



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106373166 A

(43)申请公布日 2017.02.01

(21)申请号 201610893496.9

(22)申请日 2016.10.13

(71)申请人 重庆理工大学

地址 400054 重庆市巴南区李家沱红光大道69号

(72)发明人 崔少国 刘超

(74)专利代理机构 重庆信航知识产权代理有限公司 50218

代理人 穆祥维

(51) Int. Cl.

G06T 11/00(2006.01)

A61B 8/08(2006.01)

G06T 5/00(2006.01)

G06T 5/50(2006.01)

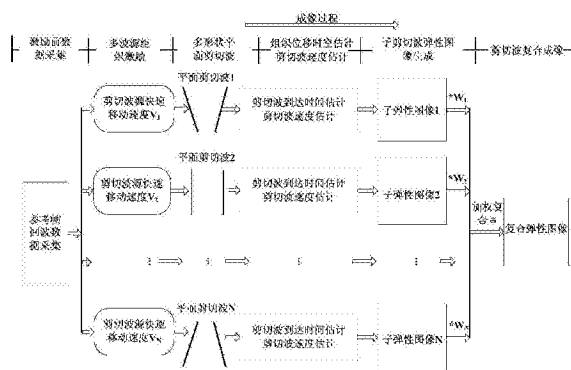
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法

(57)摘要

本发明提供一种基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法,通过调控声辐射力激励探头在组织纵向不同深度快速聚焦,形成快速移动的剪切波源,由于马赫锥效应多波源产生的剪切波相干干涉,形成向两侧移动的大幅度剪切波平面,利用超高速超声监测剪切波传播情况,估计剪切波速度,反演组织剪切模量,产生组织的弹性图;调控剪切波源速度或方向,形成不同形状的剪切波平面,不同形状剪切波平面产生不同子弹性图像,将子弹性图像加权复合形成最终弹性图。本发明可诱导组织产生较大位移,扩大成像区域,增强剪切波弹性成像的鲁棒性,形成不同形状的剪切波,不同形状剪切波形成的子弹性图像加权复合可降低成像噪声,显著提高剪切波弹性成像质量。



1.一种基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

S1、参考帧回波数据采集:采集组织回波射频信号 $S_0$ 作为参考帧,将其用于计算剪切波诱导的组织位移;

S2、组织激励与平面剪切波产生:调控探头产生推动组织的声辐射力,使其焦点在组织纵向不同深度快速聚焦,形成速度为 $V_1$ 的移动剪切波源,由于马赫锥效应,多波源诱导的剪切波产生相干干涉,形成向两侧传播的剪切波平面1;其中,移动速度 $V_1$ 大于剪切波速度 $c$ ;

S3、剪切波传播监测数据采集:在剪切波传播过程中,以大于1000Hz帧率采集组织回波射频信号 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_m$ ;

S4、组织位移估计与时间-位移序列图像生成:将参考帧 $S_0$ 与监测数据帧 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_m$ 分别进行互相关,用来估计剪切波传播诱导的组织轴向位移,采用二维互相关位移估计算法,根据下式迭代产生轴向位移估计值:

$$d_{m,n,l}^i = d_{m,n,l-1}^i + \frac{1}{\omega_0} \arg \left( e^{j\omega_0 d_{m,n,l-1}^i} \int_{m\Delta x}^{m\Delta x+X} \left( \int_{n\Delta y}^{n\Delta y+Y} s_0(x,y) s_i^*(x,y+d_{m,n,l-1}^i) dy \right) dx \right) \quad \text{式(3)}$$

其中, $d_{m,n,l}^i$ 表示第 $i$ 幅位移图像中第 $m$ 列第 $n$ 行追踪窗进行1次迭代后的位移估计值; $X$ 为侧向窗宽, $Y$ 为轴向窗长; $\Delta x$ 和 $\Delta y$ 分别是相邻估计窗之间侧向和轴向间隔; $m, n$ 表示估计窗的位置下标; $S_0$ 和 $S_i$ 分别表示参考帧回波和监测帧回波的基带信号; $\omega_0$ 表示中心角频率, $*$ 代表共轭, $j$ 是复信号, $\arg$ 是求反正切操作;且当 $i$ 取 $1, 2, 3, \dots, m$ 时,使用式(3)可以产生 $m$ 个不同时刻的位移图像;

S5、剪切波速度估计:根据时间-位移序列图像,采用时间峰值法估计剪切波传播方向每一个侧向检测位置的剪切波到达时间,然后使用飞行时间法估计检测区域每个检测位置的剪切波速度 $c$ ;

S6、子剪切波弹性图像 $G(V_1)$ 生成:根据已知公式 $\mu = \rho c^2$ 计算组织剪切模量 $\mu$ ,将组织剪切模量值映射成灰度图像产生子剪切波弹性图像 $G(V_1)$ ;

S7、调控探头改变剪切波源移动速度 $V_i$ 的大小或方向,形成 $N-1$ 种不同形状的马赫锥,由此产生 $N-1$ 种不同形状的剪切波平面2,剪切波平面3,剪切波平面4, ..., 剪切波平面 $N$ ;其中, $V_i$ 中的 $i = 2, 3, \dots, N$ ,且 $N \geq 2$ ;

S8、对每一种不同形状的剪切波平面,重复使用步骤S3、S4、S5和S6产生子剪切波弹性图像 $G(V_2), G(V_3), G(V_4), \dots, G(V_N)$ ;

S9、产生最终剪切波复合弹性图像:将 $N$ 幅子剪切波弹性图像 $G(V_1), G(V_2), G(V_3), G(V_4), \dots, G(V_N)$ 根据下式进行加权复合,产生最终弹性图像 $E$ :

$$E(N) = \sum_{i=1}^N W_i G(V_i) / \sum_{i=1}^N W_i \quad \text{式(4)}$$

其中, $W_i$ 是权值, $N$ 是复合子图像个数, $G(V_i)$ 是剪切波源移动速度为 $V_i$ 时产生的子剪切波图像, $E(N)$ 是 $N$ 个子剪切波弹性图像复合生成的图像。

2.根据权利要求1所述的基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法,其特征在于,所述步骤S2中,调控探头产生推动组织的声辐射力,使其焦点在组织纵向15毫米、20毫米、25毫米和30毫米4个不同深度快速聚焦。

3. 根据权利要求1所述的基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法,其特征在于,所述步骤S3中,在剪切波传播过程中,以3000Hz帧率采集组织回波射频信号 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_m$ 。

4. 根据权利要求1所述的基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法,其特征在于,所述步骤S6中,所述将组织剪切模量值映射成灰度图像包括:将最小剪切模量值映射成灰度0,将最大剪切模量值映射成灰度255,其他剪切模量值使用下式线性映射到0-255之间:

$$l = 255 (\mu - \mu_{\min}) / (\mu_{\max} - \mu_{\min}) \quad \text{式 (5)}$$

其中, $\mu_{\max}$ 是最大剪切模量值, $\mu_{\min}$ 是最小剪切模量值, $\mu$ 是被映射的剪切模量值, $l$ 是映射后的灰度值。

5. 根据权利要求1所述的基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法,其特征在于,所述步骤S9中,将N幅子剪切波弹性图像进行平均,根据下式进行平均加权复合,产生平均加权弹性图像E:

$$E(N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G(V_i) \quad \text{式 (6)}$$

其中,N是复合子图像个数, $G(V_i)$ 是剪切波源移动速度为 $V_i$ 时产生的子剪切波图像,E(N)是N个子剪切波弹性图像复合生成的图像。

## 一种基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及医学超声成像技术领域,具体涉及一种基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法。

### 背景技术

[0002] 组织的弹性(硬度)与其病理状态密切相关,因此弹性成像可以为疾病诊断提供重要依据。如乳腺癌、肝癌、前列腺癌、甲状腺结节等疾病发生时,组织弹性通常会发生改变。

[0003] 根据组织激励方式和响应检测方法不同,目前已相继提出了包括准静态压缩弹性成像和声辐射力脉冲弹性成像等在内的多种弹性成像方法。其中,准静态压缩弹性成像使用探头静压组织,通过检测组织的形变产生组织相对弹性图,但是准静态压缩弹性成像的伪像噪声明显并且仅适合于检测浅表组织;声辐射力脉冲弹性成像利用声辐射力激励组织,然后使用检测脉冲监测焦区组织位移变化情况,由于位移变化与组织弹性相关,因此可以通过位移变化分析产生组织弹性图。

[0004] 剪切波弹性成像是近年来提出的一种新型成像方式,它使用声辐射力激励组织产生剪切波,然后使用检测波束监测剪切波传播过程,通过对回波分析来估计剪切波速度。在组织线弹性简化模型中,剪切波速度与组织剪切模量存在如下关系:

$$[0005] \quad c = \sqrt{\mu/\rho} \quad \text{式 (1)}$$

[0006] 这里,c是剪切波速度, $\mu$ 是组织剪切模量, $\rho$ 是组织密度(常数)。因此,根据式(1)可以由剪切波速度直接反演组织剪切模量 $\mu$ ,即:

$$[0007] \quad \mu = \rho c^2 \quad \text{式 (2)}$$

[0008] 本发明的发明人经过研究发现,虽然现有剪切波弹性成像克服了准静态压缩弹性成像仅限于浅表器官及声辐射力脉冲弹性成像仅检测焦区组织相对弹性的缺点,并能提供人体内部器官的定量弹性参数值,但是仍然存在以下不足:1、出于安全考虑,声辐射力激励强度受限,不可能产生大幅度剪切波,因此诱导的组织位移较小,检测难度大;2、剪切波在传播过程中衰减很快,成像区域有限,离焦区较远的区域图像噪声大;3、靠单一剪切波源产生的剪切波来成像组织的弹性,鲁棒性差,很难产生可靠的高品质弹性图。

### 发明内容

[0009] 针对现有技术方法存在的技术问题,本发明提供一种基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法,该方法通过调控声辐射力在组织纵向不同深度动态连续聚焦,产生快速移动的剪切波源,利用马赫锥效应,多个波源产生的剪切波由于相干干涉形成大幅度向两侧传播的剪切波平面,从而扩大检测区域,降低图像噪声;改变剪切波源移动速度或方向,形成不同形状的剪切波平面,对每种形状的剪切波平面进行单独成像即产生不同子弹性图像,最后将各个子弹性图像进行加权复合形成最终的高品质定量弹性图,提高了剪切波弹性成像方法的鲁棒性。

[0010] 为了解决上述技术问题,本发明采用了如下的技术方案:

[0011] 一种基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法,该方法包括以下步骤:

[0012] S1、参考帧回波数据采集:采集组织回波射频信号 $S_0$ 作为参考帧,将其用于计算剪切波诱导的组织位移;

[0013] S2、组织激励与平面剪切波产生:调控探头产生推动组织的声辐射力,使其焦点在组织纵向不同深度快速聚焦,形成速度为 $V_1$ 的移动剪切波源,由于马赫锥效应,多波源诱导的剪切波产生相干干涉,形成向两侧传播的剪切波平面1;其中,移动速度 $V_1$ 大于剪切波速度 $c$ ;

[0014] S3、剪切波传播监测数据采集:在剪切波传播过程中,以大于1000Hz帧率采集组织回波射频信号 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_m$ ;

[0015] S4、组织位移估计与时间-位移序列图像生成:将参考帧 $S_0$ 与监测数据帧 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_m$ 分别进行互相关,用来估计剪切波传播诱导的组织轴向位移,采用二维互相关位移估计算法,根据下式迭代产生轴向位移估计值:

[0016]

$$d_{m,n,l}^i = d_{m,n,l-1} + \frac{1}{\omega_0} \arg \left( e^{j\omega_0 d_{m,n,l-1}} \int_{m\Delta x}^{m\Delta x+X} \left( \int_{n\Delta y}^{n\Delta y+Y} s_0(x,y) s_i^*(x,y+d_{m,n,l-1}) dy \right) dx \right) \quad \text{式(3)}$$

[0017] 其中, $d_{m,n,l}^i$ 表示第 $i$ 幅位移图像中第 $m$ 列第 $n$ 行追踪窗进行 $l$ 次迭代后的位移估计值; $X$ 为侧向窗宽, $Y$ 为轴向窗长; $\Delta x$ 和 $\Delta y$ 分别是相邻估计窗之间侧向和轴向间隔; $m, n$ 表示估计窗的位置下标; $S_0$ 和 $S_i$ 分别表示参考帧回波和监测帧回波的基带信号; $\omega_0$ 表示中心角频率,\*代表共轭, $j$ 是复信号, $\arg$ 是求反正切操作;且当 $i$ 取 $1, 2, 3, \dots, m$ 时,使用式(3)可以产生 $m$ 个不同时刻的位移图像;

[0018] S5、剪切波速度估计:根据时间-位移序列图像,采用时间峰值法估计剪切波传播方向每一个侧向检测位置的剪切波到达时间,然后使用飞行时间法估计检测区域每个检测位置的剪切波速度 $c$ ;

[0019] S6、子剪切波弹性图像 $G(V_1)$ 生成:根据已知公式 $\mu = \rho c^2$ 计算组织剪切模量 $\mu$ ,将组织剪切模量值映射成灰度图像产生子剪切波弹性图像 $G(V_1)$ ;

[0020] S7、调控探头改变剪切波源移动速度 $V_i$ 的大小或方向,形成 $N-1$ 种不同形状的马赫锥,由此产生 $N-1$ 种不同形状的剪切波平面2,剪切波平面3,剪切波平面4, ..., 剪切波平面 $N$ ;其中, $V_i$ 中的 $i = 2, 3, \dots, N$ ,且 $N \geq 2$ ;

[0021] S8、对每一种不同形状的剪切波平面,重复使用步骤S3、S4、S5和S6产生子剪切波弹性图像 $G(V_2), G(V_3), G(V_4), \dots, G(V_N)$ ;

[0022] S9、产生最终剪切波复合弹性图像:将 $N$ 幅子剪切波弹性图像 $G(V_1), G(V_2), G(V_3), G(V_4), \dots, G(V_N)$ 根据下式进行加权复合,产生最终弹性图像 $E$ :

$$E(N) = \frac{\sum_{i=1}^N W_i G(V_i)}{\sum_{i=1}^N W_i} \quad \text{式(4)}$$

[0024] 其中, $W_i$ 是权值, $N$ 是复合子图像个数, $G(V_i)$ 是剪切波源移动速度为 $V_i$ 时产生的子剪切波图像, $E(N)$ 是 $N$ 个子剪切波弹性图像复合生成的图像。

[0025] 与现有技术相比,本发明提供的基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法,通过调控声辐射力激励探头在组织纵向不同深度连续聚焦,形成快速移动的剪切波源,

由于马赫锥效应,多波源产生的剪切波相干干涉,形成向两侧移动的大幅度剪切波平面;利用超高速超声监测剪切波传播情况,估计剪切波速度,反演组织剪切模量,产生组织的弹性图;调控剪切波源速度或方向,形成不同形状的剪切波平面,针对每种形状剪切波平面产生不同子弹性图像,最后将子弹性图像加权复合形成最终弹性图。因此,本发明可增强剪切波弹性成像的鲁棒性,产生高质量的剪切波弹性图像;利用马赫锥效应,使多波源剪切波相干干涉产生大幅度剪切波平面,扩大了成像区域,减少了图像噪声;子弹性图像加权复合可进一步降低图像噪声,增强了成像鲁棒性,提高了成像品质。

[0026] 进一步,所述步骤S2中,调控探头产生推动组织的声辐射力,使其焦点在组织纵向15毫米、20毫米、25毫米和30毫米4个不同深度快速聚焦。

[0027] 进一步,所述步骤S3中,在剪切波传播过程中,以3000Hz帧率采集组织回波射频信号 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_m$ 。

[0028] 进一步,所述步骤S6中,所述将组织剪切模量值映射成灰度图像包括:将最小剪切模量值映射成灰度0,将最大剪切模量值映射成灰度255,其他剪切模量值使用下式线性映射到0-255之间:

$$I = 255 (\mu - \mu_{\min}) / (\mu_{\max} - \mu_{\min}) \quad \text{式 (5)}$$

[0030] 其中, $\mu_{\max}$ 是最大剪切模量值, $\mu_{\min}$ 是最小剪切模量值, $\mu$ 是被映射的剪切模量值, $I$ 是映射后的灰度值。

[0031] 进一步,所述步骤S9中,将N幅子剪切波弹性图像进行平均,根据下式进行平均加权复合,产生平均加权弹性图像E:

$$E(N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G(V_i) \quad \text{式 (6)}$$

[0033] 其中,N是复合子图像个数, $G(V_i)$ 是剪切波源移动速度为 $V_i$ 时产生的子剪切波图像,E(N)是N个子剪切波弹性图像复合生成的图像。

## 附图说明

[0034] 图1是本发明提供的基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法流程示意图。

[0035] 图2是本发明实施例提供的正向3马赫平面剪切波产生示意图。

[0036] 图3是本发明实施例提供的正向5马赫平面剪切波产生示意图。

[0037] 图4是本发明实施例提供的反向3马赫平面剪切波产生示意图。

## 具体实施方式

[0038] 为了使本发明实现的技术手段、创作特征、达成目的与功效易于明白了解,下面结合具体图示,进一步阐述本发明。

[0039] 在本发明的描述中,需要理解的是,术语“纵向”、“径向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。在本发明的描述中,除非另有说明,“多个”的含义是两个或两个

以上。

[0040] 在本发明的描述中,需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0041] 请参考图1-图4所示,本发明以正向3马赫、正向5马赫和反向3马赫三种平面剪切波为例,说明剪切波复合弹性成像方法。假设组织为均匀弹性组织,剪切波速度为2米/秒,则剪切波源移动速度分别为6米/秒、10米/秒和-6米/秒, $N=3$ 。具体地,本发明提供的基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法包括以下步骤:

[0042] S1、参考帧回波数据采集:采集组织回波射频信号 $S_0$ 作为参考帧,将其用于计算剪切波诱导的组织位移;

[0043] S2、组织激励与平面剪切波产生:调控探头产生推动组织的声辐射力,使其焦点在组织纵向15毫米、20毫米、25毫米和30毫米4个不同深度由浅到深快速聚焦,例如以剪切波速度 $c$ 的2-10倍速度聚焦,形成速度为6米/秒的移动剪切波源,具体请参图2所示,由于马赫锥效应,4波源诱导的剪切波产生相干干涉,形成向两侧传播的剪切波平面1;当然,本领域的技术人员在前述聚焦个数的实施方式基础上,还可以根据实际情况对在组织纵向不同深度快速聚焦的个数进行增减或变化,以能够满足实际需要;

[0044] S3、剪切波传播监测数据采集:在剪切波传播过程中,以大于1000Hz帧率采集组织回波射频信号 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_m$ ,例如以3000Hz帧率采集组织回波射频信号 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_m$ ;

[0045] S4、组织位移估计与时间-位移序列图像生成:将参考帧 $S_0$ 与监测数据帧 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_m$ 分别进行互相关,用来估计剪切波传播诱导的组织轴向位移,采用二维互相关位移估计算法,根据下式迭代产生轴向位移估计值:

[0046]

$$d_{m,n,l}^i = d_{m,n,l-1} + \frac{1}{\omega_0} \arg \left( e^{j\omega_0 d_{m,n,l-1}} \int_{m\Delta x}^{m\Delta x+X} \left( \int_{n\Delta y}^{n\Delta y+Y} s_0(x,y) s_i^*(x,y+d_{m,n,l-1}) dy \right) dx \right) \quad \text{式(3)}$$

[0047] 其中, $d_{m,n,l}^i$ 表示第 $i$ 幅位移图像中第 $m$ 列第 $n$ 行追踪窗进行1次迭代后的位移估计值; $X$ 为侧向窗宽, $Y$ 为轴向窗长; $\Delta x$ 和 $\Delta y$ 分别是相邻估计窗之间侧向和轴向间隔; $m, n$ 表示估计窗的位置下标; $S_0$ 和 $S_i$ 分别表示参考帧回波和监测帧回波的基带信号; $\omega_0$ 表示中心角频率,\*代表共轭, $j$ 是复信号, $\arg$ 是求反正切操作;且当 $i$ 取1,2,3, $\dots, m$ 时,使用式(3)可以产生 $m$ 个不同时刻的位移图像;当然,本领域的技术人员在本实施方式的基础上,还可以采用其他本领域技术人员熟知的位移估计算法进行计算;

[0048] S5、剪切波速度估计:根据时间-位移序列图像,采用时间峰值法(Time-To-Peak, TTP)估计剪切波传播方向每一个侧向检测位置的剪切波到达时间,然后使用飞行时间法(Time-Of-Flight, TOF)估计检测区域每个检测位置的剪切波速度 $c$ ;其中,采用时间峰值法估计剪切波到达时间和使用飞行时间法估计剪切波速度的具体方法已为本领域技术人员所熟知,在此不再赘述;

[0049] S6、子剪切波弹性图像 $G(V_i)$ 生成:根据已知公式 $\mu = \rho c^2$ 即式(2)计算组织剪切模量

$\mu$ ,然后将剪切模量值映射成灰度图像产生子剪切波弹性图像 $G(V_1)$ ;作为一种具体实施方式,可将最小剪切模量值映射成灰度0,将最大剪切模量值映射成灰度255,其他剪切模量值使用下式线性映射到0-255之间:

$$[0050] \quad l = 255 (\mu - \mu_{\min}) / (\mu_{\max} - \mu_{\min}) \quad \text{式(5)}$$

[0051] 其中, $\mu_{\max}$ 是最大剪切模量值, $\mu_{\min}$ 是最小剪切模量值, $\mu$ 是被映射的剪切模量值, $l$ 是映射后的灰度值;当然,本领域的技术人员在本实施方式的基础上,还可以采用其他本领域技术人员熟知的方法进行映射;

[0052] S7、又一次调控探头,使其焦点在组织纵向15毫米、20毫米、25毫米和30毫米4个不同深度由浅到深快速聚焦,例如以剪切波速度 $c$ 的2-10倍速度聚焦,形成速度为10米/秒的移动剪切波源,由于马赫锥效应,产生又一种不同形状的剪切波平面2,具体请参图3所示;对于剪切波平面2,重复使用步骤S3、S4、S5和S6产生子剪切波弹性图像 $G(V_2)$ ;

[0053] S8、再一次调控探头,改变聚焦方向,使其焦点在组织纵向30毫米、25毫米、20毫米和15毫米4个不同深度由深到浅快速聚焦,例如以剪切波速度 $c$ 的2-10倍速度聚焦,形成速度为-6米/秒的移动剪切波源,由于马赫锥效应,产生再一种不同形状的剪切波平面3,具体请参图4所示;对于剪切波平面3,重复使用步骤S3、S4、S5和S6产生子剪切波弹性图像 $G(V_3)$ ;

[0054] S9、产生最终剪切波复合弹性图像:将3幅子剪切波弹性图像 $G(V_1)$ , $G(V_2)$ , $G(V_3)$ 根据下式进行加权复合,产生最终弹性图E:

$$[0055] \quad E(3) = \frac{\sum_{i=1}^3 W_i G(V_i)}{\sum_{i=1}^3 W_i}$$

[0056] 其中, $W_i$ 是权值, $G(V_i)$ 是剪切波源移动速度为 $V_i$ 时产生的子剪切波图像, $E(3)$ 是3个子剪切波弹性图像复合生成的最终弹性图像;作为一种实施方式,这里权值取 $W_1=1$ , $W_2=2$ , $W_3=1$ 。

[0057] 作为优选实施例,所述步骤S9中,所述权值 $W_1$ 、 $W_2$ 和 $W_3$ 的取值相等,即将3幅子剪切波弹性图像进行平均,由此可根据下式进行平均加权复合,产生平均加权弹性图像E:

$$[0058] \quad E(3) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 G(V_i)$$

[0059] 其中, $G(V_i)$ 是剪切波源移动速度为 $V_i$ 时产生的子剪切波图像, $E(3)$ 是3个子剪切波弹性图像复合生成的图像。

[0060] 当然,本领域的技术人员在前述实施的基础上,还可以其他多种的平面剪切波为例,来实现本发明提供的基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法,其具体的剪切波复合弹性成像方法与前述三种平面剪切波类似,在此不再赘述。

[0061] 与现有技术相比,本发明提供的基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法,通过调控声辐射力激励探头在组织纵向不同深度连续聚焦,形成快速移动的剪切波源,由于马赫锥效应,多波源产生的剪切波相干干涉,形成向两侧移动的大幅度剪切波平面;利用超高速超声监测剪切波传播情况,估计剪切波速度,反演组织剪切模量,产生组织的弹性图;调控剪切波源速度或方向,形成不同形状的剪切波平面,针对每种形状剪切波平面产生不同子弹性图像,最后将子弹性图像加权复合形成最终弹性图。因此,本发明可增强剪切波弹性成像的鲁棒性,产生高质量的剪切波弹性图像;利用马赫锥效应,使多波源剪切波相干

干涉产生大幅度剪切波平面,扩大了成像区域,减少了图像噪声;子弹性图像加权复合可进一步降低图像噪声,增强了成像鲁棒性,提高了成像品质。

[0062] 最后说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的宗旨和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

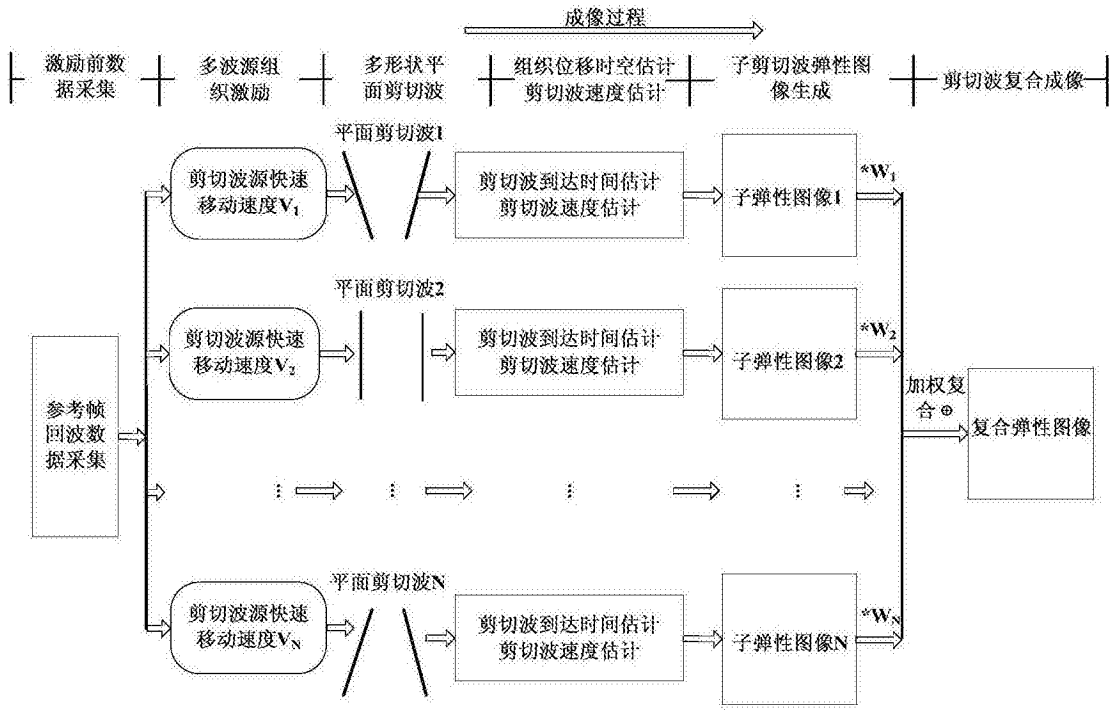


图1

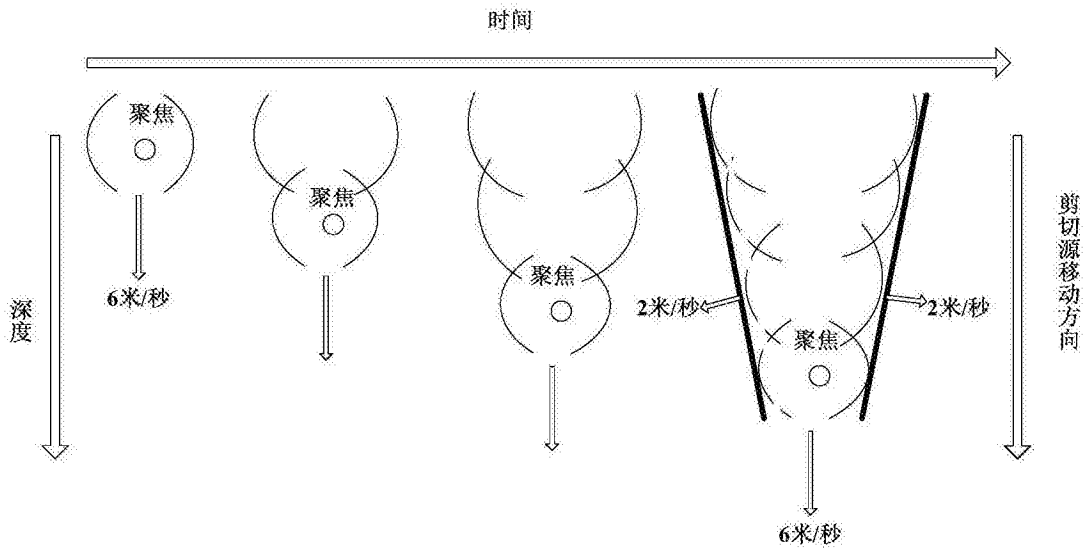


图2

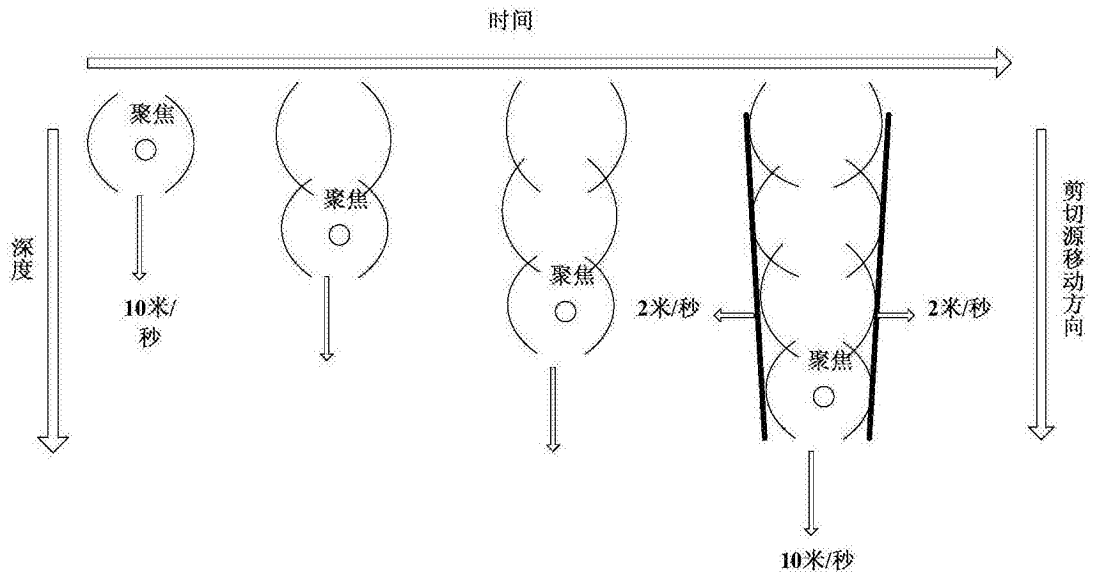


图3

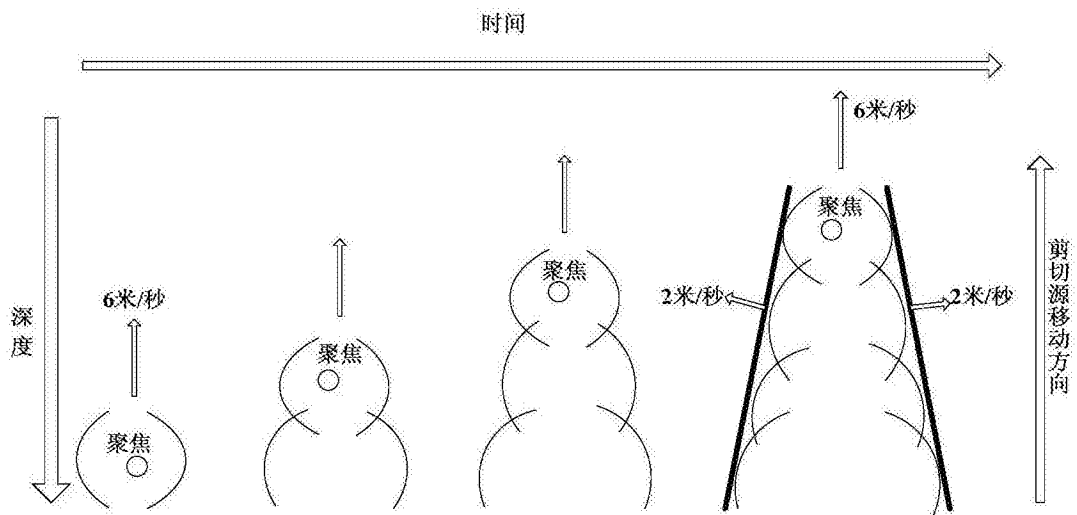


图4

专利名称(译)	一种基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN106373166A</a>	公开(公告)日	2017-02-01
申请号	CN201610893496.9	申请日	2016-10-13
[标]申请(专利权)人(译)	重庆理工大学		
申请(专利权)人(译)	重庆理工大学		
当前申请(专利权)人(译)	重庆理工大学		
[标]发明人	崔少国 刘超		
发明人	崔少国 刘超		
IPC分类号	G06T11/00 A61B8/08 G06T5/00 G06T5/50		
CPC分类号	A61B8/485 A61B8/5207 G06T5/009 G06T5/50 G06T11/003 G06T11/008		
其他公开文献	CN106373166B		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

本发明提供一种基于马赫锥效应的多形状平面剪切波复合成像方法，通过调控声辐射力激励探头在组织纵向不同深度快速聚焦，形成快速移动的剪切波源，由于马赫锥效应多波源产生的剪切波相干干涉，形成向两侧移动的大幅度剪切波平面，利用超高速超声监测剪切波传播情况，估计剪切波速度，反演组织剪切模量，产生组织的弹性图；调控剪切波源速度或方向，形成不同形状的剪切波平面，不同形状剪切波平面产生不同子弹性图像，将子弹性图像加权复合形成最终弹性图。本发明可诱导组织产生较大位移，扩大成像区域，增强剪切波弹性成像的鲁棒性，形成不同形状的剪切波，不同形状剪切波形成的子弹性图像加权复合可降低成像噪声，显著提高剪切波弹性成像质量。

