



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102727256 B

(45) 授权公告日 2014.06.18

(21) 申请号 201210255474.1

(22) 申请日 2012.07.23

(73) 专利权人 重庆博恩富克医疗设备有限公司  
地址 401120 重庆市北部新区高新园黄山大道中段9号

(72) 发明人 王平 蒋辉 唐英勇 赵久明

(74) 专利代理机构 北京同恒源知识产权代理有限公司 11275

代理人 赵荣之

(51) Int. Cl.

A61B 8/00 (2006.01)

(56) 对比文件

US 2005/0195103 A1, 2005.09.08, 全文.

EP 1736964 A1, 2006.12.27, 全文.

WO 2006/137732 A1, 2006.12.28, 全文.

CN 101697010 A, 2010.04.21, 全文.

CN 101893705 A, 2010.11.24, 全文.

CN 102247168 A, 2011.11.23, 全文.

Ye Li 等. Synthetic Aperture Flow Imaging Using a Dual Stage Beamformer Approach. 《2010IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings》. 2010, 第196-207页.

Catherine H. Frazier 等. Synthetic Aperture Techniques with a Virtual Source Element. 《IEEE TRANSACTION ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL》. 1998, 第15卷(第4期), 第1924-1927页.

审查员 高瑞玲

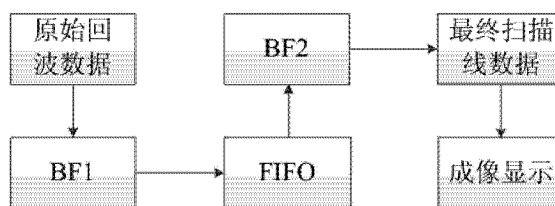
权利要求书3页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

基于虚拟阵元的双聚焦波束合成方法及装置

(57) 摘要

本发明公开了一种基于虚拟阵元的双聚焦波束合成方法及装置,首先利用单一固定焦点进行第一次聚焦;然后利用虚拟阵元的概念计算第二次聚焦的延时参数;最后再根据延时叠加波束合成的原理及动态聚焦技术进行第二次聚焦,得到最终成像的扫描线数据。本发明采用将虚拟阵元技术引入到超声成像系统,结合延时叠加波束合成方法,利用2次延时叠加实现双聚焦波束合成超声成像。该方法本质就是利用两次延时叠加进行多个重叠声场的相关有效信息的提取,从而增加声波信号的信息量和能量,使得成像效果获得大幅度的提高。该方法利用两个波束合成器 BF1 和 BF2 以及一个 FIFO 缓存器通过两次延时叠加,无需再存储大量的低分辨率回波数据。



1. 一种基于虚拟阵元的双聚焦波束合成方法,其特征在于:包括以下步骤:

S1:利用单一固定焦点进行发射和接收超声波;

S2:将回波数据进行第一次延时叠加波束合成聚焦;

S3:利用虚拟阵元方法根据第一次聚焦形成的数据来计算聚焦延时参数;

S4:第二次聚焦,即根据聚焦延时参数进行第二次延时叠加波束合成聚焦;

S5:得到最终成像的扫描线回波数据;

所述第一次聚焦形成的波束合成形成的数据存储在缓存器 FIFO 中。

2. 根据权利要求 1 所述的基于虚拟阵元的双聚焦波束合成方法,其特征在于:所述第一次聚焦包括以下步骤:

S21:通过以下公式来计算滑动子孔径中第  $i$  个虚拟阵元的位置  $x_i$  为:

$$x_i = \left( i - \frac{L+1}{2} \right) * d, \quad i=1,2,\dots,L \quad (1)$$

其中, $L=Z_v/F\#/d$  为滑动子孔径阵元线性传感器个数, $d$  为虚拟阵元间距, $Z_v$  为虚拟阵元深度, $D=L*d$  为滑动子孔径大小, $F\#$  为聚焦系数;

S22:通过以下公式来计算虚拟阵元  $i$  的延时  $\tau_i$ :

$$\tau_i = \frac{\sqrt{x_i^2 + Z_v^2} - Z_v}{c} \quad (2)$$

其中, $c$  为声速,在虚拟阵元处聚焦以虚拟子孔径中心作为延迟时间参考点, $Z_v$  表示虚拟阵元的深度;

S23:通过以下公式来计算各个通道的回波数据形成扫描线数据:

$$S_n(t) = \sum_{i=1}^L \omega(i) * s_i \left( t - \frac{r}{c} - \tau_i \right) \quad (3)$$

其中, $S_n(t)$  为  $N$  条扫描线数据, $\omega(i)$  为幅度变迹系数, $s_i(t)$  为子孔径中阵元  $i$  接收到的回波信号, $r/c$  为声波从像点到子孔径中心的传播时间, $\tau_i$  为第  $i$  个虚拟阵元施加的延时, $t$  表示时间。

3. 根据权利要求 1 所述的基于虚拟阵元的双聚焦波束合成方法,其特征在于:所述第二次延时叠加波束合成聚焦包括以下步骤:

S41:读取缓存器 FIFO 中的数据并通过以下公式判断数据样本点是否为有效样本点:

$$K_{jj,ii} = \begin{cases} 1, & \text{if } \left| \frac{d_x}{d_z} \right| \leq \tan \theta_a \\ 0, & \text{if } \left| \frac{d_x}{d_z} \right| > \tan \theta_a \end{cases}, \quad (4)$$

其中, $d_x$  为样本点到相应虚拟阵元的侧向距离, $d_z$  为轴向距离, $ii$  为数据样本点编号, $jj$  为虚拟阵元位置点;若  $K_{jj,ii}=1$ ,则样本点位于该虚拟阵元的声场内,该样本点即为有效样本点, $\tan \theta_a$  表示半孔径角  $\theta_a$  的正切值;

S42:通过以下公式计算半孔径角  $\theta_a$ :

$$\theta_a = \arctan \frac{D}{2 * Z_v} = \arctan \frac{1}{2 * F\#} \quad (5)$$

其中,  $D=L*d$  为滑动子孔径的大小,  $Z_v$  表示虚拟阵元的深度, 真实阵元的间距  $d$  以及虚拟阵元间距  $\Delta$ , 聚焦系数  $F\#=Z_v/D$ ;

S43: 通过以下公式计算样本点  $ii$  到虚拟阵元  $jj$  的延时参数:

$$\tau_{jj,ii} = 2 * \frac{Z_v \pm \sqrt{d_x^2 + d_z^2}}{c} \quad (6)$$

其中, “ $\pm$ ” 表示样本点在相应虚拟阵元的下方或者上方,  $c$  为声速;

S44: 采用逐点接收聚焦波束合成第  $n$  条扫描线数据为:

$$H_{n,ii}(t) = \sum_{jj=1}^N \omega(jj) * K_{jj,ii} * S_{jj,ii}(t - \tau_{jj,ii}), \quad ii=1,2,\dots,M \quad (7)$$

其中,  $\omega(jj)$  为相应的幅度变迹系数,  $M$  为样本点总数,  $N$  为 BF1 所形成的扫描线总数,  $S_{jj,ii}(t - \tau_{jj,ii})$  为波束合成器 BF1 所形成的第  $jj$  条扫描线上的第  $ii$  个样本点,  $jj, ii$  为样本点  $ii$  相对于编号是  $jj$  的虚拟阵元的延时参数。

4. 基于虚拟阵元的双聚焦波束合成装置, 其特征在于: 包括波束发射接收器、第一波束形成器 BF1、第二波束形成器 BF2、缓存器 FIFO 和成像显示器;

所述波束发射接收器, 用于利用滑动子孔径采用固定单一焦点进行发射和接收聚焦;

所述第一波束形成器 BF1, 用于将各个通道的回波数据通过波束形成器 BF1 进行 DAS 波束合成;

所述缓存器 FIFO, 用于存储 BF1 输出数据;

所述第二波束形成器 BF2, 用于接收缓存器 FIFO 中的数据并结合动态聚焦方法进行延时叠加合成波束, 得到最终成像的回波数据;

所述成像显示器, 用于显示最终成像的回波数据;

所述第一波束形成器 BF1 包括以下模块: 虚拟阵元位置确定模块、虚拟阵元延时确定模块和回波数据扫描模块,

所述虚拟阵元位置确定模块, 用于通过以下公式来计算滑动子孔径中第  $i$  个虚拟阵元的位置  $x_i$  为:

$$x_i = \left( i - \frac{L+1}{2} \right) * d, \quad i=1,2,\dots,L;$$

所述虚拟阵元延时确定模块, 用于通过以下公式来计算虚拟阵元  $i$  的延时  $\tau_i$ :

$$\tau_i = \frac{\sqrt{x_i^2 + Z_v^2} - Z_v}{c};$$

所述回波数据扫描模块, 用于通过以下公式来计算各个通道的回波数据形成扫描线数据:

$$S_n(t) = \sum_{i=1}^L \omega(i) * s_i \left( t - \frac{r}{c} - \tau_i \right),$$

其中,  $L=Z_v/F\#/d$  为滑动子孔径阵元线性传感器个数,  $d$  为虚拟阵元间距,  $Z_v$  为虚拟阵元深度,  $c$  为声速,  $\omega(i)$  为幅度变迹系数,  $s_i(t)$  为子孔径中阵元  $i$  接收到的回波信号,  $r/c$  为声波从像点到子孔径中心的传播时间。

5. 根据权利要求 4 所述的基于虚拟阵元的双聚焦波束合成装置, 其特征在于: 所述第二波束形成器 BF2 包括以下模块: 有效样本点判断模块、半孔径角  $\theta_a$  计算模块, 虚拟阵元延时参数模块和第二回波数据扫描模块,

所述有效样本点判断模块, 用于读取缓存器 FIFO 中的数据并通过以下公式判断数据样本点是否为有效样本点:

$$K_{jj,ii} = \begin{cases} 1, & \text{if } \left| \frac{d_x}{d_z} \right| \leq \tan \theta_a \\ 0, & \text{if } \left| \frac{d_x}{d_z} \right| > \tan \theta_a \end{cases},$$

所述半孔径角  $\theta_a$  计算模块, 用于通过以下公式计算半孔径角  $\theta_a$ :

$$\theta_a = \arctan \frac{D}{2 * Z_v} = \arctan \frac{1}{2 * F\#},$$

所述虚拟阵元延时参数模块, 用于通过以下公式计算样本点  $ii$  到虚拟阵元  $jj$  的延时参数:

$$\tau_{jj,ii} = 2 * \frac{Z_v \pm \sqrt{d_x^2 + d_z^2}}{c},$$

所述第二回波数据扫描模块, 用于采用逐点接收聚焦波束合成第  $n$  条扫描线数据为:

$$H_{n,ii}(t) = \sum_{jj=1}^N \omega(jj) * K_{jj,ii} * S_{jj,ii}(t - \tau_{jj,ii}), \quad ii=1, 2, \dots, M,$$

其中,  $d_x$  为样本点到相应虚拟阵元的侧向距离,  $d_z$  为轴向距离,  $D=L*d$  为滑动子孔径大小,  $F\#$  为聚焦系数。

## 基于虚拟阵元的双聚焦波束合成方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及医学超声成像领域,特别涉及一种基于虚拟阵元的双聚焦波束合成方法及装置。

### 背景技术

[0002] 在医学超声成像领域,基于声场叠加或图像叠加的合成孔径聚焦 (synthetic aperture focusing, SAF) 方法得到了广泛应用。与传统的延时叠加波束合成方法相比,合成孔径聚焦成像是一种比较有潜力的超声成像方法,能够明显提高图像的分辨率,但是该方法要求采样和存储每一个孔径点的整个回波信号,即全波采样,其重建理论较复杂,且成像的分辨率对于成像深度有很大的依赖性,无论对软件和硬件要求都比较高;其次单一利用合成孔径聚焦技术,超声成像的回波信号信噪比 SNR 很低,具有较高的旁瓣等级,图像的对比度、分辨率较差。因此,为进一步提高超声图像的分辨率和增加探测深度,研究学者开展了一系列新方法、新技术的研究。

[0003] 近年来,虚拟阵元的概念已广泛应用于军事、民用通信以及雷达天线探测系统等阵列信号处理领域,基本思想是在保持真实阵元数目不变的情况下,应用虚拟阵元技术使得阵元数目在虚拟上得到增加,从而减小波束宽度,提高分辨率。然而,目前在国内超声成像领域,虚拟阵元技术应用甚少。随着临床诊断需求的不断增加,对超声成像系统的成像质量提出了更高的要求。

[0004] 因此急需一种提高超声成像的分辨率的聚焦波束合成方法及装置。

### 发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明所要解决的技术问题是提供一种提高超声成像的分辨率的聚焦波束合成方法及装置。

[0006] 本发明的目的之一是提出一种基于虚拟阵元的双聚焦波束合成方法;本发明的目的之二是提出一种基于虚拟阵元的双聚焦波束合成装置。

[0007] 本发明的目的之一是通过以下技术方案来实现的:

[0008] 本发明提供的一种基于虚拟阵元的双聚焦波束合成方法,包括以下步骤:

[0009] S1:利用单一固定焦点进行发射和接收超声波;

[0010] S2:将回波数据进行第一次延时叠加波束合成聚焦;

[0011] S3:利用虚拟阵元方法根据第一次聚焦形成的数据来计算聚焦延时参数;

[0012] S4:根据聚焦延时参数进行第二次延时叠加波束合成聚焦;

[0013] S5:得到最终成像的扫描线回波数据。

[0014] 进一步,所述第一次波束合成形成的数据存储在缓存器 FIFO 中。

[0015] 进一步,所述第一次聚焦包括以下步骤:

[0016] S21:通过以下公式来计算滑动子孔径中第  $i$  个虚拟阵元的位置  $x_i$  为:

$$[0017] \quad x_i = \left( i - \frac{L+1}{2} \right) * d, \quad i=1,2,\dots,L \quad (1)$$

[0018] 其中,  $d$  为虚拟阵元间距,  $Z_v$  为虚拟阵元深度,  $L=Z_v/F\#/d$  为滑动子孔径线性传感器个数,  $D=L*d$  为滑动子孔径大小,  $F\#$  为聚焦系数;

[0019] S22: 通过以下公式来计算虚拟阵元  $i$  的延时  $\tau_i$ :

$$[0020] \quad \tau_i = \frac{\sqrt{x_i^2 + Z_v^2} - Z_v}{c} \quad (2)$$

[0021] 其中,  $c$  为声速, 在虚拟阵元处聚焦以虚拟子孔径中心作为延迟时间参考点;

[0022] S23: 通过以下公式来计算各个通道的回波数据形成扫描线数据:

$$[0023] \quad S_n(t) = \sum_{i=1}^L \omega(i) * s_i \left( t - \frac{r}{c} - \tau_i \right) \quad (3)$$

[0024] 其中,  $S_n(t)$  为  $N$  条扫描线数据,  $\omega(i)$  为幅度变迹系数,  $s_i(t)$  为子孔径中阵元  $i$  接收到的回波信号,  $r/c$  为声波从像点到子孔径中心的传播时间,  $\tau_i$  为第  $i$  个虚拟阵元施加的延时。

[0025] 进一步, 所述第二次聚焦包括以下步骤:

[0026] S41: 读取缓存器 FIFO 中的数据并通过以下公式判断数据样本点是否为有效样本点:

$$[0027] \quad K_{jj,ii} = \begin{cases} 1, & \text{if } \left| \frac{d_x}{d_z} \right| \leq \tan \theta_a \\ 0, & \text{if } \left| \frac{d_x}{d_z} \right| > \tan \theta_a \end{cases}, \quad (4)$$

[0028] 其中,  $d_x$  为样本点到相应虚拟阵元的侧向距离,  $d_z$  为轴向距离,  $ii$  为数据样本点编号,  $jj$  为虚拟阵元位置点; 若  $K_{jj,ii}=1$ , 则样本点位于该虚拟阵元的声场内, 该样本点即为有效样本点:

[0029] S42: 通过以下公式计算半孔径角  $\theta_a$ :

$$[0030] \quad \theta_a = \arctan \frac{D}{2*Z_v} = \arctan \frac{1}{2*F\#} \quad (5)$$

[0031] 其中,  $D=L*d$  为滑动子孔径的大小,  $Z_v$  表示虚拟阵元的深度,  $Z_q$ 、 $Z_s$  分别为样本点  $Q$ 、 $S$  的深度, 真实阵元间距  $d$  以及虚拟阵元间距  $\Delta$ , 聚焦系数  $F\#=Z_v/D$ ;

[0032] S43: 通过以下公式计算样本点  $ii$  到虚拟阵元  $jj$  的延时参数:

$$[0033] \quad \tau_{jj,ii} = 2 * \frac{Z_v \pm \sqrt{d_x^2 + d_z^2}}{c} \quad (6)$$

[0034] 其中, “ $\pm$ ” 表示样本点在相应虚拟阵元的下方或者上方,  $c$  为声速;

[0035] S44: 采用逐点接收聚焦波束合成第  $n$  条扫描线数据为:

$$[0036] \quad H_{n,ii}(t) = \sum_{jj=1}^N \omega(jj) * K_{jj,ii} * S_{jj,ii}(t - \tau_{jj,ii}), \quad ii=1,2,\dots,M \quad (7)$$

[0037] 其中,  $\omega(jj)$  为相应的幅度变迹系数,  $M$  为样本点总数,  $N$  为 BF1 所形成的扫描线总数,  $S_{jj,ii}(t - \tau_{jj,ii})$  为波束合成器 BF1 所形成的第  $jj$  条扫描线上的第  $ii$  个样本点,  $jj, ii$

为样本点  $ii$  相对于编号是  $jj$  的虚拟阵元的延时参数。

[0038] 本发明的目的之二是通过以下技术方案来实现的：

[0039] 本发明提供的基于虚拟阵元的双聚焦波束合成装置，包括波束发射接收器、第一波束形成器 BF1、第二波束形成器 BF2 和缓存器 FIFO；

[0040] 所述波束发射接收器，用于利用滑动子孔径采用固定单一焦点进行发射和接收聚焦；

[0041] 所述第一波束形成器 BF1，用于将各个通道的回波数据通过波束形成器 BF1 进行 DAS 波束合成；

[0042] 所述缓存器 FIFO，用于存储 BF1 输出数据；

[0043] 所述第二波束形成器 BF2，用于接收缓存器 FIFO 中的数据并结合动态聚焦方法进行延时叠加合成波束，得到最终成像的回波数据；

[0044] 所述成像显示器，用于显示最终成像的回波数据。

[0045] 进一步，所述第一波束形成器 BF1 包括以下模块：虚拟阵元位置确定模块、虚拟阵元延时确定模块和回波数据扫描模块，

[0046] 所述虚拟阵元位置确定模块，用于通过以下公式来计算滑动子孔径中第  $i$  个虚拟阵元的位置  $x_i$  为：

$$[0047] \quad x_i = \left( i - \frac{L+1}{2} \right) * d, \quad i=1, 2, \dots, L;$$

[0048] 所述虚拟阵元延时确定模块，用于通过以下公式来计算虚拟阵元  $i$  的延时  $\tau_i$ ：

$$[0049] \quad \tau_i = \frac{\sqrt{x_i^2 + Z_v^2} - Z_v}{c};$$

[0050] 所述回波数据扫描模块，用于通过以下公式来计算各个通道的回波数据形成扫描线数据：

$$[0051] \quad S_n(t) = \sum_{i=1}^L \omega(i) * s_i \left( t - \frac{r}{c} - \tau_i \right).$$

[0052] 进一步，所述第二波束形成器 BF2 包括以下模块：有效样本点判断模块、半孔径角  $\theta_a$  计算模块，虚拟阵元延时参数模块和第二回波数据扫描模块，

[0053] 所述有效样本点判断模块，用于读取缓存器 FIFO 中的数据并通过以下公式判断数据样本点是否为有效样本点：

$$[0054] \quad K_{j,i} = \begin{cases} 1, & \text{if } \left| \frac{d_x}{d_z} \right| \leq \tan \theta_a \\ 0, & \text{if } \left| \frac{d_x}{d_z} \right| > \tan \theta_a \end{cases},$$

[0055] 所述半孔径角  $\theta_a$  计算模块，用于通过以下公式计算半孔径角  $\theta_a$ ：

$$[0056] \quad \theta_a = \arctan \frac{D}{2 * Z_v} = \arctan \frac{1}{2 * F\#},$$

[0057] 所述虚拟阵元延时参数模块，用于通过以下公式计算样本点  $ii$  到虚拟阵元  $jj$  的延时参数：

$$[0058] \quad \tau_{\bar{j},\bar{i}} = 2 * \frac{Z_v \pm \sqrt{d_x^2 + d_z^2}}{c},$$

[0059] 所述第二回报数据扫描模块,用于采用逐点接收聚焦波束合成第 n 条扫描线数据为:

$$[0060] \quad H_{n,\bar{i}}(t) = \sum_{\bar{j}=1}^N \alpha(\bar{j}) * K_{\bar{j},\bar{i}} * S_{\bar{j},\bar{i}}(t - \tau_{\bar{j},\bar{i}}), \quad \bar{i}=1,2,\dots,M$$

[0061] 本发明的优点在于:本发明采用将虚拟阵元技术引入到超声成像系统,结合延时叠加(delay-and-sum, DAS)波束合成方法,利用 2 次延时叠加实现双聚焦波束合成(dual focusing beamforming, DFB)超声成像。该方法本质就是利用两次延时叠加进行多个重叠声场的相关有效信息的提取,从而增加声波信号的信息量和能量,使得成像效果获得大幅度的提高。该方法通过引入虚拟阵元的概念,结合动态孔径聚焦技术,利用两个波束合成器 BF1 和 BF2 以及一个 FIFO 缓存器通过两次延时叠加,无需再存储大量的低分辨率回波数据。

[0062] 与传统 DRF 及 SF 算法相比,该方法的分辨率在一定范围内不会随着探测深度的增加而急剧下降,在一定程度上解决了分辨率与探测深度之间的矛盾,进一步提高超声成像的分辨率,同时不降低成像的深度,并且可以针对不同应用场合来调节虚拟阵元的位置  $Z_v$  以及聚焦系数  $F\#$ ,实现高质量的超声成像。

[0063] 本发明的其它优点、目标和特征在某种程度上将在随后的说明书中进行阐述,并且在某种程度上,基于对下文的考察研究对本领域技术人员而言将是显而易见的,或者可以从本发明的实践中得到教导。本发明的目标和其它优点可以通过下面的说明书,权利要求书,以及附图中所特别指出的结构来实现和获得。

## 附图说明

[0064] 为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明作进一步的详细描述,其中:

[0065] 图 1 为传统聚焦发射声场与虚拟阵元声场对比图,(1a)传统发射聚焦,(1b)一个 VE 的声场,(1c)2 个 VE 的声场;

[0066] 图 2 为基于虚拟阵元的双聚焦波束合成 DFB 原理框图;

[0067] 图 3 为 BF1 形成扫描线及延时参数计算示意图,3(3a)扫描线示意图,图 3(3b)给出了形成第 n 条扫描线时延时参数  $\tau$  的计算示意图;

[0068] 图 4 为虚拟阵元延时参数计算及声场叠加示意图;

[0069] 图 5 为动态范围 40dB 时的不同深度散射点仿真成像示意图;

[0070] 图 6 为 DRF、SF 与 DFB 的分辨率及能量衰减对比图,(6a)DRF、SF 与 DFB 的侧向分辨率对比,(6b)DRF、SF 与 DFB 在 -25dB 处主瓣宽度对比。

## 具体实施方式

[0071] 以下将结合附图,对本发明的优选实施例进行详细的描述;应当理解,优选实施例仅为了说明本发明,而不是为了限制本发明的保护范围。

[0072] 图 1 为传统聚焦发射声场与虚拟阵元声场对比图,(1a)传统发射聚焦,(1b)一个 VE 的声场,(1c)2 个 VE 的声场,VE 表示虚拟阵元;图 2 为基于虚拟阵元的双聚焦波束合

成DFB原理框图；图3为BF1形成扫描线及延时参数计算示意图，3(3a)扫描线示意图，图3(3b)给出了形成第n条扫描线时延时参数 $\tau$ 的计算示意图，如图所示：本发明提供一种基于虚拟阵元的双聚焦波束合成方法，包括以下步骤：

[0073] S1：利用单一固定焦点进行发射和接收超声波；

[0074] S2：将回波数据进行第一次延时叠加波束合成聚焦，并将第一次波束合成形成的数据存储在缓存器FIFO中；所述第一次聚焦包括以下步骤：

[0075] S21：通过以下公式来计算滑动子孔径中第i个虚拟阵元的位置 $x_i$ 为：

$$[0076] \quad x_i = \left( i - \frac{L+1}{2} \right) * d, \quad i = 1, 2, \dots, L \quad (1)$$

[0077] 其中，d为虚拟阵元间距， $Z_v$ 为虚拟阵元深度，F#为聚焦系数； $L = Z_v / F\# / d$ 为滑动子孔径线性传感器个数， $L = Z_v / F\# / d$ 表达式的含义：当聚焦系数一定的情况下，发射子孔径中阵元的个数。 $D = L * d$ 为滑动子孔径大小。

[0078] S22：通过以下公式来计算虚拟阵元i的延时 $\tau_i$ ：

$$[0079] \quad \tau_i = \frac{\sqrt{x_i^2 + Z_v^2} - Z_v}{c} \quad (2)$$

[0080] 其中，c为声速，在虚拟阵元处聚焦以虚拟子孔径中心作为延迟时间参考点；

[0081] S23：通过以下公式来计算各个通道的回波数据形成扫描线数据：

$$[0082] \quad S_n(t) = \sum_{i=1}^L \omega(i) * s_i \left( t - \frac{r}{c} - \tau_i \right) \quad (3)$$

[0083] 其中， $S_n(t)$ 为N条扫描线数据， $\omega(i)$ 为幅度变迹系数， $s_i(t)$ 为子孔径中阵元i接收到的回波信号， $r/c$ 为声波从像点到子孔径中心的传播时间， $\tau_i$ 为第i个虚拟阵元施加的延时。

[0084] S3：利用虚拟阵元方法根据第一次聚焦形成的数据来计算聚焦延时参数；

[0085] S4：根据聚焦延时参数进行第二次延时叠加波束合成聚焦；所述第二次聚焦包括以下步骤：

[0086] S41：读取缓存器FIFO中的数据并通过以下公式判断数据样本点是否为有效样本点：

$$[0087] \quad K_{jj,ii} = \begin{cases} 1, & \text{if } \left| \frac{d_x}{d_z} \right| \leq \tan \theta_a \\ 0, & \text{if } \left| \frac{d_x}{d_z} \right| > \tan \theta_a \end{cases}, \quad (4)$$

[0088] 其中， $d_x$ 为样本点到相应虚拟阵元的侧向距离， $d_z$ 为轴向距离，ii为数据样本点编号，jj为虚拟阵元位置点；若 $K_{jj,ii} = 1$ ，则样本点位于该虚拟阵元的声场内，该样本点即为有效样本点；本发明提供的实施例中判断样本的有效性是根据采样点的位置是否处于虚拟阵元的声场范围内来完成的，即：位于虚拟阵元声场范围内的为有效样本，进而在下一步将所有有效样本求和，增大回波信息量。

[0089] S42：通过以下公式计算半孔径角 $\theta_a$ ：

$$[0090] \quad \theta_a = \arctan \frac{D}{2 * Z_v} = \arctan \frac{1}{2 * F\#} \quad (5)$$

[0091] 其中,  $D=L*d$  为滑动子孔径的大小,  $Z_v$  表示虚拟阵元的深度, 真实阵元间距  $d$  以及虚拟阵元间距  $\Delta$ , 聚焦系数  $F\#=Z_v/D$ ;

[0092] 其中, 计算半孔径角的作用是为了确定虚拟阵元的声场范围。图 4 中  $Z_q$ 、 $Z_s$  是样本点  $Q$ 、 $S$  的延时时间的计算。真实阵元指的是超声探头中实际存在的超声传感器阵列, 而虚拟阵元就是把发射焦点假想成一个超声传感器阵列。

[0093] S43: 通过以下公式计算样本点  $ii$  到虚拟阵元  $jj$  的延时参数:

$$[0094] \quad \tau_{jj, ii} = 2 * \frac{Z_v \pm \sqrt{d_x^2 + d_z^2}}{c} \quad (6)$$

[0095] 其中, “ $\pm$ ”表示样本点在相应虚拟阵元的下方或者上方,  $c$  为声速;

[0096] S44: 采用逐点接收聚焦波束合成第  $n$  条扫描线数据为:

$$[0097] \quad H_{n, ii}(t) = \sum_{jj=1}^N \omega(jj) * K_{jj, ii} * S_{jj, ii}(t - \tau_{jj, ii}), \quad ii=1, 2, \dots, M \quad (7)$$

[0098] 其中,  $\omega(jj)$  为相应的幅度变迹系数,  $M$  为样本点总数,  $N$  为 BF1 所形成的扫描线总数,  $S_{jj, ii}(t - \tau_{jj, ii})$  为波束合成器 BF1 所形成的第  $jj$  条扫描线上的第  $ii$  个样本点,  $jj$ ,  $ii$  为样本点  $ii$  相对于编号是  $jj$  的虚拟阵元的延时参数;

[0099] S5: 得到最终成像的扫描线回波数据。

[0100] 本发明实施例还提供了一种基于虚拟阵元的双聚焦波束合成装置, 包括波束发射接收器、第一波束形成器 BF1、第二波束形成器 BF2 和缓存器 FIFO;

[0101] 所述波束发射接收器, 用于利用滑动子孔径采用固定单一焦点进行发射和接收聚焦;

[0102] 所述第一波束形成器 BF1, 用于将各个通道的回波数据通过波束形成器 BF1 进行 DAS 波束合成;

[0103] 所述缓存器 FIFO, 用于存储 BF1 输出数据;

[0104] 所述第二波束形成器 BF2, 用于接收缓存器 FIFO 中的数据并结合动态聚焦方法进行延时叠加合成波束, 得到最终成像的回波数据;

[0105] 所述成像显示器, 用于显示最终成像的回波数据。

[0106] 所述第一波束形成器 BF1 包括以下模块: 虚拟阵元位置确定模块、虚拟阵元延时确定模块和回波数据扫描模块,

[0107] 所述虚拟阵元位置确定模块, 用于通过以下公式来计算滑动子孔径中第  $i$  个虚拟阵元的位置  $x_i$  为:

$$[0108] \quad x_i = \left( i - \frac{L+1}{2} \right) * d, \quad i=1, 2, \dots, L;$$

[0109] 所述虚拟阵元延时确定模块, 用于通过以下公式来计算虚拟阵元  $i$  的延时  $\tau_i$ :

$$[0110] \quad \tau_i = \frac{\sqrt{x_i^2 + Z_v^2} - Z_v}{c};$$

[0111] 所述回波数据扫描模块, 用于通过以下公式来计算各个通道的回波数据形成扫描

线数据：

$$[0112] \quad S_n(t) = \sum_{i=1}^L \omega(i) * s_i \left( t - \frac{r}{c} - \tau_i \right)$$

[0113] 所述第二波束形成器 BF2 包括以下模块：有效样本点判断模块、半孔径角  $\theta_a$  计算模块，虚拟阵元延时参数模块和第二回报数据扫描模块，

[0114] 所述有效样本点判断模块，用于读取缓存器 FIFO 中的数据并通过以下公式判断数据样本点是否为有效样本点：

$$[0115] \quad K_{j,i} = \begin{cases} 1, & \text{if } \left| \frac{d_x}{d_z} \right| \leq \tan \theta_a \\ 0, & \text{if } \left| \frac{d_x}{d_z} \right| > \tan \theta_a \end{cases}$$

[0116] 所述半孔径角  $\theta_a$  计算模块，用于通过以下公式计算半孔径角  $\theta_a$ ：

$$[0117] \quad \theta_a = \arctan \frac{D}{2 * Z_v} = \arctan \frac{1}{2 * F\#}$$

[0118] 所述虚拟阵元延时参数模块，用于通过以下公式计算样本点  $i$  到虚拟阵元  $j$  的延时参数：

$$[0119] \quad \tau_{j,i} = 2 * \frac{Z_v \pm \sqrt{d_x^2 + d_z^2}}{c}$$

[0120] 所述第二回报数据扫描模块，用于采用逐点接收聚焦波束合成第  $n$  条扫描线数据为：

$$[0121] \quad H_{n,i}(t) = \sum_{j=1}^N \omega(j) * K_{j,i} * S_{j,i}(t - \tau_{j,i}), \quad i=1,2,\dots,M$$

[0122] 对于有限传感器阵列，随着样本点深度的增加，有效虚拟阵元个数将会超出实际虚拟阵元的个数。因此，越接近传感器阵列边缘的地方，有效样本个数不会再继续增加，此时侧向分辨率会略微下降。

[0123] 图 4 为虚拟阵元延时参数计算及声场叠加示意图；图 5 为动态范围 40dB 时的不同深度散射点仿真成像示意图；图 6 为 DRF、SF 与 DFB 的分辨率及能量衰减对比图，(6a) DRF、SF 与 DFB 的侧向分辨率对比，(6b) DRF、SF 与 DFB 在 -25dB 处主瓣宽度对比，如图所示，本发明利用 Field II 进行点散射目标仿真实验，对比了传统动态接收聚焦 DRF、合成聚焦 SF 以及基于虚拟阵元的双聚焦波束合成算法，并重点分析了这三种算法在分辨率和探测深度方面的差异。

[0124] DFB 表示双聚焦波束合成、BF1 表示波束合成器、DRF 表示动态接收聚焦、SF 表示合成孔径聚焦。

[0125] 仿真过程中均采用定点发射和分段动态聚焦接收模式，成像采用线性阵列，阵元总数 128，发射信号中心频率 3.5MHz，采样频率 50MHz，阵元中心间距为一个波长，声速 1540m/s。信号仿真时加入了 60dB 的高斯白噪声，成像的动态范围为 40dB[16]。设置虚拟源深度  $Z_v=20\text{mm}$ ，聚焦系数  $F\#=2$ ，BF1 的幅度变迹系数采用 hamming 窗，BF2 的幅度变迹系数采用 boxcar 窗。为提高成像效果，采用了滑动子孔径技术，子孔径阵元数目为 48，

[0126] 目标散射点共 14 个：其中深度 70mm 处设定 5 个散射点，两相邻散射点横向间隔为

2mm,其余散射点分布在深度为 10~100mm 的区域内,轴向间隔为 10mm。图 5 为不同方法对不同深度散射点的成像结果。从图 5 可以看出,传统的 DRF 波束合成算法侧向分辨率差,不能将深度 70mm 处的 5 个散射点分辨开来,且随着深度增加,散射点的旁瓣逐渐增加;相比于 DRF 成像, SF 算法虽然提高了侧向分辨率,但是,图像的对比度随着探测深度的增加而急剧下降,且系统复杂度方面远高于 DRF;本发明提出的 DFB 算法,在提高图像的侧向分辨率和对比度方面都远远优于 SF 以及 DRF,系统复杂度略高于 DRF,但远低于 SF。

[0127] 为了进一步深入研究不同方法对图像质量的影响情况,图 6 分别给出了散射点回波数据的归一化幅值在 -3dB 和 -25dB 处主瓣宽度随探测深度变化的曲线。从图 6 中可以看出,虽然 DRF 及 SF 算法在近场区域成像的侧向分辨率略优于 DFB 算法,但随着深度的增加,DFB 算法在 -3dB 处的主瓣宽度基本保持不变,成像效果明显优于 DRF 和 SF。由于信号的主瓣宽度在 -25dB 处仍然基本保持均匀,从而能量比较集中,因此,DFB 算法能够有效地增加探测深度。

[0128] 以上所述仅为本发明的优选实施例,并不用于限制本发明,显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

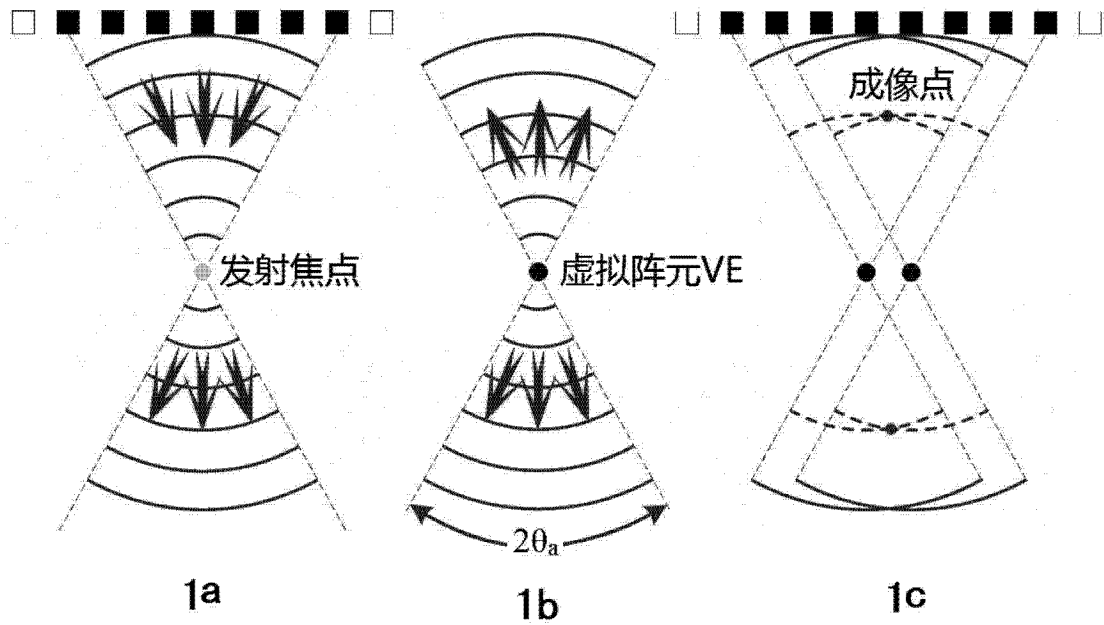


图 1

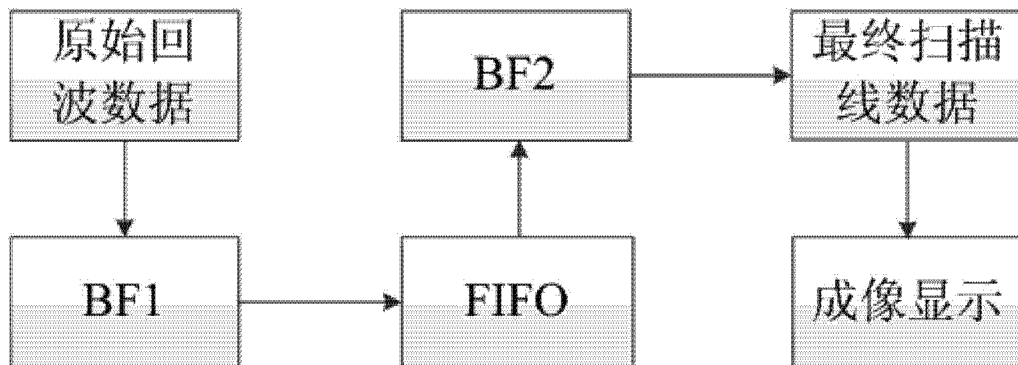


图 2

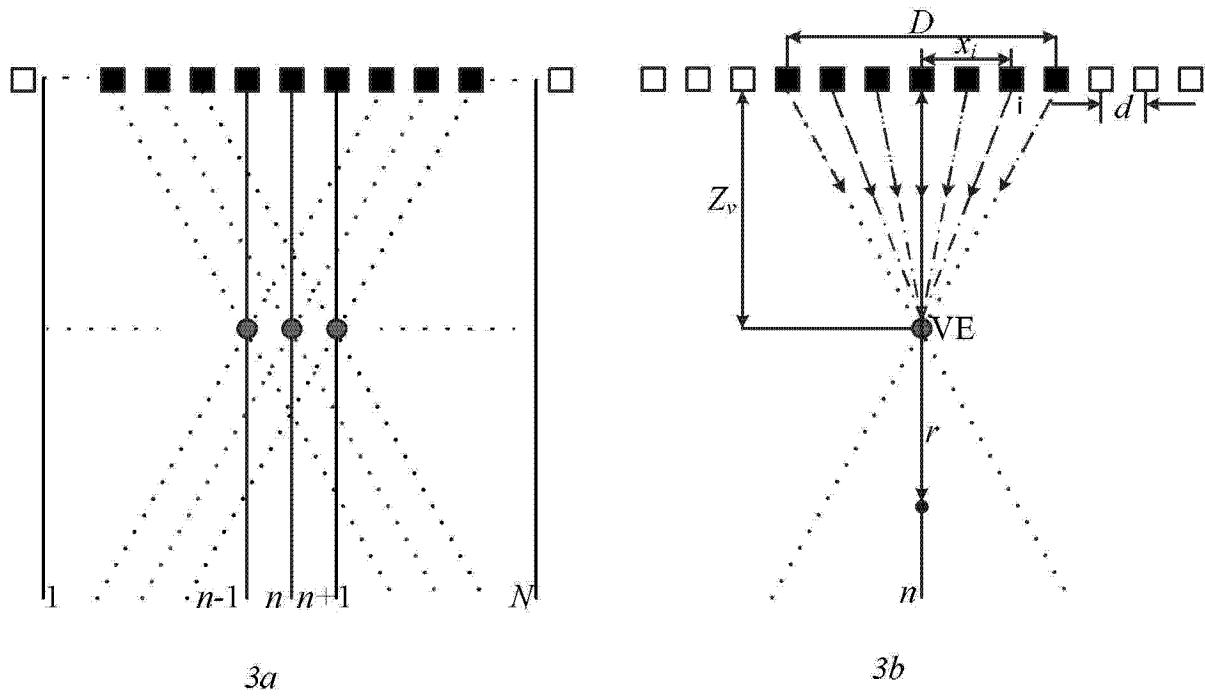


图 3

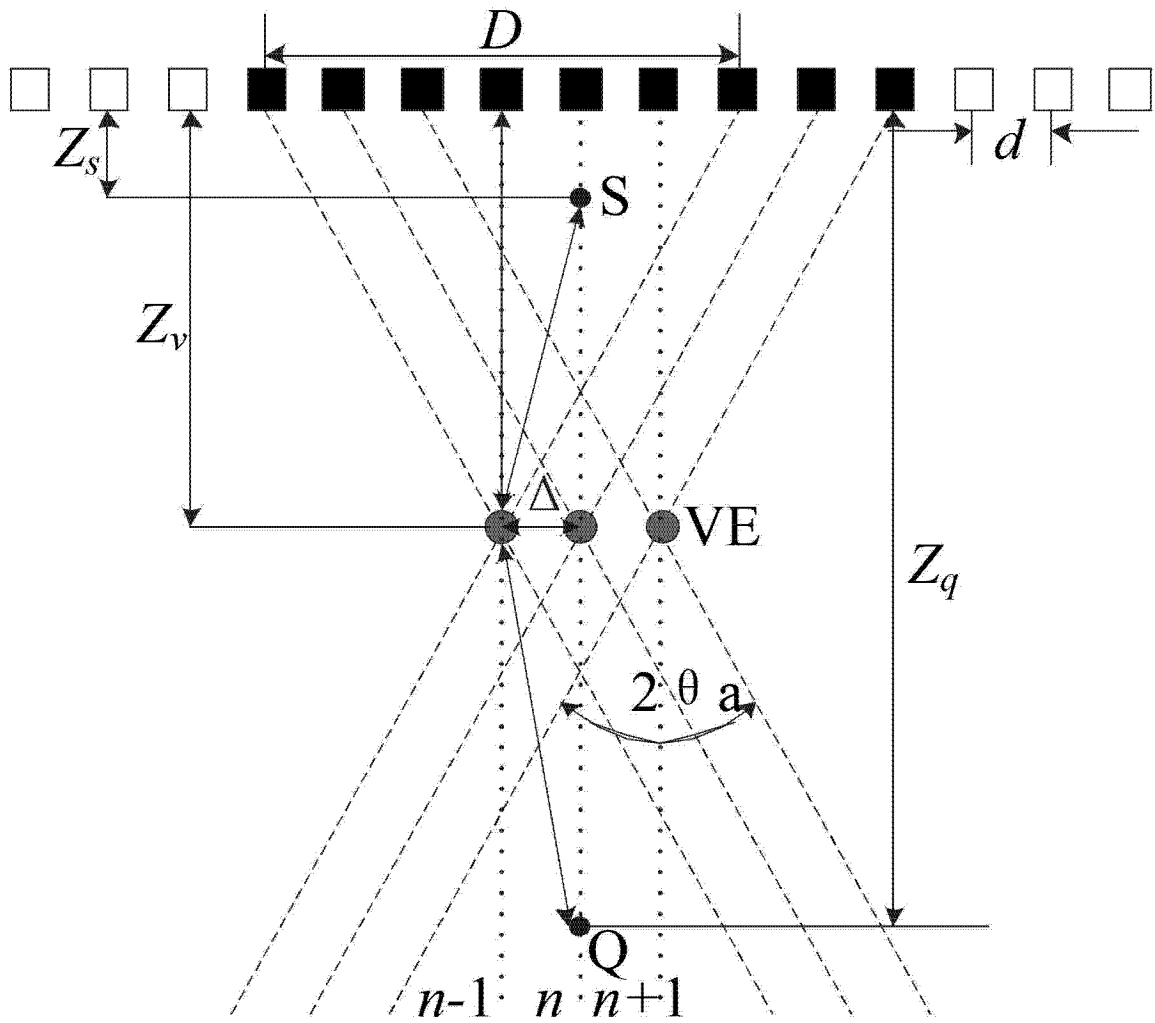


图 4

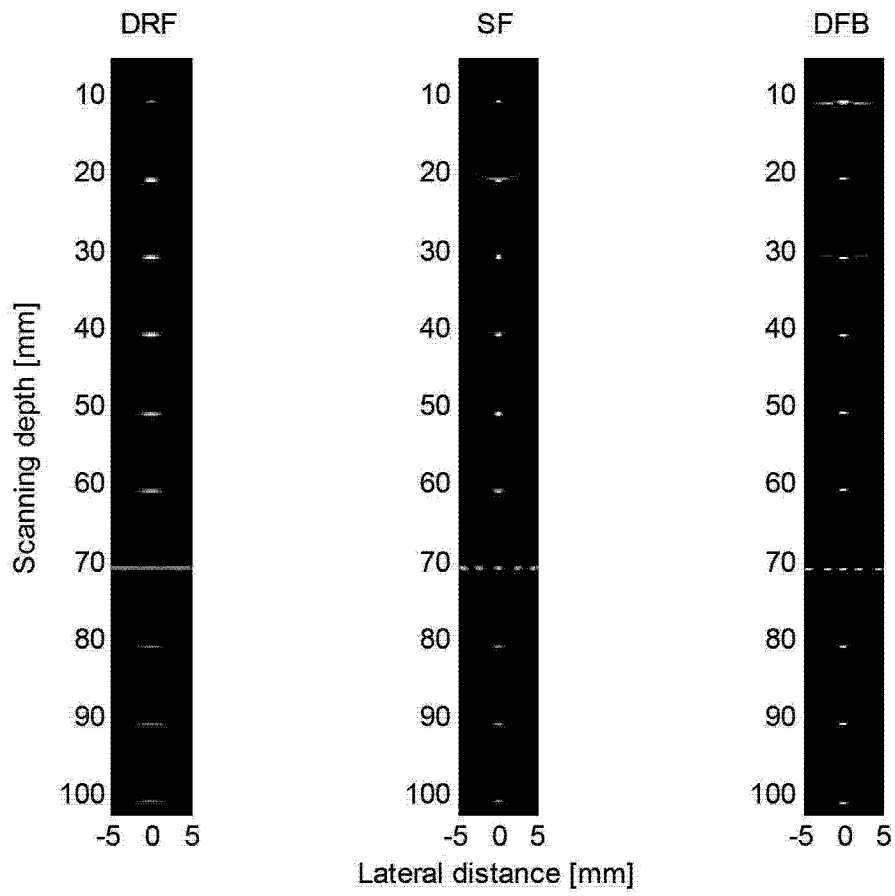


图 5

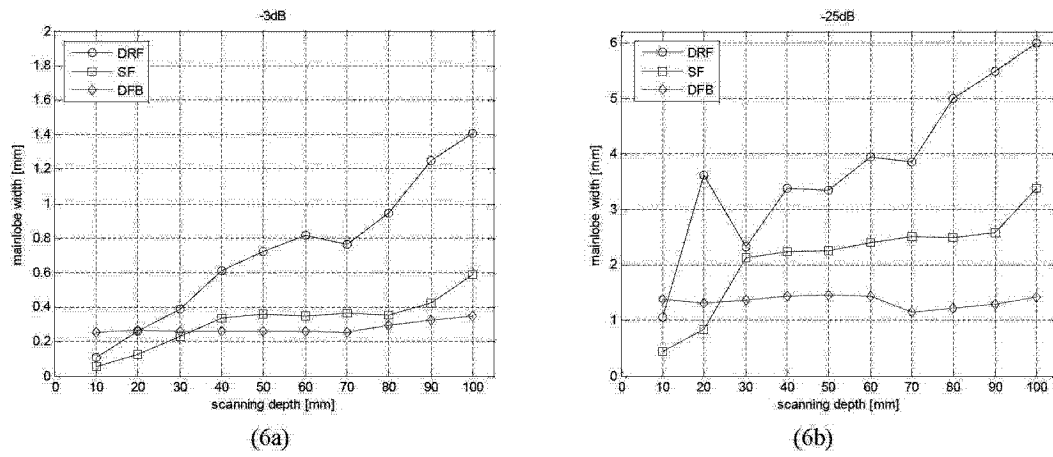


图 6

专利名称(译)	基于虚拟阵元的双聚焦波束合成方法及装置		
公开(公告)号	<a href="#">CN102727256B</a>	公开(公告)日	2014-06-18
申请号	CN201210255474.1	申请日	2012-07-23
[标]申请(专利权)人(译)	重庆博恩富克医疗设备有限公司		
申请(专利权)人(译)	重庆博恩富克医疗设备有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	重庆博恩富克医疗设备有限公司		
[标]发明人	王平 蒋辉 唐英勇 赵久明		
发明人	王平 蒋辉 唐英勇 赵久明		
IPC分类号	A61B8/00		
其他公开文献	CN102727256A		
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虚拟阵元的双聚焦波束合成方法及装置，首先利用单一固定焦点进行第一次聚焦；然后利用虚拟阵元的概念计算第二次聚焦的延时参数；最后再根据延时叠加波束合成的原理及动态聚焦技术进行第二次聚焦，得到最终成像的扫描线数据。本发明采用将虚拟阵元技术引入到超声成像系统，结合延时叠加波束合成方法，利用2次延时叠加实现双聚焦波束合成超声成像。该方法本质就是利用两次延时叠加进行多个重叠声场的相关有效信息的提取，从而增加声波信号的信息量和能量，使得成像效果获得大幅度的提高。该方法利用两个波束合成器BF1和BF2以及一个FIFO缓存器通过两次延时叠加，无需再存储大量的低分辨率回波数据。

