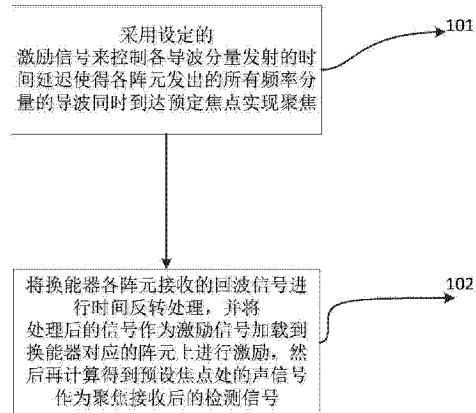
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种宽带导波相控阵聚焦扫描方法及系统

(57) 摘要

本发明提供一种宽带导波相控阵聚焦扫描方法及系统，所述方法包含如下步骤：步骤 101) 用于聚焦发射的步骤，采用如下的激励信号来控制换能器各阵元的导波分量发射的时间延迟，使得各阵元发出的所有频率分量的导波同时到达预定焦点实现聚焦； $F'_j(\omega) = e^{-j\omega r_j/v} F(\omega)$ 其中， $F'_{-j}(\omega)$ 表示第 j 个阵元发射的激励信号的频谱， ω 为角频率， r_j 为第 j 个阵元到焦点的距离，v 表示导波传播的相速度，F(ω) 表示换能器激励信号的窗函数的幅度， r_j/v 为用于实现导波分量延时的时延值；步骤 102) 用于聚焦接收的步骤，该步骤将换能器各阵元接收的回波信号进行时间反转处理，并设定将时间反转处理后的信号作为激励信号加载到换能器对应的阵元上进行激励，然后计算得到预设焦点处的声信号作为聚焦接收后的检测信号。



1. 一种宽带导波相控阵聚焦扫描方法,该方法采用相控阵实现对目标的检测信号,所述方法包含如下步骤:

步骤 101) 用于聚焦发射的步骤,该步骤采用如下激励信号来控制换能器各阵元发射的导波分量发射的时间延迟,使得各阵元发出的所有频率分量的导波同时到达预定焦点实现聚焦;

$$F'_j(\omega) = e^{-i\omega r_j/v} F(\omega) \quad (1)$$

其中, $F'_{-j}(\omega)$ 表示第 j 个阵元发射的激励信号的频谱, ω 为角频率, r_j 为第 j 个阵元到焦点的距离, v 表示导波传播的相速度, $F(\omega)$ 表示换能器激励信号的窗函数的幅度, $e^{-i\omega r_j/v}$ 中包含的 r_j/v 为用于实现导波分量的延时;

步骤 102) 用于聚焦接收的步骤,该步骤将换能器各阵元接收的回波信号进行时间反转处理,并设定将时间反转处理后的信号作为激励信号加载到换能器对应的阵元上进行激励,然后再计算得到预设焦点处的声信号作为聚焦接收后的检测信号。

2. 根据权利要求 1 所述的宽带导波相控阵扫描方法,其特征在于,所述的方法还包含:动态设置预设焦点的位置并调整各阵元的激励信号实现对不同位置的扫描。

3. 根据权利要求 2 所述的宽带导波相控阵聚焦扫描方法,其特征在于,所述步骤 101) 进一步包含:

首先,对于某预定的焦点,按照上述公式 (1) 通过计算得到换能器各阵元的激励信号,将这个激励信号加载到对应的阵元上,此时声场将在预设焦点处实现聚焦;然后,不断地改变焦点的位置,对于每一个焦点位置,都分别按照公式 (1) 得到各阵元的激励信号,使声场聚焦在焦点上,这样就实现了声场的聚焦与扫描。

4. 根据权利要求 1 所述的宽带导波相控阵聚焦扫描方法,其特征在于,所述步骤 102) 进一步包含:

首先,对于每一焦点位置,在步骤 101) 中的聚焦发射过程之后,换能器各阵元接收到回波信号,并将这个回波信号进行时间反转处理;

然后,假设将时间反转处理后的信号加载在换能器对应的阵元上进行激励,计算出焦点处的声信号;

最后,将计算出的声信号作为聚焦接收过程中的检测信号,依据该检测信号判断扫描介质的性质。

5. 根据权利要求 1 所述的宽带导波相控阵聚焦扫描方法,其特征在于,所述窗函数幅度在换能器带宽范围内设置。

6. 一种宽带导波相控阵发射接收系统,所述系统包含:

发射子系统,用于产生超声换能器阵列的激励脉冲信号,该激励信号用于加载在换能器阵元上控制各阵元发出导波所有的频率分量延时,最终使导波同时到达预定焦点实现聚焦;

接收子系统,用于接收超声换能器各阵元上的回波信号,并将回波进行时间反转处理,然后假设将这个时间反转处理后的信号加载到对应的阵元上发射出去,接收子系统计算得到焦点处的声信号,将这个信号将作为待测目标聚焦接收过程中的检测信号。

7. 根据权利要求 6 所述的宽带导波相控阵扫描系统,其特征在于,所述的发射子系统进一步包含:

激励脉冲产生模块,用于产生如下的激励脉冲信号 :

$$F'_j(\omega) = e^{-i\omega r_j/v} F(\omega)$$

其中, $F'_{-j}(\omega)$ 表示第 j 个阵元需要发射的激励信号的频谱, ω 为角频率, r_j 为第 j 个阵元到焦点的距离, v 表示导波传播的相速度, $F(\omega)$ 表示换能器激励信号的窗函数的幅度; 和

发射模块,用于将产生的激励脉冲信号输入给超声换能器的各阵元。

8. 根据权利要求 6 所述的宽带导波相控阵聚焦扫描系统,其特征在于,所述发射子系统还包含 :

焦点位置设定模块,用于动态调整预设焦点在待测目标中的位置,实现对目标的扫描。

9. 根据权利要求 6 所述的宽带导波相控阵聚焦扫描方法,其特征在于,所述接收子系统进一步包含 :

接收模块,用于对超声换能器各阵元接收到的回波信号进行采集和存储;

处理模块,用于将接收到的信号一次进行如下处理:首先将接收到的回波信号进行时间反转处理,然后假设将时间反转处理得到的信号加载到换能器对应的各阵元上进行激励,并计算出焦点处的声信号,将该声信号作为聚焦接收后的检测信号;和

显示模块,用于将处理模块中得到的检测信号进行多种图像处理,并给出多种图像来显示导波相控阵的检测结果。

一种宽带导波相控阵聚焦扫描方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种宽带超声导波相控阵扫描与检测方法,可在宽频带范围内实现超声导波的聚焦、扫描和检测,即本发明提供一种宽带导波相控阵聚焦扫描方法及系统。

背景技术

[0002] 超声导波相控阵技术是近年发展起来的一种超声无损检测技术,常应用于管道和板材等较长距离范围内的超声检测。导波具有强烈的频散特性,随着传播距离的增加,导波波形会变得越来越长,造成散焦,不利于检测。因而,到目前为止,导波相控阵技术都是采用窄带相控阵方法,或者是把声源频段选择在导波群速度变化比较平缓的区域,其目的是为了避开导波的频散效应来进行导波相控阵扫描和检测。

[0003] 然而,在实际检测中,要完全避免导波的频散效应是不可能的,因为超声换能器总存在一定的带宽,实际激励出的导波总分布在一定的频带范围之内。另一方面,要将声源频带控制在导波群速度变化平缓的区域也是比较困难的。这些因素都使得导波相控阵技术难以达到很好的信噪比,不能很好地实现导波的聚焦、扫描和检测。

[0004] 对于给定的焦点,如果能使各阵元发出的所有频率分量的导波都能同时到达焦点处实现导波聚焦,那么就能解决上述问题。本专利正是针对这一问题而提出的,能使相控阵换能器各阵元发出的所有频率分量的导波都能同时到达焦点实现聚焦,并通过电子系统来控制焦点位置实现扫描和检测。

[0005] 目前的导波相控阵技术都是通过选择导波的常群速度区域或者窄带范围内的相控阵方法来实现的。我们在多年研究基础上,特提出本专利,实现宽频带范围内的超声导波相控阵聚焦、扫描与检测。和传统导波相控阵技术相比,本专利技术能将所有成分的导波能量都聚焦在目标上,极大程度地提高检测信号的信噪比,从而具有更高的检测灵敏度。

发明内容

[0006] 本发明的目的,为了解决传统超声导波相控阵换能器不能应用于宽带激励和检测的困难,提供一种宽带导波相控阵扫描和聚焦方法。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供了一种宽带导波相控阵聚焦扫描方法,所述方法包含如下步骤:

[0008] 步骤 101)用于聚焦发射的步骤,该步骤中超声相控阵换能器的各阵元发射的激励信号的频谱由以下公式给出,采用该激励信号来控制换能器各阵元的导波分量发射的时间延迟,使得各阵元发出的所有频率分量的导波同时到达预定焦点实现聚焦;

$$F'_j(\omega) = e^{-i\omega r_j/v} F(\omega) \quad (1)$$

[0010] 其中, $F'_{-j}(\omega)$ 表示第 j 个阵元发射的激励信号的频谱, ω 为角频率, r_j 为第 j 个阵元到焦点的距离, v 表示导波传播的相速度, $F(\omega)$ 表示换能器激励信号的窗函数的幅度, $e^{-i\omega r_j/v}$ 中包含的 r_j/v 为用于实现导波分量延时的时延值;

[0011] 步骤 102)用于聚焦接收的步骤,该步骤将换能器各阵元接收的回波信号进行时间

反转处理，并设定将时间反转处理后的信号作为激励信号加载到换能器对应的阵元上进行激励，然后再计算得到预设焦点处的声信号作为聚焦接收后的检测信号。

[0012] 所述的步骤 101) 还包含：动态设置预设焦点的位置并调整各阵元的激励信号实现对不同位置的扫描。

[0013] 上述步骤 101) 进一步包含：

[0014] 首先，对于某预定的焦点，按照上述公式 (1) 通过计算得到换能器各阵元的激励信号，将这个激励信号加载到对应的阵元上，此时声场将在预设焦点处实现聚焦；然后，不断地改变焦点的位置，对于每一个焦点位置，都分别按照公式 (1) 得到各阵元的激励信号，使声场聚焦在焦点上。这样就实现了声场的聚焦与扫描。

[0015] 上述步骤 102) 进一步包含：

[0016] 首先，对于每一焦点位置，在步骤 101) 中的聚焦发射过程之后，换能器各阵元接收到回波信号，并将这个回波信号进行时间反转处理；

[0017] 然后，假设将时间反转处理后的信号加载在换能器对应的阵元上进行激励，计算出焦点处的声信号；

[0018] 最后，将计算出的声信号作为聚焦接收过程中的检测信号，依据该检测信号判断扫描介质的性质。

[0019] 上述窗函数幅度在换能器带宽范围内设置。

[0020] 基于上述方法，本发明提供了一种宽带导波相控阵发射接收系统，所述系统包含：

[0021] 发射子系统，用于实现聚焦发射，对于每一个预先设定的焦点，首先按照下式计算出各阵元的激励信号，然后把激励信号加载在对应的换能器阵元上进行激励，使声场发射出去，从而实现各阵元发出的所有频率分量的导波同时到达预定焦点实现聚焦；

$$F'_j(\omega) = e^{-i\omega r_j/v} F(\omega)$$

[0023] 其中， $F'_{-j}(\omega)$ 表示第 j 个阵元需要发射的激励信号的频谱， ω 为角频率， r_j 为第 j 个阵元到焦点的距离， v 表示导波传播的相速度， $F(\omega)$ 表示换能器激励信号的窗函数的幅度；

[0024] 接收子系统，用于实现聚焦接收，首先接收到各阵元上的回波信号，并将回波进行时间反转处理，然后假设将这个时间反转处理后的信号加载到对应的阵元上发射出去，接收子系统计算得到焦点处的声信号，将这个信号将作为聚焦接收过程中的检测信号。

[0025] 上述的发射子系统进一步包含：

[0026] 时延控制模块，用于对于预先设定的焦点，通过控制激励信号中各频率分量的时延，将换能器各阵元发出的所有频率的导波经过延时调整同时都聚焦在预定的焦点上，实现聚焦，所述的时延由换能器各阵元到预设焦点的距离 r_j 以及导波传播的相速度 v 的比值决定，且导波的相速 v 度需要由导波的频散曲线来得到；

[0027] 焦点位置设定模块，用于通过改变换能器各阵元激励信号中各频率分量的时延，控制声场聚焦的焦点位置，不断地改变激励信号中各频率分量的时延，就能不断地改变焦点的位置，即实现扫描。

[0028] 上述发射子系统还包含：

[0029] 激励信号设置模块，对于每一焦点，该模块依据时延控制模块的时延值设置出换

能器各阵元的激励信号,使激励信号的频谱为:

$$[0030] F'_j(\omega) = e^{-i\omega r_j/v} F(\omega)$$

[0031] 其中, $F'_{-j}(\omega)$ 表示第 j 个阵元需要发射的激励信号的频谱, ω 为角频率, r_j 为第 j 个阵元到焦点的距离, v 表示导波传播的相速度, $F(\omega)$ 表示换能器激励信号的窗函数幅度;

[0032] 导波信号发射模块:将上述激励信号设置模块中的激励信号加载到换能器对应的各阵元上进行激励,使换能器发射出导波信号。

[0033] 上述接收子系统进一步包含:

[0034] 接收模块,用于对换能器各阵元接收到的回波信号进行采集和存储;

[0035] 处理模块,用于将接收到的信号一次进行如下处理:首先将接收到的回波信号进行时间反转处理,然后假设将时间反转处理得到的信号加载到换能器对应的各阵元上进行激励,并计算出焦点处的声信号,将该声信号作为聚焦接收后的检测信号;和

[0036] 显示模块,用于将处理模块中得到的检测信号进行多种图像处理,并给出多种图像来显示导波相控阵的检测结果。

[0037] 本发明提供的方法通过电子系统控制换能器各阵元的激励信号和延时可将所有阵元发出的所有频率的导波聚焦在预定的焦点实现聚焦,并可实现扫描和检测。

[0038] 与现有技术相比本发明的技术优势在于:可以在较宽的频带范围内使换能器各阵元发出的不同频率分量的导波同时到达焦点实现聚焦、扫描和检测,克服了传统导波相控阵方法只能应用于窄带条件的限制,本专利技术通过电子系统控制换能器各阵元的激励信号来实现聚焦和扫描,利用时间反转技术实现聚焦接收过程,和传统导波相控阵技术相比,本专利技术能将所有成分的导波能量都聚焦在目标上,极大程度地提高检测信号的信噪比,从而具有更高的检测灵敏度。

附图说明

[0039] 图 1 是采用本发明提出的公式(1)的激励信号控制换能器各阵元的时延,使各阵元发出的所有频率的导波同时到达 A 点;

[0040] 图 2 是本发明接收子系统的换能器各阵元接收回波信号 [第 i 阵元接收到的回波信号为 $U'_{-i}(t)$];

[0041] 图 3 是本发明假定将各阵元的时间反转信号 $U'_{-i}(T-t)$ 加载在对应阵元上进行激励,计算出 A 点的声信号 $U_A(t)$;

[0042] 图 4 是本发明提供的一种宽带导波相控阵发射接收系统在具体应用中的组成结构框图;

[0043] 图 5 是本发明提供的一种宽带导波相控阵聚焦扫描方法的流程图。

具体实施方式

[0044] 以下结合附图对本发明作进一步的详细说明。

[0045] 本发明采取的技术方案是控制超声相控阵换能器每一阵元的激励信号,使每一阵元发出的所有频率分量的导波都能同时到达预定焦点实现聚焦,通过不断地改变各阵元的激励信号,就能使导波声束在预定区域内实现扫描。

[0046] 本方法的关键是控制换能器各阵元的激励信号使所有导波成分同时到达焦点处形成相干叠加。同时,采用时间反转原理对反射回波进行接收聚焦处理,得到高信噪比的检测信号。具体来说,可按照以下方式来实现这种方法。

[0047] 激励信号是指加载在换能器各阵元上的作为激励用的信号,声信号是泛指声波信号,导波信号也是泛指,表示导波的信号。

[0048] (a) 对于给定的换能器阵列及预设焦点 A (见图 1),设计出一种新的激励信号,使其频谱为

$$F'_j(\omega) = e^{-i\omega r_j/v} F(\omega) , \quad (2)$$

[0050] 其中, $F'_{-j}(\omega)$ 表示第 j 个阵元需要发射的激励信号的频谱, ω 为角频率, r_j 为第 j 个阵元到焦点的距离, v 表示导波传播的相速度, $F(\omega)$ 表示换能器激励信号的窗函数的幅度。在这种新的激励脉冲下,所有频率分量的导波都将同时到达 A 点,同相相加实现聚焦。

[0051] (b) 换能器发射聚焦声束之后,换能器各阵元将接收到回波信号,并对接收到的回波进行采集和存储,我们将第 j 阵元的回波信号记为 $U'_{-i}(t)$,见图 2。

[0052] (c) 为了实现导波相控阵的聚焦接收过程,我们将 $U'_{-i}(t)$ 进行时间反转处理得到 $U'_{-i}(T-t)$ 。假定将 $U'_{-i}(T-t)$ 作为激励信号加载到换能器对应的阵元上进行激励,然后再通过理论计算得到 A 点处的声信号 $U_A(t)$,见图 3, $U_A(t)$ 就是我们聚焦接收后的检测信号,可作为检测信号进行分析和判断。(d) 改变 A 点的位置,重复上述 (a)-(c) 的处理过程。

[0053] (e) 不断地改变 A 点的位置重复进行上述处理过程,不管 A 点处在什么位置,各种成分的导波总是聚焦到 A 点上。以上过程中,(a) 为聚焦发射过程,(b) 和 (c) 为聚焦接收过程。不断地改变 A 点的位置,从而可对整个检测区域实现聚焦、扫描和检测。

[0054] 综上所述,本发明提供一种宽带导波相控阵聚焦扫描方法如图 5 所示,所述方法包含如下步骤:

[0055] 步骤 101)用于聚焦发射的步骤,该步骤中超声相控阵换能器的各阵元发射的激励信号的频谱由以下公式给出,采用该激励信号来控制换能器各阵元的导波分量发射的时间延迟,使得各阵元发出的所有频率分量的导波同时到达预定焦点实现聚焦;

$$F'_j(\omega) = e^{-i\omega r_j/v} F(\omega) \quad (1)$$

[0057] 其中, $F'_{-j}(\omega)$ 表示第 j 个阵元发射的激励信号的频谱, ω 为角频率, r_j 为第 j 个阵元到焦点的距离, v 表示导波传播的相速度, $F(\omega)$ 表示换能器激励信号的窗函数的幅度, $e^{-i\omega r_j/v}$ 中包含的 r_j/v 为用于实现导波分量延时的时延值;

[0058] 步骤 102)用于聚焦接收的步骤,该步骤将换能器各阵元接收的回波信号进行时间反转处理,并设定将时间反转处理后的信号作为激励信号加载到换能器对应的阵元上进行激励,然后再计算得到预设焦点处的声信号作为聚焦接收后的检测信号。

[0059] 实现上述过程的电子系统主要包括主控计算机、发射子系统、接收子系统和超声换能器阵列。发射子系统将激励信号加载到换能器各阵元上,接收子系统将换能器接收到的回波进行采集和存储、处理和图像显示,主控计算机为控制整个电子系统的计算机,可人为地设置相关参数并可控制各子系统的工作状态。图 4 给出了整个电子系统的方框示意图。

[0060] 发射子系统进一步包含激励信号设置模块和导波信号发射模块:在激励信号设置

模块中,对于每一焦点,设置出换能器各阵元的激励信号,使激励信号的频谱为:

$$[0061] \quad F'_j(\omega) = e^{-i\omega r_j/v} F(\omega)$$

[0062] 其中, $F'_{-j}(\omega)$ 表示第 j 个阵元需要发射的激励信号的频谱, ω 为角频率, r_j 为第 j 个阵元到焦点的距离, v 表示导波传播的相速度, $F(\omega)$ 表示换能器激励信号的窗函数幅度。

[0063] 在导波信号发射模块中,将设置模块中的激励信号加载到换能器对应的各阵元上进行激励,使换能器发射出聚焦的导波信号。

[0064] 接收子系统包括接收模块、处理模块和显示模块。接收模块用于将换能器各阵元接收到的回波信号进行采集和存储,处理模块用于将接收到的信号进行处理,主要包括两个方面的处理:第一,将接收到的回波信号进行时间反转处理。第二,假设将时间反转处理得到的信号加载到换能器对应的各阵元上进行激励,理论计算出焦点处的声信号,这个信号作为聚焦接收后的检测信号。显示模块将处理模块中得到的检测信号进行多种图像处理,可给出 A 显、B 显、C 显和 D 显等多种图像,来显示导波相控阵的检测结果。

[0065] 需要说明的是,以上介绍的本发明的实施方案而并非限制。本领域的技术人员应当理解,任何对本发明技术方案的修改或者等同替代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内。

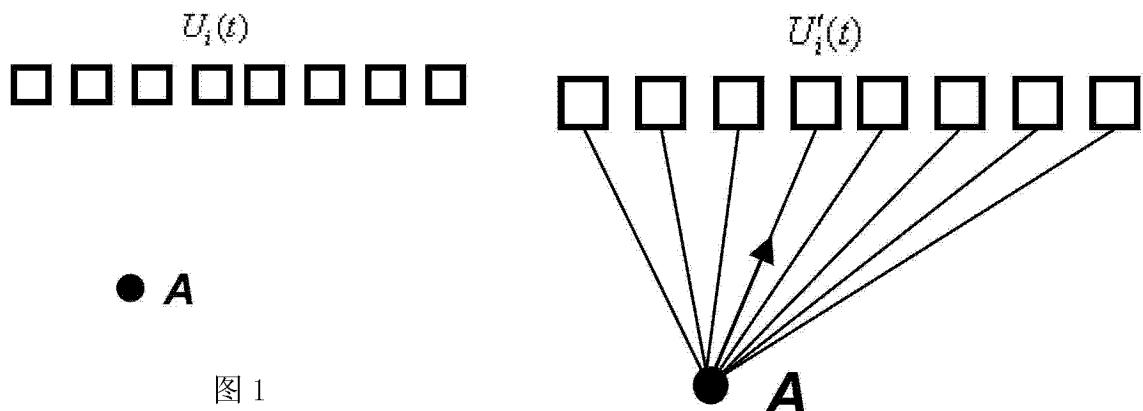
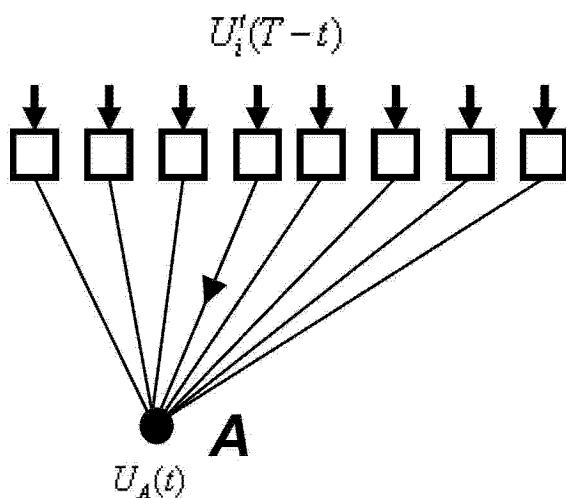


图 2



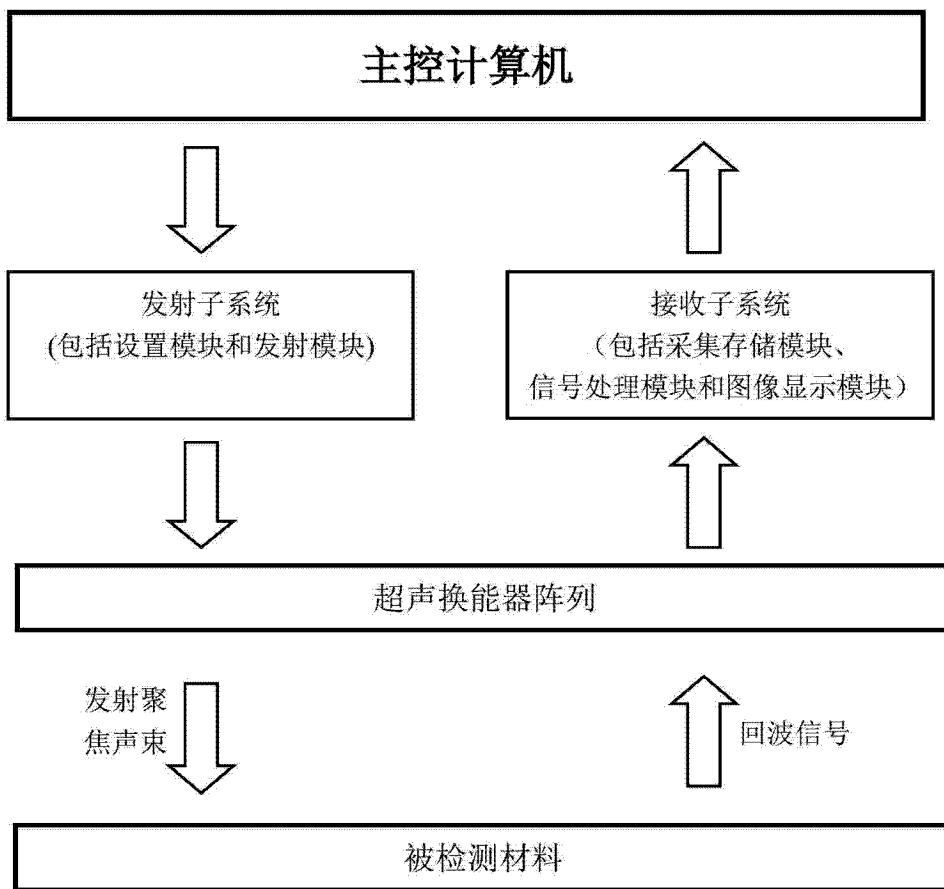


图 4

