



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102920478 A

(43) 申请公布日 2013.02.13

(21) 申请号 201210480709.7

(22) 申请日 2012.11.22

(71) 申请人 山东大学

地址 250100 山东省济南市历城区山大南路
27号

(72) 发明人 孙丰荣 杜衍震 李凯一 金鑫

(74) 专利代理机构 济南金迪知识产权代理有限公司 37219

代理人 许德山

(51) Int. Cl.

A61B 8/00 (2006.01)

权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 1 页

(54) 发明名称

一种合成聚焦的便携式 B 型超声成像方法

(57) 摘要

一种合成聚焦的便携式 B 型超声成像方法, 属超声医学影像学技术领域, 便携式 B 超设备的射频回波信号在模 / 数转换处理中被随机采样, 然后进行波束形成、解调检波处理而形成欠采样的扫描线, 最后采用压缩感知的信号重构方法对欠采样的扫描线进行信号恢复后显像。本发明方法的步骤为: 预处理、产生伪随机脉冲序列和测量矩阵、换能器的一个阵元发射超声波、换能器的所有阵元都接收超声射频回波信号、随机采样的模 / 数转换、波束形成、解调检波、对数压缩、压缩感知的信号重构、帧缓存、显像。本发明解决了传统的合成聚焦波束形成方法的系统复杂度高、数据规模庞大、难以在便携式 B 超设备中得到实际应用的问题, 实现了合成聚焦的便携式 B 超的成像方法。

1. 一种合成聚焦的便携式 B 型超声成像方法, 便携式 B 型超声设备的射频回波信号在模 / 数转换处理中被随机采样, 然后进行波束形成、解调检波处理而形成欠采样的扫描线, 最后采用压缩感知的信号重构方法对欠采样的扫描线进行信号恢复后显像; 假定便携式 B 型超声设备有定点聚焦和动态聚焦两种聚焦模式, 探查深度为 D , 每条扫描线包含 M 个像素, 换能器的阵元个数为 N , 编号依次为 $1, 2, \dots, N$; 记选通阵元索引指示器为 I , 其值为换能器的阵元编号; 本发明步骤如下:

S1) 预处理

确定便携式 B 型超声设备的聚焦模式, 并据此确定模 / 数转换器对原始超声射频回波信号开始采样的延时; 确定欠采样率 η ; 确定压缩感知的信号重构方法中的稀疏化变换 Ψ , 该变换为离散的小波变换, 或者为离散的余弦变换; 初始化选通阵元索引指示器 I 的值为 1;

S2) 产生伪随机脉冲序列和测量矩阵

便携式 B 型超声设备的主控芯片产生伪随机脉冲序列, 记作 $\{\tau\}$, 其第 i 个脉冲的到达时刻记作 τ_i ; 测量矩阵为压缩感知的信号重构方法中所使用的测量矩阵, 记作 Φ , 其结构有如下特征: (1) 测量矩阵 Φ 的列数为 M , 行数记为 K , $K = \eta \cdot M$, (2) Φ 的每行只有一个元素的值为 1, 其余元素的值都为 0, 且 Φ 的第一行、第一列元素的值为 1, (3) Φ 的第 j 行值为 1 的元素所在的列为 $\frac{(\tau_j - \tau_1) \cdot v / 2}{D/M} + 1$, 其中 τ_j 为伪随机脉冲序列第 j 个脉冲的到达时刻, τ_1 为伪随机脉冲序列第 1 个脉冲的到达时刻, v 为超声波在探测介质中的传播速度, D 为便携式 B 型超声设备的探查深度, M 为每条扫描线包含的像素个数;

S3) 换能器的一个阵元发射超声波

便携式 B 型超声设备换能器的一个阵元在高压脉冲的激励下发射超声波, 该阵元的编号为 I 的值; 上述高压脉冲是便携式 B 型超声设备的主控芯片所产生的高频激励脉冲经高压脉冲产生电路得到;

S4) 换能器的所有阵元都接收超声射频回波信号

便携式 B 型超声设备换能器的所有阵元都接收超声射频回波信号; 对每个阵元所接收到的超声射频回波信号都进行前置放大、时间增益补偿前端处理, 获得原始超声射频回波信号集 $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$, 其中 X_i ($i=1, 2, \dots, N$) 为第 i 个阵元接收到的、经上述前端处理后的原始超声射频回波信号;

S5) 随机采样的模 / 数转换

对原始超声射频回波信号 X_1, X_2, \dots, X_N 进行模 / 数转换处理; 该模 / 数转换处理是基于随机采样的; 该随机采样是由步骤 S2) 产生的伪随机脉冲序列 $\{\tau\}$ 控制模 / 数转换器对每个原始超声射频回波信号的采样时刻实现的, 具体为: 模 / 数转换器对第 i 个原始超声射频回波信号 X_i 的第 k 个采样点的采样时刻为 $\tau_k + \square \tau_i$, 其中 τ_k 为伪随机脉冲序列 $\{\tau\}$ 第 k 个脉冲的到达时刻, $\square \tau_i$ 为模 / 数转换器对第 i 个原始超声射频回波信号 X_i 开始采样的延时; 原始超声射频回波信号经随机采样的模 / 数转换处理后, 获得欠采样的超声射频回波信号集 $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_N\}$, 其中信号 $Y_i = (y_{i, \tau_1 + \Delta t_i}, y_{i, \tau_2 + \Delta t_i}, \dots, y_{i, \tau_k + \Delta t_i})$ ($i=1, 2, \dots, N$) 为第 i 个原始超声射频回波信号 X_i 经上述随机采样的模 / 数转换处理后获得的欠采样的超声射频回波信号, $y_{i, \tau_n + \Delta t_i}$ ($n=1, 2, \dots, K$) 为该欠采样的超声射频回波信号的第 n 个离散信号点, K 为步

骤 S2) 所述测量矩阵 Φ 的行数；

S6) 波束形成

对欠采样的超声射频回波信号 Y_1, Y_2, \dots, Y_N 进行叠加求和, 得到欠采样的超声射频信号线 $L = \{l_1, \dots, l_K\}$, 其中 $l_j = \sum_{i=1}^N y_{i, \tau_j + \Delta t_i}$ ($j=1, 2, \dots, K$) 为欠采样的超声射频信号线 L 的第 j 个离散信号点, K 为上述测量矩阵 Φ 的行数；

S7) 解调检波、对数压缩

对欠采样的射频信号线 L 进行解调检波处理得到到欠采样的扫描线, 也称作欠采样的声线, 或欠采样的视频信号线；然后对欠采样的扫描线进行对数压缩以减小输出动态范围, 经此对数压缩处理的欠采样的扫描线记作 l ；

S8) 压缩感知的信号重构

采用压缩感知的信号重构方法, 对欠采样的扫描线 l 进行信号恢复；压缩感知的信号重构方法中的测量矩阵是上述矩阵 Φ , 稀疏化变换为 Ψ ；待恢复扫描线记作 x , 在稀疏化变换下的稀疏化表示记作 v , 其表达式为 $x = \Psi v$ ；首先通过对欠采样的扫描线 l 的表达式 $l = \Phi \Psi v$ 来求解得到待恢复扫描线 x 的稀疏化表示 v , 然后再利用稀疏化表达式 $x = \Psi v$ 得到待恢复扫描线 x ；待恢复扫描线 x 是 M 维的；

S9) 帧缓存

将恢复后的扫描线 x 送入帧缓存进行存储；令选通阵元索引指示器 I 的值加 1；判断选通阵元索引指示器 I 的值是否为 $N+1$, 若选通阵元索引指示器 I 的值为 $N+1$, 则转到步骤 S10), 否则返回步骤 S2)；

S10) 显像

便携式 B 型超声设备显示一帧图像。

一种合成聚焦的便携式 B 型超声成像方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于超声波的医学影像学成像方法,尤其涉及一种合成聚焦的便携式 B 型超声成像方法。

背景技术

[0002] 便携式 B 型超声设备具有体积小、成本低、方便携带、可用交流电或机内电池供电等特点,非常适合在乡村或社区医院、野战医院等场合使用,因此近些年便携式 B 型超声的临床应用普及率和产品的市场增长率持续增加。但是,如何在确保上述良好应用性能的前提下,进一步提高便携式 B 型超声设备的成像质量是相关工程技术领域颇为引人关注的问题。在 B 型超声成像系统中,波束形成环节对成像质量起着决定性的作用。传统的延时叠加算法的成像模式限制了分辨率的提高,因此不少学者对波束形成环节进行算法改进来提高成像质量,如 J. A. Jensen 等人在“Synthetic aperture ultrasound imaging, 2006”中指出合成孔径波束形成技术可以有效的提高超声成像分辨率。Hongxia Yao 在“Synthetic Aperture Methods for Medical Ultrasonic Imaging, 1997”中对各种合成孔径波束形成方法性能进行了比较。就成像质量而言,合成聚焦波束形成算法是各合成孔径波束形成算法中性能最优越的。但是在传统的 SF 超声成像的图像重建过程中,需要每个阵元依次发射,所有阵元同时接收,每次接收得到的射频回波信号进行波束形成产生一条射频信号线,最后将所有的射频信号线共同用于一帧图像的生成,这导致系统的复杂度增大(需要额外的大量存储空间来存放数据)、要处理的数据量也规模庞大。特别是随着阵元数量的增加,该问题会更加突出。所以,传统的 SF 难以在便携式 B 型超声设备中得到实际应用。

发明内容

[0003] 针对背景技术中所述的传统的 SF 波束形成算法的系统复杂度高、需要处理的数据规模庞大、很难应用在便携式 B 型超声设备中的问题,本发明基于压缩感知理论提出了一种合成聚焦的便携式 B 型超声成像方法。

[0004] 本发明的具体方案如下:

[0005] 一种合成聚焦的便携式 B 型超声成像方法,便携式 B 型超声设备的射频回波信号在模 / 数转换处理中被随机采样,然后进行波束形成、解调检波处理而形成欠采样的扫描线,最后采用压缩感知的信号重构方法对欠采样的扫描线进行信号恢复后显像;假定便携式 B 型超声设备有定点聚焦和动态聚焦两种聚焦模式,探查深度为 D , 每条扫描线包含 M 个像素,换能器的阵元个数为 N , 编号依次为 $1, 2, \dots, N$; 记选通阵元索引指示器为 I , 其值为换能器的阵元编号;本发明步骤如下:

[0006] S1) 预处理

[0007] 确定便携式 B 型超声设备的聚焦模式,并据此确定模 / 数转换器对原始超声射频回波信号开始采样的延时;确定欠采样率 η ; 确定压缩感知的信号重构方法中的稀疏化变换 Ψ , 该变换为离散的小波变换,或者为离散的余弦变换;初始化选通阵元索引指示器 I 的

值为 1；

[0008] S2) 产生伪随机脉冲序列和测量矩阵

[0009] 便携式 B 型超声设备的主控芯片产生伪随机脉冲序列, 记作 $\{\tau\}$, 其第 i 个脉冲的到达时刻记作 τ_i ; 测量矩阵为压缩感知的信号重构方法中所使用的测量矩阵, 记作 Φ , 其结构有如下特征: (1) 测量矩阵 Φ 的列数为 M , 行数记为 K , $K = \eta \cdot M$, (2) Φ 的每行只有一个元素的值为 1, 其余元素的值都为 0, 且 Φ 的第一行、第一列元素的值为 1, (3) Φ 的第 j 行值为 1 的元素所在的列为 $\frac{(\tau_j - \tau_1) \cdot v / 2}{D/M} + 1$, 其中 τ_j 为伪随机脉冲序列第 j 个脉冲的到

达时刻, τ_1 为伪随机脉冲序列第 1 个脉冲的到达时刻, v 为超声波在探测介质中的传播速度, D 为便携式 B 型超声设备的探查深度, M 为每条扫描线包含的像素个数;

[0010] S3) 换能器的一个阵元发射超声波

[0011] 便携式 B 型超声设备换能器的一个阵元在高压脉冲的激励下发射超声波, 该阵元的编号为 I 的值; 上述高压脉冲是便携式 B 型超声设备的主控芯片所产生的高频激励脉冲经高压脉冲产生电路得到;

[0012] S4) 换能器的所有阵元都接收超声射频回波信号

[0013] 便携式 B 型超声设备换能器的所有阵元都接收超声射频回波信号; 对每个阵元所接收到的超声射频回波信号都进行前置放大、时间增益补偿前端处理, 获得原始超声射频回波信号集 $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$, 其中 X_i ($i=1, 2, \dots, N$) 为第 i 个阵元接收到的、经上述前端处理后的原始超声射频回波信号;

[0014] S5) 随机采样的模 / 数转换

[0015] 对原始超声射频回波信号 X_1, X_2, \dots, X_N 进行模 / 数转换处理; 该模 / 数转换处理是基于随机采样的; 该随机采样是由步骤 S2) 产生的伪随机脉冲序列 $\{\tau\}$ 控制模 / 数转换器对每个原始超声射频回波信号的采样时刻实现的, 具体为: 模 / 数转换器对第 i 个原始超声射频回波信号 X_i 的第 k 个采样点的采样时刻为 $\tau_k + \square t_i$, 其中 τ_k 为伪随机脉冲序列 $\{\tau\}$ 第 k 个脉冲的到达时刻, $\square t_i$ 为模 / 数转换器对第 i 个原始超声射频回波信号 X_i 开始采样的延时; 原始超声射频回波信号经随机采样的模 / 数转换处理后, 获得欠采样的超声射频回波信号集 $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_N\}$, 其中信号 $Y_i = (y_{i,\tau_1+\Delta t_i}, y_{i,\tau_2+\Delta t_i}, \dots, y_{i,\tau_k+\Delta t_i})$ ($i=1, 2, \dots, N$) 为第 i 个原始超声射频回波信号 X_i 经上述随机采样的模 / 数转换处理后获得的欠采样的超声射频回波信号, $y_{i,\tau_n+\Delta t_i}$ ($n=1, 2, \dots, K$) 为该欠采样的超声射频回波信号的第 n 个离散信号点, K 为步骤 S2) 所述测量矩阵 Φ 的行数;

[0016] S6) 波束形成

[0017] 对欠采样的超声射频回波信号 Y_1, Y_2, \dots, Y_N 进行叠加求和, 得到欠采样的超声射频信号线 $L = \{l_1, \dots, l_K\}$, 其中 $l_j = \sum_{i=1}^N y_{i,\tau_j+\Delta t_i}$ ($j=1, 2, \dots, K$) 为欠采样的超声射频信号线 L 的第 j 个离散信号点, K 为上述测量矩阵 Φ 的行数;

[0018] S7) 解调检波、对数压缩

[0019] 对欠采样的射频信号线 L 进行解调检波处理得到到欠采样的扫描线, 也称作欠采样的声线, 或欠采样的视频信号线; 然后对欠采样的扫描线进行对数压缩以减小输出动态范围, 经此对数压缩处理的欠采样的扫描线记作 l ;

[0020] S8) 压缩感知的信号重构

[0021] 采用压缩感知的信号重构方法,对欠采样的扫描线 1 进行信号恢复;压缩感知的信号重构方法中的测量矩阵是上述矩阵 Φ ,稀疏化变换为 Ψ ;待恢复扫描线记作 x ,在稀疏化变换下的稀疏化表示记作 v ,其表达式为 $x=\Psi v$;首先通过对欠采样的扫描线 1 的表达式 $1=\Phi \Psi v$ 来求解得到待恢复扫描线 x 的稀疏化表示 v ,然后再利用稀疏化表达式 $x=\Psi v$ 得到待恢复扫描线 x ;待恢复扫描线 x 是 M 维的;

[0022] S9) 帧缓存

[0023] 将恢复后的扫描线 x 送入帧缓存进行存储;令选通阵元索引指示器 I 的值加 1;判断选通阵元索引指示器 I 的值是否为 $N+1$,若选通阵元索引指示器 I 的值为 $N+1$,则转到步骤 S10),否则返回步骤 S2);

[0024] S10) 显像

[0025] 便携式 B 型超声设备显示一帧图像。

[0026] 本发明的有益效果是:降低了传统的合成聚焦波束形成算法的系统复杂度以及需要处理的数据规模,从而将合成聚焦波束形成算法应用于便携式 B 型超声成像。

附图说明

[0027] 图 1 是本发明方法的流程框图。S1) -S10) 为其各个步骤。

具体实施方式

[0028] 下面结合实施例对本发明作进一步说明,但不限于此。

[0029] 实施例:

[0030] 一种合成聚焦的便携式 B 型超声成像方法,便携式 B 型超声设备的射频回波信号在模 / 数转换处理中被随机采样,然后进行波束形成、解调检波处理而形成欠采样的扫描线,最后采用压缩感知的信号重构方法对欠采样的扫描线进行信号恢复后显像;假定便携式 B 型超声设备有定点聚焦和动态聚焦两种聚焦模式,探查深度为 D ,每条扫描线包含 M 个像素,换能器的阵元个数为 N ,编号依次为 $1, 2, \dots, N$;记选通阵元索引指示器为 I ,其值为换能器的阵元编号;本发明步骤如下:

[0031] S1) 预处理

[0032] 确定便携式 B 型超声设备的聚焦模式,并据此确定模 / 数转换器对原始超声射频回波信号开始采样的延时;确定欠采样率 η ;确定压缩感知的信号重构方法中的稀疏化变换 Ψ ,该变换为离散的小波变换,或者为离散的余弦变换;初始化选通阵元索引指示器 I 的值为 1;

[0033] S2) 产生伪随机脉冲序列和测量矩阵

[0034] 便携式 B 型超声设备的主控芯片产生伪随机脉冲序列,记作 $\{\tau\}$,其第 i 个脉冲的到达时刻记作 τ_i ;测量矩阵为压缩感知的信号重构方法中所使用的测量矩阵,记作 Φ ,其结构有如下特征:(1)测量矩阵 Φ 的列数为 M ,行数记为 K , $K=\eta \cdot M$, (2) Φ 的每行只有一个元素的值为 1,其余元素的值都为 0,且 Φ 的第一行、第一列元素的值为 1, (3) Φ 的第 j 行值为 1 的元素所在的列为 $\frac{(\tau_j - \tau_1) \cdot v / 2}{D/M} + 1$,其中 τ_j 为伪随机脉冲序列第 j 个脉冲的到

达时刻, τ_1 为伪随机脉冲序列第 1 个脉冲的到达时刻, v 为超声波在探测介质中的传播速度, D 为便携式 B 型超声设备的探查深度, M 为每条扫描线包含的像素个数;

[0035] S3) 换能器的一个阵元发射超声波

[0036] 便携式 B 型超声设备换能器的一个阵元在高压脉冲的激励下发射超声波, 该阵元的编号为 I 的值; 上述高压脉冲是便携式 B 型超声设备的主控芯片所产生的高频激励脉冲经高压脉冲产生电路得到;

[0037] S4) 换能器的所有阵元都接收超声射频回波信号

[0038] 便携式 B 型超声设备换能器的所有阵元都接收超声射频回波信号; 对每个阵元所接收到的超声射频回波信号都进行前置放大、时间增益补偿前端处理, 获得原始超声射频回波信号集 $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$, 其中 $X_i (i=1, 2, \dots, N)$ 为第 i 个阵元接收到的、经上述前端处理后的原始超声射频回波信号;

[0039] S5) 随机采样的模 / 数转换

[0040] 对原始超声射频回波信号 X_1, X_2, \dots, X_N 进行模 / 数转换处理; 该模 / 数转换处理是基于随机采样的; 该随机采样是由步骤 S2) 产生的伪随机脉冲序列 $\{\tau\}$ 控制模 / 数转换器对每个原始超声射频回波信号的采样时刻实现的, 具体为: 模 / 数转换器对第 i 个原始超声射频回波信号 X_i 的第 k 个采样点的采样时刻为 $\tau_k + \square t_i$, 其中 τ_k 为伪随机脉冲序列 $\{\tau\}$ 第 k 个脉冲的到达时刻, $\square t_i$ 为模 / 数转换器对第 i 个原始超声射频回波信号 X_i 开始采样的延时; 原始超声射频回波信号经随机采样的模 / 数转换处理后, 获得欠采样的超声射频回波信号集 $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_N\}$, 其中信号 $Y_i = (y_{i, \tau_1 + \Delta t_i}, y_{i, \tau_2 + \Delta t_i}, \dots, y_{i, \tau_K + \Delta t_i}) (i = 1, 2, \dots, N)$ 为第 i 个原始超声射频回波信号 X_i 经上述随机采样的模 / 数转换处理后获得的欠采样的超声射频回波信号, $y_{i, \tau_n + \Delta t_i} (n=1, 2, \dots, K)$ 为该欠采样的超声射频回波信号的第 n 个离散信号点, K 为步骤 S2) 所述测量矩阵 Φ 的行数;

[0041] S6) 波束形成

[0042] 对欠采样的超声射频回波信号 Y_1, Y_2, \dots, Y_N 进行叠加求和, 得到欠采样的超声射频信号线 $L = \{l_1, \dots, l_K\}$, 其中 $l_j = \sum_{i=1}^N y_{i, \tau_j + \Delta t_i} (j=1, 2, \dots, K)$ 为欠采样的超声射频信号线 L 的第 j 个离散信号点, K 为上述测量矩阵 Φ 的行数;

[0043] S7) 解调检波、对数压缩

[0044] 对欠采样的射频信号线 L 进行解调检波处理得到到欠采样的扫描线, 也称作欠采样的声线, 或欠采样的视频信号线; 然后对欠采样的扫描线进行对数压缩以减小输出动态范围, 经此对数压缩处理的欠采样的扫描线记作 l ;

[0045] S8) 压缩感知的信号重构

[0046] 采用压缩感知的信号重构方法, 对欠采样的扫描线 l 进行信号恢复; 压缩感知的信号重构方法中的测量矩阵是上述矩阵 Φ , 稀疏化变换为 Ψ ; 待恢复扫描线记作 x , 在稀疏化变换下的稀疏化表示记作 v , 其表达式为 $x = \Psi v$; 首先通过对欠采样的扫描线 l 的表达式 $l = \Phi \Psi v$ 来求解得到待恢复扫描线 x 的稀疏化表示 v , 然后再利用稀疏化表达式 $x = \Psi v$ 得到待恢复扫描线 x ; 待恢复扫描线 x 是 M 维的;

[0047] S9) 帧缓存

[0048] 将恢复后的扫描线 x 送入帧缓存进行存储; 令选通阵元索引指示器 I 的值加 1; 判

断选通阵元索引指示器 I 的值是否为 N+1,若选通阵元索引指示器 I 的值为 N+1,则转到步骤 S10),否则返回步骤 S2);

[0049] S10) 显像

[0050] 便携式 B 型超声设备显示一帧图像。

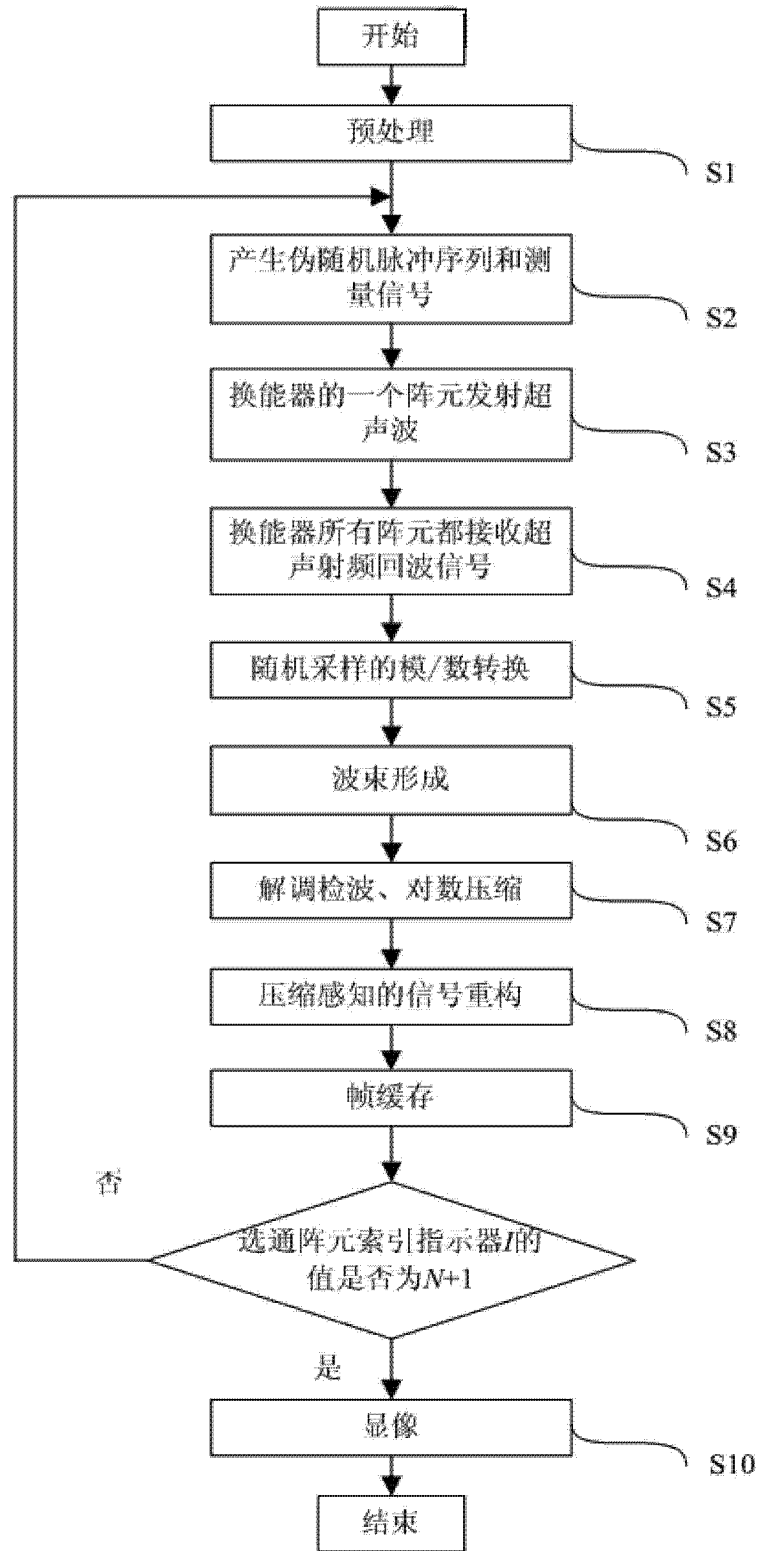


图 1

专利名称(译)	一种合成聚焦的便携式B型超声成像方法		
公开(公告)号	CN102920478A	公开(公告)日	2013-02-13
申请号	CN201210480709.7	申请日	2012-11-22
[标]申请(专利权)人(译)	山东大学		
申请(专利权)人(译)	山东大学		
当前申请(专利权)人(译)	山东大学		
[标]发明人	孙丰荣 杜衍震 李凯一 金鑫		
发明人	孙丰荣 杜衍震 李凯一 金鑫		
IPC分类号	A61B8/00		
代理人(译)	许德山		
其他公开文献	CN102920478B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

一种合成聚焦的便携式B型超声成像方法，属超声医学影像学技术领域，便携式B超设备的射频回波信号在模/数转换处理中被随机采样，然后进行波束形成、解调检波处理而形成欠采样的扫描线，最后采用压缩感知的信号重构方法对欠采样的扫描线进行信号恢复后显像。本发明方法的步骤为：预处理、产生伪随机脉冲序列和测量矩阵、换能器的一个阵元发射超声波、换能器所有阵元都接收超声射频回波信号、随机采样的模/数转换、波束形成、解调检波、对数压缩、压缩感知的信号重构、帧缓存、显像。本发明解决了传统的合成聚焦波束形成方法的系统复杂度、数据规模庞大、难以在便携式B超设备中得到实际应用的问题，实现了合成聚焦的便携式B超的成像方法。

