

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 8 月 6 日 (06.08.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/155348 A1

(51) 国际专利分类号:
A61B 8/00 (2006.01)

北省武汉市武昌洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430070 (CN)。

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/079812

(22) 国际申请日: 2019 年 3 月 27 日 (27.03.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910104474.3 2019 年 2 月 1 日 (01.02.2019) CN

(71) 申请人: 深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTE OF ADVANCED TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 华中科技大学 (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国湖

(72) 发明人: 马腾 (MA, Teng); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 蔡飞燕 (CAI, Feiyan); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 李永川 (LI, Yongchuan); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 沈亚西 (SHEN, Yaxi); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 祝雪丰 (ZHU, Xuefeng); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 王丛知 (WANG, Congzhi); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong

(54) Title: ULTRASONIC WAVE SIGNAL ADJUSTMENT METHOD, APPARATUS AND ULTRASONIC ARRAY

(54) 发明名称: 一种超声波信号调整方法、装置及超声阵列

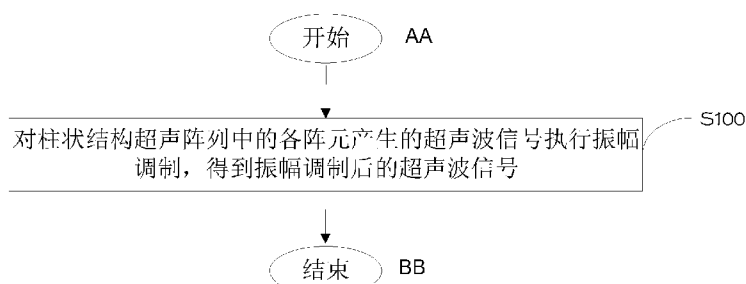


图 4

S100 Execute amplitude modulation of an ultrasonic wave signal generated by each array element in a column-structured ultrasonic array, obtaining an amplitude-modulated ultrasonic wave signal

AA Start

BB Stop

(57) Abstract: An ultrasonic wave signal adjustment method, an apparatus and an ultrasonic array, the ultrasonic wave signal adjustment method comprising: executing amplitude modulation of an ultrasonic wave signal generated by each array element in a column-structured ultrasonic array, obtaining an amplitude-modulated ultrasonic wave signal (S100), the array elements in the column-structured ultrasonic array being planar and distributed circumferentially around a column, a diffraction surface of the column-structured ultrasonic array being planar, and any adjacent array elements of the column-structured ultrasonic array being arranged with no gap. The present ultrasonic wave signal adjustment method can inhibit diffraction grating lobes in the ultrasonic wave signal, and by means of executing amplitude modification of the ultrasonic wave signal generated by each array element in the column-structured ultrasonic array, it is possible to inhibit diffraction sidelobes in the ultrasonic wave signal.

518055 (CN)。郑海荣(ZHENG, Hairong); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 深圳智趣知识产权代理事务所(普通合伙)(SHENZHEN IPLUS INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国广东省深圳市福田区梅林街道梅都社区梅林路48号理想公馆2427, Guangdong 518000 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种超声波信号调整方法、装置及超声阵列, 该超声波信号调整方法包括: 对柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制, 得到振幅调制后的超声波信号(S100), 柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构, 柱状结构超声阵列的衍射面为平面, 柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列。该超声波信号调整方法能够抑制超声波信号中的衍射栅瓣, 然后通过对该柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制, 能够抑制超声波信号中的衍射旁瓣。

一种超声波信号调整方法、装置及超声阵列

本申请要求于 2019 年 2 月 1 日提交中国专利局、申请号为 201910104474.3、发明名称为“一种超声波信号调整方法、装置及超声阵列”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本发明涉及超声换能器技术领域，具体涉及一种超声波信号调整方法、装置及超声阵列。

背景技术

随着现代医疗技术的发展，超声诊断与治疗技术得到了广泛的应用，为了有效的对生物组织进行诊断和治疗，对于超声阵列中超声波束的精准聚焦提出了严格的要求。

目前在超声诊断与治疗领域，应用最广泛的为超声换能器，超声换能器利用电子信号延迟对超声阵列产生的超声波束进行调控，但在超声换能器的衍射声场中产生了不必要的衍射栅瓣和旁瓣，如图 1 所示。由于在超声诊断与治疗方面主要是利用超声换能器的衍射声场中产生的衍射主瓣作用于目标区域达到诊断与治疗的效果，而在衍射主瓣两侧产生的衍射栅瓣和旁瓣则会对非目标区域产生一定的影响，大大限制了超声换能器在现代医学临床上的应用。为了消除超声换能器对非目标区域产生的影响，需要抑制超声换能器产生的超声波信号中的衍射栅瓣和旁瓣。因此，如何有效抑制超声换能器产生的超声波信号中的衍射栅瓣和旁瓣，成为目前需要解决的技术问题。

发明内容

有鉴于此，本发明实施例提供一种超声波信号调整方法、装置及超声阵列，能够有效抑制超声换能器产生的超声波信号中的衍射栅瓣和旁瓣。

一种超声波信号调整方法，其特征在于，所述超声波信号调整方法基于柱状结构超声阵列，所述超声波信号调整方法包括：

对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制，得到振幅调制后的超声波信号，所述柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构，所述柱状结构超声阵列的超声衍射面为平面，所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列。

优选的，在对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制，得到振幅调制后的超声波信号之前，还包括：

依据所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号的衍射旁瓣，设置所述振幅调制的大小以及所述振幅调制的类型。

优选的，所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制的过程包括：

对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行预设振幅调制大小的高斯型振幅调制。

优选的，所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行高斯型振幅调制的过程包括：

对所述柱状结构超声阵列中的各阵元施加不同的激励信号，执行预设振幅调制大小的高斯型振幅调制，所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元施加的激励信号的大小依据高斯型振幅调制函数确定，所述高斯型振幅调制函数 $h(x)$ 包括：

$h(x) = p_0 e^{-x^2/\tau^2}$ ，其中， x 为高斯型振幅调制函数中任意一点的空间坐标， p_0 为常数， τ 为高斯型振幅调制大小参数。

优选的，在对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制之前还包括：

对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行相位调节；

所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行相位调节的相位调节函数包括：

$h(x, y) = p_0 e^{j\varphi(x, y)}$ ，其中， x 和 y 表示相位调节函数中任意一点的空间坐标， p_0 为常数， $\varphi(x, y)$ 为空间 (x, y) 点处的相位大小。

一种超声波信号调整装置,所述超声波信号调整装置基于柱状结构超声阵列,所述超声波信号调整装置包括:

振幅调制模块,用于对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制,得到振幅调制后的超声波信号,所述柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构,所述柱状结构超声阵列的超声衍射面为平面,所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列。

优选的,还包括:

振幅调制设置模块,用于依据所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号的衍射旁瓣,设置所述振幅调制的大小以及所述振幅调制的类型。

优选的,所述振幅调制模块包括:

高斯型振幅调制模块,用于对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行预设振幅调制大小的高斯型振幅调制。

优选的,所述高斯型振幅调制模块包括:

高斯型振幅调制子模块,用于对所述柱状结构超声阵列中的各阵元施加不同的激励信号,执行预设振幅调制大小的高斯型振幅调制,所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元施加的激励信号的大小依据高斯型振幅调制函数确定,所述高斯型振幅调制函数 $h(x)$ 包括:

$h(x) = p_0 e^{-x^2/\tau^2}$, 其中, x 为高斯型振幅调制函数中任意一点的空间坐标, p_0 为常数, τ 为高斯型振幅调制大小参数。

优选的,还包括:

相位调节模块,用于对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行相位调节;

所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行相位调节的相位调节函数包括:

$h(x, y) = p_0 e^{j\varphi(x, y)}$, 其中, x 和 y 表示相位调节函数中任意一点的空间坐标, p_0 为常数, $\varphi(x, y)$ 为空间 (x, y) 点处的相位大小。

一种超声阵列,包括:

所述超声阵列呈柱状结构,所述超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构,所述柱状结构超声阵列的超声衍射面为平面,所述柱状结构超

声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列。

基于上述技术方案，本发明实施例公开了一种超声波信号调整方法、装置及超声阵列，所述超声波信号调整方法基于柱状结构超声阵列，所述超声波信号调整方法包括：对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制，得到振幅调制后的超声波信号，所述柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构，所述柱状结构超声阵列的衍射面为平面，所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列。由于本申请中的超声波信号调整方法基于柱状结构超声阵列，柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构，所述柱状结构超声阵列的衍射面为平面，并且所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列，能够抑制超声波信号中的衍射栅瓣，然后通过对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制，能够抑制超声波信号中的衍射旁瓣。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据提供的附图获得其他的附图。

图1为本发明实施例提供的一种超声换能器阵列超声波束示意图；

图2为本发明实施例提供的一维超声换能器阵列声波衍射示意图；

图3(a)为本发明实施例提供的有限长度周期性点源分布的换能器阵列波阵面分布示意图；

图3(b)为本发明实施例提供的有限长度周期性点源阵列的傅里叶变换图解示意图；

图3(c)为本发明实施例提供的有限长度周期性点源阵列归一化的声强分布示意图；

图4为本发明实施例提供的一种超声波信号调整方法的流程图；

图5为本发明实施例提供的另一种超声波信号调整方法的流程图；

图6(a)为本发明实施例提供的有限长度周期性线源阵列波阵面分布示意

图；

图6(b)为本发明实施例提供的有限长度周期性线源阵列的傅里叶变换图解示意图；

图6(c)为本发明实施例提供的有限长度周期性线源阵列中的任意相邻阵元无间隔排列的条件下的归一化的声强分布示意图；

图6(d)为本发明实施例提供的振幅调制下，有限长度周期性线源阵列中的任意相邻阵元无间隔排列的条件下的波阵面分布示意图；

图6(e)为本发明实施例提供的经过高斯振幅调制后的有限长度周期性线源阵列的傅里叶变换图解示意图；

图6(f)为本发明实施例提供的经过高斯振幅调制后的有限长度周期性线源阵列的归一化的声强分布示意图；

图7(a)为本发明实施例提供的有限长度周期性面源阵列衍射声强分布示意图；

图7(b)为本发明实施例提供的有限长度周期性面源阵列中的任意相邻阵元无间隔排列情况下衍射声强分布示意图；

图7(c)为本发明实施例提供的高斯型的振幅调制下，有限长度周期性面源阵列中的任意相邻阵元无间隔排列情况下衍射声强分布示意图；

图8为本发明实施例提供的另一种超声波信号调整方法的流程图；

图9(a)为本发明实施例提供的等振幅激励条件下，换能器阵列各阵元幅值分布示意图；

图9(b)为本发明实施例提供的聚焦点位于(0, 0, 40) mm处时，换能器阵列各阵元的相位分布示意图；

图9(c)为本发明实施例提供的施加高斯型振幅调制后，换能器阵列各阵元幅值分布示意图；

图9(d)为本发明实施例提供的换能器阵列各阵元在等振幅激励条件下中心聚焦的衍射场图；

图9(e)为本发明实施例提供的换能器阵列各阵元在施加高斯型振幅调制后，中心聚焦的衍射场图；

10(a)为本发明实施例提供的等振幅激励条件下，换能器阵列各阵元幅值分

布图；

10(b)为本发明实施例提供的偏转聚焦点位于(10, 10, 40) mm处时，换能器阵列各阵元的相位分布示意图；

图10(c)为本发明实施例提供的施加高斯型振幅调制后，换能器阵列各阵元幅值分布示意图；

图10(d)为本发明实施例提供的换能器阵列各阵元在等振幅激励条件下，偏转聚焦的衍射场图；

图10(e)为本发明实施例提供的换能器阵列各阵元在施加偏转的高斯型振幅调制后，偏转聚焦的衍射场图；

图11为本发明实施例提供的一种超声波信号调整装置的结构框图；

图12为本发明实施例提供的一种超声阵列的实物结构图。

具体实施方式

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。

首先，本申请技术方案从声波波动方程出发，结合声波衍射定理，分析周期性分布的超声换能器阵列衍射场中旁瓣以及栅瓣的产生物理机制。

对于单色声波场中任意一点 P 的声压 $p(\mathbf{r}, t)$ 满足如下标量波动方程：

$$\nabla^2 p(\mathbf{r}, t) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p(\mathbf{r}, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

其中， ∇^2 表示拉普拉斯算子， c 是声速， $\mathbf{r}$ 为单色声波场中任意一点 P 到声源的距离， t 为时间，时谐扰动条件下声压 $p(\mathbf{r}, t) = \text{Re}\{p(\mathbf{r})e^{-j\omega t}\}$ ，将其代入标量波动方程，可以得到不考虑时间参数的亥姆霍兹方程 $(\nabla^2 + k^2)p(\mathbf{r}) = 0$ ，其中 k 为波数， $k = \omega/c$ ， $p(\mathbf{r})$ 为不考虑时间参数条件下单色声波场中任意一点 P 的声压。

由基尔霍夫衍射积分定理可知，两个空间波函数 $p(\mathbf{r})$ 和 $G(\mathbf{r})$ 同时满足亥姆霍兹方程时，在远场条件下，空间中一点 P 的声压可以由衍射面上的积分得到：

$$p(r) = \frac{1}{4\pi} \int_{\Sigma} \left[G \frac{\partial p(P_0)}{\partial n} - p(P_0) \frac{\partial G(r)}{\partial n} \right] dS \quad (2)$$

其中, Σ 是积分曲面, $\partial/\partial n$ 是法向微分算子, $p(P_0)$ 和 $p(r)$ 分别是积分面 Σ 上 P_0 点以及积分面外 P 点的声压, 令 $G(r) = e^{jkr}/r$, 其中 r 具体设置为 P 点到 P_0 点的距离值, 在瑞利近似条件下, 式(2)可以简化为:

$$p(r) = \frac{1}{j\lambda} \int_{\Sigma} p(P_0) \frac{1}{r} e^{jkr} dS \quad (3)$$

从式(3)可以看出, 一旦确定了衍射面 Σ 上的 $p(r)$, 空间中任一点 P 的声压就可以通过瑞利积分公式得到。

对于一维超声换能器阵列来说, 结合图 2 一维超声换能器阵列声波衍射示意图可知, 声源波阵面平行于 x 轴分布, 且声波沿着 z 轴进行传播, 声源波阵面表达式为 $p(x)$, 声源总长度为 L , 空间中任意一点 $P(r_0, \varphi_x)$ 的声压可以通过声源波阵面的积分得到, P_0 是声源波阵面上的任意一点, r 是点 P 与点 P_0 之间的距离。

由式(3)可知, 空间中一点 $P(r_0, \varphi_x)$ 处的声压可表示为:

$$p_{r_0}(\varphi_x) = \frac{1}{j\lambda} \int_L p(x) \frac{1}{r} e^{jkr} dx \quad (4)$$

其中, φ_x 是 r_0 与 z 轴的夹角, 根据三角形余弦定理, 距离 $r = \sqrt{r_0^2 + x^2 + 2r_0x \sin \varphi_x}$, 其中, x 为 O 到 P_0 的距离。

在远场近似条件下, 距离 r 取一阶近似 $r = r_0 + x \sin(\varphi_x)$, 且令 $\sigma = \sin(\varphi_x)$, 于是式(4)化为:

$$\begin{aligned} p_{r_0}(\sigma) &= \frac{1}{j\lambda} \frac{1}{r_0} e^{jkr_0} \int_L p(x) e^{jkx\sigma} dx \\ &= \frac{1}{j\lambda} \frac{1}{r_0} e^{jkr_0} \int_L p(x) e^{j2\pi \frac{\sigma}{\lambda} x} dx \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)其本质是一个傅里叶变换, 其空间频率分量为 σ/λ , 将 $p(x)$ 分解成入射激励函数 $h(x)$ 以及阵元分布函数 $t(x)$ 的乘积, 即 $p(x) = h(x) \times t(x)$, 根据傅里叶变换定理, 式(5)可以写成空间频率(其分量为 σ/λ)的卷积形式:

$$p_{r_0}(\sigma) = \frac{e^{jkr_0}}{j\lambda r_0} \int_L h(x)t(x)e^{j2\pi\frac{\sigma}{\lambda}x} dx = C_0 F\{h(x)\} * F\{t(x)\} \quad (6)$$

其中, $C_0 = \frac{e^{jkr_0}}{j\lambda r_0}$, $F\{\}$ 和 $*$ 分别表示傅里叶变换函数和卷积运算算符, 首先, 考虑有限长度周期性点源分布的换能器阵列, 如图 3(a)所示, 其中任意相邻点源之间的间隔 $g=2.5\lambda$, 阵列总长度 $L=50\lambda$, 换能器阵列点源平行于 x 轴分布, 且沿着 z 轴传播。在此几何分布情景下, 阵元分布函数可以表示为 $t(x) = g^{-1} \text{comb}(x/g) \times \text{rect}(x/L)$, 其中, $\text{comb}(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x-n)$, n 为整数, $\delta(\cdot)$ 代表狄拉克函数。因此, $g^{-1} \text{comb}(x/g)$ 表示一个周期为 g 的周期函数, $\text{rect}(\cdot)$ 表示一个长方形函数, 且当 $|x| \leq L/2$ 时, $\text{rect}(x/L) = 1$, $|x| \geq L/2$ 时, $\text{rect}(x/L) = 0$ 。另外, 假定换能器阵列各点源是等振幅激励的, 则激励函数 $h(x) = p_0$, p_0 为常数。将阵元分布函数 $t(x)$ 和激励函数 $h(x)$ 代入式(6), 利用傅里叶变换定理, 结合附图 3(b) 所示的有限长度周期性点源阵列的傅里叶变换图解示意图, 求得有限长度周期性点源阵列的衍射场表达式:

$$\begin{aligned} p_{r_0}^I(\sigma) &= p_0 C_0 F\{g^{-1} \text{comb}(x/g) \times \text{rect}(x/L)\} \\ &= p_0 C_0 F\{g^{-1} \text{comb}(x/g)\} * F\{\text{rect}(x/L)\} \\ &= p_0 C_0 \text{comb}(g\sigma/\lambda) * L \text{sinc}(L\sigma/\lambda) \end{aligned} \quad (7)$$

其中, $\text{sinc}(\cdot)$ 表示一个函数, 且 $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x)/\pi x$ 。由声强定义可得, 有限长度周期性点源阵列的声强为:

$$I^I = 20 * \log_{10}[p_{r_0}^I(\sigma)] \quad (8)$$

有限长度周期性点源阵列归一化的声强分布如图 3(c)所示。从图 3(c)中可以看到, 有限长度周期性点源阵列的声强衍射场中产生了周期性的衍射栅瓣, 且栅瓣强度与主瓣强度大小相等, 并且, 在衍射场中同时产生了大量的衍射旁瓣。

为了有效抑制超声换能器产生的超声波信号中的衍射栅瓣和旁瓣,本发明实施例提供了如下一种超声波信号调整方法:

图 4 示出了一种超声波信号调整方法的流程图,该方法基于柱状结构超声阵列,参照图 4,所述方法可以包括:

S100: 对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制,得到振幅调制后的超声波信号,所述柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构,所述柱状结构超声阵列的超声衍射面为平面,所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列。

需要说明的是,本发明实施例公开的超声波信号调整方法基于柱状结构超声阵列,所述柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构,各阵元的衍射面为平面,柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列,即柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元之间不存在缝隙,任意相邻阵元之间的填充率为 100%,本发明实施例中的柱状结构超声阵列可采用复合材料结构设计,使任意相邻阵元之间的填充率为 100%。

需要说明的是,本发明实施例中可以对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行高斯型振幅调制。

由于本发明实施例中的超声波信号调整方法基于柱状结构超声阵列,柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构,所述柱状结构超声阵列的衍射面为平面,并且所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列,能够抑制超声波信号中的衍射栅瓣,然后通过对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制,能够抑制超声波信号中的衍射旁瓣。并且,本申请中的柱状结构超声阵列呈平面周期性几何分布,阵列结构易于构造。

图 5 示出了另一种超声波信号调整方法的流程图,参照图 5,所述方法可以包括:

S200: 依据所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号的衍射旁瓣,设置所述振幅调制的大小以及所述振幅调制的类型;

本发明实施例中,可以由技术人员依据实际情况设置不同的振幅调制的大

小以及所述振幅调制的类型,只要设置的振幅调制的大小以及所述振幅调制的类型能够满足完全抑制超声波信号的衍射旁瓣的需求即可,本发明实施例不做具体限定。

S210: 对所述柱状结构超声阵列中的各阵元施加不同的激励信号,执行预设振幅调制大小的高斯型振幅调制,得到振幅调制后的超声波信号。

所述柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构,所述柱状结构超声阵列的超声衍射面为平面,所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列。

所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元施加的激励信号的大小依据高斯型振幅调制函数确定,所述高斯型振幅调制函数 $h(x)$ 包括:

$h(x) = p_0 e^{-x^2/\tau^2}$, 其中, x 为高斯型振幅调制函数中任意一点的空间坐标, p_0 为任意常数, τ 为高斯型振幅调制大小参数。

下面以具体的例子详细说明本发明实施例公开的上述超声波信号调整方法的具体执行过程:

如图 6(a)所示,假设有限长度周期性线源阵列中各阵元的宽度为 d ,任意相邻线源之间的间隔 $g=2.5\lambda$,阵列总长度 $L=50\lambda$ 。因此,在此几何分布下,阵元分布函数具有卷积形式 $t(x) = g^{-1} \text{comb}(x/g) \times \text{rect}(x/L) * \text{rect}(x/d)$ 。

同样的,假定有限长度周期性线源阵列中各阵元是等振幅激励的,则激励函数 $h(x) = p_0$, p_0 为任意常数。将阵元分布函数 $t(x)$ 和激励函数 $h(x)$ 代入式(6)

$$p_{r_0}(\sigma) = \frac{e^{jk_{r_0}}}{j\lambda r_0} \int_L h(x)t(x)e^{j2\pi\frac{\sigma}{\lambda}x} dx = C_0 F\{h(x)\} * F\{t(x)\}$$

, 利用傅里叶变换定理,结合附

图 6(b)所示的有限长度周期性线源阵列的傅里叶变换图解示意图,得有限长度周期性线源阵列的衍射场表达式为:

$$\begin{aligned} p_{r_0}''(\sigma) &= p_0 C_0 F\{g^{-1} \text{comb}(x/g) \times \text{rect}(x/L) * \text{rect}(x/d)\} \\ &= p_0 C_0 F\{g^{-1} \text{comb}(x/g)\} * F\{\text{rect}(x/L)\} \times F\{\text{rect}(x/d)\} \\ &= p_0 C_0 \text{comb}(g\sigma/\lambda) * L \text{sinc}(L\sigma/\lambda) \times d \text{sinc}(d\sigma/\lambda) \end{aligned} \quad (9)$$

其中, p_0 为任意常数, $C_0 = \frac{e^{jkr_0}}{j\lambda r_0}$, d 为有限长度周期性线源阵列中各阵元的宽度, g 为任意相邻线源之间的间隔, L 为阵列总长度, σ/λ 为空间频率分量。

分析式(9) 可以发现, 有限长度周期性线源阵列的衍射场表达式 $p''_0(\sigma)$ 相当于在有限长度周期性点源阵列的衍射场表达式的基础上施加了一个 $d \operatorname{sinc}(d\sigma/\lambda)$ 函数调制。另外, 衍射场中各衍射角的位置满足 $\sigma^n = n\lambda/g$ 。当有限长度周期性线源阵列中的任意相邻阵元无间隔排列的情况下, 即有限长度周期性线源阵列中各阵元的宽度等于任意相邻线源之间的间隔时 ($d=g$), $\operatorname{sinc}(d\sigma/\lambda)=0$ 。也就是说, 在换能器阵列任意相邻阵元之间的填充率为 100% 的条件下, 衍射栅瓣将被完全抑制。有限长度周期性线源阵列声强为:

$$I'' = 20 * \log_{10}[p''_0(\sigma)] \quad (10)$$

图 6(c)给出了在有限长度周期性线源阵列中的任意相邻阵元无间隔排列的条件下的归一化的声强分布。对比图 3(c)和图 6(c), 衍射栅瓣被完全的抑制了。然而, 图 6(c)中依然存在许多衍射旁瓣。基于此, 在柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列的基础上, 同时给各阵元施加高斯型的振幅调制以进一步抑制场中的衍射旁瓣。

如图 6(d)所示。在此振幅调制下, 换能器阵列的激励函数为 $h(x) = p_0 e^{-x^2/\tau^2}$, p_0 为任意常数, τ 为高斯型振幅调制大小参数, τ 可以由本领域技术人员依据实际情况进行设定, 本申请并不做具体限定, 可选的, 设置 $\tau=13\lambda$ 。

且振幅调制随着 τ 的增加而变弱。阵元分布函数依然取 $t(x) = g^{-1} \operatorname{comb}(x/g) \times \operatorname{rect}(x/L) * \operatorname{rect}(x/d)$ 。重复上面的过程将激励函数 $h(x)$ 和阵元分

布函数 $t(x)$ 代入式(6)
$$p_0(\sigma) = \frac{e^{jkr_0}}{j\lambda r_0} \int_L h(x)t(x)e^{j2\pi\frac{\sigma}{\lambda}x} dx = C_0 F\{h(x)\} * F\{t(x)\}$$
, 利用傅里叶变换卷积定理, 结合图 6(e)所示的经过高斯振幅调制后的有限长度周期性线源阵列的傅里叶变换图解示意图, 得到经过高斯振幅调制后的有限长度周期性线源阵列的衍射场表达式为:

$$\begin{aligned}
p_{r_0}^{III}(\sigma) &= C_0 F \left\{ p_0 e^{-x^2/\tau^2} \right\} * F \left\{ g^{-1} \text{comb}(x/g) \times \text{rect}(x/L) * \text{rect}(x/d) \right\} \\
&= F \left\{ e^{-x^2/\tau^2} \right\} * p_{r_0}^{II}(\sigma) \\
&= \tau \sqrt{\pi} e^{-\pi^2 \tau^2 \sigma^2 / \lambda^2} * p_{r_0}^{II}(\sigma)
\end{aligned} \tag{11}$$

表达式 $p_{r_0}^{III}(\sigma)$ 等于表达式 $p_{r_0}^{II}(\sigma)$ 与高斯函数 $\tau \sqrt{\pi} e^{-\pi^2 \tau^2 \sigma^2 / \lambda^2}$ 的卷积。

经过高斯振幅调制后的有限长度周期性线源阵列的衍射声强为，
 $I^{III} = 20 * \log_{10}[p_{r_0}^{III}(\sigma)]$ (12)

经过高斯振幅调制后的有限长度周期性线源阵列的归一化的声强分布如图 6(f)所示。将图 6(f)与图 6(c)及图 3(c)对比，在柱状结构超声阵列的衍射面为平面，并且所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列的情况下，能够抑制超声波信号中的衍射栅瓣，然后通过对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行高斯型的振幅调制，能够抑制超声波信号中的衍射旁瓣。

下面以另外一个例子详细说明本发明实施例公开的上述超声波信号调整方法的具体执行过程：

针对换能器阵列在二维平面周期性分布情况，即换能器阵列中的阵元呈现平面周期性分布，换能器阵列为有限长度周期性面源阵列分布，换能器阵列为有限长度周期性面源阵列的两个变量为 x 和 y ， x 和 y 两个变量是独立变化互不影响的，换能器阵列为有限长度周期性面源阵列的衍射场表达式为：

$$p_{r_0}(\sigma_x, \sigma_y) = C_1 \prod_{\alpha=x,y} F \{h(\alpha)\} * F \{t(\alpha)\} \tag{13}$$

其中， C_1 是归一化的系数， α 为自变量， α 为 x 或 y ，任意相邻阵元之间的间隔 $g_\alpha = 2.5\lambda$ ，阵列总长度 $L_\alpha = 50\lambda$ ，各阵元是理想的点源。

参照图 7(a)，除了位于中心的衍射主瓣外，衍射场中还存在许多等强度的衍射栅瓣和大量的衍射旁瓣。将有限长度周期性面源阵列中的任意相邻阵元无间隔排列，即阵元宽度等于任意相邻阵元之间的间隔 $d_\alpha = g_\alpha$ ，如图 7(b)所示，衍射场中所有的衍射栅瓣被完全的消除了，但依然有少量的衍射旁瓣存在。进一步的，给各阵元施加了高斯型的振幅调制，令有限长度周期性面源阵列中高斯型振幅调制大小参数 $\tau_\alpha = 13\lambda$ ，参照图 7(c)，衍射场中的衍射栅瓣和旁瓣都被有效的抑制了，只保留了中心衍射主瓣。

由于本发明实施例中的超声波信号调整方法基于柱状结构超声阵列, 柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构, 所述柱状结构超声阵列的衍射面为平面, 并且所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列, 能够抑制超声波信号中的衍射栅瓣, 然后通过对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行高斯型的振幅调制, 能够抑制超声波信号中的衍射旁瓣。

图 8 示出了另一种超声波信号调整方法的流程图, 参照图 8, 所述方法可以包括:

S300: 对柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行相位调节;

本发明实施例中可以预先设置相位调节的大小, 并按照预先设置的相位调节的大小, 对柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行相位调节。

可选的, 所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行相位调节的相位调节函数包括:

$h(x, y) = p_0 e^{j\varphi(x, y)}$, 其中, x 和 y 表示相位调节函数中任意一点的空间坐标, p_0 为常数, $\varphi(x, y)$ 为空间 (x, y) 点处的相位大小。

S310: 依据所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号的衍射旁瓣, 设置所述振幅调制的大小以及所述振幅调制的类型;

S320: 对所述柱状结构超声阵列中的各阵元施加不同的激励信号, 执行预设振幅调制大小的高斯型振幅调制, 得到振幅调制后的超声波信号。

需要说明的是, 本发明实施例中通过对柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行相位调节的方式, 实现对超声波束的精准聚焦, 但由于相位调节过程中产生了衍射栅瓣, 通过对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行高斯型的振幅调制, 能够抑制超声波信号中的衍射栅瓣。

下面以具体的例子详细说明本发明实施例公开的上述超声波信号调整方法的具体执行过程:

假设超声波信号的聚焦点坐标为 (ξ, η, z) , 依据换能器阵列各阵元发出的超声波到聚焦点所经历的不同路径, 得到换能器阵列的相位分布为:

$$\varphi(x, y) = k\sqrt{(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2 + z^2} \quad (14)$$

其中, k 是波数。在等振幅激励下的振幅为 $A(x, y)$, 其中 $A(x, y) = p_0$, p_0 是一个常数, 如图 9(a) 所示等振幅激励条件下, 换能器阵列各阵元幅值分布示意图, 假设中心聚焦点在 $(0, 0, 40)$ 的位置, 由式(14)可得相应相位分布为 $\varphi_1(x, y) = k\sqrt{x^2 + y^2 + 40^2}$, 如图 9(b) 所示聚焦点位于 $(0, 0, 40)$ mm 处时, 换能器阵列各阵元的相位分布示意图。因此, 在中心聚焦情景下, 执行相位调节的等振幅相位调节函数 $h(x, y) = p_0 e^{j\varphi_1(x, y)}$ 。利用具有 256 个通道的 Verasonics Vantage 驱动系统将激励函数 $h(x, y) = p_0 e^{j\varphi_1(x, y)}$ 赋予换能器阵列各阵元, 得到中心聚焦情景下的衍射场图, 如图 9(d) 所示。参照图 9(d), 由于换能器阵列各阵元间存在相对相位, 衍射场中产生了衍射栅瓣。为了抑制这些衍射栅瓣, 给换能器各阵元施加高斯型的振幅调制, 高斯型的振幅调制函数为 $A(x, y) = p_0 e^{-(x^2 + y^2)/\tau^2}$, 其中, p_0 为任意常数, τ 为高斯型振幅调制大小参数, $\tau = 10$ mm。施加高斯型振幅调制后, 换能器阵列各阵元幅值分布如图 9(c) 所示。因此, 在中心聚焦情景下, 给各个阵元施加的调制的激励函数 $h(x, y) = p_0 e^{-(x^2 + y^2)/\tau^2} e^{j\varphi_1(x, y)}$ 。将调制的激励函数赋予换能器各阵元, 测得中心聚焦结果如图 9(e) 所示。对比图 9(e) 与图 9(d) 发现, 衍射栅瓣被有效的抑制。

经过本发明实施例公开的上述技术方案除了能够实现特定点的精准聚焦之外, 还能够实现聚焦点的偏转, 下面以具体的例子详细说明本发明实施例公开的上述超声波信号调整方法的具体执行过程:

设置聚焦点偏离中轴线位于 $(10, 10, 40)$ mm 位置处, 相位分布为 $\varphi_2(x, y) = k\sqrt{(x-10)^2 + (y-10)^2 + 40^2}$, 如图 10(b) 所示偏转聚焦点位于 $(10, 10, 40)$ mm 处时, 换能器阵列各阵元的相位分布示意图。如图 10(a) 所示等振幅激励条件下, 换能器阵列各阵元幅值分布图, 在等振幅激励下, 其振幅分布 $A(x, y) = p_0$, p_0 为任意常数。在聚焦偏转情景下, 执行相位调节的等振幅相位调节函数 $h(x, y) = p_0 e^{j\varphi_2(x, y)}$ 。利用 256 通道的 Verasonics Vantage 驱动系统将激励函数 $h(x, y) = p_0 e^{j\varphi_2(x, y)}$ 赋予换能器阵列各阵元, 得到聚焦偏转情景下的衍射场图, 如图 10(d) 所示。参照图 10(d), 衍射场中同样产生了衍射栅瓣。给换能器各阵

元施加偏转的高斯型振幅调制, 振幅调制函数为 $A(x, y) = p_0 e^{-[(x-10)^2 + (y-10)^2] / \tau^2}$, 其中, p_0 为任意常数, τ 为高斯型振幅调制大小参数, $\tau = 10\text{mm}$ 。施加高斯型振幅调制后, 换能器阵列各阵元幅值分布如图 10(c)所示。因此, 在聚焦偏转情景下, 偏转调制的激励函数 $h(x, y) = p_0 e^{-[(x-10)^2 + (y-10)^2] / \tau^2} e^{j\varphi_2(x, y)}$ 。将偏转调制的激励函数赋予换能器各阵元, 测得的偏转聚焦结果如图 10(e)所示。参照图 10(e), 由于高斯型振幅调制的作用衍射栅瓣被有效的抑制。

基于上述方案可知, 本发明实施例中可以通过相位调节的方式, 实现对超声波束的精准聚焦以及聚焦点的偏转调控, 并基于柱状结构超声阵列, 柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构, 所述柱状结构超声阵列的衍射面为平面, 并且所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列, 通过对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行高斯型的振幅调制, 能够抑制超声波信号中的衍射栅瓣。

下面对本发明实施例提供的超声波信号调整装置进行介绍, 下文描述的超声波信号调整装置可与上文超声波信号调整方法相互对应参照。

图 11 为本发明实施例提供的超声波信号调整装置的结构框图, 参照图 11, 所述超声波信号调整装置基于柱状结构超声阵列, 该超声波信号调整装置可以包括:

振幅调制模块 100, 用于对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制, 得到振幅调制后的超声波信号, 所述柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构, 所述柱状结构超声阵列的超声衍射面为平面, 所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列。

还包括:

振幅调制设置模块, 用于依据所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号的衍射旁瓣, 设置所述振幅调制的大小以及所述振幅调制的类型。

所述振幅调制模块包括:

高斯型振幅调制模块, 用于对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超

声波信号执行预设振幅调制大小的高斯型振幅调制。

所述高斯型振幅调制模块包括：

高斯型振幅调制子模块，用于对所述柱状结构超声阵列中的各阵元施加不同的激励信号，执行预设振幅调制大小的高斯型振幅调制，所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元施加的激励信号的大小依据高斯型振幅调制函数确定，所述高斯型振幅调制函数 $h(x)$ 包括：

$h(x) = p_0 e^{-x^2/\tau^2}$ ，其中， x 为高斯型振幅调制函数中任意一点的空间坐标， p_0 为常数， τ 为高斯型振幅调制大小参数。

还包括：

相位调节模块，用于对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行相位调节；

所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行相位调节的相位调节函数包括：

$h(x, y) = p_0 e^{j\varphi(x, y)}$ ，其中， x 和 y 表示相位调节函数中任意一点的空间坐标， p_0 为常数， $\varphi(x, y)$ 为空间 (x, y) 点处的相位大小。

本发明实施例还公开了一种超声阵列，图 12 为本发明实施例提供的超声阵列的实物结构图，所述超声阵列呈柱状结构，所述超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构，所述柱状结构超声阵列的超声衍射面为平面，所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列。

本发明实施例可以利用复合材料制备超声阵列，阵元总数可以为 256 个 (16 × 16)，中心激励频率为 1.04MHz 的超声衍射面为平面的换能器阵列，其中，单阵元宽度等于任意相邻阵元之间的间隔，可选为：2.8mm，阵列总长度可选为 44.8mm。

综上所述：

本发明实施例公开了一种超声波信号调整方法、装置及超声阵列，所述超声波信号调整方法基于柱状结构超声阵列，所述超声波信号调整方法包括：对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制，得到振幅

调制后的超声波信号,所述柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构,所述柱状结构超声阵列的衍射面为平面,所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列。由于本申请中的超声波信号调整方法基于柱状结构超声阵列,柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构,所述柱状结构超声阵列的衍射面为平面,并且所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列,能够抑制超声波信号中的衍射栅瓣,然后通过对所调柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制,能够抑制超声波信号中的衍射旁瓣。

本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的装置而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

专业人员还可以进一步意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、计算机软件或者二者的结合来实现,为了清楚地说明硬件和软件的可互换性,在上述说明中已经按照功能一般性地描述了各示例的组成及步骤。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

结合本文中所公开的实施例描述的方法或算法的步骤可以直接用硬件、处理器执行的软件模块,或者二者的结合来实施。软件模块可以置于随机存储器(RAM)、内存、只读存储器(ROM)、电可编程ROM、电可擦除可编程ROM、寄存器、硬盘、可移动磁盘、CD-ROM、或技术领域内所公知的任意其它形式的存储介质中。

对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

权 利 要 求

1、一种超声波信号调整方法，其特征在于，所述超声波信号调整方法基于柱状结构超声阵列，所述超声波信号调整方法包括：

对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制，得到振幅调制后的超声波信号，所述柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构，所述柱状结构超声阵列的超声衍射面为平面，所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，在对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制，得到振幅调制后的超声波信号之前，还包括：

依据所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号的衍射旁瓣，设置所述振幅调制的大小以及所述振幅调制的类型。

3、根据权利要求2所述的方法，其特征在于，所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制的过程包括：

对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行预设振幅调制大小的高斯型振幅调制。

4、根据权利要求3所述的方法，其特征在于，所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行高斯型振幅调制的过程包括：

对所述柱状结构超声阵列中的各阵元施加不同的激励信号，执行预设振幅调制大小的高斯型振幅调制，所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元施加的激励信号的大小依据高斯型振幅调制函数确定，所述高斯型振幅调制函数 $h(x)$ 包括：

$h(x) = p_0 e^{-x^2/\tau^2}$ ，其中， x 为高斯型振幅调制函数中任意一点的空间坐标， p_0 为常数， τ 为高斯型振幅调制大小参数。

5、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，在对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制之前还包括：

对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行相位调节；

所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行相位调节的相位调节函数包括：

$h(x, y) = p_0 e^{j\varphi(x, y)}$, 其中, x 和 y 表示相位调节函数中任意一点的空间坐标, p_0 为常数, $\varphi(x, y)$ 为空间(x , y)点处的相位大小。

6、一种超声波信号调整装置, 其特征在于, 所述超声波信号调整装置基于柱状结构超声阵列, 所述超声波信号调整装置包括:

振幅调制模块, 用于对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行振幅调制, 得到振幅调制后的超声波信号, 所述柱状结构超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构, 所述柱状结构超声阵列的超声衍射面为平面, 所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列。

7、根据权利要求5所述的装置, 其特征在于, 还包括:

振幅调制设置模块, 用于依据所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号的衍射旁瓣, 设置所述振幅调制的大小以及所述振幅调制的类型。

8、根据权利要求5所述的装置, 其特征在于, 所述振幅调制模块包括:

高斯型振幅调制模块, 用于对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行预设振幅调制大小的高斯型振幅调制。

9、根据权利要求8所述的装置, 其特征在于, 所述高斯型振幅调制模块包括:

高斯型振幅调制子模块, 用于对所述柱状结构超声阵列中的各阵元施加不同的激励信号, 执行预设振幅调制大小的高斯型振幅调制, 所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元施加的激励信号的大小依据高斯型振幅调制函数确定, 所述高斯型振幅调制函数 $h(x)$ 包括:

$h(x) = p_0 e^{-x^2/\tau^2}$, 其中, x 为高斯型振幅调制函数中任意一点的空间坐标, p_0 为常数, τ 为高斯型振幅调制大小参数。

10、根据权利要求5所述的装置, 其特征在于, 还包括:

相位调节模块, 用于对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行相位调节;

所述对所述柱状结构超声阵列中的各阵元产生的超声波信号执行相位调节的相位调节函数包括:

$h(x, y) = p_0 e^{j\varphi(x, y)}$, 其中, x 和 y 表示相位调节函数中任意一点的空间坐标, p_0 为常数, $\varphi(x, y)$ 为空间(x , y)点处的相位大小。

11、一种超声阵列，其特征在于，包括：

所述超声阵列呈柱状结构，所述超声阵列中的各阵元呈平面周期性分布的柱状排列结构，所述柱状结构超声阵列的超声衍射面为平面，所述柱状结构超声阵列中的任意相邻阵元无间隔排列。

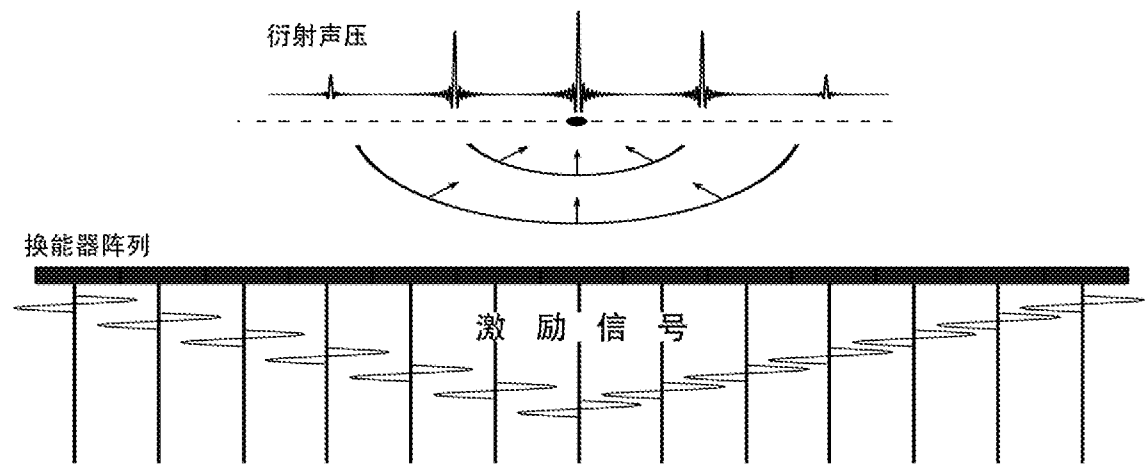


图 1

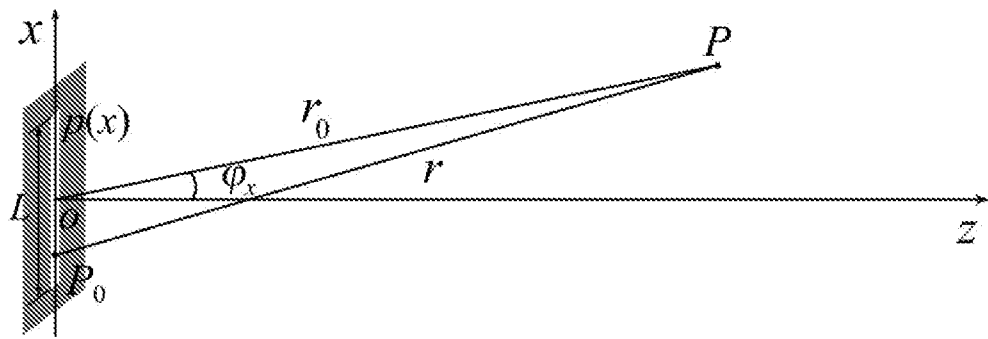


图 2

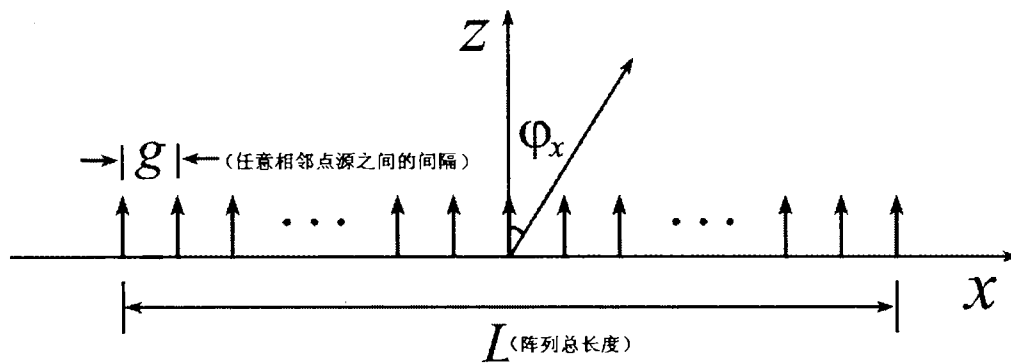


图 3 (a)

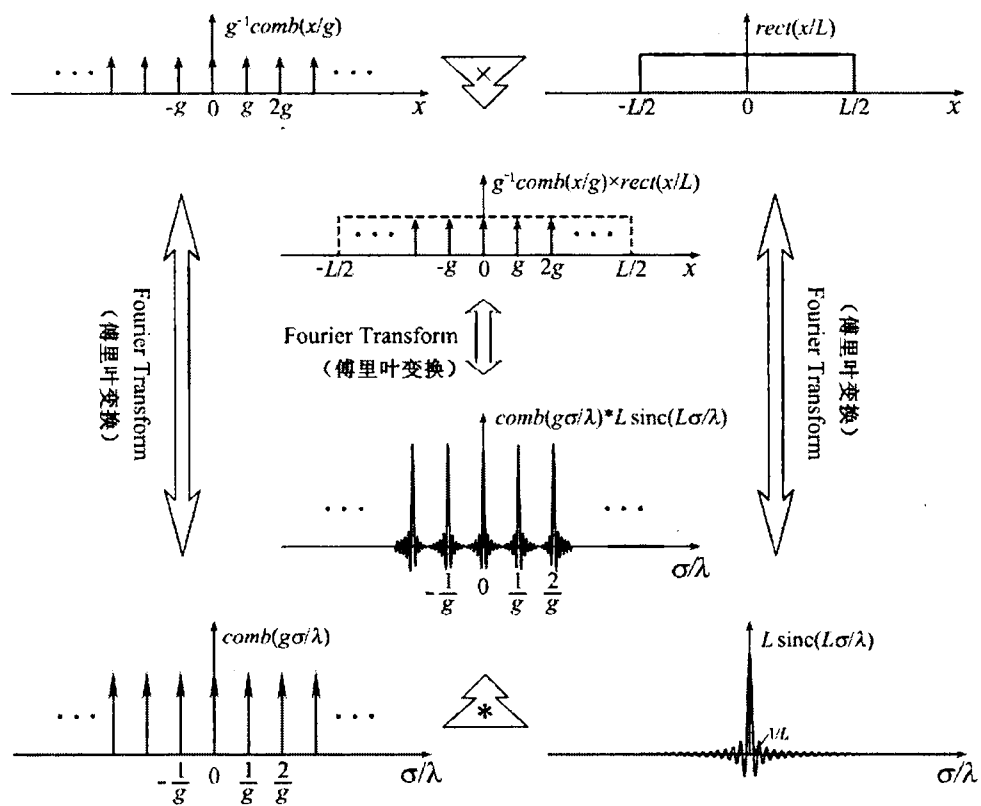


图 3 (b)

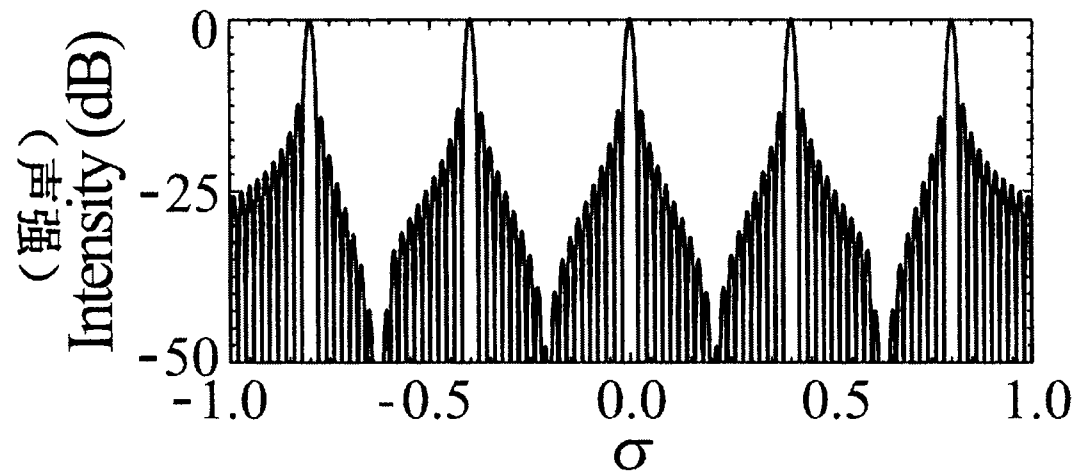


图 3 (c)

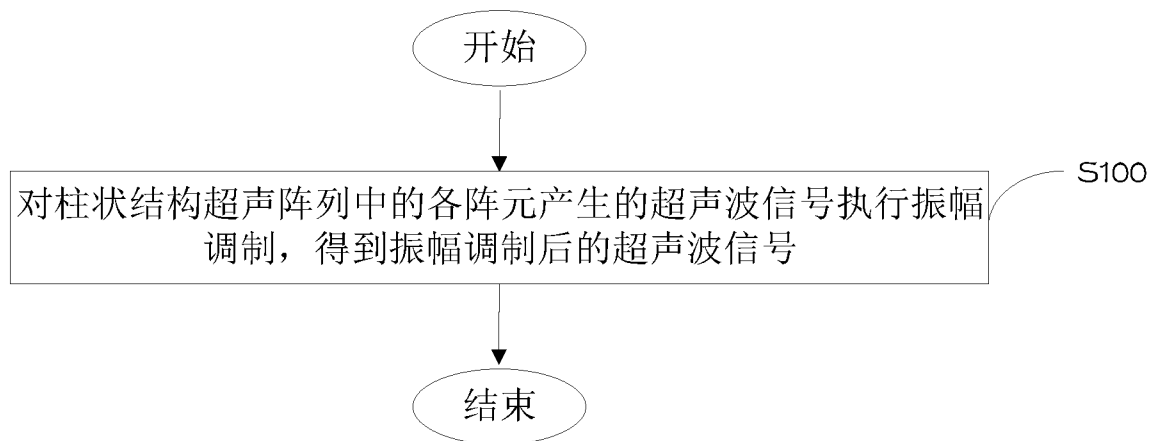


图 4

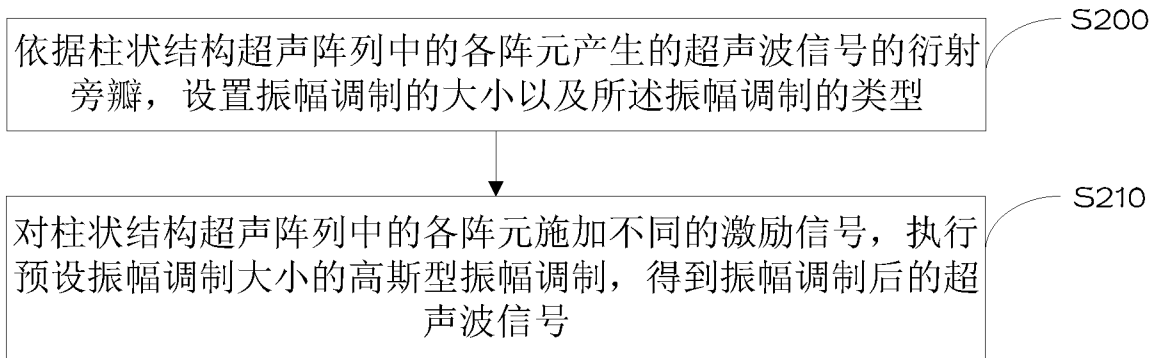


图 5

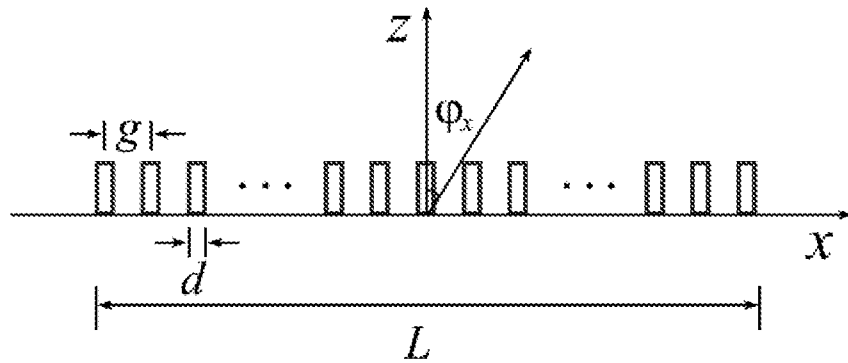


图 6 (a)

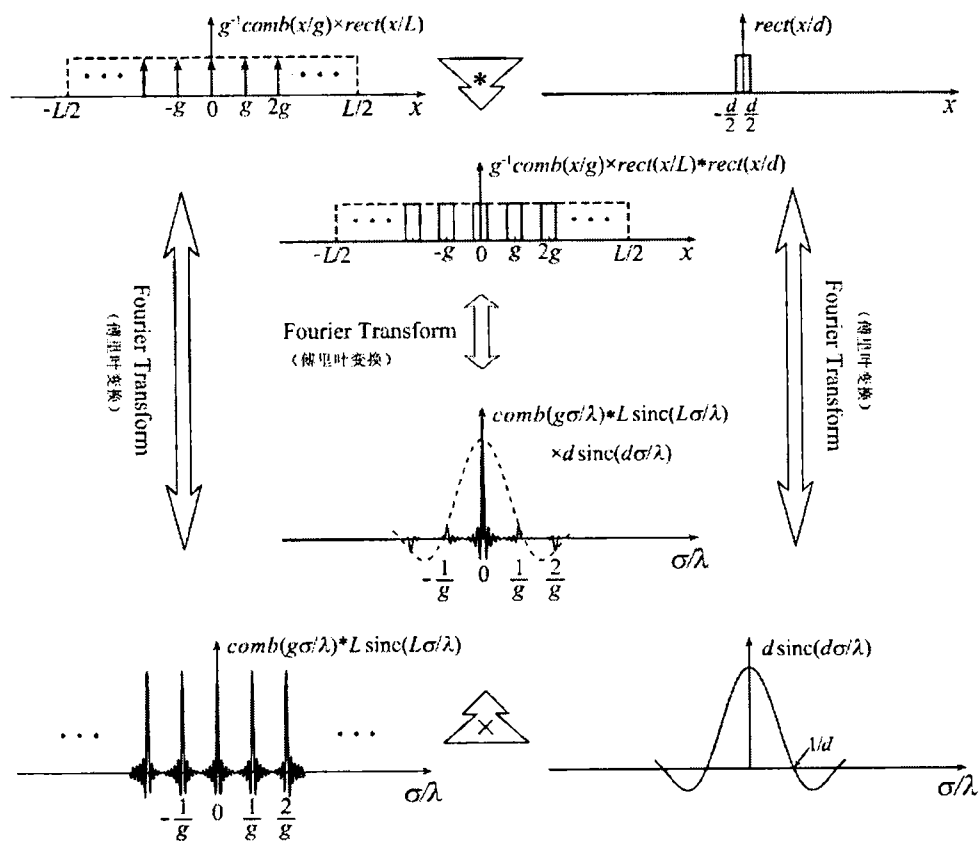


图 6 (b)

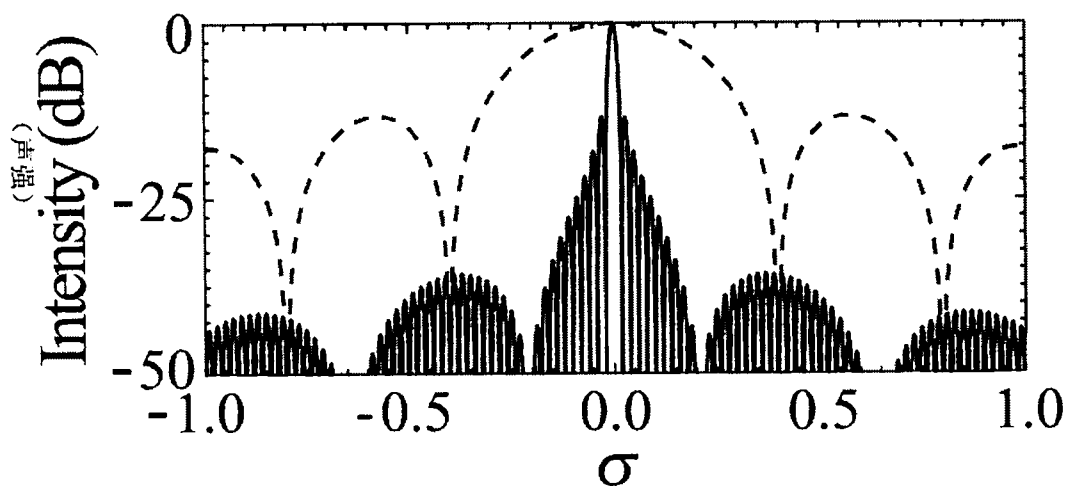


图 6 (c)

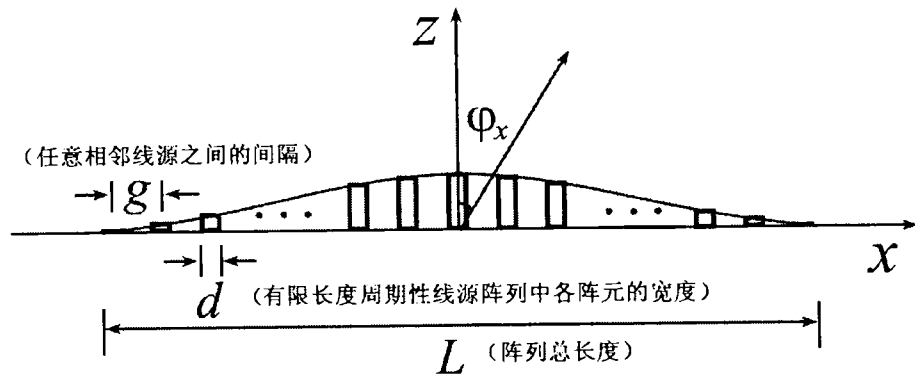


图 6 (d)

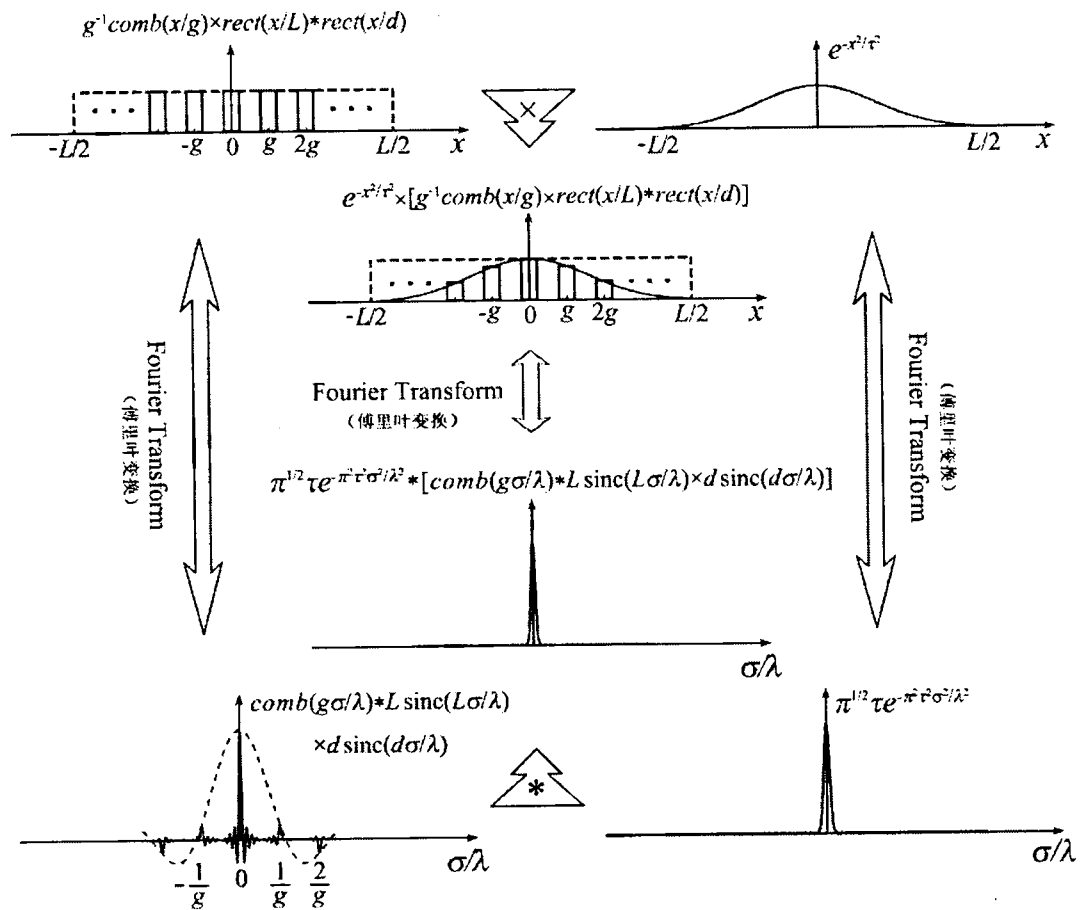


图 6 (e)

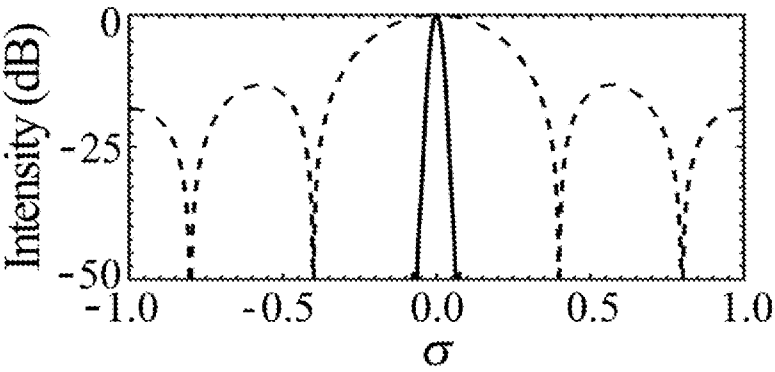


图 6 (f)

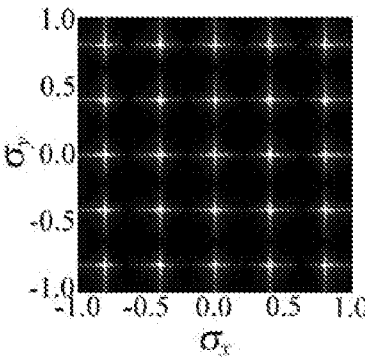


图 7 (a)

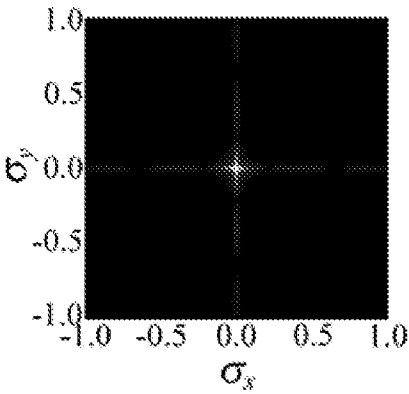


图 7 (b)

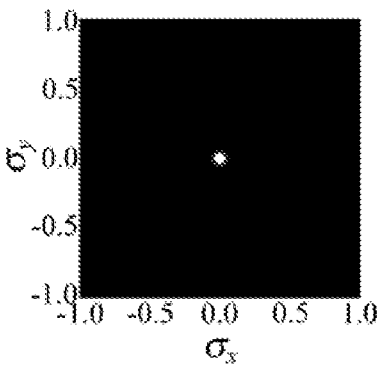


图 7(c)

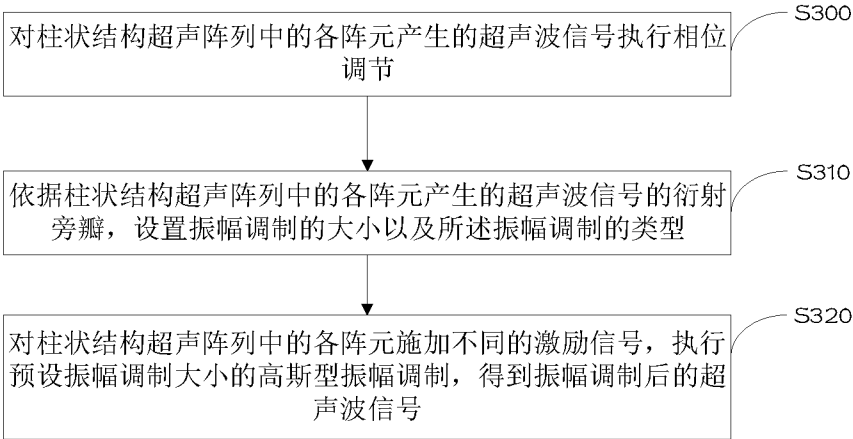


图 8

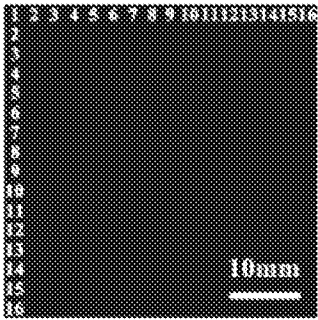


图 9 (a)

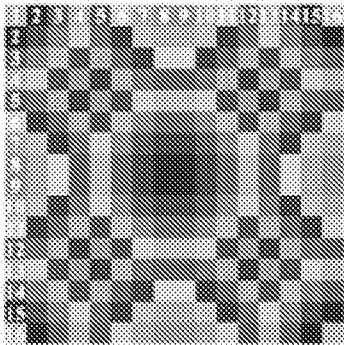


图 9 (b)

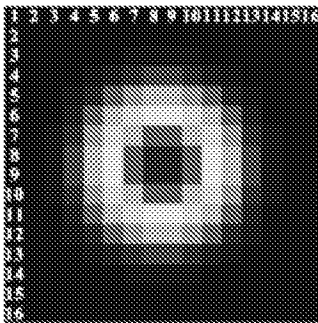


图 9 (c)

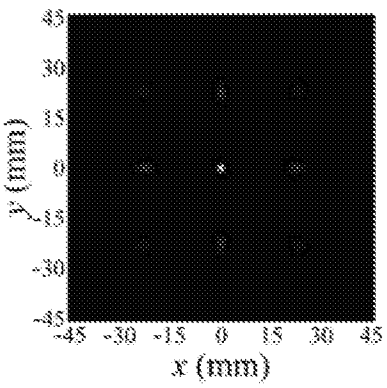


图 9 (d)

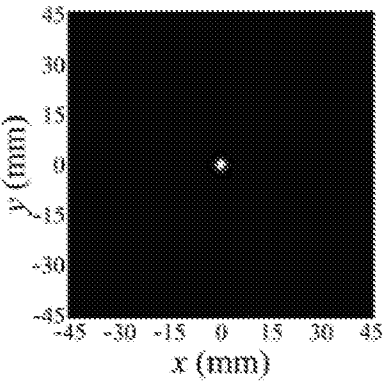


图 9 (e)

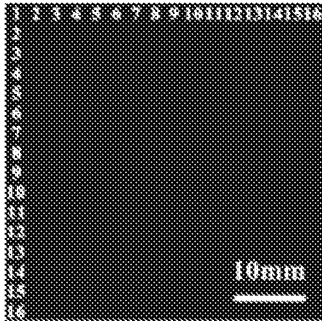


图 10 (a)

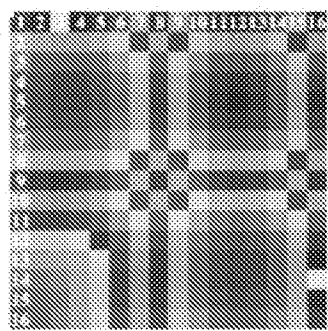


图 10 (b)

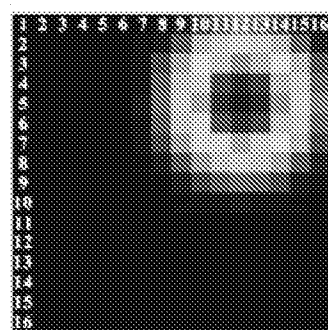


图 10 (c)

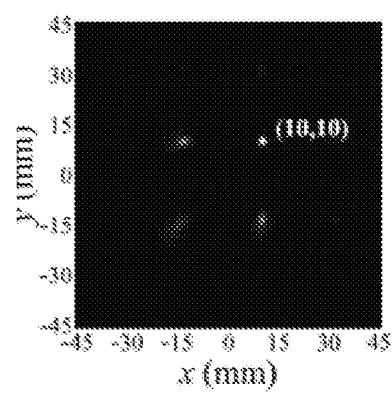


图 10 (d)

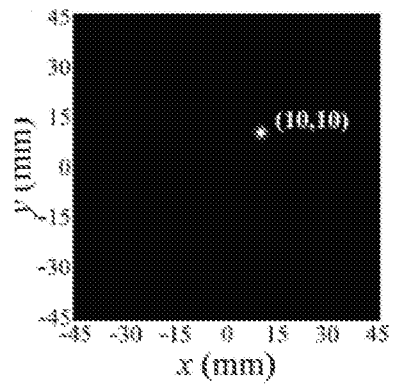


图 10 (e)

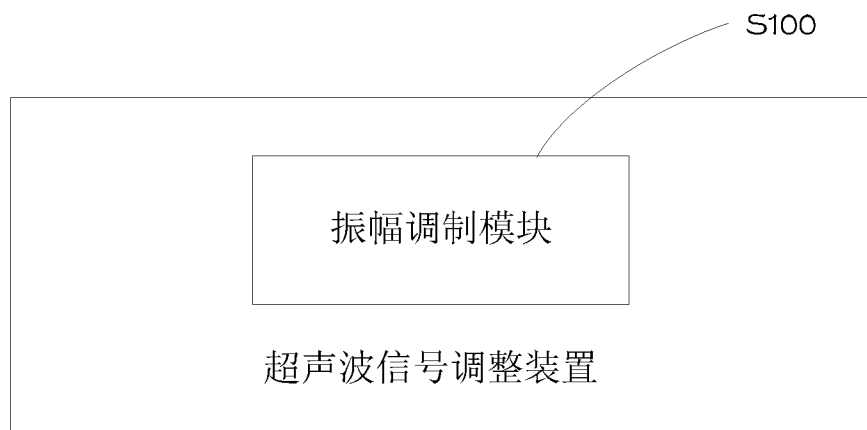


图 11

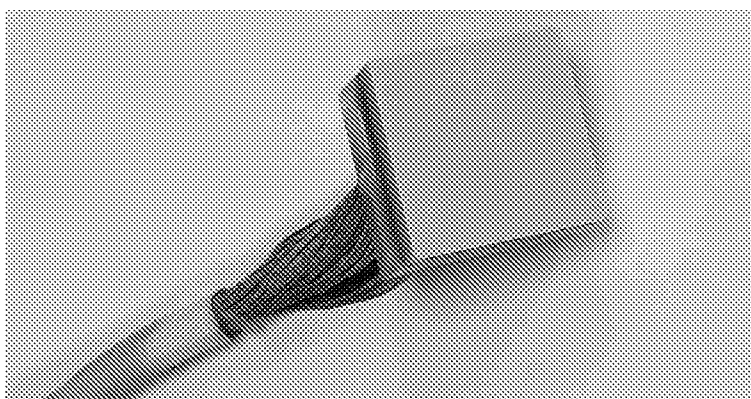


图 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/079812

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B 8/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61B 8, G06T 5

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; VEN; CNKI: 深圳先进技术研究, 超声, 瓣, 华中科技大学, 振幅, 调, 阵列, 柱, 高斯, 隔, 缝, 隙, 衍射, 相位, 阵元, 阵子, ultrasonic, diffract+, lobe?, grating, swing, phasic, array, aperture, gap, adjust+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 103565469 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 12 February 2014 (2014-02-12) description, paragraphs [0082]-[0126], and figures 1-6(c)	1, 5, 6, 10, 11
A	CN 107802969 A (SHENZHEN PROMETHE MEDICAL SCI-TECH CO., LTD.) 16 March 2018 (2018-03-16) entire document	1-11
A	CN 103536316 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 29 January 2014 (2014-01-29) entire document	1-11
A	US 5492121 A (MAYO FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION AND RESEARCH) 20 February 1996 (1996-02-20) entire document	1-11
A	CN 103327903 A (HITACHI MEDICAL CORPORATION) 25 September 2013 (2013-09-25) entire document	1-11
A	CN 104902824 A (HITACHI ALOKA MEDICAL, LTD.) 09 September 2015 (2015-09-09) entire document	1-11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 October 2019

Date of mailing of the international search report

20 November 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/079812

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 104646260 A (HITACHI, LTD.; HITACHI MEDICAL CORPORATION) 27 May 2015 (2015-05-27) entire document	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/079812

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	103565469	A	12 February 2014	CN	103565469	B	20 May 2015
CN	107802969	A	16 March 2018	None			
CN	103536316	A	29 January 2014	CN	103536316	B	04 March 2015
US	5492121	A	20 February 1996	None			
CN	103327903	A	25 September 2013	EP	2700363	A1	26 February 2014
				JP	5829680	B2	09 December 2015
				WO	2012144243	A1	26 October 2012
				JP	WO2012144243	A1	28 July 2014
				US	9642596	B2	09 May 2017
				EP	2700363	A4	17 December 2014
				US	2013331699	A1	12 December 2013
				CN	103327903	B	30 September 2015
CN	104902824	A	09 September 2015	JP	2014132959	A	24 July 2014
				US	2015342570	A1	03 December 2015
				CN	104902824	B	31 May 2017
				EP	2944265	A4	28 September 2016
				EP	2944265	A1	18 November 2015
				JP	5504357	B1	28 May 2014
				WO	2014109234	A1	17 July 2014
CN	104646260	A	27 May 2015	EP	1950997	A4	27 April 2016
				US	8397574	B2	19 March 2013
				EP	1950997	B1	09 October 2019
				US	2009301200	A1	10 December 2009
				CN	104646260	B	28 August 2018
				WO	2007046180	A1	26 April 2007
				EP	1950997	A1	30 July 2008

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/079812

A. 主题的分类 A61B 8/00 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																										
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) A61B 8, G06T 5 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNABS; CNTXT; VEN; CNKI: 深圳先进技术研究, 超声, 瓣, 华中科技大学, 振幅, 调, 阵列, 柱, 高斯, 隔, 缝, 隙, 衍射, 相位, 阵元, 阵子, ultrasonic, diffract+, lobe?, grating, swing, phasic, array, aperture, gap, adjust+																										
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 103565469 A (华中科技大学) 2014年 2月 12日 (2014 - 02 - 12) 说明书第82-126段、附图1-6 (c)</td> <td>1, 5, 6, 10, 11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107802969 A (深圳市普罗医学股份有限公司) 2018年 3月 16日 (2018 - 03 - 16) 全文</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103536316 A (华中科技大学) 2014年 1月 29日 (2014 - 01 - 29) 全文</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 5492121 A (MAYO FOUNDATION) 1996年 2月 20日 (1996 - 02 - 20) 全文</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103327903 A (株式会社日立医疗器械) 2013年 9月 25日 (2013 - 09 - 25) 全文</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104902824 A (日立阿洛卡医疗株式会社) 2015年 9月 9日 (2015 - 09 - 09) 全文</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104646260 A (株式会社日立制作所 株式会社日立医药) 2015年 5月 27日 (2015 - 05 - 27) 全文</td> <td>1-11</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 103565469 A (华中科技大学) 2014年 2月 12日 (2014 - 02 - 12) 说明书第82-126段、附图1-6 (c)	1, 5, 6, 10, 11	A	CN 107802969 A (深圳市普罗医学股份有限公司) 2018年 3月 16日 (2018 - 03 - 16) 全文	1-11	A	CN 103536316 A (华中科技大学) 2014年 1月 29日 (2014 - 01 - 29) 全文	1-11	A	US 5492121 A (MAYO FOUNDATION) 1996年 2月 20日 (1996 - 02 - 20) 全文	1-11	A	CN 103327903 A (株式会社日立医疗器械) 2013年 9月 25日 (2013 - 09 - 25) 全文	1-11	A	CN 104902824 A (日立阿洛卡医疗株式会社) 2015年 9月 9日 (2015 - 09 - 09) 全文	1-11	A	CN 104646260 A (株式会社日立制作所 株式会社日立医药) 2015年 5月 27日 (2015 - 05 - 27) 全文	1-11
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
X	CN 103565469 A (华中科技大学) 2014年 2月 12日 (2014 - 02 - 12) 说明书第82-126段、附图1-6 (c)	1, 5, 6, 10, 11																								
A	CN 107802969 A (深圳市普罗医学股份有限公司) 2018年 3月 16日 (2018 - 03 - 16) 全文	1-11																								
A	CN 103536316 A (华中科技大学) 2014年 1月 29日 (2014 - 01 - 29) 全文	1-11																								
A	US 5492121 A (MAYO FOUNDATION) 1996年 2月 20日 (1996 - 02 - 20) 全文	1-11																								
A	CN 103327903 A (株式会社日立医疗器械) 2013年 9月 25日 (2013 - 09 - 25) 全文	1-11																								
A	CN 104902824 A (日立阿洛卡医疗株式会社) 2015年 9月 9日 (2015 - 09 - 09) 全文	1-11																								
A	CN 104646260 A (株式会社日立制作所 株式会社日立医药) 2015年 5月 27日 (2015 - 05 - 27) 全文	1-11																								
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																										
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																										
国际检索实际完成的日期 2019年 10月 29日		国际检索报告邮寄日期 2019年 11月 20日																								
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 邵建霞 电话号码 62085545																								

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/079812

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	103565469	A	2014年 2月 12日	CN 103565469 B	2015年 5月 20日
CN	107802969	A	2018年 3月 16日	无	
CN	103536316	A	2014年 1月 29日	CN 103536316 B	2015年 3月 4日
US	5492121	A	1996年 2月 20日	无	
CN	103327903	A	2013年 9月 25日	EP 2700363 A1	2014年 2月 26日
				JP 5829680 B2	2015年 12月 9日
				WO 2012144243 A1	2012年 10月 26日
				JP W02012144243 A1	2014年 7月 28日
				US 9642596 B2	2017年 5月 9日
				EP 2700363 A4	2014年 12月 17日
				US 2013331699 A1	2013年 12月 12日
				CN 103327903 B	2015年 9月 30日
CN	104902824	A	2015年 9月 9日	JP 2014132959 A	2014年 7月 24日
				US 2015342570 A1	2015年 12月 3日
				CN 104902824 B	2017年 5月 31日
				EP 2944265 A4	2016年 9月 28日
				EP 2944265 A1	2015年 11月 18日
				JP 5504357 B1	2014年 5月 28日
				WO 2014109234 A1	2014年 7月 17日
CN	104646260	A	2015年 5月 27日	EP 1950997 A4	2016年 4月 27日
				US 8397574 B2	2013年 3月 19日
				EP 1950997 B1	2019年 10月 9日
				US 2009301200 A1	2009年 12月 10日
				CN 104646260 B	2018年 8月 28日
				WO 2007046180 A1	2007年 4月 26日
				EP 1950997 A1	2008年 7月 30日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)