



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107110826 A

(43)申请公布日 2017. 08. 29

(21)申请号 201580073579.7

(22)申请日 2015.11.16

(30)优先权数据

62/079,855 2014.11.14 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.07.14

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2015/060861 2015.11.16

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/077822 EN 2016.05.19

(71)申请人 阿萨斯医疗有限公司

地址 美国宾夕法尼亚

(72)发明人 谢尔盖·V·可普腾科

(74)专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有限公司 11270

代理人 徐川 姚开丽

(51)Int.Cl.

G01N 29/06(2006.01)

A61B 8/00(2006.01)

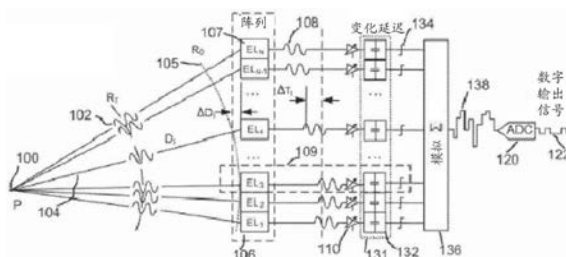
权利要求书3页 说明书18页 附图12页

(54)发明名称

基于模拟随机访问存储器阵列的超声波束形成系统和方法

(57)摘要

超声波束形成器架构通过使用模拟随机访问存储器单元矩阵来捕获、存储并处理来自超声阵列元件的模拟信号的即时样本来执行信号波束形成任务,并且该架构提供了诊断超声成像系统的功耗和尺寸上的显著减小,使得基于该超声波束形成器架构的硬件体系能够被置于超声阵列旁边的一个或多个专用集成芯片(ASIC)中,并且整个诊断超声成像系统可以配合超声探针,同时保留推车系统的大部分功能。超声波束形成架构以数字存储器工作的相同方式操作存储器中的模拟样本,这能够被描述为是模拟存储-数字读取(ASDR)波束形成器。ASDR架构提供了改进的信噪比并且可以缩放。



1. 一种用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成方法,包括以下步骤:  
提供由独立的超声阵列元件组成的超声阵列,所述超声阵列元件配置用于发送和接收;  
将独立的阵列元件分为独立的通道,其中,每个通道包括至少一个阵列元件;  
根据从所述通道的每个阵列元件接收的输入来创建针对每个通道的接收输入信号;  
针对每个通道以一采样率对每个接收输入信号进行采样并将采样数据存储在与该通道相关联的采样保持单元库中,其中,所述采样保持单元库形成用于采样接收输入信号的模拟随机访问存储器;  
根据波束形成算法对每个波束形成实例的每个特定输出时间从至少一个通道中选择至少一个采样保持单元数据;  
将针对波束形成实例从相关联的通道中选择的全部采样保持单元数据相加以形成针对该波束形成实例的模拟波束形成接收信号样本;以及  
将所述模拟波束形成接收信号样本数字化。
2. 根据权利要求1所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成方法,其中,每个通道仅包括一个阵列元件,并且其中创建针对每个通道的接收输入信号包括通过至少一个电压控制放大器和至少一个滤波器对来自阵列元件的输入进行处理,并且其中,每个通道在操作中使用小于40毫瓦。
3. 根据权利要求1所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成方法,其中,每个采样保持单元被形成为基于电容器的元件,并且其中,每个通道在操作中使用小于25毫瓦。
4. 根据权利要求1所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成方法,其中,每个库中的所述采样保持单元的数量等于或大于每秒采样率与信号路径的最大期望延迟的乘积,并且其中,将所述采样数据存储在所述采样保持单元库中的采样速率独立于将所述采样数据从所述采样保持单元库中读取的采样速率。
5. 根据权利要求1所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成方法,还包括将每个发送通道中的发送输出脉冲信号的至少一个形状存储在与该发送通道相关联的发送采样保持单元库中的步骤。
6. 根据权利要求5所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成方法,其中,单个发送采样保持单元库与多个发送通道相关联。
7. 根据权利要求5所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成方法,其中,同一采样保持单元库形成针对每个通道的接收采样保持单元库和发送采样保持单元库。
8. 根据权利要求5所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成方法,其中,每个通道与一个接收采样保持单元库以及一个不同的发送采样保持单元库相关联。
9. 根据权利要求1所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成方法,其中,与多个算法相关联的多个波束形成实例被使用,并且在将模拟波束形成接收信号数字化之前,还包括将每个波束形成实例的每个模拟波束形成接收信号存储在波束形成采样保持单元库中的步骤。
10. 一种用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成器,包括:

超声阵列,其由配置用于发送和接收的独立的超声阵列元件组成,其中,独立的阵列元件被分为独立的通道,其中,每个通道包括至少一个阵列元件;

接收输入信号控制电路,其用于根据从所述通道的每个阵列元件接收的输入来创建针对每个通道的接收输入信号;

多个采样保持单元库,每个采样保持单元库与一个通道相关联,其中,所述波束形成器配置为针对每个通道以一采样率对每个接收输入信号进行采样并将采样数据存储在与该通道相关联的一个采样保持单元库中,其中,所述采样保持单元库形成用于相关联的采样接收输入信号的模拟随机访问存储器;

波束形成处理器,其配置为根据波束形成算法对每个波束形成实例从至少一个通道中选择至少一个采样保持单元数据;

模拟相加元件,其用于将针对每个波束形成实例从每个通道中选择的全部采样保持单元数据相加并形成针对该波束形成实例的模拟波束形成接收信号;以及

模数转换器,其用于将所述模拟波束形成接收信号数字化。

11. 根据权利要求10所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成器,其中,每个通道仅包括一个阵列元件,并且其中,每个通道在操作中使用小于40毫瓦。

12. 根据权利要求10所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成器,其中,每个采样保持单元被形成为基于电容器的元件,并且其中,至少所述波束形成处理器被形成为集成电路。

13. 根据权利要求10所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成器,其中,每个库中的采样保持单元的数量等于或大于采样率与信号路径的最大期望延迟的乘积。

14. 根据权利要求10所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成器,还包括发送波束形成器,所述发送波束形成器用于将发送输出脉冲信号的至少部分存储在与该通道相关联的发送采样保持单元库中。

15. 根据权利要求14所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成器,其中,单个发送采样保持单元库与多个通道相关联。

16. 根据权利要求14所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成器,其中,同一采样保持单元库形成针对至少一个通道的接收采样保持单元库和发送采样保持单元库。

17. 根据权利要求14所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成器,其中,每个通道与一个接收采样保持单元库以及一个不同的发送采样保持单元库相关联。

18. 根据权利要求10所述的用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成器,其中,与多个波束形成算法相关联的多个波束形成实例被使用,并且所述波束形成器还包括波束形成采样保持单元库,所述波束形成采样保持单元库用于在将所述模拟波束形成接收信号数字化之前针对每个给定波形存储所述模拟波束形成接收信号中的每一个。

19. 一种用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成系统,包括超声阵列,所述超声阵列由配置为发送和接收的独立的超声阵列元件组成,其中,独立的阵列元件形成独立的通道,其中,每个通道包括至少一个阵列元件并且每个通道在操作中使用小于40毫瓦。

20. 根据权利要求19所述的模拟存储数字读取超声波束形成系统,包括:i) 接收输入信号处理器,其位于外壳中并针对每个通道根据从该通道的每个阵列元件接收的输入创建接收输入信号;ii) 多个采样保持单元库,其位于探针中,每个采样保持单元库与一个通道相关联,其中,波束形成器配置为针对每个通道以一采样率对每个接收输入信号进行采样,并且将采样数据存储在与该通道相关联的采样保持单元库中,其中,所述采样保持单元库形成用于相关联的采样接收输入信号的模拟随机访问存储器;iii) 波束形成处理器,其位于探针中,所述波束形成处理器配置为根据波束形成算法对每个波束形成实例从至少一个通道中选择至少一个采样保持单元数据;iv) 模拟相加元件,其位于探针中,所述模拟相加元件用于将针对每个波束形成实例从每个通道中选择的全部采样保持单元数据相加以形成针对该波束形成实例的模拟波束形成接收信号;v) 模数转换器,其用于将所述模拟波束形成接收信号数字化;以及,vi) 发送波束形成器,其用于将每个通道的输出脉冲信号的至少部分存储在与该通道相关联的位于探针中的发送采样保持单元库中。

21. 一种用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成方法,包括操作模拟信号三个基本途径:a) 对模拟存储器单元进行顺序写入和任意读取;b) 对所述模拟存储器单元进行任意写入和顺序读取;以及c) 对所述模拟存储器单元进行任意写入和任意读取,其中,波束形成算法使用对存储器单元的任意访问来引导波束形成。

22. 一种用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成方法,包括以下步骤:i) 提供由配置用于发送和接收的独立的超声阵列元件组成的超声阵列;ii) 将独立的阵列元件分为独立的通道,其中,每个通道包括至少一个阵列元件;iii) 对于每个通道根据从该通道的每个阵列元件接收的输入创建接收输入信号;iv) 针对每个通道以一采样率对每个接收输入信号进行采样并将采样数据存储在与存储器单元库中,其中,所述存储器单元库形成模拟随机访问存储器,其中参与该波束形成实例的来自每个通道的当前样本被添加到至少一个存储器单元中的由波束形成算法针对该特定时间实例限定的地址处,其中,每个存储器单元与一样本时钟时间实例相关联,并且其中参与该波束形成实例的每个存储器单元将从该波束形成算法选择的多个通道中选择的样本相加以形成针对该波束形成实例的模拟波束形成接收信号样本;以及,vii) 将所述模拟波束形成接收信号样本数字化。

23. 一种用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成方法,包括以下步骤:i) 提供由配置用于发送和接收的独立的超声阵列元件组成的超声阵列;ii) 将独立的超声阵列元件分为独立的通道,其中,每个通道包括至少一个阵列元件;iii) 对于每个通道根据从该通道的每个阵列元件接收的输入创建接收输入信号;iv) 针对每个通道以一采样率对每个接收输入信号进行采样并将采样数据存储在与存储器单元库中,其中,所述存储器单元库形成模拟随机访问存储器,其中该模拟随机访问存储器具有每个通道至少一行并且列数等于或大于采样率与修正所需的最大延迟的乘积,其中参与该波束形成实例的来自每个通道的瞬时样本被添加到至少一个存储器单元中的由波束形成算法针对该特定时间实例限定的地址处,其中,该行中的每个存储器单元与和扫描线相关联的列中的每个存储器单元的样本时钟时间实例相关联,并且其中参与该波束形成实例的每个存储器单元将从该波束形成算法选择的多个通道中选择的样本相加以形成针对该波束形成实例的模拟波束形成接收信号样本;以及,vii) 将所述模拟波束形成接收信号样本数字化。

## 基于模拟随机访问存储器阵列的超声波束形成系统和方法

[0001] 相关引用

[0002] 本申请要求于2014年11月14日递交的名称为“基于模拟随机访问存储器阵列的超声波束形成系统和方法”的美国临时专利申请号62/079,855的权益。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及超声波束形成,更特别地,本发明涉及一种模拟存储数字读取(ASDR)超声波束形成系统和相关方法。

### 背景技术

[0004] 模拟存储器装置被成功用在大量技术领域,例如,数字存储示波器、X射线探测器和高能粒子追踪应用。该技术的早期先驱能够追溯到基于快进慢出(Fast-In-Slow-Out, FISO)的数字示波器和波形捕获装置,例如美国专利号4,271,488和4,833,445中描述的装置,以上申请以引用方式包含在本申请中。‘445专利描述了快速高分辨率FISO系统,而‘448专利描述了一种采集系统,该采集系统使用采样保持单元建立的模拟存储器阵列,这些采样保持单元以行列布置以形成能够在单个集成电路(IC)芯片上实现的M×N阵列。

[0005] IC上阵列模拟存储器装置的想法被Stewart Kleinfelder和其他贡献者进一步发展。Stewart Kleinfelder制造了一系列的多通道瞬态模拟波形数字化器芯片以用于从中微子物理试验中的探测器捕获数据,参见Kleinfelder,S.A.,“A 4096Cell Switched Capacitor Analog Waveform Storage Integrated Circuit”,IEEE Transactions on Nuclear Science,NS-37,No.1,Feb.1990(“4096单元开关电容器模拟波形存储集成电路”,IEEE核科学学报,NS-37,1号,1990年2月)以及Kleinfelder,S.A.,“Advanced Transient Waveform Digitizers,”SPIE Particle Astrophysics Instrumentation Proc.,v.4858,pp.316-326,Aug.2002(“先进瞬变波形数字化器”,SPIE粒子天体物理仪器方法,第4858卷,316-326页,2002年8月)。在美国专利号4,099,251、5,722,412、6,126,602和8,220,334以及美国专利申请公开号2004-0015079A1、2008-0262351A1、2010-0152587A1和2011-0213251A1中能够找到额外的信息背景材料。同样可参见Haller,G.M.;Wooley,B.A.,“A 700-MHz switched-capacitor analog waveform sampling circuit,”IEEE Journal of Solid-State Circuits,v.29(4),pp.500-508,Apr 1994(“700MHz开关电容器模拟波形采样电路”,IEEE固态电路学报,卷29(4),500-508页,2004年4月)以及Kai E.Thomenius,“Recent Trends in Beamformation in Medical Ultrasound”,IEEE Ultrasonics Symposium 2005(“波束形成在医学超声中的最近趋势”,IEEE超声诊断,2005)。以上专利和公开专利申请以引用方式并入本申请。

[0006] 在医学诊断超声中多次尝试将模拟存储器用于超声信号波束成形,尤其是Song,T.K.和Greenleaf,J.F.在“Ultrasonic Dynamic Focusing Using an Analog FIFO and Asynchronous Sampling(使用模拟FIFO和异步采样的超声动态聚焦)”(UFFE IEEE学报,卷41(3),1994年5月)中提出的被称为流水线采样-延迟聚焦的方案,其中,每个通道中的可变

延迟模拟样本被存储在建立为FIFO的模拟存储器缓存器中并且在被数字化之前由模拟加法器相加。美国专利号6,500,120和6,705,995中描述的模拟存储器波束形成器均以引用方式并入本申请并且能够被示为流水线样本延迟方案的变型。

[0007] 诸如医学诊断之类的超声成像开始于将专门构造的超声信号(脉冲、波或波包)发送到对象,例如医学诊断中的组织(或喷气式发动机检测的涡轮叶片等)。压力脉冲在深处传播,同时在声学阻抗表面(诸如不同组织之间的边界)上沿路径衰减并散射。这些经散射的回声由接收超声阵列来拾取,并且根据该数据沿脉冲传播路径将组织组成重构为单个扫描线。之后将下一个脉冲发送到不同的方向,并且接收返回到传感器阵列的经散射(或在传输断层摄影中的衰减)的超声信号,并且重复对结果的解释直至由单独的扫描线组合成为所需要的2维切片(B模式帧)或3维体积。

[0008] 为了增强来自组织内的特定空间位置的信号的空间分辨率和对比(幅度)分辨率,超声阵列需要聚焦到该位置。因此,在组织中进行压力脉冲传播的过程中,接收阵列需要恒定地移动其焦点以跟随当前脉冲位置。因而,原始数据处理中的第一步骤之一被称为波束形成,其中,到达阵列中的不同元件处的信号在相互相加之前被时移。通常,波束形成适用于发送和接收信号两者。

[0009] 图1示出了用于形成超声图像的第一方法,也被称为模拟波束形成。通常,超声成像装置包括超声阵列106,超声阵列106被分为大量的独立元件107或通道(典型地为线形或曲线形1维阵列中的64或128个元件)。在询问发送阶段,发送波束形成器将可变延迟电脉冲发送到超声阵列106的元件。构造信号之间的相对延迟以使得阵列106的元件107发射的超声脉冲将同时到达预定的空间点100(焦点P),这些超声脉冲的相位对准以实现来自阵列106的全部元件107的小波的耦合相加。该波将在点100处散射,并且该球形散射波的一部分将回到阵列106的元件107。每个元件107将入射波的压力变化转换为电压变化输出108。该散射波中到达阵列元件107的表面上的部分能够被视为沿射线104传播的小波102,射线104连接散射点100和元件107的面。根据散射点100和阵列106的特定元件107之间的相互位置,路径104将从等于半径R0的最短路径105向最长路径变化。最短路径105与从点100到阵列106的i元件的路径之间的空间差 $\Delta D_i$ 转化为信号108的到达之间的时间延迟 $\Delta t_i$ 。接收波束形成器的任务是改变来自参与到波束形成中的全部元件107的信号108之间的时间差并且根据波束形成算法的方向将这些信号相加。例如,这样的波束形成算法可能需要移除全部到达信号中的时间延迟 $\Delta t$ 并将如此处理后的信号相加(延迟相加算法),从而将阵列聚焦到点P。能够看到,发送波束形成器和接收波束形成器的工作是互反的,因此,对接收波束形成器的工作的描述同样是对发送波束形成器的技术方案的描述。

[0010] 对所接收的信号进行处理的方式限定了波束形成器的类型。在图1中所示的模拟波束形成器中,信号108首先由电压控制放大器(VCA)110放大以补偿信号衰减,之后使用延迟电路112对信号进行时移以补偿达到延迟,之后在模拟相加电路116中将如此对准的信号114相加,并且模数转换器(ADC)120将输出信号118数字化以产生输出数字信号122,该输出数字信号122存储在存储器中并且被后端处理器用于重构B模式或多普勒图像。该设计的优点在于硬件简单。缺点包括模拟设计元件112(非动态波束形成)的较差的时间辨别度和较低的刷新率,以及波束形成方法的不可逆性以至于对所捕获的信号仅能够应用一个波束形成算法。

[0011] 超声成像中使用的第二种常见类型的波束形成器通常已知为数字波束形成器(参见图2)。在数字波束形成器中,电压控制放大器(VCA)110对来自阵列106的元件的电压信号108进行放大以补偿信号衰减,通道ADC 124以一定的采样率将每个通道中的信号数字化并将数字化信号输出到存储器或先入先出(FIFO)寄存器,在寄存器中根据波束形成算法对信号进行移动(例如使得移除到达延迟 $\Delta t$ ),之后来自每个参与通道的经这样处理的数字数据128由数字加法器130相加,并且输出数据122被写入存储器以用于进一步的处理。替选地,元件126和130能够被实现为波束形成算法的软件模块。如图2中所示的数字波束形成器的优点在于其速度和精确度,这使得能够实现动态波束形成并且可能在相同的数据量上实现多种波束形成策略。缺点在于硬件复杂,表现出较大的硬件尺寸、较高的成本以及较高的功耗(发热)。

[0012] 为了清楚起见,图1和2中所示的模拟波束形成器和数字波束形成器的示意图通过移除多路复用级得以简化。在现实中,正如本领域技术人员已知的,使得处理通道的数量等于阵列中的元件的数量是非常昂贵的提议。因此,阵列能够具有64、128、256或更多的元件,但是波束形成器通常可以具有32或64个通道以及将阵列106中的元件选择到当前孔径中的模拟多路复用电路。基于同样的原因,将阵列106的元件连接到模拟前端电子器件上的线缆和信号连接器并未示出,尽管它们的确影响系统成本和信号质量。

[0013] 根据对于波束形成方法的描述能够看到,来自于阵列元件107的输出端的信号独立于来自其它元件的信号被处理,直至在波束形成器的输出端出将全部信号进行组合。因此,该文本将从元件107到加法器116、130(或136)的该信号路径称为“信号路径”或“波束形成通道”或简称为“通道”109。在本领域中仍需要减小诊断超声成像的尺寸和功率要求,并且使用波束形成架构来达到该目标。

## 发明内容

[0014] 所提出的模拟存储数字读取(ASDR)超声波束形成架构通过使用采样保持单元矩阵来捕获、存储并处理来自超声阵列元件的模拟信号的即时样本来执行信号波束形成任务。该架构提供了诊断超声成像系统的功耗和大小的大幅减小,以使得基于ASDR超声波束形成架构的硬件体系能够置于在超声阵列旁边的一个或多个专用集成芯片(ASIC)中。整个诊断超声成像系统可以配合超声探针,同时保留推车系统的大部分功能。ASDR架构提供了改进的信噪比并且可以缩放。

[0015] 本发明的一个方面提供了一种用于超声成像系统的在模拟随机访问存储器(ARAM)中实现顺序写入和任意读取操作的模拟存储数字读取超声波束形成方法,包括以下步骤:i)提供由配置用于发送和接收的独立超声阵列元件组成的超声阵列;ii)将独立的超声阵列元件分为独立的通道,其中,每个通道包括至少一个阵列元件;iii)针对每个通道根据从该通道的每个阵列元件接收的输入创建接收输入信号;iv)针对每个通道以一采样率对每个接收输入信号进行采样,并且将采样数据存储在与该通道相关联的采样保持单元库中,其中,采样保持单元库形成用于采样接收输入信号的模拟随机访问存储器;v)根据波束形成算法针对每个波束形成实例的每个特定的输出时间从至少一个通道中选择至少一个采样保持单元数据;vi)将针对该波束形成实例从相关联的通道选择的全部采样保持单元数据相加以形成该波束形成实例的模拟波束形成接收信号样本;以及vii)将模拟波束形成

接收信号样本数字化。

[0016] 本发明的一个方面提供了一种用于超声成像系统的实现对ARAM的任意写入和顺序读取的模拟存储数字读取超声波束形成方法,包括以下步骤:i)提供由配置用于发送和接收的独立超声阵列元件组成的超声阵列;ii)将独立超声阵列元件分为独立通道,其中,每个通道包括至少一个阵列元件;iii)对于每个通道根据从该通道的每个阵列元件接收的输入创建接收输入信号;iv)针对每个通道以一采样率对每个接收输入信号进行采样并将采样数据存储存储在存储器单元库中,其中,存储器单元库形成模拟随机访问存储器,其中参与该波束形成实例的来自每个通道的当前样本被添加到存储器单元中的由波束形成算法针对该特定时间实例限定的地址处,其中,每个存储器单元与一样本时钟时间实例相关联,并且其中参与波束形成实例的每个存储器单元将从波束形成算法选择的多个通道中选择的样本相加以形成针对该波束形成实例的模拟波束形成接收信号样本;以及,vii)将模拟波束形成接收信号样本数字化。

[0017] 本发明的一个方面提供了一种用于超声成像系统的实现对ARAM的任意写入和任意读取的模拟存储数字读取超声波束形成方法,包括以下步骤:i)提供由配置用于发送和接收的独立超声阵列元件组成的超声阵列;ii)将独立的超声阵列元件分为独立的通道,其中,每个通道包括至少一个阵列元件;iii)对于每个通道根据从该通道的每个阵列元件接收的输入创建接收输入信号;iv)针对每个通道以一采样率对每个接收输入信号进行采样并将采样数据存储存储在存储器单元库中,其中,存储器单元库形成模拟随机访问存储器,其中该模拟随机访问存储器具有每个通道至少一行并且列数等于或大于采样率与修正所需的最大延迟之间的乘积,其中参与该波束形成实例的来自每个通道的瞬时样本被添加到至少一个存储器单元中的由波束形成算法针对该特定时间实例限定的地址处,其中,该行中的每个存储器单元与和扫描线相关联的列中的每个存储器单元的样本时钟时间实例相关联,并且其中参与波束形成实例的每个存储器单元将从波束形成算法选择的多个通道中选择的样本相加以形成针对该波束形成实例的模拟波束形成接收信号样本;以及,vii)将模拟波束形成接收信号样本数字化。

[0018] 本发明的一个方面提供了一种用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成系统,包括由配置为发送和接收的独立超声阵列元件组成的超声阵列,其中,独立阵列元件形成独立通道,其中,每个通道包括至少一个阵列元件并且每个通道在操作中使用小于40毫瓦。

[0019] 本发明的一个方面提供了一种用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成器,包括:i)超声阵列,其由配置用于发送和接收的独立超声阵列元件组成,其中,独立的超声阵列元件分为独立的通道,其中,每个通道包括至少一个阵列元件;ii)接收输入信号控制电路,用于针对每个通道根据从通道的每个阵列元件接收的输入创建接收输入信号;iii)多个采样保持单元库,每个采样保持单元库与一个通道相关联,其中,波束形成器配置为针对每个通道以一采样率对每个接收输入信号进行采样,并且将采样数据存储在与该通道相关联的采样保持单元库中,其中,采样保持单元库形成用于相关联的采样接收输入信号的模拟随机访问存储器;iv)波束形成处理器,配置为根据波束形成算法对每个波束形成实例从至少一个通道中选择至少一个采样保持单元数据;v)模拟相加元件,用于将针对每个波束形成实例从每个通道选择的全部采样保持单元数据相加并形成该波束形成实

例的模拟波束形成接收信号样本;以及vi)模数转换器,用于将模拟波束形成接收信号数字化。

[0020] 本发明的这些优点以及其它优点将在参见附图的优选实施例的简要说明中进行阐述。在附图中,相同的附图标记始终表示相同的元件。

### 附图说明

[0021] 图1为现有技术中的模拟波束形成器的示意性视图;图2为现有技术中的数字波束形成器的示意性视图;图3为根据本发明的一个实施例的模拟存储数字读取(ASDR)超声波束形成器的示意性视图;图4A至D为本发明的ASDR超声波束形成器中使用的代表性采样保持单元(Sample/Hold Cell,SHC)的示意性视图;图5为本发明的ASDR超声波束形成器中使用的替代性SHC的示意性视图;图6为示出了本发明的ASDR超声波束形成器中使用的采样保持单元的工作的示意性时间图;图7为示出了本发明的ASDR超声波束形成器的工作的时间图;图8A和8B为根据本发明的两个实施例的发送波束形成器通道和接收波束形成器通道的替选示意性框图;图9示意性示出了对本发明的ASDR超声波束形成器中使用的SHC阵列进行写入和读取的方法;图10为本发明的ASDR超声波束形成器中使用的接收波束形成器的示意性视图;图11为根据本发明的一个方面的第二级采样保持单元阵列的示意性框图;图12为常见阵列的示意性组成;图13为根据本发明的一个方面的子孔径发送和接收波束形成器的示意性框图;图14为根据本发明的ASDR超声系统的示意性框图;图15为根据本发明的一个方面的接收波束形成器通道的替选示意性框图;图16A、16B、16C和16D为根据本发明的四个实施例的接收波束形成器架构的替选示意性框图;图17A、17B和17C示意性示出了本发明的ASDR超声波束形成器中使用的SHC阵列写入和读取方法;以及图18为根据本发明的接收波束形成器架构的一般化示意性框图。

### 具体实施方式

[0022] 本发明涉及例如用在医学人体和动物应用中的医学诊断系统中的超声诊断系统。本发明的一些方面结合通过引用并入本申请中的与PCT/IB2014/000281对应的WO/2014/125371来理解。本发明还可用于非破坏性测试/评估(例如,流水线测试、机身测试、涡轮叶片测试、桥和结构测试、如金属工作辊的制造测试)。超声测试是常用于发现材料中的缺陷并测量对象的厚度的非破坏性测试类型。常使用1至50MHz的频率,但是出于特定目的使用其它频率。检查可以是手动或自动的,并且是现代制造工艺中的关键部分。大多数的金属以及塑料和航天复合材料能够被检查。还能够使用更低的频率超声(50至500kHz)来检查密度更小的材料,例如木材、混凝土和水泥。本发明还可用于地球物理勘探和声纳应用,并且通常应用于需要波束形成来发送和/或接收的超声成像(或类图像)应用。本发明特别指向对来自超声阵列(接收波束形成器)的元件并去往同一阵列(发射波束形成器)的元件的信号进行处理的方式。本发明描述了一种波束形成器系统,该系统相比于当前系统提供了更高的图像质量以及在系统大小、功耗和制造成本上的显著减小。因此,即便本发明的主要应用是在医学超声,但是该波束形成架构以及基于该原理构建的硬件和软件能够用于其它领域,例如非破坏性测试、声纳、雷达、太赫兹、红外、光学成像系统或者用于地震地球物理勘探。

[0023] 新设计的总体概念是创立一种混合波束形成器,该混合波束形成器使用数字控制并且操作来自换能器阵列元件的模拟信号。这样的设计使得电子电路的硬件体积和功耗能够从根本上最小化,从而使得能够开发超便携超声机器并改良先进的系统。操作模拟信号来建立ASDR波束形成器具有多种基本的方法,包括:a)对模拟存储器的顺序写入-顺序读取(SWSR)。该原理首先用在事件捕获装置中,其中,一些快速信号被高速记录到ARAM并且之后回放且以较低的采样速率被数字化以用于核物理探测器(Kleinfelder,S.A.,“4096单元开关电容器模拟波形存储集成电路”,IEEE核科学学报NS-37(1)1990)。作为超声波束形成器,该架构被实现为流水线采样-延迟聚焦波束形成器(Song,T.K.,and Greenleaf,J.F.,“使用模拟FIFO和异步采样的超声动态聚焦”,UFFC IEEE学报,卷41(3),1994),其中,非一致采样时钟被用于在每个通道中的模拟样本被捕获并存储在通道模拟FIFO缓存器之前使这些模拟样本以及来自于全部通道的FIFO顺序读取并在数字化之前由模拟加法器相加的样本可变地延迟。顺序写入样本并在之后以经由多个采样周期之一的“滑动”加入的合适延迟进行读取的这一方案的变化在美国专利号6,500,120和6,705,995(以引用方式并入本申请)中进行了描述;b)对模拟存储器单元的顺序写入-任意读取(SWAR);b)对模拟存储器单元的任意写入-顺序读取(AWSR);以及,c)对模拟存储器单元的任意写入-任意读取(AWAR)。后三种方法是本发明的主题,其中,将对SWAR波束形成器进行完整描述,并且对于AWSR和AWAR架构,本申请描述了它们与ASWR设计的重大区别。术语“任意”(arbitrary)被用在本申请全文中并且应当理解为本领域中通常所知的“随机访问”。对存储器单元的任意访问由波束形成算法用于引导波束形成。

[0024] 顺序写入-任意读取波束形成器架构-图3描绘了采用SWAR原理建立的波束形成器的示意性略图。在本发明的波束形成器中,来自阵列106的元件107的模拟信号108通过电压控制放大器(VCA)110以补偿媒介中的信号衰减,之后以一定的采样率被写入采样保持单元的阵列131中作为电平序列。采样率可以是固定的或变化的,还可以是独立的且不同于从阵列131的采样保持单元读取的采样率。

[0025] 每个SHC阵列131(同样已知为模拟随机访问存储器(ARAM)阵列131)包括设置在不同的行或库132中的多个采样保持单元150,该多个采样保持单元150具有与上述常规数字随机访问存储器相似的方式工作的公共信号线和控制开关(同样参见图10)。接下来在每个信号通道109中,根据波束形成算法来挑选一行132中的一个采样保持单元150,并且模拟相加电路136将来自参与该特定时刻(也称为波束形成实例,其定义为执行波束形成算法的一个采样步骤)的波束形成过程的全部通道的模拟信号134的样本相加。模数转换器120将波束形成的结果表示为模拟样本序列的输出模拟信号138数字化,并且输出数据122被写入存储器以用于进一步处理。

[0026] 换言之,波束形成过程包括存储来自阵列元件的连续信号的模拟样本,之后以在数字波束形成过程中读取数字存储器单元相同的方式读取一定模拟存储器单元的内容。然而,首先将相同信号的模拟表示相加并随后将结果数字化,而非将信号的数字表示相加以产生输出波束形成信号。因此,以数字方式操作模拟信号样本的方法包括本发明的模拟存储-数字读取(ASDR)超声波束形成系统和方法的实质。为了描述模拟存储-数字读取(ASDR)超声波束形成器的功能和操作,将从该装置的基本建立分块并演进到系统级开始说明。

[0027] 采样保持单元-模拟存储器阵列的基本建立分块是采样保持单元(SHC)。SHC的设

计是公知的,并且在此的SHC设计的使用基于存储电容器以作为设计的一个示例;然而,任何能够存储模拟量的装置能够用于建立这样的单元。

[0028] 图4A-D和图5示出了单个采样保持单元(SHC)150的示意性组织。SHC的主要元件为存储电容器152,将电容器152连接到输入模拟信号线WRITE(写入)160、输出信号线READ(读取)A 162和READ B 164或接地的模拟开关154-158。开关154-158能够基于晶体管、MEMs或其它能够实现模拟开关和多路复用的技术来制作。

[0029] 图5示出了基本SHC 150设计中的变型的示意性表示,例如,使用“单刀单掷”(SPST)写入开关155、另一SPST读取开关157、外加泄放电阻器168来控制电容器通过开关154的放电过程,并且将存储电容器152的底板永久接合到信号接地。SHC设计的这些变型以及任何其它已知变型包含在本申请中。

[0030] 如图6中示意性所示,SHC 150工作循环包括以下操作:将电平(voltage level)写入存储电容器152、存储电荷、读取电容器152的内容以及擦除存储电容器152的内容以备下一个工作循环。参见图7中的时间图,在时间 $T_i$ 处的写入操作中,电容器152的顶板经由开关152和156连接到输入模拟信号线WRITE160。开关158将电容器152的底板接地。来自VCA1(110)的输出端的 $V(T_i)$ 的电压值存储在电容器152中。在时间周期 $T_3$ (存储操作)中,开关154和156中的一者或两者处于高阻抗状态(与信号线打开或断开)。在时间周期 $T_1$ 内发生的时间 $T_3$ 之后,读取电容器152的内容。在读取操作中,开关158将电容器152的底板连接到READ B输出信号线164,并且电容器152的顶板经由开关154和156连接到READ A信号线162。在时间周期 $T_2$ 中发生的放电操作包括将电容器152的顶板和底板经由开关154和158直接接地或通过泄放电阻器168接地。读取存储放电循环的总时间(参见图7)  $\Delta t = t_{i+1} - t_i = T_1 + T_2$ 由SHC库109的行的长度(S/H单元的数量)、采样率以及需要修正的最大信号延迟来限定。开关154-158的打开和闭合状态由下文中将说明的波束形成器控制电路控制。

[0031] 采样保持单元阵列-独立的采样保持单元150按行且按列组织成采样保持单元阵列131(或模拟随机访问存储器或ARAM)。在优选实施例中,阵列131的行132的数量(或波束形成器通道109的数量)通常等于换能器阵列106中的元件107的数量(例如,128个元件)。在其它实施例中,波束形成器通道109的数量能够小于或大于该数量。如下文中所述,列的数量(SHC库132中的S/H单元的数量)由采样率以及信号到达换能器阵列106的元件的最大延迟来限定。例如,对于如已知为C5-2/60之类的具有全部打开的128个元件的有效孔径(总长度为60mm)且信号穿进组织中达到 $z = 100\text{mm}$ 深的常见曲线医学超声换能器阵列,最大信号路径差(从深度 $z$ 到孔径中心以及到孔径边缘的脉冲)将为大约  $\Delta d \approx 4.4\text{mm}$ (参见图3)。在1540m/s的声速下,给出最大延迟  $\Delta t \approx 2.86 \times 10^{-6}\text{s}$ 。在 $S = 40\text{MS/s}$ (兆样本每秒)的采样率下,有必要捕获最少114个样本点以能够补偿孔径的全部元件107的2.86微秒的信号到达延迟。因此,在此情况中,SHC阵列131将在128行中的每一行132包括至少114列个采样保持单元150。在其它实施例中,列的数量 $N$ 能够大于所需要最小值,但是标准 $N > \Delta t \times S$ (样本/秒)给出了针对每一行132中的样本电容器或单元150的数量的最小估计。

[0032] 按行组织SHC阵列用于将数据写入S/H单元150,并且按列组织用于从单元的输出端读取数据。在图8A和B中示出了采用在超声波束形成器中使用这种阵列的两种主要架构。图8A显示了超声系统的一个通道109的部分示意图,其中,发送波束形成器通道和接收波束形成器通道之间经由开关184来共用SHC行132。图8B示出了一个超声通道109的部分示意

图,其中,发送波束形成器和接收波束形成器具有自己的SHC行库132和133以存储和读取模拟样本。即便库132和133可以具有相同的设计(如图4A-D和5中所示),SHC库133独立于132被单独标记以表示库132和133属于物理上不同的两个阵列,这两个阵列具有不同大小的存储电容器150。属于行库132的全部S/H单元150连接到公共信号线160、162和164。对单元开关152-158进行控制的逻辑电路使得能够采用与对数字动态RAM操作进行逻辑控制相似的方式来选择单个单元,分组或全部单元来执行读取、写入、存储或放电操作。

[0033] 发送波束形成器操作-参见图8B,波束形成器操作发送阶段开始于将脉冲形状写入波束形成器通道发送模拟样本存储器133中,其中,数模转换器或DAC(未示出)使用WRITE线160将电平样本写入SHC行133单元150。优选实施例具有的发送波束形成器通道133的数量等于接收通道132的数量和换能器阵列元件107的数量。在其它实施例中,发送通道的数量能够大于用于存储不同信号形状的阵列元件的数量或小于元件107的数量,甚至至少为阵列的全部元件服务的单个通道133。脉冲形状由133中存储的电压样本序列形成。为了形成脉冲,SHC行133的采样保持单元150被按照顺序连接到高压脉冲器182的输入端,高压脉冲器182经由发送接收开关180连接到换能器元件107。脉冲中心频率和频率内容由脉冲形状以及电压样本到达脉冲器182的输入端的采样速率(或时钟速率)来限定。每个发送通道的波束形成延迟由通道自身的计时器形成,该计时器通过例如倒数计数器或缓存器将脉冲形成的开始延迟一合适数量的时钟循环。

[0034] 在一个实施例中,发送通道133的SHC行中的采样保持单元的电压分辨率能够低于接收通道132的SHC行中的SHC分辨率。在其它实施例中,发送通道单元分辨率能够低至2比特或者高达接收SHC分辨率。发送SHC行133的深度能够从两个单元到与接收行132中的单元数量相等的数量变化。

[0035] SHC行133还可以存储大量的连续脉冲形状,这些脉冲形状能够由发送控制器快速挑选以在当前扫描线操作中形成不同的脉冲(例如以各个中心频率脉冲生成一个扫描线的多个焦点)或用于生成不同的扫描线(例如在脉冲反向成像中)。

[0036] 在一个实施例中,每个SHC行133可以存储全部波束形成通道共同的脉冲形状或者存储对于每个波束形成通道或波束形成通道分组而言单独的脉冲形状。

[0037] 在需要时,能够在波束形成的接收阶段刷新或重写脉冲形状。发送波束形成器电路的时钟或采样频率能够与接收波束形成器的时钟速率相同或者更高或更低,这是因为二者是独立的。进一步地,采样频率是可变化的。在一个实施例中,在发送过程中,发送波束形成器的采样速率能够通过编程改变,从而在发送时改变发送脉冲的频率内容并保留所记录的形状。

[0038] 图8A中示出了发送接收通道架构的其它可能的实施例。在该实施例中,波束形成通道的发送部分和接收部分通过开关184共享同一SHC阵列132。发送和接收操作以上述同一方式进行,除了在接收循环的最后,WRITE线160从110的输出端断开并且来自外部DAC的脉冲形状数据被顺序写入阵列132的SHC单元,而最后的接收波束形成事件发生在SHC阵列的远端。

[0039] 接收波束形成器操作-参见图8B中的波束形成通道109的示意图,压电式元件107(换能器阵列106的一部分)在发送级将电能转换为机械振动并且在接收级将机械振动转换为电信号。发送-接收开关180将元件107连接到高压发送脉冲器182的输出端或连接到放大

器110的输入端(放大器110内部可以包括低通滤波器、低噪放大器LNA级和VCA以作为用于时间增益补偿的第二级)。来自VCA 110的输出端的滤波放大信号连接到WRITE信号线160,该WRITE信号线160对形成SHC行132的全部采样保持单元150进行连接。信号线160能够经由开关188连接到参考电压源186而非VCA 110的输出端,参考电压源186使得能够通过写入和读取校准电平而对库132中的单元进行性能测试和校准。输出READ信号线162和164使得能够将任何单元150的任何存储电容器连接到电流或电压跟随器或相加电路的输入端,或者使得在不需要切趾法(apodisation)时(例如,在子孔径波束形成中)能够直接顺序连接所选的存储电容器150。

[0040] 在接收级,以一定的频率(采样率)对来自VCA 110的电平进行采样并存储在连续单元150中,直至最后一个单元接收到要存储的样本。对此,写入操作重新开始于第一单元(如图6和7中所示的单元放电操作来进行)。在一些实施例中,放电操作不包括在内,并且在写入操作中旧的单元的内容由新的单元的内容代替。写入操作开始于以下时刻:从用户设定的最小深度散射的信号到达阵列并继续直到来自预设最大深度的信号到达参与波束形成的阵列中的最远的元件。与在接收散射数据来创建扫描线过程中对阵列的全部元件的整个时间压力历史进行写入和读取不同,本发明使用滑动窗口方法,从而仅对用于创建波束形成信号的当前样本的当前部分进行存储。

[0041] 在开始数据采集和填充足够列之后,开始读取(波束形成)操作。图9示出了如何对SHC阵列进行写入和读取。在该图中,每个方块表示一个采样保持单元150,并且具有N行(波束形成通道)和M列。在时刻 $t_{j+1}$ ,来自对应的VCA 110的电平的样本被写入标记为符号W1的列210中。在同一时间,波束形成算法选择标记为R1的单元214用于创建当前输出波束形成样本。这些单元的内容被相加电路读取并相加。在下一采样间隔 $t_{j+2}$ ,对标记为W2的S/H单元212进行写入并且对单元216(R2)进行读取。当读取操作达到SHC阵列的最后时,该读取操作返回到第一列,这与模拟样本写入操作的方式相同。因为本发明针对读取和写入具有独立的信号线,这些操作可以同时完成。期望将阵列中的列的数量保持为略大于所需的最小数量,由此读取操作和写入操作不会重叠。在一些实施例中,系统将整个阵列131按列分为多个独立的分块,使得能够在一系列存储器分块中进行写入操作,在下一列存储器分块中进行放电,同时剩余分块保留用于读取操作。例如,系统按列将包括 $128 \times 128$ 个元件的阵列131分为8个分块,每个分块具有 $128 \times 16$ 个SHC单元。之后,在某些时刻,将分块5用于写入来自128个通道的数据,将分块6用于将该分块的内容放电,并且将分块7、8和1-4用于读取和波束形成。因此,分段之后的单个信号线可以用于对单元进行访问,而不是使用单独的读取线和写入线。在对参与波束形成实例的单元进行选择的自由使得能够对存储的采样数据进行复用以不止实施一个波束形成算法,而是针对相同的数据分块获得大量各种波束形成场景,相似地这能够采用数字波束形成架构中存储的通道数据来实现。

[0042] 通常来说,写入操作并不需要针对S/H单元的连续列来进行。只要存储器控制器保留分数,则单元的地址能够是随机的。按行写入数据是方便的选择,然而SHC阵列还能够建立用作随机访问模拟存储器ARAM,其中,来自元件的电平样本被存储在随机位置(没有硬通道和时间关联)。该方法的潜在优点在于使得能够自由选择SHC行库(通道)的深度以及孔径的大小(行的数量或换能器元件的数量)。然而潜在缺点在于需要模拟多路复用器来切换通道,并且写入速率可能较低,然而这样的设计选择可考虑用于一些应用中。

[0043] 同样,采样保持单元阵列132、加法器136和ADC 120的采样率并不需要相同和/或同步。在一些实施例中,可能需要具有单个时钟来控制全部三个分块,在其它实施例中,读取、写入和数字化操作之间可能需要具有相位差。在另一实施例中,可能需要具有相位链接或完全独立的不同频率,从而控制采样保持单元阵列132、加法器136和ADC 120的操作。全部三个功能分块采用不同的频率和相位以独立的采样率工作并且能够独立动态调节每个功能分块的采样时钟可能是有益的,这将在下文中进行详述。

[0044] 接收波束形成相加操作-可以使用SHC 150中存储的模拟样本的电压值或电流值来完成波束形成相加。参见图9和10,在波束形成算法选择每个波束形成通道132中的单元150(标记为R1)之后的波束形成时刻 $t_{J+1}$ ,存储电容器152由信号线READ A(162)和READ B(164)连接到电压或电流跟随器200的输入端。在一个实施例中,电压跟随器200连接到电压控制放大器202上,电压控制放大器202用于形成孔径切趾以及电容器校准补偿。通过对于不参与当前波束形成时刻的通道将切趾值设为0来控制当前有效孔径范围。在另一实施例中,电压跟随器200和VCA 202能够在一个电路中结合。在另一实施例中,200为电流跟随器。在另一实施例中,存储电容器152的一个板永久附接到信号接地,并且不存在信号线READ B 164。

[0045] 在一个实施例中,每个接收波束形成通道自身具有放大器200和202。另一实施例可以具有较少数量的放大器200和202,并且模拟多路复用器将所选择的波束形成通道与多数放大器200和202形成的孔径相连。另一实施例可以移除VCA 202或者由用于有效孔径选择的模拟开关替代。

[0046] 方便起见,系统限定了包括参与模拟信号采集的全部元件和功能分块的模拟通道AC 203,从而存储并处理来自阵列元件107的输出以得到VCA 202的输出端处的电压样本。VCA 202(或AC 203)的输出表示经过适当延迟、切趾和补偿的模拟通道样本。

[0047] 在电压相加方案中,相加电路136从全部的波束形成通道接收电压样本的实例,将这些实例相加并输出结果。如果使用电流相加方法,则电路136是电流相加电路。在另一实施例中,并不是使用当前存储电容器152的内容来实现相加,而是使用当前存储电容器首次复制到临时存储电容器中的内容来实现相加。在另一实施例中,通过将连续参与波束形成事件中的全部存储电容器152或临时存储电容器相连来实现相加,其中,第一电容器的线164连接到第二行电容器的线162,依此类推,直到最后一个电容器被连接。之后从第一电容器的线162和最后一个电容器的线164读取和值。

[0048] 相加电路136的输出端连接到次级采样保持单元204、VCA 206和模数转换器120上。模数转换器120的输出是数字化波束形成RF信号。进一步地,元件204和206可以不存在于示意图中、以相反顺序附接或者作为ADC 120的内部元件。VCA 206可以包括低通滤波器。

[0049] 在一个实施例中,通过对从ADC 120的输出端接收的射频(RF)信号直接采样来生成同相/正交(I/Q)数据。在另一实施例中,VCA 206的输出端可以连接到常规I/Q解调采样电路。

[0050] 次级SHC-次级采样保持单元204具有与S/H单元150相同的设计。在一个实施例中,单个SHC 204用于存储元件136相加的当前结果。在另一实施例中,如图11中所示,大量的S/H单元能够用于在经由开关208和次级VCA 206(VCA可能不存在或由电压跟随器代替)进行模数转换之前临时存储工作于同一通道的数据分块上的不同波束形成算法相加的结果。在

另一实施例中,次级SHC阵列可以具有与初级SHC阵列131相似的大小和用途。在使用中,初级阵列131用于子孔径波束形成以对空间上接近的换能器元件分组进行操作,并且次级SHC阵列用于如下所述对预波束形成的结果进行波束形成。在另一实施例中,可能存在第三SHC阵列,该第三SHC阵列工作于次级SHC阵列的子孔径波束形成的结果,诸如此类。

[0051] 变化采样时钟操作—众所周知,波束形成方法要求对参与波束形成事件的全部通道的相位进行时适当对准,从而使得令输出波束形成信号的信噪比以及最终的图像动态范围劣化的聚焦延迟误差(或延迟量化误差)最小化。这要求将采样时钟率设定为远高于奈奎斯特频率。早期的工作(G.F.Manes,et.al.,“Design of a Simplified Delay System for Ultrasound Phased Array Imaging(用于超声相位阵列成像的简化延迟系统的设计),”IEEE Trans.Son.Ultrasound.,vol.SU-30,1984)将最小标准设定为换能器的中心频率的8倍。具有宽带换能器的现代更先进的系统要求延迟分辨率为信号周期的大约1/16(C.Fritsch,et.al.,“Beamforming with a reduced sampling rate(具有减小的采样率的波束形成),”Ultrasonics.v40(1-8),2002)。在所设定的采样率下,延迟量化误差从信号带宽的低端增加到信号带宽的高端,这使得信号中已经经受频率相关衰减的高频在最大程度上受到影响。因而,有理由根据换能器带宽中的高频来设定时钟率。将最高采样频率设定为15MHz导致所要求的采样频率为240MHz。即便是采用现代标准,这一高采样率将会产生相当大量的数据以用于实时波束形成和后波束形成处理并且增加功耗。因而,需要降低这一高数据产出率的方式。

[0052] 在从通道采样到数字化之间的ASDR波束形成器的整个信号路径上维持相同的采样时钟产生了多种方式来优化功耗和数据。对于便携的电池组供电应用,可以使用用户在装置菜单中设定的其采样时钟工作在主时钟率的任何分数下的低功率模式。另一选择是具有低时钟模式以用于粗略的初步扫描,并且之后一旦发现扫描目标,切换到高时钟以获取诊断质量图像。另一选择可以是以低时钟获取图像边缘处的线并以高时钟获取接近中心的扫描线。

[0053] 如上文中所述,ASDR波束形成器还使得能够针对波束形成器的不同功能分块具有各自独立的采样率。聚焦延迟误差最小化要求仅在ASDR波束形成器的样本量化阶段需要满足。然而,到达A/D转换器的输入端处的最终波束形成模拟信号符合香农采样理论并且能够以低得多的采样率被数字化。甚至能够以低至乃奎斯特率在波束形成器中完成来自模拟存储器的适当精细延迟样本的相加。因此,以240MS/s(兆样本每秒)的WRITE时钟率将样本写入波束形成器存储器,并且完成相加操作(READ时钟)和后续的模数转换(DIGITIZE时钟)(例如60MS/s),而不存在信号内容的损失。

[0054] 具有独立时钟的另一优点在于,通过降低加法器时钟(或READ时钟)率解放的时间能够用于执行额外的波束形成操作。例如,240MS/s的写入通道样本和60MS/s的相加选择样本使得能够对相同的通道数据量执行多达四次独立的波束形成操作(即四个随后的扫描线组合),而不是所描述且在图11中示出的使用第二级采样保持单元阵列。

[0055] 因此,优选实施例对于波束形成器的模拟存储器的写入和读取操作、加法器电路以及模数转换分块具有各自独立的采样时钟WRITE、READ和DIGITIZE。这样的时钟能够通过编程设定为具有相同的频率和相位,或者具有任意的相位和频率差,或者将自身的频率和相位设定为主样本写入时钟的分数。主时钟率能够被降低以保留功率,降低散热或对本领

域技术人员而言显而易见的其它原因。

[0056] 在另一实施例中,由于信号在深处传播并且损失其高频内容,采样率可以对应降低,从而保留功率或增大同时完成的独立波束形成相加的数量,或者出于对本领域技术人员显而易见的其它原因。

[0057] 任意写入-顺序读取波束形成器架构-参见图15,该特定实施例仅采用一行采样保持单元306以及一个 $N \times M$ 交叉点开关阵列304,该开关阵列304将阵列107的 $N$ 个通道连接到ARAM行306中的 $M$ 个单元中的任意选择的 $N$ 个采样保持单元。另一交叉点 $M \times 1$ 开关308能够根据需要直接或通过电放大器或滤波器或积分器将所选的采样保持单元316连接到模数转换器120的输入端。在该实施例中,采样保持单元306将来自多个通道的定时选通贡献相加并存储该结果。存储器库中的SHC的数量必须大于填充波束形成器将要修正的最大期望延迟所需要的样本时钟周期的数量。例如,若要修正的信号到达时间的最大延迟为1微秒并且采样时间为40兆样本每秒,则需要 $M > 40$ 个单元来执行波束形成。

[0058] 发送-接收阵列107用于生成和接收超声脉冲,并且将压力脉冲转换为其它形式的能量(例如,电)并且反向转换。阵列107能够被设计成压电的、基于MEM的、磁致伸缩的或者采用使得能够将压力波信息变换为其它形式的能量的任何其它技术。

[0059] 采样保持单元316的设计能够区别于SHC 150的设计,单元316将时间选通样本相加,因此,单元316以积分器电路工作。该电路的设计是公知常识,该电路可以被建立为被动RC电路或主动运算放大器积分器电路,同时具有额外的组件作为单元316自身的一部分或者作为单元外的电路的一部分。

[0060] 与上述的实施例类似,采样保持单元被组织为圆形或环形缓存器,以使得在当前样本被写入最后地址时,写入操作折回并开始从阵列的第一个地址写入下一个样本。然而在另一实施例中,ARAM存储器库的长度可能足以写入构成扫描线的全部样本,即(采样率)  $\times$  (最大深度) / (声速)。

[0061] 放大器分块300和312均可以包含滤波器、缓存器、电压控制放大器、电压跟随器或者信号调节任务所要求的以上电路的任何组合。

[0062] 接收波束形成器的该实施例的工作能够通过超声帧形成过程中的一个波束形成RF线的生成进行描述来示出。在一个极简的示例中,考虑元件EL5位于具有最小延迟的孔径的中间的9通道孔径106、以及ARAM库306中的8个采样保持单元316,并且延迟是线性的。之后,参见图17A,中间元件EL5存储模拟样本,该模拟样本与如图17A中所示的每个时钟 $t_1$ 、 $t_2$ 、...、 $t_j$ 处在SH单元C1、C2、...、C8中接收的压力成正比。简化波束形成算法将孔径的元件EL4和EL6延迟一个时钟周期来修正到达时间上的延迟并且将在时间 $t_2$ 到达的信号存储在SH单元C1中,因此,将该信号与来自元件EL5的、在前一时钟循环已经存储在该元件EL5中的模拟样本相加,并且之后将相加样本继续行进至单元C2、C3等等(参见图17B)。参考ARAM库306中的一个特定单元,参见图17C,若来自EL5的模拟样本在任意开始时间 $t_1$ 存储在该单元中,则下一时钟 $t_2$ 将来自EL4和EL6的样本、之后在 $t_3$ 将来自阵列元件EL3和EL7的模拟样本添加到单元的内容,之后在 $t_4$ 将现有的单元内容以及来自EL2和EL8的模拟样本相加,并且之后在 $t_5$ 添加来自元件EL1和EL9的孔径样本的最后贡献。一旦结束对来自孔径中参与波束形成实例的全部元件的模拟样本的相加,则系统能够在下一时钟周期 $t_6$ 处读取单元的内容并(直接或通过积分器)将该内容发送到模数转换器或下一级波束形成器。

[0063] 该波束形成器能够用作整个阵列的独立波束形成器或者实现为子孔径波束形成器,每个子波束形成器作用于单独的ADC或者是更大的多级波束形成器的一部分或一级,从而作为子孔径波束形成器的第一级、或将之前各级的贡献相加并将结果传递给上级的中间级波束形成器或将最后的RF信号输出给模数转换器的最后一级波束形成器。该波束形成器还能够作为波束形成级以与其它现有或将来的波束形成器架构接合。

[0064] 一行波束形成器使得能够实现多种波束形成架构。图16中示出了一些示意性示例,其中,图16A为本节中已经描述的一行波束形成器,其中,通过信号调节电路300和 $N \times M$ 交叉点开关304将来自阵列106的信号写入一行ARAM 306,并且波束形成信号通过 $M \times 1$ 开关308到达模数转换器120。方便起见,交叉点开关304可以被划分为独立的或者并行寻址控制的至少两部分314(图16B)。在图16C中所示的另一实施例中存在多个ARAM单元库,每个单元库实现单独的波束形成算法,而不是使用一行采样保持单元306。同样,在图16C中,每个ARAM单元可以连接到自身的模数转换器,而不是全部ARAM库306公共的一个ADC上。

[0065] 图16D示出了另一实施例,其中,ARAM单元库306中的扫描线波束形成结果被发送到更大的ARAM阵列320(而非被数字化),该阵列320存储构成图像帧的全部扫描线的模拟样本以用于将来提取和处理,其中,该样本线的数量能够小于、等于或大于通道的数量。在另一实施例中,阵列320中的每个SH单元对应于显示在屏幕上的超声诊断图像中的一个像素。在该实施例中,通过调节电路312和交叉点矩阵开关318将存储在306中的扫描线的内容根据扫描转换算法写入320的单元中。

[0066] 任意写入-任意读取波束形成器架构-图18示意性示出了基于任意写入-任意读取原理的另一波束形成器架构。在图18中,ARAM 320中的每一个单元具有超声帧的一个样本点或一个像素,这与以上在图16D中描述的实施例相似。在每个样本时钟周期,波束形成算法将来自参与该波束形成实例的通道的贡献存储在与超声图像的样本点相关联的ARAM单元中。该样本线 $K$ 的数量或ARAM 320中的行的数量能够小于、等于或大于106中的通道的数量,并且阵列320的长度 $M$ 能够被选择为适配超声帧的全部深度或者适配需要补偿的最大延迟或者这两个数量之间的任何单元数量。在该设计中,一个AD转换器120或并行工作的多个这样的AD转换器通过交叉点开关324从ARAM 320接收数据。在ARAM 320的每个单元与预屏幕转换或原始RF超声帧的一个样本点相关联的实施例中,系统采用与上文中针对任意写入-顺序读取波束形成器描述的方式对来自每个通道的贡献进行存储和相加,但是在每个样本时钟来自通道的贡献并不仅仅形成当前采样线,还能够参与帧中的相邻采样线的波束形成。在ARAM 320的每个单元与要显示在屏幕上的超声诊断图像(所谓的屏幕转换图像)中的一个像素相关联的实施例中,波束形成的工作如上文所述。在此,唯一的区别在于波束形成算法限定的当前波束形成实例的样本选择标准以及ARAM 320的深度(列数)至少等于帧的扫描线中的像素数量的需要。

[0067] 值得注意的是,在整个本申请中使用了简化图,其中,许多重要的实际设计分块和组件出于清楚表示的原因被省略,但是这样的省略对于本领域技术人员而言是明显地并且不能被认为是设计缺陷。

[0068] 1.5D、1.75D、2D阵列操作-上述的波束形成架构能够适配任何公知的1D超声阵列,其中,阵列中元件(发送-接收通道)的数量高达数千(参见示意性示出公知的1D阵列的布局的图12A)。随着更大的元件计数或更加复杂的换能器阵列结构(即1.5D、1.75D或2D),该基

本架构能够部分地以上文所述的方式(次级采样保持单元阵列)适配。参见图12中的顶部示意图,典型的1.5D或1.75D阵列本质上是1D换能器,该1D换能器自身的元件在水平方向上被划分并且每个元件较优地具有独立的波束形成通道。划分的数量可以是任何值,然而在水平方向上(图中的Y轴)的子元件的大小接近于轴向方向(X轴线)上的大小并且这两个大小等于或小于阵列的中心频率的波长一半时,将该阵列描述为2D阵列则更加合适(相应参见图12中的下方示意图)。使用这一阵列的主要原因在于,该阵列使得能够以与控制轴向聚焦相同的方式在水平方向上控制聚焦,因此在水平方向上提供了恒定的图像切片厚度,在对比度和细节分辨率上对应改进。

[0069] 1.5D阵列和1.75D阵列之间的主要区别在于,1.5D阵列元件按列对称连接(参见图12)以使得仅在图像切片的平面或者Y-Z平面(Z轴为深度并且垂直指向图12平面)内进行水平聚焦;而1.75D阵列子元件被独立控制,因此能够在光栅叶位置的约束下进行有限的平面外聚焦。2D阵列由于其元件接近1/2波长而在全部三个方向(水平、轴向和深度)上具有相同的聚焦自由。

[0070] 在1.5D、1.75D和2D的优选实施例中,阵列的全部元件被分为分组或子孔径218。图12的下方示意图示出了该子孔径的一些示例。选择子孔径的优选方式是基于相对于子孔径的中间元件(图12中的最低示意图中的示例)的最小分组延迟来组合阵列的元件,从而使得在初级模拟通道203的接收波束形成器通道132中具有较小数量的采样保持单元(图13),其中,应当理解初级(或第一)模拟通道连接到阵列元件。子孔径218的元件连接到模拟通道203(以及数量更少的SHC 150),之后来自子孔径内的各通道的单元150的内容以上述方式进行波束形成,并且相加电路136的输出端连接到第二级波束形成器通道135,第二级波束形成器通道135具有与波束形成器通道132相同的设计,但是编号的不同表示第一级和第二级波束形成器通道132和135是可能具有不同内部结构(例如,单元150的数量)的物理上不同的器件。第二级相加电路137与135的贡献相加。137的输出是波束形成模拟信号,该信号被置于模数转换器120的输入端以生成数字化波束形成RF信号。应当理解的是,本发明使得能够形成任何数量的子孔径。还应当理解的是,本发明使得能够实现任何数量的波束形成级,其中,低级子孔径的所收集的每个贡献成为下一级子孔径的单个通道,直到输出单个波束形成信号。

[0071] 在针对1.5D、1.75D和2D阵列的一个实施例中,在置于阵列旁边的ASDR波束形成器硬件完成全部波束形成。在另一实施例中,一些子孔径波束形成可以在阵列旁边的ASDR波束形成器中完成,并且之后部分波束形成信号经由有线或无线链路发送到超声机器硬件,其中,在ASDR波束形成器或现有技术中的数字波束形成器中完成最终的波束形成。该方法的主要优点在于减少了从探针到超声硬件的线缆的数量。

[0072] 便携式超声装置和ASIC结构-本发明中所述的ASDR波束形成器能够用于建立紧凑的超声诊断装置,该超声诊断装置将小尺寸、小功耗与高图像质量相结合,这是因为全部孔径的高通道计数以及短信号路径109。这样的系统能够实现为探针上系统(system on the probe),其中,信号采集和处理需要的全部硬件安装在换能器阵列中一同由电池组供电,该硬件将波束形成且处理的信号无线地发送一连接到显示单元上的接收器。显示单元例如为显示图像的便携式计算机、智能电话、平板电脑或电视机。正如在图14的示意图的示例中所示,在该诊断超声系统的一个实施例中,ASDR波束形成器实现为紧挨着换能器阵列106放

置的一个或多个集成芯片(IC)。

[0073] 以上描述了N通道(等于元件的数量)接收波束形成器252的功能。在此,通过T/R开关180来自阵列106的每个元件去往VCA 110、S/H单元库132,通过跟随器200的所选择的SHC元件的电平去往相加电路136的输入端并且经由VCA 206去往ADC 120的输入端。来自输出ADC的数字化数据被写入缓存存储器254。

[0074] 发送-接收控制电路分块256控制数据和命令流入和流出接收波束形成器250、252、缓存存储器254和后端处理器258。发送波束形成器250将电平从数模转换器242经由缓存放大器240写入发送SHC阵列133。来自133的电平样本按顺序发送到脉冲器182以形成高压脉冲,该高压脉冲被发送到换能器阵列。发送波束形成延迟由T/R控制电路分块256控制。在Rx波束形成器处于接收模式中时,发送波束形成器DAC 242可以刷新阵列SHC 133的内容。后端处理器258对从缓存存储器接收的原始RF数据进行初始信号和图像处理,包括但不限于:数据流组织(例如创建线和帧头部)、滤波、I/Q、B模式转换、多普勒数据提取、数据压缩、扫描图像形成以及后端DSP的其它类型的任务。后端处理器还接收并解释来自超声硬件控制分块260的任何按钮和旋转拨盘控制器的命令。处理器258的另一任务是组织到外部存储和处理界面分块262的信息流,该处理界面分块262控制将超声数据写入非易失性存储器存储(例如,闪存、SD或micro-SD)、数据传输线(例如USB)端口和无线数据接口。

[0075] 扫描数据(例如,原始RF、多普勒、B模式、图像、体数据)从探针侧硬件分块264经由有线链路或无线链路266向外传送到显示侧硬件分块270。在显示侧硬件分块处,接口272编码数据、分块274处理图像以匹配当前显示装置的格式并输出到显示接口276,该显示接口通过USB、HDMI、DVI或其它输入信号端口发送显示装置接受的格式的数据。

[0076] 在该系统的一个实施例中,ASDR波束形成器与模拟前端、SHC阵列、数字后端和控制电路一同被建立在ASIC上,它们可以包括分块264中描述的除换能器阵列之外的全部功能块。在另一实施例中,分块264中描述的一些功能块或部分分块可以分别由ASDR ASIC实现。在另一实施例中,系统可以包括作用于单个ADC上的多个独立的ASDR波束形成器(或者每个ASDR波束形成器作用于自身的ADC上)而非单个ASDR ASIC。其中,每个ASDR波束形成器具有阵列106的一部分作为该ASDR波束形成器的子孔径,并且对来自多个ASDR波束形成器的数据流以数字方式进行最后波束形成。在另一实施例中,多个独立的ASDR波束形成器能够采用时间交织来作用于同一阵列106以获得更高的采样率。在该系统的一个实施例中,显示侧控制器270被实现为电子狗,该电子狗通过诸如USB或HDMI之类的标准数据连接连接到显示装置并与探针侧硬件264无线交互。在另一实施例中,加载到显示单元中的控制和图像处理软件使得能够通过电子狗270来控制探针侧硬件264。

[0077] 在该系统的一个实施例中,控制器270能够附接到任何诊断超声装置的探针连接器上作为零件市场插件。控制器从探针侧硬件无线接收超声数据并将该数据发送到代替现有的编码1D探针的超声装置。简单的测量可以确保保持ASDR系统的高动态范围和分辨率。例如,输入的波束形成RF信号可以通过具有针对最小噪声设置调谐的模拟前端电子器件的数字波束形成器的一个通路由并且之后被恢复并数字化,或者输入的波束形成RF信号可以通过并行的全部波束形成器通道被路由并且之后以零延迟相加,或者输入的RF信号可以通过控制系统的模拟前端以及数字波束形成器以数字形式被路由,例如,通过将16个波束形成器通道中的每一个分配为携带输入的RF信号的16位数据逻辑电平,或者通过对于本领

域的技术人员显而易见的手段。该实施例中的扫描过程、命令以及扫描参数的控制还能够通过电子狗270将数据从控制装置 (host device) 传送到ASDR装置来完成。这样的实施例还能够包括用于ASDR探针的充电站,该充电站为控制机器的一部分并且作为电池组健康和阵列健康指示器。

[0078] 在该诊断超声系统的一个实施例中,加速计、陀螺仪以及软件算法被添加到系统以使得能够记录在超声检查过程中获得的全部扫描线和帧的精确3D空间位置。在该实施例中,在检查过程中不丢弃任何扫描线或帧,而是存储在存储器中。此外,每个扫描线和帧若包含在该位置之前记录的数据则能够参与屏幕上当前帧的创建。因此,在检查过程中,当操作人员移动探针时,在超声探针耗费更多时间的位置和方向上以更大的数据密度重构3D体积。该方案的优点之一在于操作人员可以粗略扫过较大的区域(如对主体区域进行“绘制”)并且将更多的扫描时间集中在关注区域。大范围扫过向操作人员提供了对于周围解剖构造的大体认识,而聚焦扫描将在单个帧生成更好的图像。

[0079] 应当注意的是,波束形成器系统部分地以硬件实现,部分地以固件实现且部分地以软件实现,以使得这些部分之间的精确边界能够根据实施方式的需要来建立。进一步地,在全部的描述和示意图中,作为本发明的次要理解的诸如VCA、LNA、电压跟随器开关之类的元件或分块的放置并不需要严格遵守,假定具有电子设计的普通常识的任何人将理解它们的功能并确定在实际工作方案中它们的位置、结构和参数。

[0080] 以上说明描述了一种用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成方法,包括以下步骤:i) 提供由配置用于发送和接收的独立超声阵列元件组成的超声阵列;ii) 将独立的超声阵列元件分为的独立通道,其中,每个通道包括至少一个阵列元件;iii) 针对每个通道根据从通道的每个阵列元件接收的输入创建接收输入信号;iv) 针对每个通道以一采样率对每个接收输入信号进行采样,并且将采样数据存储在与该通道相关联的采样保持单元库中,其中,采样保持单元库形成用于采样接收输入信号的模拟随机访问存储器;v) 根据波束形成算法对每个波束形成实例的每个特定的输出时间从至少一个通道中选择至少一个采样保持单元数据;vi) 将针对波束形成实例从相关联的通道选择的全部采样保持单元数据相加以形成该波束形成实例的模拟波束形成接收信号样本;以及vii) 将模拟波束形成接收信号样本数字化。

[0081] 结论-如上所述,单独的通道通常可以包括但并不止阵列元件以及控制电子器件。此外,重要的是注意到采样率可以是固定的或可以是变化的,并且进一步可以独立于从单元中读取数据的速率或数据数字化的速率。数字化样本通常被存储以用于本领域已知的进一步处理。在用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成方法中,每个通道可以仅包括一个阵列元件。进一步地,创建每个通道的接收输入信号可以包括对通过至少一个电压控制放大器和至少一个滤波器对来自阵列元件的输入进行处理。额外地,每个通道可以使用小于40毫瓦来操作,通常每个通道小于25毫瓦并且典型地约为每个通道10毫瓦甚至更小。每个采样保持单元可以形成为基于电容器的元件。值得注意的是,所选择的采样保持数据流过模拟滤波器或/和具有可变增益的放大器,从而在相加之前分配合适的时间增益补偿(TGC)值、孔径选择和切趾加权以得到合适的信噪比衰减。

[0082] 在模拟存储数字读取超声波束形成方法中,每个库中的采样保持单元的数量可以等于或大于每秒的采样率乘以信号路径的最大期望延迟。进一步地,将采样数据存储在采

样保持单元库中的采样速率可以独立于从采样保持单元库中读取采样数据的采样速率。

[0083] 模拟存储数字读取超声波束形成方法还可以包括将每个发送通道中的发送输出脉冲信号的至少一个形状存储在与该发送通道相关联的发送采样保持单元库中的步骤。在一个实施例中,单个发送采样保持单元库与多个发送通道相关联。进一步地,该方法提供了,同一采样保持单元库形成针对每个通道的接收采样保持单元库和发送采样保持单元库。替选地,每个通道可以与一个接收采样保持单元库和一个不同的发送采样保持单元库相关联。

[0084] 上述用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成方法提供了,与多个算法相关联的多个波束形成实例可以被使用,并且在将模拟波束形成接收信号数字化之前,还包括将每个波束形成实例的每个模拟波束形成接收信号存储在波束形成采样保持单元库中的步骤。

[0085] 综上所述,组织采样存储器有两种方式:1) 在操作过程中,数据被连续写入组织为环状缓存器的ARAM中,使得在当前样本被写入最后一个地址时,写入操作折回并开始从阵列的第一个地址写入;或者,2) ARAR存储器的深度足以存储扫描线的通道数据的整个长度(在此,最大延迟是信号传播到最大期望扫描深度并返回接收器的时间)以向多波束形成提供更大的自由。

[0086] 以上说明以在本质上与描述接收波束形成的相同方式限定发送波束形成。简单来说,通过在波束形成算法选择的通道中顺序读取存储在发送采样保持单元库中的模拟样本值、将模拟样本值发送到与发送-接收阵列的元件相连的高压放大器或生成器来形成超声脉冲的发送波束形成器,在发送-接收阵列中,每个通道开始根据发送波束形成算法以预定的时间延迟和采样率读取模拟样本值。

[0087] 以上说明提出了一种用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成器,包括:i) 由配置用于发送和接收的独立超声阵列元件组成的超声阵列,其中,独立的超声阵列元件分为独立的通道,其中,每个通道包括至少一个阵列元件;ii) 接收输入信号控制电路,用于针对每个通道根据从通道的每个阵列元件接收的输入创建接收输入信号;iii) 多个采样保持单元库,每个采样保持单元库与一个通道相关联,其中,波束形成器配置为针对每个通道以一采样率对每个接收输入信号进行采样,并且将采样数据存储在与该通道相关联的采样保持单元库中,其中,采样保持单元库形成用于相关联的采样接收输入信号的模拟随机访问存储器;iv) 波束形成处理器,配置为根据波束形成算法对每个波束形成实例从至少一个通道中选择至少一个采样保持单元数据;v) 模拟相加元件,用于将针对每个波束形成实例从每个通道选择的全部采样保持单元数据相加并形成该波束形成实例的模拟波束形成接收信号;以及vi) 模数转换器,用于将模拟波束形成接收信号数字化。

[0088] 至少波束形成处理器可以形成为集成电路。关键在于,实现波束形成方法的电路可以包括诸如专用结成电路(ASIC)之类的集成电路(IC)。

[0089] 以上说明还限定了用于超声成像系统的模拟存储数字读取超声波束形成系统,包括由配置为发送和接收的独立超声阵列元件组成的超声阵列,其中,独立的阵列元件形成独立的通道,其中,每个通道包括至少一个阵列元件并且每个通道在操作中使用小于40毫瓦,并且通常小于大约每个通道25毫瓦,经常小于每个通道15毫瓦,甚至小于每个通道10毫瓦。

[0090] 根据本发明形成的紧凑超声成像系统可以将波束形成信号以显示中间系统或方式的无线或有线方式发送到显示装置外部。所述系统够提供了紧凑的ASIC, 低功率装置和高通告计数(128或更多)以及简单的可缩放架构。显而易见, 波束形成器系统在部分地以硬件实现, 部分地以固件实现且部分地以软件实现, 以使得这些部分之间的精确边界能够根据实施方式的需要来建立。

[0091] 进一步地, 以上所述的子孔径波束形成和次级采样保持单元库, 使用ARAM波束形成的第一、第二和第三级(任意数量的波束形成级)子孔径波束形成可以被提供。选择子孔径的有效方式是基于相对于子孔径的中间元件的最小分组延迟来组合阵列的元件。系统可以是波束形成器方法、不同级的ARAM、模拟、数字子孔径波束形成器的混合。进一步地, 波束形成级能够在空间上分离, 例如第一级在探针上且第二级在硬件侧。

[0092] 本发明的一个优点在于提供了诊断超声成像系哦他能够的尺寸上的显著减小, 使得基于ASDR超声波束形成器架构的硬件体系能够被置于超声阵列旁边的一个或多个专用集成芯片(ASIC)中, 并且整个诊断超声成像系统可以配合超声探针, 同时保留推车系统的大部分功能。本发明的另一优点在于, 这样的紧凑系统使得能够以无线方式将数据和诊断图像发送到任何图像显示器, 该图像显示器设置为接收该发送或者具有附接到诸如USB或显示单元的火线之类的数据端口上的接收器。本发明的另一优点在于通过大幅降低从换能器元件到数字化器的信号路径的硬件复杂度来提供改善的信噪比。如此缩短信号路径通过使大量的信号路径组件冗余来实现, 这些组件例如为现有技术中将超声阵列与信号处理硬件连接的模拟高压和通道多路复用器、信号线、连接器。

[0093] 本发明的另一优点在于通过实现完全孔径波束形成进一步改善了信噪比, 以及诊断图像对比度和空间分辨率, 其中, 阵列中的每个元件操作自身的发送和接收通道(128个并行发送-接收通道用于典型的128元件1D阵列)并且因此可用孔径等于整个阵列的大小。本发明的另一优点在于每个通道使用了更低的功率, 因此使得能够延长电池电力下的操作时间。本发明的另一优点在于实现了一个或多个ASIC, 从而显著降低了超声系统的制造成本。本发明的另一优点在于, 可缩放架构使得能够通过线性扩展将超声阵列构造为具有任何数量的元件(例如, 一个ASIC控制器和128个元件的阵列, 两个ASIC和256个元件的阵列, 依此类推)。本发明的另一优点在于改善了图像质量并降低了采用1.5D、1.75D和2D阵列建立的系统的成本。

[0094] 尽管在此已经特别地对本发明进行了描述, 但是本发明的范围并不限于所公开的具体实施例。显然, 对本领域的普通技术人员而言, 在不背离本发明的精神和范围的情况下可以对本发明进行各种修改。例如, 阵列的长度可以被选择为提供完整扫描线通道存储选择, 这并不会改变本发明的系统或方法的操作基础。



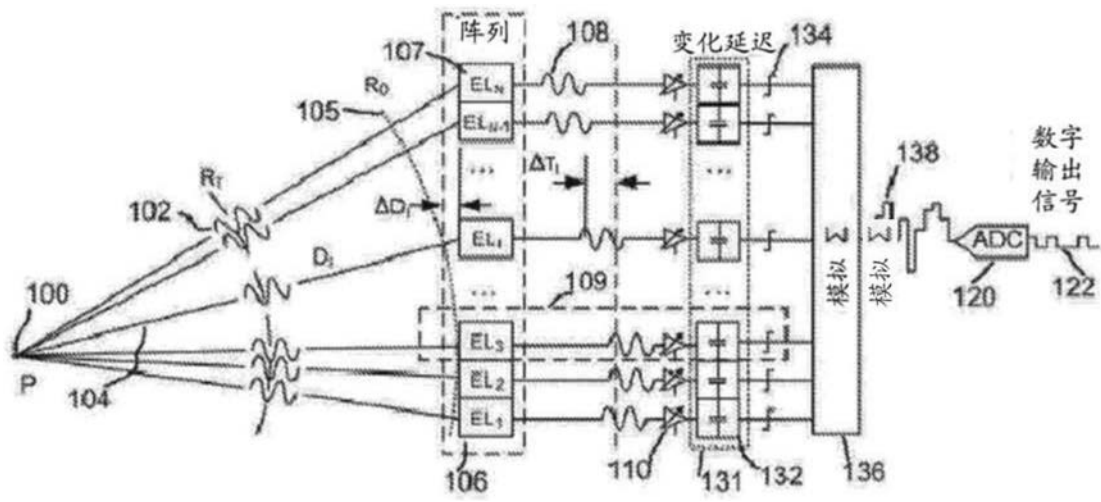


图3

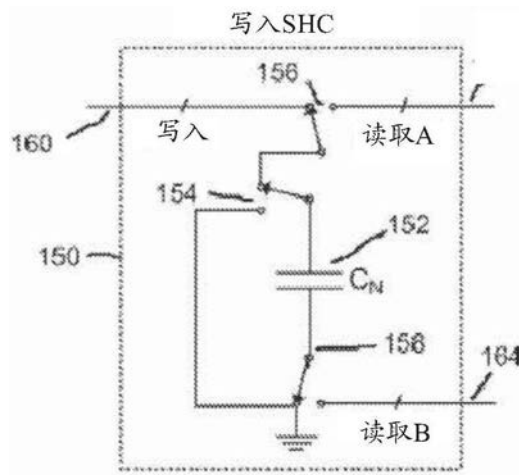


图4A

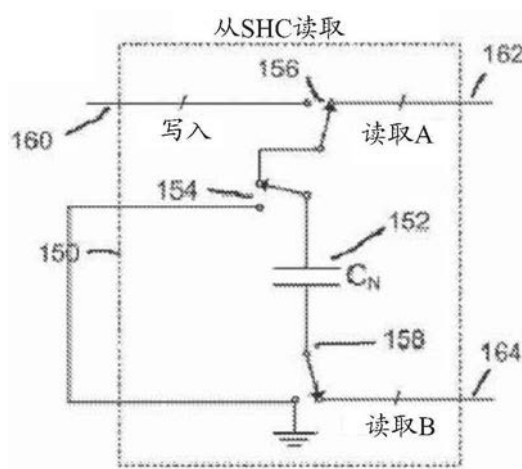


图4B

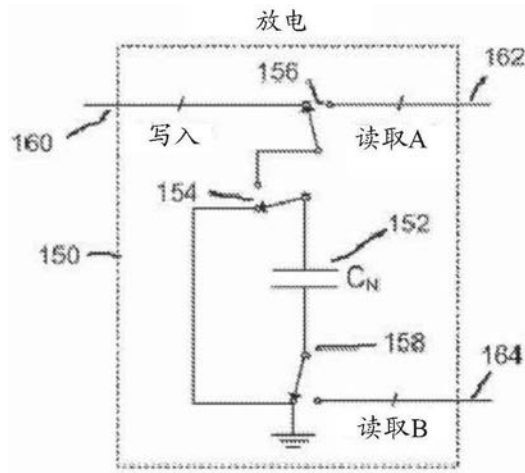


图4C

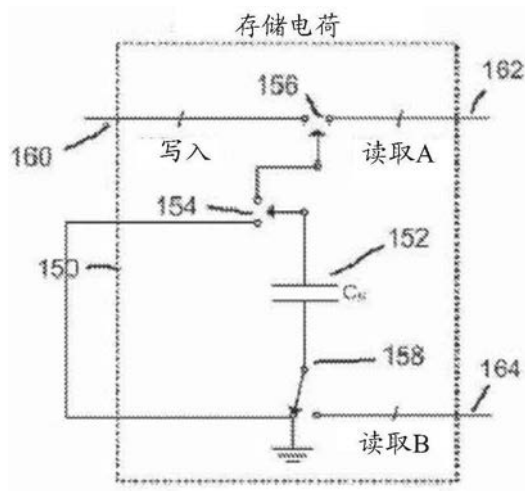


图4D

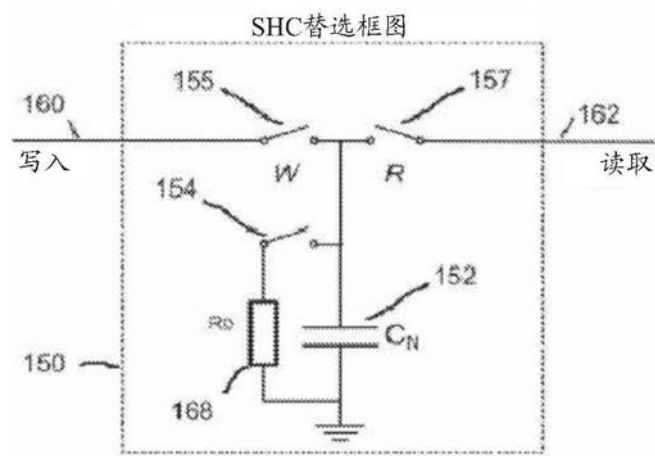


图5

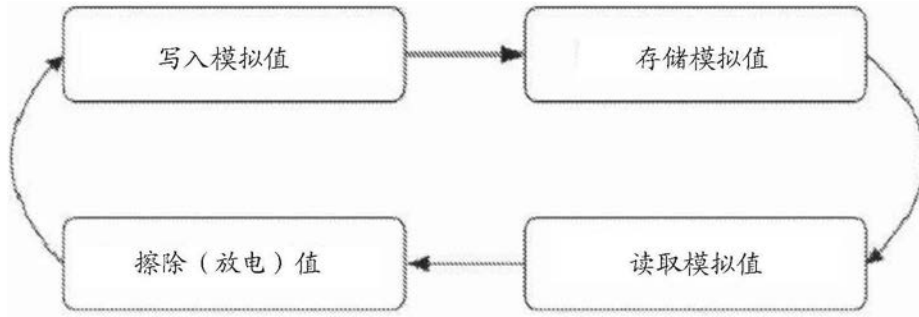


图6

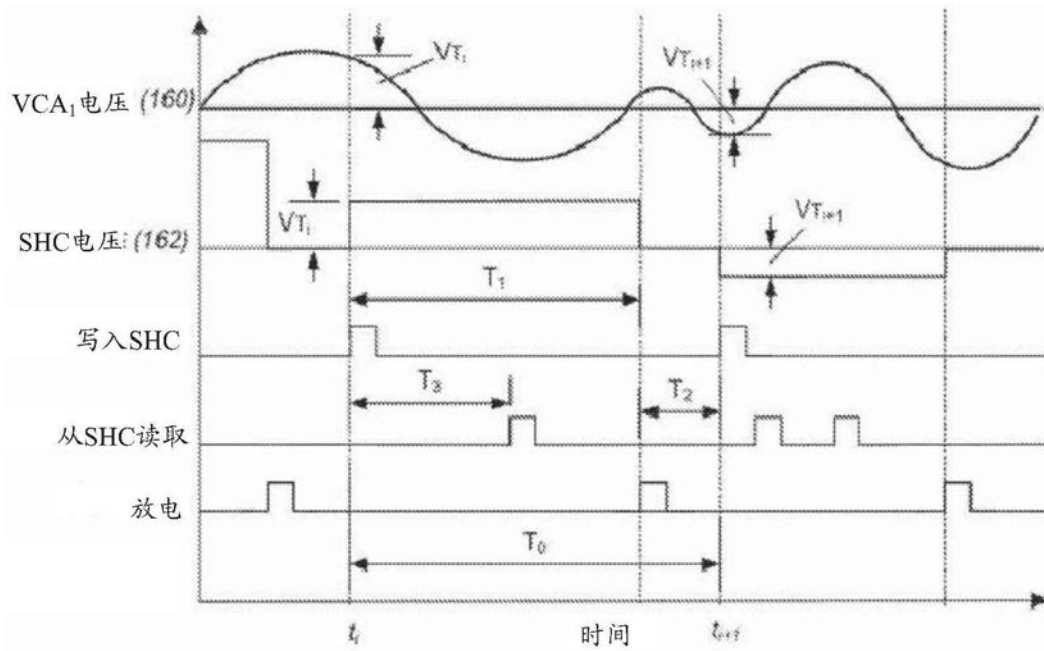


图7

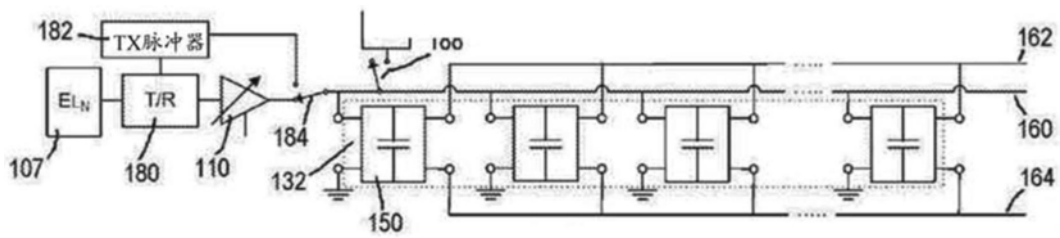


图8A

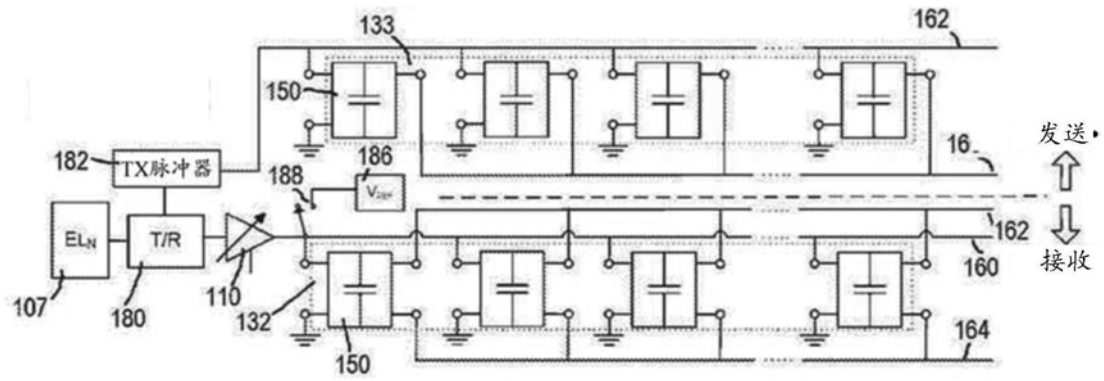


图8B

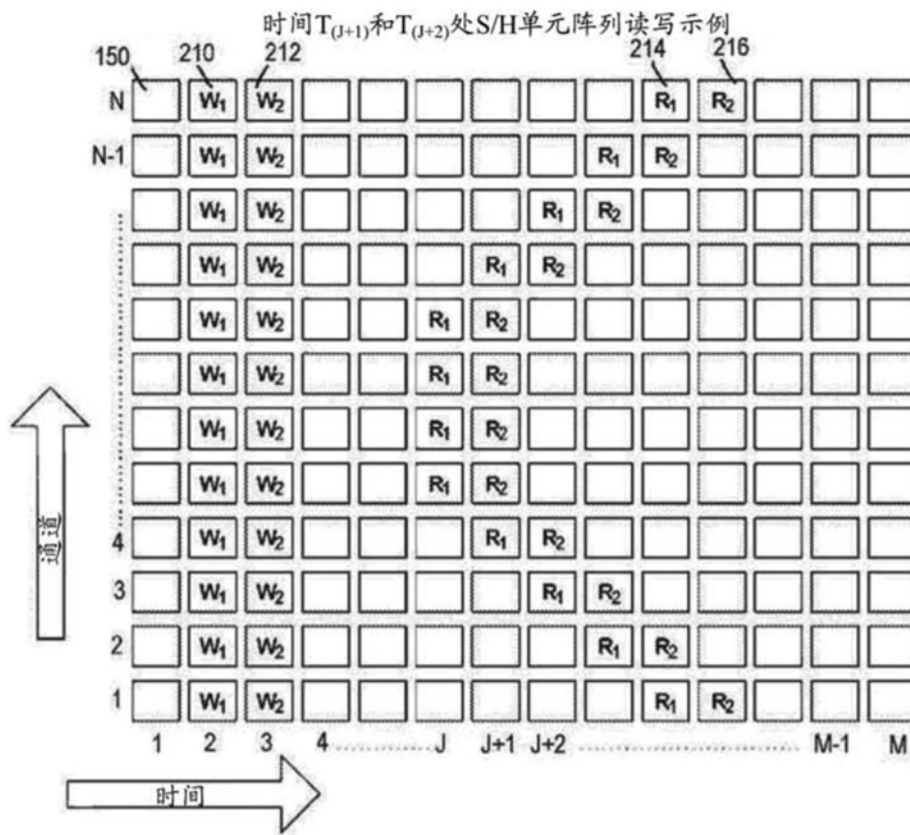


图9

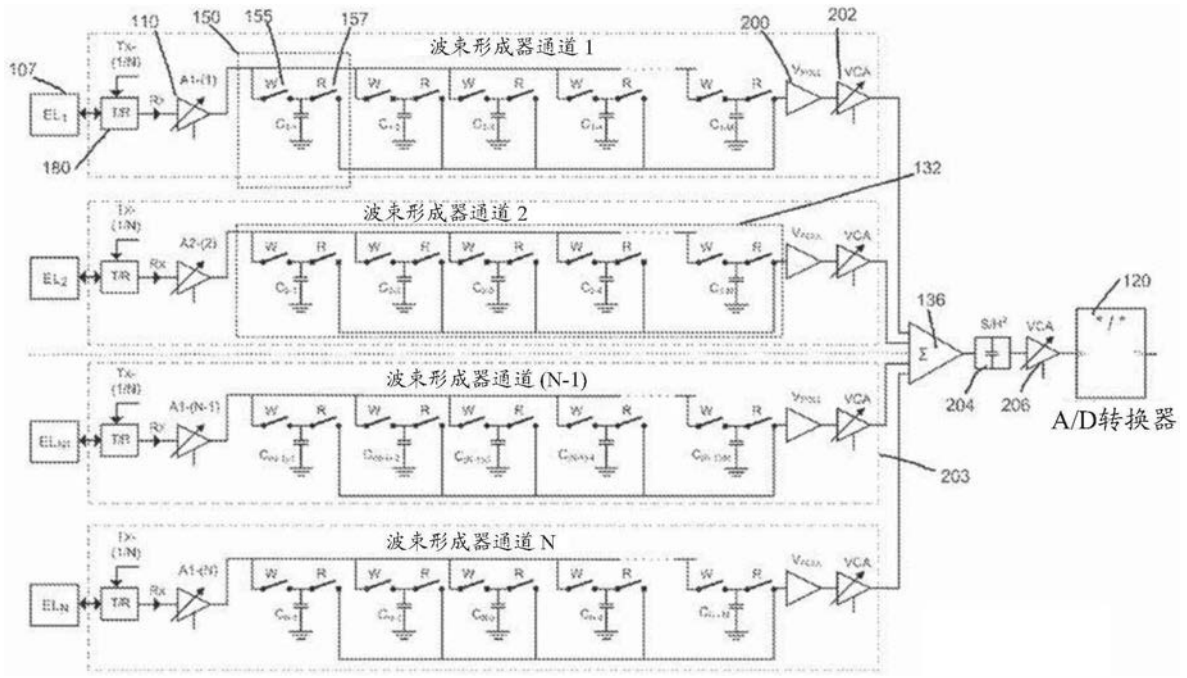


图10

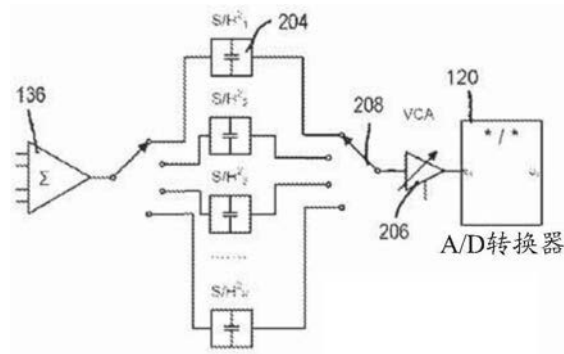


图11

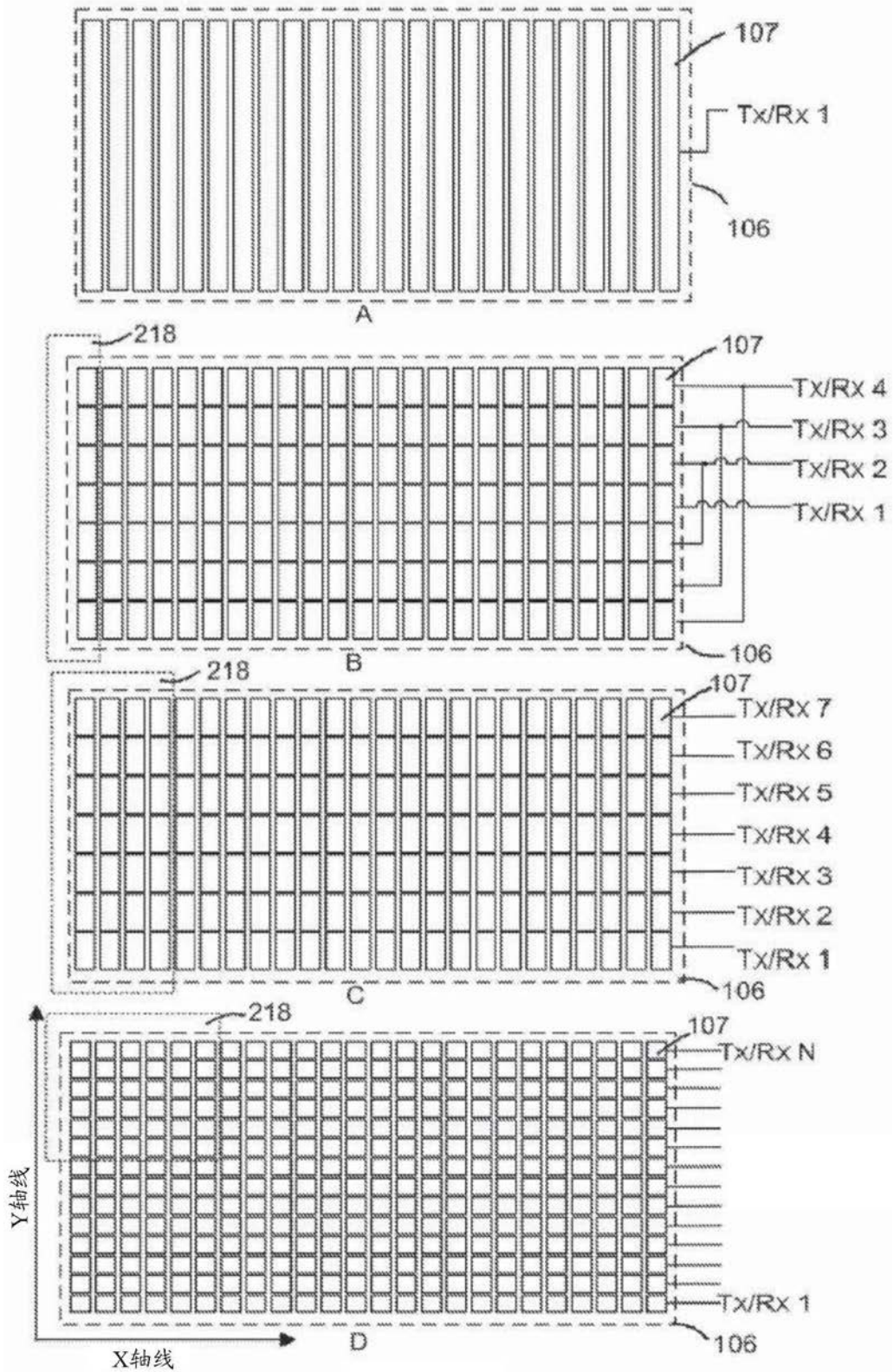


图12

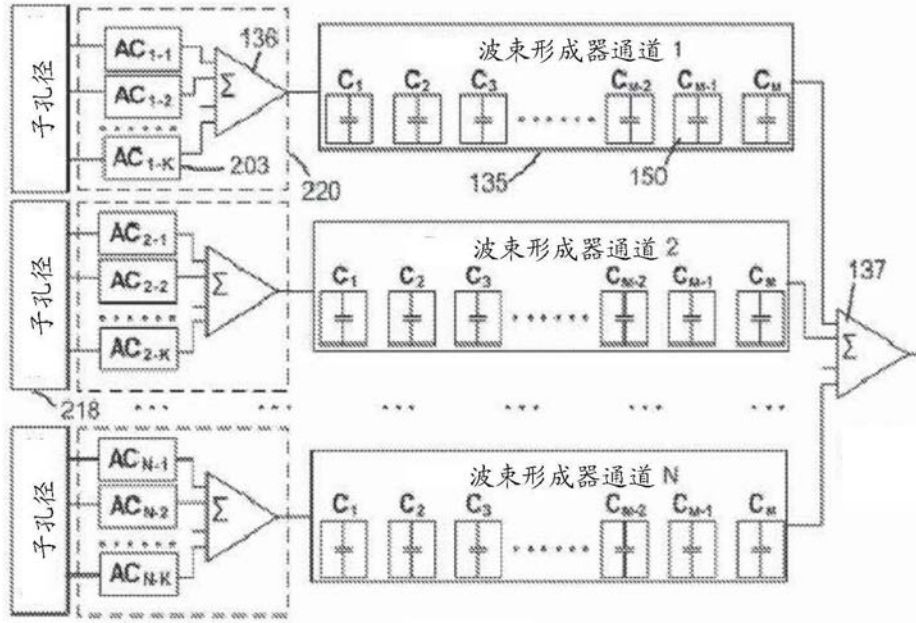


图13

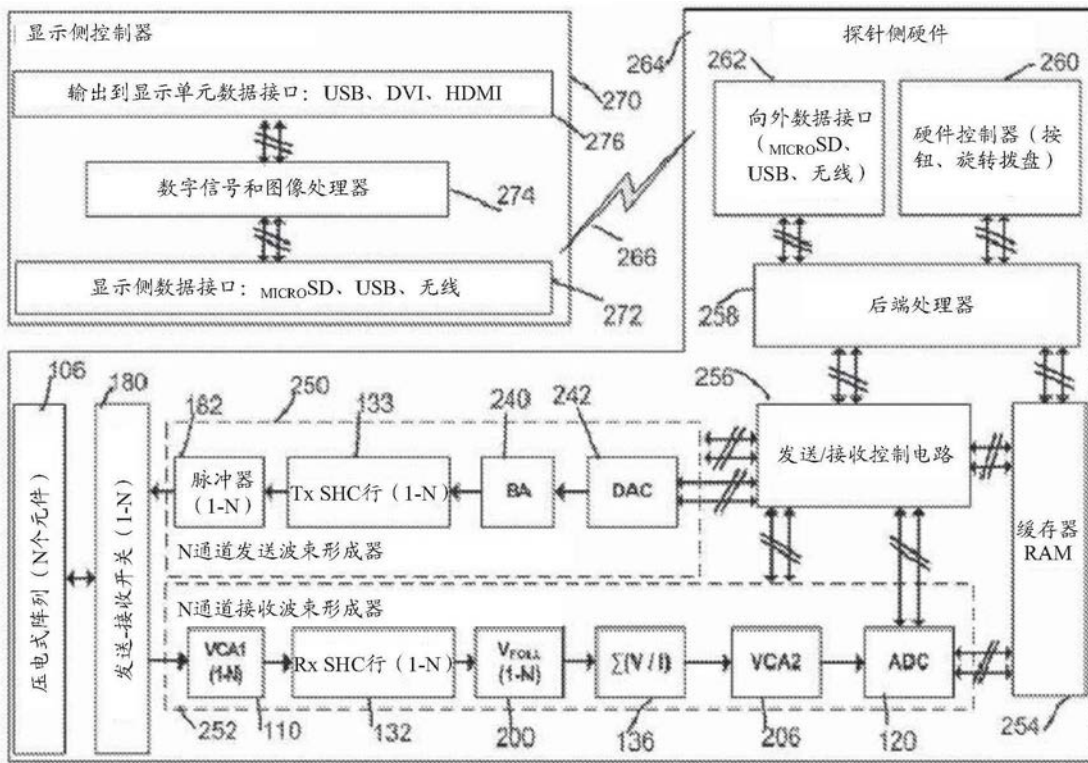


图14

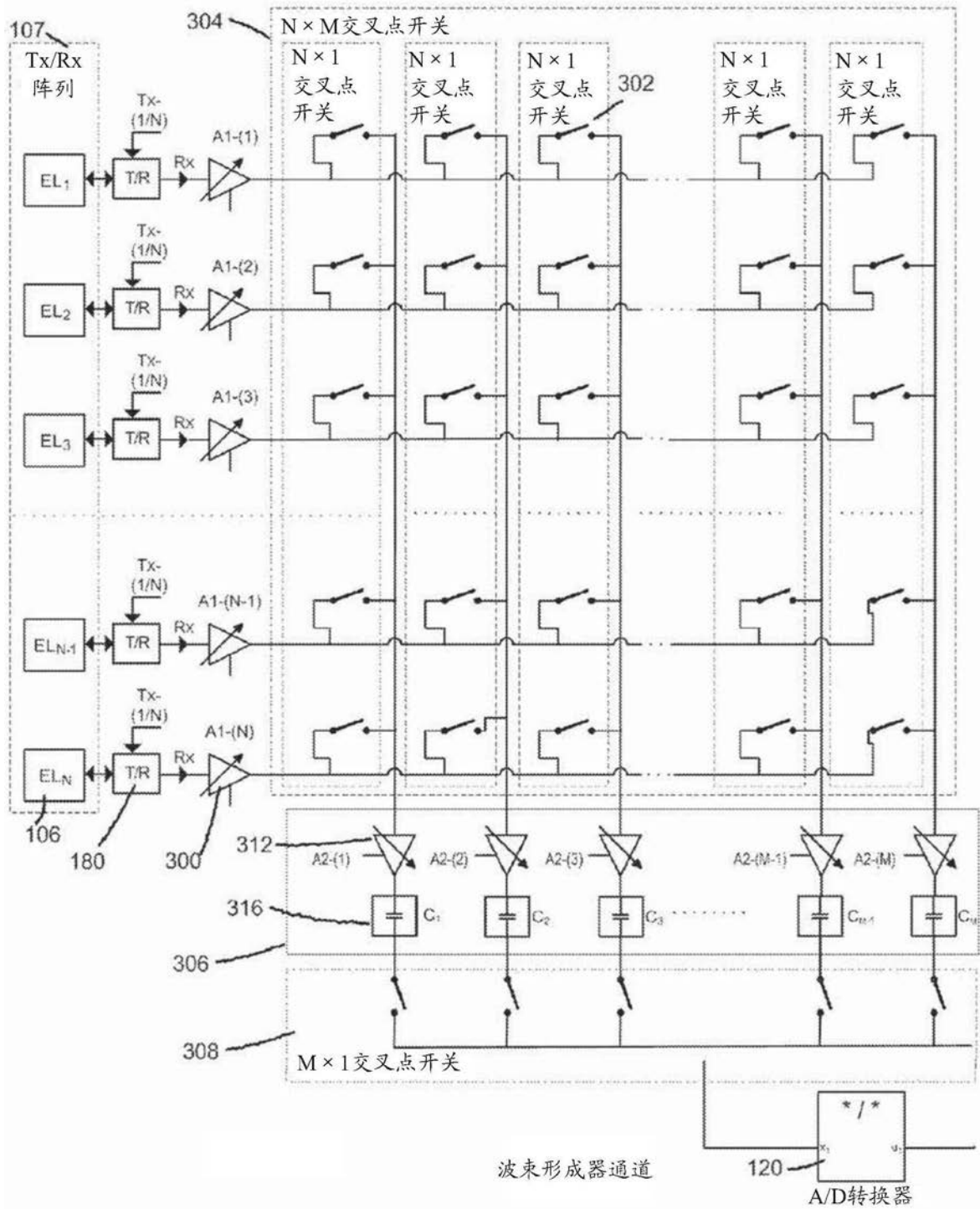


图15

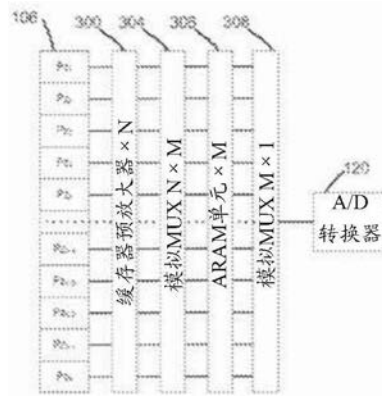


图16A

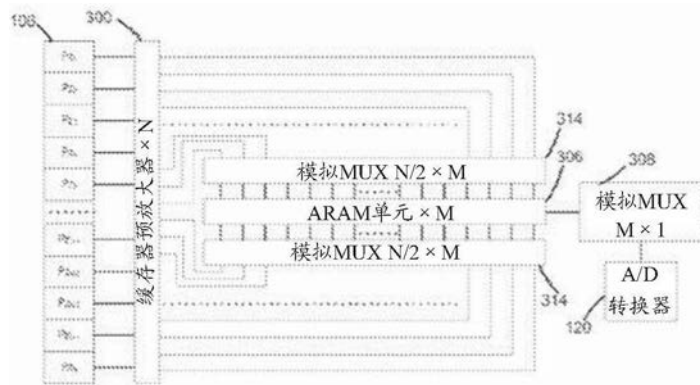


图16B

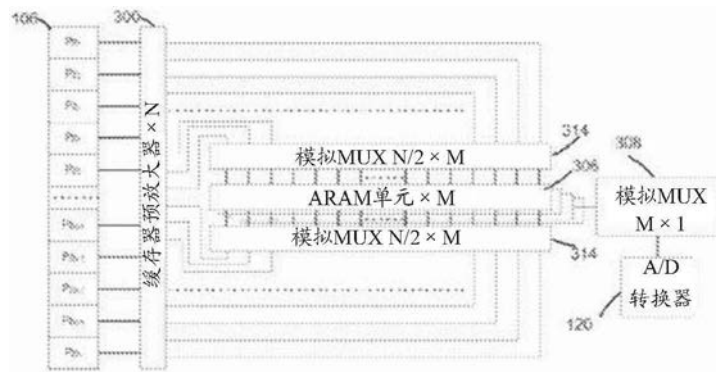


图16C

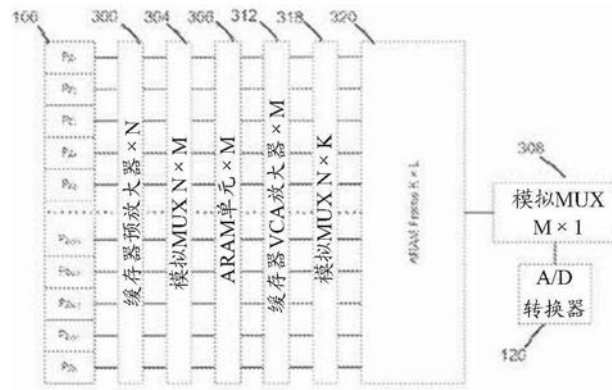


图16D

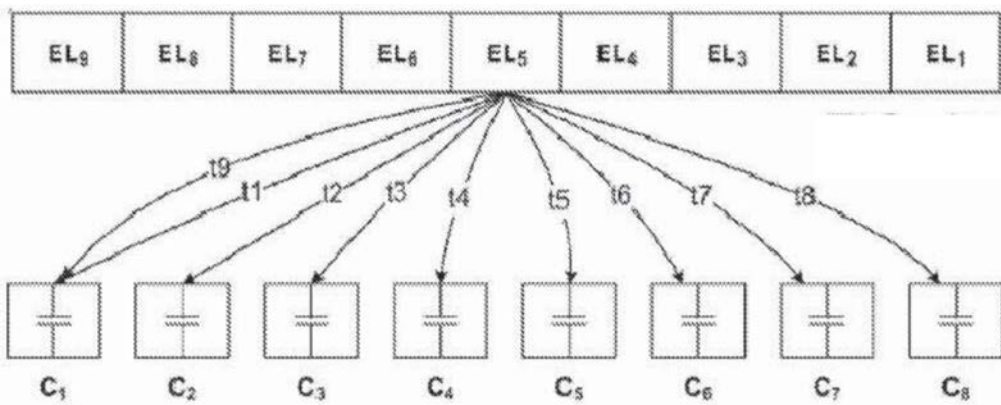


图17A

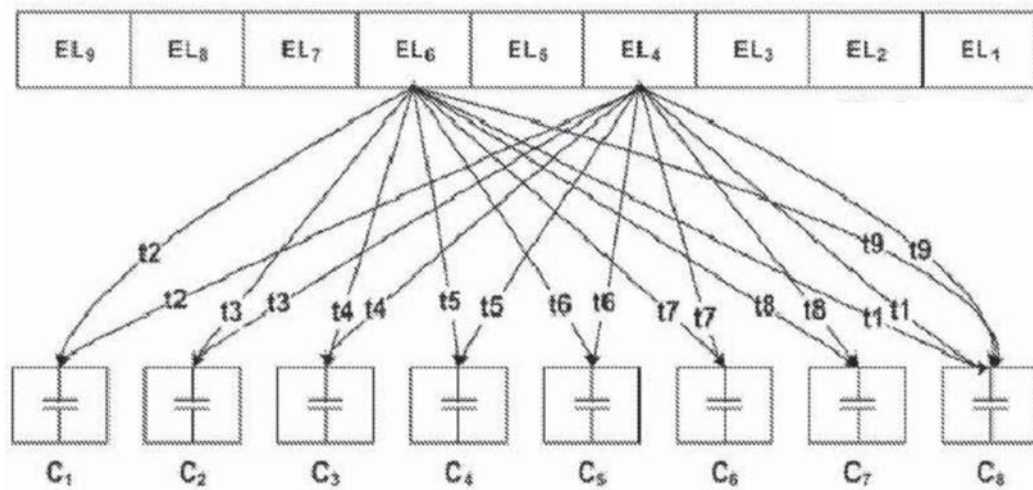


图17B

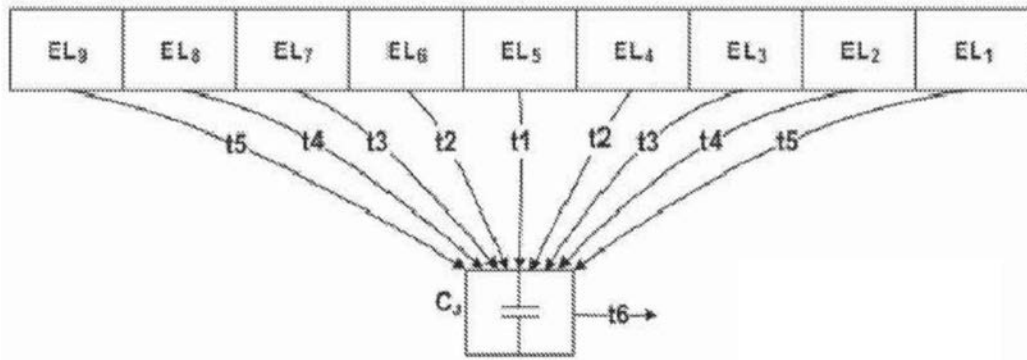


图17C

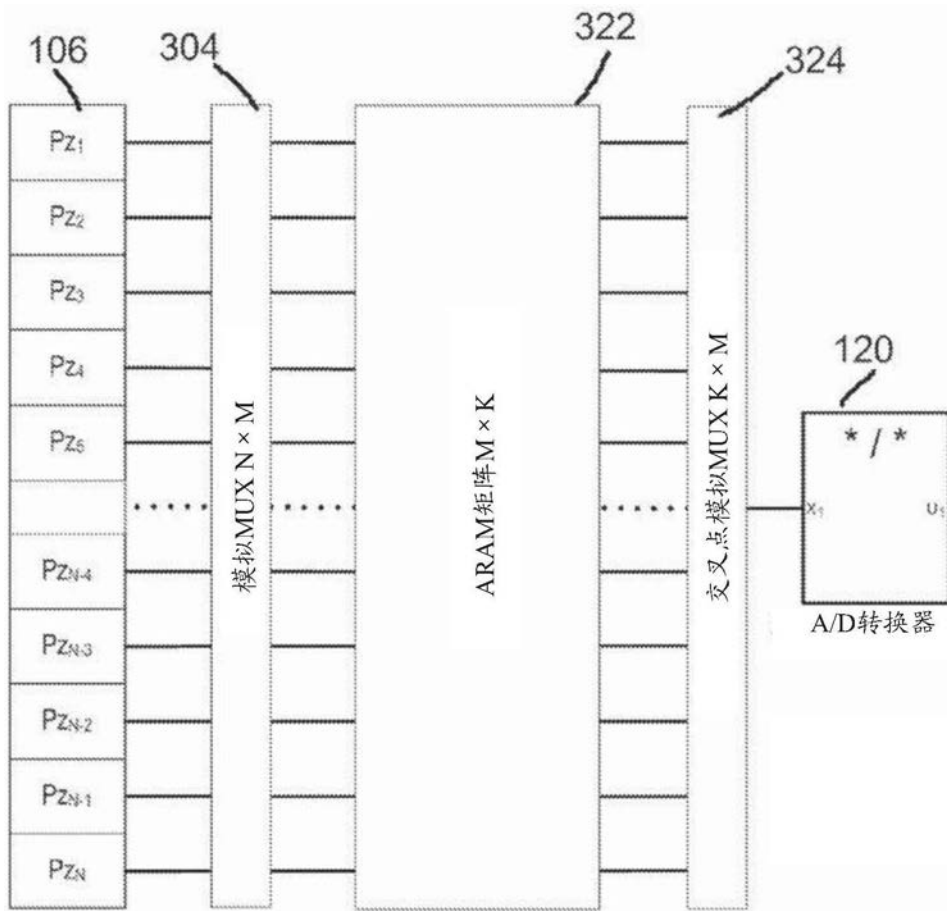


图18

专利名称(译)	基于模拟随机访问存储器阵列的超声波束形成系统和方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN107110826A</a>	公开(公告)日	2017-08-29
申请号	CN201580073579.7	申请日	2015-11-16
[标]发明人	谢尔盖 V 可普腾科		
发明人	谢尔盖·V·可普腾科		
IPC分类号	G01N29/06 A61B8/00		
CPC分类号	A61B8/4472 G01N29/0672 G01N29/262 G01N2291/106 G01S7/52025 G01S7/5208 G01S7/52096 G01S15/8915 G01S15/8927 G10K11/346		
代理人(译)	徐川		
优先权	62/079855 2014-11-14 US		
其他公开文献	CN107110826B		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

超声波束形成器架构通过使用模拟随机访问存储器单元矩阵来捕获、存储并处理来自超声阵列元件的模拟信号的即时样本来执行信号波束形成任务，并且该架构提供了诊断超声成像系统的功耗和尺寸上的显著减小，使得基于该超声波束形成器架构的硬件体系能够被置于超声阵列旁边的一个或多个专用集成芯片(ASIC)中，并且整个诊断超声成像系统可以配合超声探针，同时保留推车系统的大部分功能。超声波束形成架构以数字存储器工作的相同方式操作存储器中的模拟样本，这能够被描述为是模拟存储-数字读取(ASDR)波束形成器。ASDR架构提供了改进的信噪比并且可以缩放。

