(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119522382 A
(43)申请公布日 2025.02.25

(21)申请号 202380049985.4
(22)申请日 2023.06.27
(30)优先权数据
22181941.0 2022.06.29 EP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.12.26
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2023/067438 2023.06.27
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2024/003033 EN 2024.01.04
(71)申请人 丹麦科技大学
地址 丹麦灵比
(72)发明人 拉塞·瑟曼·约根森
约根·阿伦特·延森
马蒂亚斯·博·斯图尔特
(74)专利代理机构 北京国昊天诚知识产权代理有限公司 11315
专利代理师 南霆
(51)Int.Cl.
G01S 15/89(2006.01)
G01S 7/52(2006.01)

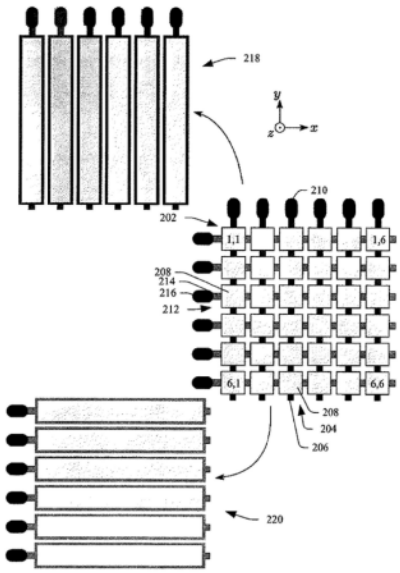
权利要求书4页 说明书17页 附图12页

(54)发明名称

超声成像设备

(57)摘要

一种超声成像设备,用于提供图像体积的体积超声图像,其中,该超声成像设备包括:行列寻址换能器阵列,被配置为将激励电脉冲转换为超声压力场,以及将接收到的超声回波压力场转换为回波信号;波束形成器模块,被配置为使用动态接收聚焦对回波信号进行波束形成,以在图像体积内的第一组图像点处产生相应的图像值;重建模块,被配置为:确定一组轨迹,每个轨迹与第一组图像点中的图像点相交,将图像体积的第二组图像点映射到第一组图像点上,以及根据第一组图像点的图像点的图像值,计算第二组图像点的映射图像点处的相应的图像值。



CN 119522382 A

1.一种超声成像设备,用于提供图像体积的体积超声图像,其中,所述超声成像设备包括:

a)行列寻址换能器阵列,被配置为将激励电脉冲转换为超声压力场,并将接收到的超声回波压力场转换为回波信号,其中所述行列寻址换能器阵列包括第一组换能器元件和第二组换能器元件,所述第一组换能器元件限定沿第一轴线排列的第一换能器阵列,所述第二组换能器元件限定沿第二轴线排列的第二换能器阵列;

b)波束形成器模块,被配置为使用动态接收聚焦对所述回波信号进行波束形成,以在所述图像体积内的第一组图像点处产生相应的图像值;

c)重建模块,被配置为:

-确定一组轨迹,每个轨迹与所述第一组图像点中的图像点相交,其中每个确定的所述轨迹是根据虚拟发射器位置限定的,

-将所述图像体积的第二组图像点映射到所述第一组图像点上,以及

-根据所述第一组图像点的图像点的图像值,计算所述第二组图像点的映射图像点处的相应的图像值;

其中,所述超声成像设备被配置为控制所述行列寻址换能器阵列,以进行与从相应的虚拟发射器位置发射的超声相对应的多个超声发射;其中,所述波束形成器模块和所述重建模块被配置为计算多个低分辨率体积图像,每个低分辨率体积图像对应于相应的虚拟发射器位置,并且其中,所述图像设备进一步包括图像组合器模块,所述图像组合器模块被配置为将对应于不同虚拟发射器位置的所述多个低分辨率体积图像组合成组合的高分辨率体积图像,所述组合的高分辨率体积图像具有比所述低分辨率体积图像更高的空间分辨率。

2.根据权利要求1所述的超声成像设备,其包括探针和可操作地耦接到所述探针的控制台,其中,所述探针包括所述行列寻址换能器阵列。

3.根据前述权利要求中任一项所述的超声成像设备,其包括发射电路,所述发射电路被配置为产生激励电脉冲,以使所述行列寻址换能器阵列发射与相应的虚拟发射器位置相对应的超声压力场的发射序列。

4.根据前述权利要求中任一项所述的超声成像设备,其被配置为通过所述第一换能器阵列发射超声波,并通过所述第一换能器阵列或所述第二换能器阵列接收反向散射的超声波。

5.根据前述权利要求中任一项所述的超声成像设备,其中,每个确定的所述轨迹由所述图像体积内的一组位置限定,其中,从所述虚拟发射器位置到所述第一换能器阵列和所述第二换能器阵列的接收换能器元件的孔上的最接近位置的飞行时间沿着所述轨迹是恒定的。

6.根据前述权利要求中任一项所述的超声成像设备,其中,所述重建模块被配置为将所述图像体积的每个图像坐标映射到所述第一组图像点上,并存储映射图像坐标的表示,其中,所述重建模块被配置为使用所存储的映射图像坐标的表示来计算多个体积图像。

7.根据前述权利要求中任一项所述的超声成像设备,其中,所述波束形成器模块被配置为执行延迟与求和波束形成。

8.根据前述权利要求中任一项所述的超声成像设备,其中,使用动态接收聚焦对所述

回波信号进行波束形成包括,对于所述第一组图像点中的每个图像点,计算从虚拟发射器位置到所述图像点以及进一步从所述图像点到所述行列寻址换能器阵列的接收换能器元件的最短路径的飞行时间。

9.根据前述权利要求中任一项所述的超声成像设备,其中,所述第一组图像点限定所述图像体积内二维图像的图像平面。

10.根据权利要求9所述的超声成像设备,其中,所述图像平面是从由所述行列寻址换能器阵列限定的平面延伸出、特别是与其正交的平面。

11.根据权利要求9至10中任一项所述的超声成像设备,其中,所述图像平面是与所述行列寻址换能器阵列的接收换能器元件的纵向方向正交的平面。

12.根据前述权利要求中任一项所述的超声成像设备,其中,所述波束形成器模块被配置为响应于所述发射对从所述行列寻址换能器阵列接收到的回波信号进行波束形成,以产生对应的多个二维图像,每个二维图像对应于所述虚拟发射器位置之一;以及其中,所述重建模块被配置为至少通过以下方式计算所述多个低分辨率体积图像中的至少第一低分辨率体积图像,所述第一低分辨率图像对应于第一虚拟发射器位置:

-确定到所述第一虚拟发射器位置的第一组轨迹,

-使用所述第一组轨迹将所述图像体积的图像坐标映射到第一二维图像的图像位置上,以及

-根据所述第一二维图像平面的图像值对所述映射图像坐标处的图像值进行插值,所述映射图像坐标处的插值的图像值表示所述第一低分辨率体积图像。

13.根据前述权利要求中任一项所述的超声成像设备,其中,重建模块被配置为将所述一组轨迹中的每个轨迹确定为图像体积内的一组位置,其中,从虚拟发射器位置经由沿着所述轨迹的所述一组位置中的任一个到所述第一换能器阵列和所述第二换能器阵列的接收换能器元件的孔上的最接近位置的飞行时间沿着所述轨迹是恒定的。

14.一种计算机实施的方法,包括:

-从行列寻址换能器阵列接收回波信号,所述回波信号表示响应于发射超声压力场由所述行列寻址换能器阵列接收的超声回波压力场,

-使用动态接收聚焦对接收到的回波信号进行波束形成,以在图像体积内的第一组图像点处产生相应的图像值,

-确定一组轨迹,每个轨迹与所述第一组图像点中的图像点相交,

-将所述图像体积的第二组图像点映射到所述第一组图像点上,以及

-根据所述第一组图像点的图像点的图像值,计算所述第二组图像点的映射图像点处的相应的图像值。

15.一种计算机程序,其包含指令,当所述指令被数据处理系统执行时,使所述数据处理系统执行根据权利要求14所述的方法的步骤。

16.一种数据处理系统,被配置为执行根据权利要求14所述的方法的步骤。

17.一种超声成像设备,用于提供图像体积的体积超声图像,其中,所述超声成像设备包括:

d)行列寻址换能器阵列,被配置为将激励电脉冲转换为超声压力场,以及将接收到的超声回波压力场转换为回波信号;

e)波束形成器模块,被配置为使用动态接收聚焦对所述回波信号进行波束形成,以在所述图像体积内的第一组图像点处产生相应的图像值;

f)重建模块,被配置为:

-确定一组轨迹,每个轨迹与所述第一组图像点中的图像点相交,

-将所述图像体积的第二组图像点映射到所述第一组图像点上,以及

-根据所述第一组图像点的图像点的图像值,计算所述第二组图像点的映射图像点处的相应的图像值。

18.根据权利要求17所述的超声成像设备,其包括探针和可操作地耦接到所述探针的控制台,其中,所述探针包括所述行列寻址换能器阵列。

19.根据权利要求17至18中任一项所述的超声成像设备,其中,所述行列寻址换能器阵列包括第一组换能器元件和第二组换能器元件,所述第一组换能器元件限定沿第一轴线排列的第一换能器阵列,所述第二组换能器元件限定沿第二轴线排列的第二换能器阵列。

20.根据权利要求19所述的超声成像设备,其被配置为通过所述第一换能器阵列发射超声波,并通过所述第一换能器阵列或所述第二换能器阵列接收反向散射的超声波。

21.根据权利要求17至20中任一项所述的超声成像设备,其中,每个确定的所述轨迹由位置限定,其中,从所述虚拟发射器位置到所述第一换能器阵列和所述第二换能器阵列的接收换能器元件的孔上的最接近位置的飞行时间沿着所述轨迹是恒定的。

22.根据权利要求17至21中任一项所述的超声成像设备,其中,所述重建模块被配置为将所述图像体积的每个图像坐标映射到所述第一组图像点上,并存储映射图像坐标的表示,其中,所述重建模块被配置为使用所存储的映射图像坐标的表示来计算多个体积图像。

23.根据权利要求17至22中任一项所述的超声成像设备,其中,所述波束形成器模块被配置为执行延迟与求和波束形成。

24.根据权利要求17至23中任一项所述的超声成像设备,其中,使用动态接收聚焦对所述回波信号进行波束形成包括,对于所述第一组图像点中的每个图像点,计算从虚拟发射器位置到所述图像点以及进一步从所述图像点到所述行列寻址换能器阵列的接收换能器元件的最短路径的飞行时间。

25.根据权利要求17至24中任一项所述的超声成像设备,其中,所述第一组图像点限定所述图像体积内二维图像的图像平面。

26.根据权利要求25所述的超声成像设备,其中,所述图像平面是从由所述行列寻址换能器阵列限定的平面延伸出、特别是与其正交的平面。

27.根据权利要求25至26中任一项所述的超声成像设备,其中,所述图像平面是与所述行列寻址换能器阵列的接收换能器元件的纵向方向正交的平面。

28.根据权利要求17至27中任一项所述的超声成像设备,其被配置为控制所述行列寻址换能器阵列,以进行与从相应的虚拟发射器位置发射的超声相对应的多个超声发射;其中,所述波束形成器模块和所述重建模块被配置为计算多个低分辨率体积图像,每个低分辨率体积图像对应于相应的虚拟发射器位置,并且其中,所述图像设备进一步包括图像组合器模块,所述图像组合器模块被配置为将对应于不同虚拟发射器位置的所述多个低分辨率体积图像组合成组合的高分辨率体积图像,所述组合的高分辨率体积图像具有比所述低分辨率体积图像更高的空间分辨率。

29.根据权利要求28所述的超声成像设备,其中,所述波束形成器模块被配置为响应于所述发射对从所述行列寻址换能器阵列接收到的回波信号进行波束形成,以产生对应的多个二维图像,每个二维图像对应于所述虚拟发射器位置之一;以及其中,所述重建模块被配置为至少通过以下方式计算所述多个低分辨率体积图像中的至少第一低分辨率体积图像,所述第一低分辨率图像对应于第一虚拟发射器位置:

-确定到所述第一虚拟发射器位置的第一组轨迹,

-使用所述第一组轨迹将所述图像体积的图像坐标映射到第一二维图像的图像位置上,以及

-根据所述第一二维图像平面的图像值对所述映射图像坐标处的图像值进行插值,所述映射图像坐标处的插值的图像值表示所述第一低分辨率体积图像。

30.根据权利要求17至29中任一项所述的超声成像设备;每个确定的所述轨迹是根据虚拟发射器位置限定的。

超声成像设备

技术领域

[0001] 以下内容总体上涉及超声,并且更具体地涉及超声成像设备、相应的方法、数据处理系统和计算机程序。

背景技术

[0002] 通过使用2-D探针与合成孔成像相结合,可以实现具有广泛体积覆盖范围的高帧率3-D成像。然而,对于大多数2-D探针设计,通道数量与孔边长的元素数量成二次方增加。实际上,从制造和加工的角度来看,这使得在大成像深度下实现低F数变得非常困难,甚至是不可能的。此外,即使孔边长中的元件数量很少,也会导致通道数远远超过典型的2-D成像设备的通道数。

[0003] 行列寻址阵列(RCA)通过对2-D阵列中的元件进行行列寻址而提供对高通道计数的解决方案,并且这减少了通道的总数,以与孔的边长中的元件数量线性地而非二次方地增加。

[0004] US10,705,210公开了一种超声成像设备,该设备使用合成孔顺序波束形成技术进行三维成像,该设备具有行列寻址换能器阵列。这种现有技术方法采用固定聚焦来简化声波的传播路径。

[0005] 利用动态接收聚焦进行行列成像是行列成像的另一种方法。动态接收聚焦能更准确地对声波传播进行建模,目前大多数超声扫描仪使用这种方法进行成像。

[0006] 具有动态接收聚焦的行列成像描述于M.F.Rasmussen、T.L.Christiansen、E.V.Thomsen和J.A.Jensen的“3-D imaging using row-column-addressed arrays with integrated apodization-Part I:Apodization design and line element beamforming(使用具有集成变迹的行列寻址阵列的3-D成像-第一部分:变迹设计和线元波束形成)”,IEEE Trans.Ultrason.,Ferroelec.,Freq.Contr.(IEEE超声、铁电和频率控制期刊),第62卷,第5期,第947-958页,2015。

[0007] L.Th.Jørgensen等人的“Tensor Velocity Imaging With Motion Correction(具有运动校正的张量速度成像)”,IEEE Transactions on ultrasonics,ferroelectrics,and frequency control(IEEE超声、铁电和频率控制期刊)”,第62卷,第5期,2021年5月介绍了一种运动补偿程序,用于改善行列阵列的合成孔张量速度估计的准确性。

[0008] 虽然已发现具有动态接收聚焦的行列成像提供高图像品质,但这种方法对处理单元的要求高。在获取体积图像时,这个问题特别严重,因为这些图像通常包含大量图像点。特别地,高处理要求严重限制了进行实时成像的脉冲重复频率。然而,许多临床应用(如实时流应用)需要高脉冲重复速率。

[0009] 因此,仍然期望提供一种便于诸如用于实时体积波束形成的高脉冲重复频率,同时提供高图像品质的成像设备。

[0010] 至少有鉴于前述内容,对行列超声成像的改善方法的需求仍未得到解决。

发明内容

[0011] 本文公开的各个方面旨在解决上述问题和/或其他问题,或至少提供一种可以替代现有方法的方法。

[0012] 根据一个方面,公开了一种超声成像设备,其用于提供图像体积的体积超声图像。术语“体积超声图像”意指3-D超声图像,可以表示为图像点的3-D光栅,例如,每个图像点具有与其相关联的图像值。

[0013] 超声成像设备的实施例包括:

[0014] a)行列寻址换能器阵列,

[0015] b)波束形成器模块,和

[0016] c)重建模块。

[0017] 行列寻址换能器阵列被配置为将激励电脉冲转换为超声压力场,以及将接收到的超声回波压力场转换为回波信号。波束形成器模块被配置为使用动态接收聚焦对回波信号进行波束形成,以在图像体积内的第一组图像点处产生相应的图像值。

[0018] 重建模块被配置为:

[0019] -确定一组轨迹,每个轨迹与第一组图像点中的图像点相交;每个确定的轨迹可以根据虚拟发射器位置限定,特别是由从虚拟发射器位置到第一换能器阵列和第二换能器阵列的接收换能器元件的孔上的最接近位置的飞行时间沿着所述轨迹恒定的位置限定,

[0020] -将图像体积的第二组图像点映射到第一组图像点上,以及

[0021] -根据第一组图像点的图像点的图像值,计算第二组图像点的映射图像点处的相应的图像值,由此获得图像体积的体积超声图像。

[0022] 超声成像设备可以被配置为控制行列寻址换能器阵列,以进行与从相应的虚拟发射器位置发射的超声相对应的多个超声发射;其中,波束形成器模块和重建模块被配置为计算多个低分辨率体积图像,每个低分辨率体积图像对应于相应的虚拟发射器位置,并且其中,图像设备进一步包括图像组合器模块,该图像组合器模块被配置为将对应于不同虚拟发射器位置的多个低分辨率体积图像组合成组合的高分辨率体积图像,该组合的高分辨率体积图像具有比低分辨率体积图像更高的空间分辨率。

[0023] 本文公开的超声成像设备的实施例能够提供与现有技术中具有动态接收聚焦的行列成像方法无异的体积图像,但具有明显更少的操作。

[0024] 在使用动态接收聚焦的现有技术行列成像中,处理操作的数量与阵列元件数量乘以图像点数量成正比。在本文所公开的各方面中使用的方法的实施例中,操作数量仅与图像点数量成正比。发明人已经意识到,能够实现这种减少,是因为在体积中的某些位置,其中测量到的声音到孔的最接近位置的飞行时间是恒定的。因此,沿这些位置的图像值也将近似恒定。这意味着成像设备只需计算其中一个位置的图像值,就能得到所有其余位置的图像值。本文公开的各种实施例利用了3-D成像中的这一实现方式,从而大大减少了处理操作的数量,从而有利于以更高的脉冲频率进行实时图像采集。高脉冲频率下的实时图像采集又促进了各种应用,如临床应用。此类应用包括但不限于解剖成像、超分辨率成像、对比成像和速度成像,例如张量速度成像。

[0025] 行列寻址换能器阵列包括多个换能器元件。换能器元件可以被配置为将激励电脉冲转换为超声压力场,并将接收到的超声压力场(回波)转换为电子(例如射频(RF))回波信

号。回波以及因此回波信号是响应于传输的压力场与物质(例如组织等)相互作用而产生的。因此,超声成像设备可以包括发射电路,其被配置为产生激励电脉冲,特别是以使行列寻址换能器阵列发射与相应的虚拟发射器位置相对应的超声压力场的发射序列。

[0026] 行列换能器阵列可以包括第一组换能器元件,其沿第一轴线限定第一换能器阵列,特别是第一1-D换能器阵列。第一换能器阵列的每个换能器可以沿第一纵向轴线延伸,该纵向轴线可以与第一轴线正交。为此,第一换能器阵列的换能器可以形成换能器元件的2-D阵列的行或列,其中单个通道可以用于寻址每一行或每一列的换能器元件。因此,每列或每行可作为1-D换能器阵列的单个细长换能器来寻址。行列换能器阵列可以包括第二组换能器元件,其沿第二轴线限定第二换能器阵列,特别是第二1-D换能器阵列。第二换能器阵列的每个换能器可以在第二纵向轴线处延伸,该第二纵向轴线可以与第二轴线正交。为此,第二换能器阵列的换能器可以形成换能器元件的2-D阵列的列或行,其中单个通道可以用于寻址每一列或每一行的换能器元件。第一轴线可以与第二轴线正交。特别地,行列寻址阵列可以限定两个细长的1-D换能器阵列,一个阵列由行元件组成并且另一个阵列由换能器元件的2-D阵列的列元件组成。

[0027] 在一些实施例中,超声成像设备被配置为通过第一换能器阵列发射超声波,并通过第二换能器阵列接收反向散射的超声波,即回波。

[0028] 重建模块确定图像体积中的轨迹。这种确定可以涉及确定图像值沿其恒定或至少近似恒定的轨迹。为此,重建模块可将轨迹确定为图像体积内的一组位置,其中,从虚拟发射器位置经由沿着轨迹的一组位置中的任一个到第一换能器阵列和第二换能器阵列的接收换能器元件的孔上的最接近位置的飞行时间沿着轨迹是恒定的,即对于这组位置中的所有位置都是相同的。因此,这组轨迹是相对于虚拟发射器位置恒定的飞行时间轨迹。轨迹的确定取决于虚拟发射器位置。因此,可以对于一组虚拟发射器位置进行确定,从而得到一组轨迹,该组轨迹中的每个轨迹对应于不同的虚拟发射器位置。产生的轨迹的表示、和/或第二组图像点的图像坐标沿着确定的轨迹中的相应一个轨迹到第一组图像点上的相应映射的表示可以存储在存储器中,并重新用于创建利用相同虚拟发射器位置的后续体积超声图像。为此,在一些实施例中,重建模块被配置为将图像体积的每个图像坐标映射到第一组图像点上,并存储映射的图像坐标的表示。因此,重建模块可以被配置为使用所存储的映射图像坐标的表示来计算多个体积图像。

[0029] 通过基于与单个虚拟发射器位置相对应的回波信号的RCA获得的体积超声图像提供了有限的空间分辨率,特别是沿接收换能器元件的延伸方向。为了提高空间分辨率,超声成像设备可以被配置为控制行列寻址换能器阵列,以进行与从相应的虚拟发射器位置发射的超声相对应的包括多个超声发射的发射序列。虚拟发射器位置可以分布在单个接收换能器元件的伸长方向上,和/或分布在距阵列的不同距离处。因此,波束形成器模块和重建模块可以被配置为计算多个低分辨率体积图像(LRV),每个低分辨率体积图像对应于相应的虚拟发射器位置。图像设备可以进一步包括图像组合器模块,该模块被配置为将对应于不同虚拟发射器位置的多个低分辨率体积图像组合成组合的高分辨率体积图像(HRV),该组合的高分辨率体积图像至少沿一个空间方向具有高于低分辨率体积图像的相应分辨率的空间分辨率。组合可包括将高分辨率体积图像的图像值计算为相应低分辨率体积图像的相同图像点的图像值之和或加权和。

[0030] 因此,本文公开的方法的各种实施例可沿所有三个空间轴线进行动态接收聚焦。特别地,可通过结合对于不同虚拟发射器位置获取的低分辨率体积图像,沿接收换能器元件的伸长方向(即第二伸长轴线)进行动态接收聚焦。

[0031] 为此,波束形成器模块可以被配置为对由换能器阵列响应于由行列寻址的传感器阵列响应于发射而接收的超声回波而提供的回波信号进行波束形成,以产生对应的多个二维图像,每个二维图像对应于虚拟发射器位置之一。重建模块可以然后被配置为计算多个低分辨率体积图像中的至少第一低分辨率体积图像,第一低分辨率图像对应于第一虚拟发射器位置。为此,重建模块可被配置为执行插值。重建模块可以至少通过以下方式计算至少第一低分辨率体积图像:

[0032] -确定与第一虚拟发射器位置相关联的第一组轨迹,

[0033] -使用第一组轨迹将图像体积的图像坐标映射到第一二维图像的图像位置上,以及

[0034] -根据第一二维图像平面的图像值对映射的图像坐标处的图像值进行插值,映射的图像坐标处的插值的图像值表示第一低分辨率体积图像。

[0035] 波束形成器模块可以被配置为执行延迟与求和波束形成,以计算第一组图像点的图像值。使用动态接收聚焦对回波信号进行波束形成通常包括对源自图像点的各接收换能器元件的响应应用相应的延迟,并相干地将这些延迟响应相加。延迟是根据往返飞行时间(TOF)得出的,往返飞行时间是发射波从发射源(即虚拟源位置)到图像点,再返回到接收换能器阵列的一个换能器元件的传播时间。因此,波束形成可以包括计算第一组图像点的每个虚拟发射器位置和每个图像点的飞行时间。特别地,因此对于每个图像点计算一组新的延迟值。因此,使用动态接收聚焦对回波信号进行波束形成包括计算沿着从虚拟发射器位置到图像点,以及进一步从图像点到行列寻址换能器阵列的接收换能器元件或接收孔的最短路径的飞行时间,例如描述于M.F.Rasmussen、T.L.Christiansen、E.V.Thomsen和J.A.Jensen的“3-D imaging using row-column-addressed arrays with integrated apodization—Part I:Apodization design and line element beamforming(使用具有集成变迹的行列寻址阵列的3-D成像—第一部分:变迹设计和线元波束形成)”,IEEE Trans.Ultrason.,Ferroelec.,Freq.Contr.(IEEE超声、铁电和频率控制期刊),第62卷,第5期,第947-958页,2015,与虚拟发射器位置和图像点相关联的飞行时间可根据从虚拟发射器位置延伸至图像点以及从图像点延伸至第二换能器阵列的接收换能器元件(尤其是沿拉长的接收换能器元件延伸至最靠近图像点的位置)的最短路径的路径长度来计算。

[0036] 第一组图像点可以在图像体积中限定二维图像表面,优选地为图像平面,即第一组图像点的所有图像点可以位于二维图像表面上。因此,第一组图像点的图像点的图像值可以表示二维图像。二维图像可视为图像体积在二维图像表面上的2-D投影,该投影由轨迹限定。二维图像表面可以这样选择,使得图像体积中的所有图像点都可以通过一组轨迹映射、特别是投影到二维图像表面上。第二组图像点包括从二维图像表面位移的图像点。可以理解的是,第二组图像位置可以进一步包括第一组图像点,因此可以认为被映射到第一组图像点上。因此,第二组图像点处的图像值表示图像体积的体积超声图像。

[0037] 图像平面可以与接收换能器元件的纵向方向正交延伸。图像平面可以从由换能器阵列限定的平面延伸出,特别是与其正交。在一个实施例中,图像平面沿接收换能器元件的

纵向方向的位置与虚拟发射器位置沿接收换能器元件的所述纵向方向的位置相对应,特别是相等。

[0038] 波束形成器模块可以被配置为以合适的(例如预定的)采样率或光栅密度计算分布在二维图像表面(特别是图像平面)上的图像点处的图像值。采样率可以是均匀的,也可以在整个图像平面上变化,例如沿一个方向的采样率比沿另一个方向的采样率大。在一些实施例中,超声成像设备被配置为至少沿从由换能器阵列限定的平面延伸出的方向,以至少奈奎斯特频率对波束形成的图像平面进行采样,从而便于重建模块进行精确插值。

[0039] 设备可包括一个或多个处理单元,这些处理单元被编程或以其他方式被配置为实施波束形成器模块和/或重建模块和/或组合器模块。一个或多个处理单元可以包括中央处理器(CPU)、图形处理单元(GPU)、微处理器等。波束形成器模块和重建模块可以由同一个处理单元实现,也可以由不同的处理单元实现。

[0040] 在某些实施例中,成像设备包括探针和与该探针可操作地耦接的控制台。探针包括行列寻址换能器阵列,并且控制台可以包括实现波束形成器模块和/或重建模块和/或组合模块的处理单元。在一些实施例中,一些信号处理,例如一些波束形成操作或全部可以由包括在探针中的处理单元执行。

[0041] 在一些实施例中,成像设备包括发射电路和接收电路,发射电路被配置为生成对换能器元件进行激励的激励电脉冲,接收电路被配置为接收换能器元件产生的电信号(例如RF信号),并可选地对其进行调节和/或预处理。发射和/或接收电路可以包括在控制台中。

[0042] 在一些实施例中,处理单元被配置为实施处理流水线,该流水线处理接收到的电信号,特别是接收到的RF信号,以创建一个或多个体积超声图像的表示。

[0043] 同一个和/或单独的处理单元可以被配置为对一个或多个体积超声图像进行额外处理,例如用于速度成像和/或另一种类型的3-D超声成像。

[0044] 可以理解的是,从接收到的电信号中生成一个或多个超声图像以及可选的进一步处理可以由单个处理单元实现。可替代地,也可以将不同的操作分配给多个处理单元。在一些实施例中,实施信号和/或图像处理的处理单元包括在控制台中。在一些实施例中,信号处理和/或后续图像处理的至少一部分可以由与控制台分离的计算设备执行。利用该实施例,存储在存储器中的RF信号和/或存储在计算设备的存储器中的波束形成图像或从控制台接收的图像(例如,经由适当的有线或无线连接)可以被图像处理流水线加载和处理,以生成所产生的3-D图像。

[0045] 成像设备可以进一步包括显示器,并且该显示器被配置为显示生成的体积图像的表示。显示器可以包括在控制台或单独的计算设备中。

[0046] 在另一方面,一种方法,特别是计算机实施的方法,包括:

[0047] -从行列寻址换能器阵列接收回波信号,回波信号表示响应于发射超声压力场由行列寻址换能器阵列接收的超声回波压力场,

[0048] -使用动态接收聚焦对接收到的回波信号进行波束形成,以在图像体积内的第一组图像点处产生相应的图像值,

[0049] -确定一组轨迹,每个轨迹与第一组图像点中的图像点相交,

[0050] -将图像体积的第二组图像点映射到第一组图像点上,以及

[0051] -根据第一组图像点的图像点的图像值,计算第二组图像点的映射图像点处的相应图像值,由此获得图像体积的体积超声图像。

[0052] 在又另一个方面,一种计算机程序包括指令,当指令被计算机或其他数据处理系统执行时,使计算机或其他数据处理系统执行本文所述方法的计算机实施的操作。计算机程序可以是存储指令的计算机可读存储介质,也可以是编码指令的数据信号。

[0053] 根据另一个方面,本文公开了数据处理系统的实施例,该系统被配置为执行本文所述方法的操作。特别地,数据处理系统可以存储有程序代码,当由数据处理系统执行时,使数据处理系统执行本文所述方法的步骤。数据处理系统可以体现为单个计算机,或包括多个计算机的分布式系统,例如客户服务器系统、基于云的系统等。

[0054] 本领域技术人员在阅读和理解所附说明书后,还会认识到本申请的其他方面。

附图说明

[0055] 本文公开的各个方面将通过附图的示例进行说明并且不受其限制,在附图中,类似的附图标记指示类似的元件:

[0056] 图1示意性地示出根据本文实施例的成像设备的示例。

[0057] 图2示意性地示出根据本文公开的实施例的行列寻址换能器阵列。

[0058] 图3A和图3B示意性地示出根据本文公开的实施例相对于行列寻址换能器阵列限定的坐标系。

[0059] 图4示意性地示出根据本文所述实施例的图1的成像设备的示例处理流水线。

[0060] 图5A-图5C示意性地示出根据本文公开的实施例的在RCA延迟与求和波束形成中使用的飞行时间路径的示例。

[0061] 图6示意性示出了根据本文公开的实施例的如何有效地合成沿着y′轴的元件。

[0062] 图7示出了根据本文实施例的示例方法。

[0063] 图8A-图8C示出了低分辨率体积图像和组合的高分辨率体积图像的示例。

[0064] 图9A-图9B示出了常规DAS RCA波束形成器与本文所公开的成像设备和方法的实施例之间的输出比较。

[0065] 图10A-图10B示出了使用常规DAS RCA波束形成器以及本文所公开的成像设备和方法的实施例进行波束形成的图9A-图9B的囊肿模型的3-D渲染。

[0066] 图11示出了计算时间随着接收孔中的样本和通道的数量变化的比较。

具体实施方式

[0067] 下面描述一种超声成像设备和相关方法,用于提供图像体积的体积超声图像以及减轻现有技术体积成像方法的一个或多个上述缺点的对应方法。通常,超声成像设备包括:

[0068] a)行列寻址换能器阵列,被配置为将激励电脉冲转换为超声压力场,以及将接收到的超声回波压力场转换为回波信号,

[0069] b)波束形成器模块,被配置为使用动态接收聚焦对回波信号进行波束形成,以在图像体积内的第一组图像点处、特别是图像体积内的图像平面上的图像点处产生相应的图像值;

[0070] c)重建模块,被配置为:

[0071] -确定一组轨迹,每个轨迹与第一组图像点中的图像点相交,

[0072] -将图像体积的第二组图像点映射到第一组图像点、特别是在图像平面之外的图像点上,以及

[0073] -根据第一组图像点的图像点的图像值,计算第二组图像点的映射图像点处的相应图像值,由此获得图像体积的体积超声图像。

[0074] 图1示出示例成像设备102,该设备被配置为对对象进行体积超声成像。成像设备102包括探针104和控制台106,它们通过合适的互补硬件(如图所示的机电连接器108和110以及电缆112等)和/或无线接口(不可见)相互连接。

[0075] 探针104包括具有多个换能器元件116的行列寻址换能器阵列(RCA)114。换能器阵列114包括平面阵列、曲面阵列或其他形状阵列、全填充阵列或稀疏阵列等。换能器元件116被配置为将激励电脉冲转换为超声压力场,并将接收到的超声压力场(回波)转换为电子(例如射频(RF))回波信号。因此,回波信号是在传输的压力场与物质(例如人体组织、其他生物或非生物材料等)相互作用时生成的。RCA的换能器元件呈2-D阵列排列。

[0076] 控制台106包括发射电路(TX)118和接收电路(RX)120,发射电路被配置为生成激励换能器元件116的激励电脉冲,接收电路被配置为接收换能器元件116产生的RF信号。在一个实施例中,RX 120(或其他电路)还被配置为调节或预处理RF信号,例如放大、数字化等。在图示的实施例中,TX/RX控制器122被配置为控制TX 118和RX 120以进行RCA的发射和接收操作。TX 118和RX 120分别按行和列寻址RCA的换能器元件。为此,将沿行或列接收的信号求和,以产生每行或每列一个信号。因此,RCA 114有效地形成了两个具有细长换能器元件的正交1-D阵列,如图2所述。

[0077] 在一个实施例中,TX 118和RX 120受控使RCA通过其中一个1-D阵列发射和另一个1-D阵列或同一个1-D阵列接收反向散射的信号来执行体积成像。例如,发射阵列元件的子集(即一个或子组)可被激发,以同时产生压力场,共同发射与虚拟发射器位置(特别是虚拟线发射器)的发射相对应的聚焦光束。接收阵列的元件的全部或子集可以用于接收回波。这可以对于发射阵列的多个不同的子集、特别是对于虚拟发射器的不同位置重复进行,其中每个发射/接收提供数据以生成低分辨率体积图像,高分辨率体积图像则可通过组合与本文所述不同虚拟发射器位置相对应的多个低分辨率图像来生成。合适的序列的示例描述于Jensen等人的“Synthetic aperture ultrasonic imaging(合成孔超声成像),”Ultrasonics(超声波),44卷,第59-64页,e5-e15,2006。使用平面波的另一个示例在Tanter等人的“Ultrafast imaging in biomedical ultrasound(生物医学超声中的超快成像),IEEE Transactions on Ultrasonics,Ferroelectrics,and Frequency Control(IEEE超声、铁电和频率控制期刊)”,2014,61,1,第102-119页中提及。

[0078] 控制台106还包括处理单元124。处理单元124可以包括一个或多个处理器(例如,中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU)、微处理器等),被配置为执行在诸如存储器126的计算机可读存储介质上编码或嵌入的计算机可读指令,以执行本文所述的计算机实施的操作。通常,处理单元124被配置为处理RF信号以创建一组低分辨率体积超声图像,并组合低分辨率体积超声图像以生成高分辨率体积超声图像。特别地,处理单元124被配置为实施如本文所述的包括波束形成器模块、重建模块和组合器模块的处理流水线。

[0079] 如下文更详细描述的,在一个实例中,处理单元124实现波束形成器模块、重建模

块和组合器模块。波束形成器模块对接收到的回波信号进行波束形成,以产生波束形成的低分辨率图像平面,这些平面对应于不同的虚拟发射器位置。重建模块根据每个波束形成的低分辨率图像平面计算低分辨率体积图像。为此,重建模块为每个低分辨率图像确定至少近似恒定图像值的轨迹,轨迹与波束形成的低分辨率图像平面相交,使用确定的轨迹将图像体积的图像坐标映射到波束形成的低分辨率图像平面上,以及根据波束形成的低分辨率图像平面的图像值对映射图像坐标处的图像值进行插值,从而获得低分辨率体积超声图像。组合器模块将对应于不同虚拟发射器位置的所得的多个低分辨率体积超声图像组合成组合的高分辨率体积超声图像。

[0080] 控制台106还可包括扫描转换器128和显示器130。扫描转换器128被配置为扫描转换每个图像以用于显示,例如,通过将图像转换到显示器130的坐标系。然后显示高分辨率体积超声图像的表示,例如3D渲染、截面或其他类型的表示。除了显示生成的高分辨率体积超声图像的表示之外,还可以存储和/或进一步处理高分辨率体积超声图像,例如,对被成像对象的结构或特性进行识别和/或分类。

[0081] 控制台106还包括用户界面132,其包括一个或多个输入装置(例如按钮、触摸板、触摸屏等)和一个或多个输出装置(例如显示器、扬声器等)。控制台106还包括控制器134,其被配置为控制发射电路118、接收电路120、TX/RX控制器122、处理流水线124、扫描转换器128、显示器130和/或用户界面132中的一个或多个。

[0082] 可以理解的是,成像设备的其他实施例可以包括替代或额外的部件,和/或部件的排列方式可以不同,和/或可以省略某些部件。例如,探针与控制台之间的部件分布可以不同,或者设备可以包括额外的远程数据处理系统。

[0083] 图2示意性地示出根据本文公开的实施例的行列寻址换能器阵列。特别地,图2示意性地示出示例6×6RCA阵列202(N=6)。每一列204包括与该列204的每个元件208电气通信的导电迹线206,其中电极210与导电迹线206电气通信。每一行212包括与该行212的元件208电气通信的导电迹线214,其中电极216与导电迹线214电气通信。RCA有效地将36元件6×6 2-D阵列202转换为6元件1-D列阵列218和正交的6元件1-D行阵列220。这有效地将元件通道数从N^2减少到2N。

[0084] 合适的RCA阵列描述于US10,302,752和US10,806,432中。

[0085] 此外,换能元件208还可以包括集成的变迹,其对于各元件可以相同或不同。WO 2015/092458中描述了一个示例。此外,2-D阵列202可以具有平面1-D阵列、一个曲面1-D阵列、两个曲面1-D阵列、在其中一个1-D阵列前面或后面的单曲面透镜、在1-D阵列前面或后面的双曲面透镜、至少一个曲面1-D阵列和至少一个曲面透镜的组合等。WO 2017/212313中描述了一个示例。

[0086] 在图2中,每一行和每一列具有自己的前端电路。例如,电极210与其自己的前端电路(不可见)电气通信,电极216与自己的前端电路(不可见)电气通信。在变体中,成对的行和列可以共享前端电路,如美国专利10,806,432所述。在共享前端电路的情况下,电极210和216都与同一个开关(不可见)电气通信,该开关在电极210与216之间切换以进行发射和接收。开关可以是共享前端电路的一部分和/或与其分开。这种配置进一步将通道数从2N减少到N。

[0087] 图3A和图3B示意性地示出根据本文公开的实施例相对于行列寻址换能器阵列限

定的坐标系。可以理解的是,RCA的行可以用于对待成像的体积进行等化,并且列可以用于接收反向散射信号,反之亦然,即,RCA的列可以用于对待成像的体积进行等化,并且行可以用于接收反向散射信号。因此,为了便于说明,引入相对于接收孔的坐标系是便利的。当然,也可以使用其他坐标系。为了本说明书的目的,坐标系被限定为使得x'表示接收阵列的元件排列的轴线并且y'表示各接收元件的伸长方向。

[0088] 请注意,如果如图2所示限定了(x,y)坐标系,即,使得阵列的行沿x轴延伸并且列沿y轴延伸,则如图3A-图3B所示,如果行孔接收,则(x';y')=(y;x),如果列孔接收,则(x';y')=(x;y)。特别地,图3A示出了行孔接收时的(x',y')坐标系,而图3B示出了列孔接收时的(x',y')坐标系。在任何情况下,z方向是正交延伸出阵列平面的方向,即正交于(x',y')平面,坐标系的原点限定在阵列的中心。

[0089] 图4示意性地示出了处理流水线的非限制性示例,通常指定为400,由本文公开的成像设备的实施例实现,例如由图1的成像设备的处理单元124实现。图示的处理流水线400从接收电路120接收RF信号作为输入,并输出一个或多个体积超声图像。

[0090] 图示的处理流水线400包括波束形成器模块410。波束形成器模块410被配置为将RF信号波束形成到图像平面上,并输出一系列2-D图像,每个图像与相应的虚拟发射器位置相关联。合适的波束形成的非限制性示例描述于M.F.Rasmussen、T.L.Christiansen、E.V.Thomsen和J.A.Jensen的"3-D imaging using row-column-addressed arrays with integrated apodization—Part I:Apodization design and line element beamforming(使用具有集成变迹的行列寻址阵列的3-D成像-第一部分:变迹设计和线元波束形成)",IEEE Trans.Ultrason.,Ferroelec.,Freq.Contr.(IEEE超声、铁电和频率控制期刊),第62卷,第5期,第947-958页,2015。另一个非限制性示例描述于Stuart等人,"Real-time volumetric synthetic aperture software beamforming of row-column probe data(行列探测数据的实时体积合成孔软件波束形成),"IEEE Trans.Ultrason.,Ferroelec.,Freq.Contr.(IEEE超声、铁电和频率控制期刊),4月8日,2021。本文还考虑了其他波束形成方法。

[0091] 为此,控制换能器阵列产生与位于虚拟发射器位置的虚拟发射器的发射相对应的超声发射。对于每次发射,发射阵列的部分或全部元件受控以适当的相位偏移发射超声信号,从而产生似乎源自虚拟发射器位置的超声波阵面。控制RCA产生一系列与虚拟发射器的不同位置相对应的发射信号,特别是沿y'和/或z方向的不同位置。对于每次发射,接收阵列的元件接收来自等体积的反向散射信号,并且对于每次发射,波束形成器模块创建与所述发射(即对于每个虚拟发射器位置)相关联的对应的2-D图像。为此,波束形成器限定了图像平面,该平面对于每次发射可以是相同或不同的。图像平面可以限定为在沿y'轴的适当位置与(x',z)平面平行,例如在对应虚拟发射器的y'位置。对于图像平面上的每个图像点,波束形成器模块执行波束形成计算,以计算所述图像点处的图像值。图像点可作为适当的光栅分布在图像平面上。图像点的空间密度或采样率可以沿x'和z方向相同或不同。波束形成过程包括对每个虚拟发射器位置和每个图像点进行飞行时间计算。使用动态接收聚焦,波束形成过程考虑了从虚拟发射器位置到图像点,再返回(特别是以最短路径直接返回)到接收元件的飞行时间,如图5A-图5C所示。

[0092] 图5A-图5C示意性地示出根据本文公开的实施例的在RCA延迟与求和波束形成中

使用的飞行时间路径的示例。特别地,图5A-图5C示出了从不同方向看到的接收阵列520的接收换能器元件521、图像点530和虚拟发射器510的位置。图5A示出了3-D视图,图5B示出了沿y'方向的侧视图,图5C示出了沿z方向的俯视图。

[0093] 由于发射阵列的元件沿x'方向伸长,虚拟源510是沿x'方向延伸的线,如图5A-图5C所示。

[0094] 在(x',y',z)坐标系中,虚拟发射器510的位置将表示为(x',y_v,z_v),图像点530的位置将表示为$\vec{p}=(x_p, y_p, z_p)$。从虚拟发射器510经由图像点到(x_e,y',0)处的接收元件521的路径用虚线540表示。

[0095] 因此,从阵列上的参考点到虚拟发射器,从虚拟发射器到图像点,再从图像点返回到接收元件的总路径可表示为

[0096] $$d(\vec{p},x_e)=\begin{cases}z_v-d_v+d_e & \text{如果} z_p<z_v\\ z_v+d_v+d_e & \text{其他}\end{cases} \quad (1)$$

[0097] 其中:

[0098] $$d_v=\sqrt{(y_p-y_v)^2+(z_p-z_v)^2},\ \text{并且}\ d_e=\sqrt{(x_p-x_e)^2+z_p^2}。$$

[0099] 因此,波束形成器模块用于RCA延时与求和(DAS)波束形成的飞行时间(ToF)由$t=d(\vec{p},x_e)/c$给出,其中c是被成像介质中的声速。

[0100] 图5B中的ToF路径图还显示,zx'平面中的聚焦与2-D平面波成像类似,例如,参见G.Montaldo、M.Tanter、J.Bercoff、N.Benech和M.Fink,"Coherent plane-wave compounding for very high frame rate ultrasonography and transient elastography(用于超高帧速率超声检查和瞬时弹性成像的相干平面波复合),"IEEE Trans.Ultrason.,Ferroelec.,Freq.Contr.(IEEE超声、铁电和频率控制期刊),第56卷,第489-506页,2009年3月。因此,可以理解的是,在本文所述的各种实施例中,动态接收聚焦是在x和z'维度上实现的。事实上,动态接收聚焦也可以沿y'轴实现,尽管沿此方向只有一个接收元件。为了实现沿y'轴的动态接收聚焦,本文公开的各种实施例将从位于zy'平面不同位置的不同虚拟发射源获取的图像组合。如图6所示,RCA能够通过在发射和接收中使用不同朝向的孔来改变y'z平面中的虚拟发射源位置,并且RCA能够解析仰视物体,因为它可以在该方向上改变虚拟发射源位置。

[0101] 图6示出了根据本文所公开的各种实施例,其示出了如何有效地合成沿y'轴的元件。图6包括两行图。顶部行的图示出固定图像点530和固定接收元件521的ToF路径540,但虚拟发射器510的位置不同。底部行的图示出不同虚拟发射器位置的发射对应于来自固定虚拟发射器位置510的发射,但接收元件521沿y'轴移动。这说明沿y'轴移动发射源实际上等同于从沿y'轴的不同元件接收发射源。结合起来,不同的发射合成了更大的接收孔,从而提供了沿y'轴的聚焦。因此,本方法可以称为"合成孔"(SA)成像。

[0102] 图8A-图8C进一步展示了沿y'轴的聚焦,说明了如何将不同虚拟发射器位置获得的体积图像数据组合在一起,形成高分辨率体积超声图像。图8A-图8C展示了位于图像体积中心(本例中为(0;0;20)mm)的点目标的模拟体积图像数据。图8A-图8C展示了点目标是如

何从由22个独特虚拟发射器位置组成的RCA发射序列中解析出来。用于构建图8A-图8C所示的波束形成图像的RF数据都是在Field II模拟环境中使用3MHz 64+64RCA获取的(参见例如,“Field:Aprogram for simulating ultrasound systems(Field:用于模拟超声系统的程序),”Med.Biol.Eng.Comp.(医学与生物工程与计算),vol.10th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Imaging,第4卷,Supplement 1,第1部分,第351-353页,1996以及J.A.Jensen和N.B.Svendsen,“Calculation of pressure fields from arbitrarily shaped,apodized,and excited ultrasound transducers,”IEEE Trans.Ultrason.,Ferroelec.,Freq.Contr.,第39卷,第2期,第262-267页,1992)。

[0103] 图8A和图8B示出了来自具有相应的虚拟发射器位置的两个发射的波束形成的体积图像数据。来自各发射器位置的各体积图像也被称为低分辨率体积图像(LRV),因为它们不能单独地使放置在所有三维中分辨的体积中心处的点目标可视化。它们将点目标解析为线而不是点。只有通过组合不同的LRV,才能在所有三个维度上准确地表示点目标,如图8C所示,该图示出了通过组合利用相应虚拟发射器位置获得的22个LRV获得的体积图像。在图8C中,所成像的点散射体在LRV线交点处被解析。因此,组合的图像可以在空间上分辨所有三个维度的点目标,因此也被称为高分辨率体积图像(HRV)。

[0104] 发明人已经意识到,LRV的创建可以高效地进行,因为创建每个LRV的波束形成操作不需要对待成像的体积中的每个图像点进行。只需对一组有代表性的图像点,特别是一个图像平面中的图像点进行波束形成操作。剩余的图像值,特别是图像平面外的图像值,可以然后根据一组代表性图像点的图像值,特别是图像平面中的图像值计算出来。

[0105] 例如,图8A-图8C示出了LRV单独地仅能够确定点目标的y’位置,并且可视化幅度沿y’z平面中的轨迹是恒定的。轨迹取决于虚拟发射器位置,即轨迹对于图8A和图8B所示的LRV是不同的。来自两个LRV的轨迹在点目标处相交,并且可以解析点目标,因为LRV在此位置处相干地组合。可以将LRV视为点目标在x’z平面上投影的“反向投影”,并且通过从不同角度投影体积来分辨体积。然而,代替独立地获取LRV中的每个图像点,本文中描述的各种实施方式确定反向投影轨迹并且使用它们从单个x’z平面的图像点获取体积中的剩余图像点。

[0106] 因此,再次参考图4,处理流水线400包括重建模块420。对于波束形成器模块410生成的每个2-D图像,重建模块确定一组反向投影轨迹。

[0107] 对于给定的2-D图像,即对于给定的虚拟发射器位置,其反向投影轨迹可以通过求解轨迹得出,其中距离$(\vec{p}, x_p)$,即虚拟发射器位置到图像点$\vec{p}$再返回到接收孔上最接近位置x_p之间的最短距离,其是恒定的。该解对应于或至少近似于动态变迹获得的解,即接收孔的宽度取决于图像点相对于接收孔的深度z_p。

[0108] 该轨迹可以得出图像体积中的位置,在这些位置上,到孔上最接近位置的ToF是恒定的。如果使用动态接收变迹,该轨迹也对应于整个ToF曲线相对于孔的有效部分恒定的位置;否则,它仍然是很好的近似值。假设$z_p \geq 0$和$(y_p, z_p) \neq (y_v, z_v)$,轨迹可以表示为$(x';y';z) = (x_p;y';f(y'))$,其中

[0109] $$f(y') = \frac{d(\vec{p}, x_p)}{2} - \frac{(y_v - y')^2}{2d(\vec{p}, x_p) - 4z_v}$$

[0110] 其中y'受限于区间

[0111] $$y_v - \left|2z_v - d(\vec{p},x_p)\right| < y' < y_v + \left|2z_v - d(\vec{p},x_p)\right|。$$

[0112] 沿轨迹的图像值近似恒定,因此只需对轨迹上的一个点进行波束形成。因此,对于给定的虚拟发射器位置,重建模块可以根据单个波束形成(x';y_p;z)平面的图像值计算整个3-D LRV图像的图像值,因为体积中的任何点都可以经由上述等式映射到该平面。假设(y′,z)≠(y_v,z_v),映射(x′,y′,z)→(x′,y_p,f(y_p))可以通过以下函数获得:

[0113] $$f(y_p)=\begin{cases} z+\dfrac{(y'-y_p)(2y_v-y'-y_p)}{2\left(z_v-z+\sqrt{(y'-y_v)^2+(z-z_v)^2}\right)} & 如果z<z_v \\ z+\dfrac{(y'-y_p)(2y_v-y'-y_p)}{2\left(z_v-z-\sqrt{(y'-y_v)^2+(z-z_v)^2}\right)} & 其他 \end{cases}。$$

[0114] 由于该函数与x'无关,因此只需计算唯一(y';z)坐标的映射。因此,假设体积在大小为N_x,N_y,N_z的三维网格中进行波束形成,只需计算映射位置N_x,N_z次。相比之下,现有技术方法需要计算ToF N_x,N_y,N_zN次。

[0115] 在一些实施例中,对于不同的虚拟源位置,沿y′轴的图像平面的位置选择不同,优选使得y_p=y_v,从而避免出现轨迹交点位于上述不等式所限定的轨迹域之外的情况。尽管如此,在一些实施例中,要确定(x',y',z)中的给定点是否位于轨迹上(该轨迹也是为y'=y_p限定的),可以断言

[0116] |y_p-y_v|<|2z_v-d((x′,y′,z),x′)|。

[0117] 另一种选择是,如果z<z_v,则断言f(y_p)<z_v;如果z>z_v,则断言f(y_p)>z_v。需要注意的是,在一些实施例中,可能根本不需要断言上述条件,因为可能有几种选择可以避免这些条件。例如,在一个实施例中,过程可以导出两个图像平面,每个图像平面用于条件等式(1)中的每个解。有了图像平面的这两个解,过程可以随后重建两个3-D LRV。然后,过程可以在z=z_v处将两个LRV拼接在一起。在实践中,也可以选择不考虑f(y')的域,因为在普通合成孔成像中,z_v远离成像区域。

[0118] 对于平面波成像,映射函数可以进一步简化。首先求出f(y')的导数,可以获得简化表达式

[0119] $$\frac{df(y')}{dy'}=\frac{-y'+y_v}{d(\vec{p},x_p)-2z_v}。$$

[0120] 将y_v和z_v分别代入r sin(φ)和-r cos(φ),并让r→∞

[0121] 得出

[0122] $$\frac{df(y')}{dy'}=\frac{sin(\phi)}{1-cos(\phi)}=tan\left(\frac{\phi}{2}\right).$$

[0123] 这里,φ表示发射角,并且等式指出斜率的轨迹是沿着发射波前部的斜率的一半。因此,轨迹的简化表达式为

[0124] $$f(y_p)=z+tan\left(\frac{\phi}{2}\right)(y_p-y')。$$

[0125] 仍参照图4,然后该设备可以将来自多个发射(即不同虚拟发射器位置)的体积超声图像信息组合,以获得空间分辨体积超声图像,也称为高分辨率体积图像,因为它在所有

三个空间方向上都具有高空间分辨率。为此,处理流水线还包括组合器模块430,该模块接收由重建模块420根据波束形成器模块410产生的一系列波束形成2-D图像计算出的一系列LRV。然后,组合模块430将LRV组合以形成单个HRV,例如,通过在每个图像点将LRV的图像值(可选地加权)求和,可选地随后进行适当的归一化。

[0126] 在一个变体中,处理流水线400的至少一部分由不同于控制台的独立计算设备实施。在此实施例中,存储在存储器中的RF信号和/或存储在存储器中的波束形成图像平面可以通过处理流水线400加载和处理,以生成本文所述的体积图像。这种设备可以包括扫描转换器和显示器,用于构建和在视觉上显示体积超声图像的表示。可替代地或另外地,可以将体积图像传送到系统102、另一个超声系统和/或另一个计算机设备,以构建和在视觉上显示体积超声图像的表示或以其他方式处理体积超声图像。

[0127] 图7示出了根据本文实施例的示例方法。

[0128] 以下操作的顺序是用于解释目的并且不具有限制性。因此,一个或多个操作可以以不同的顺序进行,包括但不限于同时进行。此外,还可以省略一个或多个操作和/或增加一个或多个其他操作。

[0129] 在S1处,对应于虚拟发射器位置发射超声波,如本文和/或以其他方式描述。

[0130] 在S2处,获取与虚拟发射器位置相对应的超声信号,如本文和/或以其他方式描述。

[0131] 可以理解的是,S1和S2操作可以省略。例如,在另一种情况下,从存储器中检索先前获取和存储的图像。

[0132] 在S3处,波束形成超声信号以产生2-D图像,如本文和/或以其他方式描述。

[0133] 在S4处,将剩余的3-D图像坐标映射到2-D图像的平面上,并对其图像值进行插值,从而产生与虚拟发射器位置相对应的低分辨率体积图像(LRV)。

[0134] 对于不同的虚拟发射器位置重复执行S1至S4操作。迭代次数取决于参数,如所需的分辨率、所需的更新频率、RCA的大小等。

[0135] 当产生了所有LRV时,过程继续进行到S5,其中LRV被组合成单个高分辨率卷积图像(HRV),如本文所述或以其他方式所述。

[0136] 在S6处,显示和/或存储和/或以其他方式处理创建的HRV,如本文所述或以其他方式。此外,可以对图像信息(如检测到的物体、尺寸、方向、体积流量等)和/或衍生量进行估计和可视化。

[0137] 当需要产生额外的图像时,过程返回到S1;否则过程可能终止。

[0138] 上述内容可以通过计算机可读指令来实现,这些指令被编码或嵌入到存储器126(即计算机可读存储介质,不包括暂时性介质)上,当计算机处理器执行这些指令时,使处理器执行本文所述的操作。另外地或可替代地,计算机可读指令中的至少一个指令由信号、载波或其他暂时性介质(不是计算机可读存储介质)承载。

[0139] 总而言之,所提出的RCA波束形成器的各种实施例包括波束形成步骤和重建步骤。波束形成步骤使用本领域已知的RCA波束形成器对$(x';y_p;z)$图像平面进行波束形成,并且重建步骤将其余坐标映射到该平面上并对其图像值进行插值。需要注意的是,在一些实施例中,z轴可以至少以奈奎斯特频率采样,以便在重建中进行精确插值。可替代地,根据所使用的插值方法,也可以通过其他方式确保精确重建。

[0140] 因为重建步骤与通道数量无关,因此波束形成可以在仅$O(N_x,N_y,N_z)$的计算复杂度上执行,即,随着由体积图像成像的3D波束形成的体积内的图像点的数量增长,而现有技术的方法的复杂度是$O(N_x,N_y,N_z\ N)$,即,随着3D波束成形体积中的网格点的数量乘以换能器阵列中的通道的数量而增长。因此,本文公开的设备的实施例大大降低了计算复杂度,特别是对于大型换能器阵列。此外,在一些实施例中,如果需要,还可以进一步降低复杂性。例如,由于只需对于每个唯一的(y';z)坐标计算轨迹,因此可以将计算出的映射存储在存储器中,从而无需对于每个体积的实现重新计算映射位置。可替代地,根据所使用的计算硬件,还可以考虑其他优化,例如使用GPU进行计算。因此,在一些实施例中,可以使用映射的动态计算来代替映射的存储和重复使用,从而降低存储器要求。

[0141] 最后,本文所公开的过程的各种实施例还能实现高效、高压缩的图像存储,因为只需存储波束形成步骤和位置信息(特别是虚拟发射器位置)的输出,就能恢复体积。

[0142] 实例:

[0143] 通过使用为3-D成像设计的囊肿模型进行导线和囊肿模型测量,评估了本文公开的所提出的RCA波束形成程序的实施例的性能。

[0144] 使用连接到Verasonics Vantage 256研究扫描仪的Vermon 128+128RCA探针进行测量,并且模拟使用相同的换能器和序列参数。用于这些测量的参数包括:

[0145] -元件数量:128++128

[0146] -中心频率:6MHz

[0147] -发射脉冲周期:2

[0148] -声速:1540m/s

[0149] -元件间距:0.27mm

[0150] -每个图像的发射:192

[0151] -脉冲重复频率:500Hz

[0152] -发射/接收变迹:von Hann

[0153] -有效元件数量:32

[0154] -发射/接收F数量:-1/1

[0155] -采样频率:31.25MHz。

[0156] 成像序列使用96个散焦行发射和96个散焦列发射,以32个元件的滑动孔发射。发射和接收F数量设置为-1和1,并以31.25MHz的采样率采集RF数据。最后,在$y_p=y_v$处对(x';y_p;z)平面进行波束形成。使用样条插值法从该平面进行全3-D重建。

[0157] 图9A显示了使用现有技术波束形成方法进行的体积B模式图像的2-D切片,而图9B显示了使用本文公开的波束形成方法的实施例进行的体积B模式图像的2-D切片。图10A显示了使用现有技术波束形成方法进行的体积B模式图像的3-D渲染,而图10B显示了使用本文公开的波束形成方法的实施例进行的体积B模式图像的3-D渲染。如从图9A-图9B和图10A-图10B中可以看出,来自两个波束形成器的输出在视觉上难以区分。经波束成形的体积相关系数被计算为99.80%。

[0158] 通过将来自10个实现的平均LRV波束成形时间对增加的$L=N_x=N_y=N_z=N$值作图来评估两种波束成形方法的计算复杂度。这意味着,在分析中,波束形成体积的边长中的通道和样本的数量同时增加。还假定,$N_xN_yN_z$体积的轴向采样率对于所提出的方法是足够的。

[0159] 现有技术RCA波束形成是使用RCA波束形成器的CUDA C/C++实施方式进行,其呈现于M.B.Stuart、P.M.Jensen、J.T.R.Olsen、A.B.Kristensen、M.Schou、B.Dammann、H. H. B. Sørensen和J.A.Jensen,“Real-time volumetric synthetic aperture software beamforming of row-column probe data(行列探针数据的实时体积合成孔径软件波束形成)”,IEEE Trans.Ultrason.,Ferroelec.,Freq.Contr.,第68卷,第8期,第2608-2618页,2021年。在没有GPU加速的情况下,使用MATLAB的内置插值函数执行重建步骤。RCA波束形成器使用的插值方法是三次插值,而如前所述的全3-D重建使用样条插值来实现。最后,在具有NVIDIAQuadro RTX 5000显卡和2.90GHz Intel Xeon Gold 6226R CPU的计算机上对现有技术和所提出的方法进行评估。

[0160] 图11示出了计算时间随着接收孔中的样本和通道的数量变化的比较。结果假定波束形成步骤和重建步骤沿轴向边长包含的样本数量大致相同。这一假设要求最终波束形成体积中的N_z高于或等于波束形成步骤中使用的采样率。图1101显示了现有技术RCA波束形成器的计算时间,而图1102显示了本文所提出的方法的计算时间。随着L增大,现有技术RCA波束形成器的计算时间迅速偏离所提出的RCA波束形成器的计算时间。例如,当L=64时,现有方法的计算时间为12.31ms,而所提出的方法以2.82ms实现波束形成。当L=500时,现有方法的计算时间为32.15ms,而所提出的方法以0.75s进行波束形成。而且,在另一个更真实的测试中,根据用128+128RCA获取的数据,所提出的波束形成器能够在0.42s内对$N_xN_yN_z$=192x 192x 2000LRV进行波束形成,而现有技术波束形成器在3.36s内处理该体积。

[0161] 本文公开的至少一些实施例和/或方面可以概述如下:

[0162] 实施例1:一种超声成像设备,用于提供图像体积的体积超声图像,其中,该超声成像设备包括:

[0163] a)行列寻址换能器阵列,被配置为将激励电脉冲转换为超声压力场,以及将接收到的超声回波压力场转换为回波信号;

[0164] b)波束形成器模块,被配置为使用动态接收聚焦对回波信号进行波束形成,以在图像体积内的第一组图像点处产生相应的图像值;

[0165] c)重建模块,被配置为:

[0166] -确定一组轨迹,每个轨迹与所述第一组图像点中的图像点相交,

[0167] -将所述图像体积的第二组图像点映射到所述第一组图像点上,以及

[0168] -根据所述第一组图像点的图像点的图像值,计算所述第二组图像点的映射图像点处的相应的图像值;

[0169] 实施例2:根据实施例1所述的超声成像设备,其包括探针和可操作地耦接到所述探针的控制台,其中,所述探针包括所述行列寻址换能器阵列。

[0170] 实施例3:根据前述实施例中任一项所述的超声成像设备,其中,所述行列寻址换能器阵列包括第一组换能器元件和第二组换能器元件,所述第一组换能器元件限定沿第一轴线排列的第一换能器阵列,所述第二组换能器元件限定沿第二轴线排列的第二换能器阵列。

[0171] 实施例4:根据实施例3所述的超声成像设备,其被配置为通过所述第一换能器阵列发射超声波,并通过所述第一换能器阵列或第二换能器阵列接收反向散射的超声波。

[0172] 实施例5:根据前述实施例中任一项所述的超声成像设备,其中,每个确定的轨迹

由从所述虚拟发射器位置到所述第一换能器阵列和所述第二换能器阵列的接收换能器元件的孔上的最接近位置的飞行时间沿着所述轨迹恒定的位置限定。

[0173] 实施例6:根据前述实施例中任一项所述的超声成像设备,其中,所述重建模块被配置为将所述图像体积的每个图像坐标映射到所述第一组图像点上,并存储所述映射图像坐标的表示,其中,所述重建模块被配置为使用所存储的映射图像坐标的表示来计算多个体积图像。

[0174] 实施例7:根据前述实施例中任一项所述的超声成像设备,其中,所述波束形成器模块被配置为执行延迟与求和波束形成。

[0175] 实施例8:根据前述实施例中任一项所述的超声成像设备,其中,使用动态接收聚焦对所述回波信号进行波束形成包括,对于所述第一组图像点中的每个图像点,计算从虚拟发射器位置到所述图像点以及进一步从所述图像点到所述行列寻址换能器阵列的接收换能器元件的最短路径的飞行时间。

[0176] 实施例9:根据前述实施例中任一项所述的超声成像设备,其中,所述第一组图像点限定所述图像体积内二维图像的图像平面。

[0177] 实施例10:根据实施例9所述的超声成像设备,其中,所述图像平面是从由所述行列寻址换能器阵列限定的平面延伸出、特别是与其正交的平面。

[0178] 实施例11:根据实施例9至10中任一项所述的超声成像设备,其中,所述图像平面是与所述行列寻址换能器阵列的接收换能器元件的纵向方向正交的平面。

[0179] 实施例12:根据前述实施例中任一项所述的超声成像设备,其被配置为控制所述行列寻址换能器阵列,以进行与从相应虚拟发射器位置发射的超声相对应的多个超声发射;其中,所述波束形成器模块和所述重建模块被配置为计算多个低分辨率体积图像,每个低分辨率体积图像对应于相应的虚拟发射器位置,并且其中,所述图像设备进一步包括图像组合器模块,所述图像组合器模块被配置为将对应于不同虚拟发射器位置的所述多个低分辨率体积图像组合成组合的高分辨率体积图像,所述组合的高分辨率体积图像具有比所述低分辨率体积图像更高的空间分辨率。

[0180] 实施例13:根据实施例12所述的超声成像设备,其中,所述波束形成器模块被配置为响应于所述发射对从所述行列寻址换能器阵列接收到的回波信号进行波束形成,以产生对应的多个二维图像,每个二维图像对应于所述虚拟发射器位置之一;以及其中,所述重建模块被配置为至少通过以下方式计算所述多个低分辨率体积图像中的至少第一低分辨率体积图像,所述第一低分辨率图像对应于第一虚拟发射器位置:

[0181] -确定到所述第一虚拟发射器位置的第一组轨迹,

[0182] -使用所述第一组轨迹将所述图像体积的图像坐标映射到所述第一二维图像的图像位置上,以及

[0183] -根据所述第一二维图像平面的图像值对所述映射图像坐标处的图像值进行插值,所述映射图像坐标处的插值的图像值表示所述第一低分辨率体积图像。

[0184] 实施例14:一种方法,包括:

[0185] -从行列寻址换能器阵列接收回波信号,回波信号表示响应于发射超声压力场由行列寻址换能器阵列接收的超声回波压力场,

[0186] -使用动态接收聚焦对接收到的回波信号进行波束形成,以在所述图像体积内的

第一组图像点处产生相应的图像值，

[0187] -确定一组轨迹，每个轨迹与所述第一组图像点中的图像点相交，

[0188] -将所述图像体积的第二组图像点映射到所述第一组图像点上，以及

[0189] -根据所述第一组图像点的图像点的图像值，计算所述第二组图像点的映射图像点处的相应的图像值。

[0190] 实施例15：一种计算机程序，其包含指令，当所述指令被数据处理系统执行时，使所述数据处理系统执行根据实施例14所述的方法的步骤。

[0191] 实施例16：一种数据处理系统，其被配置为执行根据实施例14所述的方法的步骤。

[0192] 已经参考各种实施例描述了本申请。其他人在阅读本申请时将进行修改和变更。本发明旨在被解释为包括所有这样的修改和变更，只要它们落入所附权利要求书及其等同物的范围内。

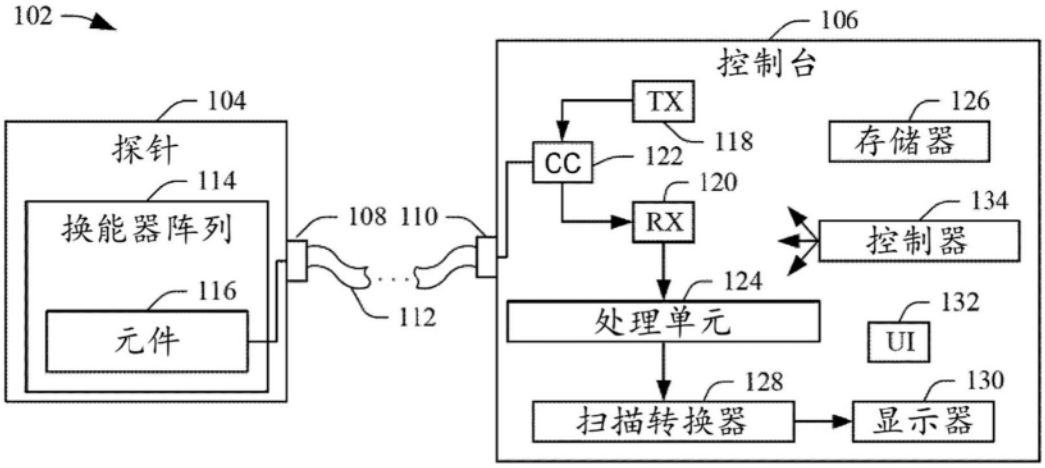

102
106
控制台
104
探针
TX
118
126
存储器
CC
122
120
114
换能器阵列
RX
134
控制器
108 110
116
元件
112
124
处理单元
132
UI
128
130
扫描转换器
显示器

图1

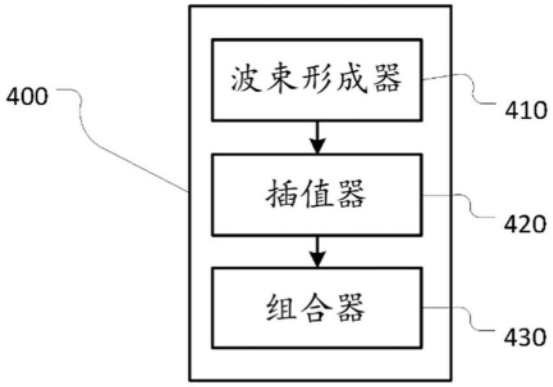

400
波束形成器
410
插值器
420
组合器
430

图4

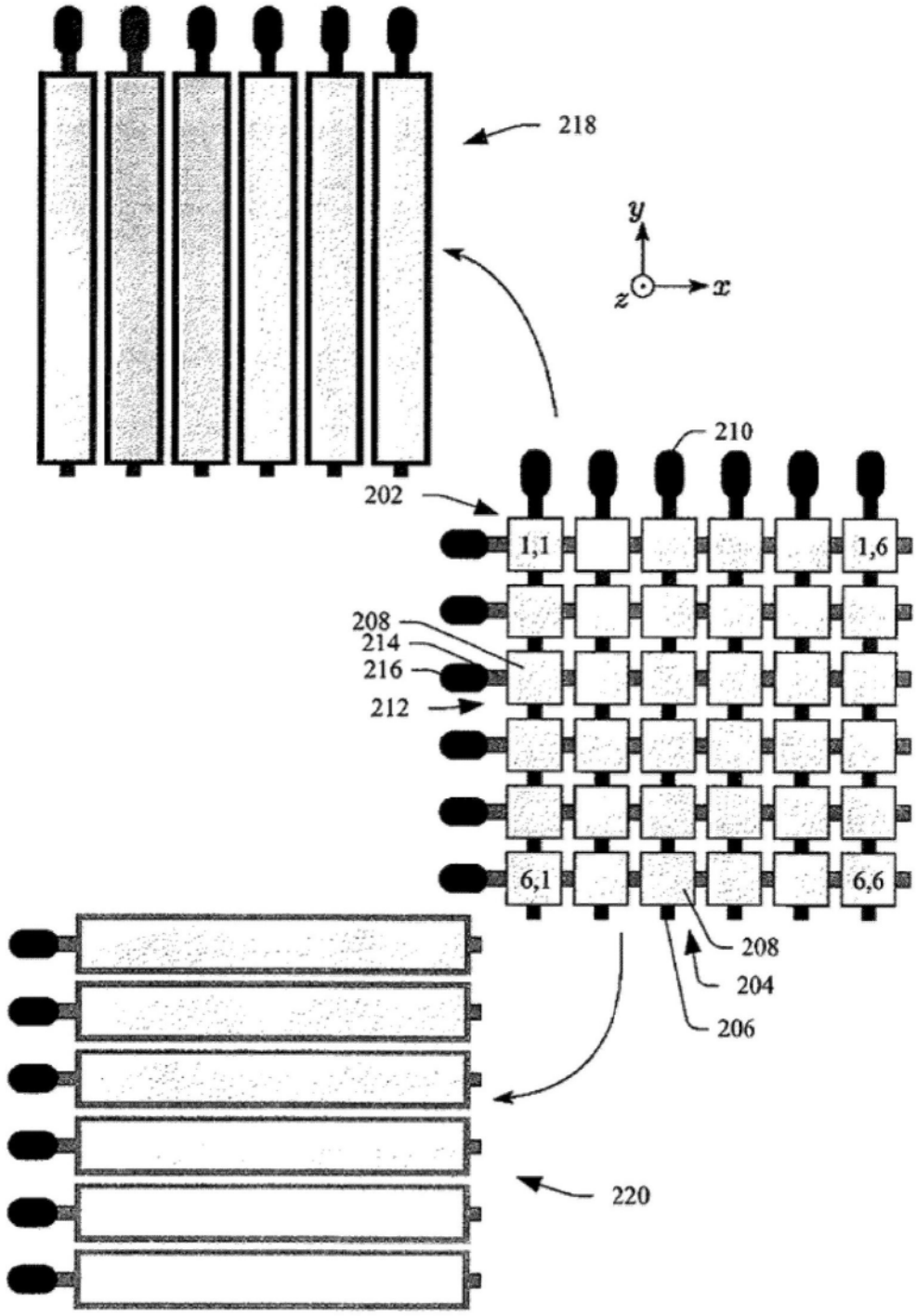


图2

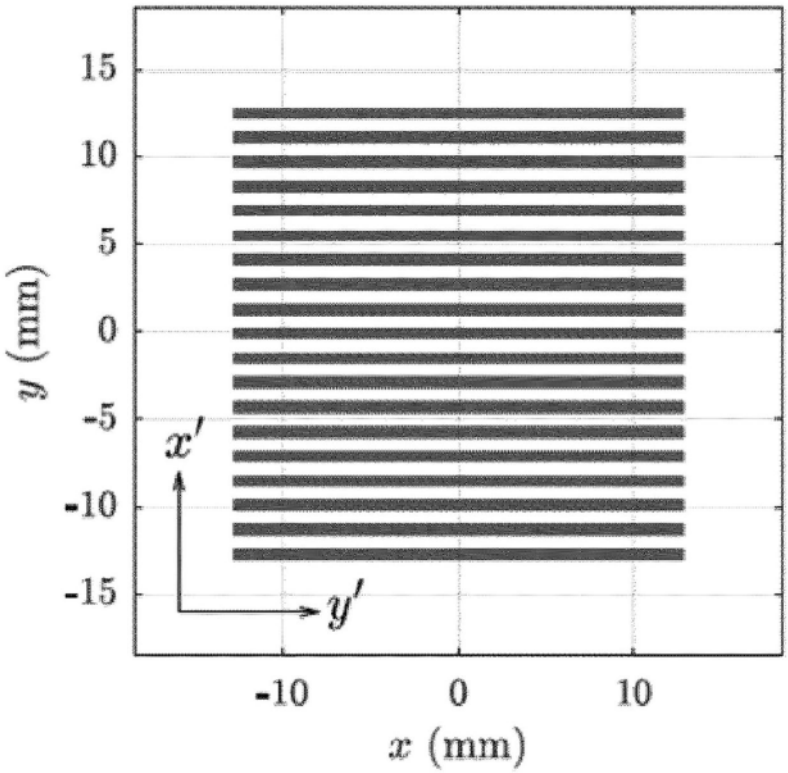


图3A

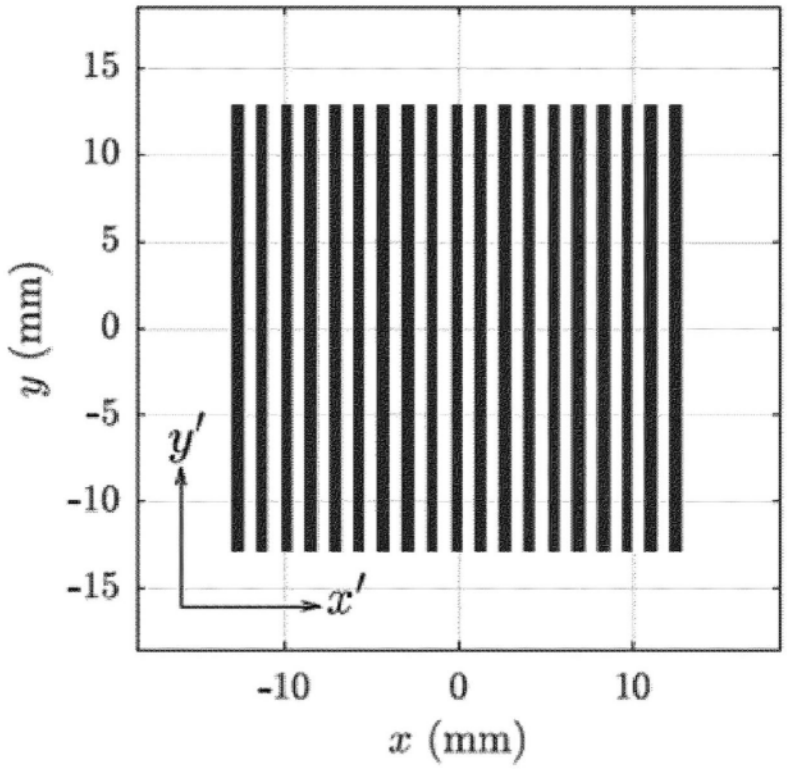


图3B

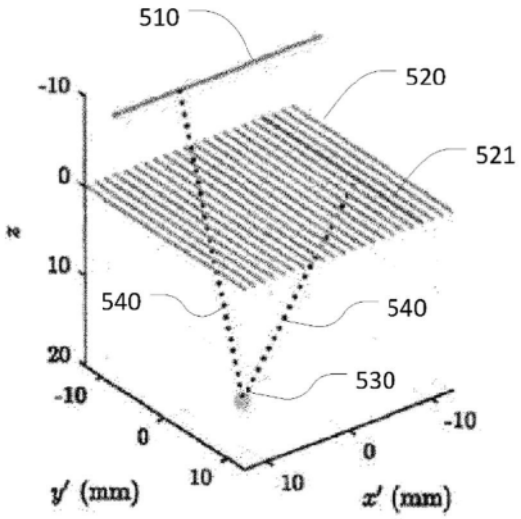

510
520
521
540
540
530
-10
0
10
20
z
-10
0
10
y′ (mm)
-10
0
10
x′ (mm)

图5A

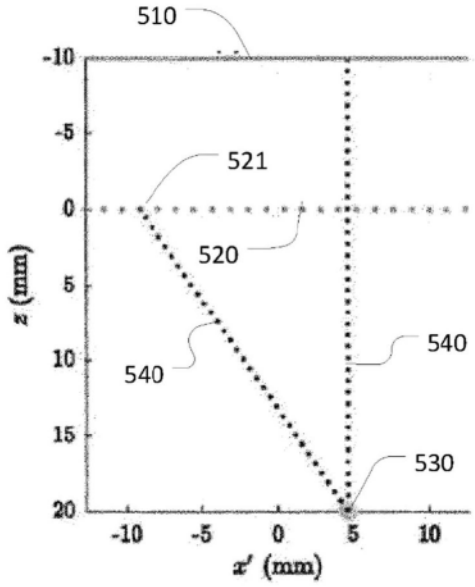

510
521
520
540
540
530
-10
-5
0
5
10
15
20
z (mm)
-10
-5
0
5
10
x′ (mm)

图5B

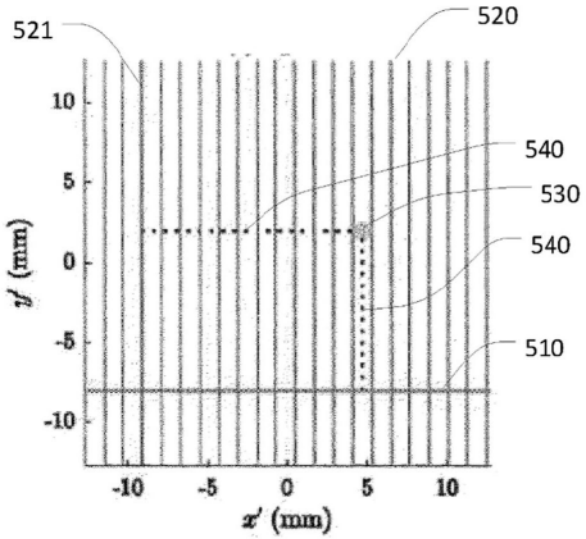


图5C

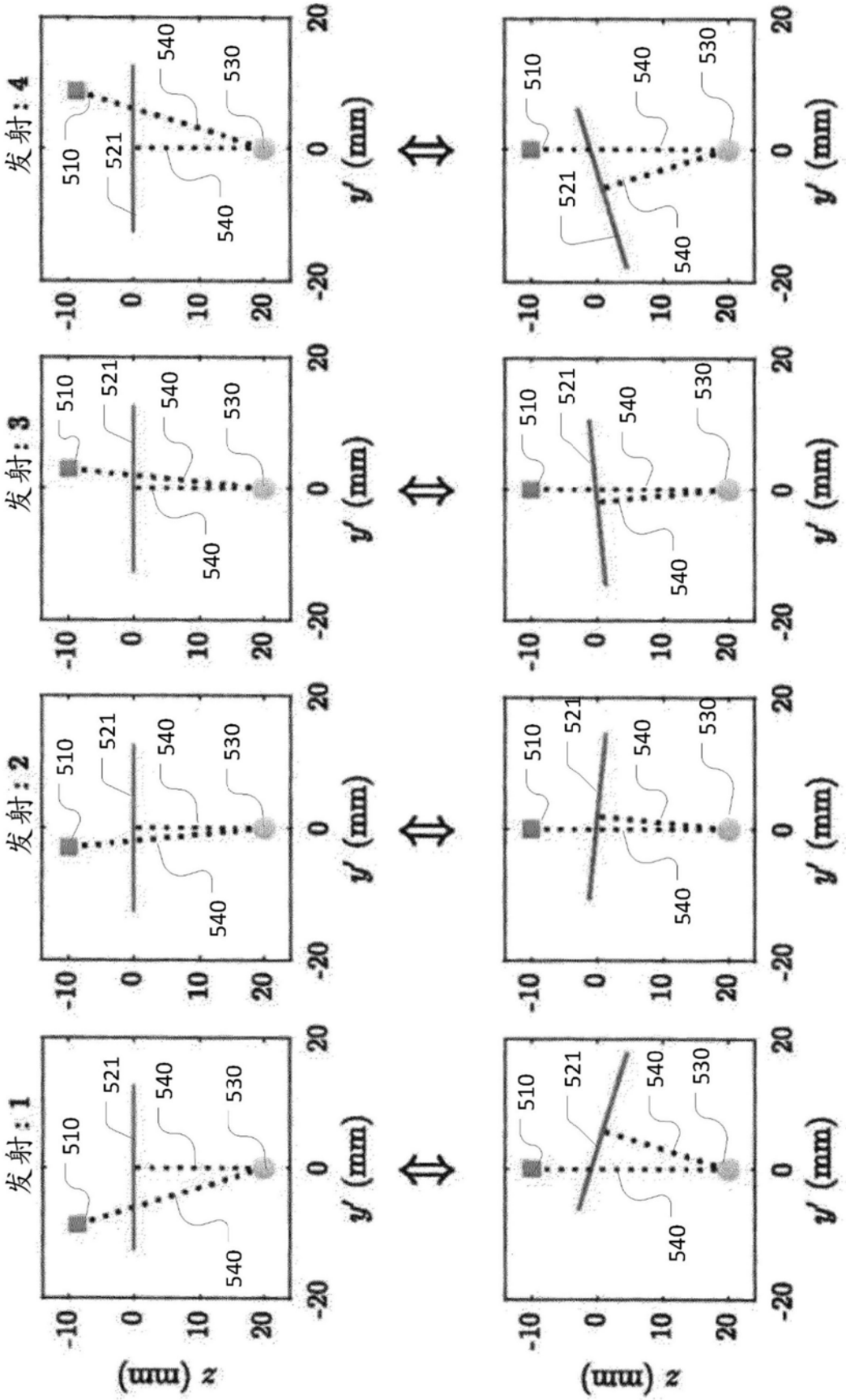


图6

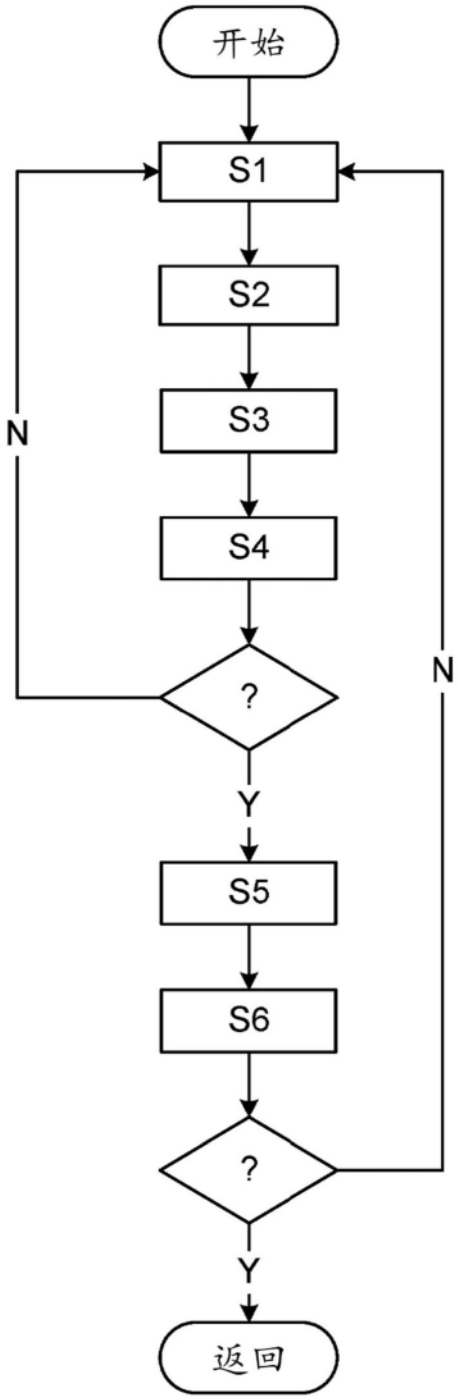


图7

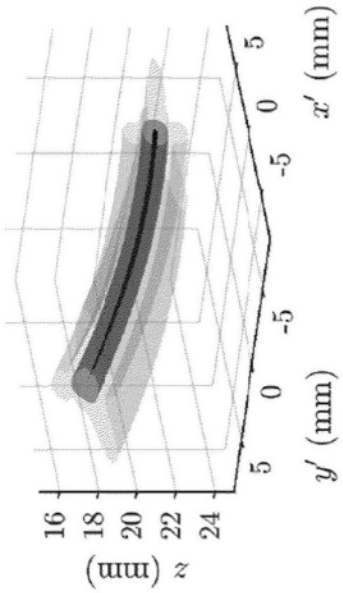

z (mm)
16
18
20
22
24
y' (mm)
5
0
-5
-5
0
5
x' (mm)

图8A

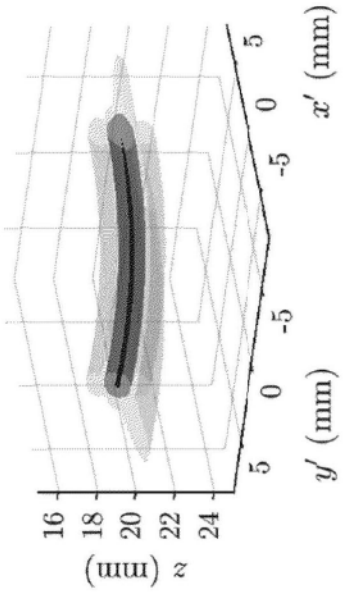

z (mm)
16
18
20
22
24
y' (mm)
5
0
-5
-5
0
5
x' (mm)

图8B

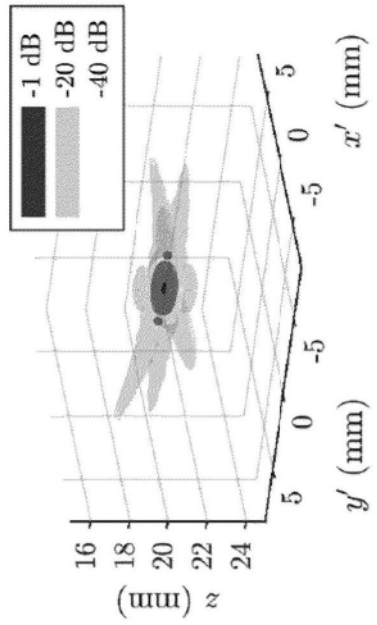


图8C

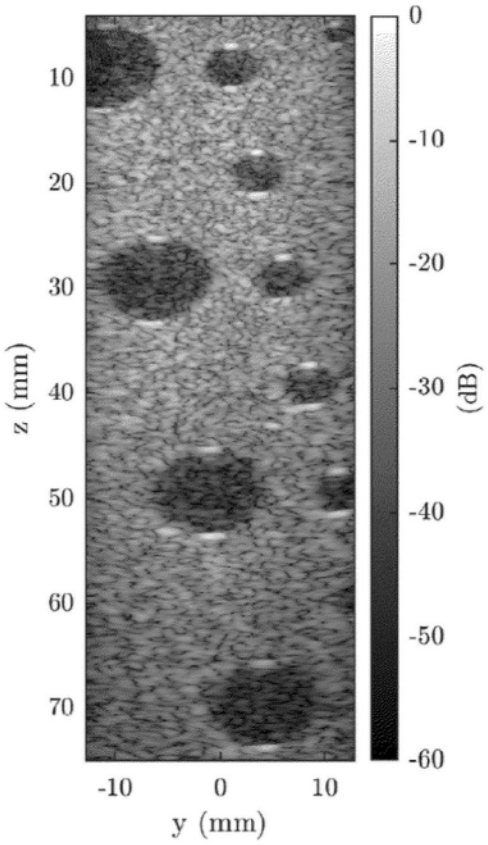


图9A

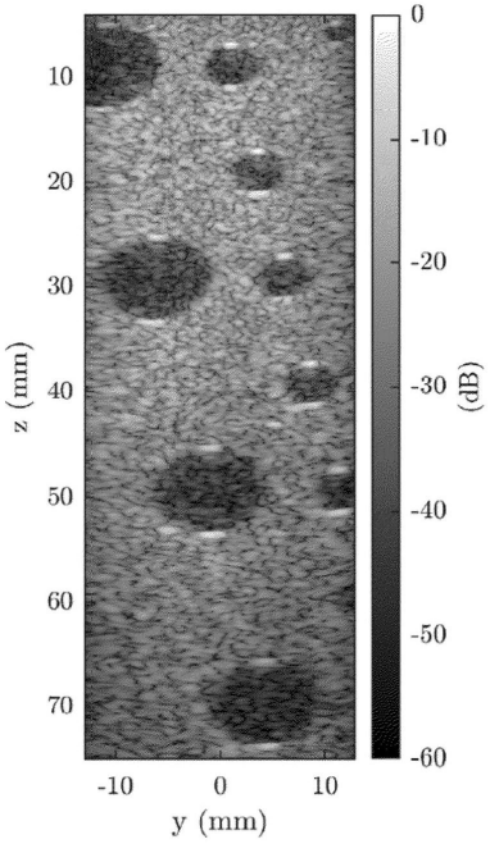


图9B

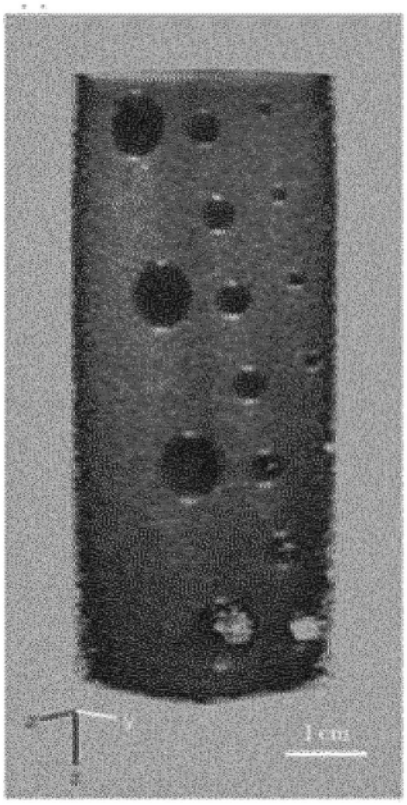


图10A

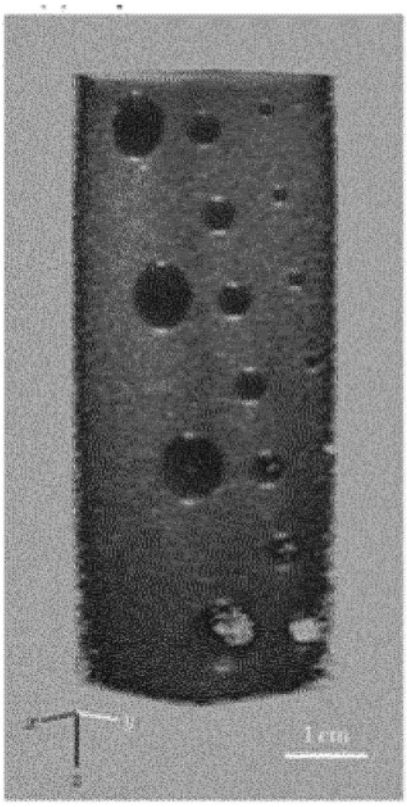


图10B

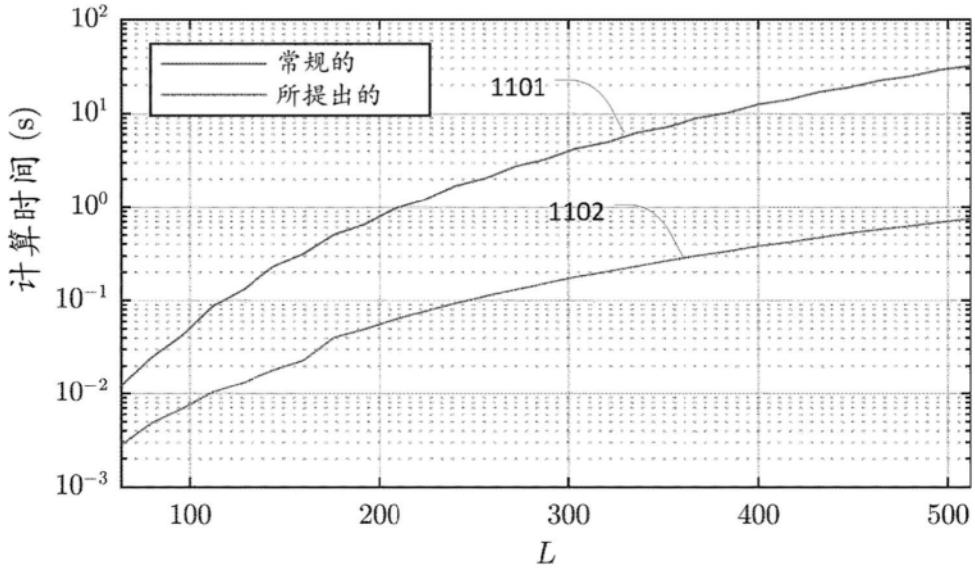

常规的
所提出的
1101
1102
计算时间 (s)
10^2
10^1
10^0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
100
200
300
400
500
L

图11