



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104188689 A

(43) 申请公布日 2014. 12. 10

(21) 申请号 201410378475. 4

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2014. 08. 01

A61B 8/08 (2006. 01)

(66) 本国优先权数据

201310514494. 0 2013. 10. 25 CN

(71) 申请人 中国科学院深圳先进技术研究院

地址 518055 广东省深圳市南山区西丽大学
城学苑大道 1068 号

(72) 发明人 王丛知 郑海荣 曾成志 杨戈
冯歌 肖杨

(74) 专利代理机构 广州华进联合专利商标代理
有限公司 44224

代理人 吴平

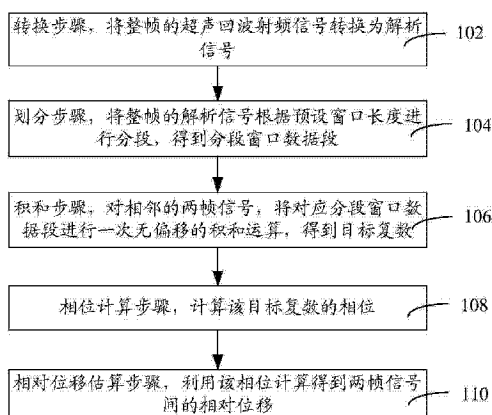
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

基于超声回波射频信号的组织位移估算方法和系统

(57) 摘要

本发明涉及一种基于超声回波射频信号的组织位移估算方法和系统。所述方法,包括以下步骤:转换步骤,将整帧的超声回波射频信号转换为解析信号;划分步骤,将整帧的解析信号根据预设窗口长度进行分段,得到分段窗口数据段;积和步骤,对相邻的两帧信号,将对应分段窗口数据段进行一次无偏移的积和运算,得到目标复数;相位计算步骤,计算所述目标复数的相位;相对位移估算步骤,利用所述相位计算得到两帧信号间的相对位移。上述基于超声回波射频信号的组织位移估算方法,将整帧的超声回波射频信号一次转换为解析信号,极大的提高了计算速度,计算两帧信号的相对位移只需经过一次积和运算即可得到,减小了计算量,提高了计算效率,且复杂性低。



1. 一种基于超声回波射频信号的组织位移估算方法,包括以下步骤:

转换步骤,将整帧的超声回波射频信号转换为解析信号;

划分步骤,将整帧的解析信号根据预设窗口长度进行分段,得到分段窗口数据段;

积和步骤,对相邻的两帧信号,将对应分段窗口数据段进行一次无偏移的积和运算,得到目标复数;

相位计算步骤,计算所述目标复数的相位;

相对位移估算步骤,利用所述相位计算得到两帧信号间的相对位移。

2. 根据权利要求1所述的基于超声回波射频信号的组织位移估算方法,其特征在于,在所述转换步骤之前,还包括:

分块步骤,将超声回波射频信号分成多个数据矩阵,每个数据矩阵包括若干帧整帧的超声回波射频信号,每一帧超声回波射频信号对应于超声探头轴向方向的一条超声扫描线;

所述转换步骤包括:

将每个数据矩阵的整帧的超声回波射频信号转换为解析信号;

在所述相对位移估算步骤之后,还包括:

绝对位移估算步骤,将多个数据矩阵的相对位移分别进行时间方向上的累加,得到绝对位移。

3. 根据权利要求2所述的基于超声回波射频信号的组织位移估算方法,其特征在于,所述转换步骤包括:

将整帧的超声回波射频信号采用傅里叶变换和逆变换得到解析信号。

4. 根据权利要求2所述的基于超声回波射频信号的组织位移估算方法,其特征在于,所述转换步骤采用由图形处理器实现的第一内核函数进行处理,所述第一内核函数的 block 数为数据矩阵的行数,所述行数是指整帧的超声回波射频信号的帧数,所述第一内核函数的 thread 数为数据矩阵的列数,所述列数是指超声探头轴向方向扫描线上的数据点数。

5. 根据权利要求2所述的基于超声回波射频信号的组织位移估算方法,其特征在于,所述积和步骤、相位计算步骤和相对位移估算步骤采用由图形处理器实现的第二内核函数计算;所述第二内核函数的 block 数为数据矩阵的行数减1,每个 block 的 thread 数为分段窗口数,所述分段窗口数通过所述数据矩阵的列数与窗口宽度之差,除以步长,再加1得到,所述步长是指两个相邻的分段窗口除了互相重叠的部分外所包含的数据点数。

6. 根据权利要求1所述的基于超声回波射频信号的组织位移估算方法,其特征在于,所述相对位移估算步骤还包括:若两帧信号各个对应的分段窗口数据段之间的相对位移小于超声回波射频信号波长的四分之一,则无需进行额外计算;若两帧信号间的相对位移大于等于超声回波射频信号波长的四分之一,则进行时域互相关计算和结果修正计算。

7. 一种基于超声回波射频信号的组织位移估算系统,其特征在于,包括:

转换模块,用于将整帧的超声回波射频信号转换为解析信号;

划分模块,用于将整帧的解析信号根据预设窗口长度进行分段,得到分段窗口数据段;

积和模块,用于对相邻的两帧信号,将对应分段窗口数据段进行一次无偏移的积和运

算,得到目标复数;

相位计算模块,用于计算所述目标复数的相位;

相对位移估算模块,用于利用所述相位计算得到两帧信号间的相对位移。

8. 根据权利要求7所述的基于超声回波射频信号的组织位移估算系统,其特征在于,所述系统还包括分块模块和绝对位移估算模块,

所述分块模块用于将超声回波射频信号分成多个数据矩阵,每个数据矩阵包括若干帧整帧的超声回波射频信号,每一帧超声回波射频信号对应于超声探头轴向方向的一条超声扫描线;

所述转换模块还用于将每个数据矩阵的整帧的超声回波射频信号转换为解析信号;

所述绝对位移估算模块用于将多个数据矩阵的相对位移分别进行时间方向上的累加,得到绝对位移。

9. 根据权利要求8所述的基于超声回波射频信号的组织位移估算系统,其特征在于,所述转换模块还用于将整帧的超声回波射频信号采用傅里叶变换和逆变换得到解析信号。

10. 根据权利要求8所述的基于超声回波射频信号的组织位移估算系统,其特征在于,所述转换模块采用由图形处理器实现的第一内核函数进行处理,所述第一内核函数的 block 数为数据矩阵的行数所述行数是指整帧的超声回波射频信号的帧数,所述第一内核函数的 thread 数为数据矩阵的列数,所述列数是指超声探头轴向方向扫描线上的数据点数。

11. 根据权利要求8所述的基于超声回波射频信号的组织位移估算系统,其特征在于,所述积和模块、相位计算模块和相对位移估算模块采用由图形处理器实现的第二内核函数计算;所述第二内核函数的 block 数为数据矩阵的行数减1,每个 block 的 thread 数为分段窗口数,所述分段窗口数通过所述数据矩阵的列数与窗口宽度之差,除以步长,再加1得到,所述步长是指两个相邻的分段窗口除了互相重叠的部分外所包含的数据点数。

12. 根据权利要求7所述的基于超声回波射频信号的组织位移估算系统,其特征在于,所述相对位移估算模块还用于若两帧信号各个对应的分段窗口数据段之间的相对位移小于超声回波射频信号波长的四分之一,则无需进行额外计算;以及若两帧信号间的相对位移大于等于超声回波射频信号波长的四分之一,则进行时域互相关计算和结果修正计算。

基于超声回波射频信号的组织位移估算方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及超声成像处理领域,特别是涉及一种基于超声回波射频信号的组织位移估算方法和系统。

背景技术

[0002] 声辐射力脉冲弹性成像 (Acoustic Radiation Force Impulse Imaging, ARFI) 是利用安全功率范围内的聚焦超声波束产生的声辐射力,使生物组织局部区域产生微小变形并形成沿侧向传播的剪切波,再利用超声回波跟踪技术对微小形变进行追踪并计算出剪切波的侧向传播速度,最后利用弹性重构算法由剪切波速度定量估算组织的弹性模量的一种超声弹性成像技术。该声辐射力脉冲弹性成像技术被应用于乳腺癌检测、动脉粥样斑块诊断、聚焦超声治疗安全监控等方面。

[0003] 采用声辐射力脉冲弹性成像测量组织位移中,存在相邻的两帧超声射频回波信号之间的组织位移所引起的信号相对时间延迟,通常不可能正好被射频回波信号的数字采样周期整除,若直接使用时域互相关运算,只能得到对应于信号数字采样周期整数倍的时间延迟,而小于一个数字采样周期的时间延迟部分将被忽略,此时的组织位移计算结果将产生较大误差。为了解决误差较大的问题,(1)Cespedes 等在 1995 年提出,进行信号的时域互相关后,找到互相关系数的极大值点的位置,对极大值点及其前后两点(共 3 个点)进行抛物线插值,再在插值范围内重新找到其极大值点的位置,这一位置偏离初始位置的大小,即为信号的相对时间延迟,然而该方法需要进行抛物线拟合和插值,计算量大且对低于一个采样间隔的位移估计精度不高;(2)由 Cabot 在 1981 年提出的,将所得的互相关系数的实数数字信号构造为复数的解析信号,采用在互相关系数的数字信号极大值附近的相位过零点,对应于精确的互相关系数连续信号的极大值点,通过精确极大值点的位置偏离初始位置的大小即可得到信号的精确相对时间延迟,然而该方法需要计算三次积和运算,计算量大;(3)基于 Doppler(多普勒)速度估计的位移估计算法,需要将原始的超声射频回波信号进行 IQ 分解,即得到 In-phase(复数包络信号的实部)和 Quadrature phase(复数包络信号的虚部)两路信号,计算量大,复杂性高、计算效率低。

发明内容

[0004] 基于此,有必要针对现有估算组织位移的计算效率低,复杂性高的问题,提供一种计算效率高且复杂性低的基于超声回波射频信号的组织位移估算方法。

[0005] 此外,还有必要提供一种计算效率高且复杂性低的基于超声回波射频信号的组织位移估算系统。

[0006] 一种基于超声回波射频信号的组织位移估算方法,包括以下步骤:

[0007] 转换步骤,将整帧的超声回波射频信号转换为解析信号;

[0008] 划分步骤,将整帧的解析信号根据预设窗口长度进行分段,得到分段窗口数据段;

[0009] 积和步骤,对相邻的两帧信号,将对应分段窗口数据段进行一次无偏移的积和运算,得到目标复数;

[0010] 相位计算步骤,计算所述目标复数的相位;

[0011] 相对位移估算步骤,利用所述相位计算得到两帧信号间的相对位移。在其中一个实施例中,在所述转换步骤之前,还包括:

[0012] 分块步骤,将超声回波射频信号分成多个数据矩阵,每个数据矩阵包括若干帧整帧的超声回波射频信号,每一帧超声回波射频信号对应于超声探头轴向方向的一条超声扫描线;

[0013] 所述转换步骤包括:

[0014] 将每个数据矩阵的整帧的超声回波射频信号转换为解析信号;

[0015] 在所述相对位移估算步骤之后,还包括:

[0016] 绝对位移估算步骤,将多个数据矩阵的相对位移分别进行时间方向上的累加,得到绝对位移。

[0017] 在其中一个实施例中,所述转换步骤包括:

[0018] 将整帧的超声回波射频信号采用傅里叶变换和逆变换得到解析信号。

[0019] 在其中一个实施例中,所述转换步骤采用由图形处理器实现的第一内核函数进行处理,所述第一内核函数的 block 数为数据矩阵的行数,所述行数是指整帧的超声回波射频信号的帧数,所述第一内核函数的 thread 数为数据矩阵的列数,所述列数是指超声探头轴向方向扫描线上的数据点数。

[0020] 在其中一个实施例中,所述积和步骤、相位计算步骤和相对位移估算步骤采用由图形处理器实现的第二内核函数计算;所述第二内核函数的 block 数为数据矩阵的行数减 1,每个 block 的 thread 数为分段窗口数,所述分段窗口数通过所述数据矩阵的列数与窗口宽度之差,除以步长,再加 1 得到,所述步长是指两个相邻的分段窗口除了互相重叠的部分外所包含的数据点数。

[0021] 在其中一个实施例中,所述相对位移估算步骤还包括:若两帧信号各个对应的分段窗口数据段之间的相对位移小于超声回波射频信号波长的四分之一,则无需进行额外计算;若两帧信号间的相对位移大于等于超声回波射频信号波长的四分之一,则进行时域互相关计算和结果修正计算。

[0022] 一种基于超声回波射频信号的组织位移估算系统,包括:

[0023] 转换模块,用于将整帧的超声回波射频信号转换为解析信号;

[0024] 划分模块,用于将整帧的解析信号根据预设窗口长度进行分段,得到分段窗口数据段;

[0025] 积和模块,用于对相邻的两帧信号,将对应分段窗口数据段进行一次无偏移的积和运算,得到目标复数;

[0026] 相位计算模块,用于计算所述目标复数的相位;

[0027] 相对位移估算模块,用于利用所述相位计算得到两帧信号间的相对位移。

[0028] 在其中一个实施例中,所述系统还包括分块模块和绝对位移估算模块,

[0029] 所述分块模块用于将超声回波射频信号分成多个数据矩阵,每个数据矩阵包括若干帧整帧的超声回波射频信号,每一帧超声回波射频信号对应于超声探头轴向方向的一条

超声扫描线；

[0030] 所述转换模块还用于将每个数据矩阵的整帧的超声回波射频信号转换为解析信号；

[0031] 所述绝对位移估算模块用于将多个数据矩阵的相对位移分别进行时间方向上的累加，得到绝对位移。

[0032] 在其中一个实施例中，所述转换模块还用于将整帧的超声回波射频信号采用傅里叶变换和逆变换得到解析信号。

[0033] 在其中一个实施例中，所述转换模块采用由图形处理器实现的第一内核函数进行处理，所述第一内核函数的 block 数为数据矩阵的行数，所述行数是指整帧的超声回波射频信号的帧数，所述第一内核函数的 thread 数为数据矩阵的列数，所述列数是指超声探头轴向方向扫描线上的数据点数。

[0034] 在其中一个实施例中，所述积和模块、相位计算模块和相对位移估算模块采用由图形处理器实现的第二内核函数计算；所述第二内核函数的 block 数为数据矩阵的行数减 1，每个 block 的 thread 数为分段窗口数，所述分段窗口数通过所述数据矩阵的列数与窗口宽度之差，除以步长，再加 1 得到，所述步长是指两个相邻的分段窗口除了互相重叠的部分外所包含的数据点数。

[0035] 在其中一个实施例中，所述相对位移估算模块还用于若两帧信号各个对应的分段窗口数据段之间的相对位移小于超声回波射频信号波长的四分之一，则无需进行额外计算；以及若两帧信号间的相对位移大于等于超声回波射频信号波长的四分之一，则进行时域互相关计算和结果修正计算。

[0036] 上述基于超声回波射频信号的组织位移估算方法和系统，将整帧的超声回波射频信号一次转换为解析信号，极大的提高了计算速度，计算两帧信号的相对位移只需经过一次积和运算即可得到，不需进行多个积和运算，简化了计算步骤，且不需进行信号分解，简化了计算，减小了计算量，大大缩短了计算时间，提高了计算效率，且复杂性低。

[0037] 另外，将整帧的超声回波射频信号一次进行傅里叶变换和一次傅里叶逆变换，相比于对分段后窗口数据段进行几十次到几百次的傅里叶变换和傅里叶逆变换，极大的提高了计算速度；当采用图形处理器实现时，可以利用多个 block 数和 thread 数并行处理，提高了处理效率。

附图说明

[0038] 图 1 为一个实施例中基于超声回波射频信号的组织位移估算方法的流程图；

[0039] 图 2 另为一个实施例中基于超声回波射频信号的组织位移估算方法的流程图；

[0040] 图 3 为一个实施例中基于超声回波射频信号的组织位移估算系统的结构框图；

[0041] 图 4 为一个实施例中基于超声回波射频信号的组织位移估算系统的结构框图。

具体实施方式

[0042] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0043] 图 1 为一个实施例中基于超声回波射频信号的组织位移估算方法的流程图。该基于超声回波射频信号的组织位移估算方法,包括以下步骤:

[0044] 步骤 102,转换步骤,将整帧的超声回波射频信号转换为解析信号。

[0045] 本实施例中,将整帧的超声回波射频信号采用傅里叶变换和逆变换得到解析信号,即将实数信号转换为复数信号。具体转换过程为:首先将时域信号通过傅里叶变换转为频域信号,然后将频域信号的实部乘以 2,虚部置 0,然后将所得信号进行傅里叶逆变换,得到对应原来时域信号的解析信号。将整帧的超声回波射频信号一次进行傅里叶变换和一次傅里叶逆变换,相比于对分段后窗口数据段进行几十次到几百次的傅里叶变换和傅里叶逆变换,极大的提高了计算速度。

[0046] 步骤 104,划分步骤,将整帧的解析信号根据预设窗口长度进行分段,得到分段窗口数据段。

[0047] 具体的,预设窗口长度可根据需要设定。

[0048] 步骤 106,积和步骤,对相邻的两帧信号,将对应分段窗口数据段进行一次无偏移的积和运算,得到目标复数。

[0049] 具体的,先将对应的数据段进行复数相乘(第一帧数据点的复数,乘以第二帧对应数据点的复数共轭),再将得到的所有乘积相加,得到一个复数形式的和 $a+jb$,即目标复数。其中, a 、 b 为实数, j 为虚部标识符。例如第一帧的第 n 个分段窗口数据段中包括数据点 $x_1+jy_1, \dots, x_n+jy_n$,第二帧的对应的第 n 个分段窗口数据段中包括数据点 $z_1-jc_1, \dots, z_n-jc_n$,则 $a+jb = (x_1+jy_1) \times (z_1-jc_1) + \dots + (x_n+jy_n) \times (z_n-jc_n)$ 。

[0050] 步骤 108,相位计算步骤,计算该目标复数的相位。

[0051] 具体的,目标复数的相位 $\varphi = \arctan(b/a)$,由 a 、 b 的正负符号,可将相位 φ 的范围扩展到 $[-\pi, \pi]$ 。这个范围所对应的相对位移的范围为 $[-L, L]$, L 表示超声回波射频信号波长的四分之一。

[0052] 步骤 110,相对位移估算步骤,利用该相位计算得到两帧信号间的相对位移。

[0053] 具体的,相对位移的计算公式为:

[0054]

$$d = \frac{c}{4\pi f} \varphi$$

[0055] 其中, d 为相对位移, c 为超声声速, f 为超声发射频率, φ 为相位。

[0056] 上述基于超声回波射频信号的组织位移估算方法,将整帧的超声回波射频信号一次转换为解析信号,极大的提高了计算速度,计算两帧信号的相对位移只需经过一次积和运算即可得到,不需进行多个积和运算,简化了计算步骤,且不需进行信号分解,简化了计算,减小了计算量,大大缩短了计算时间,提高了计算效率,且复杂性低。

[0057] 在一个实施例中,上述相对位移估算步骤还包括:若两帧信号各个对应的分段窗口数据段之间的相对位移小于超声回波射频信号波长的四分之一,则无需进行额外计算;若两帧信号间的相对位移大于等于超声回波射频信号波长的四分之一,则还需要进行额外的时域互相关计算和结果修正计算。我们以 L 表示超声回波射频信号波长的四分之一, K 表示一个采样间隔的长度(可由公式 $0.5 \cdot c/f_s$ 计算, c 为超声声速, f_s 为超声回波射频信号

的采样频率),则相对位移 d 可以表示为 L 的倍数,即 $d = (N+m)*L$,其中 N 是未知的整数部分, m 是已知的小数部分, m 即对应于上述的 φ/π ,同时,由互相关计算的结果可知相对位移 d 还可以表示为 K 的倍数, $M*K < d < (M+1)*K$,即 d 的取值范围在 $M*K$ 和 $(M+1)*K$ 之间。由以上关系以及 m 的取值范围,可以容易地计算出 N ,并得到修正后的相对位移 d 。

[0058] 如图 2 所示,为另一个实施例中基于超声回波射频信号的组织位移估算方法的流程图。在其中一个实施例中,在该转换步骤之前,还包括:

[0059] 步骤 202,分块步骤,将超声回波射频信号分成多个数据矩阵,每个数据矩阵包括若干帧整帧的超声回波射频信号,每一帧超声回波射频信号对应于超声探头轴向方向的一条超声扫描线。

[0060] 具体的,将超声回波射频信号按侧向采集位置分为 N 个数据矩阵,每个数据矩阵大小为 $row \times col$,表示包含 row 帧数据(时间方向),每帧有 col 个元素(深度方向)。

[0061] 步骤 204,转换步骤,将每个数据矩阵的整帧的超声回波射频信号转换为解析信号。

[0062] 转换步骤采用由图形处理器(Graphics Process Unit,GPU)实现的第一内核函数进行处理,第一内核函数的 block 数为数据矩阵的行数,即整帧的超声回波射频信号的帧数,第一内核函数的 thread 数为数据矩阵的列数,即超声探头轴向方向扫描线上的数据点数。

[0063] 具体的,采用 GPU 优化设计,傅里叶变换和傅里叶逆变换均使用 CUDA(CPU+GPU) 的 CUFFT 库函数 `cufftExecC2C`。对于频域信号的处理采用内核函数 `kernel_1` 实现。CPU 是 Central Processing Unit,中央处理器。

[0064] 第一内核函数调用顺序:1)`cufftExecC2C`(正变换);2)`kernel_1`;3)`cufftExecC2C`(逆变换)。

[0065] 第一内核函数中各步计算所采用的 blocks 数量和 threads 数量相同,均为 `blocks = dim3(input->rows)`; `threads = dim3(input->cols)`, `input->rows` 是数据矩阵的行数, `input->cols` 是数据矩阵的列数。

[0066] 步骤 206,划分步骤,将整帧的解析信号根据预设窗口长度进行分段,得到分段窗口数据段。

[0067] 具体的,在深度方向上将整帧的解析信号根据预设窗口长度进行分段。其中,预设窗口长度可根据需要设定。

[0068] 步骤 208,积和步骤,对相邻的两帧信号,将对应分段窗口数据段进行一次无偏移的积和运算,得到目标复数。

[0069] 具体的,对时间方向上相邻的两帧信号,将深度方向上对应的分段窗口数据段进行一次无偏移的积和运算,得到目标复数。

[0070] 步骤 210,相位计算步骤,计算该目标复数的相位。

[0071] 具体的,目标复数的相位 $\varphi = \arctan(b/a)$,并可根据 a 、 b 的符号将 φ 的取值范围扩大到 $[-\pi, \pi]$ 。这个范围所对应的相对位移的范围为 $[-L, L]$, L 表示超声回波射频信号波长的四分之一。

[0072] 步骤 212,相对位移估算步骤,利用该相位计算得到两帧信号间的相对位移。

[0073] 具体的,相对位移的计算公式为:

[0074]

$$d = \frac{c}{4\pi f} \varphi$$

[0075] 其中, d 为相对位移, c 为超声声速, f 为超声发射频率, φ 为相位。

[0076] 步骤 214,绝对位移估算步骤,将多个数据矩阵的相对位移分别进行时间方向上的累加,得到绝对位移。

[0077] 具体的,按照步骤 204 至 212 可对在深度方向上的每个分段窗口数据段求出相邻两帧数据之间的相对位移。如此可得到相对位移矩阵尺寸为 $(\text{row}-1) \times \text{Win_Num}$, 其中, Win_Num 为分段窗口数。

[0078] 在一个实施例中,积和步骤、相位计算步骤和相对位移估算步骤采用由图形处理器(Graphics Process Unit, GPU)实现的第二内核函数计算;该第二内核函数的 block 数为数据矩阵的行数减 1, 每个 block 的 thread 数为分段窗口数, 该分段窗口数通过该数据矩阵的列数与窗口宽度之差,除以步长,再加 1 得到,该步长是指两个相邻的分段窗口除了互相重叠的部分外所包含的数据点数。

[0079] 具体的,第二内核函数采用 ComputeDisp。分段窗口数 $\text{WinNum} = (\text{InputWidth} - \text{WindowHW}) / \text{Step} + 1$, 其中, WindowHW 为窗口宽度,步长为 Step , InputWidth 为数据矩阵的列数。

[0080] 第二内核函数 ComputeDisp 设计每个 block 的 thread (即线程数) 等于分段窗口数 WinNum , 整个矩阵的计算由 $(\text{rows}-1)$ 个 block 实现, 每个 block 计算一组相邻的两帧信号之间的相对位移。因此内核函数线程数如下:

[0081] 第二内核函数线程数 $\text{ComputeDisp}(\langle\langle\langle\text{blocks}, \text{threads}\rangle\rangle\rangle())$, 其中, $\text{blocks} = \text{dim3}(\text{rows}-1)$; $\text{threads} = \text{dim3}(\text{WinNum})$ 。其中, $\langle\langle\langle, \rangle\rangle\rangle$ 是 CUDA 语法符号, 表示 GPU 执行内核需要启动的线程数, 使用方式: $\langle\langle\langle$ 表示启动的 block 数量, 表示 1 个 block 里面的线程数 $\rangle\rangle\rangle$ 。input 为一个结构类型, $\rightarrow$ 表示取结构的一个元素。采用多个 block 数和 thread 数并行处理, 提高了处理效率。

[0082] 如图 3 所示, 为一个实施例中基于超声回波射频信号的组织位移估算系统的结构框图。该基于超声回波射频信号的组织位移估算系统, 包括转换模块 310、划分模块 320、积和模块 330、相位计算模块 340 和相对位移估算模块 350。其中:

[0083] 转换模块 310, 用于将整帧的超声回波射频信号转换为解析信号。

[0084] 具体的, 该转换模块 310 还用于将整帧的超声回波射频信号采用傅里叶变换和逆变换得到解析信号。

[0085] 划分模块 320, 用于将整帧的解析信号根据预设窗口长度进行分段, 得到分段窗口数据段。

[0086] 具体的, 预设窗口长度可根据需要设定。

[0087] 积和模块 330, 用于对相邻的两帧信号, 将对应分段窗口数据段进行一次无偏移的积和运算, 得到目标复数。

[0088] 具体的, 先将对应的数据段进行复数相乘, 再将得到的所有乘积相加, 得到一个复数形式的和 $a+jb$, 即目标复数。

[0089] 相位计算模块 340,用于计算该目标复数的相位。

[0090] 具体的,目标复数的相位 $\varphi = \arctan(b/a)$, 并可根据 a、b 的符号将 φ 的取值范围扩大到 $[-\pi, \pi]$ 。这个范围所对应的相对位移的范围为 $[-L, L]$, L 表示超声回波射频信号波长的四分之一。

[0091] 相对位移估算模块 350,用于利用该相位计算得到两帧信号间的相对位移。

[0092] 具体的,相对位移的计算公式为:

[0093]

$$d = \frac{c}{4\pi f} \varphi$$

[0094] 其中, d 为相对位移, c 为超声声速, f 为超声发射频率, φ 为相位。

[0095] 上述基于超声回波射频信号的组织位移估算系统,将整帧的超声回波射频信号一次转换为解析信号,极大的提高了计算速度,计算两帧信号的相对位移只需经过一次积和运算即可得到,不需进行多个积和运算,简化了计算步骤,且不需进行信号分解,简化了计算,减小了计算量,大大缩短了计算时间,提高了计算效率,且复杂性低。

[0096] 如图 4 所示,为一个实施例中基于超声回波射频信号的组织位移估算系统的结构框图。该基于超声回波射频信号的组织位移估算系统,除了包括转换模块 310、划分模块 320、积和模块 330、相位计算模块 340 和相对位移估算模块 350,还包括分块模块 360 和绝对位移估算模块 370。

[0097] 该分块模块 360 用于将超声回波射频信号分成多个数据矩阵。具体的,将超声回波射频信号按侧向采集位置分为 N 个数据矩阵,每个数据矩阵大小为 $row \times col$,表示包含 row 帧数据(时间方向),每帧有 col 个元素(深度方向)。

[0098] 该转换模块 310 还用于将每个数据矩阵的整帧的超声回波射频信号转换为解析信号。该转换模块 310 采用由图形处理器实现的第一内核函数进行处理,该第一内核函数的 block 数为数据矩阵的行数,即整帧的超声回波射频信号的帧数,该第一内核函数的 thread 数为数据矩阵的列数,即超声探头轴向方向扫描线上的数据点数。

[0099] 该划分模块 320 还用于在深度方向上将整帧的解析信号根据预设窗口长度进行分段,得到分段窗口数据段。

[0100] 该积和模块 330 还用于对时间方向上相邻的两帧信号,将深度方向上对应的分段窗口数据段进行一次无偏移的积和运算,得到目标复数。

[0101] 相对位移估算模块 350 还用于在深度方向上的每个分段窗口数据段求出相邻两帧数据之间的相对位移。

[0102] 该绝对位移估算模块 370 用于将多个数据矩阵的相对位移分别进行时间方向上的累加,得到绝对位移。具体的,绝对位移估算模块 370 用于在时间方向上将多个数据矩阵的相对位移分别进行时间方向上的累加,得到绝对位移。

[0103] 在一个实施例中,该积和模块 330、相位计算模块 340 和相对位移估算模块 350 采用由图形处理器实现的第二内核函数计算;该第二内核函数的 block 数为数据矩阵的行数减 1,每个 block 的 thread 数为分段窗口数,该分段窗口数通过该数据矩阵的列数与窗口宽度之差,除以步长,再加 1 得到,该步长是指两个相邻的分段窗口除了互相重叠的部分外所包含的数据点数。

[0104] 上述基于超声回波射频信号的组织位移估算方法和系统,可应用于任何需要利用超声回波射频信号进行组织位移估测的设备或方法中,如基于声辐射力的二维超声弹性成像、准静态超声弹性成像(quasi-static elastography)、瞬态超声弹性成像(transient elastography)等其他超声弹性成像方法,或者超声温度成像(temperature imaging)、超声热应变成像(thermal strain imaging)等方法。

[0105] 采用 Matlab 模拟,计算一组 ARFI 数据(4 个矩阵)所需的时间,用 Cabot 提出的算法(包括互相关计算)需要大约 7s,不进行互相关计算,需要大约 2s;用基于 Doppler 速度估计的位移估计算法,如果用软件实现 IQ 分解,需要大约 11s,如果用硬件实现 IQ 分解,则需要大约 0.5s。采用本发明的算法,也需要大约 0.5s,但是相对于基于 Doppler 速度估计的位移估计算法,不需要硬件 IQ 分解电路,降低了系统的成本和复杂性。用不同算法得到的组织位移都在 10^{-6} 至 10^{-7} 数量级,而不同算法所得组织位移之间的差别在 10^{-8} 至 10^{-9} 数量级,因此本算法并没有对组织位移估计的准确性造成显著影响。

[0106] 此外,在一个实施例中,相对位移估算模块 350 还用于若两帧信号各个对应的分段窗口数据段之间的相对位移小于超声回波射频信号波长的四分之一,则无需进行额外计算;若两帧信号间的相对位移大于等于超声回波射频信号波长的四分之一,则还需要在计算该目标复数的相位之后增加额外的时域互相关计算和结果修正计算。以 L 表示超声回波射频信号波长的四分之一, K 表示一个采样间隔的长度(可由公式 $0.5*c/f_s$ 计算, c 为超声声速, f_s 为超声回波射频信号的采样频率),则相对位移 d 可以表示为 L 的倍数,即 $d = (N+m)*L$,其中 N 是未知的整数部分, m 是已知的小数部分, m 即对应于上述的 ϕ/π ,同时,由时域互相关计算的结果可知相对位移 d 还可以表示为 K 的倍数, $M*K < d < (M+1)*K$,即 d 的取值范围在 $M*K$ 和 $(M+1)*K$ 之间。由以上关系以及 m 的取值范围,可以容易地计算出 N,并得到修正后的相对位移 d。

[0107] 所述的时域互相关计算包括归一化互相关时延估计法、归一化协方差时延估计法、非归一化互相关时延估计法、混合符号互相关时延估计法和快速傅里叶变换/逆变换计算互相关系数法等。其中,

[0108] 归一化互相关时延估计法:

$$[0109] \quad R_{nc}(\tau) = \frac{\int_{-T/2}^{T/2} (s_r(t) s_d(t+\tau)) dt}{\sqrt{\int_{-T/2}^{T/2} (s_r(t))^2 dt \int_{-T/2}^{T/2} (s_d(t+\tau))^2 dt}} \quad (1)$$

[0110] 归一化协方差时延估计法:

$$[0111] \quad R_{NCov}(\tau) = \frac{\int_{-T/2}^{T/2} (s_r(t) - \overline{s_r})(s_d(t+\tau) - \overline{s_d(\tau)}) dt}{\sqrt{\int_{-T/2}^{T/2} (s_r(t) - \overline{s_r})^2 dt \int_{-T/2}^{T/2} (s_d(t+\tau) - \overline{s_d(\tau)})^2 dt}} \quad (2)$$

[0112] 其中:

$$[0113] \quad \overline{s_r} = \left(\frac{1}{T}\right) \int_{-T/2}^{T/2} s_r(t) dt \quad (3)$$

$$[0114] \quad \overline{s_d(\tau)} = \left(\frac{1}{T}\right) \int_{-T/2}^{T/2} s_r(t+\tau) dt \quad (4)$$

[0115] 非归一化互相关时延估计法：

$$[0116] \quad R_{NNC}(\tau) = \int_{-T/2}^{T/2} s_r(t) s_d(t+\tau) dt \quad (5)$$

[0117] 混合符号互相关时延估计法：

$$[0118] \quad R_{HSC}(\tau) = \int_{-T/2}^{T/2} s_r(t) \text{sign}(s_d(t+\tau)) dt \quad (6)$$

[0119] 其中：

$$[0120] \quad \text{sign}(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ -1 & x < 0 \\ 0 & x = 0 \end{cases} \quad (7)$$

[0121] 快速傅里叶变换 / 逆变换计算互相关系数：首先对两个要进行互相关运算的时域信号进行傅里叶变换，将其变换到频域，再计算这两个频域信号的互功率谱，将互功率谱信号进行傅里叶逆变换变换回时域，得到的就是信号的时域互相关系数信号，公式简述如下：

$$[0122] \quad S_r = \text{FFT}(s_r)$$

$$[0123] \quad S_d = \text{FFT}(s_d) \quad (8)$$

$$[0124] \quad S_{rd} = S_r \cdot S_d^*$$

$$[0125] \quad R_{rd} = \text{IFFT}(S_{rd})$$

[0126] 其中， s_r 、 s_d 为时域信号， S_r 、 S_d 为进行快速傅立叶变换后的对应频域信号， S_{rd} 是两者的互功率谱，* 表示复数信号的共轭， R_{rd} 是时域信号的互相关系数，FFT 为傅里叶变换，IFFT 为傅里叶逆变换。

[0127] 另外，在将整帧的超声回波射频信号转换为解析信号时，也可以采用希尔伯特变换得到。希尔伯特变换公式为：

$$[0128] \quad \hat{r}(m, t) = r(m, t) * (1/(\pi t)) \quad (10)$$

[0129] 式 (10) 中， $\hat{r}(m, t)$ 为信号 $r(m, t)$ 的希尔伯特变换， m 为采样点的坐标， t 是时间，* 是卷积运算。

[0130] 则解析信号对应为：

$$[0131] \quad \hat{r}(m, t) = r(m, t) - j\hat{r}(m, t) \quad (11)$$

[0132] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程，是可以 通过计算机程序来指令相关的硬件来完成，所述的程序可存储于一计算机可读取存储介质中，该程序在执行时，可包括如上述各方法的实施例的流程。其中，所述的存储介质可为磁碟、光盘、只读存储记忆体 (Read-Only Memory, ROM) 或随机存储记忆体 (Random Access Memory, RAM) 等。

[0133] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不 能因此而理解为本发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员

来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

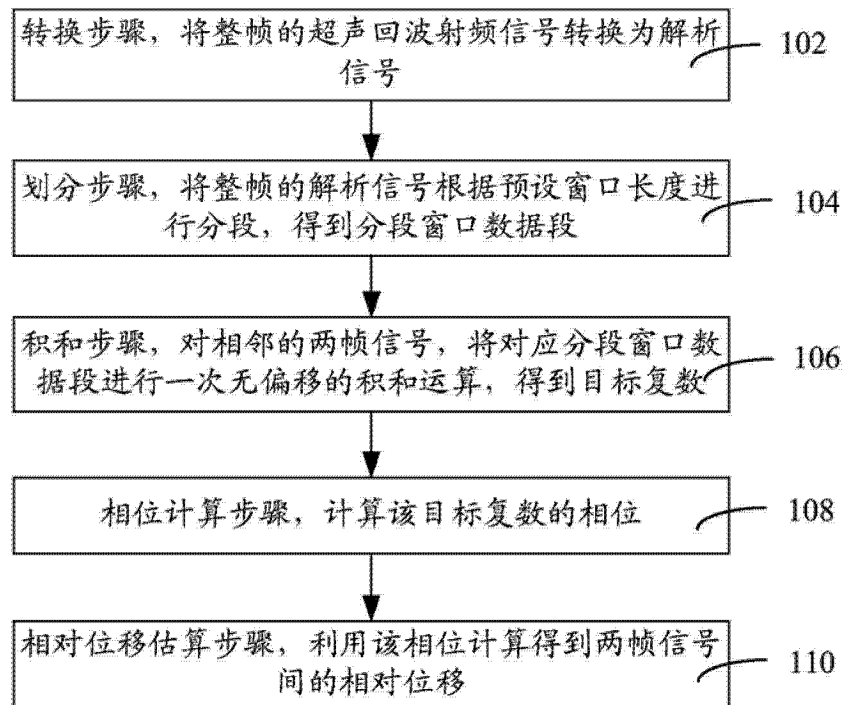


图 1

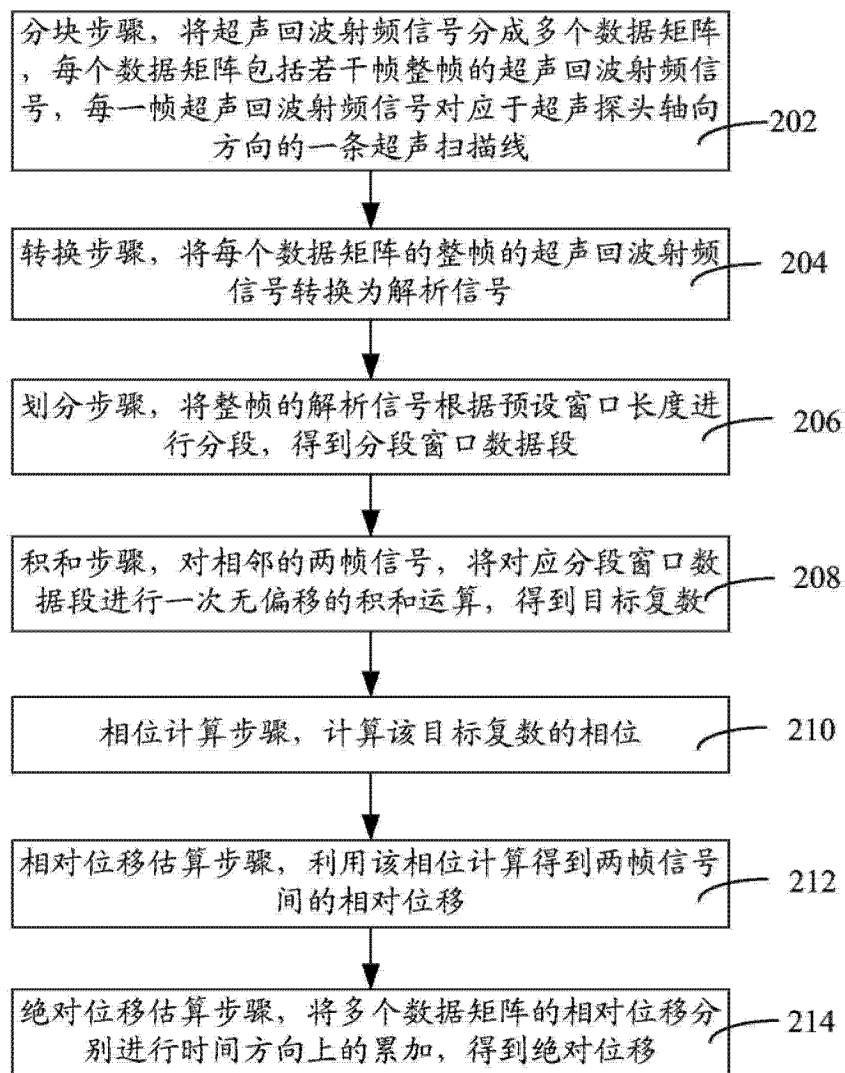


图 2

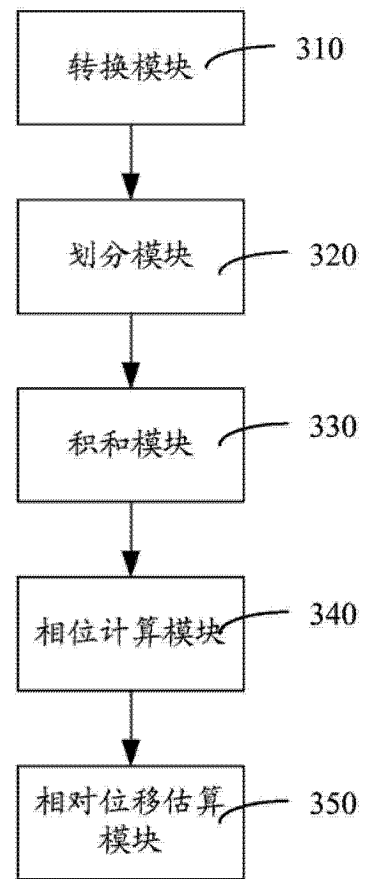


图 3

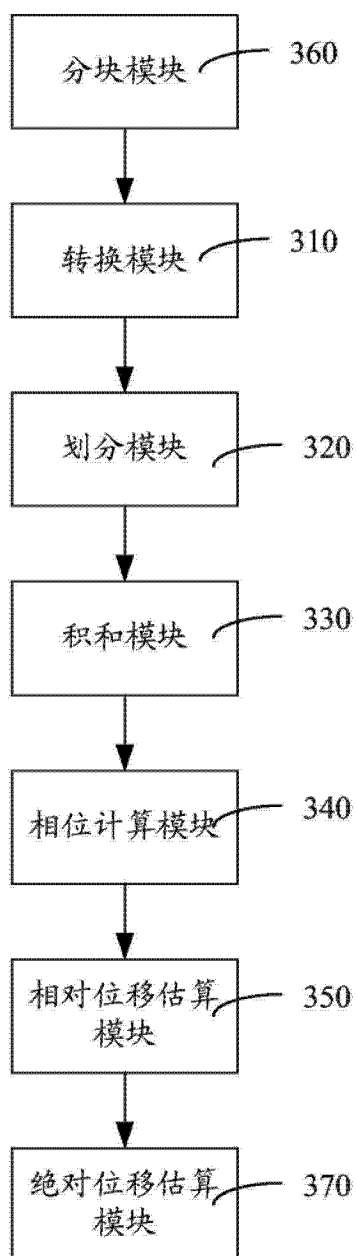


图 4

专利名称(译)	基于超声回波射频信号的组织位移估算方法和系统		
公开(公告)号	CN104188689A	公开(公告)日	2014-12-10
申请号	CN201410378475.4	申请日	2014-08-01
[标]申请(专利权)人(译)	深圳先进技术研究院		
申请(专利权)人(译)	中国科学院深圳先进技术研究院		
当前申请(专利权)人(译)	中国科学院深圳先进技术研究院		
[标]发明人	王丛知 郑海荣 曾成志 杨戈 冯歌 肖杨		
发明人	王丛知 郑海荣 曾成志 杨戈 冯歌 肖杨		
IPC分类号	A61B8/08		
代理人(译)	吴平		
优先权	201310514494.0 2013-10-25 CN		
其他公开文献	CN104188689B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明涉及一种基于超声回波射频信号的组织位移估算方法和系统。所述方法，包括以下步骤：转换步骤，将整帧的超声回波射频信号转换为解析信号；划分步骤，将整帧的解析信号根据预设窗口长度进行分段，得到分段窗口数据段；积和步骤，对相邻的两帧信号，将对应分段窗口数据段进行一次无偏移的积和运算，得到目标复数；相位计算步骤，计算所述目标复数的相位；相对位移估算步骤，利用所述相位计算得到两帧信号间的相对位移。上述基于超声回波射频信号的组织位移估算方法，将整帧的超声回波射频信号一次转换为解析信号，极大的提高了计算速度，计算两帧信号的相对位移只需经过一次积和运算即可得到，减小了计算量，提高了计算效率，且复杂性低。

