

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G01S 15/89

G01S 17/89



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 97111512.5

[43] 授权公告日 2003 年 5 月 14 日

[11] 授权公告号 CN 1108529C

[22] 申请日 1997.5.9 [21] 申请号 97111512.5

[30] 优先权

[32] 1996. 5. 17 [33] US [31] 652629

[71] 专利权人 波音公司

地址 美国西雅图

[72] 发明人 詹姆斯·R·昂德布林克

审查员 马志远

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

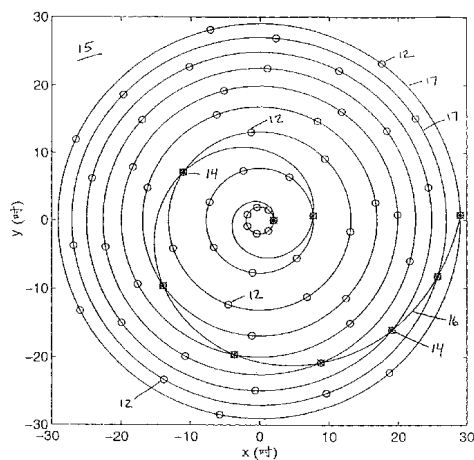
代理人 李晓舒

权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 11 页

[54] 发明名称 具有宽频率范围应用的圆对称的零冗余度的平面阵列

[57] 摘要

一类平面阵列，具有源定位，源成像或以投射波束作目标照射等宽频率范围应用。该非冗余阵列是圆对称的并由多个传感或发送单元组成，这些单元的排列在宽频率范围内可大体消除栅瓣。从各单元接收或发送给各单元的信号被适当相控以控制阵列的波束。



ISSN 1008-4274

1. 一宽频率范围圆对称零冗余的平面阵列，包括多个以不同半径沿一族相同的对数螺线排列的单元，其中该族的每一螺线是围绕一原点以角度
5 均匀排列的，并且在所述螺线族中有奇数个螺线。
2. 如权利要求 1 所述的平面阵列，其中所述阵列单元沿每一所述对数螺线位于构成等面积圆环的径向几何中心的各同心圆上以及位于独立指定其半径的一最内层同心圆上。
3. 如权利要求 1 所述的平面阵列，其中各所述阵列单元沿每一所述对
10 数螺线位于内外径间各等径向增量处。
4. 如权利要求 1 所述的平面阵列，其中各所述阵列单元沿每一所述对数螺线位于外内径间的对数增加的各径向增量处，随着所述螺线从最外单元向最内单元遍历，沿所述对数螺线的各所述单元间的径向增量也增加。
5. 如权利要求 1 所述的平面阵列，其中各所述阵列单元沿每一所述对
15 数螺线位于内外径间的对数增加的各径向增量上，随着所述螺线从最内单元向最外单元遍历，沿所述对数螺线的各所述单元间的径向增量也增加。
6. 如权利要求 1 所述的平面阵列，其中对数螺线角，内半径，外半径，每个螺线的单元数，螺线数以及螺线单元的排列方法等技术指标提供一圆对称的零冗余的平面阵列。
- 20 7、一种包括如权利要求 1 - 6 任何之一所述的宽频率范围圆对称零冗余的平面阵列的声学探测系统，包括：
通过各独立接收通路接收来自各所述阵列单元的信号能量的装置；
耦合各所述接收通路用来处理所述信号能量以控制所述阵列单元的相位和幅度从而控制所述阵列的主波束的装置；
25 通过各独立传输通路馈送信号能量到各所述阵列单元的装置；和
耦合各所述发送通路用来处理所述信号能量以控制各所述阵列单元的相位和幅度从而控制所述阵列的主波束的装置。
- 8、如权利要求 7 所述的系统，其中各所述阵列单元是无源声学传感器，而接收所述信号能量并处理所述信号能量以控制各所述阵列单元的相位和
30 幅度的装置是一 N 个通道的信号加工系统，该系统包括前置放大器，传输线以及含有能为每一通道作信号加工和采样保持模数转换的输入模块，所

有输入模块耦合到一公共系统总线，该总线连接到一数据处理系统作波束形成并以等值线图形式形成最后的噪声源测绘图。

9、如权利要求 8 所述的系统，其中所述无源声学传感器包括电容话筒。

具有宽频率范围应用的
圆对称的零冗余度
的平面阵列

5

技术领域

本发明涉及具有源定位、源成像或用投射波束作目标照射等宽频率范围应用的平面阵列。过去对阵列单元数受限的平面阵列的设计只集中于单
10 频应用，没有论及圆对称问题，而且/或者只为远场应用，因而没有广泛论及源测绘(source mapping)或以投射波束作目标照射等近场、圆对称以及宽带的应用。

背景技术

15 规则阵列在现有技术中已为人所知，其各阵列单元是周期性排列的，如方格形、三角格形或六角格形。在这些排列中，相邻单元要求相隔在彼此的 $1/2$ 波长内以防止阵列方向性图在指引方向(steered direction)以外有多个主瓣，这种现象通常称为空间混迭或栅瓣。在宽频带范围应用中从要求的阵列单元数看这种半波长的要求的费用是令人望而却步的，因为预
20 期使用的最低频率迫使阵列的孔径加大(为了得到足够的阵列分辨率)，而最高频率又使单元的间隔过小(为了防止空间混迭)。

不规则阵列在现有技术中已为人所知，它提供了一种方法用以解决规则阵列固有的栅瓣问题，因为不规则阵列消除了单元位置的周期性。在现有技术中已知随机阵列是一种不规则阵列。随机阵列的最坏情况旁瓣的可
25 预测控制能力是有限的。当阵列单元的位置可控时，可采用一种用于决定单元布局的算法，它将保证不规则间隔并能更可预测地控制最坏情况旁瓣。现有技术包括很多不规则间隔的线性阵列的例子，其中许多是非冗余的，即没有任何一对单元间的间隔是重复的。非冗余在有关控制栅瓣的阵列设计中提供了一定程度的最优性。

30 现有技术的不规则平面阵列的设计大多是就事论事的。现有技术中似乎只有少量的非冗余平面阵列的简单例子——其中或者只有很少的单元

数,或者只有简单的单元分布如环绕一圆周。现有技术中似乎缺乏以受控方式将任意数目的单元排列在整个阵列孔径(而不是只在圆周上)以保证非冗余和圆对称的设计非冗余平面阵列的技术。

5 发明内容

本发明的一个目的是提供一种在宽频率范围大体无栅瓣的平面阵列的设计,其中单元数远少于构造一个规则(即等间隔单元)阵列所需的单元数,这种阵列的单元间隔满足半波长准则,该准则是防止源测绘或照射波束中栅瓣污染通常所需的。

10 本发明的另一目的是提供一种圆对称的平面阵列的设计使源测绘图(source map)分辨率或投射波束宽度与阵列尺寸(即方位角)大体无关。

本发明还有一目的是提供一种平面阵列设计,它在阵列是无冗余的意义上最佳利用了固定数目的阵列单元。

15 本发明还有一目的是在阵列设计中提供空间密度递减的灵活性以便在波束宽度和旁瓣电平之间折衷。

本发明还有一目的是提供一种一般性的方法,它能在空间采样的空间内保证圆对称和非冗余的同时、在任意直径的圆平面孔径上分布任意数目单元。

20 本发明提供一宽频率范围圆对称零冗余的平面阵列,包括多个以不同半径沿一族相同的对数螺线排列的单元,其中该族的每一螺线是围绕一原点以角度均匀排列的,并且在所述螺线族中有奇数个螺线。

25 本发明是一种平面阵列,其传感或发射单元(即话筒或天线)排列在一组相同对数螺线的不同弧长和半径上,其中该组螺线的各条螺线围绕一原点在角度上均匀间隔,与均匀分布阵元(如方格或矩形格)的阵列或随机阵列相比,该平面阵列在宽的频率范围内有更低的最坏情况旁瓣和更好的栅瓣抑制。该阵列是圆对称的,并且当螺线数为奇数时阵列是无冗余的。一优选的螺线规格实施例将下列两种阵列单元位置结合在一起,一种位置是各阵列单元处于构成等面积圆环的径向几何中心的各同心圆上,另一种位置是阵列单元处在最内层的同心圆上,为了增强阵列在所用最高频率上的性能,此同心圆的半径是独立选取的。这一结果适用于很宽的波长范围,如 10:1 的比率,使得它可用于相控声学话筒或扬声器的阵列,或者用于相

控电磁天线阵列。对于小的阵列单元数，它优于随机阵列。其他螺线规格的一些实施例提供其他的阵列空间密度递减方法以便给阵列设计带来灵活性以及允许阵列性能在阵列波束宽度与旁瓣电平之间进行折衷。

本发明还提供一种包括上述的宽频率范围圆对称零冗余的平面阵列的声学探测系统，包括：通过各独立接收通路接收来自各所述阵列单元的信号能量的装置；耦合各所述接收通路用来处理所述信号能量以控制所述阵列单元的相位和幅度从而控制所述阵列的主波束的装置；通过各独立传输通路馈送信号能量到各所述阵列单元的装置；和耦合各所述发送通路用来处理所述信号能量以控制各所述阵列单元的相位和幅度从而控制所述阵列的主波束的装置。

附图说明

本发明的上述的及其他的目的和特点可由结合实施例的以下说明并参照附图得以理解，附图中类似部分以类似的参考数字标明，其中

图 1 是根据本发明的一实施例的一圆平面阵列的略图，该阵列由以等圆环面积排列各单元的多个对数螺线形阵列组成，其中重点标出了一个螺线的各单元。

图 2 是按照本发明的一实施例的一辅助阵列 (coarray) 的略图，该辅助阵列表示阵列孔径内单元间的所有矢量间隔的集合。

图 3 是按照本发明的一实施例的圆平面阵列的略图，该阵列由以等径向增量排列各单元的多个对数螺线形阵列组成，其中重点标出了一个螺线的各单元。

图 4 是按照本发明的一实施例的圆平面阵列的略图，该阵列由具有从外到内以对数径向增量排列各单元的多个对数螺线形阵列组成。

图 5 是利用图 1 的阵列聚焦在离宽面 54 英寸处的点、在 1KHz 单频工作时的示例的阵列方向性图

图 6 是利用图 1 的阵列聚焦在离宽面 54 英寸处的点、在 5KHz 单频工作时的示例的阵列方向性图。

图 7 是利用图 1 的阵列聚焦在离宽面 54 英寸处的点、在 10KHz 单频工作时的示例的阵列方向性图。

图 8 是利用图 1 的阵列聚焦在离宽面 54 英寸处的点、在 1KHz 单频工

作时的最坏情况旁瓣特性图。

图 9 是利用图 1 的阵列聚焦在离宽面 54 英寸处的点、在 5KHz 单频工作时的最坏情况旁瓣特性图。

图 10 是利用图 1 的阵列聚焦在离宽面 54 英寸处的点、在 10KHz 单频工作时的最坏情况旁瓣特性图。

图 11 表示图 1 平面阵列用于噪声源位置绘制(noise source location mapping)时的话筒输入、信号加工、信号处理和显示的方框图。

具体实施方式

10 图 1 所示的本平面阵列设计 15 给出以圆表示的各阵列单元 12。重点标出单元子集 14 以强调它们沿一对数螺线 16 的分布。重点标出的各单元 14 可按多种方法之一沿螺线放置。一个优选方法,如图 1 所示,是等圆环面积采样,其中 M 个单元的螺线的 M-1 个最外层单元的位置与各同心等面积圆环的各径向几何中心相重合。第 M 个单元独立位于比上述 M-1 个单元的最内层半径小的某一半径上以提高阵列在所用最高频率上的性能。如图 1 所示,从等间隔排列各单元的 N 个单元的圆阵列 17 中依次取出各螺线单元 14 以实现圆对称。如果圆阵列中的单元数是奇数,所得的阵列在其空间采样的空间内具有零冗余度。这由图 2 的辅助阵列表示出,该阵列表示图 1 阵列孔径内各单元 12 间的所有矢量间隔的集合。辅助阵列内每一点 18 表示阵列中两个单元位置间的矢量差。对于本平面阵列设计 15,这些矢量差没有重复的。

排列螺线单元的其他方法示于图 3 和图 4。图 3 中各螺线单元沿螺线 16 排列在内外径间的等径向增量上。图 4 中各螺线单元 14 沿螺线 16 排列在外内径间对数增加的径向增量上(即随着螺线由最外的单元向最内单元遍历,螺线单元间的径向增量也增加)。这被称为由外向内的对数径向排列。另一个称为由内向外的对数径向排列的方法是将各螺线单元排列在沿螺线的内外径间对数增加的径向增量上。这些和其他一些螺线排列方法表现出在阵列主瓣(即阵列分辨率)和旁瓣电平之间的折衷。各阵元集中在圆周附近的那些阵列,如图 3 的阵列 18,具有窄的主瓣和相应较高的平均旁瓣电平。各单元集中在圆心附近的那些阵列,如图 4 的阵列 19,则具有较宽的主瓣和相应较低的平均旁瓣电平。图 1, 3 和 4 的实施例以及由内向对外对数

径向排列的实施例只是对根据本发明的径向排列构造的一些示例。

本阵列一般的设计参数如下：(1)对数螺线角；(2)内半径；(3)外半径；(4)每一螺线的单元数；(5)每一圆的单元数(即螺线数)；以及(6)螺线单元排列方法。这些参数组成一大类圆对称无冗余的平面阵列(如果每个圆的单元数为奇数)，该类阵列在比规则或随机阵列所能得到的更宽的频率范围内具有特别低的最坏情况旁瓣特性。

图 1 实施例的阵列聚焦在离宽面 54 英寸处的点的阵列方向性图对于 1KHz 示于图 5，5KHz 示于图 6，10KHz 示于图 7，这些图说明在宽的频率范围和宽的扫描区域内没有栅瓣存在，并显示出阵列的圆对称特性。这些示例的阵列方向性图是对应于声波以 1125ft/s 的传播速度在大气中传播时的频率而确定的。图 1 实施例在阵列聚焦在离宽面 54 英寸处的最坏情况旁瓣特性对于 1KHz 示于图 8，5KHz 示于图 9，10KHz 示于图 10，这些图说明在宽的频率范围内对 -90° 到 $+90^\circ$ 仰角的强的栅瓣抑制。图 8、9 和 10 表示由阵列方向性图的 45° 方位角截面在 91 个仰角上取最大值构成的方向性图包络。

图 11 示出图 1 阵列的声学应用的仪表、信号加工、数据采集、信号处理和显示系统的方框图。N 个通道的阵列设计 1 是由在适当空间位置放置 N 个话筒来实现的，各话筒的振动膜片中心位置互相之间与阵列设计的指标(即空间座标)一致。N 个话筒的系统各由话筒旋钮(阵列单元)12，前置放大器 3 及传输线 4 组成，将 N 个话筒的系统馈给 N 个相应的输入模块 5。每一输入通道含有可编程增益 6，模拟的反混迭滤波器 7 以及采样保持模数转换 8。各输入通道共享一公共的触发总线 9 使采样保持同时。一公共的系统总线 10 接收各输入模块并将同时采集的时间序列数据引到波束形成器 11。波束形成器可以是很多常规时域和/或频域波束形成过程的一种，它为含有图形显示装置的读出装置 13 提供数据。

作为例子，一频域波束形成器 11 为图 1 和 11 的 N 个话简单元 12 和 14 的平面阵列提供以下各步骤的信号处理：

1. 傅里叶变换以便为每一通道产生一窄带信号。
2. 将各窄带信号的时间上的各成对乘积作积分以给出 $N \times N$ 的相关矩阵。
3. 求出各到达势方向(平面波波束形成场合)或源位置(球波波束形成场

合)的N维复指向矢量(steering vector)。

4. 将相关矩阵与指向矢量相乘产生每一到达方向或源位置的估计源功率。

随后图形装置13给出估计的源分布的等值线图。

5 虽然描述了某一特定的设备,应该理解这个描述只是作为例子而不是对本发明各目的和权利要求中提出的范围的限制。

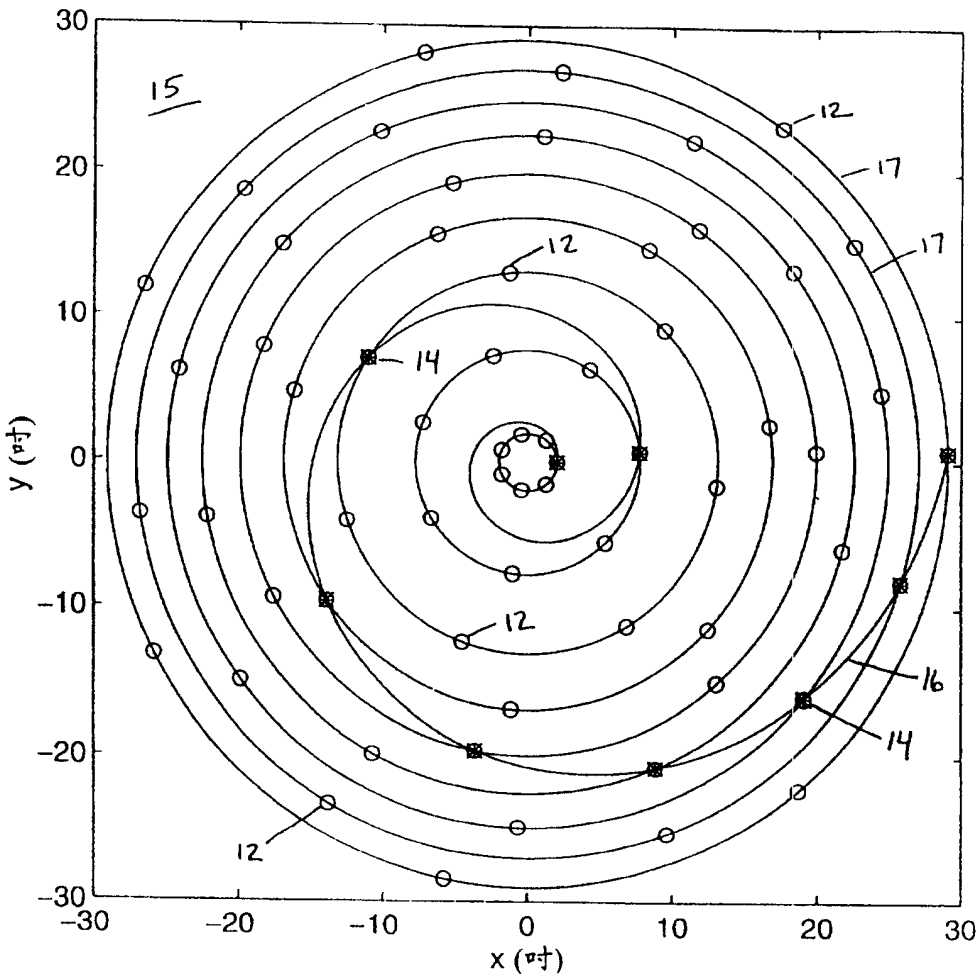


图 1

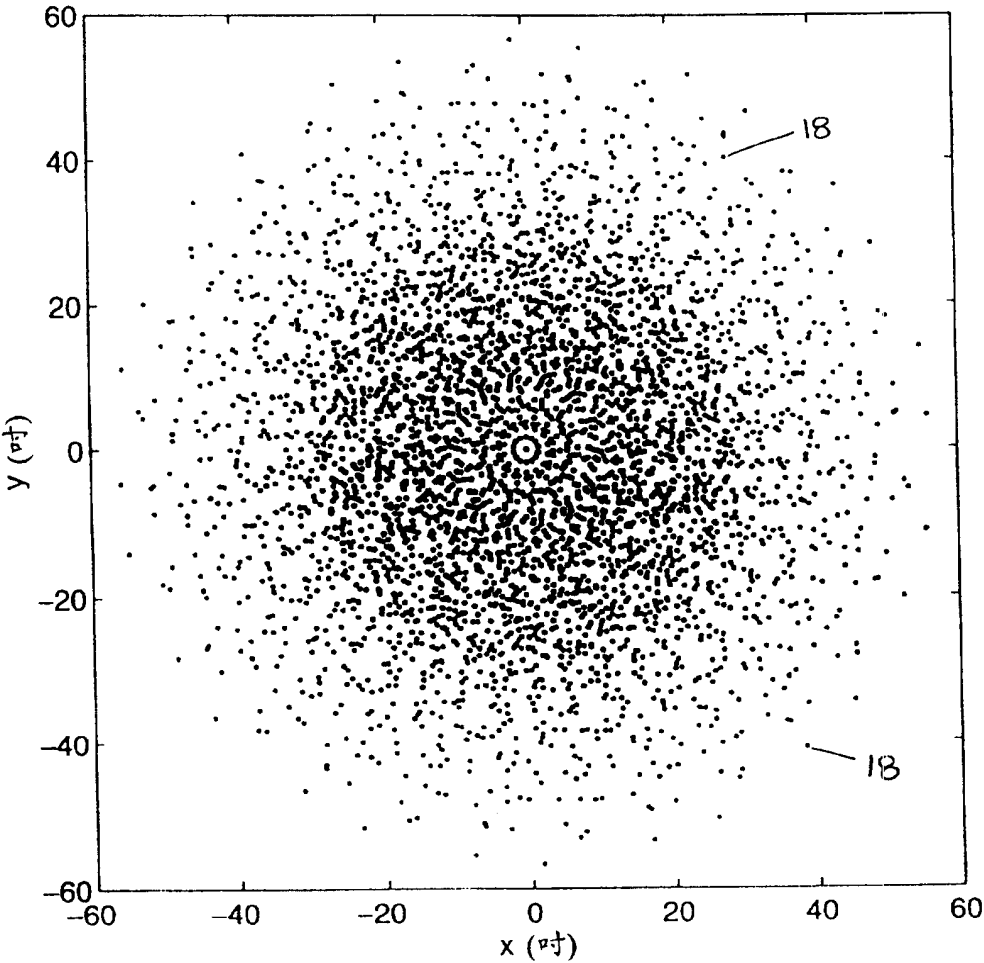


图 2

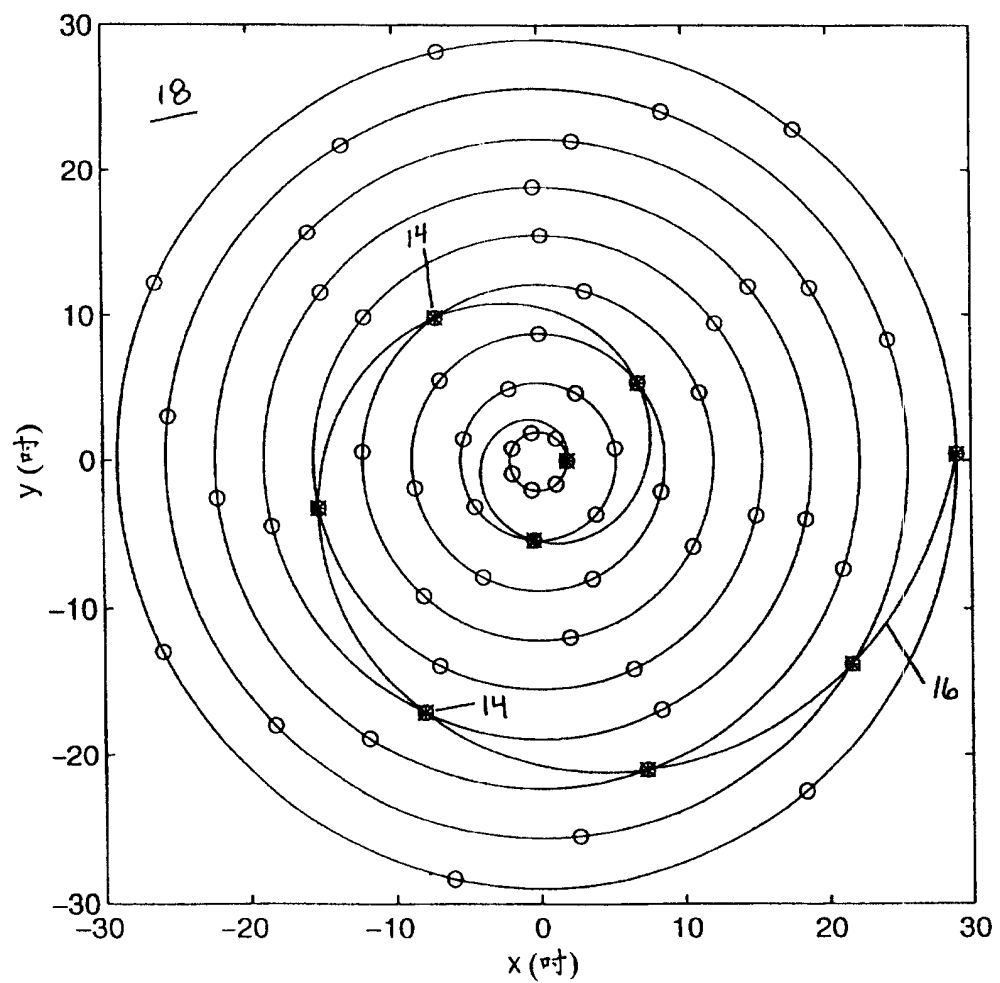


图 3

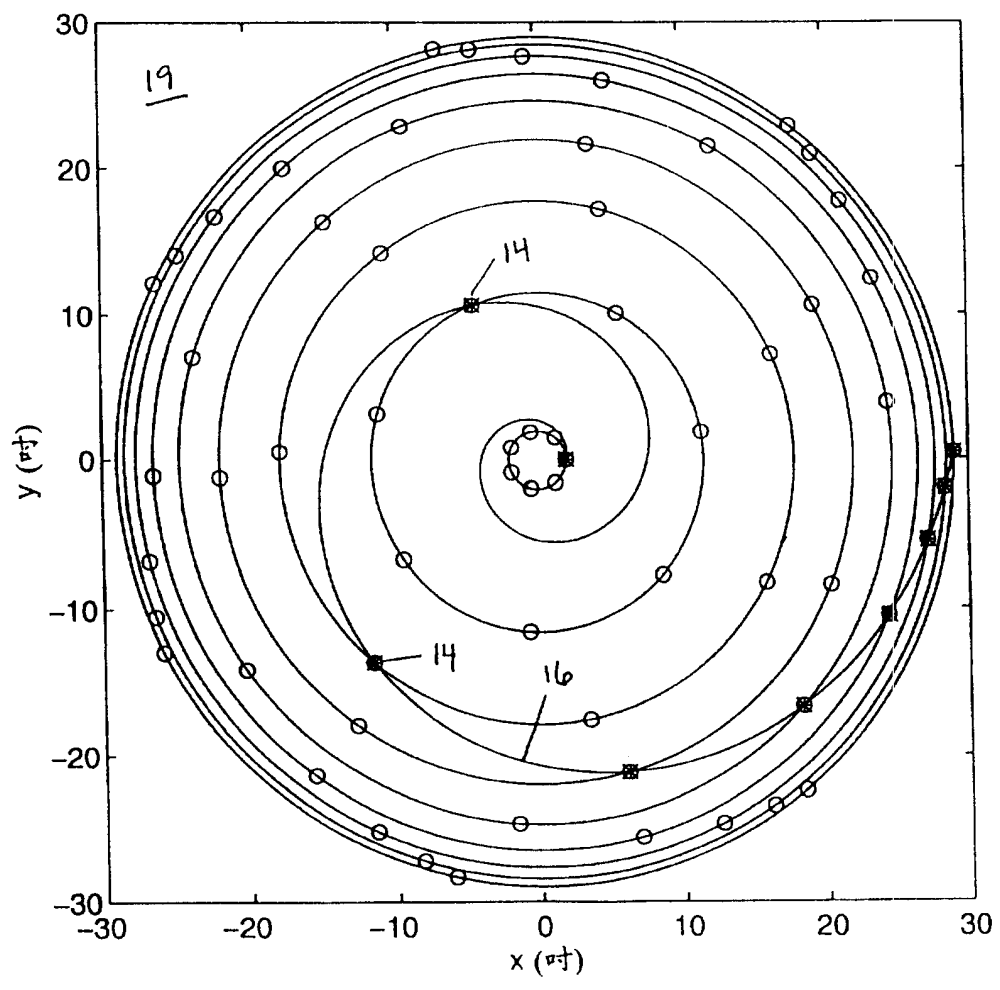


图 4

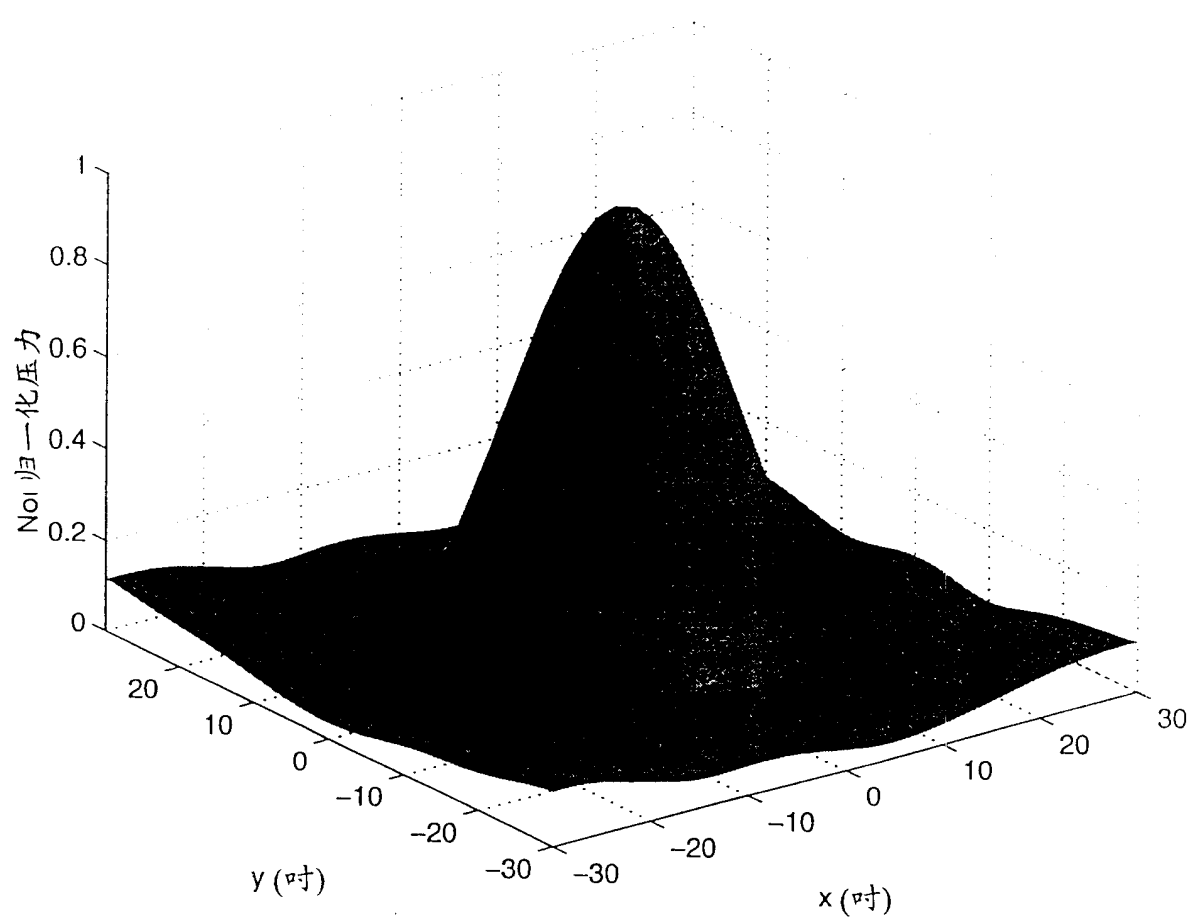


图 5

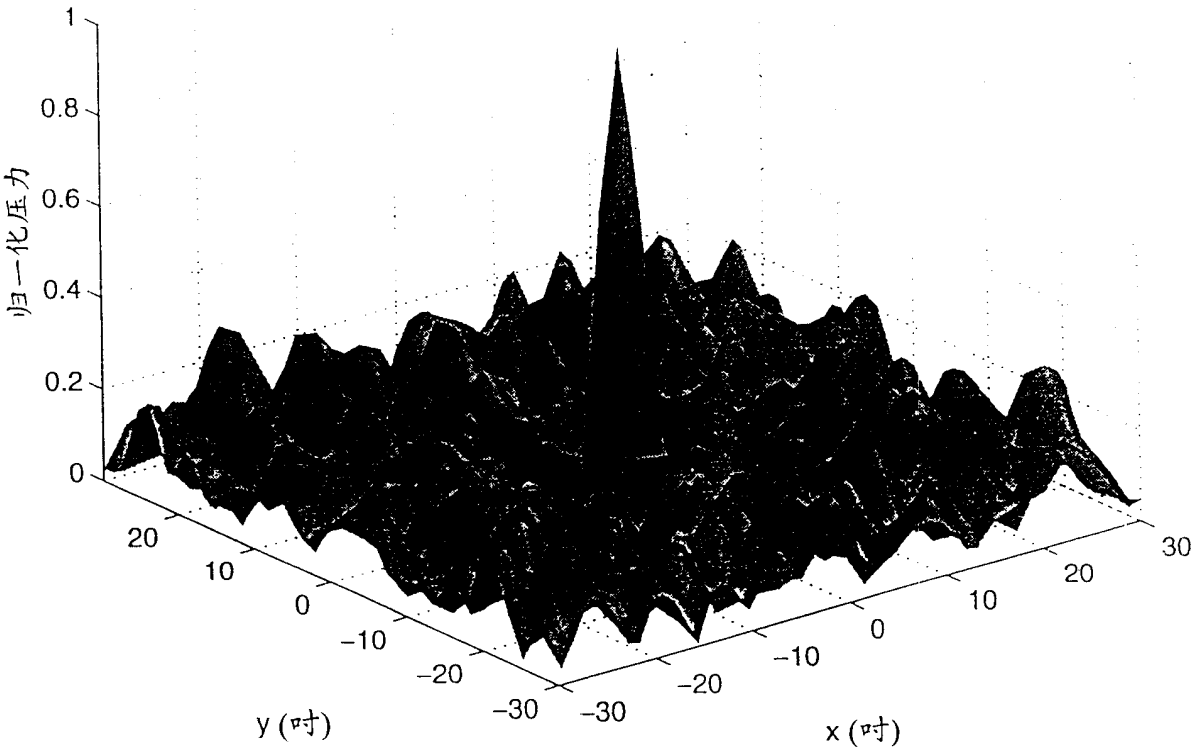


图 6

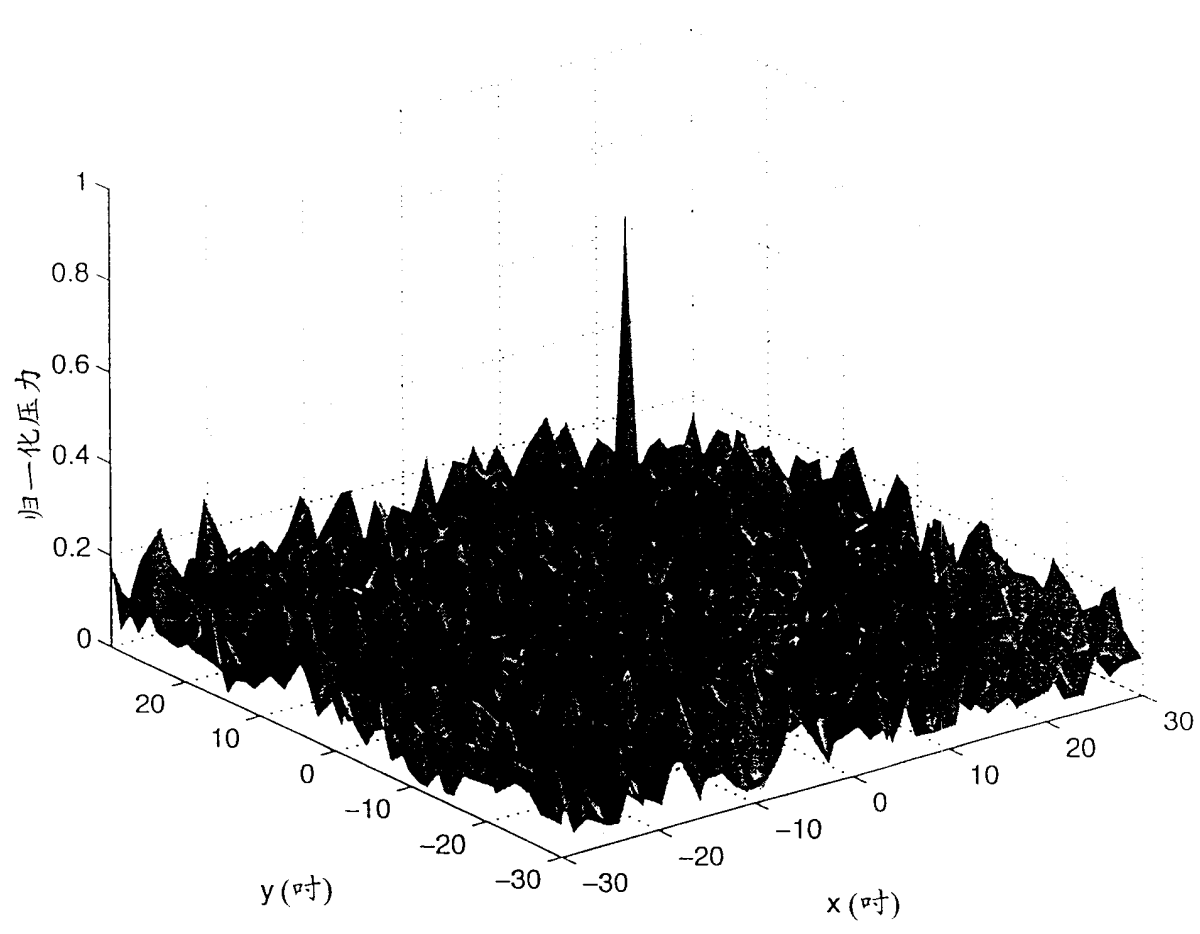


图 7

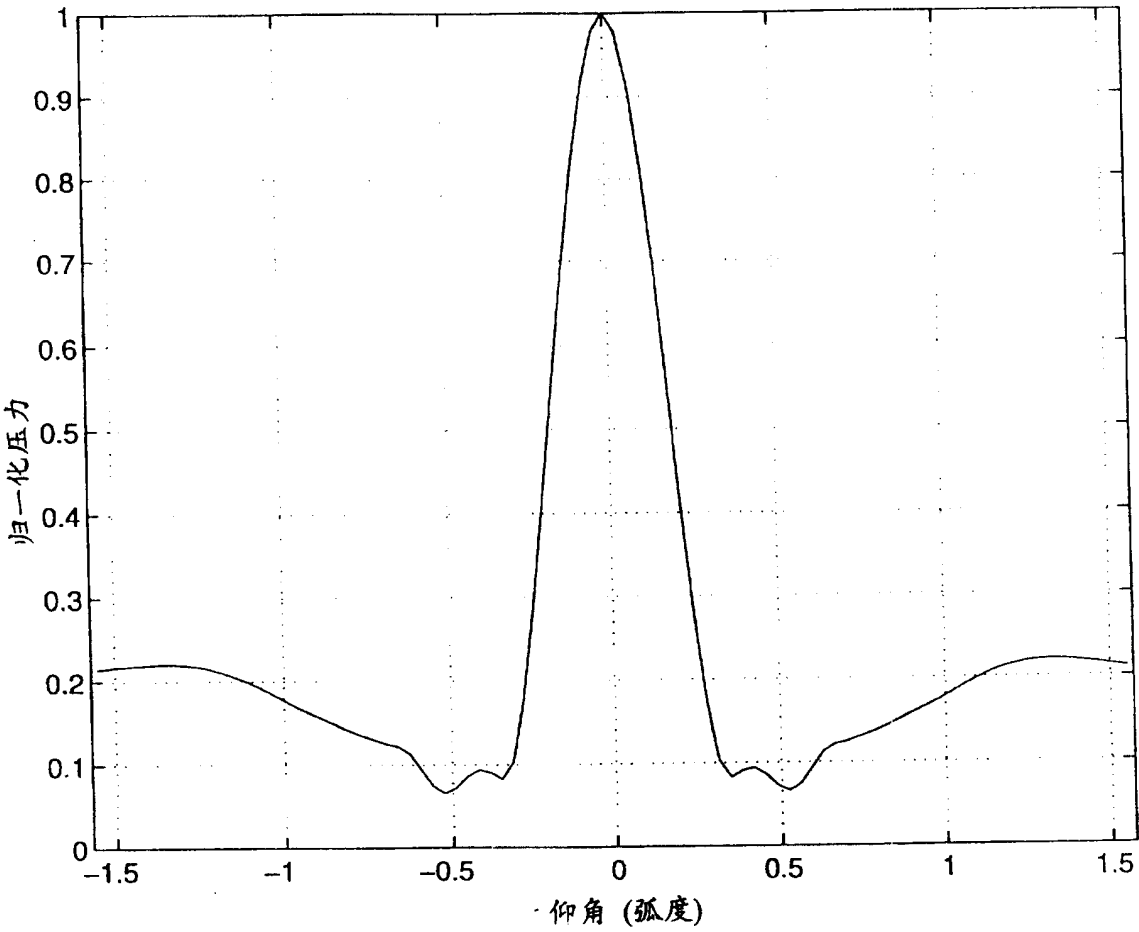


图 8

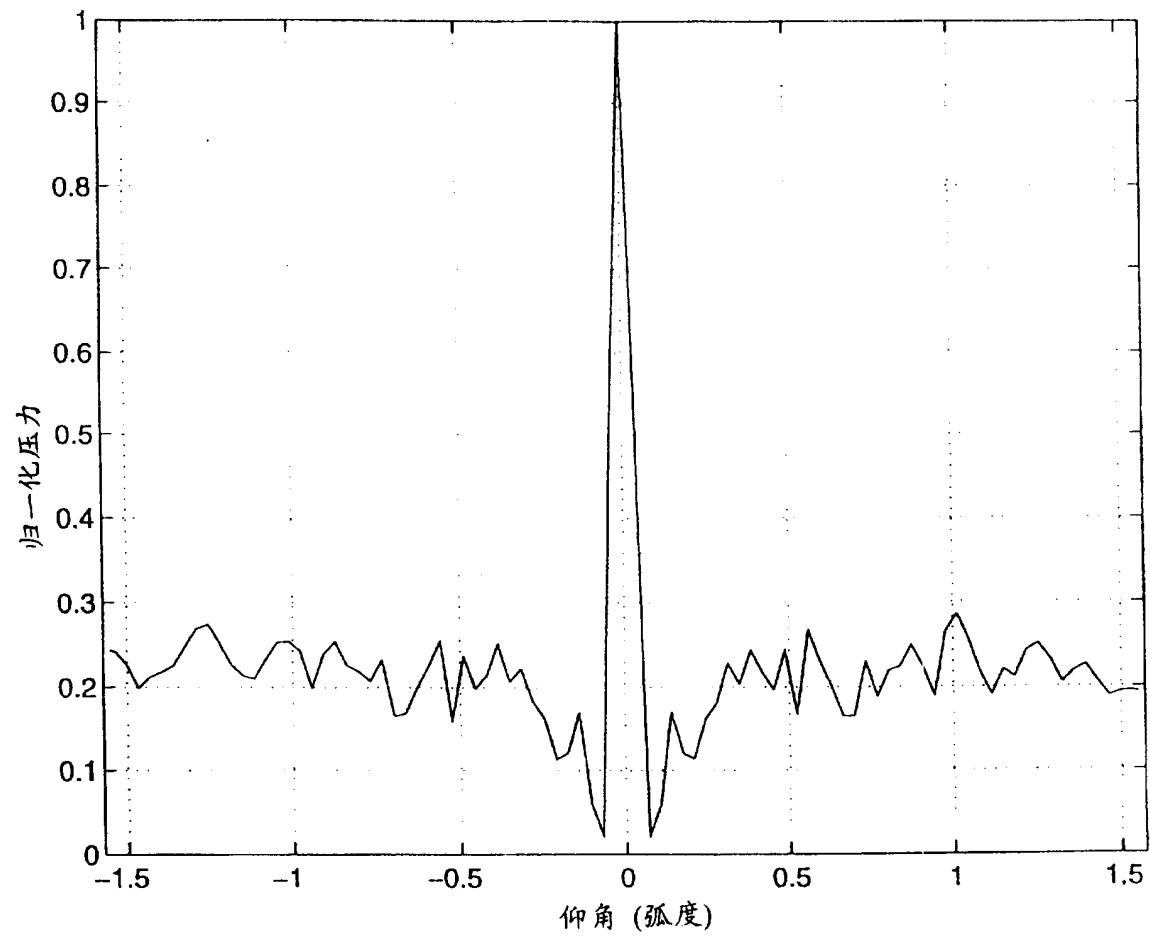


图 9

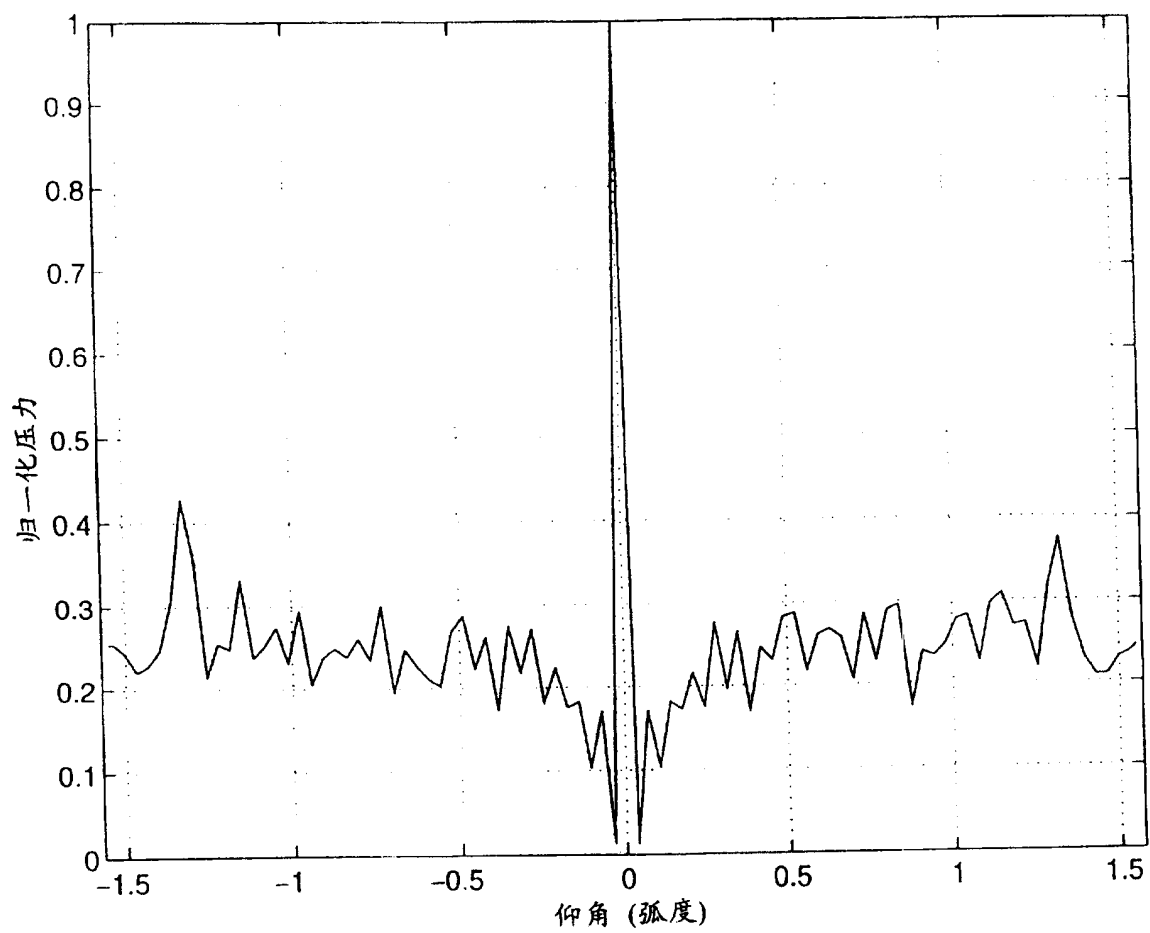


图 10

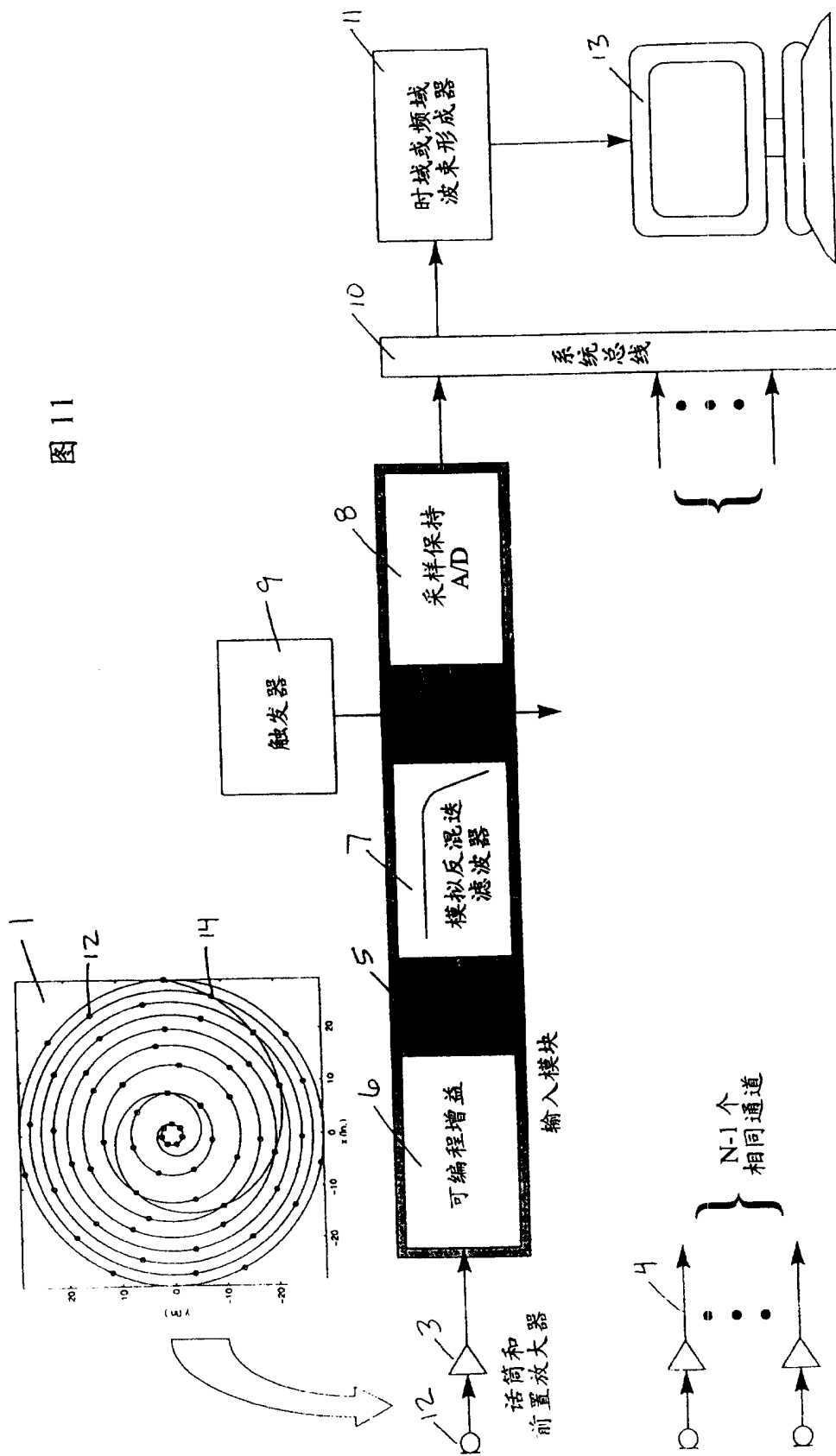


图 11