



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112152696 B

(45) 授权公告日 2022. 10. 28

(21) 申请号 201910581472.3  
 (22) 申请日 2019.06.29  
 (65) 同一申请的已公布的文献号  
 申请公布号 CN 112152696 A  
 (43) 申请公布日 2020.12.29  
 (73) 专利权人 亚洲卫星有限公司  
 地址 中国香港新界大埔工业邨大贵街15号  
 (72) 发明人 唐舜康 黄俊贤 梁彦聪 胡海  
 陈文熙 叶吉帆  
 (74) 专利代理机构 上海汉盛律师事务所 31316  
 专利代理师 骆顺耀  
 (51) Int. Cl.  
 H04B 7/185 (2006.01)  
 H04W 16/28 (2009.01)  
 H04W 24/04 (2009.01)  
 H04B 17/345 (2015.01)

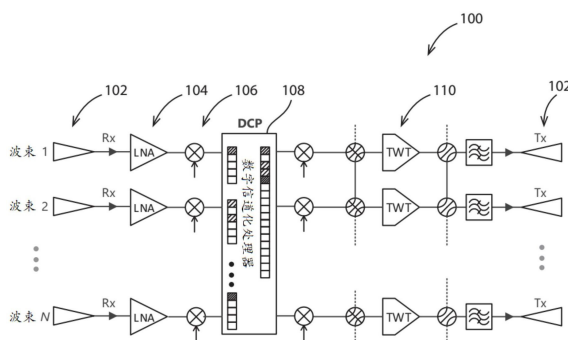
(56) 对比文件  
 CN 102272617 A, 2011.12.07  
 US 2014087651 A1, 2014.03.27  
 CN 103746757 A, 2014.04.23  
 CN 106597480 A, 2017.04.26  
 WO 2005027358 A2, 2005.03.24  
 US 2009093213 A1, 2009.04.09  
 US 2015327078 A1, 2015.11.12  
 US 6728544 B1, 2004.04.27  
 US 2012140658 A1, 2012.06.07  
 US 2010261440 A1, 2010.10.14  
 程安启 等. 基于卫星平面阵列多波束天线波束空间的自适应调零和干扰源定位技术. 《电子学报》. 2008, 第36卷(第07期), 第1279-1290页.

审查员 黄瑞娟

权利要求书3页 说明书9页 附图12页

(54) 发明名称  
 用于高通量卫星的上行干扰地理定位方法及系统

(57) 摘要  
 一种用于定位高通量卫星干扰源的地理定位方法和系统。该方法涉及确定受害点波束接收的干扰信号与相同卫星上的共色相邻点波束之间的相对功率水平差。使用波束方向图数据，成对波束的相对功率水平确定可能位置的等值线，其对应于由该对中的两个波束接收的信号相对功率差。来自多对点波束等值线的交叉点指出干扰源的位置。



1. 一种定位上行干扰源的卫星系统,所述系统包括:

多个共色点波束天线,其用以接收上行信号,并且其中每个点波束具有相应的地理覆盖区域,所述共色点波束天线的相应覆盖区域在颜色复用模式中布置在非重叠区域;

数字信道化处理器,其用以对来自每个共色点波束天线的接收信号进行数字信道化以产生相应的数字化频谱;

频谱分析模块,其用以识别所述数字化频谱中的一个中的干扰载波并确定该一个数字化频谱中的干扰载波与其它相应数字化频谱中的两个或更多个中的相同频率的较低功率干扰载波之间的相对功率水平;以及

地理定位模块,其用以对于所述相对功率水平中的每一个,基于该相对功率水平确定地理定位的等值线,并基于所述等值线中的两条或更多条之间的交叉来识别上行干扰源的地理位置。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述地理定位模块包括对于所述点波束天线中的每一个存储波束方向图数据的波束方向图数据库,并且其中所述地理定位模块通过对于两个点波束使用波束方向图数据确定所述等值线来确定地理定位的等值线,所述相对功率水平中的一个已经关于所述两个点波束确定。

3. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述地理定位模块通过确定地理定位来确定所述等值线,其中所述两个点波束中的每一个的波束方向图数据之间的差与关于这两个点波束确定的相对功率水平相匹配。

4. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述频谱分析模块通过确定两个点波束的相关转发器路径损耗的比值来确定所述相对功率水平中的一个,所述相对功率水平中的所述一个将关于所述两个点波束确定。

5. 根据权利要求4所述的系统,其特征在于,转发器路径损耗是预先确定的并存储在存储器中,并且所述频谱分析模块通过从所述存储的转发器路径损耗选择来确定所述比值。

6. 根据权利要求4所述的系统,其特征在于,确定所述相对功率水平中的所述一个包括将相关转发器路径损耗的比值乘以由所述两个点波束接收的所述干扰载波的测量功率水平的比值。

7. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述地理定位模块通过对于三个或更多个相对功率水平中的每一个确定一组等值线来确定地理定位,并且识别与来自每组等值线的线交叉的点。

8. 一种使用高通量卫星定位上行干扰源的方法,所述高通量卫星具有多个共色点波束天线以接收上行信号并且其中每个点波束具有相应的地理覆盖区域,所述共色点波束天线的各个覆盖区域在颜色复用模式中布置在非重叠区域,所述方法包括:

对来自每个共色点波束天线的接收信号进行数字信道化以产生相应的数字化频谱;

检测所述数字化频谱中的一个中的干扰载波;

确定该一个数字化频谱中的干扰载波与其它相应数字化频谱中的两个或更多个中的相同频率的较低功率干扰载波之间的相对功率水平;

对于所述相对功率水平中的每一个,基于该相对功率水平确定地理定位的等值线;以及

基于所述等值线中的两条或更多条之间的交叉识别上行干扰源的地理位置。

9. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,确定地理定位的等值线包括使用两个点波束的波束方向图数据来确定所述等值线,所述相对功率水平中的一个已经关于所述两个点波束确定。

10. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,确定所述等值线包括确定地理定位,其中所述两个点波束中的每一个的波束方向图数据之间的差与关于这两个点波束确定的相对功率水平相匹配。

11. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,确定所述相对功率水平包括:对于与所述相对功率水平中的一个相关联的成对点波束,确定所述成对点波束的相关转发器路径损耗的比值,所述相对功率水平中的所述一个将关于所述成对点波束确定。

12. 根据权利要求11所述的方法,其特征在于,转发器路径损耗是预先确定的并存储在存储器中,并且其中确定所述比值包括从所述存储的转发器路径损耗选择。

13. 根据权利要求11所述的方法,其特征在于,确定所述相对功率水平包括,对于所述相对功率水平中的所述一个,将相对转发器路径损耗的比值乘以由所述成对点波束接收的所述干扰载波的测量功率水平的比值。

14. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,确定地理定位包括对于三个或更多个相对功率水平中的每一个确定一组等值线,以及识别与来自每组等值线的线交叉的点。

15. 一种使用高通量卫星定位上行干扰源的方法,所述高通量卫星具有多个共色点波束天线以接收上行信号并且其中每个点波束具有相应的地理覆盖区域,所述共色点波束天线的各个覆盖区域在颜色复用模式中布置在非重叠区域,所述高通量卫星接收并数字化来自每个共色点波束天线的信号以产生相应的数字化频谱,以检测所述数字化频谱中的一个中的干扰载波,所述方法包括:

通过通信链路在地面网络运营中心从所述高通量卫星接收关于三个或更多个所述数字化频谱中的干扰载波的功率水平的数据;

从关于功率水平的数据确定该一个数字化频谱中的干扰载波与其它相应数字化频谱中的两个或更多个中的相同频率的较低功率干扰载波之间的相对功率水平;

对于所述相对功率水平中的每一个,基于该相对功率水平确定地理定位的等值线;以及

基于所述等值线中的两条或更多条之间的交叉识别上行干扰源的地理位置。

16. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,关于功率水平的所述数据包括由所述卫星确定的相对功率水平,并且其中确定相对功率水平包括从关于功率水平的所述数据获得所述相对功率水平。

17. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,关于功率水平的数据包括功率水平测量,并且其中确定相对功率水平包括从所述功率水平测量计算所述相对功率水平。

18. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,确定地理定位的等值线包括使用两个点波束的波束方向图数据来确定所述等值线,所述相对功率水平中的一个已经关于所述两个点波束确定。

19. 根据权利要求18所述的方法,其特征在于,确定所述等值线包括确定地理定位,其中所述两个点波束中的每一个的波束方向图数据之间的差异与关于这两个点波束确定的相对功率水平相匹配。

20. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,确定所述相对功率水平包括:对于与所述相对功率水平中的一个相关联的成对点波束,确定所述成对点波束的相关转发器路径损耗的比值,所述相对功率水平中的所述一个将关于所述成对点波束确定。

## 用于高通量卫星的上行干扰地理定位方法及系统

### 技术领域

[0001] 本申请涉及卫星通信,并且更具体地涉及用于高通量卫星 (HTS) 的上行干扰源的地理定位的方法和系统。

### 背景技术

[0002] 常规的固定业务卫星 (FSS) 系统使用一个或多个大宽波束来覆盖大的地理区域。有时,卫星可能在其工作频带中受到来自上行信号的干扰。能够识别这种信号的位置以便采取纠正措施是有价值的。用于对这种信号进行地理定位的现有技术依赖于到达时间差和到达频率差的技术,涉及卫星和地面站以及使用相同频谱的第二相邻卫星和地面站。这在实践中可能很难实现。

[0003] 现代卫星通信正从FSS转向高通量卫星 (HTS) 系统,其中卫星采用大量窄点波束并依赖于颜色复用来改善每个波束的容量。HTS被认为特别有吸引力,因为它可实现上行链路和下行链路的更高容量,并且现代卫星通信需要更加重视双向流量,即对终端设备上行链路和下行链路,如基于卫星的移动互联网。这意味着HTS系统可预期来自端点的明显更多的上行信号,将更多地依赖于能够准确地接收和传送这些信号,并且可能遭受来自意外或恶意上行信号的干扰的更大风险。

[0004] 因此,具有用于对上行干扰信号源进行地理定位的更好的方法和系统将是有益的。

### 发明内容

[0005] 为解决前述问题,在一个方面,本申请描述了一种用以定位上行干扰源的卫星系统。该系统可包括:多个共色点波束天线,其用以接收上行信号并且其中每个点波束具有相应的地理覆盖区域,共色点波束天线的相应覆盖区域在颜色复用模式中布置在非重叠区域;数字信道化处理器,其用以对来自每个共色点波束天线的接收信号进行数字信道化以产生相应的数字化频谱;频谱分析模块,其用以识别数字化频谱中的一个中的干扰载波,并确定所述一个数字化频谱中的干扰载波与其它相应数字化频谱中的两个或更多个中的相同频率的较低功率的干扰载波之间的相对功率水平;以及地理定位模块,其用以对于相对功率水平中的每一个,基于该相对功率水平确定地理定位的等值线,并基于等值线中的两条或更多条之间的交叉来识别上行干扰源的地理位置。

[0006] 另一方面,本申请描述了一种使用高通量卫星定位上行干扰源的方法,高通量卫星具有多个共色点波束天线以接收上行信号并且其中每个点波束具有相应的地理覆盖区域,共色点波束天线的各个覆盖区域在颜色复用模式中布置在非重叠区域。该方法可包括对来自每个共色点波束天线的接收信号进行数字信道化以产生相应的数字化频谱;检测数字化频谱中的一个中的干扰载波;确定所述一个数字化频谱中的干扰载波与其它相应数字化频谱中的两个或更多个中的相同频率的较低功率的干扰载波之间的相对功率水平;对于相对功率水平中的每一个,基于该相对功率水平确定地理定位的等值线;以及基于等值线

中的两条或更多条之间的交叉识别上行干扰源的地理位置。

[0007] 另一方面,本申请提供了一种使用高通量卫星定位上行干扰源的方法,高通量卫星具有多个共色点波束天线以接收上行信号并且其中每个点波束具有相应的地理覆盖区域,共色点波束天线的各个覆盖区域在颜色复用模式中布置在非重叠区域,高通量卫星接收并数字化来自每个共色点波束天线的信号以产生相应的数字化频谱,以检测数字化频谱中的一个中的干扰载波。该方法可包括通过通信链路在地面网络运营中心从高通量卫星接收关于三个或更多个数字化频谱中的干扰载波的功率水平的数据;根据关于功率水平的数据,确定所述一个数字化频谱中的干扰载波与其它相应数字化频谱中的两个或更多个中的相同频率的较低功率的干扰载波之间的相对功率水平;对于相对功率水平中的每一个,基于该相对功率水平确定地理定位的等值线;以及基于等值线中的两条或更多条之间的交叉识别上行干扰源的地理位置。

### 附图说明

[0008] 现在将通过举例的方式参考示出本公开的示例性实施例的附图,并且在附图中:

[0009] 图1以框图形式示出了HTS有效载荷的一个示例;

[0010] 图2示出了对于四色复用模式中的HTS系统的示例性覆盖区域;

[0011] 图3示出了一维波束方向图切面,示出了三个共色波束重叠的方向图;

[0012] 图4示出了示例性卫星系统的上行链路部分;

[0013] 图5示出了在其上示出相对增益的一维波束方向图切面;

[0014] 图6以流程图的形式示出了定位干扰信号源的示例性方法;

[0015] 图7以一个示例示出对应于针对一个波束对确定的相对增益的等值线;

[0016] 图8示出了对应于针对两个波束对确定的相对增益的等值线;

[0017] 图9示出了对应于针对三个波束对确定的相对增益的等值线;

[0018] 图10示出了对应于针对六个波束对确定的相对增益的等值线;

[0019] 图11示出了对应于基于两个附近波束对和一个更远距离波束对的相对增益的等值线;以及

[0020] 图12示出了用于定位上行干扰源的示例性方法。

[0021] 在附图中使用相似的附图标记来表示相似的元件和特征。

### 具体实施方式

[0022] 通过结合附图阅读以下详细描述,本公开的其它示例性实施例对于本领域普通技术人员将是显而易见的。

[0023] 关于本发明的一个方面或实施例描述的任何特征也可用于一个或多个其它方面/实施例。参考本文所述的实施例,本发明的这些和其它方面将变得显而易见并得以阐明。

[0024] 在本申请中,用语“和/或”旨在涵盖所列元件的所有可能组合和子组合,包括单独列出的元件中的任何一个、任何子组合或所有元件,而不一定排除其它元件。

[0025] 在本申请中,短语“.....或.....中的至少一个”旨在涵盖所列出的元件中的任何一个或多个,包括单独列出的元件中的任何一个、任何子组合或全部元件,而不一定排除任何其它元件,并且也不一定需要所有元件。

### [0026] 卫星概述

[0027] 卫星是位于轨道空间中的装置,其用于各种目的。在一个示例性实施例中,卫星是通信卫星。也就是说,它们位于轨道空间中以用于提供通信的目的。例如,通信卫星设计成在两个端点(可是固定的或移动的)之间中继通信信号,以提供诸如电话、电视、无线电和/或互联网服务的通信服务。

[0028] 卫星可在地球周围使用各种轨道路径。例如,卫星可位于地球静止轨道、莫尔尼亚轨道、椭圆轨道、极地和非极地地球轨道等。通信卫星通常位于地球静止轨道。也就是说,卫星在地球赤道上方具有圆形轨道,并遵循地球自转的方向。这种轨道上卫星的轨道周期等于地球的自转周期,并因此可能出现在地面站所见天空中的固定位置。

[0029] 通信卫星通常沿地球静止轨道间隔开。也就是说,卫星位于轨位中。卫星运营商根据国际电信联盟 (ITU) 的国际条约协调其对轨位的使用,且轨位之间的间隔取决于卫星的覆盖范围和工作频率。例如,在至少一些示例性实施例中,卫星之间的间隔可在2-3度的轨道经度之间。在至少一些示例性实施例中,卫星之间的间隔可小于2度。以这种方式分隔卫星允许上行链路和下行链路的工作频率复用。例如,通过将相邻卫星分开大于用于上行链路地面站天线发射波束宽度的距离(即,在波束的功率至少是其最大值的一半的方向之间的水平平面中测得的角度),可采用相同的通信信号频率上行到相邻卫星,其造成的干扰可满足协调要求或低于协调要求。类似地,如果相邻卫星之间的分开距离大于用于下行链路地面站天线接收波束宽度,则可采用相同的通信信号频率从相邻卫星下行,其造成的干扰可满足协调要求或低于协调要求。

[0030] 为了执行通信功能,卫星配备有各种所须元件。例如,卫星可包括通信有效载荷(其可进一步包括转发器、一个或多个天线和开关系统)、推进器(以将卫星推至期望的轨道)、跟踪和稳定系统(用于卫星姿态保持和卫星轨位保持)、电源子系统(为卫星供电)以及命令和控制子系统(以保持与地面控制站的通信)。

[0031] 卫星的转发器构成两个端点之间的通信信道,以允许两个端点之间的通信。转发器还决定了卫星通信的容量。

[0032] 卫星的天线发送和接收通信信号。更确切地说,天线是电子元件,它可以将电信号(可由发射机产生)转换为可以在空间中传播的射频(RF)信号,并且将接收的RF信号转换为电信号。在至少一些示例性实施例中,天线可与放大器相连,放大器可放大待发送或已接收的RF信号的功率。

[0033] 通信信号可为微波信号。微波信号是RF信号,其波长范围长达一米到短到一毫米。同样,RF信号的频率可在300MHz至300GHz的范围内。更具体而言,微波信号的某些波段更适合于卫星通信。例如,在至少一些示例性实施例中,卫星可在由ITU定义的C波段的频率内操作。C波段是电磁波谱的一部分,范围从大约4GHz到8GHz。也就是说,通信信号在此频率范围内由卫星发送和接收。在一些情况中,卫星可在高于8GHz的频率内工作。例如,卫星可在Ku波段的频率内工作。Ku波段是电磁波谱的一部分,范围从大约10GHz到18GHz。在至少一些示例性实施例中,卫星可在Ku波段之上的其它高频波段内工作。例如,卫星可在Ka波段内工作。Ka波段是电磁频谱的一部分,范围从大约26.5GHz到40GHz(目前,固定卫星业务(FSS)所划定的频段位为上行链路27-31GHz,下行链路为17.7-21.2GHz)。在一些示例中,卫星可设计为在一个以上的波段中工作。在一个示例中,可设计卫星以在C波段、Ku波段和Ka波段内

接收和发送信号。应当理解,卫星可在其它微波频带内工作。例如,卫星可在范围从大约1GHz到170GHz的任何一个定义的微波频带中工作。其它微波频带的示例可包括X波段、Q波段、V波段等。

[0034] 高通量卫星系统

[0035] 如上所述,在常规卫星固定业务(FSS)系统中,通常使用一个或若干大波束(例如,用于C波段的全球波束(semi-global beam)和用于Ku波段的一些区域波束)来覆盖期望的区域。

[0036] 在高通量卫星(HTS)系统中,卫星使用多个窄点波束(例如,0.6度Ka或Ku波段波束)。这些点波束以一定模式排列以覆盖所需区域。HTS系统通常依赖于“颜色复用”。不同点波束使用的频谱的不同部分,或相同部分但使用不同极化,称为不同的“颜色”。也就是说,每种颜色代表具有某段带宽和某种极化的一段频谱,其可由该点波束的覆盖区域内的最终用户使用。波束的空间隔离使得每种颜色可由多个波束复用以增加系统容量。在许多实施方式中,HTS系统试图通过确保相邻波束使用不同颜色来最小化下行链路和上行链路信号的波束间干扰。通常,使用较少的颜色将导致较高的波束间干扰,尤其是在覆盖边缘(EOC),然而,随着为每个覆盖区域分配更多带宽,系统的总容量也可能变得更高。常规HTS网络设计可使用4色复用方案,但是一些系统可具有2色、6色、8色或更多色。应当理解,2色复用模式将导致一些相邻波束使用相同的颜色。

[0037] 参考图1,其以框图形式示出了HTS有效载荷100的一个示例。该示例中的HTS有效载荷100包括N个点波束天线102。在一个点波束天线102中接收的信号由低噪声放大器(LNA)104放大,在混频器106中下变频,并输入到数字信道化处理器(DCP)108。DCP 108将下变频频谱数字化以产生数字化频谱,以实现快速分析和切换操作,包括信道切换或重新分配。数字化通道由DCP 108输出,以用于上变频、放大(通常通过行波管110),以及经由天线102发送。

[0038] 干扰源的地理定位

[0039] 卫星有时会受到上行干扰,其中卫星的接收天线在其工作带宽内检测到无用信号。上行干扰可能导致一个或多个信道的使用问题。上行干扰可能是恶意的或无意的。在任何一种情况下能够识别上行干扰的来源是有价值的。然而,挑战之一是波束的覆盖区域(即使是点波束)是一个很大的地理区域。识别干扰信号源的地理位置是非常有价值的,但也具有挑战性。

[0040] 在FSS系统中,上行干扰的地理定位是可能的,但是需要相邻卫星的主动参与。该技术大体上依赖于主卫星/地面站之间和参考卫星/地面站之间的信号的到达时间差(TDOA)和到达频率差(FDOA)的计算。换句话说,需要至少两个地球同步卫星和两个地面站来识别干扰源的位置。参考卫星必须与受害卫星相邻,并且必须共享相同的频谱和覆盖范围,这使得地理定位实际操作上非常困难。

[0041] 在HTS系统中,上行干扰可能是一个更大的潜在问题,因为HTS更多涉及到家庭和移动用户的双向数据通信,即同时上传和下载。

[0042] 更加先进的是,一方面,本申请提供了一种不依赖于相邻卫星或TDOA或FDOA的HTS系统上行干扰的地理定位的方法和系统。在一些实施方式中,地理定位方法利用颜色复用点波束的布局和数字信道化技术。



[0043] 图2示出了HTS系统的覆盖区域200的一部分的示例。覆盖区域200通过一系列独立点波束覆盖区域形成。通过确保相邻波束(即相邻覆盖区域)不使用相同颜色,采用颜色复用来最小化干扰。为了示出这个概念,图2中所示的示例将各自覆盖区域标记为红色、蓝色(b)、绿色(g)或橙色(o)。共色的“红色”覆盖区域以较粗的线宽示出,并且分别标记为波束0,1,2,3,4,5,6和11。应当理解,尽管覆盖区域表示为隔离的圆圈,但是波束增益方向图延伸超出指示的圆圈。例如,所示的圆圈可指示-3dB点。

[0044] 图3示出了三个共色波束的一维方向图切面的示例:波束0,1和4。应注意,例如,在波束0范围的波束方向图中仍然可看到波束4的增益方向图,虽然增益明显减弱。因此,从一个波束的覆盖区域内的位置发送的任何干扰上行链路载波,尽管功率较低,仍可在周围的共色波束中检测到。在实践中,相邻点波束天线可拾取的功率取决于两个天线方向图之间的隔离水平和相邻波束的接收机灵敏度。

[0045] 每个用户波束的上行链路频谱可由星载DCP数字化并处理,并然后传送到下行链路波束。利用先进的模数转换IC芯片和DSP处理器,可在有效载荷上实现许多先进的数字频谱分析功能。例如,DCP可用于测量数字化频谱内的特定载波的功率。根据本申请的一个方面,当卫星接收到上行干扰载波时,可测量由所有共色波束接收的功率水平并用于对上行干扰信号源进行地理定位。地理定位可在卫星上进行,或将功率测量(绝对或相对值)经DCP高速遥测链路送至地面网络运营中心(NOC),并在其中完成地理定位。

[0046] 当在一个波束(“受害”波束)中检测到上行干扰载波时,卫星可测量位于最近的共色波束,即波束1到6中的任何相应的上行载波。下一层共色波束“环”中的波束,例如波束11,如果需要的话,仍可在定位过程中引入,如下面进一步所述,只要该更远距离波束的接收载波功率水平仍然在波束输入接收机的动态范围内。

[0047] 现在参考图4,其示出了示例性卫星系统400的上行链路部分,包括使用4色复用模式、受害波束0和附近的共色点波束*i*的一系列点波束覆盖区域402。系统400包括用于两个点波束的接收天线404、DCP 406,以及在该示例中的地面NOC 408,其经由高速遥测链路(HSL TLM)从卫星接收数据。DCP 406包括频谱分析模块410,其配置为可测量数字化频谱内的干扰载波的功率水平。

[0048] 在两个点波束0和*i*中,待测信号所经过的路径存在各种损耗/增益。干扰站的上行等效全向辐射功率(EIRP)设为 $E_U$ 。从站到卫星天线的自由空间损耗为 $L_{fs}$ 。指向干扰站的点波束0和波束*i*的接收天线增益分别为 $G_0$ 和 $G_i$ 。从天线输出到DCP输入以及从DCP输入到频谱分析模块的转发器路径损耗(或增益)对于波束0和波束*i*分别表示为 $gr_0$ 、 $gd_0$ 和 $gr_i$ 、 $gd_i$ 。由于该地理定位问题的性质,参数 $E_U$ 和 $L_{fs}$ 是无法知道的。而路径损耗 $g_r$ 是已知的并且在有效载荷地面测试期间被充分测量。增益 $gd$ 是已知的并且可由HTS运营商改变以调整频谱分析模块的输入功率水平。参数 $gd$ 可在子信道精度(例如, $BW=1\text{MHz}$ )调整,而不影响其余频谱中的业务。给定这些量,测得的载波功率水平 $L_0$ 和 $L_i$ 可表示为:

$$[0049] \quad L_0 = E_U \cdot L_{fs} \cdot G_0 \cdot gr_0 \cdot gd_0 \quad (1)$$

$$[0050] \quad L_i = E_U \cdot L_{fs} \cdot G_i \cdot gr_i \cdot gd_i \quad (2)$$

[0051] 然后, $L_0$ 和 $L_i$ 之间的相对增益 $g_{0,i}$ 即为:

$$[0052] \quad g_{0,i} = \frac{L_0}{L_i} = \frac{G_0 \cdot gr_0 \cdot gd_0}{G_i \cdot gr_i \cdot gd_i} \quad (3)$$

[0053] 其中未知参数 $E_U$ 和 $L_{fs}$ 被消去。由于已经知道 $g_r$ 和 $g_d$ ，因此方程(3)可进一步简化为

$$[0054] \quad g_{0,i} = \frac{L_0}{L_i} = c \frac{G_0}{G_i} \quad (4)$$

[0055] 其中 $c$ 是由两个转发器路径的 $g_r$ 和 $g_d$ 参数归一化的常数。

[0056] 对于共色波束1至6，卫星随后可相应地找到 $g_{0,1}$ 、 $g_{0,2}$ ...和 $g_{0,6}$ 。

[0057] 现在还参考图5，示出了图3的一维方向图切面，其中指示了波束0和1以及波束0和4的相对增益，即 $g_{0,1}$ 和 $g_{0,4}$ 。应当理解，一旦已知一对波束之间的相对增益，就可识别对应于方向图中的相对差异的一维方向图切面中的一个或多个点。还应理解，图5是一维方向图切面。在二维中，一对波束方向图之间的相对增益对应于等值线图。两条或更多条相对增益等值线相交的点是干扰源的可能位置。

[0058] 每个波束的增益方向图可在HTS有效载荷测试阶段期间获得。HTS有效载荷测试阶段可包括在组装期间，天线集成到卫星中之前，测量X-Y(或U-V)切面中的每个单独天线的增益方向图。测量数据可与仿真数据进行比较以验证设计参数。这些增益方向图可存储在波束方向图数据库412中。在一些情况下，波束方向图数据库412可存储2D波束方向图或波束对一系列相对增益的增益等值线图。不论存储为哪种数据图，上行干扰地理定位模块414使用由频谱分析模块410测量的波束对之间的相对增益，以基于存储在波束方向图数据库412中的增益或相对增益数据找到对应的等值线图，并找到每个波束对的等值线相交的距离受害波束最近的点。该分析可自动执行，并且所得到的交叉位置数据输出以识别干扰上行信号源的可能地理位置。

[0059] 在一些实施例中，波束方向图数据库412和UL干扰地理定位模块414可在卫星上而不是在地面NOC 408处实现。

[0060] 现在参考图6，其以流程图的形式示出了用于高通量卫星的干扰载波源的地理定位的示例性过程600。过程600包括在HTS有效载荷处接收上行信号，如操作602指示的那样。上行信号在HTS使用的工作频谱内。如上所述，各个点波束将在其指定的频谱“颜色”内接收信号，其中“颜色”即为分配给它们并具有正确极化的工作频谱部分。

[0061] 在操作604中，通过HTS上的DCP将接收的频谱数字化。在正常过程中，DCP还将持续把来自每个点波束的频谱信道化，并将上行通道传送到正确的下行通道。在这种情况下，DCP在数字化频谱之后识别干扰载波，如操作606指示的那样。

[0062] DCP可部分地基于该点波束的频率规划来识别干扰载波。例如，频率规划可包括特定频率范围。在该频率范围之外但在点波束的工作范围内的载波可为干扰载波。在另一个示例中，载波可在点波束的频率规划内。在此情况下，频率规划可具有一系列相关联的频谱规范线，其设置为指示合法上行载波的预期正常变化范围。如果载波破坏规范线(例如，在大多数连续波干扰情况下超过)，则可视其为干扰载波。即使干扰载波不破坏规范线(即它在频谱规范线内工作)，其也可因为对合法调制波的 $E_s/N_0$ (每符号能量对噪声功率谱密度)值造成的恶化而被检测出。

[0063] 如果DCP在操作606中识别出干扰载波，DCP则测量共色波束对之间的相对增益，其中受害波束是每对中的波束之一。如上所述，在一些实施方式中可使用四色复用模式中的周围六个波束。在覆盖边缘(EOC)处，可用的共色波束可能少于六个。定位分析可依赖于少于六个共色波束，或可引入另外的更远距离的共色波束，但条件是那些更远的共色波束可在

数字化的接收频谱中检测到载波。

[0064] 受害波束与其共色的相邻波束之间的相对增益然后在操作610中被用来确定指示对应于每个相对增益值的可能干扰源位置的等值线。一对波束的相对增益值绘出的地理线段或曲线可标记出两个天线波束方向图之间的相对增益与测得的相对增益匹配的那些位置。在操作612中,上行干扰地理定位模块识别来自每个波束的至少一条等值线全部相交的位置。该位置标记出干扰载波源的可能位置。

[0065] 为了举例示出,考虑在波束0中检测到上行干扰载波的情况。可往回参考图2,其示出了共色的“红色”波束0至6的方向图。在卫星上的DCP处,已经确定波束0正在接收干扰载波,DCP在共色波束1-6的频谱中也找到该干扰载波。干扰载波具有相同的形状和频率,但功率较低。对于此示例,下表给出了以dBm为单位测量的载波功率和波束0与每个其它波束之间的相对增益:

HTS波束	波束0	波束1	波束2	波束3	波束4	波束5	波束6
DCP载波功率 (dBm)	-7.0	-49.2	-28.0	-45.3	-32.2	-37.4	-31.5
波束相对增益 $g_{0,i}$ (dB)	0.0	42.2	21.0	38.3	25.2	30.4	24.5

[0067] 图7示出了波束0和波束1之间的等值线的地理图,其对应于42.2dB的相对增益值。图8示出了在波束0和波束2之间增加的等值线的地理图,其对应于21dB的相对增益值。应注意,等值线在多个位置相交。在该示例中,如图中指示的那样,存在两个强候选位置。用其它波束对增加的其它等值线可帮助识别最佳候选位置。图9示出了在波束0和波束3之间增加的等值线,并且图10示出了来自所有六个波束对的等值线的地理图。应注意,使用所有六对波束将导致来自所有六对波束的某条等值线在波束0覆盖区内相交于同一点。

[0068] 如上所述,在EOC附近的一些情况下,可能不存在六个环绕的共色波束。因此,可将更远的共色波束引入到定位分析中。再次参照图2,在波束0中发现干扰但是仅波束1和6是相邻共色波束的情况下,定位分析可考虑采用更远离波束0的“第二层共色环”中的波束,例如波束11。可理解,干扰载波的功率水平在波束11中可能非常低;然而,如果需要,可调整DCP增益 $g_d$ ,以便获得合理准确的测量值。此示例的相对增益值可能是:

HTS波束	波束0	波束1	波束6	波束11
DCP载波功率 (dBm)	-7.0	-49.2	-31.5	-46.8
波束相对增益 $g_{0,i}$ (dB)	0.0	42.2	24.5	39.8

[0070] 图11示出了来自波束1,6和11的相对增益等值线,以及波束0覆盖区域内的那些等值线的交叉处识别的可能的干扰源位置。

[0071] 尽管前面的描述可描述等值线的绘图,但是它不一定意味着产生具有绘制线的地图或其它图像。为了可视化说明定位的概念,可方便地设想等值线的绘图和交叉点的视觉识别;然而,应当理解,在许多实施方式中,图线以数学或数字用语描述,并且交叉点的识别可使用各种数值方法或算法来确定,以找到两条曲线的交叉位置。

[0072] 波束方向图数据库可存储HTS测试阶段期间确定的波束方向图,其可存储为矩阵形式,或任何其它合适的数据结构中。例如,矩阵形式可反映包含特定地理范围的网格中每个点的增益值的二维方向图。方向图测试的分辨率可基于测试灵敏度和可能的误差、定位服务的期望地理分辨率和存储器存储限制的平衡来选择。

[0073] 图12以流程图的形式示出了用于对上行干扰源进行地理定位的示例性方法700。

在示例方法700中,某些操作指示为由HTS执行,而某些操作指示为由地面NOC执行。应当理解,在一些情况下,描述为由地面NOC执行的一些或所有操作可由HTS处的处理单元执行。

[0074] 在该示例方法700中,HTS首先在操作702中检测上行干扰,然后在操作704中识别受害波束。在操作706中,DCP测量受害波束中和周围的共色波束中的干扰载波的功率水平。所需测量的周围波束的数量可取决于受害波束是否接近覆盖边缘以及HTS的颜色复用模式。

[0075] 在操作708中,DCP考虑了波束之间的路径损耗差异。这是用来确定波束对之间的常数 $c$ 。回想一下,常数 $c$ 是两个转发器路径的 $g_r$ 和 $g_d$ 的比值。在一些实施方式中,常数 $c$ 可预先确定并存储在存储器中以用于各种共色的点波束对。在这种情况下,操作708涉及从存储器中寻回所需的常数。

[0076] 在操作710中,DCP确定波束对的相对增益,并然后,在该示例的操作712中,将那些相对增益值中继到地面NOC。

[0077] 在地面NOC处,在该示例中,可选地以下面进一步描述的方式考虑某些HTS误差或不确定性,如操作714所示。

[0078] 在操作716中,相对增益用于从成对的点波束的存储的波束方向图数据生成等值线图。在该示例中,NOC首先确定第一波束对(波束0和波束 $i$ )的等值线。然后,在操作718中,NOC识别交叉点。对于第一个波束对,自然没有交叉,因此NOC无法定位干扰源。如操作720所示,NOC评估是否已经以足够的置信度识别出干扰源位置。在操作722中,判断其他波束相对增益数据是否可用,并且如果是,如操作724所示,则返回以添加下一个波束对等值线并识别交叉点。

[0079] 在一些实施例中,在操作720评估是否已经识别出干扰位置可部分地基于置信度测量。在一些实施方式中,测量需考虑交叉等值线之间的一致程度。在某些情况下,它还可考虑交叉处的线之间的角度,因为从更偏于相切的线确定的交叉点更可能是不准确的。在一些示例中,穿过交叉点的线的数量可增加置信水平。可基于各种波束对的交叉点之间的距离的确定测量置信水平,较低的距离对应于较高的置信度。

[0080] 如所指出的那样,NOC(或DCP)可在操作714中解决一些误差或不一致问题。由于不完美的波束方向图数据、测量的功率水平的准确性误差以及相对转发器信号路径增益的测量误差等等,所识别的等值线的交叉可能具有轻微的误差。因此,在一些情况下,NOC或DCP可使用相对增益的区间值而不是单个值给出交叉区域而非交叉点。

[0081] 由于所需波束的频谱可快速扫描并通过专用高速链路发回,即使干扰载波正在移动(在频域或地理位置域),其在波束频谱上的相对表现仍然可以接近实时的方式记录和分析,并且几乎可立即执行所提出的地理定位过程。

[0082] 如果干扰载波不是单频/连续波(CW)型信号,而是占用一定带宽的调制波,则上述过程仍然适用。在功率测量中可能需要排除信号载波之下的热噪声。

[0083] 在一些情况下,干扰载波频谱与至少一些共色的相邻波束中的正常工作载波频谱重叠。可考虑至少三种方法来正确地测量和地理定位干扰源。首先,定位过程可避免使用与正常工作载波重叠的波束。其次,NOC可暂时重新分配或停止重叠工作载波的传输。第三,DCP可采用星载载波叠加技术来直接测量干扰载波的功率。该技术已用于地面载波监视系统的实例,并且可集成到星载DCP的功能中。

[0084] 上面的讨论集中于使用所描述的方法和系统来定位干扰信号源,无论是意外的还是恶意的。例如,该信号可为干扰信号。在意外干扰源的一个示例中,干扰可来自指向相邻卫星的上行站的旁瓣。地理定位可用于识别这种干扰信号的位置,其中两个卫星具有相似的覆盖区域并且工作在至少部分相同的频带中。

[0085] 所描述的方法和系统还可应用于定位非“干扰”的其它信号源。例如,在某些情况下,其可用于识别已知用户设备的位置。例如,用户设备可能具有失效或被禁用的GPS模块,并且在紧急情况下,可能需要来自HTS的地理定位服务。

[0086] 本公开的示例性实施例不限于任何特定类型的卫星或天线。

[0087] 以上呈现的各种实施例仅仅是示例,且决不意味着限制本申请的范围。本文描述的创新的变化对于本领域普通技术人员而言是显而易见的,这些变化在本申请的预期范围内。另外,本文和所述权利要求中描述的主题旨在涵盖并包含所有合适的技术变化。

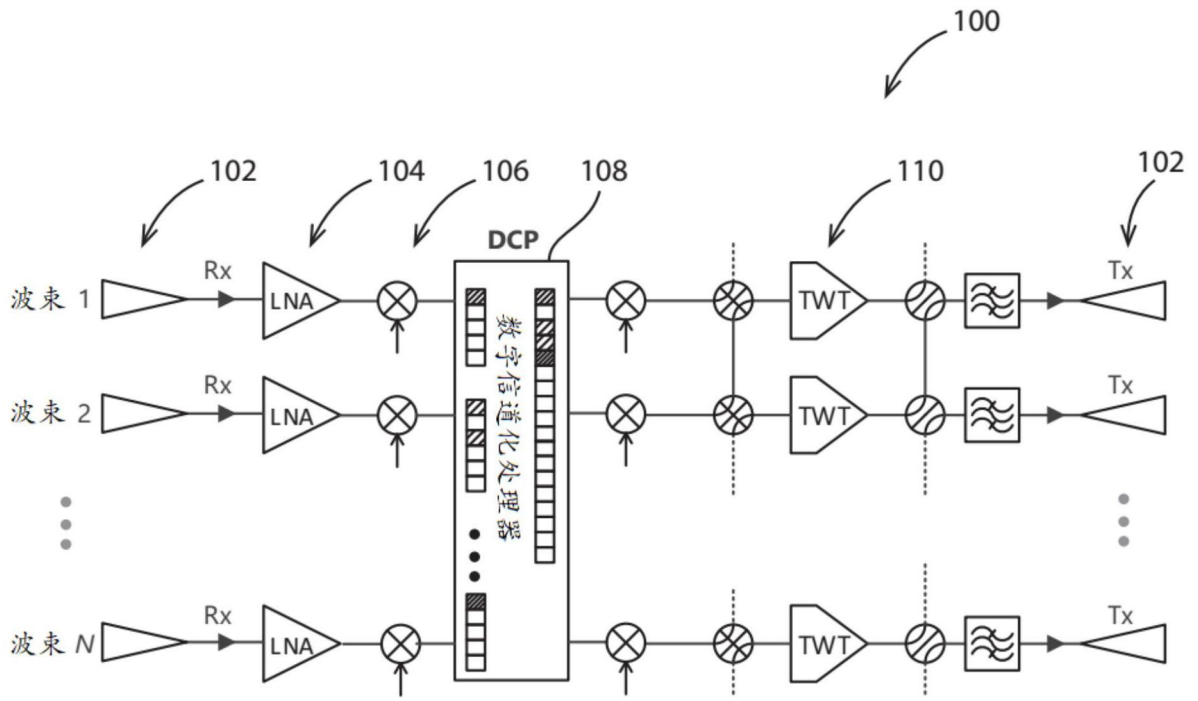


图1

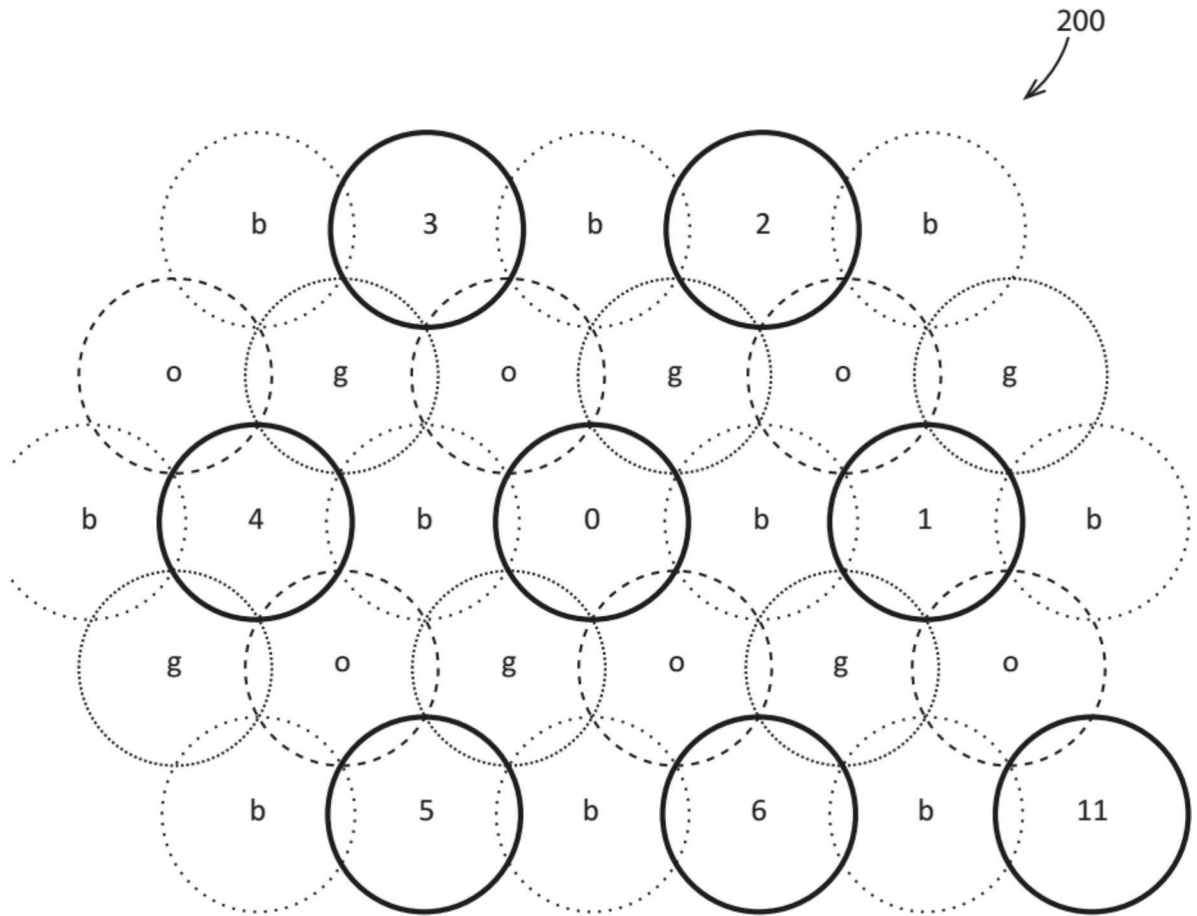


图2

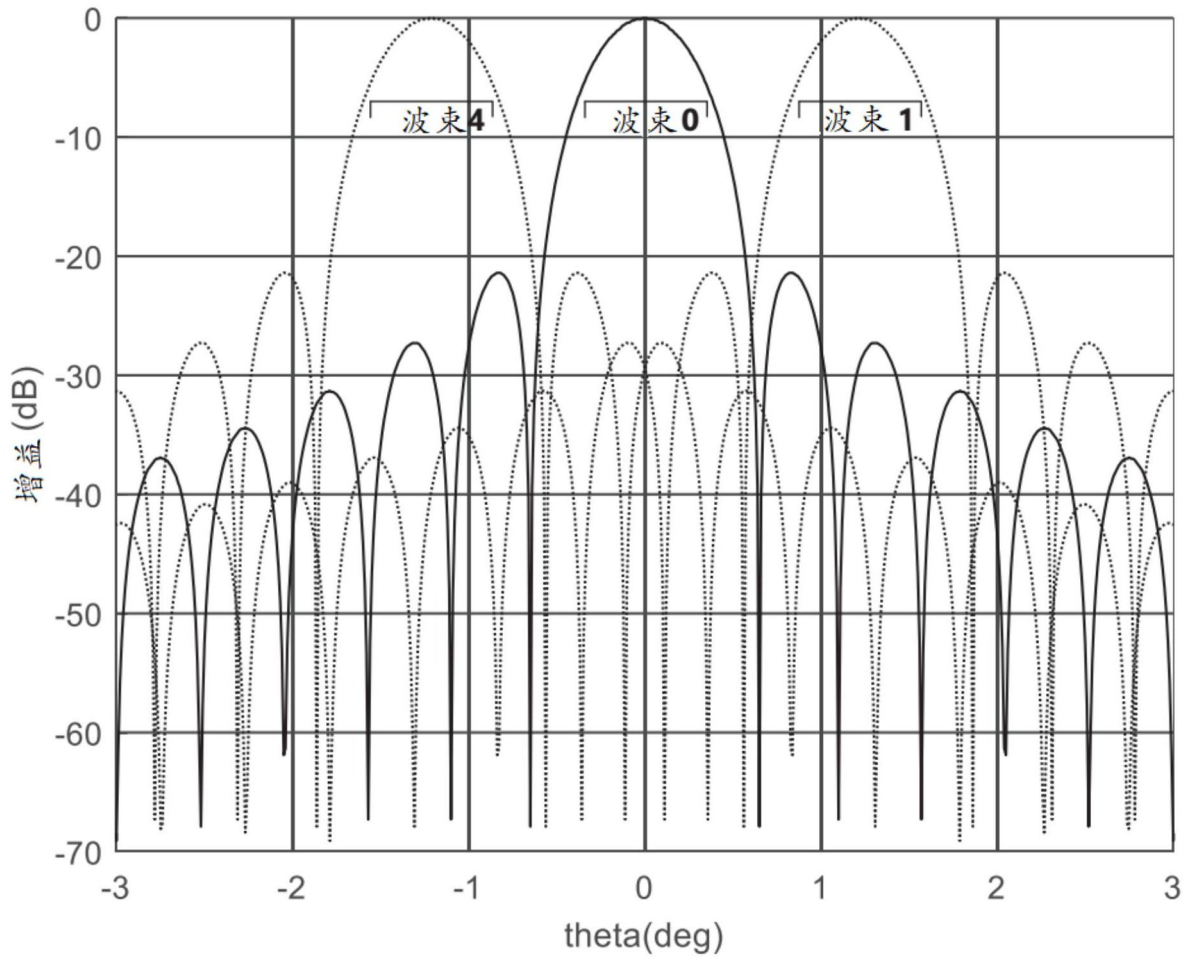


图3



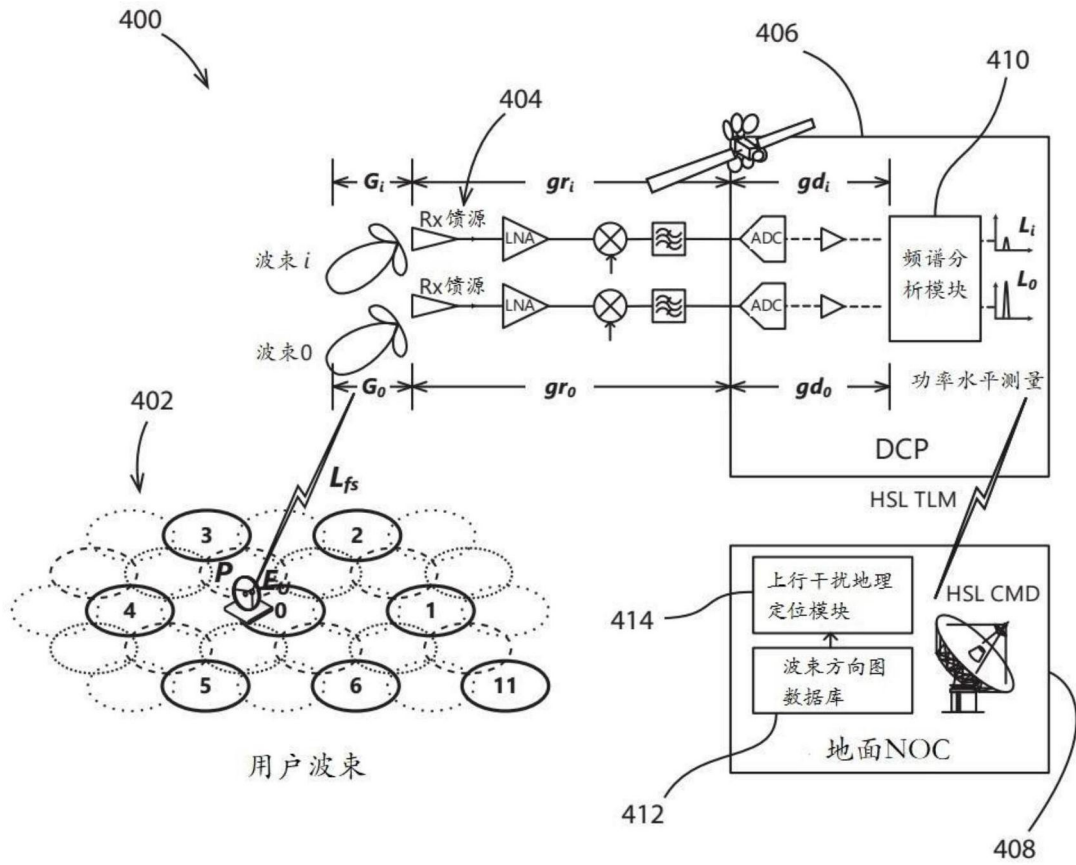


图4

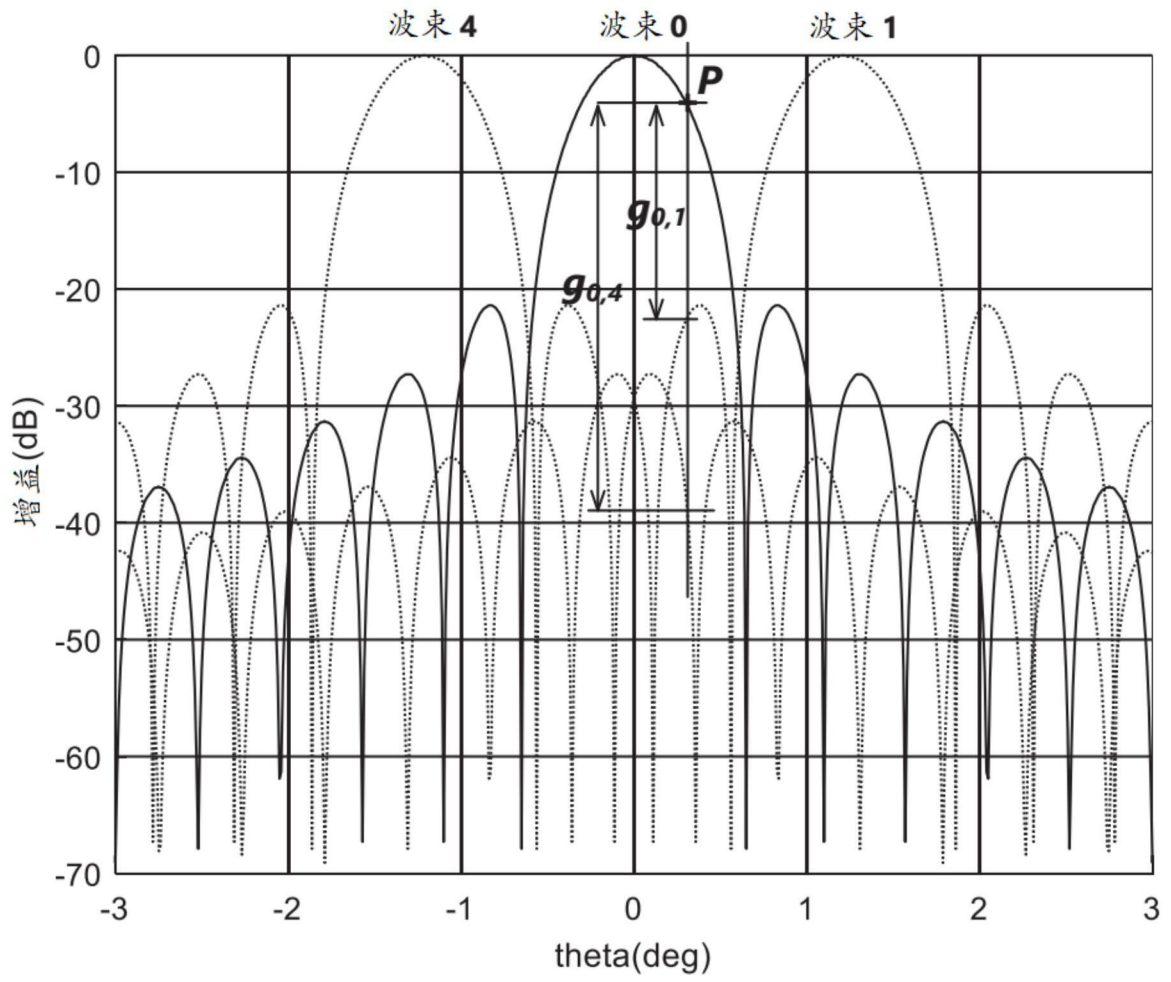


图5

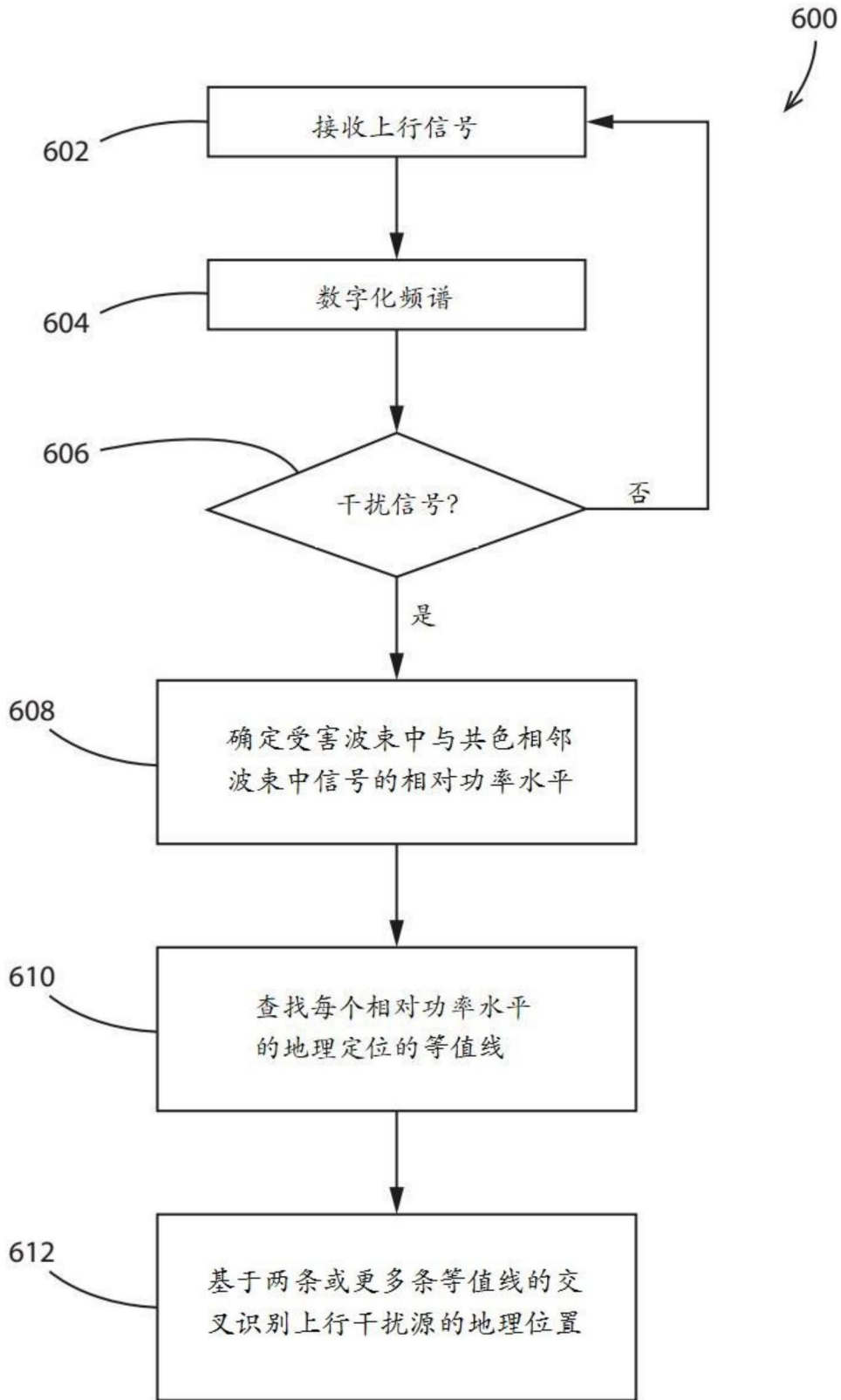


图6

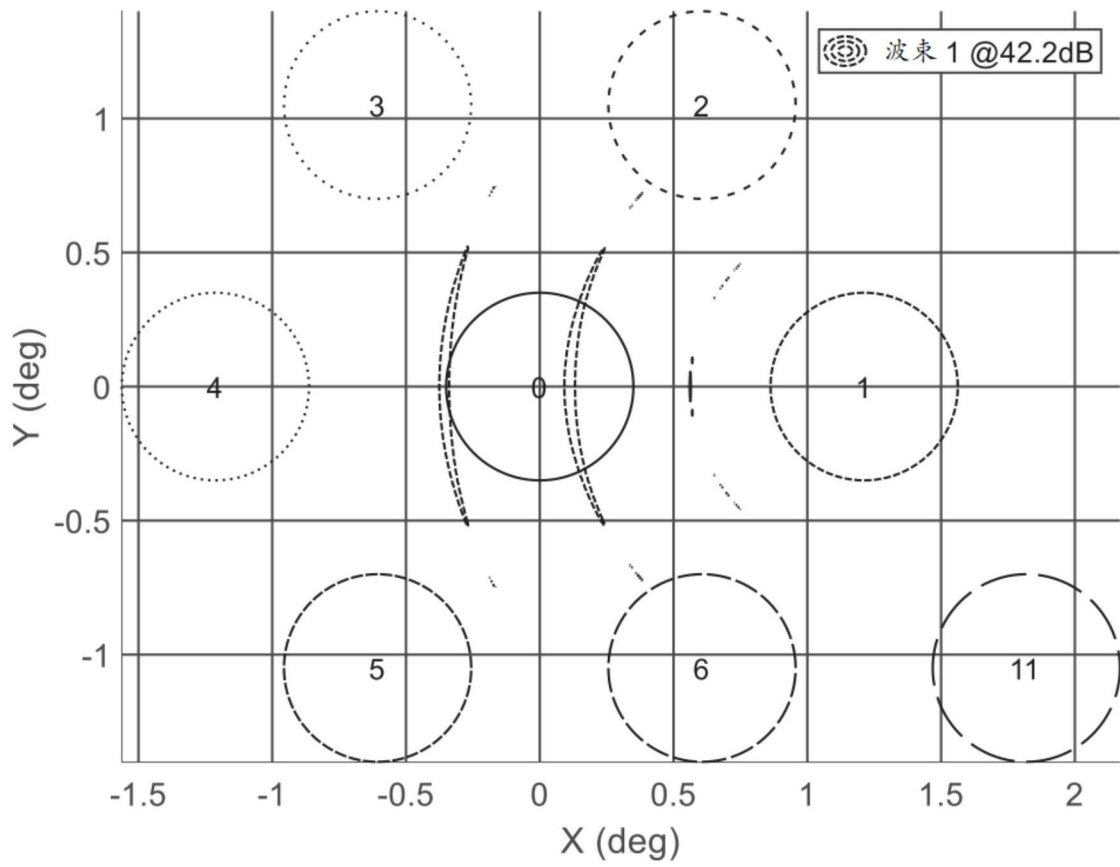


图7

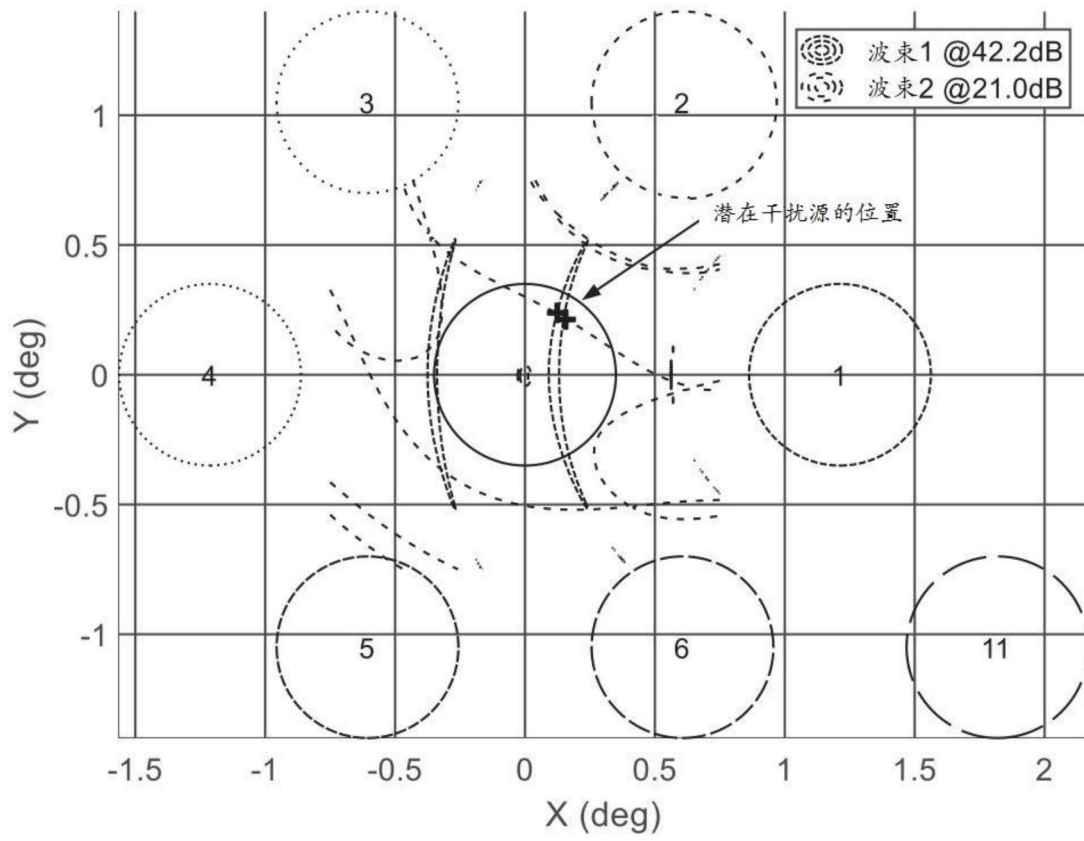


图8

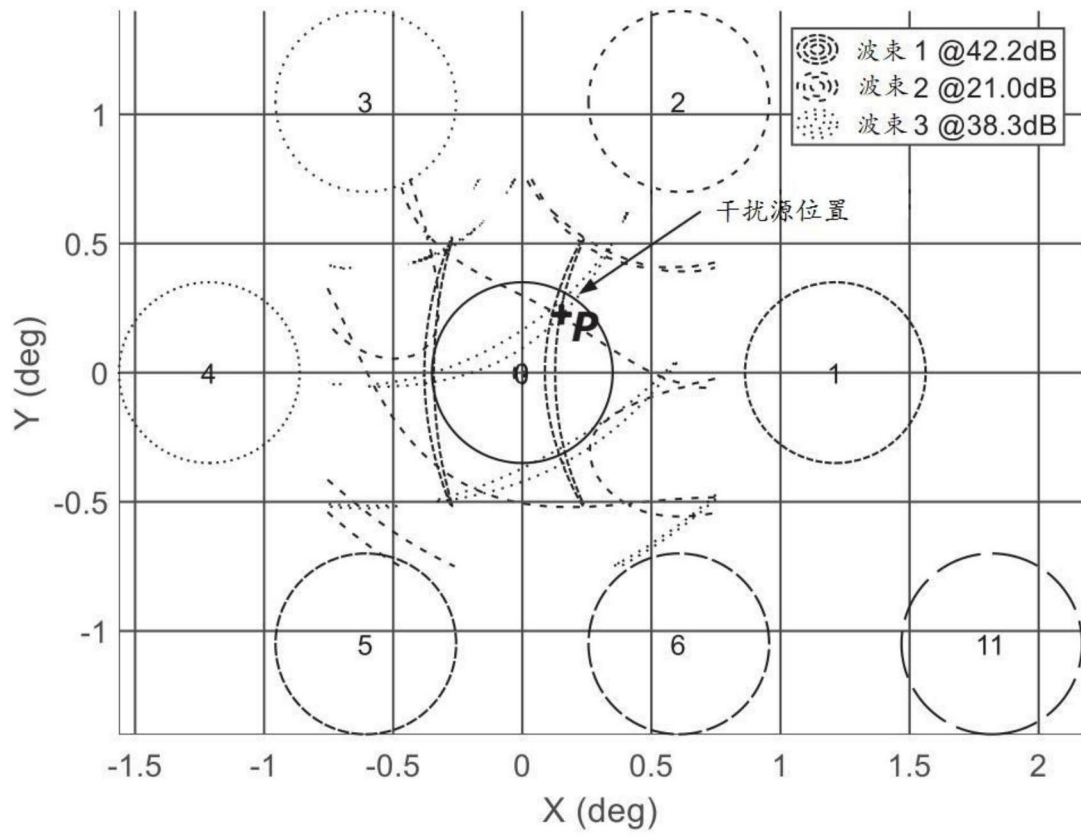


图9

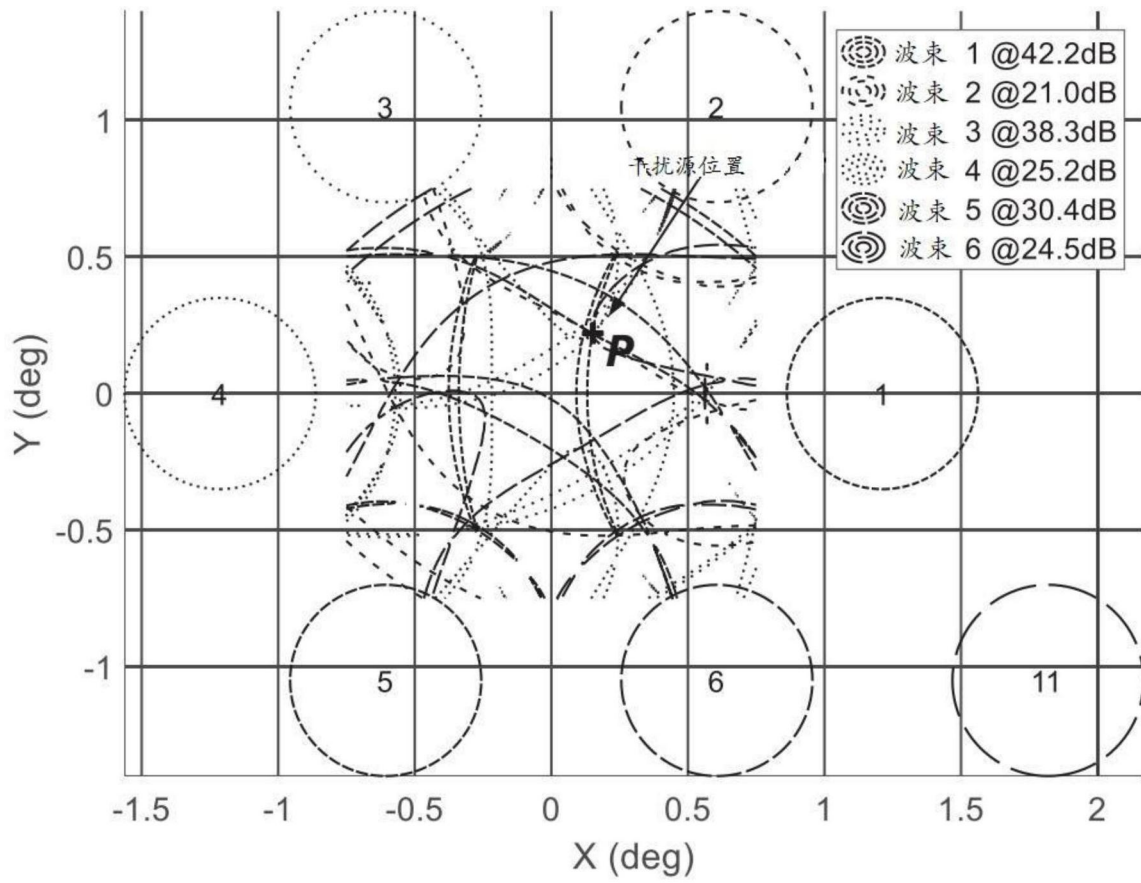


图10

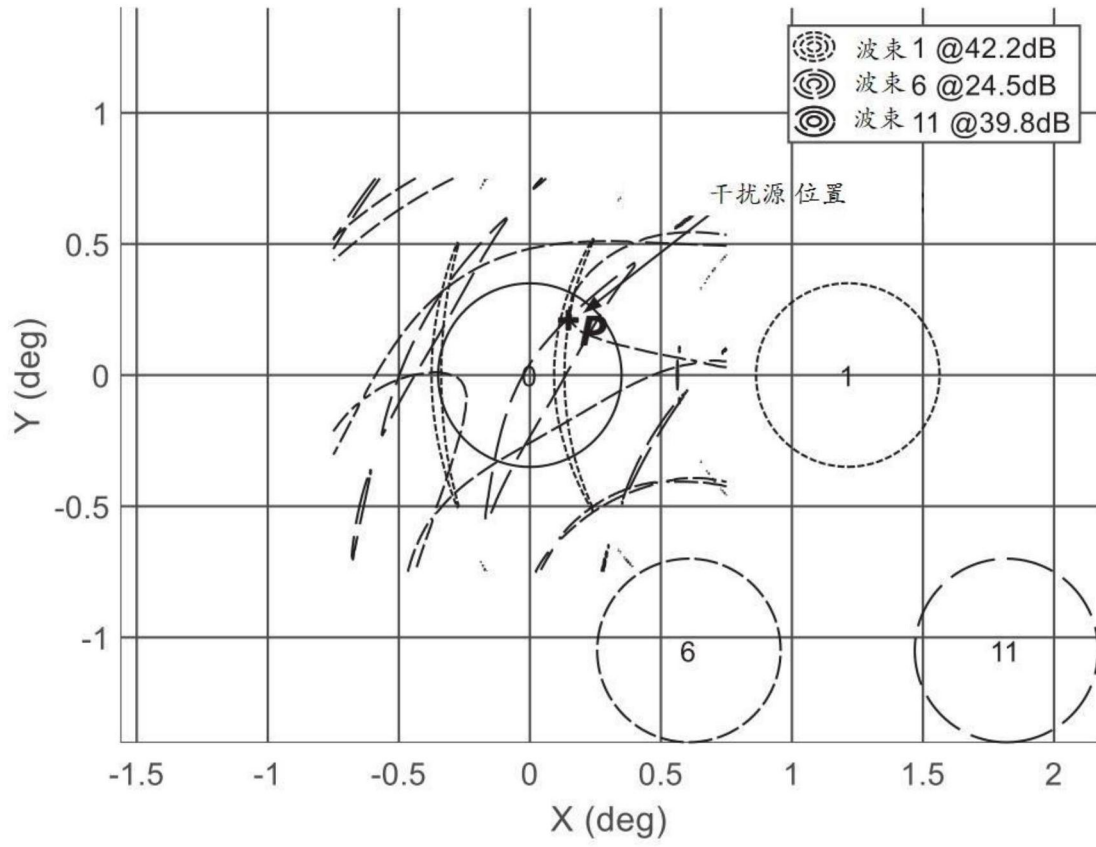


图11



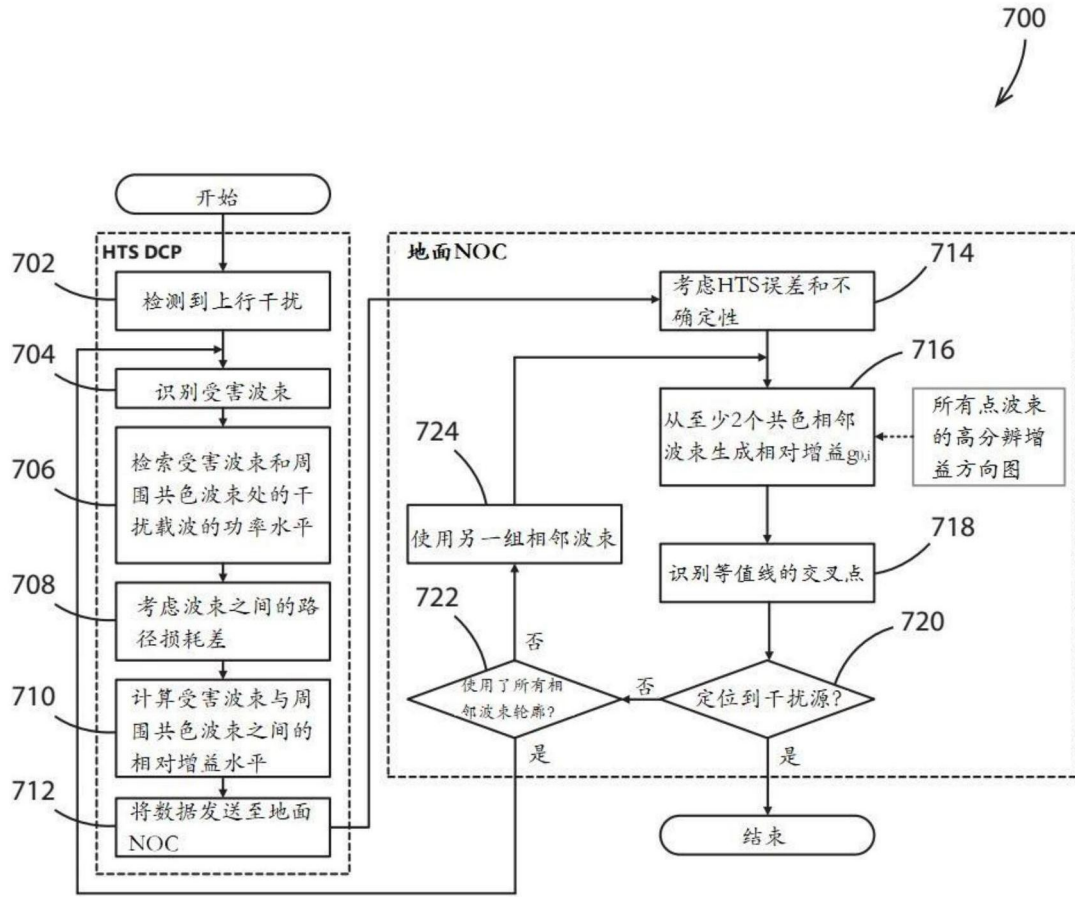


图12