



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103237500 B

(45) 授权公告日 2015.06.10

(21) 申请号 201180058809.4

(22) 申请日 2011.12.06

(30) 优先权数据

61/420,068 2010.12.06 US

13/305,378 2011.11.28 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013.06.06

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2011/063504 2011.12.06

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/078610 EN 2012.06.14

(73) 专利权人 德克萨斯仪器股份有限公司

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 D·P·马吉

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

公司 11245

代理人 赵蓉民

(51) Int. Cl.

A61B 8/00(2006.01)

G06F 19/00(2011.01)

G01N 29/24(2006.01)

(56) 对比文件

US 5647365 A, 1997.07.15,

CN 1431624 A, 2003.07.23,

CN 1568230 A, 2005.01.19,

JP 昭 62-237351 A, 1987.10.17,

US 2008/0033299 A1, 2008.02.07,

CN 101373181 A, 2009.02.25,

US 6436044 B1, 2002.08.20,

审查员 李陆美

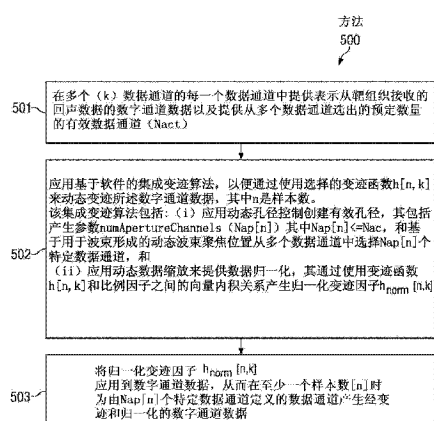
权利要求书3页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

用于波束形成中变迹的动态孔径控制和归一化

(57) 摘要

一种用于超声波束形成的变迹方法(500)包括提供(501)在多个(k)数据通道中表示来自靶组织的回声数据的滤波数字通道数据和预定数量的有效通道(N_{act})。基于软件的集成变迹算法利用选择的变迹函数 $h[n, k]$ 动态变迹数字通道数据, 其中 n 是样本数。该集成变迹算法通过产生参数 $numApertureChannels$ ($Nap[n]$) 其中 $Nap[n] < N_{act}$ 且基于用于波束形成的动态波束聚焦位置选择 $Nap[n]$ 个特定数字通道, 来应用动态孔径控制创建有效的孔径。应用的动态数据缩放通过利用 $h[n, k]$ 和比例因子之间的向量内积产生归一化的变迹因子 $h_{norm}[n, k]$, 来提供数据归一化。归一化的变迹因子被应用(503)于 $Nap[n]$ 个特定数字通道中的数字通道数据以产生经变迹和归一化的数字通道数据。



1. 一种用于超声波束形成的变迹从多个数据通道接收的超声信号的方法, 其中所述多个数据通道即 k 个数据通道, 所述多个数据通道中的每个与多个换能器元件的不同换能器元件关联, 所述方法包括:

在所述多个数据通道的每一个数据通道中提供表示从靶组织接收的回声数据的数字通道数据和提供从所述多个数据通道中选择的预定数量的有效数据通道, 即 N_{act} ;

应用基于软件的集成变迹算法以使用选择的变迹函数 $h[n, k]$ 来动态变迹所述数字通道数据, 其中 n 是样本数, 使用包含非暂时性机器可读存储装置的计算机系统来实现所述集成变迹算法, 所述集成变迹算法包括:

(i) 应用动态孔径控制创建有效孔径包括: 产生参数 $numApertureChannels$, 即 $N_{ap}[n]$, 其中 $N_{ap}[n] \leq N_{act}$, 和基于用于所述超声波束形成的动态波束聚焦位置从所述有效数据通道中选择 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道,

(ii) 通过使用所述变迹函数 $h[n, k]$ 和比例因子之间的向量内积关系产生归一化变迹因子 $h_{norm}[n, k]$, 应用动态数据缩放提供数据归一化, 和

将所述归一化变迹因子 $h_{norm}[n, k]$ 应用到所述数字通道数据, 从而在至少一个所述 n 时为所述 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道定义的所述数据通道产生经变迹和归一化的数字通道数据,

其中用 $K_{rat}[n]$ 表示所述比例因子, 且所述向量内积关系包括: $h_{norm}[n, k] = K_{rat}[n] \cdot h[n, k]$ 其中 $0 < k \leq N_{act}$

$$\text{其中 } K_{rat}[n] = \frac{N_{act}}{N_{ap}[n]}。$$

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中所述归一化变迹因子 $h_{norm}[n, k]$ 仅专门提供给所述多个数据通道的所述 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道。

3. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中所述选择的变迹函数 $h[n, k]$ 包括高斯窗函数。

4. 根据权利要求 2 所述的方法, 进一步包括:

仅为所述多个数据通道的所述 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道专门滤波所述数字通道数据, 以便所述经变迹和归一化的数字通道数据包括经变迹和归一化的滤波数字通道数据;

对所述经变迹和归一化的滤波数字通道数据求和以产生波束形成信号;

沿直线改变所述动态波束聚焦位置;

多次重复包括所述求和以及所述改变的所述方法以产生多个所述波束形成信号, 和从所述多个波束形成信号产生扫描线。

5. 根据权利要求 4 所述的方法, 进一步包括产生多个所述扫描线, 和结合所述多个扫描线以在显示装置上形成所述靶组织的图像。

6. 根据权利要求 1 所述的方法, 进一步包括使用数字信号处理器即 DSP, 用于仅为所述多个数据通道的所述 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道专门滤波所述数字通道数据, 以便所述经变迹和归一化的数字通道数据包括经变迹和归一化的滤波数字通道数据, 并且用于应用所述基于软件的集成变迹算法以动态变迹所述滤波数字通道数据。

7. 一种用于超声波束形成的超声成像系统, 其包括:

多个换能器元件, 用于向靶组织发射超声发射脉冲, 并且接收来自所述靶组织的回声

信号作为响应,其中所述多个换能器元件即 k 个换能器元件;

发射部分,其用于为所述超声发射脉冲的所述发射驱动所述多个换能器元件,以及

接收部分,其用于处理由所述多个换能器响应于所述回声信号产生的多个传感信号,所述接收部分定义多个数据通道,所述多个数据通道中的每个与所述多个换能器元件的不同换能器元件关联,所述接收部分包括:

数字化块,其用于在所述多个数据通道的每个数据通道中产生表示来自所述回声信号的回声数据的数字通道数据,

动态孔径控制块,其耦合到所述数字化块的输出端,且包含用于设置所述系统采用的所述多个数据通道的数量的有效数据通道 N_{act} 块和用于动态确定用于创建有效孔径的所述多个数据通道的数量 $N_{ap}[n]$ 的动态 numApertureChannels 计算块,即 $N_{ap}[n]$ 计算块;

滤波块,其耦合到所述 $N_{ap}[n]$ 计算块的输出端,用以滤波所述数字通道数据从而产生滤波数字通道数据,

耦合到所述滤波块的变迹块;

控制器和相关联的存储器,它们经耦合以控制所述滤波块、所述变迹块和所述动态孔径控制块;

其中所述控制器执行基于软件的集成变迹算法,以利用选择的变迹函数 $h[n, k]$ 动态变迹所述滤波数字通道数据,其中 n 是样本数,其中包含非暂时性机器可读存储装置的计算机系统用于实现所述集成变迹算法,所述集成变迹算法包括:

(i) 动态孔径控制,用于控制所述动态孔径控制块以创建所述有效孔径,且包括基于用于所述波束形成的动态波束聚焦位置从所述有效数据通道中选择 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道,以及

(ii) 通过使用所述变迹函数 $h[n, k]$ 与比例因子 $K_{rat}[n]$ 之间的向量内积关系产生归一化变迹因子 $h_{norm}[n, k]$,动态数据缩放以提供数据归一化;

其中所述控制器将所述归一化变迹因子 $h_{norm}[n, k]$ 提供给所述变迹块以处理所述滤波数字通道数据从而在至少一个所述 n 时产生经变迹和归一化的滤波数字通道数据;

用于求和的加法器,其耦合到所述变迹块的输出端以形成波束形成信号;

后端成像显示处理器,其经耦合以接收和处理所述波束形成信号从而产生显示信号,所述显示信号适用于使显示装置产生图像,以及

显示装置,其用于接收所述显示信号并产生所述图像,

其中由 $K_{rat}[n]$ 表示所述比例因子且所述向量内积关系包括:

$$h_{norm}[n, k] = K_{rat}[n] \cdot h[n, k] \text{ 其中 } 0 < k \leq N_{act}, \text{ 其中 } K_{rat}[n] = \frac{N_{act}}{N_{ap}[n]} \circ$$

8. 根据权利要求 7 所述的超声成像系统,其中所述归一化变迹因子 $h_{norm}[n, k]$ 仅专门提供给所述多个数据通道的所述 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道。

9. 根据权利要求 7 所述的超声成像系统,其中所述系统可操作用于沿直线改变所述动态波束聚焦位置,且多次重复所述求和与所述改变以产生多个所述波束形成信号。

10. 根据权利要求 7 所述的超声成像系统,进一步包括使用数字信号处理器 (DSP) 实现所述滤波块、所述变迹块、所述动态孔径控制块、所述控制器和所述加法器。

11. 一种用于超声信号处理的数字信号处理器集成电路即 DSP IC,其包括:

衬底,其具有半导体表面;

耦合到数字化块的输出端的动态孔径控制块,所述数字化块在多个数据通道的每个数据通道中提供表示来自回声信号的回声数据的数字通道数据,所述多个数据通道的每个与多个换能器元件的不同换能器元件相关联,其中所述多个数据通道即 k 个数据通道;

所述动态孔径控制块包括用于设置采用的所述多个数据通道的最大数量的有效数据通道 N_{act} 块和用于动态确定所述多个数据通道的数量 $N_{ap}[n]$ 从而创建有效孔径的动态 numApertureChannels 计算块,即 $N_{ap}[n]$ 计算块;

滤波块,其耦合到所述 $N_{ap}[n]$ 计算块的输出端以滤波所述数字通道数据从而产生滤波数字通道数据;

耦合到所述滤波块的变迹块;

控制器和相关联的存储器,它们经耦合以控制所述滤波块、所述变迹块和所述动态孔径控制与归一化块;

其中所述控制器执行基于软件的集成变迹算法以利用选择的变迹函数 $h[n, k]$ 动态变迹所述滤波数字通道数据,其中 n 是样本数,实现所述集成变迹算法包括:

(i) 动态孔径控制,其用于控制所述动态孔径控制与归一化块以创建所述有效孔径,且包括基于用于波束形成的动态波束聚焦位置从所述有效数据通道中选择 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道,以及

(ii) 通过使用所述变迹函数 $h[n, k]$ 与比例因子 $K_{rat}[n]$ 之间的向量内积关系产生归一化变迹因子 $h_{norm}[n, k]$,动态数据缩放以提供数据归一化;

其中所述控制器为所述变迹块提供所述归一化变迹因子 $h_{norm}[n, k]$ 以处理所述滤波数字通道数据从而在至少一个所述 n 时产生经变迹和归一化的滤波数字通道数据,以及

用于求和的加法器,其耦合到所述变迹块的输出端以形成波束形成信号,

其中用 $K_{rat}[n]$ 表示所述比例因子,且所述向量内积关系包括: $h_{norm}[n, k] = K_{rat}[n] \cdot h[n, k]$ 其中 $0 < k \leq N_{act}$, 其中 $K_{rat}[n] = \frac{N_{act}}{N_{ap}[n]}$ 。

12. 根据权利要求 11 所述的 DSP IC, 其中所述归一化变迹因子 $h_{norm}[n, k]$ 仅专门提供给所述多个数据通道的所述 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道。

13. 根据权利要求 11 所述的 DSP IC, 其中所述选择的变迹函数 $h[n, k]$ 包括高斯窗函数。

用于波束形成中变迹的动态孔径控制和归一化

技术领域

[0001] 公开的实施例涉及用于超声波和相关波束形成算法的波束形成器、实现公开的波束形成算法的集成电路(IC)及其超声系统。

背景技术

[0002] 波束形成(beamforming)是在用于指向性信号发射或接收的传感器阵列中使用的信号处理技术。通过使用自适应的或固定的接收/发射波束图形获得空间选择性。

[0003] 使用波束形成的一种医学应用是超声诊断学。超声波能量由发射波束形成器聚焦在靶组织处,并且靶组织调制和返回的超声波能量由接收波束形成器聚焦。该接收波束形成器可以提供信号,以产生B超图像、表示靶组织的彩色多普勒或频谱多普勒信息或其组合。这种波束形成系统可以提供人体组织或其他对象的组织的实时横断面(层析成像)二维(2D)图像。

[0004] 在传统的超声成像系统中,定制的专用集成电路(ASIC)器件执行波束形成器计算。作为软件波束形成解决方案的一部分,变迹(apodization)涉及对每个数据通道(每个数据通道包括专用的换能器元件)的适当增益应用,并且需要使每个数据通道内的输入信号成形。这种成形减少波束形成信号中的栅旁瓣效应,其中该栅旁瓣效应源于侧压幅度变化和换能器元件间隔。

[0005] 在信号处理数据路径中期望的其他特性包括动态孔径控制和数据归一化(normalization)。动态孔径控制的功能是通过动态调整有效换能器元件的数量来保持遍及整体超声扫描线的期望孔径。关于归一化,由于在每个样本数 n (每个样本数 n 对应于不同的时刻)可以使用不同数量的换能器元件,归一化可以考虑这种缩放效应从而为波束形成信号维持恒定信号电平。

[0006] 在大部分ASIC波束形成器系统设计中,经由使数据通道特定组合的选择作为预期孔径的函数的模拟开关,处理孔径控制。图1示意性示出用于成像靶组织的常规超声波束形成器系统100的简化结构图绘图,其包括来自从靶返回的回声的接收回声信号14的基于切换的时间延迟转向和聚焦。系统100包括包含多个换能器元件11的接收阵列10,如图所示其配置成线性阵列。

[0007] 在图1中动态孔径控制示意性示出为多对接收器通道开关16a-16e,这些通道开关在回声接收时段期间被孔径控制电路17按顺序关闭。孔径控制电路17在任意给定的采样时间(时刻)动态选择换能器元件11中的哪些是有效换能器元件。对于处于接收模式的每个有效换能器元件11,建立数据通道以将靶数据从换能器元件11转移到波束形成器中的信号处理元件。接收通道开关16a-16e是模拟电子开关。数据通道与开关16a、16b、16c、16d和16e中的每一个关联。

[0008] 在回声接收时段期间,来自每个数据通道内的相应有效换能器元件11的数据被延迟相应的处理通道时间延迟,包括图1所示的转向延迟和聚焦延迟,其起到动态聚焦接收的信号回声的作用。尽管没有在图1中示出,在通道时间延迟的应用之后,相应的延迟通

道信号被变迹以便采用变迹因子(apodization factor)使每个接收的通道信号缩放期望的值,从而减少如上所述的在随后形成的波束形成信号中的栅旁瓣效应。然后通过加法放大器 15 对变迹信号求和以产生图 1 中示为“聚焦回声信号”的波束形成信号。多个聚焦回声信号可以用于形成扫描线,且多个扫描线可以被组合以在适合的显示装置上形成靶组织的图像。

[0009] 尽管没有示出,加法放大器 15 输出的在每个采样时间 n 的聚焦回声信号然后可以被最优归一化。归一化可以用于使平均信号水平保持在采样时刻 n 中在整个扫描线上基本相同(恒定)。

[0010] 由常规超声波束形成器系统 100 实现的动态孔径控制类型可能难以根据有效通道的数量和采样时间进行同步,尤其如果该实现是模拟的。由于这种同步困难,作为采样时间的函数确定对于使平均信号水平保持沿整个扫描线相同(恒定)所需的数据归一化通常变得存在更多问题。

发明内容

[0011] 公开的方法包括用于超声波束形成的变迹方法、由此形成的超声成像系统和诸如用于实现超声成像块和功能的数字信号处理器(DSP)的硬件,其包含滤波块、变迹块、动态孔径控制块、控制器和加法器。提供在多个(k)数据通道中表示来自靶组织的回声数据的数字通道数据和从该多个数据通道选出的预定数量($\leq k$)的有效通道(N_{act})。

[0012] 基于软件的集成变迹算法利用选择的变迹函数 $h[n, k]$ 动态变迹数字通道数据。通过产生参数 numApertureChannels ($N_{ap}[n]$)其中 $N_{ap}[n] \leq N_{act}$ 且基于用于超声波束形成的动态波束聚焦位置选择 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道,该集成变迹算法应用动态孔径控制以创建有效的孔径。通过利用 $h[n, k]$ 和比例因子之间的向量内积产生归一化的变迹因子 $hnorm[n, k]$,应用的动态数据缩放提供数据归一化。

[0013] 所述归一化变迹因子可以仅应用于 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道中数字通道数据,以产生经变迹和归一化的数字通道数据。在动态变迹之前或者在其之后,滤波也应用于 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道中的通道数据。因为变迹和滤波可以仅应用于 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道中的数据,其中该 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道是用于在每个样本数 n (时刻)形成孔径,所以与变迹和滤波来自该系统中所有数据通道的数据这种布置相反,数据处理效率显著提高(例如更少的循环)。

[0014] 公开的实施例通过提供基于软件的方法解决对集成变迹方法的未满足的需要,其中该基于软件的方法执行动态孔径控制和归一化两方面以便为超声波束形成器系统产生缩放的波束形成数据。公开的实施例能够在无数据通道切换的情况下变迹,这是因为使用向量内积处理所述归一化/缩放,由此避免了在数据通道之间进行切换的需要。

[0015] 因为在每个样本数(n)的孔径通道和数据归一化之间的关系是已知的,所以部分提供更准确计时的集成变迹算法。以软件为基础,公开的集成变迹算法可以用于任意期望的变迹函数。由于公开的集成变迹方法涉及较少循环,他们也足以在硬件上实现,以产生等价的数值结果(相比于更多乘法密集型的传统算法)。公开的集成变迹算法可以用于为整个超声图像中给定(单个)扫描线或者所有扫描线执行数据归一化。

附图说明

[0016] 图 1 示意性示出用于成像靶组织的常规超声波束形成器系统的简化结构图绘图, 其包括对来自换能器元件接收阵列的接收回声信号的基于切换的时间延迟转向和聚焦。

[0017] 图 2 根据示例实施例示意性示出用于成像靶组织的超声波束形成器系统的简化结构图绘图, 其包括公开的动态孔径控制和归一化。

[0018] 图 3 根据本发明的实施例示出可以实现图 2 中虚线范围内的所有系统元件的 DSP IC 的简化结构图。

[0019] 图 4 是根据示例实施例的示例性超声系统的结构图, 该系统可以实现公开的动态孔径控制和归一化。

[0020] 图 5 是根据示例实施例的变迹超声信号的方法的流程图, 该方法包括动态孔径控制和归一化。

[0021] 图 6 提供根据示例实施例在德克萨斯仪器股份有限公司的 C64+ 体系结构 DSP 上运行的基于汉宁窗的集成变迹算法的软件流水信息。

具体实施方式

[0022] 如上面所述, 常规的超声系统例如图 1 中所示常规超声波束形成器系统 100 使用模拟通道开关执行动态孔径控制、对通道数据执行变迹(如果实现)以及对求和通道数据执行归一化(如果实现), 对求和通道数据的归一化用于缩放平均信号水平以使其在波束形成器系统内分开位置(例如, 作为独立的数据处理块)中在整个扫描线上相同(恒定)。信号处理的某些部分可以以模拟方式执行(例如, 孔径控制 17)且某些部分可以以数字方式执行(变迹, 如果实现的话)。相比之下, 公开的集成变迹方法提供基于软件的方法, 该方法执行动态孔径控制和归一化, 由此将前述独立的数据处理操作结合成单个操作以确保数据缩放准确度, 也消除了开关的需要。

[0023] 公开的基于软件的集成变迹算法可实现在诸如 ASIC、现场可编程门阵列(FPGA)和 DSP 的 IC 上。由于如下所述用向量内积处理缩放, 因此消除对开关的需要。同样, 由于在每个样本数 n (时刻)上用于动态孔径归一化的相应数据通道之间的关系是已知的, 因此该数据可以在每个样本数 n 上准确缩放。

[0024] 为了更加准确和确定地实现动态孔径控制和数据归一化两方面, 下面公开一种示例性的基于软件的集成变迹方法。通常, 变迹处理的离散时间实现方式可以在数学上表示为:

$$[0025] \quad y[n, k] = h[n, k] * x[n, k] \quad (1)$$

[0026] 其中 $h[n, k]$ 是关于第 k 个数据通道和样本数 n 的变迹函数, $x[n, k]$ 是以样本数 n 从第 k 个数据通道接收的信号, 而 $y[n, k]$ 是以样本数 n 来自第 k 个数据通道的经滤波的接收信号。对于简单的单位增益变迹函数 $h[n, k]$, 该变迹函数 $h[n, k]$ 可以定义为:

$$[0027] \quad h[n, k] = \begin{cases} 0 & k \notin k_{ap}[n], n \geq 0 \\ 1 & k \in k_{ap}[n], n \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

[0028] 其中 $K_{ap}[n]$ 将孔径通道指数集合定义为样本数 n 的函数, 其中每个 n 对应于具体的时刻。对个更复杂的变迹函数 $h[n, k]$ 而言, 这种特定的高斯窗函数在本领域中称为汉宁窗, 该变迹函数变成下面的表示:

$$[0029] \quad h[n, k] = \begin{cases} 0 & k \notin k_{ap}[n], n \geq 0 \\ \frac{1}{2} \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi(k+1)}{N_{ap}[n]+1} \right) \right) & k \in k_{ap}[n], n \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

[0030] 其中 $\cos()$ 是余弦函数且 $N_{ap}[n]$ 将孔径通道(有效数据通道)的数量(N)定义为样本数 n 的函数。

[0031] 为了确定给定样本数 n (时刻)的有效孔径通道的数量,此处称为 N_{act} ,按照换能器参数定义孔径的 $f_{\#}$ (即 f 数量)。 N_{act} 通常是用户指定的且涉及选择用于波束形成的数据通道(每个数据通道与换能器关联)的最大数量,其中 N_{act} 小于或等于波束形成系统内的数据通道/换能器元件的数量。在光学中, $f_{\#}$ 被定义为透镜的焦点距离(R_{fp})与透镜直径(D)的比率,可以数学表示为:

$$[0032] \quad f_{\#} = \frac{R_{fp}}{D} \quad (4)$$

[0033] 在大多数的应用中,当 $f_{\#}$ 等于 1 时获得良好的聚焦。然而,公开的实施例包括 $f_{\#}$ 不等于 1。

[0034] $f_{\#}$ 可以按照超声换能器参数表示为:

$$[0035] \quad f_{\#} = \frac{R_{fp}}{N_{ap}[n] * elemPitch} \quad (5)$$

[0036] 其中 R_{fp} 是到透镜焦点的径向距离,而 $elemPitch$ 是各换能器元件之间的间距。等式(5)可以写成考虑复杂度增加的非恒定元件间距。由于波束形成器的目标是动态调整离散时间系统在每个样本数 n 的焦点,因此到透镜的焦点距离 R_{fp} 可以写成:

$$[0037] \quad R_{fp} = \frac{c}{2 \cdot f_s} \cdot n \quad (6)$$

[0038] 其中 c 是在感兴趣组织中的声速,且 f_s 是离散时间信号处理系统的采样率。把等式(6)代入等式(5),推导出以下描述数据通道的数量 $N_{ap}[n]$ 的关系,其定义了孔径通道的数量并且选自有效通道 N_{act} ,该有效通道 N_{act} 是用于创建在给定样本数 n 的期望孔径以获得良好的聚焦所需要的。

$$[0039] \quad N_{ap}[n] = \frac{c}{2 \cdot f_s \cdot f_{\#} \cdot elemPitch} \cdot n \quad (7)$$

[0040] 关于 $N_{ap}[n]$ 的等式(7)能够确定用于创建在每个样本数 n 的孔径所需要的指数集合(即 $K_{ap}[n]$),以便选择的变迹函数(例如高斯窗函数诸如汉宁或汉明变迹窗)仅可以应用于数据通道的 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道,由此节省数据处理资源。 $K_{ap}[n]$ 在上述等式 2 中示出。

[0041] 例如,相控阵列换能器的波束聚焦位置被设置在构成换能器的换能器元件的中间(中点)。因此,通过使用以换能器中点为中心的 $N_{ap}[n]$ 个通道来创建期望的孔径。然而,对于线性阵列换能器而言,线性阵列换能器的波束聚焦位置沿换能器的表面移动。因此,通过使用围绕动态波束聚焦位置的 $N_{ap}[n]$ 个通道创建期望的孔径。

[0042] 一旦变迹已应用于通道数据,经变迹的通道数据可以被归一化以保持在样本数 n 范围沿整个扫描线的平均信号水平相同(有效恒定)。用于实现归一化的比例因子 $K_{rat}[n]$ 在

本文称为归一化比例因子 $K_{\text{rat}}[n]$, 其可以写成:

$$[0043] \quad K_{\text{rat}}[n] = \frac{N_{\text{act}}}{N_{\text{ap}}[n]} \quad (8)$$

[0044] 其中, 上述的 N_{act} 是有效换能器通道的数量。应注意, 关于比例因子 $K_{\text{rat}}[n]$ 最大值的值应被指定以处理 1 除以 0 的情况且处理给定超声图像中的所有扫描线的归一化。由此, 归一化比例因子 $K_{\text{rat}}[n]$ 可能值的范围可以表示为:

$$[0045] \quad 1 \leq K_{\text{rat}}[n] \leq K_{\text{max}} \quad (9)$$

[0046] 使用 (8, 9) 中的归一化比例因子 $K_{\text{rat}}[n]$ 和 (7) 中关于孔径通道数量 $N_{\text{ap}}[n]$ 的关系, 产生如下 (10) 显示的广义内积关系并使用该内积关系计算关于任意选择的变迹函数 $h[n, k]$ 的归一化变迹实现 $h_{\text{norm}}[n, k]$:

$$[0047] \quad h_{\text{norm}}[n, k] = K_{\text{rat}}[n] \cdot h[n, k] \quad \text{其中 } 0 \leq k \leq N \quad (10)$$

[0048] 其中 $h[n, k]$ 是期望的变迹函数, 且 $h_{\text{norm}}[n, k]$ 是期望的变迹函数的归一化形式。

[0049] 图 2 根据示例实施例示意性示出用于成像靶组织的超声波束形成器系统 200 的简化结构图绘图, 其包括公开的动态孔径控制和归一化。在典型的实施例中, 波束形成器系统 200 是延迟和求和超声波束形成器系统。

[0050] 尽管图 2 示出以线性方式布置的换能器元件, 正如在某些相控阵扫描系统中一样, 但是公开的实施例也可以用于以其他配置安置的换能器元件, 例如弯曲布置、柱状布置以及 2D (即二维) 和 3D (即三维) 布置。另外, 所公开的实施例也可应用于其他阵列类型的换能器, 包括曲线或弯曲的换能器、柱形换能器、环形阵列换能器和矩形阵列换能器。

[0051] 波束形成器系统 200 包括换能器阵列 112, 其包含如所示元件 112_1 - 112_8 的多个 (k) 换能器元件, 每个元件定义的数据通道包含将靶组织 105 反射的声波转换成电子传感信号的压电换能器。换能器元件 112_1 - 112_8 由此形成 8 个独立的数据通道 1 到 8 (每个数据通道一个换能器) 中的第一元件, 该 8 个独立的数据通道从换能器元件 112_1 - 112_8 延伸到下面所述的 numActiveChannels (N_{act}) 块 120a。

[0052] 在换能器阵列 112 中的各换能器均各自耦合到电压控制放大器 (VCA) 116, 然后耦合到用于将放大的换能器信号数字转换的模数转换器 (ADC) 117。图 2 中的 ADC 117 耦合到示为动态孔径控制块 120 的 N_{act} 的块 120a 上, 该动态孔径控制块 120 显示为由所示控制器 241 控制。 N_{act} 设置波束形成器系统 200 使用的 k 数据通道的最大数量。该最大数量通常是预定的且保持恒定, 诸如由用户输入提供并存储在存储器中。 N_{act} 具有以下的限制:

$$[0053] \quad 0 \leq N_{\text{act}} \leq \text{numChannels} \quad (\text{如图 2 所示 numChannels}=8)$$

[0054] 图 2 中显示的 N_{act} 块 120a 在该图 2 的示例中从图 2 所示的可能的 8 个数据通道中选择出 6 个。动态孔径控制块 120 也包括 numApertureChannels (N_{ap}) 计算块 120b。上述的动态 $N_{\text{ap}}[n]$ 计算如所示在控制器 241 的控制下由 N_{ap} 计算块 120b 实现。 $N_{\text{ap}}[n]$ 计算块 120b 可操作以动态确定用于创建有效孔径的特定数据通道。

[0055] $N_{\text{ap}}[n]$ 具有以下限制:

$$[0056] \quad 0 \leq N_{\text{ap}} \leq N_{\text{act}}$$

[0057] 由 N_{ap} 计算块 120b 提供的输出被耦合到包含多个滤波器的滤波器块 118 上, 这些滤波器应用适当的时间延迟以补偿由于靶组织 105 和各换能器 112_1 - 112_8 之间路径长度差异导致的不同回声到达时间。滤波器块 118 中的滤波器耦合到变迹增益块 119 中的变迹

块,这些变迹块为基于用于波束形成的动态波束聚焦位置从多个数据通道选择的 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道中的数据产生经变迹和归一化的通道数据。变迹增益块 119 由此提供对提供的各数据通道信号的缩放(即加权)。由变迹增益块 119 提供到各自 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道的变迹增益是基于上述期望的变迹函数 $h_{norm}[n, k]$ 的归一化形式,由此在逐样本(n 个接 n 个)的基础上被改变。

[0058] 各变迹增益块 119 的输出耦合到加法器 121 上,该加法器对变迹增益块 119 输出的经变迹和归一化的信号求和,以产生示为 $z[n]$ 的表示聚焦和归一化回声信号的期望波束形成信号。多个聚焦和归一化回声信号 $z[n]$ 可以用于形成扫描线,且多个扫描线可以被组合以在合适的显示装置上形成靶组织 105 的图像。

[0059] 系统 200 还包括包含计算结构 246 的控制器 241。控制器 241 可以由包括一个或多个 DSP、FPGA 或 ASIC 的装置提供。例如, DPS 可以提供图 2 中所示的虚线范围内的系统 200 的所有部件。系统 200 包括耦合到控制器 241 的存储器 248,该存储器用于存储包含所公开的集成变迹算法和波束形成期间样本计数(数量)数据的数据。控制器 241 可操作以从存储器 248 加载数据用于处理。

[0060] 可以看到控制器 241 被耦合以控制滤波器块 118 和变迹块 119 两者。提供给变迹增益块 119 中各数据通道的加权因子基于上面如(10)提到的关于选择变迹函数 $h[n, k]$ 的归一化变迹实现 $h_{norm}[n, k]$,下面再重复一遍:

$$[0061] \quad h_{norm}[n, k] = K_{rat}[n] \cdot h[n, k] \quad \text{其中 } 0 \leq k \leq N \quad (10)$$

[0062] 其中 $h[n, k]$ 是期望的变迹函数,而 $h_{norm}[n, k]$ 是期望的变迹函数的归一化形式。

[0063] 图 3 根据示例实施例示出可以实现图 2 中所示虚线范围内所有系统元件的 DSP IC300 的简化结构图。所示 DSP IC300 形成在具有顶部半导体表面的衬底 310 (例如硅衬底)上并且包括乘法累加(MAC)单元 320,该乘法累加单元可操作产生控制信号以实现公开的动态孔径控制和归一化。DSP IC300 通常包括易失性存储器(例如 RAM) 325 和非易失性存储器(例如 ROM) 330。根据本发明实施例的算法可以存储在非易失性存储器 330 内。所示的 DSP IC300 也包括用于输入和输出的(多个)接口端口 340、计数器/计时器 345、存储器控制器 350 和总线 355。

[0064] 如同常规 DSP 一样,该 DSP IC300 可以执行指令以实现一个或者多个数字信号处理算法或处理。举例来说,该指令数据可以包括当载入和初始化到 DSP IC300 中时可以提示 DSP IC300 实现不同数字信号处理算法或处理的多种系数以及指令。该 DSP IC300 可以接收来自图 2 中所示 ADC117 的数据,并且然后根据现有配置对该数据应用算法。

[0065] MAC 单元 320 通常包括延迟与变迹电路,用于处理数字化超声传感信号以形成经延迟、经变迹和经归一化的数字超声传感信号。MAC 单元 320 也可以提供控制器 241 和计算结构 246。易失性存储器 325 可以提供需要的任何存储器。

[0066] 图 4 是根据示例实施例可以实现公开的动态孔径控制和归一化的示例性超声系统 400 的结构图。系统 400 包括包含发射(Tx)波束形成器 525 的发射部分 520 和包含接收(Rx)波束形成器 545 的接收部分 540,它们共享换能器 550 的共同阵列。

[0067] 系统 400 包括耦合到 Tx 波束形成器 525 和 Rx 波束形成器 545 的波束形成器中央控制单元 510。波束形成器中央控制单元 510 可以具体为 DSP,诸如上述参考图 3 的 DSP IC300,用于实现上述由图 2 中所示超声波束形成器系统 200 提供的所公开动态孔径控制和

归一化。接收部分 540 的 Rx 波束形成器 545 耦合到后端成像 DSP560。后端成像 DSP560 耦合到显示器 570。

[0068] 图 5 是根据示例实施例用于超声波束形成的变迹从多个数据通道(k)接收的超声信号的方法 500 的流程图,每个所述数据通道与多个换能器元件的不同换能器元件关联。步骤 501 包括提供在多个数据通道的每一个数据通道中表示从靶组织接收的回声数据的数字通道数据以及来自多个数据通道的预定数量的有效数据通道(N_{act})。

[0069] 步骤 502 包括应用基于软件的集成变迹算法,以便通过使用选择的变迹函数 $h[n, k]$ 来动态变迹所述数字通道数据,其中 n 是样本数,其通过使用计算系统(诸如图 2 中所示包含计算结构 246 的控制器 241)来实现公开的集成变迹算法,其中所示计算系统包括非暂时性机器可读存储装置(诸如图 2 中所示的存储器 248)。该集成变迹算法包括(i)应用动态孔径控制创建有效孔径,其包括产生参数 $numApertureChannels(N_{ap}[n])$ 其中 $N_{ap}[n] \leq N_{act}$,和基于用于波束形成的动态波束聚焦位置从多个数据通道中选择 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道,和(ii)应用动态数据缩放来提供数据归一化,其通过使用变迹函数 $h[n, k]$ 和比例因子之间的向量内积关系产生归一化变迹因子 $h_{norm}[n, k]$ 。

[0070] 步骤 503 包括将归一化变迹因子 $h_{norm}[n, k]$ 应用到数字通道数据,从而在至少一个样本数 $[n]$ 时为由 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道定义的数据通道产生经变迹和归一化的数字通道数据。方法 500 还包括应用适当的时间延迟到相应数据通道以补偿不同回声到达时间的滤波。滤波可以在数据处理流程中的变迹之前或之后实现。尽管数学上的滤波可以跟在变迹之后,事实上相比于在变迹之前滤波的数据处理流程(例如图 2 中所示的系统 200),在变迹之后的滤波会导致变迹更多的数据值(例如要求更多的乘法)。来自 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道的经变迹和归一化的滤波数字通道数据然后可以用于产生表示聚焦与归一化回声信号的期望波束形成信号(图 2 中所示 $z[n]$),其中该 $N_{ap}[n]$ 个特定数据通道是基于用于波束形成的动态波束聚焦位置选择的。

[0071] 公开的包括动态孔径控制和归一化的集成变迹算法已经用 C 代码实现并且已经在由德克萨斯仪器股份有限公司制造的 TMS320C6474DSP 上示范。汉宁变迹在目标为 TI DSP C64+ 体系结构的软件上实现。图 6 中示出在 C64+ 体系结构上运行的关于集成变迹算法的软件流水信息。

[0072] 发现该特定集成变迹算法花费 15 个循环来计算每个变迹值,用以实现动态孔径控制和归一化两方面。应注意到,实现公开的集成变迹算法所涉及的体系结构不是有限的乘法器(M 单元),而作为替代是有限的移位/装载(L, S, D 单元)。形成有限的 L, S, D 单元的优势在于数据处理是较少数据密集型。公开的算法可以由离线计算的变迹表支持并且存储在表中,并且被参考以将流水线调度减少到所示的 11 个循环的理想范围。

[0073] 公开的动态孔径控制(因为对于发射波束形成而言不需要归一化)可以用于发射超声波束形成。另外,所公开的波束形成可以被扩展至超出超声应用范围。本领域的技术人员应认识到在要求保护的发明的范围内,可以对示例实施例和实现的许多其他实施例作出其他改进。

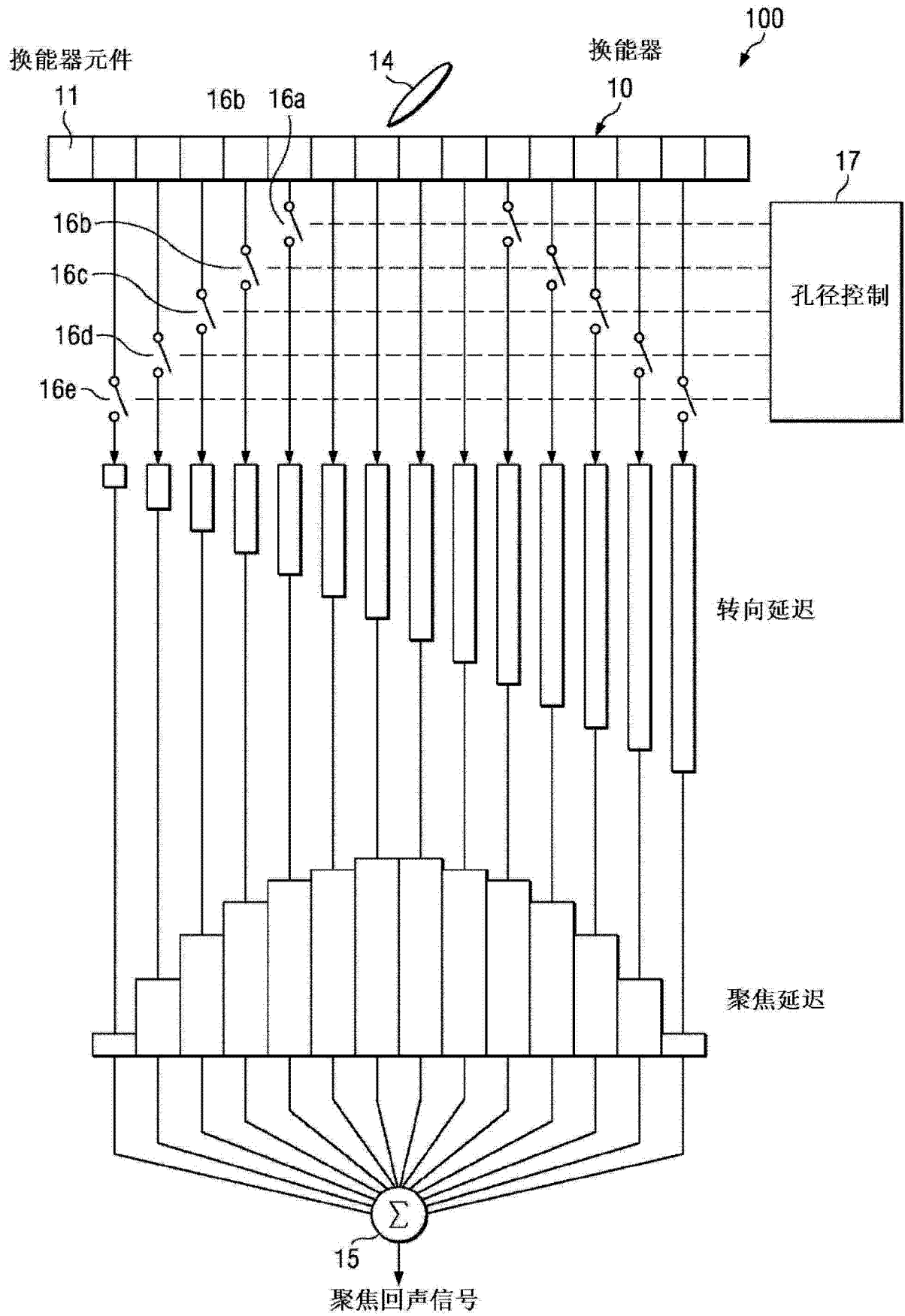


图 1(现有技术)

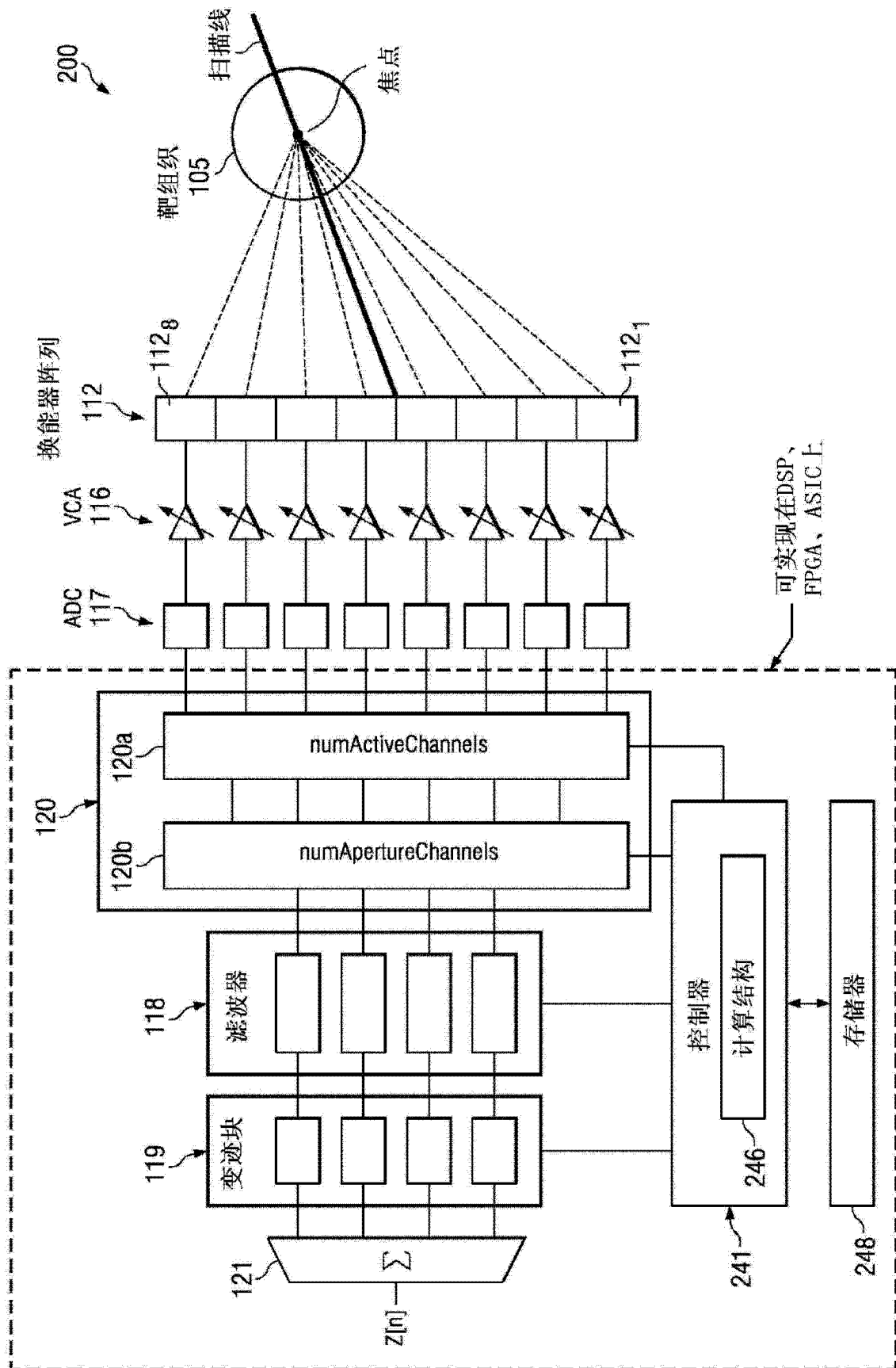


图 2

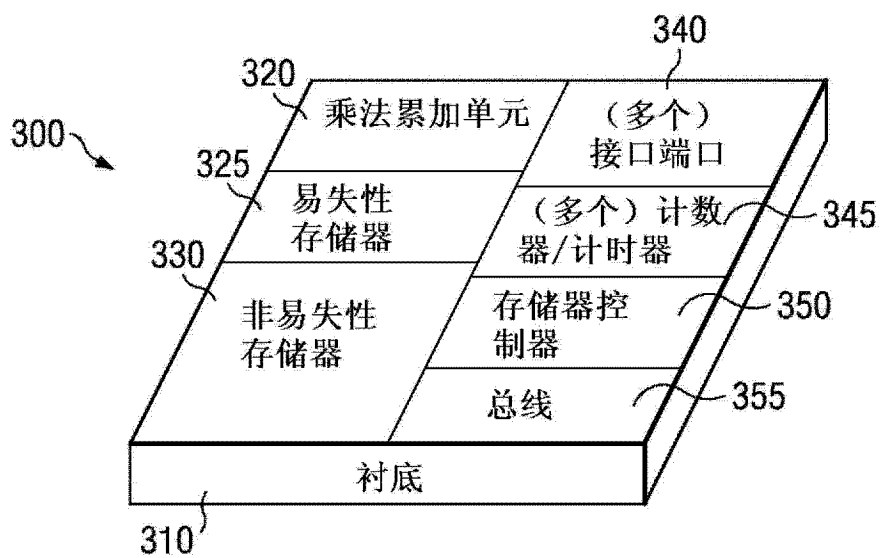


图 3

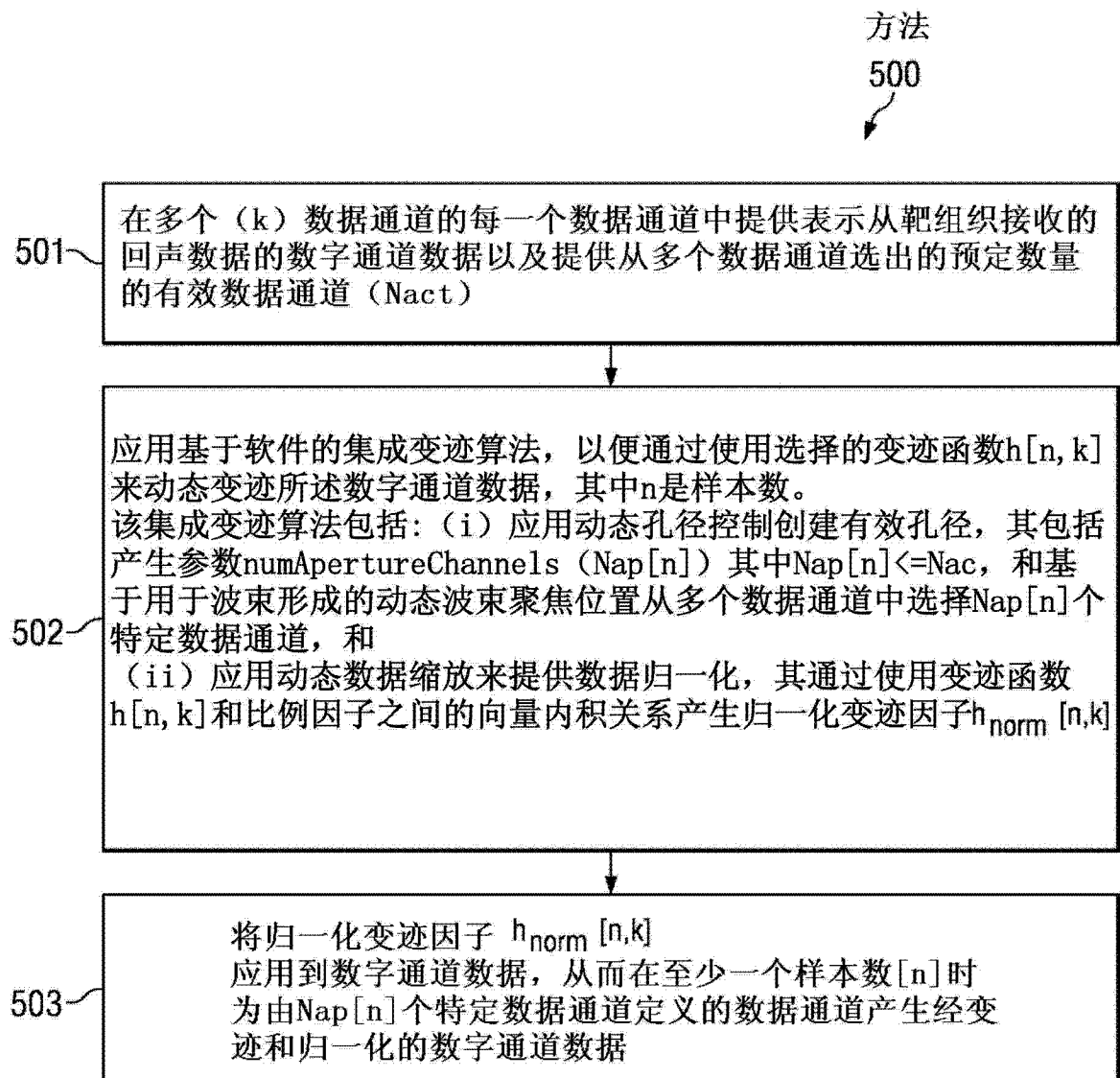


图 5

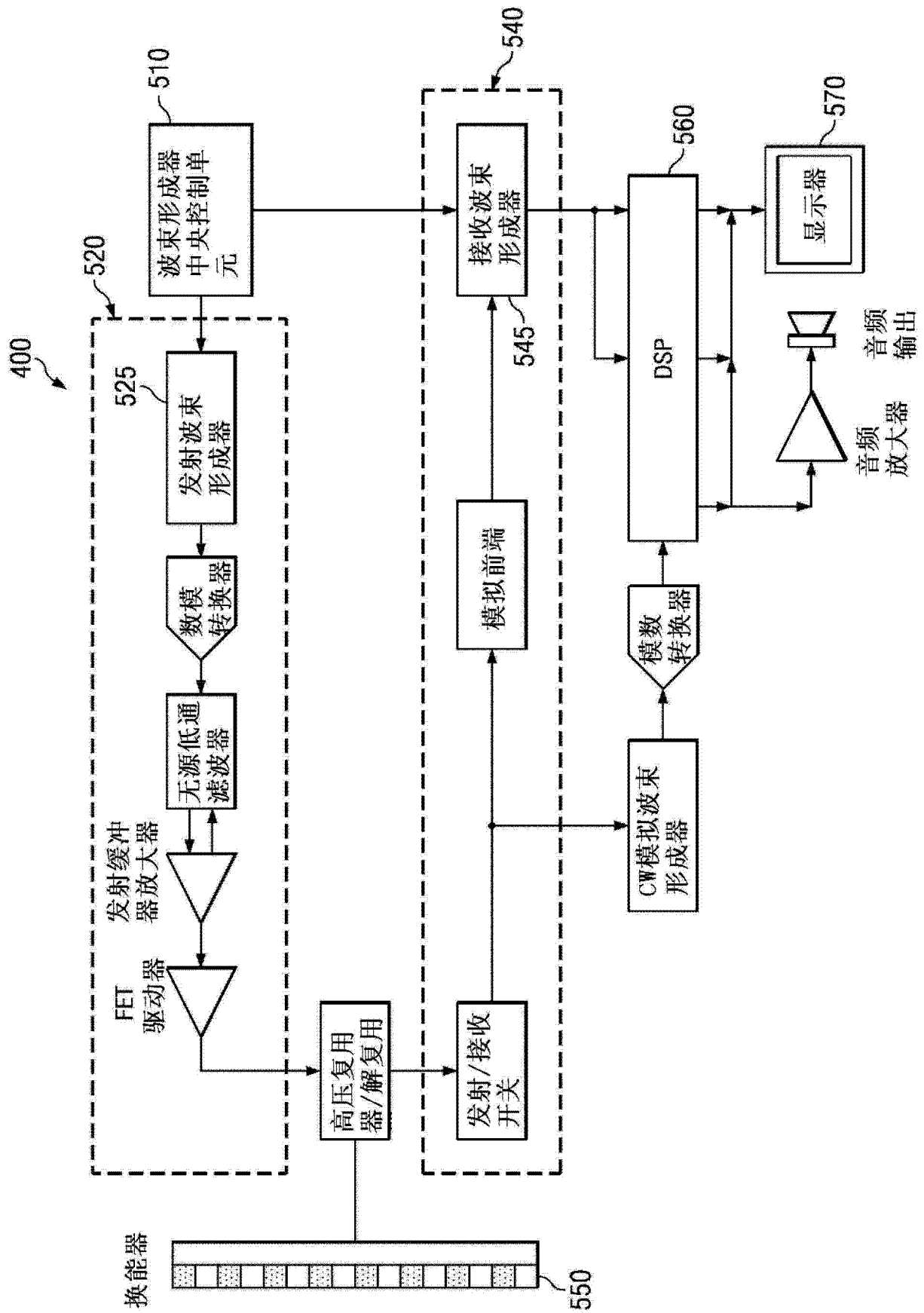


图 4

```

.*                                     *
.*-----
.* SOFTWARE PIPELINE INFORMATION
.*
.* Loop source line      : 164
.* Loop opening brace source line : 166
.* Loop closing brace source line : 319
.* Known Minimum Trip Count      : 2
.* Known Max Trip Count Factor   : 2
.* Loop Carried Dependency Bound(^) : 9
.* Unpartitioned Resource Bound   : 10
.* Partitioned Resource Bound(*)  : 11
.* Resource Partition:
.*           A-side  B-side
.* .L units      1      2
.* .S units      4      8
.* .D units      2      1
.* .M units      5      9
.* .X cross paths      1      7
.* .T address paths      0      3
.* Long read paths      0      0
.* Long write paths      0      0
.* Logical ops (.LS)      1      10  (.L or .S unit)
.* Additional ops (.LSD)  16      10  (.L or .S or .D unit)
.* Bound (.L .S .LS)      3      10
.* Bound (.L .S .D .LS .LSD)  8      11*
.*
.* Searching for software pipeline schedule at ...
.*      ii = 15 Schedule found with 5 iterations in parallel

```

图 6

专利名称(译)	用于波束形成中变迹的动态孔径控制和归一化		
公开(公告)号	CN103237500B	公开(公告)日	2015-06-10
申请号	CN201180058809.4	申请日	2011-12-06
[标]申请(专利权)人(译)	德州仪器公司		
申请(专利权)人(译)	德克萨斯仪器股份有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	德克萨斯仪器股份有限公司		
[标]发明人	DP马吉		
发明人	D·P·马吉		
IPC分类号	A61B8/00 G06F19/00 G01N29/24		
CPC分类号	A61B8/4488 A61B8/486 A61B8/5207 A61B8/54 G01S7/52047		
优先权	61/420068 2010-12-06 US 13/305378 2011-11-28 US		
其他公开文献	CN103237500A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

一种用于超声波束形成的变迹方法 (500) 包括提供(501)在多个 (k) 数据通道中表示来自靶组织的回声数据的滤波数字通道数据和预定数量的有效通道 (Nact)。基于软件的集成变迹算法利用选择的变迹函数 $h[n,k]$ 动态变迹数字通道数据, 其中n是样本数。该集成变迹算法通过产生参数numApertureChannels (Nap[n]) 其中 $Nap[n] < Nact$ 且基于用于波束形成的动态波束聚焦位置选择Nap[n]个特定数字通道, 来应用动态孔径控制创建有效的孔径。应用的动态数据缩放通过利用 $h[n,k]$ 和比例因子之间的向量内积产生归一化的变迹因子 $h_{norm}[n,k]$, 来提供数据归一化。归一化的变迹因子被应用 (503) 于Nap[n]个特定数字通道中的数字通道数据以产生经变迹和归一化的数字通道数据。

