



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104970831 A

(43) 申请公布日 2015. 10. 14

(21) 申请号 201510410102. 5

(22) 申请日 2015. 07. 07

(71) 申请人 重庆大学

地址 400044 重庆市沙坪坝区沙坪坝正街
174 号

(72) 发明人 王平 程娜 龚志辉 李娜 潘震
杜炜 李刚建

(74) 专利代理机构 北京同恒源知识产权代理有
限公司 11275

代理人 赵荣之

(51) Int. Cl.

A61B 8/00(2006. 01)

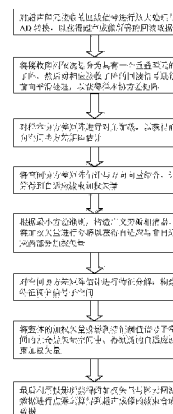
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于特征结构的广义旁瓣相消超声成像
波束合成方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于特征结构的广义旁瓣相消超声成像波束合成方法,该方法首先对接收阵元的采样信号进行延时和前向平滑处理,得到前向空间协方差矩阵估计,并对其进行对角加载后与方向向量结合,同时基于最小方差准则,计算出最优的自适应加权矢量,并构造与最小方差等效解的广义旁瓣相消器,获得自适应与非自适应两部分加权矢量;然后对接收信号的前向空间协方差矩阵估计进行特征分解,构建特征阈值信号子空间,并将整体的加权矢量投影到特征阈值信号子空间的左奇异矢量空间中,得到新的自适应波束加权矢量;最后利用投影所获得的加权矢量与超声阵列接收数据进行点乘运算得到超声波束合成数据;本方法能够去除干扰较大的特征矢量,使得超声图像的抗噪能力更强、分辨率更好。



1. 一种基于特征结构的广义旁瓣相消超声成像波束合成方法,其特征在于:包括以下步骤:

步骤一:对超声阵元接收的回波信号进行放大处理与 AD 转换,以获得超声成像所需的回波数据;

步骤二:将接收阵列依次划分为具有一个重叠阵元的子阵,然后对相应划分子阵接收的回波信号进行前向平滑处理,以获得样本协方差矩阵;

步骤三:对样本协方差矩阵进行对角加载,以获得前向空间协方差矩阵估计;

步骤四:将空间协方差矩阵估计与方向向量结合,计算得到自适应波束加权矢量;

步骤五:根据最小方差准则,构造广义旁瓣相消器,将加权矢量进行分解以获得自适应与非自适应两部分加权矢量;

步骤六:对空间协方差矩阵估计进行特征分解,构建特征阈值信号子空间;

步骤七:将整体的加权矢量投影到特征阈值信号子空间的左奇异矢量空间中,得到新的自适应波束加权矢量;

步骤八:最后利用投影所获得的加权矢量与阵元回波数据进行点乘运算得到超声成像的波束合成数据。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于特征结构的广义旁瓣相消超声成像波束合成方法,其特征在于:在步骤二中,具体包括以下步骤:

1) 令步骤一中得到的聚焦延时后的超声回波信号为 $x(k)$, 表示为 $x(k) = [x_1(k), x_2(k), \dots, x_N(k)]$, 其中, N 表示超声阵列的阵元个数, k 表示对应于深度的采样时刻;

2) 把 N 阵元阵列依次划分为具有一个重叠阵元的 L 个子阵, 分别计算各个子阵的样本协方差矩阵 $R_l(k)$, 然后计算所有子阵的样本协方差矩阵的平均 $\tilde{R}(k)$, 公式如下:

$$\tilde{R}(k) = \frac{1}{N-L+1} \sum_{l=1}^{N-L+1} R_l(k) = \frac{1}{N-L+1} \sum_{l=1}^{N-L+1} \mathbf{x}_d^l(k) \mathbf{x}_d^{lH}(k)$$

公式中 $\mathbf{x}_d^l(k) = [x_l(k), x_{l+1}(k), \dots, x_{l+L-1}(k)]^T$ 为第 l 个子阵的输出向量, $\mathbf{x}_d^l(k)^H$ 表示 $\mathbf{x}_d^l(k)$ 的共轭转置。

3. 根据权利要求 2 所述的一种基于特征结构的广义旁瓣相消超声成像波束合成方法, 其特征在于:在步骤三中,通过下列公式对平均的样本协方差矩阵 $\tilde{R}(k)$ 进行对角加载得到对角加载后的前向空间协方差矩阵估计 $\tilde{R}_{DL}$;

$$\tilde{R}_{DL} = \tilde{R}(k) + \gamma I$$

其中, $\gamma = \Delta \cdot \text{trace} \tilde{R}(k)$, Δ 为加入的空间噪声与信号功率比, $\text{trace} \tilde{R}(k)$ 为接收信号的等效功率, I 表示单位矩阵。

4. 根据权利要求 3 所述的一种基于特征结构的广义旁瓣相消超声成像波束合成方法, 其特征在于:在步骤五中,根据如下步骤构造广义旁瓣相消器,获得分解的自适应与非自适应加权矢量:

1) 先通过最小方差原理计算自适应加权矢量 w 为:

$$\mathbf{w} = \frac{\tilde{\mathbf{R}}_{DL}^{-1} \mathbf{a}}{\mathbf{a}^H \tilde{\mathbf{R}}_{DL}^{-1} \mathbf{a}}$$

其中, $\mathbf{a}$ 为方向向量, $\tilde{\mathbf{R}}_{DL}^{-1}$ 表示前向空间协方差矩阵估计 $\tilde{\mathbf{R}}_{DL}$ 的逆运算;

2) 构造与此解等效的广义旁瓣相消器, 将加权矢量 $\mathbf{w}$ 分解成自适应与非自适应加权矢量部分:

$$\mathbf{w} = \mathbf{w}_q - \mathbf{B} \mathbf{w}_a \quad \text{s.t. } \mathbf{B}^H \mathbf{w}_q = 0$$

其中, $\mathbf{w}_q$ 为非自适应权矢量, 位于约束子空间中, 对应的加权系数全部为 1;

$\mathbf{w}_a = (\mathbf{B}^H \tilde{\mathbf{R}}_{DL} \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^H \tilde{\mathbf{R}}_{DL} \mathbf{w}_q$ 为自适应权矢量, $\mathbf{B}$ 矩阵为 $L \times (L-1)$ 阻塞矩阵, 根据约束条件 $\mathbf{B}^H \mathbf{w}_q = 0$ 计算获得, $\mathbf{B}^H$ 是 $\mathbf{B}$ 矩阵的共轭转置。

5. 根据权利要求 4 所述的一种基于特征结构的广义旁瓣相消超声成像波束合成方法, 其特征在于: 在步骤六中, 根据如下步骤得到特征阈值信号子空间:

对前向空间协方差矩阵估计 $\tilde{\mathbf{R}}_{DL}$ 进行特征分解, 并且将得到的特征值 λ_i 从大到小排列, 计算相邻两个特征值的比值 $\lambda_i / \lambda_{i+1}$, 当比值大于设定阈值 T_h 时, 则构成特征阈值信号子空间 $\mathbf{R}_s = [\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_i, \mathbf{a}_{i+1}]$, 否则, $\mathbf{R}_s = [\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_i]$, 其中 $\mathbf{a}_i$ 为相应特征值 λ_i 对应的特征向量, 其余特征向量构成干扰信号子空间。

6. 根据权利要求 5 所述的一种基于特征结构的广义旁瓣相消超声成像波束合成方法, 其特征在于: 在步骤七中, 根据如下步骤将整体的加权矢量投影到特征阈值信号子空间的左奇异矢量空间中, 以获得新的加权矢量:

1) 根据如下公式对特征阈值信号子空间进行奇异值分解:

$$\mathbf{R}_s = \mathbf{U} \mathbf{D} \mathbf{V}^H$$

其中, $\mathbf{U}$ 是左奇异矩阵, $\mathbf{D}$ 为奇异值在对角线上的对角矩阵, $\mathbf{V}$ 为右奇异矩阵, $\mathbf{V}^H$ 是 $\mathbf{V}$ 的共轭转置;

2) 将步骤五中获得的权矢量 $\mathbf{w}$ 按如下公式投影到 $\mathbf{R}_s$ 较大特征值所对应的左奇异矢量空间 $\mathbf{U}_s \mathbf{U}_s^H$ 中:

$$\mathbf{w}_{ES} = \mathbf{U}_s \mathbf{U}_s^H \mathbf{w} = \mathbf{U}_s \mathbf{U}_s^H \mathbf{w}_q - \mathbf{U}_s \mathbf{U}_s^H \mathbf{B} \mathbf{w}_a$$

其中, $\mathbf{w}_{ES}$ 为投影后新的自适应加权矢量, $\mathbf{U}_s$ 为较大特征值对应的左奇异矩阵, $\mathbf{U}_s^H$ 为 $\mathbf{U}_s$ 的共轭转置。

7. 根据权利要求 6 所述的一种基于特征结构的广义旁瓣相消超声成像波束合成方法, 其特征在于: 在步骤八中, 通过如下公式利用投影所获得的加权矢量与阵元回波数据进行点乘运算得到超声成像的波束合成数据:

$$y(k) = \frac{1}{N-L+1} \sum_{l=1}^{N-L+1} \mathbf{w}_{ES}^H(k) \mathbf{x}_d^l(k)$$

其中, $y(k)$ 表示计算采样点 k 时刻的自适应波束信号, $\mathbf{w}_{ES}^H$ 表示 $\mathbf{w}_{ES}$ 的共轭转置, $\mathbf{x}_d^l(k)$ 表示第 1 个子阵的输出向量。

一种基于特征结构的广义旁瓣相消超声成像波束合成方法

技术领域

[0001] 本发明属于超声成像技术领域,涉及一种基于特征结构的广义旁瓣相消超声成像波束合成方法。

背景技术

[0002] 超声具有对人体无害,实时成像,成本较低等优点,目前广泛应用于血管、腹腔、心脏等器官的医学检测领域。超声成像算法是超声成像的关键技术。延时叠加是目前最简单,最传统,也是应用最为广泛的一种成像技术。这种方法的成像速度快,但分辨率较低,且栅瓣严重。

[0003] 目前广泛应用的是采用最小方差自适应波束形成方法来克服延时叠加算法的这一缺点,它是根据保持期望方向增益不变,并且使阵列输出能量最小的原则,计算出聚焦延时后信号的加权矢量。由于该方法是实时根据回波数据计算加权值,所以该方法可以有效地降低旁瓣等级,从而提高横向分辨率,同时可以显著的提高图像的对比度,但是该方法的缺点是稳健性远不如传统的延时叠加算法,当存在噪声时,抗噪声能力很差。为了提高最小方差波束合成算法的稳定性,很多学者提出了对角加载和特征空间法。但是该方法在噪声较强时便失去了其优势。

[0004] 在超声成像中,根据最小方差准则计算出最优加权矢量然后进行成像时,虽然图像分辨率有所提升,但其对比度和鲁棒性均有不足,同时也会使得部分有用信号相消,而且分辨率也有很大的提升空间。广义旁瓣相消实质是最小方差的一种等效结构,利用普通的广义旁瓣相消成像时图像质量提升不多。特别是当超声回波数据中存在噪声时,最小方差和广义旁瓣相消算法的鲁棒性下降较大。

[0005] 综上所述,有必要提出一种自适应算法,在能提高超声图像横向分辨率的同时,还能保持算法的稳定性和较好的抗噪能力。

发明内容

[0006] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种基于特征结构的广义旁瓣相消超声成像波束合成方法,该方法基于最小方差准则,构造广义旁瓣相消器,将自适应加权矢量分解成自适应与非自适应两部分加权矢量,然后根据接收信号的前向空间协方差矩阵估计构建特征阈值信号子空间,并将加权矢量投影到此空间的左奇异矢量空间中,获得新的加权矢量。

[0007] 为达到上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0008] 一种基于特征结构的广义旁瓣相消超声成像波束合成方法,包括以下步骤:

[0009] 步骤一:对超声阵元接收的回波信号进行放大处理与 AD 转换,以获得超声成像所需的回波数据;

[0010] 步骤二:将接收阵列依次划分为具有一个重叠阵元的子阵,然后对相应划分子阵接收的回波信号进行前向平滑处理,以获得样本协方差矩阵;

[0011] 步骤三:对样本协方差矩阵进行对角加载,以获得前向空间协方差矩阵估计;

[0012] 步骤四：将空间协方差矩阵估计与方向向量结合，计算得到自适应波束加权矢量；

[0013] 步骤五：根据最小方差准则，构造广义旁瓣相消器，将加权矢量进行分解以获得自适应与非自适应两部分加权矢量；

[0014] 步骤六：对空间协方差矩阵估计进行特征分解，构建特征阈值信号子空间；

[0015] 步骤七：将整体的加权矢量投影到特征阈值信号子空间的左奇异矢量空间中，得到新的自适应波束加权矢量；

[0016] 步骤八：最后利用投影所获得的加权矢量与阵元回波数据进行点乘运算得到超声成像的波束合成数据。

[0017] 进一步，在步骤二中，具体包括以下步骤：

[0018] 1) 令步骤一中得到的聚焦延时后的超声回波信号为 $x(k)$ ，表示为 $x(k) = [x_1(k), x_2(k), \dots, x_N(k)]$ ，其中 N 表示超声阵列的阵元个数， k 为对应于深度的采样时刻；

[0019] 2) 把 N 阵元阵列依次划分为具有一个重叠阵元的 L 个子阵，分别计算各个子阵的样本协方差矩阵 $R_l(k)$ ，然后计算所有子阵的样本协方差矩阵的平均 $\tilde{R}(k)$ ，公式如下：

$$[0020] \quad \tilde{R}(k) = \frac{1}{N-L+1} \sum_{l=1}^{N-L+1} R_l(k) = \frac{1}{N-L+1} \sum_{l=1}^{N-L+1} \mathbf{x}_d^l(k) \mathbf{x}_d^l(k)^H$$

[0021] 公式中 $\mathbf{x}_d^l(k) = [x_l(k), x_{l+1}(k), \dots, x_{l+L-1}(k)]^T$ 为第 l 个子阵的输出向量， $\mathbf{x}_d^l(k)^H$ 表示 $\mathbf{x}_d^l(k)$ 的共轭转置。

[0022] 进一步，在步骤三中，通过下列公式对平均的样本协方差矩阵 $\tilde{R}(k)$ 进行对角加载得到对角加载后的前向空间协方差矩阵估计 $\tilde{R}_{DL}$ ；

$$[0023] \quad \tilde{R}_{DL} = \tilde{R}(k) + \gamma I$$

[0024] 其中， $\gamma = \Delta \cdot \text{trace} \tilde{R}(k)$ ， Δ 为加入的空间噪声与信号功率比， $\text{trace} \tilde{R}(k)$ 为信号等效功率， I 表示单位矩阵。

[0025] 进一步，在步骤五中，根据如下步骤构造广义旁瓣相消器，获得分解的自适应与非自适应加权矢量：

[0026] 1) 先通过最小方差原理计算自适应加权矢量 w 为：

$$[0027] \quad w = \frac{\tilde{R}_{DL}^{-1} a}{a^H \tilde{R}_{DL}^{-1} a}$$

[0028] 其中， a 为方向向量， $\tilde{R}_{DL}^{-1}$ 表示前向空间协方差矩阵估计 $\tilde{R}_{DL}$ 的逆运算；

[0029] 2) 构造与此解等效的广义旁瓣相消器，将加权矢量 w 分解成自适应与非自适应加权矢量部分：

$$[0030] \quad w = w_q - B w_a \text{ s.t. } B^H w_q = 0$$

[0031] 其中， w_q 为非自适应权矢量，位于约束子空间中，对应的加权系数全部为 1；

$w_a = (B^H \tilde{R}_{DL} B)^{-1} B^H \tilde{R}_{DL} w_q$ 为自适应权矢量， B 矩阵为 $L \times (L-1)$ 阻塞矩阵，根据约束条件 $B^H w_q = 0$ 计算获得， B^H 是 B 矩阵的共轭转置。

[0032] 进一步，在步骤六中，根据如下步骤得到特征阈值信号子空间：

[0033] 对前向空间协方差矩阵估计 $\tilde{\mathbf{R}}_{DL}$ 进行特征分解, 并且将得到的特征值 λ_i 从大到小排列, 计算相邻两个特征值的比值 $\lambda_i / \lambda_{i+1}$, 当比值大于设定阈值 T_h 时, 则构成特征阈值信号子空间 $\mathbf{R}_s = [\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_i, \mathbf{a}_{i+1}]$, 否则, $\mathbf{R}_s = [\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_i]$, 其中 $\mathbf{a}_i$ 为相应特征值 λ_i 对应的特征向量, 其余特征向量构成干扰信号子空间。

[0034] 进一步, 在步骤七中, 根据如下步骤将整体的加权矢量投影到特征阈值信号子空间的左奇异矢量空间中, 以获得新的加权矢量:

[0035] 1) 根据如下公式对特征阈值信号子空间进行奇异值分解:

$$[0036] \quad \mathbf{R}_s = \mathbf{U} \mathbf{D} \mathbf{V}^H$$

[0037] 其中, $\mathbf{U}$ 是左奇异矩阵, $\mathbf{D}$ 为奇异值在对角线上的对角矩阵, $\mathbf{V}$ 为右奇异矩阵, $\mathbf{V}^H$ 是 $\mathbf{V}$ 的共轭转置;

[0038] 2) 将步骤五中获得的权矢量 $\mathbf{w}$ 按如下公式投影到 $\mathbf{R}_s$ 较大特征值所对应的左奇异矢量空间 $\mathbf{U}_s \mathbf{U}_s^H$ 中:

$$[0039] \quad \mathbf{w}_{ES} = \mathbf{U}_s \mathbf{U}_s^H \mathbf{w} = \mathbf{U}_s \mathbf{U}_s^H \mathbf{w}_q - \mathbf{U}_s \mathbf{U}_s^H \mathbf{B} \mathbf{w}_a$$

[0040] 其中, $\mathbf{w}_{ES}$ 为投影后新的自适应加权矢量, $\mathbf{U}_s$ 为较大特征值对应的左奇异矩阵, $\mathbf{U}_s^H$ 为较大特征值对应的左奇异矩阵的共轭转置。

[0041] 进一步, 在步骤八中, 通过如下公式利用投影所获得的加权矢量与阵元回波数据进行点乘运算得到超声成像的波束合成数据:

$$[0042] \quad y(k) = \frac{1}{N-L+1} \sum_{l=1}^{N-L+1} \mathbf{w}_{ES}^H(k) \mathbf{x}_d^l(k)$$

[0043] 其中, $y(k)$ 表示计算采样点 k 时刻的自适应波束信号, $\mathbf{w}_{ES}^H$ 表示 $\mathbf{w}_{ES}$ 的共轭转置, $\mathbf{x}_d^l(k)$ 表示第 l 个子阵的输出向量。

[0044] 本发明的有益效果在于: 本发明所述方法引入了期望信号的方向矢量, 并且能去除干扰较大的特征矢量, 从而在期望信号功率较小或大致等于噪声功率时, 可以保持本算法的性能, 对噪声具有良好的鲁棒性, 使得超声图像的抗噪能力更强、分辨率和对比度更好, 从而显著提高超声图像的质量。

附图说明

[0045] 为了使本发明的目的、技术方案和有益效果更加清楚, 本发明提供如下附图进行说明:

[0046] 图 1 为广义旁瓣相消结构示意图;

[0047] 图 2 为本方法的点目标成像与传统的 DAS, 以及 MV-CF 算法的成像效果图;

[0048] 图 3 为点目标在纵向深度为 60mm 处的横向截面图;

[0049] 图 4 为本发明所做的斑散射目标成像与传统的 DAS 以及 MV-CF 算法的成像效果图;

[0050] 图 5 为本发明所述方法的流程示意图。

具体实施方式

[0051] 下面将结合附图,对本发明的优选实施例进行详细的描述。

[0052] 图 5 为本发明所述方法的流程示意图,如图所示,本方法包括以下步骤:步骤一:对超声阵元接收的回波信号进行放大处理与 AD 转换,以获得超声成像所需的回波数据;步骤二:将接收阵列依次划分为具有一个重叠阵元的子阵,然后对相应划分子阵接收的回波信号进行前向平滑处理,以获得样本协方差矩阵;步骤三:对样本协方差矩阵进行对角加载,以获得前向空间协方差矩阵估计;步骤四:将空间协方差矩阵估计与方向向量结合,计算得到自适应波束加权矢量;步骤五:根据最小方差准则,构造广义旁瓣相消器,将加权矢量进行分解以获得自适应与非自适应两部分加权矢量;步骤六:对空间协方差矩阵估计进行特征分解,构建特征阈值信号子空间;步骤七:将整体的加权矢量投影到特征阈值信号子空间的左奇异矢量空间中,得到新的自适应波束加权矢量;步骤八:最后利用投影所获得的加权矢量与阵元回波数据进行点乘运算得到超声成像的波束合成数据。

[0053] 具体步骤如下:

[0054] 步骤 1、令经过延时后的采样信号为 $x(k) = [x_1(k), x_2(k), \dots, x_N(k)]$, 其中, N 表示传感器阵列的阵元个数。

[0055] 步骤 2、把 N 阵元的阵列依次划分为具有一个重叠阵元的 L 个子阵,分别计算各个子阵的样本协方差矩阵 $R_l(k)$, 然后计算所有子阵的样本协方差矩阵的平均 $\tilde{R}(k)$, 公式如下:

$$[0056] \quad \tilde{R}(k) = \frac{1}{N-L+1} \sum_{l=1}^{N-L+1} R_l(k) = \frac{1}{N-L+1} \sum_{l=1}^{N-L+1} \mathbf{x}_d^l(k) \mathbf{x}_d^{lH}(k)$$

[0057] 其中, $\mathbf{x}_d^l(k) = [x_l(k), x_{l+1}(k), \dots, x_{l+L-1}(k)]^T$ 为第 l 个子阵的输出向量, $\mathbf{x}_d^l(k)^H$ 表示 $\mathbf{x}_d^l(k)$ 的共轭转置;

[0058] 步骤 3、对样本协方差矩阵进行对角加载,以获得前向空间协方差矩阵估计 $\tilde{R}_{DL}$;

[0059] 具体的对角加载公式为:

$$[0060] \quad \tilde{R}_{DL} = \tilde{R}(k) + \gamma I$$

[0061] 其中, $\gamma = \Delta \cdot \text{trace} \tilde{R}(k)$, Δ 为加入的空间噪声与信号功率比, $\text{trace} \tilde{R}(k)$ 为信号等效功率, I 表示单位矩阵。

[0062] 步骤 4、根据最小方差的约束方程 $\mathbf{w} = \arg \min \mathbf{w}^H \tilde{R}_{DL} \mathbf{w} \text{ s.t. } \mathbf{w}^H \mathbf{a} = 1$

$$[0063] \quad \text{解得自适应加权矢量为: } \mathbf{w} = \frac{\tilde{R}_{DL}^{-1} \mathbf{a}}{\mathbf{a}^H \tilde{R}_{DL}^{-1} \mathbf{a}}$$

[0064] 其中 $\tilde{R}_{DL}$ 为接收信号的前向空间协方差矩阵估计, $\mathbf{a}$ 为方向向量, $\tilde{R}_{DL}^{-1}$ 为前向空间协方差矩阵的逆运算。

[0065] 步骤 5、如图 1 所示,构造广义旁瓣相消器,根据等效解原则将权矢量分解为自适应权矢量和非自适应权矢量两部分,图中上半支路 $\mathbf{w}_0$ 为非自适应权矢量部分,下半支路中, $\mathbf{w}_a$ 为自适应权矢量部分,矩阵 B 为阻塞矩阵,只允许非期望信号进入。此时加权向量可以写成:

[0066] $w = w_q - Bw_a$ S. t $B^H w_q = 0$

[0067] 步骤 6、对获得的前向空间协方差矩阵估计进行特征值分解,获取相应的特征值和特征向量,并且将其特征值从大到小排列。计算相邻的两个特征值之比 $\lambda_i / \lambda_{i+1}$,假如此比值大于某个阈值,那么就构成期望阈值信号子空间 R_s :

[0068] $R_s = [a_1, a_2, \dots, a_i, a_{i+1}]$, 否则, $R_s = [a_1, a_2, \dots, a_i]$ 。

[0069] 步骤 7、对获取的期望阈值信号子空间 R_s 进行奇异值分解,得到:

[0070] $R_s = UDV^H$

[0071] 其中, U 是左奇异矩阵, D 为奇异值在对角线上的对角矩阵, V 为右奇异矩阵, V^H 是 V 的共轭转置。

[0072] 步骤 8、将整体的权矢量 w 投影到 R_s 的较大特征值对应的左奇异矢量空间 $U_s U_s^H$ 中,得到本方法的自适应权矢量:

[0073] $w_{ES} = U_s U_s^H w = U_s U_s^H w_q - U_s U_s^H B w_a$

[0074] 其中, w_{ES} 为投影后新的自适应加权矢量, U_s 为较大特征值对应的左奇异矩阵, U_s^H 为较大特征值对应的左奇异矩阵的共轭转置。

[0075] 步骤 9、最后利用投影所获得的加权矢量与阵元数据进行点乘运算得到成像回波数据,最后其波束合成输出为:

[0076]
$$y(k) = \frac{1}{N-L+1} \sum_{l=1}^{N-L+1} w_{ES}^H(k) x_d^l(k)$$

[0077] 其中, $y(k)$ 表示计算采样点 k 时刻的自适应波束信号, w_{ES}^H 表示 w_{ES} 的共轭转置, $x_d^l(k)$ 表示第 1 个子阵的输出向量。

[0078] 为了验证该发明的有效性,利用 Field II 对医学成像中常用的点散射目标和斑散射目标进行成像。Field II 是基于线性系统空间响应的原理,它的仿真效果与实际成像很接近,已被国际上广泛认同为仿真超声系统的标准。设置 14 个目标点,间隔 5mm,均匀分布在 40mm-70mm 的深度范围内,同时在接收数据中加入 10dB 的噪声,超声图像的动态范围均为 40dB。同时设定半径为 3mm 的圆形吸声斑,深度在 20-35mm 范围之内,设定图像对比度范围为 60dB,并在接收的回波数据中加入 20dB 的噪声。使用 3 种算法分别进行成像,并比较 3 种成像算法的抗噪性能,对比度和分辨率。

[0079] 图 2 给出了本发明点目标成像与原始的算法 DAS, MV-CF, ES-GSC 的对比图像。图 3 给出了本发明算法生成的点目标成像图中在深度 60mm 处的横向截面图与现有的算法相比。由图分析可知:从成像结果图 2、图 3 中可以看出传统 DAS 算法成像质量最差,旁瓣等级最高,抗噪性能最差, MV-CF 旁瓣等级降低,横向分辨率有所提高,但是抗造性能基本没有提高,本发明提出 ES-GSC 算法在分辨率、对比度和鲁棒性上均有所提升, ES-GSC 算法成像质量最好,而且近场和远场区域的图像分辨率和对比度都得到了较大的改善。

[0080] 图 4 给出了本发明算法生成的斑散射目标成像图与 DAS, MV-CF, ES-GSC 的比较图。表 1 列出了各种算法的对比度 (CR)。由表 1 分析可知, ES-GSC 算法中心平均功率相对于 DAS 降低了 7dB,与 MV-CF 算法相近; ES-GSC 算法对比度有略微提高,与 MV-CF 相当。相对于 DAS 算法提高了 4.4dB。背景区域方差表征算法的鲁棒性,可以看出 DAS 算法鲁棒性最好,

本专利提出的算法相对于 MV-CF 背景区域方差下降,因此,本专利提出的 ES-GSC 算法具有更好的鲁棒性。

[0081] 最后说明的是,以上优选实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管通过上述优选实施例已经对本发明进行了详细的描述,但本领域技术人员应当理解,可以在形式上和细节上对其作出各种各样的改变,而不偏离本发明权利要求书所限定的范围。

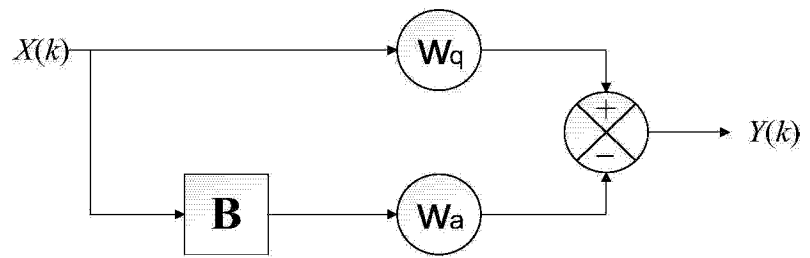


图 1

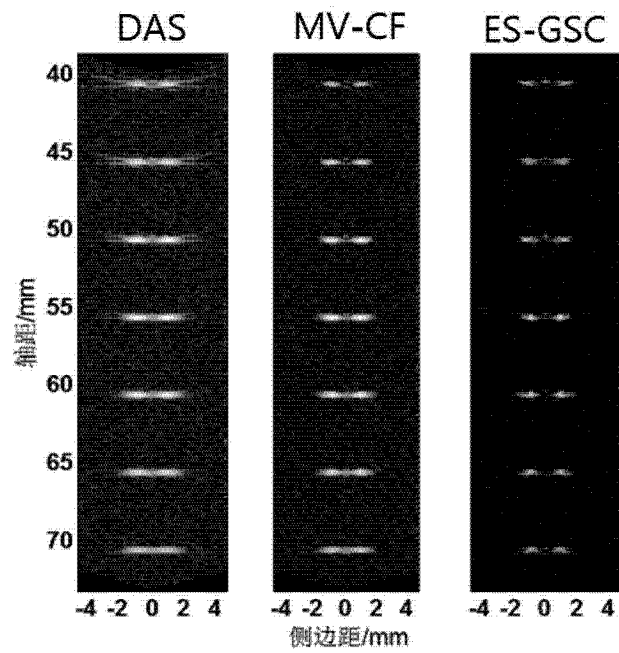


图 2

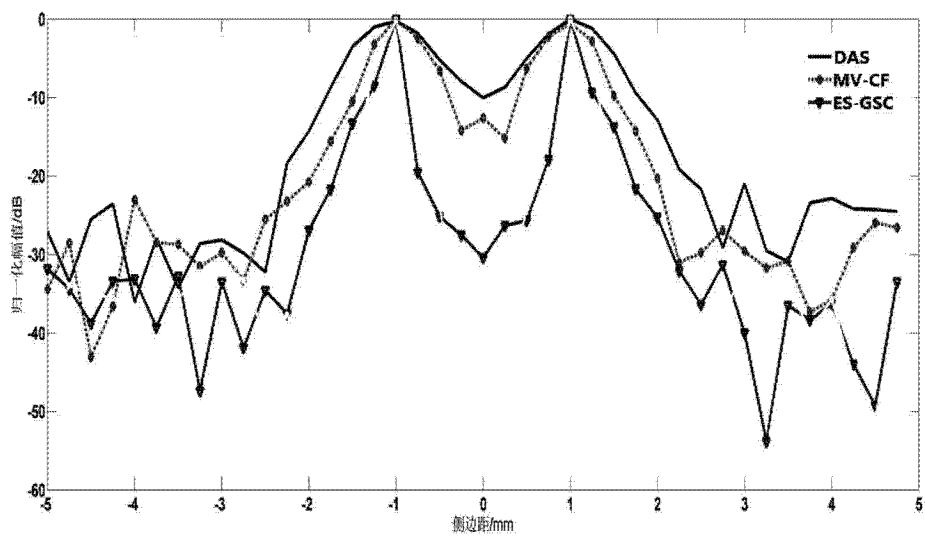


图 3

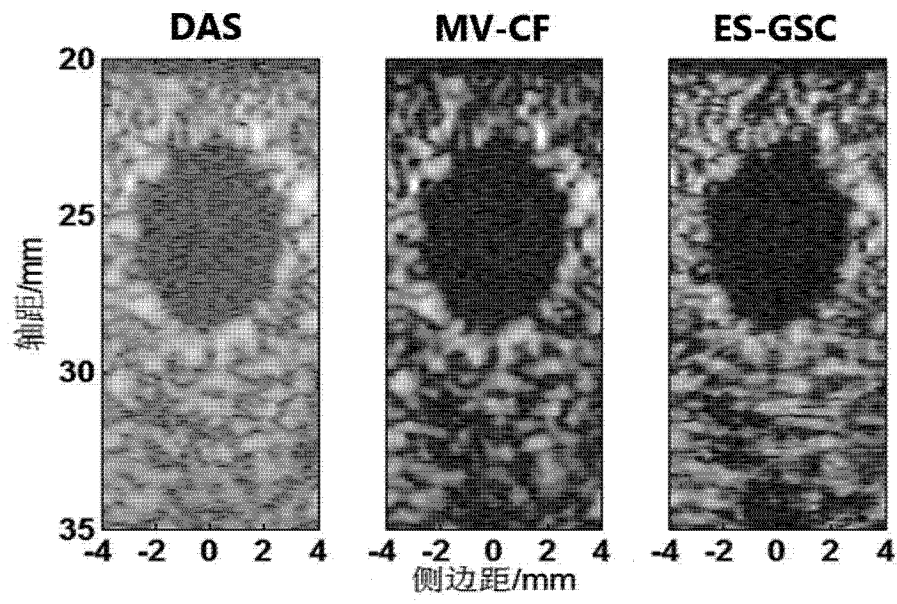


图 4

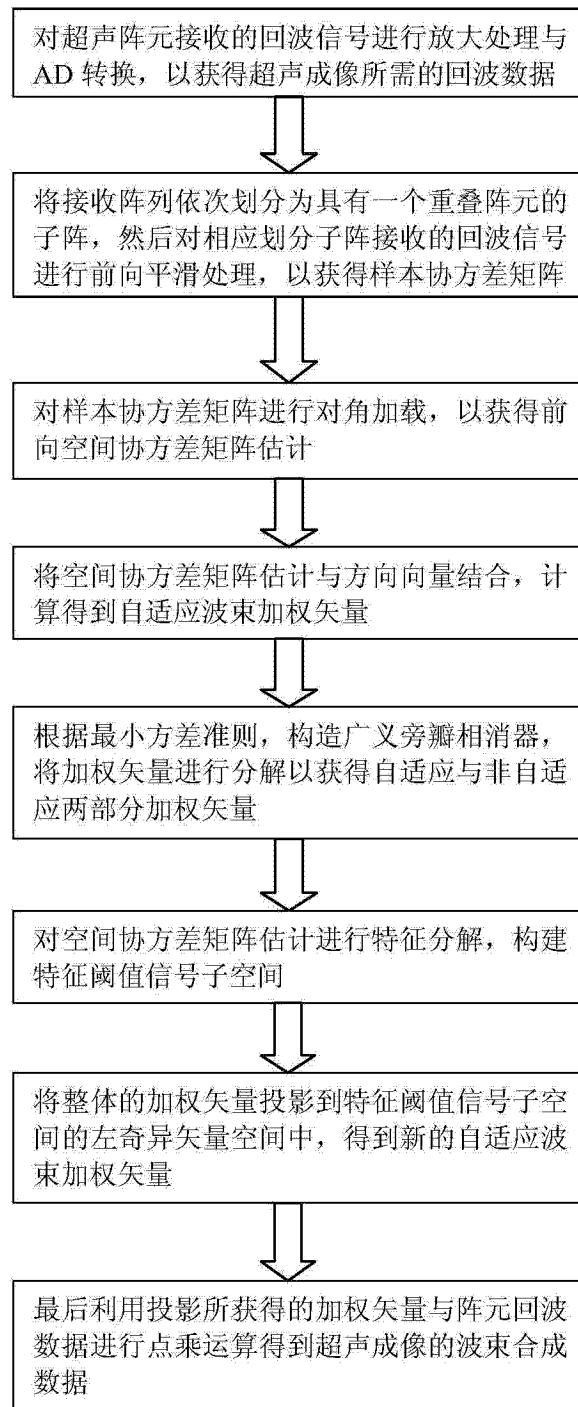


图 5

专利名称(译)	一种基于特征结构的广义旁瓣相消超声成像波束合成方法		
公开(公告)号	CN104970831A	公开(公告)日	2015-10-14
申请号	CN201510410102.5	申请日	2015-07-07
[标]申请(专利权)人(译)	重庆大学		
申请(专利权)人(译)	重庆大学		
当前申请(专利权)人(译)	重庆大学		
[标]发明人	王平 程娜 龚志辉 李娜 潘震 杜炜 李刚建		
发明人	王平 程娜 龚志辉 李娜 潘震 杜炜 李刚建		
IPC分类号	A61B8/00		
CPC分类号	A61B8/5207 A61B8/5215 A61B8/5269		
其他公开文献	CN104970831B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明涉及一种基于特征结构的广义旁瓣相消超声成像波束合成方法，该方法首先对接收阵元的采样信号进行延时和前向平滑处理，得到前向空间协方差矩阵估计，并对其进行对角加载后与方向向量结合，同时基于最小方差准则，计算出最优的自适应加权矢量，并构造与最小方差等效解的广义旁瓣相消器，获得自适应与非自适应两部分加权矢量；然后对接收信号的前向空间协方差矩阵估计进行特征分解，构建特征阈值信号子空间，并将整体的加权矢量投影到特征阈值信号子空间的左奇异矢量空间中，得到新的自适应波束加权矢量；最后利用投影所获得的加权矢量与超声阵元接收数据进行点乘运算得到超声波束合成数据；本方法能够去除干扰较大的特征矢量，使得超声图像的抗噪能力更强、分辨率更好。

