

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01S 3/72 (2006.01)

G01S 7/42 (2006.01)

G01S 3/50 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680011680.0

[43] 公开日 2008年4月2日

[11] 公开号 CN 101156077A

[22] 申请日 2006.3.14

[21] 申请号 200680011680.0

[30] 优先权

[32] 2005.4.11 [33] US [31] 11/103,965

[86] 国际申请 PCT/US2006/009834 2006.3.14

[87] 国际公布 WO2006/110262 英 2006.10.19

[85] 进入国家阶段日期 2007.10.11

[71] 申请人 纳夫科姆技术公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 S·A·斯蒂芬斯

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
代理人 张雪梅 张志醒

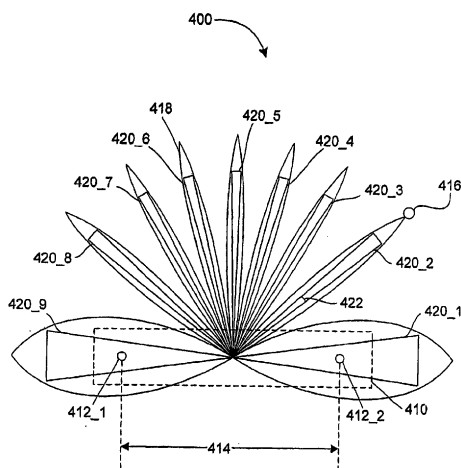
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 11 页

## [54] 发明名称

具有稀疏天线阵列的定位系统

## [57] 摘要

在定位系统的一个实施例中，发射元件被配置为发射至少一个具有载波信号频率的电磁脉冲。具有多个接收元件的天线阵列包括由大于半波长的间隔隔开的至少两个接收元件。该至少两个接收元件的每一个被配置为在一段时间接收返回信号。返回信号包括来自系统的探测区域内的物体的返回脉冲。波长对应于发射脉冲的载波信号频率。检测器被配置为处理来自一个接收元件和另一个接收元件的返回信号，以便分离在该至少两个接收元件的每一个接收的返回脉冲，并由此确定物体相对于系统的位置。



1. 一种定位系统，包括：

具有多个发射元件的天线阵列，该多个发射元件包括由大于半波长的间隔隔开且被配置为基本同时发射至少一组电磁脉冲的至少两个发射元件，

其中该至少两个发射元件的每一个被配置为发射脉冲组中的一个脉冲，每个脉冲具有相应的载波信号频率，并且波长对应于来自该至少两个发射元件的发射的脉冲的相应载波信号频率的平均；

接收机，其被配置为在一段时间接收返回信号，返回信号至少包括来自系统探测区域内的物体的第一返回脉冲和第二返回脉冲，其中第一返回脉冲对应于来自一个发射元件的发射脉冲，第二返回脉冲对应于来自另一个发射元件的发射脉冲；以及

检测器，其被配置为处理返回信号，以便将第一返回脉冲和第二返回脉冲分离，并由此确定物体相对于系统的位置，

其中检测器包括角分辨逻辑和方向分辨逻辑，角分辨率逻辑用于根据该至少两个发射元件之间的间隔确定物体的角位置，方向分辨逻辑用于根据接收机处的第一返回脉冲和第二返回脉冲的到达时间差确定物体的方向。

2. 权利要求 1 的系统，其中来自该至少两个发射元件的每一个的脉冲被不同地编码。

3. 权利要求 1 的系统，其中来自该至少两个发射元件的每一个的脉冲具有不同的载波信号相位。

4. 权利要求 1 的系统，其中来自该至少两个发射元件的每一个的脉冲具有不同的载波信号频率。

5. 权利要求 1 的系统，其中发射元件是全方向的。

6. 权利要求 1 的系统，其中来自该至少两个发射元件的发射脉冲具有极化，并且接收机优先接收具有该极化的返回信号。

7. 权利要求 6 的系统，其中极化选自线性极化、椭圆极化、右旋椭圆极化、左旋椭圆极化、右旋圆极化和左旋圆极化。

8. 权利要求 1 的系统，其中物体是无源反射器。

9. 权利要求 1 的系统，其中物体是有源地标。

10. 权利要求 1 的系统，进一步包括与前两个发射元件不共线的第

三发射元件，其中第三发射元件被配置为发射具有相应载波信号频率的脉冲。

11. 权利要求 10 的系统，进一步包括与其他发射元件不共面的第四发射元件，其中第四发射元件被配置为发射具有相应载波信号频率的脉冲。

12. 一种定位系统，包括：

发射元件，其被配置为发射具有载波信号频率的至少一个电磁脉冲；

具有多个接收元件的天线阵列，该多个接收元件包括由大于半波长的间隔隔开的至少两个接收元件，其中该至少两个接收元件的每一个被配置为在一段时间接收返回信号，返回信号包括来系统探测区域内的物体的返回脉冲，并且波长对应于发射脉冲的载波信号频率；以及

检测器，其被配置为处理来自一个接收元件和另一个接收元件的返回信号，以便分离在该至少两个接收元件的每一个处接收的返回脉冲，并由此确定物体相对于系统的位置，

其中检测器包括角分辨逻辑和方向分辨率逻辑，角分辨率逻辑用于根据该至少两个接收元件之间的间隔确定物体的角度位置，方向分辨率逻辑用于根据接收元件处的第一返回脉冲和第二返回脉冲的到达时间差确定物体的方向。

13. 权利要求 12 的系统，其中发射元件是全方向的。

14. 权利要求 12 的系统，其中发射脉冲具有极化，并且该至少两个接收元件的每一个优先接收具有该极化的返回信号。

15. 权利要求 14 的系统，其中极化选自线性极化、椭圆极化、右旋椭圆极化、左旋椭圆极化、右旋圆极化和左旋圆极化。

16. 权利要求 12 的系统，其中物体是无源反射器。

17. 权利要求 12 的系统，其中物体是有源地标。

18. 权利要求 12 的系统，进一步包括与前两个接收元件不共线的第三接收元件。

19. 权利要求 18 的系统，进一步包括与其他接收元件不共面的第四接收元件。

## 具有稀疏天线阵列的定位系统

本申请是2003年7月3日提交的美国专利申请 No. 10/614,097 的部分继续申请，这里全篇引用未决的美国专利申请 No. 10/614,097 作为参考。

### 技术领域

本发明总体涉及定位系统，更具体地，涉及使用稀疏天线阵列确定物体相对于定位系统的位置的系统和方法。

### 背景技术

本地定位系统在要求导航能力的移动设备中尤其在自控车辆和精密施工工具的应用中正成为重要的使能器。诸如 GPS 的全球定位系统仅提供了中等精度的位置信息，通常不会好于 10cm，并且要求天空到近地平线的清晰视野。具有分布在工作容积中的有源或无源部件的本地定位系统能允许更为精确 ( $<1\text{cm}$ ) 的定位，并且允许用户按照需要扩展系统，以在最为复杂的封闭几何形状中工作。

常规的本地定位系统包括声学 and 激光测距系统。声学系统典型地采用无线电应答信标来在设备网络内测量作用距离，设备的一些固定起来形成本地坐标系。不幸的是，由于声音在空气中传播的性质，声学系统仅能以厘米或更多的精度来测量作用距离，并且仅能在相对较短的距离上测距。基于激光的本地定位系统使用设备和诸如棱镜的一个或多个反射物体之间的角度和作用距离的测量来对物体的位置进行三角测量或三边测量。然后，激光系统目前使用昂贵的指向机制，这使得系统的花费高达 30k 美元或更多。

能够以几个毫米的精度确定 2D 或 3D 位置的相对低成本 ( $\leq 2000$  美元) 的本地定位系统将使得在诸如精密室内室外施工、采矿、精细农业和体育场割草及处理的应用领域中大量的潜在产品成为可能。本发明克服了传统本地定位系统的成本和精度限制。

### 发明内容

本发明的系统和方法提供了一种低成本、高精度的本地定位系统。

在系统的一个实施例中，具有多个发射元件的天线阵列被配置为基本上同时发射至少一组电磁脉冲，其中所述多个发射元件包括由大于半波长的间隔隔开的至少两个发射元件。该至少两个发射元件的每个被配置为发射在该组脉冲中具有相应载波信号频率的一个脉冲。该波长对应于来自该至少两个发射元件的发射脉冲的相应载波信号频率的平均。

接收机被配置为在一段时间接收返回信号。返回信号至少包括来自系统的探测区域内的物体的第一返回脉冲和第二返回脉冲。第一返回脉冲对应于来自一个发射元件的发射脉冲，而第二返回脉冲对应于来自另一个发射元件的发射脉冲。

检测器被配置为处理返回信号，使得第一返回脉冲和第二返回脉冲分离，并且因此确定物体相对于系统的位置。检测器包括角度分辨逻辑，其用于根据该至少两个发射元件之间的间隔确定物体的角位置，和方向分辨逻辑，其用于根据接收机处的第一返回脉冲和第二返回脉冲的到达时间差确定物体的方向。

在系统的另一个实施例中，发射元件被配置为发射具有载波信号频率的至少一个电磁脉冲。具有多个接收元件的天线阵列包括由大于半波长的间隔隔开的至少两个接收元件。该至少两个接收元件的每个被配置为在一段时间接收返回信号。返回信号包括来自系统的探测区域内的物体的返回脉冲。该波长对应于发射脉冲的载波信号频率。

检测器被配置为处理来自一个接收元件和另一个接收元件的返回信号，以便分离在该至少两个接收元件的每个接收的返回脉冲，并且因此确定物体相对于系统的位置。检测器包括角分辨逻辑，其用于根据该至少两个接收元件之间的间隔确定物体的角位置，和方向分辨逻辑，其用于根据接收元件处的第一返回脉冲和第二返回脉冲的到达时间差确定物体的方向。

提供了方法和设备实施例的其他变化。

#### 附图说明

结合附图阅读以下说明和随附权利要求将使本发明的其他目的和特征更显而易见。

图1是示出现有技术的天线阵列的框图。

图 2 示出了现有技术的离散傅立叶变换的样本。

图 3 示出了现有技术的天线阵列。

图 4 示出了具有稀疏天线阵列的定位系统。

图 5 示出了具有稀疏天线阵列的定位系统的实施例。

图 6 示出了具有稀疏天线阵列的定位系统的实施例。

图 7 示出了具有稀疏天线阵列的定位系统的实施例。

图 8 是具有稀疏天线阵列的定位系统的实施例中的典型部件的图解。

图 9 是用具有稀疏天线阵列的定位系统的实施例执行的操作的流程图。

图 10 是用具有稀疏天线阵列的定位系统的实施例执行的操作的流程图。

图 11 示出了对应于相对于一个和多个物体的一个或多个天线阵列的位置的作用距离库和角度库。

相似的参考数字在附图的几个视图中都表示相应的部分。

### 具体实施方式

下面将详细参考本发明的实施例，本发明的示例在附图中说明。在以下的详细描述中，为了提供本发明的彻底理解，阐述了许多具体细节。然而，对于本领域的普通技术人员显而易见的是没有这些具体细节也能实践本发明。在其他示例中，为了避免不必要地模糊本发明的各方面，并没有详细描述众所周知的方法、过程、部件和电路。

图 1 中示出了定位系统的现有方法。定位系统 100 包括具有发射元件 112 的天线阵列 110。天线阵列发射电磁波束 114\_1 到系统 100 的探测区域内的物体 116\_1。波束 114\_1 的方向与跟发射元件 112 在同一直线的水平方向之间的夹角为  $\theta$  118。作为时间的函数，波束 114\_1 典型的是连续的，其具有载波信号，该载波信号具有载波信号频率和相应的波长  $\lambda$ 。这种波束也被称为连续波 (CW)。波束 114\_1 的一部分从物体 116\_1 上反射。这个反射的波束被天线阵列 110 中的接收机 (未示出) 检测，该天线阵列允许在天线阵列 110 的位置分辨率之内确定物体 116\_1 相对于天线阵列 110 的位置。

位置分辨率组合了距离 (distance) 或作用距离 (range) 分辨率和

角度分辨率。天线阵列 110 的角度分辨率由多个因素确定，所述多个因素包括载波信号波长  $\lambda$ 、角度  $\theta_{118}$ 、两个相邻发射元件之间的最小间隔  $d_{120}$ （在此情况下，为发射元件 112\_4 和发射元件 112\_5）和发射元件 112 的最大距离 122。一般来说，对于这些因数的给定值，具有最小角度分辨率的天线阵列 110 是最可取的。

对于相邻发射元件间的间隔  $d_{120}$  相等的天线阵列，例如天线阵列 110 来说，发射元件 112 的最大距离 122 等于发射元件 112 的数目  $N$  乘以间隔  $d_{120}$  或等于  $Nd$ 。 $Nd$  是天线阵列 110 的有效数值孔径  $D$ 。在诸如 CW 定位系统 100 的成像系统的分辨能力上的经典的瑞利限制意味着长度为  $D$  的有效数值孔径达到的角度分辨率正比于  $\lambda/D$ 。这个角度分辨率对应于天线阵列 110 的增益模式中的波瓣的波束宽度。（注意增益模式与辐射强度成比例。）该波瓣通常是增益模式中的中心或主波瓣，因为这个波瓣通常具有最大的幅度，允许确定具有小截面积的物体的位置。增益模式中的相应波瓣的波束宽度是对于角度  $\theta_{118}$  等于  $90^\circ$  的最小值，即侧对着天线阵列 110。当角度  $\theta_{118}$  接近  $0^\circ$  或  $180^\circ$  时，波束宽度 - 以及对应于相应波瓣的角分辨率 - 增加。

天线阵列 110 的有效数值孔径  $D$  与角分辨率之间的反比关系可以通过对图 2 所示的现有离散傅立叶变换 200 的类比来理解。信号的多个时间采样 218 显示为作为时间 212 的函数的幅度 210。第一时间采样 214 和最后时间采样 216 定义了时间间隔 220。采样 218 的离散傅立叶变换 200 的频率分辨率与时间间隔 220 具有反比关系。

再参考图 1，可以使用施加到不同发射元件 112 的发射信号的相位或相对定时和/或幅度来电子地控制增益模式的主瓣，并因此改变角度  $\theta_{118}$ 。这种电子控制类似于时域信号的幅度调制。电子控制如图 1 的波束 114\_2 和物体 116\_2 所示。然而，电子控制有一些缺陷。值得注意地，对发射信号有精确定时的要求，并且随着角度  $\theta_{118}$  接近  $0^\circ$  或  $180^\circ$  角分辨率增加。解决这些挑战使得电子控制在对成本敏感的应用中不太理想。

从图 2 所示的对离散傅立叶变换 200 的类比中可以注意到，天线阵列 110 中的离散发射元件 112 也有效地对增益模式进行了空间采样。对于天线阵列 110，奈奎斯特准则是间隔  $d_{120}$  小于或等于半波长  $\lambda/2$  或  $d \leq \lambda/2$ 。对于  $d > \lambda/2$ ，增益模式被多重指定 (over specified) 并在天线

阵列 110 的可见区域上重复。对于角  $\theta_{118}$  等于  $90^\circ$  且  $d > \lambda$ ，这引起了栅瓣或条纹。对于角  $\theta_{118}$  等于  $0^\circ$  或  $180^\circ$ ，相应的准则是  $d > \lambda/2$ 。栅瓣基本上是采样过程中产生的谱图像。

栅瓣非常窄，允许很小的角分辨率。不过，如下面所讨论的，存在与它们相关的方向模糊。结果，对于 CW 波束 114，间隔  $d_{120}$  等于  $\lambda/2$  的天线阵列 110 达到最大方向性，即最小可分辨的角分辨率。 $d > \lambda/2$  的天线阵列被称为稀疏天线阵列。

图 3 示出了现有的定位系统 300，其包括具有间隔  $d_{314}$  等于  $\lambda/4$  的两个发射元件 312 的天线阵列 310。天线阵列 310 的有效数值孔径  $N$  与发射元件 312 之间的间隔  $d_{314}$  相同。发射阵列 310 具有增益模式 318。根据奈奎斯特准则，增益模式 318 中没有栅瓣。对于系统 300 的探测区域内的物体 316，增益模式 318 具有角分辨率 320，包括角 322，允许确定物体 316 的位置。

图 4 示出了定位系统 400，其包括具有间隔  $d_{414}$  等于  $4\lambda$  的两个发射元件 412 的天线阵列 410。间隔  $d_{414}$  违反了奈奎斯特准则，并导致增益模式 418 具有多个栅瓣。注意随着相应栅瓣接近与发射元件 412 共线，相应栅瓣的波束宽度在增加。这对应于角  $\theta_{118}$ （图 1）接近  $0^\circ$  或  $180^\circ$ 。虽然栅瓣允许物体 416 的位置的小角分辨率（如角 422），对于 CW 信号来说，天线阵列 410 不能区分信号 420\_2 与对应于增益模式 418 中其他栅瓣的其他信号 420。结果，物体 416 的位置上存在方向模糊。

图 5 示出了定位系统 500 的实施例，该系统包括具有间隔  $d_{414}$ （等于  $4\lambda$ ）违反奈奎斯特准则的两个发射元件 512 的稀疏天线阵列 510。定位系统 500 通过基本同时地从发射元件 512 发射至少一组脉冲来解决物体 416 的位置的方向模糊。发射元件 512 每个都被配置为发射脉冲组中的至少一个脉冲。每个脉冲具有相应的载波信号频率，并且波长  $\lambda$  对应于从该两个发射元件 512 发射的脉冲的相应载波信号频率的平均。

通过使用至少一个接收元件（未示出）分析对应于发射元件 512 发射的那些脉冲的脉冲的到达时间，可以确定对应于增益模式 418 中的合适栅瓣以及因此对应于物体 416 的信号 420\_2。具体地，到达时间 (ToA) 为：

$$\text{ToA} = 2\frac{r}{c},$$



其中  $r$  是到相应发射元件（例如发射元件 512\_1）的距离， $c$  是电磁信号的传播速度。已知真空中电磁信号的传播速度  $c$  近似为  $3.0 \times 10^8 \text{m/s}$ 。在典型的大气条件下，电磁信号的传播速度偏离该值小于 300ppm（百万分之几）。通过利用关于高度和其他环境因素的信息，可以将电磁信号在定位系统 500 的环境中的传播速度确定在 100ppm 之内。因此，脉冲到达时间分析允许确定从发射元件 512 到物体 516 的距离或作用距离，并确定增益模式 418 中合适的栅瓣。在一些实施例中，使用其中一个脉冲的到达时间来确定距离或作用距离。

定位系统 500 具有小角分辨率，天线阵列 510 的成本也不高。诸如天线阵列 110（图 1）的 CW 天线阵列需要更多的发射元件 112（图 1）才能达到可比的角分辨率，相应地复杂度和花费也更多了。尽管定位系统 500 具有两个发射元件 512，其他实施例可以具有多个发射元件，其中所述多个发射元件包括由大于半波长  $\lambda/2$  的间隔  $d$  414 分离的至少两个发射元件 512。

天线阵列 510 和物体 416 之间的作用距离信息和角度信息的组合允许确定天线阵列 510 的位置。典型地，定位系统 500 能够以 1cm 或更好的分辨率建立或确定位置。这在图 11 中对定位系统 1100 进行了图示。诸如物体 416（图 5）的一个或多个物体在由作用距离  $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$  和  $r_4$  定义的作用距离库和角度 1112、1114、1116 和 1118 定义的角度库 1120 中。在示范性实施例中，包括诸如天线阵列 510（图 5）的一个或多个天线阵列的设备 1108 的位置可以以 1cm 或更好的精度确定。

图 6 示出了具有稀疏天线阵列 610 的定位系统 600 的实施例。天线阵列 610 包括至少一个接收机 614 和多个发射元件 612，所述多个发射元件包括由大于半波长  $\lambda/2$  的间隔  $d$ （未示出）分离的至少两个发射元件 612\_1 和 612\_2。天线阵列 610 被配置为基本上同时发射至少一组电磁脉冲 616。该至少两个发射元件 612\_1 和 612\_2 的每个被配置为发射脉冲组 616 中的一个脉冲（616\_1 或 616\_2）。每个脉冲（616\_1 和 616\_2）具有相应的载波信号频率，并且波长  $\lambda$  对应于从该至少两个发射元件 612\_1 和 612\_2 发射的脉冲 616\_1 和 616\_2 的相应载波信号频率的平均。

接收机 614 被配置为在一段时间接收返回信号 620。返回信号 620 至少包括来自定位系统 600 的探测区域内的物体 618 的第一返回脉冲

622\_1 和第二返回脉冲 622\_2。第一返回脉冲 622\_1 对应于从发射元件 612\_1 发射的脉冲 616\_1，第二返回脉冲 622\_2 对应于从发射元件 612\_2 发射的脉冲 616\_2。

定位系统 600 中的检测器（未示出）被配置为处理返回信号 620，以便将第一返回脉冲 622\_1 和第二返回脉冲 622\_2 分离，并因此确定物体 618 相对于定位系统 600 的位置。检测器包括角分辨率逻辑，其用于根据该至少两个发射元件 612\_1 和 612\_2 之间的间隔  $d$  确定物体 618 的角位置，和方向分辨率逻辑，其用于根据接收机 614 处的第一返回脉冲 622\_1 和第二返回脉冲 622\_2 到达时间差确定物体 618 的方向。

在定位系统 600 的一些实施例中，用于该至少两个发射元件 612\_1 和 612\_2 的每个的脉冲 616\_1 和 616\_2 被不同地编码。在定位系统 600 的一些实施例中，用于该至少两个发射元件 612\_1 和 612\_2 的每个的脉冲 616\_1 和 616\_2 具有不同的载波信号相位。在定位系统 600 的一些实施例中，用于该至少两个发射元件 612\_1 和 612\_2 的每个的脉冲 616\_1 和 616\_2 具有不同的载波信号频率。在定位系统 600 的一些实施例中，对于发射元件 612，可以用不同的增益轮廓来区分脉冲 616，由此修改返回信号 620 中的返回脉冲 622 的幅度。

在定位系统 600 的一些实施例中，发射元件 612 是全方向的。在定位系统 600 的一些实施例中，从该至少两个发射元件 612 的每个发射的脉冲 616 具有极化，并且接收机 614 优先接收具有该极化的返回信号 620。极化包括线性极化、椭圆极化、右旋椭圆极化、左旋椭圆极化、右旋圆极化和左旋圆极化。

在定位系统 600 的一些实施例中，物体 618 是无源反射器。在定位系统 600 的一些实施例中，物体 618 是有源地标。有源地标发射对应于天线阵列 610 发射的一个或多个脉冲 616 的返回脉冲。

在定位系统 600 的一些实施例中，天线阵列 610 包括不与前两个发射元件 612\_1 和 612\_2 共线的第三发射元件 612\_3。第三发射元件 612\_3 被配置为发射具有相应载波信号频率的脉冲 616\_3。在定位系统 600 的一些实施例中，天线阵列 610 包括不与其他发射元件 612\_1、612\_2 和 612\_3 共面的第四发射元件 612\_4。第四发射元件 612\_4 被配置为发射具有相应载波信号频率的脉冲 616\_4。在定位系统 600 的示范性实施例中，发射元件 612 被排列为四面体。在定位系统 600 的其他实施例中，

天线阵列 610 包括附加发射元件和/或诸如接收机 614 的附加接收机。

非共线的第三发射元件 612<sub>3</sub> 和/或非共面的第四发射元件 612<sub>4</sub> 允许在三维上确定到物体 618 的角度。例如，如果不共线的三个发射元件 612 的位置已知，则可能根据物体 618 到每个发射元件 612 的作用距离的知识明确确定物体 618 的位置。可选地，如果发射元件 612 不共面，使用具有已知位置的四个发射元件 612 将允许根据物体 618 到每个发射元件 612 的作用距离的知识明确确定物体 618 的位置。基于一个或多个作用距离确定位置的算法对于本领域的技术人员是众所周知的。例如，参考 H.Edelsbruner 和 T.S.Tan 的“Quadratic time algorithm for the minmax length triangulation”，pp.414-423, Proceedings of the 32nd Annual Symposium on Foundations of Computer Science, 1991, San Juan, Puerto Rico, 此处全文引入，作为参考。

相应的载波信号频率和对应的波长可以在射频波段、超高频率波段、非常高的频率波段或微波频率波段。

根据互易性原理，具有一个发射元件和由大于半波长  $\lambda/2$  的间隔  $d$  隔开的至少两个接收元件的实施例也可以实现定位系统。这在图 7 的定位系统 700 的实施例中进行了图示。天线阵列 710 具有发射元件 712，其发射具有载波信号频率和波长  $\lambda$  的至少一个电磁脉冲 716。天线阵列 710 具有多个接收元件 714，所述多个接收元件包括由大于半波长  $\lambda/2$  的间隔  $d$  (未示出) 隔开的至少两个接收元件 714<sub>1</sub> 和 714<sub>2</sub>。该至少两个接收元件 714<sub>1</sub> 和 714<sub>2</sub> 的每个被配置为在一段时间接收返回信号 720<sub>1</sub> 和 720<sub>2</sub>，返回信号 720<sub>1</sub> 和 720<sub>2</sub> 包括来自定位系统 700 的探测区域内的物体 718 的返回脉冲。

定位系统 700 中的检测器 (未示出) 被配置为处理分别来自一个接收元件 714<sub>1</sub> 和另一个接收元件 720<sub>2</sub> 的返回信号 720<sub>1</sub> 和 720<sub>2</sub>，以便将在该至少两个接收元件 714<sub>1</sub> 和 714<sub>2</sub> 的每一个处接收的返回脉冲分离开，并因此确定物体 718 相对于定位系统 700 的位置。检测器包括角分辨率逻辑，其用于根据该至少两个接收元件 714<sub>1</sub> 和 714<sub>2</sub> 之间的间隔  $d$  确定物体 718 的角位置，和方向分辨率逻辑，其用于根据分别在接收元件 714<sub>1</sub> 和 714<sub>2</sub> 处的第一返回脉冲和第二返回脉冲的到达时间差确定物体 718 的方向。根据一个或多个返回脉冲的到达时间也可以确定到物体 718 的距离或作用距离。

在定位系统 700 的一些实施例中，发射元件是全方向的。在定位系统 700 的一些实施例中，从发射元件 712 发射的一个或多个脉冲具有极化，并且接收机 714 优先接收具有该极化的返回信号 720。极化包括线性极化、椭圆极化、右旋椭圆极化、左旋椭圆极化、右旋圆极化和左旋圆极化。

在定位系统 700 的一些实施例中，物体 718 是无源反射器。在定位系统 700 的一些实施例中，物体 718 是有源地标。

在定位系统 700 的一些实施例中，天线阵列 710 包括与前两个接收元件 714\_1 和 714\_2 不共线的第三接收元件 714\_3。第三接收元件 714\_3 被配置为接收包含具有载波信号频率的脉冲的信号 720\_3。在定位系统 700 的一些实施例中，天线阵列 710 包括与其他接收元件 714\_1、714\_2 和 714\_3 不共面的第四接收元件 717\_4。第四接收元件 717\_4 被配置为接收包含具有载波信号频率的脉冲的信号 720\_4。在定位系统 700 的示范性实施例中，接收元件 714 被排列为四面体。在定位系统 700 的其他实施例中，天线阵列 710 包括诸如发射元件 712 的附加发射元件和/或附加接收机 714。

如上面讨论定位系统 600 的讨论，非共线的第三接收元件 714\_3 和/或非共面的第四接收元件 714\_4 允许在三维上确定到物体 718 的角度。

图 8 示出了适合用于定位系统的实施例 600 和 700 的检测器 800 的实施例。检测器 800 包括前端电路 812 和用于修改一个或多个信号的信号处理器 814。所述修改可以包括放大、滤波和/或调制编码的去除。检测器 800 包括一个或多个处理单元 (CPU) 816，具有主要和辅助存储器的存储设备 818，以及用于连接这些部件的一个和多个通信总线 810。在可选实施例中，检测器 800 的一些或所有功能可以在一个和多个专用集成电路 (ASIC) 中实现，由此消除了对处理单元 816 的需要或减弱了处理单元 816 的角色。存储设备 818 可以包括高速随机存取存储器，也可以包括非易失性存储器，例如一个或多个磁盘储存设备。存储设备 818 可以包括远离处理单元 816 的海量存储器。

存储设备 818 存储有操作系统 820，操作系统包括用于处理各种用于完成基于硬件的任务的基本系统服务的程序。存储设备 818 还存储一个或多个程序模块 822。程序模块 822 包括位置确定模块 824，以确定诸如定位系统 600 和 700 的定位系统的探测区域内的一个或多个物体的

位置。位置确定模块包括角分辨模块 826、方向分辨模块 828 和作用距离确定模块 830。方向分辨模块 828 在增益模式中确定对应于物体的合适栅瓣。

存储设备 818 中的模块由处理单元 816 执行。此外，检测器 800 可以包括可执行程序、子模块、表和其他数据结构（未示出）。在一些实施例中，可以使用附加或不同的模块和数据结构，并且上面列出的模块和/或数据结构的一些也可以不被使用。在一些实施例中，如本领域所公知的，可以较多在硬件和较少在软件或者较少在硬件和较多在软件来实现检测器 800 的性能。

图 9 是利用具有稀疏天线阵列的定位系统的实施例执行的操作的流程图。在开始 910 之后，从多个位置基本同时发射 912 至少一组电磁脉冲，其中所述多个位置包括由大于半波长  $\lambda/2$  的间隔  $d$  隔开的至少两个发射位置。波长  $\lambda$  对应于在脉冲组中的脉冲的相应载波信号频率的平均。

在一段时间接收 914 返回信号。返回信号至少包括来自系统的探测区域内的物体的第一返回脉冲和第二返回脉冲。第一返回脉冲对应于脉冲组中的一个发射脉冲，第二返回脉冲对应于脉冲组中的另一个发射脉冲。处理返回信号，以便将第一返回脉冲和第二返回脉冲分离开 916。确定 818 包括角分辨率和方向分辨率的物体位置，过程结束 920。在一些实施例中，根据一个或多个返回脉冲的到达时间确定距离或作用距离。根据该至少两个发射位置之间的间隔  $d$  确定角分辨率，根据第一返回脉冲和第二返回脉冲的到达时间差确定方向分辨率。

图 10 是利用具有稀疏天线阵列的定位系统的实施例执行的操作的流程图。开始 1010 之后，发射 1012 至少一个电磁脉冲。该脉冲具有载波信号频率和波长  $\lambda$ 。在一段时间在多个位置接收 1014 返回信号，其中所述多个位置包括由大于半波长  $\lambda/2$  的间隔  $d$  隔开的至少两个接收位置。返回信号包括来自系统探测区域内的物体的返回脉冲。

处理返回信号，以便从在该至少两个接收位置接收的返回信号中分离 1016 返回脉冲。确定 1018 包括角分辨率和方向分辨率的物体位置，过程结束 1020。在一些实施例中，根据一个或多个脉冲的到达时间确定距离或作用距离。根据该至少两个接收位置之间的间隔  $d$  确定角分辨率，根据接收位置处的返回脉冲的到达时间差确定方向分辨率。

在一些实施例中，确定物体相对于定位系统的位置的方法包括从多个位置基本同时发射至少一组电磁脉冲，其中所述多个位置包括由大于半波长的间隔隔开的至少两个发射位置，并在一段时间接收返回信号。波长对应于脉冲组中的脉冲的相应载波信号频率的平均。返回信号至少包括来自系统探测区域内的物体的第一返回脉冲和第二返回脉冲。第一返回脉冲对应于脉冲组中的一个发射脉冲，第二返回脉冲对应于脉冲组中的另一个发射脉冲。该方法还包括处理返回信号，以便分离第一返回脉冲和第二返回脉冲，并确定具有角分辨率和方向分辨率的物体位置。根据该至少两个发射位置之间的间隔确定角分辨率，根据第一返回脉冲和第二返回脉冲的到达时间差确定方向分辨率。

来自该至少两个发射位置的发射脉冲可以被不同地编码。来自该至少两个发射位置的发射脉冲可以具有不同的载波信号相位。来自该至少两个发射位置的发射脉冲可以具有不同的载波信号频率。

该至少两个发射脉冲的发射可以是全方向的。该至少两个发射脉冲可以具有极化，并且优先接收具有该极化的返回信号。

极化可以选自线性极化、椭圆极化、右旋椭圆极化、左旋椭圆极化、右旋圆极化和/或左旋圆极化。

在一些实施例中，物体可以是无源反射器。在一些实施例中，物体可以是有源地标。

该方法可以进一步包括从与前两个发射位置不共线的第三发射位置发射具有相应载波频率的第三脉冲。

该方法还可以进一步包括从与其他发射位置不共面的第四发射位置发射具有相应载波频率的第四脉冲。

在其他实施例中，确定物体相对于定位系统位置的方法包括发射具有载波信号频率的至少一个电磁脉冲，并在一段时间在多个位置接收返回信号，其中所述多个位置包括由大于半波长的间隔隔开的至少两个接收位置。返回信号包括来自系统探测区域内的物体的返回脉冲，波长对应于发射脉冲的载波信号频率。该方法进一步包括处理返回信号，以便从该至少两个接收位置的每一个接收的返回信号中分离返回脉冲，并确定具有角分辨率和方向分辨率的物体位置。根据该至少两个接收位置之间的间隔确定角分辨率，根据接收位置处的返回脉冲的到达时间差确定方向分辨率。

发射脉冲的发射可以是全方向的。

发射脉冲可以具有极化，接收可以优先接收具有该极化的返回信号。极化可以选自线性极化、椭圆极化、右旋椭圆极化、左旋椭圆极化、右旋圆极化和/或左旋圆极化。

在一些实施例中，物体是无源反射器。在一些实施例中，物体是有源地标。

该方法可以进一步包括在与前两个接收位置不共线的第三接收位置接收返回信号。

该方法还可以进一步包括在与其他接收位置不共面的第四接收位置接收返回信号。

为了便于解释，以上的描述使用了特定的名称，以提供本发明的彻底理解。然而，对本领域的技术人员显而易见的是为了实践本发明并不需要具体细节。对实施例的选择和描述是为了最好地解释本发明的原理和其实际应用，以便能使本领域的其他技术人员最好地利用本发明和各种具有适于特定应用的各种修改的实施例。因此，上述的公开内容并不打算作毫无遗漏的描述，或者将本发明限于公开的确定形式。鉴于上述教导可能有许多修改和变化。

意在用以下的权利要求以及它们的同等物来定义本发明的范围。

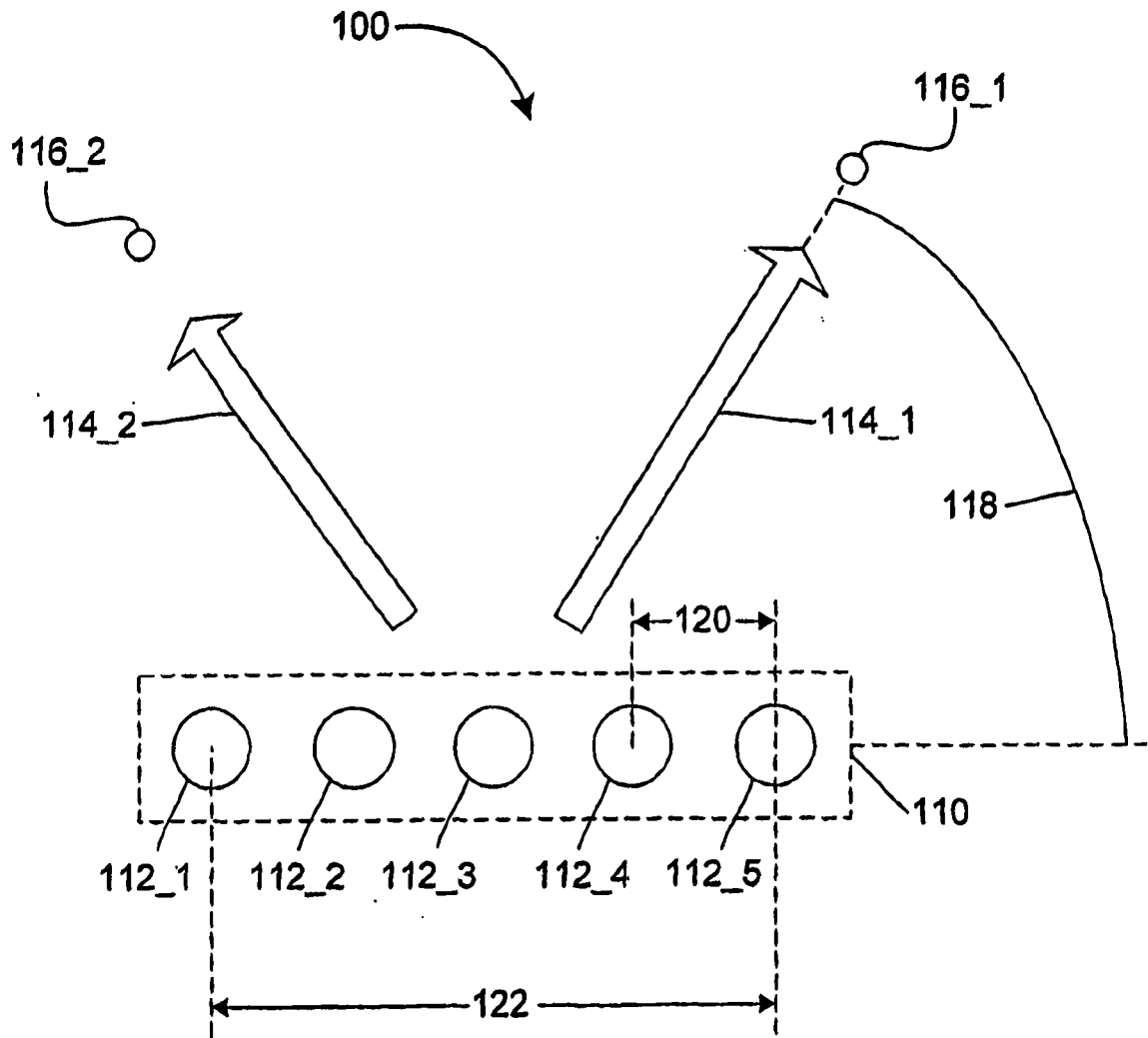


图 1  
(现有技术)



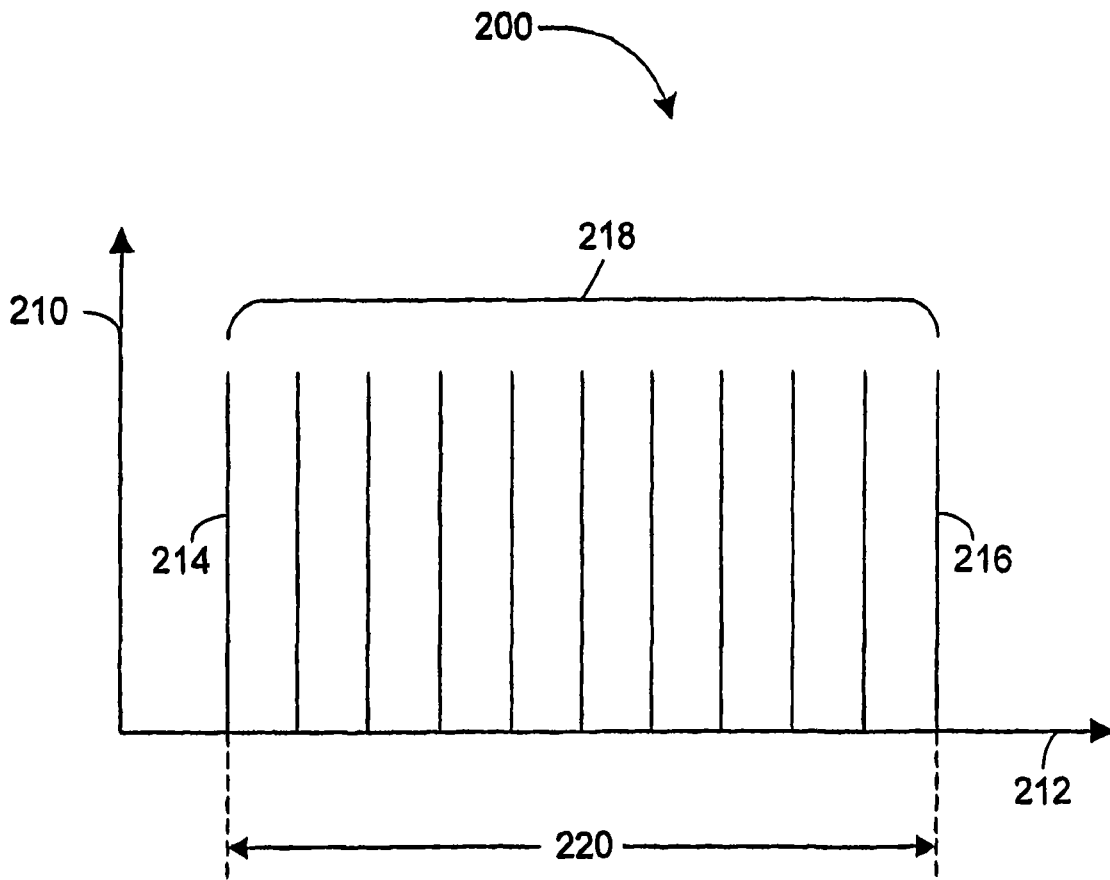


图 2  
(现有技术)

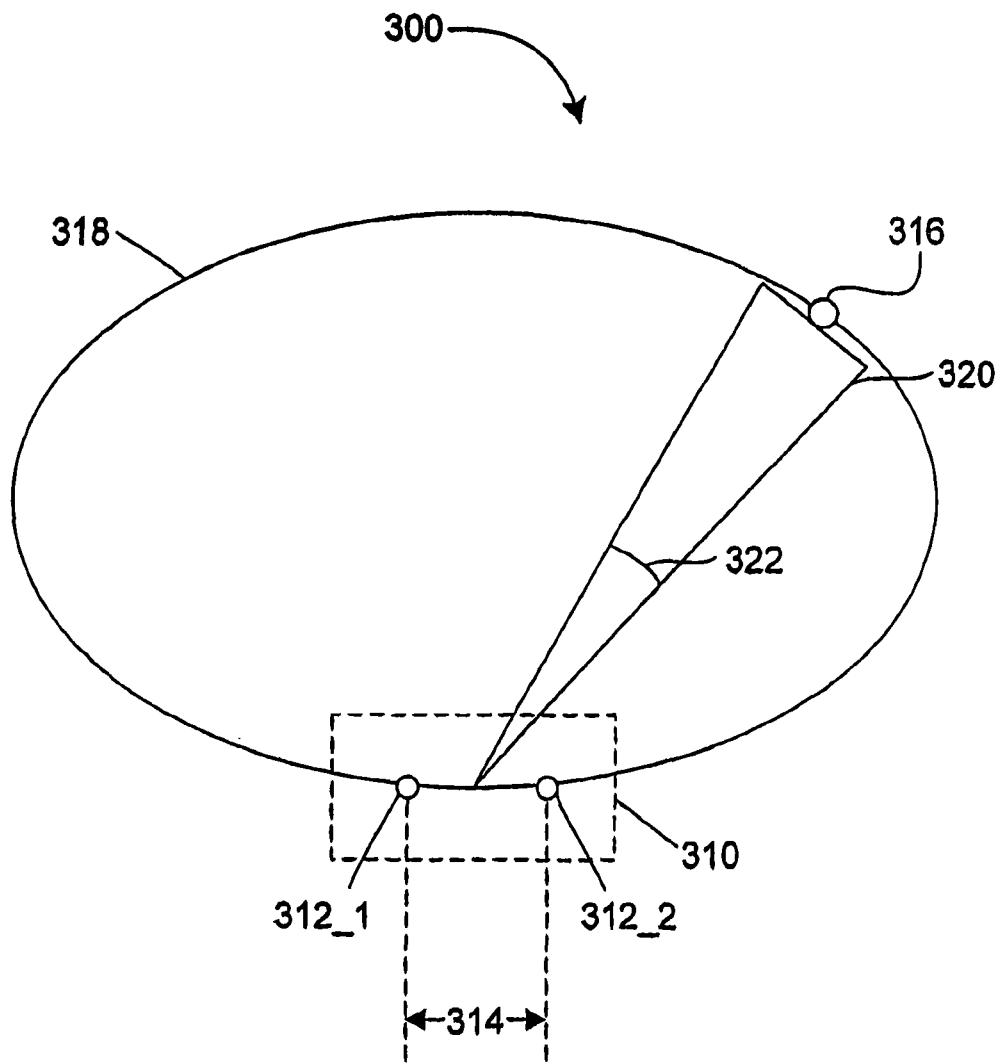


图 3  
(现有技术)

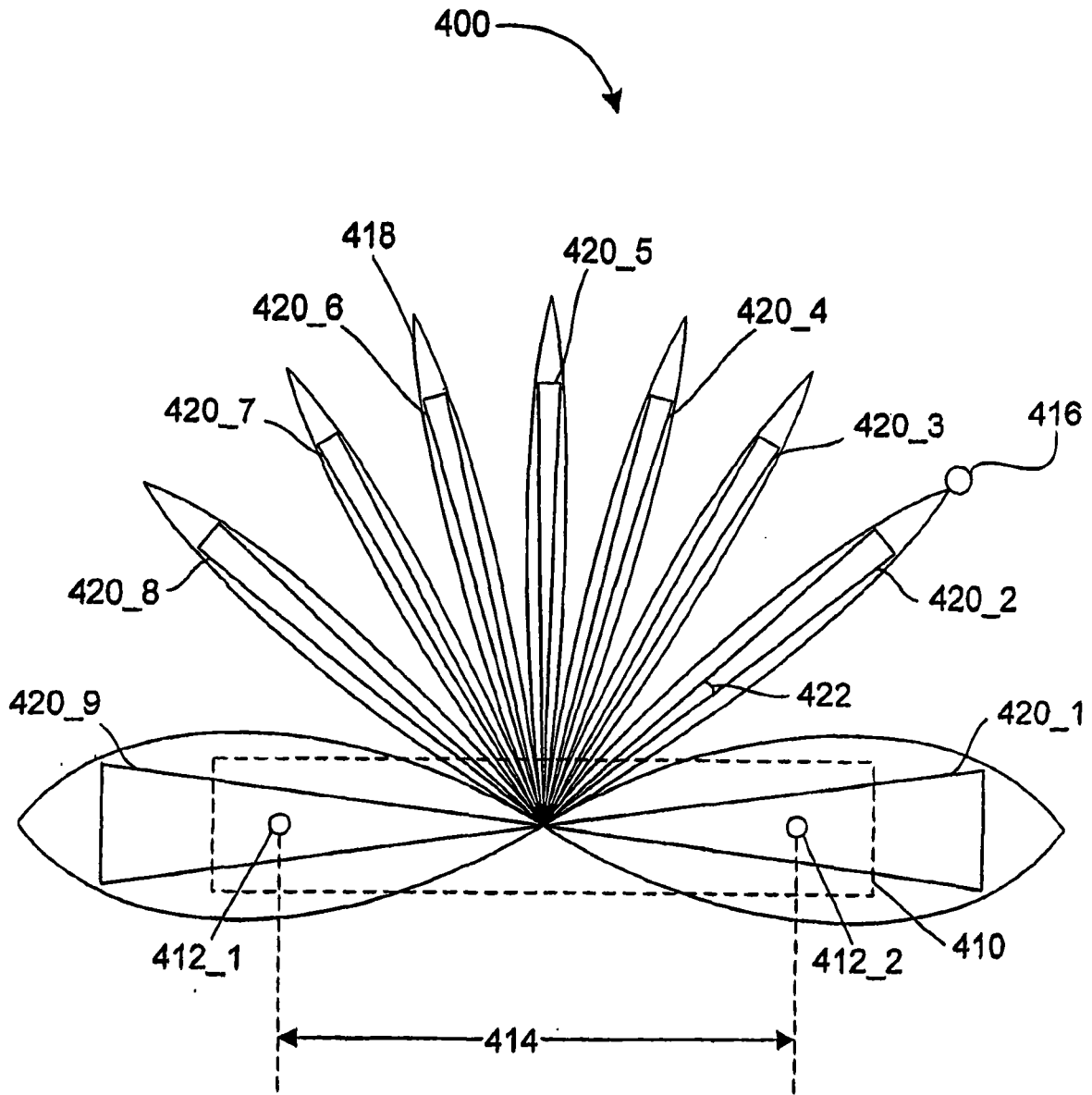


图 4

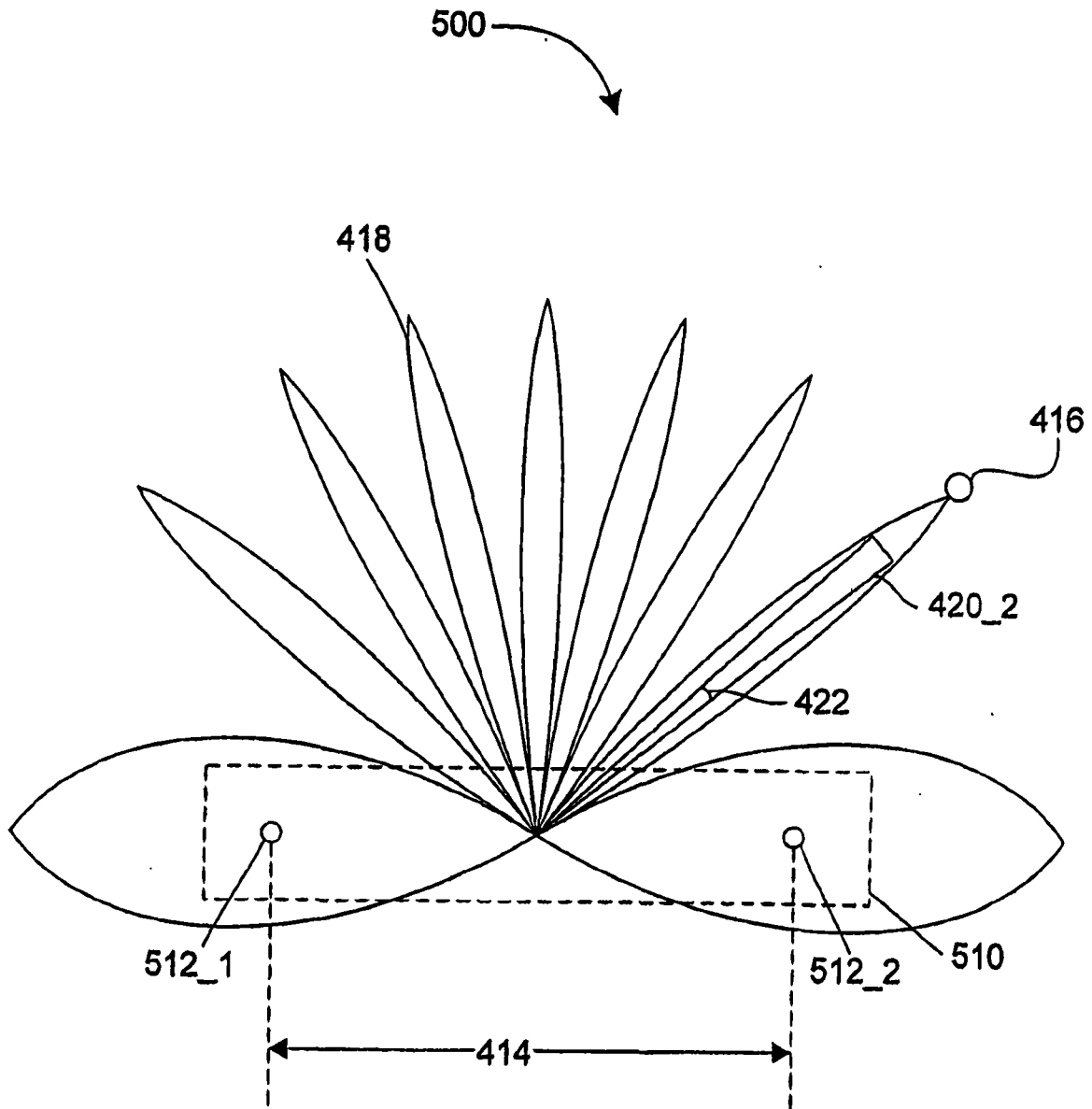


图 5

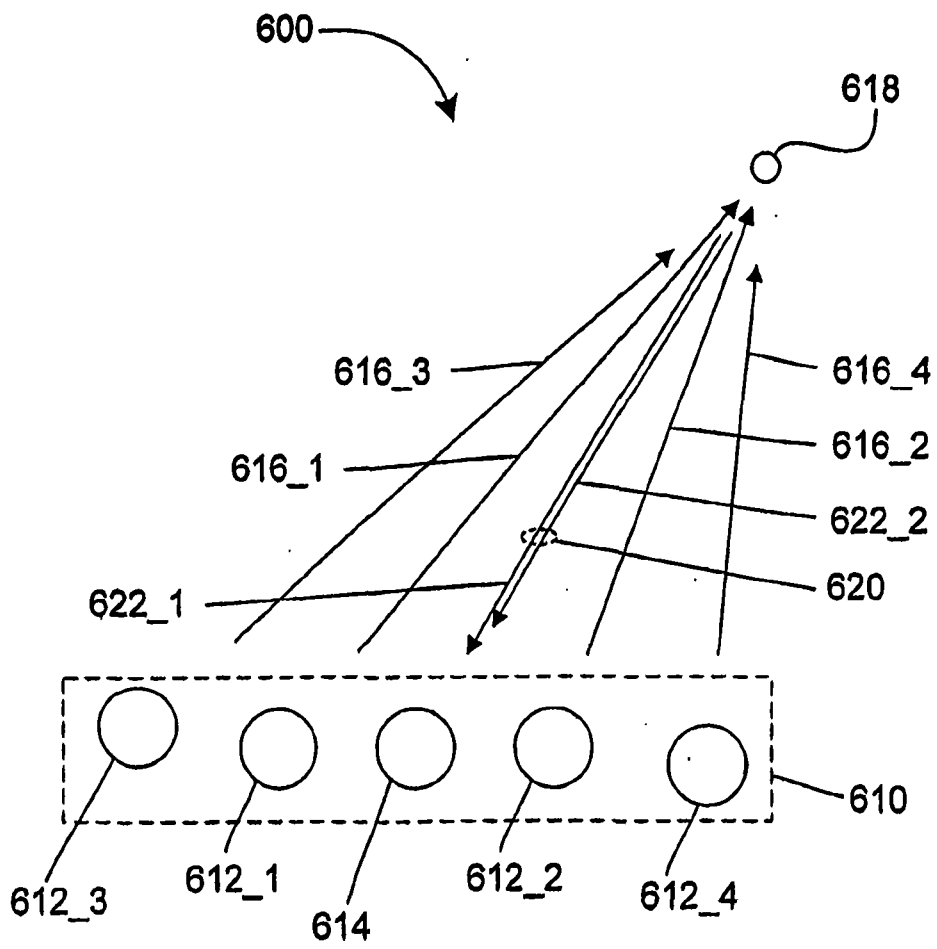


图 6

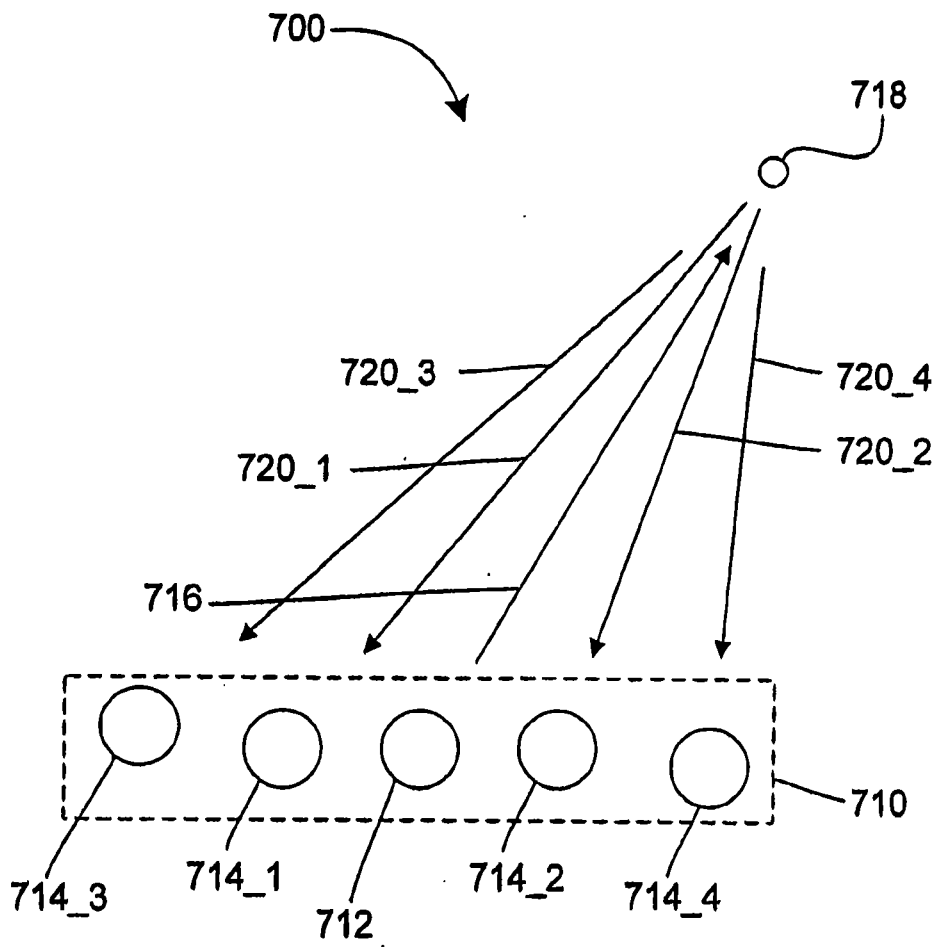


图 7

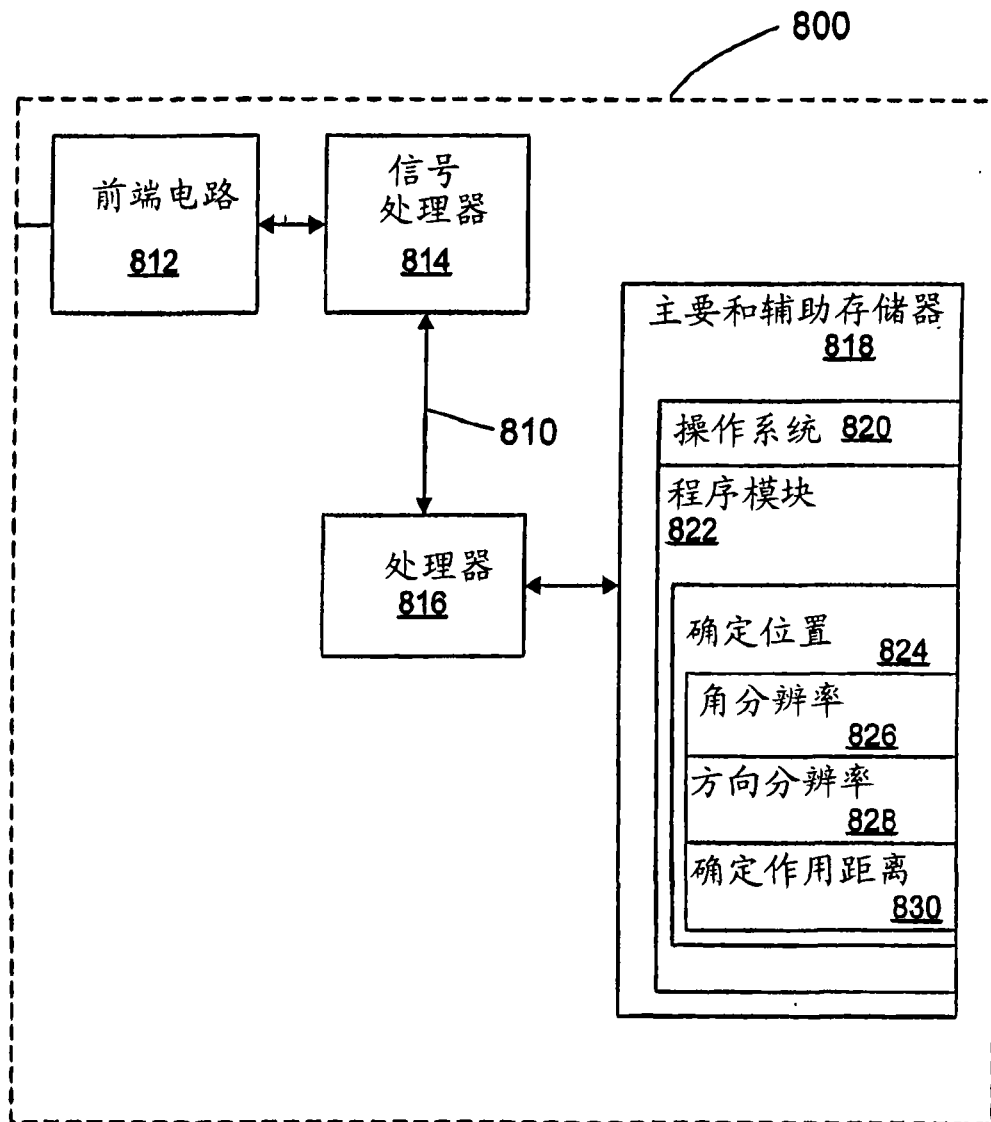


图 8

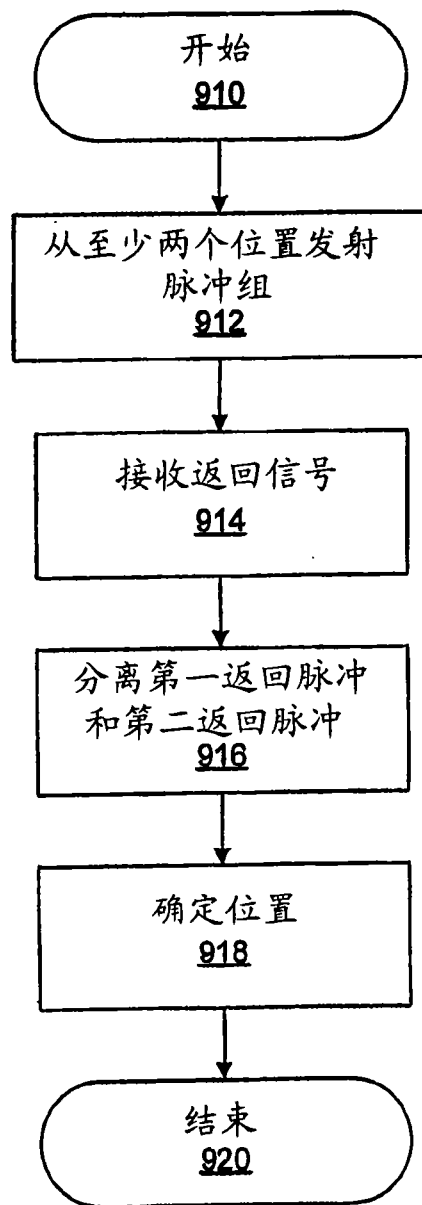


图 9



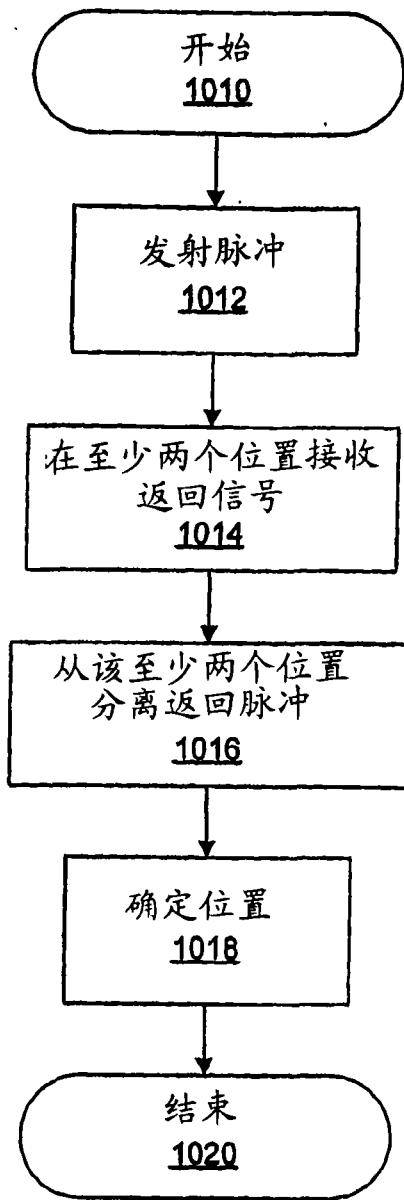


图 10

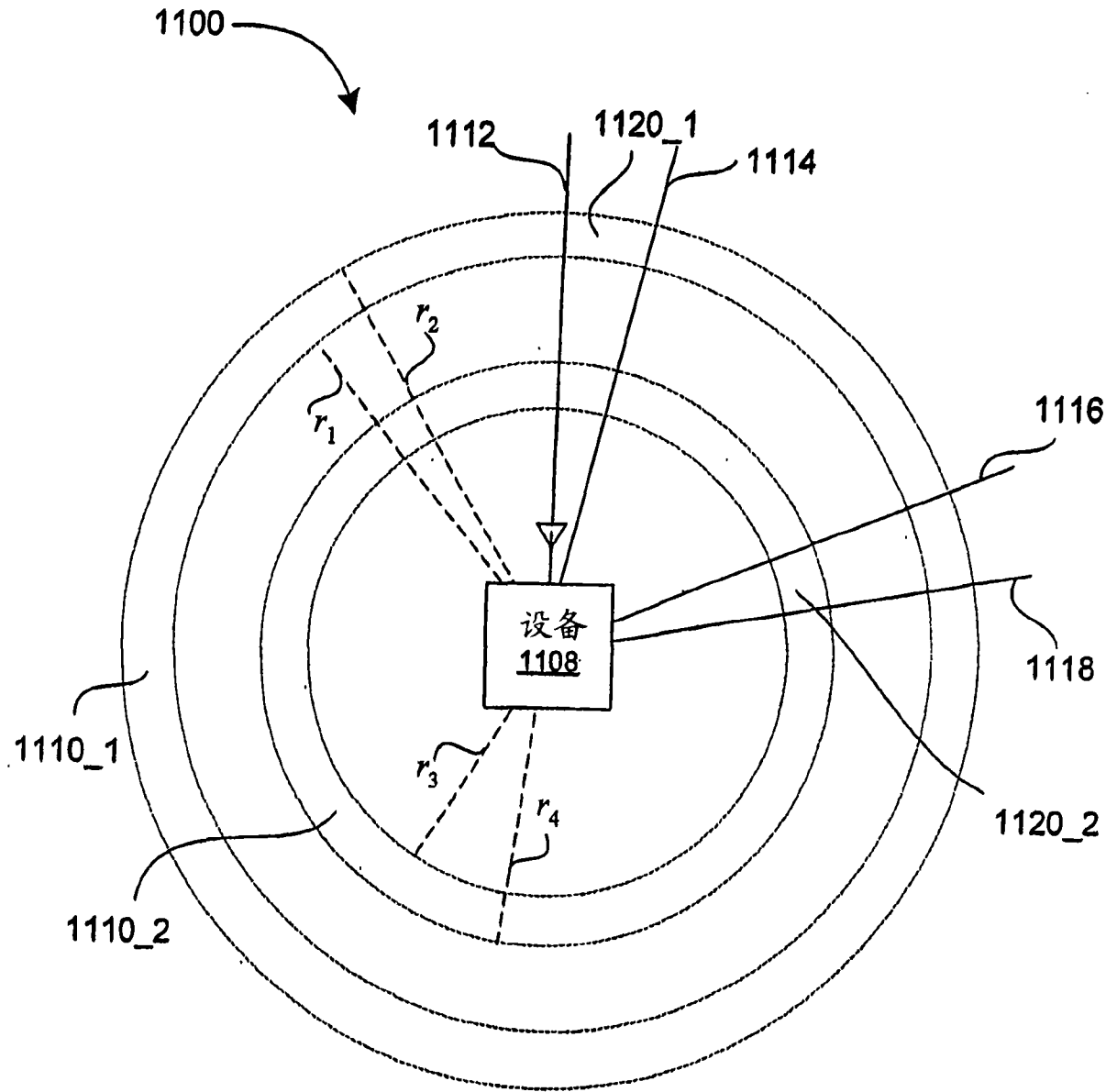


图 11