



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104644215 B

(45)授权公告日 2017.09.26

(21)申请号 201410737712.1

审查员 胡新芬

(22)申请日 2014.12.05

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104644215 A

(43)申请公布日 2015.05.27

(73)专利权人 广州丰谱信息技术有限公司

地址 510630 广东省广州市天河东路242号

广州国家高新技术企业孵化基地

(72)发明人 韦岗 曹燕 杨萃 李杰

(74)专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司

公司 44102

代理人 郑永泉

(51)Int.Cl.

A61B 8/00(2006.01)

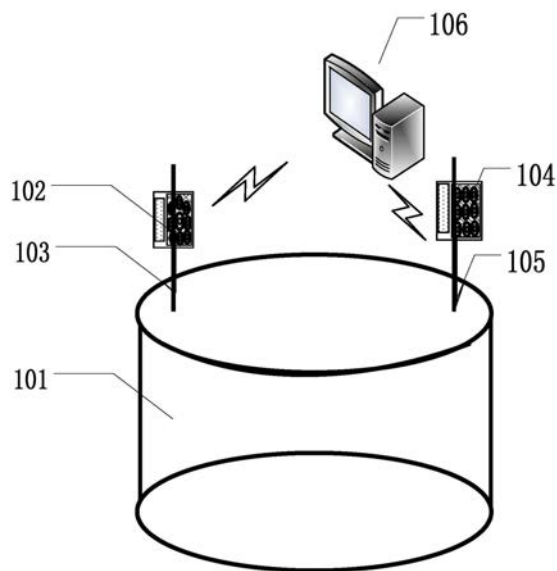
权利要求书3页 说明书13页 附图6页

(54)发明名称

一种多模三维超声探测与成像装置及方法

(57)摘要

本发明提供一种基于多模三维超声探测与成像装置及方法,装置包括箱体,发射和反射接收螺旋轨道,透射接收螺旋轨道,发射和反射接收端,透射接收端和后台处理系统。探测时,探测物放置在箱体中间,被发射和反射接收螺旋轨道、透射接收螺旋轨道所包围。发射和反射接收端在发射和反射接收螺旋轨道上来回滑动,透射接收端在透射接收螺旋轨道上来回滑动,对整个探测空间进行螺旋形的立体扫描。该装置利用反射波和透射波信息,反演出反射超声波所经过的路径(即反射信道)和透射超声波所经过的路径(即透射信道),进而对透射信道和反射信道的特征分布进行三维成像。本发明用简单装置实现快捷方便的探测,成本低,可拓展到非医疗机构应用。



1. 一种基于多模三维超声探测与成像装置,其特征 在于包括箱体,发射和反射接收螺旋轨道,透射接收螺旋轨道,发射和反射接收端,透射接收端和后台处理系统;探测时,探测物放置在箱体中间,被发射和反射接收螺旋轨道、透射接收螺旋轨道所包围;发射和反射接收端在发射和反射接收螺旋轨道上来回滑动,透射接收端在透射接收螺旋轨道上来回滑动,以此来进行整个探测区域的扫描。

2. 根据权利要求 1 所述的基于多模三维超声探测与成像装置,其特征 在于所述箱体是整个探测区域,为了有利于探测信号的传播和耦合液体的经济适用,箱体中可以采用盛水来达到此目的,箱体中有出入水的接口阀门;箱体为圆柱体或者其它柱体。

3. 根据权利要求 1 所述的基于多模三维超声探测与成像装置,其特征 在于所述发射和反射接收螺旋轨道是螺旋形的,其顶端为直线形,稍高于箱体,便于发射和反射接收端未工作时不浸泡于耦合液中;发射和反射接收螺旋轨道卡住发射和反射接收端,在牵引力作用下使其能匀速运动。

4. 根据权利要求 1 所述的基于多模三维超声探测与成像装置,其特征 在于所述透射接收螺旋轨道是螺旋形的,与发射和反射接收螺旋轨道对称分布,其顶端为直线形,稍高于箱体,便于透射接收端未工作时不浸泡于耦合液中;透射接收螺旋轨道轨道卡住透射接收端,在牵引力作用下使其能匀速运动。

5. 根据权利要求 3 或权利要求 4 所述的基于多模三维超声探测与成像装置,其特征 在于所述发射和反射接收螺旋轨道与透射接收螺旋轨道是双螺旋同径对称结构,能够附在箱体的内侧柱面上,或单独设置一个夹层放置,夹层里充满耦合液,夹层采用透声材料制作。

6. 根据权利要求 1 所述的基于多模三维超声探测与成像装置,其特征 在于所述发射和反射接收端包括超声探头阵列和电路模块以及它们之间的连接电缆,整个进行防水包装后卡入到发射和反射接收螺旋轨道中,能够沿着发射和反射接收螺旋轨道来回地滑动;

所述超声探头阵列为圆阵或方阵,每个阵列的中心放置发射探头,周围放置接收探头,发射探头把电路模块要发送的电信号转换成超声波发射出去,接收探头把接收的反射超声波转换成电信号通过电缆传给电路模块;发射探头采用发射功率大、面积小的换能器,接收探头采用低噪声高灵敏的换能器;

所述电路模块包括电池、信号收发电路、无线通信模块和滑动控制模块,以及电路模块各个单元之间的连接电缆,整个电路模块需要进行防水的封装;所述电池采用微型电池,分别与信号收发电路、滑动控制模块和无线通信模块连接,也与超声探头阵列相连;信号收发电路与超声探头阵列连接,包括数模(D/A)转换器和功率放大器以及模数(A/D)转换器和低噪声放大器;信号收发电路将连续宽频发送信号经数模转换和功率放大后,转发给超声探头阵列中相应的超声波发射探头,信号收发电路还缓存各个超声波接收探头接收到的反射波信号,对其进行低噪放大和模数转换;无线通信模块将后台处理系统产生的连续宽频发送信号传送至信号收发电路,以及将后台处理系统的滑动控制信号传给滑动控制模块,以控制发射和反射接收端沿着发射和反射接收螺旋轨道滑动,同时将各超声波接收探头接收的反射波信号传送给后台处理系统进行处理;滑动控制模块收到滑动控制信号后控制发射和反射接收端沿着发射和反射接收螺旋轨道匀速滑动。

7. 根据权利要求 1 所述的基于多模三维超声探测与成像装置,其特征 在于所述透射

接收端包括超声探头阵列和电路模块以及它们之间的连接电缆,整个进行防水包装后卡入到透射接收螺旋轨道中,能够沿着透射接收螺旋轨道进行来回地滑动;

所述超声探头阵列为圆阵或方阵,所有探头都为接收探头,把接收的透射超声波转换成电信号通过电缆传给电路模块;

所述电路模块包括电池、信号接收电路、无线通信模块和滑动控制模块,以及电路模块各个单元之间的连接电缆,整个电路模块需要进行防水的封装;所述电池采用微型电池,分别与信号接收电路、滑动控制模块和无线通信模块连接,也与超声探头阵列相连;信号接收电路与超声探头阵列连接,包括模数(A/D)转换器和低噪声放大器,信号接收电路缓存各个超声波探头接收到的透射波信号,对其进行低噪放大和模数转换;无线通信模块将后台处理系统的滑动控制信号传给滑动控制模块,以控制透射接收端沿着透射接收螺旋轨道滑动,同时将各超声波探头接收的透射波信号传送给后台处理系统进行处理;滑动控制模块收到滑动控制信号后控制透射接收端沿着透射接收螺旋轨道匀速滑动。

8. 根据权利要求 1 所述的基于多模三维超声探测与成像装置,其特征在于所述后台处理系统包括后台无线通信模块、处理模块、显示模块和人机交互模块;后台无线通信模块与发射和反射接收端、透射接收端的无线通信模块相对应,进行无线通信;处理模块对发射和反射接收端采集得到的反射波信号以及透射接收端采集得到的透射波信号进行快速高效地处理,其中的处理包括反射信道和透射信道的反演以及拼接融合,得到三维空间的信道传递函数分布;显示模块对探测区域的超声波传播信道的三维分布进行多种模式的显示,为信道传递函数分布、频率响应、零极点分布或其他变换函数,以及对探测目标的属性进行显示;人机交互模块能够对发送信号的时长参数、显示的控制参数、检测的结果存储进行人工控制。

9. 基于多模三维超声探测与成像方法,包括如下步骤:未工作时,发射和反射接收端处于发射和反射接收螺旋轨道的顶端,透射接收端处于透射接收螺旋轨道的顶端;放置探测物到箱体中;

(1) 启动工作;后台处理系统的人机交互模块确定发送信号的时长参数、显示的控制参数后,开始启动工作;启动控制信号通过后台处理系统的无线通信模块发送到发射和反射接收端的无线通信模块,以及透射接收端的无线通信模块;

(2) 螺旋形扫描;发射和反射接收端的无线通信模块收到启动控制信号后,传给发射和反射接收端的滑动控制模块,控制发射和反射接收端从发射和反射接收螺旋轨道的顶端开始滑动;同时,透射接收端的无线通信模块收到启动控制信号后,传给透射接收端的滑动控制模块,控制透射接收端从透射接收螺旋轨道的顶端开始滑动;发射和反射接收端与透射接收端是按照同一速度匀速滑动,由于发射和反射接收螺旋轨道与透射接收螺旋轨道是对称的螺旋轨道,任何时刻都会处于同一水平面的直径两端,这样能确保透射接收端收到最强的透射波;假设发射和反射接收端沿着发射和反射接收螺旋轨道滑动到 A 点,同时,透射接收端沿着透射接收螺旋轨道滑动到 A' 点,A 点和 A' 点处于同一水平面的直径两端;在这个位置处的工作过程如下:

1) 超声信号发送;后台处理系统把产生的连续宽频发送信号通过后台处理系统的无线通信模块发送到发射和反射接收端的无线通信模块,再传输至发射和反射接收端的信号收发电路,经过数模(D/A)转换和功率放大后,激励超声波发射探头发射连续宽频的超声波

发送信号；

2) 超声反射波信号的接收；超声波发送信号传播至探测物后会反射一部分信号，反射信号经过发射和反射接收端的超声波接收探头接收后传送至信号收发电路，经过低噪放大和模数(A/D)转换之后再传输至发射和反射接收端的无线通信模块，通过无线的方式发送到后台处理系统的无线通信模块；

3) 超声透射波信号的接收；超声波发送的信号传播至探测物后会透射一部分信号，透射波信号经过透射接收端的超声波接收探头接收后传送至信号接收电路，经过低噪放大和模数(A/D)转换之后再传输至透射接收端的无线通信模块，通过无线的方式发送到后台处理系统的无线通信模块；

4) 反射、透射信道的反演；后台处理系统的无线通信模块把收到的反射波信号和透射波信号传到后台处理系统的处理模块；处理模块根据发送信号和反射波信号进行反射系统辨识处理，反演出此观察点的窄域反射信道；同理，处理模块根据发送信号和透射波信号进行透射系统辨识处理，反演出窄域透射信道；这样就得到 A 点和 A' 点所在平面附近区域的窄域反射信道和窄域透射信道；

发射和反射接收端继续滑动，滑动到 B 点，同时，透射接收端沿着透射接收螺旋轨道滑动到 B' 点，B 点和 B' 点处于同一水平面的直径两端；在这个观察点位置处的工作过程和 A 点和 A' 点完全一样，经过 1)——4) 后得到 B 点和 B' 点所在平面附近区域的窄域反射信道和窄域透射信道；发射和反射接收端沿着发射和反射接收螺旋轨道从顶端滑到底端，透射接收端沿着透射接收螺旋轨道从顶端滑到底端，假设经过了 N 个精确观察点，经过这样螺旋形的扫描后得到一组 N 个窄域反射信道和窄域透射信道；

为了去噪得到更精确的测量，可以进行多次测量，当发射和反射接收端已经滑到发射和反射接收螺旋轨道底端，透射接收端滑到透射接收螺旋轨道底端，发射和反射接收端又能够沿着发射和反射接收螺旋轨道从底端滑到顶端，透射接收端沿着透射接收螺旋轨道从底端滑到顶端，如此反复得到若干组 N 个窄域反射信道和窄域透射信道；

(3) 反射信道和透射信道融合；若干组 N 个不同区域的窄域反射信道和窄域透射信道，由于有固定观察点位置对应，所以可以根据空间位置的对应进行拼接，融合成整个探测区域的反射信道和透射信道；这部分的工作仍然是后台处理系统的处理模块进行；

(4) 获取探测物属性；由于反射信道和透射信道是跟探测物体所处的位置和属性是息息相关的，这个可以根据已知位置和属性的探测物体来训练一些反射信道和透射信道，然后再进行测试，就能够反推出被测探测物体所处的位置和属性；这部分的工作仍然是后台处理系统的处理模块进行；

(5) 探测结果显示；对后台处理系统的处理模块得到的结果进行显示，能够显示探测空间的反射信道和透射信道的传递函数分布，也能够显示其频率响应、零极点分布及其它变换函数，以及探测目标的位置和属性。

## 一种多模三维超声探测与成像装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及超声波无损探测技术,具体涉及利用超声波传播特性反演反射信道和透射信道参量分布进而进行多模三维超声成像的装置与方法。

### 背景技术

[0002] 无损探测是利用物质的声、光、磁和电等特性,在不损害或不影响被检测对象使用性能的前提下,检测被检对象中是否存在缺陷或不均匀性,给出缺陷大小,位置,性质和数量等信息。无损探测的结果依赖于对探测目标的成像。超声检测是无损检测领域的重要手段之一,由于其探测信号穿透能力很强,无损、实时、成本低廉,广泛应用于铁路交通、医学诊断、工业探测等国民经济中的诸多行业。

[0003] 超声波是指振动频率大于20KHz以上的声波,它在介质中传播,遇到声阻抗不同的异质界面(如缺陷或被探测物等)就会产生反射和透射,传播过程中有散射,衰减等。通过接收反射波和透射波,提取其有用信息来进行超声探测与成像,其中常用的信息是幅度和频率。如超声对于人体器官的探测,超声射入体内,由表面到深部,将经过不同声阻抗和不同衰减特性的器官与组织,从而产生不同的反射与衰减。这种不同的反射与衰减是构成超声图像的基础,最后根据接收到的反射波的延时和幅度大小来成像。早期的A型超声以反射波的波形,即是其波幅变化反映回波情况。B型超声,则以明暗不同的光点反映反射波的幅度大小。高清晰度的黑白B超再加上彩色多普勒则为彩超,彩超可以观测到的图像以红蓝两色为主。超声在人体探测中一般只用反射波,不易探测到骨、气体遮盖下的病变。对于全是软组织的地方,反射波较弱,透射波强,若检测只是考虑反射波得不到好的成像效果。

[0004] 而对于人体的检测,根据检测的信号不同,在临床医学上目前的检测方法除了超声还有X射线、检测电磁波的核磁共振和检测 $\gamma$ 射线的正电子断层成像方法。由于X射线穿过人体时,受到不同程度的吸收,如骨骼吸收的X射线量比肌肉吸收的量要多,那么通过人体后的X射线的量就不一样,这样便携带了人体各部分密度分布的信息,在荧光屏上或摄影胶片上引起的荧光作用或感光作用的强弱就有较大差别,因而在荧光屏上或摄影胶片上(经过显影、定影)将显示出不同密度的阴影,通过这样来进行X射线成像,由于X射线的频率高,所以可以进行高精度检测,但是对软组织的分辨率太低,且X射线在穿透人体时,会引起人体生物大分子及水分子的电离和激发反应,产生有害效应,无任何防护的照射会对人体造成射线损伤。核磁共振成像依据物质所释放的能量在物质内部不同结构环境中不同的衰减,通过外加梯度磁场检测所发射出的电磁波,即可得知构成这一物体原子核的位置和种类,据此可以绘制出物体内部的结构图像。其对软组织有极好的分辨力,但该方法扫描时间长,成像速度慢,空间分辨力不够理想,且由于强磁场的存在,对含有磁金属的特殊生物体不适用,而且产生的强静磁场、射频场的热效应和噪声等对人体有潜在的危害。正电子断层成像属于核医学成像,它是以放射性核素的示踪作用为基本原理的医学成像技术。该方法将生物生命代谢中必须的物质,如:葡萄糖、蛋白质等标记上短寿命的放射性核素(如F18,碳11等)注入人体后,通过检测该物质在代谢中的聚集所产生的 $\gamma$ 射线,来反映生命代谢活

动的情况,从而达到诊断的目的。该方法使用的放射性核素对人体有害而且由于产生放射性核素的药物成本高和检测 $\gamma$ 射线的仪器成本高,使得检测价格极其昂贵。

[0005] 上述的X射线、 $\gamma$ 射线、超声波可以结合CT(Computed Tomography),即电子计算机断层扫描技术,演变为X射线CT(X-CT)、 $\gamma$ 射线CT( $\gamma$ -CT)以及超声CT(UCT)。它们分别发射X射线、 $\gamma$ 射线、超声波,利用灵敏度极高的探测器一同围绕人体的某一部位作一个接一个的断面扫描以达成全局扫描。此类方法虽然能全局扫描,但是CT只能显示与身体长轴相垂直的横断层像。基于CT的检测一般都是基于透射模型的,即是检测X射线、 $\gamma$ 射线或超声波穿过生物组织的衰减系数或者吸收系数。对生物体探测选用的超声的频率远远低于X射线、 $\gamma$ 射线,故穿透性差,在界面上反射衍射明显导致传播路径复杂,所以单纯依靠衰减参数来检测效果不好,其性能远低于X射线CT(X-CT)、 $\gamma$ 射线CT( $\gamma$ -CT)。而且目前的CT设备很庞大,对电源、温度、湿度、无尘净化等工作环境有较高的要求,所以很难拓展到非医疗的环境中使用。

[0006] 纵观现在对生物体的探测与成像的技术特点,存在以下缺点和不足:

[0007] (1) 基于单一的反射和透射模型。反射和透射模型各有优劣,从接收波的强度来看,反射模型适合比较硬的生物体组织而不适合软组织,因为硬的生物体组织反射波强,透射波弱;透射模型适合比较软的生物体组织而不适合硬的生物体组织,因为穿过软组织的透射波强,反射波弱。而目前超声探测技术大多基于反射模型,不易探测到骨、气体遮盖下的病变。X射线CT(X-CT)单纯基于透射模型,对软组织的分辨能力低。

[0008] (2) 基于单一的参数检测。目前的探测技术缺乏用系统的观点对整个探测区域进行描述,而只是用单一的参数来检测。X射线CT(X-CT)、 $\gamma$ 射线CT( $\gamma$ -CT)以及超声CT(UCT)是检测X射线、 $\gamma$ 射线或超声波穿过生物组织的衰减系数或者吸收系数,当这单一的参数检测算法鲁棒性不好时容易误检,

[0009] (3) 很多探测对探测物有害,特别是对人体有害。如X射线对人体有电离辐射,核磁共振产生的强磁场和正电子断层成像注入人体的放射性核素均对人体有害。这些检测都不能长时和经常检测,达不到经常进行体检的目的。

[0010] (4) 检测设备昂贵。X射线、核磁共振和正电子断层成像这类方法的设备都极其昂贵,每检查一次都需要花费几百到上千元,故不能成为常规的体检项目。

[0011] (5) 探测装置复杂且庞大,受环境影响大。目前的CT设备很庞大,对电源、温度、湿度、无尘净化等工作环境有较高的要求,所以很难拓展到非医疗的环境中使用。

## 发明内容

[0012] 针对目前探测成像方式基于单一的反射和透射模型、单一参数的估计以及超声探测对人体无害的优势,本发明提出一种基于多模三维超声探测与成像装置及方法,该装置综合利用反射模型和透射模型的优势,通过发射探头阵列发射超声波,反射接收探头阵列接收反射波,透射接收探头阵列接收透射波,借助在对称的双螺旋轨道上滑动,对整个探测空间进行螺旋形的立体扫描。扫描的探测数据无线发送到后台经过处理,根据信息系统理论,反演出反射超声波所经过的路径(即反射信道)和透射超声波所经过的路径(即透射信道),进而对透射信道和反射信道的特征分布进行探测空间的三维成像。本发明通过如下技术方案实现:

[0013] 基于多模三维超声探测与成像装置包括箱体,发射和反射接收螺旋轨道,透射接收螺旋轨道,发射和反射接收端,透射接收端和后台处理系统。探测时,探测物放置在箱体中间,被发射和反射接收螺旋轨道、透射接收螺旋轨道所包围。发射和反射接收端在发射和反射接收螺旋轨道上来回滑动,透射接收端在透射接收螺旋轨道上来回滑动,以此来进行整个探测区域的扫描。

[0014] 作为上述基于多模三维超声探测与成像装置的优化方案,所述箱体是整个探测区域,为了有利于探测信号的传播和耦合液体的经济适用,箱体中可以采用盛水来达到此目的,箱体中有出入水的接口阀门。未工作时,发射和反射接收端在发射和反射接收螺旋轨道上的顶端,透射接收端在透射接收螺旋轨道上的顶端,以免浸泡于箱体的耦合液中。箱体一般为圆柱体,也可为其它柱体。

[0015] 作为上述基于多模三维超声探测与成像装置的优化方案,所述发射和反射接收螺旋轨道是螺旋形的,其顶端为直线形,稍高于箱体,便于发射和反射接收端未工作时不浸泡于耦合液中。该轨道需卡住发射和反射接收端,在牵引力作用下使其能匀速运动。

[0016] 作为上述基于多模三维超声探测与成像装置的优化方案,所述透射接收螺旋轨道是螺旋形的,与发射和反射接收螺旋轨道对称分布,其顶端为直线形,稍高于箱体,便于透射接收端未工作时不浸泡于耦合液中。透射接收螺旋轨道需卡住透射接收端,在牵引力作用下使其能匀速运动。由于透射接收螺旋轨道与发射和反射接收螺旋轨道对称分布,发射和反射接收端与透射接收端按照同样的速度匀速运动,任意时刻发射和反射接收端与透射接收端都会处于同一水平面。

[0017] 作为上述基于多模三维超声探测与成像装置的优化方案,发射和反射接收螺旋轨道与透射接收螺旋轨道是双螺旋同径对称结构,可附在箱体的内侧柱面上,也可以单独设置一个夹层放置,夹层里充满耦合液,夹层采用透声材料制作。

[0018] 作为上述基于多模三维超声探测与成像装置的优化方案,所述发射和反射接收端包括超声探头阵列和电路模块以及它们之间的连接电缆,整个进行防水包装后卡入到发射和反射接收螺旋轨道中,可以沿着发射和反射接收螺旋轨道来回地滑动。超声探头阵列可以是圆阵、方阵等,每个阵列的中心放置发射探头,周围放置接收探头,发射探头把电路模块要发送的电信号转换成超声波发射出去,接收探头把接收的反射超声波转换成电信号通过电缆传给电路模块。发射探头采用发射功率大、面积小的换能器,接收探头采用低噪声高灵敏的换能器。所述电路模块包括电池、信号收发电路、无线通信模块和滑动控制模块,以及电路模块各个单元之间的连接电缆,整个电路模块需要进行防水的封装;所述电池采用微型电池,分别与信号收发电路、滑动控制模块和无线通信模块连接,也与超声探头阵列相连;信号收发电路与超声探头阵列连接,包括数模(D/A)转换器和功率放大器以及模数(A/D)转换器和低噪声放大器,信号收发电路将连续宽频发送信号经数模转换和功率放大后,转发给超声探头阵列中相应的超声波发射探头,信号收发电路还缓存各个超声波接收探头接收到的反射波信号,对其进行低噪放大和模数转换;无线通信模块将后台处理系统产生的连续宽频发送信号传送至信号收发电路,以及将后台处理系统的滑动控制信号传给滑动控制模块,以控制发射和反射接收端沿着轨道滑动,同时将各超声波接收探头接收的反射波信号传送给后台处理系统进行处理;滑动控制模块收到滑动控制信号后控制发射和反射接收端沿着发射和反射接收螺旋轨道匀速滑动。

[0019] 作为上述基于多模三维超声探测与成像装置的优化方案,所述透射接收端与发射和反射接收端基本相似,包括超声探头阵列和电路模块以及它们之间的连接电缆,整个进行防水包装后卡入到透射接收螺旋轨道中,可以沿着透射接收螺旋轨道进行来回地滑动。超声探头阵列可以是圆阵、方阵等,所有探头都为接收探头,把接收的透射超声波转换成电信号通过电缆传给电路模块。所述电路模块包括电池、信号接收电路、无线通信模块和滑动控制模块,以及电路模块各个单元之间的连接电缆,整个电路模块需要进行防水的封装;所述电池采用微型电池,分别与信号接收电路、滑动控制模块和无线通信模块连接,也与超声探头阵列相连;信号接收电路与超声探头阵列连接,包括模数(A/D)转换器和低噪声放大器,信号接收电路缓存各个超声波探头接收到的透射波信号,对其进行低噪放大和模数转换;无线通信模块将后台处理系统的滑动控制信号传给滑动控制模块,以控制透射接收端沿着透射接收螺旋轨道滑动,同时将各超声波探头接收的透射波信号传送给后台处理系统进行处理;滑动控制模块收到滑动控制信号后控制透射接收端沿着透射接收螺旋轨道匀速滑动。

[0020] 作为上述基于多模三维超声探测与成像装置的优化方案,所述后台处理系统包括后台无线通信模块、处理模块、显示模块和人机交互模块。后台无线通信模块与发射和反射接收端、透射接收端的无线通信模块相对应,进行无线通信;处理模块是对反射接收端的探头阵列采集得到的超声反射波信号以及透射接收端采集得到的超声透射波信号进行快速高效地处理,其中的处理包括反射信道和透射信道的反演以及拼接融合,得到三维空间的信道传递函数分布;显示模块对探测区域的超声波传播信道的三维分布进行多种模式的显示,可以是信道传递函数分布,频率响应分布及其它变换函数分布,也可以是零极点分布等,以及对探测目标的属性进行显示;人机交互模块可以对发送信号的时长参数、显示的控制参数、检测的结果存储进行人工控制。

[0021] 所述的反射信道是指发射探头发射超声波,经过探测物反射后,由反射接收探头接收反射波,由此从发射到接收所经历的路径。假设这个路径经过了液体水,探测物为人的小腿,则还会经过皮肤,肌肉,骨头,由于肌肉和骨头之间的声阻抗相差比较大,所以到骨头后反射信号比较大,反射信号又会经历肌肉,皮肤,液体水,最后被反射接收探头接收。由于是分析反射波和发射波来反演此信道,故此信道称为反射信道,可以看出这个反射信道和此路径上的皮肤,肌肉,骨头的属性(大小,厚度,密度等)有关。代表此信道的特征可以用反射信道的传递函数,反射冲激响应的傅里叶变换(即是频率响应)以及其它变换,以及反射信道的零极点分布等。假设发射超声波 $x(t)$ 经过反射信道后接收反射波 $y_r(t)$ ,容易根据系统辨识的方法求得反射信道系统的反射传递函数 $H_r(f)$ 和反射冲激响应 $h_r(t)$ 。发射超声波 $x(t)$ 、接收反射波 $y_r(t)$ 与反射冲激响应 $h_r(t)$ 的关系为:

$$[0022] \quad y_r(t) = x(t) * h_r(t) \quad (\text{公式一})$$

[0023] 由此可以得到反射传递函数 $H_r(f)$ :

$$[0024] \quad H_r(f) = \frac{Y_r(f)}{X(f)} \quad (\text{公式二})$$

[0025] 式中 $Y_r(f)$ 是接收反射波 $y_r(t)$ 的傅里叶变换, $X(f)$ 是发射超声波 $x(t)$ 的傅里叶变换。反射冲激响应 $h_r(t)$ 即是反射传递函数 $H_r(f)$ 的反傅里叶变换,反射冲激响应的其它变换也容易变换获得,反射信道的零极点分布等可以通过反射传递函数的分子分母求根来获

得。

[0026] 同理,所述的透射信道是指发射探头发射超声波,穿过液体水,到达探测物,从探测物透射后,再穿过液体水后,由透射接收探头接收透射波,这样超声波从发射到接收所经历的路径可以看成是一个信道。假设这个路径经过了液体水,探测物为人的大腿,恰好没有碰到骨头,则还会经过皮肤,肌肉,皮肤,液体水,最后被透射接收探头接收。由于是分析透射波和发射波来反演此信道,故此信道称为透射信道,可以看出这个透射信道和此路径上的皮肤,肌肉,骨头的属性(大小,厚度,密度等)有关。代表此信道的特征可以用透射信道的传递函数,透射冲激响应的傅里叶变换以及其它变换等,以及透射信道的零极点分布等。假设发射波 $x(t)$ 经过透射信道后接收透射波 $y_t(t)$ ,容易根据系统辨识的方法求得透射信道系统的透射传递函数 $H_t(f)$ 和透射冲激响应 $h_t(t)$ 。发送透射波 $x(t)$ 、接收透射波 $y_t(t)$ 与透射冲激响应 $h_t(t)$ 的关系为:

$$[0027] \quad y_t(t) = x(t) * h_t(t) \quad (\text{公式三})$$

[0028] 由此可以得到透射传递函数 $H_r(f)$  :

$$[0029] \quad H_r(f) = \frac{Y_t(f)}{X(f)} \quad (\text{公式四})$$

[0030] 式中 $Y_t(f)$ 是接收透射波 $y_t(t)$ 的傅里叶变换。透射冲激响应 $h_r(t)$ 即是透射传递函数 $H_r(f)$ 的反傅里叶变换,透射冲激响应的其它变换也容易变换获得,透射信道的零极点分布等可以通过透射传递函数的分子分母求根来获得。

[0031] 所述的反射信道融合过程为:假设发射和反射接收端的发射探头 $N_1$ 个,接收探头 $N_2$ 个。发射和反射接收端沿着螺旋形的发射和反射接收螺旋轨道从顶端匀速滑到底端,这个沿着固定轨道的匀速运动是可以确知某个时刻的精确位置(称为观察点),发射和反射接收端在此观察点位置上得到 $N_1 \times N_2$ 个反射信道。而对于每个接收探头来说,收到的是 $N_1$ 个发射探头发射的超声波经过探测物反射之后的反射波之和。每个接收探头要分离出是哪个发射探头发射的,需要发射探头发射的超声波相互正交。每个接收探头分离出 $N_1$ 个反射波之后,由每个对应的发射波和反射波对可以得到一个信道, $N_1$ 个发射波和反射波对得到 $N_1$ 个信道,由信号处理理论可以知 $N_1$ 个信道是并联关系,可以融合成一个反射信道。因此 $N_1 \times N_2$ 个反射信道可以融合为 $N_2$ 个反射信道,这可以看成是 $N_2$ 接收探头在此观察位置上的一个窄域反射信道,到下一个观察点位置又得到另一个窄域反射信道,.....,如此下去,假设设置了 $N$ 个精确的观察点位置,则可以得到 $N$ 个窄域反射信道。发射和反射接收螺旋轨道是螺旋形的,因此这 $N$ 个窄域反射信道覆盖整个探测区域。对这含有位置信息的 $N$ 个窄域反射信道进行空间的拼接和融合,就可以得到整个探测区域的反射信道的空间分布。

[0032] 所述的透射信道融合过程为:假设发射和反射接收端的发射探头 $N_1$ 个,透射接收端的接收探头 $N_3$ 个。发射和反射接收端沿着螺旋形的发射和反射接收螺旋轨道从顶端匀速滑到底端的同时,透射接收端沿着螺旋形的透射接收螺旋轨道也从顶端按照同样的速度匀速滑到底端,发射和反射接收螺旋轨道与透射接收螺旋轨道是对称的双螺旋结构,发射和反射接收端与透射接收端按照同样的速度匀速运动时,任意时刻发射和反射接收端与透射接收端都处于同一水平面的直径的两端。同样地,这个沿着固定的轨道匀速运动是可以确知某个时刻发射和反射接收端与透射接收端的精确观察点位置,透射接收端在某观察点位置上得到 $N_1 \times N_3$ 个透射信道。而对于透射接收端的每个接收探头来说,收到的是 $N_1$ 个发射探

头发射的超声波经过探测物透射之后的透射波之和。每个接收探头要分离出是哪个发射探头发射的,需要发射探头发射的超声波相互正交。每个接收探头分离出 $N_1$ 个透射波之后,由每个对应的发射波和透射波对可以得到一个信道, $N_1$ 个发射波和透射波对得到 $N_1$ 个信道,由信号处理理论可知 $N_1$ 个信道是并联关系,可以融合成一个透射信道。因此 $N_1 \times N_3$ 个透射信道可以融合为 $N_3$ 个透射信道,这可以看成是 $N_3$ 个透射接收探头在此观察位置上的一个窄域透射信道,到下一个确定观察点位置又得到另一个窄域透射信道,……,如此下去,假设设置了 $N$ 个精确的观察点位置,则可以得到 $N$ 个窄域透射信道,发射和反射接收螺旋轨道是螺旋形的,因此这 $N$ 个窄域透射信道可覆盖整个探测区域。对这含有位置信息的 $N$ 个窄域透射信道进行空间的拼接和融合,就可以得到整个探测区域的透射信道的空间分布。

[0033] 发射和反射接收端沿着发射和反射接收螺旋轨道从顶端匀速滑到底端,透射接收端沿着螺旋形的透射接收螺旋轨道从顶端匀速滑到底端,这个速度的设置依据为:在发射和反射接收螺旋轨道的每个观察点,发射探头发射连续宽频超声波,反射接收探头接收反射波,透射接收探头接收透射波,发射信号持续一定的时间,而发射和反射接收端在这个观察点停留的时间(即是从这个观察到下一个观察点的时间),大于反射波的传播时间也大于透射波的传播时间。这样,在每个观察点时分处理,这个观察点的反射波和透射波就不会和下一个观察点的反射波和透射波混杂在一起。

[0034] 探测物体时,对于上下两层声阻抗相差比较大的用反射模型比较好,如测量骨头的密度,骨头的反射波会比较强;对于上下两层声阻抗相差比较小的用透射模型比较好,如探测肌肉的瘀伤,直接从肌肉透射过去的透射波会比较强;所以本发明综合反射模型和透射模型的优势,可以更精确展示不同类型的探测物的属性,满足不同的需求。

[0035] 上述基于多模三维超声探测与成像方法,包括如下步骤:

[0036] 未工作时,发射和反射接收端处于发射和反射接收螺旋轨道的顶端,透射接收端处于透射接收螺旋轨道的顶端。放置探测物到箱体中。

[0037] (1) 启动工作。后台处理系统的人机交互模块确定发送信号的时长参数、显示的控制参数后,开始启动工作。启动控制信号通过后台处理系统的无线通信模块发送到发射和反射接收端的无线通信模块,以及透射接收端的无线通信模块。

[0038] (2) 螺旋形扫描。发射和反射接收端的无线通信模块收到启动控制信号后,传给发射和反射接收端的滑动控制模块,控制发射和反射接收端从发射和反射接收螺旋轨道的顶端开始滑动。同时,透射接收端的无线通信模块收到启动控制信号后,传给透射接收端的滑动控制模块,控制透射接收端从透射接收螺旋轨道的顶端开始滑动。发射和反射接收端与透射接收端是按照同一速度匀速滑动,由于发射和反射接收螺旋轨道与透射接收螺旋轨道是对称的螺旋轨道,任何时刻都会处于同一水平面的直径两端,这样能确保透射接收端收到最强的透射波。假设发射和反射接收端沿着发射和反射接收螺旋轨道滑动到A点,同时,透射接收端沿着透射接收螺旋轨道滑动到A'点,A点和A'点处于同一水平面的直径两端。在这个位置处的工作过程如下:

[0039] 1) 超声信号发送。后台处理系统把产生的连续宽频发送信号通过后台处理系统的无线通信模块发送到发射和反射接收端的无线通信模块,再传输至发射和反射接收端的信号收发电路,经过数模(D/A)转换和功率放大后,激励超声波发射探头发射连续宽频的超声波发送信号。

[0040] 2) 超声反射波信号的接收。超声波发送信号传播至探测物后会反射一部分信号,反射信号经过发射和反射接收端的超声波接收探头接收后传送至信号收发电路,经过低噪放大和模数(A/D)转换之后再传输至发射和反射接收端的无线通信模块,通过无线的方式发送到后台处理系统的无线通信模块。

[0041] 3) 超声透射波信号的接收。超声波发送信号后传播至探测物后会透射一部分信号,透射波信号经过透射接收端的超声波接收探头接收后传送至信号接收电路,经过低噪放大和模数(A/D)转换之后再传输至透射接收端的无线通信模块,通过无线的方式发送到后台处理系统的无线通信模块。

[0042] 4) 反射、透射信道的反演。后台处理系统的无线通信模块把收到的反射波信号和透射波信号传到后台处理系统的处理模块。处理模块根据发送信号和反射波信号进行反射系统辨识处理,反演出此观察点的窄域反射信道;同理,处理模块根据发送信号和透射波信号进行透射系统辨识处理,反演出窄域透射信道。这样就得到A点和A'点所在平面附近区域的窄域反射信道和窄域透射信道。

[0043] 发射和反射接收端继续滑动,滑动到B点,同时,透射接收端沿着透射接收螺旋轨道滑动到B'点,B点和B'点处于同一水平面的直径两端。在这个观察点位置处的工作过程和A点和A'点完全一样,经过1)——4)后得到B点和B'点所在平面附近区域的窄域反射信道和窄域透射信道。发射和反射接收端沿着发射和反射接收螺旋轨道从顶端滑到底端,透射接收端沿着透射接收螺旋轨道从顶端滑到底端,假设经过了N个精确观察点,经过这样螺旋形的扫描后得到一组N个窄域反射信道和窄域透射信道。

[0044] 为了去噪得到更精确的测量,可以进行多次测量,当发射和反射接收端已经滑到发射和反射接收螺旋轨道底端,透射接收端滑到透射接收螺旋轨道底端,发射和反射接收端又可以沿着发射和反射接收螺旋轨道从底端滑到顶端,透射接收端沿着透射接收螺旋轨道从底端滑到顶端,如此反复得到若干组N个窄域反射信道和窄域透射信道。

[0045] (3) 反射信道和透射信道融合。若干组N个不同区域的窄域反射信道和窄域透射信道,由于有固定观察点位置对应,所以可以根据空间位置的对应进行拼接,融合成整个探测区域的反射信道和透射信道。这部分的工作仍然是后台处理系统的处理模块进行。

[0046] (4) 获取探测物属性。由于反射信道和透射信道是跟探测物体所处的位置和属性是息息相关的,这个可以根据已知位置和属性的探测物体来训练一些反射信道和透射信道,然后再进行测试,就可以反推出被测探测物体所处的位置和属性。这部分的工作仍然是后台处理系统的处理模块进行。

[0047] (5) 探测结果显示。对后台处理系统的处理模块得到的结果进行显示,可以显示探测空间的反射信道和透射信道的传递函数分布,也可以显示其频率响应及其它变换函数等,也可以是零极点分布等,以及探测目标的位置、属性等。

[0048] 与现有的超声三维成像相比,本发明具有以下优点:

[0049] (1) 多模的空间信道反演,既有适合比较硬的物体的反射信道反演,又有适合比较软的物体的透射信道反演,综合了反射模型和透射模型的优势。

[0050] (2) 多种探测结果显示。可以显示探测空间的反射信道和透射信道的传递函数分布,也可以显示其傅里叶函数及其它变换函数,也可以是零极点分布等,以及探测目标的位置、属性等。

[0051] (3) 发射和反射接收端沿着发射和反射接收螺旋轨道从顶端滑到底端,再从底端到顶端,透射接收端沿着透射接收螺旋轨道从顶端滑到底端,再从底端到顶端,经过这样螺旋形的往复得来回扫描可以得到探测物的同一观察点位置的若干个窄域反射信道和窄域透射信道,以达到去噪的目的和多次探测,避免漏检。

[0052] (4) 探测速度快。假设箱体2米(m)的直径,探测物占1米(m)的直径,箱体盛装的液体水的声速为5000m/s,探测物是人体,根据超声协会所定标准,超声波在人体软组织中平均声速为1540m/s,骨头3860m/s,以最小的速度计为1500m/s,则超声波透射需要的时间为 $1\text{m}/(1500\text{m/s})+1\text{m}/(5000\text{m/s})=0.87\text{ms}$ ,以1ms计,超声波反射需要的时间为 $2*(1\text{m}/(1500\text{m/s})+0.5\text{m}/(5000\text{m/s}))=1.54\text{ms}$ ,以2ms计,即是某观察点位置处发射了超声波,经过2ms超声透射波和反射波都已经收到,发射和反射接收端与透射接收端可以分别滑动到发射和反射接收螺旋轨道与透射接收螺旋轨道的下一个观察点。再假设发射和反射接收螺旋轨道相邻观察点的距离(也是透射接收螺旋轨道相邻观察点的距离)设为1mm,则设置上万的观察点,需要的时间才几十秒,此时的轨道长度已经到达10m以上。

[0053] (6) 探测精度高且可调。本发明的探测精度依赖于发射和反射接收螺旋轨道相邻观察点的距离(也是透射接收螺旋轨道相邻观察点的距离),该距离越近,则探测精度越高。当发射和反射接收螺旋轨道相邻观察点的距离设为0.1mm,则探测精度可以精确到0.1mm。当探测精度要求不那么高的时候,则发射和反射接收螺旋轨道相邻观察点的距离,以及透射接收螺旋轨道相邻观察点的距离可以设置大一点,进一步提升探测速度。且根据不同的探测对象,箱体可大可小,相应地设置不一样长度的发射和反射接收螺旋轨道与透射接收螺旋轨道,如当探测对象比较小,可以选用小箱体,缩短发射和反射接收螺旋轨道与透射接收螺旋轨道的长度,设置同样的观察点,则可提高探测精度。

[0054] (7) 通过通信将后台处理系统与前端探测系统之间进行物理位置的分开,可以降低系统线路复杂度,极大提高探测的灵活性。同时大量复杂的信号处理与计算可以由后台处理系统实现,可以保证探测数据的快速处理和高精度成像。

[0055] (8) 用超声来对探测物进行探测,超声探测是无害的探测,对探测物和人都是无害的。且超声诊断成本低,设备制造成本低,可以拓展到非医疗机构应用,如运用到酒店、健身、沐浴、游泳等休闲场合做轻松的体检。

## 附图说明

[0056] 图1是基于多模三维超声探测与成像装置工作示意图。

[0057] 图2(a)是基于多模三维超声探测与成像装置发射和反射接收端的电路示意图。

[0058] 图2(b)是基于多模三维超声探测与成像装置发射和反射接收端的电路结构框图。

[0059] 图3(a)是基于多模三维超声探测与成像装置透射接收端的电路示意图。

[0060] 图3(b)是基于多模三维超声探测与成像装置透射接收端的电路结构框图。

[0061] 图4是发射和反射接收螺旋轨道与透射接收螺旋轨道的对称双螺旋结构示意图。

[0062] 图4(a)是发射和反射端滑动到发射和反射接收螺旋轨道的A点,透射接收端滑动到透射接收螺旋轨道的A'示意图。

[0063] 图4(b)是发射和反射端滑动到发射和反射接收螺旋轨道的B点,透射接收端滑动到透射接收螺旋轨道的B'示意图。

- [0064] 图5是反射信道、透射信道示意图。
- [0065] 图5(a)是发射超声波、反射波、透射波的示意图。
- [0066] 图5(b)是反射信道的等效示意图。
- [0067] 图5(c)是透射信道的等效示意图。
- [0068] 图6是基于多模三维超声探测与成像方法的工作流程图。

### 具体实施方式

[0069] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步说明,但本发明的实施不限于此。

[0070] 如图1所示,是本实施例所述基于多模三维超声探测与成像装置的工作示意图。基于多模三维超声探测与成像装置包括箱体101,发射和反射接收端102,发射和反射接收螺旋轨道103(图中在箱体里用虚线所示),透射接收端104,透射接收螺旋轨道105(图中在箱体里用实线所示)和后台处理系统106。箱体是整个探测区域,为了有利于探测信号的传播和耦合液体的经济适用,箱体中盛水,箱体中有出入水的接口阀门。工作时,发射和反射接收端102在发射和反射接收螺旋轨道103上来回滑动,透射接收端104在透射接收螺旋轨道105上来回滑动。未工作时,发射和反射接收端102在发射和反射接收螺旋轨道103上的顶端,透射接收端104在透射接收螺旋轨道105上的顶端,以免浸泡于箱体的水中。发射和反射接收端102与透射接收端104均通过无线的方式和后台处理系统106通信,进行数据的传输。

[0071] 如图2(a)所示,是本实施例所述基于多模三维超声探测与成像装置的电路示意图。发射和反射接收端102包括超声探头阵列201和电路模块202以及它们之间的连接电缆,整个进行防水包装后卡入到发射和反射接收螺旋轨道中,可以沿着发射和反射接收螺旋轨道进行来回地滑动。超声探头阵列201可以是圆阵、方阵等,图2(a)示意了一个圆阵,每个阵列的中心探头为发射探头203,且只有一个发射探头,周围的一圈布置8个接收探头204,发射探头203把电路模块202要发送的电信号转换成超声波发射出去,接收探头204把接收的反射超声波转换成电信号通过电缆传给电路模块202。电路模块202包括电池205、信号收发电路206、无线通信模块207和滑动控制模块208,以及电路模块各个单元之间的连接电缆,整个电路模块需要进行防水封装。

[0072] 如图2(b)所示,是本实施例发射和反射接收端的结构框图。电池采用微型电池,分别与信号收发电路、滑动控制模块和无线通信模块连接,也与超声探头阵列相连;信号收发电路与超声探头阵列连接;信号收发电路将连续宽频发送信号经过数模(D/A)转换和功率放大后转发给超声探头阵列中相应的超声波发射探头发射,信号收发电路缓存各个超声波接收探头接收到的反射波信号,经过低噪声放大和模数(A/D)转换后传到无线通信模块;无线通信模块将后台处理系统产生的连续宽频超声波信号传送至信号收发电路,以及将后台处理系统的滑动控制信号传给滑动控制模块,以控制发射和反射接收端沿着发射和反射接收螺旋轨道滑动,同时将各超声波探头接收的反射波信号传送给后台处理系统进行处理;滑动控制模块收到滑动控制信号后控制发射和反射接收端沿着发射和反射接收螺旋轨道匀速滑动。

[0073] 如图3(a)所示,是本实施例透射接收端的电路示意图。透射接收端与发射和反射接收端基本相似,包括超声探头阵列301和电路模块302以及它们之间的连接电缆,整个进

行防水包装后卡入到透射接收螺旋轨道中,可以沿着透射接收螺旋轨道进行来回地滑动。超声探头阵列可以是圆阵、方阵等,此例为 $3 \times 3$ 的方阵探头阵列。所有探头都为接收探头303,把接收的透射超声波转换成电信号通过电缆传给电路模块302。电路模块302包括电池304、信号接收电路305、无线通信模块306和滑动控制模块307,以及电路模块各个单元之间的连接电缆,整个电路模块需要进行防水的封装。

[0074] 如图3(b)所示,是本实施例透射接收端的结构框图。电池采用微型电池,分别与信号接收电路、滑动控制模块和无线通信模块连接,也与超声探头阵列相连;信号接收电路与超声探头阵列连接,缓存各个超声波探头接收到的透射波信号,经过低噪声放大和模数(A/D)转换后传到无线通信模块;无线通信模块将后台处理系统的滑动控制信号传给滑动控制模块,以控制透射接收端沿着透射接收螺旋轨道滑动,同时将各超声波探头接收的透射波信号传送给后台处理系统进行处理;滑动控制模块收到滑动控制信号后控制透射接收端沿着透射接收螺旋轨道匀速滑动。

[0075] 如图4所示,是本发明所述发射和反射接收螺旋轨道与透射接收螺旋轨道的对称双螺旋结构示意图。发射和反射接收螺旋轨道是圆柱螺旋形的,放置于盛满水的圆柱箱体中,顶端稍高于箱体,利于发射和反射接收端不工作时不浸泡于水中,发射和反射接收螺旋轨道卡住发射和反射接收端,使其能匀速运动。透射接收螺旋轨道也是圆柱螺旋形的,放置于盛满水的圆柱箱体中,顶端稍高于箱体,利于透射接收端不工作时不浸泡于水中。透射接收螺旋轨道卡住透射接收端,使其能匀速运动。发射和反射接收端沿着螺旋形的发射和反射接收螺旋轨道从顶端匀速滑到底端的同时,透射接收端沿着螺旋形的透射接收螺旋轨道也从顶端按照同样的速度匀速滑到底端,发射和反射接收螺旋轨道与透射接收螺旋轨道是对称的双螺旋结构,发射和反射接收端与透射接收端按照同样的速度匀速运动时,任意时刻发射和反射接收端与透射接收端都处于同一水平面的直径的两端,如图4(a)示意在位置A和A'处,A和A'是同一水平面的直径的两端,图4(b)示意在位置B和B'处,B和B'是同一水平面的直径的两端。

[0076] 如图5所示,是本发明所述反射信道,透射信道的示意图。在图5(a)中假设箱体盛满水,探测物放到箱体后的一个纵向的截面示意。探测物放到箱体后占的位置为界面 $J_2$ 到界面 $J_3$ 直径为 $l_2$ 的柱状区域,被这个柱状区域分隔开的两块区域的长度分别为 $l_1$ 和 $l_3$ 。发射和反射接收端在观察点A发射超声信号 $x(t)$ ,经过第一个分界面 $J_1$ 后有反射波 $y_1(t)$ ,透射波继续入射到界面 $J_2$ ,有反射波 $y_2(t)$ ,透射波继续入射到界面 $J_3$ ,有反射波 $y_3(t)$ ,.....,如此下去,每个分界面的透射波继续入射到后面的界面,到最后一层界面 $J_M$ 有反射波 $y_M(t)$ ,则最后的接收反射波为:

$$[0077] \quad y_r(t) = \sum_{i=1}^M y_i(t) \quad (\text{公式一})$$

[0078] 透射波一层一层透射后接收透射波为 $y_t(t)$ ,假设此时透射接收端的观察点为A'。

[0079] 由发射波 $x(t)$ 到最后的接收反射波 $y_r(t)$ ,所经历的路径就可以看成是一个反射信道,如图5(b)所示。该信道的特征完全由传播所经过的介质特性所决定。发射超声波 $x(t)$ 、接收反射波 $y_r(t)$ 与反射冲激响应 $h_r(t)$ 的关系为:

$$[0080] \quad y_r(t) = x(t) * h_r(t) \quad (\text{公式二})$$

[0081] 由此可以得到反射传递函数 $H_r(f)$ :

$$[0082] \quad H_r(f) = \frac{Y_r(f)}{X(f)} \quad (\text{公式三})$$

[0083] 式中 $Y_r(f)$ 是接收反射波 $y_r(t)$ 的傅里叶变换, $X(f)$ 是发射超声波 $x(t)$ 的傅里叶变换。反射冲激响应 $h_r(t)$ 即是反射传递函数 $H_r(f)$ 的反傅里叶变换,反射冲激响应的其它变换也容易变换获得,反射信道的零极点分布等可以通过反射传递函数的分子分母求根来获得。

[0084] 同理,由发射波 $x(t)$ 到最后的接收反射波 $y_t(t)$ ,所经历的路径就可以看成是一个透射信道,如图5(c)所示。该信道的特征完全由传播所经过的介质特性所决定。发送透射波 $x(t)$ 、接收透射波 $y_t(t)$ 与透射冲激响应 $h_t(t)$ 的关系为:

$$[0085] \quad y_t(t) = x(t) * h_t(t) \quad (\text{公式四})$$

[0086] 由此可以得到透射传递函数 $H_t(f)$  :

$$[0087] \quad H_t(f) = \frac{Y_t(f)}{X(f)} \quad (\text{公式五})$$

[0088] 式中 $Y_t(f)$ 是接收透射波 $y_t(t)$ 的傅里叶变换。透射冲激响应 $h_t(t)$ 即是透射传递函数 $H_t(f)$ 的反傅里叶变换,透射冲激响应的其它变换也容易变换获得,透射信道的零极点分布等可以通过透射传递函数的分子分母求根来获得。

[0089] 上述传递函数可由系统辨识算法求取,如最小二乘等。

[0090] 在图5(a)中假设箱体2m的直径,探测物占 $l_2=1\text{m}$ 的直径, $l_1=l_3=0.5\text{m}$ 。箱体盛装的液体水的声速为 $5000\text{m/s}$ ,探测物是人体的一部分,根据超声协会所定标准,超声波在人体软组织中平均声速为 $1540\text{m/s}$ ,骨头 $3860\text{m/s}$ ,以最小的速度计为 $1500\text{m/s}$ ,则超声波透射需要的时间为 $1\text{m}/(1500\text{m/s})+1\text{m}/(5000\text{m/s})=0.87\text{ms}$ ,以 $1\text{ms}$ 计,超声波反射需要的时间为 $2*(1\text{m}/(1500\text{m/s})+0.5\text{m}/(5000\text{m/s}))=1.54\text{ms}$ ,以 $2\text{ms}$ 计,即是在箱体的某观察点位置处发射了超声波,经过 $2\text{ms}$ 超声透射波和反射波都已经收到,发射和反射接收端与透射接收端可以分别滑动到发射和反射接收螺旋轨道与透射接收螺旋轨道的下一个观察点。再假设发射和反射接收螺旋轨道与透射接收螺旋轨道的观察点距离设为 $1\text{mm}$ ,则设置上万的观察点,需要的时间才几十秒,此时的轨道长度已经到达 $10\text{m}$ 以上。 $1\text{mm}$ 的观察点间距 $2\text{ms}$ 运动经过,可以算得此滑动速度为 $1\text{mm}/2\text{ms}=0.5\text{m/s}$ 。

[0091] 结合图4和图5,若在观察点A得到的反射信道冲激响应可以表示为 $h_r(A, t)$ ,反射传递函数可以表示为 $H_r(A, f)$ ,均可描述观察点A区域附近的窄域反射信道。上述观察点A'得到的透射信道的传递函数可以表示为 $H_t(A', f)$ ,冲激响应可以表示为 $h_t(A', t)$ ,均可描述观察点A'区域附近的窄域透射信道。同理在观察点B可以得到反射信道冲激响应 $h_r(B, t)$ 和传递函数 $H_r(B, f)$ ,代表观察点B区域附近的窄域反射信道,在观察点B'得到透射信道的传递函数 $H_t(B', f)$ 和冲激响应 $h_t(B, t)$ ,代表观察点B'区域附近的窄域透射信道。经过螺旋形扫描后遍历所有的N个观察点,则可以得到N个窄域透射信道和N个窄域透射信道,对这含有位置信息的N个窄域反射信道和N个窄域透射信道分别进行空间的拼接和融合,就可以得到整个探测区域的反射信道和透射信道的空间分布。

[0092] 如图6所示,是本发明所述基于多模三维超声成像方法的工作流程图。

[0093] 未工作时,发射和反射接收端处于发射和反射接收螺旋轨道的顶端,透射接收端

处于透射接收螺旋轨道的顶端。放置探测物到箱体中。

[0094] (1) 启动工作。后台处理系统的人机交互模块确定发送信号的时长参数、显示的控制参数后,开始启动工作。启动控制信号通过后台处理系统的无线通信模块发送到发射和反射接收端的无线通信模块,以及透射接收端的无线通信模块。

[0095] (2) 螺旋形扫描。发射和反射接收端的无线通信模块收到启动控制信号后,传给发射和反射接收端的滑动控制模块,控制发射和反射接收端从发射和反射接收螺旋轨道的顶端开始滑动。同时,透射接收端的无线通信模块收到启动控制信号后,传给透射接收端的滑动控制模块,控制透射接收端从透射接收螺旋轨道的顶端开始滑动。发射和反射接收端与透射接收端是按照同一速度匀速滑动,由于发射和反射接收螺旋轨道与透射接收螺旋轨道是对称的螺旋轨道,任何时刻都会处于同一水平面的直径两端,这样能确保透射接收端收到最强的透射波。假设发射和反射接收端沿着发射和反射接收螺旋轨道滑动到A点,同时,透射接收端沿着透射接收螺旋轨道滑动到A'点,A点和A'点处于同一水平面的直径两端。在这个位置处的工作过程如下:

[0096] 1) 超声信号发送。后台处理系统把产生的连续宽频发送信号通过后台处理系统的无线通信模块发送到发射和反射接收端的无线通信模块,再传输至发射和反射接收端的信号收发电路,经过数模(D/A)转换和功率放大后,激励超声波发射探头发射连续宽频的超声波发送信号。

[0097] 2) 超声反射波信号的接收。超声波发送信号传播至探测物后会反射一部分信号,反射信号经过发射和反射接收端的超声波接收探头接收后传送至信号收发电路,经过低噪放大和模数(A/D)转换之后再传输至发射和反射接收端的无线通信模块,通过无线的方式发送到后台处理系统的无线通信模块。

[0098] 3) 超声透射波信号的接收。超声波发送信号后传播至探测物后会透射一部分信号,透射波信号经过透射接收端的超声波接收探头接收后传送至信号接收电路,经过低噪放大和模数(A/D)转换之后再传输至透射接收端的无线通信模块,通过无线的方式发送到后台处理系统的无线通信模块。

[0099] 4) 反射、透射信道的反演。后台处理系统的无线通信模块把收到的反射波信号和透射波信号传到后台处理系统的处理模块。处理模块根据发送信号和反射波信号进行反射系统辨识处理,反演出此观察点的窄域反射信道;同理,处理模块根据发送信号和透射波信号进行透射系统辨识处理,反演出窄域透射信道。这样就得到A点和A'点所在平面附近区域的窄域反射信道和窄域透射信道。

[0100] 发射和反射接收端继续滑动,滑动到B点,同时,透射接收端沿着透射接收螺旋轨道滑动到B'点,B点和B'点处于同一水平面的直径两端。在这个观察点位置处的工作过程和A点和A'点完全一样,经过1)——4)后得到B点和B'点所在平面附近区域的窄域反射信道和窄域透射信道。发射和反射接收端沿着发射和反射接收螺旋轨道从顶端滑到底端,透射接收端沿着透射接收螺旋轨道从顶端滑到底端,假设经过了N个精确观察点,经过这样螺旋形的扫描后得到一组N个窄域反射信道和窄域透射信道。

[0101] 为了去噪得到更精确的测量,可以进行多次测量,当发射和反射接收端已经滑到发射和反射接收螺旋轨道底端,透射接收端滑到透射接收螺旋轨道底端,发射和反射接收端又可以沿着发射和反射接收螺旋轨道从底端滑到顶端,透射接收端沿着透射接收螺旋轨

道从底端滑到顶端,如此反复得到若干组N个窄域反射信道和窄域透射信道。

[0102] (3) 反射信道和透射信道融合。若干组N个不同区域的窄域反射信道和窄域透射信道,由于有固定观察点位置对应,所以可以根据空间位置的对应进行拼接,融合成整个探测区域的反射信道和透射信道。这部分的工作仍然是后台处理系统的处理模块进行。

[0103] (4) 获取探测物属性。由于反射信道和透射信道是跟探测物体所处的位置和属性是息息相关的,这个可以根据已知位置和属性的探测物体来训练一些反射信道和透射信道,然后再进行测试,就可以反推出被测探测物体所处的位置和属性。这部分的工作仍然是后台处理系统的处理模块进行。

[0104] (5) 探测结果显示。对后台处理系统的处理模块得到的结果进行显示,可以显示探测空间的反射信道和透射信道的传递函数分布,也可以显示其频率响应及其它变换函数等,也可以是零极点分布等,以及探测目标的位置、属性等。

[0105] 上述实施例为本发明较佳的实施方式,但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制,其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化,均应为等效的置换方式,都包含在本发明的保护范围。

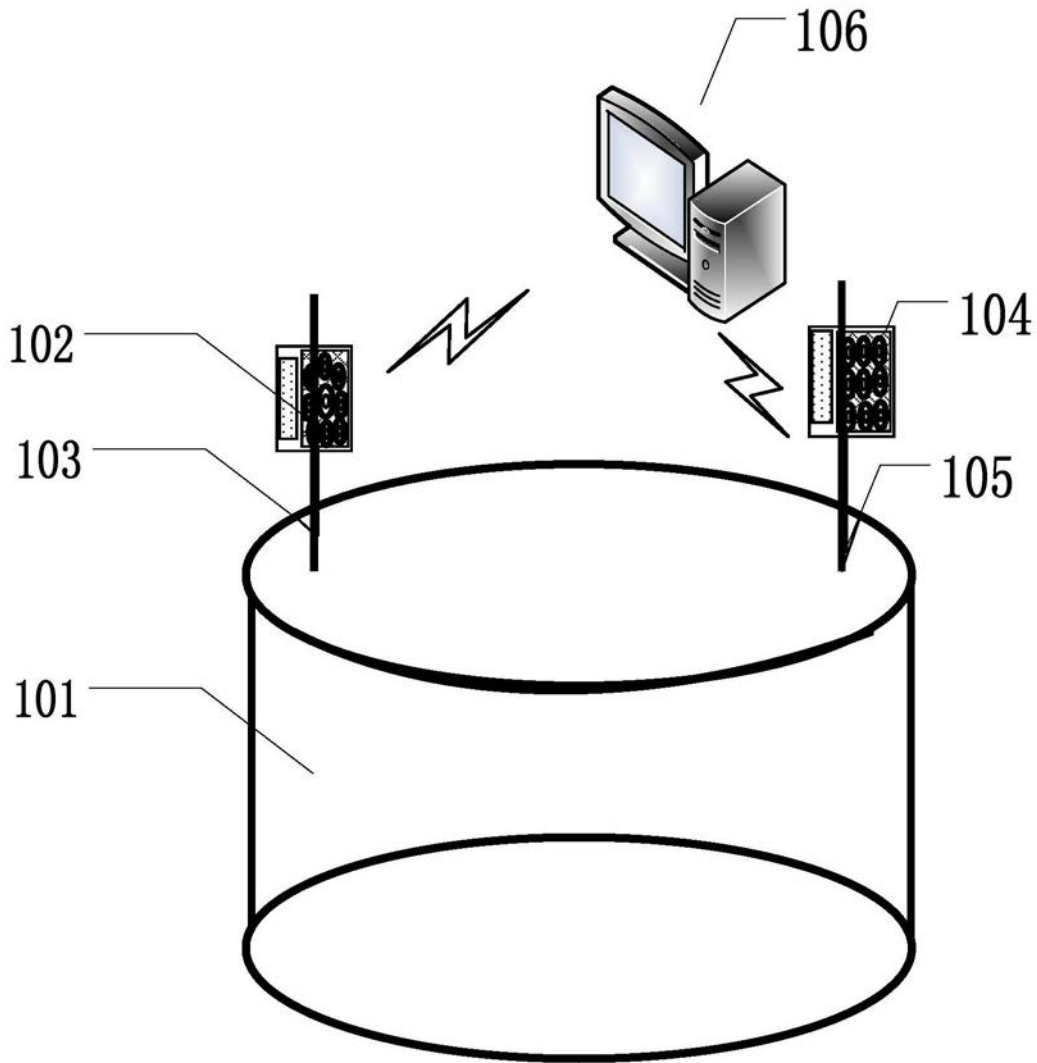


图1

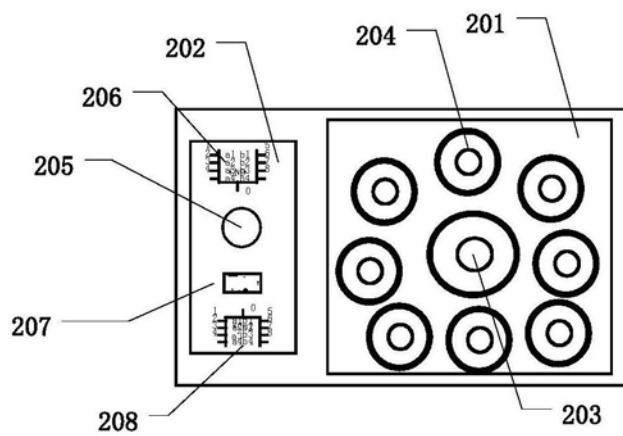


图2(a)

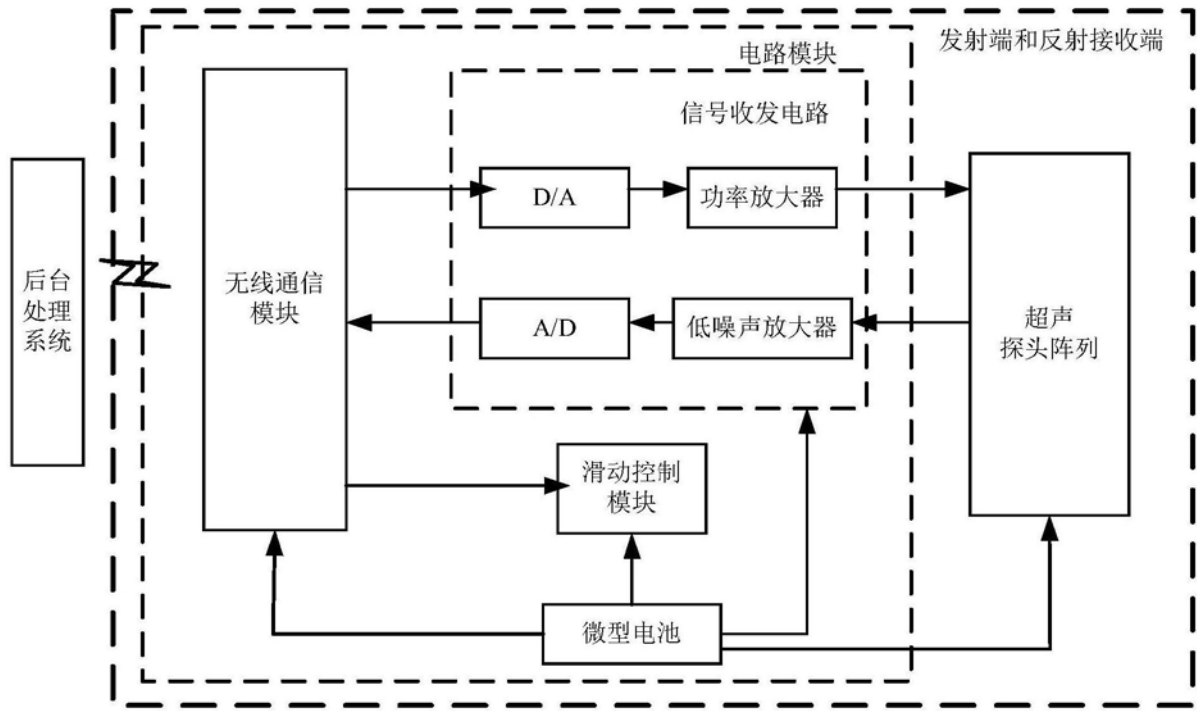


图2 (b)

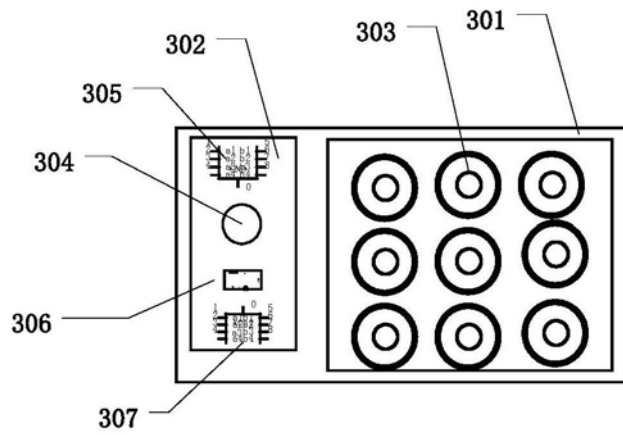


图3 (a)

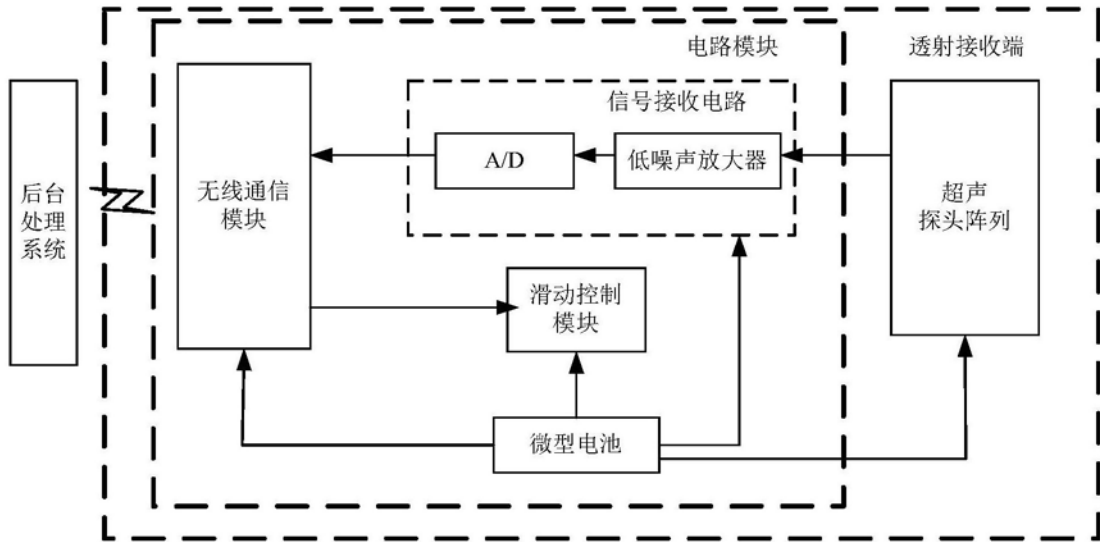


图3 (b)

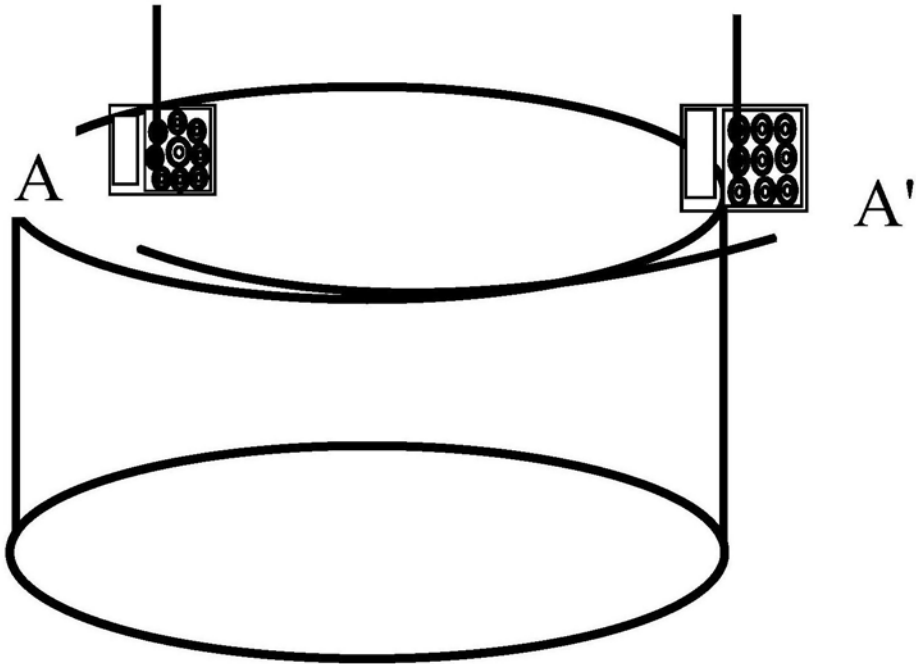


图4 (a)

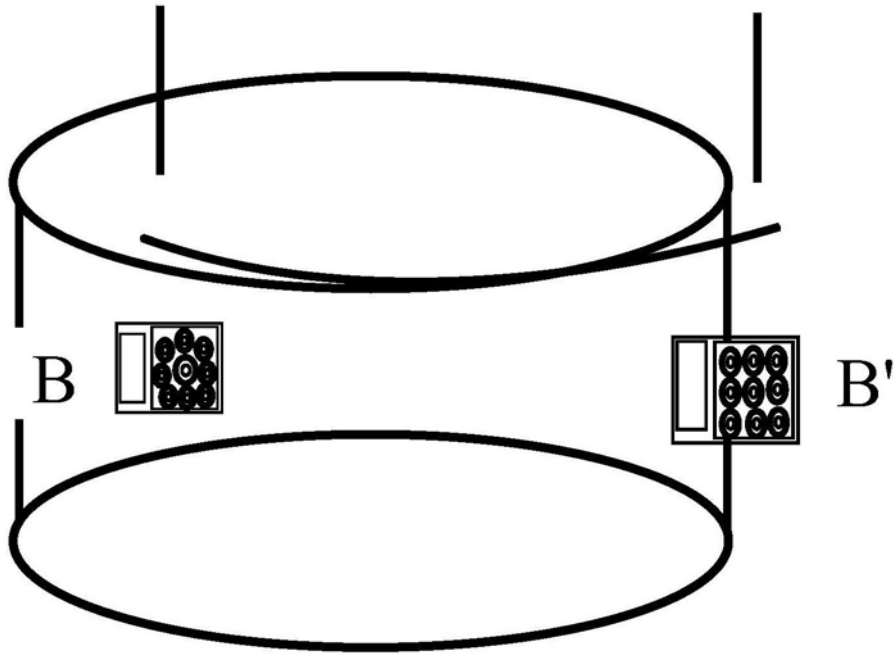


图4 (b)

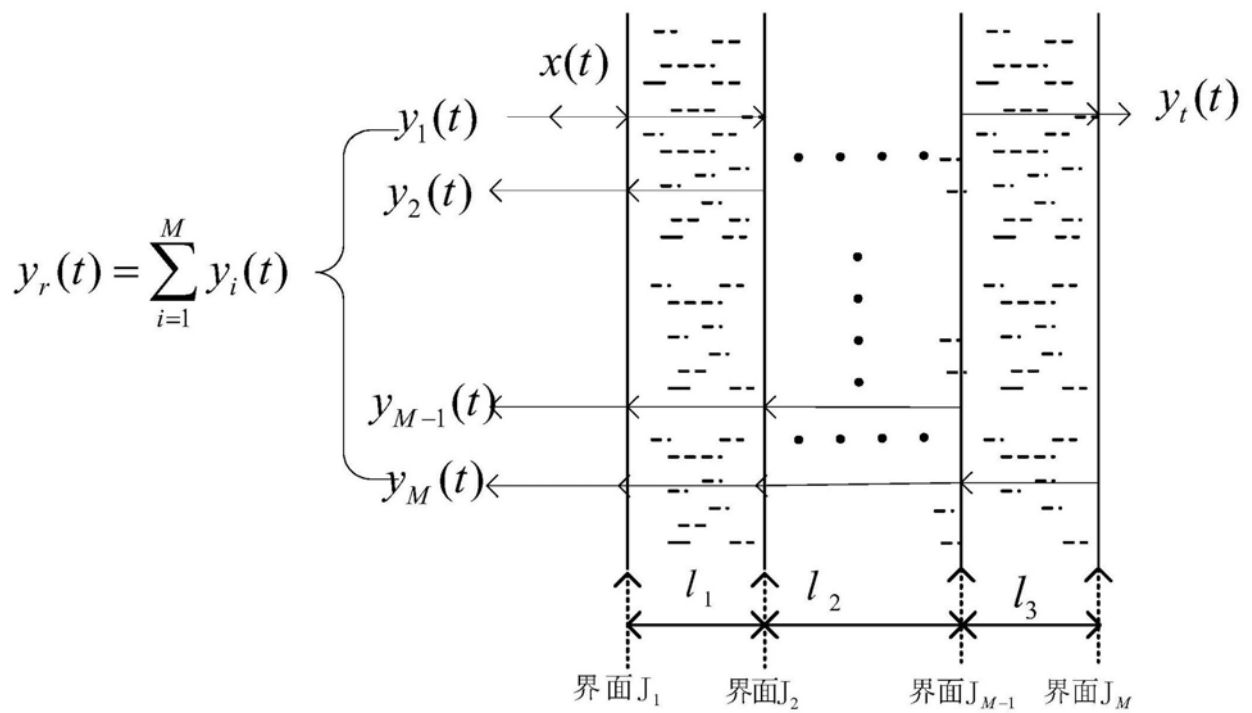


图5 (a)

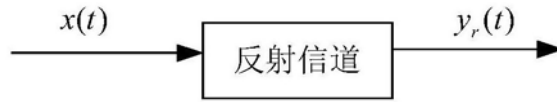


图5 (b)

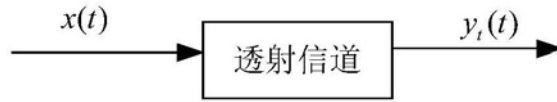


图5 (c)

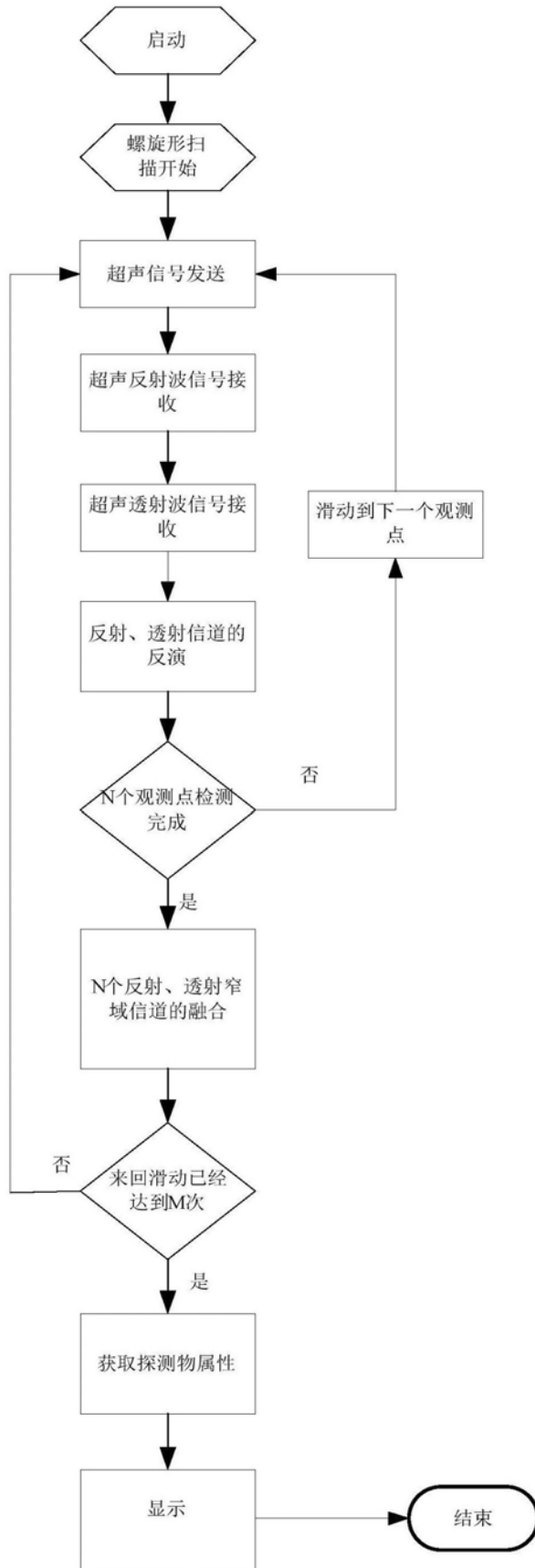


图6

专利名称(译)	一种多模三维超声探测与成像装置及方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN104644215B</a>	公开(公告)日	2017-09-26
申请号	CN201410737712.1	申请日	2014-12-05
[标]申请(专利权)人(译)	广州丰谱信息技术有限公司		
申请(专利权)人(译)	广州丰谱信息技术有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	广州丰谱信息技术有限公司		
[标]发明人	韦岗 曹燕 杨萃 李杰		
发明人	韦岗 曹燕 杨萃 李杰		
IPC分类号	A61B8/00		
CPC分类号	A61B8/14 A61B8/44 A61B8/4488 A61B8/5207		
代理人(译)	郑永泉		
其他公开文献	CN104644215A		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

本发明提供一种基于多模三维超声探测与成像装置及方法，装置包括箱体，发射和反射接收螺旋轨道，透射接收螺旋轨道，发射和反射接收端，透射接收端和后台处理系统。探测时，探测物放置在箱体中间，被发射和反射接收螺旋轨道、透射接收螺旋轨道所包围。发射和反射接收端在发射和反射接收螺旋轨道上来回滑动，透射接收端在透射接收螺旋轨道上来回滑动，对整个探测空间进行螺旋形的立体扫描。该装置利用反射波和透射波信息，反演出反射超声波所经过的路径（即反射信道）和透射超声波所经过的路径（即透射信道），进而对透射信道和反射信道的特征分布进行三维成像。本发明用简单装置实现快捷方便的探测，成本低，可拓展到非医疗机构应用。

