



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105246413 B

(45)授权公告日 2019.03.08

(21)申请号 201480012594.6

N.J.博彻斯

(22)申请日 2014.01.21

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105246413 A

代理人 周少杰 张晓明

(43)申请公布日 2016.01.13

(51)Int.Cl.

A61B 8/00(2006.01)

(30)优先权数据

13/760,172 2013.02.06 US

(56)对比文件

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

US 2007/0167801 A1,2007.07.19,全文.

2015.09.07

CN 101809459 A,2010.08.18,全文.

(86)PCT国际申请的申请数据

CN 1766672 A,2006.05.03,全文.

PCT/US2014/012349 2014.01.21

Caroline Holmes et al..Advanced post-processing for scanned ultrasonic arrays: Application to defect detection and classification in non-destructive evaluation.《Ultrasonics》.2008,第48卷第636-642页.

(87)PCT国际申请的公布数据

W02014/123689 EN 2014.08.14

(73)专利权人 BWXT技术服务集团股份有限公司

地址 美国弗吉尼亚州

审查员 熊狮

(72)发明人 S.J.扬豪斯 D.T.麦克劳克兰

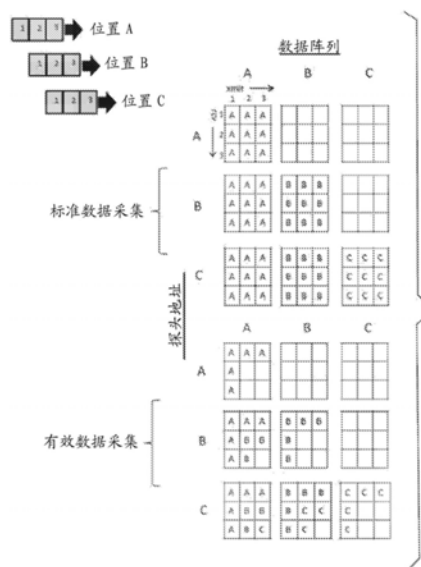
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

用于使用超声阵列的全矩阵捕获的合成数据采集方法

(57)摘要

一种用于有效实现全矩阵超声波数据捕获的方法,该方法包括步骤:提供超声阵列设备,该超声阵列设备还包括探头;在多个检验地址采集数据;生成多个数据矩阵,每个数据矩阵都反应在地址采集的数据;首先采集每个地址的重构所需的多个数据的子集。在该方法中,在探头从一个采集地址移动到另一个采集地址时,随着探头移动到后续采集地址,逐步填充先前地址的数据矩阵。在特定实施例中,利用使用具有许多元件的阵列的电子扫描代替具有少量元件的探头的物理扫描。



1. 一种用于有效实现全矩阵超声波数据捕获的方法,包括:

(A) 提供二维超声阵列设备,所述超声阵列设备包括探头,所述探头适于进行扫描,并且所述探头包括扫描增量和正常扫描边界,其中所述二维超声阵列设备具有两个阵列维度:沿着长轴的阵列维度 m 和沿着短轴的阵列维度 n ;

(B) 移动所述探头到测试件上的第一定位;

(C) 起动二维阵列的短轴中的第一元件,并且在阵列的所有其他元件处接收数据;

(D) 随后在沿着阵列的短轴的剩余元件的每个轮流起动,并且在沿着阵列的长轴的所有元件接收;

(E) 在光栅扫描中的多个检查定位上移动所述探头;

(F) 在新的检查定位,重复起动二维阵列的短轴中的第一元件,并且在阵列的所有其他元件处接收数据、以及随后在沿着阵列的短轴的剩余元件的每个轮流起动,并且在沿着阵列的长轴的所有元件接收的步骤,

其中,所述第一元件是角部元件。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述阵列在脉冲回波模式下工作。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述探头扫描超过所述正常扫描边界预定距离,并且采集多个数据,使得填充所述多个数据矩阵中靠近所述正常扫描边界的数据矩阵。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中每个所述维度沿着其长度具有许多元件,并且其中所述探头超过所述正常扫描边界扫描的距离等于沿着每个相应维度的元件的数量减1。

5. 根据权利要求4所述的方法,其中沿着 n 维度具有 k 个扫描点,而沿着 m 维度,具有1个索引或者步长、点。

用于使用超声阵列的全矩阵捕获的合成数据采集方法

技术领域

[0001] 本发明一般地涉及数据采集领域,并且尤其涉及一种用于通过采用超声阵列设备实现全矩阵捕获并且处理波形数据的新型并且有效的方法。

背景技术

[0002] 在超声波测试中,将范围通常在0.1至15MHz之间(偶尔高达50MHz)的中心频率的非常短的超声波脉冲波射入材料中,以检测内部裂纹或者表示材料的特性。该技术通常还用于确定被测试对象的厚度,例如,以监视管壁腐蚀。

[0003] 通常对钢和其他金属以及合金执行超声波测试,尽管超声波测试也能够用于混凝土、木材和合成物,但是分辨率较低。这是在许多行业中使用的一种形式的无损测试。

[0004] 接收超声波形的两种基本方法是脉冲回波和一发一收。在脉冲回波模式中,在“声”反射回装置时,换能器执行脉冲波发送和脉冲波接收两者。反射的超声来自诸如对象的后壁的界面或者来自对象内的缺陷处。诊断机通常以其振幅表示该反射的强度而反射的到达时间表示距离的信号的形式显示这些结果。在一发一收模式中,采用单独换能器发射和接收超声。

[0005] 超声测试有许多好处。这种测试方法提供高穿透力,该高穿透力使得检测位于正分析的零件深处的裂纹。它也是一种允许检测极小的裂纹的高灵敏方式的测试。通常,只需要一个表面可用于超声测试。在确定具有平行表面的零件的内部裂纹的深度和厚度时,与其他无损方法相比,该方法提供更高的准确度。它提供了估计缺陷的尺寸、方位、形状和性质的能力。通常,对操作或者附近的人是安全的,并且对周围的装备和材料没有影响。它还能够是便携式的,并且高度自动化操作。

[0006] 一种超声测试被称为相控阵列超声。关于这种测试,(各)探头由多个元件(阵列)构成,每个元件(阵列)能够独立发射和/或者接收超声。通过组合来自每个单独元件的发射波,生成合成声波束。通过在元件上施加短时间的延迟并且然后一起起动(fire)元件,可以以任何方式引导和/或聚焦该波束。在模拟方式中,通过跨越各元件施加一组短延迟,并且然后将来自所有元件贡献加在一起,可以将接收阵列设定为对来自特定角度和/或者焦距的进入超声敏感。

[0007] 对于将相同的阵列探头用作相控阵列超声的检验,超声波信息的矩阵捕获是强有力的技术。然而,该方法是独特的。例如,通过连续起动每个阵列元件并且对于每次起动记录在所有元件处接收的波形,实现矩阵捕获。在给定检验地址获得的采集数据形成波形矩阵,波形矩形的每个波形与一个发射-接收元件对相关联。通过在整个阵列上对于每个发射/接收元件对获取所有数据,在通过对记录的波形应用一组适当短延迟并且然后将所有信号加在一起(例如,利用计算机)采集数据之后的任何时间,能够重构任何角度的虚拟超声波扫描。

[0008] 认为矩阵捕获与相控阵列以如下方式不同。在相控阵列方法中,在给定的检验地址,在发射和接收相位期间,对所有波形应用一组适当短延迟,并且此时将来自所有阵列元

件的波形加在一起。仅存储最终结果。在矩阵捕获方法中,将对应于每个检验地址处的发射与接收元件的每个组合的所有波形存储于数据矩阵中。在后处理的任何后续时间,对存储的波形应用一组适当短延迟,并且将该矩阵中的所有波形加在一起,以有效创建超声的引导和/或者聚焦波束。

[0009] 然而,已知的矩阵捕获技术具有固有的显著缺陷,即,需要存储大量数据。对于每个扫描地址,必须存储所有发射/接收对的所有波形。

[0010] 作为示例,每个波形通常都要求采集1000个时间点,每个点需要1个字节。对于32个元件的阵列,这意味着必须采集 $(32)^2$ 或者1024个波形。在每个1000字节,该采集都导致对每个扫描地址存储1MB的数据。甚至小扫描也要求 100×100 ,或者10,000数量级的扫描地址。这样采集数据将导致总共约10GB的数据存储。对于利用含有m个元件的探头的脉冲回波检验,考虑到互易(reciprocity),在每个扫描地址必须采集的波形的数量是:

[0011] 每个检验地址的波形数量(脉冲回波) = $\frac{m \cdot (m+1)}{2}$

[0012] 这种要求加重了数据存储需求,并且还扫描速度造成实际限制,因为可能难以迅速移动如此多的数据。

[0013] 利用将扫描和/或者索引增量设定为等于其元件间距或者单位分数(unit fraction)的方法能够实现提高效率。在这种情况下,一个地址的大部分采集数据(在理论上)等于在相邻地址采集的数据。

[0014] 一个说明性示例是阵列探头在脉冲回波模式下工作并且具有3个元件的解决方案。探头将沿着与超声波阵列相同的方向移动到3个独立位置。在任何给定位置,为了利用标准数据捕获方法容纳来自所有发射-接收对的数据,则必须记录 $\frac{m \cdot (m+1)}{2} = \frac{3 \cdot 4}{2} = 6$ 个

波形。此外,必须一次起动3个元件中的每个。为了采集3个探头位置的所有数据,需要全部9个元件都起动,并且必须采集18个波形。

[0015] 该解决方案在图1中示于被标记为“标准数据采集”的区段。示出了一组表,每个表分别表示对应于以1个元件间距的增量移动的3个元件阵列的后续检验地址(示于左上)的探头的数据矩阵。从左到右的表表示需要在每个后续地址(A、B、C)填充的数据矩阵。从顶到底的表表示在后续探头地址(A、B、C)相同的这些阵列。每个地址要求的数据都是一组对应于每个发射-接收对的波形。表中的字母表示采集数据的探头地址。对于标准采集,在每个探头地址(A、B、C),采集在该相应地址重构的所有数据。

[0016] 在探头沿着阵列方向以等于元件间距的步长移动的情况下,如果元件起动了9次,并且采集到18个波形,则许多数据是冗余的。

[0017] 因此,需要一种捕获波形数据的方法,该方法有效并且克服了包括但并不局限于存储容量的冗余和负担的上述缺陷。

发明内容

[0018] 本发明解决了本技术领域内公知的缺陷,并且提出一种有效采用超声技术的新颖高效数据采集方法。

[0019] 因此,本发明的一个方案是提供一种通过有效利用超声阵列设备,实现全矩阵捕

获的方式。

[0020] 本发明的实施例提供了一种有效实现全矩阵超声波数据捕获的方法,该方法包括步骤:提供超声阵列设备,该超声阵列设备还包括探头;在多个采集地址上移动探头;生成多个数据矩阵,每个数据矩阵反应在该地址采集的数据;首先采集每个采集地址的重构所需的多个数据的子集。在该方法中,在探头从一个采集地址移动到下一个采集地址时,随着探头移动到后续采集地址,逐步填充先前地址的数据矩阵。

[0021] 因此,本发明的一个方案提出一种有效实现全矩阵超声波数据捕获的方法,包括:(a) 提供超声阵列设备,该超声阵列设备包括探头,该探头适于在测试件上定位;(b) 在多个地址采集数据;(c) 生成多个数据矩阵,每个数据矩阵反应在该地址采集的数据;(d) 在每个地址,首先采集重构所需的多个数据的子集;以及(e) 从一个地址到另一个地址采集数据,随着探头移动到后续地址,逐步填充在先前地址的数据矩阵中。

[0022] 因此,本发明的另一个方案提出一种有效实现全矩阵超声波数据捕获的方法,包括:(A) 提供二维超声阵列设备,该超声阵列设备包括探头,该探头适于扫描,并且该探头包括扫描增量和正常扫描边界;(B) 在多个检验地址上移动探头;(C) 生成多个数据矩阵,每个数据矩阵反应在该检验地址采集的数据;(D) 在每个检验地址,首先采集重构所需的多个数据的子集;以及(E) 在探头从一个检验地址移动到另一个检验地址时,随着探头移动到后续检验地址,逐步填充在先前检验地址的数据矩阵中。

[0023] 检验地址可以对应于采集地址,但是无需如此。例如,如果仅要求稀疏覆盖(例如,对于部件厚度映射),则检验地址可以对应于一些子集的采集地址。

[0024] 本公开所附的并且构成本公开的一部分的权利要求书中具体指出了特征化本发明的各种新颖特征。为了更好地理解本发明、其工作优点以及其使用获得的特定目标,请参考说明本发明的优选实施例的附图和说明性内容。

附图说明

[0025] 图1是将根据本有效数据采集方法工作的阵列探头如何与标准数据采集进行比较的综合示意图;

[0026] 图2是“一发一收”探头排列专用的两步处理的示图,在该“一发一收”探头布置中,在每个采集地址,除了发射元件起动之外,“一收”探头中的对置元件也发射信号,并且“发射”探头中的所有元件(除了初始发射的元件)采集该接收信号;以及

[0027] 图3是包括阵列索引的表示和相对于扫描轴和索引轴的方位的二维超声波阵列的配置的示图。

具体实施方式

[0028] 现在参考附图,图1在标记为“有效数据采集”的区段示出本发明的新颖超声数据采集方法。按照“标准数据采集”方法,为了采集3个探头位置的所有数据,需要总共9个元件起动,并且必须采集18个波形。根据本“有效数据采集”方法,为了具有位于全部位置的所有波形数据,只有5个元件起动,并且仅需要采集12个波形。为了使这种特定实现成为可能,探头增量必须等于元件间距。此外,该特定实现取决于互易原理(reciprocity principle)(即,在理论上元件x发射的信号和元件y接收的信号与元件y发射的信号和元件x接收的信

号相同)。在脉冲回波操作的情况下,互易原理的结果是矩阵相对于其对角线是对称的;即,元件 xy 等于元件 yx 。在每个探头地址,只有一个元件起动,并且所有元件接收。结果,采集在该地址重构所需的数据子集。在探头从位置A移动到B移动到C时,逐步填充位置A的数据矩阵。尽管仅示出3个起动,但是随着探头继续移动,地址B和C的数据矩阵也将被填充。例如,考虑地址A的数据矩阵:随着探头移动,来自地址A、B和C的数据都用于实现在该点重构。

[0029] 本发明实施例提供的有效方法的优点随着元件数量和位置数量的增加而增多。对于沿着检验线的 k 个位置和 m 个元件,如下表示需要起动的数量和要采集的波形的数量:

[0030] 起动数量(脉冲回波) = $(k+m-1)$, 并且

[0031] 需要的波形数量(脉冲回波) = $(k \cdot m) + \frac{m \cdot (m-1)}{2}$

[0032] 因此,在使用32元件阵列并且沿着扫描线取100个数据点的情况下,将仅需要采集3,696个波形,并且将仅需要131个元件起动。这比在没有要求保护的本发明的情况下,需要从3200个起动中采集 $(32 \times 33/2) \times 100 = 52,800$ 个波形要好得多,要求保护的本发明利用数据冗余。

[0033] 如果将探头增量设定为元件间距的单位分数,则仍可以应用段落20中阐述的过程。在探头增量等于元件间距除以 L 的情况下,则可以创建概念性 L 阵列,并且将每隔 L 个扫描增量,对每个采集数据。为了完全填充所有数据矩阵,检验地址的数量 k 甚至必须可被 L 除尽。然后,对于全部 k 个位置,下面的等式表示必需起动的数量和需要的波形数量:

[0034] 起动数量(增量是间距的单位分数) = $1+L \cdot (m-1)$, 并且

[0035] 波形数量(增量是间距的单位分数) = $(k \cdot m) + L \cdot \frac{m \cdot (m-1)}{2}$

[0036] 其中对于上面的两个等式 $k > L$ 。

[0037] 如果利用一发一收排列进行检验,则需要第二步骤以便完成在每个地址必须采集的数据子集。通常布置为接收机的元件还必须适于用作发射机,并且相反,布置为发射机的元件也必须适于用作接收机。在每个采集地址,除了发射元件起动,“一收”探头中的对置元件也必须发射信号,并且“发射”探头中的所有元件(除了初始发射的元件)必须接收该信号。在图2中,该过程被表示为两步处理。以此方式,正如在段落20阐述的,填充子阵列并且可以进行采集。如果执行这种布置,则将需要起动的总数和需要的波形总数表示为下面的等式:

[0038] 起动数量(一发一收) = $2(k+m-1)-1$, 并且

[0039] 采集的波形数量(一发一收) = $k(2m-1) + (m-1)^2$

[0040] 在特定实施例中,扫描增量等于元件间距。在这些实施例中,除了沿着阵列的方向移动探头,还可以选择制造具有许多元件的探头来生成发射和接收序列,这等同于使较小的探头移动。尽管这要求构造大阵列,但是其优点是潜在地消除移动零件和定位误差。

[0041] 本发明的实施例还可以应用于二维阵列的情况,其在数据存储和起动效率的受益甚至能够更巨大。实际上,如果不应用本发明的新颖方法提高效率,则利用当今可用的计算机技术实现所有最小的二维阵列可能不切实际。例如,考虑16元件 $\times$ 8元件的阵列探头在脉冲回波模式下工作的情况。在不实施这种技术改善效率的情况下,为了获得 $(128 \times 129)/2 = 8256$ 个波形,在每个探头位置需要 $(16 \times 8) = 128$ 个起动。假定每个波形要1000个一字节

点和100×100个探头位置的阵列,这导致82GB的总数据存储容量。

[0042] 通过重新使用在不同探头位置采集的数据,本发明非常显著节约了起动数量和数据采集。考虑沿着在扫描方向上具有n个元件并且在索引(或者步进)方向上具有m个元件的二维阵列的两个阵列方向的光栅扫描。光栅扫描包括沿着扫描方向和1步进的k个采集地址。该布置的示图示于图3中。对于在脉冲回波模式下工作的(n×m)元件超声波阵列,仅需要m个或者n个(无论如何都较小)起动,并且在每个采集地址,需要存储 $(n \cdot m) + (n-1) \cdot (m-1)$ 个波形。这对应于起动角部元件(例如,元件(1,1)),而在所有元件接收,然后,起动沿着阵列的短边缘的每个元件(例如,元件(M,1),M=2至m),而对于每个起动,在沿着阵列的长边缘的所有元件(例如,元件(1,N),其中N=2至n)接收。(为了填充靠近检验栅格边缘的数据矩阵,需要记录附加波形。)在一个实施例中,探头超过正常扫描边界扫描,并且获取数据,从而填充该边界附近的数据矩阵。探头超过扫描边界扫描的距离等于沿着每个相应维度的元件的数量减1。因此,如果沿着探头的“n”维度有k个扫描点,而沿着探头的“m”维度有个1扫描点,则所需波形总数的保守估计示于如下:

[0043] 波形数量(2D阵列) $\approx (k+n-1) \cdot (1+m-1) \cdot [n \cdot m + (n-1) \cdot (m-1)]$

[0044] 该近似公式是所需波形总数的过高估计,因为为了完全重构k×1栅格,需要在靠近该栅格的边缘的扫描地址采集少于 $[n \cdot m + (n-1) \cdot (m-1)]$ 个的波形。然而,充分体现了利用该新颖采集方法减少数据存储要求的优点。回到16×8阵列的例子,这意味着在每个探头位置仅需要8个起动,并且需要存储233个波形。对于探头位置的同一个100×100阵列,这样导致约 $(115 \cdot 107 \cdot 233) \cdot 1000$ 字节的总数据存储,约等于3GB,利用本技术领域内当前已知的技术,这能够容易地实现。

[0045] 在本发明的另一个实施例中,由于属于二维阵列,所以仅沿着索引方向采用对称。这可以因为各种原因而执行。例如,如果不能以足够精度沿着索引方向执行定位,或者如果不能将索引增量设定得等于沿着该方向的元件间距,或者如果仅沿着一个方向进行扫描,则沿着索引方向不能采用对称。在这种情况下,通过执行下面的过程,也能够实现显著受益:在每个扫描地址,依次起动N=1的全部m个元件(即,元件(M,1),其中M=1至m),并且对于每个起动元件,记录来自该阵列中的所有元件的所有接收波形。(请注意,当起动(各)元件(M,1)时,其中M>1,不需要记录元件(M',1)处的波形,其中M'<M,因为互易考虑使其冗余。)因此,在每个扫描地址,需要m个起动,并且必须记录 $\left[(m^2 \cdot n) - \frac{m(m-1)}{2}\right]$ 个波形。为了在每个扫描地址记录填充所有矩阵所需的所有波形,需要在正常扫描栅格之外的地址记录额外波形。需要通过k×1个地址扫描的波形总数的估计值是:

[0046] 波形数量(2D阵列,仅沿着扫描方向采用对称) $\approx (k+n-1) \cdot l \cdot \left[(m^2 \cdot n) - \frac{m(m-1)}{2}\right]$

[0047] 该估计值稍许保守,因为未考虑到在正常范围k之外的地址需要采集的减少数量的波形。回到100×100个扫描地点的16×8阵列的例子,需要存储的总数据约为 $(115 \cdot 100 \cdot 996) \cdot 1000$ 字节,等于11.45GB。这与采用标准采集方法需要82GB的存储要求相比,仍是显著进步。

[0048] 本发明至少具有三个优点。第一个优点是减少了数据存储。这样使得更多的文件存储于单个驱动器上,并且在某些情况下还使得有能够将所有扫描数据存入系统存储器中,这样使得瞬间访问所有扫描数据。第二个优点是能够显著提高扫描速度。由于在每个位

置获取较少的数据,所以显著降低了数据吞吐量。这样提高扫描速度能够降低检验成本。第三个优点是能够使数据更干净,因为较少发射机起动的结果是起动之间的时间间隔较长,这意味着声有更长的时间传播。

[0049] 除了本发明的有效数据采集方法,还可以选择在每个扫描地址采集整个数据集。这种方法的结果是扫描时间较慢、噪声可能较大的数据并且显著提高存储要求(并且在某些情况下,不切实际)。

[0050] 尽管为了说明本发明原理的应用,详细示出并且描述了本发明的特定实施例,但是可以以其他方式实现本发明,而不脱离这些原理。

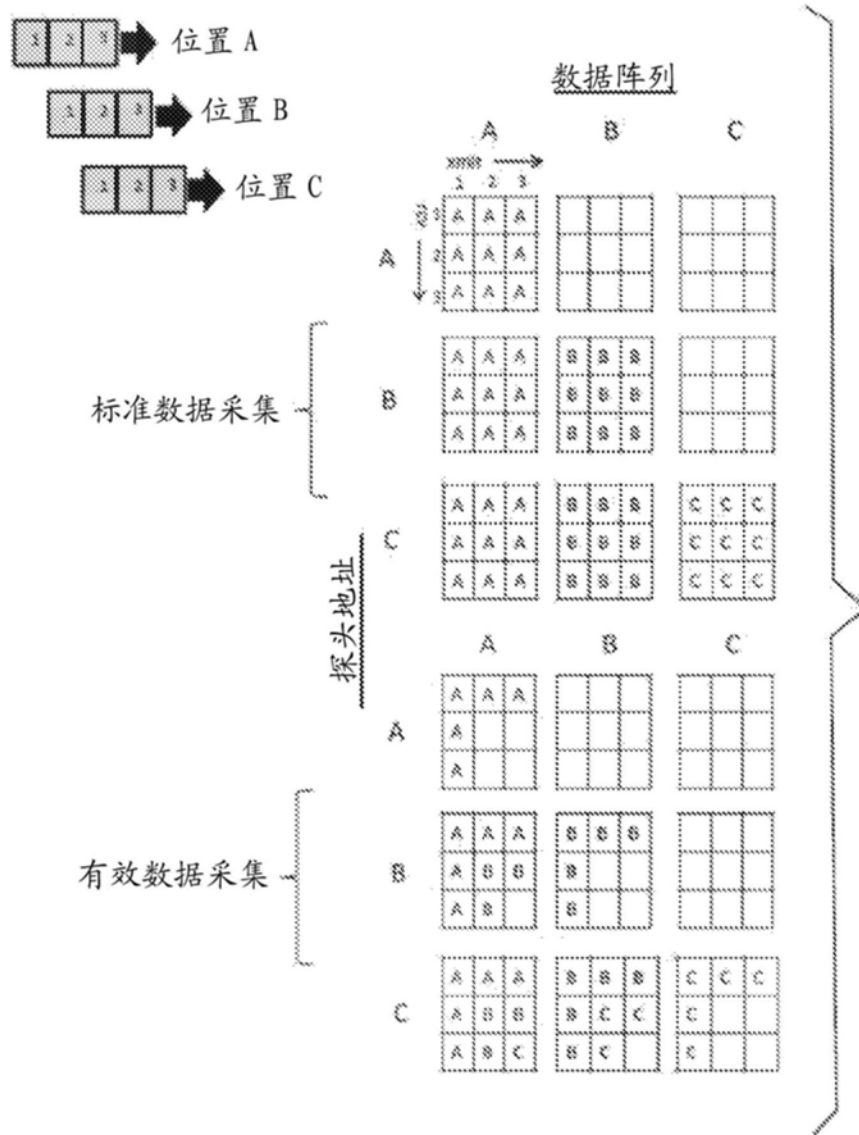


图1

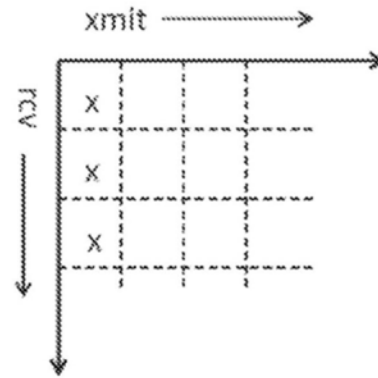
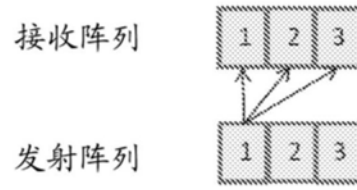
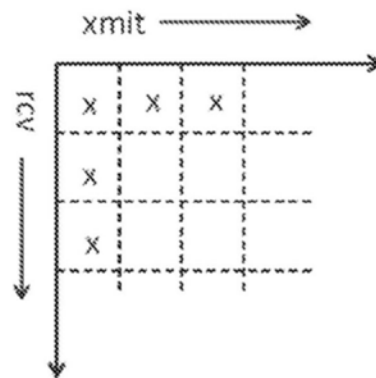
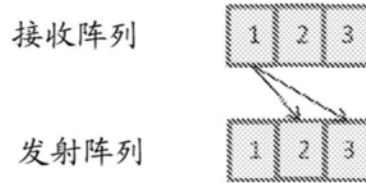
步骤 1步骤 2

图2

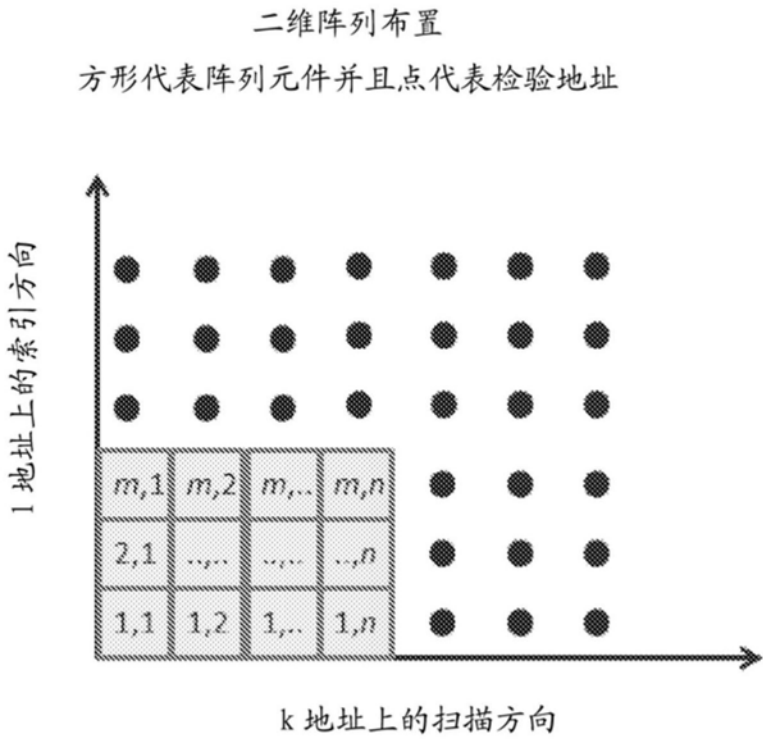


图3

专利名称(译)	用于使用超声阵列的全矩阵捕获的合成数据采集方法		
公开(公告)号	CN105246413B	公开(公告)日	2019-03-08
申请号	CN201480012594.6	申请日	2014-01-21
[标]发明人	S J 扬豪斯 D T 麦克劳克兰 N J 博彻斯		
发明人	S.J.扬豪斯 D.T.麦克劳克兰 N.J.博彻斯		
IPC分类号	A61B8/00		
CPC分类号	G01N29/262 G01N2291/106 G01S7/52085 G01S15/8915		
代理人(译)	周少杰 张晓明		
优先权	13/760172 2013-02-06 US		
其他公开文献	CN105246413A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

一种用于有效实现全矩阵超声波数据捕获的方法，该方法包括步骤：提供超声阵列设备，该超声阵列设备还包括探头；在多个检验地址采集数据；生成多个数据矩阵，每个数据矩阵都反应在地址采集的数据；首先采集每个地址的重构所需的多个数据的子集。在该方法中，在探头从一个采集地址移动到另一个采集地址时，随着探头移动到后续采集地址，逐步填充先前地址的数据矩阵。在特定实施例中，利用使用具有许多元件的阵列的电子扫描代替具有少量元件的探头的物理扫描。

