

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101361663 B

(45) 授权公告日 2011. 10. 26

(21) 申请号 200810082255. 1

(22) 申请日 2008. 02. 29

(30) 优先权数据

2007-206936 2007. 08. 08 JP

(73) 专利权人 株式会社日立制作所

地址 日本东京

(72) 发明人 梅村晋一郎 东隆

(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

代理人 吴丽丽

(56) 对比文件

US 6056693 A, 2000. 05. 02, 全文.

US 6120448 A, 2000. 09. 19, 全文.

CN 1454570 A, 2003. 11. 12, 全文.

Shin-ichiro Umemura, Takashi Azuma.

P3B-8 Signed Echo Imaging with High Axial Resolution. Ultrasonics Symposium, 2007, IEEE. 2007, 1760-1763.

审查员 陈淑珍

(51) Int. Cl.

A61B 8/00 (2006. 01)

A61B 8/14 (2006. 01)

A61B 8/06 (2006. 01)

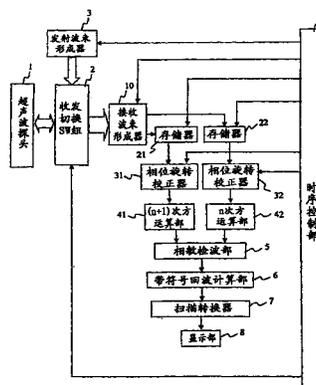
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 9 页

(54) 发明名称

超声波摄像装置

(57) 摘要

本发明提供一种超声波摄像方法及超声波摄像装置,可以采用使用了全部的超声波收发器带宽的超声波脉冲,不会损害据此而可能获得的优越的距离分辨率,能够生成反映了摄像对象的声阻抗的带符号回波像。设 n 为自然数时,首先,发射以频率  $nf_0$  为中心频率的超声波脉冲,并接收由检查对象中的声阻抗界面反射而生成的回波波,发射以频率  $(n+1)f_0$  为中心频率的超声波脉冲,同样接收由检查对象中的声阻抗界面反射而生成的回波波。然后,通过将以频率  $nf_0$  为中心频率的接收回波信号用乘法器 (41) 进行  $(n+1)$  次方,将以频率  $(n+1)f_0$  为中心频率的接收回波信号用乘法器 (42) 进行 n 次方,而获得都以频率  $n(n+1)f_0$  为中心频率的信号。通过在所获得的两信号之间进行相敏检波,而获得带符号回波信号。



1. 一种超声波摄像装置,其特征在于包括:  
探头,对检查对象收发超声波信号;  
发送控制部,控制从上述探头所发送的超声波信号;以及  
信号处理部,处理由上述探头所接收到的超声波信号,其中  
上述发送控制部,在设  $n$  为自然数的偶数、 $m$  为自然数的奇数、 $n$  与  $m$  的最小公倍数为  $nk_1 = mk_2$ 、 $f$  为频率时,控制上述探头以便发送由以  $nf$  为中心频率的超声波信号构成的第 1 发送信号,和由以  $mf$  为中心频率的超声波信号构成的第 2 发送信号,  
上述信号处理部,进行如下处理:  
对基于上述第 1 发送信号的发送而接收到的超声波信号进行  $k_1$  次方而获得以  $nk_1f$  为中心频率的第 1 回波信号的处理;  
对基于上述第 2 发送信号的发送而接收到的超声波信号进行  $k_2$  次方而获得以  $mk_2f$  为中心频率的第 2 回波信号的处理;以及  
根据在上述第 1 回波信号和第 2 回波信号之间进行了相敏检波的结果而求得带符号的回波信号的处理。
2. 按照权利要求 1 所记载的超声波摄像装置,其特征在于:  
 $n$  与  $m$  之差为 1。
3. 按照权利要求 2 所记载的超声波摄像装置,其特征在于:  
 $m$  为 1、 $n$  为 2。
4. 按照权利要求 1 所记载的超声波摄像装置,其特征在于:  
上述第 1 发送信号及第 2 发送信号分别具有高斯函数性的频率频谱,相对带宽大致相等。
5. 按照权利要求 1 所记载的超声波摄像装置,其特征在于:  
上述第 1 发送信号及第 2 发送信号在使用都具有高斯函数性的频谱并且相对带宽大致相等的发送超声波脉冲的情况下,即便随着传播,中心频率因频率比例性衰减而移动,其中中心频率之比仍保持一定。
6. 按照权利要求 1 所记载的超声波摄像装置,其特征在于:  
上述第 1 发送信号和第 2 发送信号的频率频带重叠。
7. 按照权利要求 6 所记载的超声波摄像装置,其特征在于:  
在上述第 1 发送信号及第 2 发送信号的中心频率比是 1 比 2、上述第 1 发送信号及第 2 发送信号的相对带宽是  $df/f_0$  时,在  $(3/2)f_0 < df < 2f_0$  的情况下,频带的重叠为  $(3/2)df - f_0$  左右,其中, $df$  是上述第 1 发送信号和上述第 2 发送信号之中频率低的一侧的发送信号的带宽, $f_0$  是上述第 1 发送信号和上述第 2 发送信号之中频率低的一侧的中心频率。
8. 按照权利要求 6 所记载的超声波摄像装置,其特征在于:  
在上述第 1 发送信号及第 2 发送信号的中心频率比是 2 比 3、上述第 1 发送信号及第 2 发送信号的相对带宽为  $df/f_0$  时,在  $(2/5)f_0 < df < 2f_0$  的情况下,频带的重叠为  $(5/2)df - f_0$  左右,其中, $df$  是上述第 1 发送信号和上述第 2 发送信号之中频率低的一侧的发送信号的带宽的  $1/2$ ,  $2f_0$  是上述第 1 发送信号和上述第 2 发送信号之中频率低的一侧的中心频率。
9. 按照权利要求 1 所记载的超声波摄像装置,其特征在于包括:

显示被检体的声阻抗、声阻抗的空间变化即带符号回波、或者因上述声阻抗的空间变化所产生的相位信息的单元。

## 超声波摄像装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及使用超声波来拍摄检查对象的回波像的超声波摄像装置。

### 背景技术

[0002] 用于医疗图像诊断的超声波摄像装置,采用超声波脉冲回波法,能够将生物体的软组织的断层像和流经生物体内的血流像等以实质上实时的方式显示在监视器上来进行观察,又不会带给检查对象像使用放射线的图像诊断装置那样的被放射线辐射,所以被认为安全性也较高,除此以外还更加小型且价格便宜,已在医疗领域得到广泛使用。

[0003] 如下说明以往的超声波摄像装置的摄像动作。在超声波摄像装置中,从压电体经过阵列化的超声波探头将超声波脉冲发射到检查对象。通过调整从阵列收发器的各元件发射超声波脉冲的定时,来控制发送超声波的方向性。对于被发送的超声波脉冲在检查对象中进行反射、被阵列的各元件所接收的回波信号,通过错开与接收焦点的位置和各元件位置的距离之差相应的时间进行加法运算,来增强来自接收焦点的信号。通过遍及检查对象中全部区域来扫描该接收焦点而得到断层像。以往,在这样的超声波脉冲回波摄像装置中,通过接收由检查对象中声阻抗变化的界面进行反射而生成的回波,并按照对其接收信号进行包络线检波而得到的信号振幅来调制监视器上所显示的像素的亮度,而使断层像图像化。

[0004] 另一方面,若着眼于由声阻抗变化的界面进行反射而生成的回波的相位,则在声阻抗增加的界面上将产生具有与发送脉冲相同相位的回波,而在声阻抗减少的界面上将产生具有与发送脉冲相反相位的回波。即,回波具有与界面上的声阻抗的增减相应的符号。

[0005] 检测该回波符号并使其图像化的现有技术被记载在专利文献 1(日本专利公开特开 2004-113364 号公报)中。参照图 1(b) 所示的波形图,如下说明该现有技术的方法。发射在以基波频率  $f_0$  为中心频率的超声波脉冲上重叠了以第 2 高次谐波频率  $2f_0$  为中心频率的超声波脉冲的超声波脉冲,并接收由检查对象中的声阻抗界面进行反射而生成的回波波。在图中,并排表示了分别由声阻抗增加的界面和减少的界面所生成的回波波。其次,对该接收回波波进行带通滤波,并分离分别以第 2 高次谐波频率  $2f_0$  和基波频率  $f_0$  为中心频率的回波信号。进而,对基波周波回波信号进行 2 次方,得到以第 2 高次谐波频率  $2f_0$  为中心频率的参考回波信号。由于该参考回波信号是对回波信号进行 2 次方而得到的,所以不论回波符号如何都具有固定符号。通过以该参考回波信号的相位作为基准,对以相同第 2 高次谐波频率  $2f_0$  为中心频率的第 2 高次谐波回波信号进行相敏检波,来检测回波符号。

[0006] 在实际的超声波回波法中,除了声阻抗的界面处的相位变化以外,还有因没有声阻抗变化的媒质中的传播而发生的相位变化。需要以上述参考回波的相位为基准就是因为这个原因。如下说明伴随传播而发生的相位变化。由于频率越高时生物体衰减越大,所以越是经更长距离传播来的来自生物体深部的反射信号,高次谐波分量就越是会丢失。因此,反射信号的中心频率根据回波反射来的深度将向低频率一侧变化。若不管中心频率如何变化,仍然假定固定频率来进行信号处理,则在表面上看、将会遭受相位旋转。这样就无法区

分是硬度变化引起的相位旋转、还是中心频率移动引起的相位旋转。如果生物体是完全均质的介质的话,则中心频率的移动可以修正,但实际上因声速和衰减系数也要视位置不同而不同,所以对其进行校正并不容易。在专利文献 1 中,通过上述参考回波的相位为基准,来区别这二种相位旋转,并抽取出起因于硬度变化的相位旋转。

[0007] 可是,在上述的现有技术的方法中,为了分离以第 2 高次谐波频率  $2f_0$  为中心频率的回波信号和以基波频率  $f_0$  为中心频率的回波信号而使用带通滤波器,所以带通滤波后的两回波信号就会在时间轴方向上变长。其结果,所得到的带符号回波信号也将在时间轴方向上变长,带符号回波像的距离分辨率与利用包络线检波的回波像相比降低。从而,原封不动使用该现有方法,将难以获得将薄薄地形成在血管内壁上的血小板等描绘出来的带符号回波像。

### 发明内容

[0008] 本发明就是鉴于该现有技术的难点而完成的,其目的是提供一种超声波摄像装置,能够生成与利用包络线检波得到的回波像相比距离分辨率的降低较少的带符号回波像。

[0009] 本发明中,在设  $n$  为自然数的偶数、 $m$  为自然数的奇数、 $n$  与  $m$  的最小公倍数为  $nk_1 = mk_2$ 、 $f$  为频率时,控制探头以便发送由以  $nf$  为中心频率的超声波信号构成的第 1 发送信号,和由以  $mf$  为中心频率的超声波信号构成的第 2 发送信号,对基于第 1 发送信号的发送所接收到的超声波信号进行  $k_1$  次方,得到以  $nk_1f$  为中心频率的第 1 回波信号,并且对基于第 2 发送信号的发送所接收到的超声波信号进行  $k_2$  次方,得到以  $mk_2f$  为中心频率的第 2 回波信号。而且,根据在第 1 回波信号和第 2 回波信号之间进行相敏检波的结果,求出带符号的回波信号。

[0010] 本发明能够提供一种超声波摄像装置,该超声波摄像装置采用全部使用了超声波收发器的带宽的超声波脉冲,据此不会损害可能获得的优异的距离分辨率,就可以生成反映了摄像对象的声阻抗的带符号回波像,可以进行这种带符号回波像生成。

### 附图说明

[0011] 图 1 是对本发明的二次收发法和以往的基于带通滤波的方法进行比较并表示的图。

[0012] 图 2 是对本发明的二次收发法和以往的带通滤波法的超声波频谱进行比较并表示的图。

[0013] 图 3 是对本发明的二次收发法和以往的基于带通滤波的方法进行比较并表示的图。

[0014] 图 4 是对本发明的二次收发法和以往的带通滤波法的超声波频谱进行比较并表示的图。

[0015] 图 5 是表示本发明中的超声波摄像装置的构成例的图。

[0016] 图 6 是表示本发明中的超声波摄像装置的构成例的图。

[0017] 图 7 是表示具有高斯函数性频谱的超声波脉冲的频谱在传播的同时进行变化的情形的图。

[0018] 图 8 是表示两个发送信号的频带和探头的带宽之间关系的图。

[0019] 图 9 是表示在本发明的显示部上所显示的图像的例子的图。

[0020] 附图符号的说明

[0021] 1:超声波探头,2:收发切换开关组,3:发射波束形成器,10:接收波束形成器,21:接受波存储器,22:接受波存储器,31:相位旋转校正部,32:相位旋转校正部,40:二次方运算部,41:(n+1)次方运算部,42:n次方运算部,5:相敏检波部,6:带符号回波计算部,7:扫描转换器,8:显示部,9:时序控制部,51:等级条,52:B模式像,53:带符号回波像,54:关注部位上的回波相位的时间变化,55:操作者指定的关注部位。

## 具体实施方式

[0022] 参照图 1(a) 的波形图来说明本发明的摄像方法。首先,发射以基波频率  $f_0$  为中心频率的超声波脉冲,并接收由检查对象中的声阻抗界面进行反射而生成的回波波。另外,发射以第 2 高次谐波频率  $2f_0$  为中心频率的超声波脉冲,同样接收由检查对象中的声阻抗界面进行反射而生成的回波波。即,通过分别独立的合计二次的收发时序,得到基波回波信号和第 2 高次谐波回波信号。

[0023] 以下,对基波周波回波信号进行 2 次方,得到以第 2 高次谐波频率  $2f_0$  为中心频率的参考回波信号,并以此相位为基准,通过对以相同的第 2 高次谐波频率  $2f_0$  为中心频率的第 2 高次谐波回波信号进行相敏检波,来检测回波符号。

[0024] 本发明的摄像方法,由于没有使用时间轴方向上延长回波信号的带通滤波器,所以能够生成带符号的回波像而不会导致距离分辨率的降低。参照图 2 所示的超声波频谱,在频率域中来说明这一点。在这一例子中,假定超声波收发器具有从频率 0 到  $4f_0$  的频带。图 2(a) 表示本发明的二次收发法,图 2(b) 表示重叠法(重叠基波和第二高次谐波,发送接收波),图 2(c) 表示以往的带通滤波法的超声波频谱。

[0025] 在本发明的二次收发法中,如图 2(a) 所示那样,作为以第 2 高次谐波频率  $2f_0$  为中心频率的脉冲,可以采用如虚线所绘制那样的、全部使用超声波收发器的带宽  $4f_0$  的超声波脉冲,作为以基波频率  $f_0$  为中心频率的脉冲,可以采用如实线所绘制那样的、具有其一半带宽  $2f_0$  的超声波脉冲。然而,若要通过带通滤波从重叠波分离两者,则如图 2(c) 所示,其带宽充其量限制于  $f_0$ 。即,根据本发明的摄像方法,与专利文献 1 所记载的现有技术相比,虽然摄像所需要的收发次数变为 2 倍,摄像速度变为一半,但却可以实现优越 2-4 倍的距离分辨率。

[0026] 进而,本发明的摄像方法,能够如下所述进行一般化。当设  $n_1$  为正奇数, $n_2$  为正偶数时,发送以频率  $n_1f_0$  为中心频率的超声波脉冲,并接收由检查对象中的声阻抗界面进行反射而生成的回波波,并且发射以频率  $n_2f_0$  为中心频率的超声波脉冲,同样地接收由检查对象中的声阻抗界面进行反射而生成的回波波。若设  $n_1$  和  $n_2$  的最小公倍数为  $n_1m_2 = n_2m_1$ ,则  $m_1$  为奇数, $m_2$  为偶数。若对以频率  $n_1f_0$  为中心频率的接收回波信号进行  $m_2$  次方,又对以频率  $n_2f_0$  为中心频率的接收回波信号进行  $m_1$  次方,就能够得到均以频率  $n_1m_2f_0 = n_2m_1f_0$  为中心频率的信号,所以就能够在两信号之间进行相敏检波。对回波信号进行偶数  $m_2$  次方而得到的信号,不管回波符号如何都具有正符号,相对于此,对回波信号进行奇数  $m_1$  次方而得到的信号,将继承原来的回波符号,因此在两信号之间进行了相敏检波的结果就是能够继

承原来的回波符号,并这样来检测接收回波信号的符号。

[0027] 最典型的中心频率的选择是当设  $n$  为自然数时,选择频率  $nf_0$  和  $(n+1)f_0$  作为发射超声波脉冲的中心频率的方法。即,发射以频率  $nf_0$  为中心频率的超声波脉冲,并接收由检查对象中的声阻抗界面进行反射而生成的回波波,又发射以频率  $(n+1)f_0$  为中心频率的超声波脉冲,并同样接收由检查对象中的声阻抗界面进行反射而生成的回波波。接着,对以频率  $nf_0$  为中心频率的接收回波信号进行  $(n+1)$  次方,并对以频率  $(n+1)f_0$  为中心频率的接收回波信号进行  $n$  次方,由此就能够得到均以频率  $n(n+1)f_0$  为中心频率的信号。由于  $n$  和  $(n+1)$  中的某一个为偶数而另一个为奇数,所以与上述相同,能够通过所得到的两信号之间进行相敏检波来检测接收回波信号的符号。这样,若选择发射脉冲的中心频率,就能够使两接收回波信号的超声波频率频带重叠的程度变大,所以两信号的类似度增高,作为检查对象的散射体回波,能够得到更忠实地反映了散射体的带符号回波信号。

[0028] 图 3 和图 4 是对  $n = 2$  的情况,与图 1 和图 2 相同,将本发明的摄像方法和以往的利用带通滤波的方法进行对比并表示的。图 3(a) 是表示本发明的摄像方法的波形图,图 3(b) 是表示利用带通滤波的方法的波形图。通过对以频率  $2f_0$  为中心频率的接收回波信号进行三次方而得到的以频率  $6f_0$  为中心频率的信号继承了原来的回波符号。另一方面,通过对以频率  $3f_0$  为中心频率的接收回波信号进行 2 次方而得到的以频率  $6f_0$  为中心频率的信号,不论回波符号如何,都将具有固定符号,所以能够用作参考信号。并且如果以都是为中心频率为频率  $6f_0$  的后者相位作为基准,对前者进行相敏检波,就能够得到带符号回波信号。

[0029] 没有使用在时间轴方向上延长回波信号的带通滤波器的、本发明的摄像方法的优点,在图 3 的情况下,与图 1 的情况相比得到了更强的体现。参照图 4 所示的超声波频谱,在频率域中说明这一点。在这一例子中,假设超声波收发器具有从频率 0 到  $6f_0$  的频带。图 4(a) 表示本发明的二次收发法,图 4(b) 表示重叠法(重叠基波和第二高次谐波,发送接收波),图 4(c) 表示以往的带通滤波法的超声波频谱。

[0030] 在本发明的二次收发法中,如图 4(a) 所示那样,作为以频率  $3f_0$  为中心频率的脉冲,可以采如虚线所绘制那样的、全部使用了超声波收发器的带宽  $6f_0$  的超声波脉冲,作为以频率  $2f_0$  为中心频率的脉冲,可以采用如实线所绘制的那样的、具有带宽  $4f_0$  的超声波脉冲。然而,若要通过带通滤波从重叠波分离两者,则如图 4(c) 所示那样,其带宽充其量限于  $f_0$ 。即,根据本发明的摄像方法,与使用带通滤波的方法相比,可以实现优越 4-6 倍的距离分辨率。

[0031] 即,在上述  $n$  大于等于 2 的情况下,采用带通滤波的方法和本发明的二次收发法相比较实用性明显要差,可以说本发明的方法是实质上唯一的选择项。

[0032] 以下,利用附图对本发明的实施例详细地进行说明。

[0033] [实施例 1]

[0034] 图 5 是表示在本发明的实施例 1 中生成带符号回波像的超声波摄像装置的构成例的图。在本实施例中,如图 1(a) 所示,首先,发射以基波频率  $f_0$  为中心频率的超声波脉冲,并接收由检查对象中的声阻抗界面进行反射而生成的回波,又发射以第 2 高次谐波频率  $2f_0$  为中心频率的超声波脉冲,并同样地接收由检查对象中的声阻抗界面进行反射而生成的回波,以两个接收回波信号为基础生成检查对象的带符号回波信号。

[0035] 超声波探头 1 对检查对象（没有图示）发射超声波脉冲，接收来自检查对象的超声波回波。通过处于时序控制部 9 控制下的发射波束形成器 3，赋予发射脉冲的方向性，另外，两种发送波形被分开使用。发射脉冲通过同样处于时序控制部 9 控制下的收发切换 SW（开关）组 2 被发送给超声波探头 1，并作为超声波被发射。在检查对象中经过反射或散射返回到超声波探头 1 的超声波回波，通过超声波探头 1 变换成电信号，再次通过收发切换开关组 2 被发送给接收波束形成器 10。接收波束形成器 10，在时序控制部 9 的控制下，按照以发射定时为基准的接收定时，进行调整延迟时间的动态聚焦。

[0036] 发射以基波频率  $f_0$  为中心频率的超声波脉冲之后紧接着接收到的回波信号，被暂时存储在接收波存储器 21 中，发射以第 2 高次谐波频率  $2f_0$  为中心频率的超声波脉冲之后紧接着接收到的回波信号被暂时存储在接收波存储器 22 中。从存储器 21 及存储器 22 所读出的回波信号，被分别发送给相位旋转校正部 31 及相位旋转校正部 32，以校正由超声波探头 1、收发切换 SW 组 2、发射波束形成器 3、接收波束形成器 10 等产生的回波信号的相位旋转。由这些装置的硬件而造成的相位旋转，能够通过出厂前接收来自预先得知相位旋转的抽样的回波信号，校准声阻抗和频率依赖衰减等，进行校正。

[0037] 从相位旋转校正部 31 输出的基波回波信号，被输入到 2 次方运算部 40，进行 2 次方后作为以  $2f_0$  为中心频率的参考回波信号而输出。在用  $\sin$  和  $\cos$  的正交函数表示将从相位旋转校正部 31 输出的以  $f_0$  为中心频率的基波回波信号表示为

[0038]  $C_1(t)\cos(\omega_0 t)+S_1(t)\sin(\omega_0 t)$  时，运算部 40 中的 2 次方运算按照加法定理，相当于输出  $C_{12}(t) = C_1^2 - S_1^2$  和  $S_{12}(t) = 2C_1S_1$ 。在这里， $t$  表示时间， $C_1(t)$  和  $S_1(t)$  表示实数振幅， $\omega_0 = 2\pi f_0$ 。此输出信号和从相位旋转校正部 32 输出的第 2 高次谐波回波信号被输入到相敏检波部 5。由于这些输入信号其中心频率一致，所以可以在两者之间进行相敏检波，在检波部 5 中，将 2 次方运算部 40 的输出作为参考信号，对相位旋转校正部 32 的输出信号进行相敏检波并输出。在将从相位旋转校正部 32 输出的第 2 高次谐波回波信号表示为

[0039]  $C_2(t)\cos(2\omega_0 t)+S_2(t)\sin(2\omega_0 t)$  时，相敏检波部 5 中的运算相当于求解  $C_{012}(t) = C_2C_{12}S_2S_{12}$  和  $S_{012}(t) = C_{12}S_2 - C_2S_{12}$ 。图 1(a) 最下部的图表是压缩这样所得到的  $C_{012}(t)$  的振幅并示意性地进行了表示的结果。

[0040] 相敏检波部 5 的输出信号被输入到带符号回波计算部 6，在振幅被压缩并经过已公知的未图示的滤波处理后被输出。带符号回波计算部 6 的信号经扫描转换器 7 被作为图像显示在显示部 8 上。在该表示部 8 中构成为可以并列或重叠通过包络线检波而得到的以往的 B 模式像和通过上述相敏检波而得到的带符号回波像中的任意一个或者两个来进行显示。带符号回波像相当于声阻抗的空间微分，所以通过在声音的传播方向上对其进行积分，就得到与声阻抗成比例的信号。在显示部中，即使除了带符号回波像还可以显示声阻抗图像。

[0041] 关于带符号回波和声阻抗的显示，除了以往的利用灰度等级的显示以外，还可以通过彩色显示来提高辨认性。例如，在带符号回波的情况下，考虑采用在回波的振幅较小时变为绿色、在正且较大时变为蓝色、在负且较大时变为红色这种彩色图的显示法等。另外，在声阻抗的情况下，考虑相对于平均硬度之处更坚硬的地方用红色，较柔软的地方用蓝色等这样用彩色来显示硬度的方法等。在本发明中，能够根据经过相位校正的复数接收波信

号,来显示任意的相位分量。在采用了强力收敛超声波或 RF 波的加热凝固治疗的监视等、对声阻抗的时间变化进行监视的用途中,本发明的带符号回波像的显示、声阻抗的显示、带符号回波的时间变化分量的显示以及声阻抗的时间变化分量的显示也是有效的方法。

[0042] 在图 9 中表示本发明的显示例。例如在左上方显示以往的 B 模式像,在右上方显示本发明得到的带符号回波像。在加热凝固治疗的监视器上使用本发明时,通过显示如图 9 的下半部分所显示那样的、关注部位 55 处的回波信号的相位平均值的时间变化,就可以高精度地控制治疗。

[0043] 接下来,对空间分辨率和带宽进行说明。包络线为高斯性时的脉冲的时间轴脉冲宽度和频率空间下的带宽如下所述。

[0044] 在时间轴上的脉冲的包络线为  $\exp(-\alpha t^2)$  的情况下,这一傅里叶变换就为

[0045]  $\sqrt{\pi}(\pi/\alpha)\exp(-\pi(\sqrt{\pi}(\pi/\alpha)f)^2)$ 。

[0046] 若全都用半幅值进行评价,则脉冲的半幅值为  $2\sqrt{\ln 2/\alpha}$ ,频率空间下的频带的半幅值为  $2\sqrt{\alpha \ln 2}/\pi$ 。若将时间轴的脉冲宽度记为  $\Delta t$ ,频率空间下的频带的半幅值记为  $\Delta f$ ,则  $\Delta f = 4\ln 2/(\pi \Delta t)$ ,可知空间分辨率(乘以声速的时间轴的脉冲宽度)和频率空间的带宽成反比例。实际上高斯信号在时间轴上到无限远也不会变成 0,所以需要以有限的时间幅度进行截止,不成为严格的高斯信号,因此在频率空间下的带宽和空间分辨率之间的关系式,严格而言有时候与上式不同,仍可以大致按照上式将带宽和空间分辨率结合起来。例如,在使用 2MHz 的中心频率下两周期的脉冲波形时,时间轴的脉冲宽度  $\Delta t$  为  $1/2\text{MHz} \times 2 = 1 \times 10^{-6}$  秒,所以根据上式则  $\Delta f = 0.88\text{MHz}$ 。此时相对带宽为 44%。

[0047] 接着,就两个发送信号的频带重叠的界限进行说明。作为  $f_0$  和  $2f_0$  两个频率频带的重叠方式的规定方法,可以有采用频谱的重叠积分等多种多样的方法,但是,在这里为了简化,将两个频率频带重叠的部分的带宽设为表示两个频率频带重叠的程度的指标。在使用图 2 所示的  $f_0$  和  $2f_0$  时,若将相对带宽(带宽/中心频率)固定为  $df/f_0$ ,则中心频率  $f_0$  的频带就为从  $f_0-df/2$  到  $f_0+df/2$ ,中心频率  $2f_0$  的频带就为从  $2f_0-df$  到  $2f_0+df$ 。在此情况下,当  $df < (2/3)f_0$  时将不存在重叠的频带,在  $(2/3)f_0 < df < 2f_0$  时重叠的频带为  $(3/2)df-f_0$ ,在  $df > 2f_0$  时中心频率  $f_0$  的频带将完全包含在  $2f_0$  的频带之中。

[0048] 接着,在图 4 所示的中心频率为  $2f_0$  和  $3f_0$  的情况下,计算频带的重叠。中心频率  $2f_0$  的频带为从  $2f_0-df$  到  $2f_0+df$ ,中心频率  $3f_0$  的频带为从  $3f_0-(3/2)df$  到  $3f_0+(3/2)df$ 。在此情况下,当  $df < (2/5)f_0$  时将不存在频带的重叠,在  $(2/5)f_0 < df < 2f_0$  时重叠的频带为  $(5/2)df-f_0$ ,在  $df > 2f_0$  时中心频率  $f_0$  的频带将完全包含在  $2f_0$  的频带之中。在现状的超声波探头中,由于相对带宽 200% 难以实现,所以  $(3/2)df-f_0$  ( $f_0$  和  $2f_0$  时)或者  $(5/2)df-f_0$  ( $2f_0$  和  $3f_0$  时)就是现实的频带的重叠幅度。

[0049] 图 8 是对于图 2,重叠探头的相对带宽进行了显示时的图,不引入纵轴的范围,而在以下将从 0 到 6dB 的情况作为例子。(当然,无论是从 0 到 20dB 还是 40dB,以下的讨论都同等)在本发明的两次收发法中,如图 8(a) 所示那样,两个频率频带和探头频带的重叠积分基本上覆盖了大致所有的探头频带。另一方面,在以往的带通滤波法中,如图 8(b) 所示的那样,即便两个发送信号全都与探头频带取重叠积分,也不能完全使用探头的带宽 50。因此,当对图 8(a) 和图 8(b) 进行比较时,即便在有效带宽内的能量利用效率这一点上,如

本发明所述在两个频率下重叠频带的方法表现出色。其结果,在灵敏度这一点上也表现出色。

[0050] [实施例 2]

[0051] 图 6 是表示在本发明的实施例 2 中生成带符号回波像的超声波摄像装置的构成例的图。实施例 1 是通过图 1(a) 所示的方法来生成带符号回波像的装置的构成例,与此相对,本实施例是通过图 3(a) 所示的方法来生成带符号回波像的装置的构成例。即,本实施例和实施例 1 的差别在于进行收发的超声波脉冲的中心频率的组合不同和伴随于此的信号处理的不同。在本实施例中,如图 3(a) 所示那样,首先,发射以频率  $nf_0$  为中心频率的超声波脉冲,并接收由检查对象中的声阻抗界面进行反射而生成的回波波,又发射以频率  $(n+1)f_0$  为中心频率的超声波脉冲,并同样地接收由检查对象中的声阻抗界面进行反射而生成的回波波,以两个接收回波信号为基础生成检查对象的带符号回波信号。

[0052] 发射以频率  $nf_0$  为中心频率的超声波脉冲之后紧接着接收到的回波信号被暂时存储在接收波存储器 21 中,发射以频率  $(n+1)f_0$  为中心频率的超声波脉冲之后紧接着接收到的回波信号被暂时存储在接收波存储器 22 中。从存储器 21 和存储器 22 所读出的回波信号被分别发送到相位旋转校正部 31 和相位旋转校正部 32,以校正由超声波探头 1、收发切换 SW 组 2、发射波束形成器 3 以及接收波束形成器 10 等产生的回波信号的相位旋转。

[0053] 从校正部 31 输出的以频率  $nf_0$  为中心频率的回波信号被输入到  $(n+1)$  次方运算部 41 中,在这里通过进行  $(n+1)$  次方而作为以  $n(n+1)f_0$  为中心频率的回波信号得以输出。另一方面,从校正部 32 输出的基波回波信号被输入到  $n$  次方运算部 41 中,在这里通过进行  $n$  次方仍然作为以  $n(n+1)f_0$  为中心频率的回波信号得以输出。这些输出信号全都被输入到相敏检波部 5,由于中心频率一致,所以可以在两者之间进行相敏检波。

[0054] 若就  $n = 2$  的情况,使用公式具体地进行表示则如下那样。在用  $\sin$  和  $\cos$  的正交函数表示将从校正部 31 输出的以  $2f_0$  为中心频率的回波信号表示为

[0055]  $C_2(t) \cos(2\omega_0 t) + S_2(t) \sin(2\omega_0 t)$  时,运算部 41 中的三次方运算,按照加法定理,相当于输出  $C_{23}(t) = 4C_2^3 - 3C_2$  和  $S_{23}(t) = 3S_2 - 4S_2^3$ 。另外,将从校正部 32 输出的以  $3f_0$  为中心频率的回波信号表示为

[0056]  $C_3(t) \cos(3\omega_0 t) + S_3(t) \sin(3\omega_0 t)$  时,在运算部 42 中的 2 次方运算,按照加法定理,相当于输出  $C_{32}(t) = C_3^2 - S_3^2$  和  $S_{32}(t) = 2C_3 S_3$ 。在这里,  $C_2(t)$ 、 $S_2(t)$ 、 $C_3(t)$ 、 $S_3(t)$  表示实数振幅。

[0057] 运算部 41 和 42 的输出信号都以同一频率  $6f_0$  为中心频率,所以在两者之间可能进行相敏检波。在  $n$  是偶数时,运算部 41 的输出信号是通过对接收回波信号进行奇数次方而得到的,所以继承了原来的回波符号。另一方面,由于运算部 42 的输出信号是通过对接收回波信号进行偶数次方而得到的,因而不论回波符号如何,都具有固定的符号,所以可以作为参考信号来使用。从而,在相敏检波部 5 中,通过运算  $C_{023}(t) = C_{32} C_{23} + S_{32} S_{23}$  和  $S_{023}(t) = C_{32} S_{23} - C_{23} S_{32}$ ,就可以求得带符号回波信号。图 3(a) 最下部的图表是压缩这样所得到的  $C_{023}(t)$  的振幅并示意性地进行了表示的结果。

[0058] 接下来,对关于发送脉冲波的波形和带宽的特别考虑进行叙述。传播于生物体中的超声波大多与超声波频率成比例地进行衰减。其结果,超声波脉冲的中心频率随着传播距离向低频侧移动。因此,关于回波信号,为了一边保持良好的信噪比即 SN 比一边以此为

基础生成回波像,就需要设法将这个频率比例性衰减考虑进来。

[0059] 这个问题,可以通过使用具有图 2(a) 和图 4(a) 中用实线和虚线所绘制那样的频谱的发送超声波脉冲而解决。这是因为若都使用具有高斯函数性的频谱,且相对带宽大致相等的发送超声波脉冲,则即便随着传播,中心频率因频率比例性衰减而移动,其中心频率之比也保持固定的缘故。以使用具有图 4 频谱的发送超声波脉冲的情况为例,在图 7 中表示其情形。如果使用公式对其进行说明则如以下所述。具有与中心频率  $f_0$  成比例的带宽的高斯函数性的频率频谱可以表示为  $A\exp[-(f-f_0)^2/Bf_0]$ 。通过与频率  $f$  成比例的衰减,传播距离  $x$  后的振幅就减少到  $\exp(-Cxf)$  倍。在这里,  $A$ 、 $B$  以及  $C$  为实数。从而,传播距离  $x$  后的频谱就为

$$[0060] \quad A\exp[-(f-f_0)^2/Bf_0-Cxf]$$

$$[0061] \quad = A\exp[-Cx(1-BCx/4)f_0]\exp\{-[f-(1-BCx/2)f_0]^2/Bf_0\}。$$

[0062] 即,传播距离  $x$  后的中心频率移动到  $(1-BCx/2)f_0$ 。如果发射时的中心频率为  $2f_0$  则移动到  $2(1-BCx/2)f_0$ , 若为  $3f_0$  则移动到  $3(1-BCx/2)f_0$ , 所以即使在传播距离  $x$  后,中心频率之比仍不变,可以通过本发明的信号处理而生成带符号回波。

[0063] 考虑上述情况,在图 5 和图 6 的实施例中,在时序控制部 9 的控制下,在从波发送定时到波接收定时的经过时间的一起,在信号处理中假设的中心频率向低频侧移动这样来进行控制。中心频率向低频的移动有若干种方法,例如,可以通过下面所示的方法而实现。对具有中心频率  $f_c$  的信号,使用接近  $f_c$  的参考频率  $f_0$ , 乘以  $\sin(f_0 t)$  求解通过频率  $f_0$  以下的低通滤波器的信号,乘以  $\cos(f_0 t)$  求解通过频率  $f_0$  以下的低通滤波器的信号分量,由此就能够将接收信号移动到基带。通过依照距离将此参考频率  $f_0$  缓缓向低频移动,就能够实现上述的假定的中心频率向低频一侧的移动。

[0064] 另外,虽然这里是以使用  $n$  和  $(n+1)$  这两个频率的情况进行了说明,但只要是在频率频带内,例如 5MHz 和 8MHz 这样的偶数和奇数,通过对 5MHz 的收发信乘以 8,对 8MHz 的收发信乘以 5,就能够取得与本实施例中说明过的同样的效果。

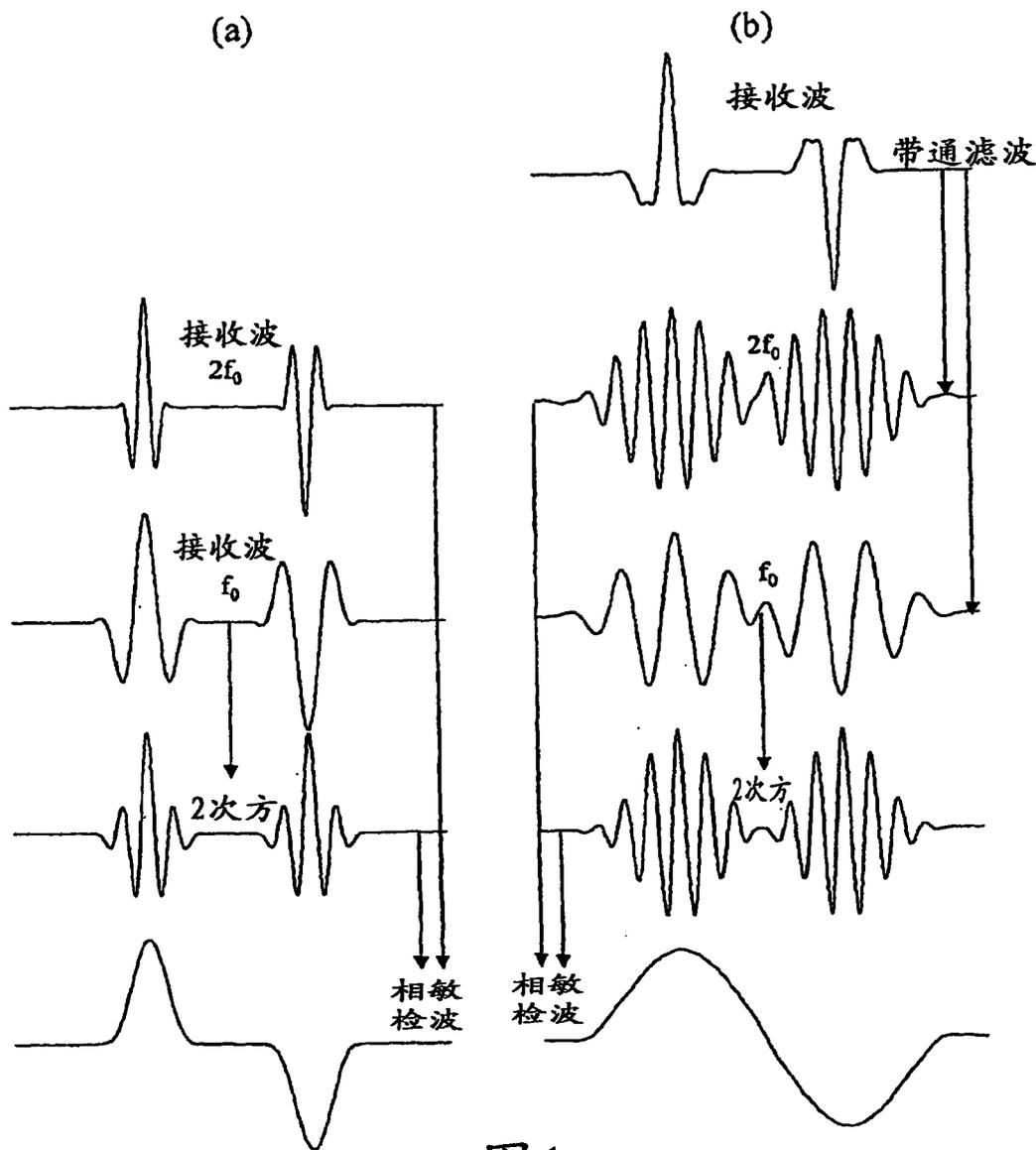


图1

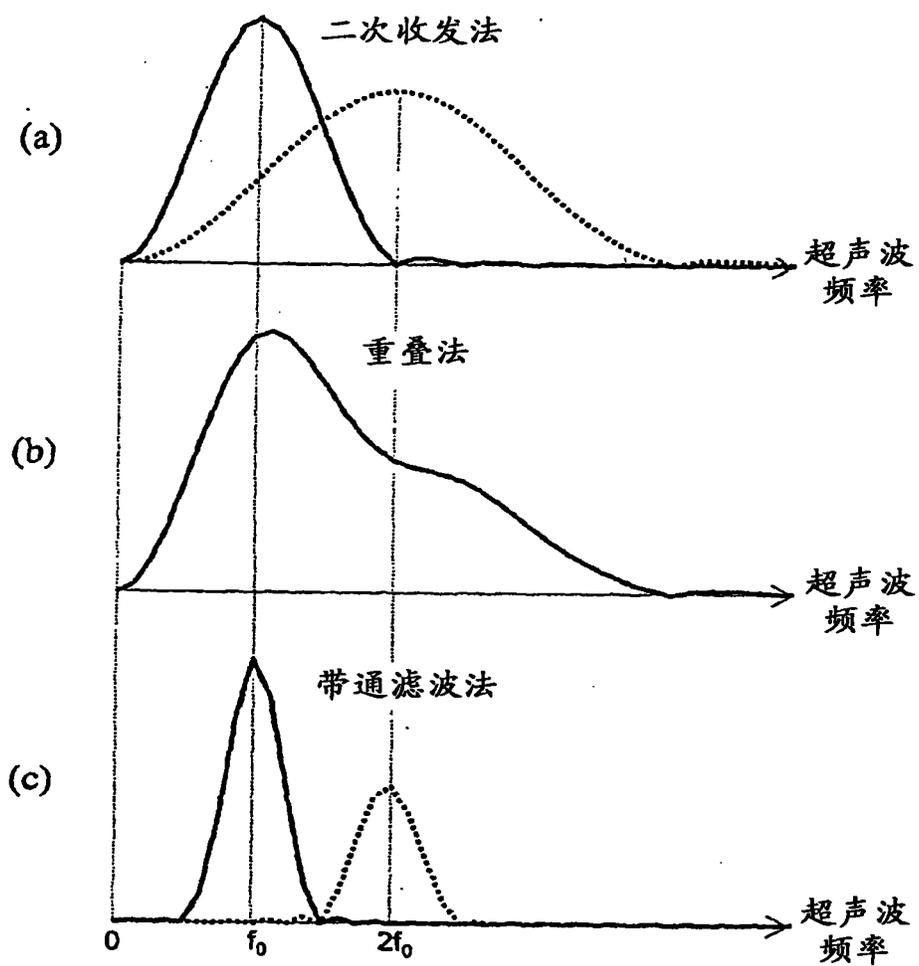


图 2

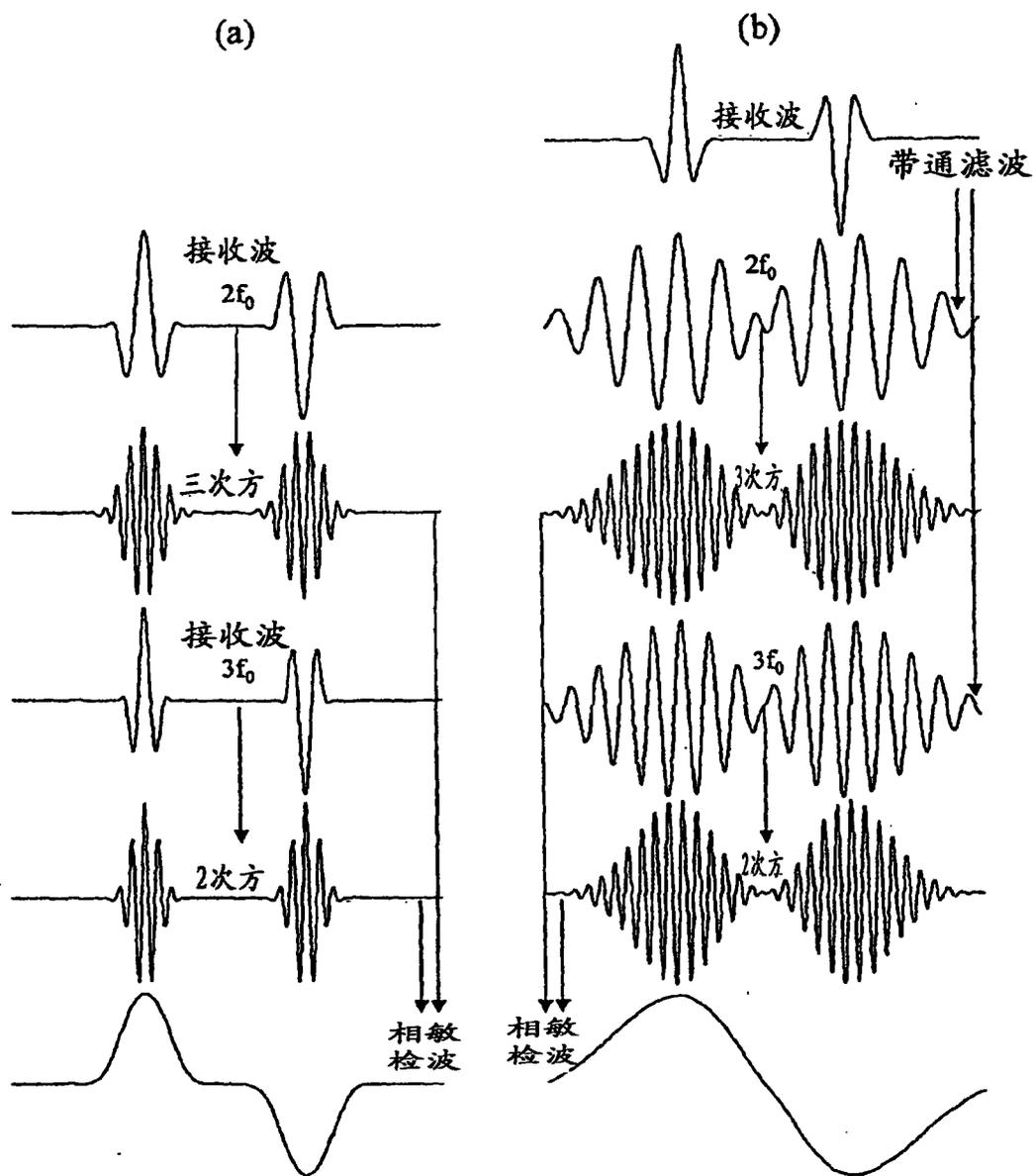


图3

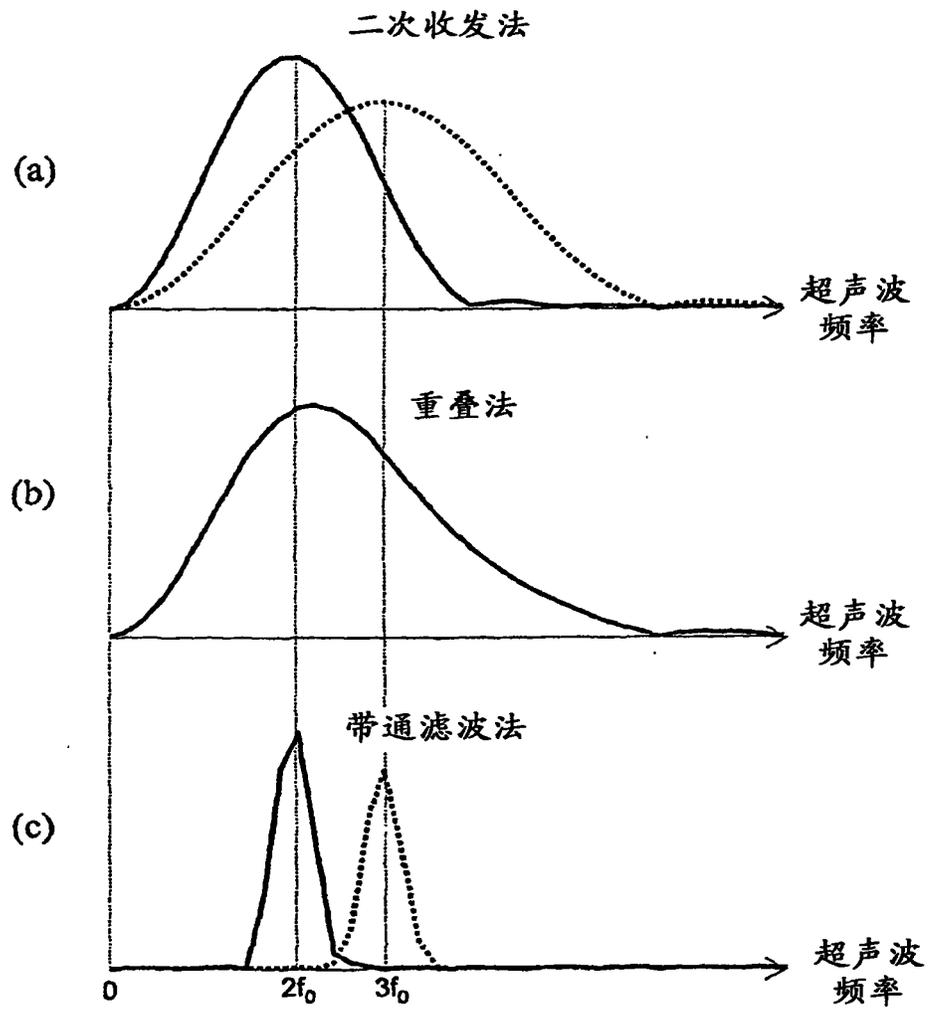


图 4

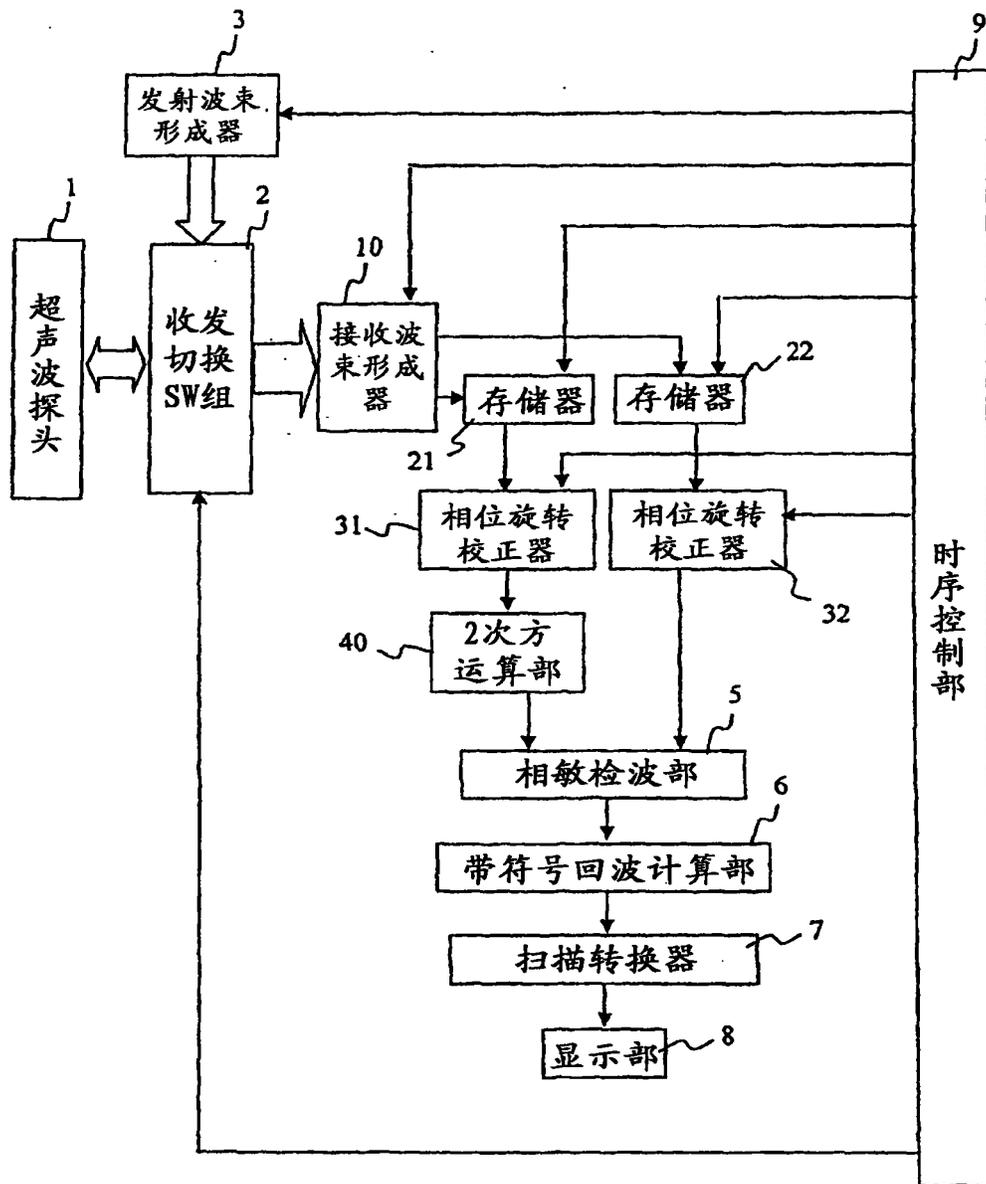


图5

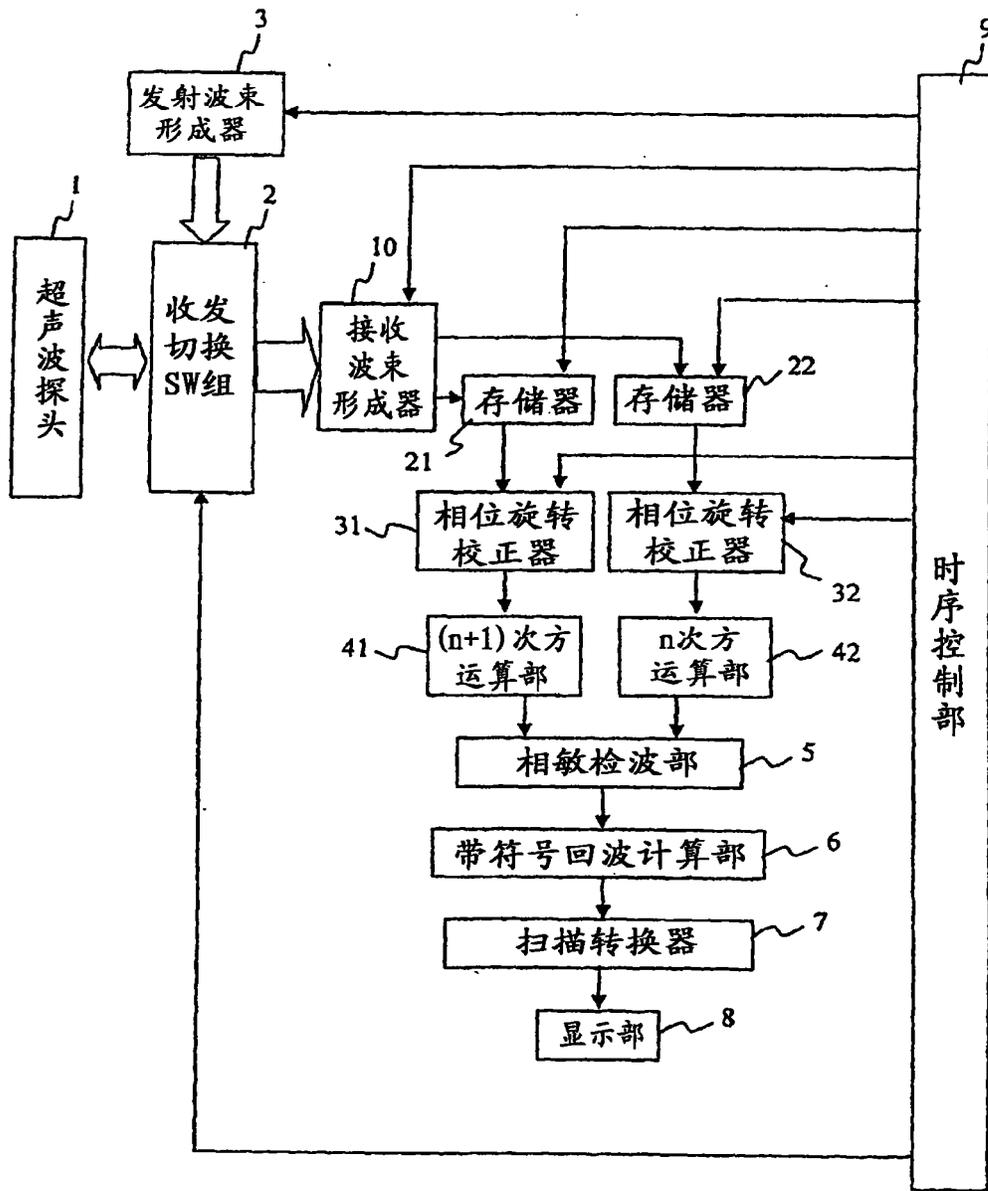


图6

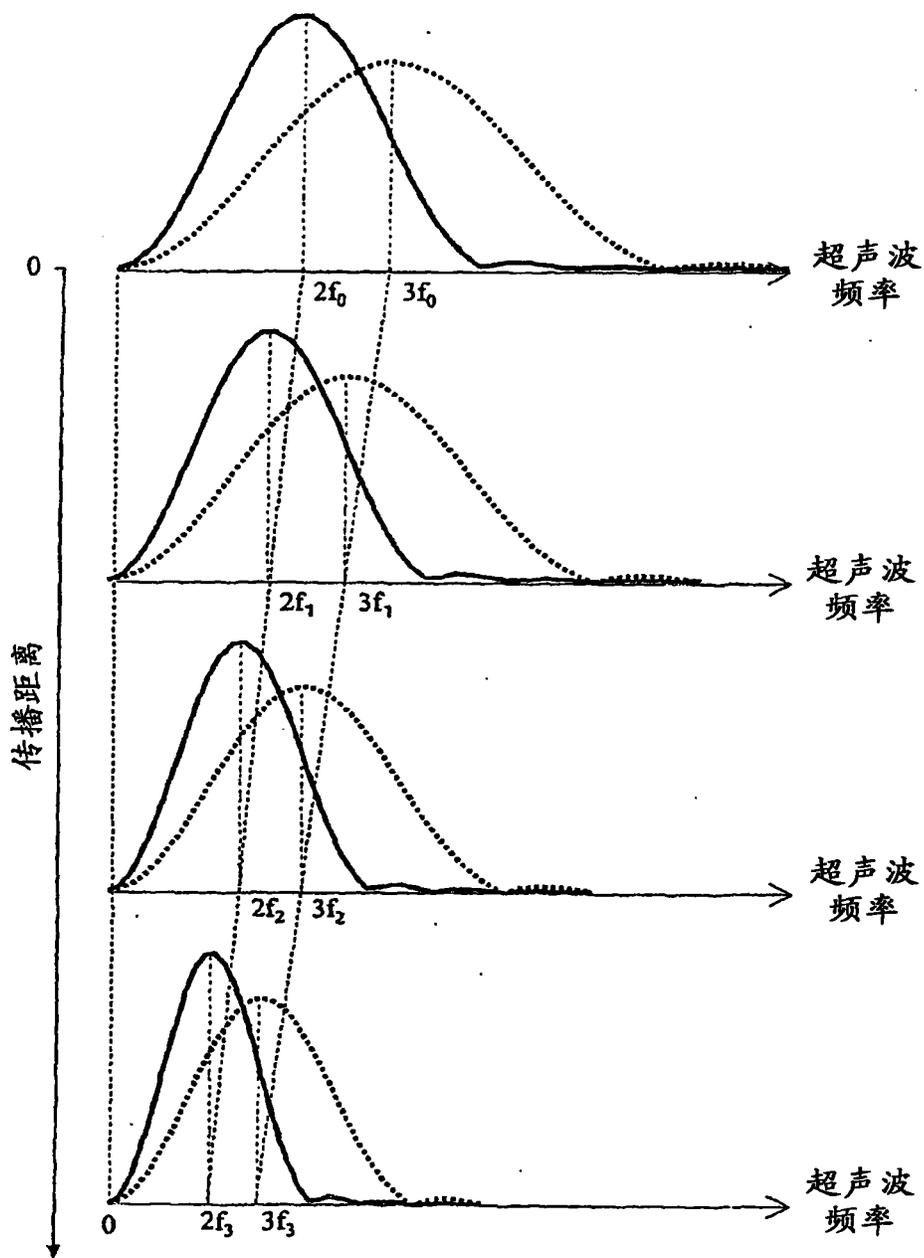


图7

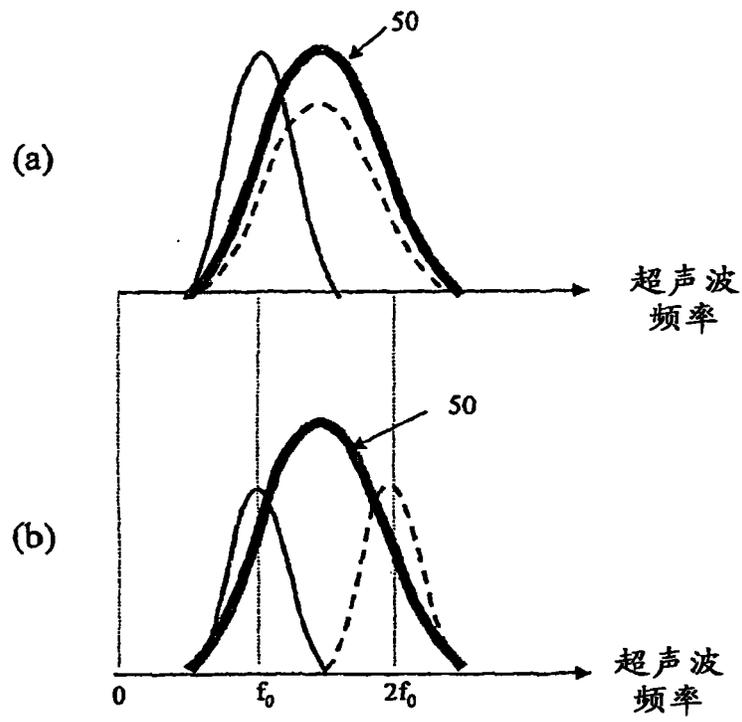


图 8

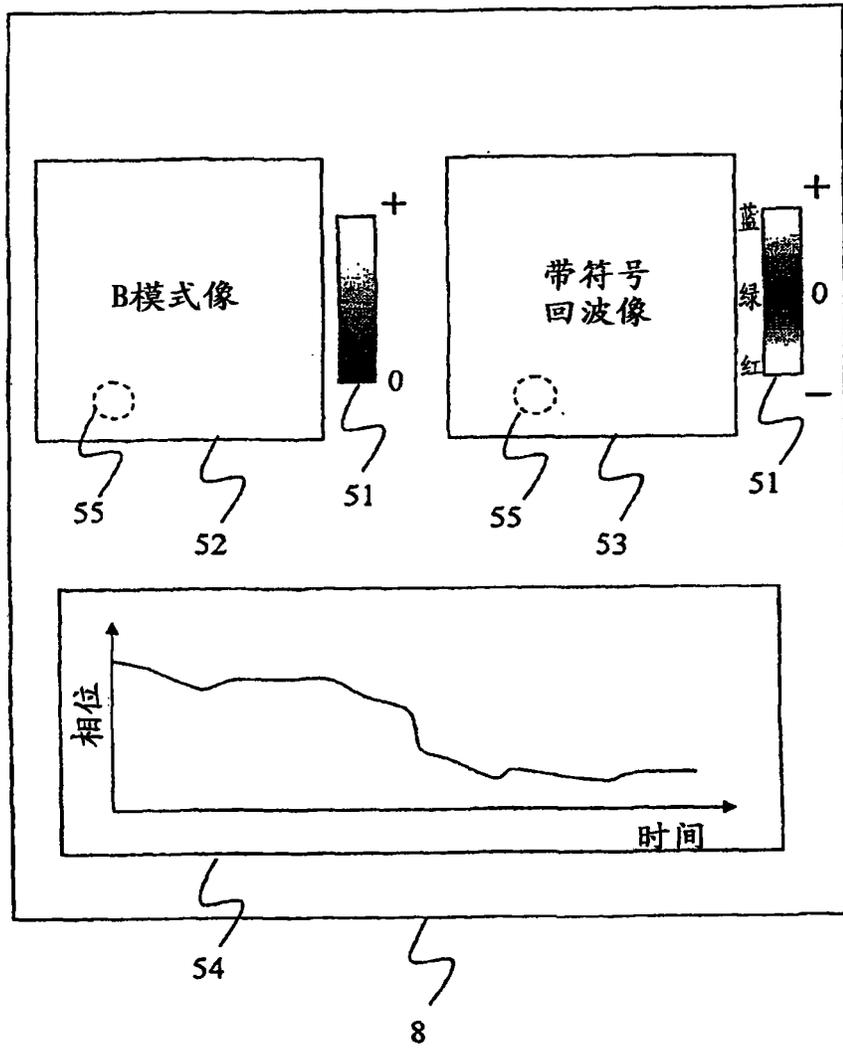


图9