

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利申请公开说明书

A61B 8/00 (2006.01)

G01S 7/52 (2006.01)

G01S 15/00 (2006.01)

G01S 15/89 (2006.01)

[21] 申请号 200610067377.4

[43] 公开日 2006年11月15日

[11] 公开号 CN 1861003A

[22] 申请日 2006.3.24

[21] 申请号 200610067377.4

[30] 优先权

[32] 2005.3.25 [33] US [31] 11/089996

[71] 申请人 美国西门子医疗解决公司

地址 美国宾夕法尼亚州

[72] 发明人 J·C·拉岑比

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 吴立明 张志醒

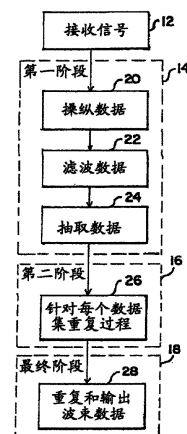
权利要求书 4 页 说明书 14 页 附图 1 页

[54] 发明名称

多阶段波束形成

[57] 摘要

以复杂性 $O(N)$ 的 $\log(N)$ 个步骤来执行 N 个单元(62)的波束形成。在每个单元(62)处所测量的信号被看作是波束宽度等于单元图案或发射照明的宽度的、由那个单元所形成的接收波束。在多个阶段(64)的每个阶段中,通过有效地加倍节距,单元(62)的数目被减半。由每个单元(62)形成的波束的数目通过在 $\sin(\theta)$ 中使波束宽度变窄 2 倍而被加倍。由于操纵(20)和聚焦被分离,所以在针对每个有限深度的多阶段波束形成之前,单个延迟集被单独应用到每个单元信号上。数据是扇形格式的,但是通过使用两个波束形成步骤,可以提供 Vector[®] 格式的数据。



1. 一种用于对在阵列处接收的、来自一区域的数据进行波束形成的方法，其包括：

在多个、即N个单元(62)中接收(12)信号；

响应于所述信号对第一和第二数据集进行滤波(22)；

对第一和第二所滤波的数据集进行抽取(24)；和

对第一和第二所抽取的数据集的每个数据集重复(26、28)滤波(22)和抽取(24)。

2. 根据权利要求1所述的方法，进一步包括：

在第一和第二不同方向上操纵(20)所述信号；

其中，该第一数据集对应于在第一方向上被操纵的信号，并且该第二数据集对应于在第二方向上被操纵的信号。

3. 根据权利要求2所述的方法，其中，接收(12)所述信号包括接收(12)连续波信号，并且其中，操纵(20)所述信号包括在该信号上应用第一和第二相移集。

4. 根据权利要求2所述的方法，其中，接收(12)所述信号包括接收(12)脉冲波信号，并且其中，操纵(20)所述信号包括在该信号上应用第一和第二延迟集。

5. 根据权利要求2所述的方法，其中，滤波(22)包括应用低通滤波器(68)，该低通滤波器(68)可操作来减少第一数据集的正高频处的信息，并且该低通滤波器(68)可操作来减少第二数据集的负高频处的信息。

6. 根据权利要求1所述的方法，其中，滤波(22)包括应用低通滤波器(68)。

7. 根据权利要求1所述的方法，其中，针对滤波(22)和抽取(24)的每次重复，每个数据集中的值的数目减少而且数据集的数目增加，所述重复(26、28)被执行直到每个数据集包括单个值。

8. 根据权利要求1所述的方法，进一步包括：

在滤波(22)之前对信号应用延迟分布，该延迟分布与第一深度相对应；和

针对多个深度中的每个深度重复(26、28)接收(12)、应用、滤波(22)、抽取(24)和重复(26、28)滤波(22)和抽取(24)，

所述多个深度之一是第一深度。

9. 根据权利要求8所述的方法, 进一步包括:

针对多个深度中的每个深度重复(26、28)接收(12)、应用、滤波(22)、抽取(24)和重复(26、28)滤波(22)和抽取(24)时, 对上述每次重复应用同一个延迟集, 所述延迟集是远离所述区域的单元(62)的起点的障碍函数。

10. 根据权利要求9所述的方法, 进一步包括:

应用所述同一个延迟集, 以致所述起点与虚发射点对应。

11. 根据权利要求1所述的方法, 其中所述单元(62)包括多维换能器阵列。

12. 根据权利要求11所述的方法, 进一步包括以两个循环执行滤波(22)、抽取(24)和重复(26、28)滤波(22)和抽取(24), 第一循环沿着第一维进行, 而第二循环沿着不同于第一维的第二维进行。

13. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 滤波(22)包括空间滤波(22)。

14. 一种用于对在阵列处接收的、来自一区域的数据进行波束形成的方法, 其包括:

在相应的N个单元(62)处接收(12)N个信号, 该N个信号是一数据集;

应用(14)第一阶段, 该第一阶段可操作来将该数据集增加第二因子以增加数目为X的数据集, 并且将X个数据集的每个数据集中的N个信号减小第一因子以减小到M个信号; 和

应用(16)第二阶段, 该第二阶段可操作来将数目为X的数据集增加第四因子以增加数目为Y的数据集, 并且将Y个数据集的每个数据集中的M个信号减小第三因子以减小到O个信号;

其中该第一、第二、第三和第四因子彼此相同或不同。

15. 根据权利要求14所述的方法, 其中所述第二和第四因子是2, 所述第一和第三因子是 $1/2$ 。

16. 根据权利要求14所述的方法, 其中应用(12)所述第一阶段包括:

在第一和第二不同方向上操纵(20)所述N个信号, 在第一方向

上被操纵的 N 个信号是数目为 X 的数据集的第一数据集, 在第二方向上被操纵的 N 个信号是数目为 X 的数据集的第二数据集;

对所述第一和第二数据集进行滤波 (22); 和

响应于所述滤波 (22), 抽取 (24) 所述第一和第二数据集。

17. 根据权利要求 16 所述的方法, 其中应用 (16) 所述第二阶段包括, 响应于所述抽取 (24), 针对第一和第二数据集的每个数据集重复 (26) 操纵 (20)、滤波 (22) 和抽取 (24)。

18. 根据权利要求 14 所述的方法, 其中 X 乘以 M 等于 N , 而 Y 乘以 O 等于 N 。

19. 根据权利要求 18 所述的方法, 进一步包括应用 (18) 附加阶段, 每个附加阶段增加数据集的数目并减少每个数据集中的信号的数目, 最终阶段为每个数据集提供单个值。

20. 一种用于对来自一区域的超声数据进行波束形成的系统 (60), 该系统 (60) 包括:

可操作来与相应的多个换能器单元 (62) 连接的第一多个延迟 (66), 该第一多个延迟 (66) 可操作来在第一和第二不同方向上操纵来自该多个换能器单元 (62) 的信号, 在第一方向上被操纵的信号是第一数据集, 而在第二方向上被操纵的信号是第二数据集;

至少第一滤波器 (68), 其与该第一多个延迟 (66) 相连, 该至少第一滤波器 (68) 可操作来对第一和第二数据集进行滤波;

至少第一抽取器 (70) 可操作来对该第一和第二所滤波的数据集进行抽取;

第二多个延迟 (66), 其可操作来与该至少第一抽取器 (70) 连接, 该第二多个延迟 (66) 可操作来在第三和第四不同方向上操纵第一所抽取的数据集, 并且可操作来在第五和第六方向上操纵第二所抽取的数据集;

至少第二滤波器 (68), 其与该第二多个延迟 (66) 相连, 至少第二滤波器 (68) 可操作来对在第三、第四、第五和第六方向上被操纵的数据集进行滤波;

至少第二抽取器 (70), 其可操作来对在第三、第四、第五和第六方向上被操纵的、所滤波的数据集进行抽取。

21. 根据权利要求 20 所述的系统 (60), 其中所述第一多个延

迟(66)、所述至少第一滤波器(68)和所述至少第一抽取器(70)包括第一阶段(64),而所述第二多个延迟(66)、所述至少第二滤波器(68)和所述至少第二抽取器(70)包括第二阶段(64);

进一步包括多个附加阶段(64),第一、第二和附加阶段中的每个阶段均可操作来增加数据集的数目并减少每个数据集中的值的数目;和

最终阶段(64),其可操作来响应于第一、第二和附加阶段输出作为数据的函数的、波束形成的数据。

22. 一种用于对来自一区域的超声数据进行波束形成的系统(60),该系统(60)包括:

第一阶段(64),该第一阶段(64)可操作来输出至少两个数据集,以响应于输入数据集,该至少两个数据集与不同的操纵方向相对应,并且每个数据集具有为输入数据集的至少一半多的值;和

第二阶段(64),该第二阶段(64)可操作来输出至少四个数据集,以响应于该至少两个数据集,该至少四个数据集与该至少两个数据集的第一数据集的不同操纵方向且与该至少两个数据集的第二数据集的不同操纵方向相对应,该至少四个数据集的每个数据集具有为该至少两个数据集的每个数据集的至少一半多的值。

23. 根据权利要求22所述的系统(60),进一步包括最终阶段(64),该最终阶段(64)可操作来输出代表不同空间位置的值,值的数目基本上等于输入数据集中的值的数目。

多阶段波束形成

技术领域

本发明涉及波束形成。特别地，来自患者的超声信号被波束形成，以提供代表一个或多个空间位置的值。

背景技术

声能作为声束被射入到患者体内。回波被接收并被转换成电信号。所接收到的信号被相对延迟和变迹 (apodize)。然后，所延迟的和所变迹的信号被一起求和。求和值代表沿接收波束的空间位置。通过改变作为时间函数的延迟和/或变迹分布 (profile)，响应于给定的发射，形成代表一条线或波束的多个波束形成值。为了扫描二维或三维区域，该过程沿多条不同的扫描线来重复。通过同时发射和/或接收多个独立波束，扫描过程可以增加。

为了提高扫描速率，覆盖患者很大区域的平面波被发射。多个接收波束形成器并行使用，以响应于同一发射形成沿不同扫描线的接收波束。可替换地，对在每个阵列单元处所接收的数据随时间应用傅立叶变换。在频域中进行处理之后，逆变换产生代表所扫描的区域中的不同位置的数据。例如，参见美国专利 No. 6685641，该专利的公开内容在此引入作为参考。对来自每个单元的无线电频率回波信号应用时间傅立叶变换。然后，对信号进行相位旋转。接着，在经过复数内插 (complex interpolation) 后应用空间傅立叶变换。空间-时间傅立叶逆变换提供了图像数据。

发明内容

通过介绍，下述优选实施方案包括波束形成的方法和系统。时域中波束形成的多个阶段有效地产生了代表不同空间位置的数据。每个阶段减少了代表有效单元数的数据，并且增加了有效波束数。例如，应用两个不同的延迟分布来在上一个阶段的波束宽度内在两个不同的方向上进行操纵。在滤波和抽取 (decimation) 之后，有效波束的数目增加，并且每个波束的有效单元数减小。通过应用多个阶段，为产生图像提供直至每个单元一个波束。

在第一方面，为对在阵列处接收的、来自一区域的数据进行波束

形成而提供一种方法。信号在多个、即 N 个单元处被接收。响应于信号的第一和第二数据集被滤波。第一和第二所滤波的数据集被抽取。针对第一和第二所抽取的数据集的每个数据集重复所述滤波和抽取。

在第二方面，为对在阵列处接收的、来自一区域的数据进行波束形成而提供一种方法。 N 个信号在相应的 N 个单元处被接收，所述 N 个信号是一个数据集。第一阶段可操作来将该数据集增加第二因子以增加数目为 X 的数据集，并且将 X 个数据集的每个数据集中的 N 个信号减小第一因子以减小到 M 个信号。第二阶段可操作来将数目为 X 的数据集增加第四因子以增加数目为 Y 的数据集，并且将 Y 个数据集的每个数据集中的 M 个信号减小第三因子以减小到 O 个信号。第一、第二、第三和第四因子彼此相同或不同。

在第三方面，为对来自一区域的超声数据进行波束形成而提供一种系统。第一多个延迟可操作来与相应的多个换能器单元相连。第一多个延迟可操来在第一和第二不同方向上操纵来自该多个换能器单元的信号。在第一方向上被操纵的信号是第一数据集，而在第二方向上被操纵的信号是第二数据集。至少第一滤波器与第一多个延迟连接，并且可操作来对第一和第二数据集进行滤波。至少第一抽取器可操作来对第一和第二所滤波的数据集进行抽取。第二多个延迟可操作来与至少第一抽取器相连。第二多个延迟可操作来在第三和第四不同方向上操纵第一所抽取的数据集，并且可操作来在第五和第六方向上操纵第二所抽取的数据集。至少第二滤波器与第二多个延迟相连。至少第二滤波器可操作来对在第三、第四、第五和第六方向上被操纵的数据集进行滤波。至少第二抽取器可操作来对在第三、第四、第五和第六方向上被操纵的所滤波的数据集进行抽取。

在第四方面，为对来自一区域的超声数据进行波束形成而提供一种系统。响应于输入数据集，第一阶段可操作来输出至少两个数据集。该至少两个数据集对应于不同的操纵方向，并且每个数据具有为输入数据集的至少一半多的值。响应于该至少两个数据集，第二阶段可操作来输出至少四个数据集。该至少四个数据集对应于上述至少两个数据集的第一数据集的不同操纵方向并且对应于上述至少两个数据集的第二数据集的不同操纵方向。该至少四个数据集的每个数据集

具有为上述至少两个数据集的每个数据集的至少一半多的值。

本发明由随后的权利要求来限定，但是本部分中的描述不应当对那些权利要求构成任何限制。在下文中结合优选实施方案讨论本发明的其他方面和优点。

附图说明

所述部件和附图不是严格按照比例的，而是重点在于说明本发明的原理。此外，在这些附图中，相同的参考编号在不同视图中指明相对应的部分。

图 1 是波束形成方法的一个实施方案的流程图；

图 2 是空间频域中的数据的一个实施方案的图形表示；

图 3A 和 B 是在空间频域中的不同方向上被操纵的两个数据集的一个实施方案的图形表示；

图 4A 和 B 是滤波之后两个数据集的一个实施方案的图形表示；

图 5A 和 B 是抽取之后两个数据集的一个实施方案的图形表示；

和

图 6 是波束形成器和单元的一个实施方案的框图。

具体实施方式

N 个单元的波束形成可以复杂度 (complexity) $O(N)$ 的 $\log(N)$ 个步骤来执行。在每个单元处被测量的信号被看作是波束宽度等于单元图案或发射照明 (transmit illumination) 的宽度的由那个单元来进行波束形成的接收。然后，应用多个阶段来使波束宽度变窄。在每个阶段中，通过有效地使节距加倍来将单元的数目减半。通过 (在 $\sin(\theta)$ 中) 使波束宽度变窄 2 倍来将由每个单元形成的波束的数目加倍。

多种实现方式是可能的。在一种实现方式中，提供焦点在无穷远的连续波波束形成。将操纵和聚焦分离，在针对有限深度处的焦点的多阶段波束形成之前，对每个单元信号单独应用单组延迟。这些延迟可以是动态的。在一种实现方式中，所述数据代表源自阵列中心的、扇形格式的波束。但是，通过使用两个波束形成步骤，所述数据代表源自阵列后面的虚顶点的、Vector® 格式的波束。二维阵列的波束形成使用将在仰角 (elevation) 上操纵与在方位角上操纵分离。在另一种实现方式中，通过在虚点源位置上用虚顶点建立向量数据来提供虚点源发射。在上述格式中，恒定传播时间的发射弧与在给定时间或

距离时从波束形成器中输出的数据的弧相对应。下面将依次对这些实现方式的每种实现方式进行讨论。

图 1 示出用于对在阵列处接收的、来自一区域的数据进行波束形成的方法。该方法与连续波波束形成相对应，但是可应用到其他实现方式中。该方法包括接收信号 12 和应用两个或多个阶段 14、16、18。另外，也可以提供不同的或更少的动作。例如，为 128 个单元的阵列提供总共七个阶段。作为另一个例子，只有两个阶段被应用，以提供波束形成的数据或其他用途的数据。可以采用其他动作顺序。

在动作 12 中，信号在多个、即 N 个单元处被接收。例如，接收孔中的每个单元在给定时间将声能转换成电信号。信号提供一数据集。对于 N 个单元，该数据集包括 N 个信号。信号是模拟信号或被转换成数字信号。

在一种实现方式中，信号是响应于连续波 (CW) 发射所接收的连续波信号。对于远场 CW 成像，来自阵列的每个单元的信号用单个复数来表示，但是也可以使用其他表达方式。每个单个单元具有很宽的空间带宽，所以来自多个方向的信号贡献于上述信号。将这些信号归一化到空间采样频率 2，空间频率从 -1 扩展到 $+1$ 。所有可能的信号均在归一化的范围内。但是，如图 2 中所示，感兴趣信息被假设为在从 $-1/2$ 到 $1/2$ 的频率范围内。感兴趣信息的更大或更小的对称或不对称范围可以被使用。针对更大的初始带宽，可以使用内插，以提供来自每个实际单元之间的虚拟单元的信号，这引起空间带宽下降到 $-1/2$ 到 $1/2$ 的范围。

在动作 14 中，应用第一波束形成阶段。所述波束形成阶段可操作来增加数据集的数目，并减小每个数据集中的信号的数目。例如，来自每个单元的信号的单个数据集被输入。数据集的数目被增加了一因子，诸如将一个数据集增加 2 倍以增加到两个数据集或有效波束。信号的数目 (诸如针对 128 单元阵列的 128 个信号) 被减少了一因子，诸如减小 $1/2$ 倍以从一个数据集中的 128 个信号减小到两个数据集的每个数据集中的 64 个信号。减少信号和增加数据集数目的因子可以相等、不等、相关或无关，诸如数据集的数目增加 2 倍但将信号的数目减小 $1/3$ 。

通过执行操纵动作 20、滤波动作 22 和抽取动作 24 来应用第一

波束形成阶段。另外，可以提供不同的或更少的动作。波束形成器阶段增加数据集以及相对应的有效波束的数目，诸如通过在两个或多个不同方向上操纵一个或多个输入数据集中的每个数据集来增加数据集以及相对应的有效波束的数目。波束形成器阶段通过滤波和抽取来减小每个输出数据集中的数据量，以减小每个数据集所代表的波束宽度。

在动作 20 中，信号在两个或多个不同方向上被操纵。不同的延迟或相移分布被顺次或并行应用到相同数据上。这些信号可以在正前方的任何一侧上以相等距离在左和右侧被操纵。对于三个方向，信号可以被在左侧、右侧和正前方被操纵。通过使用大量的延迟或相移分布，可以形成更多个方向和相关数据集。

所述方向由延迟或相移分布来建立，诸如对应于波束宽度的每个二等分部分的中心处的波束（也就是，左右对称地操纵），该波束宽度由输入数据集表示。例如，与数据相关的频率在不同方向上被平移。在一个实施方案中， $[\dots, \exp(-2\pi j*2/8), \exp(-2\pi j*1/8), \exp(2\pi j*0/8), \exp(2\pi j*1/8), \exp(2\pi j*2/8), \dots]$ 和 $[\dots, \exp(2\pi j*2/8), \exp(2\pi j*1/8), \exp(2\pi j*0/8), \exp(-2\pi j*1/8), \exp(-2\pi j*2/8), \dots]$ 的相位分布与输入信号相乘。也可以使用其他相位分布。相位分布被应用在横跨阵列或所有有效单元的表面的图案中。每个单元或有效单元的信号相位被旋转。

在进行操纵之后，集的数目与被应用到输入数据集（诸如输出在两个不同方向上被操纵的两个数据集）上的方向或分布的数目相对应。与在左侧和右侧操纵相对应，图 3A 和 B 示出图 2 中所示的同等地被操纵到更高正频率和更低负频率的数据集。响应于输入数据集，输出两个不同数据集。

在动作 22 中，使用空间滤波器对数据集进行滤波。在一个方向上被操纵的信号被滤波，而在另一个方向上被操纵的信号也被滤波。滤波去除了与区域相关的信息或远离感兴趣方向操纵。使用带通或低通滤波器响应。例如，低通滤波器可操作来减少图 3A 中所示数据集的正高频处的信息，而相同或不同的低通滤波器可操作来减少图 3B 中所示数据集的负高频处的信息。图 4A 和 B 示出了分别对图 3A 和 B 的数据集进行低通滤波近似得到的信号。低通滤波器允许 $|freq| < 1/4$ 的

信号通过，并抑制 (reject) $|freq| > 3/4$ 的信号。操纵和滤波的实际效果相当于中心在 $-1/4$ 和 $1/4$ 的两个滤波器。左手侧滤波器允许从 $-1/2$ 到 0 的信号通过，而右手侧滤波器允许从 0 到 $1/2$ 的信号通过。可替换地提供带通滤波，以便在同一个动作中执行操纵和滤波。

滤波对应于具有任意可能的带通特性的任意数目的抽头。例如，8 抽头低通有限冲激响应滤波器具有下述系数： -0.0242 ， -0.0496 ， 0.1329 ， 0.4341 ， 0.4341 ， 0.1329 ， -0.0496 和 -0.0242 。这种滤波器提供了 -37dB 的频带外抑制，大致导致 -37dB 峰值栅瓣 (peak grating lobe)。也可能是更长或更短的滤波器，但是可能导致引入附加的乘法器。针对一些可能的更长的滤波器，频带外抑制包括：抽头 = 8，峰值瓣 (peak lobe) = -37.5 ；抽头 = 9，峰值瓣 = -39.2 ；抽头 = 10，峰值瓣 = -46.2 ；抽头 = 11，峰值瓣 = -56.7 ；抽头 = 12，峰值瓣 = -54.5 ；抽头 = 13，峰值瓣 = -56.4 ；抽头 = 14，峰值瓣 = -62.9 ；抽头 = 15，峰值瓣 = -73.1 ；和抽头 = 16，峰值瓣 = -71.2 。如果奇数个抽头被使用，则在半带通滤波器中一些系数是零。

一旦数据集和具有有限波束宽度的两个或多个被操纵的波束中的每个波束的信息相对应，数据就被抽取。每个数据集中的所滤波的信号被抽取。可以使用任意数目的抽取，诸如抽取 2 倍。例如，来自所滤波的数据集的每隔一个数据值被去除。每个数据集中的信号数目被减小，诸如图 4A 和 B 中所示的两个数据集的每个数据集都被减半。抽取增加了数据集的带宽，诸如使带宽加倍。图 5A 和 B 分别示出通过在图 4A 和 B 中的所滤波信息的两个数据集的每个数据集中进行抽取来提供的增加的带宽。频带 $|freq| < 1/4$ 的宽度加倍到 $|freq| < 1/2$ ，而频带 $|freq| > 3/4$ 中的信号混叠到上述同一个带宽中。滤波抑制了所混叠的信号。

在作为用于操纵的输入进行抽取之后，相同数目的数据被输出，但是这些数据被划分成多个数据集。相对输入数据量的更多或更少的抽取或输出数据量可被提供。在动作 14 中应用第一阶段之后，数据集的数目增加，这对应于有效波束数目的增加。每个数据集中的数据量减少。

在动作 16 中，第二波束形成阶段被应用。第二波束形成阶段增加数据集的数目，并减少每个数据集中的信号的数目。例如，输入来

自第一阶段 14 的应用的两个数据集。数据集的数目被增加了一因子，诸如将两个数据集增加 2 倍以增加到四个数据集或有效波束。信号的数目（诸如两个集的每个集中的 64 个值的总共 128 个信号）被减少了一因子，诸如减少了 1/2，信号数目从两个数据集的每个数据集中的 64 个信号减少到四个数据集的每个数据集中的 32 个信号。用于减少信号并增加数据集的数目的因子可以相等、不同、相关或无关，诸如将数据集的数目增加 3 倍，但是将信号的数目减少 1/2。这些因子可以和第一阶段 14 的应用中所使用的因子相同或不同。

在动作 26 中，第二波束形成阶段包括对第一阶段 14 输出的每个所抽取的数据集重复滤波和抽取。针对每次重复滤波和抽取，每个数据集中的值的数目均会减少，而数据集的数目增加。例如，在左侧和右侧操纵的输入集的每个集的带宽与在动作 12 中所接收的原始数据的带宽相同，但是在那些集的每个集中通道数仅是原来的一半。所以，在动作 26 中的另一次重复之后，针对四个操纵方向（左，左）、（左，右）、（右，左）、（右，右）的数据集只提供有每个集中的通道或信号数的 1/4 的通道或信号数。

在动作 28 中，应用附加的波束形成阶段，该阶段包括最终波束形成阶段 18。每个附加阶段增加了数据集的数目，并减少了每个数据集中的信号的数目。每个输入数据集在两个或多个不同方向上被操纵。由于多个数据集被输入，所以所述操纵导致代表不同空间位置的有效波束的数目增加。通过将有效场划分为两个或多个数据集，每个阶段使每个波束的有效场变窄。在一个实施方案中，最终波束形成阶段为每个数据集提供单个值。信号值表示焦深处的波束。每个数据集对应于不同的波束。在所接收到的数据包括 N 个信号的地方，最终阶段输出在最初频带 $(-1/2, 1/2)$ 上同等展开的 N 个波束或空间频率槽 (spatial frequency bin)。在具有 128 个单元和相关接收的信号的实例中，七个波束形成阶段提供 128 个输出波束，这些输出波束贯穿由发射波束所扫描的区域间隔。波束号从最左侧的 0 到最右侧的 127。波束 64 恰好位于正前方右侧，并且正前方在空间频率 = 0 处沿着 y 轴延伸。在一个或多个最终数据集中，可以提供更多个信号。

对于脉冲波的操作，与连续波 (CW) 信号相比，所接收到的脉冲波信号具有相对大的带宽。和 CW 信号不同，脉冲波信号用值的时间

序列表示，而不是用单个复数值来表示。通过应用多个延迟集或不同的延迟分布，动作 20 中的操纵以及不同阶段中的重复可以被执行。在一个实施方案中，针对信号中所包含的最高时间频率，通道与通道或信号与信号的相对延迟量大约等于 $2\pi j/8$ 相位旋转。对于最高频率等于中心频率的两倍的大带宽信号，通道与通道或信号与信号的相对延迟是中心频率周期的 $1/16$ （对 5MHz 的中心频率而言，相对延迟大约是 12.5 纳秒）。针对每个通道，所应用的延迟是中心频率周期的 $1/16$ 的多个整数倍。如果以 16 倍中心频率来对信号进行采样，那么延迟可以是采样的整数倍。可以提供更大或更小的相对延迟。在一个实施方案中，跨越给定数据集的所有信号或通道，延迟分布是线性匀变的，但是也可以使用非线性或变化的延迟分布。

可以采用更低的采样率，诸如模数转换器以较低速率工作。例如，以 4 倍中心频率来对信号进行采样。半带或其他滤波器最高可以转换到四倍中心频率。例如，在每个信号之间插入 3 个零值，并且然后对这些信号进行低通滤波。合成信号提供了看起来像是以 16 倍中心频率采样的值。在波束形成之后，波束形成的信号被抽取，恢复到 4 倍中心频率或更低的频率，诸如窄带应用中的复数表示。

脉冲波信号通常与二维或三维成像相关联。上述波束形成器阶段形成了以相同的 $\sin(\theta)$ 聚焦在无穷远处的波束，其中延迟或相位分布是线性匀变的。可以使用延迟分布，该延迟分布是非线性和时变形式波束，该波束分别在有限深度处被聚焦和被动态聚焦。与固定的线性匀变相比，这些延迟分布更难实现。

在其他实施方案中，为了获得离散或有限深度的信息，延迟分布在第一阶段中的动作 22 中的滤波之前被应用到信号上，诸如在动作 12 之后并在动作 14 中的第一波束形成阶段之前将延迟应用到所接收的信号上。延迟分布对应于针对感兴趣深度的聚焦延迟。其余的波束形成阶段不用对有限深度应用附加的延迟分布来应用。对于动态聚焦，延迟分布针对每个有限深度或作为时间函数变化。对于每个深度，图 1 中所示的波束形成过程被重复，但是使用了不同的有限深度延迟分布。在动作 14 中的第一波束形成阶段之前应用聚焦延迟包括做出近似，其中将对波束进行聚焦与对波束进行操纵分离。这种近似能够削弱以大的操纵角进行聚焦，但是对于适当的操纵角，这种简化

可证明小削弱是正当的。

针对有限深度聚焦的延迟分布对应于焦点在期望深度处的期望的透镜。例如，近似深度延迟分布包括针对深度 R 的形式为 $-x^2/(2Rc)$ 的二次聚焦延迟，其中 x 是单元位置且 c 是声速。最大延迟被应用到位于阵列中心处的单元上。其他二次或非二次聚焦函数可以被使用。对于给定的延迟分布，在相同 $\sin(\theta)$ 的深度 R 处提供针对所扫描的区域的聚焦波束集。如果二次聚焦延迟是动态的，那么由具有相等 $\sin(\theta)$ 的波束形成扇形图像。

在其他实施方案中提供 Vector® 扫描格式。Vector® 图像波束形成的数据由两步波束形成过程产生。第一步是对输入信号进行聚焦或散焦，以使信号看起来像是在一些障碍 (backset) 处的虚点接收器上已经被测量过。对于每个深度，将一组延迟应用到所接收的数据上。这组延迟或延迟分布是来自单元的起点的障碍的函数。障碍位于阵列单元相对正被扫描的区域的相对侧。障碍是实际阵列和虚拟阵列之间的距离。例如，诸如 $x^2/(2 \cdot \text{障碍} \cdot c)$ 的二次延迟被应用到信号上。其他延迟函数、诸如线性延迟匀变、平方根函数或二次余弦或正弦函数可以被使用。

在应用固定延迟集之后，执行针对图 1 的上述波束形成过程。操纵延迟、滤波和抽取被重复，以形成针对沿多条波束的给定深度的值。通过在针对所有或大部分单元的所接收到的信号上施加固定延迟集并应用多阶段波束形成过程，信号可以表示好像是从障碍处的阵列中接收到的信号。这些值是表示信息的信号，这些信息从虚点接收器中被测量，这些虚点接收器沿半径等于障碍的弧定位且以相同的 $\sin(\theta)$ 间隔。这些值具有对准的相位。

在第二步中，虚点接收器数据（也就是，从表示虚点接收器信息的第一步中输出的值）被用于形成扇形图像。由于用于形成扇形图像而接收的数据与虚拟阵列有关，所以波束形成的输出对应于与物理阵列有关的向量图像。用于形成扇形图像的延迟分布与距虚拟阵列而不是实际阵列的距离有关，并且考虑了虚拟阵列的曲率。对于形式为 $-x^2/(2 \cdot R_p \cdot c)$ 的二次延迟， R_p 通过 $1/R_p = 1/R_v - 1/\text{障碍}$ 给出，其中障碍是障碍距离，而 R_v 是针对正在被波束形成的每个深度的从虚拟阵列到弧的距离。

针对每个感兴趣的深度，重复上述两步过程。例如，使用针对有限深度的动态延迟。Vector®区域内的代表不同空间位置的波束形成的值被提供。

Vector®或扇形波束形成的值代表沿横向延伸的空间位置。横向延伸是采样间隔和单元节距的函数。例如，使用16倍中心频率（中心频率为5MHz）的采样间隔，通道与通道的相对延迟等于采样间隔和（中心频率处的）一半波长的单元节距，远离中心14.5度操纵角提供了小于30度宽的横向延伸。最大操纵角的正弦等于 $2 * (\text{通道与通道的相对延迟}) * c / \text{节距}$ 。为了使图像更宽，节距被减小或采样间隔被增大。为了在没有使用不同阵列的情况下减小节距，信号在实际单元之间被内插。为了将最大操纵角增大到45度（ $\sin = 0.707$ ），期望 $\sqrt{2}/16$ 个波长的节距。可替换地，使用较小的最大操纵角。

用于在动作12中接收数据的发射事件是平面波或发散波。平面波与无穷远处的虚点源相关。发散波与其他位置处的虚点源相关。也可以使用其他波，诸如具有宽视野的窄波或聚焦波。接收波束形成与发射场（transmitted field）无关或取决于发射场。例如，只要接收扫描格式在发射场内，接收波束形成就可以在不考虑点源位置的情况下被执行。作为另一个例子，针对扇形或Vector®波束形成的延迟集对应于虚发射点。障碍被选择对应于发射波的虚点源。发射波前对应于在给定时间从波束形成器中输出的数据的弧。接收波束沿着发射波的传播路径被形成。在时间或深度上位于任意给定点的接收波束形成的值沿发射波前分布。

在一些实施方案中，波束形成的数据被用于形成额外的波束，诸如响应于不同发射而接收的合成复合（也就是，带有相位信息的复合）或复合数据。例如，针对顺序发射的虚点源发生变化。输出数据从用于特定虚点源的采样栅格被变换或转换成用于复合的固定采样栅格。

为二维或三维成像提供波束形成。换能器阵列是一维（例如，直线或曲线）或多维（例如，2D或1.5D）。对于多维阵列，单元沿二维分布在平面或曲面上。多维阵列可被用于扫描三维体积。接收波束在通过体积的不同位置上被形成。图1的接收波束形成可以被应用到

多维阵列。

在一个实施方案中，在动作 12 中接收到的信号来自按方位角和仰角进行二维排列的换能器单元阵列。在动作 20 中，在方位角和仰角上均执行操纵。使用四个操纵方向：左上、右上、左下和右下，这形成四个数据集。在方位角和仰角的空间方向上执行动作 22 的滤波。然后，信号在每个方位角和仰角中空间抽取了两倍，这导致将信号减少四倍。如上所述，信号减少和数据集数目增加的因子可以相等、不同、相关或无关。

第二波束形成阶段 16 增加数据集的数目，并减少每个数据集中的信号的数目。例如，来自第一阶段 14 的应用的四个数据集被输入。数据集的数目被增加一因子，诸如将四个数据集增加四倍以增加到 16 个数据集或有效波束。每个数据集中的信号数目，诸如（针对总共 256 个信号的）四个数据集的每个数据集中有 64 个信号被减少一因子，诸如减少 $1/4$ 以从四个数据集的每个数据集中的 64 个信号减少到 16 个数据集的每个数据集中的 16 个信号。因子可以与第一阶段 14 的应用中所用的因子相同或不同。

在动作 28 中，包括最终波束形成阶段 18 的附加波束形成阶段被应用。每个附加阶段增加了数据集的数目，并减少了每个数据集中的信号的数目。在一个实例中，该实例具有 16×16 阵列中的 256 个单元和相关接收到的信号，四个波束形成阶段在 16×16 阵列中提供 256 个输出波束，该 16×16 阵列贯穿由发射波束所扫描的三维区域间隔。在一个或多个最终数据集中可以提供更多数目的信号。

在另一种实现方式中，做出近似以将在方位角上操纵与在仰角上操纵分离。图 1 的接收波束形成以两个循环（pass）来执行，以提供在每个给定深度处沿方位角和仰角大小（dimension）分布的波束。在第一循环中，利用一维（诸如沿方位角大小）的操纵，接收波束形成（即滤波、抽取以及重复滤波和抽取）被执行。来自每个单元的数据被延迟并被操纵，好像形成沿一维的图像。每个数据值输出代表沿垂直大小的数据和。在第二循环中，利用在垂直大小上（诸如沿仰角大小）的操纵，接收波束形成被执行。

由于每个波束形成阶段均执行操纵，所以仰角和方位角操纵时期被分离。例如，单元阵列包括多个 16×16 子阵列。对于每个子阵列，

256 条延迟线被用于扇形或 Vector® 聚焦。16 个 16 通道多阶段接收波束形成器与 256 条延迟线相连。16 个多阶段接收波束形成器各输出 16 到 48 个值。该 16 到 48 个值被输入到针对第二循环的多阶段波束形成器的另一级 (level) 中, 该第二循环利用沿不同大小的操纵。按扇形格式排列的 256 到 2304 条波束被输出。多阶段波束形成的附加层可被用于将体积的扇形扫描转换成 Vector® 或线性扫描格式。

使用针对体积扫描的上述两个循环硬件配置可以利用一维阵列将二维成像限制到 16 条波束。与波束形成器的第二循环 (例如在仰角上的操纵) 所形成的 16 条波束相对应, 多阶段波束形成器的第一循环 (例如在方位角上的操纵) 形成了相同的 16 条波束集。可替换地, 附加的多阶段波束形成器、多路复用器和/或缓冲器被用于允许一维长阵列和具有相同硬件的多维阵列的操作。

图 6 示出用于对来自一区域的超声数据进行波束形成的系统 60。系统 60 包括单元 62 的阵列, 该单元 62 和多个波束形成阶段 64 相连。另外, 不同或更少的部件可以被提供, 诸如在单元 62 和第一波束形成阶段 64 之间连接的、用于有限焦深的一个或多个模拟或数字延迟。可以提供任意数目的波束形成阶段 64, 诸如二、三、四、五、六、七或更多。

波束形成阶段 64 和/或任何附加的延迟可以在专用集成电路中被实现, 但是也可以部分或整体被实现为处理器、现场可编程门阵列、模拟电路、数字电路或其组合。在一个实施方案中, 每个波束形成阶段 64 均是独立的专用集成电路, 这些专用集成电路带有或不带有用于与单元 62、其他波束形成阶段和/或医学超声成像系统连接的集成多路复用器。

单元 62 的阵列是一维或多维阵列。单元 62 直接或间接通过一个或多个多路复用器或发射/接收开关连接到第一波束形成阶段 64。

每个波束形成阶段 64 包括用于操纵的多个延迟或相位旋转器 66、一个或多个滤波器 68 和一个或多个抽取器 70。另外, 可以提供不同的或更少的部件。在一个实施方案中, 波束形成阶段 64 对所有输入数据进行操作。可替换地, 阵列被再分, 并且不同部件或装置实现针对相关子阵列的特定的波束形成阶段。例如, 16 输入装置包括 16 条动态延迟线。延迟线输出可以被可选地内插成 32 或 64 个值。

不同波束形成阶段 64 可以具有与其他阶段 64 (诸如后面的或最终波束形成阶段, 这些阶段具有用于处理更多数目的数据集的更多的部件) 相同或不同数目的部件。

延迟或相位旋转器 66 包括多个延迟或相位旋转器 66, 诸如每个输入通道一个延迟。在一个实施方案中, 延迟 66 被实施为带有一个或多个缓冲器的乘法器。例如, 大约 20000 个乘法器实现 16 个输入信号的延迟。输入通道包括单元 62、来自数据集或其他数据源的数据值。对于第一波束形成阶段 64, 延迟或相位旋转器 66 与相应的单元 62 相连, 用于实现来自不同单元 62 的信号之间的相对延迟。在一个实施方案中, 独立的多个延迟或相位旋转器 66 接收相同的数据集, 用于在不同方向上操纵信号。可替换地, 缓冲器或存储器被用于在同一个输入数据上顺序应用不同的延迟或相位旋转分布。在应用不同的分布之后, 与不同操纵相关的两个数据集被输出。

滤波器 68 是具有任意抽头数目的有限冲激响应滤波器。可以使用无限冲激或其他限制已知或以后开发的滤波器。滤波器 68 直接或通过一个或多个多路复用器或缓冲器与多个延迟或相位旋转器 66 相连。滤波器 68 可操作来对输入数据集进行滤波。独立的滤波器 68 被用于每个数据集, 或单个滤波器 68 对每个数据集进行顺序滤波。

在一个实施方案中, 滤波器 68 是 8 抽头滤波器。在波束形成阶段 66 与 16 个输入值 (诸如 16 单元子阵列) 相关的地方, 提供 512 个乘法器。给定对称的滤波器系数, 可以使用 256 个乘法器。随着将输入数据内插到 64 个值用于以更高的空间采样率生成 64 条波束, 提供 3072 个乘法器或系数对称的 1536 个乘法器。利用用于延迟的乘法器, 乘法器的总数在 $N \log(N)$ 的数量级上, 其中 N 是单元的数目和输出波束的相对应的数目。

如果使用内插增加空间采样率, 那么内插改善了滤波器 68 的性能。输入空间带宽被维持, 但滤波器过渡带宽可能更宽。例如, 通带边沿位于 $1/8$ 处且阻带边沿位于 $7/8$ 处的 8 抽头滤波器具有 63dB 的阻带抑制, 同时通带边沿在 $1/16$ 处且阻带边沿在 $15/16$ 处的 8 抽头滤波器具有 90dB 的阻带抑制。可以使用其他内插和滤波。信号也可以被恰好 (in time) 过抽样。

抽取器 70 是开关、处理器、滤波器或用于去除或减少数据的其

他装置。抽取器 70 对每个输入数据集进行抽取，诸如抽取每个数据集的一半数据。可以使用不对称或其他抽取率。

第一波束形成阶段 64 可操作来输出至少两个数据集，以响应于来自单元 62 的输入数据集。输出数据集与不同操纵的方向相对应，并且和输入数据集相比，每个输出数据集具有更少的值或信号，诸如至少是输入数据集的一半多的值或信号。输出数据集被传递给第二或后续波束形成阶段 64。第二波束形成阶段 64 可操作来输出至少两个数据集，以响应于每个输入数据集，诸如响应于两个输入集输出四个数据集。输出数据集与不同的操纵方向相对应，诸如针对四个数据集的四个不同操纵方向。与输入数据集的相应数据集相比，每个输出数据集具有更少的值或信号，诸如至少是相应输入数据集的一半多的值或信号。每个输入数据集的操纵方向的数目、输出数据集的数目、抽取因子、操纵方向或偏离中心的程度、或其他因子在同一波束形成器阶段 64 中的各个数据集之间可以相同或不同，或在各个波束形成器阶段 64 之间可以相同或不同。

附加的波束形成阶段 64 进一步减少了每个数据集中的数据量，并且增加了波束或数据集的数目。最终的波束形成阶段 64 输出波束形成的数据。波束形成的数据响应于上一个波束形成阶段 64。在一个实施方案中，最终的波束形成阶段 64 输出数据集，该数据集的每个具有代表不同空间位置的单个值。每个值代表给定深度处的波束。波束或值的数目基本上等于输入数据集或单元 62 中的值的数目。

尽管通过参考各种实施方案已经对本发明进行了描述，但是应当理解，在不偏离本发明范围的情况下能够做出多种变化和修改。因此，应当注意到上面的详细描述应当被看作是对本发明的说明，而不是对本发明的限制，并且应当理解包括所有等同物的随后的权利要求意图限定本发明的精神和范围。

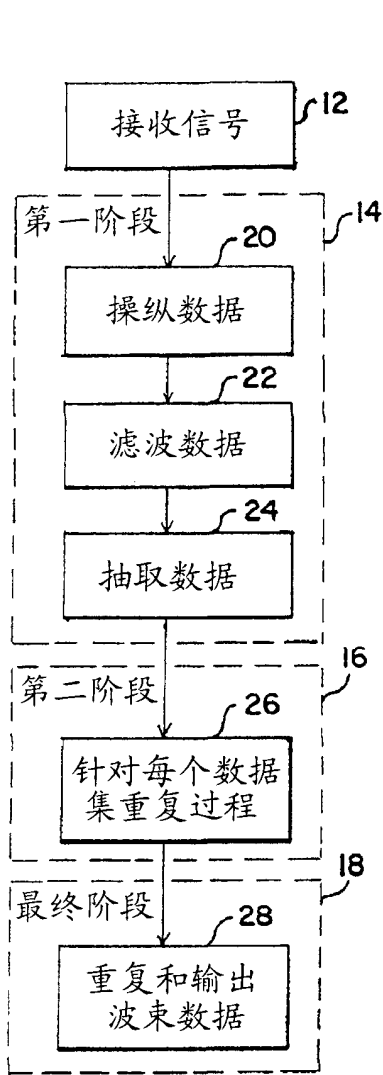


图 1

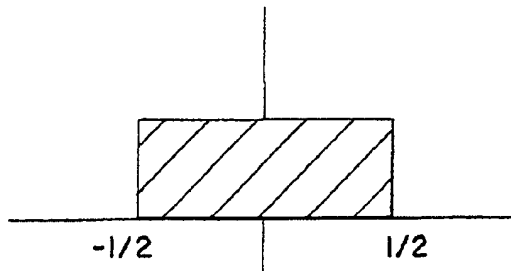


图 2

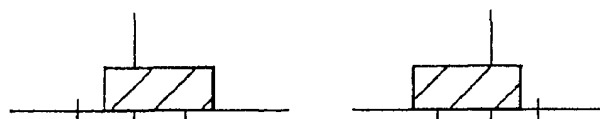


图 3A

图 3B

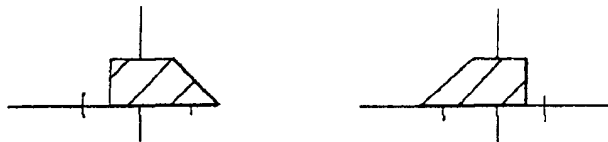


图 4A

图 4B

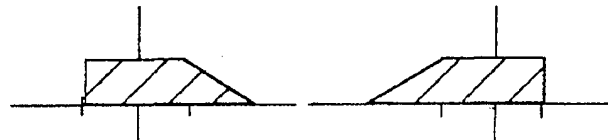


图 5A

图 5B

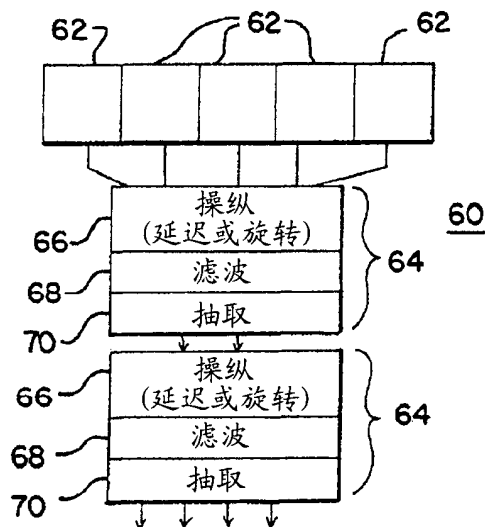


图 6