



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104546003 A

(43) 申请公布日 2015. 04. 29

(21) 申请号 201510040779. 4

(22) 申请日 2015. 01. 27

(71) 申请人 哈尔滨工业大学

地址 150000 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大  
直街 92 号

(72) 发明人 金晶 尉明望 鄂尔多斯 沈毅

(74) 专利代理机构 哈尔滨龙科专利代理有限公司  
23206

代理人 高媛

(51) Int. Cl.

A61B 8/00(2006. 01)

权利要求书1页 说明书5页 附图2页

### (54) 发明名称

一种基于平面波发射的可变帧率彩色超高速  
超声成像方法

### (57) 摘要

本发明公开了一种基于平面波发射的可变帧率彩色超高速超声成像方法,其步骤如下:探头发射多种角度的平面波超声信号到待测生物组织上,采样得到多通道射频回波信号并传输至后端CPU中;在后端CPU中对某一角度下的多通道射频回波信号进行波束合成,得到该角度对应的合成回波信号,并传到GPU内存中;在GPU中利用可变帧率平面波复合技术将不同角度的合成回波信号进行复合并解调出解析信号;利用GPU进行超声系统的B+Color双实时处理,实现高帧率、大视域的彩色超声成像模式。本发明将超声系统前端的波束形成转移至后端实现,同时结合可变帧率复合成像技术以适应不同后端处理器的计算能力,以达到符合要求的高速超声应用。

1. 一种基于平面波发射的可变帧率彩色超高速超声成像方法,其特征在于所述方法步骤如下:

步骤一:探头发射多种角度的平面波超声信号到待测生物组织上,采样得到多通道射频回波信号并传输至后端 CPU 中;

步骤二:在后端 CPU 中对某一角度下的多通道射频回波信号进行波束合成,得到该角度对应的合成回波信号,并传到 GPU 内存中;

步骤三:在 GPU 中利用可变帧率平面波复合技术将不同角度的合成回波信号进行复合并解调出解析信号;

步骤四:利用 GPU 进行超声系统的 B+Color 双实时处理,依靠高速的数据采集及 GPU 的强大并行运算能力,实现高帧率、大视域的彩色超声成像模式。

2. 根据权利要求 1 所述的基于平面波发射的可变帧率彩色超高速超声成像方法,其特征在于所述步骤一中,探头是中心频率为 4.5Mhz,128 阵元的宽带线阵探头。

3. 根据权利要求 1 所述的基于平面波发射的可变帧率彩色超高速超声成像方法,其特征在于所述步骤一中,探头发射 71 组不同角度的平面波,角度依次等间距递增。

4. 根据权利要求 1 所述的基于平面波发射的可变帧率彩色超高速超声成像方法,其特征在于所述步骤二中,波束合成的方法如下:通过对每个阵元接收到的回波数据进行延时累加,同时累加过程需要进行变迹,设变迹函数为  $ap(\theta)$ ,则某一位置的合成像素强度为:

$$s(x, z) = \sum_{i=1}^{128} (y_i, \tau(y_i; x, z, \alpha)) \cdot ap(\theta_{xzi})$$

$\theta_{xzi}$  表示  $(x, z)$  到第  $i$  个阵元的偏角,以垂直于探头的方向作为角度零点,  $\tau(y_i; x, z, \alpha)$  为平面波偏角  $\alpha$  时,阵元  $y_i$  至扫描平面点  $(x, z)$  的延迟时间。

5. 根据权利要求 4 所述的基于平面波发射的可变帧率彩色超高速超声成像方法,其特征在于所述延迟时间  $\tau(y_i; x, z, \alpha)$  为:

$$\tau(y_i; x, z, \alpha) = (z \cos \alpha + x \sin \alpha) / c + \sqrt{z^2 + (x - y_i)^2} / c。$$

6. 根据权利要求 1 所述的基于平面波发射的可变帧率彩色超高速超声成像方法,其特征在于所述步骤三中,复合过程如下:提取前端平面波扫描的  $N_{\text{offset}}$  个偏转数据,对其进行逆向偏转变换,并存储到数据缓冲区中;将  $N_{\text{offset}}$  帧数据中相应采样点进行加权平均,得到复合后采样点的数值,完成一次复合。

7. 根据权利要求 1 所述的基于平面波发射的可变帧率彩色超高速超声成像方法,其特征在于所述步骤四中, B+Color 双实时处理的壁滤波部分采用 31 抽头的 FIR 滤波,频率估计部分采用 64 点 FFT 算法。

## 一种基于平面波发射的可变帧率彩色超高速超声成像方法

### 技术领域

[0001] 本发明应用于超声成像领域中的 B 和 Color 模式成像,具体涉及到超声探头的平面波扫查、波束形成、GPU 下可变帧率的图像复合,以及高速扫查下的 B+Color 双实时成像流程。

### 背景技术

[0002] 医疗超声设备是医学影像诊断中常用的设备,这种设备向人体发射超声波并接收回波信号,通过人体组织器官声学性质上的差异得到人体内部的组织信息,从而进行疾病诊断。超声成像因为具有成本低、无辐射、无创伤的优点,并且具有很好的便携性和实时性,所以在医疗临床诊断中,一直占有很高的应用比例,尤其在孕妇和胎儿的检查中是唯一可以使用的方法。

[0003] 传统的超声成像系统使用的是超声聚焦扫查技术,这种扫查技术的单帧成像效果好,但是由于每一帧数据的获取都需要进行多次扫查,而且前端还需要根据扫查方式进行波束合成等逻辑复杂、大计算量的处理,造成了传统超声成像系统的前端功能定制、结构复杂、体积大的缺点。同时多次扫查的超声成像帧频相对较低(128 条扫查线扫查 6 厘米深,形成一帧图像需要 0.01 秒,即帧频为 100 帧/秒),尤其对于 Color 血流成像,帧频会更低,通常需要减小成像视域来弥补。近年来随着越来越多的便携式智能设备的诞生,医疗设备便携化逐渐成为了关注的重点,减小前端体积、结构和功能复杂度对超声系统小型化、便携化具有重要意义。因此亟需研究超声的快速成像方法,有效提高 Color 成像的帧率及视域范围,同时能够降低前端逻辑及结构复杂度。

[0004] 平面波成像技术利用平面波发射对目标区域进行扫查,因此一次发射便可以形成一帧图像,同时将波束形成以及图像处理过程从前端转移到高性能的后端处理器进行,大大简化了前端结构。依靠前端平面波快速扫查获得高帧频回波数据,配合高速的后端处理器计算能力,最高帧频可达 20000 帧/秒。超高速超声系统全软件的结构意味着比传统超声系统前端的结构更简单,后端的处理更灵活,在便携式超声系统开发领域将会有很大的发展潜力。接近传统超声系统 200 倍的扫查频率,使得超高速成像系统能够缩短成像时间,可以获得更好的双实时 B+Color 成像效果,而且在剪切波弹性成像和脑血流成像方面都会有进一步应用。这意味着在肿瘤的超声诊断和血管血流检测方面,超声诊断设备会取得更大的进步。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是克服传统超声系统前端功能复杂、硬件体积大、扫查帧频低的不足,提供一种基于平面波扫查的超高速超声成像系统,将超声系统前端的波束形成转移至后端实现,同时结合可变帧率复合成像技术以适应不同后端处理器的计算能力,以达到符合要求的高频超声应用。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0007] 一种基于平面波扫查的超高速超声成像系统,利用探头发射平面波超声,对目标区域进行快速扫查,获得回波数据,通过多通道采集将数据从前端传输到后端进行波束合成以及简单的处理,而后对获得多帧数据进行相干平面波复合,得到空间分辨率较高的回波图像数据后,再进行彩色成像处理与显示,得到目标区域的 B+Color 双实时超声图像,具体实施步骤如下:

[0008] 步骤一:探头发射多种角度的平面波超声信号到待测生物组织上,采样得到多通道射频回波信号并传输至后端 CPU 中。

[0009] 本步骤中,所述探头是中心频率为 4.5Mhz,128 阵元的宽带线阵探头,60% 带宽。单次发射一组平面波,发射 71 组不同角度的平面波,角度依次等间距递增,探头阵列的发射与接收通过同一通道。

[0010] 本步骤中,通过超声换能器一次性发射相关平面波便可获取一帧图像数据,并且可以调整发射角度以改善成像质量,这样的数据获取架构适用于多种成像模式,便于对前端进行统一。

[0011] 步骤二:在后端 CPU 中对某一角度下的多通道射频回波信号进行波束合成,得到该角度对应的合成回波信号,并传到 GPU 内存中。

[0012] 本步骤中,射频回波信号是经过基础的放大和模数转换后的数字回波信号,由于采用平面波单发多收模式,因此需要按照接收阵元的时间延迟,结合变迹函数进行波束合成,所述波束合成的方法如下:

[0013] 通过对每个阵元接收到的回波数据进行延时累加,同时累加过程需要进行变迹,设变迹函数为  $ap(\theta)$ ,则某一位置的合成像素强度为:

$$[0014] \quad s(x, z) = \sum_{i=1}^{128} (y_i, \tau(y_i; x, z, \alpha)) \cdot ap(\theta_{xzi})$$

[0015]  $\theta_{xzi}$  表示  $(x, z)$  到第  $i$  个阵元的偏角,以垂直于探头的方向作为角度零点,  $\tau(y_i; x, z, \alpha)$  为平面波偏角  $\alpha$  时,阵元  $y_i$  至扫查平面点  $(x, z)$  的延迟时间,其计算公式如下:

$$[0016] \quad \tau(y; x, z, \alpha) = (z \cos \alpha + x \sin \alpha) / c + \sqrt{z^2 + (x - y)^2} / c。$$

[0017] 步骤三:在 GPU 中利用可变帧率平面波复合技术将不同角度的合成回波信号进行复合并解调出解析信号。

[0018] 本步骤中,可变帧率平面波复合技术通过获取系统的硬件配置估计系统的计算能力,从而设置复合的帧偏移量 (Frame Offset)  $N_{offset}$ ,使后端按照  $N_{offset}$  进行复合,将数据采集与处理完美隔离,适用于不同计算能力的硬件平台,有不同的彩色成像帧频。

[0019] 本步骤中,可变帧率复合成像技术将前端偏转扫查获得的不同角度合成回波信号进行复合,同时可以根据后端的硬件配置情况,估计后端的计算能力并自动调整复合帧偏移量,通过复合过程提升图像的空间分辨率,弥补平面波成像无发射焦点、空间分辨率较低的缺点。

[0020] 本步骤中,解调采用 hilbert 解调方法,提取出待测平面内每条线上的解析信号。

[0021] 步骤四:利用 GPU 进行超声系统的 B+Color 双实时处理,依靠高速的数据采集及 GPU 的强大并行运算能力,实现高帧率、大视域的彩色超声成像模式。

[0022] 本步骤中,利用 GPU 替代传统超声系统中的 CPU 处理器,以其高性能的并行运算能

力,可以大大缩短处理高帧频数据的时间,实现高速、大视域 B+Color 双实时成像。

[0023] 本发明与传统超声系统相比,具有如下优点:

[0024] 1) 本发明采用基于平面波的扫查方式,将超声系统前端的部分功能移植到后端进行软件实现,简化了前端的结构,可以获得更高的扫查速度,后端利用 GPU 的大数据并行计算能力,大大提升了彩色超声成像的帧频;

[0025] 2) 本发明采用可变帧率相干平面波并行复合技术,利用空间复合替代传统超声系统中的聚焦过程,提高了超声图像的空间分辨率,并能够根据后端运算能力自适应调节复合帧偏移量,使系统能够按照不同帧频流畅运行;

[0026] 3) 本发明前端不必按照不同的成像模式进行扫查定制,高速、统一的数据获取方式,不仅支持传统的 B 型成像模式,同时利用其高速采样特性,还能够实现高速、大视域的 B+Color 双实时成像,甚至可以扩展到三实时模式 (B+Color+PW);

[0027] 4) 本发明采用统一的数据获取方式,可以缩减系统前端硬件的复杂程度,同时利用 GPU 的快速处理能力可以高帧率成像,这样的系统架构使得超声系统可以向软件化、便携化前进,开启超声超高速成像新时代。

## 附图说明

[0028] 图 1 为超高速超声成像系统结构图;

[0029] 图 2 为平面波发射过程示意图

[0030] 图 3 为可变帧率平面波复合流程图;

[0031] 图 4 为逆向偏转变换示意图;

[0032] 图 5 为 B+color 双实时成像流程图;

[0033] 图中:1- 平面波发射与接收模块,2- 波束形成模块,3- 可变帧率复合与解调模块,4-B+Color 模式双实时成像模块。

## 具体实施方式

[0034] 下面结合附图对本发明的技术方案作进一步的说明,但并不局限于此,凡是对本发明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精神和范围,均应涵盖在本发明的保护范围内。

[0035] 本发明提供了一种基于平面波扫查的超高速超声成像系统,如图 1 所示,包含以下几个步骤:

[0036] 执行步骤一:平面波发射并接收射频回波信号。

[0037] 控制电路触发发射模块,通过不同的延时,激发所有阵元的超声换能器发射出平面波至待测生物组织,接着每个阵元切换到接收模式,接收不同区域反射回来的射频回波信号。改变不同阵元的延时时间,可以控制发射平面波的空间复合角度。

[0038] 执行步骤二:对接收信号的波束合成。

[0039] 进行简单的前置放大和 AD 采样后,将数据传输到后端,在上位机进行波束合成。

[0040] 如图 2 所示,任一阵元发射超声波到二维扫查平面上一点 (x, z) 并且反射回到该阵元的延迟时间为:

$$[0041] \quad \tau(y; x, z, \alpha) = (z \cos \alpha + x \sin \alpha) / c + \sqrt{z^2 + (x - y)^2} / c \quad (1)。$$

[0042] 找到 128 个阵元射频回波中对应时间的数据,并对数据进行累加。利用变迹法,设置变迹函数为  $ap(\theta)$ ,  $\theta_{xzi}$  表示  $(x, z)$  到第  $i$  个阵元的偏角,以垂直于探头的方向作为角度零点,则累加后的回波像素强度可表示为:

$$[0043] \quad s(x, z) = \sum_{i=1}^{128} RF(y_i, \tau(y_i; x, z, \alpha)) \cdot ap(\theta_{xzi}) \quad (2)。$$

[0044] 至此的处理过程都是线性的,得到二维待测平面每一个点散的可用于 B 或 Color 处理的超声原始数据。

[0045] 执行步骤三:GPU 下的可变帧率平面波复合技术及解调。

[0046] 可变帧率机制是通过获取系统的硬件配置估计系统的计算能力,从而设置复合的帧偏移量 (Frame Offset)  $N_{offset}$ ,使后端按照  $N_{offset}$  进行复合。此机制可以保证前端扫描帧频与后端成像帧频的完美隔离,使其适应不同 GPU 的处理能力。复合过程的流程图如图 3 所示,提取前端平面波扫描的  $N_{offset}$  个偏转数据,对其进行逆向偏转变换,并存储到数据缓冲池中;将  $N_{offset}$  帧数据中相应采样点进行加权平均,得到复合后采样点的数值,完成一次复合。

[0047] 逆向偏转变换是一个通过偏转扫描数据估计在没有偏转时的采样点数值的过程,基本原理是通过坐标计算在偏转扫描数据中找出距离目标采样点 M 最近的四个采样点 A、B、C 和 D,并按距离计算加权系数  $Coef_1, Coef_2, Coef_3, Coef_4$ ,然后利用双线性插值得到 M 点的估计值  $M_E$  如下:

$$[0048] \quad M_E = A \times Coef_1 + B \times Coef_2 + C \times Coef_3 + D \times Coef_4。$$

[0049] 通过公式可以看出,点 M 与点 A、B、C、D 点之间的关系如图 4 所示。

[0050] 以三帧平面波数据复合为例,分别对三帧数据进行逆向偏转变换,得到三个 M 的对应点  $M_1, M_2, M_3$ ,这里设为平均加权系数为  $WeightCoef$ ,则复合后的 M 点采样值  $M_{comp}$  为:

$$[0051] \quad M_{comp} = M_1 \times WeightCoef + M_2 \times WeightCoef + M_3 \times WeightCoef。$$

[0052] 依次遍历图像的每一个点,得到复合后的一帧图像。

[0053] 对于复合成像来说,每一个像素点都进行相同的偏转及加权运算,因此特别适合使用 GPU 来进行并行处理以提高运算速度,大幅度缩减重复计算所占用的时间。

[0054] 对复合后的回波数据进行 Hilbert 解调,过程如下:设深度方向第  $n$  个采样点数据为  $M_{comp}(nT_s)$ ,对其做 hilbert 变换,得:

$$[0055] \quad \hat{M}_A(nT_s) = M_{comp}(nT_s) + j\hat{M}_{comp}(nT_s) \quad (3);$$

[0056] 其中:  $T_s$  为采样周期,  $\hat{M}_{comp}(nT_s)$  为 hilbert 变换后的虚部,  $\hat{M}_A(nT_s)$  即为 hilbert 解调后的解析信号。

[0057] 执行步骤四:超高速超声系统的 B+Color 双实时模式的实现。

[0058] 超高速超声成像系统的数据采集是统一的,只是在后端对于不同的成像模式,有不同的处理流程。B+Color 双实时成像的处理流程如图 5 所示,B 模式预处理部分包含包络提取、时间增益补偿、动态范围变换、数字增益补偿、线、帧间图像处理,Color 模式预处理部分包含壁滤波、频率估计、阈值化处理、速度帧平滑处理。在本成像系统下,根据本发明的特点重新设计了 Color 模式成像的壁滤波和频率估计部分。壁滤波部分采用 31 抽头的 FIR 滤波,滤波器的截止频率按照当前的检查部位进行确定;而在频率估计部分,由于 GPU 运算速度快,本发明采用 64 点 FFT 算法来克服传统自相关估计分辨率差的缺点,提高频率估计

精度。

[0059] 本发明利用 GPU 的并行计算能力可实现高帧频的数据处理,因此可增大彩色成像的观察范围。由于 GPU 具有并行计算的架构,本发明将 B 模式和 Color 模式的成像流程在 GPU 架构下并行处理,大大减少了处理的时间,提高了帧频。基于帧频的提高,超高速超声成像系统可以对更大的采样范围进行多普勒频移估计,并能及时处理,从而实现大视域的 B+Color 双实时成像。

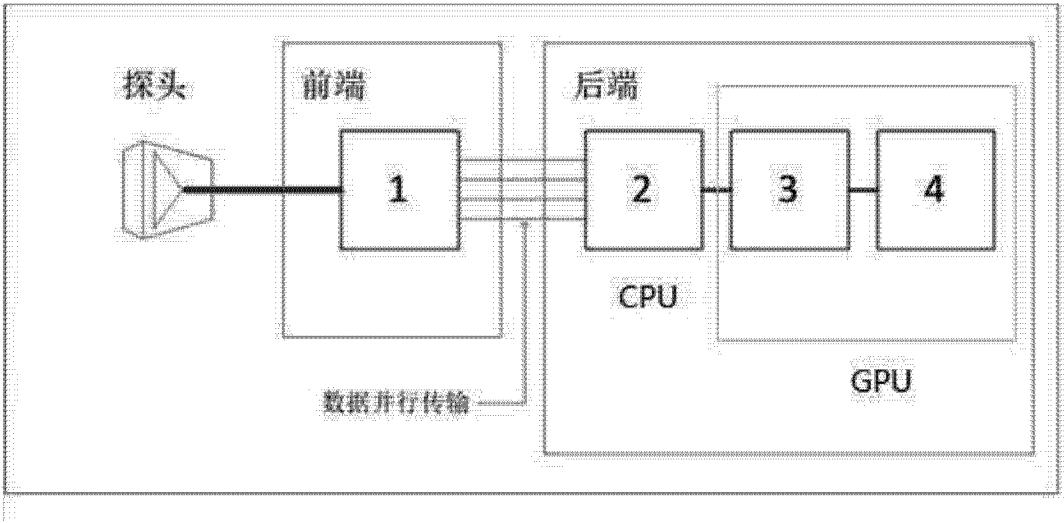


图 1

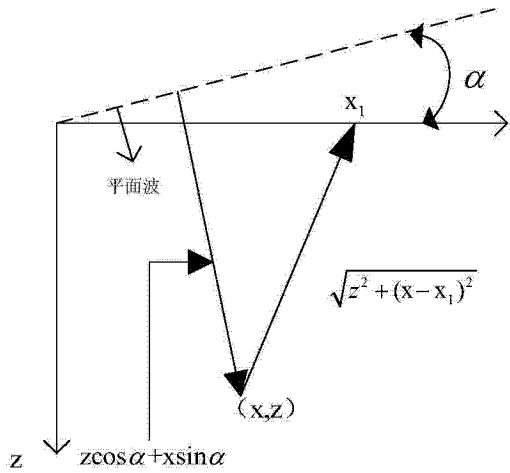


图 2

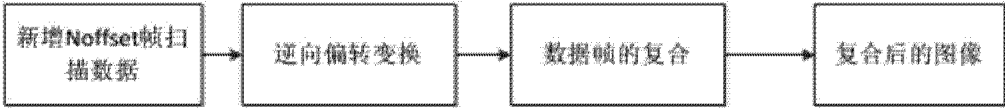


图 3



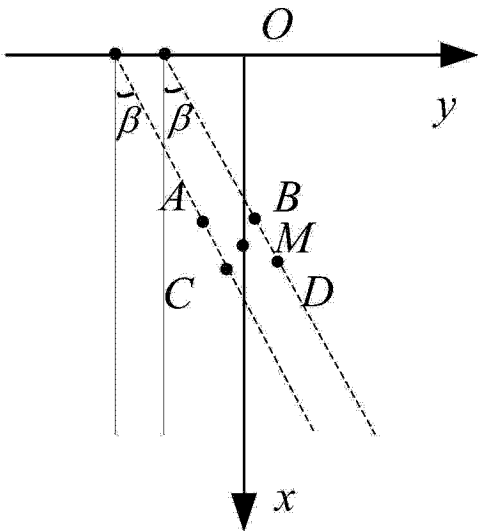


图 4



图 5

|                |                                                |         |            |
|----------------|------------------------------------------------|---------|------------|
| 专利名称(译)        | 一种基于平面波发射的可变帧率彩色超高速超声成像方法                      |         |            |
| 公开(公告)号        | <a href="#">CN104546003A</a>                   | 公开(公告)日 | 2015-04-29 |
| 申请号            | CN201510040779.4                               | 申请日     | 2015-01-27 |
| [标]申请(专利权)人(译) | 哈尔滨工业大学                                        |         |            |
| 申请(专利权)人(译)    | 哈尔滨工业大学                                        |         |            |
| 当前申请(专利权)人(译)  | 哈尔滨工业大学                                        |         |            |
| [标]发明人         | 金晶<br>尉明望<br>鄂尔多斯<br>沈毅                        |         |            |
| 发明人            | 金晶<br>尉明望<br>鄂尔多斯<br>沈毅                        |         |            |
| IPC分类号         | A61B8/00                                       |         |            |
| CPC分类号         | A61B8/52                                       |         |            |
| 代理人(译)         | 高媛                                             |         |            |
| 其他公开文献         | CN104546003B                                   |         |            |
| 外部链接           | <a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a> |         |            |

#### 摘要(译)

本发明公开了一种基于平面波发射的可变帧率彩色超高速超声成像方法，其步骤如下：探头发射多种角度的平面波超声信号到待测生物组织上，采样得到多通道射频回波信号并传输至后端CPU中；在后端CPU中对某一角度下的多通道射频回波信号进行波束合成，得到该角度对应的合成回波信号，并传到GPU内存中；在GPU中利用可变帧率平面波复合技术将不同角度的合成回波信号进行复合并解调出解析信号；利用GPU进行超声系统的B+Color双实时处理，实现高帧率、大视域的彩色超声成像模式。发明将超声系统前端的波束形成转移至后端实现，同时结合可变帧率复合成像技术以适应不同后端处理器的计算能力，以达到符合要求的高速超声应用。

$$s(x, z) = \sum_{i=1}^N (v_i \cdot \sigma(v_i; x, z, \alpha)) \cdot \exp(\theta_{x, z, i})$$