



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102057297 B

(45) 授权公告日 2014. 05. 28

(21) 申请号 200980121431. 0

代理人 杨小明

(22) 申请日 2009. 04. 03

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

A61B 8/00(2006. 01)

2008-105039 2008. 04. 14 JP

G01S 7/52(2006. 01)

G01S 15/89(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2010. 12. 09

审查员 卢浩

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2009/057299 2009. 04. 03

(87) PCT国际申请的公布数据

W02009/128389 EN 2009. 10. 22

(73) 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 染田恭宏 长永兼一 及川克哉

齐藤惠志 高井康好 瀧宏文

佐藤亨

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

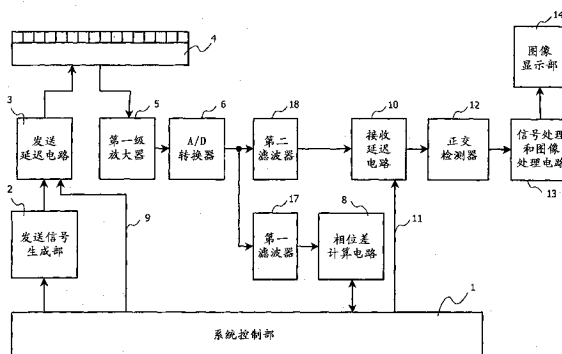
权利要求书1页 说明书12页 附图10页

(54) 发明名称

使用超声波的图像形成方法和像差校正方法

(57) 摘要

一种超声波图像形成方法包括:第一步骤,接收从物体反射的第一信号;第二步骤,基于如此接收的第一信号获得像差校正值;第三步骤,当基于像差校正值校正的第二超声波被发送到所述物体时,接收从该物体反射的第二信号;和第四步骤,从像差校正值和第二信号形成图像。第二超声波的中心频率在0.5MHz和20MHz之间,第一超声波的中心频率在第二超声波的中心频率的3/16和9/20之间。通过这种方法,可获得精确的像差校正值,并且即使像差大且难以校正,也可实现高分辨率的超声波成像。



1. 一种图像形成方法,用于当超声波被发送到物体时使用来自该物体的反射波来形成图像,包括:

第一步骤,当第一超声波被发送到所述物体时,接收从所述物体反射的第一反射波;

第二步骤,基于第一反射波获得像差校正值;

第三步骤,当基于像差校正值校正的第二超声波被发送到所述物体时,接收从所述物体反射的第二反射波;

第四步骤,从像差校正值和第二反射波形成图像,其中,

第二超声波的中心频率不低于 0.5MHz 且不高于 20MHz,

第一超声波的中心频率不低于第二超声波的中心频率的 $3/16$ 且不高于第二超声波的中心频率的 $9/20$,

在第三步骤之前,还包括:通过重复执行第一步骤和第二步骤多次来获得像差校正值的步骤,其中通过使用在最近的第二步骤中获得的像差校正值对在重复执行步骤中的第二次重复和随后次重复中所使用的第一超声波进行校正。

2. 根据权利要求 1 所述的图像形成方法,其中,在第四步骤中所使用的像差校正值为通过使用第二反射波进一步校正第二步骤中获得的像差校正值而获得的像差校正值。

3. 根据权利要求 2 所述的图像形成方法,其中,当重复执行第一步骤和第二步骤多次时,第一超声波的中心频率从一个步骤到另一个步骤变化,并且第二超声波的中心频率高于最后次重复中所使用的第一超声波的中心频率。

4. 根据权利要求 3 所述的图像形成方法,其中,当重复执行第一步骤和第二步骤多次时,对每次重复增大第一超声波的中心频率。

5. 根据权利要求 1 至 4 中的任何一个所述的图像形成方法,其中,第一超声波的中心频率的确定方式使得关于通过使用像差校正值所校正的第二超声波所形成的波束图案的根据以下公式 (1) 定义的值 E 落入预先确定的范围内,

$$E = \sum (I(x) - P_T) i(x) j(x) \Delta x / \sum (I(x) - P_T) j(x) \Delta x \quad \dots(1)$$

$$i(x) = \begin{cases} 1: I(x) > P_T \\ 0: \text{其它} \end{cases}$$

$j(x)$: 加权函数

$I(x)$: 通过最大功率规范化的发送光束功率

P_T : 阈值

x : 位置。

6. 根据权利要求 5 所述的图像形成方法,其中,公式 (1) 中的加权函数满足根据以下公式 (2) 定义的条件:

$$j(x) = \begin{cases} x^a: & \text{在主波束区域内} \\ bx^c: & \text{在主波束区域外} \end{cases} \quad \dots(2)$$

a, b, c : 任意实数。

7. 根据权利要求 6 所述的图像形成方法,其中,公式 (2) 中的参数 a, b, c 满足以下条件中的至少一个: $a=2, b>0$ 和 $c=0$ 。

使用超声波的图像形成方法和像差校正方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种使用超声波形成标本 (specimen) 的截面图像或三维图像的图像形成方法。本发明还涉及一种校正在标本中产生的声光像差 (acousto-optical aberrations) 的超声波像差校正方法。

背景技术

[0002] 传统的典型的使用超声波形成截面图像的设备 (或图像形成设备) 具有:发送器部分,其将超声波发送到标本 (比如,将被检查的物体,例如活体);接收器部分,其接收反射的超声波;扫描装置,其用于改变发送和接收的超声波的方向以用于扫描;和用于将接收的反射信号转换为亮度信号以将它们可视化的装置。使用通过具有上述构造 (configuration) 的图像形成设备获得的时间系列截面图像来观察标本的内部。在一种类型的这样的设备中,通过前述扫描装置使超声波方向以扫描方式垂直和水平移动,以形成三维图像。

[0003] 如专利文献 1 所述,当超声波信号 (有时将被简单称为超声波) 被发送或发射到例如活体的检查对象中时,超声波信号在该对象中传播,并被存在于该对象内部中的反射体 (reflecting element) 反射。然后,反射信号再次在检查对象中传播,并被超声波探测器接收。在这个处理中,由于用作传播介质的检查对象的组织一般是不均匀的,所以当超声波到达超声波探测器时,在这些超声波之间存在相位差。从而,发生从接收的超声波形成的图像失真的现象 (称为相位抵消效应)。相位抵消效应使得超声波探测器的从其发送超声波信号 / 在其上接收超声波信号的面 (有时也称为开口或开口面) 上的反射波的延迟的分布偏离理论值。由于这个原因,分辨率的显著改进不能通过简单地增大开口 (开口面) 来实现,并且图像质量的改进难以实现。

[0004] 解决这个问题的一种方法是相位共轭发送和接收。在相位共轭发送和接收中,典型地执行相位整形相加处理 (有时也称为波束形成),以使得基于在其上接收入射波的开口面上的相位分布而将方向性自动地调整为入射波到来的方向。作为解决上述问题的措施,相位共轭发送和接收的该特性被用于即使在由于传播过程中的声速分布而导致入射波接收面上的相位分布失真的情况下也相对于目标波源 (有时也称为回波源) 正确地实现像差校正。具体地讲,从通过波接收阵列 (有时也称为接收探测器) 接收的波信号之中选择两个接收的波信号,并确定这些信号之间的通道间相位差。其后,获得通道间相位差中所包含的非理想分量,以确定相位差校正值。然后,使用如此确定的相位校正值来校正接收的波信号的相位。在以上处理中所选择的两个接收的波信号为来自构成波接收阵列的超声波元件之中的每对相邻元件的两个信号,或者作为备选的方案,为来自所有元件的信号的平均值和来自各个元件的信号。如专利文献 2 中所述,在计算相位校正值时,使用互相关计算。这里,前述“元件”表示由用于发送和接收超声波的一个或多个超声波变换器 (transducer) 构成的基本单体单元。

[0005] 专利文献 3 中所公开的另一种像差校正方法包括:从阵列探测器发送第一波前

(wave front) 的步骤,以及,基于所获得的波前确定像差校正值的步骤。该方法还包括从阵列探测器发送反映像差校正值的第二波前的步骤和从所获得的第二波前形成图像的步骤。为了提高相位的精度,第一波前可作为窄波束被发送,并且为了提高扫描速度,第二波前可作为宽波束被发送。

[0006] 非专利文献 1 公开了一种通过重复执行专利文献 1 中所公开的方法来提高校正精度的尝试。根据专利文献 4 和 5 中所公开的方法,在使用基本频率和谐波频率中的一个执行成像的同时,使用基本频率和谐波频率中的另一个执行像差校正。

[0007] 引用列表

[0008] 【专利文献】

[0009] 【专利文献 1】日本专利申请公开 No. 5-237104

[0010] 【专利文献 2】日本专利申请公开 No. 7-79972

[0011] 【专利文献 3】日本专利申请公开 No. 2006-142026

[0012] 【专利文献 4】美国专利 No. 6023977

[0013] 【专利文献 5】美国专利 No. 6223599

[0014] 【非专利文献】

[0015] 【非专利文献 1】“Estimation of ultrasound wave aberration with signals from random scatterers”, J. Acoust. Soc. Am. 115(6), 2004

发明内容

[0016] 【技术问题】

[0017] 在传统方法中,像在来自点目标的反射的情况下,可校正来自其反射强度高于一水平的目标物体(也称为测量目标物体)的信号(或反射波)。然而,传统方法具有如下缺点:像在来自小散射体的反射的情况下,难以校正来自其反射强度弱或低于某一水平的目标物体的信号(或反射波),这是由于所述信号之间的相关程度低。因此,在专利文献 1 中所公开的传统像差校正方法中,还需要对从存在于目标物体附近的介质产生的微弱的且不均匀的反射波(或回波)的散斑(speckle)分量执行相位差测量,所述目标物体产生包括对其进行像差校正的声线(sound ray)的信号(反射波)。然而,散斑分量(或来自小散射体的信号)为不稳定分量,仅可通过所述不稳定分量的统计特性讨论所述不稳定分量,并且,与对点目标的相位测量不同,散斑分量的测量要求在回波的某区间长度上的积分。此外,由于超声波探测器中干扰将被测量的信号(也称为主瓣(lobe))的相位测量的外围信号(也称为旁瓣)的存在,在一些情况下接收到来自除了目标物体之外、但与该物体位于相同圆形上的反射点的回波。这样的回波接收引起像差校正的误差。

[0018] 在专利文献 1 中所公开的方法中,可通过仅收集来自目标的包含多普勒分量的回波上的数据,将前述归因于旁瓣的像差校正误差减小到一定程度。然而,在例如检查对象为活体等的情况下,该方法仅可应用于血流部分和其它移动部分,其应用范围大大受限。

[0019] 在非专利文献 1 中,通过重复来改进同一方法,以意图提高校正精度。然而,已报导了这种方法在处理相关程度低的数据时具有问题。

[0020] 另一方面,在如专利文献 3 所述的将窄波束(即,一束声线)用作第一波前的情况下,通常使用高频范围。在将宽波束用作第二波前的情况下,通常使用低频范围,或者作为

备选的方案,通过延迟或开口控制等控制波束直径,而不改变频率。在这种情况下,尽管使用高频范围来提供窄波束导致相位敏感性增加,但是引起这样的问题,即,发生大于一个周期的相位变化,并且不能实现波前的对准(这个问题有时称为混叠(aliasing))。另一方面,如果低频用于防止混叠,则产生不能实现足够的分辨率的另一问题。

[0021] 专利文献 4 和 5 中所述的方法依赖于这样的假设,即,可在基本频率或谐波频率处实现像差校正。然而,这些文献没有公开对于像差幅度大得以至于难以校正像差的情况的解决方案。根据本发明的发明人的发现,仅通过使用具有两个不同频率的超声波,不能必定获得高精度的像差校正,而是在所使用的一些频率对中,校正效果小或者有时相当不利。

[0022] 通常使用具有表示方向或位置的水平轴和表示信号强度的垂直轴的曲线图对超声波方向性进行评估。然而,难以对具有高方向性和高旁瓣的波束和具有相对低方向性和低旁瓣的波束进行量化评估。虽然对于执行专利文献 4 和 5 中所公开的像差校正的情况也是如此,但是这些专利文献 4 和 5 没有公开任何关于像差和频率的评估的内容。

[0023] 本发明鉴于上述问题而提出,目的是提供一种即使在像差量大并且难以校正的情况下也计算精确的像差校正的方法、以及使用这样的像差校正实现高分辨率的超声波成像的方法。

[0024] 【问题的解决方案】

[0025] 为了实现以上目的,发明人进行了努力的研究来实现本发明。本发明基于以下发现而提出,即,在发送和接收时使用低频有利于通过由接收元件接收的信号之间的相关和改进像差校正的精度,并且以高频发送和接收就分辨率而言好于以低频发送和接收。此外,本发明还基于以下发现而提出,即,像差校正量的频率依赖性低,并且存在像差校正中所使用的最佳高频和低频。

[0026] 本发明基于以上发现而提出,并根据其本质提供一种当超声波被发送到物体时使用从该物体反射的信号来形成图像的图像形成方法,该方法包括:

[0027] 第一步骤,当第一超声波被发送到物体时接收从该物体反射的第一信号;

[0028] 第二步骤,基于如此接收的第一信号获得像差校正;

[0029] 第三步骤,当基于像差校正校正的第二超声波被发送到所述物体时接收从该物体反射的第二信号;和

[0030] 第四步骤,从像差校正和第二信号形成图像,其中

[0031] 第二超声波的中心频率不低于 0.5MHz 且不高于 20MHz,

[0032] 第一超声波的中心频率不低于第二超声波的中心频率的 3/16 且不高于第二超声波的中心频率的 9/20。

[0033] 根据本发明,还提供一种当超声波被发送到物体时使用从该物体反射的信号来形成图像的图像形成方法,该方法包括:

[0034] 第一步骤,当至少包含具有不同中心频率的第一超声波和第二超声波的超声波被发送到物体时接收从该物体反射的信号;

[0035] 第二步骤,将接收的信号分离成第一信号和第二信号,第一信号表示第一超声波的反射波,第二信号表示第二超声波的反射波;

[0036] 第三步骤,基于如此分离的第一信号获得像差校正;和

[0037] 第四步骤,从像差校正和第二信号形成图像,其中

[0038] 第二超声波的中心频率不低于 0.5MHz 且不高于 20MHz,

[0039] 第一超声波的中心频率不低于第二超声波的中心频率的 3/16 且不高于第二超声波的中心频率的 9/20。

[0040] 根据本发明,进一步提供一种当具有不同频率的两个或更多个超声波被发送到物体时使用从该物体反射的信号来校正像差的像差校正方法,该方法包括:

[0041] 第一步骤,当第一超声波被发送到物体时接收从该物体反射的第一信号;和

[0042] 第二步骤,基于如此接收的第一信号获得像差校正值,其中

[0043] 第二超声波的中心频率不低于 0.5MHz 且不高于 20MHz,

[0044] 第一超声波的中心频率不低于第二超声波的中心频率的 3/16 且不高于第二超声波的中心频率的 9/20。

[0045] 根据本发明,还进一步提供一种用于在具有不同频率的两个或更多个超声波被发送到物体时使用从该物体反射的信号来校正像差的像差校正方法,该方法包括:

[0046] 第一步骤,当至少包含具有不同中心频率的第一超声波和第二超声波的超声波被发送到物体时接收从该物体反射的信号;

[0047] 第二步骤,将接收的信号分离成第一信号和第二信号,第一信号为第一超声波的反射波,以及第二信号为第二超声波的反射波;和

[0048] 第三步骤,基于如此接收的第一信号获得像差校正值,其中

[0049] 第二超声波的中心频率不低于 0.5MHz 且不高于 20MHz,

[0050] 第一超声波的中心频率不低于第二超声波的中心频率的 3/16 且不高于第二超声波的中心频率的 9/20。

[0051] **【本发明的有益效果】**

[0052] 根据如上所述的本发明,即使在像差大且难以校正的情况下,也可通过选择像差校正处理中所使用的最佳频率和获得精确的像差校正值来实现高分辨率的超声波成像。

附图说明

[0053] 图 1 是示出根据本发明的频率和等价半值宽度的曲线图。

[0054] 图 2 示出根据本发明的像差校正中所使用的发送频率和波束图案。

[0055] 图 3 示出根据本发明的像差校正中所使用的发送频率和评估函数。

[0056] 图 4 示出根据本发明的像差校正中所使用的发送频率和评估函数。

[0057] 图 5 是用于示出第一实施例的超声波设备的框图。

[0058] 图 6 是用于示出第一实施例的像差校正和成像的处理的流程图。

[0059] 图 7 是示出用于示出第一实施例的仿真模型的示图。

[0060] 图 8 显示用于示出第一实施例的波束图案。

[0061] 图 9 是用于示出第二实施例的超声波设备的框图。

[0062] 图 10 是用于示出第三实施例的像差校正和成像的处理的流程图。

具体实施方式

[0063] 在本发明中,将像差校正处理中所使用的超声波定义为第一超声波,将频率成像处理中所使用的超声波定义为第二超声波。

[0064] 在本发明中,图像形成不是必不可少的。仅通过根据本发明的像差校正方法获得的像差校正数据可被用作分析数据等。

[0065] 在本发明中,考虑以下事实,即,为了实现良好的像差校正,必须选择像差校正处理中所使用的合适频率和成像处理中所使用的合适频率,并且对波束特性进行评估。在传统的像差校正方法中,没有用于确定是否有效地实现了像差校正的标准。本发明的发明人通过研究发现了以上事实。

[0066] 具体地讲,优选地,可使用以下定义的评估函数对波束特性进行评估。

$$[0067] \quad E = \sum (I(x) - P_T) i(x) j(x) \Delta x / \sum (I(x) - P_T) i(x) \Delta x \quad \dots (1)$$

[0068]

$$i(x) = \begin{cases} 1: I(x) > P_T \\ 0: \text{其它} \end{cases}$$

[0069] $j(x)$: 加权函数

[0070] $I(x)$: 通过最大功率规范化的发送光束功率

[0071] P_T : 阈值

[0072] x : 位置

[0073] 权重函数满足以下定义的条件。

[0074]

$$j(x) = \begin{cases} x^a: & \text{在主波束区域内} \\ bx^c: & \text{在主波束区域外} \end{cases} \quad \dots (2)$$

[0075] a, b, c : 任意实数

[0076] 这里,将下述评估函数定义为等价半值宽度,在该评估函数中,权重函数中的参数被设为 $a = c = 2$ 和 $b = 1$ 。

[0077] 在本发明中,成像处理中所使用的超声波(第二超声波)的频率(第二频率)的优选范围为 0.5MHz 至 20MHz。更优选的范围为 0.7MHz 至 15MHz。最优选的范围为 1MHz 至 12MHz。优选地,基于对将形成的图像的精确度、分辨率和清晰度(或精细度)的要求来确定成像处理中所使用的第二超声波的中心频率。

[0078] 在本发明中,像差校正处理中所使用的超声波(第一超声波)的频率(第一频率)的优选范围为前述第二超声波的中心频率的 3/16(18%) 至 9/20(45%)。

[0079] 以下,将对根据本发明的超声波成像中的像差校正方法进行描述。该成像方法包括超声波发送/接收的两个阶段。在第一阶段,通过发送和接收低频范围中的超声波(第一超声波)来测量像差的量。具体地讲,从多元件变换器(即,具有多个元件的超声波发送器/接收器)发射超声波(或第一信号),并通过各个元件接收反射的超声波(或第一信号)(第一步骤)。然后,执行与聚焦和转向相关联的元件之中的延迟校正,其后通过互相关计算来计算元件之间的相位差。这里所使用的互相关计算的方法与专利文献 2 中所述的方法相同。具体地讲,提取每个接收信号的某个部分作为互相关计算部分,并对两个相邻元件的如此获得的接收信号进行互相关计算。基于所获得的互相关函数的峰所存在的位置来确定相邻元件之间的时间差 $\Delta \tau$ 。对于所有的相邻的接收信号对,获得这样的时间差 $\Delta \tau$ 。将如此获得的时间差 $\Delta \tau$ 连续累加,其中,例如第一元件处的接收信号的到达时间被用作基准(datum)点。如此,确定各个接收信号相对于基准或参考接收信号的时间差 $\Delta \tau$ 。将如

此获得的时间差 $\Delta \tau$ 作为各个元件的时间延迟量（即，像差校正值）存储在设备中（第二步骤）。

[0080] 在后面将描述的第三步骤之前，重复执行第一步骤和第二步骤几次以再次校正一度获得的校正值。通过这样的重复处理，可进一步提高校正值的精度。在重复处理中，在第二次重复和随后的重复中的第一超声波为已经使用在最近的第二步骤中确定的像差校正值校正的那些超声波。

[0081] 以上处理中所使用的超声波的频率不必固定为单一频率（中心频率），而是可从一个步骤到另一个步骤改变该频率（增大或减小）。根据本发明的发明人的发现，可通过逐渐增大频率（例如，通过将在最后步骤中所使用的超声波的频率改变 5% 至 50%）来改进校正值的精度。频率不必每次增大，但是在一些步骤中，根据所获得的信号，可维持或减小在最后步骤中所使用的超声波的频率。为了提高校正值的精度，优选地，使图像形成处理中所使用的超声波（第二超声波）的中心频率高于在最后步骤中所使用的第一超声波的中心频率。考虑这是由于频率越高，分辨率越高。

[0082] 在第二阶段中，通过发送和接收对其校正了像差的超声波（第二超声波）来执行成像。具体地讲，发送被校正了在第一阶段中测量的延迟量的超声波，还对通过变换器接收的从物体反射的超声波进行类似的延迟校正处理（第三步骤）。因此，可在发送和接收超声波中实现合适的像差校正。然后，从像差校正之后的第二信号形成图像（第四步骤）。图像形成处理中所使用的第二超声波的频率被设计为高于第一超声波的频率。

[0083] 优选地，以前述等价半值宽度落在某个范围内这样的方式选择像差校正处理中所使用的第一频率和图像形成处理中所使用的第二频率的组合。图 1 显示具有第二频率 4MHz 的发送波束的等价半值宽度，该发送波束是使用通过发送 0.5MHz 至 4MHz 范围内的第一频率的超声波而获得的像差校正值而生成的。在图 1 中显示的曲线图中，水平轴表示像差校正处理中所使用的超声波（第一超声波）的频率。垂直轴表示等价半波宽度。等价半波宽度越小，超声波越聚焦在目标位置上。

[0084] 根据本发明的发明人的发现，为了形成更精细的图像，必须使等价半值宽度小于某个水平，并使旁瓣的影响小于某个水平。根据发明人的发现，在像差校正中仅主瓣被作为半值宽度评估的情况下，阈值为 -10dB。与图 1 中的阈值 -10dB 相应的曲线开始变化的等价半值宽度为 8mm。因此，优选地，等价半值宽度等于或小于 8mm，并且所述阈值等于或小于 -10dB。

[0085] 从以上得出，如果要实现阈值 -10dB 的等价半值宽度 8mm，则 0.75MHz 至 1.8MHz 范围内的频率适合作为获得像差校正值中所使用的第一频率，但是不低于 2MHz 的频率和不高于 0.6MHz 的频率是不适合的。认为这是由于在高频处像差校正值可能包括等于几倍波长的差，以及在低频处像差校正值的精度趋向于降低。在要实现前述值的情况下，认为第一频率的最佳值不低于第二频率的 3/16 且不高于第二频率的 9/20，但是该最佳值取决于介质的状态和阈值而一定程度地变化。

[0086] 以上提供的研究的结果显示在具有 4MHz 的中心频率的超声波用作第二超声波并且具有 0.5MHz 至 4MHz 范围内的中心频率的超声波用作第一超声波的情况下的关系。根据发明人的发现，这种关系不限于上述频率范围，但是它还可应用于至少在具有 0.5MHz 至 20MHz 范围内的频率的超声波用作第二超声波的情况下用于获得校正值的超声波的频

率范围。认为这是由于以下原因。由于第一频率和第二频率之间的关系主要由分别与第一频率和第二频率相应的相位测量的精度确定,所以认为如果要在相位测量中实现相同的精度,则它们的比率还可应用于其它频率。例如,在使用 20MHz 的第二频率的情况下,最佳第一频率的范围为 3.75MHz 至 9MHz。

[0087] 由于对于等价半值宽度情况的评估函数为发送功率关于目标聚焦点的方差,所以,为了形成更精细的图像,必须使用距目标点的发送功率的方差小的超声波。等价半值宽度可用于评估主波束的宽度和波束形成位置的位移这二者。然而,等价半值宽度的缺点是,形成旁瓣的位置距离目标点越远,旁瓣对评估值的影响就越大。因此,可以按以下方式确定评估函数以执行最佳校正。图 2 显示在分别使用 1.33MHz、1MHz 和 0.8MHz 的发送频率获得像差校正值的情况下具有 4MHz 的频率的波束中的传输波束图案(或功率分布)。在图 2 中,水平轴表示 x 坐标,以及垂直轴表示发送波束功率。通过使用频率 1MHz 的像差校正而获得的波束图案就主波束宽度和旁瓣水平而言比其它两个图案更有利。然而,如果将阈值设为 -15dB 或 -20dB,则认为:由于外围区域中旁瓣的功率,具有比通过使用频率 1.33MHz 的像差校正而获得的波束图案的等价半值宽度大的等价半值宽度。从这点将理解,在等价半值宽度用作评估函数的情况下,有时难以选择第一频率的最佳值。鉴于此,在使用等价半值宽度的评估可能不合适的情况下,可选择下面描述的函数。由于与旁瓣的位置无关,重要的是旁瓣的功率,所以与位置相关的参数对于评估旁瓣是不必要的。因此,可在主波束区域内和主波束区域外分别使用不同的函数作为加权函数,并可在主波束区域(有时称为主瓣)外将参数 c 设为 0($c = 0$)以消除位置的函数。图 3 和图 4 显示在加权函数的参数分别被设为 $a = 2$ 、 $b = 1$ 和 $c = 0$ (图 3)以及 $a = 2$ 、 $b = 10$ 和 $c = 0$ (图 4)的情况下图 2 中所示的各个发送波束图案的评估值。对于这些评估函数中的任何一个,第一频率可设为 1MHz,并实现相对于等价半值宽度情况的改进。如上,使用下面的评估函数也是有利的,所述评估函数分别在主波束区域内和主波束区域外使用不同的函数作为加权函数,并且不是主波束区域外的位置的函数。

[0088] 以下,将对本发明的另一种模式进行描述,在该模式下,在发送时,将第一超声波(或分量)和第二超声波(或分量)合成到同一单个超声波信号中。这里所述的是利用在宽带超声波信号(或者具有不同中心频率的多个超声波的合成超声波)被发送的情况下的像差校正技术的超声波成像方法。当像差量大时,使用频率比成像中所使用的第二频率分量的频率充分低的第一频率分量来获得像差校正值。在成像处理中,用包含具有不同中心频率的两个或更多个超声波频率分量的宽带超声波发送波束扫描整个测量空间一次(第一步)。然后,分别使用第一带通滤波器和第二带通滤波器从接收信号分出或提取第一频率分量(或第一信号)和第二频率分量(或第二信号)(第二步)。第一带通滤波器的最佳带通(即,允许通过的频率)取决于像差的量。优选的带通范围不低于第二带通滤波器的带通的 $3/16$ (18%)且不高出第二带通滤波器的带通的 $9/20$ (45%)。首先使用第一频率分量计算像差校正值(第三步)。然后,进一步使用第二频率分量校正(或改进)使用第一频率分量计算的校正值,其后使用通过第二校正而获得的校正值从第二频率分量形成超声波图像(第四步)。根据这种方法,仅通过使用宽带超声波信号的一次扫描来实现对于所有的测量方向的像差校正和图像形成。因此,可实现高时间分辨率。

[0089] 为了即使在超声波在其中传播的介质为在其中存在小的散射体(有时称为弱散

射体)的不均匀介质的情况下也通过计算获得准确的校正值,同样优选的是,以满足以下关系这样的方式选择第一超声波的频率和第二超声波的频率。也就是说,优选地,第一超声波(即,像差校正处理中所使用的超声波)的中心频率不低于第二超声波(即,图像形成处理中所使用的超声波)的中心频率的 $3/16(18\%)$ 且不高於第二超声波的中心频率的 $9/20(45\%)$ 。因此,发送和接收超声波信号时所使用的探测器的分数带宽(即,通过将带宽除以中心频率而获得的值)必须在 $75.8\% \sim 137\%$ 的范围内,因为探测器必须发送和接收第一超声波和第二超声波。在像差校正处理中所使用的超声波的频率为 1MHz 并且图像形成处理中所使用的超声波的频率为 4MHz 的上述情况下,分数带宽为 83% 。然而,必须为每个中心频率提供足够大的带宽。鉴于以上,期望,例如,提供大于 100% 的带宽或者分别为第一超声波的中心频率(比如, 1MHz)和第二超声波的中心频率(比如, 4MHz)提供足够的带宽。

[0090] 如前所述,在使用宽带超声波信号的情况下第一超声波和第二超声波的频率(或者中心频率)之间的关系与分开使用第一超声波和第二超声波的情况下第一超声波和第二超声波的频率(或者中心频率)之间的关系相同。

[0091] < 实施例 >

[0092] 虽然医学超声波诊断设备将被描述为超声波设备的示例性实施例,但是本发明不限于医学超声波诊断设备,而是它还可应用于以类似方式使用超声波的其它设备。以下,将参照附图对本发明的实施例进行详细描述。然而,应该理解,本发明绝不受以下描述的限制。

[0093] (第一实施例)

[0094] (第一超声波的发送/接收)

[0095] 图5是根据本发明的第一实施例的超声波设备的框图。图5所示的设备具有系统控制部1和发送信号生成部2,系统控制部1执行超声波设备的总体控制,发送信号生成部2生成将发送的超声波(波)。发送信号生成部2接收从系统控制部1输入的发送触发信号(trigger)。然后在为每个元件提供的发送延迟电路3中所设置的延迟之后执行发送脉冲调制和功率放大,并将对于各个元件的发送信号提供给探测器4。探测器4为执行电信号和超声(或者超声波)之间的转换的超声波探测器。探测器4具有布置成矩形的n个元件。

[0096] 发送的超声波被物体反射,如此反射的超声波被超声波探测器4接收,并被转换为电信号。当接收时如此生成的电信号被第一级放大器5放大,并被模拟-数字转换器6转换为数字信号。

[0097] (像差量的测量)

[0098] 然后,相位差计算电路8计算元件之间的超声波信号的相位差。具体地讲,对从各个元件获得的信号执行关于发送的波束和接收的波束的聚焦和方向的延迟校正,并通过计算在相邻元件之间的延迟校正之后仍存在的相位误差的互相关性来确定元件之间的相对相位误差。其后,从所有的相对相位差的平均值计算相位差量,并且它们被转换为等价延迟量,所述等价延迟量作为像差校正值(即,用于校正延迟量误差的值)被存储在系统控制部1中。

[0099] (第二超声波的发送/接收)

[0100] 然后,执行与上述的超声波发送和接收处理类似的超声波发送和接收处理。在这种情况下,发送的超声波的频率设为比上述第一发送/接收中的频率高。相位差计算电路8此时不工作。当发送超声波时,存储在系统控制电路1中的像差校正值9被输入到发送延迟电路3。与聚焦和波束方向相关联的延迟量也被提供给发送延迟电路3。然后,在相应的延迟之后,执行发送脉冲调制和功率放大,并将对于各个元件的发送信号提供给探测器4。

[0101] 在探测器4将超声波发送到标本之后,被物体反射的超声波被探测器4接收,与各个元件相应的数字信号由第一级放大器5和模拟-数字转换器6生成,并以与上述第一接收的情况类似的方式输出。

[0102] (像差校正)

[0103] 如此生成的信号被输入到接收延迟电路10。与聚焦和波束方向相关联的延迟量以及在第一发送/接收处理中存储在系统控制部1中的像差校正值11被提供给接收延迟电路10。因此,来自各个元件的信号被延迟合适的延迟量。

[0104] (信号处理和图像输出)

[0105] 正交检测器12检测如上被延迟的各个元件的信号,信号处理和图像处理电路13对信号进行处理,在信号处理和图像处理电路13中,执行I信号和Q信号的几何平均以及到亮度信号的转换。其后,图像输出到图像显示部14。

[0106] 图6是上述处理的流程图。如上所述,发送具有第一频率的第一超声波,并接收从物体反射的第一信号(S1)。然后,相位差计算单元8基于在步骤S1中接收的第一信号计算像差校正值,并将所述像差校正值存储在系统控制部1中(S2)。然后,发送具有第二频率的第二超声波(S3)。在这个步骤中,应用通过第一发送/接收获得的并且存储在系统控制部1中的像差校正值。然后,接收从所述物体反射的第二信号(S4)。还将通过第一发送/接收获得的并且存储在系统控制部1中的像差校正值应用于如此接收的第二信号。从像差校正之后的第二信号形成图像。

[0107] 以下将对使用上述方法的超声波发送和接收的仿真的结果进行描述。在本实施例中,使用具有中心频率1MHz的第一超声波和具有中心频率4MHz的第二超声波。具有16(十六)个元件的阵列变换器用于发送和接收超声波,元件宽度为0.5mm,元件距离为0.6mm。在仿真中,使用如图7所示的包括脂肪层和肌肉层、在5cm的深度处包含脂肪滴的身体模型,脂肪层厚度为2cm,肌肉层设置在脂肪层之下。为了比较,还执行类似的仿真作为比较示例,在比较示例中,使用具有中心频率4MHz的超声波作为第一超声波和第二超声波。

[0108] 图8显示计算结果。图8显示根据实施例和比较示例的发送和接收中的发送的第二超声波束的方向性。在图8中,实线15表示根据本发明的计算结果(其中,使用具有频率1MHz的第一超声波和具有频率4MHz的第二超声波),以及虚线16表示根据比较示例的计算结果(其中,使用均具有频率4MHz的第一超声波和第二超声波)。在根据实施例的发送和接收中,波束的半值宽度被测量为1.77mm,在根据比较示例的发送和接收中,波束的半值宽度被测量为3.51mm。通过上述仿真验证了根据实施例的方法的优点。因此,在根据本实施例的方法形成B模式图像的情况下,可实现为比较示例的情况下的分辨率的约两倍高的分辨率。

[0109] 虽然在本实施例中,通过互相关计算来计算相位差,但是还可通过测量来自正交

检测输出的信号的相位来实现相同的有利效果。虽然在本实施例的描述中论述了波束方向性和 B 模式图像,但是总地来讲,本发明可应用于使用超声波的图像形成方法。例如,本发明一般还可应用于使用超声波断层摄影术的诊断设备,所述诊断设备具有提取 M 模式图像、C 模式图像和 / 或 3D 图像和 / 或多级聚焦控制等功能。本发明还可应用于诸如穿刺、HIFU(高强度聚焦超声波)、术中用超声波、超声波碎石术和内窥镜超声波的治疗。此外,除了诊断设备之外,本发明还可应用于要求超声波束的会聚的设备,例如,超声波裂纹 (flaw) 检测设备。

[0110] 虽然在本实施例中,在图 6 中的步骤 S4 和 S5 中的用于图像形成的波束形成中所使用的像差校正与步骤 S3 中的发送中所使用的像差校正相同,但是可使用利用在步骤 S4 中接收的第二信号改进的(或进一步校正的)像差校正。这将进一步改进像差校正的精度。还优选的是,执行步骤 S1 和 S2 的处理多次,以提供改进的像差校正。在执行步骤 S1 和 S2 的处理多次的情况下,优选的,逐渐增大在步骤 S1 中所使用的第一超声波的中心频率。在这种情况下,首先在低频率处确定初始像差校正,在所述低频率处,信号之间的相关性的确定是容易的,然后以被使得逐渐接近图像形成处理中所使用的第二超声波的频率的频率执行校正值的改进多次。如此,可容易地以高精度确定适合于对图像形成处理中所使用的发送的超声波和接收的超声波的像差校正的校正值。图像形成处理中所使用的第二超声波的中心频率被设计成高于或者等于最后的像差校正处理中所使用的第一超声波的中心频率。

[0111] 在如上所述逐渐增大第一超声波的中心频率以获得更精确的像差校正的情况下,最后的像差校正处理中所使用的第一超声波的中心频率和第二超声波的中心频率应该满足上述关系,即,第二超声波的中心频率应该高于或者等于最后的像差校正处理中所使用的第一超声波的中心频率。

[0112] 根据本发明所要求的第一超声波的中心频率不低于第二超声波的中心频率的 $3/16$ 且不高于第二超声波的中心频率的 $9/20$ 的条件是指首先被发送以获得像差校正的第一超声波的中心频率和图像形成中所使用的第二超声波的中心频率之间的关系。

[0113] (第二实施例)

[0114] 尽管在上述第一实施例中通过执行超声波的发送和接收两次来执行像差校正,但是在下述第二实施例中,通过执行超声波的发送和接收一次来执行像差校正。图 9 是根据第二实施例的超声波设备的框图。超声波的发送和接收的处理与第一实施例中的超声波的发送和接收的处理相同。第二实施例与第一实施例的不同之处在于,发送宽带超声波,并通过第一滤波器 17 和第二滤波器 18 来区分接收的超声波信号。

[0115] 在第一实施例中,像差校正中所使用的第一超声波的中心频率为 1MHz,图像形成中所使用的第二超声波的中心频率为 4MHz。由于在第二实施例中也执行类似的处理,所以使用至少包含具有频率 1MHz 的第一超声波和具有频率 4MHz 的第二超声波的宽带超声波。使 1MHz 频率通过的带通滤波器被用作第一滤波器 17,使 4MHz 频率通过的带通滤波器被用作第二滤波器 18。

[0116] 已经通过第一滤波器 17 的信号(或者与第一超声波的反射波相应的第一信号)被输入到相位差计算电路 8。与第一实施例一样,相位差计算电路 8 计算像差校正。在通过系统控制部 1 考虑与聚焦和转向相关联的延迟之后,如此计算的像差校正被输入到接

收延迟电路 10。另一方面,将在图像显示中使用的已经通过第二滤波器 18 的信号(或者与第二超声波的反射波相应的第二信号)也被输入到接收延迟电路 10。在接收延迟电路 10 中,使用上述像差校正值对第二信号执行像差校正。然后,通过正交检测器 12 与信号处理和图像处理电路 13 基于校正之后的第二信号形成图像,并在图像显示部 14 上显示图像。如上所述,在本实施例中,可通过执行发送和接收一次来执行像差校正和成像。

[0117] 虽然在本实施例中使用两个滤波器,但是可使用具有不同通带的三个或更多个滤波器来将接收的波分离成三个或更多个信号(或频率分量)。在这种情况下,使用如此分离的三个或更多个信号之中的多个信号来计算像差校正值。在图像形成处理中,使用三个或更多个信号之中具有最高频率的信号。这使得能够改进像差校正的精度和提高分辨率。

[0118] (第三实施例)

[0119] 尽管根据第一实施例和第二实施例的方法包括单个像差校正处理,但是该第三实施例包括多个像差校正处理。图 10 示出本实施例中的像差校正处理。本实施例中所使用的超声波系统与图 5 中所示的第一实施例中所使用的超声波系统相同。

[0120] 如图 10 所示,首先发送具有第一频率的第一超声波,并接收从物体反射的第一信号(S1)。相位差计算电路 8 基于在步骤 S1 中接收的且存储在系统控制部 1 中的第一信号计算像差校正值 1(S2)。然后,发送和接收具有第二频率的第二超声波(S3)。在超声波的该发送中,应用通过第一发送/接收获得的且存储在系统控制部 1 中的像差校正值 1a

[0121] 然后,相位差计算电路 8 基于在步骤 S3 中接收的且存储在系统控制部 1 中的第二信号计算像差校正值 2(S4)。然后,向着物体发送第三信号,并接收反射信号(S5)。将通过第二发送/接收获得的且存储在系统控制部 1 中的像差校正值 2 应用于如此接收的第三信号。从像差校正之后的第三信号形成图像(S6)。

[0122] 根据这种方法,如果基于具有第一频率的超声波的发送和接收计算的像差校正值包含误差,则通过再次使用具有第二频率的超声波执行发送和接收来使得能够实现高精度的校正。

[0123] 在根据本实施例的方法中,还在第二频率处执行像差校正。还可通过其它类似的方法提供类似的效果,例如重复执行第一频率处的像差校正的方法、重复执行第一频率处的像差校正和第二频率处的像差校正的方法、以及为了像差校正和成像而改变超声波的频率多次的方法,比如,除了第一频率和第二频率处的像差校正之外还执行使用具有第三频率的超声波的像差校正或成像的方法。

[0124] 尽管已参照示例性实施例对本发明进行了描述,但是应该理解,本发明不限于所公开的示例性实施例。应该赋予以下权利要求的范围最宽泛的解释,以涵盖所有这样的变型及等同的结构和功能。

[0125] 本申请要求于 2008 年 4 月 14 日提交的日本专利申请 No. 2008-105039 的权益,在此通过引用将其全部内容并入。

[0126] 【参考符号列表】

[0127] 1 系统控制部

[0128] 2 发送信号生成部

[0129] 3 发送延迟电路

[0130] 4 超声波探测器

- [0131] 5 第一级放大器
- [0132] 6 模拟 - 数字转换器
- [0133] 8 相位差计算电路
- [0134] 10 接收延迟电路
- [0135] 9、11 存储在系统控制部中的延迟校正量
- [0136] 12 正交检测器
- [0137] 13 信号处理和图像处理电路
- [0138] 14 图像显示部
- [0139] 15 第一实施例中的发送波束的方向性 (第一超声波 :1MHz, 第二超声波 :4MHz)
- [0140] 16 比较示例中的发送波束的方向性 (第一超声波 :4MHz, 第二超声波 :4MHz)
- [0141] 17 第一滤波器
- [0142] 18 第二滤波器

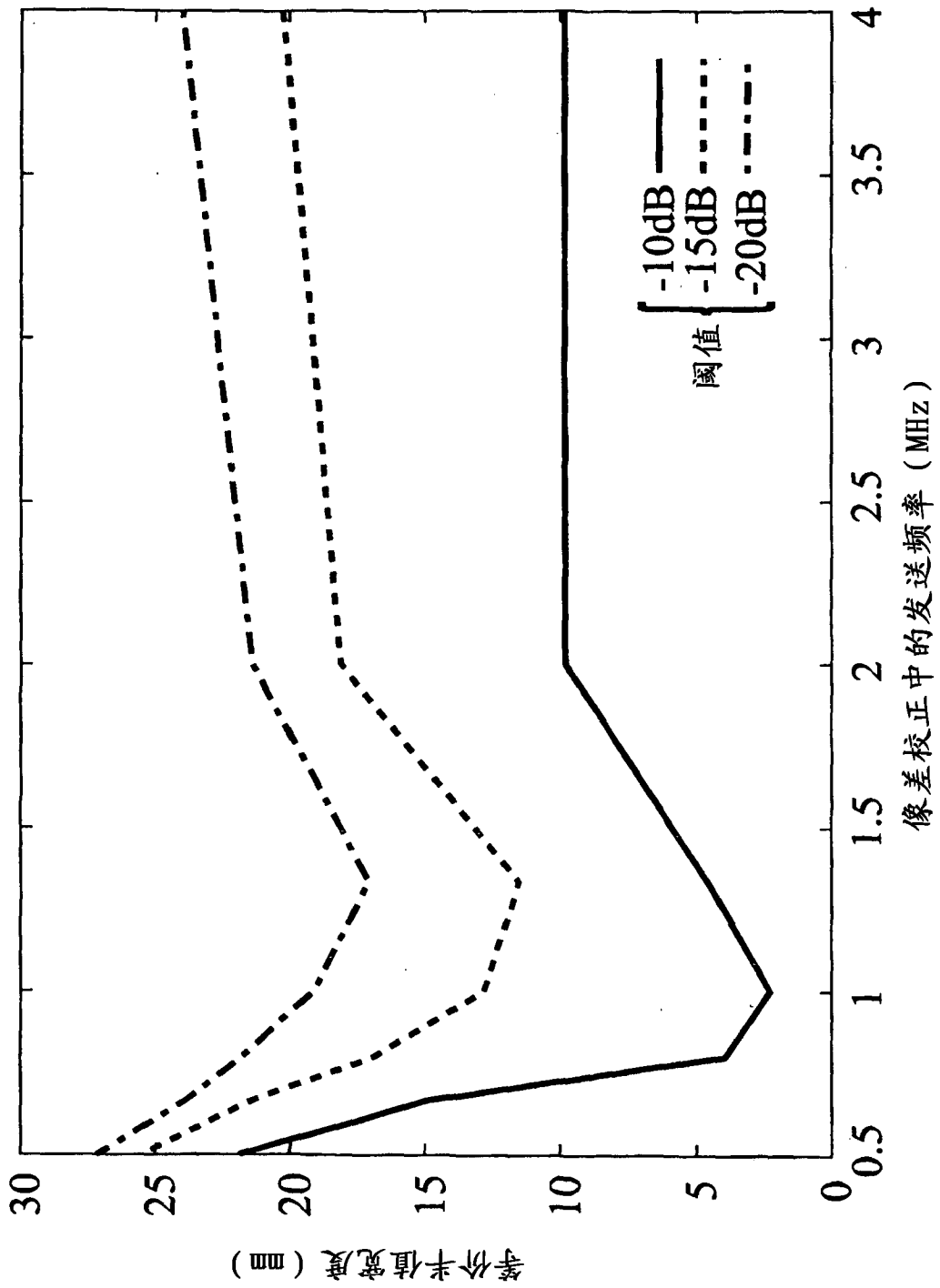


图 1

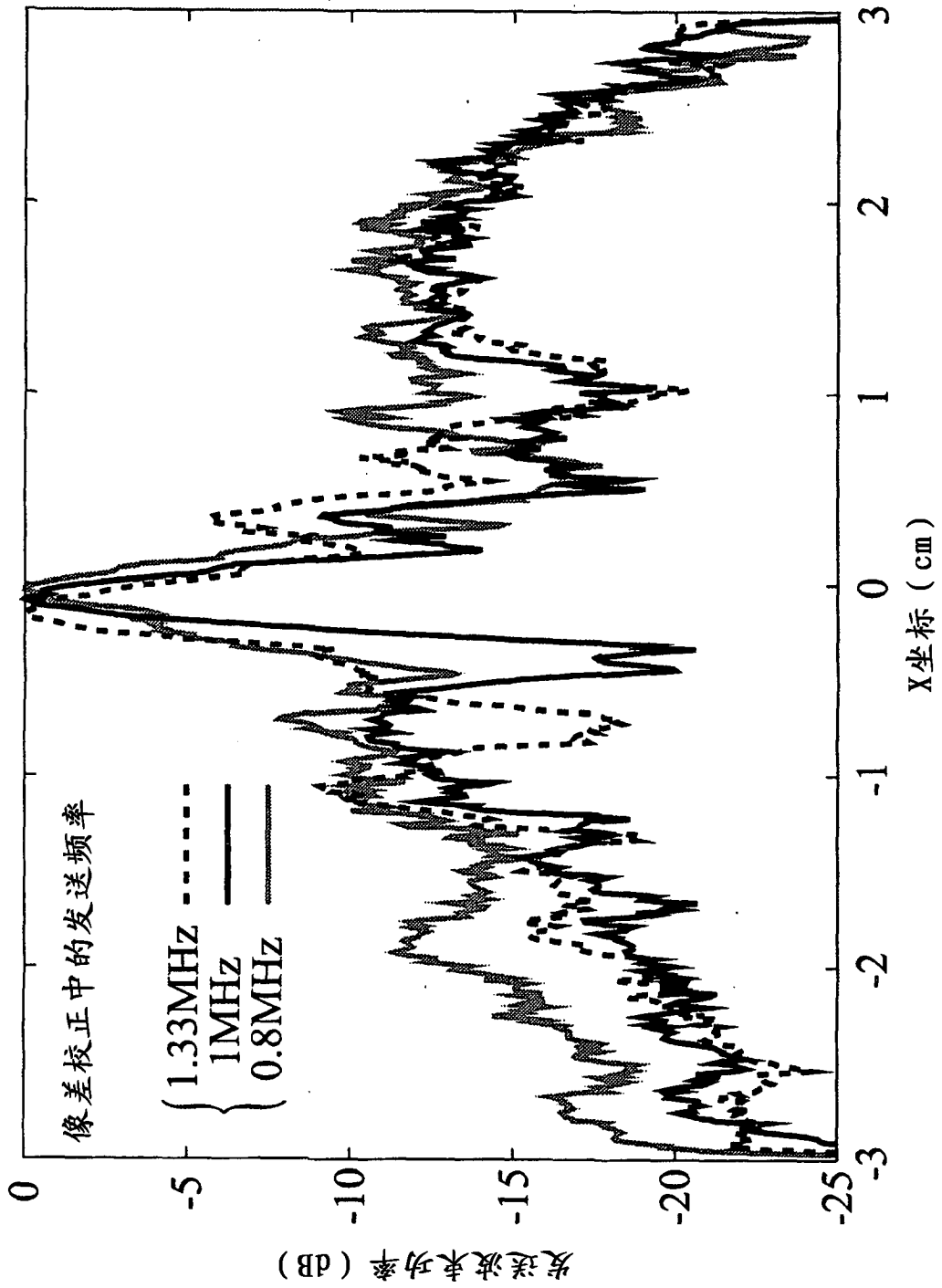


图 2

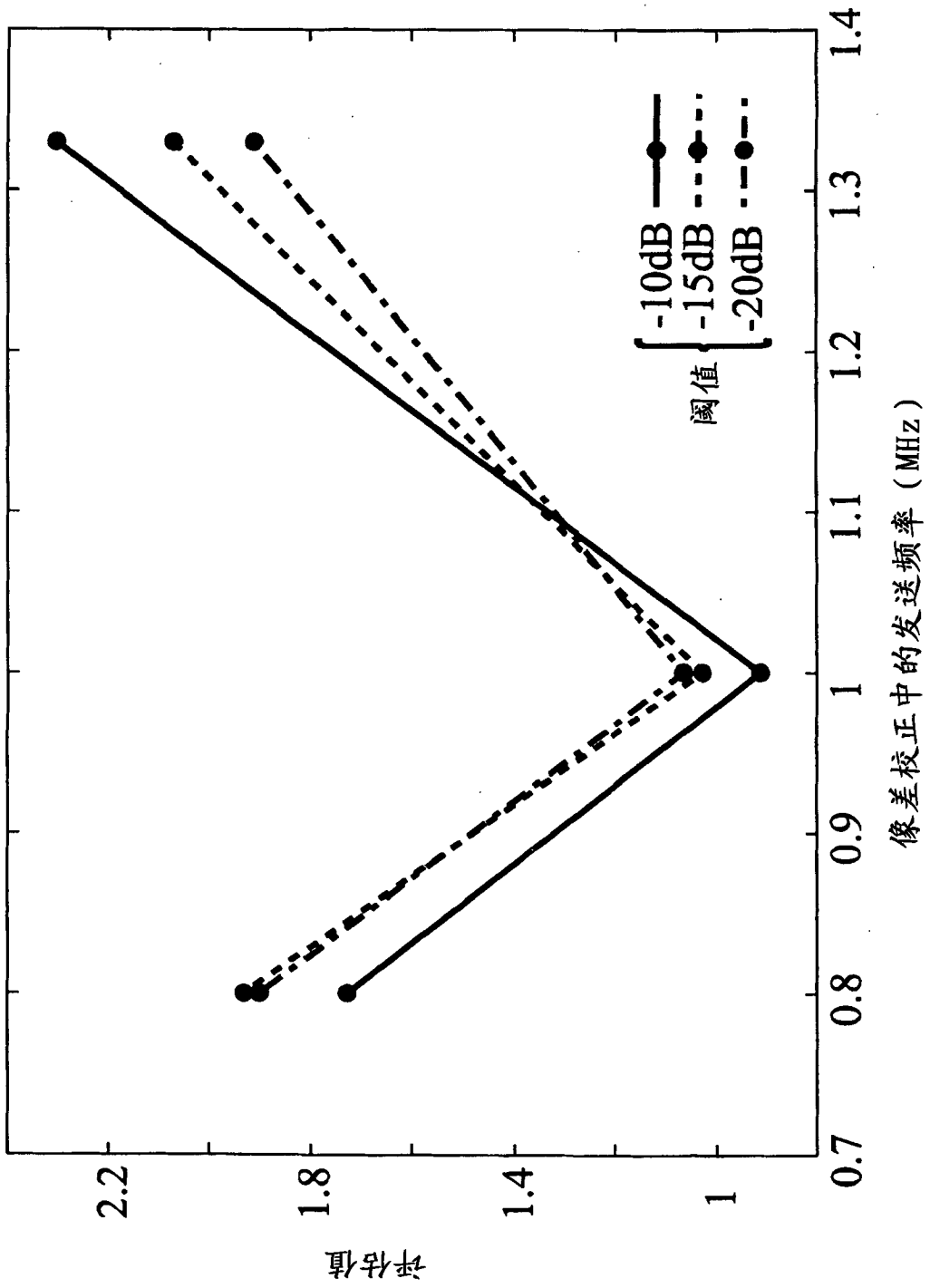


图 3

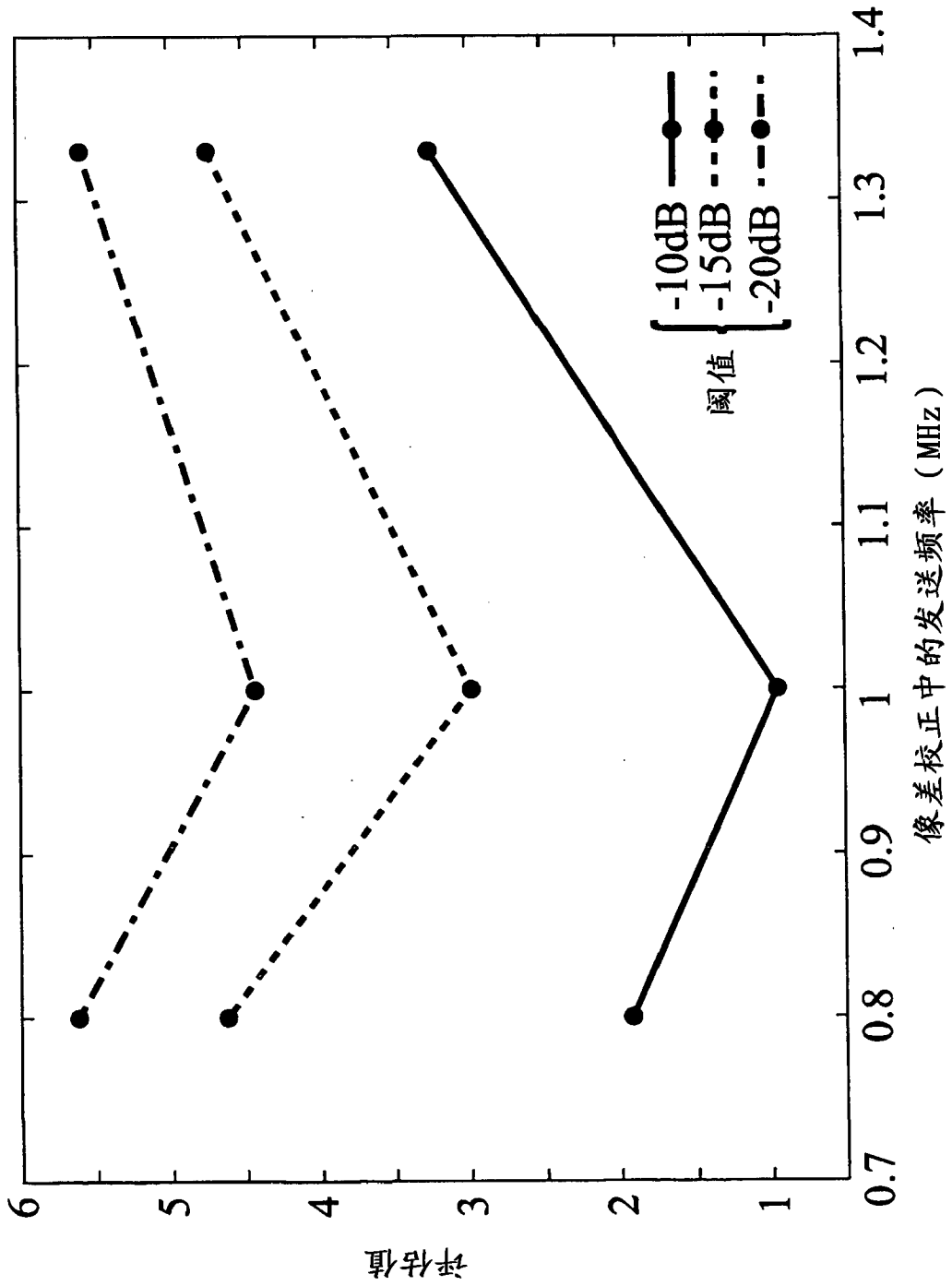


图 4

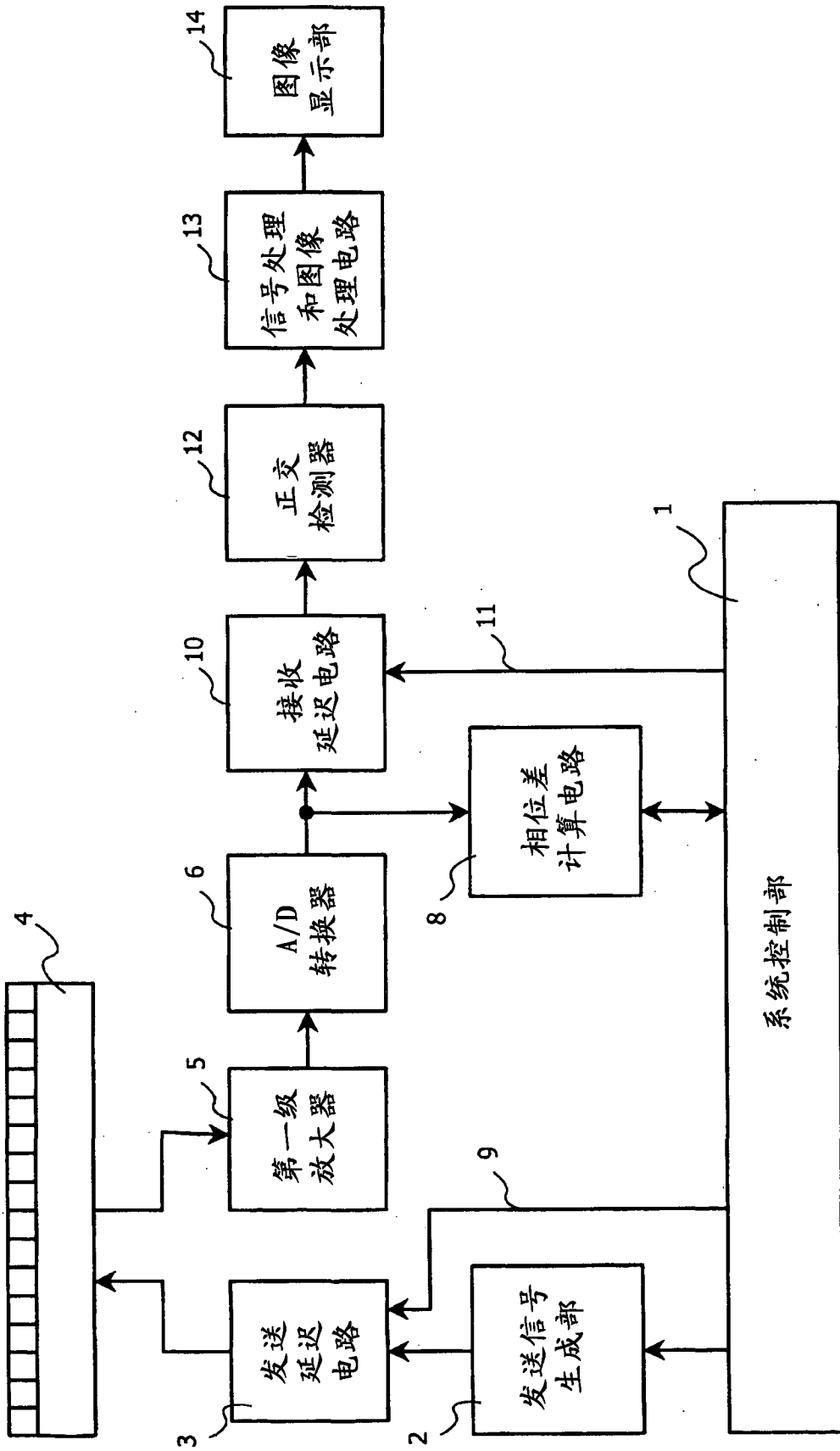


图 5

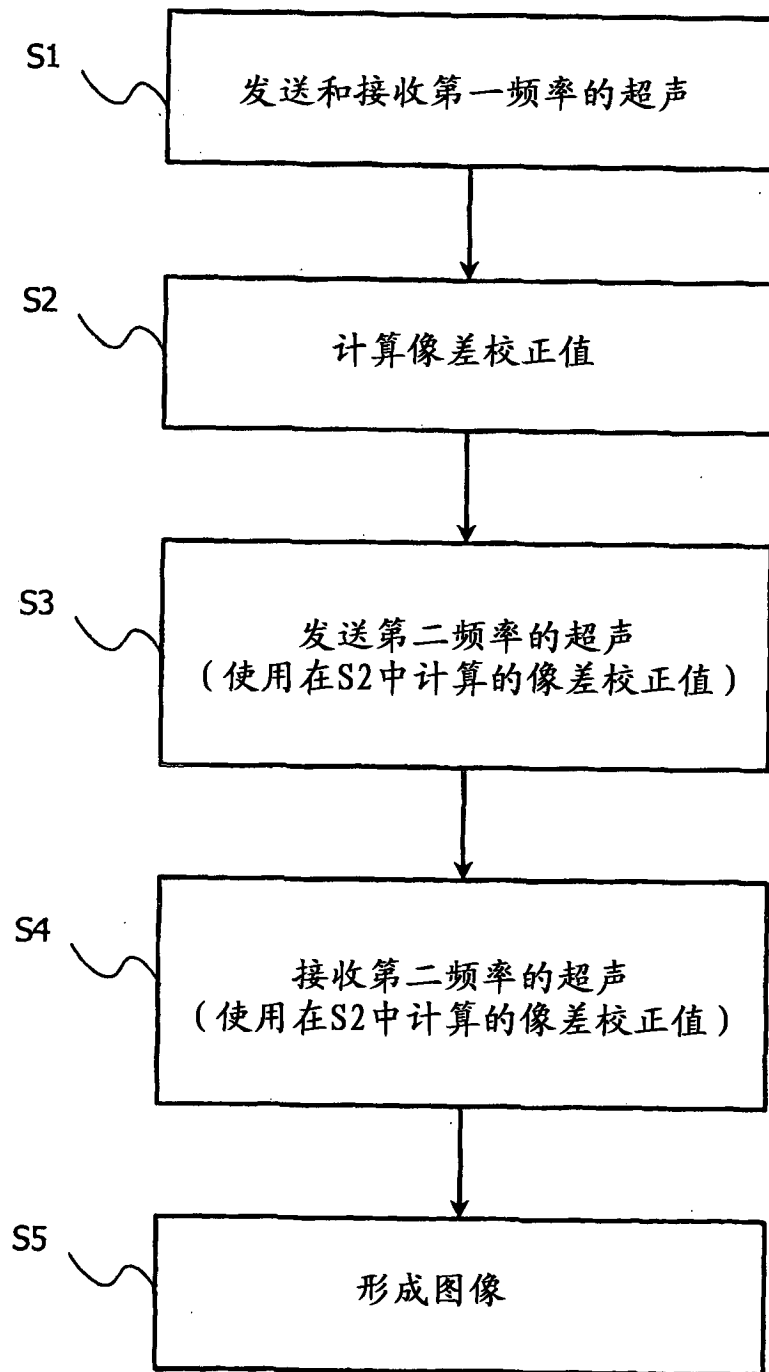


图 6

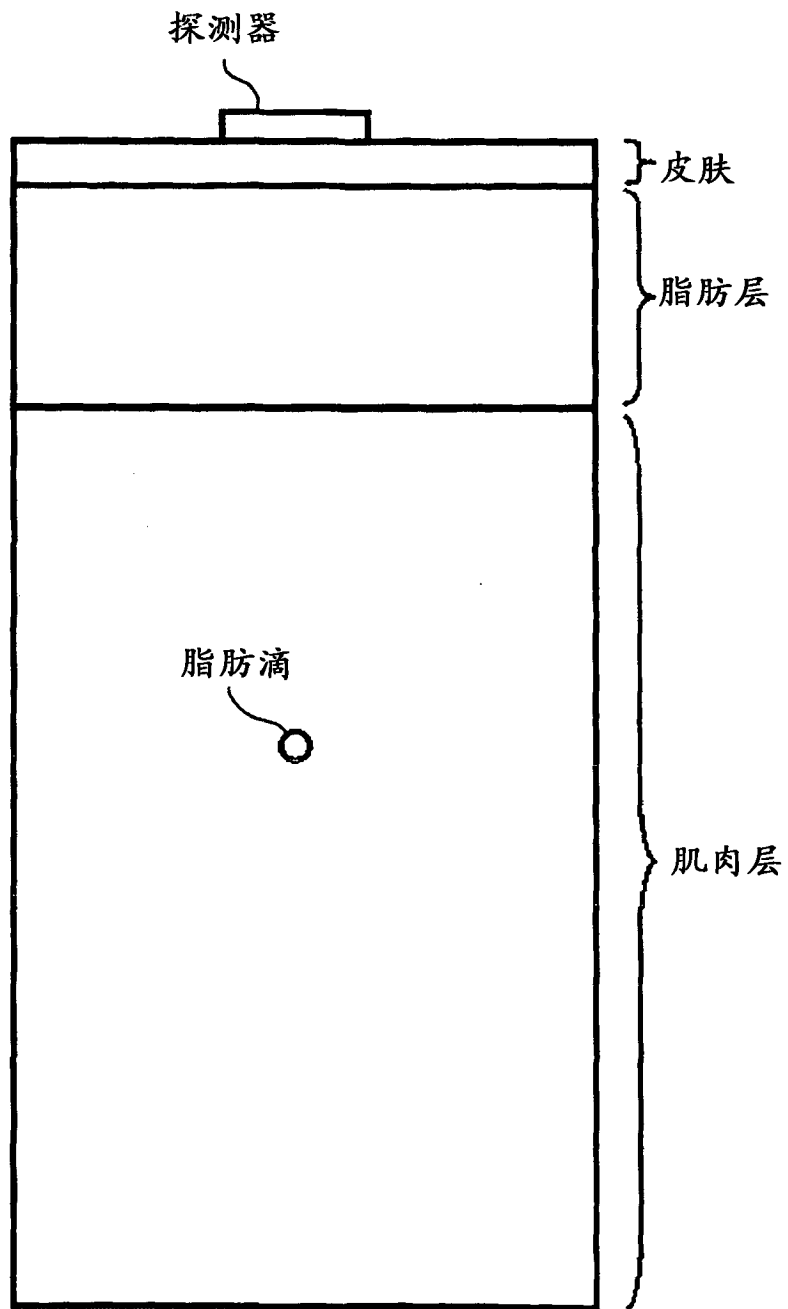


图 7

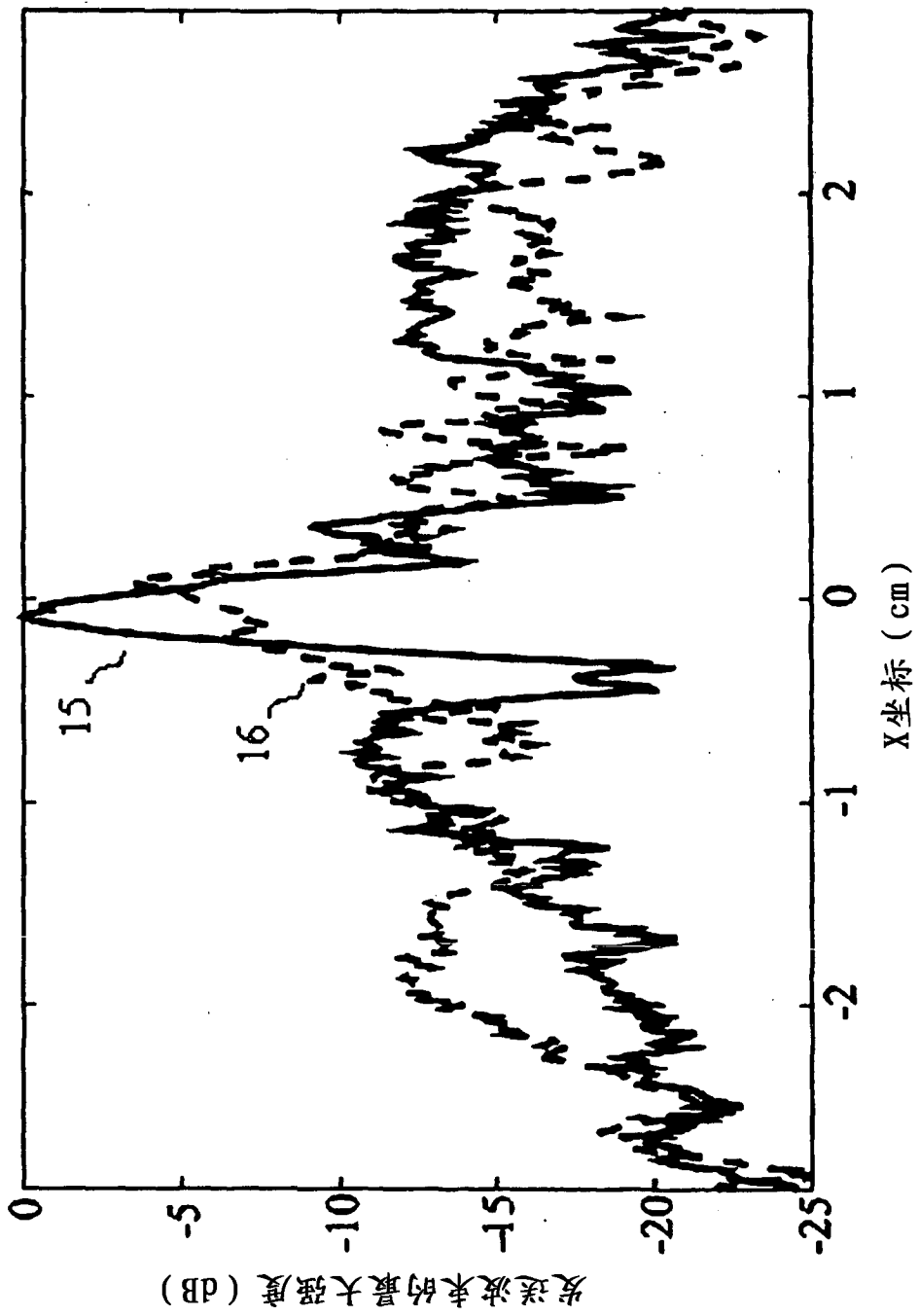


图 8

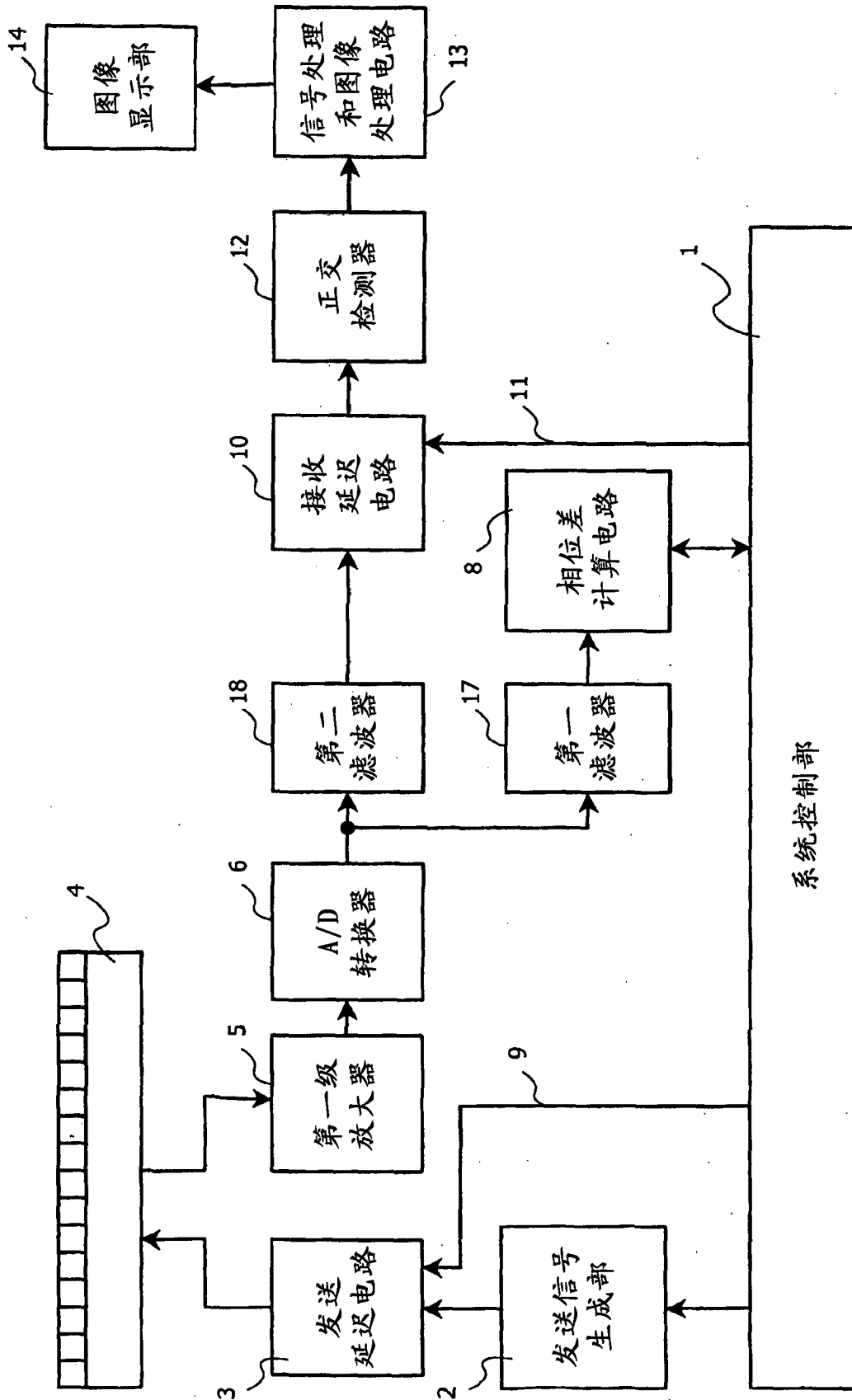


图 9

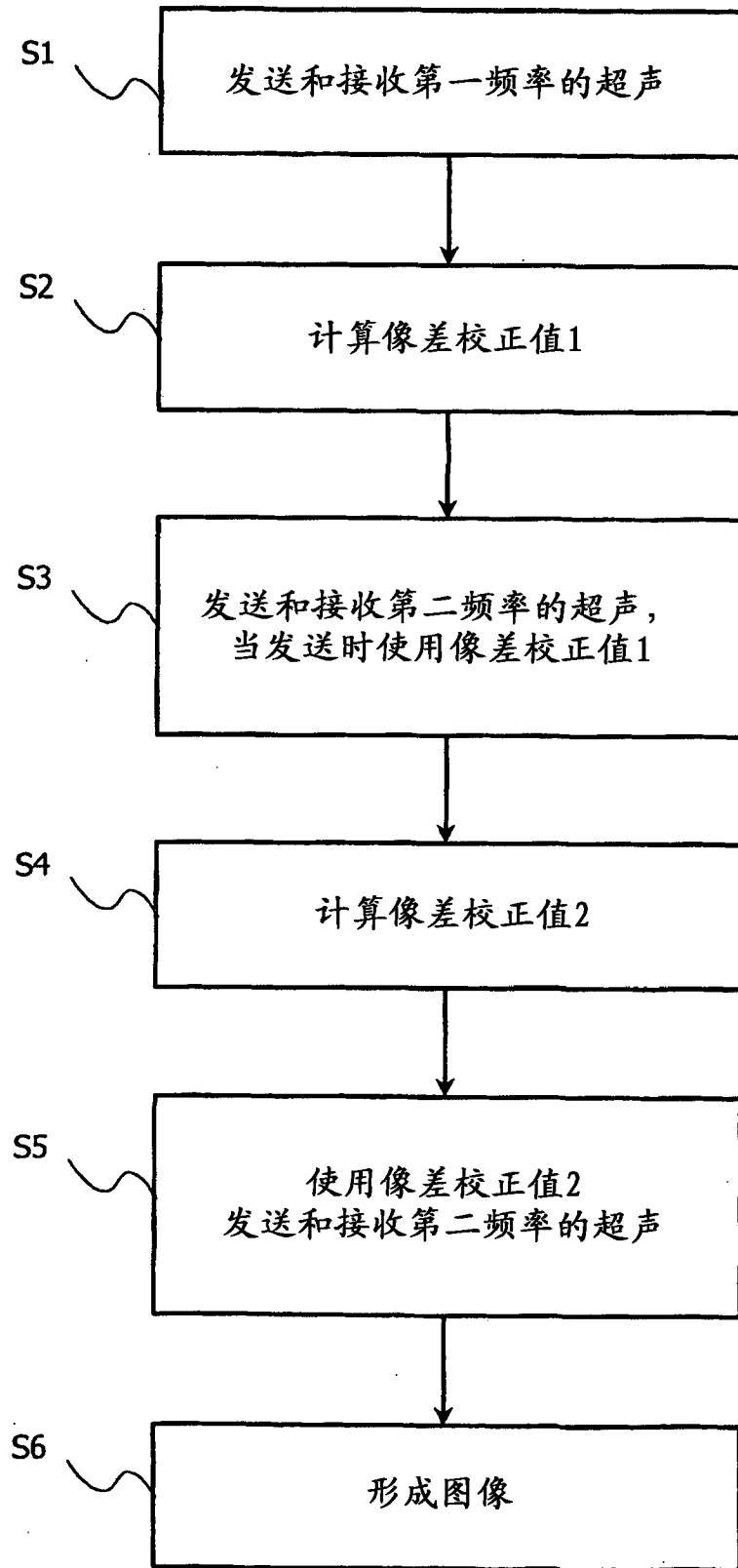


图 10

专利名称(译)	使用超声波的图像形成方法和像差校正方法		
公开(公告)号	CN102057297B	公开(公告)日	2014-05-28
申请号	CN200980121431.0	申请日	2009-04-03
[标]申请(专利权)人(译)	佳能株式会社 国立大学法人京都大学		
申请(专利权)人(译)	佳能株式会社 国立大学法人京都大学		
当前申请(专利权)人(译)	佳能株式会社		
[标]发明人	染田恭宏 长永兼一 及川克哉 齐藤惠志 高井康好 瀧宏文 佐藤亨		
发明人	染田恭宏 长永兼一 及川克哉 齐藤惠志 高井康好 瀧宏文 佐藤亨		
IPC分类号	A61B8/00 G01S7/52 G01S15/89		
CPC分类号	G01S7/52049 G01S15/8952		
代理人(译)	杨小明		
审查员(译)	卢浩		
优先权	2008105039 2008-04-14 JP		
其他公开文献	CN102057297A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

一种超声波图像形成方法包括：第一步骤，接收从物体反射的第一信号；第二步骤，基于如此接收的第一信号获得像差校正值；第三步骤，当基于像差校正值校正的第二超声波被发送到所述物体时，接收从该物体反射的第二信号；和第四步骤，从像差校正值和第二信号形成图像。第二超声波的中心频率在0.5MHz和20MHz之间，第一超声波的中心频率在第二超声波的中心频率的3/16和9/20之间。通过这种方法，可获得精确的像差校正值，并且即使像差大且难以校正，也可实现高分辨率的超声波成像。

