



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104105449 A

(43) 申请公布日 2014. 10. 15

(21) 申请号 201280059236. 1

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

(22) 申请日 2012. 11. 30

11256

(30) 优先权数据

61/565, 796 2011. 12. 01 US

代理人 王茂华

61/691, 717 2012. 08. 21 US

(51) Int. Cl.

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

A61B 8/14 (2006. 01)

2014. 05. 30

G06T 7/20 (2006. 01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/067341 2012. 11. 30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/082455 EN 2013. 06. 06

(71) 申请人 毛伊图像公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 D · F · 施佩希特 K · D · 布鲁尔

D · M · 史密斯 J · R · 卡尔 V · N · 李

B · R · 里特兹

权利要求书4页 说明书30页 附图19页

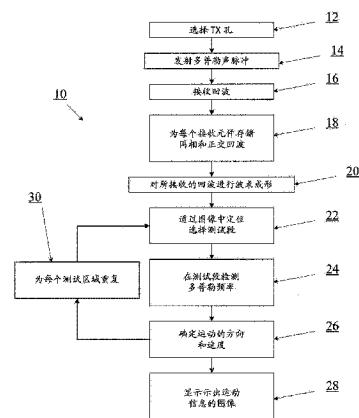
(54) 发明名称

使用基于声脉冲和多孔多普勒超声的运动检

测

(57) 摘要

一种全场或“基于声脉冲”的多普勒超声成像的方法，其允许检测多普勒信号，该信号指示在成像场中任一点的运动反射体，而无需预先定义范围门。在各种实施例中，这些全场多普勒成像方法可以包括从发射孔发射多普勒声脉冲、用一个或多个分开的接收孔接收多普勒声脉冲的回波、检测多普勒信号和确定运动反射体的速度。在一些实施例中，该系统也提供通过基于由多个接收孔接收的回波数据求解一组联立方程来确定运动方向的能力。



1. 一种进行多普勒超声的方法,所述方法包括 :

从换能器阵列的多个换能器元件中选择发射孔 ;

从所述发射孔发射未聚焦的超声信号到关心区域中 ;

仅仅接收在第一接收孔上的所述未聚焦的超声信号的回波 ;

在存储装置中储存所述接收的回波 ;

对所述接收的回波进行波束成形,以便为所述关心区域内的多个反射体的每个反射体确定显示位置 ;

从所述关心区域的所述接收的回波数据选择第一测试段 ;

检测所述多个反射体的至少一个反射体的所述接收步骤的所述回波内的多普勒频移 ;

确定所述第一测试段内的所述至少一个反射体的速度 ;和

在图像中显示所述至少一个反射体的运动信息,其中所述运动信息部分地基于所述检测步骤和所述确定步骤。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,所述确定步骤还包括 :确定所述至少一个反射体在所述第一测试段内的运动方向。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括 :

选择第二测试段,其后为所述第二测试段内的所述多个反射体的至少一个反射体重复所述选择、检测、确定和显示步骤。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括 :

选择第二测试段,其中所述第二测试段是所述关心区域在所述第一测试段内的所述部分以外的部分。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中无需用于所述未聚焦的超声信号的预定义范围门,执行所述选择发射和接收步骤。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其中在所述检测步骤之前执行所述波束成形步骤。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其中在所述波束成形步骤之前执行所述检测步骤。

8. 根据权利要求 1 所述的方法,其中基于所述关心区域内的像素位置来选择所述选择测试段步骤。

9. 根据权利要求 8 所述的方法,其中基于与 B 模式图像和来自所述接收步骤的信息的相关性,由使用者人工执行所述选择测试段步骤。

10. 根据权利要求 1 所述的方法,其中成像系统自动执行所述选择测试段步骤。

11. 根据权利要求 10 所述的方法,还包括 :系统地评估所述关心区域内的每个测试段的步骤。

12. 根据权利要求 10 所述的方法,还包括 :仅仅评估所述未聚焦的超声波信号的所述接收的回波内的每个测试段的步骤。

13. 根据权利要求 10 所述的方法,还包括 :基于所述关心区域的同时期 B 模式图像和所述关心区域内关联的位置信息的计算机辅助检测分析来选择测试段的步骤。

14. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述选择测试段的步骤部分地基于和所述目标区域内的关心深度范围相对应的时间范围。

15. 根据权利要求 7 所述的方法,其中基于所述接收步骤中的所述信号之间的定时来

执行所述选择测试段的步骤。

16. 根据权利要求 7 所述的方法,其中通过评估所述关心区域内的全部测试段来执行所述选择测试段的步骤。

17. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括:在与所述第一接收孔分开的第二接收孔上接收回波。

18. 根据权利要求 17 所述的方法,还包括:为到所述第一接收孔的声路径成像的每个像素和到所述第二接收孔的声路径成像的每个像素,计算调节系数。

19. 根据权利要求 18 所述的方法,还包括:通过将所述调节系数应用到所述确定步骤的结果来获得改进的速度测量。

20. 根据权利要求 18 所述的方法,其中所述调节系数是  $1/\cos(\Phi/2)$ ,其中  $\Phi$  是用于使用所述发射孔的位置、被成像的每个像素的位置和所述第一接收孔和所述第二接收孔的每个的位置定义的角度的、发射器到反射体线和接收器到反射体线之间的角度。

21. 根据权利要求 19 所述的方法,还包括:为运动反射体结合从所述第一接收孔获得的经调节的速度测量与从所述第二接收孔获得的经调节的速度测量。

22. 根据权利要求 17 所述的方法,还包括:求解联立方程,其包括使用所述第一接收孔的位置和使用所述第一接收孔获得的速度测量以及所述第二接收孔的位置和使用所述第二接收孔的速度测量,以获得表示第一反射体的运动的方向和大小的速度矢量。

23. 根据权利要求 22 所述的方法,还包括求解第二组联立方程,其包括使用所述第一接收孔的位置和使用所述第一接收孔获得的速度测量以及第三接收孔的位置和使用所述第三接收孔获得的速度测量,以获得表示第一反射体的运动的方向和大小的第二速度矢量。

24. 根据权利要求 23 所述的方法,还包括对所述第一速度矢量和所述第二速度矢量求平均,以获得描述所述第一反射体的运动速度和方向的新的速度矢量。

25. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括:使用来自第一声路径和不同的第二声路径的速度测量,为多个反射体计算多个第一速度矢量。

26. 根据权利要求 25 所述的方法,为所述多个反射体执行每个所述速度矢量的求平均操作,以便为所述多个反射体确定运动主方向。

27. 根据权利要求 26 所述的方法,还包括:将颜色应用到与所述速度矢量沿着主运动轴的分量有关的所述多个反射体的每个非零速度反射体。

28. 根据权利要求 25 所述的方法,还包括:计算从所述第一声路径和第三声路径获得的多个第二速度矢量;并且对所述多个第一速度矢量和所述多个第二速度矢量求平均。

29. 根据权利要求 22 所述的方法,还包括:在所述求解联立方程的步骤之前应用调节系数。

30. 根据权利要求 1 所述的方法,所述发射步骤还包括:在选定频率下发射脉冲宽度超过大约七个周期的未聚焦的超声信号。

31. 根据权利要求 1 所述的方法,所述发射步骤还包括:发射频率低于用于 B 模式成像的频率的未聚焦的超声信号。

32. 一种用多普勒超声进行成像的方法,包括:

从第一发射孔向运动对象发射未聚焦的半圆形第一超声波波前脉冲;

在第一接收孔接收所述第一波前脉冲的回波；  
在第二接收孔接收所述第一波前脉冲的回波；和  
基于在所述第一和第二接收孔接收的回波，计算在一个或多个测试段的对象速度矢量。

33. 根据权利要求 32 所述的方法，还包括：为图像中的每个像素使用数据独立近似来计算最小对象速度。

34. 根据权利要求 33 所述的方法，其中所述数据独立近似包括使第一测量速度值乘以第一角度的一半的余弦的倒数，所述第一角度由所述发射孔、第一测试段和所述第二接收孔定义。

35. 根据权利要求 32 所述的方法，还包括：通过基于多孔探针的几何结构求解一组联立方程，来计算所述运动反射体的速度和方向。

36. 根据权利要求 32 所述的方法，还包括：计算所述速度矢量的方向。

37. 根据权利要求 32 所述的方法，还包括：计算所述速度矢量的大小。

38. 根据权利要求 32 所述的方法，其中通过用第一速度测量和第二速度测量的大小之和的一半来计算所述速度矢量的大小；所述第一速度测量沿着将所述第一接收孔、测试段和所述第二接收孔之间的角度平分的声路径进行；并且所述第二速度测量沿着从发射孔到测试段、到所述第二接收孔的声路径进行。

39. 根据权利要求 32 所述的方法，还包括：接收用户输入，所述用户输入指示所述运动对象的主运动轴。

40. 根据权利要求 39 所述的方法，还包括：显示至少一个颜色，以指示沿着所述指示的主运动轴的运动。

41. 根据权利要求 32 所述的方法，还包括：自动分析多个所测量的速度矢量，以识别至少一个主运动轴。

42. 一种测量在关心区域内运动的对象的速度的方法，包括：

从第一发射孔发射未聚焦的半圆形的第一超声波波前脉冲；

在第一接收孔接收所述第一波前脉冲的回波；

存储所述接收的回波的同相值；

存储所述接收的回波的正交值；和

评估所述同相值和正交值，以确定所述关心的区域内对象相对于所述第一发射孔或所述第一接收孔的运动的大小和方向。

43. 根据权利要求 42 所述的方法，其中所述发射孔和所述接收孔位于共同的换能器阵列上。

44. 根据权利要求 42 所述的方法，还包括：在与所述第一接收孔分开的第二接收孔接收所述第一波前脉冲的回波，并且存储所述接收的回波的同相值和正交值。

45. 一种检测和显示用多孔超声波成像系统成像的对象的运动的方法，所述方法包括：

从多孔超声波探针的发射孔发射未聚焦的半圆形超声波脉冲的序列；

用所述多孔超声波探针的接收孔分别接收来自所述序列的每个脉冲的回波；

其中成像帧率等于在发射步骤中发射连续未聚焦的半圆形超声波脉冲的速率；

从每个发射脉冲的所述回波形成完整图像帧的序列；  
分析连续图像帧中的差异，以检测所成像的对象的运动；和  
显示所述对象的图像并突出所述检测到的运动。

46. 根据权利要求 45 所述的方法，其中所述突出包括将颜色应用到沿着主运动轴的运动。

47. 一种生成指示运动的超声图像的方法，所述方法包括：

从非易失性数字存储装置取回第一数据组，所述第一数据包括发射孔的位置和定向信息；

从非易失性数字存储装置取回第二数据组，所述第二数据组包括由发射的多普勒声脉冲信号的序列的回波引起的一系列回波大小值；

基于第一组多普勒检测参数，检测所述第二数据组的至少一部分内的多普勒位移频率；

基于第二组波束成形参数，确定至少一个运动反射体的位置，其中至少一个参数的值不同于获取所述回波数据的实况成像期的期间使用的值。

48. 根据权利要求 47 所述的方法，其中所述第一组参数或所述第二组参数包括下列一个或多个：发射孔定义、接收孔定义、测试段、主方向轴、表征快速运动值超过缓慢运动值的相对运动阈值，多普勒运动评估算法、声速假定、一个或多个加权因数、解卷积滤波值、匹配滤波值、校准数据值、或发射数据值。

49. 根据权利要求 47 所述的方法，其中所述多普勒检测参数包括测试段定义、主方向轴定义、最小速度阈值和多普勒运动评估算法中的至少一个。

50. 根据权利要求 47 所述的方法，其中所述波束成形参数包括声速值、加权因数、所应用滤波类型、探针校准数据和描述超声波发射信号的数据的至少一个。

51. 一种进行多普勒超声的方法，包括：

将单个未聚焦的第一超声信号发射到目标对象中；

接收所述单个未聚焦的第一超声信号的回波；和

从所述单个未聚焦的第一超声信号的所述回波检测所述目标对象的至少两个分开区域中的运动。

52. 根据权利要求 51 所述的方法，还包括：在不使用被用于执行所述发射步骤的孔的情况下，执行具有一个或多个接收的所述接收步骤。

53. 根据权利要求 51 所述的方法，还包括：对所述接收的回波进行波束成形，以便为包含所述目标对象的关心区域内多个反射体的每个反射体确定显示位置。

54. 根据权利要求 51 所述的方法，所述检测运动步骤还包括：检测所述单个未聚焦的第一超声信号的所述接收的回波内的至少一个像素的多普勒频移。

55. 根据权利要求 51 所述的方法，其中无需用于所述单个未聚焦的第一超声信号的预定范围门，执行所述选择发射和接收步骤。

56. 根据权利要求 53 所述的方法，其中在所述检测步骤之前执行所述波束成形步骤。

57. 根据权利要求 53 所述的方法，其中在所述检测步骤之后执行所述波束成形步骤。

## 使用基于声脉冲和多孔多普勒超声的运动检测

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2011年12月1日提交的标题为“Doppler Ultrasound Imaging Using a Multiple Aperture Probe”的No. 61/565,796的美国临时专利申请和2012年8月21日提交的标题为“Ultrasound Imaging System Memory Architecture”的No. 61/691,717的美国临时专利申请的权利,两者都通过参考合并于此。

[0003] 本申请涉及2007年10月1日提交的标题为“Method And Apparatus To Produce Ultrasonic Images Using Multiple Apertures”的No. 11/865501的美国专利申请,其现在为No. 8007439的专利;2011年1月6日提交的标题为“Imaging With Multiple Aperture Medical Ultrasound And Synchronization Of Add-On Systems”的No. 13/002778的美国专利申请,现在公开为No. 2011-0178400-A1;2010年4月14日提交的标题为“Universal Multiple Aperture Medical Ultrasound Probe”的No. 12/760,375的美国专利申请,现在公开为No. 2010-0262013-A1;2010年4月14日提交的标题为“Multiple Aperture Ultrasound Array Alignment Fixture”的No. 12/760,327的美国专利申请,现在公开为No. 2010-0268503-A1;2011年10月12日提交的标题为“Multiple Aperture Probe Internal Apparatus and Cable Assemblies”的No. 13/272,098的美国专利申请,现在公开为No. 2012-0095347-A1;2011年10月12日提交的标题为“Concave Ultrasound Transducers and 3D Arrays”的No. 13/272,105的美国专利申请,现在公开为No. 2012-0095343-A1;和2011年2月17日提交的标题为“Point Source Transmission And Speed-Of-Sound Correction Using Multi-Aperture Ultrasound Imaging”的No. 13/029,907的美国专利申请,现在公开为No. 2011-0201933-A1。

[0004] 通过参考的合并

[0005] 本说明书中提到的全部公开和专利申请在相同程度上通过参考合并于此,如同每个个体公开或专利申请被具体且分别指示为通过参考合并地那样。

### 技术领域

[0006] 本公开大体上涉及医学成像,并且尤其是涉及使用具有多孔的探针的多普勒超声成像。

### 背景技术

[0007] 医学超声波中的多普勒法包括许多用于对血液流动进行成像和定量的相关技术。对于静止目标,对于每个发射的脉冲,从换能器传输的,从目标反射的,和返回到换能器的超声波脉冲的往返行程传播时间是相等的。在运动对象的情形中,连续回波描记返回关于发射脉冲将在不同时间到达。例如,在小于静止往返时间的间隔接收的回波描记返回可以表示反射体向TX/RX探针运动,而在比静止往返时间长的间隔接收的返回可以表示反射体远离TX/RX探针运动。这是众所周知的多普勒效应的结果,其也可以按照有关频率来描述。在频率域中,以比预期频率高的频率接收的反射信号可以表示反射体向发射器/接收器运

动,而以比预期频率低的频率接收的反射信号可以表示反射体远离发射器 / 接收器运动。从这个信息,能够估算运动反射体的速度。

[0008] 常规的超声波(或如本文中所使用的“基于扫描线”的超声波)利用相控阵列控制器生成并操纵(steer)大体上呈线性发射波形。为了生成B模式图像,这些线性波形(或“扫描线”)的序列可以被生成和操纵,以便跨关心区域进行扫描。沿着每个各自的扫描线接收回波。然后,个体扫描线可以被组合,以形成完整图像。

[0009] 因为常规的基于扫描线的超声波路径是定向的(沿着扫描线的轴),所以仅仅沿着扫描线轴的运动生成多普勒(运动运动)信号。横贯扫描线的流动对使用这些常规方法而言是不可检测的,并因此常规多普勒法中获得的速度量值仅表示流速度矢量位于沿着发射 / 接收扫描线轴的分量。为了估算流速度矢量的真实量值,采用矢量多普勒法。这些方法依靠来自多个相交扫描线的数据,以估算流矢量和流速度矢量的方向。

[0010] 已经开发几种基于扫描线的多普勒方法,以呈现血流的不同方面。一般,流场的“空间成像”(或者被称作“B模式”呈现或“扇形扫描”成像)被用于定位血管,以测量其尺寸、并观察流结构。“流成像”在“双重”模式中结合回波描记成像使用,“双重”模式在覆盖图中结合两种类型的图像,回波描记振幅在灰度级中呈现而流速度以颜色来展现。

[0011] 声谱仪可以通过选择关心区域内部选定的小很多的样本体积来获得详细量化的流速度。能够被独立采样和处理的最小体积通过扫描线波束的轴向长度(发射脉冲宽度)和横向波束宽度(成像平面内外)给定。使用基于扫描线的多普勒法,这个小样本体积,也称作“范围门”、“多普勒门”或“多普勒范围门”,必须在多普勒超声信号的发射和接收之前由超声检查医师经由用户界面定义。用于预先定义多普勒范围门的这个要求意味着:不定义新的范围门,就不可以确定位于预定义的范围门外的运动反射体,这可能需要进行单独的多普勒成像期。

[0012] 基于扫描线的多普勒成像也能够对基于扫描线的超声波成像系统内的B模式图像的帧率施加实质限制。基于扫描线的超声波成像系统的帧率是脉冲重复频率(PRF,其由超声波在成像介质中往返传播的时间限制)除以每帧的扫描线数目。典型的基于扫描线的超声波成像系统使用每帧大约64到大约192之间的扫描线。通常,8和32脉冲回波事件的整体被用于关心区域中每个多普勒扫描线。这些多普勒整体是对B模式扇形扫描的有效打断,得到比否则系统能够做到的更低的B模式帧率(或者需要的每B模式帧的扫描线更少)。

## 发明内容

[0013] 在一个方面,提供了通过从换能器阵列的多个换能器元件选择发射孔来进行多普勒超声的方法。接着,从发射孔发射未聚焦的超声信号到关心区域中,然后仅在第一接收孔上接收未聚焦的超声信号的回波。也存在将所接收的回波存储在存储装置中的步骤。然后,存在下面的步骤:对所接收的回波进行波束成形以便为关心区域内的多个反射体的每个确定显示位置。从关心区域的所接收回波数据选择第一测试段并且在多个反射体的至少一个接收步骤的回波内检测多普勒频移的步骤。也存在确定至少一个反射体在第一测试段内的速度的步骤。最后,存在在图像中显示至少一个反射体的运动信息的步骤,其中该运动信息部分地基于检测步骤和确定步骤。

[0014] 该方法也可以可选地在确定步骤中包括确定第一测试段内至少一个反射体的运动方向的步骤。在该方法的一个方面,存在选择第二测试段,然后为第二测试段内的多个反射体的至少一个重复选择、检测、确定和显示的步骤。

[0015] 在还另一个方面,该方法也可以包括选择第二测试段,其中第二测试段是在第一测试段内的关心区域的部分以外的关心区域的部分。在一些实施例中,无需用于未聚焦的超声信号的预定义的范围门,执行选择发射和接收步骤。在一个方面,在检测步骤之前执行波束成形步骤。在另一个方面,在波束成形步骤之前执行检测步骤。在还其它方面,基于关心区域内的像素位置选定选择测试段步骤。更进一步,一些方面可以进行,由此用户基于用B模式图像和来自接收步骤的信息而人工执行选择测试段步骤。

[0016] 在一些额外的替换例中,成像系统自动执行选择测试段。在还另一个方面,可以包括系统地评估关心区域内每个测试段的步骤。这个步骤仅评估未聚焦的超声信号的接收回波内的每个测试段。在更进一步方面,存在基于同时发生关心区域的B模式图像和关心区域内关联位置信息的计算机辅助检测分析来选择测试段的步骤。在一些方面,基于在接收步骤中的信号之间的定时来执行选择测试段的步骤。在还其它方面,选择测试段的步骤部分地基于对应于目标区域内所关心深度范围的时间范围。更进一步,通过评估关心区域内的全部测试段来执行选择测试段的步骤。

[0017] 在还其它的额外实施例中,也存在接收在与第一接收孔分开的第二接收孔上的回波的步骤。在另一个替换例中,存在为由到第一接收孔的声路径成像的每个像素并且为由到第二接收孔的声路径成像的每个像素计算调节系数的过程。也可以提供通过将调节系数应用到确定步骤的结果获得改进的速度测量的方法。在一些方面,调节系数是 $1/\cos(\Phi/2)$ ,其中 $\Phi$ 是用于使用所述发射孔的位置、所成像的每个像素的位置和所述第一接收孔和所述第二接收孔的每个的位置定义的角度的发射器到反射器线和接收器到反射体线之间的角度。在其他方面,存在为运动反射体,将来自所述第一接收孔获得的经调节的速度测量结果与来自所述第二接收孔获得的经调节的速度测量结果相结合的方法。在还其他方面,存在求解联立方程的方法,其包括使用所述第一接收孔的位置和使用所述第一接收孔获得的速度测量结果以及第二接收孔的位置和使用所述第二接收孔获得的速度测量结果,以获得表示第一反射体的运动的方向和大小的速度矢量。在其他方面,也存在求解第二组联立方程的方法,其包括使用所述第一接收孔的位置和使用所述第一接收孔获得的速度测量以及第三接收孔的位置和使用所述第三接收孔获得的速度测量,以获得表示第一反射体的运动的方向和大小的第二速度矢量。在另一个方面,也存在对所述第一速度矢量和所述第二速度矢量求平均的步骤,以获得描述所述第一反射体的运动速度和方向的新的速度矢量。

[0018] 在一些附加方面,也存在使用来自第一声路径和不同的第二声路径的速度测量结果为多个反射体计算第一多个速度矢量的方法。在一些方面,存在为所述多个反射体执行所述速度矢量的每个的平均操作的步骤,以便为所述多个反射体确定运动主方向。在一些方面,存在将颜色应用到与所述速度矢量沿着主运动轴的分量有关的所述多个反射体的非零速度的反射体的步骤。更进一步的替换例可以提供方法,用于计算从所述第一声路径和第三声路径获得的多个第二速度矢量;并且对所述多个第一速度矢量和所述多个第二速度矢量求平均值。在还其他实施例中,在求解联立方程的步骤之前也可以存在用于应用调节

系数的附加步骤。在一些方面,发射的步骤可以包括在所选定频率发射脉冲宽度超过大约七个周期的未聚焦的超声信号,或者在另一方面,发射频率低于被用于 B 模式成像的频率的未聚焦的超声信号。

[0019] 在用多普勒超声成像的方法的附加替换方面,提供了从第一发射孔向运动对象发射第一未聚焦的半圆形超声波波前脉冲的步骤。接着,存在在第一接收孔接收第一波前脉冲的回波和在第二接收孔接收第一波前脉冲的回波。其后,存在基于在所述第一和第二接收孔接收的回波计算在一个或多个测试段的对象速度矢量的步骤。在一个方面,也存在为图像中的每个像素使用数据独立近似法来计算最小对象速度的过程。还其他方面提供数据独立近似法,其包括使第一测量速度值乘以第一角度的一半的余弦的倒数,所述第一角度由所述发射孔、第一测试段和第二接收孔定义。还其他替换例提供通过基于多孔探针的几何结构求解一组联立方程,来计算所述运动反射体的速度和方向。在一些示例性实施例中,也可以存在其他方面,用于计算速度矢量的方向,或计算速度矢量的大小。在一个方面,存在通过用第一速度测量和第二速度测量的数值的和的一半来计算所述速度矢量的数值;所述第一速度测量沿着将所述第一接收孔、测试段和所述第二接收孔之间的角度平分的声路径;并且所述第二速度测量沿着从发射孔到测试段、到所述第二接收孔的声路径。

[0020] 在还其他方面,存在接收用户输入的步骤,所述用户输入指示所述运动对象的主要运动的轴。

[0021] 在还其他方面,提供了显示至少一个颜色的步骤,以指示沿着主运动的所指示轴的运动。另外,也可以存在用于自动分析多个所测量的速度矢量的这些方法的方面,以识别主运动的至少一个轴。

[0022] 在另一个替换的实施例中,提供了通过从第一发射孔发射第一未聚焦的半圆形超声波波前来测量对象在关心区域内运动的速度的方法。也存在下列步骤:接收第一波前脉冲在第一接收孔的回波;存储所接收回波的同相值;存储所接收回波的正交值;和评估同相和正交值,以确定对象在关心区域内相对于第一发射孔或第一接收孔的运动大小和方向。在一个方面,发射孔和接收孔位于共同的换能器阵列上。在另一方面,也存在下述步骤:在与所述第一接收孔分开的第二接收孔接收所述第一波前脉冲的回波,并且存储所述接收的回波的同相和正交值。

[0023] 在另一替换实施例中,提供了用多孔超声波成像系统检测和显示对象图像的运动的方法,其包括从多孔超声波探针的发射孔发射未聚焦的半圆形超声波脉冲的序列。也存在用所述多孔超声波探针的接收孔分别接收来自所述序列的每个脉冲的回波的步骤。在一个方面,存在成像帧率,其等于发射步骤中发射连续未聚焦的半圆形超声波脉冲的速率。方面也包括从每个发射脉冲的回波形成完整图像帧的序列、分析连续图像帧中的差异以检测成像的对象的运动的步骤,并且另外或替代地包括显示对象的图像和突出检测运动的步骤。在一些方面,该突出包括将颜色应用到沿着主运动轴的运动。

[0024] 在还另一个方面,存在生成指示运动的超声图像的方法,该方法通过从非易失性数字存储装置收回第一数据组,第一数据包括发射孔的位置和定向信息,并且从非易失性的数字存储装置收回第二数据组,第二数据组包括由所发射的多普勒声脉冲信号的序列的回波引起的一系列回波大小值。其后,存在基于第一组多普勒检测参数来检测所述第二数据组的至少步骤分内的多普勒位移频率的步骤。在一些方面,存在基于第二组波束成形参

数来确定至少一个运动反射体的步骤,其中至少一个参数的值不同于获取所述回波数据的实况成像期间使用的值。在额外方面,第一组参数和第二组参数包括下列一个或多个:发射孔定义、接收孔定义、测试段、主方向轴、表征快速运动值超过缓慢运动值的相对运动阈值,多普勒运动评估算法、声速假定、一个或多个加权因数、解卷积滤波值、匹配滤波值、校准数据值或传播数据值。在更进一步替换方面,多普勒检测参数包括测试段定义、主方向轴定义、最小速度阈值和多普勒运动评估算法的至少一个。在还其他额外方面,波束成形参数包括声速值、加权因数、所应用滤波类型、探针校准数据和描述超声波发射信号的数据的至少一个。

[0025] 在还另一额外或替换方面,提供了通过将单个未聚焦的第一超声信号发射到目标对象来进行多普勒超声的方法。接着,存在接收单个未聚焦的第一超声信号的回波的步骤。然后,存在从单个未聚焦的第一超声信号检测所述目标对象的至少两个分开区域中的运动的步骤。在一些方面,也可以存在执行具有一个或多个接收的所述接收步骤,而不使用被用于执行所述发射步骤的孔。还其他方面也可以执行所接收回波的波束成形,以便为包括所述目标对象的关心区域内多个反射体的每个确定显示位置。在还其他方面,也可以存在检测运动步骤,用于检测单个未聚焦的第一超声信号的所述接收的回波内的至少一个像素的多普勒频移。在另一方面,无需用于单个未聚焦的第一超声信号的预定义范围门,执行所述选择发射和接收步骤。在还另一方面,在检测步骤之前执行波束成形步骤。在还另一方面,在检测步骤之后执行波束成形步骤。

[0026] 在还另一方面,根据任何上述实施例提供了检测多普勒位移的方法,由此通过从回波波束成形图像在相关B模式图像上指定的任何测试段的位移从每个声脉冲或未聚焦的超声信号返回。其后,基于样本的序列在测试段为每个声脉冲评估多普勒频移。

[0027] 一种根据任何上述实施例的检测多普勒位移的方法,由此测试段在接收元件处声脉冲开始之后被指定为响应时间。其后,仅使用在每个接收器处的多普勒数据的检测的时间作为到用于多普勒的波束成形器的输入,然后根据方向和/或频率对波束成形的多普勒进行彩色编码。其后,在一个方面,存在将颜色信息叠加到B模式图像上的步骤。在一个替换的方面,代替直接使用多普勒检测的时间作为到用于多普勒的波束成形器的输入,而是使用多普勒检测时间选择原始回波段以用作到用于多普勒的波束成形器的输入,该方法进行。在更进一步方面,存在选择回波段的步骤,以便为得到图像的改进横向分辨率提供相干增加。

[0028] 应当理解,上面或本文中所述的任何上面实施例的方法可以被提供作为计算机可读指令或代码或者使用计算机可读指令或代码执行,该代码包括用于使用为这些操作和处理配置的软件、固件或硬件的一个或更多基于计算机超声信号处理系统执行的步骤。

[0029] 应当理解,上述说明性方面、实施例、替换例和步骤也可以被组合,以提供本文中上述的发明方法的更进一步的替换实施例。

## 附图说明

[0030] 在随后的权利要求中详细阐述本发明的新颖特征。下列详细说明阐述了说明性实施例,其中利用本发明的原理,通过参考下列详细说明和附图,将获得本发明的特征和优点的更好理解,其中:

- [0031] 图 1 是流程图, 说明用于使用基于声脉冲多普勒超声成像技术检测运动的过程的实施例。
- [0032] 图 2 是流程图, 说明用于使用基于声脉冲多普勒超声成像技术检测运动的过程的另一个实施例。
- [0033] 图 3 是包括多个换能器阵列的多孔超声波探针的截面图。
- [0034] 图 4 是具有单个连续曲线 1D、1.5D、2D 或 CMUT 换能器阵列的超声波探针的截面图。
- [0035] 图 5 是基于声脉冲 (ping-based) 的波束成形技术的实施例的示意图。
- [0036] 图 6 是基于声脉冲的波束成形技术的第二实施例的示意图。
- [0037] 图 7 是说明多普勒子系统的实施例的方框图。
- [0038] 图 8 是包括许多接收元件且仅有单个发射元件的超声波换能器阵列的示意图。
- [0039] 图 9A 是从多普勒声脉冲接收的同相回波的振幅对时间图。
- [0040] 图 9B 是从多普勒声脉冲接收的正交回波的振幅对时间图。
- [0041] 图 10 是在任一端具有发射元件且包括许多接收元件的阵列的超声波探针的示意图。
- [0042] 图 11 是超声波探针的示意图, 所述探针具有两个包括被分为两个分开的孔的许多接收元件的换能器阵列。右手孔被示为具有至少一个发射元件。
- [0043] 图 12 是多孔探针, 其包括具有至少一个指定的发射元件的水平换能器阵列和相对于第一阵列成角度放置的第二元件阵列。
- [0044] 图 13 是多孔探针, 其包括具有至少一个指定发射元件的水平阵列。第二和第三元件阵列被放置在水平阵列的任一侧上, 并且被示为相对于第一阵列成角度地定向。
- [0045] 图 14 是流程图, 说明用于使用数据独立近似因数来估算运动反射体速度的过程的实施例。
- [0046] 图 15 是多孔成像方案的示意说明。
- [0047] 图 16 是流程图, 说明用于使用多孔超声成像探针来获得二维速度矢量的过程的实施例。
- [0048] 图 17 是示出使用图 12 的系统的多普勒速度测量过程的一个实施例的方面的示意说明。
- [0049] 图 18 是示出多普勒速度测量过程的实施例的方面的示意图。
- [0050] 图 19 是说明超声波成像系统的部件的方框图。
- [0051] 图 20 是流程图, 说明用于使用基于声脉冲成像系统在无需检测多普勒位移的情况下检测运动的过程的实施例。
- [0052] 图 21 是流程图, 说明用于重新处理所存储的多普勒原始回波数据的过程的实施例。

## 具体实施方式

- [0053] 本文中描述的方法和装置解决今日多普勒超声技术中的许多问题。使用常规基于扫描线的多普勒, 超声检查医师面临的是试图满足下述相冲突的要求: 定位超声探针以获得最佳 B 模式图像, 以及定位所述探针以使扫描线波束与血管中的血流对准。常规多普勒

的第二个问题是，多普勒的视场必然受到预定义的多普勒范围门的限制，以致于在选定扫描线上的脉冲重复频率高到足以对多普勒频率敏感。

[0054] 本文中所描述的方法和系统的一些实施例使用基于声脉冲的多普勒成像技术，其中具有相对长的脉冲长度（多普勒声脉冲）的未聚焦的半圆形（或圆柱形）超声波脉冲被用于声照射（insonify）每个多普勒声脉冲中的全部视场，以便能够在B模式视场中的任何地方检测到多普勒频率，而无需预先限定多普勒范围门。此外，能够检测运动反射体的速度和方向，而无需将探针相对于运动方向对准。在一些实施例中，使用多孔超声波探针可以进一步允许对二维运动矢量的检测。多孔的基于声脉冲的多普勒和B模式成像的各种实施例可以同时提高B模式图像的横向分辨率和多普勒速度估算的准确度。

[0055] 使用常规的基于扫描线的多普勒成像，一般通过发射聚焦的扫描线波束并用沿着同一扫描线聚焦的接收器来接收回波，而产生脉冲多普勒信号。使用这些系统，在发射和接收超声信号之前，必须沿着扫描线定义范围门，以便定义将在其中检测运动信息的关心区域的深度。从范围门内采样回波的样本，同时沿着同一扫描线发射连续脉冲。然后，这些样本被评估，以检测指示运动的多普勒频率。

[0056] 在美国专利 No. 8,007,439 和美国专利申请公开 No. 申请 2010-0262013-A1；2010-0268503-A1；和 2011-0201933-A1 中示出并描述使用多孔探针的超声波成像系统。下面的实施例提供用于执行多普勒速度测量和利用多孔探针进行成像的方法和系统，以及诸如在本申请人上述专利申请中和本文中附图和说明书中示出并描述的系统。

[0057] 尽管本文中参考各种人体结构的超声波成像描述了各种实施例，但应当理解，本文中所示且所描述的许多方法和器件也可以被用于其他应用，诸如成像和评估非解剖结构和对象。例如，本文中所述的超声波探针、系统和方法可以被用于各种机械对象、结构对象或材料，诸如焊缝、管道、梁、板、压力容器、分层结构等，的无损试验或评估。此外，用于评估成像对象或物质的运动或速度的系统和方法的各种实施例也可以被用于非医学场景，诸如测量移动通过管、压力容器或其他流体载体导管或容器的流体的速度。因此，本文中对医学或解剖结构成像目标（诸如血液、血管、心脏或其它器官）的参考仅仅被提供作为可以使用本文中所述的各种仪器和技术来成像或评估的近乎无限种类的目标的非限制实例。

[0058] 对基于声脉冲的多普勒超声波技术的介绍

[0059] 本文中参考附图描述的各种实施例提供了系统和方法，其用于使用基于声脉冲的多普勒成像和基于声脉冲的B模式成像技术来检测、评估和表征运动对象的速度。如下面将更详细描述的，一些实施例还提供了用具有多孔超声波探针和基于声脉冲的成像技术的组合的进一步优点，下面将更详细地描述这样的成像技术。

[0060] 当使用基于声脉冲的超声波成像技术时，可以发射声脉冲后从返回到接收换能器元件的反射体回波收集定时信息和频率信息两者。可以通过基于声脉冲的波束成形过程（如本文中其它地方或上面参考的本申请人在先申请中所述的）从定时信息确定回波的位置，同时可以通过应用多普勒原理从频率信息确定运动反射体的速度。因此，声照射区域内每个反射体的位置和速度都可以从单个发射声脉冲确定。可以通过结合从多个声脉冲获得的信息，可以提高准确度和解析度。

[0061] 参考图1和2，现在将提供基于声脉冲和基于声脉冲的多孔运动检测过程的一些实施例的概述。下面参考将额外的图在随后的段落中提供各种工序的进一步细节和实施

例。

[0062] 图 1 说明了基于声脉冲的多普勒运动检测 / 成像过程 10 的实施例, 其中成像系统可以自动循环经过多个空间上定义的“测试段”, 以便识别包含运动反射体的所关心的声照射区域的段。在一些实施例中, 对应于最终图像的每个像素的回波数据可以作为单独的测试段而被处理。图 1 的过程可以开始于发射 (TX) 孔 12 的选择。理想的发射孔将是提供关心区域的无阻碍视野 (即, 不被肋骨或其它障碍物阻碍) 的孔。在各种实施例中, 适当的 TX 孔 (如下所述) 可以通过自动化过程或人工过程来选择。

[0063] 一旦 TX 孔被选定 12, 那么第一多普勒声脉冲可以被发射 14 到所关心的区域中。可使用一个或多个接收孔 (取决于被使用的探针的构造和是否如下将述地使用二维多普勒检测) 来接收 16 第一多普勒声脉冲的回波。可以为每个接收换能器元件单独存储 18 接收回波。在一些实施例中, 通过每个接收孔接收的回波可以被存储在两个或更多单独的数据流 18 中。第一数据流可以表示同相回波, 并且第二数据流可以表示“正交”回波, 该“正交”回波表示在相对于同相数据等于大约 90 度 ( $rc/2$  弧度) 的时间延迟处采样的相同的所接收波形。在其他实施例中, 可以通过其它方法实现类似结果, 诸如对所接收的回波数据流进行重复取样。替代地, 也可以使用不同于 -90 度的延迟。在一些实施例中, 如果处理硬件足以处理回波数据, 而无实质延迟, 那么可以省略存储回波数据的步骤。

[0064] 在图 1 的实施例中, 然后, 所接收的多普勒回波可以被波束成形 20, 以确定每个反射体 (运动或不运动) 在关心区域内的位置。在一些实施例中, 可以使用诸如如下所述的基于声脉冲的波束成形技术。一旦多普勒回波已经波束成形 20, 那么可以选择测试段 (即, 将在其中搜索到多普勒位移信号的所接收回波数据的有限段)。在图 1 的过程 10 中, 可以参考相应反射体在关心区域内的位置, 来定义 22 这些测试段。在一些实施例中, 成像系统可以自动选择测试段 22。例如, 在一些实施例中, 成像系统可以被配置为循环经过所关心的声照射区域中的全部可能的测试段。在其他实施例中, 成像系统可以被配置为允许基于与同一关心区域的同期 B 模式图像中位置相关联的位置而选择 22 一个或多个测试段。在一些这种实施例中, 用户可以从所显示的 B 模式图像选择 22 任何数目的任何尺寸的区域, 并且多普勒数据中的相应区域可以被当做一个或更多测试段来对待。在其他的实施例中, 自动启发法可以用于识别已知特征 (诸如血管、器官或其他结构) 并且用于基于可以在其中期望或寻找运动的那些所识别特征的一部分而自动地选择 22 测试段。

[0065] 一旦选定 22 第一测试段 (无论人工还是自动), 测试段内的反射体的回波可以被评估以检测可能存在的任何多普勒频率 24。在一些实施例中, 可以使用下面参考图 9A 和 9B 描述的任何方法检测 24 多普勒频率。在备选实施例中, 也可以使用其他的检测多普勒频率的方法。

[0066] 一旦在测试段内确定 24 多普勒频率, 该数据就可以被进一步分析, 以确定 26 运动反射体的速度和方向。在一些实施例中, 确定运动反射体的速度 26 的步骤可以涉及应用阈值测试, 以确定反射体是否运动得比阈值速度快。在其他的实施例中, 尺寸、强度或频率阈值测试可以被应用, 以确定运动反射体是否比阈值尺寸大, 至少强度与阈值强度相同, 或者属于指定频率范围。例如, 血管在 B 模式图像中趋向于显得比周围组织颜色更深。因此, 由“浅色”区域围绕的相对纵向“深色”区域可以被选定为好的候选测试段, 在其中寻找运动信息。在一些实施例中, 可以在随后的步骤中忽略阈值测试失败的反射体。在一些实施例中,

可以使用如下所述的方法检测运动反射体的速度。在替代实施例中,也可以使用基于多普勒位移原理来量化运动反射体的速度的其他方法。

[0067] 在一些实施例中,可以相对于超声波探针一维地检测 26 运动反射体的方向。在这种一维运动检测实施例中,运动可以被表征为“向”探针或“远离”探针运动。下面描述这些一维运动检测方法的一些实施例。也可以使用任何其他适当的方法。

[0068] 在其他实施例中,当回波在至少两个分离的孔上被接收换能器元件接收时,运动反射体的方向可以被表征 26 为像平面内的二维矢量。下面参考图 16 描述这种二维运动检测方法的一些实施例的细节。也可以使用其他二维运动检测方法。

[0069] 可以重复 30 选择测试段 22、检测多普勒频率 24、确定运动反射体 26 的速度和方向的步骤至所需要或要求的次数,直到已经评估将测试的全部测试段。如果足够的数据处理硬件可利用,那么可以并行评估多个测试段,而不是依序评估。

[0070] 一旦已经确定 26 所有选择的测试段中的运动反射体的方向和速度,这种信息就可以被汇编为图像,该图像可以被覆盖或以其他方式与显示给用户的 B 模式图像结合。在其他实施例中,运动信息可以在数字上呈现为图形,或以其他方式在无需产生图像的情况下与 B 模式图像结合。

[0071] 图 2 说明基于声脉冲的多普勒运动检测 / 成像过程 11 的替代实施例。图 2 的过程 11 大体上类似于图 1 中的过程,但是在图 2 的过程 11 中波束成形所接收回波 20 和检测多普勒频率 24 的步骤的顺序相对于图 1 的过程中这些步骤的顺序被颠倒。

[0072] 在图 2 的过程 11 中,在波束成形以确定反射体产生回波的位置之前,可以在回波中检测 24 多普勒频率。图 2 的序列意思是为多普勒频率的存在评估的“测试段”的选择 19 之前不需要知道反射体的位置。这仅仅意思是可以参考对于给定回波数据流的回波接收次数的范围来执行选择 19 测试段的步骤。替代地,如在先前描述的实施例中那样,可以进行所接收回波的接收时间和 B 模式图像中相应反射体的位置之间的粗关联。例如,因为接收回波的时间通常与反射体的深度相关,所以可以按照相对于探针的深度来定义测试段的范围,并且这些深度信息可以被转换为回波接收时间的范围。在一些这种情形中,至少从用户的角度,测试段的选择可以以与上述相同的方式进行。在完全自动的实施例中,成像系统可以被配置为将测试段确定 19 为用于特定接收元件的回波数据流的离散段。

[0073] 一旦基于多普勒检测步骤 24 确定运动反射体,对应于运动反射体的回波可以被波束成形,以确定其在关心区域内的位置。在一些实施例中,多普勒回波数据的波束成形可以限于确定只有那些已经识别为运动得比阈值速度更快的反射体(或者通过其它阈值测试的反射体)的位置。在其他实施例中,从将波束成形的多普勒回波数据选择反射体可以按照需要经受任何其它滤波器或限制。

[0074] 一旦已经波束成形多普勒回波,回波数据就可以被评估,以确定相应运动反射体的速度和方向。如下面更详细描述的,可以在一维或二维上执行这种速度和方向的检测。

[0075] 替代地,在一些实施例中,如果如图 2 所示,检测运动方向 26 的步骤在过程 11 中仅在一维上执行,那么可以在方向检测步骤 26 后执行波束成形步骤 20。这是由于一维方向检测不需要有关反射体在关心区域内的位置的信息。

[0076] 在一些实施例中,接着存储回波数据的步骤 18 的所有步骤(例如,19-30)可以仅仅使用从存储器取回的回波数据来执行。在这些实施例中,可以对步骤的顺序、作出的假设

或影响多普勒回波数据处理的其它因素进行各种调整。可以迭代进行这些调整,直达到到期望的质量水平。下面参考图 21 描述用于重新处理从存储器取回的原始多普勒回波数据的过程的实例。在一些实施例中,使用完全独立于用于发射和接收超声信号的超声波成像系统的数据处理硬件来执行这种处理。这种备选处理硬件可以包括台式计算机、平板计算机、膝上计算机、智能电话、服务器或任何其他通用数据处理硬件。

[0077] 多孔超声波成像过程的实施例

[0078] 多孔超声波成像通常涉及使用总宽度比用常规超声技术可能的大很多的超声波探针。多孔超声波成像涉及从少数几个换能器元件发射超声信号,并且使用数量大很多的换能器元件来接收回波。通过将接收换能器元件布置到多个接收孔中并且执行各种处理和组合步骤,可以形成横向分辨率显著超过使用常规窄探针可能得到的分辨率的超声图像。

[0079] 多孔图像可以被用于 B 模式成像,以生成关心区域的高分辨率空间图像。使用多孔成像系统用于多普勒成像可以提供关于检测二维运动的能力的额外优点。

[0080] 如本文中所使用的,术语“超声换能器”和“换能器”如本领域技术人员所理解的通常意义是超声波成像技术,并且可以非限制地涉及能够将电信号转换为超声信号和 / 或反之亦然的任何单个部件。例如,在一些实施例中,超声波换能器可以包括压电器件。在一些替换实施例中,超声换能器可以包括电容微电机超声波换能器 (CMUT)。换能器经常被配置为多个元件的阵列。如本领域技术人员理解的,这些阵列可以具有一维 (1D)、二维 (2D)、或者 1.5 维 (1.5D)。换能器阵列的元件可以是阵列的最小分立部件。例如,在压电换能器元件的阵列的情形中,每个元件都可以是单个压电晶体,或压电晶体的单个加工段。

[0081] 如本文中所使用的,术语“发射元件”和“接收元件”如本领域技术人员所理解的其通常意义是超声波成像技术。术语“发射元件”可以指超声波换能器元件,但不限制于此,该超声波换能器元件至少暂时执行发射功能,其中电信号被转换为超声波波前。类似地,术语“接收元件”可以指超声波换能器元件,但不限制于此,该超声波换能器元件至少暂时执行接收功能,其中撞击在元件上的超声波波前被转换为电信号。超声波到介质中的发射在本文中也可以被称作“声照射”。反射超声波的对象或结构可以被称作“反射体”或“散射体”。

[0082] 如本文中所使用的,术语“孔”指概念上的“开口”,超声信号可以通过其发送和 / 或接收。在实际操作中,孔只不过是换能器元件组,这些元件作为共同组由成像控制电子器件组一起管理。例如,在一些实施例中,孔可以是元件的实体组,这些元件可以是从相邻孔的元件实体分开。例如,图 3 的探针中的三个换能器阵列的每个都可以被当做单独的孔。然而,相邻孔不需要实体上分开。

[0083] 如本文中所使用的,术语“总孔”涉及全部成像孔的总的累计尺寸。换句话说,术语“总孔”可以指由被用于特定成像周期的发送和 / 或接收元件的任何组合的最远的换能器元件之间的最大距离所定义的一个或多个维度。因此,总孔由如用于特定周期的指定为发送或接收孔的任何数目的子孔组成。在单孔成像布置的情形中,总孔、子孔、发射孔和接收孔将全部具有相同维度。在多孔成像布置的情形中,总孔的维度包括所有发送和接收孔和其之间的任何距离的和。

[0084] 如本文中所使用的,术语“接收孔”、“声照射孔”和 / 或“发射孔”如本领域技术人员所理解的其通常意义是超声波成像,并且可以指单个元件、阵列内的元件组、甚至通用外

壳内的整个阵列,其在给定时间从期望的实体观点或孔执行期望的发射或接收功能。在一些实施例中,这些各种孔可以被建立为具有专用功能的实体分开的部件。在替换实施例中,该功能性可以按照需要电子地指派和改变。在更进一步的实施例中,孔功能性可以涉及固定和可变元件两者的组合。在一些实施例中,两个孔可以放置为在连续阵列上彼此相邻。在还其他的实施例中,两个孔可以在连续阵列上彼此重叠,以便至少一个元件起两个分开的孔的部分的作用。孔的位置、功能、元件数目和实际尺寸可以以特定应用所需要的任何方式动态定义。对用于特定应用的这些参数的约束将在下面讨论和 / 或将为本领域技术人员清楚。

[0085] 在一些实施例中,接收孔的宽度可以由这样的假设限制,该假设为声速对于从反射体到接收孔的每个元件的每个路径都相同。在足够窄的接收孔中,这个简化的假设是可接受的。然而,随着接收孔宽度增加,到达顶点(在本文中被称作“最大相干孔宽度”),该路径一般在该点将穿过具有不同声速的不同类型的材料。(这在医学成像中尤其真实,其中变化的组织类型可能具有基本不同的声速。)当这个差异导致接近 180 度的相移时,超过最大相干接收孔宽度的额外接收元件将实际上降低图像,而不是改善该图像。

[0086] 因此,在一些实施例中,为了利用总孔宽度大于最大相干宽度的宽探针,完全探针宽度可以实体上或逻辑上被分为多个孔,其每个都可以被限制于小于最大相干孔宽度的宽度,并且可以足够小,以避免接受信号出现相位抵消。针对不同患者以及同一患者上的不同探针位置,最大相干宽度能够不同。在一些实施例中,折衷(例如,对于所期望的成像方案的范围的最小或平均最佳值)宽度可以为给定探针系统建立。在其他的实施例中,多孔超声波成像控制系统可以配置为具有动态算法,以将多个孔中的可用元件细分为组,这些组足够小以避免显著的相位抵消。

[0087] 如本文中所使用的,短语“声路径”指后面是超声波的路径。在多孔成像的背景中,声路径在发射孔(其可以包括一个或多个换能器元件)开始,行进到声照射材料(例如,人组织、动物组织、或无生命材料)中到反射体,然后返回到接收孔的元件。在一些实施例中,声路径可以被描述为在接收孔终止,而不是在个体接收元件终止。这些实施例可以在由接收孔的多个元件接收的数据聚集时发生。因为多孔探针可以利用任何数目的发射孔和任何数目的接收孔(其每个都可以利用任何数目的个体换能器元件),在声照射区域内的任何给定反射体都可以由许多声路径成像。因此,声路径通常是发射孔、接收元件(或接收孔)和反射体的唯一组合。如下面将更详细描述的,为了执行多孔波束成形,多孔探针的几何结构必须已知。

[0088] “孔内声学路径”是其中发射孔和接收孔的中心位于同一点的声路径。例如,其中被用作发射孔的单个元件也被用作接收元件的声路径可以被描述为孔内声学路径。因此,“孔内”声路径是发射孔和接收孔的中心不位于同一点的任何声路径。

[0089] 多孔探针的实例

[0090] 图 3 说明多孔探针 1000 的一个实施例,其可以在一些实施例中被用于多普勒成像。图 3 的探针 1000 包括三个换能器阵列 1001、1002、1003,每个都是 1D、2D 或矩阵换能器阵列。如图所示,横向阵列 1001 和 1003 可以相对于中心阵列 1002 定向在一定角度。在一些实施例中,横向阵列相对于中心阵列的角度能够为 0 度,但是也能够是大于 0 度的任何角度。在一个实施例中,一对横向阵列 1001 和 1003 可以在水平中心阵列 1002 下方以大约

30 度的角度设置。在一些实施例中,图 3 的探针 1000 可以具有实质上宽于 2cm 的总宽度,并且在一些实施例中比为 10cm 或更宽。

[0091] 在一些实施例中,如图 1 中所示,探针 1000 可以包括可以实体上彼此分开的分离的换能器阵列 1001、1002、1003。例如,在图 1 中,距离“d”将左阵列 1001 从中心阵列 1002 分开。距离“d”能够是在孔 1001 上的换能器元件和孔 1002 上的换能器元件之间的最小距离。在一些实施例中,该距离“d”可以是零或与可能用于特定应用所期望的一样大。在替换实施例中,孔之间的距离可以尽可能大,以增加在特定应用的约束内多孔成像系统的横向分辨率。在一些实施例中,探针可以被构造为在相邻换能器阵列之间提供可调节距离或角度。这种可调整性可以为大范围解剖结构的成像提供灵活性。

[0092] 图 4 说明多孔探针 1010 的替换实施例,其可以在一些实施例中被用于多普勒成像。图 4 的探针包括单个连续的 1D、1.5D、2D 或 CMUT 换能器阵列 1012,其总宽度 1020 明显比用于任何预期成像方案的最大相干宽度更宽。例如,在一些实施例中,图 4 的探针 1010 的阵列 1012 的总宽度 1020 可以大于大约 2cm,并且在一些实施例中可以是 10cm 或更大。在图 2 的实施例中,任何数目的孔可以按照需要而被动态分配。该阵列 1012 被示出具有对称的连续凹曲线,然而在替换实施例中,阵列 1012 可以按照需要具有任何其他对称或不对称凹面或平面形状。

[0093] 在一些实施例中,相邻孔的距离和定向可以相对于彼此固定,诸如通过使用硬壳。在替换实施例中,孔相对于彼此的距离和定向可以是可变的,诸如用可活动链接。在替换实施例中,下面系统和方法可以按照需要用任何多孔探针使用。在更进一步的实施例中,在上面提到的本申请人的先前申请中描述的任何多孔超声波探针配置都可以与本文中所述的多普勒成像系统和方法的各种实施例结合使用。

[0094] 在一些实施例中,多孔超声波探针和成像过程可以与基于扫描线的相控阵列发射系统结合使用。在其他实施例中,多孔超声波探针和成像过程特别适合于从完全不同的发射波形受益。

[0095] 对基于声脉冲的成像的介绍

[0096] 与常规基于扫描线的相控阵列超声波成像系统相反,多孔超声波成像系统的一些实施例可以在发射脉冲期间使用点源发射。从点源发射的超声波波前(在本文中也被称作“声脉冲”)用每个圆形或球形波前照射整个关心区域。从单个接收换能器元件接收的单个声脉冲接收的回波可以被波束成形,以形成声照射的关心区域的完整图像。结合跨宽探针的多个接收换能器的数据和图像,并且结合来自多个声脉冲的数据,可以获得非常高的分辨率图像。此外,这种系统允许在非常高的帧率下成像,由于帧率仅仅受限于声脉冲重复频率,即在发射换能器元件、最大深度反射体和最远的接收换能器元件之间行进的发射波前的往返行程的传播时间的倒数。在一些实施例中,基于声脉冲的成像系统的帧率可以只等于声脉冲重复频率。在其他实施例中,如果期望从超过一个声脉冲形成帧,那么基于声脉冲的成像系统的帧率可以等于声脉冲重复频率除以每帧的声脉冲数。

[0097] 如本文中所使用的,术语“点源发射”和“声脉冲”可以指发射的超声波能量从单个空间位置到介质中的引入。这可以使用单个超声波换能器元件或一起发射的相邻的换能器元件的组合实现。来自所述元件的单个发射可以近似为均匀的球面波前,或在成像 2D 切片的情形中,其在 2D 切片内建立均匀的圆形波。在一些情形中,来自点源发射孔的圆形或

球面波前的单个发射在本文中可以被称作“声脉冲”或“点源脉冲”或“未聚焦脉冲”。

[0098] 点源发射在空间特性上不同于基于扫描线的“相控阵列发射”或“定向脉冲发射”，其中定向发射是在从换能器元件阵列的特定方向（沿着扫描线）上聚焦能量。相控阵列发射依次操纵换能器元件的组的相，以便加强或操纵关心区域声照射波到具体关心区域。

[0099] 在一些实施例中，使用一系列发射声脉冲的多孔成像可以通过将点源声脉冲从第一发射孔发射并且用两个或更多接收孔的元件接收发射的声脉冲的回波来操作。完整图像可以通过基于发射和接收回波之间的延迟时间对反射体的位置进行三角定位而形成。因此，每个接收孔可以从每个发射的声脉冲的回波形成完整图像。在一些实施例中，单个时间域帧可以通过结合在两个或更多接收孔从单个发射的声脉冲接收的回波形成的图像来形成。在其他实施例中，单个时间域帧可以通过结合在一个或更多接收孔从两个或更多发射声脉冲接收的回波形成的图像来形成。在一些这些实施例中，多个发射声脉冲可以源自不同的发射孔。

#### [0100] 基于声脉冲的波束成形的实施例

[0101] 波束成形通常被理解为一个过程，在多个分散的接收器接收的成像信号通过该过程被结合以形成完整的相干图像。基于声脉冲的波束成形的过程与这个理解一致。基于声脉冲的波束成形的实施例通常涉及，基于超声信号可以沿着其行进的路径、假定的恒定声速和发射声脉冲和接收回波的时间之间经过的时间，来确定对应于所接收的回波数据的部分的反射体的位置。换句话说，基于声脉冲成像涉及基于假设速度和测量时间的距离的计算。一旦已经计算这种距离，有可能对任何给定反射体的可能位置进行三角定位。可能用关于发射和接收换能器元件的相对位置的精确信息进行这个距离计算（如上面参考的本申请人的先前申请中，多孔探针可以被校准，以在至少期望的精确度的程度上确定每个换能器元件的声学位置）。在一些实施例中，基于声脉冲的波束成形可以被称作“动态波束成形”。

[0102] 动态波束成形器可以被用于为对应于由每个发射的声脉冲引起的每个回波的图像像素确定位置和强度。当发射声脉冲信号时，波束成形不需要被应用到所发射的波形，但是动态波束成形可以被用于结合用多个接收换能器接收的回波，以形成像素数据。

[0103] 如本文中所使用的，动态波束成形指的是，波束成形器的焦点可以被连续转换为随着像素正在成像而聚焦在每个像素位置。在一些实施例中，动态波束成形器可以绘制从发射机到每个接收换能器元件的每个回波在每个瞬时的轨迹。单个反射体（例如，图 5 中的点 (n, p) 的轨迹将位于沿着图 5 中的椭圆 52，其第一焦点在发射换能器元件 54 的位置并且第二焦点在接收换能器元件 56 的位置。尽管几个其他可能的反射体位于沿着同一椭圆（如由反射体 (g, h)、(i, j)、(k, m) 等所示），同一反射体 (n, p) 的回波也将由接收孔的每个其他接收换能器元件接收。每个接收换能器元件 (R1、R2、R3) 的稍微不同位置意思是如图 6 中所说明的，每个接收元件将具有对于反射体 (n, p) 稍微不同的椭圆形。通过为共同接收孔的所有元件连续对椭圆（例如，52、57、58）求和累计所述结果将指示接收孔的全部椭圆的交点，从而向显示表示反射体 (n, p) 的像素的点会聚。由任何数目的接收元件接收的回波振幅可以从而被组合为每个像素值。这种系统也可以被称作累积器。在其他实施例中，该计算能够被不同地组织，以达到大体上同一图像。

[0104] 该图像质量可以通过结合由波束成形器从一个或多个随后发射声脉冲形成的图

像而提高。对图像质量的更进一步提高可以通过结合由超过一个接收孔形成的图像而获得。重要的考虑因素是,来自不同声脉冲或接收孔的图像的总和是否应该是相干总和(相位敏感)或不相干总和(在没有相位信息的情况下对信号的数值求和)。在一些实施例中,相干(对相位灵敏)总和可以被用于结合由位于由一个或多个声脉冲引起的共同接收孔的换能器元件接收的回波数据。在一些实施例中,不相干总和可以被用于结合由接收孔接收的回波数据或图像数据,其可能含有相位抵消的数据。这可以是接收孔具有大于用于给定成像目标的最大相干孔宽度更大的结合的总孔时的情形。

[0105] 在一些实施例中,第一组图像可以使用同相数据获得,并且第二组图像可以从正交数据获得。

[0106] 本申请人的在先申请中描述了在 B 模式成像中使用的这种动态波束成形器的各种实施例,包括美国专利 No. 8,007,439 和美国专利申请公开 No. 2011-0201933-A1。

[0107] 对基于声脉冲的多普勒的介绍

[0108] 与常规基于扫描线的相控阵列超声波成像系统相反,多孔超声波成像系统的一些实施例可以在发射脉冲期间使用点源发射。从点源发射的超声波波前(在本文中也被称作“声脉冲”)用圆形或球形波前照射整个关心区域。因此,不需要在用基于声脉冲的成像系统发射之前为多普勒测量建立有限的关心区域(例如,如这种有限区域的“范围门”通常在本领域中已知),因为多普勒信号可以从成像视场中的任一点检测。因此,本文中所述的系统和方法的一些实施例可以被配置为循环经过并从整个声照射关心区域内的多个“测试段”单独地寻求运动信息,以便确定这些测试段的哪一个包括运动反射体。这个重要优点适用于一维多普勒信号(即流向或远离探针或阵列)和矢量多普勒两者,该矢量多普勒利用超过一个换能器阵列来检测图像平面内的二维运动矢量。当使用矢量多普勒(即,使用横向间隔开的阵列或阵列段的多普勒成像)与声脉冲发射结合,反射体能够沿着在图像平面内具有任何定向的轴被指定。轴甚至可以与多孔换能器相切,并不限于与换能器排列成行。该多孔探针需要仅仅照明所关心的领域,因为能够在所有方向对流进行计算。

[0109] 在各种实施例中,多孔超声波成像系统可以被配置为用使用未聚焦的宽波前脉冲的多孔探针来执行 B 模式成像,诸如半圆形或球面波前脉冲。这些宽的波前脉冲可以通过从点源元件(或元件组)发射持续时间短的超声波波前信号形成。在这些实施例中,也可以期望使用宽的波前发射波束用于使用多普勒技术来检测成像的对象或物质的运动。这种系统的优点包括不需要发射波束成形器和用于多普勒和 B 模式成像两者的共用接收波束成形器的可能性。另外,范围门不需要在窄的段中预先分配。而是,图像中每个像素可以单独被测试为“测试段”。此外,在一些实施例中,用具有至少两个孔的多孔探针执行多普勒成像意味着血流速度可以在任何方向被检测到。具有三个或更多孔的多孔探针可以提供进一步改进。

[0110] 基于声脉冲的多普勒发射波形的实施例

[0111] 图 7 提供了方框图,其说明了用于测量对象 110 内部的运动的基于声脉冲的多普勒处理子系统 100 的实施例。该多普勒处理子系统 100 可以是独立于或集成到更宽广的超声波成像系统中。在一些实施例中,由基于声脉冲的多普勒子系统 100 控制的发射换能器元件 120 和接收换能器元件 112 可以是超声波探针所有元件的子组(例如,图 3、8、或 10-13 的任何一个或任何其他多孔探针配置)。由接收换能器元件 112 接收的回波信号可以被发

射到指定信道的接收电子器件 122, 其可以包括各种模数和滤波电子器件。在一些实施例中, 基于声脉冲的多普勒子系统 100 可以被配置为控制探针的所有可用换能器元件。在一些实施例中, 发射元件 120 可以是专用于多普勒发射功能的单个换能器元件, 但是在其他实施例中, 发射元件 120 可以包括任何数目的探针的换能器元件, 其可以即时指定为并作为多普勒发射元件。如下面更详细描述的, 延迟控制器 124 可以被提供, 以应用指定信道延迟 126 到所接收的回波信号, 用于存储同相和正交回波信号。也可以包括下面更详细描述的存储器 220 和显示器 244 装置。

[0112] 图 7 的多普勒子系统 100 也可以包括 (软件或硬件) 波束成形器, 如下面更详细描述的, 其被配置为执行基于声脉冲的波束成形过程。复杂波形处理器 140 可以被用于执行同相和正交回波信号的复杂处理, 以便检测多普勒位移频率和 / 或确定多普勒信号的运动方向。

[0113] 图 8 说明了探针 1030 的实施例, 其包括许多接收元件 “rx”, 但是相对小的发射孔 “tx” (其可以由单个换能器元件构成或可以包括组合的两个、三个、四个、五个或更多元件), 其被用于发射未聚焦的点源脉冲信号 (aka “声脉冲”)。在一些实施例中, 发射孔可以包括标准阵列的一个或多个元件, 或者其可以是特定换能器, 被设计用于承受更大的电压摆幅并且作为发射器比作为接收器更有效。在一些实施例中, 接收元件 “rx” 可以被用于仅接收模式, 并且因此不需要花费并经历每个元件上的发射 / 接收开关的衰减。

[0114] 在一些实施例中, 诸如图 8 中示意说明的探针 1030 可以是 “单孔探针”, 其中对于探针被设计用于其的大多数成像方案, 其总孔比最大相干宽度窄。替代地, 图 8 的示意图也可以表示多孔探针的任何单个孔。

[0115] 在使用中, 基于声脉冲的多普勒子系统 (例如, 如图 7 所示) 可以控制探针, 诸如图 8 中所示, 以在高声脉冲重复率重复地从发射换能器 “tx” 发射声脉冲, 并且由接收换能器 “rx” 接收的回波可以由多普勒子系统 100 数字化。在一些实施例中, 最大理论声脉冲重复率可以由目标组织中的声速和关心区域的目标深度 (说明任何衰减) 限制。例如, 最大声脉冲重复率优选地足够缓慢, 以便第一发射波前从发射换能器行进, 在关心区域中被对象反射, 并且在发射第二波前之前到达接收换能器。然而, 该声脉冲重复率不需要比这个往返行程的传播时间慢。在一些实施例中, 进一步安全裕度可以被增加到脉冲之间的时间上, 以避免在接收换能器处脉冲重叠。在各种实施例中, 可以支持从大约 2,000Hz 到大约 8,000Hz 或更高的声脉冲重复率。在一些实施例中, 可以使用大约 2500Hz 的声脉冲重复率。

[0116] 图 7 的系统可以还包括脉冲发生器, 其被配置为生成多普勒发射波形。在各种实施例中, 为了评估运动的目的使用多普勒技术发射的超声波声脉冲可以具有比用于成像 (例如 B 模式) 目的发射的声脉冲 (或其他的超声信号) 不同的特性。在一些实施例中, 将用于多普勒成像中的波形可以在低于为用于同一关心区域的 B 模式成像发射的波形的频率下发射。例如, 如果使用在 3MHz 的频率发射的超声信号获得 B 模式图像, 那么可以使用在 2MHz 发射的超声波波形获得相应的多普勒彩色流成像 (例如, 将被覆盖在 B 模式图像上)。如本领域中众所周知, 没有假信号情况下能够检测到的最高的多普勒频率是 PRF/2。在基于声脉冲的多普勒的背景下, 这意味着没有假信号情况下可检测的最大多普勒频率是发射的多普勒声脉冲频率的一半。因此, 发射中心频率低于用于 B 模式成像的多普勒声脉冲可以减少多普勒信号的假信号的发生。

[0117] 用于多普勒成像的超声波声脉冲也可以被发射为脉冲宽度（即，周期）比为 B 模式成像发射的声脉冲长。更长的脉冲宽度使波前在特殊测试段持续足够长的时间，以便可以在返回的回波中检测到多普勒位移。这些多普勒发射声脉冲的脉冲宽度可以在周期中测量。在各种实施例中，取决于被成像的介质的特性、发射信号的频率、关心区域的深度及其他因素，多普勒声脉冲的单个周期的脉冲宽度可以直到几十或更多周期。在一些特殊实施例中，多普勒声脉冲的脉冲宽度可以在大约 10 个周期和大约 32 个周期之间。在几个具体实例中，多普勒声脉冲的脉冲宽度可以是大约 10 个周期、12 个周期、13 个周期、14 个周期、15 个周期、16 个周期、17 个周期、18 个周期、19 个周期或 20 个周期。

[0118] 脉冲长度增加可以导致“多普勒分辨率”增加（即，运动反射体的速度的测量的质量），但是更长的脉冲宽度通常也将导致“空间分辨率”的减少（即，描述运动反射体的位置的信息的质量）。因此，用于多普勒发射声脉冲的脉冲宽度的任何选择将涉及平衡这两个竞争因素。在一些实施例中，用户界面控制可以被提供，以允许用户增加或减少发射脉冲宽度。对脉冲宽度的调整可以基于诸如将成像的对象的材料、大小或密度、所期望的成像深度、或用于运动检测准确度对运动反射体位置准确度的优先、或其它相关因素的用户评定，来人工执行。在其他实施例中，超声波成像系统可以基于关于这些因素的信息的自动评定或人工输入来自动调整发射脉冲宽度。

[0119] 在一些实施例中，超声波系统可以被配置为在发射多普勒信号和 B 模式成像信号之间交替。在这些实施例中，在长多普勒声脉冲从单个发射孔发射之后，一个或多个 B 模式成像信号可以从一个或多个 B 模式成像发射孔发射。在一些实施例中，可以包括比多普勒声脉冲脉冲宽度更短并且频率更高的一个或多个声脉冲的 B 模式成像发射信号可以作为多普勒信号从同一发射孔发射，或者从一个或多个不同的发射孔发射。在其他实施例中，多普勒成像系统可以被配置为发射第二多普勒声脉冲，或从与第一多普勒声脉冲的同一发射孔发射一系列多普勒声脉冲。在还其他实施例中，多普勒成像系统可以被配置为在从第一发射孔发射第一多普勒声脉冲之后从第二发射孔发射第二多普勒声脉冲。在更进一步实施例中，任何数目的发射孔可以被用于发射多普勒声脉冲。在大多数实施例中，通常将在继续从其他的发射孔发射进一步的多普勒声脉冲之前，从一个发射孔发射完全多普勒声脉冲。

[0120] 在一些实施例中，多普勒声脉冲也可以包括前序和 / 或后续 (postamble) 信号，其可以由接收系统用于（分别地）识别多普勒声脉冲信号的开始和 / 或结束。这些前序和 / 或后续信号可以按照需要包括任何信号形。

[0121] 接收和存储基于声脉冲的多普勒回波数据的实施例

[0122] 在各种实施例中，由接收孔接收的回波可以被数字化并且存储在存储装置中（例如，使用诸如下面更详细描述的系统）。在一些实施例中，从多普勒声脉冲接收的回波数据可以被存储在两个数据组中，在本文中被称作同相数据组和正交数据组。同相数据表示具有零延迟的所接收回波信号。正交数据表示相同回波信号，但是其相对于同相数据具有大约发射波形的中心频率周期的四分之一的延迟。如下面更详细描述的，同相和正交数据可以被分析和比较，以确定任何多普勒位移的方向。

[0123] 如下面参考图 19 更详细描述的，回波数据可以为每个接收换能器元件存储在分开的数据流中。在一些实施例中，两个数据流（例如，同相和正交）或更多可以为每个换能器元件存储。

[0124] 如本文中所使用的,术语“测试段”指在检查中所接收的多普勒回波数据的离散部分。测试段的概念类似于被用于常规基于扫描线的多普勒成像的多普勒范围门的概念,但是包括更多。在基于扫描线多普勒成像中,可利用的测试段仅仅被限制于声照射对象的已经在发射和接收超声信号之前预先定义为多普勒范围门的那些段。在这些常规基于扫描线的超声波成像系统中,在任一时刻仅仅显著声照射沿着扫描线的数据。因此,在基于扫描线的系统中,多普勒门必须由位于沿着目标最小深度和最大深度之间的扫描线的区域组成。

[0125] 相反,在利用宽的波前或点源发射脉冲(例如,声脉冲)的基于声脉冲的多普勒成像系统中,全部图像平面用每个发射声脉冲声照射,结果,图像平面中的任何(或每个)像素可以被分析为单独的测试段,而无需预先定义在其中为多普勒频率测试的窄的区域。在其他实施例中,测试段可以被定义为相邻像素组。在一些实施例中,一个或更多测试段可以由用户通过适当的用户界面器件选择,诸如拨号盘、滑动器、数字键盘、触摸屏手势等等。

[0126] 使用如上所述的动态波束成形技术,由接收孔的全部元件接收的多普勒声脉冲的回波可以被结合,从而为每个反射体(由一个或多个像素表示)确定位置。然后,反射体可以被这样布置到将为多普勒频率检测评估的测试段中。在其他实施例中,回波数据可以被布置到仅基于回波数据的到达时间的测试段中。

[0127] 多普勒频率检测的实施例

[0128] 多普勒位移频率可以通过将来自单个换能器元件接收的单个多普勒声脉冲的回波分为许多样本来识别。在一些实施例中,回波信号可以被分为样本,以便每个样本大约是发射频率的单个周期的大小。例如,如果多普勒发射声脉冲的脉冲宽度为16个周期,那么从这种多普勒声脉冲接收的回波可以被分为16个等长样本,用于多普勒频率检测。然后,样本可以被分析以确定接收的回波的频率是否比相应的发射多普勒声脉冲的频率更高或更低。频率高于或低于相应的多普勒声脉冲的回波指示运动反射体。如果反射体未运动,那么来自反射体的回波信号的全部样本的振幅会大体上彼此相等。如果反射体运动,那么样本的振幅可以期望以多普勒频率变化。在一些实施例中,多普勒频率的检测可以通过将所接收回波信号分为如上所述的同相和正交数据流而得到进一步的帮助。这参考图9A和9B进一步说明。

[0129] 图9A说明了用于从多普勒声脉冲获得的单个测试段的同相回波数据的波形62的实例,并且图9B说明了用于从同一多普勒声脉冲获得的同一测试段的正交回波数据的相应的波形64。如果所讨论的测试段位于零运动的点处,那么图9A和9B的波形将具有恒定振幅,并且频率大体上等于所发射多普勒声脉冲的频率(加不可避免的噪声的影响)。实际上,图9A和9B的波形表示运动的点,并且因此为相应的多普勒频率的样本。因此,通过比较所接收的回波信号的测得频率与所发射声脉冲信号的已知频率,可以检测到多普勒位移。由于两个这种信号(即,同相信号和正交信号)之间具有大约90度的相移,有可能确定运动是向着换能器探针还是远离换能器探针。在替代实施例中,也可以使用从所接收的波形检测多普勒频率的任何其他已知方法。

[0130] 一旦为给定运动反射体检测到多普勒位移频率,就可以基于接收的多普勒回波的时间和诸如成像介质中的诸如声速(“c”)的已知信息,直接计算与所检测的多普勒频率关联的速度。例如,在一些实施例中,可以使用被称作时间域相关(TDC)的技术,其中反射体位移( $\Delta x$ )通过取声速(“c”)和所检测时间位移( $\Delta t$ ,对应于多普勒频移)的乘积的一

半来确定。

[0131]  $\Delta x = c * \Delta t$

[0132] 运动反射体的速度 (Vr) 仅仅是位移 ( $\Delta x$ ) 除以发射波形 (PP) 的连续周期之间的时期：

[0133]  $V_r = \Delta x / \text{PP}$

[0134] 在各种替代实施例中,也可以使用基于所检测多普勒频率而量化反射体的速度的任何其他已知方法。

[0135] 除了反射体的标量速度,也可以不同精度地确定运动的矢量方向,这取决于使用的分析的类型、可利用的处理能力、使用的探针类型及其他因素。通常,可以在一维上或多维上检测到运动。

[0136] 一维多普勒运动检测的实施例

[0137] 在一些实施例中,这些处理可以通过在诸如图 9A 和 9B 中说明的同相波形 62 和正交波形 64 的复杂 (实部和虚部的) 组合上执行快速傅里叶变换来实现这些处理。这种操作的结果将产生 N 个元素的复数矢量。然后,该复数元素可以被转换为振幅,或者可以计算功率谱。该元素的一半对应于正多普勒位移 (向探针的运动),并且另一半对应于负的位移 (离开探针的运动)。在替代实施例中,这个处理可以用在发射多普勒声脉冲频率下采样三个或更多帧的无限脉冲响应 (HR) 滤波器实现。在进一步实施例中,任何其他正交检测方法或任何其他已知方法可以被用于基于所检测的多普勒频率对运动反射体的方向进行一维确定。在一些实施例中,这些多普勒处理的结果可以被显示给临床医生,并且也可以拥有声频输出。在一些实施例中,多普勒数据可以作为对 B 模式扫描的覆盖 (overlay) 而显示。

[0138] 在一些实施例中,如上面参考图 2 所述,在执行任何波束成形 20 之前,在发射多普勒声脉冲之后,接收孔的每个元件接收的原始的未经波束成形的回波数据可以被分析,以检测指示运动反射体的多普勒频率位移 24。在这些实施例中,“测试段”可以基于由接收元件接收的回波的相对时间而定义并选择,而不是基于如上实施例中的反射体位置 (通过波束成形确定)。在这些实施例中,多普勒频率可以以如上所述大体相同的方式检测 24,而不是基于反射体位置定义测试段,测试段可以通过由每个接收元件接收的回波信号的定时定义。

[0139] 在一些这种实施例中,一旦在回波数据的一个或多个段中检测到 24 运动,那么指示运动反射体的那些回波就可以被波束成形 20,以便为表示运动反射体的像素确定位置。通过这种波束成形 (例如,使用诸如如上所述的动态波束成形过程),可以确定运动反射体在多普勒回波数据中的位置。在单个接收孔的全部接收元件接收的多普勒回波数据可以通过相干求和而组合,以便提高得到的位置信息的横向分辨率。

[0140] 在一些实施例中,当波束成形以定位表示将显示的图像 (或图像层) 中运动像素的像素位置时,可以忽略多普勒回波数据组指示无运动的部分或者指示速度低于阈值的那些部分。这样,仅仅由运动得比阈值快的反射体引起的多普勒回波数据可以被用于建立多普勒图像。

[0141] 在一些实施例中, B 模式成像的自动探试分析可以被用于提高将包括在最终多普勒图像 (或合成图像的多普勒图像层) 中的多普勒信息的空间分辨率。例如,B 模式图像可以被评估以识别血管 (例如, 使用诸如美国专利 8,105,239 中所述的过程)。用这种信息,

成像系统可以被配置为产生指示在仅仅被识别为血管的区域中的运动的图像。在其他医学或非医学应用中可以应用类似的方法。

[0142] 在一些实施例中,检测到的运动可以在显示器上被指示为颜色。在所检测的运动是一维的(即,向着或离开探针)实施例中,一个方向上(例如,向着探针)的运动可以以一种颜色指示,诸如红色,而在相反方向上(例如,离开探针)的运动可以以另一种颜色指示,诸如蓝色。可以通过改变两个选定颜色的强度指示变化的多普勒频率。然后,这种有颜色的多普勒图像可以用B模式图像覆盖,以便为多普勒运动信息提供背景。在其他实施例中,多普勒图像可以独立显示。使用一维基于声脉冲的多普勒方法,无需预先具体定义所关心的多普勒区域(或测试段),就可以显示在B模式图像内的任一点的运动。这是因为多普勒声脉冲将声照射由相应B模式图像的程度定义的所有关心区域。

[0143] 多维多普勒运动检测的实施例

[0144] 通过使用超过一个接收孔或超过一个发射元件,也可以检测到沿着超过一个轴排列的流的分量。在这种实施例中,沿着不同轴的流分量能够被组合,以便为每个门或像素找出流动的总速度和方向。例如参考图8,在探针1030的发射孔“tx”左边的接收元件“rx”可以被作为一个接收孔处理(例如,使用如上所述的一个一维过程),而在发射孔“tx”右边的接收元件“rx”可以作为单独的接收孔处理。在这个情形中,如与左侧孔相比,对于右侧孔的最大流动灵敏度的方向将稍微不同。在一些实施例中,方向灵敏度的这个差异可以被利用,以推断目标对象(例如,动脉中的血液)的总流量和方向。

[0145] 在替代实施例中,相同的优点可以通过利用多个发射孔和单个接收孔来实现。例如,图10说明了在每一端上都具有发射换能器元件的线性换能器阵列1034。在一些实施例中,图10的阵列1034可以足够宽,以包括多个接收孔。这些方法的每个的实施例在下面更详细地描述。

[0146] 在一些实施例中,总孔大于为用于设计成像场景的最大相干孔宽度两倍、三倍或更多倍的多孔超声波探针可以被用于增加点源发射孔“tx”、将评估的像素、和每个接收孔对着(subtend)的角度。通过增加到被评估的像素的路径之间的角度,在不同接收孔处的测量结果之间的差异通常将更大,并且所推断的总流量和方向将更不容易出错。在一些实施例中,多孔探针可以是双孔系统,诸如图11中所示的阵列1032或图12的阵列1036。在其他实施例中,多孔探针可以是如图13中所示的三孔探针1038。进一步实施例提供了许多其他可能性,诸如将一个或多个发射孔放在接收阵列的边缘,而不是中心,放在凸状或凹状曲线阵列,或者放在在沿着阵列不同点放置的多个发射孔。在一些实施例中,可以使用超过一个发射孔,并且通过使用每个发射孔接收的多普勒结果可以用来自其他发射孔的结果求平均值,以进一步提高结果。图10中说明了具有多个发射孔的探针1034的实例。

[0147] 图14说明了过程300的实施例,其用于使用多孔超声波探针检测标量速度测量并且基于探针几何结构进行与回波数据相独立的近似。根据图14的过程300,该超声波成像系统可以首先确定302正在使用多孔超声波探针。这种识别302可以通过探针和连接探针时的成像系统之间的握手通信发生。替代地,这种检测302可以简单地涉及确定使用多孔探针收集存储数据组。

[0148] 该过程300也可以涉及为图像域中每个像素计算或以其他方式获得304校正因数的阵列(即,用于通过其将成像特定反射体的每个声路径的校正因数)。如下面将进一步描

述的,可以基于使用的多孔探针的发射和接收孔的几何结构为每个孔内声路径计算数据独立近似因数。可以使用任何可利用的方法识别并定位 306 运动反射体,这些方法包括本文中所述的方法。可以通过将所测量速度乘以这种数据独立近似因数来计算 308 最小反射体速度。通过求平均值、加权平均或任何其他方法可以聚集多个速度测量结果,从而进一步细化最小速度估算的准确度。

[0149] 参考图 15 并且如下面更详细描述的,连接发射孔 320 和像素位置 315 的第一线 321 与将像素位置 315 连接到接收孔 322 的第二线之间的角度  $\Phi_1$  仅仅取决于探针的已知几何结构和使用的图像窗口。图 15 还说明了发射线 321 和各自接收线 325 和 327 之间的角度  $\Phi_2$  和  $\Phi_3$ 。结果,对于给定探针和图像窗口,可以为发射孔 320、像素位置 315 和接收孔 322、324 或 326 的每种组合(即为每个声路径)预先计算角度  $\Phi$ 。一旦已经确定角度  $\Phi$ ,就可以为每个像素位置和像素上的每个声学窗口预先计算等于  $1/\cos(\Phi/2)$  的数据独立近似因数。对于  $\Phi$  为零的任何声路径(即,孔内声路径),该校正因数将简单地为一( $\cos(0) = 1$ )。对于  $\Phi$  几乎为零的任何声路径,校正因数也可以假定是一。

[0150] 再次参考图 14,使用如上所述的任何方法,或任何其他适当的方法,多普勒频率检测可以用于使用一个或多个声路径来鉴定、定位和确定运动反射体 306 在任何(或每个)像素位置的速度。然后,对于任何给定像素,通过每个声路径获得的速度可以乘以 308 用于该声路径的数据独立近似因数,从而获得表示反射体的最小速度的速度测量结果。可以结合(诸如通过求平均值或加权平均)由多个声路径获得的速度测量结果,从而进一步提高测量的准确度。在其他实施例中,由多个声路径获得的最大速度测量结果可以被视为所述最小速度测量结果。

[0151] 图 16 说明了过程 350 的实施例,其用于检测表示运动反射体在图像平面内的速度和方向的二维速度矢量。图 16 的过程 350 可以与图 14 的过程 300 大体相同的步骤开始,包括检测多孔超声波探针 302 的存在、为将使用的声路径计算 304 调节因数、使用多普勒检测技术识别并定位 306 运动反射体、和应用 308 数据独立调整因数。在计算速度方向之前,该数据独立调整因数可以被用作对速度的修正。然后,可以通过结合使用两个不同声路径获得的测量结果,来计算 360 速度矢量。可以通过求解源于用于两个所使用路径的声路径几何结构的一组联立方程,来计算 360 反射体在图像平面内的运动速度和方向。下面参考等式 1-7 提供这些联立方程的实例。

[0152] 然后,可以结合 362 使用来自多对声路径的测量获得的速度矢量,诸如通过找到矢量的叉积。在一些实施例中,一个或多个声路径可以被识别(由用户人工,或者由成像系统或图像处理系统自动),从而更可能为特殊反射体提供运动速度和方向的精确测量。在这些实施例中,当结合通过多个声路径获得的矢量时,使用这些更高质量的声路径获得的速度矢量可以被给予更高的加权值。

[0153] 为了描述上简单,将参考图 12 的探针 1036 描述多孔多普勒成象系统的工作。由于本文中的描述和说明,对图 13 的探针 1038 或者任何其他的可能探针构造的这个分析的扩展对本领域技术人员而言是清楚。

[0154] 图 12 的探针 1036 包括其上具有至少一个指定的发射元件“tx”的第一水平阵列。如上所示,发射元件可以位于第一水平阵列的中心。在一些实施例中,未用于发射功能的换能器元件可以为接收功能保留。相对于第一阵列成直线或以角度放置的第二阵列可以完全

被指定为用于接收回波。每个元件在第一和第二阵列每个上的声学位置优先地在至少所期望的精度上精确已知。

[0155] 图 17 说明了图 12 的系统的进一步简化表示。在图 17 中, 点 c1050 表示将为其估算流的速度和方向的测试段 (在本文中称作候选点 1050)。为这个讨论目的, 在点 c1050 的真实速度被表示为  $V$ , 并且真实方向被表示为角度  $\gamma$ 。点 “a”1052 表示水平阵列的中心, 并且对应于发射孔 “x” 的位置以及第一接收孔 “Rx1” 的中心。点 “b” 表示第二接收孔 “rx2” 的中心元件。

[0156] 线 “a-c” 1062 表示发射波前从发射元件 “tx” 行进到候选点 1050 的路径。线 “a-c” 1062 也表示回波从候选点 1050 返回到第一接收孔 “Rx1” 的中心的路径。线 “b-c” 1064 表示回波从候选点 1050 行进到第二接收阵列 “Rx2” 上的点 “b” 1054 的路径。角  $\alpha$  是线 “a-c” 1062 相对于水平参照线 1070 的角度。类似地, 角  $\beta$  表示线 “b-c” 1064 相对于同一水平参照线 1070 的角度。

[0157] 如果候选点 “c” 1050 由来自从发射孔 “tx” 发射的脉冲的回波的第一接收孔 “Rx1” (即, 沿着声路径 “a-c”) 成像, 那么多普勒信息将对运动沿着线 “a-c” 1062 的分量最灵敏。用从发射孔 “tx” 发射的多普勒信号对来自第二接收孔 “Rx2” 的同一候选点 “c” 1050 (即, 沿着声路径 “a-c-b”) 成像, 对于多普勒信息最灵敏的轴是所说明的线 “d-c” 1066, 其将角度 “a-c-b” 1068 二等分。这是因为多普勒信息 (即接收回波的频率相对于发射多普勒声脉冲频率的增加或减少) 将受沿着线 “d-c” 1066 的发射和接收路径两者的影响。线 “d-c” 离水平参照 1070 的角度为  $\delta = (\alpha + \beta)/2$ 。因此, 无需进行更进一步的分析, 上述确定运动方向的一维方法可以被采用以测量沿着在点 “c” 处沿着反射体的线 “d-c” 1066 的速度分量。

[0158] 对于这个讨论,  $V_{max}$  表示对于给定多普勒声脉冲频率可检测的最大速度。如本领域中众所周知, 没有假信号可检测的最大的多普勒频率是 PRF/2。在基于声脉冲的多普勒的背景中, 这意味着没有假信号可检测的最大多普勒频率是发射的多普勒声脉冲频率的一半。以  $V_{max}$  在候选点 “c” 运动的颗粒沿着路径 “a-c” 返回的相移为每个脉冲  $\pi$  弧度。这等于在脉冲之间的时间中运动四分之一波长 ( $\lambda/4$ ) 的颗粒。然而, 沿着路径 “d-c” 并且由第二接收孔 “Rx2” 沿着路径 “a-c-b” 的相移感测的同一速度产生仅仅  $\pi \cos(\delta - \alpha)$  的相移。这能够参考图 18 看出, 其中在候选点 1050 的颗粒被表示为沿着路径 “d-c” 行进距离  $\lambda/4$  到点 e1074 (图中距离被夸大)。使到点 f1080 的垂直线在点 “c” 下落到线 “a-e” 上建立了三角形 “c-e-f”, 其中段 “e-f” 1082 表示用于路径 “a-c” 的路线长度的增加, 由于在点 “c”的反射体运动到点 “e” 1074 的位置。注意到角度 “d-e-a” 几乎等于角度 “d-c-a” (因为距离 “c-e” 非常小), 那么 “e-f”  $\sim = \lambda/4 \cos(\delta - \alpha)$ 。由于这个递增的路线长度与用于路径 “c-b” 的相同, 那么总的相位移为  $\pi \cos(\delta - \alpha)$ 。因此沿着路径 “a-c-d”的所有测量可以通过将这些测量乘以  $1/\cos(\delta - \alpha)$  来校正。

[0159] 幸运地是, 如上面所计算的角差和修正能够为每个图像像素预先已知, 并且这不取决于发射或回波数据。这是因为每个图像像素都绘制到关心区域内的已知位置, 并且因为每个换能器元件的声学位置由成像系统已知 (例如, 如诸如上面参考的本申请人的在先申请中所讨论校准系统确定的)。因此, 对于选定图像深度, 能够从已知的探针几何结构计算用于每个图像像素和每个发射孔 / 接收孔组合 (即, 每个声路径) 的角度  $\delta$  和  $\alpha$ 。因

此,能够在多普勒测量过程期间预先计算并且在存储器中存储在任何选定成像深度或图像窗口的用于每个像素的校正因数的阵列。在其他实施例中,可以动态计算这些校正因数。

[0160] 可以通过确定由发射孔、反射体点和接收元件(例如如图15中所示)形成的角度 $\Phi$ ,然后为该声路径将数据独立校正因数计算为 $1/\cos(\Phi/2)$ ,来为任何孔内声路径计算类似的校正因数。用于任何孔内声路径(对于其 $\Phi$ 是零)的校正因数将等于一(因为 $\cos(0) = 1$ )。

[0161] 用于沿着路径a-c-b的多普勒位移的校正 $= 1/\cos(\delta - \alpha)$  (1)

[0162] 假设进行这个校正(并且关于用于诸如图13中的多孔配置的发射-接收路径两者),用于 $V$ 和 $\gamma$ 的计算可以如下进行。

[0163] 让 $V_a$ 为使用声路径“d-c”在点“c”的 $V$ 的测量结果,并且让 $V_b$ 为使用声路径“a-c”在点“c”的 $V$ 的测量结果。那么

[0164]  $V_a = V \cos(\gamma - \alpha)$  (2)

[0165]  $V_b = V \cos(\gamma - \delta)$  (3)

[0166] 由于 $V_a$ 、 $V_b$ 、 $\alpha$ 和 $\delta$ 已知或已测量,那么能得到 $V$ 和 $\gamma$ 如下:

[0167] 让 $K = V_a/V_b$

[0168] 如果 $V_b$ 不是零或不接近零,

[0169]  $\cos(\gamma - \alpha) = K \cos(\gamma - \delta)$

[0170]  $\cos \gamma \cos \alpha + \sin \gamma \sin \alpha = K \cos \gamma \cos \delta + K \sin \gamma \sin \delta$

[0171]  $(\cos \alpha - K \cos \delta) \cos \gamma = (K \sin \delta - \sin \alpha) \sin \gamma$

[0172]  $\tan \gamma = (\cos \alpha - K \cos \delta) / (K \sin \delta - \sin \alpha)$  如果 $V_b \neq 0$

[0173]  $\gamma = \arctan((\cos \alpha - K \cos \delta) / (K \sin \delta - \sin \alpha))$  如果 $V_b \neq 0$  (5)

[0174] 替代地,如果 $V_a$ 不是零或不接近零,

[0175]  $K' = V_b/V_a$  (6)

[0176]  $\cos \gamma \cos \delta + \sin \gamma \sin \delta = K' (\cos \gamma \cos \alpha + \sin \gamma \sin \alpha)$

[0177]  $(\cos \delta - K' \cos \alpha) \cos \gamma = (K' \sin \alpha - \sin \delta) \sin \gamma$

[0178]  $\tan \gamma = (\cos \delta - K' \cos \alpha) / (K' \sin \alpha - \sin \delta)$  如果 $V_a \neq 0$

[0179]  $\gamma = \arctan((\cos \delta - K' \cos \alpha) / (K' \sin \alpha - \sin \delta))$  如果 $V_a \neq 0$  (7)

[0180] 在使用适合等式得到 $\gamma$ 之后,等式(2)或(3)任一个可以被用于评估速度 $V$ ,不考虑流体流动方向。

[0181] 对于许多应用,等式(4)和(5)或(6)和(7)的相对复杂的计算可能不被证明是正确的。如果进行等式(1)的修正,其不是依靠数据的(即,这些值可以基于探针几何结构和成像深度和像素位置已知,而无需任何回波数据),那么估算总速度的最大误差通过使用下列等式:

[0182]  $S(\text{speed}) = (V_a + V_b) / 2$  (8)

[0183] 能够被如下计算:

[0184]  $S = V/2(\cos(\gamma - \alpha) + \cos(\gamma - \delta))$

[0185] 当下列情况,最大速度出现,

[0186]  $dS/d\gamma = -V/2(\sin(\gamma - \alpha) + \sin(\gamma - \delta)) = 0$

[0187] 然后

[0188]  $\sin(\gamma - \alpha) = -\sin(\gamma - \delta) = \sin(\delta - \gamma)$

[0189]  $\gamma - \alpha = \delta - \gamma$

[0190]  $2\gamma = \alpha + \delta$

[0191]  $\gamma = (\alpha + \delta)/2$

[0192] 因此当  $V$  与角度  $(\alpha + \delta)/2$  排成直线时, 最大速度出现。

[0193] 该系统对在与线“d-c”正交的方向上的流动最不灵敏, 也就是  $(\alpha + \delta)/2 + \pi/2$ 。

[0194]  $S = V/2[\cos((- \alpha + \delta + \pi)/2) + \cos((\alpha - \delta + \pi)/2)]$

[0195]  $= V/2[\sin((\delta - \alpha)/2) + \sin((\delta - \alpha)/2)]$

[0196]  $= V \sin((\delta - \alpha)/2)$

[0197] 在图像的角度  $(\delta - \alpha)$  大于 30 度的任何区域中, 使用这个简化方式在正交方向上的速度将被低估不超过 50%。

[0198] 对于与角度  $(\alpha + \delta)/2$  对齐的流动,

[0199]  $S = V \cos((\delta - \alpha)/2)$ .

[0200] 因此, 在其中  $(\delta - \alpha)/2$  小于 60 度的任何区域中, 使用这个简化方式在方向  $(\alpha + \delta)/2$  的方向上的速度分量将被低估不超过 50%。

[0201] 相反, 由单个角度 (或一维) 颜色流多普勒估算的速度能够在与测量角度正交的方向上完全错过速度。

[0202] 在上述分析中, 使用接收孔  $rx$  的中心基于接收孔关于中心点对称的假设来执行计算, 并且在执行速度计算之前连续对由接收孔的单个元件接收的回波求和。在其他实施例中, 可以在上述速度计算中使用在接收孔上的任何其他的点。在进一步实施例中, 上述计算可以延伸至如由接收孔的每个单个元件所测量的那样分别计算速度。

[0203] 类似地, 由于本文中所述的如将对本领域技术人员清楚的, 上述分析也可以被延伸至利用超过两个接收孔和 / 或超过一个发射孔的系统。例如, 上述分析可被应用到包括第三接收孔的超声波探针, 诸如图 13 中的中心阵列“rx3”。在这些实施例中, 任何给定运动反射体“c”的速度的第一测量可以使用如被应用到中心接收孔“rx3”和左接收孔“rx2”的分析来计算。反射体“c”的速度的第二测量可以使用如被应用到中心接收孔“rx3”和右接收孔“rx1”的分析来计算。然后, 第一和第二速度矢量可以被求平均值以获得最终速度测量。在一些实施例中, 第一和第二速度矢量可以与加权平均值结合, 加权平均给发射 / 接收孔对更多加权值, 其提供了被测量点的更好的视图。类似地, 使用两个发射孔和一个或多个接收孔测量的速度矢量可以被平均, 以提高速度测量的准确度。

[0204] 例如, 在一些实施例中, 上述过程可以用于使用第二、第三、第四、第五 (或任何数目额外的) 接收孔同时与第一接收孔获得速度测量。在这些实施例中, 可以 (例如, 通过求平均值或加权平均) 结合从全部接收孔获得的速度数值和方向测量, 从而进一步增加这些测量的准确度。

[0205] 非多普勒运动检测

[0206] 图 20 说明了使用基于声脉冲的成像系统而无需检测多普勒频率就可以检测运动的过程 400 的实例。这些实施例可以使用高帧率声脉冲成像和图像处理技术来检测所成像像素的运动。因为完整图像可以从单个发射声脉冲的回波计算 (如上并且在上面参考的本申请人的在先申请中所述), 所以可以以与最大可能的声脉冲重复率一样高的帧频获得声

脉冲图像,所述帧频仅仅由单个声脉冲信号的往返行程的传播时间来限制。换句话说,因为单个声脉冲需要形成图像,那么对帧频的唯一重要限制是在所成像介质中的超声波声速。例如,在一些实施例中,当用足够高的的帧频下的图像序列成像到 18cm 深度时,基于声脉冲的成像系统能够实现每秒 4000 帧或更高的帧频,可以直接看到对象的运动。此外,可以进行高帧频图像的序列的计算机分析,以便使用颜色流或任何其他技术自动识别并突出运动。

[0207] 因此,在一些实施例中,用于非多普勒运动检测方法的过程 400 可以包括通过选择发射孔 402、发射 B 模式声脉冲 404、用多个孔 406 接收 B 模式声脉冲的回波 406 来获得单个帧。步骤 402-406 可以重复 408,以获得一些帧(例如,几十个、几百个或几千个帧)。(在一些实施例中,步骤 402-406 可以用不同发射孔重复,以便为第一帧获得额外数据)。然后,每个帧都可以被波束成形,以获得一系列图像 410。

[0208] 在一些实施例中,然后可以使用通常用于图像处理的许多已知运动评估技术的任何技术来进行 412 对高帧频图像的序列的自动分析。使用这些技术,快速运动反射体(诸如管中流体或血)可以区别于静止或慢慢运动的对象(诸如管壁、血管壁或固体组织)的较慢运动。像素值比来自静止或缓慢运动对象所期望的更快的变化可以被检测为运动并且被显示为叠加在 B 模式图像上的颜色。然后,可以强调被识别为表示运动对象或物质的像素 414,诸如类似于本文中所述的其他实施例通过应用强度或色调依赖于运动的方向和速度而变化的颜色。在一些实施例中,诸如基于在几个帧上每个像素的频率分析的信号处理可以被用于区别快速运动小反射体和缓慢运动的大反射体。在各种实施例中,这些技术可以被用于确定所关心的成像区域内任何方向上的运动速度矢量。

[0209] 显示运动信息

[0210] 不论是使用多普勒技术或高帧频运动评估技术来检测到运动,可以建立一个或多个阈值以提供用于从“缓慢运动”或“静止”点区别“快速运动”点的测试。在各种实施例中,阈值可以由用户人工建立或者由软件代理基于因数自动确定,该因数例如已知成像对象中所检测的运动和/或有关所期望的运动范围的信息的分析。在一些实施例中,可以用与快速运动点不同的颜色或强度显示缓慢运动或静止点。

[0211] 关于颜色流多普勒,本发明的实施例能够能够潜在地为可用显示器提供过多信息。在一些实施例中,可以用不同颜色来对每个流角度进行颜色编码,但是这些颜色的解释可能令人困惑。当前医学实践中颜色流多普勒的一个重要使用是检测血流的逆流和紊流。为了这些目的,可以期望双颜色系统。

[0212] 在这些实施例中,在检测到流动的局部区域,可以确定用于流动的最大轴(诸如沿着动脉或通过瓣膜)。然后,在沿着最大流动轴的一个方向上的运动可以由一个颜色的色调指示(诸如红色),并且在相反方向上的运动可以由另一个颜色指示(诸如蓝色)。因此,在一些实施例中,基于找到沿着最大轴的每个方向的分量,所有方向可以被显示为红色或蓝色。

[0213] 在这些实施例中,该超声波成像系统或图像显示工作站可以被配置有用户界面,用户可以用该用户界面确定应该为其分配颜色的轴(单个维)或坐标系(二维)。例如,用户可以确定单个维,以便根据沿着所选择轴的速度分量的符号和数值,图像中的每个像素都被分配颜色(例如红色或蓝色)。在其它实施例中,可以定义二维彩色系统,以便可以基

于沿着第二轴的速度分量应用至少第三颜色。在各种实施例中,主流的一个、两个或更多轴可以由运动数据的软件分析自动确定或者由用户通过适当的用户界面人工确定。例如,主运动的轴可以通过计算所有(或几个)速度矢量的平均值来确定。

[0214] 例如,可以定义坐标系,以便沿着横轴的正的速度分量的像素被着色红色,其强度与沿着横轴的速度分量的数值成比例。在同一实例中,具有沿着横轴的负的速度分量的像素可以被着色蓝色,其强度与负的横向速度分量的数值成比例。然后,具有沿着纵轴的正的速度分量的像素可以被着色另一种颜色,诸如黄色,其强度与正的纵向速度分量的数值成比例。也可以使用任何其他坐标系(例如,径向坐标或非正交坐标系)和配色方案。

[0215] 对于流体流动不具有主方向的更加复杂的情况下,为每个流角度采用不同颜色的显示可以是优选地。

[0216] 频谱多普勒是一种形式的超声图像显示,其中流速度的谱在Y轴上图形表示,并且时间在X轴上图形表示。在一些实施例中,谱分析所需的所有数据可以对B模式图像中的每个均可用。控制器将为将光标放置在所关心的区域并且确定样本尺寸所必需的,以结合以光标位置为中心。

[0217] 在一些实施例中,对上面讨论到的类似技术可以被用于本领域中已经称作“功率多普勒”。功率多普勒是非定向的并且已经被用于检测非常低的流率。为了区别非常低的流率,该系统可能需要发射非常长的多普勒声脉冲,以在多普勒声脉冲频率下实现更多样本。这可以具有降低帧频的效果。在一些实施例中,如功率多普勒中惯例的,可以放弃方向信息,或者可以如上所述参考彩色多普勒描述那样显示出方向信息。

[0218] 存储器架构

[0219] 如上所述的系统和方法的各种实施例可以通过使用被配置为存储成像期(session)的数字化回波波形的超声波成像系统来进一步提高。这些数字回波数据可以随后在被配置为波束成形和处理回波数据以形成图像的成像系统上或者在独立电脑或其它工作站上处理。在一些实施例中,这种工作站装置可以包括具有软件的任何数字处理系统,该软件用于使用如上所述的任何技术动态波束成形并处理回波数据。

[0220] 图19是说明部件的方框图,其可以被包括在被配置用于存储回波数据的超声波成像系统的一些实施例中。图19的图形包括几个子系统:发射控制子系统204、探针子系统202、接收子系统210、图像生成子系统230,和视频子系统240。与大多数超声系统不同,图19的系统提供了存储装置,其被配置为存储原始的未经波束成形的回波数据,用于后面的取回和处理。

[0221] 在各种实施例中,所接收的回波数据可以在各个阶段从纯模拟回波信号存储到完整处理的数字图像甚至数字视频。例如,纯原始模拟信号可以使用模拟记录介质存储,诸如模拟磁带。在稍微高的处理水平下,数字数据可以在将模拟信号穿过模拟-数字转换器之后立即存储。可以在数字化回波数据上执行进一步处理,诸如带通滤波、内插、向下采样、向上采样、其它滤波等,并且可以在这些额外滤波或处理步骤之后存储原始数据。然后,这些原始数据可以被波束成形,以便为每个接收的回波确定像素定位,从而形成图像。单独图像可以作为帧而结合,以形成视频。在一些实施例中,可以期望在执行非常少的处理之后存储数字化回波数据(例如,在数字回波数据的一些滤波或调节之后,但是在执行任何波束成形或图像处理之前)。一些超声系统存储波束成形的回波数据或经完全处理的图像数据。

尽管如此,如本文中所使用的,短语“原始回波数据”和“原始数据”可以指所存储的回波信息,这些回波信息描述在波束成形之前的任何处理水平上的接收到的超声回波(RX数据)。原始回波数据可以包括由B模式声脉冲、多普勒声脉冲、或任何其他超声发射信号得到的回波数据。

[0222] 除了接收回波数据之外,也可以期望存储有关一个或多个超声发射信号的信息,该信号生成特定组的回波数据。例如,当用如上所述的多孔声脉冲超声方法成像时,期望知道有关生成特定组回波的发射声脉冲的信息。这种信息可以包括一个或多个发射元件的身份和/或位置以及频率、大小、脉冲宽度、持续时间或描述发射超声信号的其它信息。发射数据在本文中一起称作“TX数据”。在一些实施例中,这些TX数据可以被明确存储在同一原始数据存储装置中,在该原始数据存储装置中存储原始回波数据。例如,描述发射信号的TX数据可以被存储为一组由发射信号生成的原始回波数据之前的报头或在发射信号生成的一组原始回波数据之后的页脚。在其他实施例中,TX数据可以被明确存储在单独的存储装置中,其对用于运行波束成形过程的系统而言是可访问的。在其中明确存储发射数据的实施例中,短语“原始回波数据”或“原始数据”也可以包括这些明确存储的TX数据。在更进一步实施例中,换能器元件位置信息可以被明确存储在同一或分开的存储装置中。这种元件位置数据可以被称作“校准数据”或“元件位置数据”,并且在一些实施例中通常可以被包括在“原始数据”内。

[0223] TX数据也可以被暗中存储。例如,如果成像系统被配置为在一致的或已知序列中发射一致定义的超声信号(例如,一致的大小、形状、频率、持续时间等),那么可以在波束成形过程期间采用这种信息。在这些情形中,需要与回波数据关联的唯一信息是发射换能器的位置(或身份)。在一些实施例中,这种信息可以基于原始数据存储器中的原始回波数据的组织来暗中获得。例如,系统可以被配置为存储每个声脉冲之后的固定数量的回波记录。在这些实施例中,来自第一声脉冲的回波可以被存储在存储器位置0到“n”(其中,“n”是为每个声脉冲存储的记录的数目),而来自第二声脉冲的回波可以被存储在存储器位置n+1到2n+1。在其他实施例中,可以在回波组之间留下一个或多个空的记录。在一些实施例中,可以使用各种存储器交叉存取技术暗示发射声脉冲和接收回波数据点(或回波组)之间的关系,来存储接收的回波数据。类似的,假设在一致的、已知采样率下采用数据,那么接收每个回波数据点的时间可以从该数据点在存储器中的位置推断出来。在一些实施例中,相同技术也可以被用于在单个原始数据存储装置中暗中存储来自多个接收信道的数据。

[0224] 如图19中所示,超声波成像系统200可以包括超声探针202,其可以包括多个单独超声换能器元件,其中一些可以被指定为发射元件,并且其中另外的可以被指定为接收元件。在一些实施例中,每个探针换能器元件可以将超声振动转换为随时间变化的电信号,并且反之亦然。在一些实施例中,该探针202可以包括以任何所期望配置的任何数目的超声换能器阵列。与本文中所述的系统和方法连接使用的探针202可以按照需要具有任何配置,包括单孔和多孔探针。

[0225] 来自探针202的元件的超声信号的发射可以由发射控制器204控制。在接收发射信号的回波时,探针元件可以生成对应于所接收超声振动的随时间变化的电信号。表示接收回波的信号可以从探针202输出并且发送给接收子系统210。在一些实施例中,该接收子

系统可以包括多个信道，每个信道可以包括模拟前端器件（“AFE”）212 和模拟数字转换器件 (ADC) 214。在一些实施例中，接收子系统 210 的每个信道也可以在 ADC214 之后包括数字滤波器和数字调节器（未示出）。在一些实施例中，在 ADC214 之前也可以提供模拟滤波器。每个 ADC214 的输出可以被引导到原始数据存储装置 220 中。在一些实施例中，可以为探针 202 的每个接收换能器元件提供接收子系统 210 的独立信道。在其他实施例中，两个或更多换能器元件可以共享共同的接收信道。

[0226] 在一些实施例中，模拟前端器件 212 (AFE) 可以在将信号传到模拟数字转换器件 214 (ADC) 之前执行某些滤波过程。ADC214 可以被配置为以一些预先确定的采样率将接收模拟信号转换为一系列的数字数据点。不同于大多数超声系统，然后，图 19 的超声波成像系统的一些实施例可以在执行任何进一步的波束成形、滤波、图像层结合或其他图像处理之前，存储数字数据，这些数字数据表示在原始数据存储装置 220 中每个单独接收元件接收的超声回波信号的时间、相位、大小和 / 或频率。

[0227] 为了将所获取的数字样本转换为图像、数据转换为图像，该数据可以由图像生成子系统 230 从原始数据存储器 220 取回。如图所示，该图像生成子系统 230 可以包括波束成形块 232 和图像层结合（“ILC”）块 234。在一些实施例中，波束成形器 232 可以与包括探针校准数据的校准存储器 238 通信。探针校准数据可以包括关于精确声学位置、操作质量的信息，和 / 或关于单独探针换能器元件的其他信息。该校准存储器 238 可以实体上位于探针内、在成像系统内、或在探针和成像系统两者外的位置。

[0228] 在一些实施例中，在穿过图像生成块 230 之后，然后图像数据可以被存储在图像缓冲存储器 236 中，其可以存储波束成形的和（在一些实施例中）层组合的图像帧。然后，视频子系统 240 内的视频处理器 242 可以从图像缓冲器取回图像帧，并且可以将该图像处理为可以在视频显示器 244 上显示和 / 或作为数字视频剪辑被存储在视频存储器 246 中的视频流，例如本领域中称作“影片回放”。

[0229] 在一些实施例中，该发射控制器 204 可以包括模拟和数字部件的任何组合，这些模拟和数字部件用于控制探针 202 的换能器元件按照所期望的成像算法以所期望频率和间隔从所选定发射孔发射未经聚焦的超声声脉冲。在一些实施例中，发射控制器 204 可以被配置为在超声频率的范围发射超声声脉冲。在一些（而不是所有）实施例中，发射控制器也可以被配置为作为相控阵列工作，发射经聚焦的（即，发射波束成形）超声扫描线波束。

[0230] 在一些实施例中，AFE212 可以被配置为在将模拟信号传到模拟数字转换器件之前对接收的模拟信号执行各种放大和滤波过程。例如，AFE212 可以包括放大器，诸如低噪声放大器 (LNA)、可变增益放大器 (VGA)、带通滤波器，和 / 或其他的放大或滤波器件。在一些实施例中，AFE 器件 212 可以被配置为在接收触发信号时开始将模拟信号传到 ADC214。在其他实施例中，AFE 器件能够“自由运行”，连续将模拟信号传到 ADC。

[0231] 在一些实施例中，每个模拟数字转换器 214 通常都可以包括被配置为以一些一致的预先确定的采样率对接收的模拟信号继续采样的任何装置。例如，在一些实施例中，模拟数字转换器可以被配置为以 25MHz 记录随时间变化的模拟信号的数字样本，25MHz 为每秒 2500 万个样本或每 40 纳秒一个样本。因此，由 ADC 采样的数据可以简单地包括数据点的列表，每个数据点都可以对应于在特定瞬间的信号值。在一些实施例中，AFE 器件 212 可

以被配置为在接收触发信号时开始对模拟信号进行数字采样。在其他实施例中，ADC 器件能够“自由运行”，连续采样所接收的模拟信号。

[0232] 在一些实施例中，原始数据存储装置 220 可以包括任何适合的易失性或非易失性存储器储存器件。在一些实施例中，原始数据存储器 220 也可以包括通信电子器件，其用于通过有线或无线网络将原始数字超声数据发射到外部装置。在这些情形中，发射的原始回波数据可以以任何所期望格式存储在外部装置上。在其他实施例中，原始数据存储器 220 可以包括易失性存储器、非易失性存储器和通信电子器件的组合。

[0233] 在一些实施例中，该原始数据存储装置 220 可以包括暂时（易失性或非易失性）存储器段和长期非易失性存储器段。在一些实施例的实例中，在波束成形器不能工作足够快以容纳来自 ADC 的全速数据的情形中，暂时存储器可以作为 ADC 和波束成形器之间的缓冲器。

[0234] 在一些实施例中，长期非易失性存储装置可以被配置为从暂时存储装置或直接从 ADC 接收数据。这种长期存储装置可以被配置为存储大量原始回波数据用于后续处理、分析或发射到外部装置。

[0235] 在一些实施例中，原始数据存储器中的数据数量可取决于数字采样率、每个数据样本（以比特或字节）的尺寸、所应用的任何数据压缩及其他因素。因此，在一些实施例中，具有大约 2GB 容量的存储装置可以存储对应于大约六秒实时显示的原始回波数据。在其他实施例中，表示更短或更长时段的数据可以以相同的存储器的量存储。

[0236] 在一些实施例中，该波束成形块 232 和图像层结合块 234 可以每个都包括任何数字信号处理和 / 或计算部件，这些部件被配置为执行指定过程（例如，如下所述）。例如，在各种实施例中，该波束成形 232 和图像层结合 234 可以由在 GPU 上运行的软件或由在 FPGA 架构上运行的固件执行。

[0237] 在一些实施例中，该视频处理器 242 可以包括任何视频处理硬件、固件和软件部件，其可以被配置为将图像帧组合为视频流，用于显示和 / 或存储。

[0238] 在一些实施例中，可以大体上实时接收、波束成形、处理和显示回波数据（在一些实施例中存在一些等待时间），而在存储装置中同时存储回波数据。在一些这种实施例中，用于实时显示的处理和 / 或波束成形可以包括从存储装置（其可以以环形缓冲模式工作）取回由多个声脉冲引起的回波数据，并且可以在从不同时间发射的多个声脉冲接收的回波数据上同时执行波束成形或处理。在其他实施例中，回波数据被存储在长期存储储存装置中，并且可以波束成形和处理用于在更晚的时间显示，和 / 或使用与被用于发射和接收超声信号的系统完全不同的计算硬件。这种单独的计算系统通常可以被认为是成像工作站。

[0239] 在成像期间，其中如在一个或多个上面实施例中所述那样发射多普勒声脉冲信号，可以使用如上所述的仪器（或等效仪器）获取并存储大体上未经处理的回波数据。这种原始回波数据可以被获取并存储（无论该回波是否被处理），以在初始成像期间显示多普勒分析的结果。因此，在一些实施例中，从多普勒声脉冲接收的回波可以仅仅使用从原始数据存储装置取回的所获取的原始回波数据和有关成像期间的任何其他可使用信息（诸如描述多普勒声脉冲的相应 TX 数据）而被解释或分析。

[0240] 在一个实例中，多孔多普勒图形可以在成像期间发射，并且无需在实况成像期间处理或显示彩色流多普勒就可以获取并存储得到的多普勒回波数据。所存储的原始回波数

据随后可以从存储器取回并且使用相同或不同的处理硬件处理,以便显现 (visualize) 并分析多普勒成像的结果。在另一个实例中,多孔多普勒图形可以在成像期间在 B 模式成像信号中间或与其同时发射,并且可以接收、获取并存储得到的 B 模式成像数据,而同时将该 B 模式图形和多普勒图像波束成形、处理和显示在单个显示器上 (例如,以覆盖图像或作为分开的并列图像)。

[0241] 使用多孔声脉冲成像过程生成超声图像意味着来自所有关心区域的图像是总是“聚焦的”。这是成立的,由于每个所发射的声脉冲照明所有区域,接收孔从所有区域接收回波,并且动态多孔波束成形过程可以形成声照射区域的任何部分或全部的图像。在这种情形中,图像的最大范围可以主要由衰减和信噪比因素限制,而不是由发射或接收波束成形仪器的受限的焦点。因此,全分辨率图像可以使用相同组原始回波数据由关心区域的任何部分形成。如本文中所使用的,术语“图像窗口”将被用于指所有所关心的声照射区域的选定部分。在一些实施例中,同时图像可以由声照射区域内的多个重叠或非重叠区域 (图像窗口) 形成。

[0242] 同样,彩色流图像 (或强调一个或多个成像区域的运动的其他图像) 可以由所关心的声照射区域内任何选定区域形成。因此,在一些实施例中,回波数据可以从存储装置取回,并且图像窗口可以完全独立于实况成像期间所使用的成像窗口定义。在这些实施例中,多普勒回波数据可以独立于在实况成像期间进行的选择来评估。例如,当重新处理由存储装置取回的回波数据时,诸如图像窗口、运动轴、“快”对“慢”运动阈值、多普勒运动评估算法、声速假定、加权因素、各种过滤 (例如解卷积过滤或匹配过滤)、校准数据、TX 数据、换能器元件到孔分组、或在 B 模式或多普勒分析、波束成形或图像处理中使用的任何其他信息条的因素可以相对于实况成像期间使用的值而改变。

[0243] 图 21 说明用于在实况成像期间后的某一时间重新处理所存储的多普勒原始回波数据的过程 420 的实施例。在实况成像期间 422,可以发射多普勒声脉冲,并且可以接收这些多普勒声脉冲的回波。表示接收的回波信号的原始回波数据可以被存储 424 在存储装置中。在以后的某一时间,所存储的原始多普勒回波数据可以从存储装置 426 取回,并且通过相对于在实况成像期间 422 使用的值改变 428 至少一个处理参数而被重新处理。然后,可以使用新的参数来重新计算 430 运动信息,并且然后可以显示 432 从重新计算的运动信息得到的新的图像。

[0244] 在一个实例中,在活动实况成像期间,可以选择并显示聚焦在所关心的声照射区域的特别小面积部分的第一图像窗口,而原始回波数据可以被获取并存储到存储装置。在取回所存储的回波数据期间,可以定义仅仅部分重叠第一图像窗口的第二图像窗口。在其它情形中,第二图像窗口可以完全与第一图像窗口不重叠。类似地,可以在第二图像窗口中定义完全不同的颜色流运动轴。结果,第二图像窗可以被定义为显示在实况成像期间不可见的运动信息 (或者因为所选择的图像窗口不同,或者因为可以修订在实况成像期间作出的其他假设)。在一些实施例中,来自单个成像期间的回波数据可以为两个或更多独立图像窗口波束成形并处理。在这些情况下,多普勒数据可以在一个图像窗口中重叠,而两个图像窗口被并列显示。因为从同一数据组生成两个图像,所成像对象的运动图像将完全同步,并且在两个 (可能完全不重叠) 的图像窗口中的对象的运动可以同时被查看,以显现该对象 (例如,在心搏周期中同一点的心脏) 的不同区域的同步动作。

[0245] 在另一个实例中,当重新处理相对于实况成像期间所存储的回波数据时,可以改变接收“孔”的定义。因为可以为每个接收元件单独存储回波数据,所以可以在任何时候改变换能器元件到接收孔的分组。因此,在一些实施例中,如果确定在实况多普勒成像期间使用的接收孔指定是用于测量特定速度矢量的次最佳值,可以改变接收孔指定,并且可以重复使用如上所述的一个或多个方法的速度矢量的评估,以求提高速度矢量测量。在一些实施例中,许多接收孔可以相对于实况成像期间使用的接收孔的数目增加或减少。在其他实施例中,可以相对于实况成像期间使用的位置改变一个或多个孔沿着阵列(或多阵列)的位置。

[0246] 尽管已经在某些优选实施例和实例的背景中公开本发明,本领域技术人员应当理解,本发明延伸超过具体公开的实施例到其他替换实施例和/或本发明的使用和其清楚的修改和等价物。因此,意图的是,本文中所公开的本发明的保护范围不应该由如上所述的特定公开的实施例限制,但是应该仅仅通过正确阅读来确定。特别是,如在相关领域中技术人员的水平内可以采用材料和制造技术。此外,参考单个术语包括存在多个相同术语的可能性。更准确地说,如本文中所使用的并且在附加权利要求中,单数形式“一”和“所述”和“该”包括复数指示,除非背景另外清楚指示。进一步注意,该权利要求可以被划为配出任何可选元件。同样,这个陈述被用来作为用于这种唯一术语使用的前述基础,如与权利要求元件的叙述有关的“单独”、“仅仅”等,或“否定”限制的使用。除非在本文中另外定义,本文中使用的所有技术和科学术语具有与本发明属于的本领域中普通技术人员通常理解的相同意义。

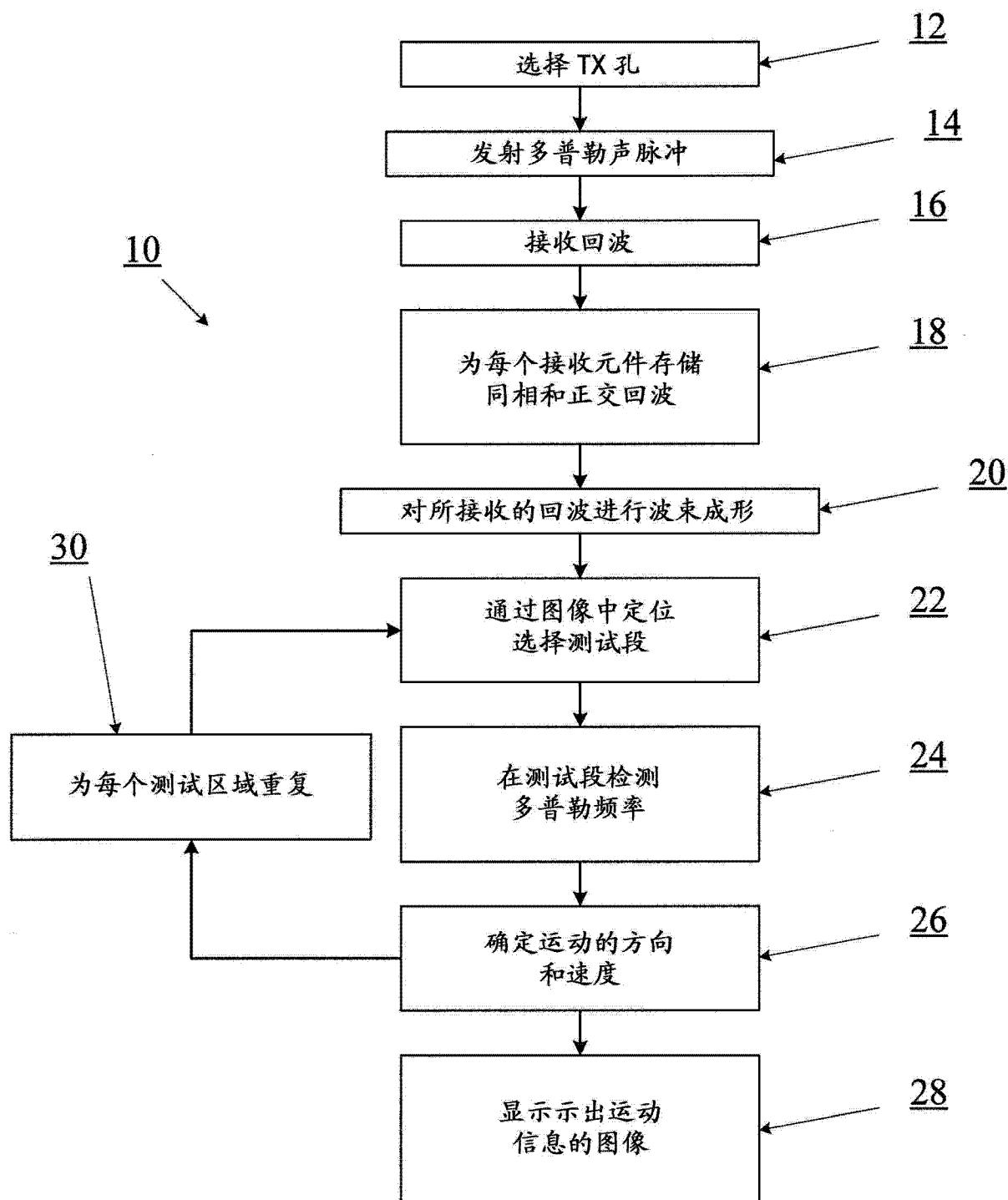


图 1

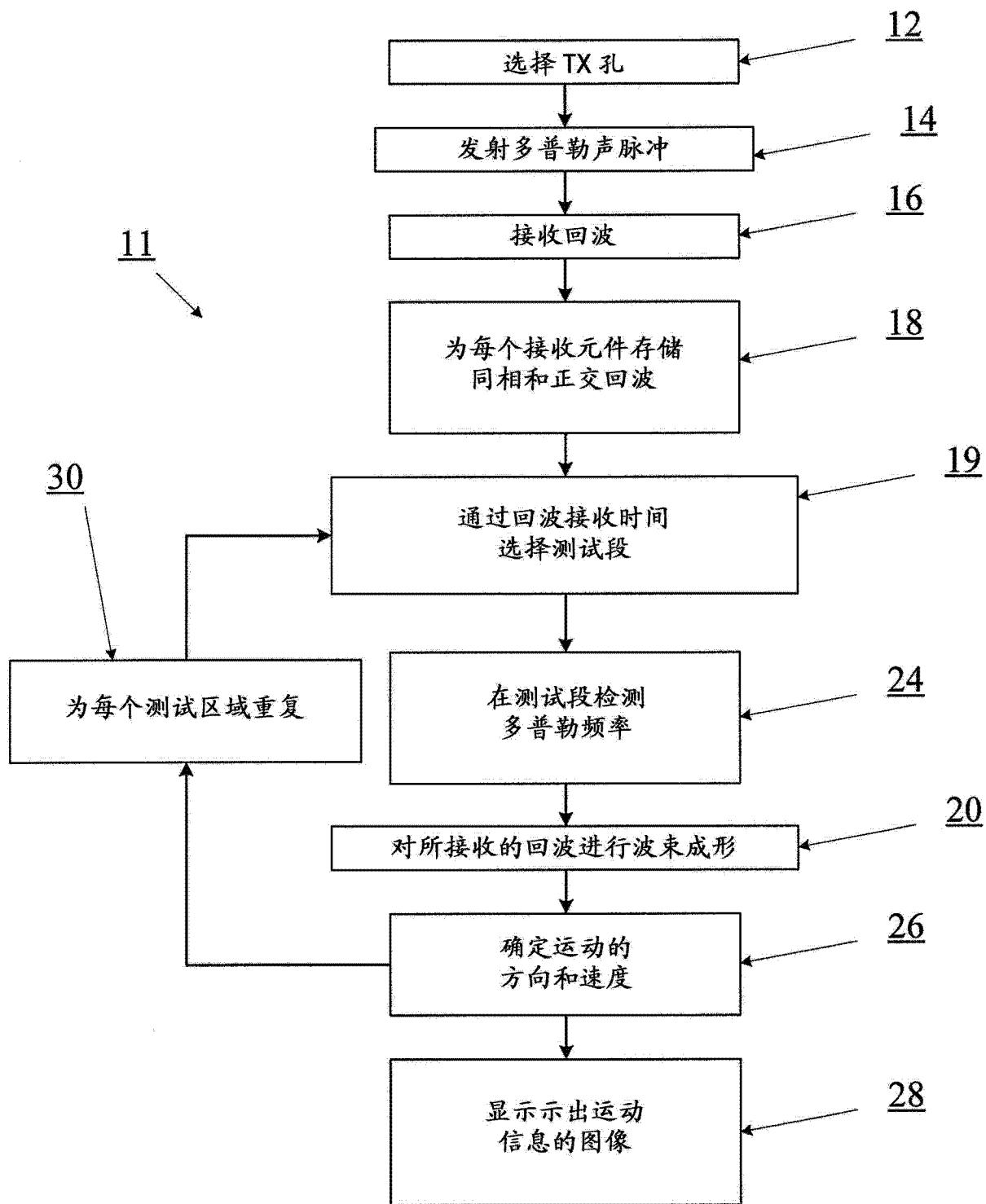


图 2

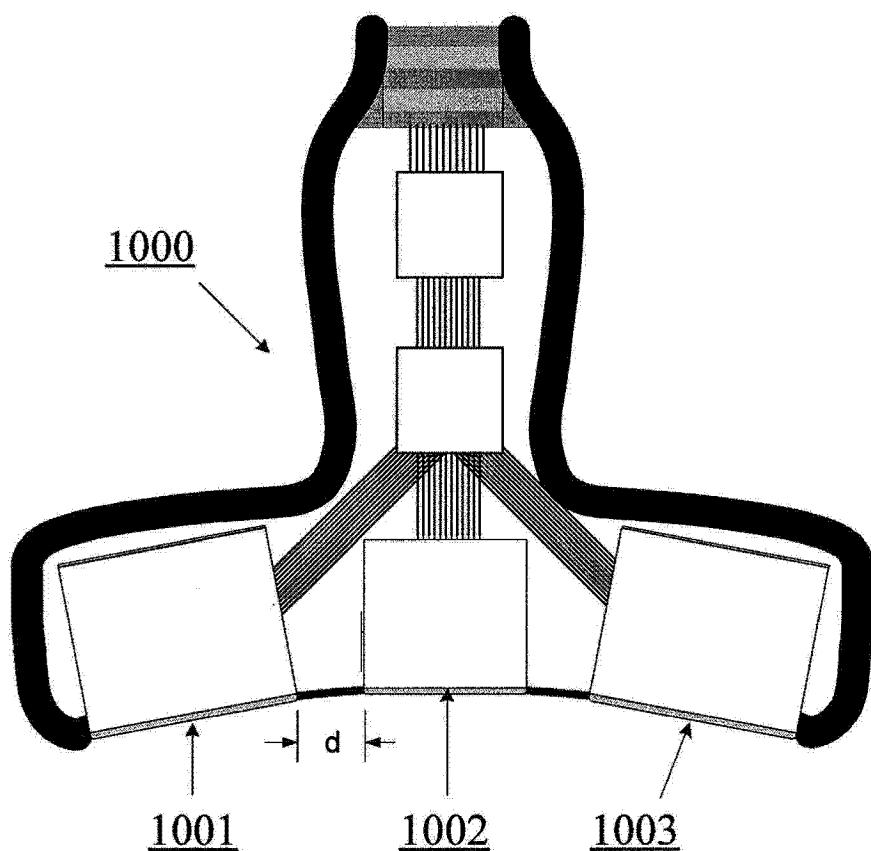


图 3

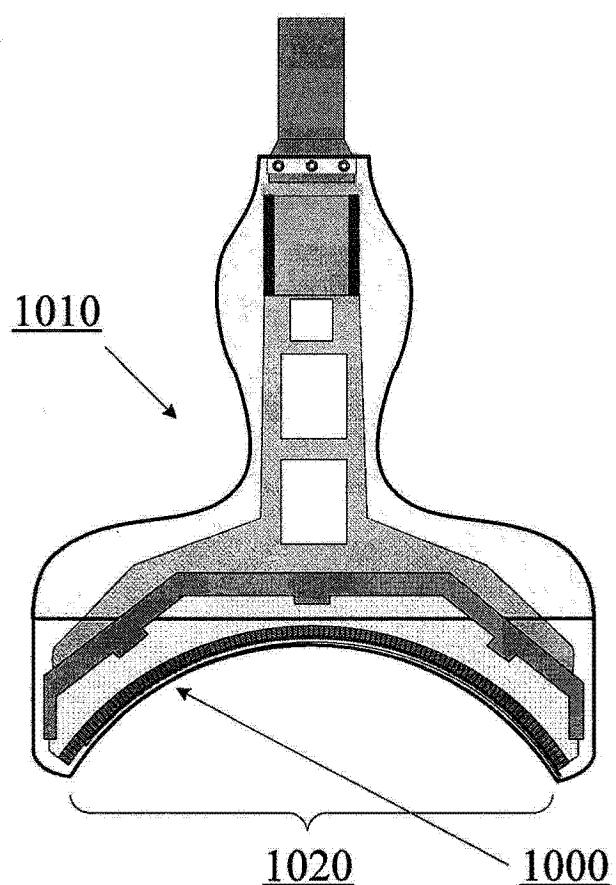


图 4

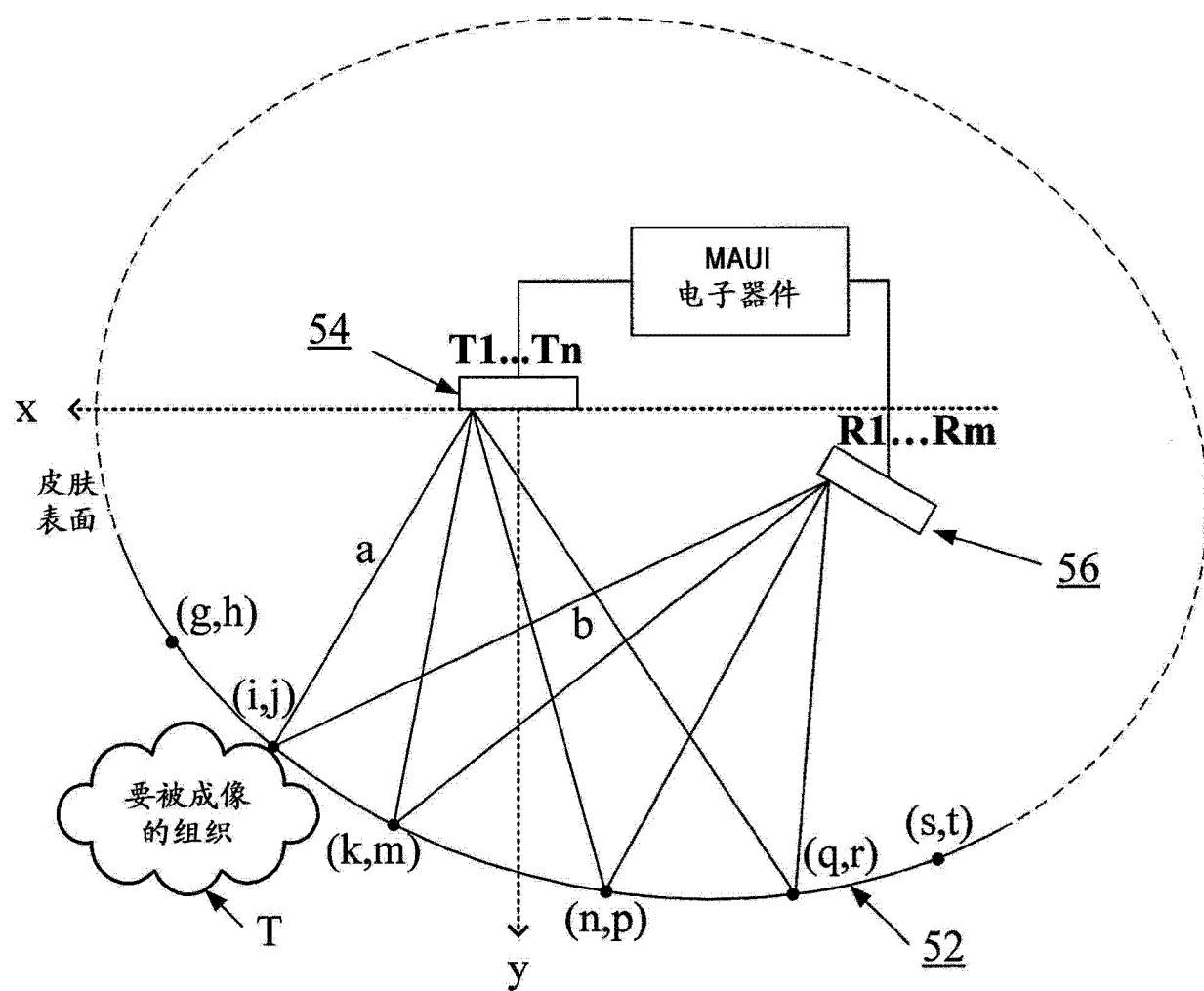


图 5

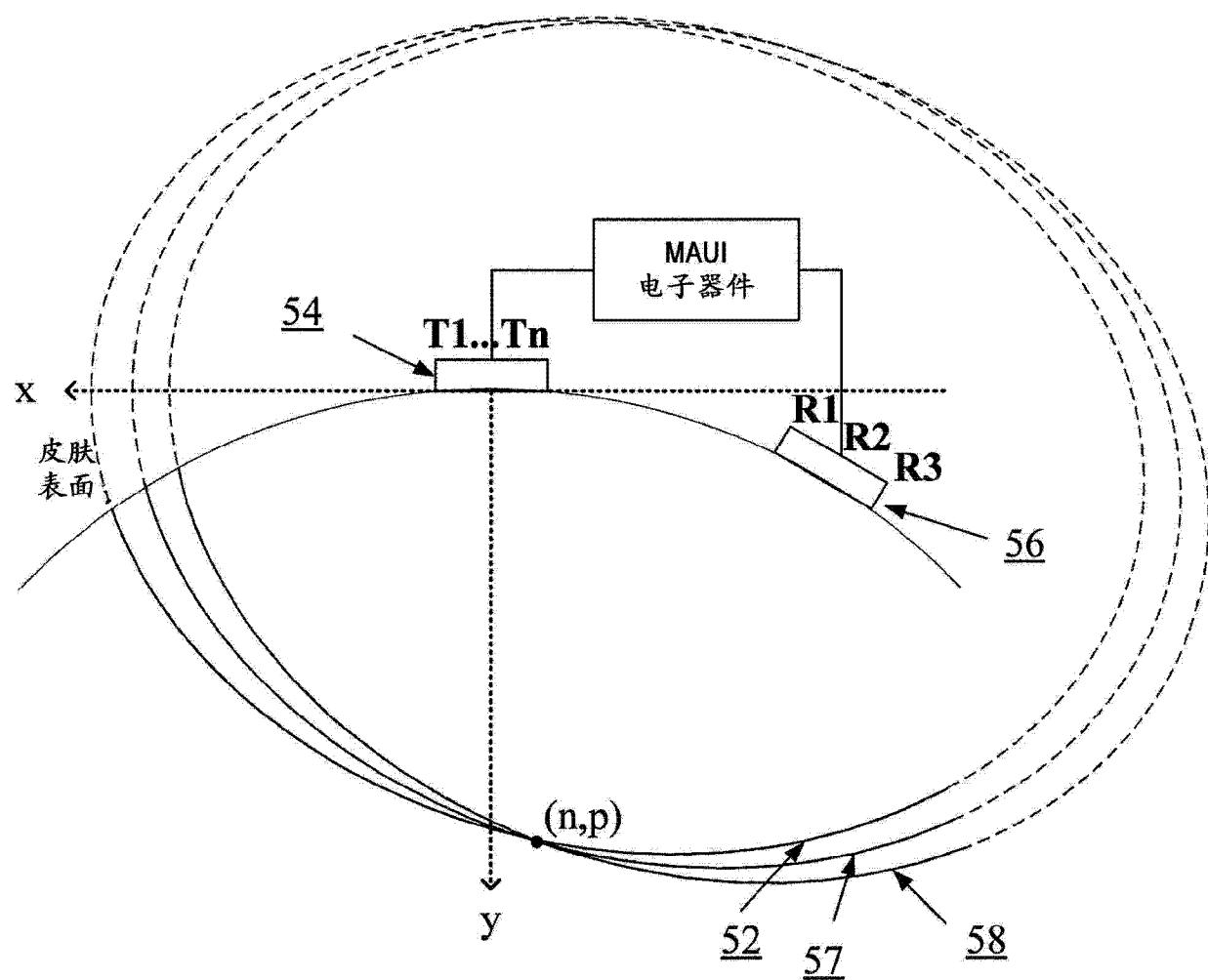


图 6

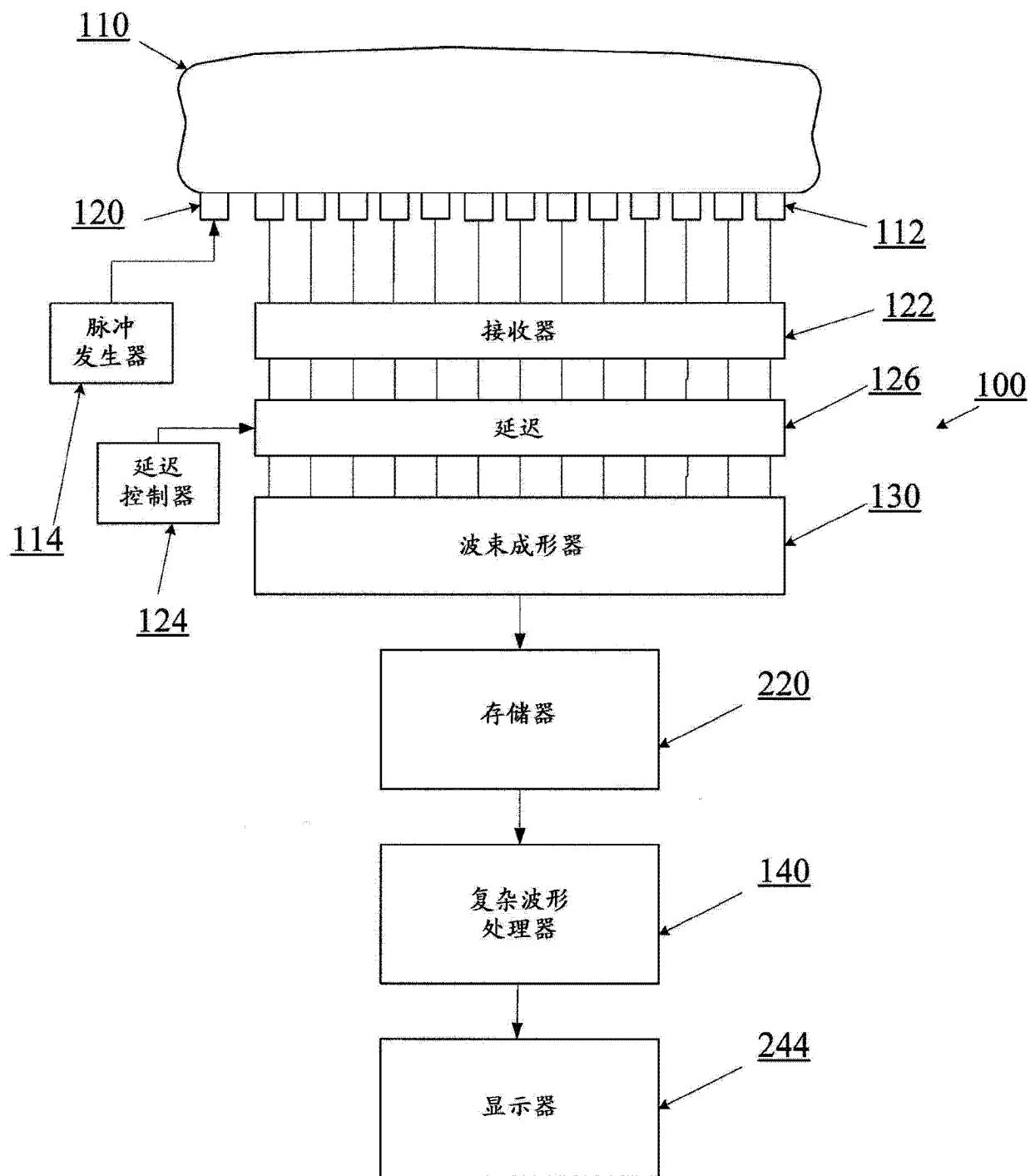


图 7

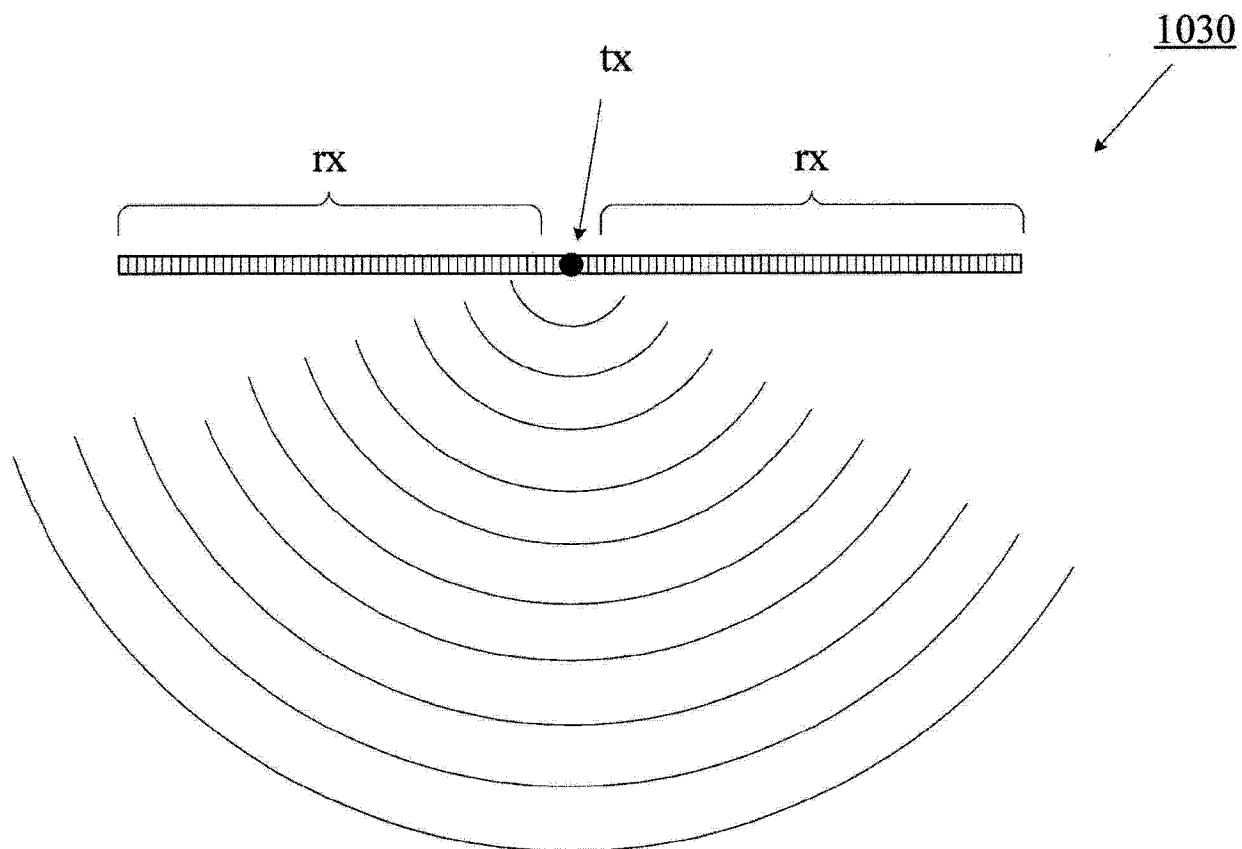


图 8

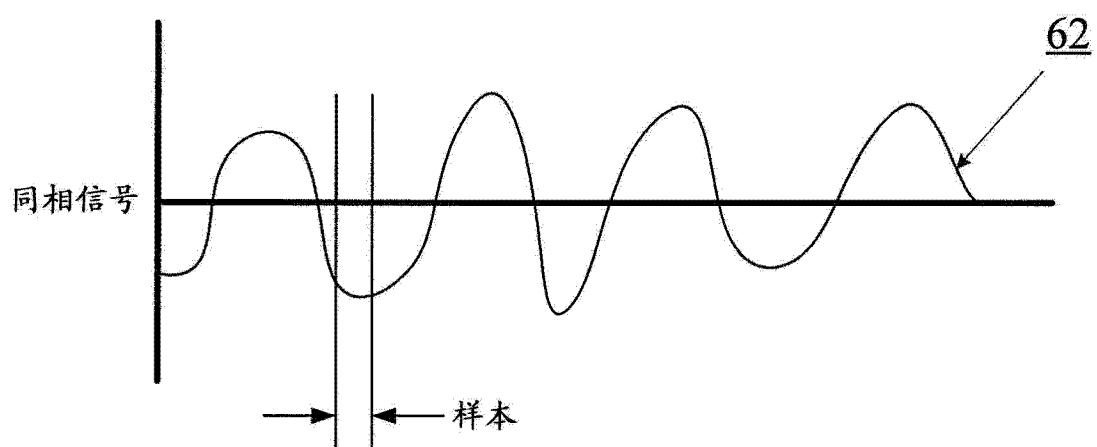


图 9A

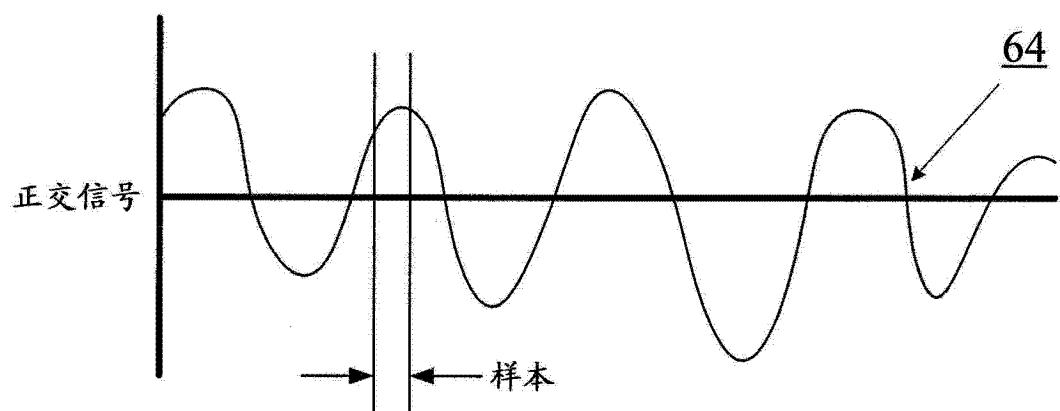


图 9B

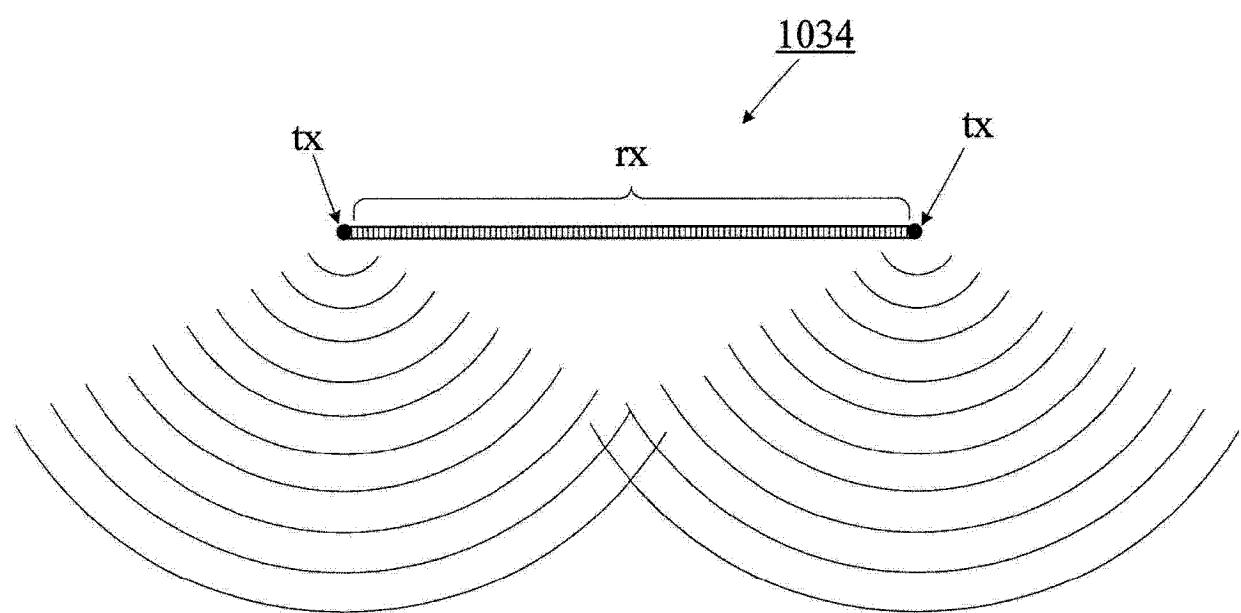


图 10

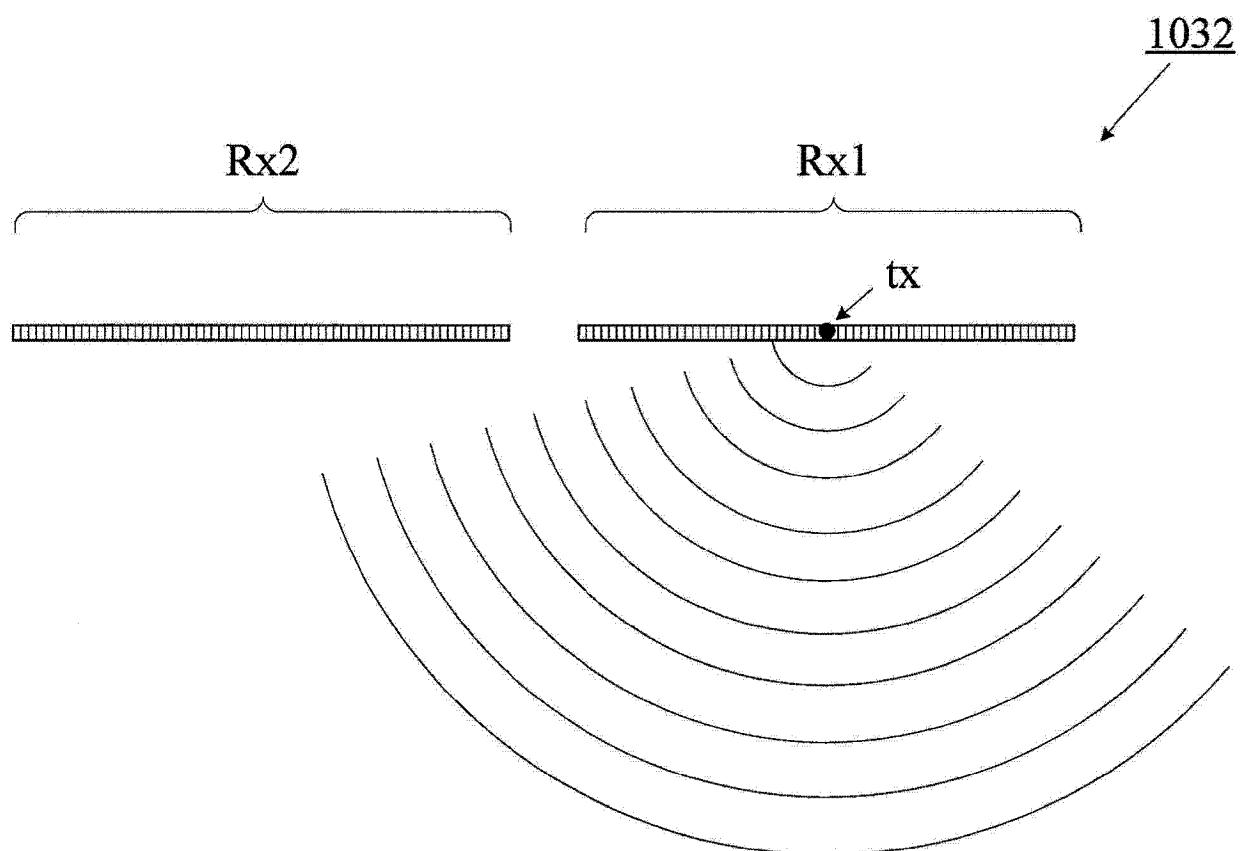


图 11

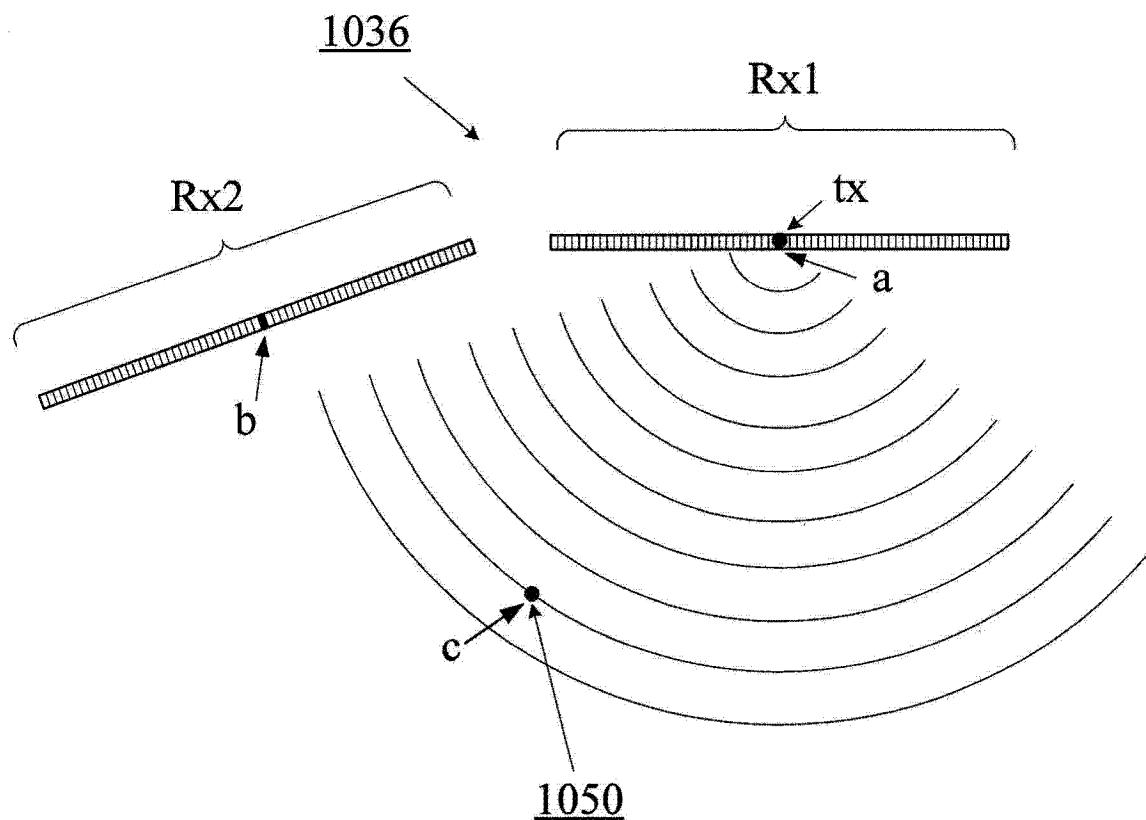


图 12

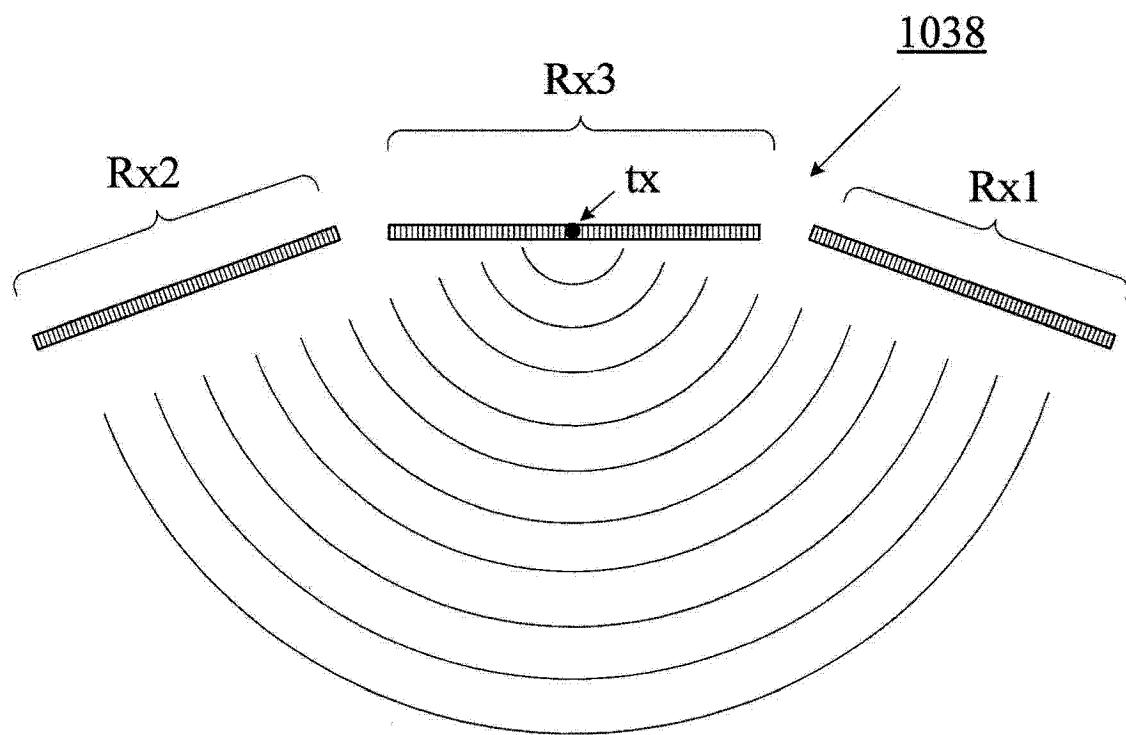


图 13

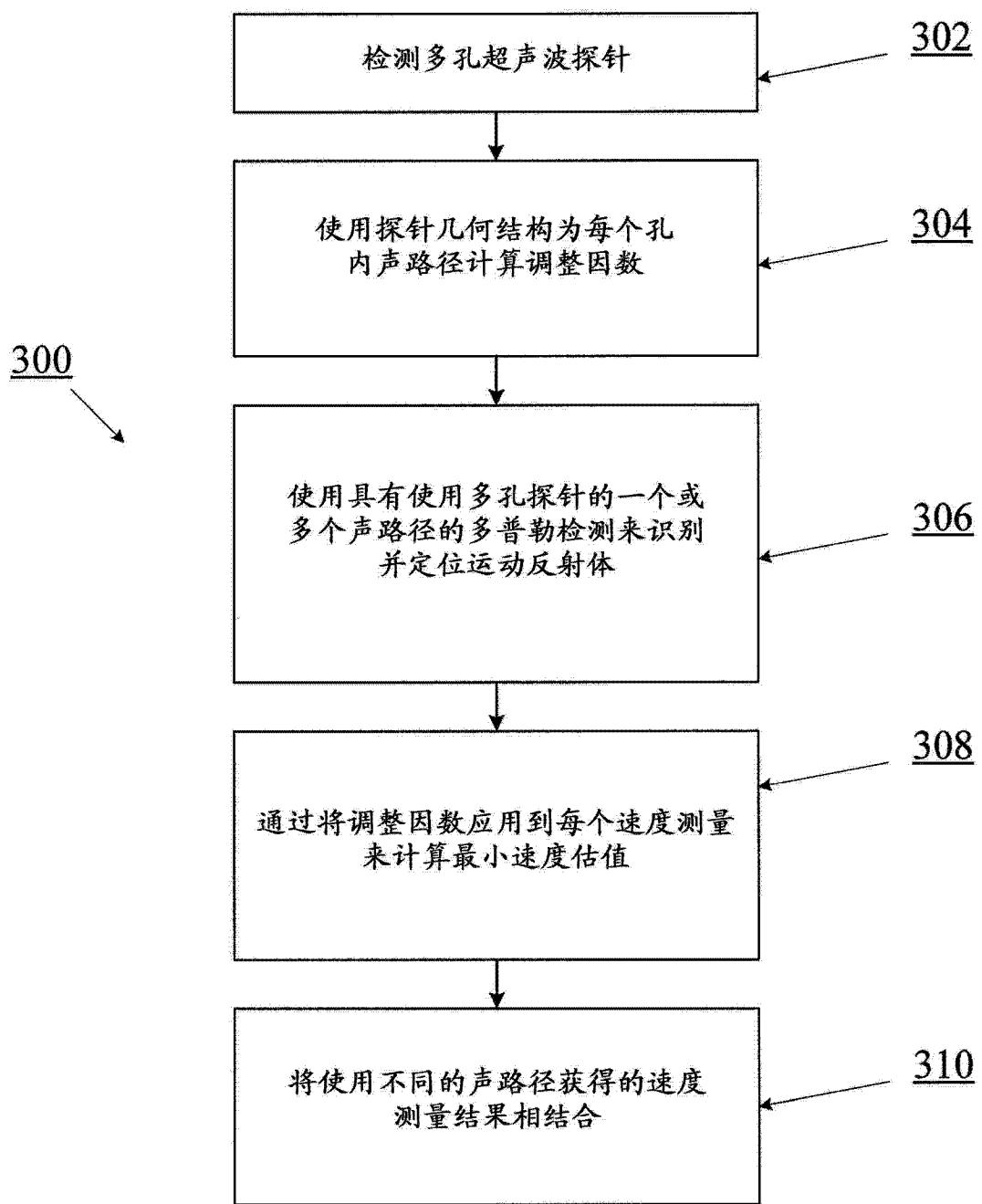


图 14

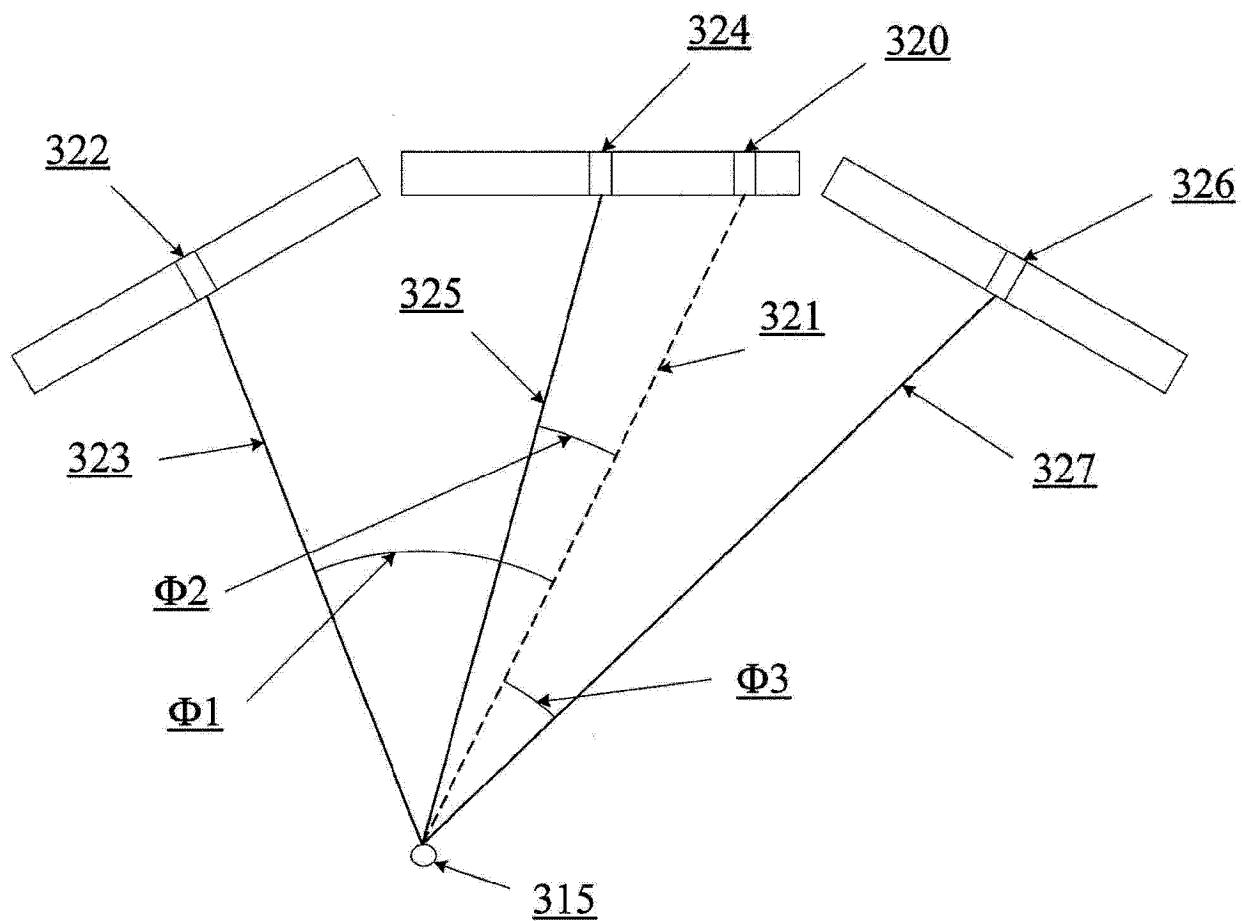


图 15

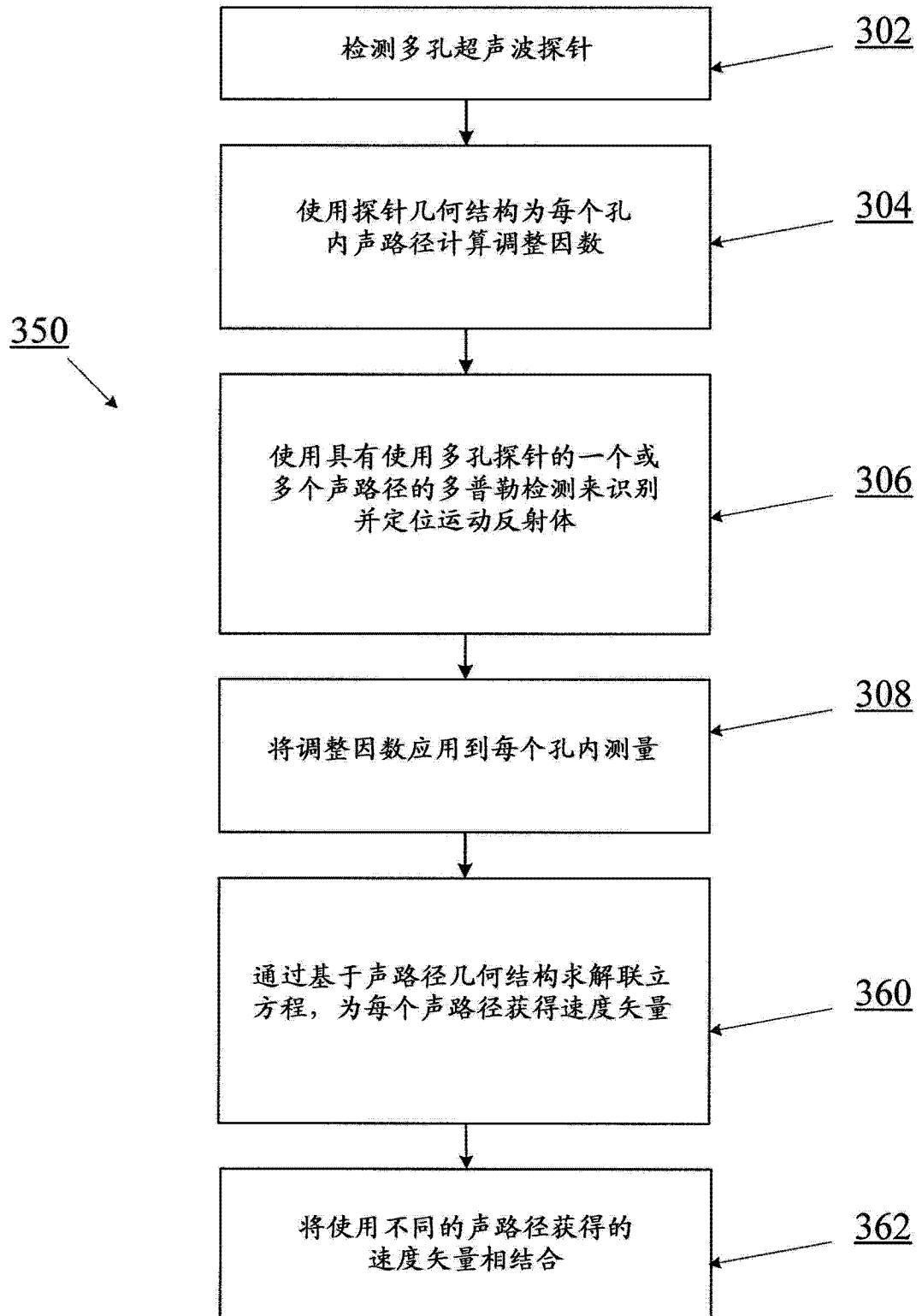


图 16

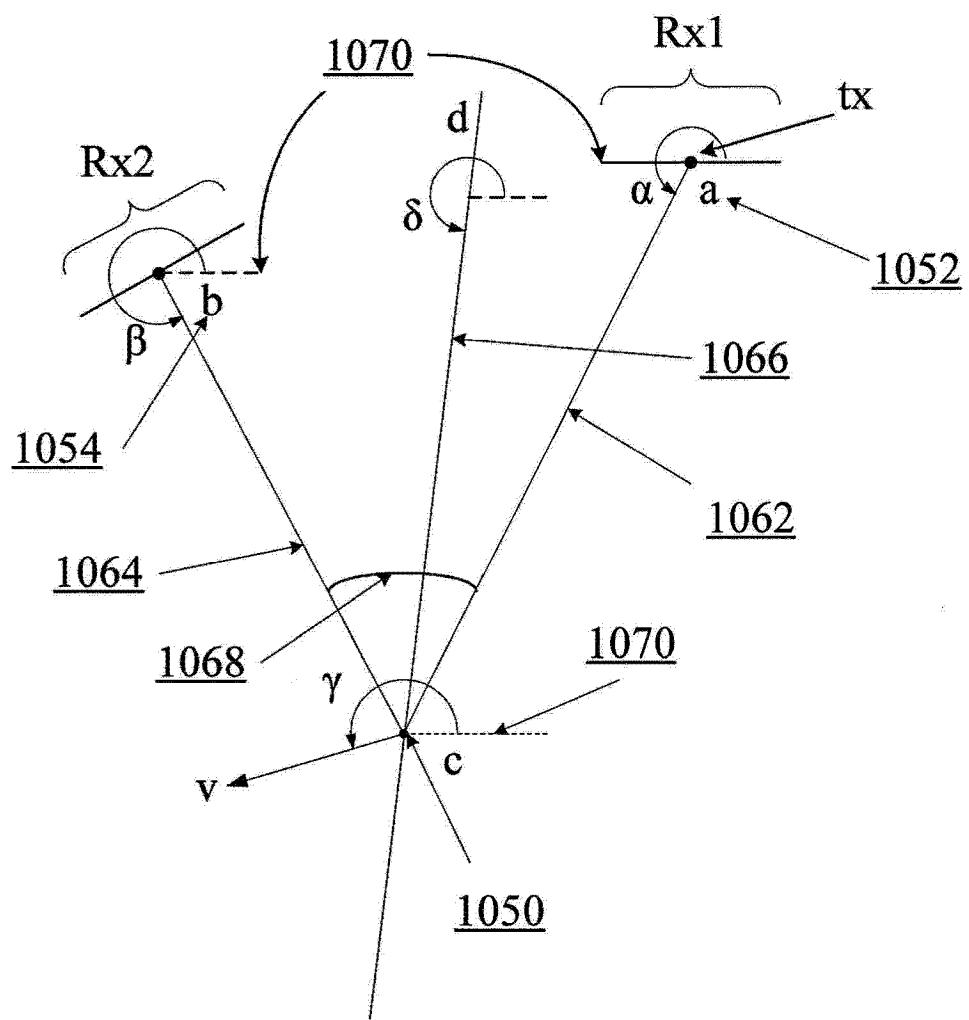


图 17

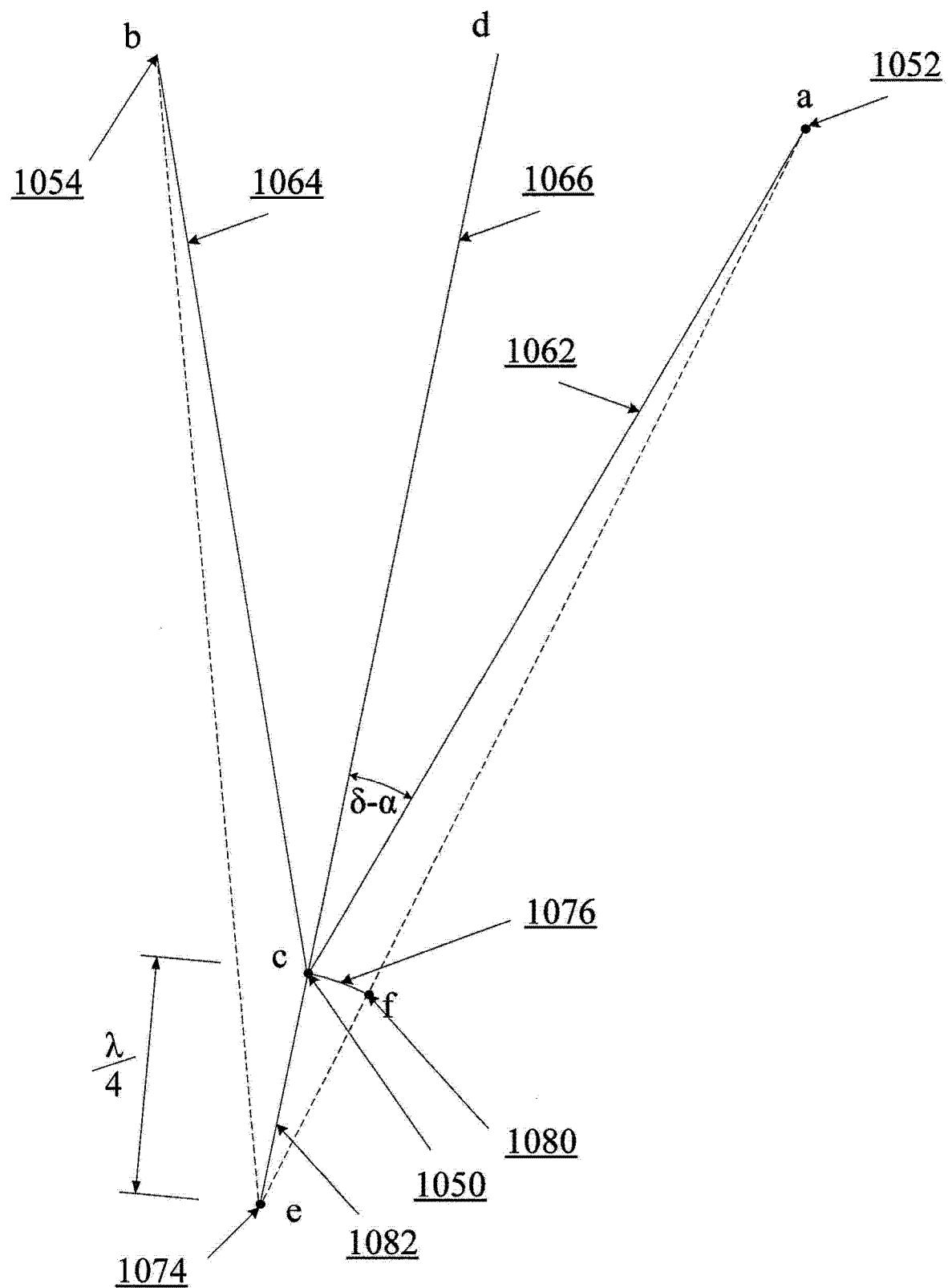


图 18

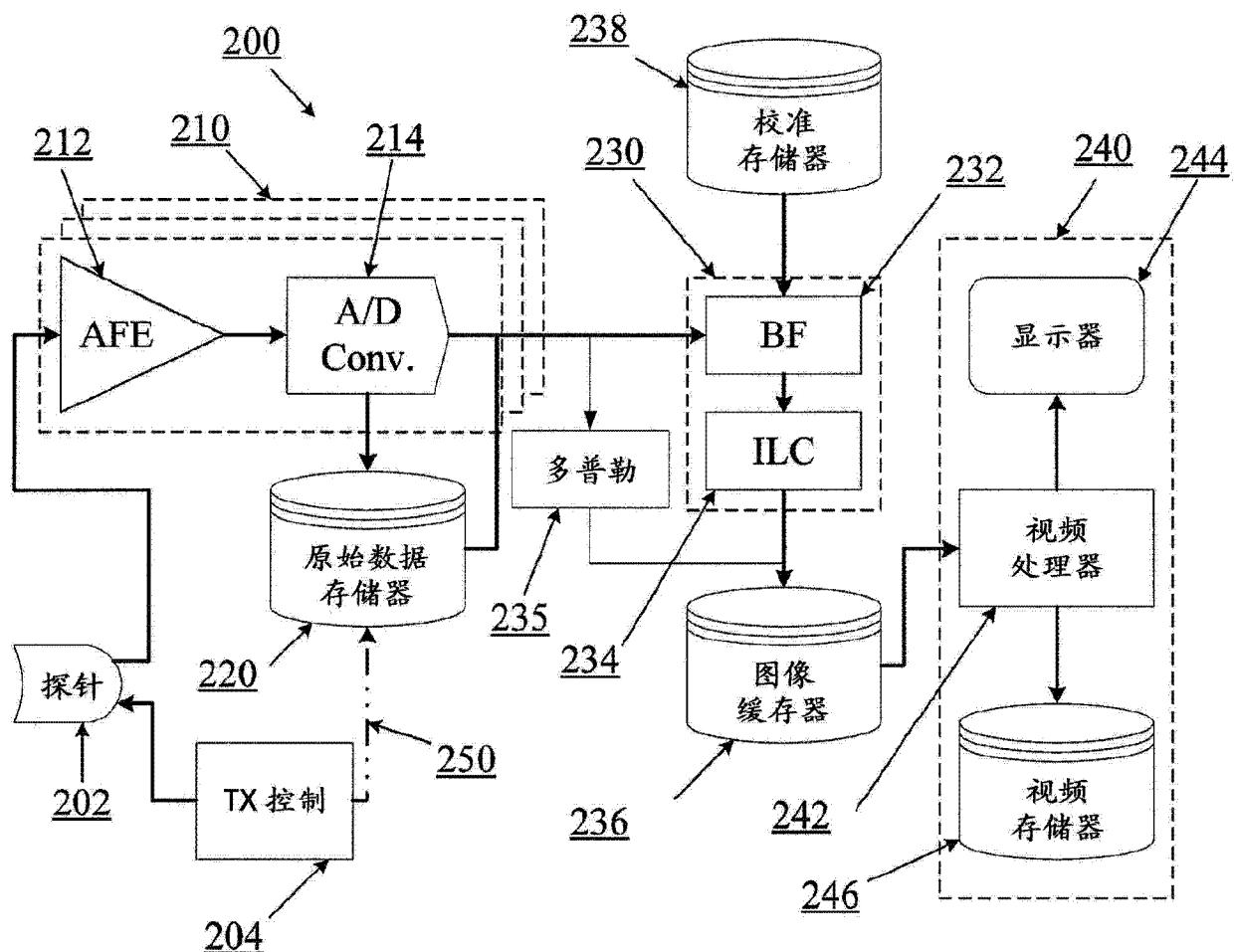


图 19

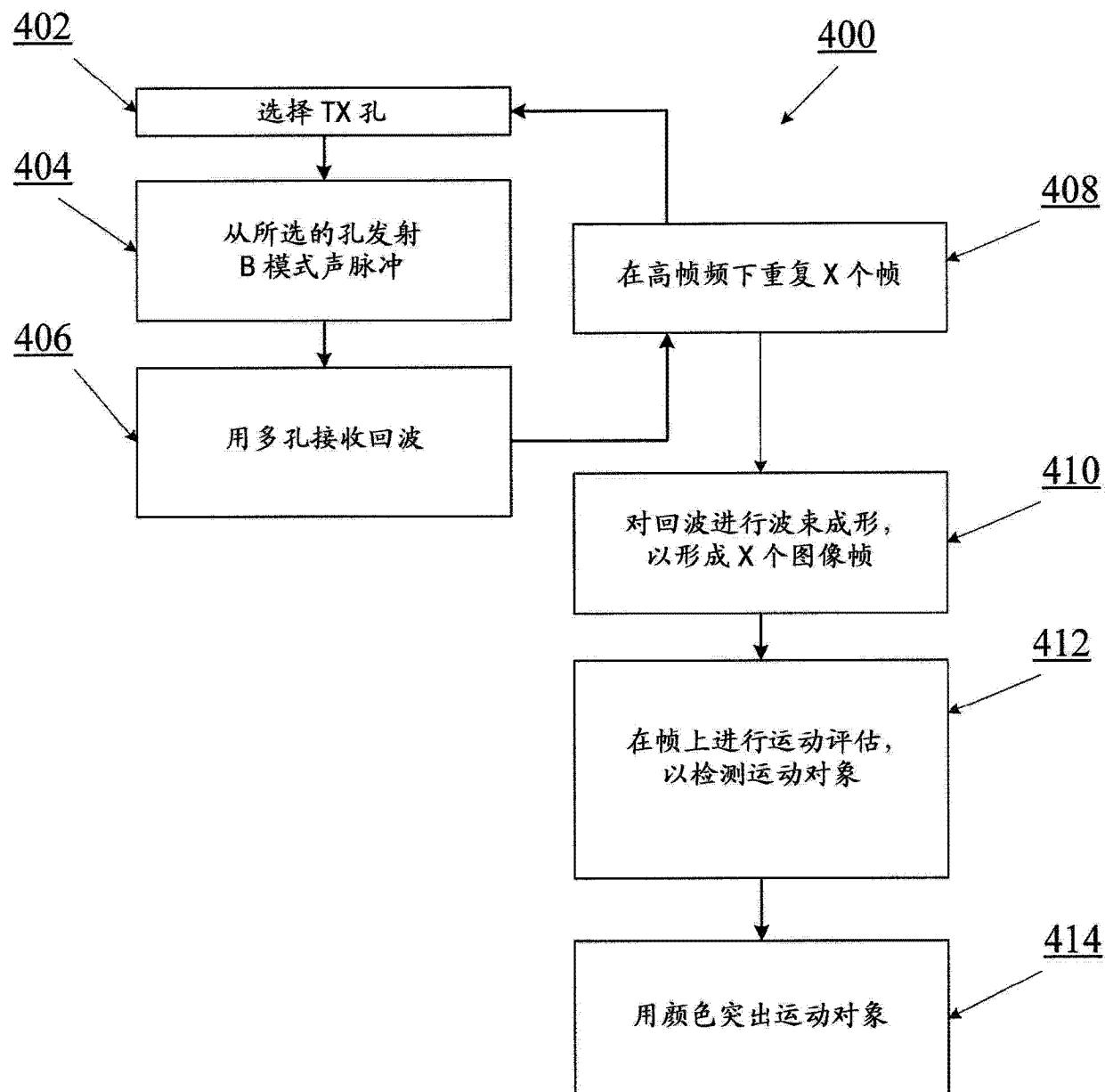


图 20

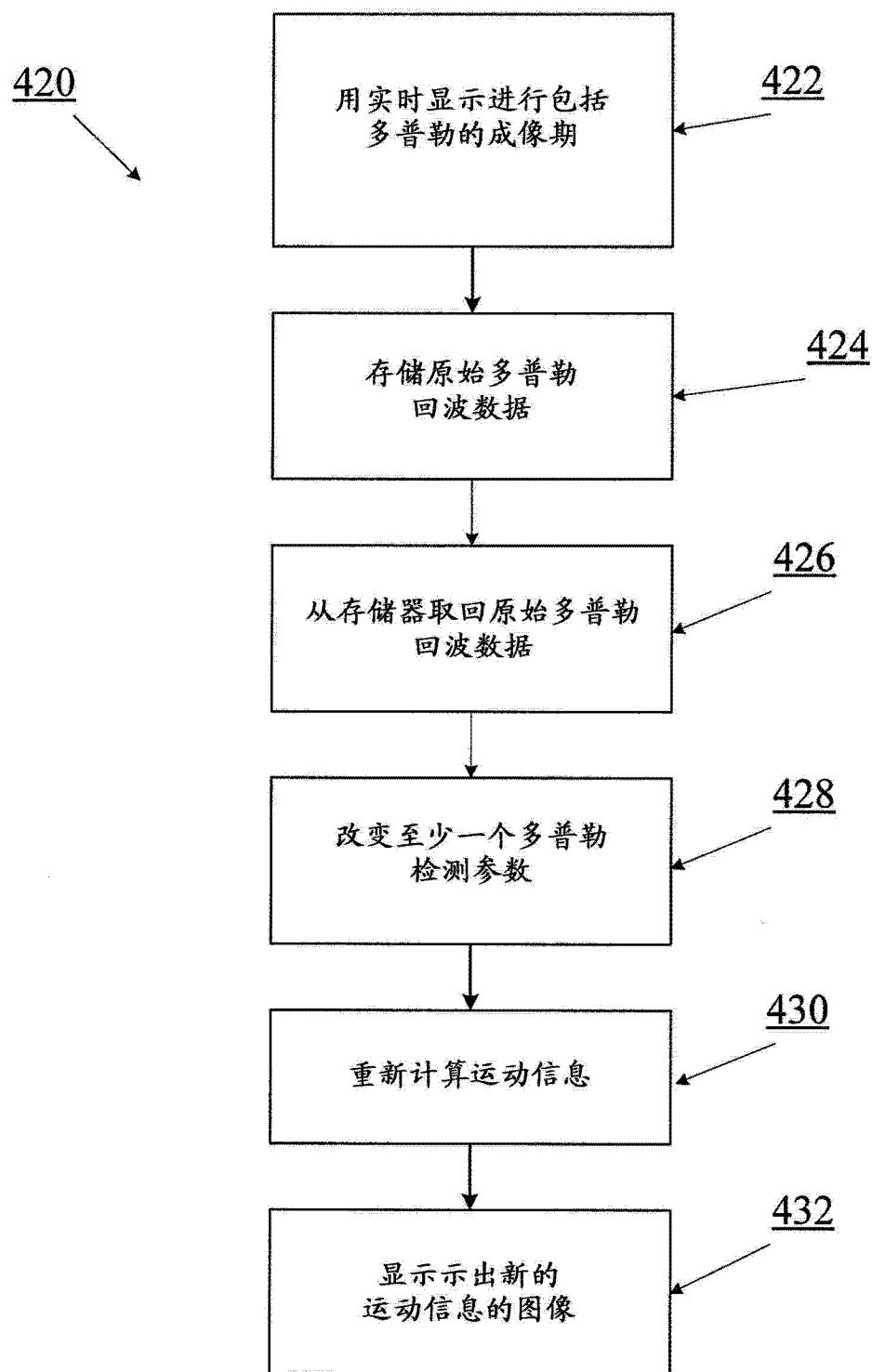


图 21

专利名称(译)	使用基于声脉冲和多孔多普勒超声的运动检测		
公开(公告)号	<a href="#">CN104105449A</a>	公开(公告)日	2014-10-15
申请号	CN201280059236.1	申请日	2012-11-30
[标]申请(专利权)人(译)	毛伊图像公司		
申请(专利权)人(译)	毛伊图像公司		
当前申请(专利权)人(译)	毛伊图像公司		
[标]发明人	DF施佩希特 KD布鲁尔 DM史密斯 JR卡尔 VN李 BR里特兹		
发明人	D·F·施佩希特 K·D·布鲁尔 D·M·史密斯 J·R·卡尔 V·N·李 B·R·里特兹		
IPC分类号	A61B8/14 G06T7/20		
CPC分类号	A61B8/5223 G01S15/8927 A61B8/4488 A61B8/463 A61B8/4444 A61B8/488 G01S15/8913 G01S7/52066 A61B8/461 G01S7/52071 A61B8/145 A61B8/5207 G01S15/8984 A61B8/4477		
代理人(译)	王茂华		
优先权	61/565796 2011-12-01 US 61/691717 2012-08-21 US		
其他公开文献	CN104105449B		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">Sipo</a>		

### 摘要(译)

一种全场或“基于声脉冲”的多普勒超声成像的方法，其允许检测多普勒信号，该信号指示在成像场中任一点的运动反射体，而无需预先定义范围门。在各种实施例中，这些全场多普勒成像方法可以包括从发射孔发射多普勒声脉冲、用一个或多个分开的接收孔接收多普勒声脉冲的回波、检测多普勒信号和确定运动反射体的速度。在一些实施例中，该系统也提供通过基于由多个接收孔接收的回波数据求解一组联立方程来确定运动方向的能力。

