



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103610462 B

(45) 授权公告日 2015. 07. 08

(21) 申请号 201310614079. 2

(22) 申请日 2013. 11. 26

(73) 专利权人 中国医学科学院生物医学工程研究所

地址 300192 天津市南开区白堤路 236 号

(72) 发明人 刘志朋 殷涛 王世刚

(74) 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代理事务所 12201

代理人 杜文茹

(51) Int. Cl.

A61B 5/053(2006. 01)

A61B 8/08(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102085096 A, 2011. 06. 08, 全文.

王世刚等. 磁声成像的声换能器平移圆周扫描方式研究.《天津市生物医学工程学会第三十四

届学术年会论文集》. 2014, 第 62 页.

李经宇等. 基于磁声耦合效应的电导率图像重建研究.《生物医学工程学杂志》. 2010, 第 27 卷 (第 2 期), 第 416-420 页.

黄欣等. 注入电流式磁声成像的实验研究.《现代科学仪器》. 2013, (第 2 期), 第 59-62 页.

审查员 宋含

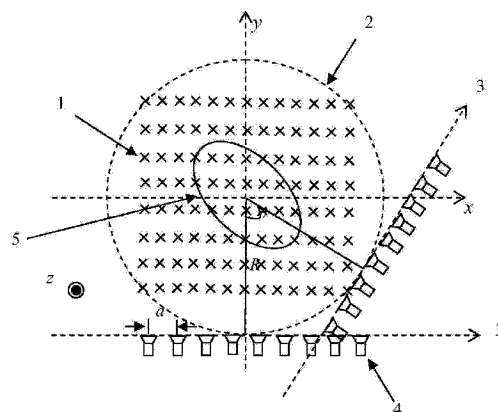
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种用于磁声成像的平移-圆周复合扫描方法

(57) 摘要

一种用于磁声成像的平移-圆周复合扫描方法,是采用平移扫描与圆周扫描相结合的复合扫描方式,具体包括:聚焦声换能器沿以介质仿体的中心为圆点,以设定的距离 R 为半径所形成的圆周上等间距分布的 n 条切线上分别依次采集所述的介质仿体所发出的超声波信号,其中 n 为 4 以上的整数;对所采集到的超声波信号进行声源重建。本发明能够精确定位声信号,结合图象重建算法即可得到介质仿体电特性分布信息,可用于测量生物组织的电阻抗变化。不仅弥补了磁声信号小易受到电子噪声干扰,信噪比低的缺点,还突破了圆周步进角度足够小的限制。可以全面准确的采集磁声信号,为后续重建提供足够信息。



1. 一种用于磁声成像的平移-圆周复合扫描方法,其特征在于,是采用平移扫描与圆周扫描相结合的复合扫描方式,具体包括如下步骤:

1) 聚焦声换能器沿以介质仿体的中心为圆点,以设定的距离 R 为半径所形成的圆周上等间距分布的 n 条切线上分别依次采集所述的介质仿体所发出的超声波信号,其中 n 为 4 以上的整数,包括:

在每一条切线上采集超声波信号的起始点至终止点的距离大于等于所述的介质仿体的最大直径;

在每一条切线上所述的聚焦声换能器每平移设定距离 d 采集一次介质仿体所发出的超声波信号,其中 d 为平移步进距离;

相邻两条切线的切点与所述的圆点的连线所形成的夹角设定为 θ ,其中 θ 为圆周步进角度;

对所述的聚焦声换能器每采集到的一个超声波信号都进行放大、滤波和存储;

2) 对步骤 1) 所采集到的超声波信号进行声源重建,包括如下步骤:

(1) 在每一条切线上建立以聚焦声换能器的声束轴线为中线、以聚焦声换能器平移设定距离 d 为范围内的声源信息 $I_k(r)$:

$$I_k(r) = \frac{-1}{2\pi c_s^3} \iint_{\Sigma} ds \sqrt{1 - \frac{(z_0 - z)^2}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^2}} \frac{1}{t} p_k''(\mathbf{r}', t)$$

其中: $I_k(r)$ 为以聚焦声换能器的声束轴线为中线、以聚焦声换能器平移设定距离 d 为范围内的介质仿体的任一点 r 处重建的声源, $p_k''(\mathbf{r}', t)$ 表示每一条切线上第 k 个位置的声换能器的声压对时间的二次导数, $\mathbf{r}'$ 表示聚焦声换能器的位置, c_s 表示声波在介质仿体内的声速, $t = |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|/c_s$ 表示时间延迟, z_0 表示聚焦声换能器在直角坐标系中竖轴坐标, z 表示介质仿体内各声源在直角坐标系中的竖轴坐标;

(2) 依次重建各切线下的重建子图像 $I_\alpha(r)$: $I_\alpha(r) = \sum I_k(r)$, 其中 α 表示所选的该条切线的切点至圆心的连线与初始切线的切点至圆心的连线的夹角,为旋转角度;

(3) 叠加所有重建的子图像 $I_\alpha(r)$, 最终得到声源图像 $I(r)$: $I(r) = \frac{\sum I_\alpha(r)}{n(r)}$

其中, $n(r)$ 为声源在 r 处的重复累加次数。

2. 根据权利要求 1 所述的一种用于磁声成像的平移-圆周复合扫描方法,其特征在于,在步骤 1) 和步骤 2) 之间还进行信号恢复步骤,具体是对聚焦声换能器所采集的信号进行恢复:

$$p_{\alpha k}(\mathbf{r}, t) = \text{FFT}^{-1} \left(\frac{W_{\alpha k}(\mathbf{r}, \omega) \cdot \mathbf{H}(\omega)}{\mathbf{H}(\omega) \cdot \mathbf{H}^*(\omega) + C} \right)$$

其中, FFT^{-1} 表示傅里叶反变换, $W_{\alpha k}(\mathbf{r}, \omega)$ 为 α 角度下第 k 位置聚焦声换能器的声压信号的傅里叶谱, $\mathbf{H}(\omega)$ 为聚焦声换能器冲激响应的傅里叶谱, $\mathbf{H}^*(\omega)$ 为 $\mathbf{H}(\omega)$ 的共轭, C 为一基于频谱密度信噪比的常数, $p_{\alpha k}(\mathbf{r}, t)$ 是聚焦声换能器恢复的信号。

3. 根据权利要求 1 所述的一种用于磁声成像的平移-圆周复合扫描方法,其特征在于,采集每一个切线上超声波信号的聚焦声换能器是采用单个聚焦声换能器按设定距离 d 平

移进行采集,或是采用由 2 个以上的聚焦声换能器按设定距离 d 组成的聚焦声换能器线阵直接进行采集。

一种用于磁声成像的平移－圆周复合扫描方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种复合扫描方式。特别是涉及一种测量生物组织电阻抗变化的用于磁声成像的平移－圆周复合扫描方法。

背景技术

[0002] 磁声耦合成像是一种以生物组织电特性为成像目标的医学功能成像新方法,基本原理是,通过电极对置于稳恒磁场中介质仿体注入电流使之发出声波,并且声波的频率与注入的电流频率相同。在介质仿体外利用声换能器接收该响应声波信号,通过扫描方案结合图象重建算法即可得到介质仿体电特性分布信息。该方法对于病变组织的早期检查,尤其是未发生器质性变化病变组织(生物组织的电特性变化先于器质性变化)的早期发现具有重要意义,它兼具电阻抗成像的功能参数高对比度与超声成像高空间分辨率的特点,同时该成像方法逆问题良态,在医学功能成像和无损检测领域中具有广阔的应用前景。

[0003] 由基础物理学可知,磁声耦合成像声波动方程为:

$$[0004] \quad \nabla^2 p - \frac{1}{c_s^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \nabla \cdot (\mathbf{J} \times \mathbf{B})$$

[0005] 其中, c_s 为超声在成像目标体中的传播速度, p 为声压, $\mathbf{J}$ 为电流密度, $\mathbf{B}$ 为稳恒磁场强度。可知,在已知稳恒磁场和激励电流的情况下,对于具有一定电导率分布的介质仿体,产生的声压与电导率有关。利用声换能器在介质仿体外检测的时域声信号,反映了沿此传播方向上内部电导率的变化。

[0006] 声信号的采集是磁声耦合成像技术逆问题的基础,只有采集到丰富的,足够强的磁声信号才能够精确重建声源。现有磁声耦合成像技术主要是采用圆周扫描方式,对声源成像采用时间反演法,声换能器采用远场非聚焦区,该扫描方式的缺点是圆周扫描的步进角度足够小,才能够获得足够声信息,完整重建声源图像;由于采用声换能器的远场区,所以换能器的灵敏度低,采集的声信号强度较小,容易受到设备电子噪声的干扰,信噪比较低。

发明内容

[0007] 本发明所要解决的技术问题是,提供一种高灵敏度的用于磁声成像的平移－圆周复合扫描方法。

[0008] 本发明所采用的技术方案是:一种用于磁声成像的平移－圆周复合扫描方法,是采用平移扫描与圆周扫描相结合的复合扫描方式,具体包括如下步骤:

[0009] 1) 聚焦声换能器沿以介质仿体的中心为圆点,以设定的距离 R 为半径所形成的圆周上等间距分布的 n 条切线上分别依次采集所述的介质仿体所发出的超声波信号,其中 n 为 4 以上的整数;

[0010] 2) 对步骤 1) 所采集到的超声波信号进行声源重建。

[0011] 步骤 1) 中,在每一条切线上采集超声波信号的起始点至终止点的距离大于等于所

述的介质仿体的最大直径。

[0012] 步骤 1) 中, 在每一条切线上所述的聚焦声换能器每平移设定距离 d 采集一次介质仿体所发出的超声波信号, 其中 d 为平移步进距离。

[0013] 步骤 1) 中, 相邻两条切线的切点与所述的圆点的连线所形成的夹角设定为 θ , 其中 θ 为圆周步进角度。

[0014] 步骤 1) 中, 对所述的聚焦声换能器每采集到的一个超声波信号都进行放大、滤波和存储。

[0015] 步骤 2) 所述的声源重建包括如下步骤:

[0016] (1) 在每一条切线上建立以聚焦声换能器的声束轴线为中线、以聚焦声换能器平移设定距离 d 为范围内的声源信息 $I_k(r)$:

$$[0017] \quad I_k(r) = \frac{-1}{2\pi c_s^3} \iint_{\Sigma} ds \sqrt{1 - \frac{(z_0 - z)^2}{|r - r'|^2}} \frac{1}{t} p_k''(r', t)$$

[0018] 其中: $I_k(r)$ 为以聚焦声换能器的声束轴线为中线、以聚焦声换能器平移设定距离 d 为范围内的介质仿体的任一点 r 处重建的声源, $p_k''(r', t)$ 表示每一条切线上第 k 个位置的声换能器的声压对时间的二次导数, r' 表示聚焦声换能器的位置, c_s 表示声波在介质仿体内的声速, $t = |r - r'| / c_s$ 表示时间延迟, z_0 表示聚焦声换能器在直角坐标系中竖轴坐标, z 表示介质仿体内各声源在直角坐标系中的竖轴坐标;

[0019] (2) 依次重建各切线下的重建子图像 $I_\alpha(r)$: $I_\alpha(r) = \sum I_k(r)$, 其中 α 表示所选的该条切线的切点至圆心的连线与初始切线的切点至圆心的连线的夹角, 为旋转角度;

[0020] (3) 叠加所有重建的子图像 $I_\alpha(r)$, 最终得到声源图像 $I(r)$: $I(r) = \frac{\sum I_\alpha(r)}{n(r)}$ 其

中, $n(r)$ 为声源在 r 处的重复累加次数。

[0021] 在步骤 1) 和步骤 2) 之间还进行信号恢复步骤, 具体是对聚焦声换能器所采集的声信号进行恢复:

$$[0022] \quad p_{ak}(r, t) = \text{FFT}^{-1} \left(\frac{W_{ak}(r, \omega) \cdot H(\omega)}{H(\omega) \cdot H^*(\omega) + C} \right)$$

[0023] 其中, FFT^{-1} 表示傅里叶反变换, $W_{ak}(r, \omega)$ 为 α 角度下第 k 位置聚焦声换能器的声压信号的傅里叶谱, $H(\omega)$ 为聚焦声换能器冲激响应的傅里叶谱, $H^*(\omega)$ 为 $H(\omega)$ 的共轭, C 为一基于频谱密度信噪比的常数, $p_{ak}(r, t)$ 是聚焦声换能器恢复的信号。

[0024] 采集每一个切线上超声波信号的聚焦声换能器是采用单个聚焦声换能器按设定距离 d 平移进行采集, 或是采用由 2 个以上的聚焦声换能器按设定距离 d 组成的聚焦声换能器线阵直接进行采集。

[0025] 本发明的一种用于磁声成像的平移-圆周复合扫描方法, 能够精确定位声信号, 结合图象重建算法即可得到介质仿体电特性分布信息, 可用于测量生物组织的电阻抗变化。本发明运用了声换能器的聚焦区采集信号, 不仅弥补了磁声信号小易受到电子噪声干扰, 信噪比低的缺点, 还突破了圆周步进角度足够小的限制。可以全面准确的采集磁声信号, 为后续重建提供足够信息, 从而为磁声耦合成像技术向临床使用提供思路, 促进磁声耦

合成像技术的发展。

附图说明

[0026] 图 1 是本发明的信号采集示意图；

[0027] 图中,1:稳恒磁场;2:旋转轨迹;3:平移轨迹;4:聚焦声换能器;5:介质仿体

[0028] 图 2 是本发明的信号采集流程图；

[0029] 图 3 是本发明的声源重建流程图。

具体实施方式

[0030] 下面结合实施例和附图对本发明的一种用于磁声成像的平移-圆周复合扫描方法做出详细说明。

[0031] 磁声耦合成像工作时中心控制单元与其他各功能单元连接,当激励单元对介质仿体施加激励脉冲信号后,在稳恒磁场作用下,实验介质仿体产生响应声信号,由声换能器接收后转换成电信号,电信号经过信号处理单元后由存储单元存储数据,完成了一次检测。

[0032] 本发明采用聚焦声换能器,并且在采集信号时将介质仿体置于聚焦声换能器的聚焦区,以提高其灵敏度。如声聚焦声换能器选用 Panametrics V303,聚焦区间长度约为 16~46mm,宽度约为 -2.5~2.5mm。

[0033] 本发明的一种用于磁声成像的平移-圆周复合扫描方法,是采用平移扫描与圆周扫描相结合的复合扫描方式,具体包括如下步骤:

[0034] 1)聚焦声换能器 4 沿以介质仿体 5 的中心为圆点,以设定的距离 $R=30\text{mm}$ 为半径所形成的圆周 2 上等间距分布的 n 条切线 3 上分别依次采集所述的介质仿体所发出的超声波信号,其中 n 为 4 以上的整数,采集方式满足:

[0035] 在每一条切线上采集超声波信号的起始点至终止点的距离大于等于介质仿体的最大直径;在每一条切线上所述的聚焦声换能器每平移设定距离 d 采集一次介质仿体所发出的超声波信号,在本实施例中,选 $d=3\text{mm}$;相邻两条切线的切点与所述的圆点的连线所形成的夹角设定为 θ ,在本实施例中,选 $\theta=5^\circ$;对所述的聚焦声换能器每采集到的一个超声波信号都进行放大、滤波和存储。

[0036] 具体实施时,将介质仿体 5 置于稳恒磁场 1 中,并由激励源对介质仿体施加脉冲电流,如单周期正弦信号,介质发出超声波。

[0037] 2)对步骤 1)所采集到的超声波信号进行声源重建,所述的声源重建包括如下步骤:

[0038] (1)在每一条切线上建立以聚焦声换能器的声束轴线为中线、以聚焦声换能器平移设定距离 d 为范围内的声源信息 $I_k(r)$:

$$[0039] \quad I_k(r) = \frac{-1}{2\pi c_s^3} \iint_{\Sigma} ds \sqrt{1 - \frac{(z_0 - z)^2}{|r - r'|^2}} \frac{1}{t} p_k''(r', t)$$

[0040] 其中: $I_k(r)$ 为以聚焦声换能器的声束轴线为中线、以聚焦声换能器平移设定距离 d 为范围内的介质仿体的任一点 r 处重建的声源, $p_k''(r', t)$ 表示每一条切线上第 k 个位置的声换能器的声压对时间的二次导数, r' 表示聚焦声换能器的位置, c_s 表示声波在介质仿

体内的声速, $t=|r-r'|/c_s$ 表示时间延迟, z_0 表示聚焦声换能器在直角坐标系中竖轴坐标, z 表示介质仿体内各声源在直角坐标系中的竖轴坐标;

[0041] (2)依次重建各切线下的重建子图像 $I_\alpha(r)$: $I_\alpha(r)=\sum I_k(r)$, 其中 α 表示所选的该条切线的切点至圆心的连线与初始切线的切点至圆心的连线的夹角, 为旋转角度;

[0042] 例如: 首先重建旋转角度 $\alpha=0^\circ$ 下的重建子图像 $I_\alpha(r)$, 此时即将起始切线上的聚焦声换能器信号反投影叠加: $I_\alpha(r)=\sum I_k(r)$; 再重建旋转角度为步进角度 $\alpha=5^\circ$ 为下的重建子图像 $I_\alpha(r)$, 此时即将第二条切线上的聚焦声换能器信号反投影叠加: $I_\alpha(r)=\sum I_k(r)$; 依次分别重建 n 条切线上的子图像。

[0043] (3) 叠加所有重建子图像 $I_\alpha(r)$, 最终得到声源图像 $I(r)$: $I(r)=\frac{\sum I_\alpha(r)}{n(r)}$

[0044] 其中, $n(r)$ 为声源在 r 处的重复累加次数。

[0045] 在步骤 1) 和步骤 2) 之间还包括有信号恢复的步骤, 恢复步骤具体是对聚焦声换能器所采集的声信号进行恢复:

[0046]
$$p_{\alpha k}(r, t) = \text{FFT}^{-1} \left(\frac{W_{\alpha k}(r, \omega) \cdot H(\omega)}{H(\omega) \cdot H^*(\omega) + C} \right)$$

[0047] 其中, FFT^{-1} 表示傅里叶反变换, $W_{\alpha k}(r, \omega)$ 为 α 角度下第 k 位置聚焦声换能器的声压信号的傅里叶谱, $H(\omega)$ 为聚焦声换能器冲激响应的傅里叶谱, $H^*(\omega)$ 为 $H(\omega)$ 的共轭, C 为一基于频谱密度信噪比的常数, $p_{\alpha k}(r, t)$ 是聚焦声换能器恢复的信号。

[0048] 本发明的用于磁声成像的平移-圆周复合扫描方法中, 采集每一个切线上超声波信号的聚焦声换能器是采用单个聚焦声换能器按设定距离 d 平移进行采集, 或是采用由 2 个以上的聚焦声换能器按设定距离 d 组成的聚焦声换能器线阵直接进行采集。

[0049] 尽管上面结合附图对本发明的优选实施例进行了描述, 但是本发明并不局限于上述的具体实施方式, 上述的具体实施方式仅仅是示意性的, 并不是限制性的。本领域的普通技术人员在本发明的启示下, 在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下, 还可以作出很多形式, 这些均属于本发明的保护范围之内。

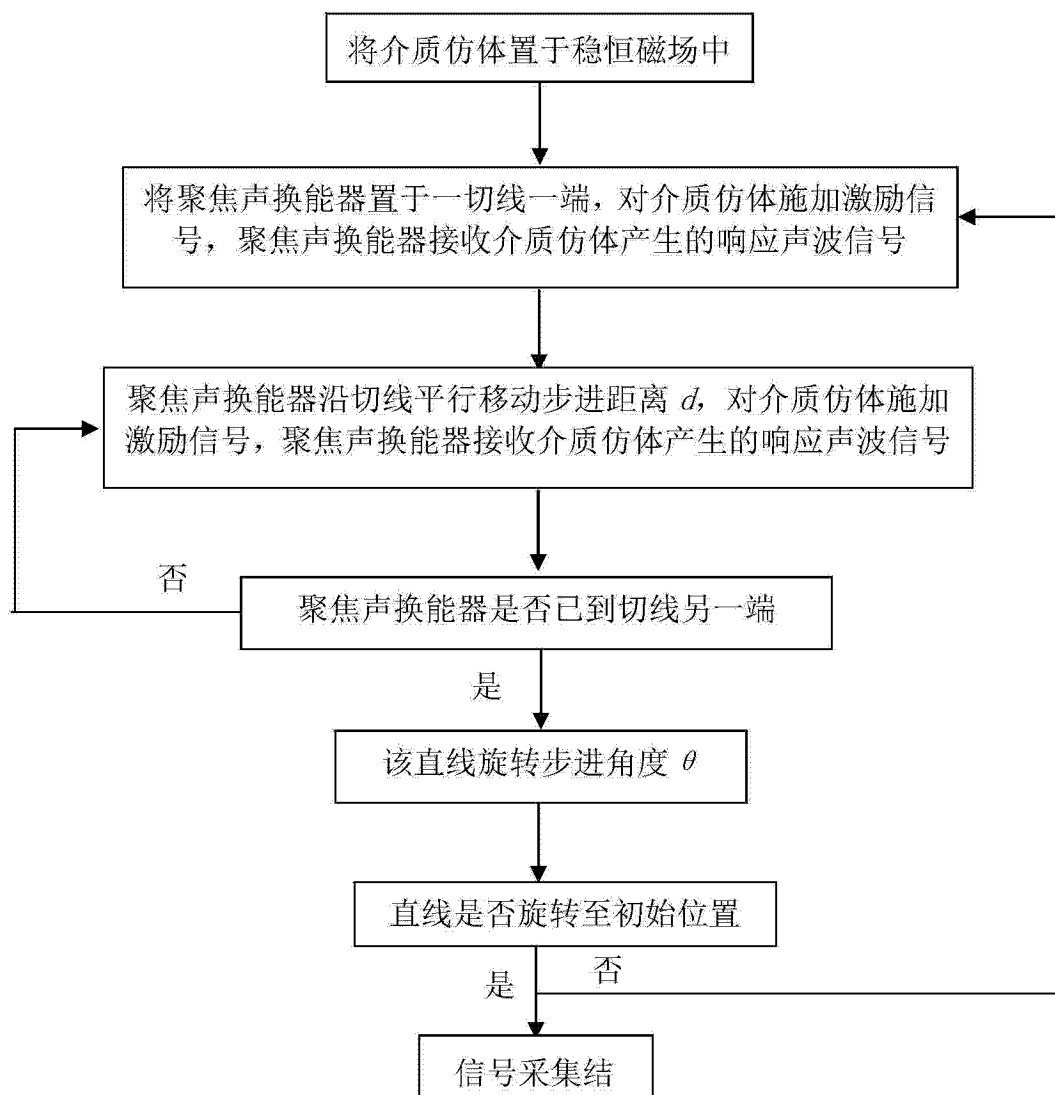


图 2

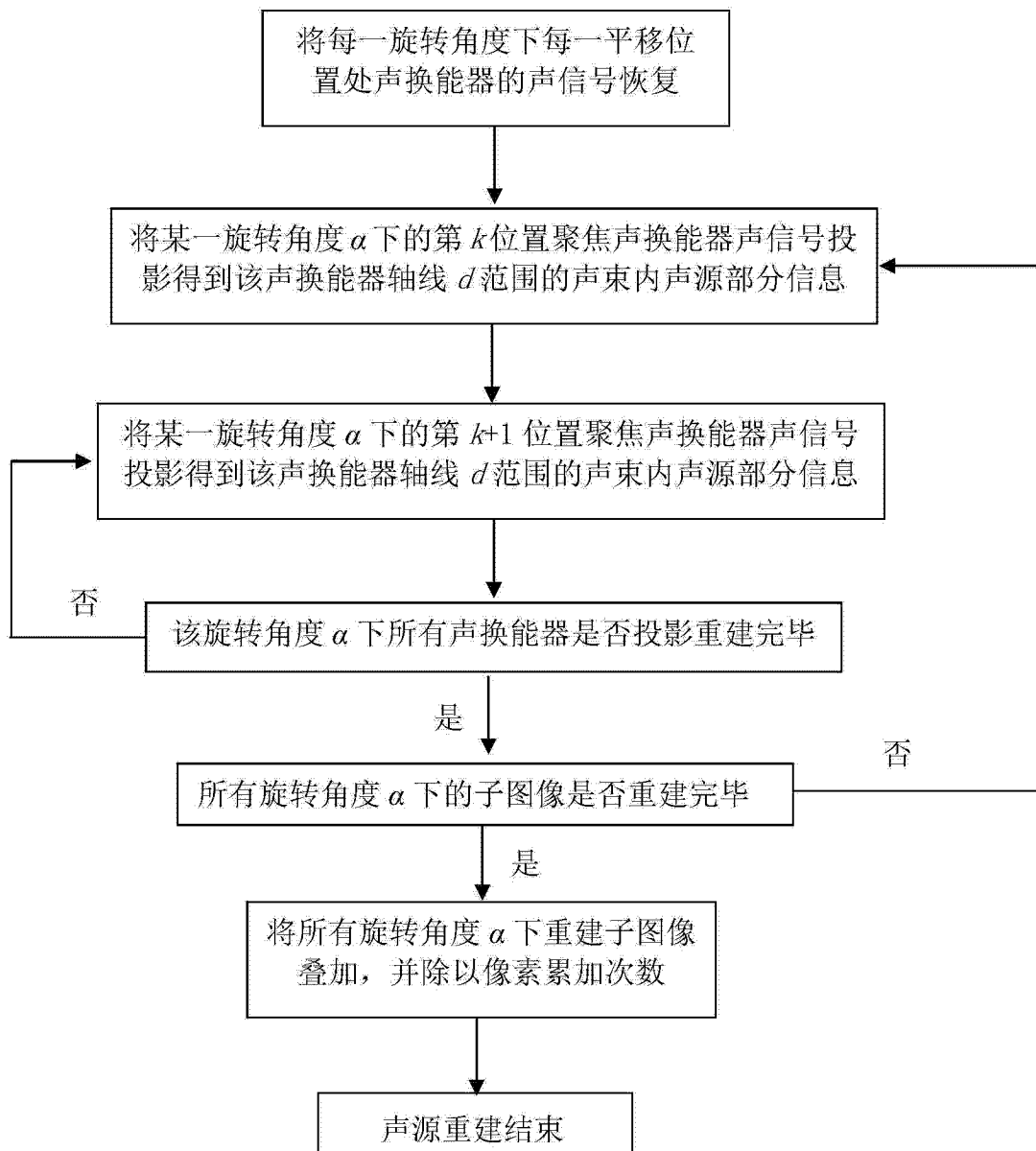


图 3

专利名称(译)	一种用于磁声成像的平移-圆周复合扫描方法		
公开(公告)号	CN103610462B	公开(公告)日	2015-07-08
申请号	CN201310614079.2	申请日	2013-11-26
[标]申请(专利权)人(译)	中国医学科学院生物医学工程研究所		
申请(专利权)人(译)	中国医学科学院生物医学工程研究所		
[标]发明人	刘志朋 殷涛 王世刚		
发明人	刘志朋 殷涛 王世刚		
IPC分类号	A61B5/053 A61B8/08		
审查员(译)	宋含		
其他公开文献	CN103610462A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

一种用于磁声成像的平移-圆周复合扫描方法，是采用平移扫描与圆周扫描相结合的复合扫描方式，具体包括：聚焦声换能器沿以介质仿体的中心为圆点，以设定的距离R为半径所形成的圆周上等间距分布的n条切线上分别依次采集所述的介质仿体所发出的超声波信号，其中n为4以上的整数；对所采集到的超声波信号进行声源重建。本发明能够精确定位声信号，结合图象重建算法即可得到介质仿体电特性分布信息，可用于测量生物组织的电阻抗变化。不仅弥补了磁声信号小易受到电子噪声干扰，信噪比低的缺点，还突破了圆周步进角度足够小的限制。可以全面准确的采集磁声信号，为后续重建提供足够信息。

