



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109638478 A  
(43)申请公布日 2019.04.16

(21)申请号 201811158719.2

(22)申请日 2018.09.30

(30)优先权数据

15/727,429 2017.10.06 US

(71)申请人 波音公司

地址 美国伊利诺伊州

(72)发明人 D·B·彼得森

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 黄纶伟 李辉

(51)Int.Cl.

H01Q 21/22(2006.01)

H01Q 21/29(2006.01)

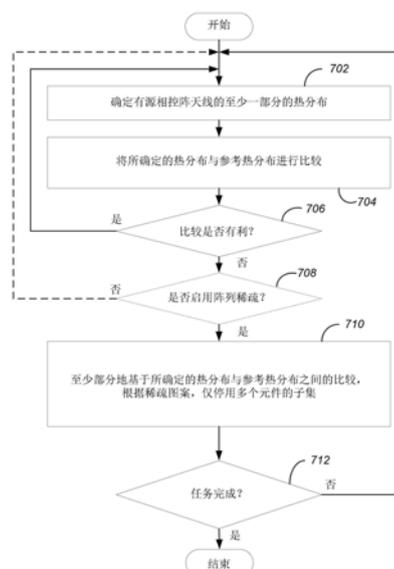
权利要求书2页 说明书9页 附图14页

(54)发明名称

用于热管理的有源电子扫描天线的自适应稀疏

(57)摘要

用于热管理的有源电子扫描天线的自适应稀疏。本发明公开了一种用于自适应地控制包括多个元件的有源相控阵天线的系统和方法。在一个实施方式中,该方法包括确定有源相控阵天线的至少一部分的热分布,将所确定的热分布与参考热分布进行比较,并且至少部分地基于所确定的热分布与参考热分布之间的比较,根据稀疏图案仅停用多个元件的子集。通过执行前述操作的装置来例证另一实施方式。



1. 一种自适应地控制包括多个元件的有源相控阵天线的方法,该方法包括以下步骤:  
确定所述有源相控阵天线的至少一部分的热分布;  
将所确定的热分布与参考热分布进行比较;以及  
至少部分地基于所确定的热分布与所述参考热分布之间的比较,根据稀疏图案仅停用所述多个元件的子集。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中:  
确定所述有源相控阵天线的所述至少一部分的所述热分布的步骤包括确定所述有源相控阵天线的如下的至少一部分的热分布,即,该至少一部分具有比所述有源相控阵天线的其它部分更高的热分布;并且  
所述稀疏图案在整个所述有源相控阵天线中是不均匀的,并且被选择为使得所述多个元件的停用子集被布置为更靠近所述有源相控阵天线的具有比所述多个元件中的其它元件更高的热分布的所述至少一部分。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述稀疏图案在整个所述有源相控阵天线中基本上是均匀的。
4. 根据权利要求3所述的方法,其中,所述热分布包括所述有源相控阵天线的所述至少一部分的热密度和所述有源相控阵天线的所述至少一部分的最高温度中的至少一个。
5. 根据权利要求3所述的方法,其中,所述稀疏图案依据波束宽度约束和峰值旁瓣约束使轴上等效各向同性辐射功率EIRP最大化。
6. 根据权利要求3所述的方法,其中,所述稀疏图案依据轴外等效各向同性辐射功率EIRP谱密度约束使轴上等效各向同性辐射功率EIRP谱密度最大化。
7. 根据权利要求6所述的方法,其中,至少部分地基于所确定的热分布与所述参考热分布之间的比较而根据稀疏图案停用所述多个元件的子集的步骤包括:  
至少部分地根据所确定的热分布与所述参考热分布之间的差异来生成期望的热分布减小;以及  
根据所述期望的热分布减小、所述轴上EIRP谱密度和所述轴外EIRP谱密度约束来确定稀疏图案,其中,所述轴外EIRP谱密度约束包括限定最大旁瓣能量的旁瓣屏蔽。
8. 根据权利要求6所述的方法,其中:  
所述参考热分布是小于最大热分布的触发热分布。
9. 根据权利要求1所述的方法,其中,确定所述有源相控阵天线的热分布的步骤包括测量所述有源相控阵天线的温度。
10. 根据权利要求1所述的方法,其中,确定所述有源相控阵天线的热分布的步骤包括估计所述有源相控阵天线的温度,根据以下中的一个或多个估计所述温度:  
以通信的方式连接以向所述有源相控阵天线的辐射元件提供输入信号的发射器的功耗;  
对所述发射器的要求功率;  
所述有源相控阵天线附近的环境温度;以及  
所述有源相控阵天线的空速。
11. 根据权利要求1所述的方法,其中:  
所述稀疏图案是多个预先计算的稀疏图案之一;以及

所述稀疏图案被选择为预先计算的稀疏图案之一。

12. 根据权利要求1所述的方法,其中,实时地计算所述稀疏图案。

13. 一种用于自适应地控制包括多个元件的有源相控阵天线的装置,该装置包括:  
热分布确定模块,其用于确定所述有源相控阵天线的至少一部分的热分布;  
比较模块,其用于将所确定的热分布与参考热分布进行比较;以及  
稀疏图案确定模块,其用于至少部分地基于所确定的热分布与所述参考热分布之间的比较,根据稀疏图案仅停用所述多个元件的子集。

14. 根据权利要求13所述的装置,其中,所述热分布包括所述有源相控阵天线的所述至少一部分的热密度和所述有源相控阵天线的最高温度中的至少一个。

15. 根据权利要求13所述的装置,其中:

所述热分布确定模块确定所述有源相控阵天线的如下的部分的热分布,即,该部分具有比所述有源相控阵天线的其它部分更高的热分布;并且

所述稀疏图案在整个所述有源相控阵天线中是不均匀的,并且被选择为使得所述多个元件的停用子集被布置为更靠近所述有源相控阵天线的具有比所述多个元件中的其它元件更高的热分布的所述至少一部分。

## 用于热管理的有源电子扫描天线的自适应稀疏

### 技术领域

[0001] 本公开涉及用于使用有源相控阵天线的系统和方法,并且具体地,涉及用于为了热管理的目的而自适应地稀疏与有源相控阵天线一起使用的元件的系统和方法。

### 背景技术

[0002] 近年来,对无线通信服务的需求增加。这种增加的需求包括对往返于飞机的无线通信服务的期望。这种无线通信通常通过使用有源相控阵天线来实现。这样的天线包括辐射元件的相控阵列,辐射元件被单独地控制以改变天线的特性,例如波束方向、波束宽度和旁瓣。

[0003] 在许多情况下,无线通信经由卫星通信(SATCOM)来实现,并且随着空中SATCOM市场朝着更高数据速率和更高频率移动,相控阵的功率密度增加,并且热管理变得越来越困难。有源相控阵天线的液体冷却是可能的,但更昂贵且不合需要。相反,对流冷却对于空中应用是理想的。

[0004] 当天线设置在飞行器上时,有源相控阵天线的对流冷却是有效的。然而,当飞机在温度较高且风速较小的地面上时,对流冷却并不那么有效。仅对流通常不足以确保有源相控阵列的热分布保持在所需的限度内。结果,有源相控阵天线必须通过辅助设备(例如地面车)被关闭或冷却。然而,地面车的使用需要额外的设备、后勤、维护和工时。

[0005] 所需要的是用于在具有挑战性的热环境中操作有源相控阵天线的系统和方法。本公开描述了对这种需要的解决方案的实施方式。

### 发明内容

[0006] 为了满足上述要求,本文公开了一种用于自适应地控制包括多个元件的有源相控阵天线的系统和方法。在一个实施方式中,该方法包括确定有源相控阵天线的至少一部分的热分布,将所确定的热分布与参考热分布进行比较,并且至少部分地基于所确定的热分布与参考热分布之间的比较而根据稀疏图案仅停用多个元件的子集。

[0007] 在相关实施方式中,确定有源相控阵天线的所述至少一部分的热分布包括确定有源相控阵天线的具有比有源相控阵天线的其它部分更高的热分布的所述至少一部分的热分布;并且稀疏图案在整个相控阵天线中是不均匀的,并且被选择为使得多个元件的停用子集被布置为更靠近有源相控阵天线的具有比多个元件中的其它元件更高的热分布的至少一部分。

[0008] 其它相关实施方式包括其中稀疏图案在整个有源相控阵天线中基本均匀的实施方式,其中热分布包括有源相控阵天线的至少一部分的热密度和有源相控阵天线的至少一部分的最高温度中的至少一个,并且其中,稀疏图案依据波束宽度约束和峰值旁瓣约束使轴上等效各向同性辐射功率EIRP最大化,或者,稀疏图案依据轴外等效各向同性辐射功率EIRP谱密度约束使轴上等效各向同性辐射功率EIRP谱密度最大化。

[0009] 另一实施方式通过用于自适应地控制包括多个元件的有源相控阵天线的装置来

例证。在该实施方式中，该装置包括用于确定有源相控阵天线的至少一部分的热分布的热分布确定模块、用于将所确定的热分布与参考热分布进行比较的比较模块，以及用于至少部分地基于所确定的热分布与所述参考热分布之间的比较，根据稀疏图案仅停用所述多个元件的子集的稀疏图案确定模块。

[0010] 通过具有用于执行上述操作的装置的装置来例证其他实施方式，该装置包括处理器和存储用于执行上述操作的处理器指令的可通信地连接的存储器。

[0011] 已经讨论的特征、功能和优点可以在本发明的各种实施方式中独立地实现，或者可以在其他实施方式中组合，参考下面的描述和附图可以看到这些实施方式的进一步细节。

## 附图说明

[0012] 现在参考附图，其中相同的附图标记始终表示相应的部件：

[0013] 图1是示出根据一个实施方式的示例性通信系统的一个实施方式的图；

[0014] 图2A-2B示出了示例性通信站的实施方式；

[0015] 图3是示出有源相控阵天线的一个实施方式的图；

[0016] 图4A和4B是示出其中所有辐射元件都是激活的有源相控阵天线的特性的图；

[0017] 图5A和5B是示出有源相控阵天线的特性的图，其中只有辐射元件的子集是激活的；

[0018] 图6A和6B是示出另一实施方式的有源相控阵天线的特性的图，其中辐射元件的稀疏子集是激活的；

[0019] 图7是示出可被执行以自适应地控制具有多个辐射元件的有源相控阵天线的示例性操作的图；

[0020] 图8A和8B是示出用于自适应地控制具有多个辐射元件的有源相控阵列的自适应阵列稀疏系统的示例性实施方式的图；和

[0021] 图9示出了可用于实现自适应阵列稀疏系统的处理元件的示例性计算机系统。

## 具体实施方式

[0022] 在下面的描述中，参考形成本发明的一部分的附图，并且通过图示的方式示出了若干实施方式。应当理解，在不脱离本公开的范围的情况下，可以利用其它实施方式并且可以进行结构改变。

### [0023] 概述

[0024] 如下所述，当飞机在地面上时使用有源相控阵天线的选择性稀疏，以减少热耗散并允许持续的对流冷却操作，同时保持降低的但可用的天线性能。

[0025] 其它天线稀疏范例是已知的，例如在美国专利No. 9,568,590 (以下称为‘590专利)中描述的天线稀疏，该美国专利通过参考包含在本文中。然而，‘590专利公开了一种如下的系统，即，该系统执行动态稀疏以实现目标信噪比，并且选择稀疏图案以通过改变旁瓣中的零点和峰值来选择最小化干扰的旁瓣特性。结果是天线图案不适于减小相控阵天线的热分布，因为优化的约束导致具有密集布置的辐射元件的区域，诸如在图4A和4B中示出的那些。在此描述的系统被优化以减小相控阵天线的热分布，同时保持足够的主波束性能和可接受

的干扰水平。典型地,这导致辐射元件随意地设置在相控阵天线上,同时提供可接受的主波束波束宽度和减少的热量。

#### [0026] 通信系统

[0027] 图1是示出示例性通信系统100的一个实施方式的示图。通信系统100包括卫星网络101,卫星网络101包括可通信地连接到一个或多个通信站104的一个或多个卫星102A-102N(下文中可替换地称为卫星102)。在一个实施方式中,通信站104设置在诸如飞行器(图中所示)103、船、汽车、公共汽车或卡车之类的载具上。通信站104也可以是固定的并且以地面为基础。

[0028] 卫星网络101还可以包括用于向卫星102发送数据和从卫星102接收数据的地面站(未示出)。卫星网络101还可以通过接口连接到一个或多个其它卫星、地面和/或空中网络(未示出),例如蜂窝或个人通信系统(PCS)网络、无线局域网(WLAN)、个人局域网(PAN)或其它网络。通信站104还可以与其它卫星、地面和/或空中网络一起操作。

[0029] 卫星网络101具有提供对宽陆地区域的覆盖的优点。在卫星102布置在地球同步或地球静止轨道的情况下,尤其如此,但在卫星102布置在中地球轨道(MEO)或低地球轨道(LEO)的情况下,程度较小。卫星网络101提供对基于陆地的通信网络的替代选项,并且还可以扩充这种基于陆地的网络以克服拥塞。类似的优点可以从空中通信网络(例如,具有机载通信系统的空中载具的网络)获得。

#### [0030] 通信站

[0031] 图2A-2B示出了示例性通信站104的实施方式。首先参照图2A,通信系统包括可通信地连接到一个或多个I/O设备204的微处理器206和诸如相控阵天线208的天线。微处理器206通过接受来自I/O设备的命令和数据、处理命令、以及向诸如相控阵天线208之类的天线提供输出信号和/或命令来控制通信站104的操作。微处理器206还可选地将输出数据(例如由天线接收的经处理的信号)提供给I/O设备204。

[0032] I/O设备204可包括(例如)显示器204A、扬声器及/或麦克风204B及小键盘204C及/或用于输入及输出如由微处理器206所管理的数据的其它信息源/信息宿204N。

[0033] 图2A示出了具有常规相控阵天线208的示例性通信站104。相控阵天线208包括多个辐射元件212A-212N(在下文中,可替换地称为辐射元件212),每个辐射元件212A-212N可通信地连接到发射和接收信号的发射器、接收器或收发器210。

[0034] 在发射模式中,收发器210从微处理器206或另一源接收输入信号,处理这些信号,并将经处理的信号提供给辐射元件212。辐射元件212将经处理的信号转换成电磁波,并且来自组合辐射元件的组合电磁波产生具有所需特性(例如方向、波束宽度和旁瓣大小)的发射电磁波。在接收模式中,辐射元件212各自从通信系统100中的另一元件接收电磁波,并将电磁波转换成信号。来自每个元件的信号被提供给收发器,收发器处理信号以产生提供给微处理器的接收信号。微处理器进一步处理该信号并将进一步处理的信号提供给一个或多个I/O设备204。

[0035] 可以使用多个收发器210。例如,卫星收发器可以用于卫星网络101通信,蜂窝/PCS收发器可以用于蜂窝/PCS通信,并且WLAN/PAN收发器可以用于WLAN/PAN通信。或者,单个收发器210可以用于所有这样的通信。

[0036] 图2B示出了示例性通信站104,其中相控阵天线208包括有源相控阵天线208'。与

传统相控阵天线不同,有源相控阵天线208'的每个辐射元件212A-212N与专用固态收发器模块(TRM)210A-210N相关联,该模块通常分别与辐射元件212A-212N集成(并因此与相控阵天线208本身集成)。

[0037] TRM 210A-210N可以包括用于与卫星网络101通信的卫星专用TRM 210、用于与蜂窝/PCS网络通信的蜂窝/PCS TRM和/或用于与其他WLAN/PAN元件通信的WLAN/PAN TRM。或者,相同TRM 210A-210N可用于与卫星网络101、蜂窝/PCS网络和WLAN/PAN元件收发信息。

[0038] 有源相控阵天线

[0039] 图3是示出有源相控阵天线208"的一个实施方式的图。有源相控阵天线208"包括形成在衬底302上的辐射元件212的阵列304。每个辐射元件212被示出为正方形特征,但是可以包括贴片、偶极子、缝隙或其它类型的辐射元件212。衬底302也被示为正方形特征,但是也可以包括任何形状。辐射元件212的阵列304也被示出为具有正方形栅格,但是也可以包括三角形或其它栅格。

[0040] 提供给与每个辐射元件212(和/或TRM 210'本身)相关联的TRM210'中的每个TRM 210'的信号可由通信站104的微处理器200单独地控制,使得馈送给辐射元件212的信号的相位和/或幅度被改变以产生用于有源阵天线208"的期望的辐射图案。通过使用相长干涉或相消干涉来改变馈送给每个辐射元件212的信号的相位和/或幅度以提供期望的信号,来形成并且然后操纵所得到的期望辐射图案的波束。这允许微处理器200在不物理地移动有源相控阵天线208本身的情况下波束成形天线的灵敏度图案并在期望的方向上操纵无线电波。

[0041] 图4A和4B是示出有源相控阵天线208'的特性的图,其中所有辐射元件300(及其相关联的TRM 210)都是激活的。在这个实施方式中,有源相控阵天线208'是圆形的,直径约为14英寸。

[0042] 图4A描绘了指示有源相控阵天线辐射元件中的哪一个是激活的的视图(例如,发射电磁波)。如图所示,阵列中有3700个辐射元件,这些辐射元件具有元件栅格,在水平方向上间隔0.215英寸,在垂直方向上间隔0.186英寸,具有60度的偏斜,并且所有辐射元件212都是激活的。

[0043] 图4B是描绘有源相控阵天线208"的天线灵敏度图案的图,所述有源相控阵天线208"在所有辐射元件212处于激活状态(例如,图4A中所例示的)的情况下在30.25GHz下工作。注意,产生在约1.7度具有3dB宽度(例如,带宽)的主波束450。此外,注意,与主波束450相邻的第一旁瓣452A和452B在主波束下17dB,并且剩余旁瓣的衰减从主波束下24dB变化到主波束下多于40dB。该天线灵敏度图案指示指向偏离轴线的低辐射(其中这种能量对于相邻卫星可能是有问题的),以及主波束450中高灵敏度的窄波束宽度。

[0044] 如上所述,存在一些操作条件,其中辐射元件212的整个阵列的使用可能导致与这些元件相关联的辐射元件212或TRM 210'的过热。例如,如果有源相控阵天线208'是设置在机场停机坪上的飞行器103上的通信站104的一部分,则可能发生这种情况。可以通过关闭或停用与那些元件相关联的辐射元件212或TRM 210'中的一些来改善该问题。

[0045] 对该问题的一种可能的解决方案是仅激活有源相控阵天线208'的辐射元件212的子集。图5A和5B是示出有源相控阵天线208'的特性的图,其中只有辐射元件212(及其相关联的TRM 210)的子集502是激活的。

[0046] 如图5A所示,只有1888个辐射元件212(和/或它们相关联的TRM 210)是激活的。如图所示,阵列中有3700个辐射元件,这些辐射元件具有元件栅格,在水平方向上间隔0.215英寸,在垂直方向上间隔0.186英寸,具有60度的偏斜。然而,只有辐射元件的子集502是激活的。

[0047] 在该实施方式中,辐射元件212的子集502是与图1所示的情况相同密度(例如,有源相控阵天线208'的每单位面积辐射元件的数目)的辐射元件212。但是减小了有源相控阵天线208'的一个或更多个尺寸。在所例示的示例中,辐射元件的子集的直径延伸约10英寸而不是图4A中所例示的14英寸。因为较少的辐射元件212是激活的,所以有源相控阵天线208产生较少的热,并且有源相控阵天线208的热耗散小于图4A所示情况的热耗散。

[0048] 图5B是示出有源相控阵天线208"的天线灵敏度图案的图,该有源相控阵天线208"仅在图5A所示的辐射元件212的子集502处于激活状态的情况下在30.25GHz工作。注意,主瓣550的3dB波束宽度已经增加到几乎2.4度。这种加宽的波束宽度增加了产生与该通信所预定给的卫星附近的卫星干扰的机会。例如,如果信号被预定给目标卫星的并且另一卫星的视在位置在目标卫星的1度内,则预定给目标卫星的信号表示对另一卫星的干扰信号。另外,注意旁瓣552A和552B比主瓣低大约17dB,并且主瓣的幅度已经从大约40.8dB减小到37.9dB。

[0049] 图6A和6B是示出有源相控阵天线208的另一实施方式的特性的图,其中仅辐射元件212的子集(及其相关联的TRM 210)是激活的。但是,与图5A和5B中所示的情况不同,在这种情况下,辐射元件212的子集602不被选择为使得辐射元件的子集602中的辐射元件212彼此不相邻。相反,选择辐射元件212的子集602中的每个辐射元件212,使得有源辐射元件212在整个有源相控阵天线中更均匀地设置。在所示的实施方式中,辐射元件212的子集602被伪随机地选择,使得每个有源辐射元件212和相邻的有源辐射元件之间的距离从辐射元件212到辐射元件212不同。结果是,有源辐射元件212的子集602在有源相控阵天线208"的整个范围(14英寸直径)内具有基本均匀的密度。由于较少的辐射元件212是激活的,所以有源相控阵天线208"的温度和热密度降低。然而,因为激活元件被选择为是均匀的并且延伸到整个有源相控阵天线,所以主瓣的所得到的波束宽度与图4A中所描绘的情况基本相同,其中所有辐射元件212都是激活的。

[0050] 图6B是示出有源相控阵天线208"的天线灵敏度图案的图,该有源相控阵天线208"在仅图5A中所示的辐射元件212的子集502处于激活状态的情况下工作。注意,主瓣的波束宽度与其中所有辐射元件212都是激活的情况(例如,大约1.7度的3dB波束宽度)近似相同。这是预期的,因为有源相控阵天线的等效孔径保持与图4A中所示的情况相同,并且主瓣的波束宽度在很大程度上是孔径的函数。因此,该主瓣干扰相邻卫星的可能性与图4A中所示的情况大致相同,并且小于图5A中所示的情况的可能性。

[0051] 进一步注意,尽管在旁瓣处存在大量能量,但是与主瓣650相邻的旁瓣652A和652B仍然比主瓣650低大约17dB,并且因此不增加与相邻卫星的干扰的可能性。因此,选择辐射元件212使得辐射元件212基本上均匀且随机地分散在整个有源相控阵天线208'中提供了降低的热密度,同时没有牺牲主瓣的波束宽度或邻近主瓣的旁瓣的振幅。

[0052] 虽然选择激活的辐射元件212在整个有源相控阵天线范围内随机分散在提供热管理并且同时保持主瓣的波束宽度和附近旁瓣的幅度方面具有益处,但是它也具有增加与主

瓣相距更远的旁瓣中的能量的缺点。特别地,具有大于10度的离轴线角的旁瓣的幅度大于在图4A或图5A中所示的情况下的幅度。然而,这些旁瓣的幅度充分低于确保足够的干扰抑制水平所需的阈值,并且有源辐射元件212之间的伪随机或非均匀距离平滑了那些离轴线角的灵敏度曲线,进一步减少了干扰。

[0053] 图7是示出可被执行以自适应地控制具有多个辐射元件212的有源相控阵天线208'的示例性操作的图。图7将进一步参考图8A和8B进行讨论,图8A和8B是示出用于自适应地控制具有多个辐射元件212的有源相控阵天线208'的自适应阵列稀疏系统800的示例性实施方式的图。

[0054] 首先参照图8A,RF载波信号802被提供给有源相控阵天线208'。有源相控阵天线208'将该RF载波信号802转换为RF电磁波804,该RF电磁波804由通信系统100中的卫星102之一接收。有源相控阵天线208'被配置为使用包括有源相控阵天线208'的所有辐射元件212'或那些辐射元件212的选定子集的天线图案来发射RF电磁波804。通常,RF电磁波804的初始发射是利用所有辐射元件212来实现的,因为有源相控阵天线208'的热惯性使得有源相控阵天线208'的热分布接近或超过可能发生有源相控阵天线的损坏的程度的参考热分布需要一段时间。然而,在RF电磁波804的这种初始发射之后,有源相控阵天线208'的热分布改变,随着使用有源相控阵天线208',热密度或最高温度增加。

[0055] 在框702中,确定有源相控阵天线208'的至少一部分的热分布。这可以例如通过热分布确定模块806来实现。

[0056] 在一个实施方式中,所确定的热分布包括有源相控阵天线208'的至少一部分的热密度。通过将来自分布在天线中的温度传感器的信息与天线的已知热阻抗特性组合来确定热密度。在另一实施方式中,热分布包括有源相控阵天线208'的最高温度,例如,与最热辐射元件212N和/或其相关联的TRM 210相关联的温度。

[0057] 热密度或最高温度可以例如通过直接测量有源相控阵天线208'的相关部分来确定,或者可以根据可以测量或以其他方式确定的有源相控阵天线208'的其他参数来估计。例如,有源相控阵天线的任何部分的热分布可以至少部分地根据TRM 210'的参数(诸如当前激活的TRM 210'的功耗或命令功率)来确定。

[0058] 其它参数也可用于预测有源相控阵天线208'的热分布,包括RF载波信号802的特性、有源相控阵天线208'附近的环境温度、安装有源相控阵天线208'的车辆的速度或空速。这样的参数可以被提供给有源相控阵天线208'的热惯性和热传递的模型,并且用于预测热分布。

[0059] 回到图7里,将所确定的热分布与参考热分布808进行比较,如框704所示。这可以由比较器模块809来执行。参考热分布可以表示最大热分布(例如,最大热密度或最高温度),或者可以被设置为小于最大热分布的热分布,从而触发将冷却有源相控阵天线208'的稀疏图案,以确保不达到最大热分布,防止对有源相控阵天线208'的损坏并延长其寿命。

[0060] 该比较用于确定辐射元件212和相关联TRM 210中的哪一个应当被激活。框706检查以确定在框704中执行的比较是否有利。如果所确定的热分布与参考热分布相比是有利的(例如,所确定的有源相控阵天线208'的热密度小于参考分布的热密度),处理被引导回到框702,并且所有辐射元件212和相关联的TRM 210可以保持激活。然而,如果所确定的热分布与参考热分布相比不是有利的(例如,所确定的有源相控阵的热密度等于或大于参考

热密度),处理被引导到框710。所确定的有源相控阵天线208'的热分布与参考热分布之间的差异表示期望的热分布减小811。

[0061] 在框710中,至少部分地基于所确定的热分布与参考热分布808之间的比较,根据稀疏图案,仅停用多个辐射元件212的子集。在图8A所示的实施方式中,这是由天线稀疏图案确定模块812完成的。

[0062] 在一个实施方式中,将被激活的多个辐射元件212的子集602被实时地计算,并且被计算以依据优化标准和约束动态地选择最佳稀疏图案(辐射元件212中的哪一个将被停用以使有源相控阵天线辐射元件212变稀疏)。在一个实施方式中,稀疏图案被依据波束宽度约束、峰值旁瓣约束和有源相控阵天线218'的可接受热分布选择为使轴上等效各向同性辐射功率(EIRP)最大化。在另一实施方式中,依据轴外等效各向同性辐射功率(EIRP)谱密度约束和有源相控阵天线218'的可接受热分布对稀疏图案进行优化,以使轴上等效各向同性辐射功率(EIRP)谱密度最大化。可以使用其它优化标准和约束,例如,依据信噪比(SNR)和旁瓣幅度约束选择导致可接受的目标热密度的稀疏图案。

[0063] 举例来说,旁瓣屏蔽(例如,图6B中所例示的旁瓣屏蔽654)可以根据最大旁瓣能量来限定。举例来说,旁瓣屏蔽654可被定以使得旁瓣振幅或能量水平处于或低于旁瓣屏蔽654中所限定的阈值,并且被已知不干扰其它卫星102。根据期望与之通信的卫星102或卫星网络101,不同的旁瓣屏蔽654可以用于不同的应用。旁瓣屏蔽654还可以取决于RF载波信号802的频率。

[0064] 在一个实施方式中,优化问题可被描述为优化阵列元件激励以在热的热环境中最大化轴上操作EIRP谱密度(ESD),所述热的热环境受制于对整个阵列和轴外ESD的操作温度的约束。在整个阵列的不同点处的操作温度是元件激励(功率耗散)和环境边界条件的函数。优化问题取决于阵列天线布局的设计约束和要激励哪些阵列天线元件的设计变量。目标功能是,依据阵列内部温度小于或等于其最大允许温度并且轴外ESD低于旁瓣屏蔽654的约束,在操作RF频率和波束指向范围上,在热的热环境中使轴上ESD最大化。

[0065] 在简单实施方式中,仅考虑元件激励的开/关值,且使用合适的求解器(例如,遗传算法、模拟退火或粒子群)来搜索全局解。其它更复杂的实施方式允许元件激励的复杂值,并且依据更复杂约束(例如,在角子范围上的天线方向图旁瓣或零电平,或对于阵列上的不同位置变化的内部温度的限制)执行约束的非线性优化。

[0066] 图8B是示出从一组预先计算的稀疏图案中选择稀疏图案的另一实施方式的图。在此实施方式中,由天线稀疏图案确定模块812预先计算并选择辐射元件212的多个不同子集812A-812M,每个子集代表天线稀疏图案。例如,可以针对不同的特定旁瓣屏蔽654、SNR值和期望的热分布减小811来预先计算多个天线稀疏图案或子集814A。天线稀疏图案确定模块812可接着确定预先计算的稀疏图案814A到814M中的哪一个最适合所期望的热分布减小811、旁瓣屏蔽654和SNR,并且选择最佳稀疏图案814A到814M。

[0067] 图7和图8B还示出了另一实施方式,其中对何时可以执行阵列稀疏进行了进一步限制。首先参照图7,框708确定是否启用阵列稀疏。如果不启用阵列稀疏化,则将处理引导到框702,而如果启用阵列稀疏化,则将处理引导到框710以通过仅停用多个辐射元件212的子集来执行阵列稀疏。该实施方式允许自适应阵列稀疏系统800仅在保证引入阵列稀疏以减小有源相控阵天线208'的热分布的情况下做出响应。该特征可以例如由激活协议模块

810来执行。

[0068] 例如,在触发天线稀疏图案确定模块812计算和/或选择新的稀疏图案之前,激活协议模块810可以要求热分布超过特定值或值集合达特定量或特定时间段(例如,触发热分布)。这防止了极限循环行为,在极限循环行为中,所确定的热分布与参考热分布808之间的差在小的同时快速变化,从而在选择导致较低的热密度的稀疏图案并保持该稀疏图案可能是更适合的情况下使得在不同的天线稀疏图案之间切换。

[0069] 激活协议模块810还可基于:不仅基于参考热分布与所确定的热分布之间的差异而且还基于所确定的热分布随时间改变的速率来激活天线稀疏的决定。此外,可以将参考热分布808设置为低于可能损坏有源相控阵天线208' 的值,并且检查所确定的热分布的斜率以确定是否需要计算或选择不同的稀疏分布。这可以为天线稀疏图案确定模块812提供额外的时间来确定新的稀疏分布,特别是在其中实时地而不是通过从多个预先计算的分布中进行选择来确定新的稀疏分布的实施方式中。

#### [0070] 硬件环境

[0071] 图9示出了可用于实现上述公开的处理元件的示例性计算机系统900,包括热分布确定模块806、激活协议模块810、天线稀疏图案确定模块812、微处理器206。计算机902包括处理器904和存储器,例如随机存取存储器(RAM) 906。计算机902可操作地连接到显示器922,显示器922使用图形用户界面模块918B向用户呈现诸如窗口的图像。计算机902可连接到其它装置,例如键盘914、鼠标装置916、打印机等。当然,所属领域的技术人员将认识到,以上组件或任何数目的不同组件、外围装置和其它装置的任何组合可与计算机902一起使用。

[0072] 通常,计算机902在存储在存储器906中的操作系统908的控制下操作,并且与用户交互以接受输入和命令并且通过图形用户界面(GUI) 模块918A呈现结果。尽管GUI模块918B被描绘为单独的模块,但是执行GUI功能的指令可以驻留或分布在操作系统908、计算机程序910中,或者利用专用存储器和处理器来实现。计算机902还实现编译器912,其允许以诸如COBOL、C++、FORTRAN或其它语言的编程语言编写的应用计算机程序910被翻译成处理器904可读代码。在完成之后,计算机程序910或应用使用利用编译器912生成的关系和逻辑来访问和操纵存储在计算机902的存储器906中的数据。计算机902还可选地包括外部通信设备,诸如调制解调器、卫星链路、以太网卡或用于与其它计算机通信的其它设备。

[0073] 在一个实施方式中,实现操作系统908、计算机程序910和编译器912的指令有形地体现在计算机可读介质中,例如数据存储设备920,其可以包括一个或多个固定或可拆卸数据存储设备,诸如zip驱动器、软盘驱动器924、硬盘驱动器、CD-ROM驱动器、磁带驱动器等。此外,操作系统908和计算机程序910包括指令,当由计算机902读取和执行时,这些指令使得计算机902执行这里描述的操作。计算机程序910和/或操作指令也可以有形地体现在存储器906和/或数据通信设备930中,从而制造计算机程序产品或制品。因此,本文所使用的术语“制品”、“程序存储设备”和“计算机程序产品”旨在包括可从任何计算机可读设备或介质访问的计算机程序。

[0074] 本领域技术人员将认识到,在不脱离本公开的范围的情况下,可以对该配置进行许多修改。例如,所属领域的技术人员将认识到,可使用上述组件或任何数目的不同组件、外围装置和其它装置的任何组合。

[0075] 结论

[0076] 该部分结束了对本公开的优选实施方式的描述。前面对优选实施方式的描述是为了说明和描述的目的而提出的。其不旨在是穷尽性的或将本公开限于所公开的精确形式。根据上述教导,许多修改和变化是可能的。目的在于,权利的范围不受该详细描述的限制,而是受随附权利要求书的限制。

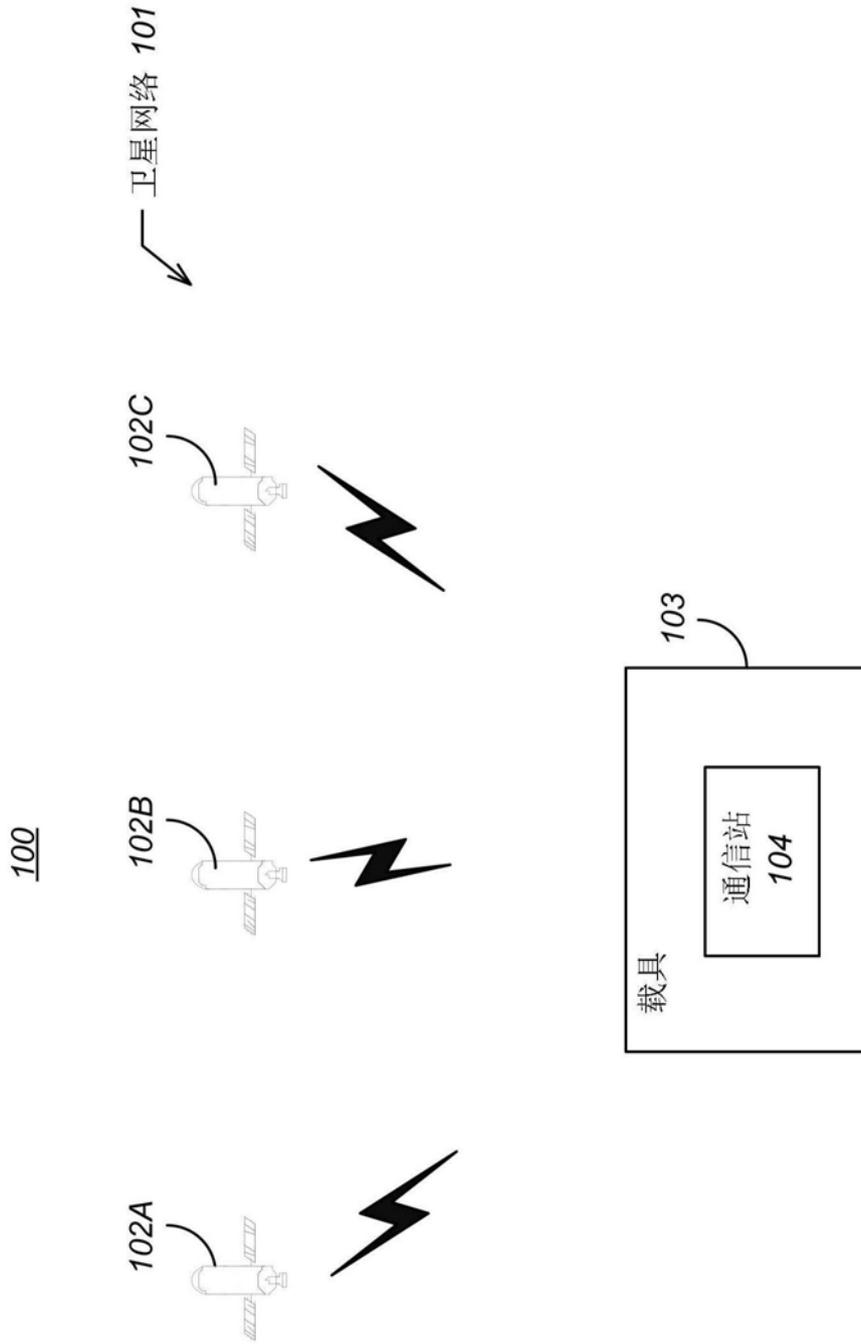


图1

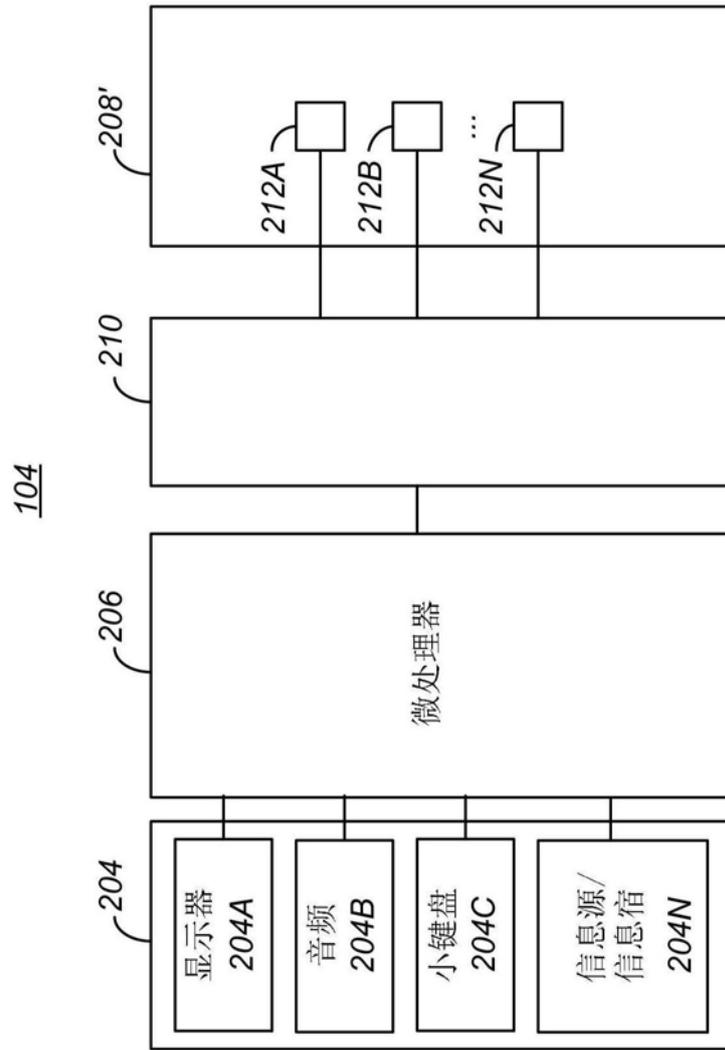


图2A

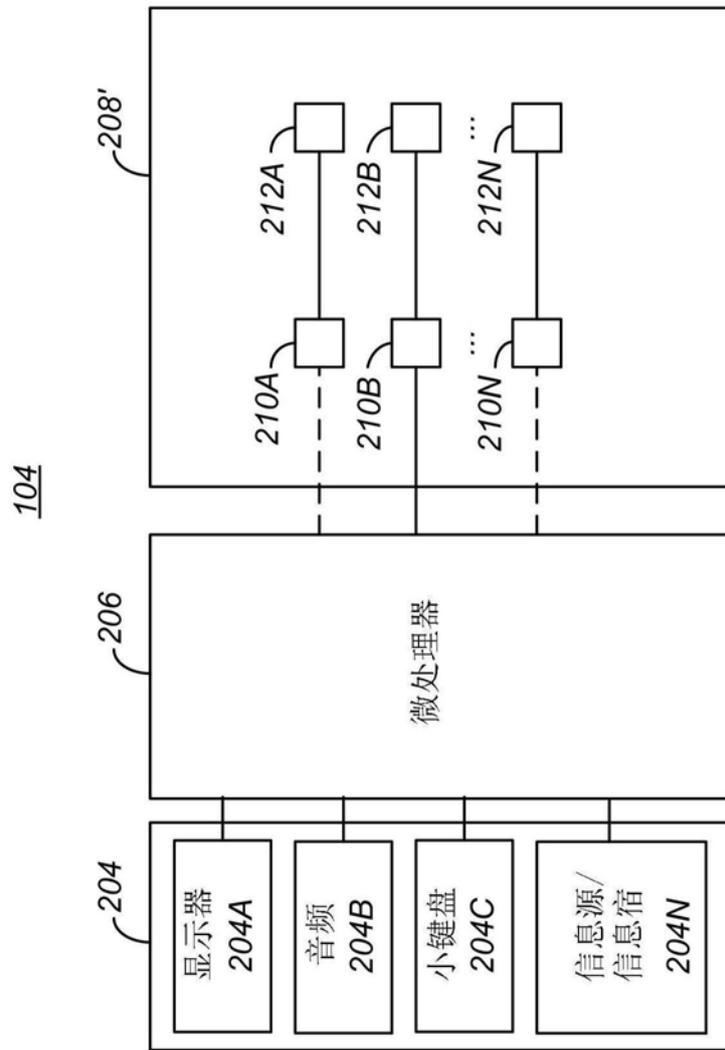


图2B

208

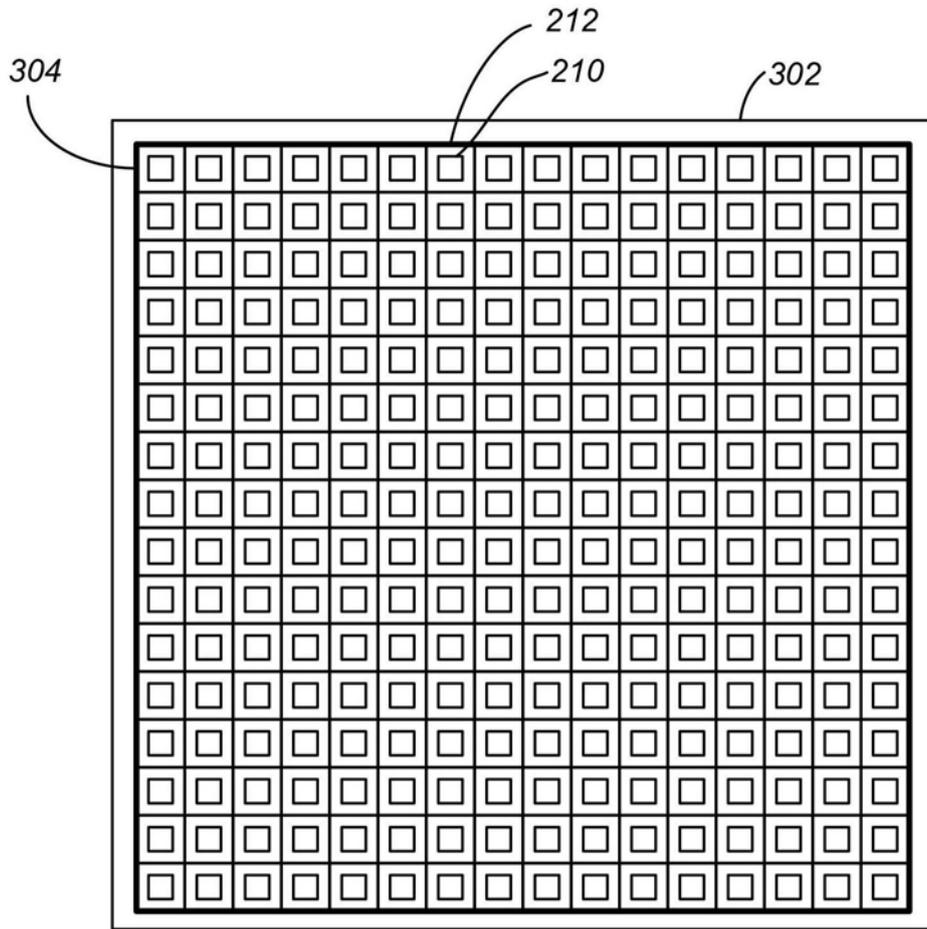


图3

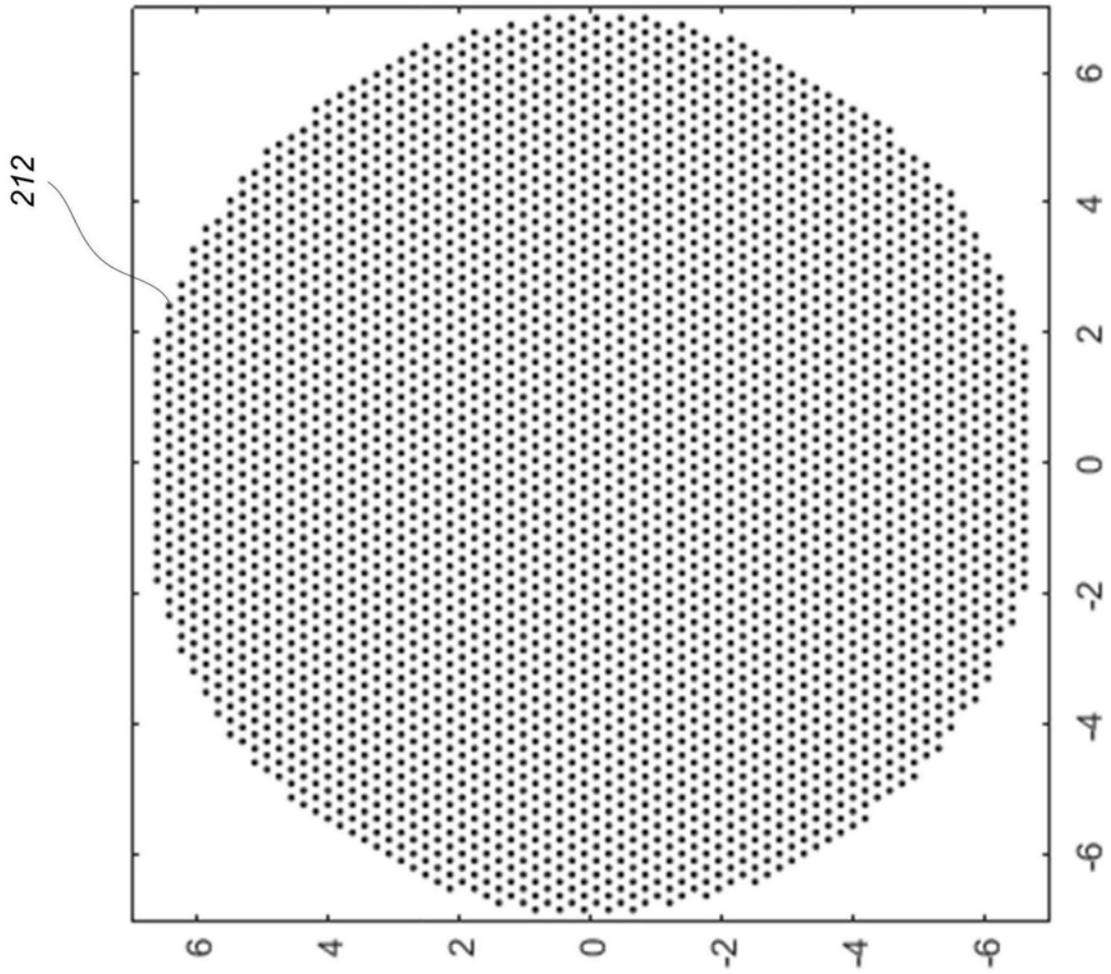


图4A

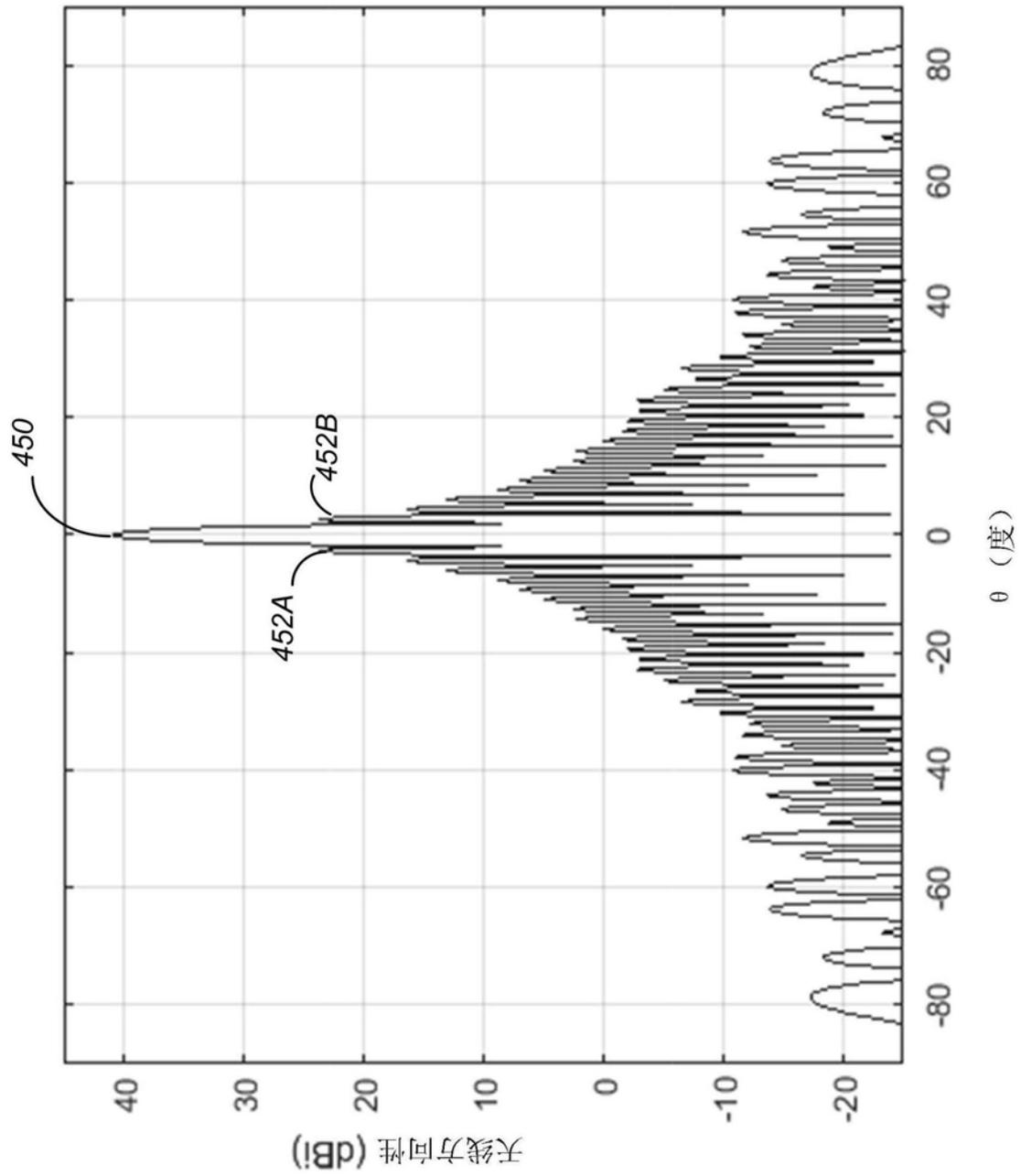


图4B

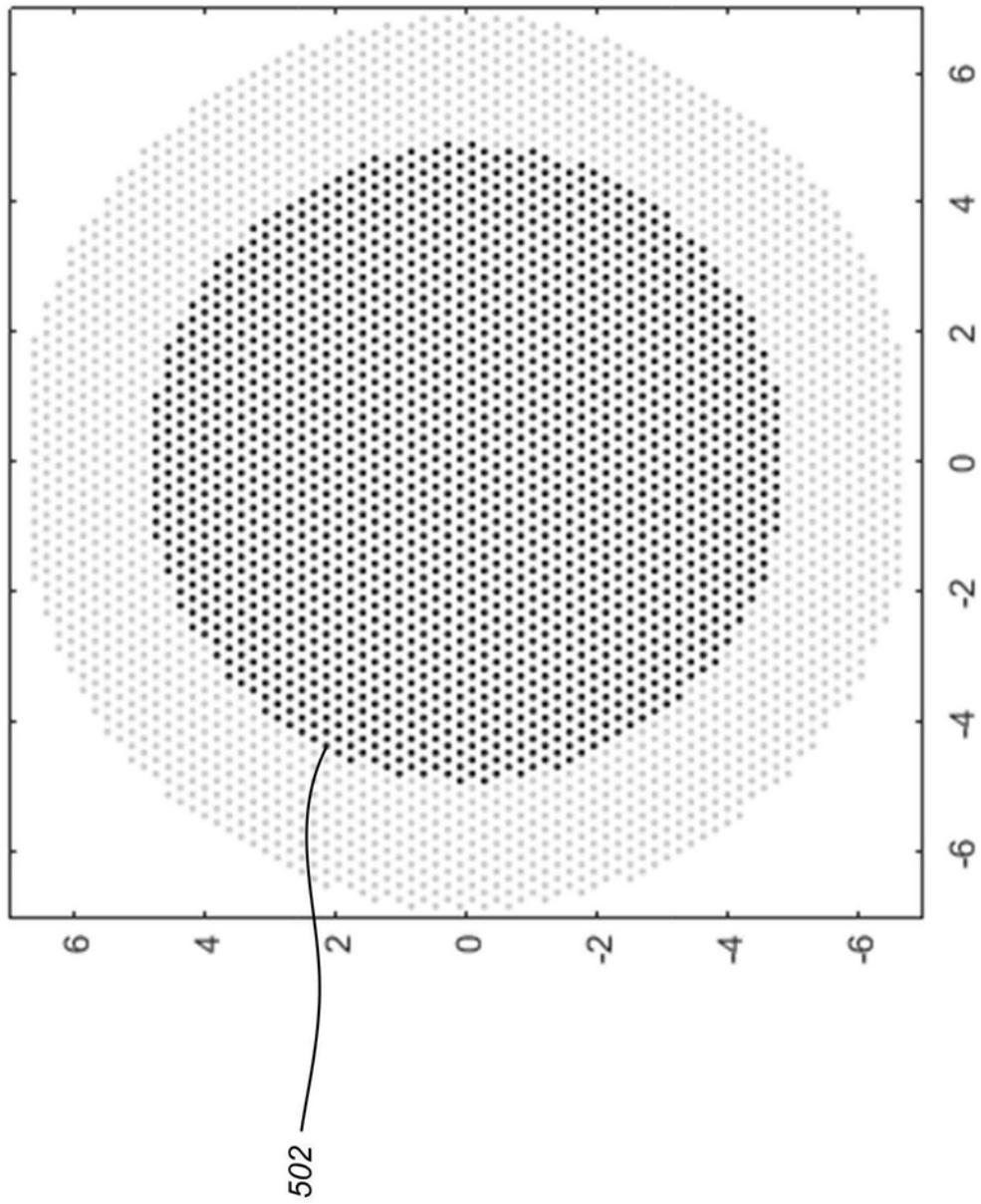


图5A

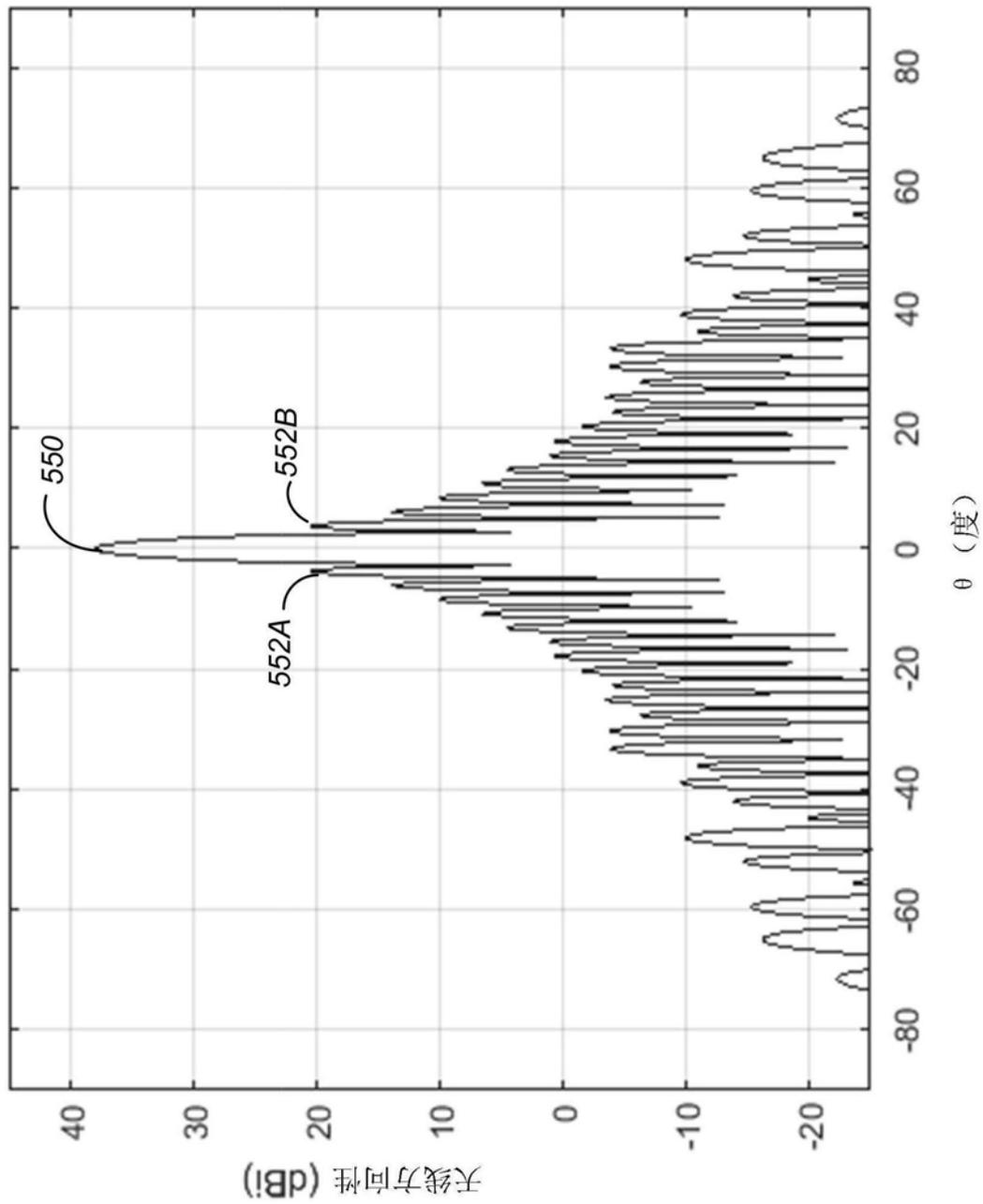


图5B

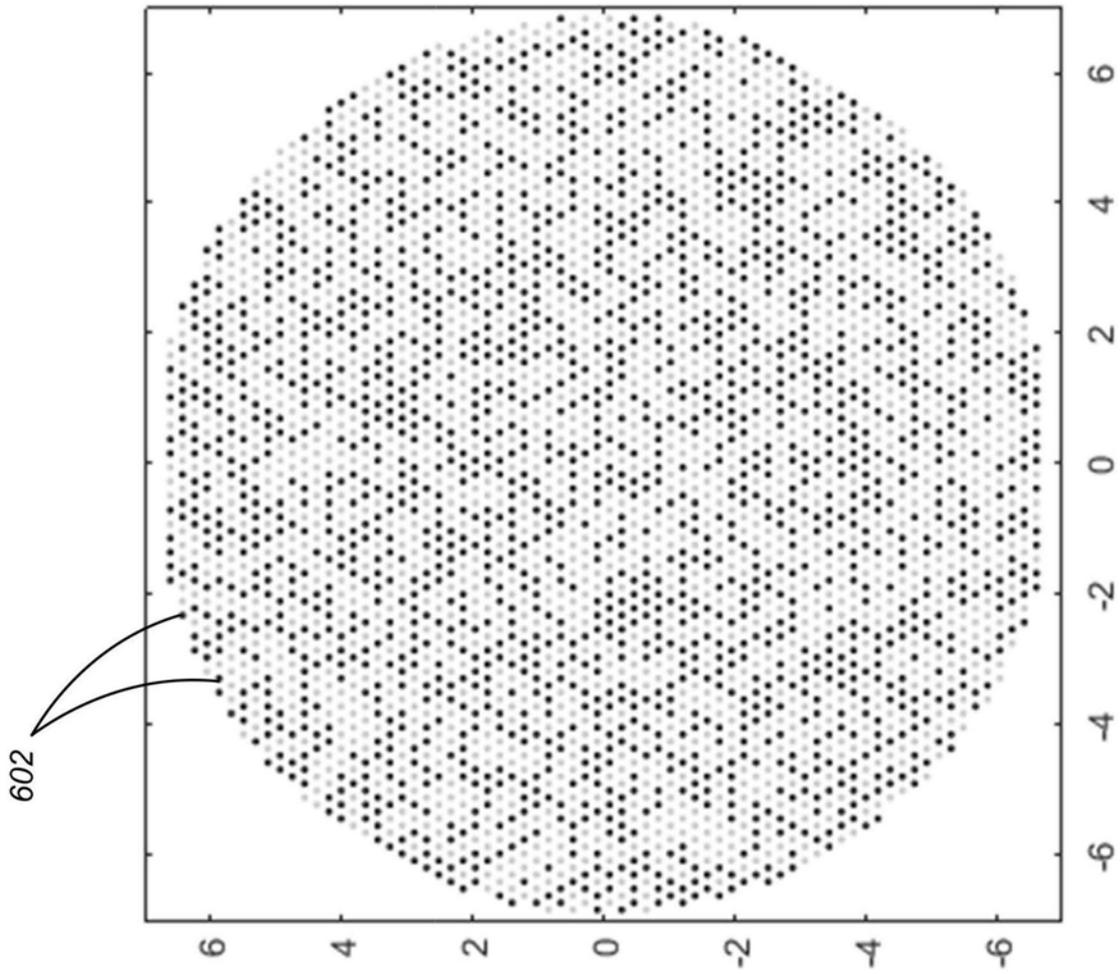


图6A

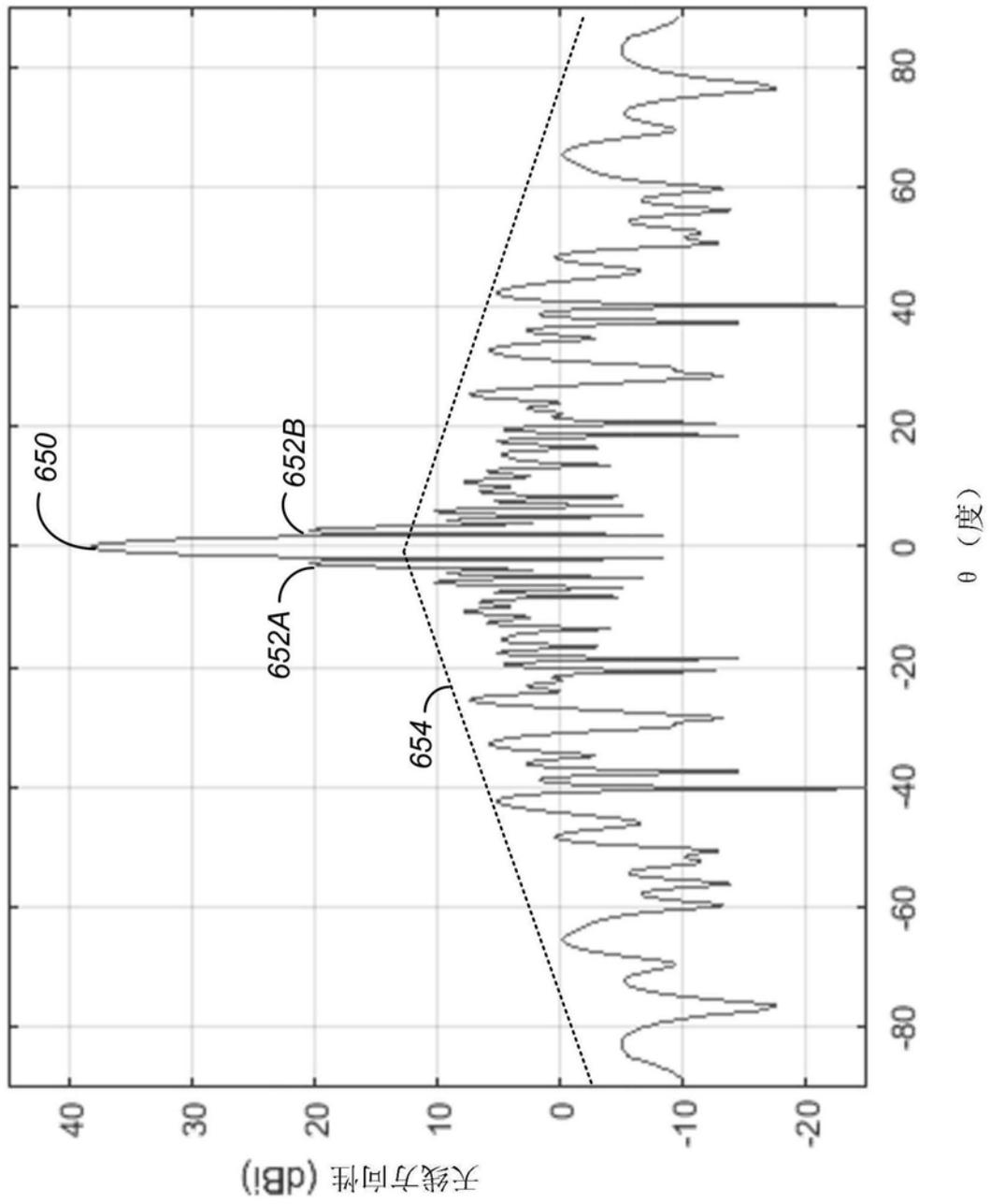


图6B

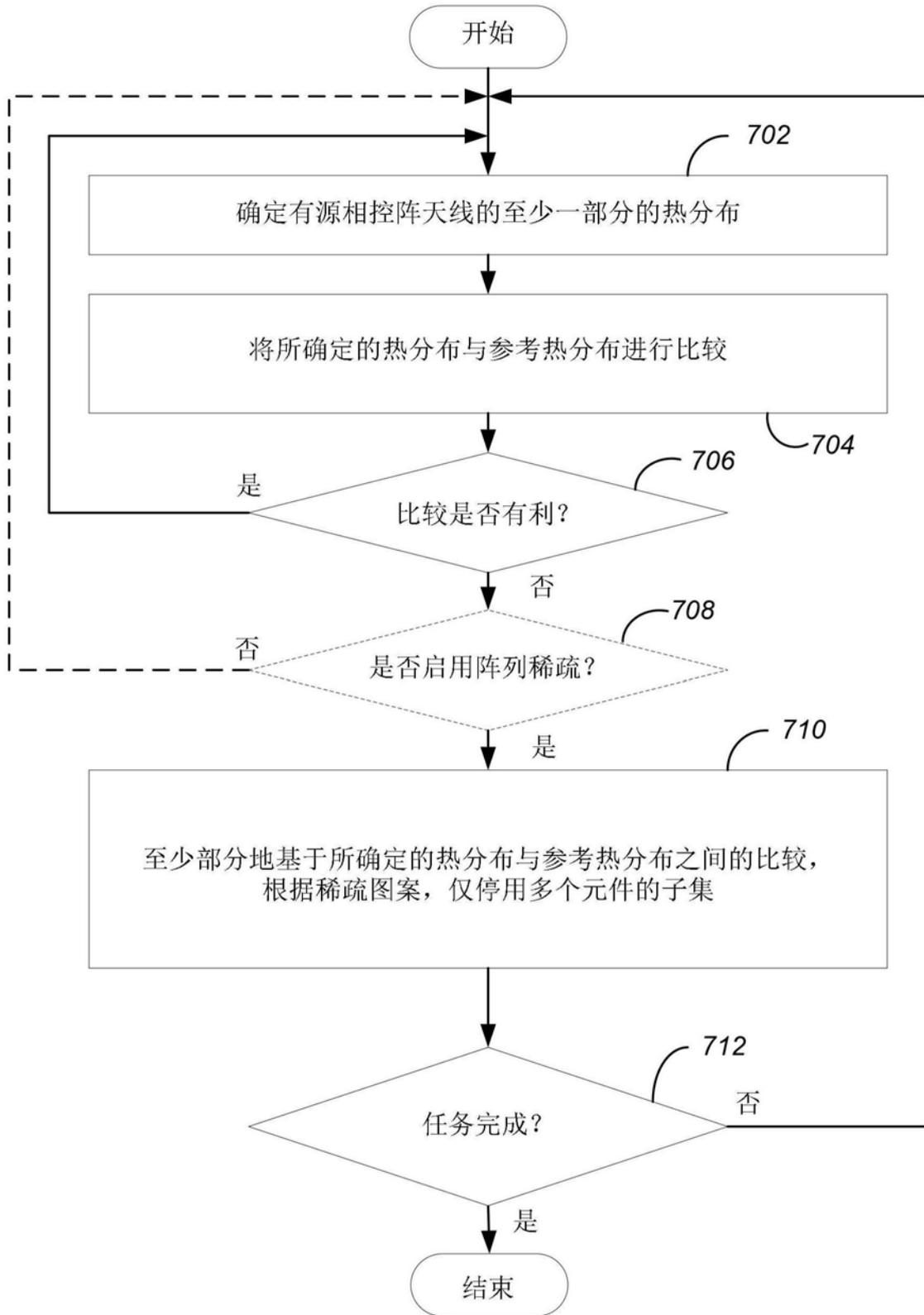


图7

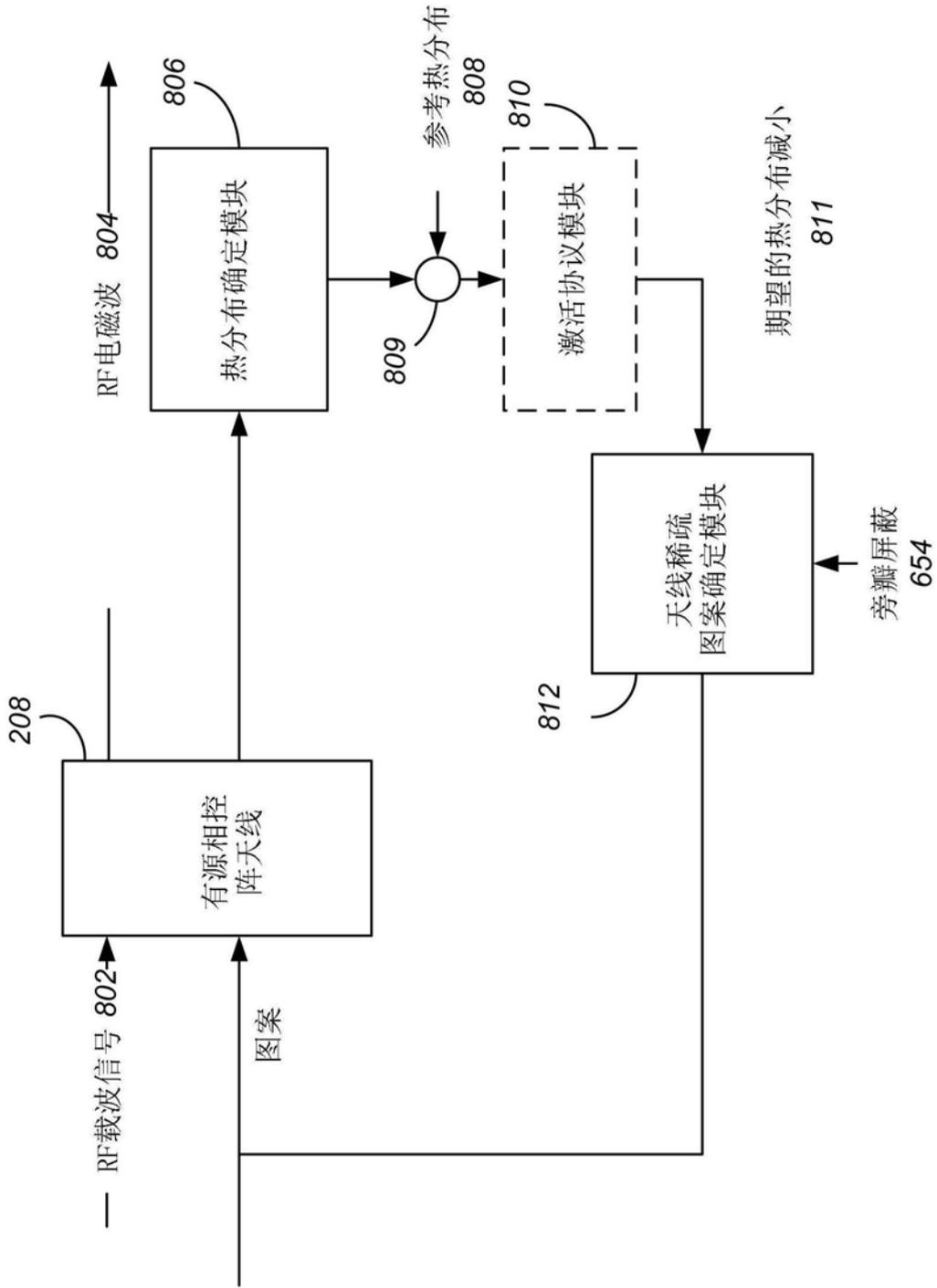


图8A

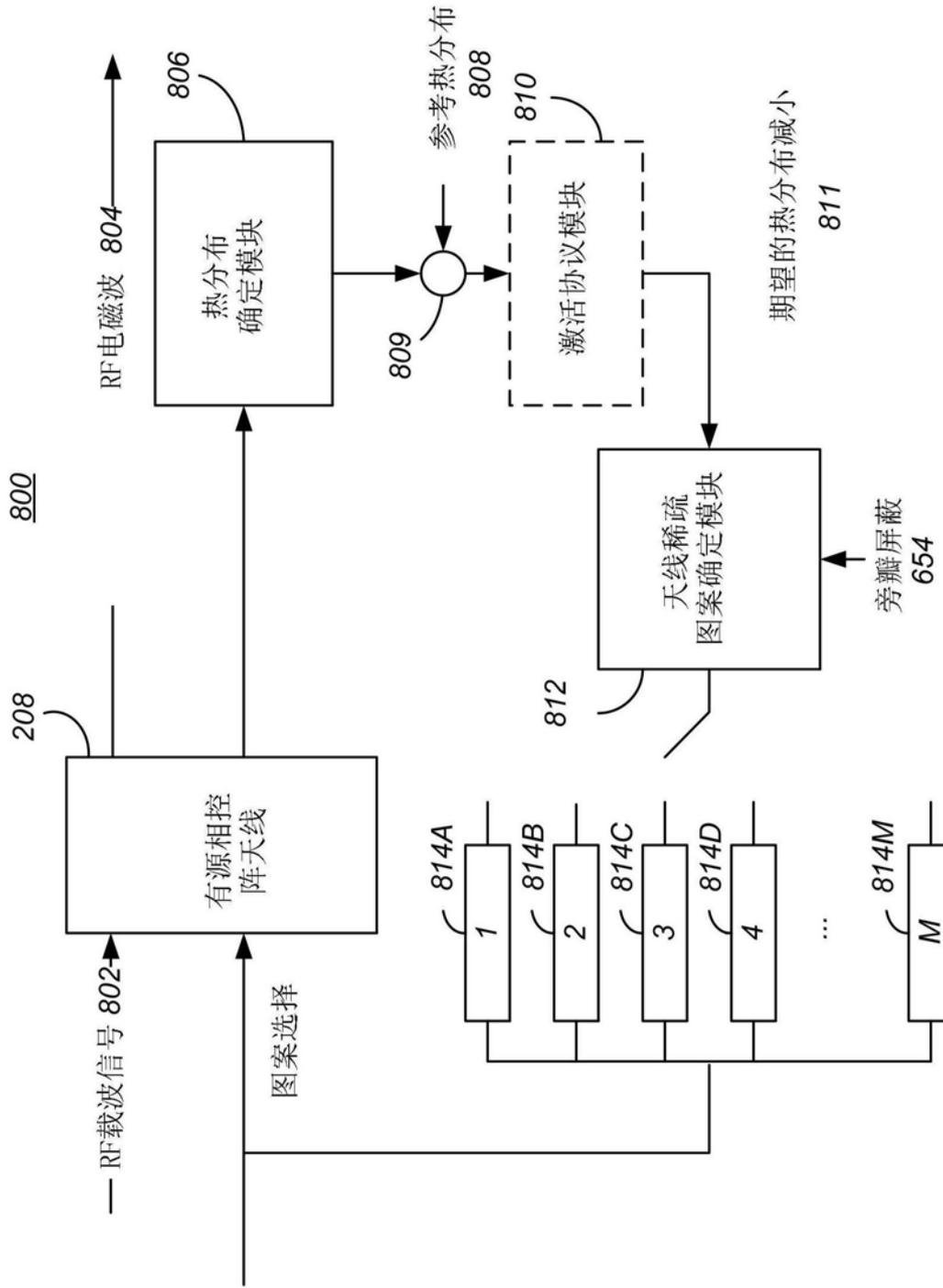


图8B

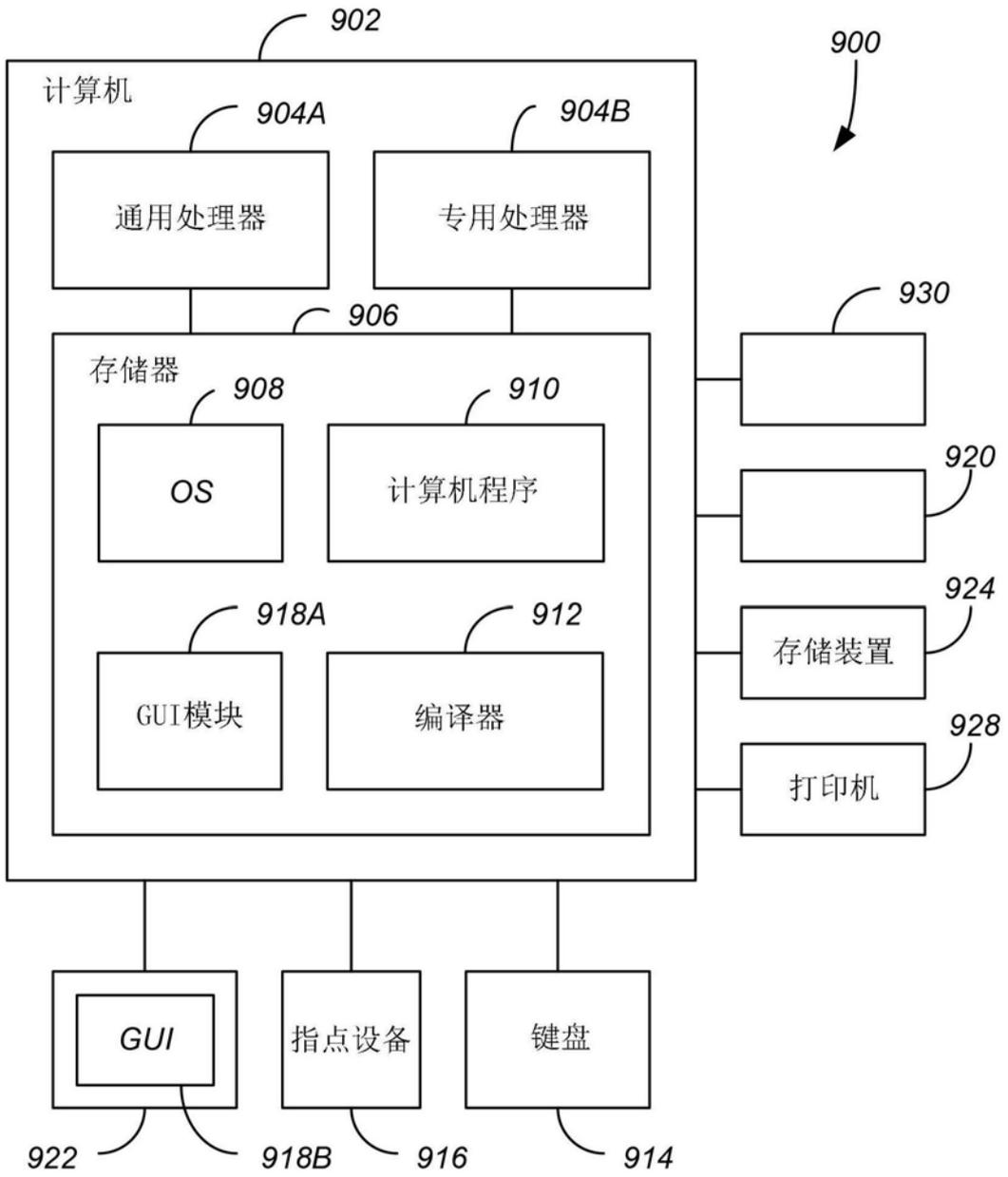


图9