



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109766646 A

(43)申请公布日 2019.05.17

(21)申请号 201910040302.4

(22)申请日 2019.01.16

(71)申请人 北京大学

地址 100871 北京市海淀区颐和园路5号

(72)发明人 戴志飞 张苗苗 王梦玄 刘益嘉
梁晓龙

(74)专利代理机构 北京万象新悦知识产权代理
有限公司 11360

代理人 苏爱华

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

A61B 8/08(2006.01)

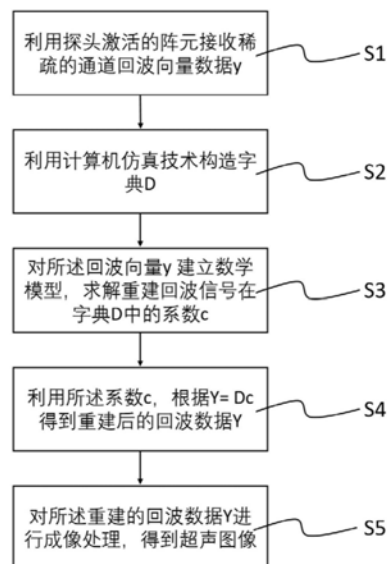
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种基于稀疏通道回波数据重建的超声成像方法及装置

(57)摘要

本发明公开了一种基于稀疏通道回波数据重建的超声成像方法及装置,所述方法包括以下步骤:S1,利用超声探头激发的阵元接收稀疏的通道回波向量数据y;S2,利用计算机仿真技术构造字典D;S3,对所述回波向量y建立数学模型,求解重建回波信号在字典D中的系数c;S4,利用所述系数c,根据 $Y=Dc$ 得到重建后的回波数据Y;S5,对所述重建后的回波数据Y进行成像,得到超声图像。本发明与传统的基于压缩感知的稀疏采样方法相比,可以降低系统的通道数,而不影响图像的质量。



1. 一种基于稀疏通道回波数据重建的超声成像方法及装置,其特征在于,包括以下步骤:

S1: 利用超声探头激发的阵元接收稀疏的通道回波向量数据 y ;

S2: 利用计算机仿真技术构造字典 D ;

S3: 对所述回波向量 y 建立数学模型,求解重建回波信号在字典 D 中的系数 c ;

S4: 利用所述系数 c ,根据 $Y=Dc$ 得到重建后的回波数据 Y ;

S5: 对所述重建后的回波数据 Y 进行成像处理,得到超声图像。

所述S2中构造字典 D 具体包括:

A1: 对超声波入射区域进行二维离散化,构建一个离散的点阵;

A2: 利用计算机仿真技术,设置与实际成像中相同的超声探头参数和入射波参数,对所述点阵中的每一个点仿真得到接收的回波数据;

A3: 将所述每个点的回波数据向量化,所有的向量一起构造为字典 D 。

2. 根据权利要求1所述的基于稀疏通道回波数据重建的超声成像方法,其特征在于,在所述步骤S2中所构造的字典 D 还包括给定一个阈值 ξ ($0 < \xi \leq 1$),将每列能量进行归一化,取能量大于阈值 ξ 的字典列。

3. 根据权利要求1所述的基于稀疏通道回波数据重建的超声成像方法,其特征在于,在所述步骤S3中对回波向量 y 建立的数学模型为求解方程 $y = \Phi Dc$ 中的 c ,其中 Φ 为测量矩阵。

4. 根据权利要求3所述的步骤S3中对回波向量 y 回波向量数学方程 $y = \Phi Dc$ 的解法,包括最小二乘解法和凸优化的方法。

5. 根据权利要求1所述的基于稀疏通道回波数据重建的超声成像方法,其特征在于,在所述步骤S2中还可以构造双字典 $D1$ 和 $D2$,其中 $D1$ 的构造步骤与权利要求1中所述A1、A2、A3相同; $D2$ 需要设置相同超声探头宽度,二倍或 N 倍 ($N=2,3,4\cdots$) 于实际超声探头阵元个数,重复步骤A2和A3。

6. 根据权利要求5所述的构造双字典的方法,其特征在于,在所述步骤S3中对所述回波向量 y 建立数学模型,求解重建回波信号在字典 $D1$ 中的系数 c ,并在步骤S4中根据 $Y=D2c$ 得到重建后的回波数据。

7. 一种基于稀疏通道回波数据重建的超声成像装置,其特征在于,所述装置包括:

超声探头模块,用于发射和接收超声波信号;

数据传输和存储模块,用于传输和存储所述回波信号;

信号处理模块,用于构造字典及重建超声回波信号;

成像模块,用于对所述虚拟回波数据进行成像;

图像显示模块,用于对所得图像进行显示。

所述信号处理模块采用所述权利要求1中的回波数据重建方法。

8. 根据权利要求7所述的基于稀疏通道回波数据重建的超声成像装置,其特征在于,所述系统还包括图像处理模块,所述图像处理模块包括对成像模块得到的图像进行处理,提高图像对比度等。

9. 根据权利要求7所述的基于稀疏通道回波数据重建的超声成像装置,其特征在于,所述系统还包括信号预处理模块,所述预处理模块用于去除回波信号中的噪声。

一种基于稀疏通道回波数据重建的超声成像方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及属于医学超声成像领域,特别涉及一种利用计算机辅助仿真字典对稀疏通道回波数据进行重建的超声成像方法及装置。

背景技术

[0002] 传统的成像方式,比如超声成像,都依赖于香农采样定理,即采样频率至少是信号最高频率的两倍。为了避免频率混叠,传统的超声成像装置的采样频率至少是发射信号的中心频率的4倍。传统的超声成像模式(即聚焦波成像)通常是发射一系列不同方向的聚焦波,每一个聚焦波得到图像的一列。一张高精度的超声图像既要求足够多的发射次数,也要求足够高的采样频率。由于超声波频率高,遵照上述理论会产生巨大的数据量,特别是在超声阵列探头及高分辨率等应用场合,对系统的通道数、存储空间和数据传输是一个巨大的挑战。近年来兴起的压缩感知理论,为这一问题提供了新的思路。压缩感知理论的基本思想是在某些条件下,信号可以从低于香农采样频率的采样中完全恢复出来。依据这一原理,国内外在压缩感知减少超声数据方面开展了一系列的研究。这些研究可以分为两大类:第一类是减少超声波的发射次数来提高超声成像的帧频。即使超声波的发射次数减少了,由于高的采样频率导致的每个图像得到的数据量仍然很大。因此,第二类是减少系统的采样率。针对减少系统的采样率,压缩感知理论要求随机采样采集的数据,此种采样方式需要对超声系统的信号采集模块进行更改,并且不能减少系统的通道数。

发明内容

[0003] 为了解决上述问题,本发明提供了一种利用计算机辅助仿真字典进行稀疏通道回波数据重建的超声成像方法。该方法依据计算机仿真技术,构建字典D,通过最小二乘解法,对超声信号进行重建,可以显著降低系统的通道数。

[0004] 依据超声阵列探头的构造原理,即每一个阵元对应系统的一个通道,本发明重点研究在减少系统通道数的情况下,重建超声采集的所有数据。根据本发明的基于计算机辅助仿真的字典方法,可以有效的减少系统的通道数和存储模块,而不影响图像的质量。另外,通过最小二乘解法,可以提高超声信号的重建速度,提高系统的实时性。

[0005] 本发明提供了一种基于计算机辅助仿真字典的稀疏通道回波数据重建的超声成像方法,具体步骤如下:

[0006] S1:利用超声探头激发的阵元接收稀疏的通道回波向量数据y;

[0007] S2:利用计算机仿真技术构造字典D;

[0008] S3:对所述回波向量y建立数学模型,求解重建回波信号在字典D中的系数c;

[0009] S4:利用所述系数c,根据 $Y=Dc$ 得到重建后的回波数据Y;

[0010] S5:对所述重建后的回波数据Y进行成像处理,得到超声图像。

[0011] 所述S2中构造字典D具体包括:

[0012] A1:对超声波入射区域进行二维离散化,构建一个离散的点阵;

[0013] A2:利用计算机仿真技术,设置与实际成像中相同的超声探头参数和入射波参数,对所述点阵中的每一个点仿真得到接收的回波数据;

[0014] A3:将所述每个点的回波数据向量化,所有的向量一起构造为字典D;

[0015] 步骤S2中所构造的字典D还包括给定一个阈值 ξ ($0 < \xi \leq 1$),将每列能量进行归一化,取能量大于阈值 ξ 的字典列。

[0016] 步骤S3中对回波向量y建立的数学模型为求解方程 $y = \Phi Dc$ 中的c,其中 Φ 为测量矩阵。

[0017] 步骤S3中对回波向量y回波向量数学方程 $y = \Phi Dc$ 的解法,设 $A = \Phi D$,利用最小二乘,其解为:

$$[0018] \quad c = [A^T A]^{-1} A^T y$$

[0019] 步骤S3中对回波向量y回波向量数学方程 $y = \Phi Dc$ 的解法,还包括其他的凸优化方法,比如加入 l_2 范数,其解为:

$$[0020] \quad c = [A^T A + \lambda I]^{-1} A^T y$$

[0021] 其中, $\lambda > 0$,I为单位矩阵。

[0022] 步骤S2中还可以构造双字典 D_1 和 D_2 ,其中 D_1 的构造步骤与权利要求1中所述A1、A2、A3相同; D_2 需要设置相同超声探头宽度,二倍或N倍($N = 2, 3, 4 \dots$)于实际超声探头阵元个数,重复步骤 A2和A3。

[0023] 步骤S3中对所述回波向量y建立数学模型,求解重建回波信号在字典 D_1 中的系数c,并在步骤 S4中根据 $Y = D_2 c$ 得到重建后的回波数据。

[0024] 本发明还提供了一种基于计算机辅助仿真字典的稀疏通道回波数据重建的超声成像装置,所述装置包括:

[0025] 超声探头模块,用于发射和接收超声波信号;

[0026] 数据传输和存储模块,用于传输和存储所述回波信号;

[0027] 信号处理模块,用于构造双字典 D_1 和 D_2 及重建超声回波信号;

[0028] 成像模块,用于对所述虚拟回波数据进行成像;

[0029] 图像显示模块,用于对所得图像进行显示。

[0030] 所述信号处理模块采用上述的基于双字典的回波数据重建方法。

[0031] 所述系统还包括图像处理模块,所述图像处理模块包括对成像模块得到的图像进行处理,提高图像对比度等。

[0032] 所述系统还包括信号预处理模块,所述预处理模块用于去除回波信号中的噪声。

[0033] 与现有方法相比,本发明可以减少系统的通道数,降低超声探头的制造工艺要求和系统存储要求,并且与现有装置相比,实现简单。

附图说明

[0034] 图1为本发明实时例中具体步骤流程图。

[0035] 图2为通道采样示意图,其中白色表示激发的通道,黑色表示未激发的通道。

[0036] 图3为构造的点阵示意图,(a)为构造的原始点阵图,(b)为(a)的放大示意图,(c)为经过取阈值 ξ 后的点阵示意图。

- [0037] 图4为动态范围50dB时的参考图像和采用本发明方法得到的重建图像。
- [0038] 图5为本发明实时例中扩展情况的具体步骤流程图。
- [0039] 图6为动态范围50dB时的用字典 D_1 和 D_2 得到的重建图像,两个方框区域分别表示计算CNR的目标和背景区域。

具体实施方式

- [0040] 通过以下具体实施方式将有助于理解本发明,但并不限制本发明的内容。
- [0041] 为了验证本发明的可行性,本实验采用计算机仿真数据。仿真中使用探头含有192个阵元,发射频率为3.5MHz,采样频率为25MHz,阵元间的距离为0.44mm.本实验采用传统聚焦波线性扫描模式,每次激活阵元数为64,扫描线个数为100条,焦点为60mm。在没有稀疏通道的情況下,每次发射接收到的原始数据 E 为 1948×64 ,其中1948是深度方向的采样数据,64为每次发射激发的通道数。该实验数据用于具体实施例1和2。
- [0042] 具体实施例1:
- [0043] 以下结合附图对本发明作进一步详细描述。
- [0044] 参照图1,本发明实现步骤如下:
- [0045] 步骤一:利用探头激活的阵元接收稀疏的通道回波向量数据 y 。
- [0046] 为了验证本发明的有效性,即可以使用稀疏通道数据 y 重建得到原始数据 E 。本实验中 y 是通过抽取每一次发射中一半的通道数据,通道采样方式如图2所示,因此 y 为 1948×32 个采样点,并表示为一个列向量。
- [0047] 步骤二:利用计算机仿真技术构造字典 D 。
- [0048] 本具体实施例中,利用计算机仿真超声软件Field II来进行字典仿真。
- [0049] 具体包括以下小步骤:
- [0050] (2.1)对超声波入射区域进行二维离散化,构建一个离散的点阵;
- [0051] 本发明对声波入射区域离散化采用等间隔采样, x 方向间隔为探头的pitch, z 方向间隔为半个波长,使得离散化的二维点阵为 $N=T \times S$,如图3(a,b)所示(图3(a)为完整的阵列图,图3(b)为(a)部分放大后的阵列图),其中 N 表示离散化的总的点个数, T 表示横向点个数, S 表示侧向点个数。本具体实施例中 T 为273, S 为65。
- [0052] (2.2)利用计算机仿真技术,设置与实际成像中相同的超声探头参数和入射波参数,对所述点阵中的每一个点仿真得到接收的回波数据;
- [0053] 本发明利用Field II软件,对阵列中每一个点仿真得到的回波数据,每个点收到的回波数据个数为 1948×64 。
- [0054] (2.3)将所述每个点的回波数据向量化,所有的向量一起构造为字典 D 。
- [0055] 将步骤(2.2)中每一个点收到的回波数据向量化,得到字典 D 的一列,字典 D 的大小为 124672×17745 。
- [0056] 步骤三:对回波向量 y 建立数学模型,求解重建回波信号在字典 D 中的系数 c 。
- [0057] 该步骤具体包括以下几个小步骤:
- [0058] (3.1)本实验建立的数学模型为 $y = \Phi Dc$,其中 Φ 为测量矩阵。首先构造一个 124672×124672 的单位阵,再根据采样方式图2中采样点的位置选用单位阵中的相应行,得到 Φ 。
- [0059] (3.2)本实验中给定一个阈值 $\xi = 0.75$,将字典 D 中每列计算其能量并进行归一化,

取能量大于阈值 ξ 的字典列,对应于图3(c)中的点阵图,经过此操作后,点阵个数降低为1518个,即D的维数可降低为 124672×1518 ,大大的降低了计算量。

[0060] (3.3) 本实验中设 $A = \Phi D$, 利用最小二乘解法, 求得的系数为

$$[0061] \quad c = [A^T A]^{-1} A^T y$$

[0062] 步骤四: 利用所述系数 c , 根据 $Y = Dc$ 得到重建后的回波数据 Y 。

[0063] 步骤五: 对所述重建后的回波数据 Y 进行成像处理, 得到超声图像。

[0064] 本实验中利用传统的 DAS (Delay and Sum) 进行成像, 每次发射数据经过波束合成后得到图像的一条 RF 数据。然后对每次发射数据重复上述步骤三至步骤五, 得到 RF 图像。再对 RF 图像进行希尔伯特变换和求幅值, 得到包络图像。最后对包络图像进行对数压缩, 得到最终显示的 B mode 图像。具体结果如图4所示。

[0065] 本实验还包括根据以下公式, 计算重建图像的误差 NRMSE (Normalized Root Mean Square Error)。

$$[0066] \quad \text{NRMSE} = \frac{\sqrt{\frac{1}{M_b N_f} \sum_{b=1}^{M_b} \sum_{f=1}^{N_f} (I'(b, f) - I(b, f))^2}}{\max_{b, f} |I(b, f)|}$$

[0067] 其中, I' 和 I 分别表示重建的 (RECONSTRUCTED) 和参考的 (REFERENCE) RF 图像, M_b 和 N_f 分别表示图像中横向和纵向的像素个数, b 和 f 分别表示图像中像素点的坐标。

[0068] 图4为本发明提出的方法与参考图像的对比成像结果。参考图像采用全部数据, 利用 DAS 进行波束合成, 得到 RF 图像。再对 RF 图像进行希尔伯特变换和取幅值, 得到包络图像。最后再对归一化的包络图进行对数压缩, 得到图4中所示的 B mode 图像, 动态显示范围为 50dB。而本发明提出的方法只利用了传统方法采样得到一半的通道数据进行重建得到重建后的数据, 再对重建后的数据利用 DAS 进行波束合成, 希尔伯特变换, 取包络和对数压缩上述过程, 得到重建后的 B mode 图像。本实验还利用上述 NRMSE 公式, 计算重建图像和参考图像之间的误差为 0.016, 可以认为本发明中的方法利用一半的通道数可以得到与传统方法相同的结果。

[0069] 具体实施例2:

[0070] 本实施例采用与上述实施例相同的数据, 根据扩展的本发明的方法进行重建, 以下结合附图对本发明作进一步详细描述。

[0071] 参照图5, 本发明实现步骤如下:

[0072] 步骤一: 利用探头激活的阵元接收稀疏的通道回波向量数据 y 。

[0073] 为了验证本发明的有效性, 即可以使用稀疏通道的数据 y 重建得到原始数据 E 。本实验中 y 是通过抽取每一次发射中一半的通道数据, 通道采样方式如图2所示, 因此 y 为 1948×32 个采样点, 并表示为一个列向量。

[0074] 步骤二: 利用计算机仿真技术构造字典 $D1$ 和 $D2$ 。

[0075] 本具体实施例中, 利用计算机仿真超声软件 Field II 来进行字典仿真。

[0076] 该步骤具体包括以下几个小步骤:

[0077] (2.1) 对超声波入射区域进行二维离散化, 构建一个离散的点阵;

[0078] 该点阵的构造方法与具体实施例1所述步骤2.1相同, 如图3所示。

[0079] (2.2) 利用计算机仿真技术, D1的构造与具体实施例1中D相同; D2需要设置相同超声探头宽度, 二倍或N倍 ($N=2, 3, 4, \dots$) 于实际超声探头阵元个数进行仿真。

[0080] 对于D2, 本发明设置2倍于实际超声探头阵元的个数, 对阵列中每一个点仿真得到的回波数据, 每个点收到的回波数据个数为 1948×128 。

[0081] (2.3) 将所述每个点的回波数据向量化, 所有的向量一起构造为字典D1和D2。

[0082] 将步骤(2.2)中每一个点收到的回波数据向量化, 字典D1的大小为 124672×17745 , 字典D2的大小为 249334×17745 。

[0083] 步骤三: 对回波向量y建立数学模型, 求解重建回波信号在字典D1中的系数c。

[0084] 该步骤具体包括以下几个小步骤:

[0085] (3.1) 本实验建立的数学模型为 $y = \Phi D1c$, 其中 Φ 为测量矩阵。首先构造一个 124672×124672 的单位阵, 再根据采样方式图2中采样点的位置选用单位阵中的相应行, 得到 Φ 。

[0086] (3.2) 本实验中给定一个阈值 $\xi = 0.75$, 将字典D1和D2中每列计算其能量并进行归一化, 取能量大于阈值 ξ 的字典列。

[0087] (3.3) 本实验中设 $A = \Phi D1$, 利用最小二乘解法, 求得的系数为

[0088] $c = [A^T A]^{-1} A^T y$

[0089] 步骤四: 利用所述系数c, 根据 $Y = D2c$ 得到重建后的回波数据Y。

[0090] 步骤五: 对所述重建后的回波数据Y进行成像处理, 得到超声图像。

[0091] 本实验中利用传统的DAS (Delay and Sum) 进行成像, 每次发射数据经过beamforming后得到图像的一条RF数据。然后对每次发射数据重复上述步骤三至步骤五, 得到RF图像。再对RF图像进行希尔伯特变换和求幅值, 得到包络图像。最后对包络图像进行对数压缩, 得到最终显示的B mode图像。具体结果如图6所示。

[0092] 本实验还包括根据以下公式, 计算重建图像的对比度CNR (Contrast to Noise Ratio)。

[0093]
$$CNR = 20 \log_{10} \frac{|\mu_t - \mu_b|}{\sqrt{(\sigma_t^2 + \sigma_b^2)/2}}$$

[0094] 其中, μ_t 和 μ_b (σ_t^2 和 σ_b^2) 分别目标区域和背景区域的灰度值的均值和方差。

[0095] 图6为本发明提出的方法与扩展方法的对比成像结果。图中的两个区域分别表示计算CNR的目标和背景区域。利用D1和D2重建后得到的CNR分别为10.59和10.72dB。通过此对比实验, 可以看出扩展后的方法可以提升图像的质量 (比如, CNR)。

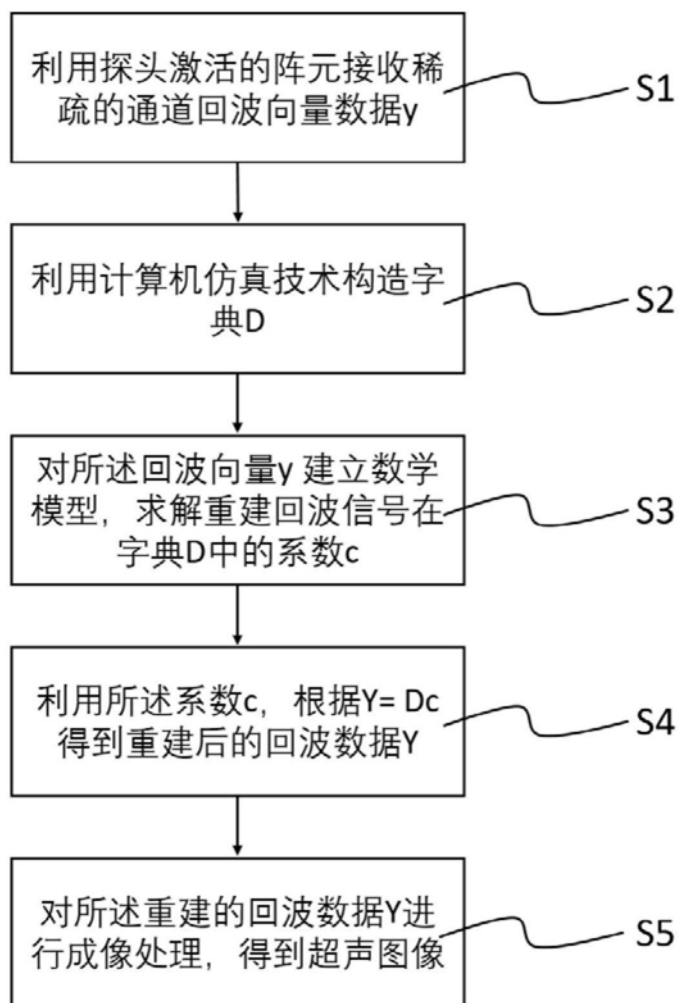


图1

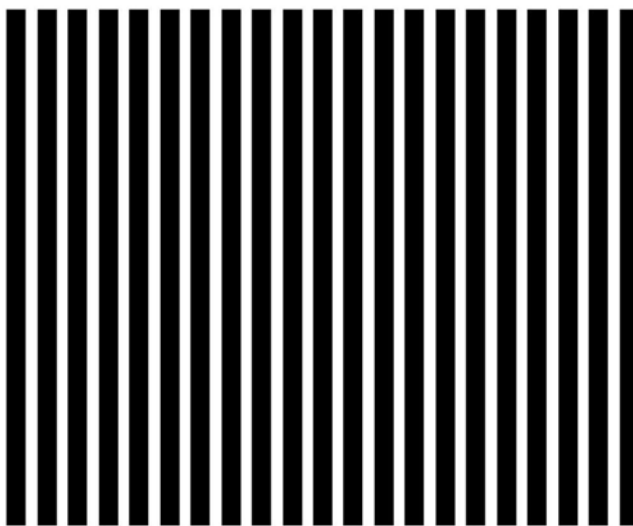


图2

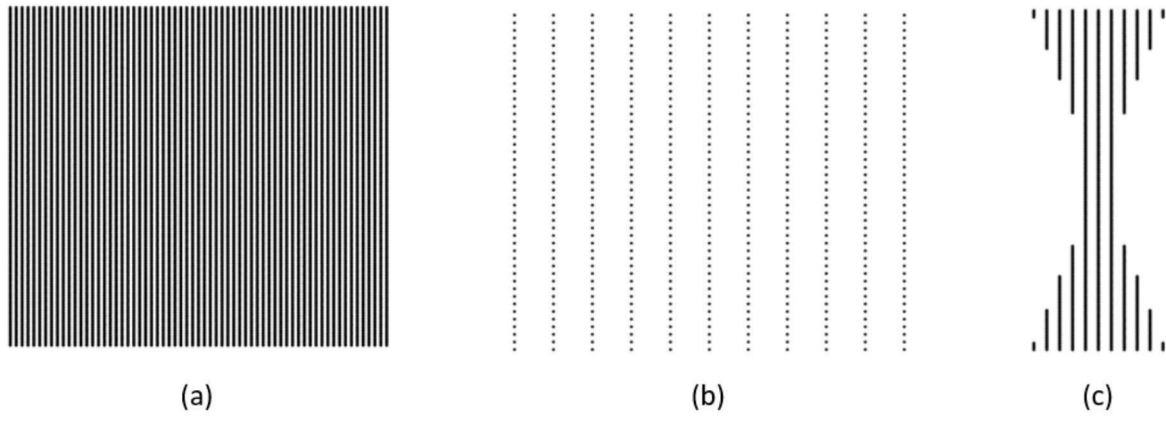


图3

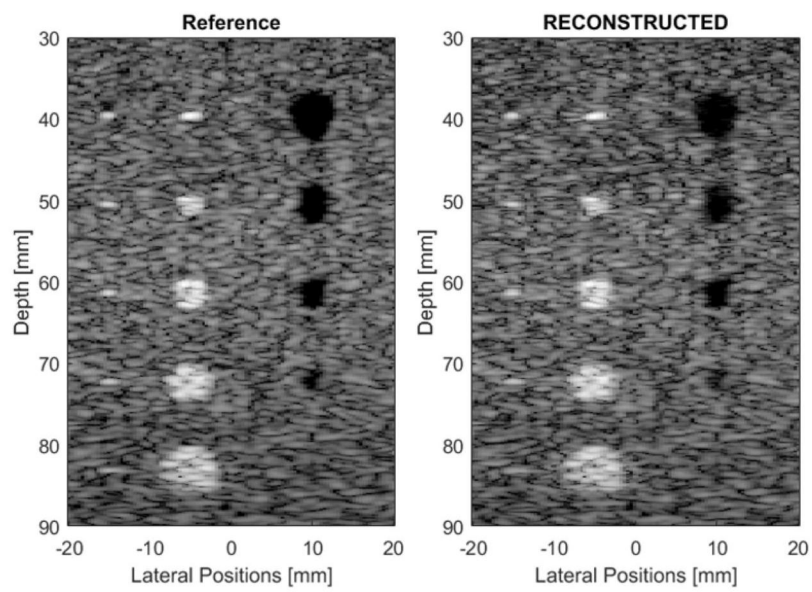


图4

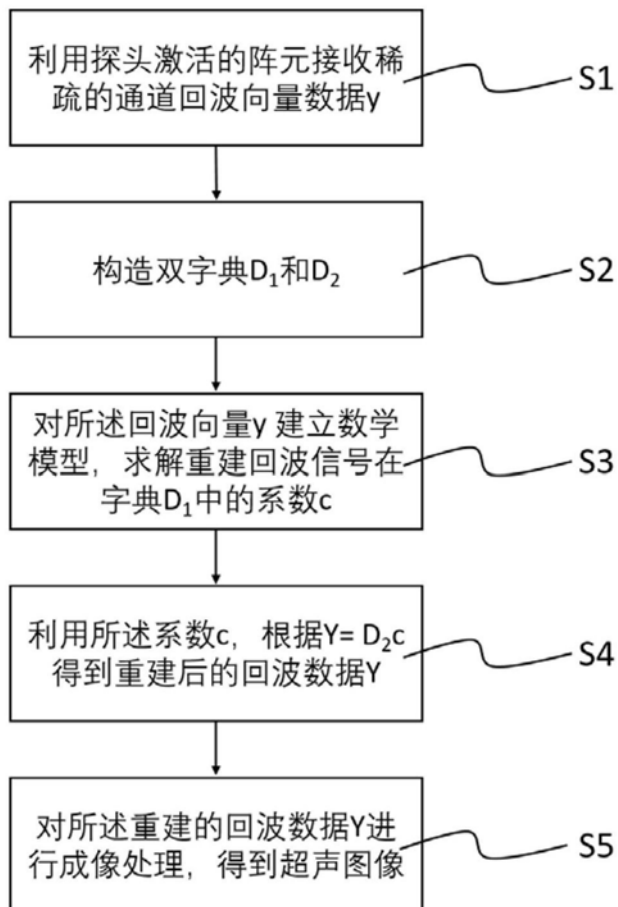


图5

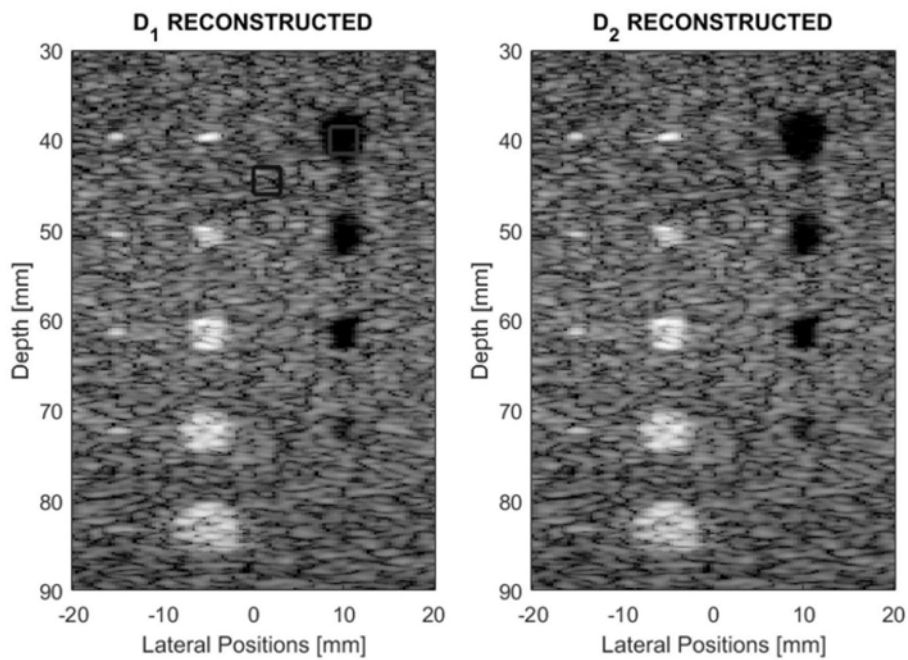


图6

专利名称(译)	一种基于稀疏通道回波数据重建的超声成像方法及装置		
公开(公告)号	CN109766646A	公开(公告)日	2019-05-17
申请号	CN201910040302.4	申请日	2019-01-16
[标]申请(专利权)人(译)	北京大学		
申请(专利权)人(译)	北京大学		
当前申请(专利权)人(译)	北京大学		
[标]发明人	戴志飞 张苗苗 刘益嘉 梁晓龙		
发明人	戴志飞 张苗苗 王梦玄 刘益嘉 梁晓龙		
IPC分类号	G06F17/50 A61B8/08		
代理人(译)	苏爱华		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种基于稀疏通道回波数据重建的超声成像方法及装置，所述方法包括以下步骤：S1，利用超声探头激发的阵元接收稀疏的通道回波向量数据 y ；S2，利用计算机仿真技术构造字典 D ；S3，对所述回波向量 y 建立数学模型，求解重建回波信号在字典 D 中的系数 c ；S4，利用所述系数 c ，根据 $Y = Dc$ 得到重建后的回波数据 Y ；S5，对所述重建后的回波数据 Y 进行成像，得到超声图像。本发明与传统的基于压缩感知的稀疏采样方法相比，可以降低系统的通道数，而不影响图像的质量。

