



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 106404903 B

(45) 授权公告日 2021.07.27

(21) 申请号 201610595269.8

(22) 申请日 2016.07.26

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106404903 A

(43) 申请公布日 2017.02.15

(30) 优先权数据  
14/809,522 2015.07.27 US

(73) 专利权人 波音公司  
地址 美国伊利诺伊州

(72) 发明人 T·M·霍姆斯 J·R·科尔加德  
G·E·乔治森

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127  
代理人 吕俊刚 王青芝

(51) Int.Cl.  
G01N 29/04 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 203216907 U,2013.09.25

US 6061300 A,2000.05.09

US 2007125189 A1,2007.06.07

US 2007125189 A1,2007.06.07

EP 2645094 A2,2013.10.02

CN 104458911 A,2015.03.25

Chunsheng Yu 等.A unified-calibration method in FTP-based 3D data acquisition for reverse engineering.《Optics and Lasers in Engineering》.2009,第45卷

曹宗杰 等.基于数学形态学的超声C扫描图像校正方法.《仪器仪表学报》.2005,第26卷(第8期),

审查员 彭倩筠

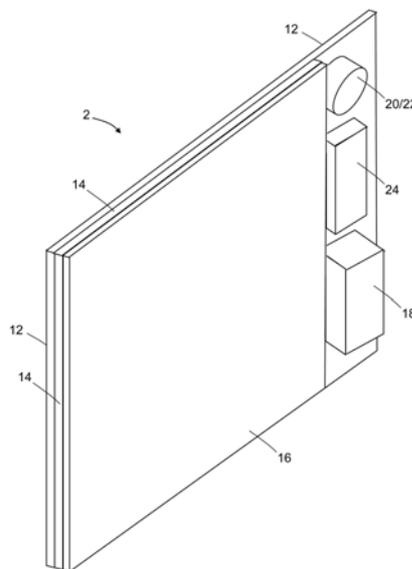
权利要求书3页 说明书15页 附图11页

(54) 发明名称

超声检查装置、超声检查系统和校准超声检查装置的方法

(57) 摘要

超声检查装置、超声检查系统和校准超声检查装置的方法。使用应用在制品表面上的柔性二维阵列的超声检查。通过将柔性二维柔性超声换能器阵列置于结构上的损伤部位上方来对结构进行超声检查的方法,其中在安装期间与阵列的物理相互作用被降至最低并且在数据获取期间无需进一步移动阵列。另外,阵列可留在难以触及的表面上,以允许在长时段内进行容易的周期性检查。在一些实施方式中,阵列被夹在柔性延迟线基板与柔性显示面板之间。根据一个无线实施方式,GPS接收器、收发器、脉冲发生器/接收器电路和电源(例如,电池)被附接至柔性延迟线基板的延伸超过阵列的一个边缘的部分。



1. 一种超声检查装置(2,4,6),该超声检查装置包括:

柔性组件(96),该柔性组件包括具有第一面和第二面的柔性超声换能器阵列(14)以及在声学上耦合至所述柔性超声换能器阵列的所述第一面的柔性延迟线基板(12);

数据获取模块(24),该数据获取模块被配置为控制所述柔性超声换能器阵列的脉冲发生和通过所述柔性超声换能器阵列的数据获取;

全球定位系统接收器(20),该全球定位系统接收器被配置为确定所述全球定位系统接收器的位置,以生成位置数据;

收发器(22),该收发器被配置为与所述数据获取模块和所述全球定位系统接收器通信;以及

电池,该电池电耦合至所述数据获取模块、所述全球定位系统接收器和所述收发器以用于向其提供电力,

其中,所述数据获取模块、所述全球定位系统接收器、所述收发器和所述电池物理地附接至所述柔性组件,

其中,所述收发器被配置为从所述全球定位系统接收器接收所述位置数据,将所述位置数据发送给校准数据库服务器,从所述校准数据库服务器接收包括校准数据的校准文件,并且将所述校准文件转发给所述数据获取模块,

其中,所述超声检查装置被附接到待检查的结构的一部分的表面,所述校准数据是存储的结构模型数据的函数,其中,所述结构模型数据将所述结构的材料性质表示为在所述结构的坐标系中的位置的函数,并且所述结构模型数据表示所述结构的与所述超声检查装置的位置接近的所述一部分的材料性质,

所述数据获取模块被配置为利用所述校准文件中包括的所述校准数据来自动校准所述柔性超声换能器阵列。

2. 根据权利要求1所述的超声检查装置,该超声检查装置还包括附着到所述柔性延迟线基板的背离所述柔性超声换能器阵列的表面的部分的粘合剂。

3. 根据权利要求1所述的超声检查装置,其中,所述柔性组件还包括与所述柔性超声换能器阵列的所述第二面的至少一部分交叠的柔性显示面板(16,34),所述数据获取模块还被配置为从所述柔性超声换能器阵列接收第一格式的超声数据,将所述第一格式的所述超声数据转换为适合于显示的第二格式的超声数据,并且将所述第二格式的所述超声数据发送给所述柔性显示面板。

4. 根据权利要求1所述的超声检查装置,其中,所述数据获取模块、所述全球定位系统接收器、所述收发器和所述电池物理地附接至所述柔性延迟线基板的延伸超过所述柔性超声换能器阵列的周边的一部分。

5. 根据权利要求1所述的超声检查装置,其中,所述柔性超声换能器阵列包括按照行和列布置的多个超声换能器元件(15)。

6. 根据权利要求1所述的超声检查装置,其中,所述柔性超声换能器阵列包括多个相互平行的发送电极(94)以及与所述发送电极交叠但是不与所述发送电极平行的多个相互平行的接收电极(92)。

7. 一种超声检查系统,该超声检查系统包括:

结构组件,该结构组件具有赋形表面;

柔性组件(96),该柔性组件附连到所述结构组件的一部分的所述赋形表面,所述柔性组件包括具有第一面和第二面的柔性超声换能器阵列(14)以及具有第一面和第二面的柔性延迟线基板(12),所述柔性延迟线基板的所述第一面附连到所述结构组件的所述赋形表面,所述柔性延迟线基板的所述第二面在声学上耦合至所述柔性超声换能器阵列的所述第一面;

外部模块(8,10),该外部模块包括电源、用于发送和接收数据的收发器(22)以及被配置为与所述收发器通信的数据获取模块(24);以及

电缆(5),该电缆将所述柔性超声换能器阵列连接至所述数据获取模块,所述电缆在其相对端具有能够联接至所述柔性组件和所述外部模块以及与所述柔性组件和所述外部模块分开的插头,

其中,所述数据获取模块被配置为经由所述电缆与所述柔性超声换能器阵列通信,

其中,所述收发器被配置为从全球定位系统接收器接收指示所述全球定位系统接收器的位置的位置数据,将所述位置数据发送给校准数据库服务器,从所述校准数据库服务器接收包括校准数据的校准文件,并且将所述校准文件转发给所述数据获取模块,

其中,所述校准数据是存储的结构模型数据的函数,其中,所述结构模型数据将所述结构组件的材料性质表示为在所述结构组件的坐标系中的位置的函数,并且所述结构模型数据表示所述结构组件的与所述柔性组件的位置接近的所述一部分的材料性质,

所述数据获取模块被配置为利用从所述收发器接收的所述校准文件中包括的所述校准数据来自动校准所述柔性超声换能器阵列。

8.根据权利要求7所述的超声检查系统,该超声检查系统还包括显示面板(16,34),其中,所述数据获取模块还被配置为控制所述显示面板显示通过所述柔性超声换能器阵列获取的超声数据。

9.根据权利要求7所述的超声检查系统,其中,所述结构组件是飞行器的一部分。

10.一种校准超声检查装置(2,4,6)的方法,该方法包括以下步骤:

(a)存储结构模型数据,该结构模型数据将结构的材料性质表示为在所述结构的坐标系中的位置的函数;

(b)将柔性超声检查装置(2,4,6)附接到所述结构的一部分的表面,其中,所述柔性超声检查装置包括柔性基板(12)、附接到所述柔性基板的二维柔性超声换能器阵列(14)以及附接到所述柔性基板的全球定位系统接收器(20);

(c)利用所述全球定位系统接收器获取位置数据,所述位置数据表示所述全球定位系统接收器的位置;

(d)将所获取的位置数据发送给在远程位置处的计算机系统(30);

(e)确定所述柔性超声检查装置在所述结构的坐标系中的位置;

(f)检索结构模型数据,该结构模型数据表示接近所述柔性超声检查装置在所述结构的坐标系中的所述位置的所述结构的材料性质;

(g)生成或检索包含校准数据的校准文件,所述校准数据是所述结构模型数据的函数,所述结构模型数据表示所述结构的与所述柔性超声检查装置的位置接近的所述一部分的材料性质;

(h)将校准文件发送给被配置为与所述柔性超声换能器阵列通信的数据获取模块

(24) ;以及

(i) 利用来自所述校准文件的校准数据来校准所述数据获取模块。

## 超声检查装置、超声检查系统和校准超声检查装置的方法

### 技术领域

[0001] 本发明总体上涉及用于制成品的超声检查的系统和方法,具体地讲,涉及用于在非平面表面下面的受损结构的超声检查的方法。

### 背景技术

[0002] 结构的非破坏性检查(NDI)涉及在不损害结构或者不需要明显拆卸的情况下检查结构。非破坏性检查通常是优选的,以避免为了与检查而移除零件相关的时间和成本,并且避免在需要检查时导致损坏的可能。非破坏性检查用在航空工业中以检查飞行器结构(例如,复合结构和胶合板(bonded panel))。检查可识别诸如裂缝、不连续、层之间未胶合、空洞以及具有不期望的孔隙的区域的缺陷。可在制造期间以及在飞行器结构的使用寿命期间的任何时间执行预防性检查,以验证结构的完整性和适合度。也可由被怀疑或已知导致损坏的事故(例如,碰撞和弹道冲击)促使检查。

[0003] 使用各种类型的超声方法来执行非破坏性检查。例如,可通过脉冲回波方法来检查结构,其中,传感器装置向结构中发送超声脉冲并且接收揭示结构的状况的回波脉冲。由这种传感器装置获取的数据可被处理并呈现给操作者。可生成B扫描图像,其揭示所检查的结构深度特性。可生成C描图像以揭示所检查的结构映射。这些图像可揭示通过结构外部的简单视觉检查不容易感知或表征的特征。收集B扫描图像和C描图像的数据通常需要沿着结构的一部分移动传感器以便横跨所检查的结构区域收集数据。

[0004] 在NDI过程中已开发并采用了超声脉冲回波传感器的二维阵列。这些阵列提供横跨区域规则地分布的众多传感器,各个传感器可收集位置特定数据。因此,可获得制成品的内部结构的一部分的映射而无需移动传感器。

[0005] 在检查结构时,通常需要显示器以便观看正在检查的结构图像。例如,现场检查可能需要具有屏幕的计算机或膝上型计算机以便于观看所显示的图像并且处理与所显示的图像关联的数据。然而,图像显示信息必须被精确地转印(transfer)至结构中的注册位置。

[0006] 因此将有利的是,提供一种能够将所显示的图像精确地转印到结构上的超声检查系统。另外,将有利的是,提供一种便携的、重量轻并且能够有效且高效地检查结构的靠近检查区显示结果的超声检查系统。另外,将有利的是,提供一种制造和使用经济的超声检查系统。另外,将有利的是,提供一种用于结构的超声检查的简单方法,其在结构上的损伤部位上面设置柔性传感器阵列,使得在安装期间与阵列的物理相互作用降至最低,并且无需在数据获取期间进一步移动阵列。另外,将有利的是,提供一种用于在对接近损伤部位的接近受限的情况下检测和表征结构的赋形(contoured)表面下面的损伤的简单的单面超声检查方法。

### 发明内容

[0007] 下面详细公开的主题涉及是实现上述有利特征的用于结构的超声检查的系统、方

法和装置。具体地讲,一种柔性超声换能器装置可抵靠结构上的损伤部位放置并且在声学上与其耦合,使得在技术人员安装期间与装置的物理相互作用降至最低,并且无需在数据获取期间进一步移动装置。另外,柔性超声检查装置可留在难以触及的表面上,以允许在长时间周期内容易地周期性检查。

[0008] 根据一些实施方式,该超声换能器装置包括柔性二维柔性超声换能器阵列,柔性延迟线基板附接到柔性超声换能器阵列的一侧。在其它实施方式中,柔性超声换能器阵列被夹在柔性延迟线基板与柔性显示面板之间。根据一个无线实施方式,GPS接收器、收发器、脉冲发生器(pulser)/接收器电路和电源(例如,电池)被附接至柔性延迟线基板的延伸超过柔性超声换能器阵列的一个边缘的部分。

[0009] 另外,本文所公开的检查方法可包括利用待检查的结构三维(3-D)模型数据来校准超声检查装置的自动处理。这将使得技术人员能够在没有NDI训练的情况下在检查地点安装检查装置。自动校准减少了前置时间,这是因为将不需要等待场外训练有素的NDI检查员到达检查地点,并且还通过校准齿轮的自动化节省了时间。自动校准还降低了人为错误的可能性。

[0010] 下面详细公开的主题的一个方面是一种超声检查装置,该超声检查装置包括:柔性组件,其包括具有第一面和第二面的柔性超声换能器阵列以及在声学上耦合至所述柔性超声换能器阵列的所述第一面的柔性延迟线基板;数据获取模块,其被配置为控制所述柔性超声换能器阵列的脉冲发生(pulsing)和通过所述柔性超声换能器阵列的数据获取;全球定位系统接收器,其被配置为确定所述全球定位系统接收器的位置;收发器,其被配置为与所述数据获取模块和所述全球定位系统接收器通信;以及电池,其电耦合至所述数据获取模块、全球定位系统接收器和收发器以用于向其提供电力,其中,所述数据获取模块、全球定位系统接收器、收发器和电池物理地附接至所述柔性组件。该超声检查装置还可包括附着到所述柔性延迟线基板的背离所述柔性超声换能器阵列的表面的部分的粘合剂。

[0011] 根据之前段落中所描述的超声检查装置的一些实施方式,所述柔性组件还包括与所述柔性超声换能器阵列的所述第二面的至少一部分交叠的柔性显示面板,所述数据获取模块还被配置为从所述柔性超声换能器阵列接收第一格式的超声数据,将所述第一格式的所述超声数据转换为适合于显示的第二格式的超声数据,并且将所述第二格式的所述超声数据发送给所述柔性显示面板。所述数据获取模块包括:脉冲发生器/接收器电路,其电耦合以从柔性超声换能器阵列接收第一格式的超声数据;以及处理器,其被编程以将第一格式的超声数据转换为第二格式的超声数据并且控制柔性显示面板显示第二格式的超声数据。柔性显示面板包括聚合物基板、按照行和列布置在聚合物基板中或上的多个像素以及设置在聚合物基板中或上并且电耦合至所述多个像素中的各个像素的多个薄膜晶体管。所述像素可包括相应的有机发光二极管或液晶。

[0012] 在超声检查装置的一些实施方式中,所述数据获取模块、全球定位系统接收器、收发器和电池物理地附接至所述柔性延迟线基板的延伸超过所述柔性超声换能器阵列的周边的部分。

[0013] 下面详细公开的主题的另一方面是一种系统,所述系统包括:结构组件(例如,飞行器的一部分),其具有赋形面;柔性组件,其附连到所述结构组件的所述赋形表面,所述柔性组件包括具有第一面和第二面的柔性超声换能器阵列以及具有第一面和第二面的柔性

延迟线基板,所述柔性延迟线基板的所述第一面附连到所述结构组件的所述赋形表面,所述第二面在声学上耦合至所述柔性超声换能器阵列的所述第一面;外部模块,其包括电源、用于发送和接收数据的收发器以及被配置为与所述收发器通信的数据获取模块;以及电缆,其将所述柔性超声换能器阵列连接至所述数据获取模块,所述电缆在其相对端具有能够联接至所述柔性组件和所述外部模块以及与所述柔性组件和所述外部模块分开的插头,其中,所述数据获取模块被配置为经由所述电缆与所述柔性超声换能器阵列通信。该系统还可包括显示面板,其中,所述数据获取模块还被配置为控制所述显示面板显示通过所述柔性超声换能器阵列获取的超声数据。所述显示面板可以是外部模块的一部分或者柔性组件的一部分。在前一种情况下,显示面板在本文中将被称作“显示监视器”;在后一种情况下,显示面板在本文中将被称作“柔性显示面板”。

[0014] 另一方面是一种系统,该系统包括:结构组件(例如,飞行器的一部分),其具有赋形表面;柔性组件,其附连到所述结构组件的所述赋形表面的一部分,所述柔性组件包括具有第一面和第二面的柔性超声换能器阵列以及具有第一面和第二面的柔性延迟线基板,所述柔性延迟线基板的所述第一面附连到所述结构组件的所述赋形表面,所述第二面在声学上耦合至所述柔性超声换能器阵列的所述第一面;数据获取模块,其被配置为控制柔性超声换能器阵列的脉冲发生和通过所述柔性超声换能器阵列的数据获取;全球定位系统接收器,其被配置为确定全球定位系统接收器的位置并且输出表示该位置的位置数据;收发器,其被配置为与数据获取模块通信并且从全球定位系统接收器接收位置数据;以及计算机系统,其被编程为从收发器接收位置数据,然后生成或检索包含校准数据的校准文件,所述校准数据是结构组件在所述赋形表面的所述部分下面的一部分的材料性质的函数。

[0015] 另一方面是一种校准超声检查装置的方法,该方法包括以下步骤:(a) 存储结构模型数据,该结构模型数据将结构的材料性质表示为在所述结构的坐标系中的位置的函数;(b) 将柔性超声检查装置附接到所述结构的一部分的表面,其中,所述柔性超声检查装置包括柔性基板、附接到所述柔性基板的二维柔性超声换能器阵列以及附接到所述柔性基板的全球定位系统接收器;(c) 利用所述全球定位系统接收器获取位置数据,所述位置数据表示所述全球定位系统接收器的位置;(d) 将所获取的位置数据发送给在远程位置处的计算机系统;(e) 确定所述柔性超声检查装置在所述结构的坐标系中的位置;(f) 检索结构模型数据,该结构模型数据表示接近所述柔性超声检查装置在所述结构的坐标系中的所述位置的所述结构的材料性质;(g) 生成或检索包含校准数据的校准文件,所述校准数据是表示所述结构的与所述柔性超声检查装置的位置接近的所述一部分的材料性质的所述检索的结构模型数据的函数;(h) 将校准文件发送给被配置为与所述柔性超声换能器阵列通信的数据获取模块;以及(i) 利用来自所述校准文件的校准数据来校准所述数据获取模块。

[0016] 另一方面是一种对结构中的多个部位进行超声检查的方法,该方法包括以下步骤:(a) 将第一柔性超声检查装置附接到所述结构的第一部分的表面,其中,所述第一柔性超声检查装置包括第一柔性基板以及附接到第一柔性基板的第一二维柔性超声换能器阵列;(b) 将第二柔性超声检查装置附接到所述结构的第二部分的表面,其中,所述第二柔性超声检查装置包括第二柔性基板以及附接到第二柔性基板的第二二维柔性超声换能器阵列;(c) 经由电缆将模块连接到第一柔性超声检查装置,所述模块包括脉冲发生器/接收器电路,该脉冲发生器/接收器电路在检查所述结构的第一部分期间被配置为控制第一柔

性超声换能器阵列的探查和数据获取,并且还在检查所述结构的第二部分期间被配置为控制第二柔性超声换能器阵列的探查和数据获取;(d)在所述模块连接至第一柔性超声检查装置的同时控制第一柔性超声换能器阵列探查所述结构的第一部分并从所述结构的第一部分获取数据;(e)在步骤(d)完成之后将电缆与第一柔性超声检查装置断开连接;(f)经由电缆将所述模块连接至第二柔性超声检查装置;以及(g)在所述模块连接至第二柔性超声检查装置的同时控制第二柔性超声换能器阵列探查所述结构的第二部分并从所述结构的第二部分获取数据。此方法还可包括:(h)在步骤(g)完成之后将电缆与第二柔性超声检查装置断开连接;以及(i)在稍后的时间重复步骤(c)至(h),其中,在步骤(a)和(b)之后和步骤(i)之前不移除第一和第二柔性超声检查装置。

[0017] 下面公开并要求保护使用柔性二维柔性超声换能器阵列的超声检查方法的其它方面。

### 附图说明

[0018] 之前的部分中所讨论的特征、功能和优点可在各种实施方式中独立地实现,或者可在其它实施方式中组合。以下将参照附图描述各种实施方式,附图示出了上述和其它方面中的至少一些,并且附图中,不同图中的相似元件具有相同的标号。

[0019] 图1是表示根据一个实施方式的无线柔性超声检查装置的等轴视图的示图。

[0020] 图2A是表示具有按照行和列布置的多个超声换能器阵列的无线柔性超声检查装置的截面图的示图。

[0021] 图2B是表示具有包括相互正交的条形发送和接收换能器元件的超声换能器阵列的无线柔性超声检查装置的截面图的示图。

[0022] 图3是标识出包括外部服务器和无线柔性超声检查装置的系统的一些组件的框图,该无线柔性超声检查装置可与外部服务器无线地通信以用于获得校准数据并存储C扫描数据。

[0023] 图4A是所检查的飞行器结构的一部分的仿真C扫描图像,该图像示出包括细长损伤的仿真特征。

[0024] 图4B是所检查的飞行器结构的另一部分的另一仿真C扫描图像,该图像示出包括横跨区域分布的损伤的仿真特征。

[0025] 图5是标识出可与远程的NDI专家无线地通信的无线柔性超声检查装置的一些组件的框图。

[0026] 图6是标识出超声检查系统的一些组件的框图,其中,可基于存储在可插式非易失性存储卡中的信息来校准数据获取模块。

[0027] 图7是表示采用本文所提出的至少一些概念的一个模块化超声检查系统的架构的框图。

[0028] 图8是表示采用本文所提出的至少一些概念的另一模块化超声检查系统的架构的框图。

[0029] 图9是标识出结构上的多个部位的超声检查的方法的步骤的流程图,其中,各个柔性超声检查装置被附接到各个部位处的表面并且留在那里以允许利用可依次连接至各个柔性超声检查装置的外部模块周期性检查。

[0030] 图10是表示抵靠整体加筋的具有带圆角表面的机翼盒的一部分上放置并在声学上与其耦合的柔性超声检查装置的等轴视图的示意图。

[0031] 图11是标识出基于测试对象的表面上的目标位置(使用定位系统来确定)以及从服务器检索的相关结构数据来生成校准文件的方法的步骤的流程图。

### 具体实施方式

[0032] 根据图1中所描绘的第一实施方式,无线柔性超声检查装置2被设计为适形于待检测结构的区域(例如,飞行器的机身或机翼、船身或者一些其它类型的结构的一部分)中的表面。此区域可在检查部位的表面区域下面的结构中包含损伤或缺陷。具体地讲,当检查部位难以触及时,超声检查装置2可尤其有用。

[0033] 图1中所描绘的超声检查装置2包括:柔性超声换能器阵列14,其具有第一面和第二面;柔性延迟线基板12,其在声学上耦合至柔性超声换能器阵列14的第一面;以及柔性显示面板16,其能够与柔性超声换能器阵列14的第二面的至少一部分交叠。柔性延迟线基板12的周边可限定用于在通过可选的真空系统组件去除中间的空气时接触所检查的结构并且暂时地将超声检查装置2附着到该结构的垫圈。另选地,柔性延迟线基板12的周边边界(margin)部分可通过粘合材料用胶带粘到或者以其它方式暂时地附着(例如,利用粘合剂)到所检查的结构。作为另一另选方式,超声检查装置2可通过夹具或托架被固定就位。

[0034] 根据一些实施方式,柔性超声换能器阵列14包括按照行和列布置的多个超声换能器元件15,如图2A的截面图中所描绘的。超声换能器元件15可直接附接到柔性延迟线基板12(如图2A所示)。另选地,超声换能器元件15可附接到柔性基板(图2A中未示出)、与该柔性基板集成、被印刷在该柔性基板上或者被嵌入该柔性基板中,该柔性基板附接到柔性延迟线基板12。例如,该柔性基板可以是聚合物材料(例如,聚偏二氟乙烯(“PVDF”))的薄片。提供柔性材料片使得柔性超声换能器阵列14能够在检查过程期间被操纵以适形于各种表面轮廓,同时与下面的结构维持紧密接触。

[0035] 根据一些实施方式,柔性显示面板16包括聚合物基板、按照行和列布置在聚合物基板中或上的多个像素以及设置在聚合物基板中或上并且电耦合至所述多个像素中的各个像素的多个薄膜晶体管。例如,所述像素可包括相应的有机发光二极管或液晶。

[0036] 电池18、包括GPS接收器20和收发器22的模块以及数据获取模块24全部附接至柔性延迟线基板12的延伸部分,从这个意义上讲图1中所描绘的超声检查装置2是自包含和自供电的。数据获取模块24被配置为从柔性超声换能器阵列14接收第一格式的超声数据,将第一格式的超声数据转换为适合于显示的第二格式的超声数据,然后将第二格式的超声数据发送给柔性显示面板16。收发器22被配置为与数据获取模块24和全球定位系统接收器20通信。电池18电耦合至数据获取模块24、全球定位系统接收器20和收发器22以用于向系统组件提供电力。如在图1中最佳看到的,数据获取模块24、全球定位系统接收器20、收发器22和电池18物理地附接至柔性组件。这些物理附接应该被设计为使柔性延迟线基板12的延伸超过柔性超声换能器阵列14的周边的部分的柔性的任何降低最小化。

[0037] 参照图2A,柔性超声换能器阵列14可被配置为在脉冲回波模式下使用。因此,超声换能器元件15将发送和接收超声信号(通常垂直于正在检查的结构的表面)。在另选方式中,柔性超声换能器阵列14可被配置为在一发一收(pitch-catch)模式下使用。例如,超声

换能器元件15可被布置为使得一个超声换能器元件以锐角向结构中发送超声信号,通过接收超声换能器元件来拾取返回的超声信号。

[0038] 超声换能器元件15可按照各种配置来布置。随着超声换能器元件15之间的距离减小,可检测的瑕疵越小。因此,超声换能器元件15的间距可根据待检测的瑕疵的大小而变化,以实现检查图像的特定分辨率。

[0039] 根据其它实施方式,柔性超声换能器阵列14包括通过声耦合介质的柔性基板96(例如,薄层、片或者喷涂膜)声学上耦合的多个相互平行的条形发送换能器元件94和多个相互平行的条形接收换能器元件(与发送换能器元件正交),如图2B的截面图中所描绘的。

[0040] 在另选方式中,图2B中所描绘的柔性超声换能器阵列14的背景示例可见于美国专利申请2008/0309200。该超声换能器阵列包括一个发送器层、一个接收器层和两个接地平面。发送器层包括设置在压电材料的第一层(例如,由聚偏二氟乙烯制成的膜)的上表面上的一组相互平行的细长电极以及设置在压电材料的第一层的下表面上的第一平面电极。类似地,接收器层包括设置在压电材料的第二层的下表面上的一组相互平行的细长接收电极以及设置在压电材料的第二层的上表面上的第二平面电极。这些发送器和接收器层继而附着到柔性基板96的上表面和下表面。发送器层的细长发送元件94叠加在接收器层的细长接收元件92上并与其交叉,从而提供交叠交叉点/像素(构成柔性超声换能器阵列14的信号点)的矩阵。发送元件94的细长电极与细长接收元件92交叠以形成各个换能器元件的矩阵,所述换能器元件能够在矩阵中其相应位置处发送和接收超声波。超声波的发送和接收必须利用复用器(未示出)在分离的操作中进行,该复用器将发送电极连接至信号源并且将接收电极连接至信号处理器。交替地,细长发送元件94发送,细长接收元件92接收,各组中的元件横跨矩阵增加。与包括多行换能器元件(各行包括相应多个换能器元件)的超声换能器阵列相比,这种布置方式使用更少的处理能力和更少的布线。

[0041] 柔性超声换能器阵列14能够检测结构中的瑕疵并且将所获取的指示瑕疵的超声数据通信给数据获取模块24。根据一个实施方式,数据获取模块24包括:脉冲发生器/接收器电路,其电耦合以从柔性超声换能器阵列14接收第一格式的超声数据;以及处理器,其被编程以将第一格式的超声数据转换为第二格式的超声数据并且控制柔性显示面板16显示第二格式的超声数据。柔性显示面板16可与柔性超声换能器阵列14相邻设置并且能够基于数据获取模块24所生成的信息来生成下面的结构的一部分的各种图像。

[0042] 超声检查装置2可用于在需要检测结构中的瑕疵或缺陷的各种行业中(例如航空工业、汽车工业、船舶工业或建筑行业中)检查任何数量的结构。超声换能器阵列能够检测结构的表面内或上的会给结构的性能带来不利影响的任何数量的瑕疵或缺陷,例如冲击损伤(例如,脱层和基底开裂)、脱胶(例如,机身/加强构件或者蜂窝复合物)、不连续、空洞或者孔隙。

[0043] 术语“结构”并非意在限制,因为超声检查装置2可用于检查不同形状和尺寸的任何数量的部件或结构,例如加工锻件、铸件、管材或者复合板或部件。可对新制造的结构或者作为维护计划的一部分正被检查的现有结构执行检查。另外,结构可包括各种组件。例如,结构可包括为结构提供附加支撑的子结构。另外,结构可以是任何数量的材料。例如,结构可以是金属材料(例如,铝)或者复合材料(例如,石墨-环氧树脂)。此外,结构可以由复合材料制成的飞行器的一部分(例如,机身或机翼)。

[0044] 数据获取模块24包括在软件的控制下操作的处理器或者相似计算装置,以使得由柔性超声换能器阵列14获取的数据可被转换为C扫描图像数据。另外,数据获取模块24包括脉冲发生器/接收器电路或者相似的装置,以使得超声换能器元件能够向所检查的结构中发送超声波并且从所检查的结构接收返回的超声波。柔性超声换能器阵列14经由导电体(图中未示出)与数据获取模块24通信。数据获取模块24继而经由导电体(图中未示出)与柔性显示面板16和收发器22通信。

[0045] 柔性显示面板16与柔性超声换能器阵列14相邻设置。由于类似于柔性超声换能器阵列14,柔性显示面板16是柔性的或易弯的,所以柔性显示面板也能够适形于待检查的结构的各种表面轮廓。柔性显示面板16可延伸至柔性超声换能器阵列14的外周,以使得柔性显示面板16能够显示从由各个超声换能器元件所获取的数据得到的图像(具体地讲,按照一对一实际尺寸格式)。然而,柔性显示面板16可针对不同的检查应用和结构为各种尺寸和配置。

[0046] 柔性显示面板16能够显示指示通过柔性超声换能器阵列14检查的结构图像。因此,技术人员能够容易地识别出任何瑕疵、缺陷等的位置和特性而不必参考位于远处的显示器(例如,计算机屏幕),然后尝试将受损区域的位置从位于远处的显示器转印至结构。结果,技术人员可修复/更换结构上的受损区域或者利用标记装置(例如,笔或漆)标记出受损区域。例如,施加于柔性延迟线基板12的真空可被释放,以使得超声检查装置2可被部分地或完全地从结构剥离,技术人员可相应地标记受损区域的位置。因此,技术人员可立即修复或更换受损区域。

[0047] 数据获取模块24基于柔性超声换能器阵列14所获取的数据生成指示下面的结构的信息(包括例如在结构内检测到的瑕疵),并且向柔性显示面板16提供该信息以显示诸如超声C扫描的图像。

[0048] 图3是标识出包括图1所示的类型的无线柔性超声检查系统的系统的组件的框图,该无线柔性超声检查系统经由收发器22与用于获得校准数据的校准数据库服务器26以及用于存储C扫描数据的C扫描数据库服务器28通信。

[0049] 更具体地讲,GPS接收器20确定其位置并且将表示该位置的位置数据发送给收发器22。GPS接收器是接收从GPS卫星星座广播的测距信号并且将那些测距信号变换为GPS接收器的位置的自主仪器。接收器的处理器包含可执行代码以生成到每个卫星的伪距或者视线距离。为了计算GPS接收器的位置(所述位置建立柔性超声换能器阵列14的位置),GPS接收器确定距三个或更多个GPS卫星的伪距。GPS接收器20发送给收发器22的位置数据可用于生成或检索适于针对所检查的实际结构正确地校准超声检查装置的校准文件。

[0050] 收发器22将位置数据发送给校准数据库服务器26。校准数据库服务器26还可从附接到所检查的结构(例如,飞行器)的不同部分的其它GPS接收器接收位置数据。根据一个实施方式,校准数据库服务器26可包括处理器,其被编程以确定GPS接收器20在所检查的结构的坐标系中的位置,然后检索或生成包含校准数据的校准文件,所述校准数据取决于通过柔性超声换能器阵列14探查的区域中的结构特性。更具体地讲,可利用软件来对校准数据库服务器26内的处理器进行编程,所述软件将从CAD文件抽取所标识的位置的厚度和其它材料数据,并且:或者(a)基于3-D模型数据随即生成校准文件;或者(b)从校准数据库抽取校准文件。该校准文件然后被发送至收发器22,收发器22将校准信息转发给数据获取模块

24。数据获取模块24包括处理器,处理器被编程为利用校准数据自动校准柔性超声换能器阵列14。

[0051] 在自动校准之后,数据获取模块24的脉冲发生器/接收器电路控制超声阵列获取C扫描数据。数据获取模块24的处理器被进一步编程以将来自柔性超声换能器阵列14的C扫描数据转换为柔性显示面板16所需的格式。来自柔性超声换能器阵列14的C扫描数据还可经由收发器22被发送至C扫描数据库服务器28以便于存储。

[0052] 根据一个实现方式,超声换能器阵列14可包括两百五十六个超声换能器元件15(参见图2A),这些超声换能器元件15间隔开四分之一英寸规则地按照行和列设置,以限定各条边为四英寸宽的正方形网格图案。然而,应该理解,当超声换能器阵列14具有其它数量的超声换能器元件、其它设置图案和其它图案间距时,本文所公开的概念可以按同样的效果应用。具体地讲,当超声换能器阵列14具有按照任何二维图案布置的任何数量的超声换能器元件时可应用本文所公开的概念。

[0053] 数据获取模块24可操作以激励各个超声换能器元件15(参见图2A),从而向所检查的结构中发送超声脉冲,然后当超声回波信号从结构返回时接收由传感器生成的电信号。穿过结构传播的超声脉冲往往会从表面、边缘和其它不连续处(例如,结构中的损伤)反射。返回的超声回波信号可包括从预期的表面和边缘以及从应该勘察和修复的损伤反射的多个按时间分布的回波脉冲。由各个超声换能器元件15生成的电信号传达与超声回波信号内的回波脉冲的幅度和到达时间对应的幅度和时间数据。该幅度和时间数据可用于将损伤相关回波脉冲与从结构的非损伤特征反射的回波脉冲相区分。在数据获取模块24激励超声换能器元件15并且从其收集幅度和时间数据之后,简短的静止周期逝去,然后控制器激活另一超声换能器元件15。通过维持各个超声换能器元件15的脉冲回波操作在时间上与其它超声换能器元件的操作分离,避免了超声换能器元件之间的串扰,并且从各个超声换能器元件15收集的数据可与各个超声换能器元件的相应位置关联。因此,当超声换能器阵列14抵靠结构设置时,从超声换能器元件15收集的数据可与超声换能器元件15的相应位置处的结构的局部性质关联。数据获取模块将所获取的超声数据转换为适合于显示在柔性显示面板16上的成像数据。柔性显示面板16以图形方式显示数据以便于用户对识别所检查的结构中的损伤进行解释。

[0054] 例如,柔性显示面板16可显示图4A和图4B中以图形方式描绘的类型的检查结构的一部分的仿真回波-幅度C扫描图像。在图4A中,仿真C扫描图像36示出包括细长损伤38A的仿真特征,细长损伤38A通过像素着色来与未受损背景区域40(与所检查的结构未受损部分对应)相区分。在图4B中,仿真C扫描图像36示出包括横跨区域分布的损伤38B的仿真特征,损伤38B通过像素着色来与未受损背景区域40相区分。图4A和图4B的显示中所示的仿真数据表示使用具有沿着十六行和十六列设置的至少两百五十六个传感器的柔性超声换能器阵列14(如柔性显示面板16中规则间隔开的像素的二维矩形矩阵中明显所见)生成的真实数据。各个特定像素按照一对一对应关系与超声换能器阵列14的特定超声换能器元件对应。

[0055] 柔性显示面板16可显示回波幅度C扫描图像,在回波幅度C扫描图像中,各个像素的着色对应于回波信号的一部分的幅度。具体地讲,各个像素的着色与存在于通过对超声换能器元件检测到的波形的时间门限部分中的回波脉冲的幅度有关。时间门限的开始和

结束时间通过选择紧挨着前表面和后表面返回脉冲之后和之前来建立。开始和结束时间可被建立为使得超声检查装置仪器告知操作者是否可能存在来自任何选择的深度范围的返回脉冲。可通过建立或者预定与第一深度对应的门限开始时间以及与第二深度对应的门限结束时间二者来选择在第一深度和第二深度之间定义的任何期望的深度范围进行检查。

[0056] 波形的时间门限部分内的幅度可根据已知的数学原理从波形的平滑积分函数来获得。时间门限部分根据下面将更详细讨论的考虑来选择。

[0057] 图4A和图4B的C扫描图像36中的像素中的每个根据存在于对应波形的时间门限部分中的回波脉冲的幅度之和来着色。因此,这些图像是表示从所检查的结构的前表面和后表面之间的不连续处反射的总超声回波能量的C扫描回波幅度图像。颜色不同于未受损背景区域40的像素通常对应于所检查的结构内的受损位置。图4A和图4B中由受损区域38A和38B中的像素揭示的损伤分别位于所检查的结构的前表面和后表面之间。区域38A和38B以图形方式显示损伤的图像。损伤的尺寸、设置和严重程度由C扫描图像36中的区域38A和38B的尺寸、设置和着色来揭示。

[0058] 按照约定俗成,本文中的描述在描述超声换能器元件和像素的二维布置方式时涉及沿着横轴和纵轴分布的传感器和像素的行和列。应该理解,柔性超声换能器阵列14可按照几乎任何的任意取向横跨结构的区域设置。因此,所描述的轴无需对应于由铅垂线表示的任何纵轴或者诸如沿着检查飞行器的飞机库的地面的那些横轴的任何横轴。

[0059] 另外,为了示出这些描述的主题的目的,作为另一约定俗成,图4A和图4B中所描绘的C扫描图像通常将较大的回波脉冲幅度与较暗的像素着色相关。在另选约定俗成中,较亮的像素着色也可与较大的回波脉冲幅度相关。实际上,回波脉冲的幅度与对应像素的着色的相关性可根据任何期望的函数或映射来选择,并且可提供颜色图例。尽管本文所描述的附图通常提供黑白图像,这些描述也涉及包括具有任何数量的颜色(例如,蓝色、绿色、黄色和红色)的像素的图像。这些描述涉及几乎任何像素着色约定俗成、阴影约定俗成或者像素字符约定俗成,操作者可通过其来辨别以图形方式显示的像素所提供的信息。

[0060] 图1中所描绘的实施方式提供多个优点。例如,柔性超声换能器阵列14和柔性显示面板16允许无线柔性超声检查装置2适应于各种表面轮廓,使得检查系统适合于任何数量的结构的现场级检查。另外,无线柔性超声检查装置2重量轻且便携,并且适于包括飞行器的各种结构。由于柔性显示面板16被直接设置在结构上并且可在被设置于其上的同时显示图像,所以将瑕疵的位置转印到结构上的错误可能性降低。无线柔性超声检查装置2还可被快速地安装并且在安装之后的相对短的时段内在柔性显示面板16上显示图像。无线柔性超声检查装置2还提供传统的手持瑕疵检测器超声测试无法提供的量化的基于图像的数据。

[0061] 在一些情况下,可能可取的是使位于远处(即,场外)的NDI专家参与在检查地点进行的安装和/或检查过程。根据图5中所描绘的另选实施方式,通过GPS接收器20获取的位置数据可通过无线柔性超声换能器装置的收发器22被发送给远程专家30。远程专家30还可从附接到待检查的结构的其他部分的其它GPS接收器接收附加位置数据。在另选实施方式中,远程专家30可从现场技术人员接收标识柔性超声检查装置在所检查的结构的坐标系中的位置的消息,或者可在现场技术人员安置柔性超声检查装置之前授权(mandate)该位置。

[0062] 不管远程专家30获取表示待检查的结构(例如,飞行器)的位置的位置数据以及柔性超声检查装置的位置的方法或装置如何,远程专家30可启动利用位置数据确定无线柔性

超声检查装置在结构的坐标系中的位置的计算机程序。然后,这使得远程专家30能够基于所检查的结构的3-D模型数据生成校准文件或者从校准数据库抽取校准文件。然后如先前所描述的,校准数据被发送给收发器22,收发器22将校准数据转发给数据获取模块24。然后如先前所描述的,校准的数据获取模块24可控制柔性超声换能器阵列14和柔性显示面板16。远程专家30可在超声检查期间向现场技术人员提供实时指导以避免错误。在检查过程期间,收发器22可将C扫描数据发送给远程专家30进行审核。可选地,数据获取模块可被编程为控制柔性超声换能器阵列,以使得柔性超声换能器阵列上的预定数量的位置收集A扫描数据,该A扫描数据可按保存/发送的数据文件被提供给远程专家。

[0063] 根据另选实施方式,如图6所示,远程专家30可按照非易失性存储卡32的形式将校准文件传送至检查地点。校准文件被远程专家30存储在非易失性存储卡32上,然后非易失性存储卡32被插入数据获取模块24的插槽中。数据获取模块24然后利用校准文件中的校准数据被自动校准。通过校准的数据获取模块24获取的超声数据可按照符合校准文件的方式被显示在柔性显示面板或者显示监视器34上。在这种情况下,远程专家30可通过与现场技术人员通信或者通过过程调出或航线查询来知道柔性超声换能器阵列的位置。非易失性存储卡32也可装满结构上的各种区域的预制校准。

[0064] 图7是表示采用本文所提出的概念中的至少一些模块化超声检查系统的架构的框图。图7中所描绘的系统包括经由电缆5电连接至单独的外部模块8的柔性超声检查装置4。电缆在其相对端具有插头(图中未示出),该插头能够联接至柔性超声检查装置4和外部模块8并且与柔性超声检查装置4和外部模块8分开。柔性超声检查装置4包括夹在柔性延迟线基板和柔性显示面板之间的柔性超声换能器阵列。外部模块8包括电源、数据传输装置(例如,先前描述的收发器)和数据获取模块(例如,执行与先前描述的数据获取模块所执行的那些功能相同的功能的处理器),从而使得柔性显示面板能够显示对通过柔性超声换能器阵列探查的结构进行仿真的图像。数据获取模块被配置为经由电缆5与柔性超声检查装置4通信。GPS接收器(未示出)可附接至柔性超声检查装置4(如先前描述的)。在另选方式中,如果柔性超声检查装置4与外部模块8之间的距离是已知的,或者很小并且根据定位系统的分辨率可忽略,则GPS接收器可以是外部模块8的一部分。

[0065] 图8是表示采用本文所提出的概念中的至少一些模块化超声检查系统的另选架构的框图。图8中所描绘的系统包括柔性超声检查装置6,柔性超声检查装置6(经由电缆5)电连接至单独的外部模块10。柔性超声检查装置6包括附接至柔性延迟线基板的柔性超声换能器阵列。外部模块10包括电源、显示监视器、数据传输装置(例如,先前描述的收发器)和数据获取模块(例如,执行与先前描述的数据获取模块所执行的那些功能相同的功能的处理器),从而使得显示监视器能够显示对通过柔性超声换能器阵列探查的结构进行仿真的图像。GPS接收器(未示出)可附接至柔性超声检查装置6。在另选方式中,GPS接收器可以是外部模块10的一部分。

[0066] 根据图7和图8中所描绘的任一架构,外部模块可依次连接至附接在待检查的结构上的多个部位处的各个柔性超声检查装置。图9是标识出结构上的多个部位的超声检查方法70的步骤的流程图,其中,各个柔性超声检查装置被附接到各个部位处的表面并且留在那里以允许利用可依次连接至各个柔性超声检查装置的外部模块进行周期性检查。

[0067] 根据图9中所描绘的实施方式,方法70包括以下步骤:将第一柔性超声检查装置附

接到结构的第一部分的表面(步骤72),其中,第一柔性超声检查装置包括第一柔性基板以及附接到第一柔性基板的第一二维柔性超声换能器阵列;将第二柔性超声检查装置附接到结构的第二部分的表面(步骤74),其中,第二柔性超声检查装置包括第二柔性基板以及附接至第二柔性基板的第二二维柔性超声换能器阵列;经由电缆将模块连接至第一柔性超声检查装置(步骤76),该模块包括脉冲发生器/接收器电路,该脉冲发生器/接收器电路被配置为在检查结构的第一部分期间控制通过第一柔性超声换能器阵列的探查和数据获取,并且还被配置为在检查结构的第二部分期间控制通过第二柔性超声换能器阵列的探查和数据获取;在模块连接至第一柔性超声检查装置的同时,控制第一柔性超声换能器阵列探查结构的第一部分并从结构的第一部分获取数据(步骤78);在步骤78完成之后将电缆与第一柔性超声检查装置断开连接(步骤80);经由电缆将模块连接至第二柔性超声检查装置(步骤82);在模块连接至第二柔性超声检查装置的同时控制第二柔性超声换能器阵列探查结构的第二部分并从结构的第二部分获取数据(步骤84);在步骤84完成之后将电缆与第二柔性超声检查装置断开连接(步骤86);以及确定是否应该再次(例如,在稍后的日期)检查结构的第一部分和第二部分(步骤88)。如果步骤88的结果为确定应该再次检查结构的第一部分和第二部分,则方法返回到步骤76并且重复该处理。如果步骤88的结果为确定不应该再次检查结构的第一部分和第二部分,则方法不返回到步骤76或者重复该处理(步骤90)。此时,可将所附接的柔性超声检查装置从结构移除。

[0068] 图9所示的方法可用在结构中的多个潜在损伤部位被安排周期性地检查的情况下。当损伤部位位于难以触及的空间中时,此方法特别有用。具有显示监视器的单个外部模块可被置于可达位置处,然后经由电缆被依次连接至各个超声检查装置。现场技术人员可依次查看C扫描图像并且基于那些图像关于潜在损伤部位处的结构完整性所指示的内容来采取适当的动作。

[0069] 根据其它实施方式,柔性超声检查装置可被设计成应对带圆角表面。一个实施方式将是半径较短的“L形”,其足够柔性以适合于具有一系列半径的带圆角表面。系统配置将类似于图8所示的系统配置,以便使柔性层的数量最小化(例如,通过不包括柔性显示面板)以允许更具柔性。在图10所示的情景中,柔性超声检查装置6(由柔性延迟线基板组成)抵靠具有带圆角表面的全面整体加筋的机翼盒(由复合材料制成)的部分44放置并且在声学上与其耦合。所描绘的整体加筋的机翼盒的部分44包括通过带圆角表面47(是将翼梁肋46连接至表层48的内圆角接合区域)连接至翼梁肋46的表层48。与图1和图2所描绘的实施方式中类似,电源、GPS接收器、数据传输装置和数据获取模块可被安装到认为覆盖所检查的部分的平坦区段的区域中的柔性延迟线基板。对于具有较大半径的带圆角表面,代替使用外部模块,可保持柔性显示面板安装在柔性超声换能器阵列上。另一实施方式将由平坦区域阵列组成,但是具有由柔性材料制成的一个边界区域以允许该边界区域配合所检查的带圆角表面的曲率。可根据需要配合的带圆角表面的曲率来制造具有不同半径的弯曲边界区域的阵列。

[0070] 以上公开的超声检查系统可用于通过对回波定时来测量厚度、深度或距离。为了将这些时间测量转换为距离测量,可利用声音在所检查的结构中的速度以及任何必要的零偏移来校准超声检查系统。此处理通常被称作速度/零校准。任何超声厚度、深度或距离测量的准确性取决于校准的准确性。如先前描述的,用于不同材料和换能器的校准可被存储

并检索。

[0071] 自动校准方法可能需要例如确定超声脉冲在所检查的材料中的传播速度以便使飞行时间 (TOF) 测量与材料深度相关, 并且选择时间和深度轴范围和时间门限设置以用于 C 扫描图像的显示。从在向结构中的超声脉冲发出与回波脉冲的返回之间测量的 TOF 来推导深度。如果对于特定检查材料, 超声脉冲的传播速度已知, 则可根据各个回波脉冲的 TOF 朝着特定线性深度维度校准扫描窗口的纵轴。

[0072] 本文所公开的方法通过使用表示待检查的结构三维 (3-D) 模型的 3-D CAD 数据来将超声检查系统的校准自动化。通过基于 CAD 模型校准, 可向位置特定检查中抽取更多数据。CAD 模型数据 (即, 本文中称作“结构数据”) 可包括关于在包含目标位置的区域处或中的测试对象的以下结构特征中的一个或多个的信息: 物理尺寸、材料特性、紧固件位置、结构异常、对测试对象的更改或修复、平均油漆厚度、隐藏纵梁、电磁效应 (EME) 保护层以及一般检查可能不考虑的其它特征。

[0073] CAD 模型数据库还包括关于所检查的结构的信息, 该信息可用于自动地将用于检查该区域的校准超声检查系统。CAD 模型包含关于检查部位的区域中的飞机结构的数据, 包括关于下列特征中的一个或多个的信息: (a) 材料类型 (平均衰减, 将通过许多复合材料标准的有关测试来确定); (b) 材料厚度; (c) 下面的结构 (可被显示在检查仪器上以帮助确定奇异信号); (d) 密封剂的存在 (可考虑减小的后壁信号调节增益); (e) EME 层的存在; (f) 平均油漆厚度; (g) 紧固件位置 (如果用户处于紧固件正上方, 则可就奇异信号警告用户); 以及 (h) 检查区域的修复的存在 (如果 CAD 文件已被航空公司或其它用户保存为最新的)。这种 CAD 模型数据可用于生成用于结构的校准文件并且向检查员提供关于检查作出明智决策所需的情景认知。

[0074] 图 11 是标识出使用定位系统生成校准文件的方法 50 的步骤的流程图。首先, 利用定位系统确定目标位置 (即, 测试对象的表面上要检查下面的结构的地方) (步骤 52)。然后, 从 CAD 模型数据库服务器抽取与该目标位置关联的结构数据 (步骤 54)。简化实施方式将涉及归于飞机上的特定区域的预制过程, 然后在检查开始时基于初始目标位置加载所述预制过程。

[0075] 仍参照图 11, 可以看出结构数据可用于执行基本校准或高级校准 (可包括基本校准和附加校准)。在基本校准中, 基于相关结构数据选择诸如材料、零件厚度、涂层厚度、探测频率和柔性延迟线的校准参数 (步骤 55)。材料类型从材料速度表设定声音速度来设置 (步骤 56)。零件厚度确定画面范围 (步骤 58)。涂层厚度和柔性延迟线确定画面延迟 (步骤 60)。另外, 可考虑后壁信号来调节增益 (步骤 62)。

[0076] 根据高级校准方法, 可通过计算机来确定诸如聚焦法则、门限、距离幅度校正 (DAC) 和时间补偿增益 (TCG) 的附加校准参数, 利用用于处理结构数据的校准软件对所述计算机进行了编程 (步骤 64)。可选地, 针对更高级的校准操作可自动地生成参考标准提示 (步骤 66)。在这样的时候可自动地向检查员提示参考标准和给定指令。

[0077] 最后, 根据指定格式组织所有校准参数以完成校准文件 (步骤 68)。然后使用该校准文件来校准超声检查系统。

[0078] CAD 模型数据的使用使得通常需要训练有素的非破坏性测试 (NDT) 检查员的处理能够自动化。结果, 从校准处理去除了一定程度的人为错误。由于不需要训练有素的 NDT 检

查员来执行每一个检查,这节省了训练成本并且减少了检查时间。

[0079] 另外,本公开包括根据以下条款的实施方式:

[0080] 条款1:一种超声检查装置,该超声检查装置包括:柔性组件,其包括具有第一面和第二面的柔性超声换能器阵列以及在声学上耦合至所述柔性超声换能器阵列的所述第一面的柔性延迟线基板;数据获取模块,其被配置为控制所述柔性超声换能器阵列的脉冲发生和通过所述柔性超声换能器阵列的数据获取;全球定位系统接收器,其被配置为确定所述全球定位系统接收器的位置;收发器,其被配置为与所述数据获取模块和所述全球定位系统接收器通信;以及电池,其电耦合至所述数据获取模块、所述全球定位系统接收器和所述收发器以用于向其提供电力,其中,所述数据获取模块、所述全球定位系统接收器、所述收发器和所述电池物理地附接至所述柔性组件。

[0081] 条款2:根据条款1所述的超声检查装置,该超声检查装置还可包括附着到所述柔性延迟线基板的背离所述柔性超声换能器阵列的表面的部分的粘合剂。

[0082] 条款3:根据条款1所述的超声检查装置,其中,所述柔性组件还包括与所述柔性超声换能器阵列的所述第二面的至少一部分交叠的柔性显示面板,所述数据获取模块还被配置为从所述柔性超声换能器阵列接收第一格式的超声数据,将所述第一格式的所述超声数据转换为适合于显示的第二格式的超声数据,并且将所述第二格式的所述超声数据发送给所述柔性显示面板。

[0083] 条款4:根据条款3所述的超声检查装置,其中,所述数据获取模块包括:脉冲发生器-接收器电路,其电耦合以从所述柔性超声换能器阵列接收所述第一格式的所述超声数据;以及处理器,其被编程以将所述第一格式的所述超声数据转换为所述第二格式的超声数据并且控制所述柔性显示面板显示所述第二格式的所述超声数据。

[0084] 条款5:根据条款3所述的超声检查装置,其中,所述柔性显示面板包括聚合物基板、按照行和列布置在所述聚合物基板中或上的多个像素、以及设置在所述聚合物基板中或上并且电耦合至所述多个像素中的各个像素的多个薄膜晶体管。

[0085] 条款6:根据条款5所述的超声检查装置,其中,所述像素可包括相应的有机发光二极管。

[0086] 条款7:根据条款5所述的超声检查装置,其中,所述像素包括液晶。

[0087] 条款8:根据条款1所述的超声检查装置,其中,所述数据获取模块、所述全球定位系统接收器、所述收发器和所述电池物理地附接至所述柔性延迟线基板的延伸超过所述柔性超声换能器阵列的周边的一部分。

[0088] 条款9:根据条款1所述的超声检查装置,其中,所述柔性超声换能器阵列包括按照行和列布置的多个超声换能器元件。

[0089] 条款10:根据条款1所述的超声检查装置,其中,所述柔性超声换能器阵列包括多个相互平行的发送电极以及与所述发送电极交叠但是不与所述发送电极平行的多个相互平行的接收电极。

[0090] 条款11:一种系统,该系统包括:结构组件,其具有赋形表面;柔性组件,其附连到所述结构组件的所述赋形表面,所述柔性组件包括具有第一面和第二面的柔性超声换能器阵列以及具有第一面和第二面的柔性延迟线基板,所述柔性延迟线基板的所述第一面附连到所述结构组件的所述赋形表面,所述柔性延迟线基板的所述第二面在声学上耦合至所述

柔性超声换能器阵列的所述第一面;外部模块,其包括电源、用于发送和接收数据的收发器以及被配置为与所述收发器通信的数据获取模块;以及电缆,其将所述柔性超声换能器阵列连接至所述数据获取模块,所述电缆在其相对端具有能够联接至所述柔性组件和所述外部模块以及与所述柔性组件和所述外部模块分开的插头,其中,所述数据获取模块被配置为经由所述电缆与所述柔性超声换能器阵列通信。

[0091] 条款12:根据条款11所述的系统,该系统还包括显示面板,其中,所述数据获取模块还被配置为控制所述显示面板显示通过所述柔性超声换能器阵列获取的超声数据。

[0092] 条款13:根据条款12所述的系统,其中,所述显示面板是所述外部模块的一部分。

[0093] 条款14:根据条款12所述的系统,其中,所述显示面板是所述柔性组件的一部分,所述显示面板包括与所述柔性超声换能器阵列的所述第二面相邻设置的柔性显示面板。

[0094] 条款15:根据条款11所述的系统,其中,所述结构组件是飞行器的一部分。

[0095] 条款16:一种系统,该系统包括:结构组件,其具有赋形表面;柔性组件,其附连到所述结构组件的所述赋形表面的一部分,所述柔性组件包括具有第一面和第二面的柔性超声换能器阵列以及具有第一面和第二面的柔性延迟线基板,所述柔性延迟线基板的所述第一面附连到所述结构组件的所述赋形表面,所述柔性延迟线基板的所述第二面在声学上耦合至所述柔性超声换能器阵列的所述第一面;数据获取模块,其被配置为控制柔性超声换能器阵列的脉冲发生和通过柔性超声换能器阵列的数据获取;全球定位系统接收器,其被配置为确定所述全球定位系统接收器的位置并且输出表示该位置的位置数据;收发器,其被配置为与所述数据获取模块通信并且从所述全球定位系统接收器接收所述位置数据;以及计算机系统,其被编程为从所述收发器接收所述位置数据,然后生成或检索包含校准数据的校准文件,所述校准数据是所述结构组件在所述赋形表面的所述部分下面的一部分的材料性质的函数。

[0096] 条款17:根据条款16所述的系统,其中,所述柔性组件还包括与所述柔性超声换能器阵列的所述第二面相邻设置的柔性显示面板。

[0097] 条款18:根据条款16所述的系统,其中,所述结构组件是飞行器的一部分。

[0098] 条款19:一种校准超声检查装置的方法,该方法包括以下步骤:(a) 存储结构模型数据,该结构模型数据将结构的材料性质表示为在所述结构的坐标系中的位置的函数;(b) 将柔性超声检查装置附接到所述结构的一部分的表面,其中,所述柔性超声检查装置包括柔性基板、附接到所述柔性基板的二维柔性超声换能器阵列、以及附接到所述柔性基板的全球定位系统接收器;(c) 利用所述全球定位系统接收器获取位置数据,所述位置数据表示所述全球定位系统接收器的位置;(d) 将所获取的位置数据发送给在远程位置处的计算机系统;(e) 确定所述柔性超声检查装置在所述结构的坐标系中的位置;(f) 检索结构模型数据,该结构模型数据表示接近所述柔性超声检查装置在所述结构的坐标系中的所述位置的所述结构的材料性质;(g) 生成或检索包含校准数据的校准文件,所述校准数据是表示所述结构的与所述柔性超声检查装置的位置接近的所述一部分的材料性质的所述检索的结构模型数据的函数;(h) 将校准文件发送给被配置为与所述柔性超声换能器阵列通信的数据获取模块;以及(i) 利用来自所述校准文件的校准数据来校准所述数据获取模块。

[0099] 条款20:一种对结构中的多个部位进行超声检查的方法,该方法包括以下步骤:(a) 将第一柔性超声检查装置附接到所述结构的第一部分的表面,其中,所述第一柔性超声

检查装置包括第一柔性基板以及附接到第一柔性基板的第一二维柔性超声换能器阵列；(b) 将第二柔性超声检查装置附接到所述结构的第二部分的表面,其中,所述第二柔性超声检查装置包括第二柔性基板以及附接到第二柔性基板的第二二维柔性超声换能器阵列；(c) 经由电缆将模块连接到第一柔性超声检查装置,其中,所述模块包括脉冲发生器/接收器电路,该脉冲发生器/接收器电路在检查所述结构的第一部分期间被配置为控制第一柔性超声换能器阵列的探查和数据获取,并且还在检查所述结构的第二部分期间被配置为控制第二柔性超声换能器阵列的探查和数据获取；(d) 在所述模块连接至第一柔性超声检查装置的同时控制第一柔性超声换能器阵列探查所述结构的第一部分并从所述结构的第一部分获取数据；(e) 在步骤(d)完成之后将电缆与第一柔性超声检查装置断开连接；(f) 经由电缆将所述模块连接至第二柔性超声检查装置；以及(g) 在所述模块连接至第二柔性超声检查装置的同时控制第二柔性超声换能器阵列探查所述结构的第二部分并从所述结构的第二部分获取数据。

[0100] 条款21:根据条款20所述的方法,该方法还包括:(h) 在步骤(g)完成之后将电缆与第二柔性超声检查装置断开连接；以及(i) 在稍后的时间重复步骤(c)至(h),其中,在步骤(i)之前不移除附接到所述结构的第一部分和第二部分的表面的第一柔性超声检查装置和第二柔性超声检查装置。

[0101] 尽管参照各种实施方式描述了设备和方法,本领域技术人员将理解,在不脱离本的教导的情况下,可进行各种改变,并且可对其元件进行等同置换。另外,可进行许多修改以使得本文所公开的概念和对实践的削减适于特定情况。因此,旨在权利要求所涵盖的主题不限于所公开的实施方式。

[0102] 如权利要求中所用,术语“计算机系统”应该被广义地解释为涵盖具有至少一个计算机或处理器的系统,其可具有通过网络或总线通信的多个计算机或处理器。如前句中所用,术语“计算机”和“处理器”均表示包括至少一个处理单元(例如,中央处理单元、集成电路或算术逻辑单元)的装置。

[0103] 以下阐述的方法权利要求不应被解释为要求这里所叙述的步骤按照字母顺序(权利要求中的任何字母顺序仅出于引用先前叙述的步骤的目的而使用)或者按照叙述它们的顺序执行。它们也不应被解释为排除两个或更多个步骤的任何部分同时或交替地执行。

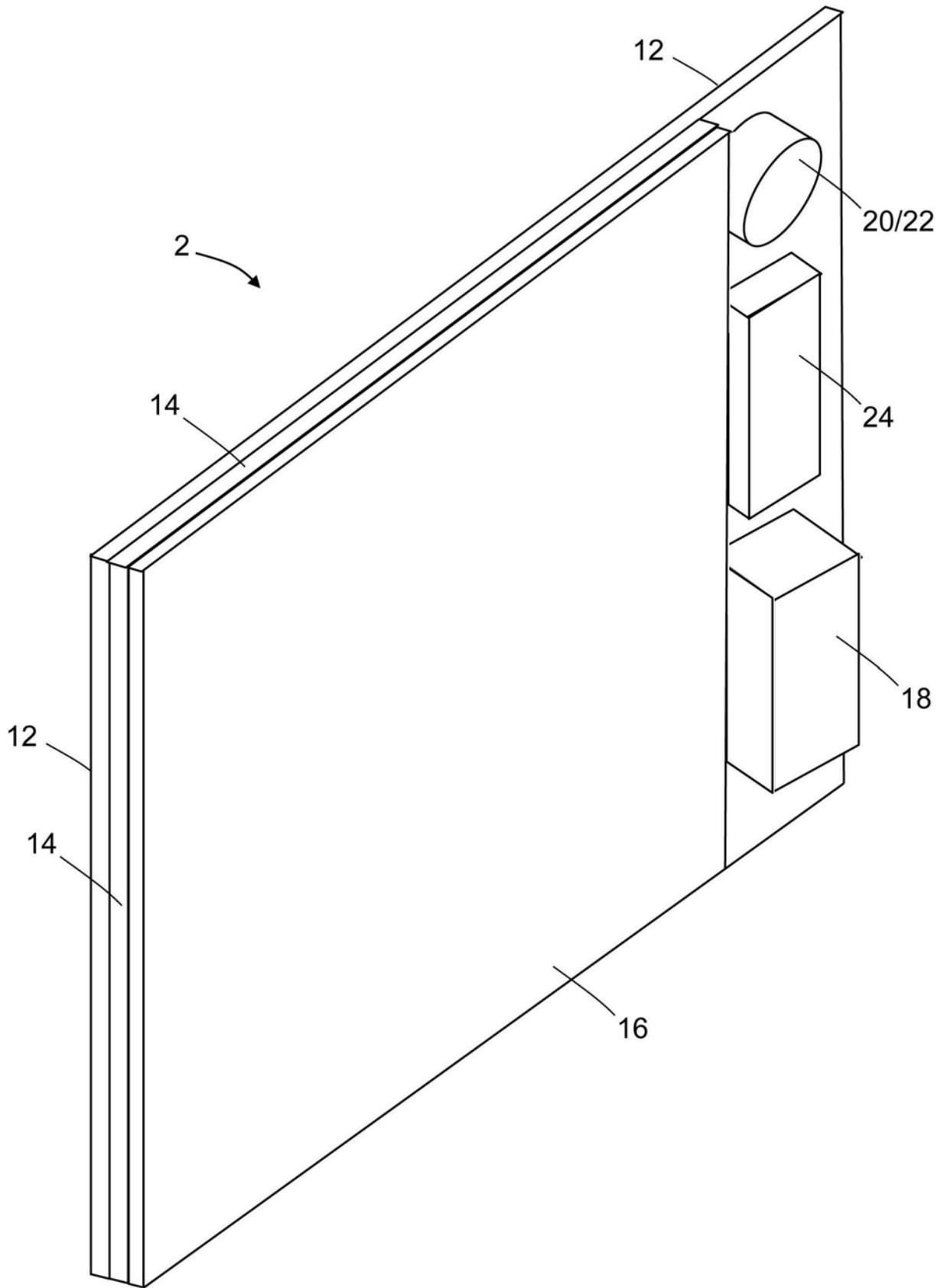


图1

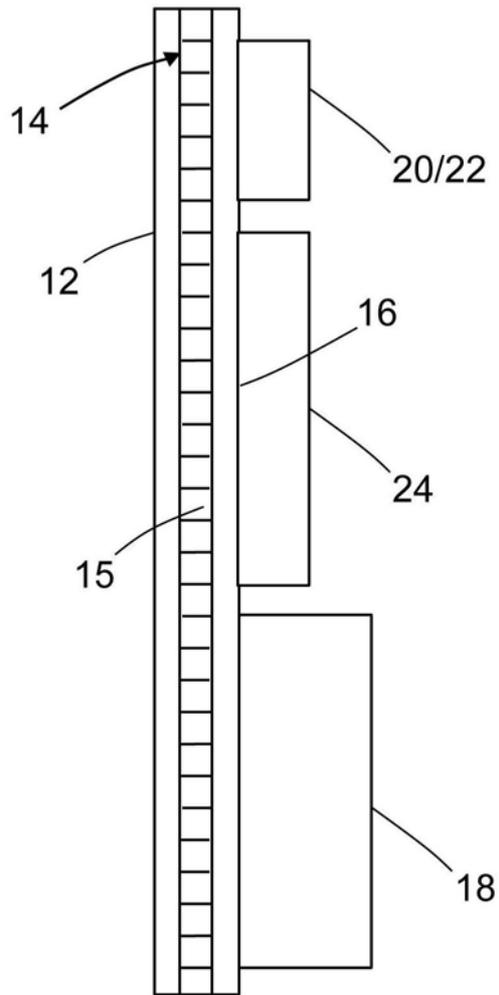


图2A

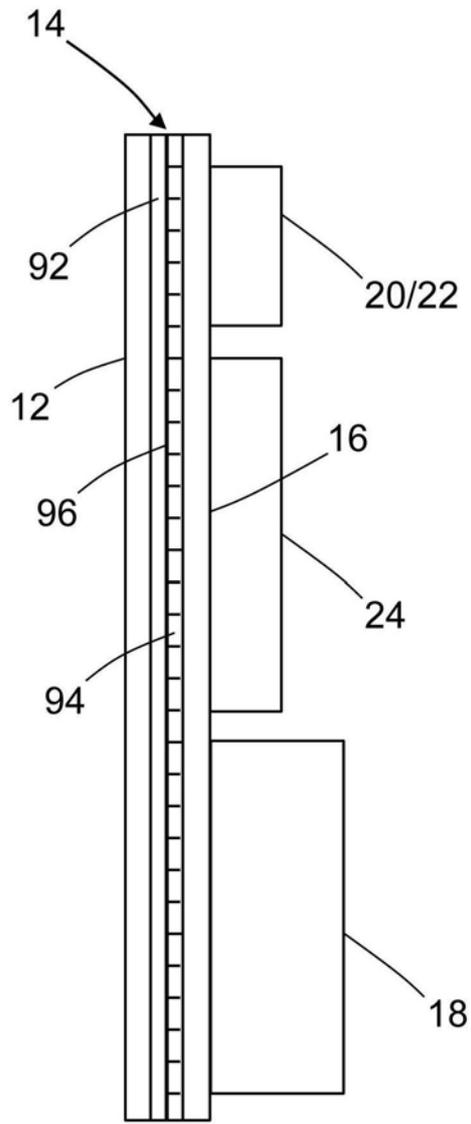


图2B

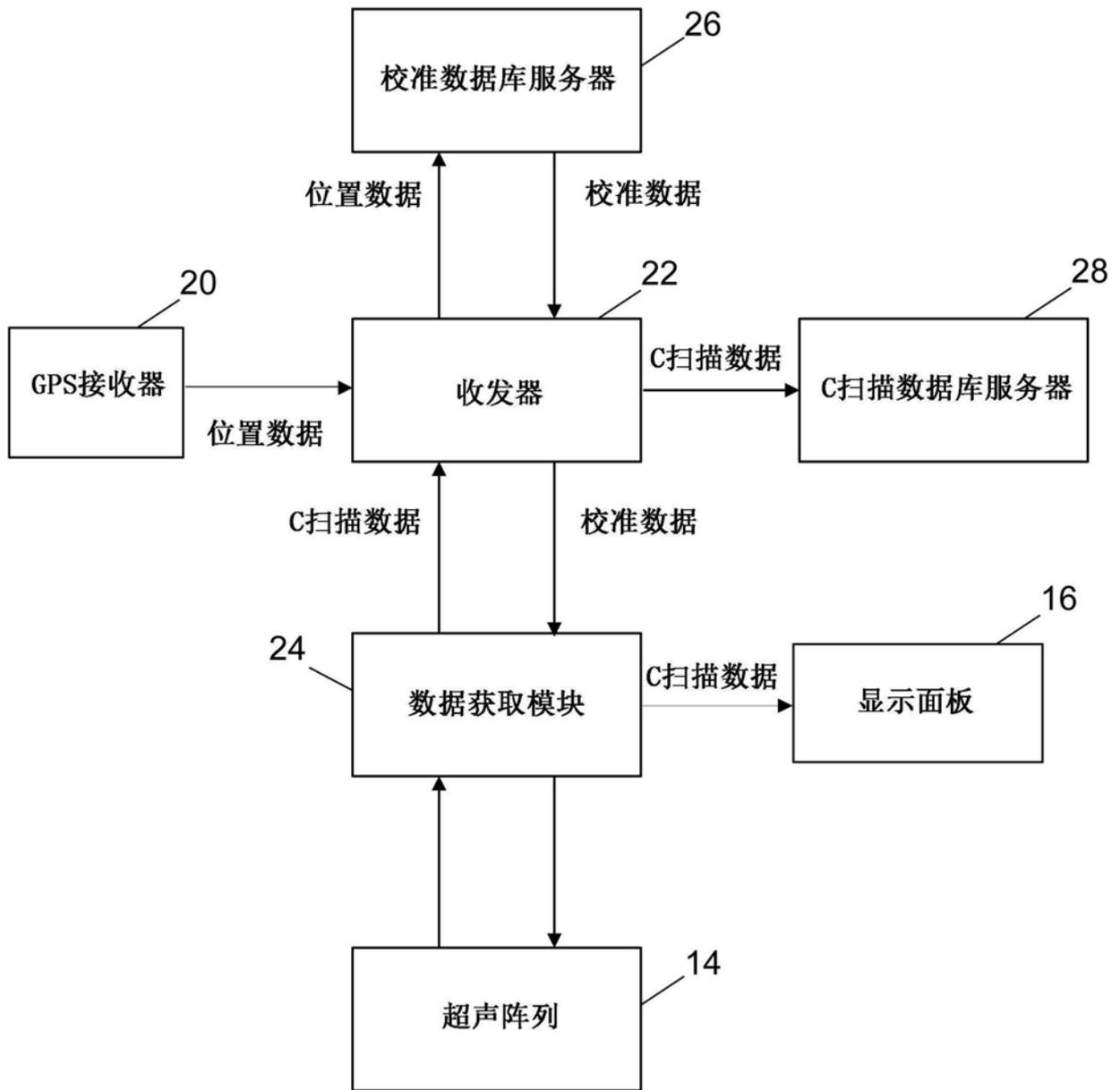


图3

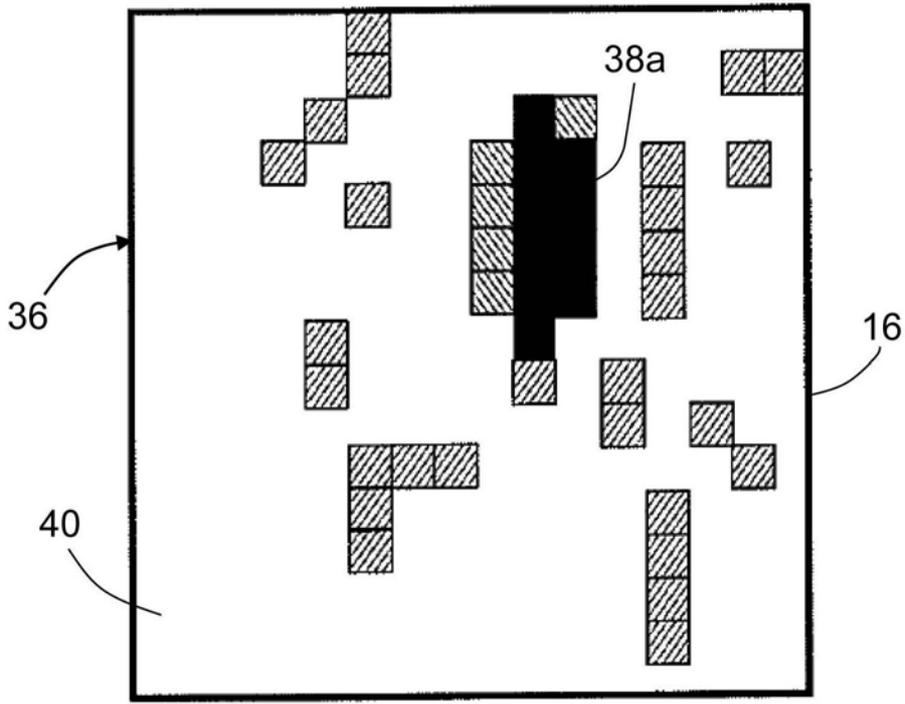


图4A

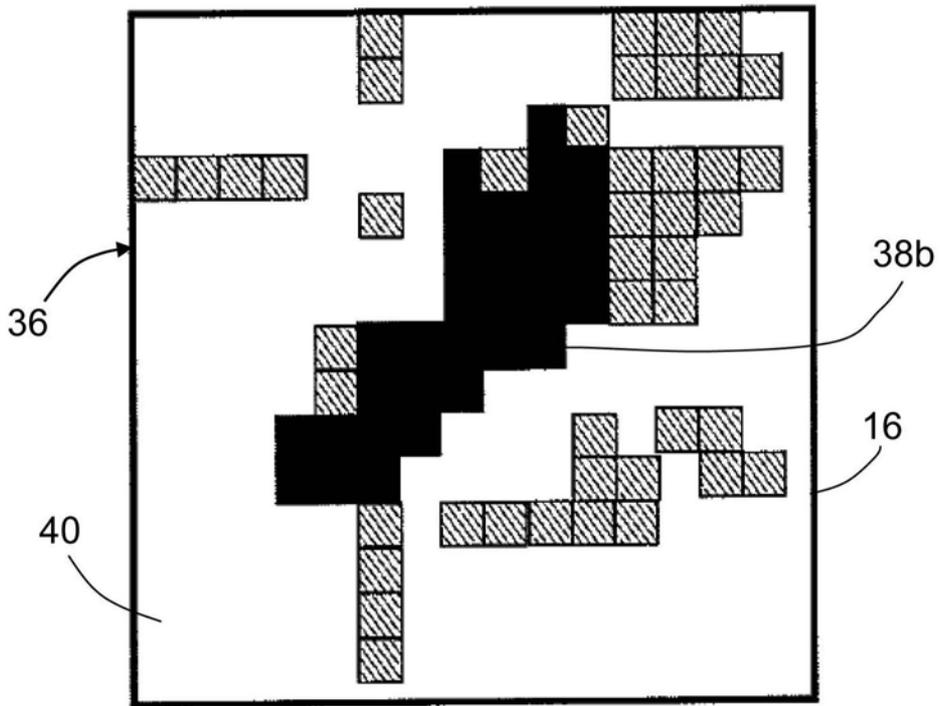


图4B

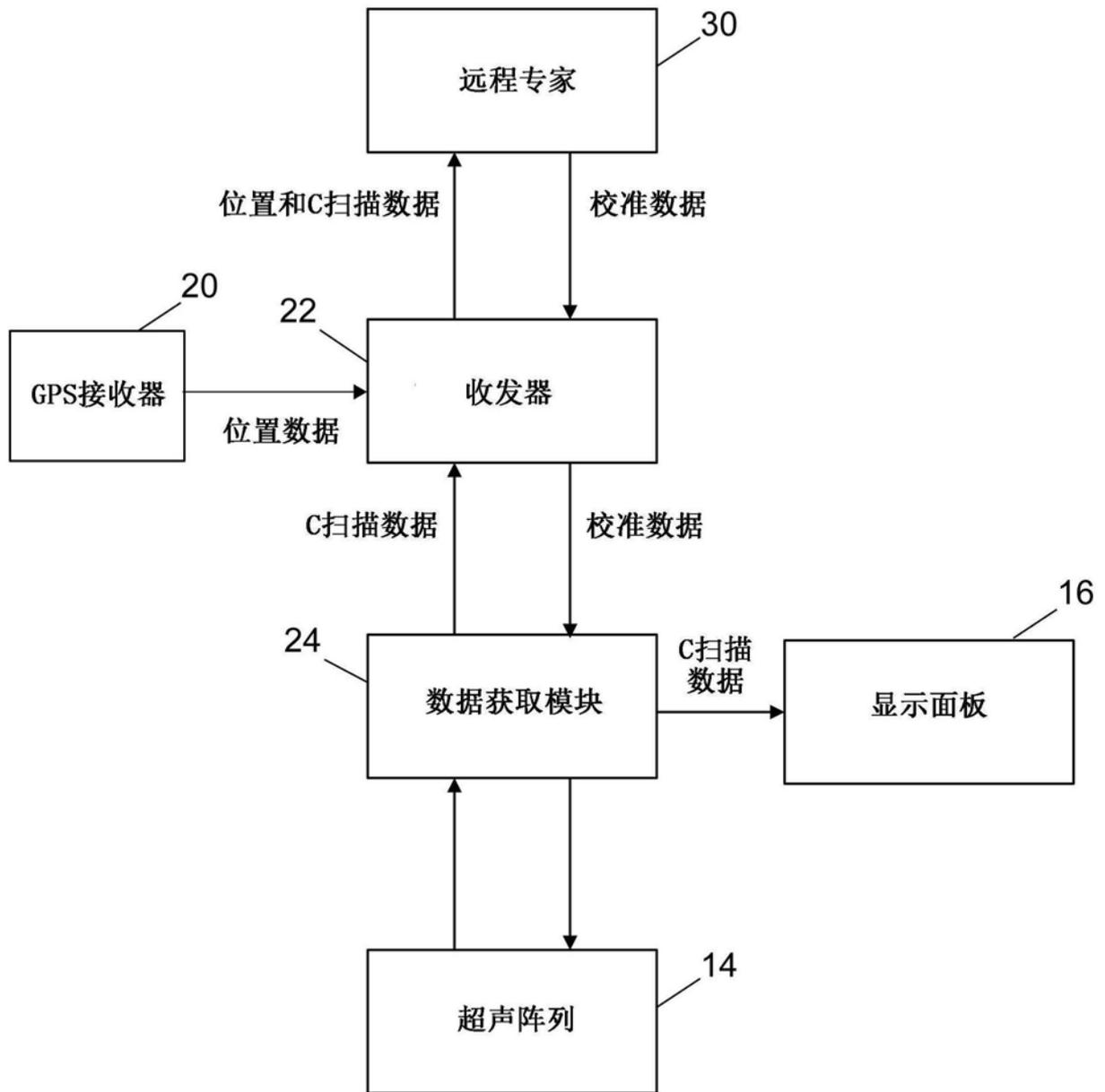


图5

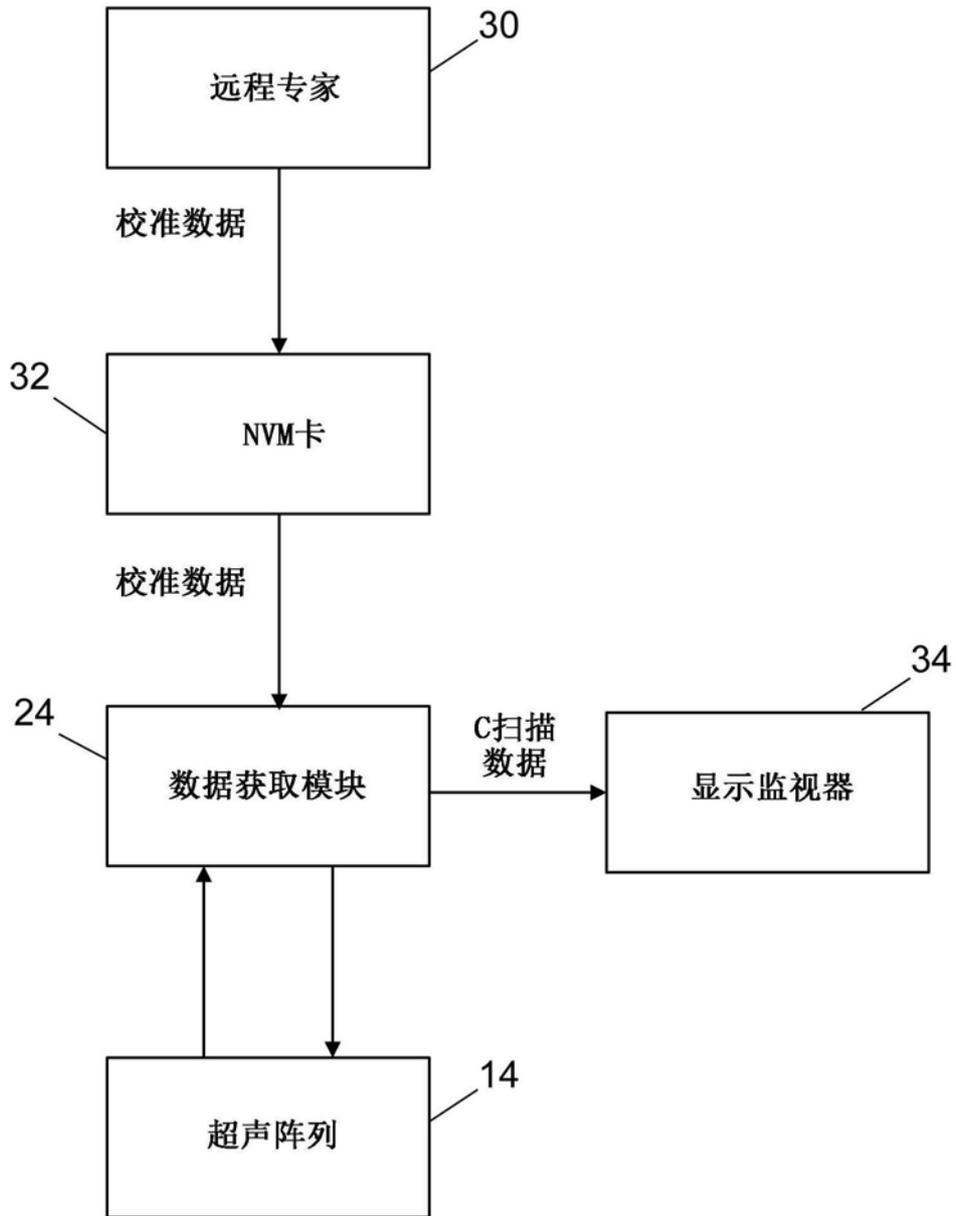


图6

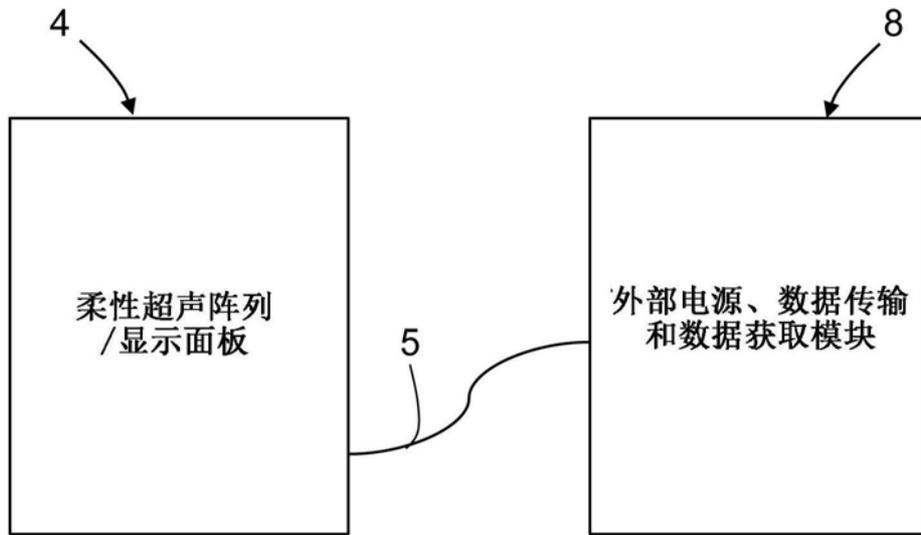


图7

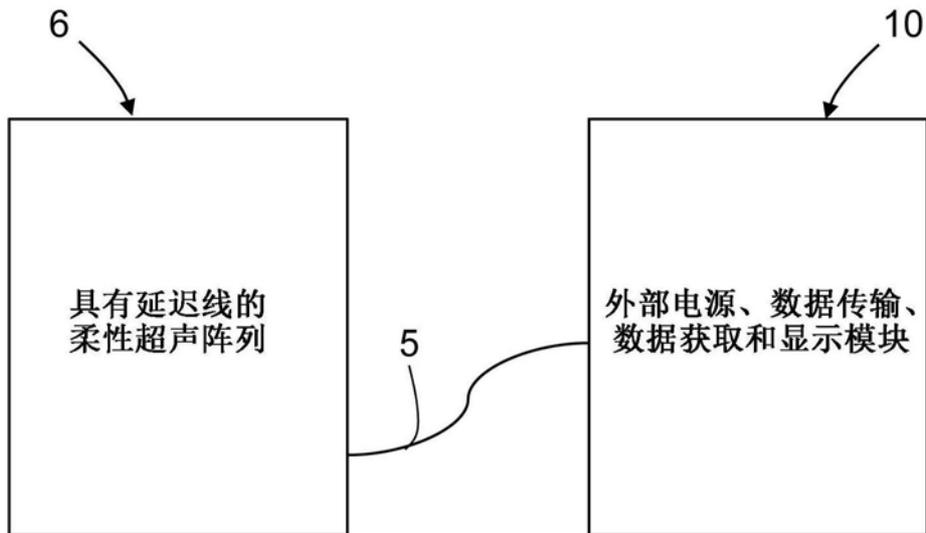


图8

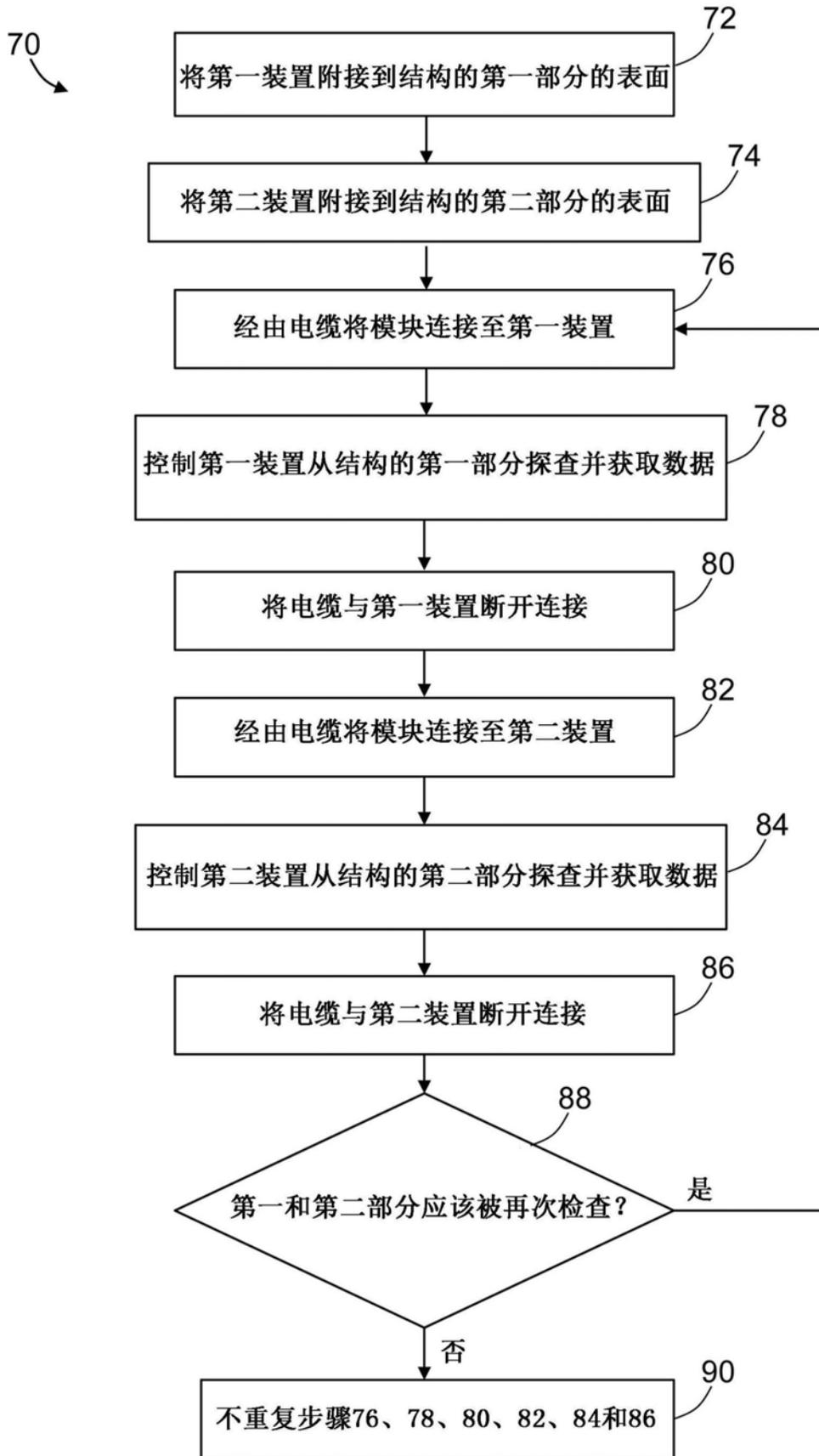


图9

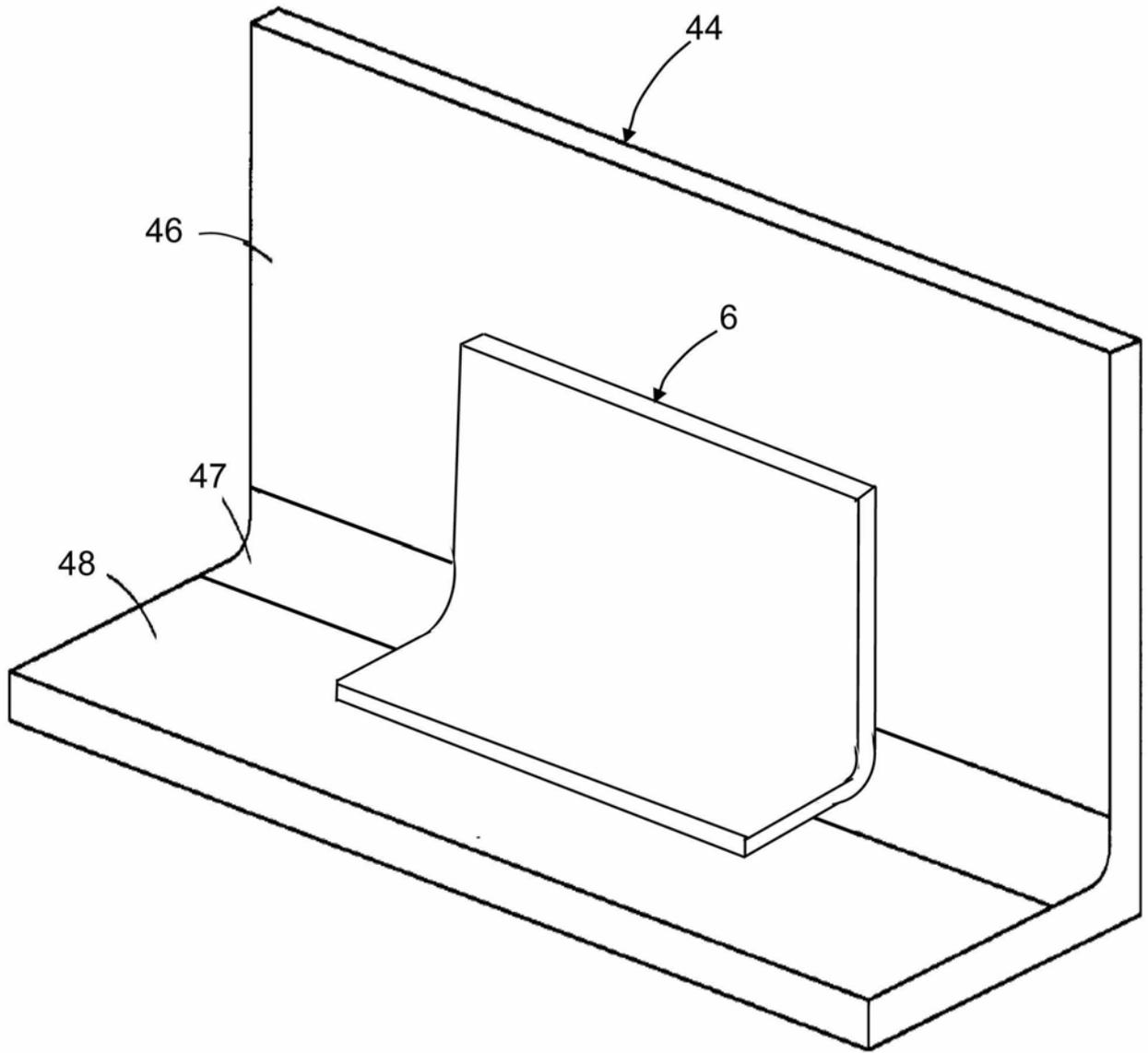


图10

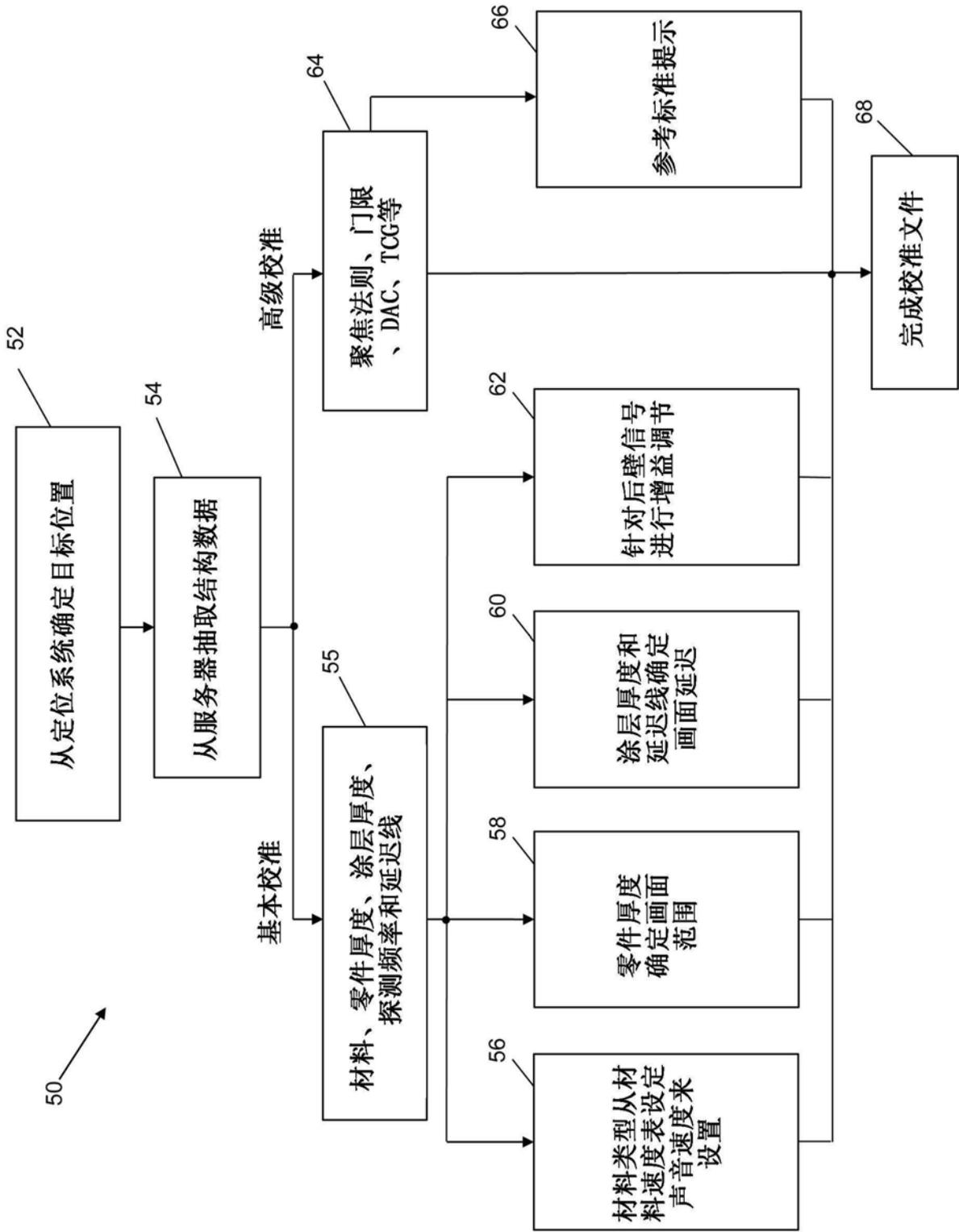


图11