

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810105759.0

[51] Int. Cl.

G01N 29/00 (2006.01)

G01N 29/36 (2006.01)

G01N 29/04 (2006.01)

G01B 17/00 (2006.01)

G03B 42/06 (2006.01)

A61B 8/00 (2006.01)

[43] 公开日 2009 年 11 月 4 日

[11] 公开号 CN 101571511A

[22] 申请日 2008.4.30

[21] 申请号 200810105759.0

[71] 申请人 硕德（北京）科技有限公司

地址 100107 北京市朝阳区北苑路红军营南路天朗园(傲城融富中心)A座2506室

[72] 发明人 彭 春 香 勇 彭 波 王 敏

权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

[54] 发明名称

轴向并行波束合成相控阵超声检测

[57] 摘要

本发明的目的就是提供一种相控阵超声检测波束合成的新方法——轴向并行虚拟聚焦波束合成相控阵超声检测。波束合成属于相控阵超声信号处理的一个中心环节，其根本意义就是要在特定的方向形成一个扫描波束，以便检测成像。采用轴向并行虚拟聚焦波束合成来形成指定方向上所需的波束，对信号和噪声作空间处理，可以获得高精度的空间成像分辨率，另一方面也可以得到足够大的信噪比。

-
- 1、 一种相控阵超声波检测波束合成技术，其特征是：相控阵超声单次聚焦发射，多次虚拟聚焦接收。
 - 2、 如权利要求 1 所述的相控阵超声波检测波束合成技术，其特征是：多次虚拟聚焦接收同时在与聚焦发射相同声轴方向的物理聚焦点前后进行。
 - 3、 如权利要求 1 所述的相控阵超声波检测波束合成技术，其特征是：将接收聚焦由点扩展到轴线。

轴向并行波束合成相控阵超声检测

技术领域

本发明涉及超声波检测技术，尤其是相控阵超声检测波束合成方法。

背景技术

超声检测时往往需要对物体内部某一区域进行成像，为此，必须进行声束扫描。常规相控阵超声检测是通过控制换能器阵中各个阵元激励(或接收)脉冲的时间延迟，改变由各阵元发射(或接收)声波到达(或来自)物体内部某点时的相位关系，实现聚焦点和声束方位的变化，从而完成相控波束合成，形成成像扫描线技术，原理如图1所示。

相控阵超声检测成像的空间分辨率是检测成像的重要指标，是衡量系统检测能力的重要依据，因此也是国内外相控阵研究者不懈努力追求的目标。

相控阵成像的空间分辨率，取决于相控聚焦区的大小。在聚焦点处的相控聚焦声束宽度最小，在焦点附近的有限区域内，聚焦声束宽度小于各阵元同时激励(即不聚焦)时的声束宽度；但在此区域之外，聚焦声束宽度反而扩散开来，大于不聚焦声束宽度，如图2所示，图中焦点的深度和直径如下式所给出：

$$\text{聚焦深度: } F_e = 8.16\lambda \left(\frac{F}{D} \right)^2 \quad (2F/D > 1) \quad (1)$$

$$\text{焦点直径: } b = 1.03\lambda F / D \quad (2)$$

侧向分辨率也称横向分辨率，它是在超声扫描平面内沿着与超声波束垂直的方向上可区分的两个点目标的最小距离。侧向分辨率与超声聚焦波束的有效宽度(焦点直径) b 成反比；阵列聚焦的有效宽度 b 与孔径 D 、焦距 F 、轴向距离 x 有下述关系：

$$\begin{aligned}
 x \ll F \quad b &= \frac{D}{2} \left(1 - \frac{x}{F}\right); \\
 x \approx F \quad b &= 1.03 \frac{\lambda x}{D}; \\
 x \gg F \quad b &= \frac{D}{2} \left(\frac{x}{F} - 1\right);
 \end{aligned} \tag{3}$$

波束的有效宽度 $b \propto \lambda F / D$ ，侧向分辨率与波长的大小成反比，频率越高，波长 λ 越小， b 越小，能分辨两个目标间的距离越小，侧向分辨率越高；它与孔径大小成正比，孔径 D 越大，焦点附近 b 越小，能分辨两个目标间距离越小，侧向分辨率越高。

发明内容

解决问题：目前以 GE、OLYMPUS 为代表的工业领域的相控阵超声检测设备和相关研究仍处于单发单收阶段，即一条扫描线上只有一次发射聚焦和相应位置的一次接收聚焦；但焦域的轴向尺寸较小，焦域以外的声束比未聚焦时发散得更快。所以在焦域内空间分辨率和检测灵敏度较高，但在扫描线上远离焦点处空间分辨率和灵敏度降低甚至不如非聚焦声束。如何更好的改善空间分辨率和信噪比，就是本发明的目的。

技术方案：为实现以上目的，本发明特提出以下技术方案：

对于给定的聚焦点或偏转方向，进行单次聚焦发射，多次虚拟聚焦接收的轴向并行波束合成。

一种相控阵超声波检测波束合成技术，其特征是：多次虚拟聚焦接收是在与聚焦发射同声轴方向的物理聚焦点前后进行。

一种相控阵超声波检测波束合成技术，其特征是：将接收聚焦由点扩展到轴线。

技术效果：轴向并行虚拟聚焦波束合成有利于在相同聚焦发射次数情况下，提高图像的空间分辨率；或在空间分辨率基本不变的情况下，可以有效减少了聚焦发射次数，提高实时成像的能力。

在空间预埋一系列点散射体，对比仿真了不同的波束合成方式，对成像时

设定的点散射体的空间分辨率情况进行分析。此次试验所预埋散射体就在相控聚焦线上。分析图 3 中可知，基于单次发射单次接收聚焦的波束合成在聚焦点处具有良好的成像分辨率，但随着远离聚焦点，分辨率下降很快，与前面讨论结果一致；对于轴向并行虚拟聚焦波束合成，虽然发射聚焦只在一点，但通过多次虚拟接收聚焦后成像分辨率有很大的改善。

表 1 轴向并行仿真参数

阵列频率	3 MHz
阵列规模	128 阵元
材料声速	5940 m/s
阵元高度	5 mm
阵元宽度	0.5 mm
阵元间隙	0.25mm
阵元带宽	60%
点散射体位置	阵列中线 10~100mm, 间距 2mm

具体实施方式

实现波束合成要经过一系列运算，包括加权、延时及对空间各阵元收到的信号求和，这就是延时叠加算法。波束合成的过程可以看作是一个空域上的滤波器，将各阵元来的信号进行适当的组合，波束形成器的时间延时匹配于从特定方向入射的声压场的信号传播延迟，从而使波阵面的振幅相对于背景噪声和指向性干扰得到增强。

我们采用延时叠加波束合成算法，其原理如图4(a)。设阵元中心间距为 d ，换能器孔径为 D ，聚焦点为 P ，焦距为 F ，媒质声速为 C 。根据几何声程差，可以计算出为使各阵元发射声波在 P 点聚焦，第 n 个阵元所需激励信号延迟时间应为：

$$\tau_n = \frac{F}{C} \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{nd}{F} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} + \tau_0 \quad (3)$$

式中： n —阵元序号；

τ_0 —为一个足够大的时间常数，目的是为了避免 τ_n 出现负的延迟时间。

接收聚焦如图4(b)所示，它是一个和发射聚焦互逆的过程，同样遵守几何聚焦延迟规律。各阵元接收回波信号，按设计的聚焦延迟量进行延迟，然后相加。数学描述为：

$$y_j(t) = \sum_{n=1}^N w_n x_{jn}(t - \tau_{jn}) \quad t \in [t_1, t_2] \quad (4)$$

式中： τ_n 为各阵元相应的接收聚焦所需相位延时；

w_n 为加权系数，用来实现幅度加权变迹；

$x_{jn}(t)$ 为各阵元接收信号；

$y_j(t)$ 为合成后波束；

在轴向并行波束合成中，首先需要分别确定轴向并行系数，并计算出相应的轴向最小聚焦间距，然后结合空间分辨率要求设定合适的聚焦间距，从而得出对所设定的焦点位置聚焦对应的接收延时进行波束合成。

算法可以如下描述：

- (1) 根据系统数据处理能力和实时性要求，确定波束合成的轴向并行系数；
- (2) 由设定的并行系数计算出相应轴向聚焦间距 w_i ；
- (3) 根据阵列参数和聚焦位置，计算由聚焦声束决定的最高空间分辨率即相应最小轴向聚焦间距 w_r ；
- (4) 判断是否满足 $w_i > w_r$ ，如满足继续；否则需要调整系统需求，从(1)重新开始；
- (5) 在检测空间以所得到的聚焦间距 w_i 进行多次接收聚焦；
- (6) 轴向波束合成形成空间成像扫描线。

附图说明

图 1 相控阵超声检测聚焦和偏转图。图示线性超声换能器阵列，通过控制换能器阵中各个阵元激励(或接收)脉冲的时间延迟，改变由各阵元发射(或接收)声波到达(或来自)物体内部某点时的相位关系，实现聚焦点和声束方位的变化，从而完成相控波束合成，形成成像扫描线技术，实现相控聚焦和偏转。

图 2 聚焦深度和焦点直径。

图 3 轴向并行仿真结果，图中标示意义分别是：SESR——单次发射单次聚焦，聚焦位置 $(0, 0, 60)\text{mm}$ ；SEMR——单次发射多次聚焦，发射聚焦位置 $(0, 0, 60)\text{mm}$ ，接收聚焦位置 $(0, 0, 30)$ 、 $(0, 0, 50)$ 、 $(0, 0, 70)$ 、 $(0, 0, 90)$ 、 $(0, 0, 110)\text{mm}$ 。

图 4 相控聚焦原理示意图。



图 1

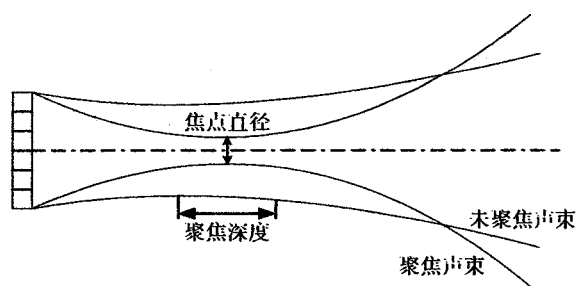


图 2

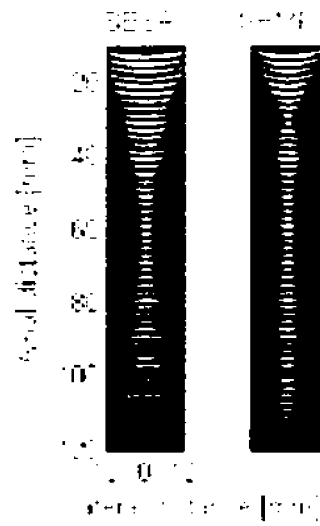


图 3

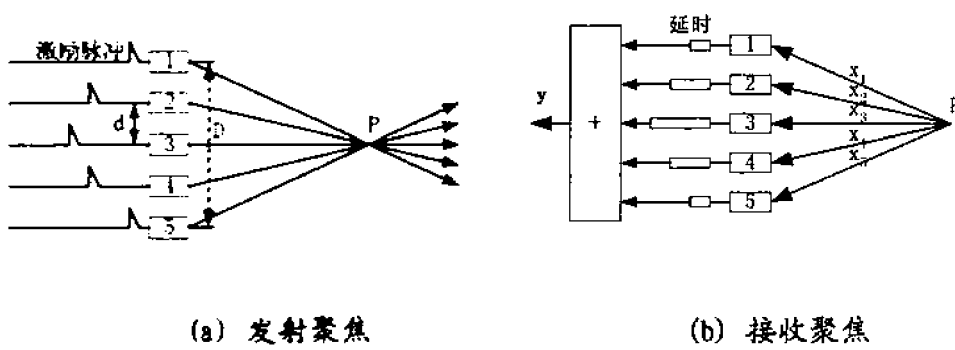


图 4

专利名称(译)	轴向并行波束合成相控阵超声检测		
公开(公告)号	CN101571511A	公开(公告)日	2009-11-04
申请号	CN200810105759.0	申请日	2008-04-30
[标]申请(专利权)人(译)	硕德(北京)科技有限公司		
申请(专利权)人(译)	硕德(北京)科技有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	硕德(北京)科技有限公司		
[标]发明人	彭春 香勇 彭波 王敏		
发明人	彭春 香勇 彭波 王敏		
IPC分类号	G01N29/00 G01N29/36 G01N29/04 G01B17/00 G03B42/06 A61B8/00		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明的目的就是提供一种相控阵超声检测波束合成的新方法——轴向并行虚拟聚焦波束合成相控阵超声检测。波束合成属于相控阵超声信号处理的一个中心环节，其根本意义就是要在特定的方向形成一个扫描波束，以便检测成像。采用轴向并行虚拟聚焦波束合成来形成指定方向上所需的波束，对信号和噪声作空间处理，可以获得高精度的空间成像分辨率，另一方面也可以得到足够大的信噪比。

$$F_e = 8.16 \lambda \left(\frac{F}{D} \right)^2 \quad (2FD > 1) \quad (1)$$