



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105520752 B

(45)授权公告日 2019.11.05

(21)申请号 201510688519.8

(22)申请日 2015.10.21

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105520752 A

(43)申请公布日 2016.04.27

(30)优先权数据

10-2014-0142895 2014.10.21 KR

(73)专利权人 爱飞纽医疗器械贸易有限公司

地址 韩国首尔

(72)发明人 裴珉镐

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

公司 11227

代理人 康建峰 韩雪梅

(51)Int.Cl.

A61B 8/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 102393520 A,2012.03.28,

CN 102641136 A,2012.08.22,

EP 1008863 B1,2006.04.05,

CN 103120594 A,2013.05.29,

CN 102393520 A,2012.03.28,

CN 103120594 A,2013.05.29,

CN 103237500 A,2013.08.07,

CN 103654853 A,2014.03.26,

CN 101116622 A,2008.02.06,

CN 1283273 A,2001.02.07,

CN 102695456 A,2012.09.26,

审查员 孙晓彤

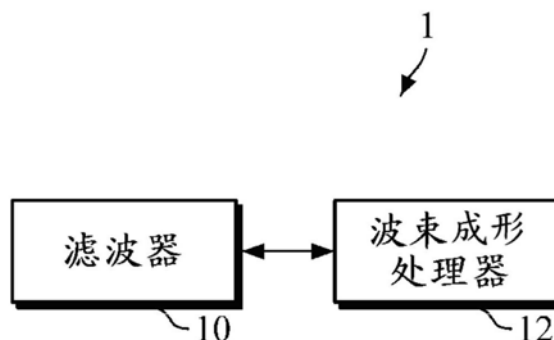
权利要求书2页 说明书13页 附图4页

(54)发明名称

波束成形设备、超声成像设备以及波束成形方法

(57)摘要

公开一种波束成形设备、超声成像设备以及波束成形方法。根据示例性实施方式的波束成形设备可以包括：滤波器，用于从组成变换函数的列中选择与低频分量对应的预定的第一列；以及波束成形处理器，用于通过使用由所选择的预定的第一列组成的变换函数来将输入信号变换至另一空间，并且在变换后空间中通过信号处理来生成波束信号。



1. 一种波束成形设备, 包括:

滤波器, 被配置成在元空间中从组成基于正交多项式的变换函数的列中去除与高频分量对应的列并选择与低频分量对应的列, 其中, 所述低频分量与焦点方向和接近焦点的波束分量对应; 以及

波束成形处理器, 被配置成通过使用由所选择的对应于低频分量的列组成的变换函数来将所述元空间的输入信号变换至变换后空间, 并且在变换后空间中通过信号处理来生成波束信号。

2. 根据权利要求1所述的波束成形设备, 其中, 所述变换函数由正交多项式组成。

3. 根据权利要求2所述的波束成形设备, 其中, 所述正交多项式是如下多项式中的一种: 厄密多项式、拉盖尔多项式、雅克比多项式、盖根鲍尔多项式、切比雪夫多项式以及勒让德多项式。

4. 根据权利要求2所述的波束成形设备, 其中, 所述波束成形处理器被配置通过使用基于正交多项式的最小方差来在所述变换后空间中执行波束成形。

5. 根据权利要求1所述的波束成形设备, 其中, 所述波束成形处理器包括:

变换器, 被配置成通过使用所述变换函数来生成关于输入信号的变换信号;

权值计算器, 被配置成计算变换信号权值, 所述变换信号权值是关于所述变换信号的权值; 以及

合成器, 被配置成通过使用所述变换信号和所述变换信号权值来生成波束信号。

6. 根据权利要求5所述的波束成形设备, 其中, 所述权值计算器被配置成根据空间协方差矩阵来计算所述变换信号权值, 所述空间协方差矩阵通过用于根据所述变换信号而生成所述空间协方差矩阵的空间平滑技术来产生。

7. 一种超声成像设备, 包括:

换能器, 被配置成向对象照射超声波, 接收从所述对象反射的所述超声波的信号, 变换所接收到的超声波的信号以及输出多个超声波信号;

波束成形器, 被配置成: 通过使用变换函数来将已经通过所述换能器输入的元空间中的超声波信号变换至变换后空间; 在变换后空间中通过信号处理来生成波束信号, 在元空间中从组成基于正交多项式的所述变换函数的列中去除与高频分量对应的列并选择和处理与低频分量对应的列, 其中, 所述低频分量与焦点方向和接近焦点的波束分量对应; 以及

图像生成器, 被配置成通过使用已经通过所述波束成形器生成的波束信号来生成图像。

8. 根据权利要求7所述的超声成像设备, 其中, 所述变换函数由正交多项式组成。

9. 根据权利要求8所述的超声成像设备, 其中, 所述正交多项式是如下多项式中的一种: 厄密多项式、拉盖尔多项式、雅克比多项式、盖根鲍尔多项式、切比雪夫多项式以及勒让德多项式。

10. 根据权利要求8所述的超声成像设备, 其中, 所述波束成形器被配置成通过使用基于正交多项式的最小方差来在所述变换后空间中执行波束成形。

11. 一种波束成形方法, 包括:

在元空间中从组成基于正交多项式的变换函数的列中去除与高频分量对应的列并选择与低频分量对应的列, 其中, 所述低频分量与焦点方向和接近焦点的波束分量对应; 以及

通过使用由所选择的对应于低频分量的列组成的变换函数来将输入信号变换至变换后空间,并且在变换后空间中通过信号处理来生成波束信号。

12. 根据权利要求11所述的波束成形方法,其中,所述变换函数由正交多项式组成。

13. 根据权利要求12所述的波束成形方法,其中,所述正交多项式是如下多项式中的一种:厄密多项式、拉盖尔多项式、雅克比多项式、盖根鲍尔多项式、切比雪夫多项式以及勒让德多项式。

波束成形设备、超声成像设备以及波束成形方法

技术领域

[0001] 以下描述涉及波束成形技术。

背景技术

[0002] 超声成像设备获取与关于对象(例如人体内所有类型的组织或结构)的层析图像、血流等有关的图像。这样的超声成像设备相对较小并且低成本、能够显示实时图像、并且因为不存在暴露于x射线的辐射危险,所以这样的超声成像设备被广泛用于医学领域,例如,涉及心脏、腹部和泌尿系统疾病的医院以及妇产科。

[0003] 超声成像设备向对象内的目标区域照射超声波,收集已经从目标区域反射的回波超声波,并且基于与所收集的超声波有关的信息来生成超声图像。为此,超声成像设备执行波束成形,以对于出自从已经由超声波探头采集的回波信号的多个信道来评估特定空间中的反射波的尺寸。波束成形用来校正已经通过多个超声波传感器例如换能器输入的超声波信号的时间差;通过向每个输入的超声波信号添加预定权值,即,波束成形参数,来加强特定位置信号;或通过相对减少其他位置信号来集中超声波信号。通过波束成形,超声成像设备可以生成用于识别对象的内部结构的适当的超声波图像,该超声波图像接着向用户显示。

发明内容

[0004] 提供一种波束成形设备、超声成像设备以及波束成形方法,以降低波束成形所需的计算量,从而降低波束成形所需的波束设备的资源使用量,并且另外提高计算速度。

[0005] 在一个方面,波束成形设备包括:滤波器,用于从变换函数的分量中去除高频分量并选择低频分量;以及波束成形处理器,用于通过使用由所选择的低频分量组成的变换函数来将输入信号变换至另一空间,并且在变换后空间中通过信号处理来生成波束信号。

[0006] 这里,变换函数可以由正交多项式组成。该正交多项式可以是如下多项式中的一种:厄密多项式、拉盖尔多项式、雅克比多项式、盖根鲍尔多项式、切比雪夫多项式以及勒让德多项式。

[0007] 变换函数V可以是勒让德多项式P,其中, $P = [P_0, P_1, \dots, P_{L-1}]^T$, $P_{mk} = \sum_{n=0}^k m^n c_{nk}$, P_k 是P的第k列,并且 c_{nk} 通过葛兰施密特正交化过程来确定。波束成形处理器可以通过使用基于正交多项式的最小方差来在变换后空间中执行波束成形。

[0008] 波束成形处理器可以包括:变换器,用于通过使用变换函数来生成关于输入信号的变换信号;权值计算器,用于计算变换信号权值,所述变换信号权值是关于变换信号的权值;以及合成器,用于通过使用变换信号和变换信号权值来生成波束信号。权值计算器可以根据空间协方差矩阵来计算权值,所述空间协方差矩阵是通过用于根据变换信号而生成空间协方差矩阵的空间平滑技术来生成。

[0009] 在另一方面,超声成像设备包括:换能器,用于向对象照射超声波,接收从对象反

射的超声波的信号,变换所接收到的超声波以及输出多个超声波信号;波束成形器,用于通过使用变换函数来将已经通过换能器输入的超声波的信号变换至另一空间;在变换后空间中通过信号处理来生成波束信号;以及从变换函数的分量中去除高频分量并选择和处理低频分量;以及图像生成器,用于通过使用已经通过波束成形器生成的波束信号来生成信号。

[0010] 在又一方面,波束成形方法包括:从变换函数的分量中去除高频分量并选择低频分量;以及通过使用由所选择的低频分量组成的变换函数来将输入信号变换至另一空间,并且在变换后空间中通过信号处理来生成波束信号。

[0011] 根据下面的详细描述、附图和权利要求,可知晓其他特征和方面。

附图说明

[0012] 图1是根据示例性实施方式的波束成形设备的示例的图。

[0013] 图2是根据示例性实施方式的波束成形处理器的示例的详细图。

[0014] 图3是根据示例性实施方式的超声成像设备的示例的图。

[0015] 图4是根据示例性实施方式的仅通过空间平滑技术来去除高频分量的示例的图。

[0016] 图5示出根据示例性实施方式的对基于勒让德多项式的变换函数P的连续波(CW)波束图案、基于傅里叶变换函数B的变换函数的连续波(CW)波束图案以及基于主成分分析的最小方差波束成形(“PCA MV BF”)方法的连续波(CW)波束图案进行比较的示例。

[0017] 图6是根据示例性实施方式的波束成形方法的示例的流程图。

[0018] 通过附图和详细描述,除非另有说明,相同的附图标记将理解为表示相同元件、特征和结构。为了清楚、说明和便利,可以放大这些元件的相对尺寸和描述。

具体实施方式

[0019] 提供以下描述以辅助读者全面理解本文中所描述的方法、设备和/或系统。因此,本领域技术人员将想到本文中所描述的方法、设备和/或系统的各种改变、修改和等同方案。而且,为了增大的清晰度和简洁度,可以省略对公知功能和结构的描述。

[0020] 图1是根据示例性实施方式的波束成形设备的示例的图。

[0021] 参照图1,波束成形设备1包括滤波器10和波束成形处理器12。

[0022] 图1示出了仅包括示例性实施方式的相关元件的波束成形设备1。因此,本领域技术人员将理解的是,图1还可以包括未示出的其他通用元件。

[0023] 而且,构成图1中所示的波束成形设备1的至少一些元件可以作为一个处理器或多个处理器。处理器可以被实现成多个逻辑门阵列或者通用微处理器和存储在该微型处理器中可执行的程序的存储器的组合。另外,本领域技术人员将理解的是,处理器可以被实现为其他类型的硬件。

[0024] 波束成形设备1接收已经从对象反射的回波信号并且生成来自对象的接收波束。在此,该对象可以为例如人体的腹部、心脏等,或者回波信号可以为已经从对象反射的超声信号,然而示例性实施方式并不限制于此。

[0025] 波束成形处理器12通过使用变换函数将元空间(element space)的输入信号变换至作为另一空间的变换后空间中,并且在变换后空间中通过信号处理来生成波束信号,然后输出波束信号。变换函数可以被表示为变换矩阵。

[0026] 波束成形处理器12的波束成形方法不同。根据示例性实施方式,波束成形处理器12使用波束空间自适应波束成形方法(在下文中称为“BABF”)、基于主分量分析的最小方差波束成形方法(在下文中称为“PCA MV BF”)等。上述方法具有下述共同特征:通过使用作为正交基矩阵的变换函数将元空间的输入信号变换至另一空间以及通过信号处理——例如仅将基本分量保留在变换后空间中的近似法——来减少关于每个输入信号(其在多个信道中输入)的空间协方差矩阵的维度。因此,可以非常简单地计算协方差矩阵的逆矩阵。

[0027] 波束成形处理器12在对空间进行变换时使用由正交多项式构成的变换函数。正交多项式是满足正交关系的一系列多项式。正交多项式可以例如为厄密多项式,拉盖尔多项式,雅可比多项式,盖根鲍尔多项式,切比雪夫多项式,或勒让德多项式中的任一多项式。在下文中,将基于勒让德多项式来描述正交多项式,然而正交多项式并非限制于此。

[0028] 波束成形处理器12使用由勒让德多项式构成的正交矩阵作为变换函数。特别地,波束成形处理器12可以在MV BF方法中将勒让德多项式用作变换函数。在这样的情况下,波束成形处理器12甚至可以通过急剧地减少MV BF的计算量来保持其性能。在下文中,使用由勒让德多项式构成的矩阵作为变换函数而将元空间的输入信号变换至变换后空间的方法被称为基于勒让德多项式(LP)的MV BF方法。

[0029] 波束成形处理器12通过LP MV BF方法而比BA BF更精确地对MV BF执行近似。此外,在通过在BABF中适当地使用傅里叶变换基函数和勒让德多项式的性质来合适地估算空间协方差矩阵时,波束成形处理器12非常简单且有效地计算用于防止由每个信道信号的相干性所引起的信号抵消的空间平滑。

[0030] 滤波器10是对元空间中与接近波束图案的前部的旁瓣对应的低频分量进行滤波和获取的低通滤波器。在此,滤波器10在构成变换函数的列中选择表示低频分量的第一列中的一些。低通滤波可执行的原因在于下述事实:当执行空间平滑时,主要去除远离前部而存在的并且形成波束图案的高频分量。在此,高频分量和低频分量指示空间中横向上的频率分量分别是高频和低频。

[0031] 在波束成形处理器12通过使用MV BF方法在变换后空间中执行波束成形的情况下,根据示例性实施方式的滤波器10可以急剧地减少计算量,这是通过使用变换后空间中的仅一些基本分量来计算空间协方差矩阵的逆矩阵所需的。例如,波束成形处理器12可以通过从变换矩阵获取第一列中的一些并且对它们的输入信号进行变换来减少空间协方差矩阵的维度。来自变换矩阵的第一列中的一些指示在计算MV BF时的基本分量。

[0032] 在波束成形处理器12在变换后空间中使用针对BA BF的傅里叶变换矩阵(其也称为巴特勒矩阵)来执行波束成形的情况下,根据示例性实施方式的滤波器10使用傅里叶变换矩阵中的第一列中的一些。第一列中的一些表示与焦点方向和接近焦点的波束分量对应的低频分量。假定干扰主要在前部方向附近生成,则波束成形处理器12可以通过仅使用该列来有效地减少空间协方差矩阵的维度。

[0033] 在波束成形处理器12通过使用PCA MV BF方法来执行波束成形的情况下,滤波器10可以通过仅使用第一列中的一些来减少空间协方差矩阵的维度,其中所述PCA MV BF方法将PCA应用于已经通过使用MV BF方法所计算的许多MV权值的集合。这样的列还可以呈现前方以及前方附近的波束分量。

[0034] 在波束成形处理器12执行基于正交多项式的MV BF方法的情况下,根据示例性实

施方式的滤波器10仅使用由正交多项式构成的变换函数的第一列中的一些。由于变换函数的该列顺序地表示从低频至高频的分量,与傅里叶变换函数相同,第一列中的一些对应于低频分量。

[0035] 在延迟和叠加波束成形(在下文中称为“DAS BF”)方法中所观测的X类型的长旁瓣可以通过MV BF的空间平滑来去除。虽然在使用基于勒让德多项式的变换函数的MV BF中通过使用这样的性质来执行维度减少以便仅处理靠近前部的旁瓣的一些性质并且去除其他高频性质,但是MV BF的性质可以被良好地保持。参照随后将描述的图4,可以确认仅通过空间平滑来去除高频性质。

[0036] 在下文中,将具体描述用于改进波束成形设备1的性能尤其横向分辨率和对比度分辨率、背景(其中当执行MV BF时使用基于正交多项式的变换函数例如勒让德多项式)及其功能的方法。

[0037] 超声诊断设备可以使用DAS BF方法来朝向期望方向对超声波束进行聚焦。在执行DAS BF时,需要将适于来自阵列单元的接收信号的类型权重值应用于DAS BF,以降低由来自不期望的方向的回波信号生成的杂波的水平,其中,存在对需要被放宽的主瓣的宽度的限制。

[0038] 作为用于通过解决这样的限制来改进超声诊断设备的性能的方法,存在应用MV BF的方法(其也称为以发明者的名称命令的卡彭波束成形)。MV BF可以用于传递来自期望方向的、作为为1的单位增益的信号并且基于输入数据通过计算和应用针对每个接收焦点的最优权重(即,切趾函数)来最优地减少来自另一方向的信号。因此,MV BF可以用于同时提高空间分辨率和对比度分辨率,因为其在降低杂波水平的同时减少了主瓣的宽度,这与DAS BF不同。

[0039] MV BF的最大缺点之一在于与DAS BF相比,所需的计算量太大,以致于不能应用于实时性较重要的超声诊断设备。也就是说,因为需要获得空间协方差矩阵的逆矩阵,所以MV BF方法可能需要大量的计算。因此,需要尽可能在不降低MV BF的性能的同时减少计算量。

[0040] 获取空间协方差矩阵的逆矩阵的操作需要最大的计算量。在空间协方差矩阵的维度是 $L \times L$ 的情况下,需要 $O(L^3)$ 计算以获得其逆矩阵。作为其解,输入数据从元空间被变换至另一空间,并且然后在所述另一空间中去除对MV BF的性能影响较小的分量,以便急剧地减少了空间协方差矩阵的维度,从而导致协方差矩阵的逆矩阵的简单计算。这样的方法可以例如包括基于傅里叶变换的BA BF、PAC MV BF等。

[0041] 波束成形处理器12使用正交多项式作为空间变换的基矩阵。与BA BF、PCA MV BF方法等相比,当空间协方差矩阵的维度等量地减小时,正交多项式可以生成较少的近似误差或相似的近似误差,该近似误差由维度减少引起。

[0042] 图2是示出了根据示例实施方式的波束成形处理器的示例的详细视图。

[0043] 参照图2,波束成形处理器12包括变换器120、权值计算器122和合成器124。

[0044] 变换器120从外部接收输入信号 x ,通过使用预定的变换函数 V 来对所接收的输入信号 x 进行变换,并且输出变换信号 u ,变换信号 u 在对输入信号进行变换之后获得。

[0045] 在一种示例实施方式中,变换器120根据由用户或系统设计者等预先设置的变换函数 V 来对输入信号 x 进行变换。在另一示例实施方式中,变换器120从被构建成具有至少一个变换函数 V 的变换函数存储器14接收用于对输入信号 x 进行变换的变换函数 V ,并且通过

使用所接收的变换函数对输入信号 x 进行变换。由变换器120生成的变换信号 u 被传送至合成器124。

[0046] 输入信号 x 可以包括通过多个信道输入的多个输入信号。即,输入信号 x 可以是多个信道的输入信号的集合。同样,变换信号 u 可以是多个信道的变换信号的集合。

[0047] 在给定变换函数 V 的情况下,变换信号 u 的维度小于输入信号 x 的维度。具体地,如果在 $M>N$ 的条件下给定变换函数为 $M\times N$ 的矩阵,并且如果给定输入信号为 $M\times 1$ 的矩阵(即,如果输入信号 x 是 M 维的),则作为计算结果的变换信号 u 给定为 $N\times 1$ 的矩阵,使得变换信号 u 的维度变得小于输入信号 x 的维度。如所述,如果维度减小,则其计算量相对地减小,使得计算的便利性并且速度能够被改善。

[0048] 可以预先设置变换函数 V 。在这样的情况下,基于可以通过经验或理论获得的各种输入信号 x 通过额外地预先计算至少一个变换函数 V 来获得变换函数 V 以限定被代入到或应用到各种输入信号 x 中的变换函数 V 中的至少一个。如上所述,可以基于预先限定的变换函数 V 中的至少一个来构建变换函数存储器14。

[0049] 变换器120从变换函数存储器14接收已经通过这样的处理获取的预定变换函数 V ,并且通过使用所接收的变换函数 V 来生成变换信号 u 。在这样的情况下,变换函数 V 可以由用户在被存储在变换函数存储器14中的多个基本向量中选择出的多个基本向量 b_v 的组合。即,变换器120可以在接收变换函数 V 的过程中接收多个基本向量,并且使用由所接收的基本向量的组合所生成的变换函数 V 来对输入信号 x 进行变换。

[0050] 所生成的变换信号 u 被传送至合成器124,并且与由权值计算器122计算的变换信号权值 β 组合,这将在下文具体描述。如上面根据示例实施方式所描述的,合成器120可以将已经被传送的输入信号 x 和变换函数 V 中的至少一个传送至权值计算器122,权值计算器122将在下文具体描述。变换器120可以将变换信号 u 传送至权值计算器122,然而这在图2中并未示出。

[0051] 权值计算器122可以计算经变换的权值 β ,经变换的权值 β 是与从变换器120输出的变换信号 u 相加的权值。权值计算器122可以通过使用输入信号 x 和变换函数 V 中的至少一个或其二者来计算变换信号权值 β 。在这样的情况下,权值计算器122可以从例如换能器之类的产生信号的信号发生器或变换函数存储器14直接接收输入信号 x 或变换函数 V 。此外,权值计算器122可以从变换器120接收上面提到的输入信号 x 或变换函数 V 。

[0052] 根据示例实施方式的权值计算器122基于由用户等预先设置的或从另外的变换函数存储器14传送的变换函数 V 和输入信号 x 来计算变换信号权值 β ,并且然后将所产生的变换信号权值 β 传送至组合器124。

[0053] 变换信号权值 β 可以根据所使用的输入信号 x 或变换函数 V 而不同。可以预先计算变换函数 V ,以通过根据输入信号 x 进行选择来定义并且使用变换函数 V ,使得变换信号权值 β 可以主要根据输入信号 x 而不同。

[0054] 可以以预定列向量的形式来给出变换信号权值 β ,并且如果以 $M\times N$ 矩阵的形式来表达变换函数 V ,则变换信号权值 β 以 $N\times 1$ 矩阵,即 $N\times 1$ 列向量的形式被给出。

[0055] 组合器124基于已经从变换器120生成并输出的变换信号 u 和已经从权值计算器122计算的变换信号权值 β 来生成结果信号 x' 。在这样的情况下,组合器124可以通过组合变换信号 u 和变换信号权值 β 来生成结果信号 x' ,例如,可以通过计算变换信号 u 和变换信号权

值 β 的加权和来生成结果信号 x' 。作为结果,波束成形设备可以生成并且输出在关于预定输入信号 x 进行波束成形之后已经获得的结果信号 x' 。

[0056] 图3是示出根据示例实施方式的超声成像设备的示例的图。

[0057] 参照图3,超声成像设备3包括换能器300、波束成形器310、图像生成器320、显示器330、存储器340和输出端350。

[0058] 波束成形器310是图1和图2中示出的波束成形设备1的示例实施方式。因此,上面关于图1和图2描述的内容同样可适用于图3中示出的超声成像设备,从而在此省略重复描述。

[0059] 超声成像设备3提供对象的图像。例如,超声成像设备3可以显示示出对象的诊断图像或者将表示关于对象的诊断图像的信号输出至外部装置,该外部装置显示示出对象的诊断图像。在此,诊断图像可以是超声图像,但是其示例实施方式不限于此。

[0060] 换能器300向对象发送信号并且从对象接收信号。换能器300将发送信号发送至对象并且接收从对象反射的回波信号。

[0061] 通过使用从预先测量的回波信号的波束成形系数所获得的多个基本向量,波束成形器310计算待被应用至已经从对象反射的回波信号的权值,将所计算的权值应用至从对象反射的回波信号,并且组合对其应用权值的信号。这里,这样的多个基本向量可以被存储在波束成形器310或存储器340中。因此,波束成形器310可以通过使用多个所存储的基本向量的至少一部分来进行波束成形。这里,可以由用户来确定基本向量的数目。同样,通过使用多个基本向量,波束成形器310计算权值并且然后应用所计算的权值,使得波束成形可以通过使用较少的计算量来被执行。

[0062] 图像生成器320通过使用已经从波束成形器310输出的信号来生成图像。图像生成器320可以包括数字信号处理器(DSP)和数字扫描变换器(DSC)。根据示例实施方式,DSP对已经从波束成形器310输出的信号执行信号处理任务;而DSC通过对使用信号获得的图像数据执行扫描和变换来生成图像,在执行信号处理任务之后获得该信号。

[0063] 显示器330显示已经由图像生成器320生成的图像。显示器330可以例如包括配备在超声成像设备中的输出装置,如显示面板、鼠标、LCD屏幕、监视器。同时,本领域的技术人员可以理解的是,超声成像设备3可以不包括显示器330,但是可以包括将由图像生成器320生成的图像输出至外部显示器的输出端350。

[0064] 存储器340存储已经由图像生成器320生成的图像和在执行超声成像设备3的操作的同时已经生成的数据。输出端350可以通过有线/无线网络、有线串行通信等来向外部设备发送数据或从外部设备接收数据。外部装置可以是另一医学成像系统、通用计算机系统、传真机等。此外,本领域的技术人员可以理解的是,存储器340和输出端350还可以包括以下形式(如图像归档通信系统(PACS))集成的图像解码和搜索功能。

[0065] 因为在波束成形器310处进行波束成形时所处理的计算量不大,所以超声成像设备3可以生成实时的高分辨率图像。

[0066] 在下文中,将使用以下等式来具体地描述各种波束成形方法。

[0067] 可以通过下面的等式1来表示超声诊断设备的波束成形处理。

[0068]

$$z[n] = \sum_{m=0}^{M-1} w_m[n] x_m[n] \quad (1)$$

[0069] 在等式1中, $x_m[n]$ 表示应用了聚焦延迟的每个信道的接收信号; m 表示信道索引; n 表示时间索引; $w_m[n]$ 表示待被应用至每个信道的信号的权值, 其也被称为切趾 (apodization); 以及 $z[n]$ 表示波束成形设备的输出。

[0070] MV BF可以用于获得 $z[n]$ 的变量, 即使功率最小化并且同时将例如应用了聚焦延迟的信号中的期望方向上的前端信号的增益保持为1的 w 。这里, $w[n] = [w_0[n], w_1[n], \dots, w_{M-1}[n]]^H$ 。因此, 在期望方向上的信号不发生任何失真的情况下, MV BF可以用于使不期望的方向上的信号影响输出的程度最小化。这样的操作由下面的等式2表示。

$$\min_{w[n]} E[|z[n]|^2] = \min_{w[n]} w[n]^H R[n] w[n] \quad \text{其中, } w[n]^H a = 1 \quad (2)$$

[0072] 这里, $E[\cdot]$ 表示期望算子; $w[n]^H$ 表示 $w[n]$ 的共轭 (Hermitian) 转置; a 表示导引向量; $x_m[n]$ 表示应用了聚焦延迟使得其全部元素由1组成的信号。 $R[n]$ 是由下面的等式3表示的空间协方差矩阵。

$$R[n] = E[x[n] x^H[n]] \quad (3)$$

[0074] 在等式3中, $x[n] = [x_0[n], x_1[n], \dots, x_{M-1}[n]]^T$ 。

[0075] 这样的等式的解由下面的等式4表示。

[0076]

$$w[n] = \frac{R[n]^{-1} a}{a^H R[n]^{-1} a} \quad (4)$$

[0077] 在实际情况下, $R[n]$ 要求被估计, 并且为了在被估计的同时防止由每个信道信号的相干性所引起的信号消除, 执行空间平滑或子孔径平均。然后, 为了改善结果图像的散斑图案的统计特性, 执行时间平均。这里提到的内容由下面的等式5表示。

[0078]

$$\tilde{R}[n] = \frac{1}{2K+1} \frac{1}{M-L+1} \sum_{k=-K}^K \sum_{l=0}^{M-L} x_l[n-k] x_l^H[n-k] \quad (5)$$

[0079] 其中,

[0080]

$$\mathbf{x}_l[n] = \begin{bmatrix} x_l[n] \\ x_{l+1}[n] \\ \vdots \\ x_{l+L-1}[n] \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0081] 在等式5中, $\frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L}$ 对应于空间平滑; 以及 $\frac{1}{2K+1} \sum_{k=-K}^K$ 对应于时间平滑。在等

式6中, $x[n]$ 表示接收信号; 以及 $X_1[n]$ 中的1表示 x 的开始索引。

[0082] 对角加载方法主要用于改进MV BF计算的鲁棒性, 其中对角加载方法用于使用 $\tilde{\mathbf{R}}[n] + \varepsilon \mathbf{I}$ 来替代 $\tilde{\mathbf{R}}[n]$, 其中:

[0083]

$$\varepsilon = \Delta \cdot \text{tr}(\tilde{\mathbf{R}}[n]) \quad (7)$$

[0084] 在等式7中, $\text{tr}()$ 表示迹算子; 以及 Δ 表示被称为对角加载因子的常量。

[0085] 需要进行以下计算以根据已经通过空间平滑获得的MV权值来获得MV BF输出。

[0086]

$$\tilde{z}[n] = \frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L} \mathbf{w}[n]^H \mathbf{x}_l[n] \quad (8)$$

[0087] 这里, 根据 $\tilde{\mathbf{R}}[n]$ 计算 $\mathbf{w}[n]$ 。

[0088] 以等式1的形式对等式8进行重新排列, 如下。

[0089]

$$\tilde{z}[n] = \frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L} \sum_{k=0}^{L-1} (w_k[n] x_{k+l}[n]) = \frac{1}{M-L+1} \sum_{m=0}^{M-1} \left[\left(\sum_{k=0}^{L-1} w_k[n] r_{m-k} \right) x_m[n] \right] \quad (9)$$

$$\text{其中, } r_k = \begin{cases} 1 & \text{对于 } 0 \leq k < M-L+1 \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

[0091] 这里, 与等式1中的 w_m 对应的标准MV BF的切趾函数是 r_k , 换言之, 其是长度为 $M-L+1$ 的矩形窗口与 $\mathbf{w}[n]^H$ 的卷积。因为众所周知焦平面上的CW波束图案是变迹函数的傅里叶变换对, 标准MV BF的变迹函数的波束图案因此被示出为矩形窗的傅里叶变换对 (即正弦函数) 与根据最小方差获得的 $\mathbf{w}[n]^H$ 的傅里叶变换对的乘积。正弦函数随着远离中心而整体逐渐减小, 并且用于假设可以仅通过空间平滑来将远离主瓣的杂波减小到一定程度。

[0092] 图4是示出根据示例性实施方式的通过仅空间平滑去除高频分量的示例的图。

[0093] 具体地,图4中的 (a) 示出了被切趾至矩形窗中的DAS BF的点目标图像;以及图4中的 (b) 示出了在 $w[n]$ 被定义为矩形函数的情况下执行空间平滑的MV BF的点目标图像。

[0094] 假设 $L=M/4$ 并且发送了前方方向的平面波。参照图4的 (b), 可以确定的是,仅通过MV BF的空间平滑适当地去除了在图4的 (a) 中所示的DAS BF中所观察到的X型长边旁瓣。可以确定的是,尽管在使用基于正交多项式的变换函数(例如勒让德多项式)的MV BF中通过使用这样的属性来执行降维以处理仅靠近前方的旁瓣的属性并且去除其它高频属性,但标准MV BF的属性可以被很好地保持。

[0095] 在下文中,将具体来描述MV BF方法,该MV BF方法将MV BF变换到另一空间中而非将 x 应用在 x 的原始空间(即元空间)中并且在变换后空间中执行MV BF。

[0096] 假设变换函数 V 是 $L \times L$ 满秩矩阵并且 V 的列是彼此正交的,等式4中的任何权值可以如下以 V 的列的线性组合的方式来示出。

$$[0097] \quad w = V\beta \quad (10)$$

[0098] 其中, β 表示 $L \times 1$ 列向量。

[0099] 然后,关于给定 V ,MV BF的解被计算如下。

$$[0100] \quad \beta = \frac{\mathbf{R}_1^{-1} \mathbf{v}_1}{\mathbf{v}_1^H \mathbf{R}_1^{-1} \mathbf{v}_1} \quad (11)$$

[0101] 此处, $R_1 = VHRV = E[u \cdot u^H]$; $u = VHx$; and $v_1 = VHa$ 。也就是说,等式11表示空间的MV BF解,其中 x 被变换成 VH 。

[0102] 在实际的情况下,需要空间平滑以便估计 $\tilde{\mathbf{R}}_1$,该 $\tilde{\mathbf{R}}_1$ 通过以下等式12来计算。

$$[0103] \quad \tilde{\mathbf{R}}_1 = \frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L} \mathbf{u}_l \mathbf{u}_l^H \quad (12)$$

[0104] $\tilde{\mathbf{R}}_1$ 代入等式11中的 R_1 。此处 $u_l = VHx_l$,其中,

$$[0105] \quad \mathbf{u}_l = \begin{bmatrix} u_{l,0}[n] \\ u_{l,1}[n] \\ \vdots \\ u_{l,L-1}[n] \end{bmatrix} \quad (13)$$

[0106] 以下等式是在考虑空间平滑的情况下波束成形设备的输出。

$$[0107] \quad \tilde{z} = \frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L} \beta^H \mathbf{u}_l \quad (14)$$

[0108] 同时,变换后空间中的MV BF方法可以通过特别地仅使用变换后空间中的一些主要分量来大幅地降低计算量,这需要计算 $\tilde{\mathbf{R}}$ 的逆矩阵。由于构成 V 的第一列中的一些表示在

执行MV BF计算方面的主要分量,因此通过仅使用这样的列来对输入信号x进行变换,使得 $\hat{\mathbf{R}}$ 的维数可以被降低。因此,可以大大地降低在计算逆矩阵时所示的计算量。

[0109] 如果 $\hat{\mathbf{V}}$ 表示由V的第一列构成的子空间,则可以获得以下等式。

$$[0110] \quad \hat{\mathbf{V}} = [\mathbf{v}_0, \mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_{Q-1}] \quad (15)$$

[0111] 其中, $Q \leq L$ 。然后,通过使用这样的 $\hat{\mathbf{V}}$ 而计算的权值如下。

$$[0112] \quad \hat{\mathbf{w}} = \hat{\mathbf{V}} \hat{\boldsymbol{\beta}} \quad (16)$$

$$[0113] \quad \text{其中, } \hat{\boldsymbol{\beta}} = \frac{\hat{\mathbf{R}}_1^{-1} \hat{\mathbf{v}}_1}{\hat{\mathbf{v}}_1^H \hat{\mathbf{R}}_1^{-1} \hat{\mathbf{v}}_1}, \quad \hat{\mathbf{R}}_1 = E[\hat{\mathbf{u}} \cdot \hat{\mathbf{u}}^H], \quad \hat{\mathbf{u}} = \hat{\mathbf{V}}^H \mathbf{x}_l \text{ 以及 } \hat{\mathbf{v}}_1 = \hat{\mathbf{V}}^H \mathbf{a}。$$

[0114] 在实际的情况下,在使用空间平滑来估计 $\hat{\mathbf{R}}_1$ 的情况下, $\hat{\mathbf{R}}_1$ 被表示成如下。

$$[0115] \quad \hat{\mathbf{R}}_1 = \frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L} \hat{\mathbf{u}}_l \hat{\mathbf{u}}_l^H \quad (17)$$

[0116] 其中,

$$[0117] \quad \hat{\mathbf{u}}_l = \begin{bmatrix} u_{l,0}[n] \\ u_{l,1}[n] \\ \vdots \\ u_{l,Q-1}[n] \end{bmatrix} \quad (18)$$

[0118] 在下文中,将通过使用以下等式来描述MV BF中的变换函数。

[0119] 用于减少MV BF的逆矩阵计算的已知变换函数是用于BA BF的傅里叶变换矩阵(其也被称为Butler矩阵)、用于PCA MV BF的由PCA所获取的矩阵等。

[0120] 作为傅里叶变换矩阵 $\mathbf{B} \in \mathbb{C}^{L \times L}$ 的第m行和第n列的分量的 $B_{m,n}$ 通过以下等式来表示。

$$[0121] \quad B_{m,n} = \frac{1}{\sqrt{L}} e^{-j2\pi mn/L} \quad (19)$$

[0122] 这样的傅立叶变换矩阵将元空间变换成变换后空间。它们中的第一列中的一些列表示低频分量,其与焦点方向和靠近焦点的波束分量对应。如果假设干扰大部分发生在前方方向附近,则可以通过仅使用这样的列来有效地降低维数。此外,如上所述,空间平滑具有以下效果:用于降低距前方较远处存在的干扰。

[0123] 在作为另一方法的PCA MV BF中,变换函数V通过向许多MV权值中的一组权值施加PCA来获取,所述许多MV权值是通过在与实际图像处理环境类似的环境中使用标准MV BF而

计算的。因此,这样的V的列由主要分量构成,并且可以通过仅使用第一列中的一些来充分地降低维数。这样的列也表示前方方向和靠近前方的波束分量。

[0124] 在下文中,将参照以下等式来描述根据示例性实施方式的由勒让德多项式构成的变换函数。

[0125] 根据示例性实施方式的波束成形设备使用LP MV BF方法,该LP MV BF方法使用由勒让德多项式构成的矩阵作为变换函数以将元空间的信号变换至变换后空间。在下文中,相比于使用另一变换函数的情况,将具体地描述在使用勒让德多项式的情况下的MV BF性能。

[0126] 与傅里叶变换函数一样,由勒让德多项式构成的变换函数的第一列中的一些可以充分地表示低频分量。在葛兰施密特正交化处理被施加于一系列多项式 $\{1, n, n^2, \dots, n^{L-1}\}$ 之后所获取的勒让德多项式中的每个可以用作V的列。换言之, $V=P$, $P=[P_0, P_1, \dots, P_{L-1}]$,

其中 P_k 表示第k列; $P_k=[P_{0k}, P_{1k}, \dots, P_{(L-1)k}]^T$;以及 $p_{mk} = \sum_{n=0}^k m^n c_{nk}$ c_{nk} 通过葛兰施密特正交化处理来确定。

[0127] 例如, P_2 通过以下等式来表示。

$$[0128] \quad \mathbf{P}_2 = \begin{bmatrix} p_{02} \\ p_{12} \\ p_{22} \\ \vdots \\ p_{(L-1)2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{02} \\ c_{22} + c_{12} + c_{02} \\ 4c_{22} + 2c_{12} + c_{02} \\ \vdots \\ (L-1)^2 c_{22} + (L-1)c_{12} + c_{02} \end{bmatrix} \quad (20)$$

[0129] P的列表示按顺序从低频到高频的分量。

[0130] 图5是示出根据示例性实施方式的对基于勒让德多项式的变换函数P的连续波(CW)波束图案、基于傅里叶变换函数B的变换函数的连续波(CW)波束图案以及基于主成分分析的最小方差波束成形(“PCAMVBF”)方法的连续波(CW)波束图案进行比较的示例。

[0131] 更具体地,图5示出了P的第二列(即, P_1 的CW波束图案)与变换函数B和PCA MV BF的变换函数 $\hat{\mathbf{V}}$ 的第二列的CW波束图案的比较。

[0132] 在等式16(即 $\hat{\mathbf{w}} = \hat{\mathbf{V}}\hat{\boldsymbol{\beta}}$)中,由于 $\hat{\mathbf{w}}$ 通过使用 $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ 来计算第一列的加权和, $\hat{\mathbf{w}}$ 的CW波束图案还通过使用 $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ 来计算 $\hat{\mathbf{V}}$ 的列的CW波束图案的加权和。可以确定的是,来自P的CW波束图案与PCA MV BF的变换函数的CW波束图案具有相当类似的图案。

[0133] 然而, P_1 具有比B的第二列 b_1 低得多并且不同于 b_1 的频率分量, P_1 的波束图案的绝对值关于0对称。这样的特征具有以下优点:与使用B的情况相比,使用P的情况还更加有效地防止甚至在 $Q=2$ 的情况下在前方附近存在的干扰,使得点目标图像可以更尖锐和对称。

[0134] 同时,B的一个列的CW波束图案中的零点的方向还与甚至在另一列的CW波束图案中的零点方向相同,但在P的情况下,其方向可以不相同,如在图2中所示的。例如,在 $Q=2$ 的情况下,如果从 p_1 的CW波束图案的第一零点方向接收到干扰,则即使使用任何的 $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ 也不能

去除这样的干扰。这是因为P1对该方向不具有任何响应。即使在使用PCA MV BF的变换函数的情况下,这样的点也可能几乎是相同的,并且在使用CW情况下这样的点可能具有严重的缺点。然而,由于在使用宽带信号的实际超声诊断设备中各种频率混合,所以这样的零点未清楚地示出在波束图案中,这不是大问题。然而,关于相同的维数降低,分解相邻点目标的LP MV BF性能与其他两种方法类似或比其他两种方法更优异;以及关于由维数降低引起的近似误差,LP MV BF几乎总是比BA BF少,并且在大多数情况下,LP MV BF与PCA MV BF没有不同。

[0135] LP MV BF的优点之一在于其变换函数由仅实数构成。原则上,BA BF或PCA MV BF需要由复数构成。因此,变换计算变得简单。

[0136] 图6是示出根据示例性实施方式的波束成形方法的示例的流程图。

[0137] 参照图6,在610中,根据示例性实施方式的波束成形设备通过使用变换函数来将元空间的输入信号变换至作为另一空间的变换后空间,并且通过信号处理来生成并输出波束信号。

[0138] 波束成形设备在变换空间时使用由正交多项式构成的变换函数。正交多项式是满足正交关系的一系列多项式。正交多项式可以是例如厄密多项式、拉盖尔多项式、雅可比多项式、盖根鲍尔多项式、切比雪夫多项式或勒让德多项式中的任何一个。

[0139] 波束成形设备在变换空间时使用由勒让德多项式构成的正交矩阵来作为变换函数。具体地,波束成形设备可以使用勒让德多项式作为MV BF方法中的变换函数。在这样的情况下,尽管MV BF的计算量被大幅地降低,但其性能可以被保持。

[0140] 在610中,波束成形设备通过使用用于波束成形的低通滤波器来滤波并获取元空间中的低频分量,该低频分量与靠近波束图案的前方的旁瓣对应。此处,波束成形设备从构成变换函数的列中选择表示低频分量的第一列中的一些。低通滤波器能够执行的原因归因于以下事实:通过空间平滑主要去除了高频分量,该高频分量远离前方而存在并且在该高频分量中形成有波束图案。

[0141] 在波束成形设备通过使用MV BF方法在变换后空间中执行波束成形的情况下,波束成形设备可以通过使用变换后空间中的仅一些主要分量来大幅地降低计算量,这对于计算空间协方差矩阵的逆矩阵是必需的。例如,通过选择变换函数中的第一列中的一些并且对输入信号进行变换来降低空间协方差矩阵的维数。变换函数中的第一列中的一些表示MV BF计算中的主要分量。

[0142] 在波束成形设备执行基于正交多项式的MV BF方法的情况下,由正交多项式构成的变换函数的第一列中的仅一些被使用。由于变换函数的这些列表示按顺序从低频到高频的分量,与傅里叶变换函数相同,所以第一列中的一些对应于低频分量。

[0143] 在DAS BF方法中观察到的X型长旁瓣通过MV BF的空间平滑来去除。尽管在使用基于正交多项式的变换函数的MV BF中通过使用这样的属性来执行降维以仅处理靠近前方的旁瓣的属性并且去除其它高频属性,但MV BF的属性可以被很好地保持。参照稍后将描述的图4,可以确定高频属性仅通过空间平滑来去除。

[0144] 如上所述,示例性实施方式都可以应用于各种阵列信号处理领域,例如雷达、声纳、非破坏性检查等以及超声成像设备。

[0145] 在示例性实施方式中,在通过使用波束成形设备、超声成像设备和波束成形方法

来执行输入信号的波束成形并且获取结果信号的过程中,可以降低所需的计算量。因此,执行波束成形的所有类型的设备例如超声成像设备可以降低波束成形所需的资源。具体地,通过使用由正交多项式构成的变换函数将输入信号变换到新空间中,使得计算MV BF方法中的协方差矩阵的逆矩阵的复杂度可以被大幅降低。

[0146] 另外,关于输入信号的波束成形速度可以较快,使得可以降低波束成形过程的持续时间。此外,波束成形设备还可以获取解决所有类型的问题(例如超声图像的延迟输出、设备的过载或过热)的效果。此外,可以获取以下效果:由波束成形设备中的资源使用量的降低而引起的在波束成形设备中消耗的电力降低;以及由使用低规格的计算设备而引起的成本降低。

[0147] 示例性实施方式都可以应用于包括超声成像设备的各种阵列信号处理领域,例如雷达、声纳、非破坏性检查等。

[0148] 以上已经描述了许多示例。然而,应当理解的是,可以做出各种修改。例如,在以不同的顺序来执行所描述的技术的情况下以及/或者在所描述的系统、结构、设备或电路中的部件以不同方式进行组合和/或由其它部件或其等同物来替换或补充的情况下,可以实现合适的结果。因此,其它实现落入所附权利要求的范围内。

[0149] 相关申请的交叉引用

[0150] 本申请按照35U.S.C. §119(a) 要求2014年10月21日提交给韩国知识产权局的韩国专利申请No.10-2014-0142895的优先权,其全部内容为了各种目的通过引用结合于此。

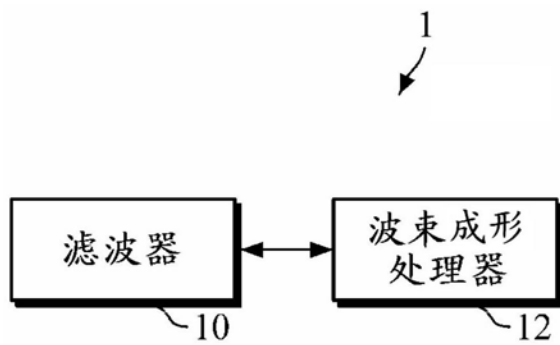


图1

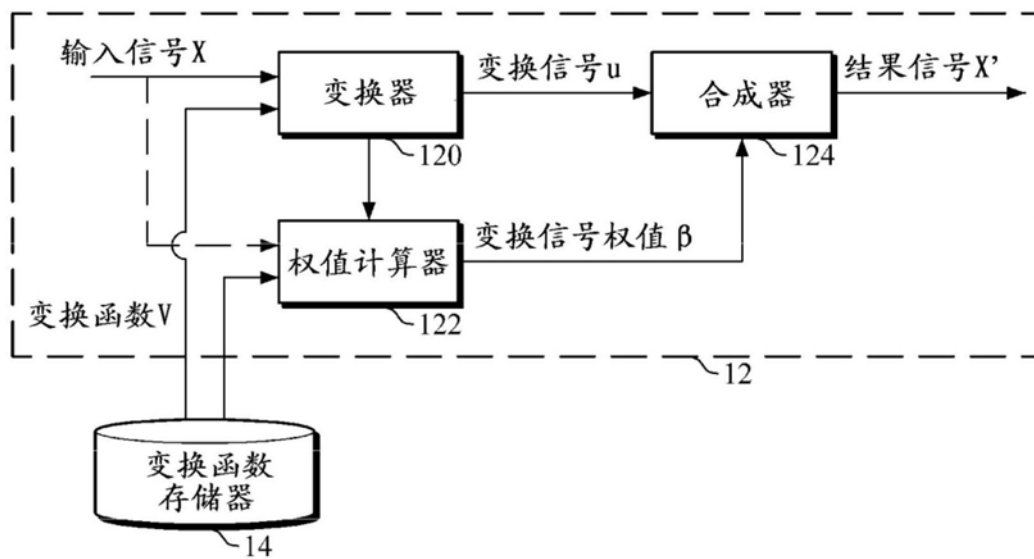


图2

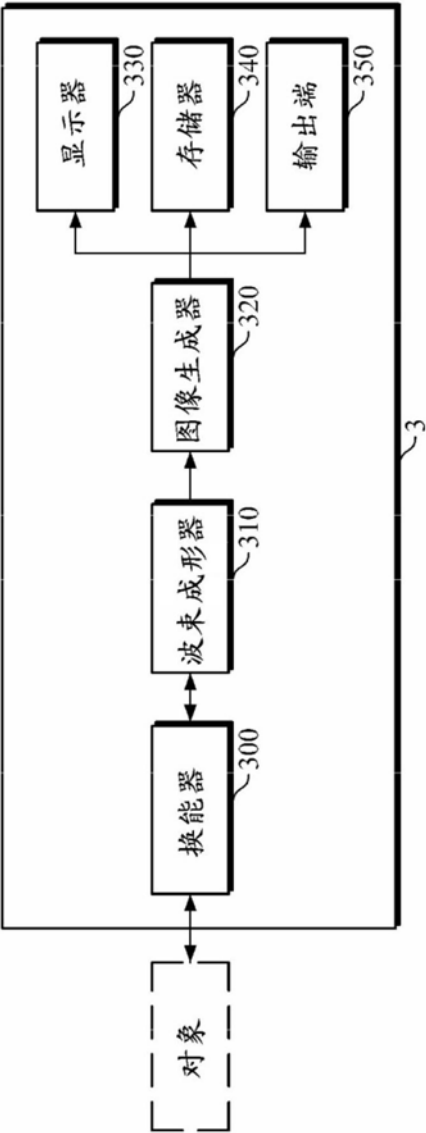


图3

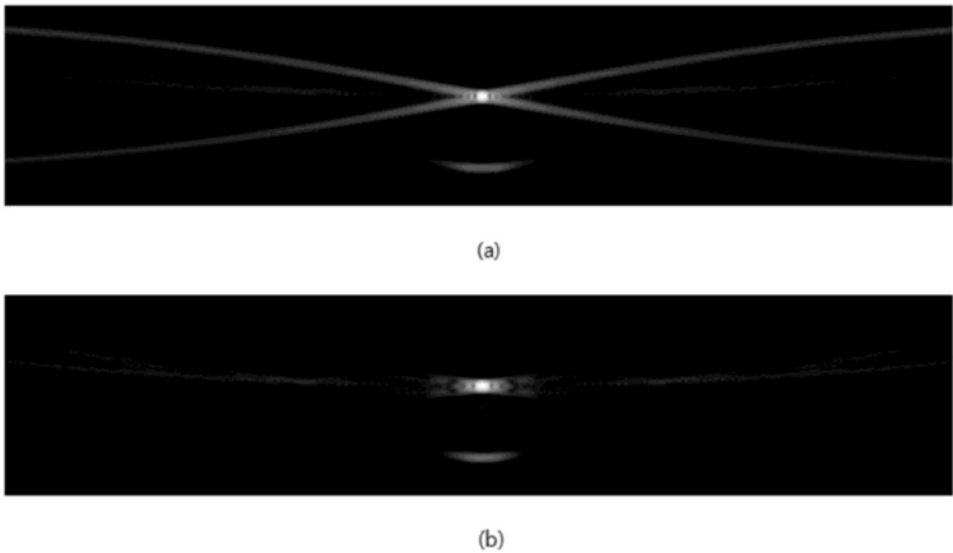


图4

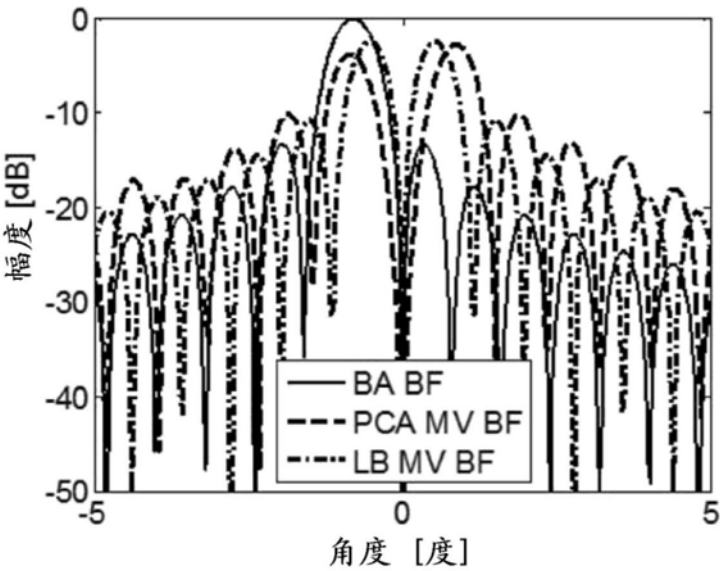


图5

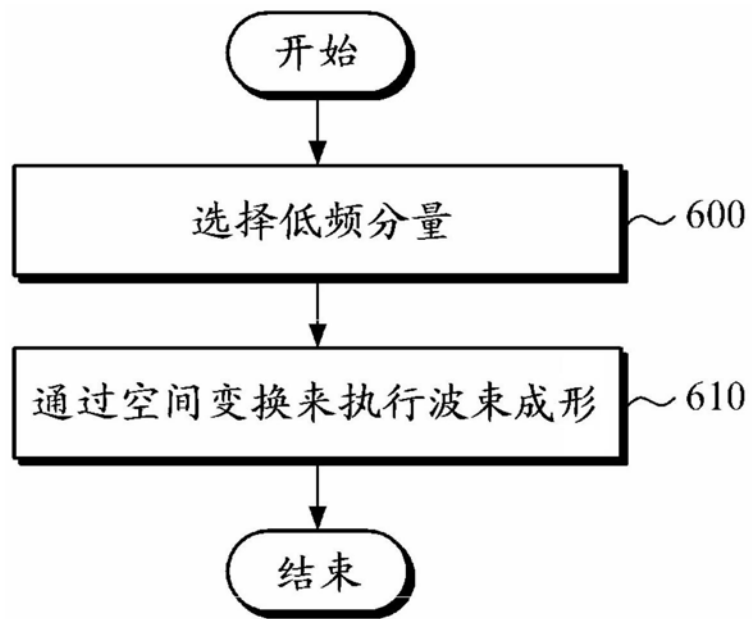


图6

专利名称(译)	波束成形设备、超声成像设备以及波束成形方法		
公开(公告)号	CN105520752B	公开(公告)日	2019-11-05
申请号	CN201510688519.8	申请日	2015-10-21
[标]申请(专利权)人(译)	爱飞纽医疗机械贸易有限公司		
申请(专利权)人(译)	爱飞纽医疗机械贸易有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	爱飞纽医疗机械贸易有限公司		
[标]发明人	裴斌镐		
发明人	裴斌镐		
IPC分类号	A61B8/00		
CPC分类号	A61B8/5207 G01S7/52047 G10K11/343 A61B8/14		
代理人(译)	康建峰 韩雪梅		
审查员(译)	孙晓彤		
优先权	1020140142895 2014-10-21 KR		
其他公开文献	CN105520752A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

公开一种波束成形设备、超声成像设备以及波束成形方法。根据示例性实施方式的波束成形设备可以包括：滤波器，用于从组成变换函数的列中选择与低频分量对应的预定的第一列；以及波束成形处理器，用于通过使用由所选择的预定的第一列组成的变换函数来将输入信号变换至另一空间，并且在变换后空间中通过信号处理来生成波束信号。

1
↓

