



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102188261 B

(45) 授权公告日 2014. 04. 02

(21) 申请号 201110129827. 9

(22) 申请日 2011. 05. 18

(73) 专利权人 中国科学技术大学

地址 230026 安徽省合肥市金寨路 96 号

(72) 发明人 彭虎 韩志会

(51) Int. Cl.

A61B 8/00 (2006. 01)

审查员 陈昭阳

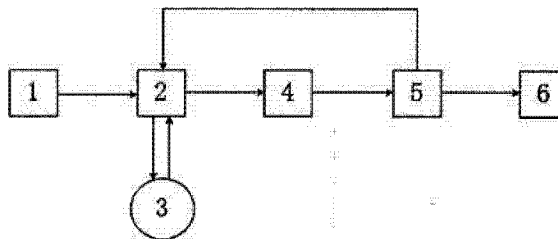
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

基于非衍射阵列波的合成孔径三维超声成像方法

(57) 摘要

本发明公开一种基于非衍射阵列波或平面波声场的合成孔径 3D 超声成像方法。该方法采用 1D 传感器阵列发射非衍射阵列波或平面波声场, 通过移动 1D 传感器阵列扫描整个成像区域, 采用合成孔径技术对整个目标区域回波信号综合处理进行成像。传感器的移动方式可以采用机械扫描方式, 也可以采用依次激励 2D 阵列中的不同行或列的方式。为重建 3D 图像, 首先对回波信号进行傅立叶变换, 对变换后的频谱信号做变量转换处理即得到图像的频谱, 再通过傅立叶变换处理完成成像目标的 3D 成像。该成像方式在目前所有 3D 超声成像方法中具有成像速度快, 成像质量高的特点, 具有很好的应用前景。



1. 基于非衍射阵列波的合成孔径 3D 超声成像方法,通过超声发射电路 (1) 驱动 1D 超声传感器阵列 (2) 发射具有非衍射阵列波特性的声场,成像目标 (3) 的回波信号通过 1D 超声传感器阵列 (2) 转换为接收信号,经信号放大器和模数 (A/D) 转换器 (4) 放大并转换为数字信号;其特征在于多阵元发射和全部阵元接收,发射声场在传感器移动方向 y 的垂直平面 (x, z) 上具有非衍射阵列波的特性;合成孔径数据处理单元 (5) 对回波信号进行合成孔径处理,采用的方法是通过 1D 超声传感器阵列 (2) 在所有移动位置的接收信号构成了一个时间、位置的函数,对其进行 3D 傅立叶变换处理,然后进行变量转换得到成像频谱,再通过傅立叶变换处理得到 3D 图像,最后将成像数据送给显示单元 (6) 进行 3D 显示。

2. 如权利要求 1 基于非衍射阵列波的合成孔径 3D 超声成像方法,其特征在于 1D 超声传感器阵列 (2) 的阵元发射的声场是三维发散的,其多阵元发射的综合声场在与传感器运动方向垂直的平面具有非衍射阵列波声场特性,而在传感器移动方向是发散的声场;所述传感器位置移动包括机械方式移动,也包括依次激励 2D 阵列中的不同行或列的方式。

基于非衍射阵列波的合成孔径三维超声成像方法

技术领域：

[0001] 本发明属于医学超声成像领域,利用 1D(One Dimension,1D) 传感器发射非衍射阵列波声场,采用合成孔径技术对整个目标区域回波信号进行综合处理,利用 Fourier 变换实现三维(Three Dimension,3D) 成像。

背景技术：

[0002] 同二维(Two Dimension,2D) 超声成像相比,3D 超声成像具有图像显示直观、可以进行生物器官位置的精确测量,缩短医生诊断所需要的时间,提高诊断的准确性等优点,具有更高的临床应用价值。

[0003] 3D 超声成像方法从使用的传感器上来看主要分为两种:使用 2D 阵列传感器成像和使用 1D 传感器成像。由于 2D 传感器工艺十分复杂,尚未推广使用,目前主要使用 1D 传感器成像。

[0004] 使用 1D 传感器实现实现 3D 成像是基于现有的 B-mode 切片成像方式。1D 传感器发射聚焦声场,回波信号通过延时叠加(Delay and Sum) 处理后完成一帧切面成像,其成像位置就是声场传播方向和 1D 传感器位置所决定的平面。显然 1D 传感器每移动一定距离,就可以得到不同位置的切面成像,把这种沿传感器运动方向的所有垂直于运动方向的 2D 切面图像综合起来,通过图像处理的方法就完成了 3D 成像。这种成像方式比较简单,但由于受波束聚焦的影响,特别是发射声场能量很难集中一个很薄的一个切面内,分辨率尤其是移动方向分辨率较差,同时由于要发射和接收多次才能完成一帧切面成像,实现一帧体成像需要非常大次数的发射和接收过程,花费较长时间,这就降低了帧率。

[0005] 使用 2D 传感器可以直接实现 3D 成像,成像具有较高的空间分辨率。但由于 2D 传感器结构非常复杂,现有的工艺和技术水平很难完成 2D 传感器设计和生产。在目前 2D 超声传感器阵列工艺问题未被根本解决以前,3D 超声成像基本上是利用上述的 1D 传感器及相关算法进行成像。另外即使在 3D 成像中采用 2D 传感器,但如果采用现有的延时叠加成像方法,仍然需要相当多次的发射和接收过程完成一帧体成像,成像帧率低的问题依然存在。

[0006] 鉴于上述技术存在的不足,特提出本发明。

发明内容：

[0007] 本发明提出一种新的成像方法,该方法采用 1D 传感器阵列发射非聚焦声场,移动 1D 传感器获得不同位置处的回波信号,在 1D 传感器阵列运动方向使用合成孔径技术对整个目标区域回波信号综合处理,通过 Fourier 变换进行成像,获得较好的帧率和分辨率。

[0008] 本发明的实现方式:特征在于使用 1D 传感器阵列发射非衍射阵列波或平面波声场,并移动 1D 传感器重复发射接收过程,获得不同位置的回波信号,1D 传感器阵列把回波信号转换为超声接收信号,最后采用合成孔径技术对不同位置处的接收信号综合处理,通过 Fourier 变换进行成像。传感器阵列的移动方式可以采用机械移动 1D 传感器阵列方式,也可以采用依次激励 2D 传感器阵列中的不同行或列的方式。接收信号的处理采用多维

Fourier 变换, 然后进行频谱转换, 再通过 Fourier 反变换得到 3D 图像。

[0009] 本发明在 3D 医学超声成像中具有重要意义, 它实现了一种新的 3D 成像方式, 具有如下特点:

[0010] 1. 较高的成像帧率。不同于聚焦型成像需要多次发射事件才能成像, 它是通过发射非衍射阵列波和 Fourier 变换成像, 发射次数少, 从而提高了系统成像帧率;

[0011] 2. 较高的成像分辨率。不同于现有的 3D 成像采用多切片图像合成处理的工作方式, 它是对整个目标区域的回波信号采用合成孔径成像方式进行成像, 从而提高了图像沿传感器运动方向的分辨率, 这是现有 3D 成像很难解决的一个问题;

[0012] 3. 它可以采用能量发散的声场而不是在能量集中在一个切面的声场成像, 这和目前绝大部分 3D 成像对声场的要求正好相反, 这种方法不仅提高了 3D 成像的分辨率, 同时还降低了对传感器的工艺要求;

[0013] 4. 成像方法兼容 1D 传感器阵列和 2D 传感器阵列。本发明所提成像方法降低了对传感器工艺的要求, 不仅适用现有的机械扫描式超声成像, 也完全适应未来的 2D 超声传感器阵列。这里要补充说明的是现有的机械扫描式超声成像方法并不适合 2D 传感器阵列的 3D 成像, 因为机械扫描式 3D 超声成像采用 1D 传感器阵列, 基本成像区域是一个切面, 其阵元发射的声波能量集中在一个目标成像切面区域; 而基于 2D 传感器的 3D 成像是立体区域, 其阵元发射的声波能量应该在目标成像立体区域, 即阵元发射的声波能量是三维发散的, 如球面波声场。

[0014] 本申请专利结合我们提出的已经授权的发明专利“基于单一功率信号源及其开关网络的高帧率超声成像方法”(ZL200710020959.1), 构成一种新型的 3D 成像核心技术。

附图说明:

[0015] 图 1 为总体结构框图: 其中, 1 为非衍射阵列波或平面波超声发射电路, 2 为 1D 超声传感器阵列, 3 为成像目标, 4 为信号放大器和模数 (A/D) 转换器, 5 是合成孔径成像处理单元、6 为 3D 图像显示单元。

[0016] 图 2 是成像过程中 1D 超声传感器阵列 [2] 与成像目标 [3] 的空间位置关系示意图。

具体实施方式:

[0017] 下面结合附图说明本发明具体实施方式: 超声发射电路 [1] 驱动 1D 超声传感器阵列 [2] 发射非衍射阵列波或平面超声波声场, 发射完毕后, 1D 超声传感器阵列 [2] 转换为接收信号状态, 发射的超声波在传播中经成像目标 [3] 反射后形成回波信号, 再由 1D 超声传感器阵列 [2] 转换为接收信号, 该接收信号通过信号放大器和模数 (A/D) 转换器 [4] 转换为数字信号并保存, 然后 1D 超声传感器阵列 [2] 在合成孔径数据处理单元 [5] 控制下移动到下一位置, 重复以上对成像目标 [3] 的发射声场和接收回波信号的扫描过程 (如图 2 所示)。如果是 2D 传感器, 可以采用依次激励 2D 阵列中的不同行或列的方式, 实现 1D 传感器阵列的移动。待 1D 超声传感器 [2] 将成像目标 [3] 扫描结束后, 所有接收信号再通过合成孔径数据处理单元 [5] 进行 Fourier 变换和变量转换的成像处理, 得到目标的 3D 图像数据, 最后将 3D 图像数据送给显示单元 [6] 进行显示。

[0018] 下面给出基于非衍射阵列波加权的合成孔径 3D 超声成像理论和方法。

[0019] 1、阵列波 Array Beam

[0020] 阵列波是由下式表示：

$$[0021] \quad \phi_{array}(x, y, z, k) = A(k) e^{jk_x x + jk_y y + jk_z z} \quad (1)$$

[0022] 其中 x, y, z 是空间位置坐标, k 是波数, 它与频率 ω 的关系是

$$[0023] \quad k = \omega / c \quad (2)$$

[0024] 其中 c 是声速, 波数 k 和参数 k_x, k_y, k_z 之间的关系如下

$$[0025] \quad k^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 \quad (3)$$

[0026] $A(k)$ 可以认为是发射脉冲信号的频谱或传感器频率响应。

[0027] 从公式 (1) 可以看出, 平面波也是一种阵列波, 它们都具有非衍射性质。

[0028] 2、3D 成像数学物理模型

[0029] 设发射信号为 $p(t)$, 其频谱为 $A(k)$, 成像目标 [3] 的反射系数为 $f(x, y, z)$, 不失一般性, 设 1D 超声传感器阵列 [2] 位于 $z = 0$ 的坐标轴上, 平行 x 轴, 沿 y 方向运动, 对于 1D 超声传感器阵列 [2] 上的一个发射阵元位于 $(x_s, y_s, 0)$, 另一个位于 $(x_r, y_r, 0)$ 处的一个接收阵元接收的由散射点 (x, y, z) 反射的信号为

$$[0030] \quad r_{one}(x_s, y_s, x_r, y_r, x, y, z, t)$$

$$[0031] \quad = f(x, y, z) \cdot p\left(t - \frac{\sqrt{(x_s - x)^2 + (y_s - y)^2 + z^2}}{c} - \frac{\sqrt{(x_r - x)^2 + (y_r - y)^2 + z^2}}{c}\right) \quad (4)$$

[0033] 成像物体可视为由许多散射点组成, 当成像系统为线性系统, 接收阵元接收到的回波信号应该是这些散射点的线性叠加, 即

$$[0034] \quad r(x_s, y_s, x_r, y_r, t) = \int \int \int r_{one}(x_s, y_s, x_r, y_r, x, y, z, t) dx dy dz \quad (5)$$

[0035] 对 (5) 式做关于时间变量的傅里叶变换, 并考虑到发射阵元 $(x_s, y_s, 0)$ 和接收阵元 $(x_r, y_r, 0)$ 均在一条直线上 $y_s = y_r$, 略去变换后的常数系数得

$$[0036] \quad R(x_s, x_r, y_r, k)$$

$$[0037] \quad = \iiint f(x, y, z) A(k) \quad (6)$$

$$[0038] \quad \times e^{-jk \sqrt{(x_s - x)^2 + (y_r - y)^2 + z^2}} e^{-jk \sqrt{(x_r - x)^2 + (y_r - y)^2 + z^2}} dx dy dz$$

[0039] 对于式 (1), 取 $k_y = 0$, 则超声发射电路 [1] 施加在 1D 超声传感器阵列 [2] 上的信号分布为：

$$[0040] \quad \phi_{array}(x_s, k) = A(k) e^{-jk_x x_s} \quad (7)$$

[0041] 这里要说明两点, 一是由于超声传感器阵列 [2] 是 1D 的, 所以其发射的超声声场仅在 $y = y_r$ 的平面 (x, z) 上具有非衍射波或平面波声场特性, 而在 y 方向上是可以发散的。另外一点是超声发射电路 [1] 激励 1D 超声传感器阵列 [2] 发射非衍射阵列波可以有多种实现方式, 其中一种实现方式是我们提出的已经授权的发明专利“基于单一功率信号源及其开关网络的高帧率超声成像方法”, 发明专利号是 ZL200710020959.1。

[0042] 由于 $(x_r, y_r, 0)$ 处接收阵元接收信号为所有发射阵元所发射信号作用的总和, 其数学表达式应为:

$$[0043] \quad R'(x_r, y_r, k) = \int R(x_s, x_r, y_r, k) \cdot e^{-jk_{ix}x_s} dx_s \quad (8)$$

[0044] 与公式 (8) 对应的时域上的接收信号 $r'(x_r, y_r, t)$ 是时间、位置函数, 它通过信号放大器和模数 (A/D) 转换器 [4] 放大并转换成为数字信号。

[0045] 把 (6) 式带入 (8) 式得:

$$[0046] \quad R'(x_r, y_r, k) \\ [0047] \quad = \int dx_s e^{-jk_{ix}x_s} \iiint f(x, y, z) \cdot A(k) \quad (9)$$

$$[0048] \quad \times e^{-jk\sqrt{(x_s-x)^2+(y_r-y)^2+z^2}} e^{-jk\sqrt{(x_r-x)^2+(y_r-y)^2+z^2}} dxdydz$$

[0049] 对 (9) 进行数学处理化简后为

$$[0050] \quad R'(x_r, y_r, k) \\ [0051] \quad = \iiint f(x, y, z) A(k) \quad (10)$$

$$[0052] \quad \times e^{-j\sqrt{k^2-k_{ix}^2}\sqrt{(y_r-y)^2+z^2}-jk_{ix}x} e^{-jk\sqrt{(x_r-x)^2+(y_r-y)^2+z^2}} dxdydz$$

[0053] 当 1D 超声传感器阵列 [2] 沿 y 方向移动时, 传感器的接收信号 $R'(x_r, y_r, k)$ 是变量 x_r, y_r 的函数, 对 $R'(x_r, y_r, k)$ 分别在 x 方向和 y 方向进行傅里叶变换:

$$[0054] \quad Y(k_x, k_y, k) = \left[\int R'(x_r, y_r, k) \cdot e^{-jk_x x_r} dx_r \right] \times e^{-jk_y y_r} dy_r \quad (11)$$

[0055] 把式 (10) 代入式 (11), 并进行数学处理化简后得:

$$[0056] \quad Y(k_x, k_y, k) = \iiint f(x, y, z) A(k) e^{-jk_x x} e^{-jk_y y} e^{-jk_z z} dxdydz \quad (12)$$

[0057] 式 (12) 右边实际是 $f(x, y, z)$ 的 Fourier 变换, 即

$$[0058] \quad Y(k_x, k_y, k) = A(k) \cdot F(k'_x, k'_y, k'_z) \quad (13)$$

[0059] 其中

$$[0060] \quad \begin{cases} k'_x = k_x + k_{ix} \\ k'_y = k_y \\ k'_z = \sqrt{M^2 - k_y^2} \\ M = \sqrt{k^2 - k_{ix}^2} + \sqrt{k^2 - k_x^2} \end{cases} \quad (14)$$

[0061] 构造一个三维函数 $F'(k'_x, k'_y, k'_z)$, 令

$$[0062] \quad F'(k'_x, k'_y, k'_z) = Y(k_x, k_y, k) \quad (15)$$

[0063] 式 (15) 表明对接收信号进行 Fourier 变换并对频谱进行简单的处理后就可以得到图像的频谱 $F'(k'_x, k'_y, k'_z)$, 从而实现 3D 成像。

[0064] 3、成像工作过程

[0065] 当采用 1D 传感器时, 首先超声发射电路 [1] 施加如式 (7) 表示的非衍射波激励信号 (或平面波), 驱动 1D 超声传感器阵列 [2] 发射 (1) 式所表示的非衍射波。发射完毕后传感器转换为接收状态, 接收成像目标 [3] 的回波信号, 然后沿 y 方向平移 1D 超声传感器

阵列 [2] 一定的距离, 再进行发射 / 接收过程, 直到 1D 超声传感器阵列 [2] 完成扫描像目标区域得到一个关于时间、位置函数的接收信号 $r'(x_r, y_r, t)$ 。接收信号 $r'(x_r, y_r, t)$ 通过信号放大器和模数 (A/D) 转换器 [4] 放大并转换成为数字信号。合成孔径数据处理单元 [5] 对接收信号进行关于时间的 Fourier 变换得 $R'(x_r, y_r, k)$, 再对 $R'(x_r, y_r, k)$ 分别在 x 方向和 y 方向进行傅里叶变换得 $Y(k_x, k_y, k)$, 并利用式 (15) 进行变量转换得 3D 图像频谱 $F'(k'_x, k'_y, k'_z)$, 最后通过 Fourier 反变换即可得到成像数据。

[0066] 当采用 2D 传感器时, 设沿 x 方向称为行、沿 y 方向称为列, 首先第一行传感器施加如式 (7) 的非衍射波激励信号, 发射完毕后该行传感器转换为接收状态, 接收回波信号, 然后第二行传感器进行发射 / 接收过程, 重复此过程, 直到最后一行传感器。然后采用和 1D 传感器一样的重建图像算法完成成像。

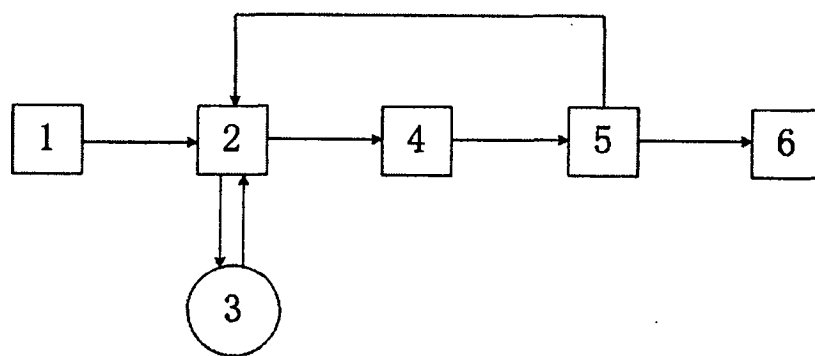


图 1

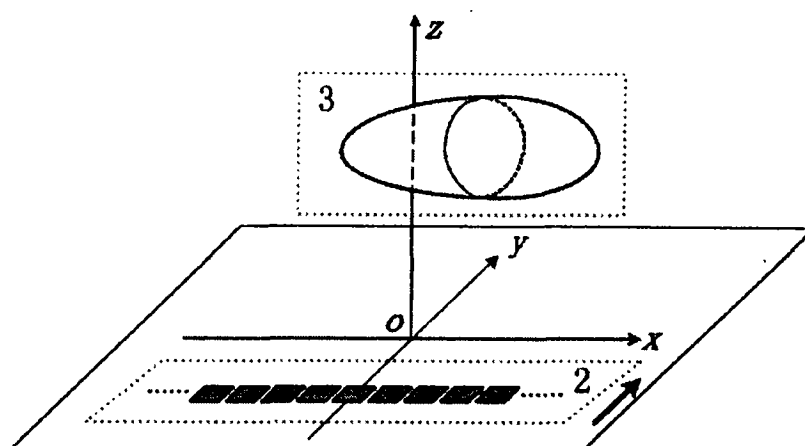


图 2

专利名称(译)	基于非衍射阵列波的合成孔径三维超声成像方法		
公开(公告)号	CN102188261B	公开(公告)日	2014-04-02
申请号	CN201110129827.9	申请日	2011-05-18
[标]申请(专利权)人(译)	中国科学技术大学		
申请(专利权)人(译)	中国科学技术大学		
当前申请(专利权)人(译)	中国科学技术大学		
[标]发明人	彭虎 韩志会		
发明人	彭虎 韩志会		
IPC分类号	A61B8/00		
审查员(译)	陈昭阳		
其他公开文献	CN102188261A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开一种基于非衍射阵列波或平面波声场的合成孔径3D超声成像方法。该方法采用1D传感器阵列发射非衍射阵列波或平面波声场，通过移动1D传感器阵列扫描整个成像区域，采用合成孔径技术对整个目标区域回波信号综合处理进行成像。传感器的移动方式可以采用机械扫描方式，也可以采用依次激励2D阵列中的不同行或列的方式。为重建3D图像，首先对回波信号进行傅立叶变换，对变换后的频谱信号做变量转换处理即得到图像的频谱，再通过傅立叶变换处理完成成像目标的3D成像。该成像方式在目前所有3D超声成像方法中具有成像速度快，成像质量高的特点，具有很好的应用前景。

