



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107205729 A

(43)申请公布日 2017.09.26

(21)申请号 201680009160.X

(74)专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司 11243

(22)申请日 2016.02.04

代理人 范胜杰 曹鑫

(30)优先权数据

2015-030016 2015.02.18 JP

(51)Int.Cl.

A61B 8/14(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.08.07

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2016/053396 2016.02.04

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/132924 JA 2016.08.25

(71)申请人 株式会社日立制作所

地址 日本东京都

(72)发明人 广岛美咲 池田贞一郎

石原千鹤枝

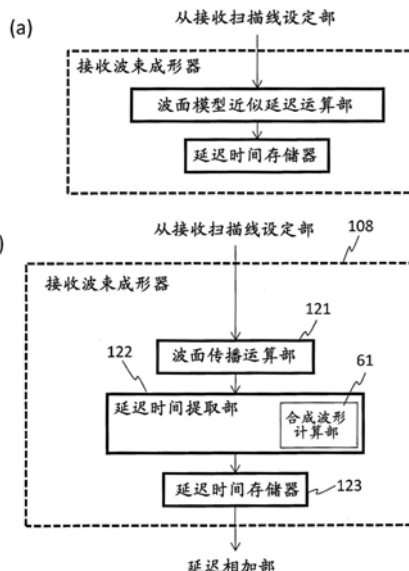
权利要求书2页 说明书12页 附图17页

(54)发明名称

超声波成像装置以及超声波信号的处理方法

(57)摘要

不使用近似的波面传播模型,可以在发送波束的照射区域的内外都对接收信号设定适合的延迟时间来获得整相信号。接收波束成形器包括:波面传播运算部(121),其通过运算来求出从多个超声波元件发送的超声波分别到达接收焦点的时间;以及延迟时间提取部(122),其根据波面传播运算部(121)求出的多个超声波元件的每一个的超声波的到达时间的分布来计算出针对接收焦点的延迟时间。因此,即使在到达接收焦点的波面是复杂的形状时,也不需要波面进行近似,可以通过根据超声波到达该接收焦点的时间求出的适合的延迟时间来进行整相相加。



1. 一种超声波成像装置,其特征在于,具有:

发送波束成形器,其从排列的多个超声波元件发送对多个所述超声波元件的每一个超声波元件延迟后的超声波,以便形成预定的发送波束;以及

接收波束成形器,其使多个所述超声波元件接收超声波而输出的接收信号,针对预定的接收焦点根据对所述多个超声波元件的每一个超声波元件设定的延迟时间分别延迟之后进行相加来获得整相信号,

所述接收波束成形器具备延迟时间运算部,其通过运算求出所述延迟时间,

所述延迟时间运算部包括:波面传播运算部,其通过运算求出从多个所述超声波元件发送的超声波分别到达所述接收焦点的时间;以及延迟时间提取部,其根据所述波面传播运算部所求出的所述多个超声波元件的每一个超声波元件的超声波的到达时间的分布,计算针对所述接收焦点的所述延迟时间。

2. 根据权利要求1所述的超声波成像装置,其特征在于,

所述波面传播运算部针对发送超声波的全部所述超声波元件,求出超声波到达所述接收焦点的时间。

3. 根据权利要求1所述的超声波成像装置,其特征在于,

所述延迟时间提取部根据所述多个超声波元件的每一个超声波元件的超声波的到达时间的分布,求出从所述多个超声波元件到达所述接收焦点的所述超声波的合成波形,并根据所述合成波形的振幅的时间变化来计算所述延迟时间。

4. 根据权利要求3所述的超声波成像装置,其特征在于,

所述延迟时间提取部求出所述波面传播运算部所求出的所述多个超声波元件的每一个超声波元件的超声波的到达时间的频率分布,并使用求出的所述频率分布计算所述合成波形。

5. 根据权利要求1所述的超声波成像装置,其特征在于,

所述延迟时间运算部具备设定接收扫描线的接收扫描线设定部,所述接收焦点被设定在所述接收扫描线上,

所述波面传播运算部通过针对所述接收扫描线上的多个所述接收焦点分别求出所述超声波的到达时间,来针对所述接收扫描线对于所述多个超声波元件的每一个超声波元件求出所述波面传播时间变化曲线,所述延迟时间提取部根据多个所述波面传播时间变化曲线的分布,通过运算求出表示针对所述接收扫描线的所述延迟时间的变化的延迟时间曲线。

6. 根据权利要求5所述的超声波成像装置,其特征在于,

所述延迟时间提取部根据多个所述波面传播时间变化曲线的分布来求出从所述多个超声波元件到达所述接收扫描线上的点的所述超声波的合成波形,并针对所述接收扫描线上的多个接收焦点的每一个接收焦点求出所述合成波形的振幅的时间变化曲线的极值,并在所述接收扫描线的方向上追踪所述极值,由此提取1条以上的所述延迟时间曲线。

7. 根据权利要求6所述的超声波成像装置,其特征在于,

所述延迟时间提取部提取从所述接收扫描线的最初到最后连续的延迟时间曲线来作为所述延迟曲线。

8. 根据权利要求6所述的超声波成像装置,其特征在于,

所述接收波束成形器对于一个超声波探头具备多个延迟相加部,该延迟相加部在根据所述延迟时间使多个所述超声波元件的各接收信号延迟之后进行相加来获得整相信号,

所述延迟时间提取部提取多条所述延迟时间曲线,

所述多个延迟相加部使用所述多条延迟时间曲线的延迟时间分别获得整相信号。

9. 根据权利要求6所述的超声波成像装置,其特征在于,

所述延迟时间提取部在2条所述延迟曲线不连续时,通过将其结合来生成从所述接收扫描线的端部到端部连续的延迟时间曲线。

10. 根据权利要求8所述的超声波成像装置,其特征在于,

所述延迟曲线提取部具备延迟曲线判定部,该延迟曲线判定部在所述延迟时间曲线为2条以上时,使用所述合成波形的振幅来分别计算2条以上的延迟时间曲线的评价指标值,所述延迟曲线提取部按照所述评价指标值从高到低的顺序选择与所述延迟相加部数量相同的所述延迟时间曲线,并向所述延迟相加部输出所选择的延迟时间曲线的延迟时间。

11. 根据权利要求5所述的超声波成像装置,其特征在于,

所述接收波束成形器具备近似延迟模型自动生成部,

所述近似延迟模型自动生成部根据在所述延迟时间运算部中计算出的延迟时间曲线的数据与预先准备的多个几何学波面模型以及几何学约束条件的相关关系,来构筑用于计算对延迟时间曲线进行近似而得的曲线的结构式。

12. 一种超声波信号的处理方法,其向排列的多个超声波元件传递对多个超声波元件的每一个超声波元件延迟后的超声波信号,以便形成预定的发送波束,并使多个所述超声波元件接收到的接收信号针对预定的接收焦点根据对多个超声波元件的每一个超声波元件设定的延迟时间分别延迟之后进行相加来获得整相信号,其特征在于,

在向所述超声波元件传递所述超声波信号前,通过运算求出从接收了所述超声波信号的多个超声波元件发送的超声波分别到达所述接收焦点的时间,并根据求出的所述多个超声波元件的每一个超声波元件的超声波的到达时间的分布,计算针对所述接收焦点的所述延迟时间。

超声波成像装置以及超声波信号的处理方法

技术领域

[0001] 本发明涉及使用超声波来对被检体内的图像进行成像的超声波成像技术。

背景技术

[0002] 超声波成像技术是指使用超声波(无意识地听到的声波、一般是20kHz以上的高频率的声波)来对以人体为代表的被检体的内部无创地进行图像化的技术。

[0003] 从超声波探头的多个超声波元件向被检体发送超声波束的方法有2种:扩大型发送,其发送扩大为扇形的超声波束;以及聚焦型发送,其在被检体内设定发送焦点来发送聚焦于发送焦点的超声波束。

[0004] 通过超声波探头的多个超声波元件接收来自被检体的超声波,多个接收信号在按照对应于接收焦点而对超声波元件的每一个设定的延迟时间进行了延迟(整相)后进行相加。整相时的延迟时间由基于发送波束的波面传播模型的近似曲线(延迟曲线)来决定。

[0005] 在专利文献1中公开有在进行具有单个焦点的聚焦型发送时的孔径合成法。在专利文献1中所公开的延迟运算中,根据假设从发送焦点发送球面波的波面传播模型,使用根据接收焦点来对超声波元件的每一个的延迟时间进行设定的虚拟声源法。通过根据虚拟声源法所设定的延迟时间,分别使多个超声波元件的接收信号延迟,在针对接收焦点进行了对焦后相加来获得整相信号。将该整相信号与针对相同接收焦点由其他1个以上的收发所获得的整相信号进行合成,并通过重合来进行孔径合成。

[0006] 孔径合成可以使针对某点从不同方向由超声波探头进行收发所获得的整相信号重合,因此可以赋予点像的高分辨率化、针对不均质的鲁棒性等。由于通过重合处理提高了处理增益,还可以使超声波的发送次数比通常更稀疏,也可以应用于高速成像。

[0007] 在专利文献2中公开有以下技术:检测由被检体的肢体运动、被检体内的音速的不均匀性等所引起的、由不同的多个发送所获得的接收信号的相位的偏差,并使相位一致后进行孔径合成。由此,针对同一接收焦点,即使在不同的收发间的接收信号的相位不一致的情况下,也可以通过孔径合成来重合整相信号,提高处理增益。

[0008] 在专利文献3中公开有以下技术:预先存储通过几何学求出的多个延迟时间数据组,通过实时计算来扩展其值,由此调节接收焦点,即使在肢体运动下也生成整相信号。

[0009] 现有技术文献

[0010] 专利文献

[0011] 专利文献1:美国专利第6231511号说明书

[0012] 专利文献2:日本特开2004-261229号公报

[0013] 专利文献3:日本特开2006-187667号公报

发明内容

[0014] 发明要解决的课题

[0015] 专利文献1~3的技术如虚拟声源法等那样,根据预先决定的波面传播模型对波面

进行近似,并根据近似波面来计算延迟时间。然而,在进行非球面聚焦时,或者在使用二维排列了超声波元件的2D阵列的超声波探头,特别是在发送具有多个发送焦点的发送波束时,所发送的超声波束的波面呈复杂形状,在应用了公知的波面传播模型的情况下,实际的波面与近似波面的差变大。因此,获取反映了被检体的构造的整相信号变难。

[0016] 另外,即使在使用一维排列了超声波元件的排列超声波探头时,根据虚拟声源法,能够应用虚拟声源波面模型来进行整相的区域被限定在发送波束的直接照射区域(连接超声波探头的孔径的两端与焦点的沙漏型的几何学区域)内。在发送波束的几何学区域外,波面变得复杂,波面的模型化困难。因此,在发送波束的直接照射区域外无法获取整相信号,也无法进行孔径合成。

[0017] 本发明的目的在于,不使用近似的波面传播模型,对发送波束的照射区域的内外都对接收信号设定恰当的延迟时间来获得整相信号。

[0018] 用于解决课题的手段

[0019] 本发明提供一种超声波成像装置,其具有:发送波束成形器,其从排列的多个超声波元件发送对多个超声波元件的每一个延迟后的超声波,以便形成预定的发送波束;以及接收波束成形器,其使多个超声波元件接收超声波而输出的接收信号针对预定的接收焦点根据对多个超声波元件的每一个设定的延迟时间分别延迟之后进行相加来获得整相信号。接收波束成形器具备延迟时间运算部,其通过运算求出延迟时间。延迟时间运算部包括:波面传播运算部,其通过运算求出从多个超声波元件发送的超声波分别到达接收焦点的时间;以及延迟时间提取部,其根据波面传播运算部所求出的多个超声波元件的每一个的超声波的到达时间的分布,计算出针对接收焦点的所述延迟时间。

[0020] 发明效果

[0021] 根据本发明,不使用近似的波面传播模型,就可以在发送波束的照射区域的内外都对接收信号设定恰当的延迟时间来获得整相信号,因此即使在变为复杂的波面形状的发

附图说明

[0022] 图1(a)是第1实施方式的超声波成像装置的立体图,图1(b)是第1实施方式的超声波成像装置的框图。

[0023] 图2是表示第1实施方式的接收波束成形器的结构的框图。

[0024] 图3(a)是表示以往的接收波束成形器的结构的框图,图3(b)是表示第1实施方式的接收波束成形器的结构的框图。

[0025] 图4是表示从超声波元件发送的超声波到达接收焦点42的时间的说明图。

[0026] 图5(a)是表示第1实施方式的超声波成像装置的发送波束32的直接照射区域和接收扫描线的说明图,图5(b)是对全部发送元件的波面传播时间的曲线进行例示的曲线图。

[0027] 图6是表示第1实施方式的到达某接收焦点的超声波的合成波形的说明图。

[0028] 图7是表示发送波束32的直接照射区域和多个接收扫描线的说明图。

[0029] 图8是表示第1实施方式的延迟时间运算部的动作的流程图。

[0030] 图9是对第1实施方式的扫描线上的超声波的合成波形的振幅值的分布进行例示的说明图。

- [0031] 图10(a)是对全部发送元件的波面传播时间的曲线进行示例的曲线图、图10(b)是表示波面传播时间的频率的直方图。
- [0032] 图11是第3实施方式的延迟时间提取部122的框图。
- [0033] 图12是表示第3实施方式的延迟追踪部的动作的流程图。
- [0034] 图13是表示所追踪的延迟要素线的说明图。
- [0035] 图14是第3实施方式的具备多个延迟相加部的超声波成像装置的框图。
- [0036] 图15是第4实施方式的延迟时间提取部122的框图。
- [0037] 图16(a)以及图16(b)是表示在第4实施方式中所结合的延迟要素线的说明图。
- [0038] 图17是表示第4实施方式的不连续延迟结合部的动作的流程图。
- [0039] 图18是第5实施方式的延迟时间提取部122的框图。
- [0040] 图19是表示第5实施方式的延迟曲线判定部的动作的流程图。
- [0041] 图20是表示第6实施方式的超声波成像装置的具有近似延迟模型自动生成部的接收波束成形器的框图。
- [0042] 图21是对用于第6实施方式的超声波成像装置的近似延迟模型的生成的几何结构要素进行示例的说明图。
- [0043] 图22是表示第6实施方式的超声波成像装置的近似延迟模型自动生成部的构造的框图。

具体实施方式

- [0044] 针对本发明的一实施方式的超声波成像装置进行说明。
- [0045] 本发明的超声波成像装置不使用虚拟声源法等的波面传播模型对波面进行近似,而是通过运算求出从多个发送元件发送的超声波分别到达接收焦点的时间,并根据求出的到达时间的分布计算出针对该接收焦点的延迟时间。由此,即使在到达该接收焦点的波面是复杂形状的情况下,也不需要波面进行近似,就可以通过根据超声波到达该接收焦点的时间所求出的适合的延迟时间来进行整相相加。
- [0046] (第1实施方式)
- [0047] 使用附图针对第1实施方式的超声波成像装置进行说明。
- [0048] 本实施方式的超声波成像装置,如图1(a)所示的整体的立体图、图1(b)所示的概要结构、图2以及图3所示的一部分详细结构,具有:从排列有多个超声波元件105的超声波探头106发送超声波的发送波束成形器104和接收波束成形器108。
- [0049] 发送波束成形器104如图4以及图5(a)所示,从多个超声波元件105发送针对多个超声波元件105的每一个以预定量延迟后的超声波,以便在预定的发送焦点41进行聚焦。所发送的超声波通过被检体100被反射等并由超声波元件105接收。
- [0050] 接收波束成形器108,针对预定的接收焦点42(图4、图5(a)),根据针对多个超声波元件105的每一个设定的延迟时间,使多个超声波元件105接收到的接收信号分别延迟之后进行相加来获得整相信号。因此,接收波束成形器108具备通过运算来求出延迟时间的延迟时间运算部114。如图2所示,延迟时间运算部114具有波面传播运算部121和延迟时间提取部122。波面传播运算部121如图4所示,针对发送超声波的多个超声波元件105的至少一部分,通过运算来求出所发送的超声波分别到达接收焦点42的时间(波面传播时间、TOF:Time

Of Flight)。延迟时间提取部122根据波面传播运算120所求出的多个超声波元件的每一个超声波的到达时间的分布,计算出针对接收焦点42的延迟时间。

[0051] 波面传播时间可以根据用于形成发送波束的发送延迟时间和发送时的超声波元件与接收焦点的距离和音速来计算。延迟时间提取部122选择多个超声波元件105的超声波的波面传播时间的分布的范围内的一个时间,并将其作为去程(发送)的波面传播时间。作为一个例子,可以选择到达时间最集中的时间。通过对该去程的波面传播时间加上与从接收焦点42到各超声波元件105的距离对应的回程(接收)的传播时间,可以设定各超声波元件105的每一个的接收时的延迟时间。

[0052] 另外,延迟时间提取部122可以具备合成波形计算部61,其根据接收焦点42处的多个超声波元件105的每一个的超声波的到达时间的分布(图5(b)参照),求出从多个超声波元件105到达接收焦点42的超声波的合成波形(图6)。延迟时间提取部122也可以根据合成波形计算部61所求出的合成波形的振幅的时间变化,计算出延迟时间。例如,可以将振幅值为极大的传播时间选择为去程(发送)的波面传播时间。

[0053] 根据本实施方式,波面传播运算部122可以针对发送超声波的全部的超声波元件105,在发送前求出到达接收焦点的时间(波面传播时间)。由此,可以考虑全部超声波元件105的波面传播时间,在发送前计算出延迟时间,因此不需要波面的模型化,即使实际的波面是复杂的形状,也可以针对每一个接收焦点,根据实际的超声波的传播时间,高精度地设定延迟时间。

[0054] 以下,针对第1实施方式的超声波成像装置进一步进行具体地说明。

[0055] 如图1(a)所示,超声波成像装置具备超声波探头106、装置主体102、图像显示部103以及控制台110。在装置主体102内,如图1(b)所示,配置有发送波束成形器104、收发分离电路(T/R)107、接收波束成形器108、图像处理部109以及控制它们的动作的控制部111。

[0056] 接收波束成形器108如图1(b)、图2所示,具备延迟相加部204、延迟时间运算部114以及孔径合成部205。延迟时间运算部114包括接收扫描线设定部116、波面传播运算部121、延迟时间提取部122以及延迟时间存储器123。除此之外,在接收波束成形器108中还配置有用于孔径合成的波束存储器206和帧存储器207。

[0057] 发送波束成形器104生成传递给各个超声波元件105的发送波束用信号。发送波束用信号针对每一个超声波元件105实施发送延迟,以便在控制部111所指示的预定的发送焦点41进行聚焦。发送波束用信号经过收发分离电路107,被传递到超声波探头106。超声波探头106分别向超声波元件阵列101的超声波元件105传递发送波束用信号。超声波元件105将超声波发送至被检体100的体内。在体内反射后的回波信号被超声波探头106的超声波元件阵列101的超声波元件105接收。接收信号再次经过收发分离电路107在接收波束成形器108中实施整相相加运算处理等。

[0058] 使用图8的流程图,针对图2的接收波束成形器108的各部的动作进行具体地说明。

[0059] 延迟时间运算部112被构成为包括CPU等处理部和存储器。处理部读入在存储器内预先存储的程序来执行。由此,通过软件处理,如图8的流程图所示,实现接收扫描线设定部116、波面传播运算部121以及延迟时间提取部122的功能。此外,也可以通过作为硬件的ASIC(专用集成电路Application Specific integrated Circuit)、FPGA(现场可编程门阵列Field-Programmable Gate Array)以及寄存器来构成延迟时间运算部112的一部分或全

部的动作。

[0060] 控制部111在发送波束成形器104进行超声波信号的发送动作之前,向接收波束成形器108传递超声波的发送时的条件以及应该设定的接收扫描线31的条数和位置信息,并进行如下动作来运算延迟时间。首先,发送时延迟时间运算部112的接收扫描线设定部116根据从控制部111接收到的信息,计算照射发送波束的区域32的形状,并如图7所示,以区域32为中心设定预定条数的接收扫描线31。进一步在接收扫描线31上设定K个接收焦点42(步骤600)。此外,设发送时所使用的超声波元件105的数量为M个。

[0061] 波面传播运算部121以某基准时刻、例如发送触发信号的时刻为基点,计算从第1个超声波元件105发送出的超声波到达第1个接收焦点42的时间(波面传播时间)(步骤601、602,603)。如上所述,通过将第1个超声波元件105的发送延迟时间和将第1个超声波元件105与第1个接收焦点42的几何距离除以超声波的音速而得的时间相加来计算传播时间。计算出的波面传播时间存储在内置的存储器中。针对K个接收焦点42按顺序重复该步骤602、603(步骤604,605)。由此,可以获得针对沿着发送扫描线31的K个接收焦点42的波面传播时间。如果以波面传播时间为纵轴,以接收焦点42的位置(接收扫描线的深度方向)为横轴,标绘所求出的波面传播时间并用曲线连接,则如图5(b)所示,可以获得针对第1个超声波元件105的一条波面传播时间变化曲线55(步骤606)。

[0062] 通过针对全部(M个)超声波元件105重复该处理,如图5(b)所示,可以获得M个超声波元件105的每一个的M条波面传播时间曲线55(步骤607、608)。

[0063] 根据图5(b)可知,从全部超声波元件106到达某接收焦点42的波面传播时间分布在时间方向上,但是其分布有疏有密。由此,延迟时间提取部122通过针对一个接收焦点42在波面传播时间变化曲线55的分布的范围内选择(提取)一个到达时间(延迟时间),可以决定针对一个接收焦点42的延迟时间(步骤609、610)。针对全部(K个)的接收焦点重复该处理,并用曲线连接全部的延迟时间,由此可以通过运算求出延迟时间曲线43(步骤611、612)。

[0064] 然后,延迟时间提取部122对所求出的延迟时间曲线43的延迟时间加上从该接收焦点42到接收时的超声波元件105的超声波的到达时间(回程的波面传播时间),计算接收时的超声波元件105的每一个的延迟时间,并存储到延迟时间存储器123中(步骤613、614、615)。通过将接收焦点42与超声波元件105的几何距离除以超声波的音速,可以计算出回程的波面传播时间。

[0065] 在每一次的发送时,针对接收扫描线116所设定的全部接收扫描线重复上述步骤600~615的处理,并将针对全部的接收扫描线的接收焦点42的延迟时间存储至延迟时间存储器123。

[0066] 如果全部的延迟时间被存储至延迟时间存储器123,则控制部11使发送波束成形器104发送超声波信号。由此,从超声波元件105分别向被检体100发送超声波。通过多个超声波元件105接收在被检体100内被反射等的超声波回波。

[0067] 延迟相加部204使用存储在延迟时间存储器123中的每一个接收元件的延迟时间,对每一个超声波元件105延迟了接收信号之后进行相加,来获得整相信号。针对接收扫描线31上的全部接收焦点42按顺序进行该处理。针对各接收扫描线31的接收焦点42所求出的整相信号被存储至波束存储器206。针对全部的接收扫描线31重复该处理,如果全部接收扫描

线31的整相信号被存储至波束存储器206,则返回步骤600,并进行下一个发送。

[0068] 孔径合成部205通过从波束存储器206读出并合成针对相同接收焦点42由不同发送所获得的多个整相信号来进行孔径合成。然后,使用合成后的整相信号来生成成像区域的图像。所生成的图像被存储至帧存储器207,并输出至图像处理部109。图像处理部109根据需要在图像显示部103中显示实施过图像处理的图像。

[0069] 如此,在本实施方式中,计算出发送时的从全部的超声波元件105至接收焦点42的波面传播时间,根据波面传播时间的分布,选择(提取)针对该接收焦点42的延迟时间。由此,不需要进行几何波面的模型化,即使在进行复杂的波面形状的发送波束成形时,也可以根据如超声波元件的位置以及发送延迟时间等收发条件,来设定符合实际的波面传播的延迟时间。由此,可以高效地接收发送波束的能量并提高SN比。

[0070] 另外,在本实施方式中,即使是在波面形状复杂的发送波束的直接照射区域32的外侧,也可以计算出延迟时间,因此,如图5(a)以及图7所示,可以设定接收扫描线31。由此,与以往的虚拟声源法等相比较,可以整相的区域扩展到发送波束的照射区域32的外侧,可以成为高帧率。

[0071] 此外,延迟时间提取部122在步骤610中,在针对一个接收焦点42提取一个延迟时间时,可以使用任意方法。例如,通过延迟时间提取部122内的合成波形计算部61(图3),可以如图6所示,根据多个超声波元件105的每一个的超声波的到达时间的分布来求出从多个超声波元件105到达一个接收焦点42的超声波的合成波形。这种情况下,在步骤610中,根据合成波形的振幅的时间变化可以计算出延迟时间。对此进一步进行说明。

[0072] 延迟时间提取部122的合成波形计算部61在步骤603中,使用针对多个超声波元件105的每一个所求出的波面传播时间,通过式(1)计算出加上了多个超声波元件105的发送波形的合成波形。在式(1)中, p 是从各超声波元件105发送的超声波波形的振幅值。 p 作为发送条件,从控制部111被提供给延迟时间提取部122。 $\tau(m)$ 是第 m 个超声波元件105的波面传播时间。如式(1)所示,将超声波波形的振幅 p 针对超声波元件105的每一个,以在步骤603中求出的波面传播时间 $\tau(m)$ 来偏移相位,并对 M 个超声波元件105进行相加,由此可以计算出一个接收焦点42的合成波形 p_{sum} (参照图6)。

[0073] [数学式1]

$$[0074] \quad P_{\text{sum}} = \sum_M p(t - \tau(m)) / M \quad \dots(1)$$

[0075] 延迟时间提取部122可以将图6的合成波形的振幅为极大或最大的到达时间选择为延迟时间。

[0076] 另外,合成波形计算部61通过针对接收扫描线上的全部接收焦点进行式(1)的运算,可以获得如图9所示那样的、沿着扫描线深度方向表示合成波形的振幅的强度分布的变化的分布图。因此,延迟时间提取部122在步骤610中,使用图9的合成波形的振幅的强度分布图,连续选择接收扫描线方向的波面传播时间,由此也可以绘制延迟时间曲线。

[0077] 另外,图9的合成波形的振幅的强度基本对应于假设在将某波面传播时间选择为延迟时间并使用该延迟时间进行整相加时所得到的整相信号的振幅值。由此,在步骤610中,在提取延迟时间曲线时,以图9的合成波形的振幅的强度值为基础,可以针对该延迟时间的值进行评价。也就是说,例如,越是获得振幅大的整相信号,作为延迟时间越能够提供

高评价价值。因此,使用该评价,可以反馈处理延迟时间的选择。由此,即使在很难进行波面的模型化的发送波束成形中,也可以进行最佳的延迟运算。对此,在第5实施方式中进行具体地说明。

[0078] 这里,图5 (b) 以及图9是在进行了具有单个发送焦点41的发送波束成形时的波面传输时间以及合成波形的振幅的强度分布的例子。在图5 (a) 中,图示出可以应用虚拟声源模型的区域(虚拟声源区域的浅部以及深部)、无法应用虚拟声源模型的虚拟声源区域外。虚拟声源区域是由连结在发送时所使用的多个超声波元件105(孔径)的端部与焦点的直线所组成的沙漏型的几何区域、也就是是与发送波束的直接照射范围32相同的区域。

[0079] 作为比较例,如图3 (a) 所示。使用具备运算部的接收波束成形器来求出延迟时间曲线,该运算部由基于虚拟声源法的波面模型来运算延迟时间。图5 (b) 以及图9表示其结果。由基于虚拟声源法的波面模型所计算出的延迟时间曲线56,在虚拟声源区域外,如图5 (b) 所示,可知与在本实施方式中求出的波面传播时间变化曲线55的分布和图9的合成波形的振幅的强度分布都有较大偏离。另外,在虚拟声源区域浅部以及深部,基于虚拟声源法的延迟时间曲线56如图5 (b) 所示,看起来像是沿着波面传播时间变化曲线55的分布的端部,但是根据图9可以明确知道,偏离于合成波形的振幅的强度分布的最大值。因此,在使用了基于虚拟声源法的延迟时间曲线56时所获得的整相信号的振幅,比在使用了本实施方式的延迟时间时所获得的整相信号的振幅更小。

[0080] (第2实施方式)

[0081] 针对第2实施方式的超声波成像装置进行说明。

[0082] 在第2实施方式中,在第1实施方式的图8的步骤610中,在生成相加多个超声波元件105的发送波形而得的合成波形时,延迟时间提取部122求出多个超声波元件的每一个的超声波的到达时间的频率分布,并使用频率分布生成合成波形。由此,减少运算量。

[0083] 使用图10对此进行具体地说明。延迟时间提取部122对于在第1实施方式的步骤603中所求出的针对接收焦点的多个超声波元件的每一个的波面传播时间(波面传播时间变化曲线55、图10 (a)),如图10 (b) 所示,连续设定N个($N < M$) 预定宽度的时间范围,并统计该时间范围内所包含的波面传播时间(波面传播时间变化曲线55)的数量,由此,如图10 (b) 所示计算出频率分布。在这里,作为一个例子,使用直方图表示频率分布。在图10 (b) 的例子中,波面传播时间越小,越成为频率大的分布。

[0084] 在求出的图10 (b) 的频率分布函数(直方图)中,若用 $h(t_n)$ 表示第n个时间范围中所包含的波面传播时间的数值,则可以使用超声波波形的振幅 p 由式(2)来计算合成波形的振幅 P_{sum} 。 t_n 是第n个时间范围的波面传播时间的代表值(例如,最大值、最小值以及平均值中的某一个)。M是用于发送的超声波元件105的数量。

[0085] [数学式2]

$$[0086] \quad P_{sum} = \sum_N h(t_n) \times p(t - t_n) / M \quad \dots(2)$$

[0087] 如果将式(2)与式(1)相比较,相对于在式(1)中,相加的数值是超声波元件的数量M,则在式(2)中,变为时间范围的数量N($N < M$)。因此,使用式(2)的合成波形的运算方法可以比使用式(1)时减少运算量。而且,可以求出充分实用的合成波形的振幅的时间变化。因此,可以减少计算合成波形时的计算负荷,削减超声波诊断装置的计算成本,并能够实现可

实施的算法。

[0088] 在第2实施方式的超声波成像装置中,上述以外的结构以及动作与第1实施方式相同,因此省略说明。

[0089] (第3实施方式)

[0090] 使用图11以及图12针对第3实施方式的超声波成像装置进行说明。

[0091] 第3实施方式的延迟时间提取部122除了具备在第1实施方式中所说明的合成波形计算部61,还具备延迟追踪部62。延迟追踪部62通过在接收扫描线的方向追踪合成波形计算部61所求出的超声波的合成波形的振幅的强度分布(时间变化曲线)的极值,来提取1条以上的延迟时间曲线。

[0092] 首先,合成波形计算部61如第1实施方式中所说明的那样,沿着扫描线方向计算出超声波的合成波形的振幅的强度分布(参照图9)。

[0093] 接着,如图12的流程图所示,延迟追踪部62在接收扫描线上的一个接收焦点42,求出合成波形的振幅值的波面传播时间方向的变化曲线(参照图6)的振幅值为极值的波面传播时间。针对接收扫描线上的全部接收焦点进行该处理(步骤501)。

[0094] 接着,如图13所示,将在步骤501中所求出的极值内振幅值为显著大的点作为延迟要素点进行提取(步骤502)。具体而言,例如,当极值的振幅值在预先决定的设定下限振幅值以上,或者极值的振幅值相对于在该接收焦点的极值中的最大振幅值的比率在预先决定的设定下限率以上时,将该极值提取为延迟要素点。由此,在大多数的接收焦点,提取1个以上的延迟要素点。

[0095] 如图13所示,沿着接收扫描线按顺序追踪所提取出的延迟要素点,由此来提取连续的延迟要素线。具体而言,例如,从接收扫描线的浅侧(超声波探头116侧)的端部的接收焦点42-1的延迟要素点131开始追踪(步骤503),在下一个接收焦点42-2设定向传播时间最近的延迟要素点132连接延迟要素点131的追踪矢量141,并计算该追踪矢量141的斜率(步骤504)。当追踪矢量141的斜率在预先决定的设定值以下时,设定连接延迟要素点131与延迟要素点132的追踪线,并将追踪终点132设定为新的追踪始点(步骤506)。然后,在当前的接收焦点42-1将还未设定为始点的延迟要素点151设定为追踪始点(步骤507),返回步骤504,设定连接下一个接收焦点42-2的最近的延迟要素点152的追踪矢量142,当追踪矢量的斜率在设定值以下时,设定追踪线(步骤504、505、506)。如果关于针对当前的接收焦点42-1的全部的延迟要素点完成追踪,则将下一个接收焦点42-2的延迟要素点132、152作为始点,重复追踪线的设定。

[0096] 在步骤505中,当追踪矢量的斜率比预先决定的设定值更大时,判断为是不连续的峰线,并将该延迟要素点作为追踪结束点来结束追踪(步骤508)。将从追踪始点到结束点的追踪线提取为延迟要素线(步骤509)。由此,提取连续的延迟要素线145、146、147。

[0097] 从提取出的延迟要素线中,选择从接收扫描线最浅侧的接收焦点42-1到最深侧的接收焦点42-K连续的延迟要素线147,作为延迟时间曲线来使用。

[0098] 如此,在本实施方式中,提取全部具有显著的振幅值的延迟要素点,并对其进行追踪,由此可以设定延迟时间曲线。通过使用该延迟时间曲线来求出整相信号,可以将到目前为止未用于整相的波面能量用于成像,可以提高SN比。

[0099] 此外,当存在多条从接收焦点42-1到接收焦点42-K连续的延迟要素线147时,可以

选择使用某一条。

[0100] 另外,如图14所示,使用并列地具备多个延迟相加部204-1、204-2的接收波束成形器108,也可以设多个延迟相加部201-1、204-2是以下结构:将多条延迟要素线分别作为延迟时间曲线来使用,针对相同的接收信号,分别以不同的延迟时间进行延迟处理,并获得整相信号。这种情况下,将多个延迟相加部201-1、204-2的输出相加来进行使用。由此,在1次的收发以及接收波束成形中,可以使用能够设定的最大条数的延迟时间曲线来进行延迟处理,可以获得与针对多个波面的每个进行整相的情况同等的效果。由此,通过使用将多个延迟相加部所输出的整相信号求和而得的信号来生成超声波图像,根据多视效果,可以实现高分辨率化。

[0101] 上述以外的其他的结构以及动作与第1实施方式相同,因此省略说明。

[0102] (第4实施方式)

[0103] 针对第4实施方式的超声波成像装置进行说明。

[0104] 本实施方式与第3实施方式是同样的结构,但是如图15所示,延迟时间提取部122还具备不连续延迟结合部63。不连续延迟结合部63如图16所示,当延迟追踪部62所提取出的延迟要素线145、146、148、149不连续时,将它们结合,生成从接收扫描线最浅侧的接收焦点42-1到最深侧的接收焦点42-K连续的延迟要素线147。

[0105] 首先,选择不连续延迟结合部63所结合的延迟要素线A148以及B149。具体而言,首先,如图16(a)所示,选择从接收扫描线的最浅侧的接收焦点42-1开始的延迟要素线145、148内的1条,设为延迟要素线A(步骤521)。前进至选择出的延迟要素线A的结束点的接收焦点42-k,如果存在其他的延迟要素点153、154,则选择其中波面传播时间最近的延迟要素点153,将该延迟要素点153所属的延迟要素线149设为B(步骤522、523、524)。如果不存在其他的延迟要素点,则前进至下一个接收焦点,一直前进直到发现其他的延迟要素(步骤533)。

[0106] 接着,生成用于连续地结合延迟要素线A与B的新的延迟要素线。首先,如图16(a)所示,判定延迟要素线A的结束点的接收焦点是否比延迟要素线B的开始点的接收焦点的深度更大,即判定延迟要素线中是否具有重叠部分(步骤525)。

[0107] 在步骤525中,当延迟要素线A的结束点的接收焦点比延迟要素线B的开始点的接收焦点的深度更大,延迟要素线A与B具有重叠部分时(图16(a)),将延迟要素线B的开始点设为S,将延迟要素线A的结束点设为E(步骤526)。然后,从点S的接收焦点到点E的接收焦点之间,生成连续地连接延迟要素线A与延迟要素线B的连接曲线C157。具体而言,使用在点S的接收焦点的深度渐进于0,在点E的接收焦点的深度渐进于1的预先决定的位移函数 $f(d)$ (其中,d表示深度),根据式(3)计算出连接曲线157的波面传播时间 $C(d)$ 。其中,在式(3)中,将延迟要素线A的波面传播时间设为 $A(d)$,将延迟要素线B的波面传播时间设为 $B(d)$ 。

[0108] $C(d) = A(d) * (1-f(d)) + B(d) * f(d) \dots (3)$

[0109] 通过对式(3)进行运算来生成连接曲线C157(步骤527)。

[0110] 另一方面,在步骤525中,当延迟要素线A的结束点的接收焦点比延迟要素线B的开始点的接收焦点的深度更小,延迟要素线A与B没有重叠部分时的图16(b)的情况下,将延迟要素线A的结束点设为S,将延迟要素线B的开始点设为E(步骤528)。然后,在从点S的接收焦点到点E的接收焦点之间,生成连续地连接延迟要素线A与延迟要素线B的连接曲线D158。通过计算耦合函数来求出连接曲线D158,该耦合函数在延迟要素线A的结束点S与延迟要素线

A共享切线,在延迟要素线B的开始点E与延迟要素线B共享切线,并通过耦合函数生成连接曲线D158(步骤529)。

[0111] 然后,当延迟要素线B的结束点F是最深的接收焦点42-K(接收扫描线的深侧的端部)时,将延迟要素线A、B以及连接它们的连接曲线C或D输出为延迟时间曲线(步骤530、531)。然后,当还留有从接收扫描线的最浅侧的接收焦点42-1开始的延迟要素线时,返回步骤521,重复上述处理(步骤532)。

[0112] 当延迟要素线B的结束点F不是最深的接收焦点42-K(接收扫描线的深侧的端部)时,将延迟要素线B作为延迟要素线A,返回步骤522,重复与下一条延迟要素线进行连接的处理(步骤530)。

[0113] 如此,通过重复通过连接曲线C或D对延迟要素线A、B进行结合的处理,可以生成从接收扫描线的最浅侧的接收焦点42-1到最深侧的接收焦点42-K连续的延迟曲线。通过对始于接收焦点开始位置的全部延迟要素线重复该处理,可以生成1条或多条延迟曲线。

[0114] 由此,即使在具有不连续的延迟要素线的情况下,也可以生成将由延迟曲线的不连续引起的图像的劣化抑制到最小限度的延迟曲线。

[0115] 另外,也可以生成多条延迟时间曲线,并分别对图14那样的多个延迟相加部204-1、204-2等进行设定。

[0116] 其他的结构以及动作与第3实施方式是同样的,因此省略说明。

[0117] (第5实施方式)

[0118] 使用图18、图19针对第5实施方式的超声波成像装置进行说明。

[0119] 第5实施方式如图18所示,延迟时间提取部122具备延迟曲线判定部64。当存在多条使用第3或第4实施方式提取或生成的延迟时间曲线时,延迟曲线判定部63对该延迟时间曲线的波面传播时间使用合成波形的振幅数据(参照图9)来计算表示适合用于整相相加的程度的评价指标值。然后,如图1所示,当延迟相加部204为一个时,选择评价指标值最高的延迟时间曲线,当如图14所示延迟相加部204被配置多个时,按照评价指标值从高到低的顺序选择与该数量为相同数量的延迟时间曲线,并输出至延迟相加部204。

[0120] 具体而言,如图19的流程图所示,首先针对全部延迟曲线,根据图9的合成波形的振幅的强度分布来全部提取延迟时间曲线上的振幅值数据。通过预先决定的评价函数对提取出的全部的振幅值数据进行处理,并计算评价指标值(步骤541)。作为评价函数,例如可以使用提取出的全部振幅值的合计值、平均值或通过针对每一个接收焦点所设定的权重加权之后进行相加而得的值等。

[0121] 然后,按照步骤541中计算出的评价函数从高到低的顺序,对延迟曲线进行排序,并在接收波束成形中使用的延迟曲线的数量输出到延迟相加部204(步骤542)。

[0122] 由此,延迟相加部204可以根据该数量使用最佳的延迟时间曲线来进行延迟相加,因此高效率地接收波面的能量并提高SN比。

[0123] (第6实施方式)

[0124] 进一步使用图20、图21以及图22针对第6实施方式进行说明。图20是表示具有近似延迟模型自动生成部的接收波束成形器的框图,图21是对用于近似延迟模型的生成的几何结构要素进行示例的图,图22是表示近似延迟模型自动生成部的构造的框图。

[0125] 第6实施方式如图20所示,具备近似延迟模型的自动生成部250。近似延迟模型自

动生成部250取得与延迟曲线有关的数据,该延迟曲线是在第1~第5实施方式的任一延迟时间运算部114中计算出的。然后,根据预先准备的多个几何波面模型以及几何约束条件与在延迟时间运算部114中计算出的延迟时间的相关关系,构筑用于计算延迟时间运算部114计算出的延迟曲线的近似曲线的结构式。由此,延迟时间运算部114在每次发送时,即使在发送之前针对多条接收扫描线不生成延迟时间曲线,也可以根据对同一成像条件共通的或对同一发送条件共通的近似延迟模型来自行生成延迟时间。

[0126] 具体而言,如图22所示,取得使用延迟时间运算部114计算出的延迟时间曲线、在第2~第5实施方式的延迟时间运算部114中用于计算延迟时间曲线的延迟要素线(i)、(ii)···以及图17的步骤527、529的位移函数或耦合函数和收发条件(步骤551)。

[0127] 接着,根据收发条件来计算例如虚拟声源波面、平面波、元件球面波等预先准备的图21那样的几何波面模型(A)、(B)、(C)···的传播时间,以及例如焦距、发送波束照射区域边界等、作为几何约束条件的几何边界(a)、(b)、(c)···(步骤552)。

[0128] 接着,为了构筑计算延迟要素线(i)、(ii)···的近似曲线的结构式,针对各延迟要素线,计算与全部的几何波面延迟曲线的相位差(步骤553)。

[0129] 针对全部的延迟要素线(i)、(ii)···,在针对每一个接收焦点选择出相位差为最小的几何波面曲线作为拟合曲线的基础上,针对与该拟合曲线的相位差来计算例如多项式曲线的拟合参数(步骤554)。

[0130] 另外,为了计算求出作为拟合曲线的几何波面延迟曲线发生切换的波面模型切换边界的结构式,计算例如表示为附近的几何边界的内分点时的内分率(步骤555)。

[0131] 另外,为了计算求出延迟曲线在延迟要素线间进行迁移的要素线迁移边界的结构式,计算例如表示为附近的几何边界的内分点时的内分率(步骤556)。

[0132] 接着,将上述拟合参数、波面模型切换边界的内分率、要素线迁移边界的内分率以及通过延迟曲线提取部所取得的耦合函数以及迁移函数有关的参数称为近似延迟结构参数。针对1次发送中的全部扫描线来计算近似延迟结构参数(步骤557)。

[0133] 将上述参数作为以扫描线编号为变量的函数来进行处理,计算将这些函数例如拟合为多项式曲线时的拟合参数(步骤558)。在这里计算出的近似延迟结构参数的拟合参数被发送至波面模型近似延迟运算部。

[0134] 在波面模型近似延迟运算部251中,根据上述近似延迟结构参数的拟合参数,计算每一条扫描线的近似延迟结构参数,根据这些近似延迟结构参数以及预先计算出的几何波面延迟曲线以及几何边界,计算最佳延迟曲线的近似延迟曲线。

[0135] 由此,可以将第1~第5实施方式的延迟时间运算部114获得的延迟时间近似为由几何学波面模型构成的近似延迟模型,并以与基于图3(a)示出的以往的接收波束成形器的延迟计算同等的计算量进行计算。因此,可以一边抑制计算量,一边以与使用了第1~第5实施方式的延迟时间的情况同等的图像质量来进行成像。

[0136] 此外,在上述的各实施方式的超声波成像装置中,是在装置主体102的内部具备延迟时间运算部114的结构,但是也可以将延迟时间运算部114或者接收波束成形器108的整体设为与装置主体102不同的其他装置。这种情况下,经由信号线、网络连接延迟时间运算部114或者接收波束成形器108与装置主体102。例如,将延迟时间运算部114或者接收波束成形器108的整体安装在一般的计算机或者工作站等运算装置中,经由网络与超声波成像

装置的主体102相连接。设延迟时间运算部114为以下结构：经由网络接收发送条件等，计算出延迟时间，并发送至作为客户终端的超声波成像装置。在将接收波束成形器108设为与装置主体102不同的其他装置时，经由网络取得接收信号，生成进行了孔径合成的整相信号，并经由网络发送至装置主体102。由此，不需要在超声波成像装置的主体102中搭载需要比较大的运算量的延迟时间运算部114。因此，既是小型又简单的超声波成像装置，又能够以基于每一个超声波元件的波面传播时间的延迟时间来进行整相相加，可以提高图像质量。

[0137] 符号说明

[0138] 100 被检体；

[0139] 101 超声波元件阵列；

[0140] 102 超声波成像装置主体；

[0141] 103 图像显示部；

[0142] 104 发送波束成形器；

[0143] 106 超声波探头；

[0144] 107 收发分离电路(T/R)；

[0145] 108 接收波束成形器；

[0146] 109 图像处理部；

[0147] 110 控制台；

[0148] 111 控制部。

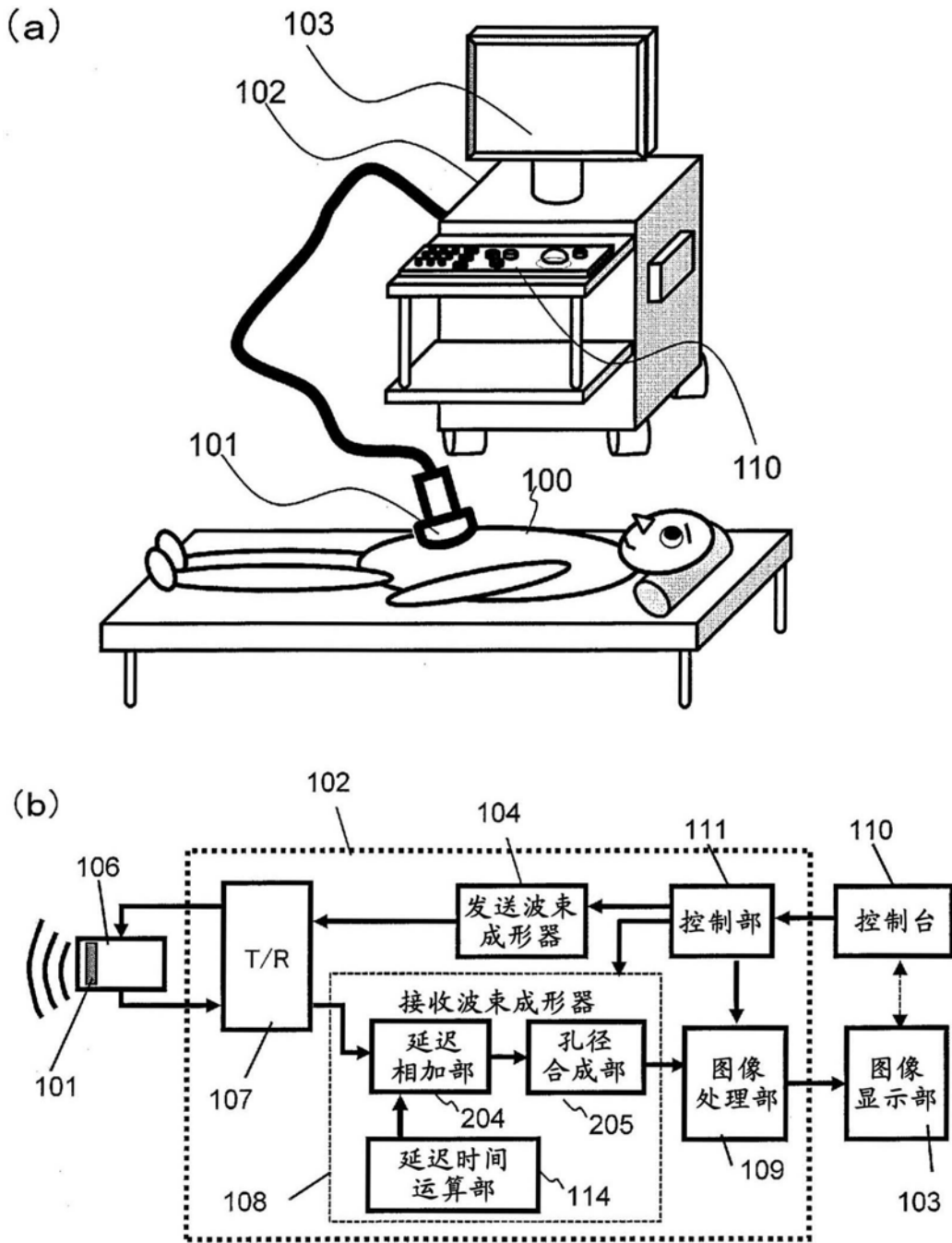


图1

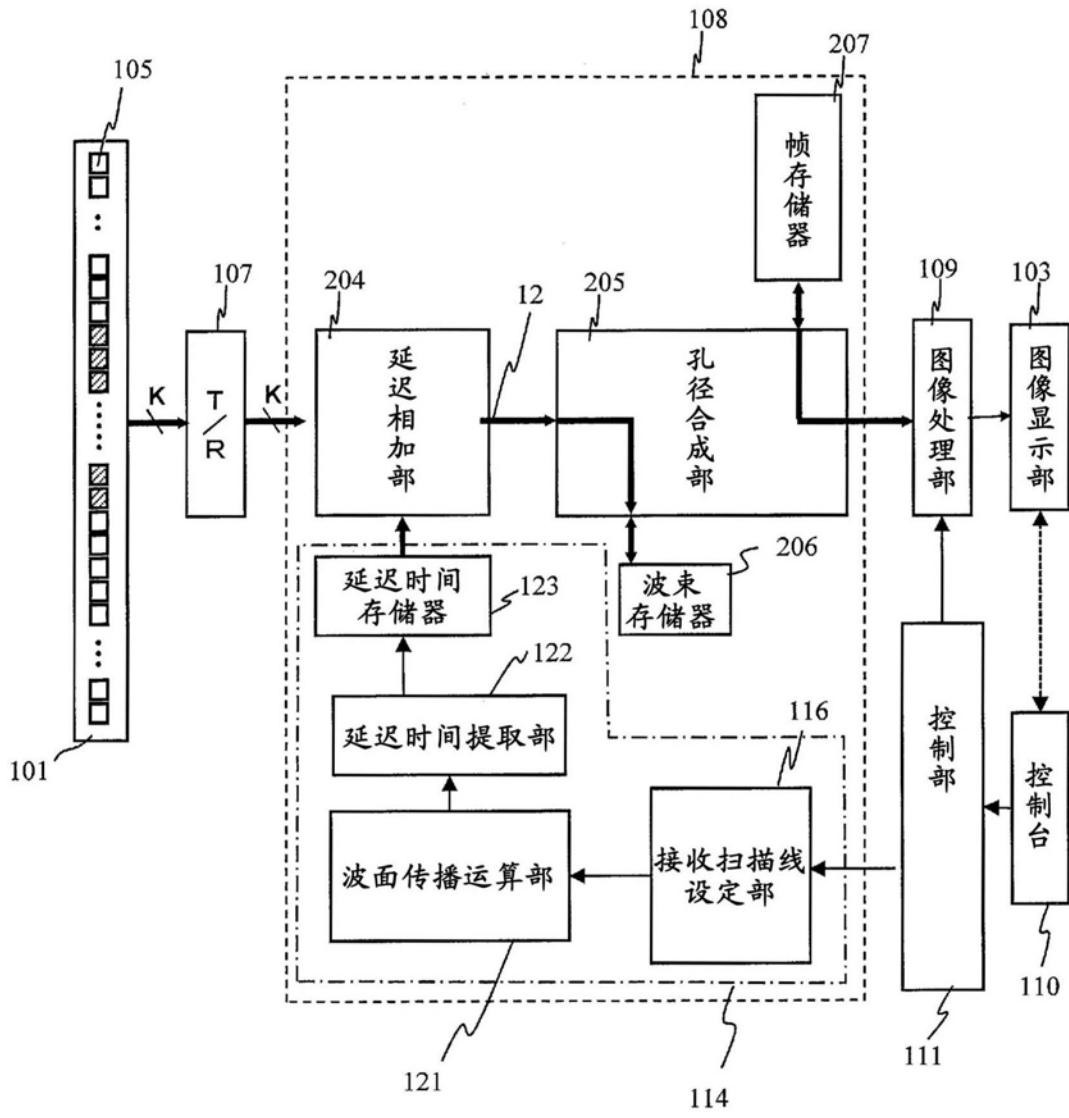


图2

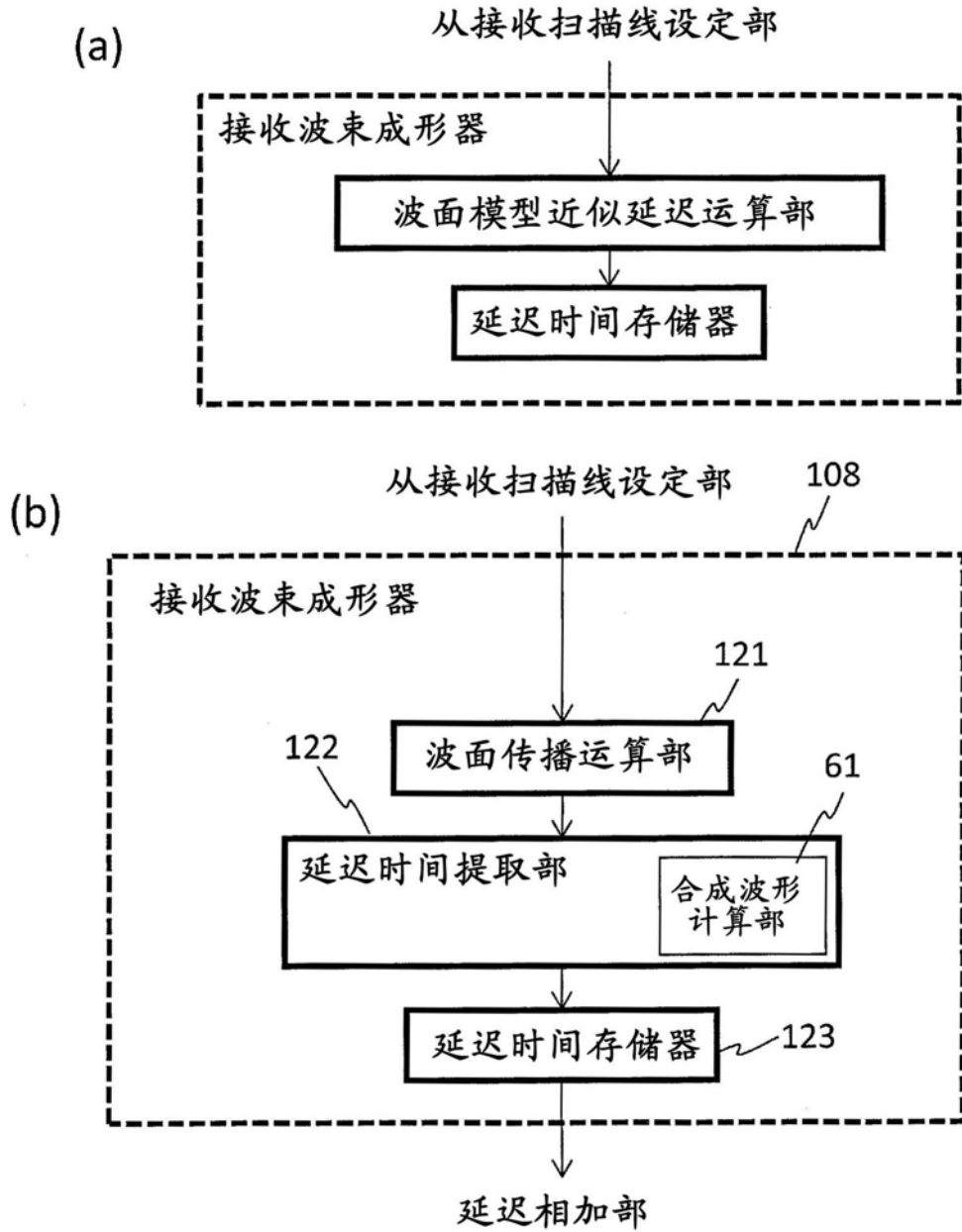


图3

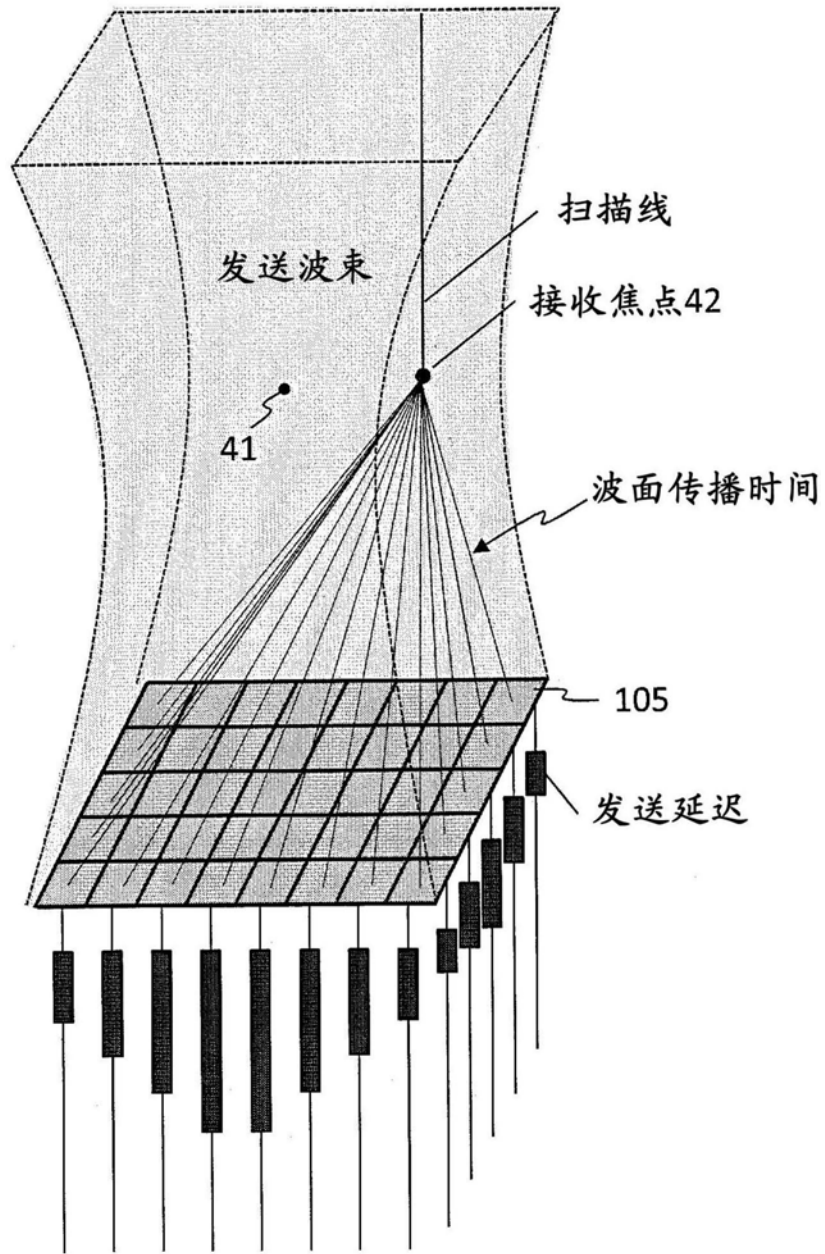


图4

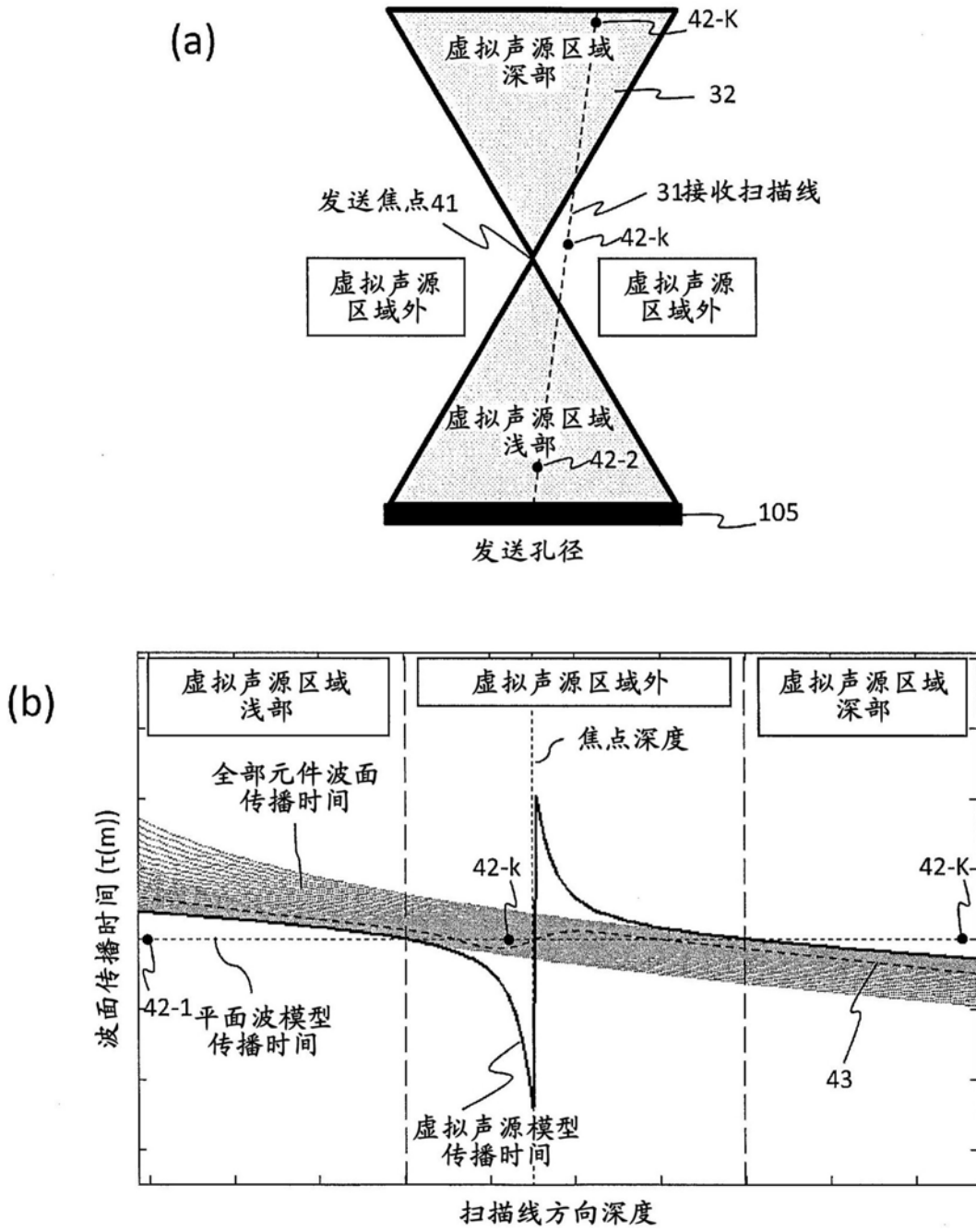


图5

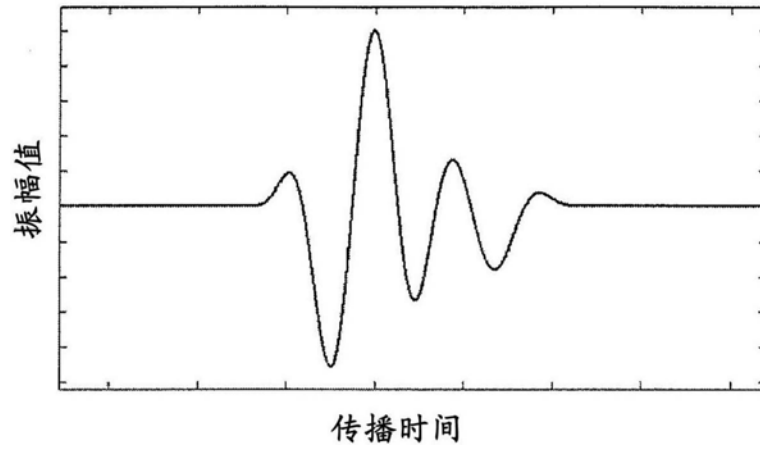


图6

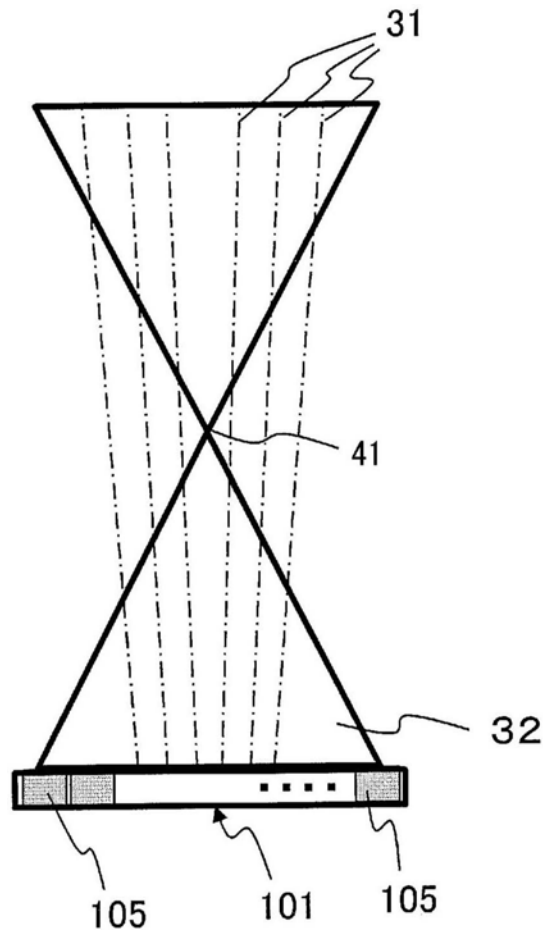


图7

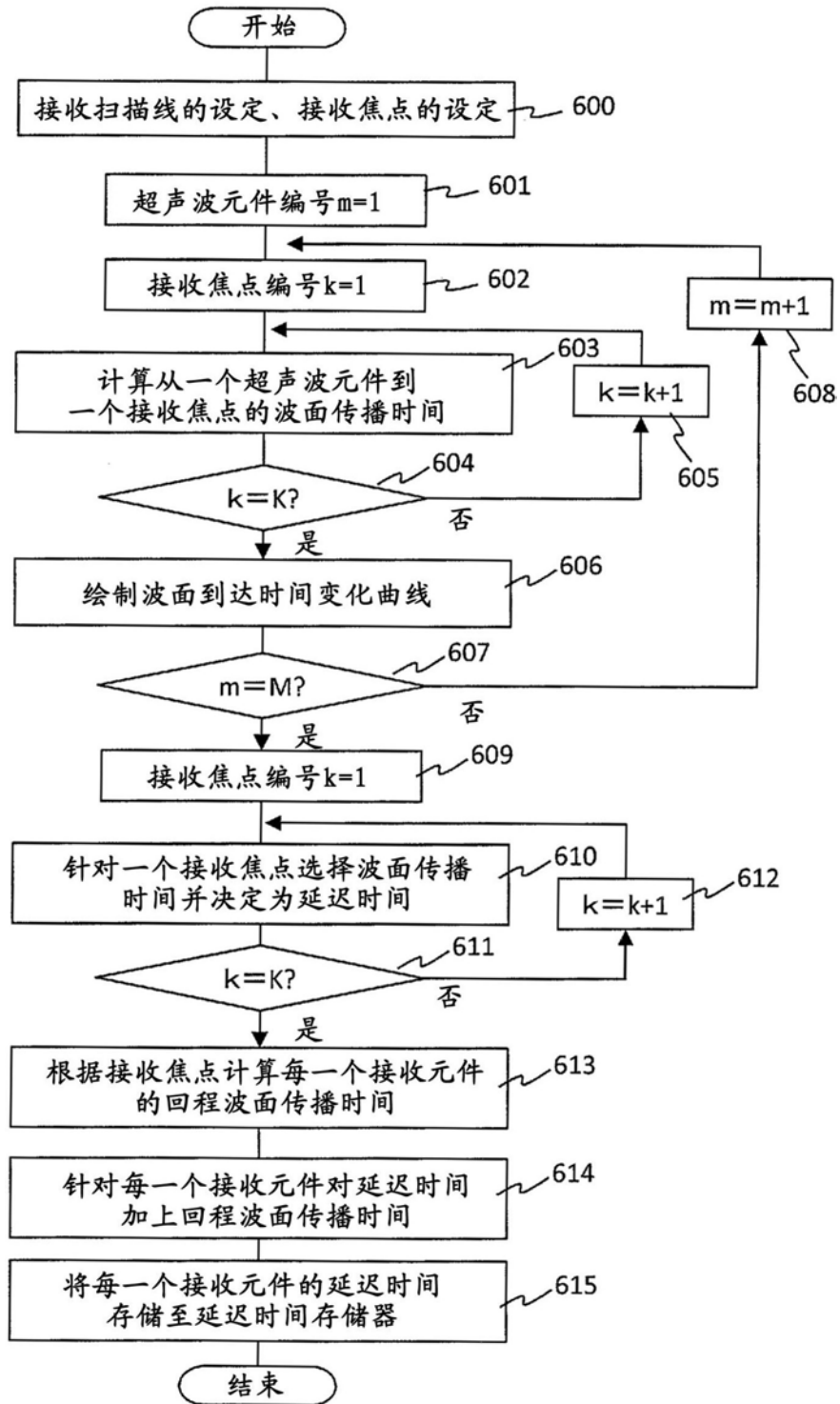


图8

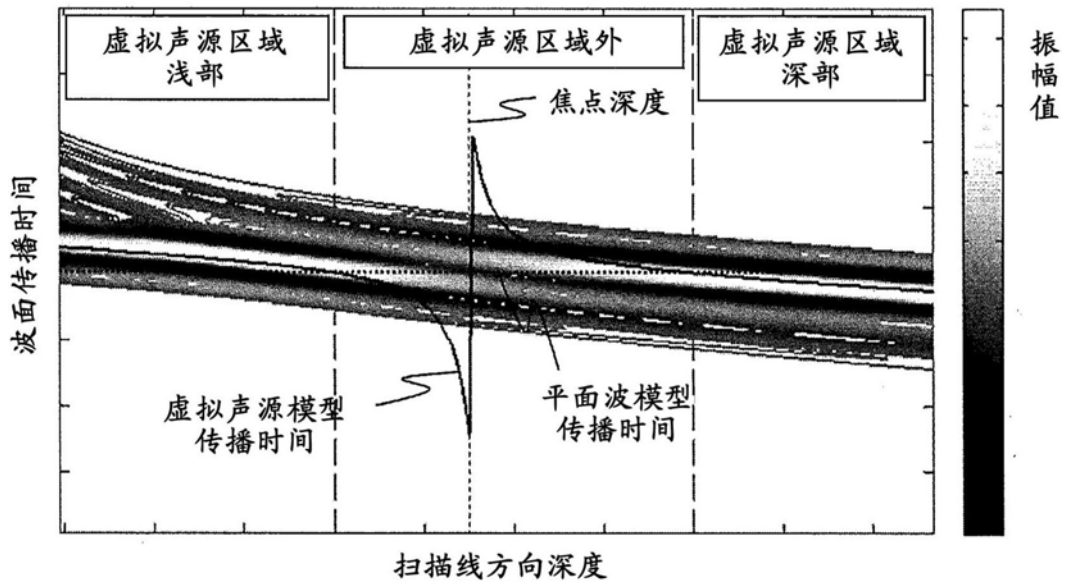


图9

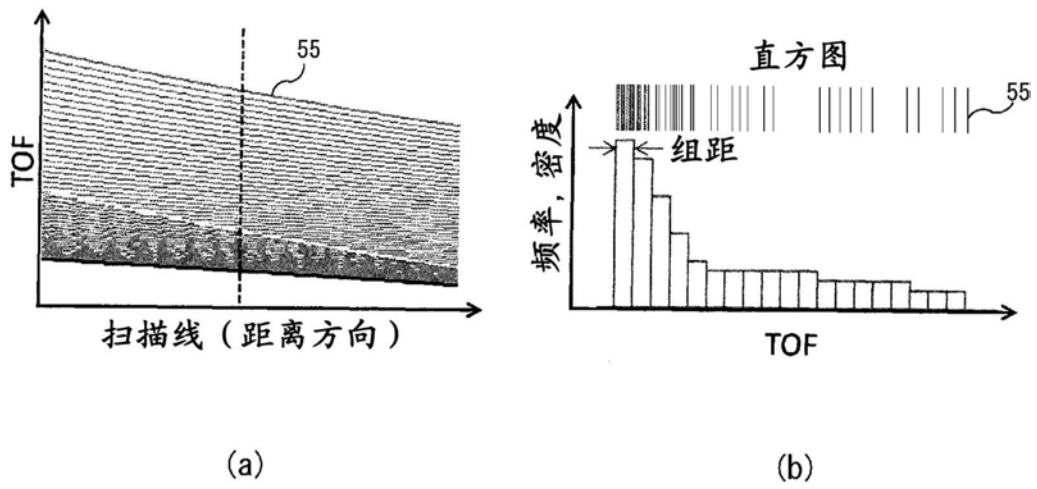


图10

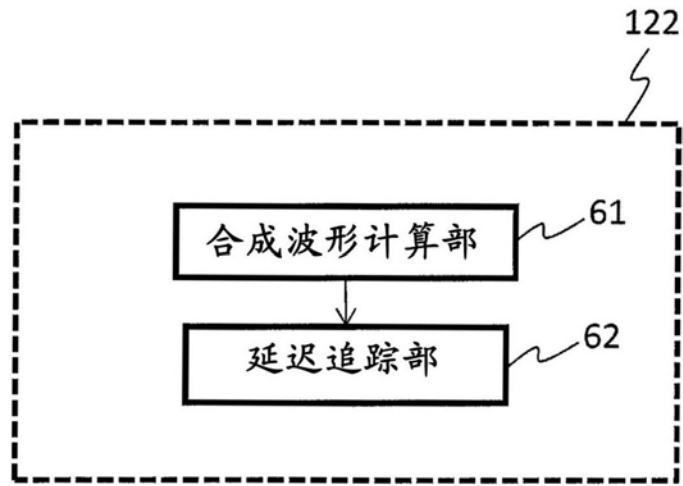


图11

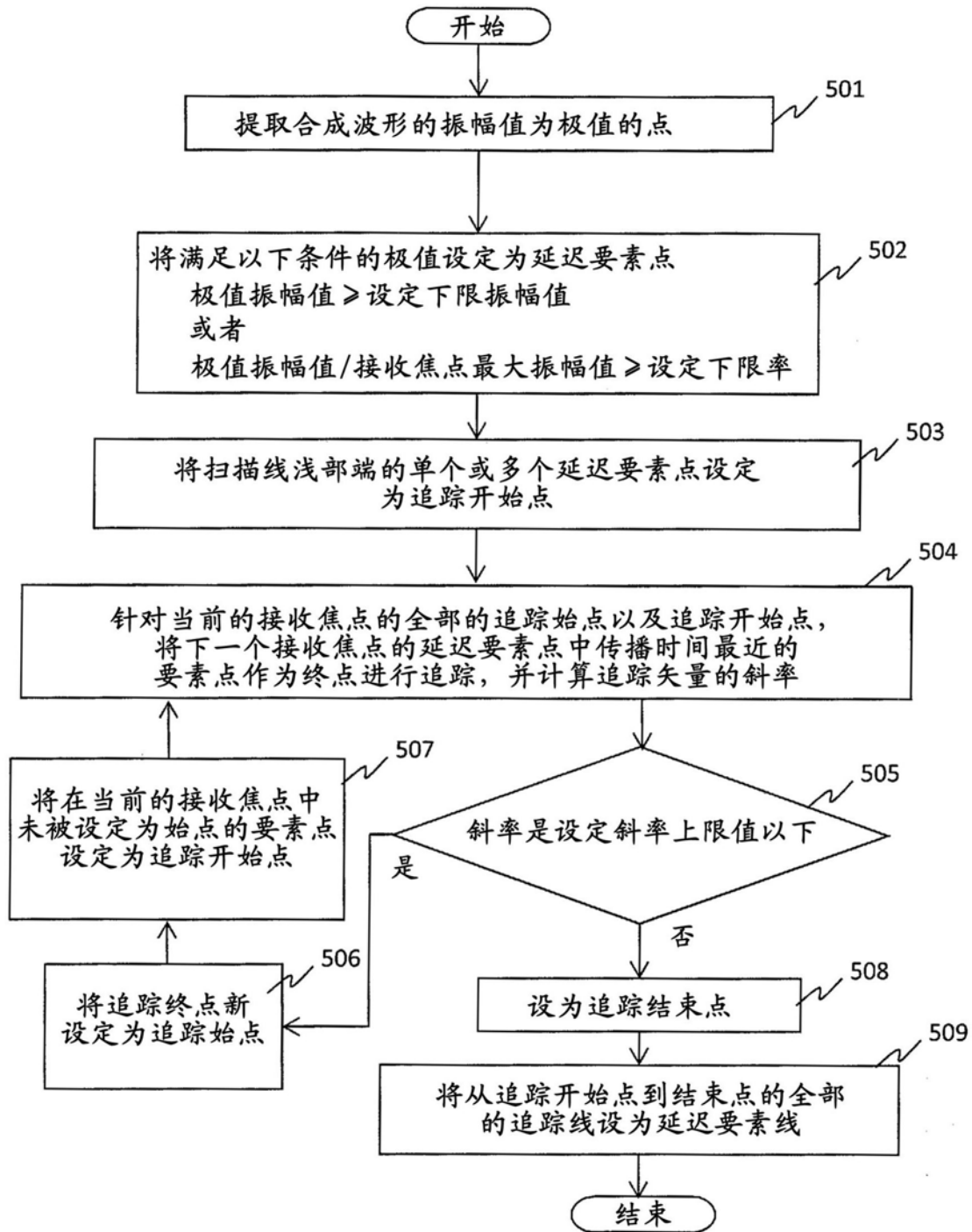


图12

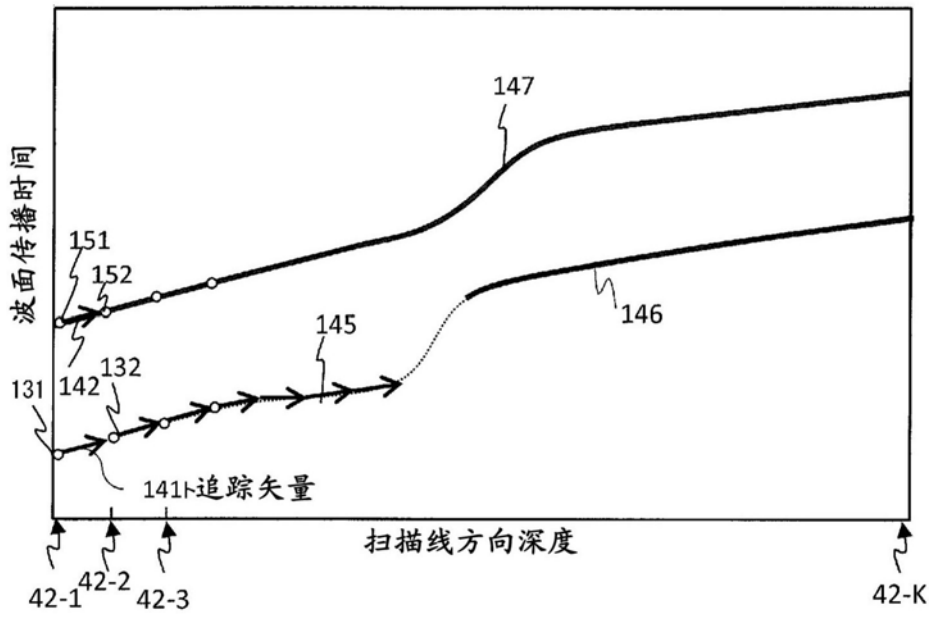


图13

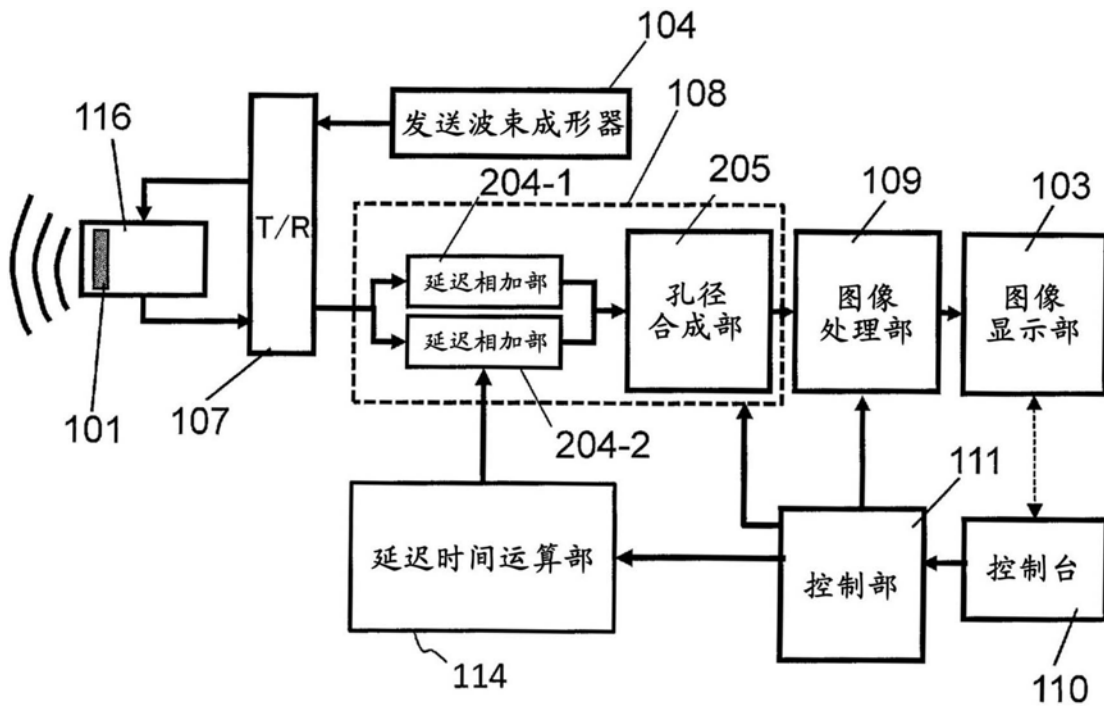


图14

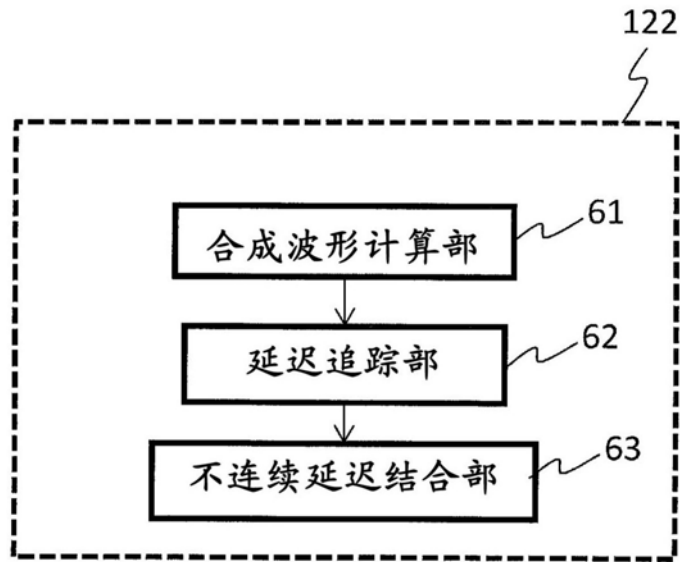


图15

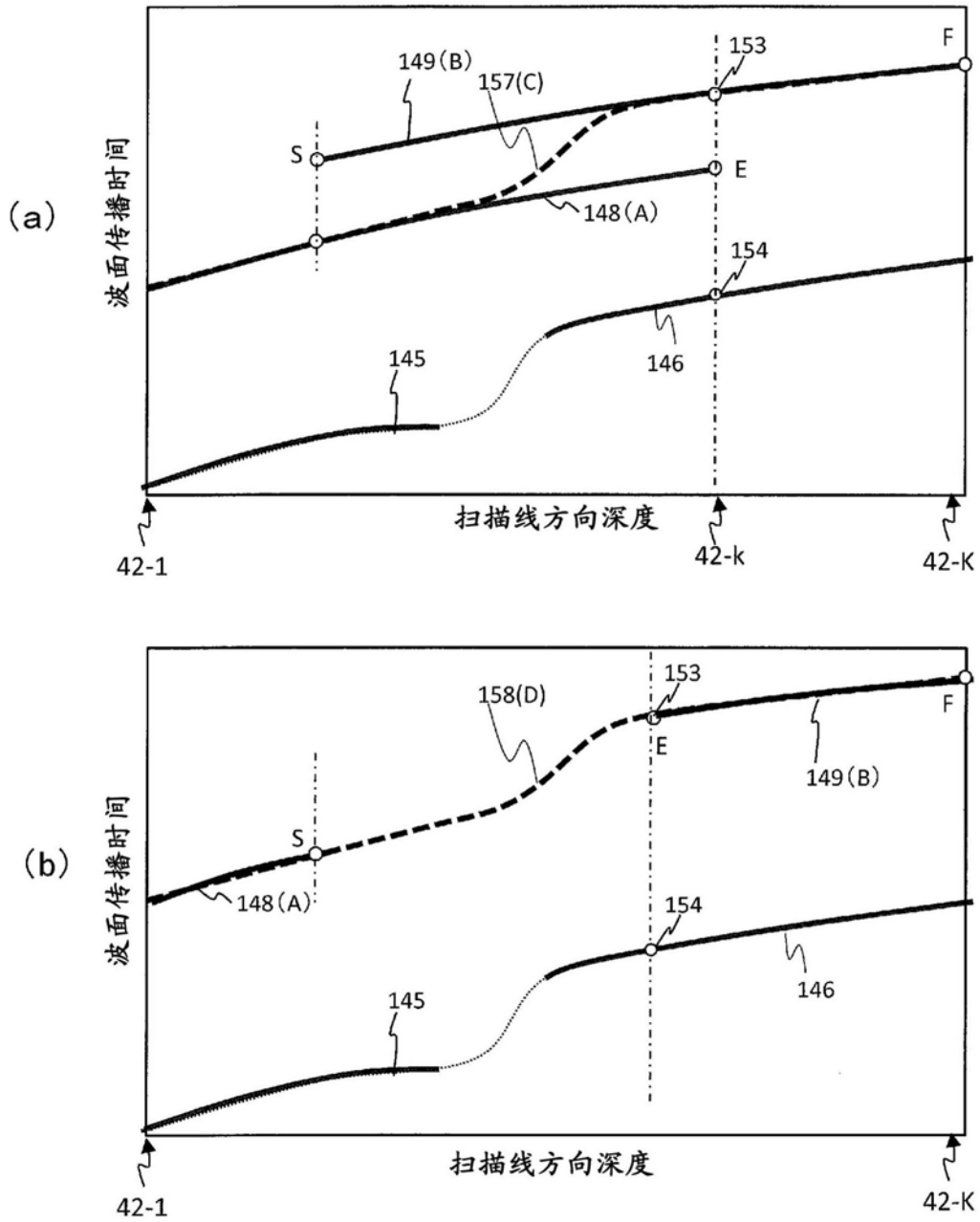


图16

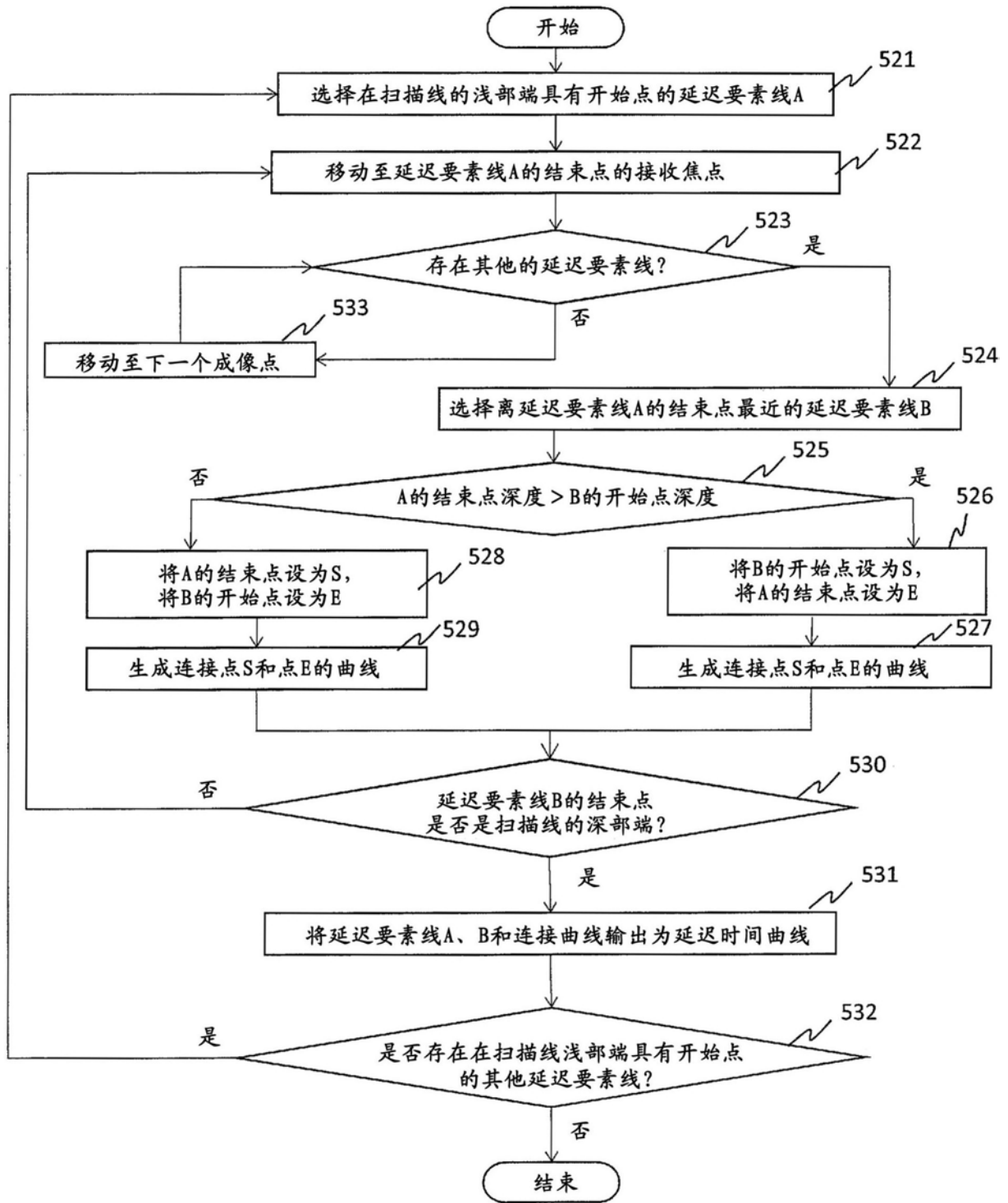


图17

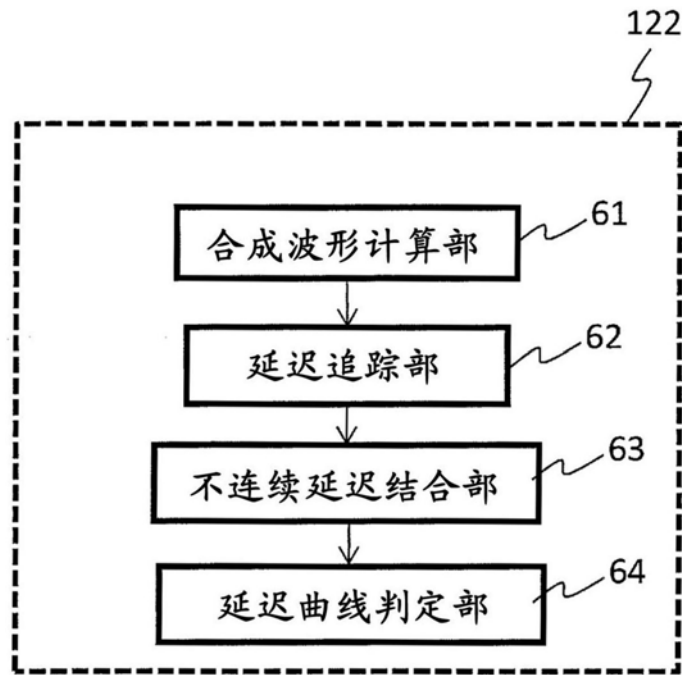


图18

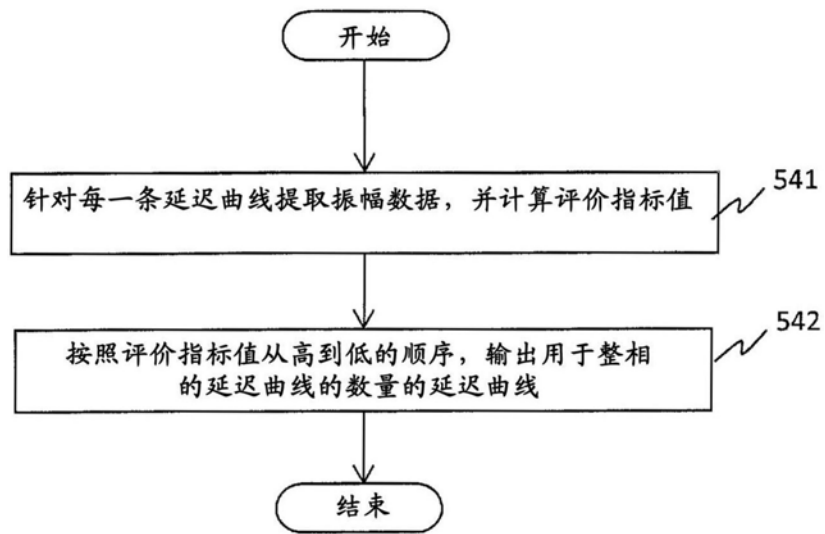


图19

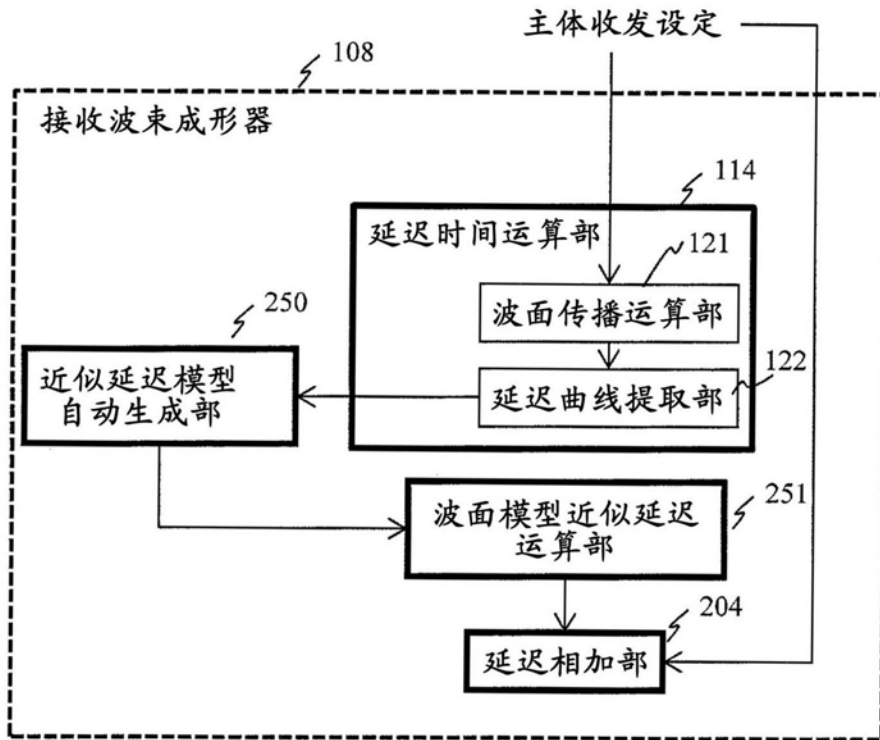


图20

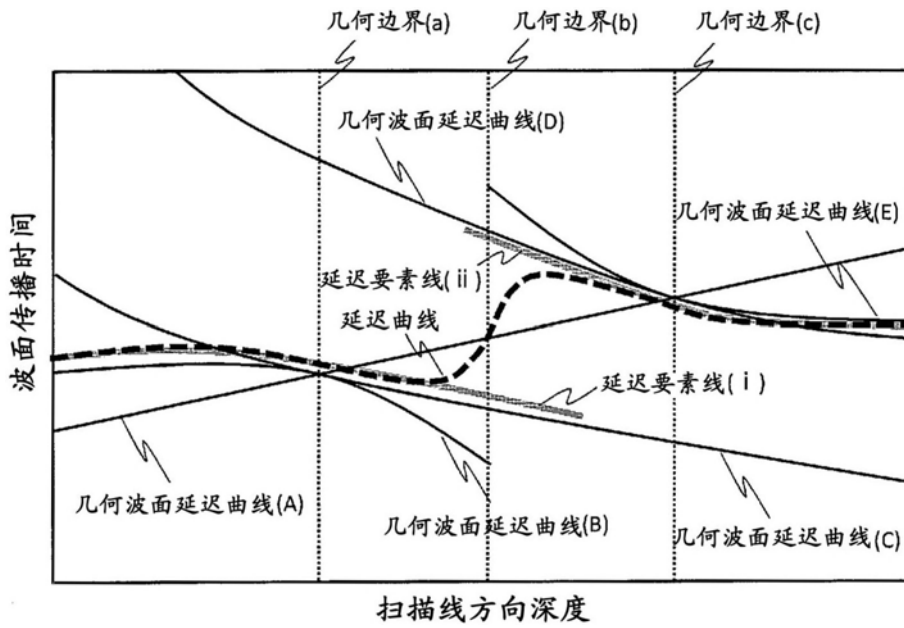


图21

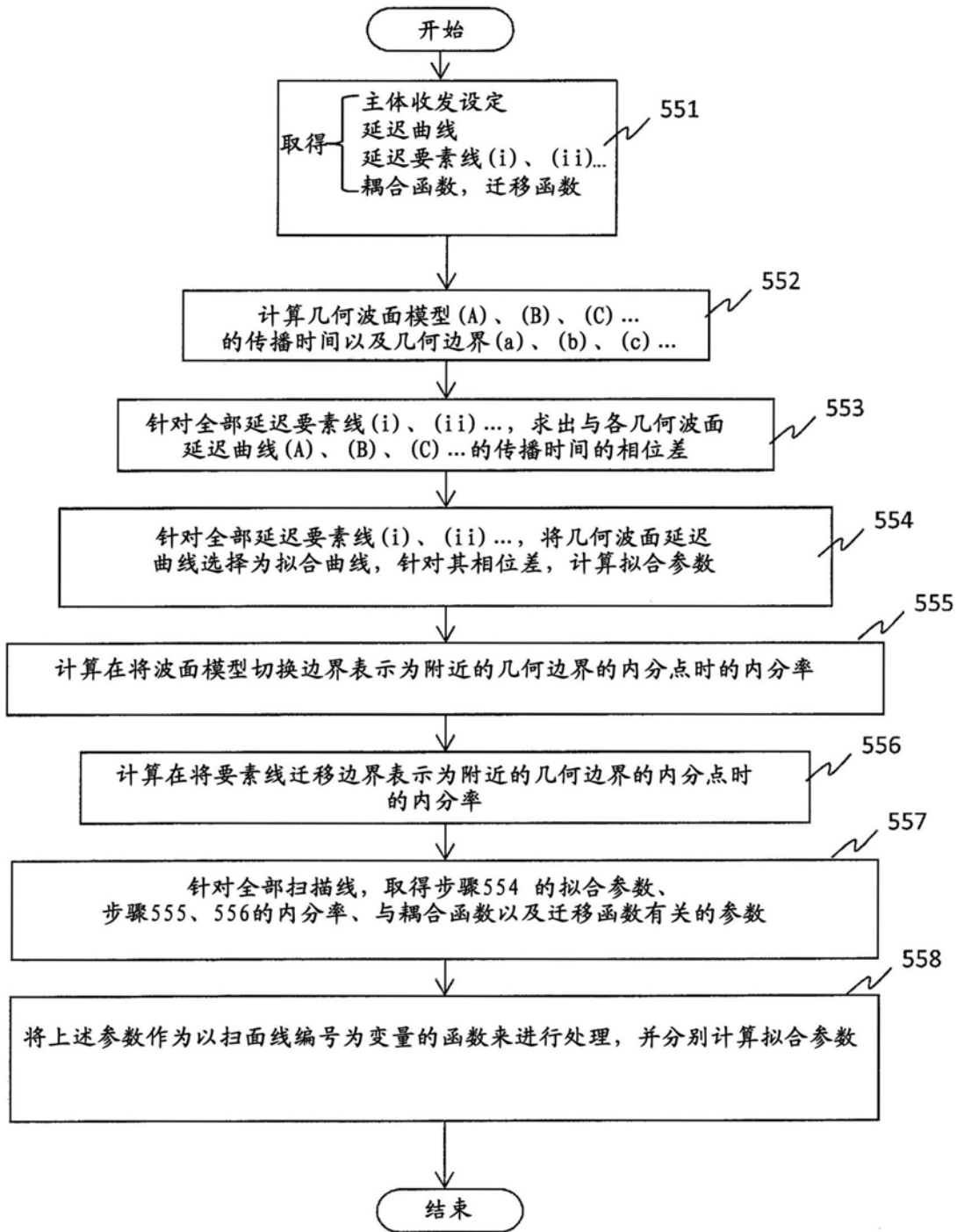


图22

