



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107328866 A

(43)申请公布日 2017. 11. 07

(21)申请号 201710108994.2

(22)申请日 2017.02.27

(71)申请人 陕西师范大学

地址 710062 陕西省西安市长安南路199号

(72)发明人 郭建中 尹冠军 沈壮志 李盼

(74)专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200

代理人 强宏超

(51) Int. Cl.

G01N 29/30(2006.01)

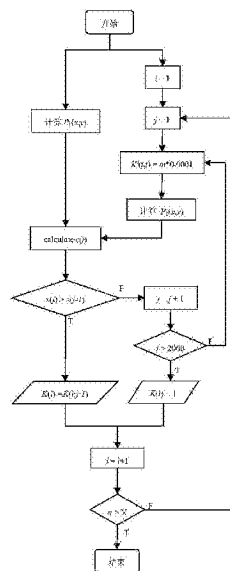
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种超声相控阵探头阵列的修复校正方法

(57)摘要

本发明公开了一种超声相控阵探头阵列的修复校正方法,利用声场叠加原理计算在正常激励情况下,标准阵列在空间多个点的声压分布,作为校正基准,利用基于自适应算法的校正程序,从非标准阵列的第一个阵元开始分别计算各个阵元的校正系数,利用循环改变被较正阵元校正系数,调整其激励参数,循环完成所有阵元的校正,以得校正参数作为各阵元激励参数初始值,重复第一次校正循环,得到更准确的校正系数,将计算得到的各个阵元的校正系数,作为对应阵元的激励参数,对非标准阵列的辐射声场进行校正,实现对阵列阵元的快速校正,校正效率高,降低超声相控阵修复、校正成本。



1. 一种超声相控阵探头阵列的修复校正方法,其特征包括以下步骤:

步骤1、利用声场叠加原理计算在正常激励情况下,标准阵列在空间多个点的声压分布 $P_1(x, y)$, $P_1(x, y)$ 作为校正基准;

步骤2、设置阵列中某几个阵元失效,不辐射声波,利用基于自适应算法的校正程序,从非标准阵列的第一个阵元开始分别计算各个阵元的校正系数,利用循环改变被校正阵元校正系数,调整其激励参数,其他阵元保持原有激励方式,计算相应的声场分布 $P_2(x, y)$, 当非标准阵列的声场分布 $P_2(x, y)$ 和标准声场的各点声压分布 $P_1(x, y)$ 误差的均方根值达到最小,保存对应的校正系数;在下一个阵元校正中,循环改变当前校正阵元的校正系数,利用前面已经得到的参数作为对应阵元的激励参数,保持其它阵元激励方式不变,达到优化目标,保存校正参数;循环完成所有阵元的校正,校正参数计算完毕;

步骤3、再以计算所得校正参数作为各阵元激励参数初始值,重复第一次校正循环,得到更准确的校正系数;

步骤4、将计算得到的各个阵元的校正系数,作为对应阵元的激励参数对非标准阵列的辐射声场进行校正。

2. 如权利要求1所述的超声相控阵探头阵列的修复校正方法,其特征是:根据声峰值振幅误差比PAER评价经过激励优化后的非标准阵列声场分布情况,

$$PAER = 20 * \lg\left(\frac{P_{\max}}{RMSE}\right) \quad (1)$$

其中 P_{\max} 为标准阵列声场中声压最大值, $RMSE$ 为标准阵列与非标准阵列声场各点声压的均方根误差值:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{IJ} \sum_i \sum_j [P_b(i, j) - P_a(i, j)]^2} \quad (2)$$

式中 $P_b(i, j)$ 为有限元仿真实验中标准阵列的声压分布, $P_a(i, j)$ 为非标准阵列的声压分布, I 和 J 分别为整个声场中声压采样点在采样区横纵坐标上的最大值。

3. 如权利要求1所述的超声相控阵探头阵列的修复校正方法,其特征是:步骤2中从第一个阵元开始估计校正参数,保持其他阵元激励情况不变,循环改变第一个阵元的校正系数,初始值为0,步长为0.0001。

一种超声相控阵探头阵列的修复校正方法

【技术领域】

[0001] 本发明属于相控阵超声应用领域,涉及一种超声相控阵探头阵列的修复校正方法。

【背景技术】

[0002] 超声阵列换能器由多个换能器晶片按照一定规则排列而成,按照一定的时序激励各个晶片,可以合成需要的各种声场。超声相控阵技术被广泛应用于医学超声诊疗、工业检测等多个领域。

[0003] 但是,阵列换能器在制作过程中,由于加工水平等因素,难免会有尺寸误差、间距误差的存在;并且,在使用过程中,由于操作不当、阵元老化等原因,会造成阵元辐射效率降低、甚至失效。这些尺寸误差以及阵元失效会影响整个阵列换能器声场的合成,使辐射声场与设计声场产生误差,影响相关的应用效果。

[0004] 目前,对于阵列阵元尺寸误差和间距误差的处理方法是提高阵列的制造精度,而对于阵元失效的处理方法只能是更换整个阵列。这样的方法费时费力,成本太高,且不利于快速解决在实际应用中遇到的问题。

【发明内容】

[0005] 本发明的目的在于提供一种超声相控阵探头阵列的修复校正方法,能对由于阵元尺寸误差和辐射效率误差引起的声场偏差进行校正,使非标准阵列的辐射声场接近理想阵列的标准,实现对阵列阵元的快速校正。

[0006] 为了达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种超声相控阵探头阵列的修复校正方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤1、利用声场叠加原理计算在正常激励情况下,标准阵列在空间多个点的声压分布 $P_1(x, y)$, $P_1(x, y)$ 作为校正基准;

[0009] 步骤2、设置阵列中某几个阵元失效,不辐射声波,利用基于自适应算法的校正程序,从非标准阵列的第一个阵元开始分别计算各个阵元的校正系数,利用循环改变被校正阵元校正系数,调整其激励参数,其他阵元保持原有激励方式,计算相应的声场分布 $P_2(x, y)$,当非标准阵列的声场分布 $P_2(x, y)$ 和标准声场的各点声压分布 $P_1(x, y)$ 误差的均方根值达到最小,保存对应的校正系数;在下一个阵元校正中,循环改变当前校正阵元的校正系数,利用前面已经得到的参数作为对应阵元的激励参数,保持其它阵元激励方式不变,达到优化目标,保存校正参数;循环完成所有阵元的校正,校正参数计算完毕;

[0010] 步骤3、再以计算所得校正参数作为各阵元激励参数初始值,重复第一次校正循环,得到更准确的校正系数;

[0011] 步骤4、将计算得到的各个阵元的校正系数,作为对应阵元的激励参数对非标准阵列的辐射声场进行校正。

[0012] 进一步,根据声峰值振幅误差比PAER评价经过激励优化后的非标准阵列声场分布

情况,

$$[0013] \quad PAER = 20 * \lg\left(\frac{P_{\max}}{RMSE}\right) \quad (1)$$

[0014] 其中 P_{\max} 为标准阵列声场中声压最大值, RMSE为标准阵列与非标准阵列声场各点声压的均方根误差值:

$$[0015] \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{IJ} \sum_i \sum_j [P_b(i, j) - P_a(i, j)]^2} \quad (2)$$

[0016] 式中 $P_b(i, j)$ 为有限元仿真实验中标准阵列的声压分布, $P_a(i, j)$ 为非标准阵列的声压分布, I和J分别为整个声场中声压采样点在采样区横纵坐标上的最大值。

[0017] 进一步, 步骤2中从第一个阵元开始估计校正参数, 保持其他阵元激励情况不变, 循环改变第一个阵元的校正系数, 初始值为0, 步长为0.0001。

[0018] 本发明的超声相控阵探头阵列的修复校正方法, 利用声场叠加原理计算在正常激励情况下, 标准阵列在空间多个点的声压分布, 作为校正基准, 利用基于自适应算法的校正程序, 从非标准阵列的第一个阵元开始分别计算各个阵元的校正系数, 利用循环改变被校正阵元校正系数, 调整其激励参数, 循环完成所有阵元的校正, 校正参数计算完毕。再以程序所得校正参数作为各阵元激励参数初始值, 重复第一次校正循环, 得到更准确的校正系数, 将计算得到的各个阵元的校正系数, 作为对应阵元的激励参数, 对非标准阵列的辐射声场进行校正。

[0019] 本发明从改变修正每个阵元的激励参数(激励幅度和相位)的角度, 对阵列换能器辐射声场进行校正修复, 能对由于阵元尺寸误差和辐射效率误差引起的声场偏差进行校正, 减小由于阵元误差和阵元失效带来的声场偏差, 使声场分布接近、达到理想阵列的声场设计指标, 实现对阵列阵元的快速校正, 校正效率高, 降低超声相控阵修复、校正成本。

【附图说明】

[0020] 图1自适应算法框图

[0021] 图2自适应声场优化算法流程图

[0022] 图3标准阵列换能器辐射声场

[0023] (a1) 平面声场瞬时声压图; (a2) 平面声场指向性

[0024] (b1) 聚焦声场瞬时声压图; (b2) 聚焦声场指向性

[0025] 图4非标准阵列换能器辐射声场

[0026] (a1) 平面声场瞬时声压图; (a2) 平面声场指向性

[0027] (b1) 聚焦声场瞬时声压图; (b2) 聚焦声场指向性

[0028] 图5参考点数对校正结果的影响

[0029] 图6两阵元失效阵列换能器校正后辐射声场

[0030] (a1) 平面声场瞬时声压图; (a2) 平面声场指向性

[0031] (b1) 聚焦声场瞬时声压图; (b2) 聚焦声场指向性

【具体实施方式】

[0032] 下面将结合本发明实施例中的附图, 对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完

整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0033] 本发明提出通过利用自适应算法调整阵元激励参数的方式对阵列进行校正。自适应算法是根据某种判据调整一定的加权系数,使得输入输出信号之间按照这个判据的误差最优的滤波估计算法。一般有迫零算法,最陡下降算法,最小均方算法(Least mean square,简称LMS算法),递归最小二乘算法(Recursive Least-Squares,简称RLS算法),以及各种盲均衡算法等。本发明采用常用的LMS算法。自适应滤波器原理框图如图1所示,如果期望信号 $d(t)$ 与由滤波器输入信号 $x(t)$ 激励的滤波器输出信号 $y(t)$ 之差的均方根值 $\epsilon(t)$,未达到最小或最优,通过迭代算法调整加权系数 $\omega(t)$,直至 $\epsilon(t)$ 达到最小或者最优。

[0034] 如图2所示,本发明基于自适应方法的声场优化算法流程如下:

[0035] 步骤1、设置标准阵列,利用声叠加原理,计算标准阵列在空间点的声压分布 $P_1(x, y)$, $P_1(x, y)$ 作为校正目标;

[0036] 步骤2、设置标准阵列中的某几个阵元失效,不辐射声波;

[0037] 从第一个阵元开始估计校正参数,保持其他阵元激励情况不变,循环改变第一个阵元的校正系数 $K'(i, j)$,初始值为0,步长为0.0001,利用校正系数调整阵元的激励参数,计算相应的声场分布 $P_2(x, y)$,计算 $P_2(x, y)$ 与标准声压分布 $P_1(x, y)$ 的均方根误差,并与前一次校正系数的结果比较;如果均方根误差 $\epsilon(j)$ 变大,则前一次校正结果为最佳,保存相应的校正系数, $K(i) = K'(i, j-1)$;如果循环完成,均方根误差没有变化,则令 $K(i) = 1$,完成该阵元校正参数估计,进入下一阵元的校正,循环完成整个阵列阵元校正参数估计。

[0038] 通过多次对比,一般优化2-3次以上,校正参数更新数据基本不变,误差达到最优。因此,在第一次校正参数估计完成后,以保存的参数为基准,进行第二次校正。

[0039] 为了评价经过激励优化后的非标准阵列声场分布情况,提出声峰值振幅误差比PAER(Peak Amplitude to Error Ratio)作为评价声场优化误差的判据,如式(1)。

$$[0040] \quad PAER = 20 * \lg\left(\frac{P_{\max}}{RMSE}\right) \quad (1)$$

[0041] 其中 P_{\max} 为标准阵列声场中声压最大值,RMSE为标准阵列与非标准阵列声场各点声压的均方根误差值:

$$[0042] \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{IJ} \sum_i \sum_j [P_b(i, j) - P_a(i, j)]^2} \quad (2)$$

[0043] 式中 $P_b(i, j)$ 为有限元仿真实验中标准阵列的声压分布, $P_a(i, j)$ 为非标准阵列的声压分布,I和J分别为整个声场中声压采样点在采样区横纵坐标上的最大值。

[0044] 利用仿真试验,对该方法进行验证,步骤如下:

[0045] 为不失一般性,我们研究阵列换能器各阵元同相激励产生的平面波叠加声场和根据相控阵聚焦原理对各阵元进行相应的相位延时激励得到的偏转聚焦叠加声场两类分布情况。

[0046] 设置线阵换能器参数为:阵元声速 $c = 6260\text{m/s}$,阵元个数 $N = 32$,阵元间距 $b = 4\text{mm}$,阵元宽度 $a = 2\text{mm}$,声波频率 $f = 50\text{KHz}$,激励声压振幅 $P = 10000\text{Pa}$ 。对32个阵元同相位激励,得到均匀线阵的两种声场图如图3所示,图3(a1)平面声场瞬时声压图;图3(a2)平面声场指

向性;图3 (b1) 聚焦声场瞬时声压图;图3 (b2) 聚焦声场指向性。

[0047] 假设阵列换能器有两个失效阵元,各阵元与上述标准阵列相同。设置失效阵元为第16个阵元和第17个阵元,控制这两个阵元不被激励辐射声波,其他阵元正常辐射声波。对阵列分别进行相应的同相位激励和相位延时激励,得到对应的两种声场分布和有效声压指向性图为图4。

[0048] 针对通常超声相控阵声场的应用范围,我们选择声场分布中较大的且最主要的区域进行优化研究:取图4 (a1) 中x方向-100mm到100mm的宽度范围,y方向5mm到170mm的高度范围,每1mm为一个采样点,得到 $I=201$ 列, $J=166$ 行,这样一个声压采样区域。

[0049] 校正方法是按照上述阵元失效的假设情况,得到非标准阵列换能器声场中对应空间多个点的声压值。按照图2所示的程序流程,以非标准阵列和标准阵列的声压误差均方根值 ϵ (m) 达到最小为判断标准,得到各阵元的校正系数 K (n)。将 K (n) 应用于有限元仿真,调整各阵元的激励参数,获得经过校正优化的非标准阵列的声压分布,通过分析该声场分布与标准阵列声压分布图4 (a1) 的声峰值振幅误差比 (PAER),分析校正参数对非标准阵列的校正优化效果。

[0050] 图4 (a2) 平面声场指向性,图4 (b1) 聚焦声场瞬时声压图;图4 (b2) 聚焦声场指向性;很显然,空间参考点位置和数量的选择直接与校正效果相关。但是,如果选择采样区域中全部点作为校正参考点,计算量非常大,也不现实。我们探讨利用声场分布中最少的参考点,达到最优的优化校正效果。为探讨最佳的校正参考点的选择,我们在自适应程序中分别选择距离阵列 $l=10\text{mm}, 20\text{mm}, 30\text{mm}, 40\text{mm}, 50\text{mm}$ ($L1, L2, L3, L4, L5$) 的5条平行线作为参考线,在每条参考线上设置数量为Num,间距均匀分布的参考点,分别估计对应的校正系数。根据校正系数改变非标准阵列各阵元的激励幅度,在有限元仿真中,得到校正后的声场分布,与标准阵列仿真声场比较,得到PAER。

[0051] 这样,每条参考线上参考点的个数占采样区域横向总点数的比例 (Num/I) 和校正后声场的PAER的对应关系如图5所示。图中 $L1-L5$ 分别表示距离阵列 $l=10\text{mm}, 20\text{mm}, 30\text{mm}, 40\text{mm}, 50\text{mm}$ 的参考线对应的PAER。

[0052] 经过对校正点的最优选择,兼顾优化校正效果、运算效率以及算法稳定性,取 $l=20\text{mm}$ 这条参考线上80个参考点(即选择了40%的参考点数量)计算得到的各阵元的校正系数。按照非标准阵列的仿真参数,保持相应平面声场和偏转聚焦声场的相位延时激励。利用校正系数,对应调整各个阵元的激励参数,得到校正后非标准阵列的声场图如图6所示,图6 (a1) 平面声场瞬时声压图;图6 (a2) 平面声场指向性;图6 (b1) 聚焦声场瞬时声压图;图6 (b2) 聚焦声场指向性,表1是三种阵列的声场数据。

[0053] 表1阵列换能器声场分布情况

	平面声场			偏转聚焦声场		
	主瓣峰值 (Pa)	旁瓣峰值 (Pa)	分布相 对误差	主瓣峰值 (Pa)	旁瓣峰值 (Pa)	分布相 对误差
[0054] 标准阵列	287.54	140.8		256.71	100.8	
非标准阵列	232.62	110.6	45.31%	240.01	112	11.04%
校正后非标	248.92	128.0	30.26%	255.96	95.2	1.36%

[0055] 准阵列

[0056] 以上所述是本发明的优选实施方式,通过上述说明内容,本技术领域的相关工作人员可以在不偏离本发明技术原理的前提下,进行多样的改进和替换,这些改进和替换也应视为本发明的保护范围。

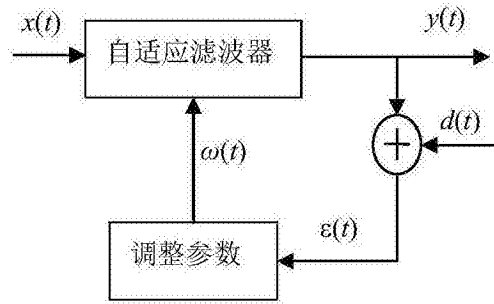


图1

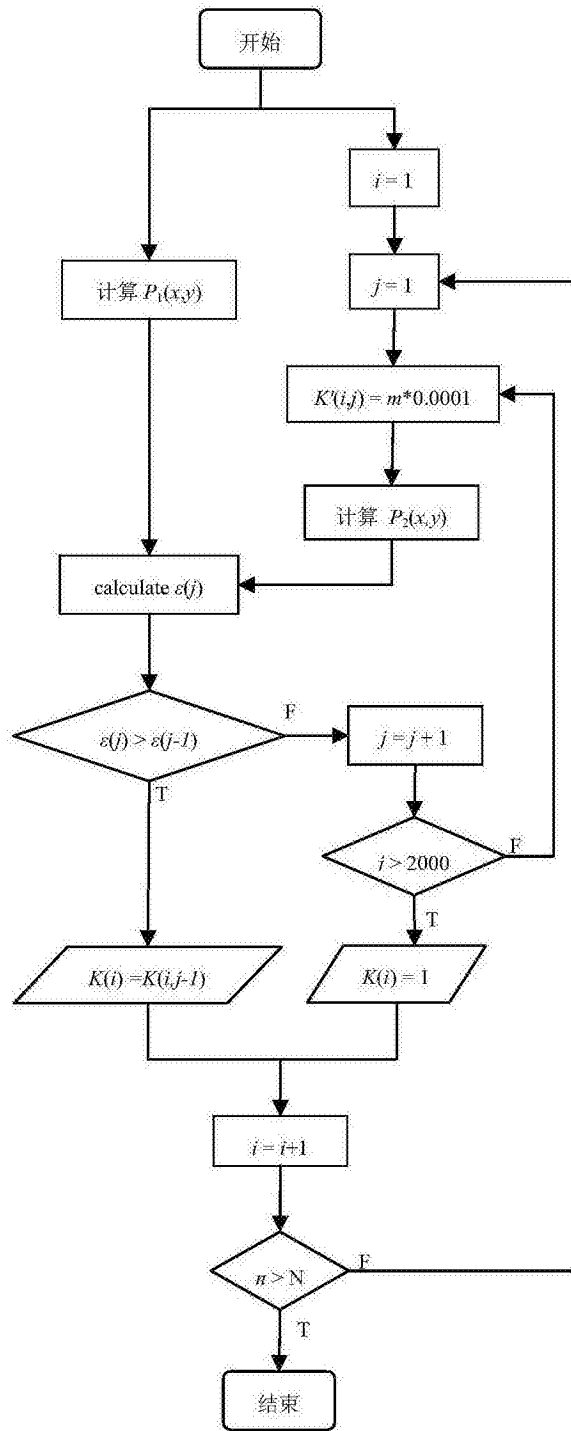
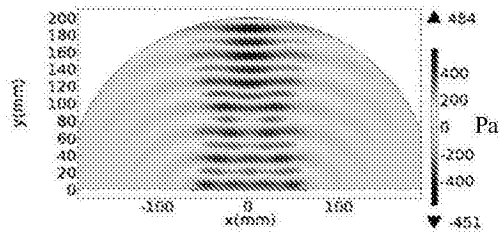
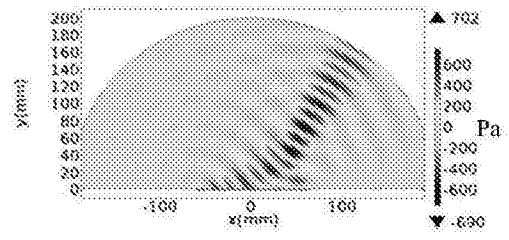


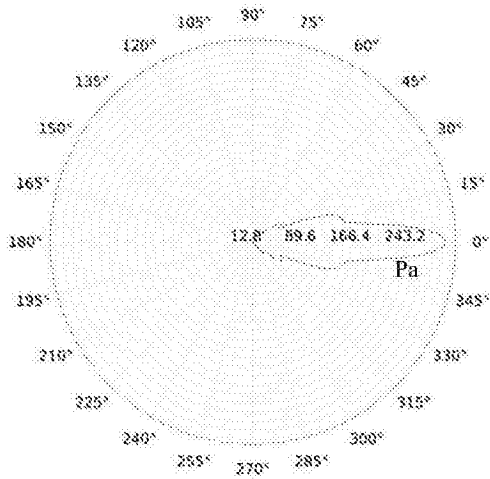
图2



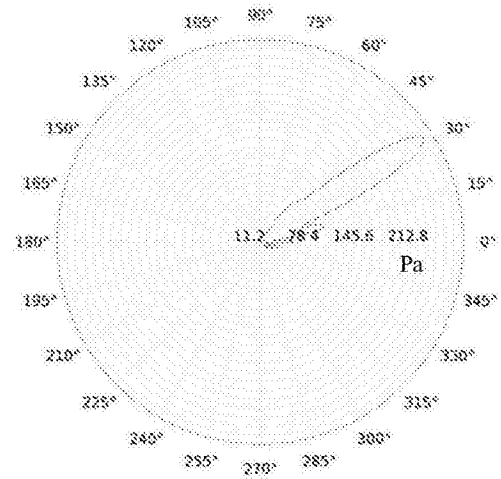
(a1)



(a2)

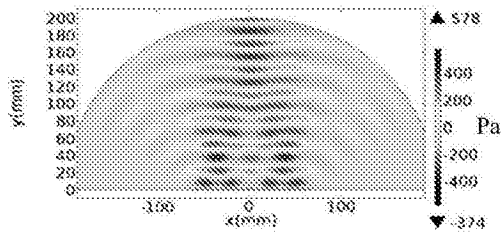


(b1)

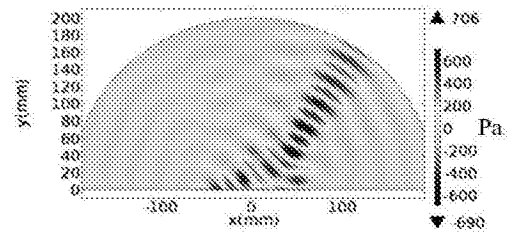


(b2)

图3



(a1)



(a2)

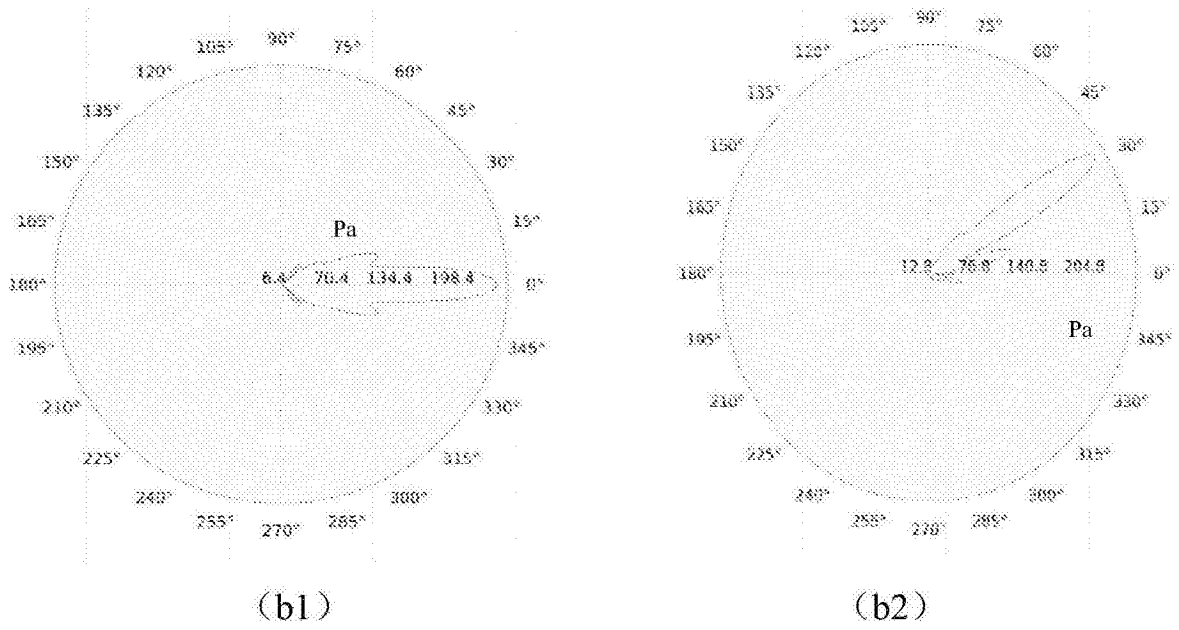


图4

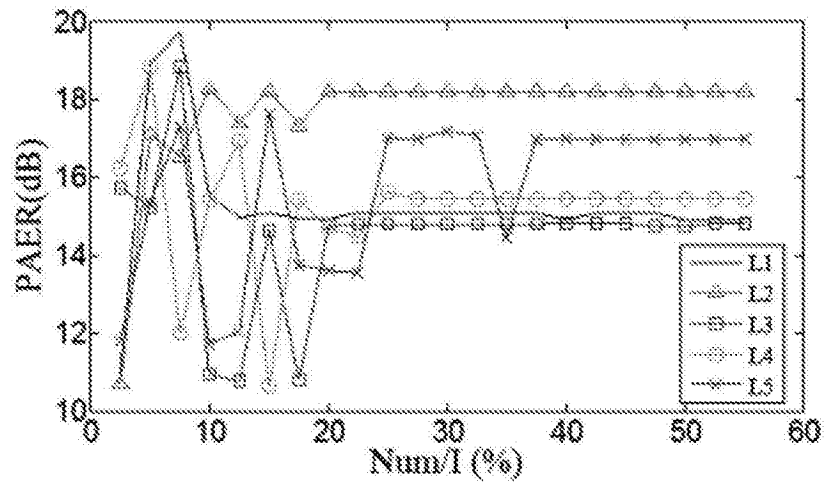
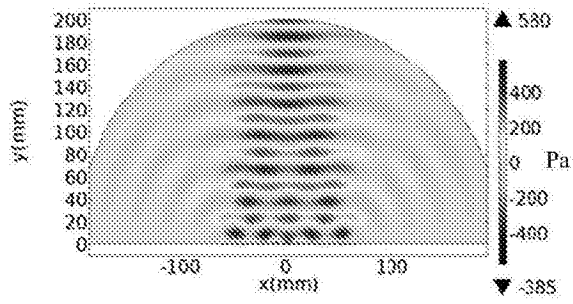
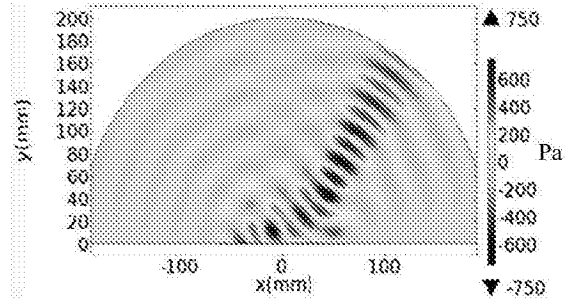


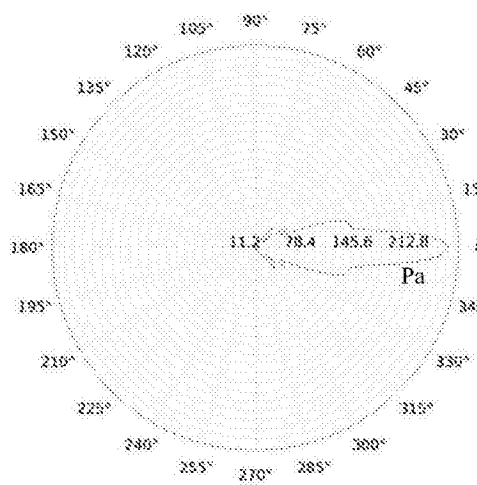
图5



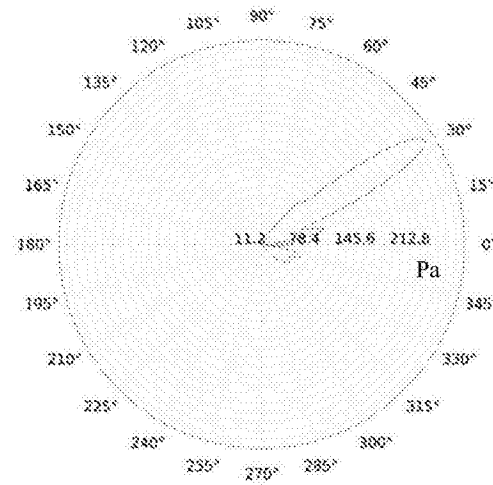
(a1)



(a2)



(b1)



(b2)

图6