

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
A61B 8/00 (2006.01)
G01N 29/44 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710101660.9

[43] 公开日 2008年9月17日

[11] 公开号 CN 101264022A

[22] 申请日 2007.3.16

[21] 申请号 200710101660.9

[71] 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 K·W·里格比 C·R·哈扎德

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 程天正 王小衡

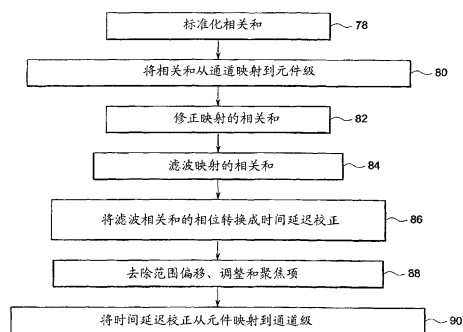
权利要求书 3 页 说明书 15 页 附图 13 页

[54] 发明名称

用于在超声成像中精确时间延迟估计的方法和系统

[57] 摘要

本发明提供了一种用于校正超声系统(10)中波束形成时间延迟的方法。该方法包括以发射波束形成时间延迟将超声能量的波束发射进入对象内部。该方法进一步包括接收具有接收波束形成时间延迟的多个回波信号并估计每个回波信号和每个成像方向的波束形成时间延迟误差。该方法进一步包括校正发射和接收波束形成时间延迟并利用校正的发射和接收波束形成时间延迟来产生对象的超声图像。



1、一种用于校正超声系统（10）中波束形成时间延迟的方法，该方法包括；

利用换能器元件阵列（18A-18Z）发射通过一个对象的超声能量的波束，其中将每个换能器元件构造成发射具有发射波束形成时间延迟的超声能量的波束；

接收多个回波信号，其中将每个换能器元件构造成接收具有接收波束形成时间延迟的超声能量的波束；

对每个回波信号和每个成像方向估计波束形成时间延迟误差；

通过产生一个表示每个接收回波信号与一个或多个接收回波信号的和之间的时间延迟的复相关和来校正发射和接收波束形成时间延迟；

利用校正的发射和接收波束形成时间延迟来产生对象的超声图像。

2、如权利要求2的方法，其中校正步骤进一步包括：

计算标准化相关和；

将标准化相关和映射到成像方向上和换能器元件方向上；

修正该相关和，

在成像方向和发射元件上对修正的相关和进行滤波以产生滤波的相关和；

将滤波的相关和的相位转换为对应的时间延迟校正；以及

用该时间延迟校正来校正波束形成时间延迟。

3、如权利要求2的方法，其中修正的步骤包括：

将每个映射相关和标记为可靠相关和或者不可靠相关和；

把每个被标记为不可靠的相关和设定为绝对值。

4、如权利要求3的方法，其中该标记包括：

计算对应于每个换能器元件和成像方向的每个映射相关和的相位；

对每个换能器元件和成像方向确定在所计算的相位中连续改变的样式；其中当存在连续改变样式时，将相关和标记为可靠。

5、如权利要求3的方法，其中该标记进一步包括：

将元件方向上相位导数绝对值的和与成像方向上相位导数绝对值的和同第一阈值进行比较；以及

当所计算的相位导数绝对值的和超过第一阈值数时，将该相关和标记为不可靠；以及

当各自成像方向上不可靠相关和的量超过第二阈值数时，将对应成像方向的所有被映射的相关和标记为不可靠。

6、如权利要求 3 的方法，其中标记包括使用一个图像处理算法来识别图像中的标记并基于所识别的标记将波束形成器时间延迟误差标记为可靠或不可靠。

7、如权利要求 6 的方法，其中将图像处理算法构造成：

识别图像中多个感兴趣区；

计算每个所识别的感兴趣区的统计参数；

应用统计参数把估计的波束形成器时间延迟误差标记为可靠或不可靠。

8、一种用于估计波束形成时间延迟的超声系统 (10)，该超声系统包括：

具有一组以一定样式布置的阵列元件的换能器阵列 (18)，每个元件可单独操作以便在发射模式期间将超声能量的波束发射到对象内并在接收模式期间响应于冲击到换能器上的振动能量而产生一个回波信号；

发射器 (22)，耦合到换能器阵列并在发射模式期间可操作地对每个阵列元件应用具有各自发射波束形成时间延迟的单独发射信号脉冲，从而产生定向的发射波束；

接收器 (24)，耦合到换能器阵列并在接收模式期间可操作地采样由每个阵列元件所产生的回波信号，并可操作地将接收波束形成时间延迟施于每个所述回波信号样本上以便产生相应的多个接收信号；

波束形成器系统 (26)，其被构造成估计每个回波信号和每个成像方向的到达时间误差并校正发射和接收波束形成时间延迟；以及

图像处理器 (32)，其被构造成产生超声图像。

9、如权利要求 8 的系统，其中将波束形成器系统 (26) 进一步构造成：

产生每个系统波束形成通道和成像方向的相关和；

计算标准化相关和；

将标准化相关和映射到成像方向和换能器元件级；

修正所映射的相关和；

对修正的相关和进行滤波以产生滤波的相关和；

计算滤波的相关和的相位；

将滤波的相关和的相位转换成校正时间延迟；以及

用该校正时间延迟校正发射和接收波束形成时间延迟。

10、如权利要求 9 的系统，其中将该波束形成器系统构造成把每个映射相关和标记为可靠相关和或不可靠相关和。

用于在超声成像中精确时间延迟估计的方法和系统

相关申请的交叉参考

本申请包括涉及 2004 年 6 月 30 日提交的、题目为“TIME DELAY ESTIMATION METHOD AND SYSTEM FOR USE IN ULTRASOUND IMAGING”的美国专利申请 No.10/882910 的主题，其作为参考结合于此。

技术领域

本发明通常涉及成像系统，更具体的涉及一种用于估计和校正超声成像系统中时间延迟的方法和系统。

背景技术

超声系统包含用来将一组波形发射到成像对象内并接收一组反射超声信号的换能器元件阵列。在选定的相对时间延迟的情况下发射每个波形以便在所需方向和深度上聚集净发射波形并具有所需的形状。类似地将每个接收信号单个延迟以便使系统对所需方向和深度以及具有所需形状的反射能量的响应最大化。对该延迟的接收信号求和并进行处理以产生并显示成像对象的图像。

假设声音以一种已知的恒定速度传播穿过身体，波束形成对发射和接收时间延迟（典型地被共同认为是波束形成时间延迟）进行计算。当这一假设不成立时，发射和接收聚焦被恶化，并将出现图像分辨率和对比度的损失。

一种降低图像质量损失的方法是基于接收信号的相对时间延迟的测量来调整波束形成时间延迟。在对它们已经应用了接收波束形成延迟后测量这些相对时间延迟是很方便的。如果已知的、恒定声音速度的假设是正确的，则延迟接收信号将在时间上很好地对齐，即到达时间误差将会很小。如果假设是不正确的，则该延迟接收信号在时间上不会很好地对齐；到达时间误差将会很大。通过校正到达时间误差的波束形成延迟，将会改进聚焦并增强图像分辨率和对比度。利用本领域公知的若干方法之一可估计到达的时间延迟误差。

在医疗超声成像中，到达时间误差的估计必须迅速、精确和鲁棒（robust）。另外，还希望实施估计硬件所需的额外费用最小。如在此所用的，将到达时间误差定义为两个信号之间的差值。对该到达时间误差进行处理以获得时间延迟

校正，接着将其应用到校正波束形成时间延迟。

到达时间误差的快速估计是人们所希望的，因为波束形成时间延迟需要被快速地更新，这是由于所需的校正将会随换能器相对于成像对象进行移动，或随作为正常扫描过程一部分的由操作者操作换能器在患者身体上进行移动而发生改变，或者由于操作者手的轻微移动又或者随患者的运动或呼吸而发生改变。

期望使用精确估计来提高图像分辨率和对比度并避免不希望的图像恶化，所述恶化是由于不正确地时间延迟校正来调整波束形成时间延迟而产生的。到达时间误差估计由于若干原因可能是不精确的。例如，如果利用一个复相关和的相位来计算到达时间误差估计，则对相关和有贡献的信号可能进行很差的相关或者换能器上的元件由于异常噪音可能不会产生它的输出信号。换能器元件可能产生一个噪音信号，因为它通过诸如肋骨的声音不透过障碍而被成像对象遮挡，这样导致不精确的到达时间误差估计。使用这种不可靠或嘈杂的相位估计来确定时间延迟的校正是不希望的，这是因为由这些不精确值而在波束形成操作中引起的恶化可能会超过使用更精确的值来进行校正的好处。

另外，到达时间误差估计中的这种误差可将伪影引入到图像中，该伪影可导致不正确的诊断或更长的检查时间。伪影产生的比率对大多数操作者来说必须足够低，以便按照常规使用时间延迟校正特征，从而得到提高图像分辨率和对比度的好处。

在许多应用中，在人体肋骨间（肋间）进行成像是必须的，但肋间成像是困难的因为肋骨可阻挡来自换能器部分超声的发射和接收，特别是在期望的成像扫描平面需要换能器定向在与肋骨的一般方向垂直时。此外，与肋骨相连的肌肉层在厚度和方向上是不规则的，这在换能器上引入了到达时间误差。希望在肋间成像时能产生高质量的图像以便进行更精确地诊断。

因此需要一种超声系统中的方法和系统在使该系统的花费和尺寸最小的同时精确且鲁棒地估计并补偿到达时间误差。

发明内容

简单地说，根据本发明的一个方面，提供了一种校正超声系统中波束形成时间延迟的方法。该方法包括将超声能量线束发射到对象内部。利用一组换能器元件阵列产生超声能量的线束，并将每个换能器元件构造成发射一个具有发

射波束形成时间延迟的超声能量脉冲。该方法进一步包括接收多个回波信号，将每个换能器元件构造成接收具有波束形成时间延迟的超声能量束并估计每个回波信号和每个成像方向上的到达时间误差。该方法进一步包括利用校正的发射和接收波束形成时间延迟来校正发射和接收波束形成时间延迟并产生对象的超声图像。

在备选实施例中，提供了一种估计波束形成时间延迟的超声系统。该超声系统包括具有一组以一个图案布置的阵列元件的换能器阵列，每个元件可单独操作从而在发射模式期间发射超声能量束穿过对象，并在接收模式期间响应于冲击到换能器上的振动能量而产生回波信号。该超声系统包括耦合到换能器阵列上的发射器，并且该发射器在发射模式期间被用于将具有各自发射波束形成器时间延迟的单独发射信号脉冲应用到每个阵列元件上从而提供受控的（directed）发射波束。一个接收器耦合到换能器阵列上并在接收模式期间用于对每个阵列元件所产生的回波信号进行采样并将接收波束形成器的时间延迟施加到每个回波信号样本中以产生对应的多个接收信号。该系统进一步包括一个波束形成器系统，该系统被构造成可估计每个回波信号和每个成像方向上的到达时间误差并校正发射和接收波束形成时间延迟。该系统还包括一个被构造成产生超声图像的图像处理器。

附图说明

当参考附图阅读下面详细描述时，本发明的这些和其他特征、方面和优势将被更好地理解，在整个附图中相同的特征表示相同的部件，其中：

图 1 是根据本发明的一个方面实施的一个超声系统实施例的方框图；

图 2 是根据本发明一个方面的一个波束形成器实施例的方框图；

图 3 是示出了一种估计到达时间误差并产生时间延迟校正的方法的流程图；

图 4、图 5 和图 6 是示出了多个换能器元件与它们各自的复相关和的相位之间的比较；

图 7 是示出了一种标示复相关和的方法的流程图；

图 8 是示出了一种使用图像数据来标示相关和的方法的流程图；

图 9 是示出了感兴趣区附近有血管存在的组织图像；

图 10 是示出了一种探测感兴趣区附近的血管存在的方法的流程图；

图 11 是示出了感兴趣区附近有光散射体存在的组织图像；

图 12、图 13、图 14 和图 15 是示出了复相关和的相以及换能器阵列中换能器元件对应的数据掩模的图示；以及

具体实施方式

图 1 是根据本发明的一个方面实施的超声系统 10 实施例的方框图。该超声系统包括采集子系统 12 和处理子系统 14。采集子系统 12 包括一个换能器阵列 18（包括多个换能器阵列元件 18A 到 18Z）、发射/接收切换电路 20、一个发射器 22、一个接收器 24 和一个波束形成器系统 26。处理子系统 14 包括一个控制处理器 28、一个解调器 30、一个成像模式处理器 32、一个扫描转换器 34 和一个显示处理器 36。显示处理器进一步耦合到一个用于显示图像的监视器。用户接口 40 与控制处理器 28 和显示监视器 38 进行交互。该处理子系统还可耦合到包含网络服务器 44 和远程连通接口 46 的远程连通子系统 42。处理子系统可进一步耦合到数据仓库（data repository）48 以接收超声图像数据。该数据仓库与图像工作站 50 进行交互。

如此处所用的“可操作来”、“可构造成”等等涉及元件间硬件或软件的连接使元件能协作以提供所描述的效果；这些术语还涉及诸如模拟或数字计算机或特定用途设备（诸如专用集成电路（ASIC））的电子元件的操作能力，这些电子元件可进行编程以执行结果从而提供响应于给定输入信号的输出。

结构和模块可以是专用硬件元件（例如具有数字信号处理器的电路板），或者可以是在通用计算机或处理器（例如商业、现货供应 PC）上运行的软件。根据本发明的各种实施例，可将各种结构和模块组合或分离。

在采集子系统 12 中，换能器阵列 18 接触对象 16。该换能器阵列耦合到发射/接收（T/R）切换电路 20。T/R 切换电路 20 耦合到发射器 22 的输出和接收器 24 的输入。接收器 24 的输出是波束形成器 26 的输入。波束形成器 26 进一步耦合到发射器 22 的输入，以及耦合到解调器 30 的输入。

在处理子系统 14 中，解调器 30 的输出耦合到成像模式处理器 32 的输入。控制处理器连接成像模式处理器 32、扫描转换器 34 并连接到显示处理器 36。成像模式处理器 32 的输出耦合到扫描转换器 34 的输入。扫描转换器 34 的输出耦合到显示处理器 36 的输入。显示处理器 36 的输出耦合到监视器 38。

超声系统 10 将超声能量发射进入到对象 16 的选定区域中并接收和处理来

自该对象的反向散射回波信号以产生并显示一个图像。

为了产生超声能量的发射束，控制处理器 28 给波束形成器 26 发出指令数据，以产生发射参数从而以所需的操纵角度从换能器阵列 18 表面的某一点处产生所需形状的波束。将该发射参数从波束形成器 26 发送给发射器 22。发射器 22 利用该发射参数通过 T/R 切换电路 20 对待发送给换能器阵列 18 的发射信号进行适当编码。该发射信号被设置在某些电平并且相对于彼此具有时间延迟，并被提供给换能器阵列 18 的单个换能器元件。发射信号激励换能器元件以发出具有相同时间延迟和电平关系的超声波。结果，当通过使用例如超声凝胶将换能器阵列 18 声耦合到对象上时，沿扫描线在扫描平面内与对象体内形成超声能量的发射束。该过程作为电子扫描是已知的。

换能器阵列 18 是双向换能器。当超声波射入到对象内部时，该超声波被对象内部的组织和血液样本反向散射。依据进入到返回超声波的组织内的距离以及相对于超声波返回到的该换能器阵列 18 的表面的角度，换能器阵列 18 在不同时间接收反向散射回波信号。这些换能器元件响应反向散射的回波信号并将超声能量从反向散射回波信号转换成电信号。

将所接收的电信号经 T/R 切换电路 20 传送到接收器 24。接收器 24 将该接收的信号放大和数字化并提供诸如增益补偿的其他功能。数字化的接收信号对应由每个换能器元件在不同时间接收的反向散射波并保存反向散射波的振幅和到达时间信息。

将数字化接收的信号发送给波束形成器系统 26。控制处理器 28 给波束形成器系统 26 发送命令数据。波束形成器系统 26 利用该命令数据形成一条源自换能器阵列 18 表面一点的接收波束，所述接收波束的调控角度典型地对应于沿扫描线发射的以前的超声波束的调控角度。

波束形成器系统 26 根据来自控制处理器 28 的命令数据的指令，通过执行时间延迟、振幅加权和求和对适当的接收信号进行操作，以产生对应于对象体内的扫描平面上沿扫描线的样本体积的接收波束信号。该波束形成器系统可进一步包括调整时间延迟和振幅加权的像差算法 (aberration algorithm) 从而校正由像差组织层面所引入的误差。该波形本身也可进行调节以校正所述像差。

将接收波束信号发送到处理子系统 14 中。解调器 30 对接收波束信号进行解调以产生对应于扫描平面内样本体积的 I 和 Q 解调数值对。将解调的数据发

送给被构造成产生图像的成像模式处理器 32。图像模式处理器 32 利用参数估计技术从扫描序列格式中的解调数据产生成像参数数值。该成像参数可包含对应于各种可能成像模式的参数，诸如象 B 模式、M 模式、彩色速度模式、空间多普勒模式以及组织速度成像模式。将该成像参数数值传给扫描转换器 34。扫描转换器 34 通过执行从扫描序列格式到显示格式的转换来处理该参数数据。该转换包括执行在该参数数据上的插值操作从而产生显示格式中的显示像素数据。

另外，图像处理器利用图像处理算法在图像上探测所需的特征。接着使用这些由图像处理算法所探测的特征来改变计算或执行波束形成时间延迟的方向。例如图像处理器可在某一区域内掩出校正，或者它可基于源自图像的信息从不同估计技术中进行选择。在具体实施例中，执行迭代像差校正算法来快速计算波束形成时间延迟。将该图像分成若干区域并在第一区域的起始引发图像内的第一波束。在后继区域被引发的同时收集并处理来自第一区域的数据。该技术在下一帧引发波束之前留有用于处理的时间。

将扫描转换像素数据传送到显示处理器 36 以便执行扫描转换像素数据的任何的最后空间或时间滤波，将灰阶或色彩应用到该扫描转换的像素数据，以及将数字像素数据转换成用来在监视器 38 上显示的模拟数据。用户 40 基于监视器 38 上所显示的数据与波束形成器系统 26 进行交互。

如前面所述，波束形成器系统 26 在接收信号上执行时间延迟操作。参考图 2 下面进一步详细描述了波束形成器系统估计和校正接收信号内的波束形成时间延迟的方式。

图 2 是一个自适应的波束形成器系统 28 实施例的方框图。该波束形成器系统被示为经多路复用器 27 从换能器阵列 18 的换能器元件 18A 到 18Z 对接收信号进行接收。该换能器元件还用于将超声能量发射到对象的选定区域中。下面进一步详细描述了该波束形成器系统的每一个模块。

波束形成延迟 62 包括波束形成器延迟元件 62A 到 62Z。每个延迟元件把延迟引入到从对应的换能器元件 18A 到 18Z 所接收的接收信号中。将时间延迟后的接收信号提供给加法器 64 以产生一个总共的时间延迟接收信号。

将该总共的时间延迟接收信号提供给复合滤波器 68 从而产生一个复合波束和 (beamsum) 信号。将该复合波束和信号提供给如图 2 中所示的相关器处

理器 70。相关器处理器 70 包括多个相关器处理器 70-A 到 70-Z。每个相关器处理器接收波束和信号以及来自延迟元件 62A 到 62Z 的延迟接收信号。

每个相关器处理器的输出是被称为复相关和的复数。该复相关和的相位与每个接收信号与波束和信号之间所估计的时间延迟成比例。

来自每个相关器处理器的相关和对应于波束形成通道和成像扫描线束。将来自每个相关器处理器的相关和提供给相关和处理器 74。该相关和可由下面的公式表示：

$$\sum_{r=r1}^{r2} B^*(r)s(r) \quad \text{公式 (1)}$$

其中 $B^*(r)$ 表示波束和信号的复共轭，而 $s(r)$ 是通道信号。“B”和“s”可以都是基带信号或解析信号，或者“B”可以是基带信号或解析信号而“s”可以是实信号。在相关范围样本“r1”到“r2”上计算该总和。

相关和处理器还接收两个其他信号作为输入，它们可用于标准化该相关和。在一个实施例中，输入信号是波束和信号的平方幅值与通道信号的平方幅值。该波束和信号的平方幅值在相关范围样本上求和并由下面的公式表示

$$\sum_{r=r1}^{r2} |B(r)|^2 \quad \text{公式 (2)}$$

类似的，在相关范围样本上求和的通道信号的平方幅值由下面的公式表示：

$$\sum_{r=r1}^{r2} |s(r)|^2 \quad \text{公式 (3)}$$

在可选实施例中，将波束和信号的总和幅值与通道信号的总和幅值提供给相关和处理器 74。波束和信号的总和幅值由下面的公式表示：

$$\sum_{r=r1}^{r2} |B(r)| \quad \text{公式 (4)}$$

类似的，通道信号的总和幅值由下面的公式表示：

$$\sum_{r=r1}^{r2} |s(r)| \quad \text{公式 (5)}$$

相关和处理器利用上述每个波束形成通道和波束的输入信号产生一组波束形成时间延迟校正。接着将该时间延迟校正应用到波束形成时间延迟上。

图 3 是示出了一种相关和处理器 74 产生波束形成延迟的方法的流程图。下面进一步详细描述该方法的每一步。

在步骤 78 中，相关和处理器计算一些或所有波束形成通道和成像扫描线束的标准化相关和。该标准化相关和“C”由下面所示的公式（6）表示。

$$C = \frac{\sum_r B^*(r)s(r)}{\sqrt{\sum_r |B(r)|^2 \sum_r |s(r)|^2}} \quad \text{公式 (6)}$$

当“B”和“s”都是基带信号以及当“B”和“s”都是解析信号时应用公式（6）。“C”幅值的范围在零和一之间。当“B”与“s”成比例时“C”的幅值是单位值。当“B”是基带信号或解析信号而“s”是实信号时，“C”的幅值范围在零与两者平方根的倒数之间。在可选实施例中，标准化相关和“C”由下面所示公式（7）表示。

$$C = \frac{N \sum_r B^*(r)s(r)}{\sqrt{\sum_r |B(r)| \sum_r |s(r)|}} \quad \text{公式 (7)}$$

此处“N”是在其上进行总和计算的范围内样本的数目。公式（7）是利用公式（6）计算的标准化相关和的近似值，它更容易在数字硬件中进行计算。利用 N 个样本 x_1, x_2, \dots, x_N 标准偏差的定义可将公式（6）变换到公式（7）中，

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i\right)^2}$$

它可再整理为公式（8）

$$\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2} = \sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2}} \left(\frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N x_i\right) \quad \text{公式 (8)}$$

在此 μ 是 N 个样本 x_i 的平均值，

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

公式（8）中的因子 $\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2}}$ 对于给定的统计分布是常数。在 $x = |s|$ 的情况下，忽略常数因子，公式（8）将公式（6）变换成公式（7），这些常数因子这是描述了实或复合斑点状信号幅值统计分布的阶单位数（order unity），并且可将它丢弃，因为我们仅对下面描述的相关和处理中的相关和的相对范数感兴趣。

在步骤 80 中，将标准化的相关和映射到波束与换能器元件的阶中。在许多系统中，换能器阵列中元件的数量多于波束形成通道的数量。例如，1D 线

性和曲线换能器阵列可具有 192 个元件但典型地连接到具有 128 个波束形成通道的超声系统上。通过一组可编程的多路开关进行通道和元件之间的连接，这些多路开关对每个波束方向选择一个换能器元件的子集。

具有“nRow”行和“nCol”列的多行换能器阵列中的元件用表示为“row=0,1,到(nRow-1)”的行索引以及表示为“col=0,1,到(nCol-1)”的列索引来标识。可选的，在换能器阵列 18 中的元件由元件号“el”来标识，其中 el 等于“col”+“row”×“nCol”。

在步骤 82 中，将映射的相关和修正到使不可靠的时间延迟估计效果最小。将不可靠的时间延迟估计定义为被识别成类似不正确或异常噪声一样的估计。相关和处理器建立了表示为“mask[el, bm]”的掩模，其将每个元件与波束的相关和标识为可靠或不可靠。识别元件用于识别哪个相关和的相位是不可靠的到达时间误差估计，提高了最终所估计的到达时间误差的鲁棒性和精确性。参考图 4 下面进一步描述了将相关和标识为可靠或不可靠的方式。

继续图 3 的步骤 82，将掩模中的每个入口初始设为零，零是所选的任一数值以识别可靠的相关和。对于每个不可靠相关和来说，“mask[el, bm]”被设为 1，第二个任一数值。另外，如果给定波束的不可靠元件的数量超过一个特定的阈值，则对于该波束“mask”中的每个入口设为 1，这在图 7 中进一步详细描述。最后对于“mask”中每个为 1 的入口，通过将其相位设为零来修正对应的相关和，同时保持幅度不变，

$$C' = |C| \quad \text{公式 (9)}$$

此处 C 是待修正的复相关和而 C' 是修改后的相关和。

在步骤 84，对修正的相关和的实部和虚部进行滤波。在一个实施例中，使用在整个元件索引上所应用的一维实对称低通滤波器以及整个波束索引上所应用的单独的一维实对称低通滤波器。这些滤波器的长度被选择成，使得在没有过度压缩相关和的相位的空间方差情况下减少相关和的相位中的方差。在一个实施例中，使用具有三角系数的滤波器。三角滤波器是频率响应不会为负的滤波器的一个示例。对于稳定的时间延迟相关算法操作来说，整个元件和波束索引上的滤波器空间频率响应一定不能改变符号。该算法作为一个具有负反馈的系统运算，修改波束形成时间延迟以迫使到达时间误差为零。如果任一个滤波器的空间频率响应改变了符号，则该反馈将在符号改变的情况下从负转换到

正，而正反馈在一些空间频率上将导致算法放大而非压缩到达时间误差。在一个实施例中，三角滤波器的宽度对于波束滤波器是 13 个波束而对于元件滤波器是 5 个元件。

在步骤 86 中，计算滤波后的相关和的相位，接着将其转换到时间延迟校正。通过相关和的相位除以 $2\pi f$ 因子可获得时间延迟校正，在此“f”是所接收超声信号的标称中央频率。

对复相关和而非到达时间误差进行滤波的优势在于：当到达时间误差估计的幅值对应大于 $\pm\pi$ 的相位变化时，即到达时间误差大于 $\pm 1/(2f)$ 时，它极大地提高了到达时间误差估计的精度。在这种情况下，处于 $-\pi$ 到 $+\pi$ 范围内的相关和的相位如图 4 所示从接近 $+\pi$ 的数值跳到 $-\pi$ ，反之亦然。

图 4、图 5 和图 6 是显示了在换能器阵列中具有各自的相关和相位（在“y 轴”上）的每个换能器元件（在“x 轴”上）的图示。实线是对应光滑变化到达时间误差的理想相关和的相位，该光滑变化到达时间误差对于如 18E 附近区域和 18M-18Q 附近区域所见的一些元件来说大于 $1/(2f)$ 。图 4 中的实心圆圈是在已经增加了少量噪声后这一理想相关和的相位。图 5 中的实心圆圈是对有噪声的相关和的相位进行低通滤波的结果。如图 5 所见，在相位发生回绕(wrap)的区域附近，与期望相位（实线）的近似会比较差。图 6 示出了对嘈杂的相关和进行低通滤波、随后计算该相关和的相位的结果。如图 6 所见，与真实相位（实线）的一致性更好。

继续图 3，在步骤 88 中，对来自时间延迟校正的上升和方位角方向的波束调整项进行估计并接着进行去除。去除该调整项以使图像的几何畸变最小，该畸变可在例如图像中一些对象的大小很重要时导致误诊。也可以对这些时间延迟施加其它约束条件，诸如平均时间延迟校正为零，使范围内的校正波束偏移最小，或者在时间延迟校正中没有抛物线项，使发射波束的焦点深度偏移最小并使对动态聚焦接收波束上的焦点偏移的影响最小。

在步骤 90 中，将该时间延迟校正从元件映射到通道级中。如图 2 所示将该时间延迟校正被提供给波束形成延迟 62A-62Z。在一个实施例中，将该时间延迟校正应用到每个音频帧中。

如图 3 的步骤 82 所描述的，将相关和处理器构造成把每个相关和标识成可靠或不可靠。图 7 是示出了相关和处理器确定每个相关和可靠性的方式的流

程图。

假设到达时间误差源（即像差层）在空间上是平滑改变的。这样真实时间延迟校正（与所观察的相关和的相位成比例）被假定为对给定的波束穿过换能器缓慢地改变，并且在该换能器上对给定的元件缓慢地改变波束方向。相反地，不可靠的元件是那些相穿过换能器不会缓慢变化或者对于给定的换能器元件波束方向没有缓慢改变的元件。对于二维换能器，即那些再分成跨越换能器上升和方位角维数的元件来说，除了在波束方向上之外通常还在两个换能器维数上评估相位的平滑度。在一些情形中，仅在其中一个换能器维数上评估相位的平滑度就足够了。这对减少计算下面描述的求导硬件和软件以及滤波器的复杂度是有利的。在下文中，词语“元件方向”应当解释为表示简化实施例的单个换能器维数或者通常实施例的两个维数。

在步骤 92 中，计算相关和的相位。计算元件方向中相位导数的近似值以及波束方向中该导数的近似值。在一个实施例中，利用最近邻差，该近似值是离散的导数。在步骤 94 中，计算整个元件索引上的相位离散导数。在步骤 96 中，计算整个波束索引上的相位离散导数。在步骤 98 中，对每个元件和波束进行元件方向上的相位离散导数的绝对值与波束方向上的相位离散导数的绝对值求和。

在步骤 100 中，通过波束方向上的低通滤波来平滑离散导数绝对值的和。在步骤 102 中，通过元件方向上的低通滤波来平滑导数绝对值的和。执行该滤波以减少由取导数处理所引入的波动，所述处理会放大噪声。在一个实施例中，将邻近数值对进行相加。可将两点低通滤波器的输出安排成补偿由两点离散导数产生的半采样偏移。

在步骤 104 中，将相位导数的滤波和与用户指定的第一阈值数进行比较。在一个实施例中，第一阈值数大约是五弧度。对于大于第一阈值数的滤波和中的每个入口，将对应掩模中的入口设为 1。对于那个元件和波束，将相关和标记为不可靠。

类似的，当在前面步骤中将该波束方向的不止一个相关和的第二阈值数标记为不可靠时，在给定波束方向上所有元件的相关和被标记为不可靠。第二阈值数也可由用户指定。在一个实施例中，该第二阈值是波束形成通道数量的二分之一。识别所估计的时间延迟校正的基本数量不可靠的波束，以便当图像含

有由于肋骨阻挡或者由于换能器与对象较差接触所造成的声影区时防止引入伪影。在这种情形下发射和接收波束被显著恶化。由于参考信号是被恶化或畸变的波束和信号，很可能对这些波束对所有元件的相关和是不可靠的。可以看到如果在有效孔径中元件的大部分被识别为具有不可靠的相关和，则将剩余相关和作为校正常常导致图像恶化而不是图像改进。

利用图像处理算法还可将波束形成到达时间误差标记成不可靠。在一个实施例中，对图像进行处理以探测与错误校正估计有关的“标记”。如此处所使用的，术语“标记”指代图像中与有关波束形成时间延迟估计的可靠性和精度有关的任何可识别的特征。该“标记”可以是各种形式，诸如局部统计参数、组织特征或者相对于解剖结构的位置。

图 8 是示出了一种使用图像数据来识别不可靠波束形成到达时间误差的方法的流程图。该方法示出了使用局部统计来估计时间延迟校正的可靠性。在步骤 105 中，利用波束和或图像数据来估计图像中感兴趣区域的统计参数。统计参数包括但不限于平均亮度、标准偏差、高阶矩、关于分布形状的参数以及对特定统计分布描述实际数据的匹配程度进行量化的品质因数。

在步骤 106 中，该统计参数在图像上或在时间上进行滤波以提高该统计参数的估计。可选的，该统计参数可在更大的区域上进行估计。基于局限该参数的需要和所估计值结果质量来计算估计区域的大小或滤波的量。在步骤 107 中，使用滤波统计参数来标记没有一组统计属性的区域，该统计属性对估计时间延迟校正可传导的。在步骤 108 中，将所标记的区域从用于时间延迟估计中排除。在步骤 109 中，进行校验以确保没有已经拒绝或保留估计的小孤立区域。如果存在这种区域，则通过局部插值来将它们去除从而避免引入新的伪影。可将这些区域的标记合并到图 7 的步骤 104 所描述的掩模中。

本领域的技术人员已知的是某些时间延迟估计算法在充分显影的斑点区域中效果最好。来自斑点区域的复合信号的幅值具有被称为 Rayleigh 分布的统计分布。可以确定是否一组信号振幅被 Rayleigh 分布合理地描述。如此处所使用的，感兴趣区 (ROI) 指代用于计算相关和的该组波束和范围样本。如果 ROI 中的信号振幅没有被 Rayleigh 分布很好地描述，则可去除该 ROI 或者改变 ROI 的大小直到统计分布近似为 Rayleigh 分布。如果对一小组邻近波束没有发现含有近似信号幅值的 Rayleigh 分布的区域，则到达时间误差利用周围到达时间误

差估计对该组进行插值。除了 ROI 的大小和位置，可调整用在到达时间估计中的其他参数，诸如相位导数阈值。

如以前所描述的，利用各种组织特征技术可识别组织类型。如果某些组织类型具有更好地传导估计到达时间误差的属性，则基于来自图像的统计信息可将用于估计到达时间误差的感兴趣区移至此类区域。肝脏是这种组织类型的一个示例，因为它通常含有较大区域的斑点状散射体。同样地，如果已知特定类型的组织不适于估计到达时间误差，则在图像中可探测该组织并无需应用相应的不正确到达时间误差估计。隔膜是非斑点状的组织类型的一个实例，因而不适于许多估计到达时间误差的方法。

血管和其他无回声区域是图像中存在明显标记的示例。图 9 是示出了感兴趣区和血管的区域图像。血管 122 的大小是这样的，使得 ROI 120 的全部或大多数在该血管内。来自血液的回声比周围组织 124 的回声小的多。结果来自提供到达时间误差估计的 ROI 的声音能量相对很小。周围组织反射所发射的波束的旁瓣中的能量并且结果信号比从无回声血液中所反射的信号更大。这样周围组织充当了类似离开轴线的“亮”靶，而对时间延迟校正的估计拟会将所校正的波束朝血管边界调整或增加发射和接收波束的旁瓣。在这种情况下，该图像用于确定 ROI 是否位于血管或无回声区域内。利用来自图像的这一信息，可执行算法以避免由增加的旁瓣或朝血管边界调整所引起的伪影。

图 10 是描述了探测感兴趣区是否位于血管内或其附近的算法的流程图。在步骤 110 中，对每个波束在整个感兴趣区上计算平均信号振幅“ A_i ”。该平均振幅可以是 log 压缩振幅数据的平均值或者是线性振幅数据平均值。可从扫描转换数据或从在扫描转换之前的原始数据中计算该平均值。在步骤 111 中，对图像上的“N”个波束的每一个可计算“M”波束上的区域平均值“ L_i ”。该区域平均值可以是“ A_i ”值的简单平均或者可以是空间加权平均。平均区域的长度“M”可以是图像数据的函数，或可以是固定的，或者可由用户来选择。

在步骤 112 中，如果“ A_i ”小于 L_i 达至少某一特定阈值，给定波束的感兴趣区被认为是在血管内部。由于无回声区域通常用黑色的像素显示，这种波束被标记为“暗”。设定该阈值使得将处于血管中央的波束标记为“暗”。然而，自动地，该操作常常不是将一些血管内的波束而是将邻近边界的一些波束标记为“暗”，因为血管边界在图像上，特别是未校正的图像上不是从亮到暗的尖

锐转换。为了避免这种情况下的伪影，同样标记所标记区域周围的邻近波束。在步骤 113 中，所识别的“暗”波束之前的“n”个波束和之后的“n”个波束也被标记为“暗”。通过在没有错误达到时间估计的区域内降低校正效果与避免由错误估计到达时间误差所引起的伪影之间进行折中来选择“n”。在步骤 114 中，将标记为“暗”的波束合并入掩模，其将相关和标记为图 7 的步骤 104 中所述的可靠或不可靠。

图像中易于产生错误到达时间误差估计的特征的另一示例是非常亮的靶，即声音的强反射体。图 11 显示了刚好位于 ROI 128 外侧的亮散射体 126。一个亮散射体的示例是隔膜，它典型地比周围组织更亮。当该亮散射体刚好位于 ROI 外侧时，与发射波束的旁瓣有关的声波将反射离开亮散射体并显著地作用于来自 ROI 的接收信号。从亮靶 126 反射的旁瓣声音能量 132 几乎与从主波束通路 128 中的组织上所反射的声音 130 一样大。在一些情况下，该旁瓣能量比从感兴趣区反射的声音更大。

在一个实施例中，当在图像中探测亮靶时，忽略在亮散射体附近的象差估计，并且根据周围未被玷污的估计来内插该区域的校正。在另一实施例中，ROI 的大小在范围内增加以减少亮散射体的影响。

图像处理算法可用于探测应用校正后出现在图像上的不连续。同样地，图像处理算法可探测具有改进亮度、更锐利的边界以及更好的统计分布的图像区域并像更多的待校正一样标记这些校正。通过量化每个区域中估计的可靠性，可在每个区域上使用相关和的加权滤波器，其将减少不可靠相关和相对于可靠相关和的贡献。

该图像还可用来确定和量化组织相对于换能器的移动。当换能器或组织移动时，到达时间误差的样式也穿过换能器进行偏移。如果在到达时间误差样式的测量与波束形成时间延迟的校正之间存在明显的时间间隔，则该偏移可引起对波束形成通道错误地应用波束形成时间延迟校正，导致低于图像上的最佳改进。通过估计到达时间误差样式偏移，可对该偏移进行补偿。

上面描述的发明具有若干优势，包括通过在滤波之前对相关和进行标准化来获得提高的精度。复相关和的幅值是被相关的两个信号之间的相似度的量度。在滤波步骤之前对相关和进行标准化比不可靠相关和更加强了可靠相关和的权重。例如，在没有标准化的情况下，信号很大但有噪声的元件将比信号更

小但时间延迟估计可靠的邻近元件对元件滤波的相关和贡献更多。类似的，异常亮度但有噪声的波束将比时间延迟估计可靠的邻近波束对滤波的相关和贡献更多。

该方法通过标准化相关和使“死”的或非常嘈杂的换能器元件的贡献最小，因为噪声通道信号将与波束和信号进行很差的相关。这样，最小化了探测并补偿死的或噪声换能器元件或者补偿死的或噪声系统通道所需要的额外操作或硬件。

上述方法还利用噪声相位的简单估计量来鲁棒性地忽略噪声相位的区域从而使图像伪影的引入最小且无需用于计算的复杂和昂贵的硬件。作为示例，图 12 示出了噪声相估计区域和数据掩模，其已经不能正确地识别元件 18I 和 18Q 之间噪声区域中的两个元件，此处数据掩模是 0，指明估计是可靠的。图 13 示出了通过相关和的幅值和后继对该相关和进行滤波来替换标记为不可靠的元件的相关和结果，即此处数据掩模是 1。即使两个噪声相关和没有被修正，在整个噪声区域上经过滤波和修正的相关和接近于零，如所需的。

本发明在可靠的到达时间估计可用的波束与到达估计是可靠的波束之间进行平滑地插值，从而避免引入分散的边界并在该区域之间的图像上产生中断。图 14 示出了作为波束数函数的每个元件的相关和的相位。邻近 18I 到 18Q 的波束在这一例子中被标记为不可靠，并将相关和的相位设为零，保留幅值。滤波后的相位显示在图 15 中。该相位在邻近噪声区域的左边界处平滑地降为零，并在邻近噪声区域的右边界处平滑地从零开始增加。相同的平滑插值发生在这些波束的所有元件上，使得在校正与未校正波束之间图像上的过渡是平滑的。

虽然仅在此处示出并描述了本发明某些特征，但是对于本领域的技术人员来说会进行许多修改和改动。因此，可以理解的是附加的权利要求拟覆盖所有落在本发明真实精神内这些修改和改动。

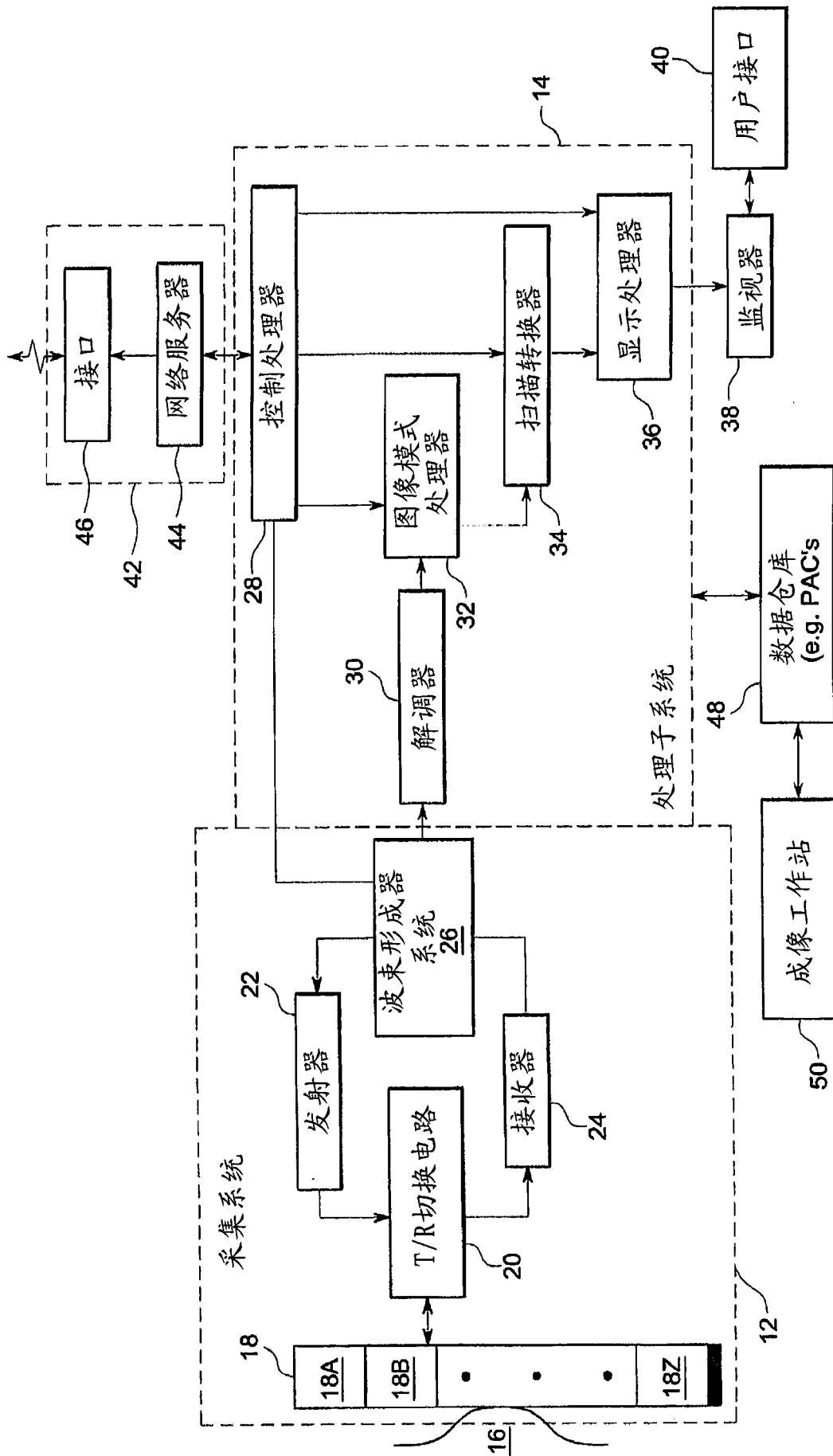


图 1

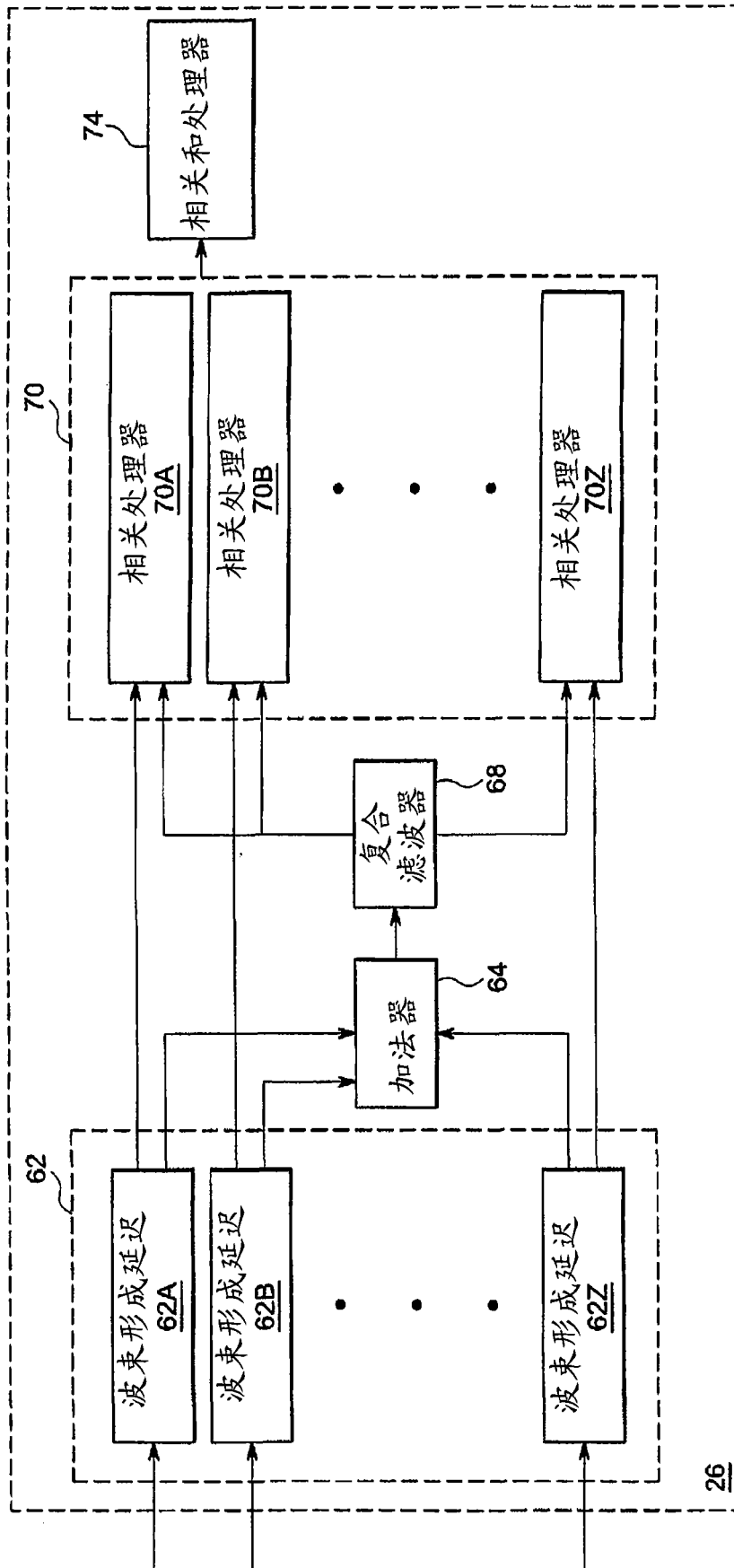


图 2

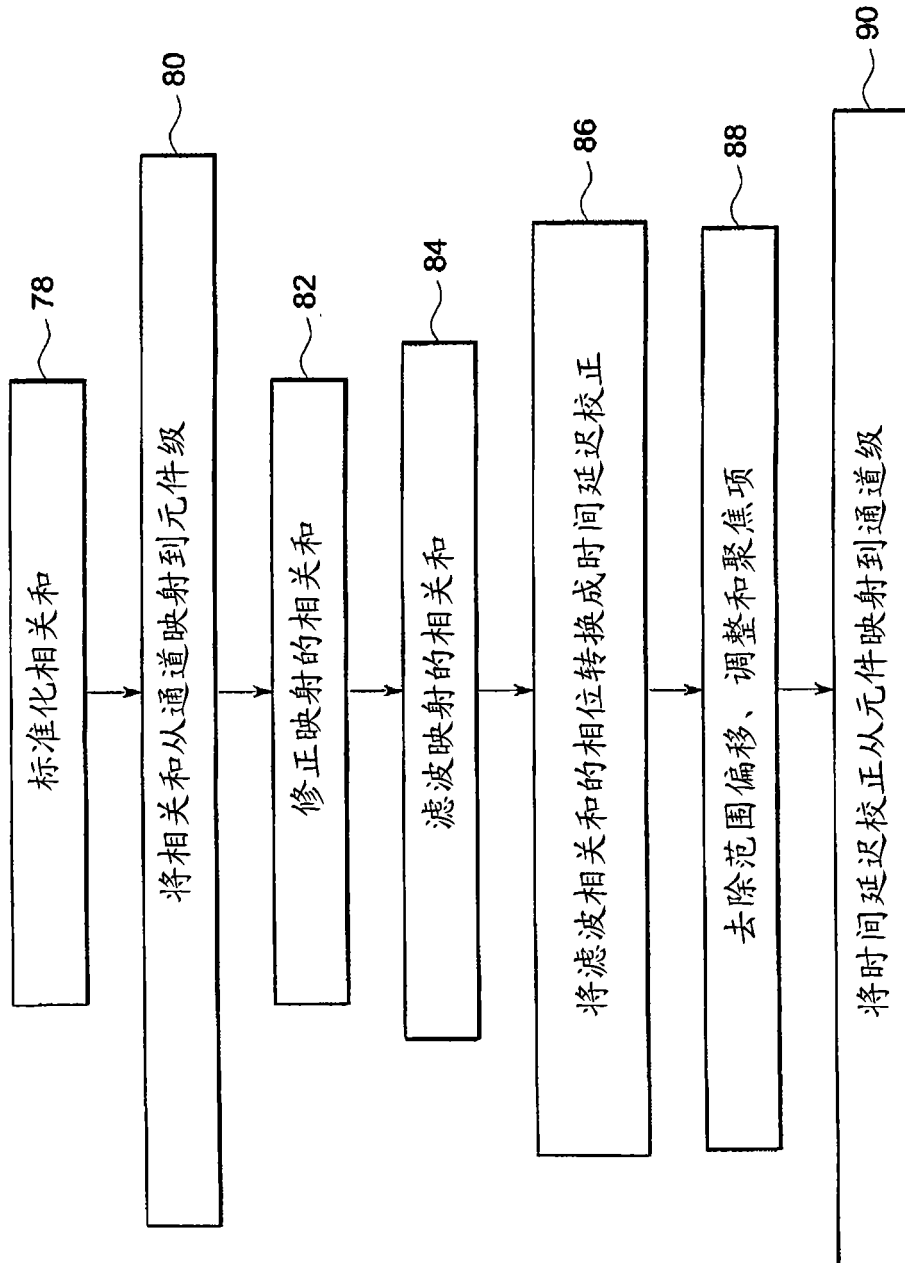


图 3

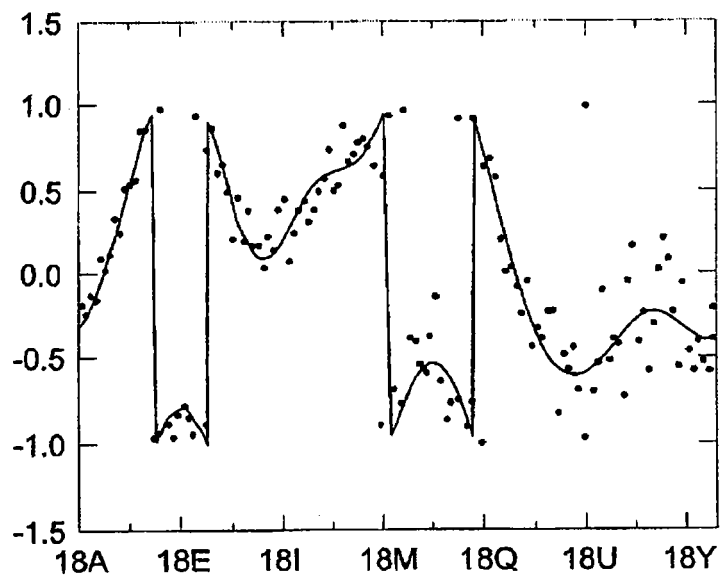


图 4

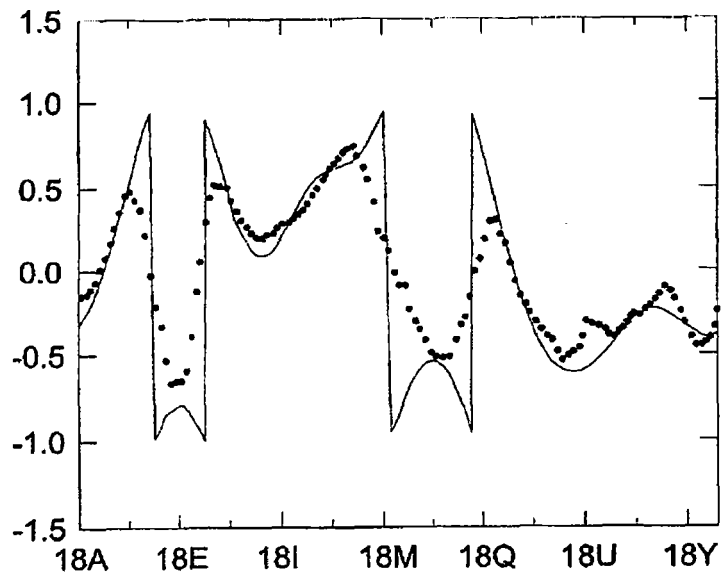


图 5

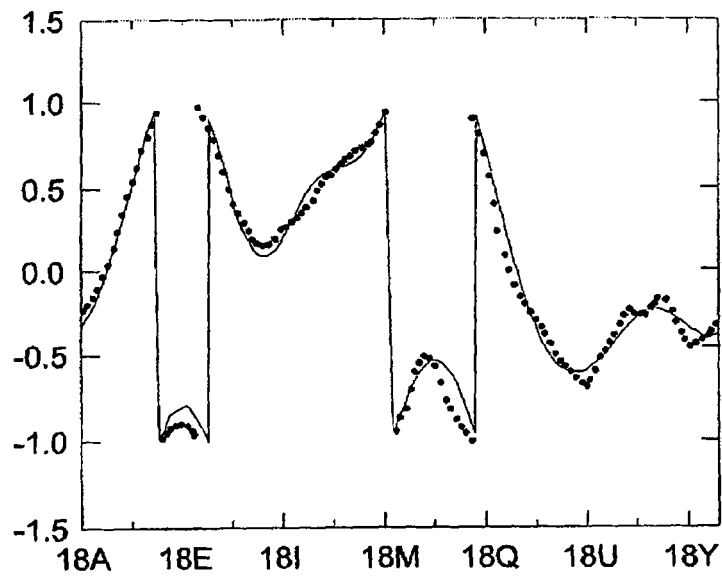


图 6

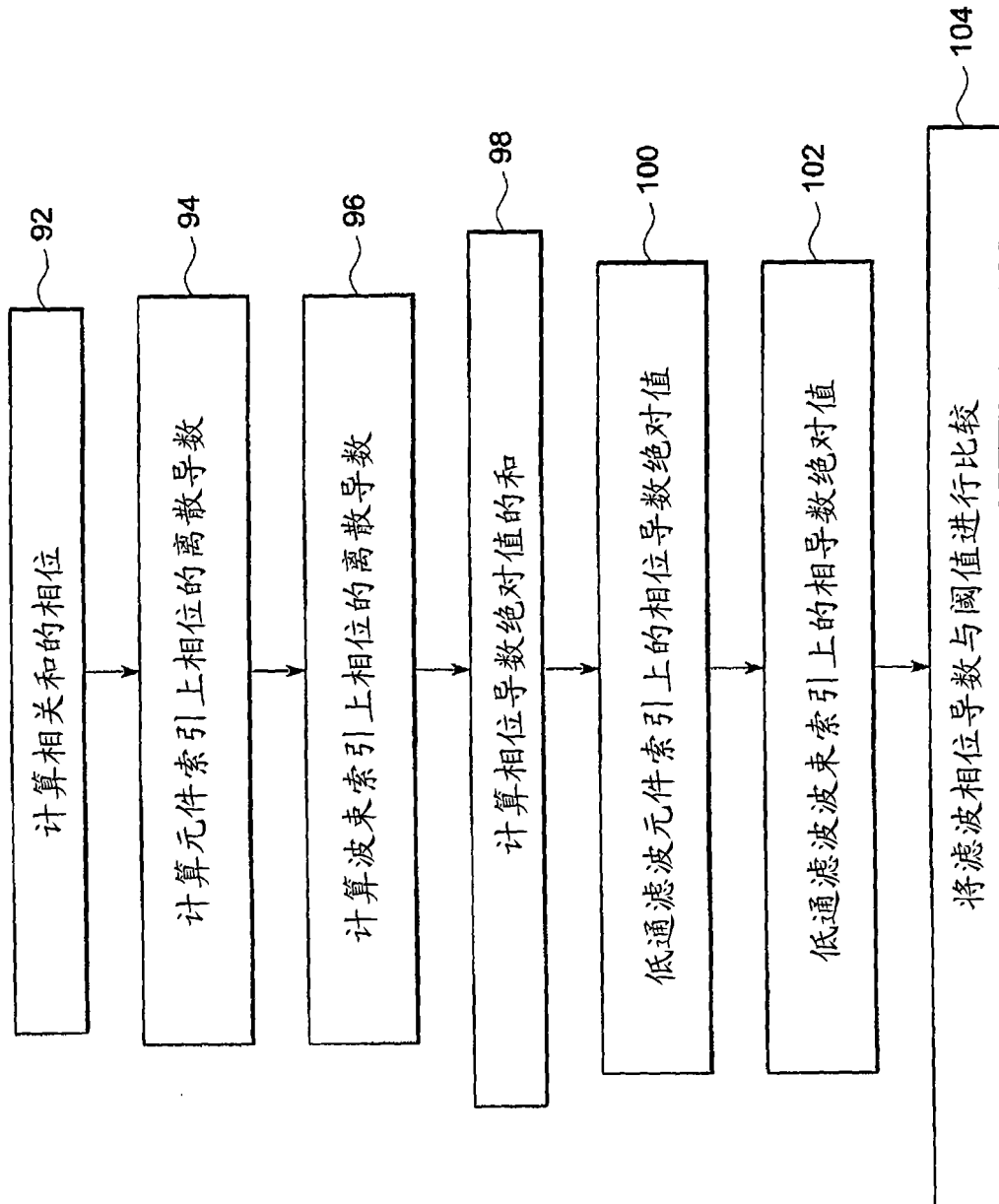


图 7

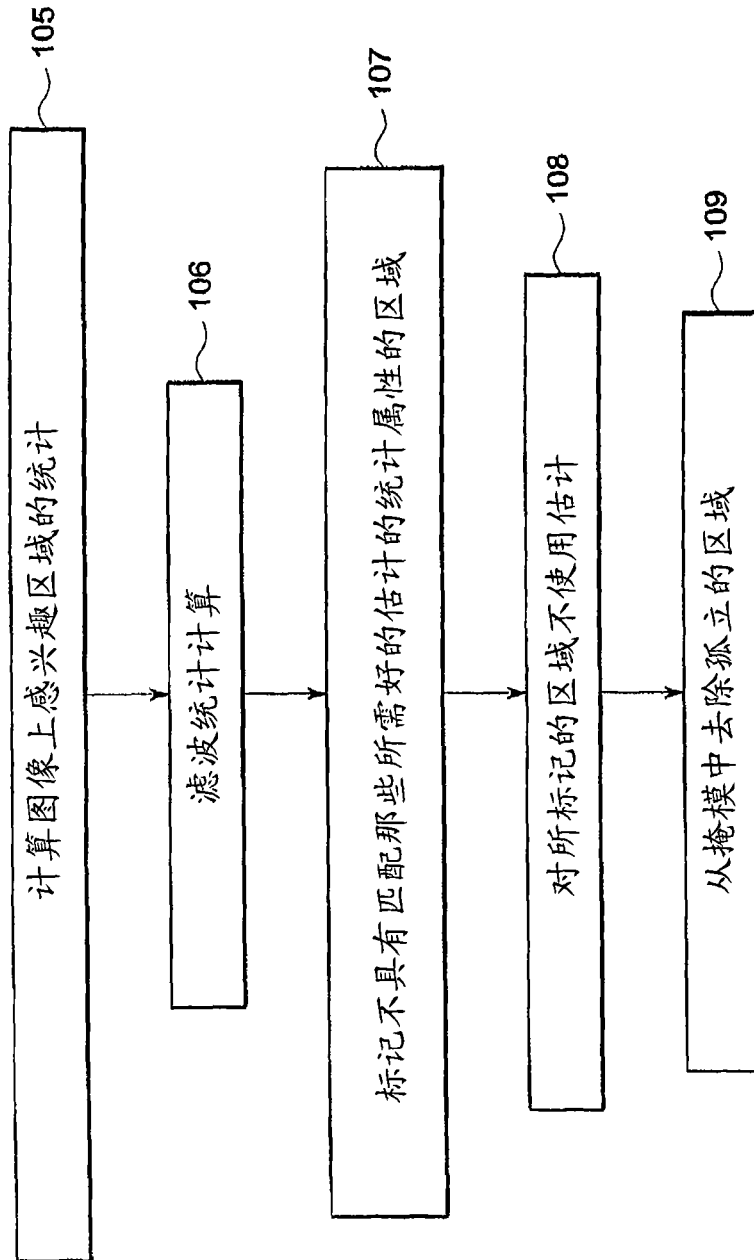


图 8

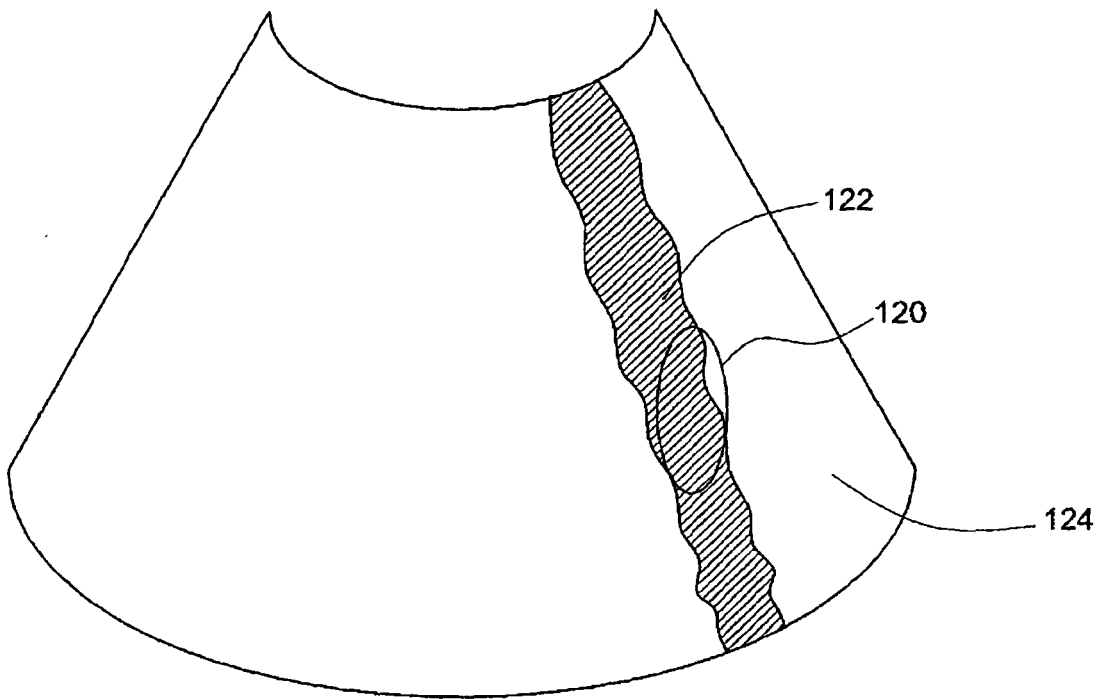


图 9

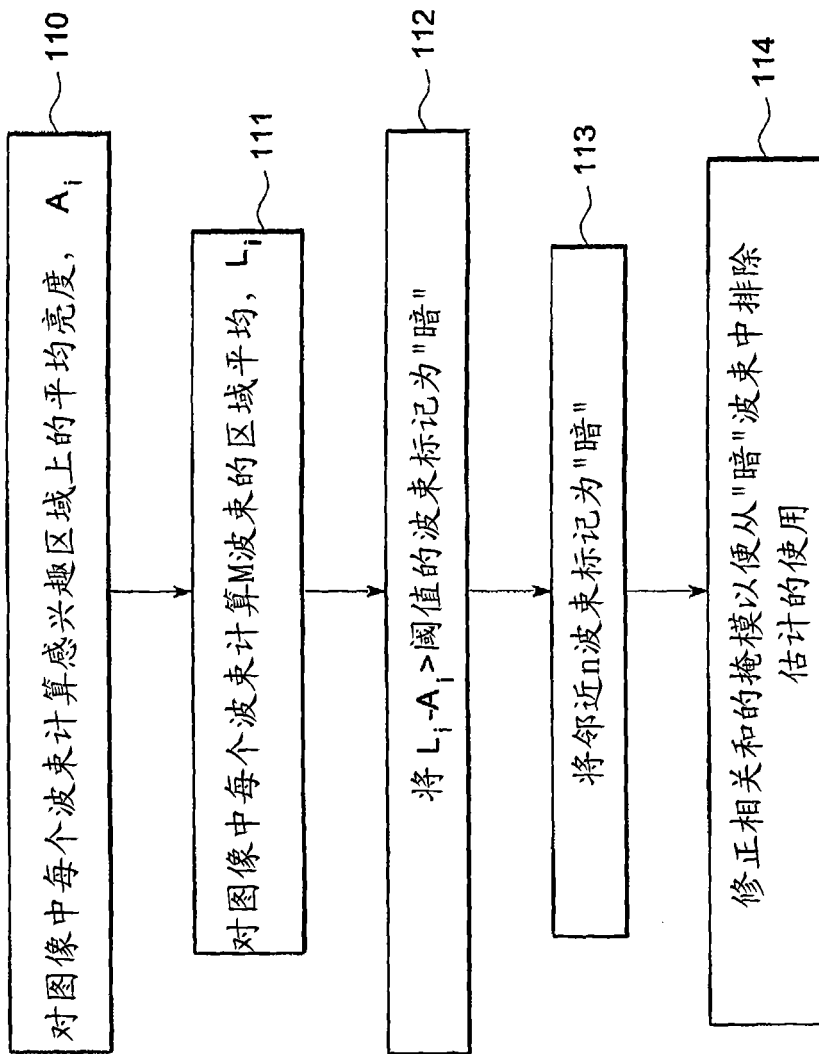


图 10

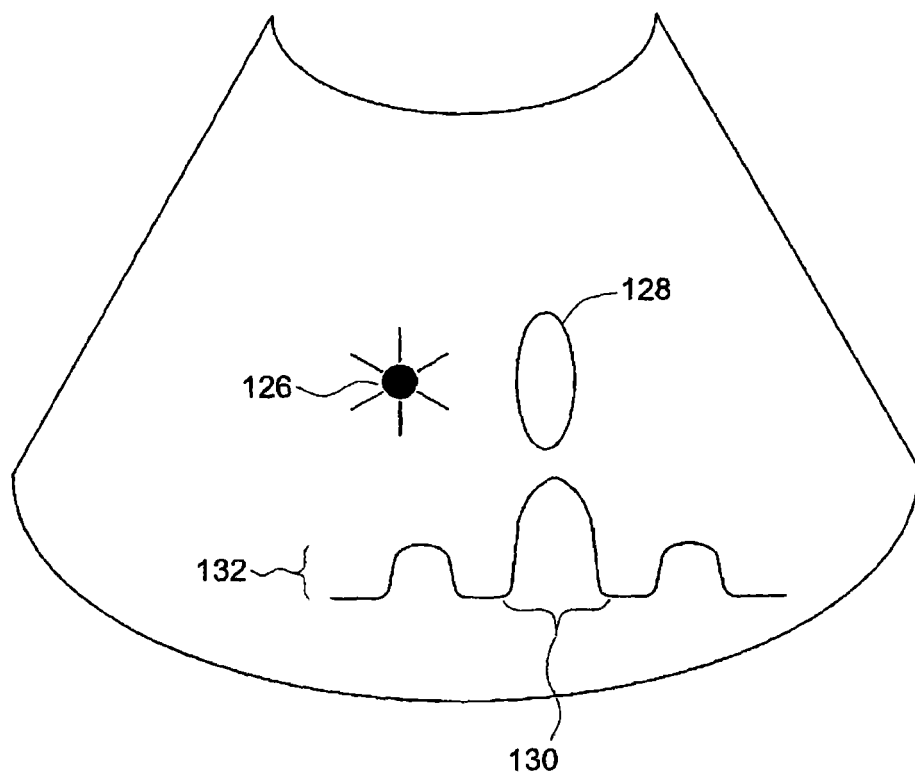


图 11

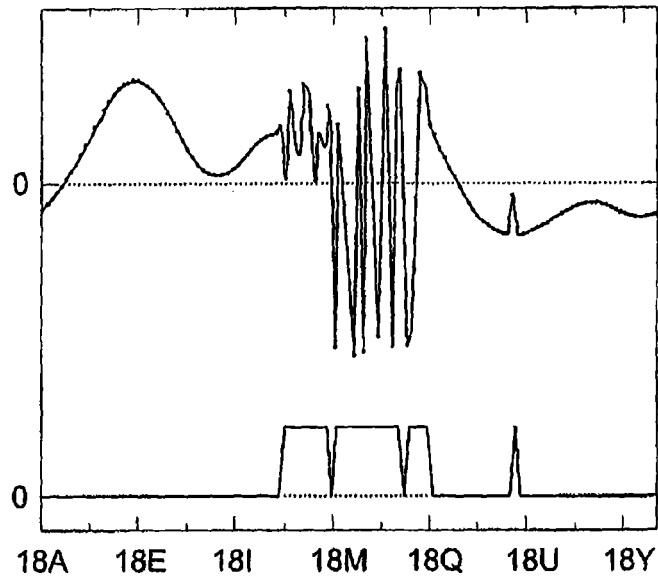


图 12

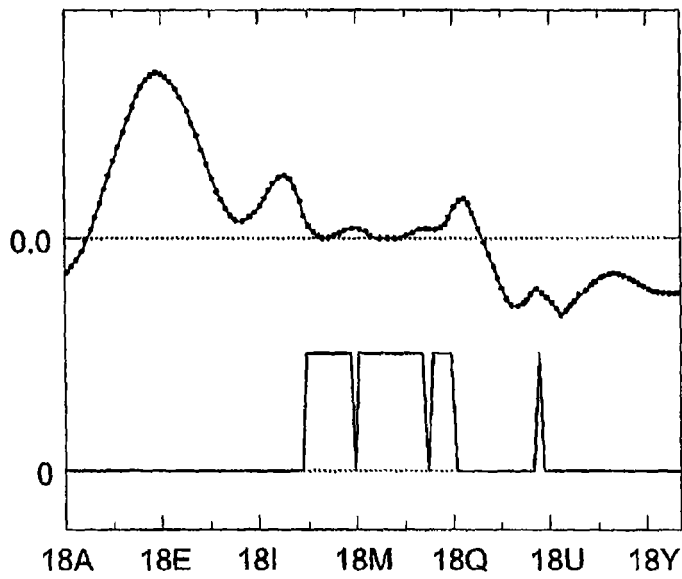


图 13

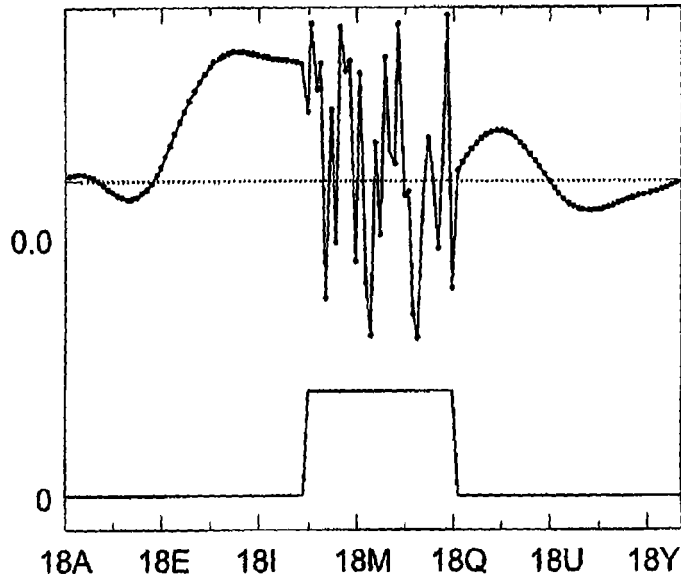


图 14

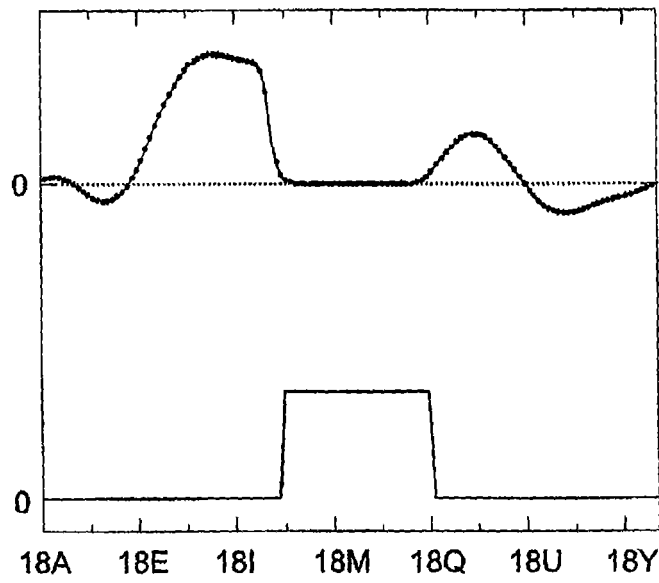


图 15

专利名称(译)	用于在超声成像中精确时间延迟估计的方法和系统		
公开(公告)号	CN101264022A	公开(公告)日	2008-09-17
申请号	CN200710101660.9	申请日	2007-03-16
[标]申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
当前申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
[标]发明人	KW里格比 CR哈扎德		
发明人	K· W· 里格比 C· R· 哈扎德		
IPC分类号	A61B8/00 G01N29/44		
其他公开文献	CN101264022B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明提供了一种用于校正超声系统(10)中波束形成时间延迟的方法。该方法包括以发射波束形成时间延迟将超声能量的波束发射进入对象内部。该方法进一步包括接收具有接收波束形成时间延迟的多个回波信号并估计每个回波信号和每个成像方向的波束形成时间延迟误差。该方法进一步包括校正发射和接收波束形成时间延迟并利用校正的发射和接收波束形成时间延迟来产生对象的超声图像。

