



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110557797 B

(45) 授权公告日 2022. 11. 15

(21) 申请号 201910215114.0

(22) 申请日 2019.03.21

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110557797 A

(43) 申请公布日 2019.12.10

(30) 优先权数据  
US15/997,399 2018.06.04 US

(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.

H04W 36/28 (2009.01)

H04W 36/30 (2009.01)

H04W 72/12 (2009.01)

H04B 7/0456 (2017.01)

H04W 84/06 (2009.01)

(56) 对比文件

CN 103796319 A, 2014.05.14

US 2016021650 A1, 2016.01.21

CN 105827301 A, 2016.08.03

审查员 陈静

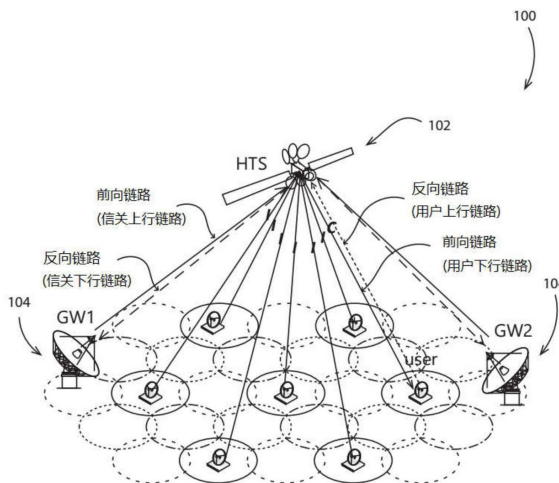
权利要求书4页 说明书13页 附图7页

(54) 发明名称

用于运营高通量卫星的方法及系统

(57) 摘要

一种高通量卫星及运营高通量卫星的方法。卫星具有多种运营模式,并且根据频谱填充率而在它们之间转换。运营模式可包括改变颜色(频谱)复用模式以增加或减少颜色的数量、使用波束内地理细分或预编码下行链路信号。



1. 一种运营具有多个下行链路点波束的高通量卫星的方法,所述方法包括:

引起所述卫星在第一运营模式下运营,所述第一运营模式采用第一颜色复用模式用于下行链路传输,其中所述第一颜色复用模式的颜色包括至少2色;

判定频谱填充率超过第一阈值;以及

基于判定所述频谱填充率超过所述第一阈值,自动引起所述卫星以第二运营模式运营,所述第二运营模式采用以下至少一者:

将一个或多个点波束的波束内地理细分为内部区域和外部区域,其中所述内部区域使用第一颜色复用模式,而所述外部区域使用具有比所述第一颜色复用模式颜色更多的第二颜色复用模式,以及

通过对至少一个所述点波束的下行链路传输中的符号应用复数权向量来星载预编码下行链路信号;

其中,所述第一运营模式包括使用初始颜色复用模式开启所述卫星的运营,判定所述频谱填充率是否超过初始阈值,以及基于所述判定,将所述卫星的运营改为使用所述第一颜色复用模式,其中所述第一颜色复用模式具有比所述初始颜色复用模式更少的颜色;并且

所述频谱填充率定义为已使用的波束频谱带宽除以点波束的全部带宽。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述初始颜色复用模式具有 $k*n$ 种颜色,所述第一颜色复用模式具有 $m*n$ 种颜色,并且 $k$ 和 $m$ 是整数, $m < k$ , $n$ 是偶数整数。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述第二运营模式对所述一个或多个点波束内地理细分为内部和外部区域,并且其中所述一个或多个点波束具有覆盖区域,且所述的内部和外部区域的划分由所述覆盖区域内选定的波束间干扰等值线确定。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述第二运营模式对所述一个或多个点波束内地理细分为内部和外部区域,并且其中所述外部区域是围绕所述内部区域的环形。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述第二运营模式对所述一个或多个点波束内地理细分为内部和外部区域,并且其中所述外部区域包含位处所述内部区域任一侧上的两个外部区域。

6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,对所述下行链路信号进行星载预编码,包括从与所述至少一个点波束相同频谱工作的每个用户终端接收信道增益测量值,并基于从所述用户终端接收的信道增益测量值更新所述复数权向量。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,通过求解表示为以下形式的优化问题来确定复数权向量:

$$\underset{\sum \|w\|^2 < P}{\text{maximize}} \sum_{j=1}^N c_j \log_2(1 + \text{SINR}_j),$$

其中 $w$ 是复数权向量, $j$ 是索引, $N$ 是在与所述至少一个点波束相同频谱工作的用户终端的数量, $c_j$ 是加权因子, $P$ 是用于星载预编码数字处理器的最大输出功率, $\text{SINR}_j$ 是信号与干扰加噪声比。

8. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,如果判定所述接收的用户信道增益测量值

的累积变化超过预设值,则求解所述优化问题。

9. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述第二运营模式包括所述波束内地理细分而不包括所述预编码下行链路信号,并且其中所述方法还包括:

在所述第二运营模式中时,判定所述频谱填充率超过高于所述第一阈值的第二阈值,并且基于所述判定,自动引起所述卫星在第三运营模式下运营,所述第三运营模式通过将所述至少一个点波束下行链路传输的符号应用复数权向量来星载预编码所述下行链路信号。

10. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

在所述第二运营模式中时,判定所述频谱填充率降低到低于所述第一阈值的第三阈值以下,并且在此基础上,自动引起所述卫星转换回所述第一运营模式。

11. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

在所述第三运营模式中时,判定所述频谱填充率降低到低于所述第二阈值但高于所述第一阈值的第四阈值以下,并且在此基础上,自动将所述卫星转换回所述第二运营模式。

12. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,引起所述卫星在所述第一运营模式中运营,包括从地面网络运营中心向所述卫星发送指令,并且其中所述判定由所述地面网络运营中心执行。

13. 一种高通量卫星,包括:

多个下行链路点波束;以及

星载数字处理器,以用于

在第一运营模式运营所述卫星,所述第一运营模式采用第一颜色复用模式进行下行链路传输,其中所述第一颜色复用模式的颜色包括至少2色;

判定频谱填充率超过第一阈值,以及

基于判定所述频谱填充率超过所述第一阈值,自动将所述卫星转换到第二运营模式,所述第二运营模式采用以下至少一者:

一个或多个点波束内地理细分为内部区域和外部区域,其中所述内部区域使用所述第一颜色复用模式,并且所述外部区域使用具有比所述第一颜色复用模式颜色更多的第二颜色复用模式,以及

通过对至少一个所述点波束下行链路传输中的符号应用复数权向量来星载预编码下行链路信号,

其中,当处于所述第一运营模式时,所述数字处理器使用初始颜色复用模式开启所述卫星的运营,判定所述频谱填充率是否超过初始阈值,以及基于所述判定,将所述卫星的运营改为使用所述第一颜色复用模式,其中所述第一颜色复用模式具有比所述初始颜色复用模式更少的颜色;并且

所述频谱填充率定义为已使用的波束频谱带宽除以点波束的全部带宽。

14. 根据权利要求13所述的高通量卫星,其特征在于,所述初始颜色复用模式具有 $k*n$ 种颜色,所述第一颜色复用模式具有 $m*n$ 种颜色,并且其中 $k$ 和 $m$ 是整数, $m < k$ , $n$ 是偶数整数。

15. 根据权利要求13所述的高通量卫星,其特征在于,所述第二运营模式对所述一个或多个点波束内地理细分为内部和外部区域,并且其中所述一个或多个点波束具有覆盖区域,且所述的内部和外部区域的划分由所述覆盖区域内选定的波束间干扰等值线确定。

16. 根据权利要求13所述的高通量卫星,其特征在于,所述第二运营模式对所述一个或多个点波束内地理细分为内部和外部区域,并且其中所述外部区域是围绕所述内部区域的环形。

17. 根据权利要求13所述的高通量卫星,其特征在于,所述第二运营模式对所述一个或多个点波束内地理细分为内部和外部区域,并且其中所述外部区域包含位处在所述内部区域任一侧上的两个外部区域。

18. 根据权利要求13所述的高通量卫星,其特征在于,所述数字处理器对所述下行链路信号进行星载预编码,包括从与所述至少一个点波束相同频谱工作的每个用户终端接收信道增益测量值,并基于从所述用户终端接收的信道增益测量值更新所述复数权向量。

19. 根据权利要求18所述的高通量卫星,其特征在于,所述复数权向量由所述数字处理器通过求解以下形式的优化问题来确定:

$$\underset{\sum \|w\|^2 < P}{\text{maximize}} \sum_{j=1}^N c_j \log_2(1 + \text{SINR}_j),$$

其中 $w$ 是复数权向量, $j$ 是索引, $N$ 是在与所述至少一个点波束相同频谱工作的用户终端的数量, $c_j$ 是加权因子, $P$ 是用于星载预编码数字处理器的最大输出功率, $\text{SINR}_j$ 是信号与干扰加噪声比。

20. 根据权利要求19所述的高通量卫星,其特征在于,所述数字处理器是否求解所述优化问题要先判定所述接收的信道增益测量值的累积变化是否超过预设值。

21. 根据权利要求13所述的高通量卫星,其特征在于,所述第二运营模式包括所述波束内地理细分而不包括所述预编码下行链路信号,并且其中所述数字处理器还用于:

在所述第二运营模式中时判定所述频谱填充率超过高于所述第一阈值的第二阈值,并且基于所述判定,自动将所述卫星转换到第三运营模式,所述第三运营模式通过将所述至少一个点波束下行链路传输的符号应用复数权向量来星载预编码下行链路信号。

22. 根据权利要求21所述的高通量卫星,其特征在于,所述数字处理器还用于:

在所述第二运营模式中时,判定所述频谱填充率降低到低于所述第一阈值的第三阈值以下,并且在此基础上,自动将所述卫星转换回所述第一运营模式。

23. 根据权利要求21所述的高通量卫星,其特征在于,所述数字处理器还用于:

在第三运营模式中时,判定所述频谱填充率降低到低于所述第二阈值但高于所述第一阈值的第四阈值,并且在此基础上,自动将所述卫星转换回所述第二运营模式。

24. 一种用于控制在轨高通量卫星运营的网络运营中心,所述卫星具有多个下行链路点波束和多个运营模式,所述网络运营中心包括:

高速遥测和卫星指挥链路;

至少一个处理器;以及

存储处理器可执行指令的存储器,所述指令在由所述至少一个处理器执行时,引起所述处理器:

指示所述卫星在第一种运营模式下运营,所述第一运营模式采用第一种颜色复用模式进行下行链路传输,其中所述第一颜色复用模式的颜色包括至少2色;

判定所述卫星的频谱填充率超过第一阈值;以及

基于所述频谱填充率超过所述第一阈值的判定,自动指示所述卫星采用以下至少一个的第二运营模式运营:

将一个或多个点波束内地理细分为内部区域和外部区域,其中所述内部区域使用所述第一颜色复用模式,而所述外部区域使用具有比所述第一颜色复用模式颜色更多的第二颜色复用模式,以及

通过对至少一个所述点波束的下行链路传输的符号应用复数权向量来星载预编码下行链路信号,

其中,当处于所述第一运营模式时,数字处理器使用初始颜色复用模式开启所述卫星的运营,判定所述频谱填充率是否超过初始阈值,以及基于所述判定,将所述卫星的运营改为使用所述第一颜色复用模式,其中所述第一颜色复用模式具有比所述初始颜色复用模式更少的颜色;并且

所述频谱填充率定义为已使用的波束频谱带宽除以点波束的全部带宽。

## 用于运营高通量卫星的方法及系统

### 技术领域

[0001] 本申请涉及卫星通信领域,并且更具体的涉及用于运营高通量卫星(HTS)的方法和系统。

### 背景技术

[0002] 常规固定业务卫星(FSS)系统使用一个或多个宽波束来覆盖较大的地理区域。然而现代卫星通信正在从FSS转向HTS,后者采用大量点波束并依赖颜色(即频谱)复用来改善每个波束的容量(又称通量)。HTS极具吸引力,因为它可实现更高容量的上行和下行链路,而现代卫星通信则更加重视双向通信,即上行和下行到用户终端设备,例如基于卫星的移动互联网通信业务。

[0003] 颜色复用是减少波束间干扰的一种方法,但是使用大量颜色可能导致每个点波束分配到较少的带宽。这样可能导致卫星的容量,尤其是下行链路的容量,快速耗尽,因为下行容量的需求往往更高。较少的颜色复用可增加每个波束可分配的带宽,但代价是带来了较高的波束间干扰。较高的波束间干扰会对系统可实现的容量产生不利影响,并且还可能导致降低频谱效率。因此,常规HTS系统采用固定的颜色复用模式以平衡上述因素。通常HTS采用4色复用模式。

[0004] 因此,采用更佳的HTS运营方法和系统,特别是采用可以管理和平衡频谱需求、波束干扰,提高频谱效率的技术,将有利于HTS运营,以便提供更多的卫星通信容量。

### 发明内容

[0005] 一方面,本申请描述了高通量卫星和运营高通量卫星的方法。卫星具有多种运营模式,并且根据频谱填充率而在它们之间转换。运营模式可包括改变颜色复用模式以增加或减少颜色的数量、使用波束内地理细分或预编码下行链路信号。

[0006] 另一方面,本申请描述了一种运营具有多个下行链路点波束的高通量卫星的方法。该方法包括引起卫星以第一运营模式运营,该第一运营模式采用第一颜色复用模式进行下行链路传输;判定频谱填充率超过第一阈值;以及基于判定频谱填充率超过第一阈值,自动引起卫星在第二运营模式下运营,该第二运营模式对一个或多个点波束采用至少一种地理细分,将波束分为内部区域和外部区域。其中内部区域使用第一颜色复用模式,而外部区域使用具有比第一颜色复用模式更多颜色的第二颜色复用模式,并且对至少一个点波束的下行链路传输的符号进行星载复向量加权预编码。

[0007] 另一方面,本申请提供了一种高通量卫星,其包括多个下行链路点波束和数字处理器。数字处理器用于以第一运营模式运营卫星,该第一运营模式采用第一颜色复用模式用于下行链路传输;判定频谱填充率超过第一阈值;以及基于频谱填充率超过第一阈值的判定,自动将卫星转换到第二运营模式,该第二运营模式对一个或多个点波束的采用至少一种地理细分,将波束分为内部区域和外部区域。其中内部区域使用第一颜色复用模式,而外部区域使用具有比第一颜色复用模式更多颜色的第二颜色复用模式,并且对至少一个点

波束的下行链路传输的符号进行星载复向量加权预编码。

[0008] 又一方面,本申请描述了一种用于控制在轨高通量卫星运营的网络运营中心,其所控制的卫星具有多个下行链路点波束和多个运营模式。网络运营中心包括高速遥测和卫星指挥链路;至少一个处理器;以及存储处理器可执行指令的存储器,当由至少一个处理器执行时,处理器指示卫星在第一运营模式下运营并采用第一颜色复用模式传输下行链路,判定频谱填充率超过第一阈值;以及基于频谱填充率超过第一阈值的判定,自动地指示卫星在第二运营模式中运营,并且对一个或多个点波束采用至少一种地理细分,将波束份为内部区域和外部区域。其中内部区域使用第一颜色复用模式,而外部区域使用具有比第一颜色复用模式更多颜色的第二颜色复用模式,并且对于至少一个点波束的下行链路传输的符号进行星载复向量加权预编码。

### 附图说明

[0009] 现将通过举例的方式示出本公开的示例性实施例的附图,并且在附图中:

[0010] 图1以框图形式示出了HTS系统的一个实例;

[0011] 图2以流程图的形式示出了运营卫星的示例性方法;

[0012] 图3示出了8色复用模式的实例;

[0013] 图4示出了4色复用模式的实例;

[0014] 图5示出了用于8色复用模式的载波干扰图;

[0015] 图6示出了用于4色复用模式的载波干扰图;

[0016] 图7(a)示出了用于4色复用模式中的点波束的波束间C/I地理分布的一个实例;

[0017] 图7(b)示出了图7(a)的波束分成内部区域和外部区域;

[0018] 图8(a)示出了用于2色复用模式中的点波束的波束间C/I地理分布的一个实例;

[0019] 图8(b)示出了图8(a)的波束分成内部区域和外部区域;

[0020] 图9以图表形式示出了HTS系统的信道增益/损耗和预编码反馈回路;

[0021] 图10以框图形式示出了HTS有效载荷的一个实例;以及

[0022] 图11示出了使用示例性三阶段运营的HTS系统的填充率和相应的容量比较。

[0023] 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

[0024] 通过阅读以下详细描述并结合附图可知,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。

[0025] 关于本发明的一个方面/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。本发明的这些和其它方面将参照本文所述的实施例清楚地得出。

[0026] 在本申请中,用语“和/或”旨在涵盖所列元素的所有可能组合和子组合,包括单独列出的元素中的任何一个、任何子组合或所有元素,而不必排除其它元素。

[0027] 在本申请中,短语“.....或.....中的至少一个”旨在涵盖所列出的元素中的任何一个或多个,包括单独列出的元素中的任何一个、任何子组合或全部元素,而不必排除任何其它元素,并且也不必需要所有元素。

[0028] 卫星概述

[0029] 卫星是位于轨道空间中用于各种目的的装置。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提供通信服务为目的。例如,通信卫星设计成在两个端点(固定或移动)之间中继通信信号,以提供诸如电话、电视、无线电和/或互联网的通信服务。

[0030] 卫星可采用各种环绕地球的轨道路径。例如,卫星可工作在地球静止轨道、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,卫星工作在地球赤道上方的圆形轨道,并遵循地球的自转方向。这种卫星的轨道周期等于地球的自转周期,因此可以出现在地面站所见天空中的固定位置。

[0031] 通信卫星通常沿地球静止轨道相互间隔一定弧度部署。也就是说,卫星位于各自的轨位中。卫星运营商根据国际电信联盟(ITU)制定的国际条约协调卫星轨位的使用,而轨位之间的间隔取决于卫星波束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使得不同卫星上行和下行链路的工作频率可以分别重复使用。例如,通过将相邻卫星轨位间距分开大于地面站上行链路天线波瓣宽度的距离(即在波束功率强度降低一半的方向之间测得的角度大小,又称半功率角),即可采用相同的频率用于相邻卫星的信号上行,而其造成的干扰可满足协调要求或低于协调要求。类似的,如果相邻卫星轨位分开的距离大于地面站下行链路天线的波瓣宽度,则可采用相同的频率用于相邻卫星的信号下行,而其造成的干扰可满足协调要求或低于协调要求。

[0032] 为了执行通信功能,卫星配备有各种所需元件。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(将卫星推至期望轨道)、跟踪和稳定系统(用于卫星姿态保持和轨位保持)、电源子系统(为卫星供电)和指挥和控制子系统(以保持与地面控制站的通信)。

[0033] 卫星的转发器参与构成地面端点之间的通信信道,以达至两个端点之间的卫星通信。转发器的设计还决定了卫星通信的容量。

[0034] 卫星的天线用来传输和接收通信信号。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)转换为可空间传输的射频(RF)信号,或者将接收到的射频信号转换为电信号。在至少一些示例性实施例中,天线可与信号放大器相连,放大器可放大待发射或已接收的RF信号的功率。

[0035] 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波段的频率内工作。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传输和接收。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波段之上的更高频段内工作。例如,卫星可在Ka波段内工作。Ka波段是电磁波谱的一部分,范围从大约26.5GHz到40GHz(目前,固定卫星业务(FSS)的所划定的Ka频谱为上行链路27-31GHz,下行链路17.7-21.2GHz)。在一些实例中,卫星可在一个以上的波段中工作。在一个实例中,卫星可以在C波段、Ku波段和Ka波段内接收和传输信号。应当理解,卫星也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



微波波段中工作。其它微波频带的实例包括X波段、Q波段、V波段等。

[0036] 高通量卫星系统

[0037] 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宽波束(例如,用于C波段的全球波束和用于Ku波段的一些区域波束)来覆盖目标区域。

[0038] 在高通量卫星(HTS)系统中,卫星使用多个点波束(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目标区域。HTS系统通常依赖于“颜色复用”。不同点波束使用频谱的不同部分,或相同部分但使用不同极化,称为不同的“颜色”。也就是说,每种颜色代表具有特定带宽和极化的一段频谱,并且可由该点波束所覆盖区域内的最终用户使用。同时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,尤其是在波束覆盖边缘(EOC),然而,随着每个波束覆盖区域分配更多带宽,系统的总容量也可能变得更高。通常,HTS网络设计可使用4色复用方案,但是一些HTS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。

[0039] 参考图1,其示出了HTS系统100的实例。系统100包括一个配备有多个用于传输和接收的点波束卫星102。每个点波束的波瓣覆盖地球表面的指定区域,如图中各个圆圈所示。应当理解,尽管波束覆盖区域表示为不同的圆圈,但是波束天线增益方向图一定会延伸并超出所示的圆圈。例如,所示的圆圈仅表示波束天线增益为-3dB的点。

[0040] 采用颜色复用来最小化干扰。如果使用足够多的颜色,则相邻的波束(即相邻的覆盖区域)可采用不同的颜色以减少波束间干扰。如图所示,系统100包括多个信关104,用于一个或多个地面站与卫星102之间的高速通信。例如,地面站可包括用于配置和管理卫星102的网络运营中心(NOC)。

[0041] 在一些实施方式中,HTS系统100可特征为数百个点波束。卫星提供点波束以支持前向(信关到卫星到用户)和反向(用户到卫星到信关)链路。通过颜色复用,许多波束可使用相同的频率和极化,并且通过波束覆盖区域的空间隔离来管理波束间干扰。应当理解,使用较多颜色可能导致每个点波束分配到较少的带宽,进而对容量产生负面影响。而使用较少颜色的颜色复用模式使得每个波束分配到较多的带宽,但是会带来较高的波束间干扰,进而对系统的可实现容量产生不利影响,并且还可能导致降低频谱效率。因此,常规HTS系统用固定的颜色复用模式以平衡上述因素。典型的HTS系统使用4色复用模式,如图1所示,其中相对于载波信号“C”示出了潜在的干扰信号“I”,所有的C和I信号都使用相同的频谱颜色。

[0042] 采用固定颜色复用模式的问题之一是频谱需求和干扰之间的平衡可能随着时间(例如在卫星的工作寿命内)而改变。通常,卫星最初的容量需求较低,但随着时间的推移逐渐增加。在一些情况下,随着服务转向更新的或备选的通信方案,频谱需求也可能下降。因而提供满足不断变化的需求、动态平衡波束间干扰和运营复杂度的卫星运营方法和系统将是有益于卫星运营的。

[0043] 根据本申请的一个方面,卫星基于需求自动改变其运营模式。卫星可具有两个或更多个运营模式或阶段,并且可基于需求容量在这些模式或阶段之间自动切换。评估容量需求的一个实例是频谱填充率。频谱填充率可定义为已使用的波束频谱带宽除以点波束的全部带宽。点波束的全带宽可由转发器设计决定,例如在转发器信号通道中使用的某些RF

滤波器和/或高功率放大器 (HPA) 的带宽。

[0044] 在本申请的一个方面, 卫星可配置为第一阶段或模式运营, 其中它采用某种颜色复用模式。在检测到频谱填充率超过设定阈值时, 卫星可通过星载程序自动转换到第二阶段或运营模式, 来提高容量。运营模式的改变是为了减少干扰或为波束分配更多带宽。应当理解, 频谱填充率可直接在卫星上确定, 或通过高速遥测和指挥链路 (未示出) 经与卫星通信, 由地面网络运营中心 (NOC) 确定。在许多情况下, 基于地面的 NOC 可从卫星接收运营数据和测量值, 并且可向卫星发送运营、设置和控制指令。同样, 不同运营模式之间切换的判定可在卫星上进行或在地面 NOC 处进行。在本文的描述中, 这样的判定可描述为在卫星处或在基于地面的 NOC 处进行, 但是应当理解, 其他备选处也可能实施该判定。

[0045] 在一个实例中, 第二阶段中的波束颜色复用模式可变为具有较少颜色且与之前不同的复用模式。随着需求从最初的低水平增加到更高的水平, 系统需要为每个波束分配额外的带宽。尽管随之而来的潜在波束间干扰增加, 但额外的带宽会有利于增加系统的容量。该变化可允许在第一阶段颜色复用模式中使用更多数量的颜色, 以便产生最小的波束间干扰。通过允许具有较多颜色复用的模式过渡到具有较少颜色复用的模式, 卫星可从最初满足低容量需求过渡到满足额外容量的需求。

[0046] 在另一个实例中, 第二阶段或运营模式可引入波束内地理细分操作。也就是说, 每个波束的地理覆盖范围内可进一步划分为两个或更多个区域, 如靠近波束中心的内部区域和靠近波束边缘的外部区域。内部区域可保持来自第一阶段的颜色复用模式, 而外部区域可使用更高数量的颜色复用模式。换句话说, 用所在波束频谱 (颜色) 的一部分频谱片段为外部区域分配信道, 该部分频谱片段不与相邻波束的外部区域频谱重叠。相反, 相邻波束的外部区域将使用不同的频谱片段。这种操作相当于所有波束外部区域复用模式使用了更多数量的颜色。内部区域和外部区域的划分可取决于容量需求和当前颜色复用模式。

[0047] 在另一个实例中, 第二阶段或运营模式可引入星载信号预编码, 以进一步优化用户链路性能和容量。

[0048] 在又一实例中, 第二阶段可引入波束内地理细分或预编码, 或两者同时引入。在一些实例中, 由频谱填充率超过第一阈值触发的第二阶段运营而引入了波束内地理细分, 并且由频谱填充率超过第二较高阈值触发的第三阶段运营而引入了预编码。在一些情况下, 波束内地理细分、预编码或两者可应用于某一些点波束而不是所有点波束。

[0049] 在一些实例中, 第一阶段的运营内, 如果根据频谱填充率所评估的需求随时间增加, 第一阶段的运营可以包括将复用的颜色数目随时间而逐渐减少, 之后再转换到采用波束内地理细分的第二阶段。随着频谱填充率达到更高的百分比, 可进一步过渡到第三阶段, 即预编码至少一部分波束。

[0050] 图2示出了一个运营卫星的示例性方法200的流程图。方法200始于卫星的在轨部署。卫星首先采用第一阶段运营模式202进行运营。在该实例中, 第一阶段运营模式202引入颜色复用方案, 在空间上分隔开使用相同极化和频谱片段的点波束。第一阶段运营模式202可包括当需求 (通过频谱填充率评估) 增加时从较多颜色复用模式变为较少颜色复用模式, 抑或采用静态颜色复用模式。例如, 第一阶段运营模式202可始于初始颜色复用模式, 当频谱填充率超过初始阈值时转换到具有比初始颜色复用模式更少颜色的不同颜色复用模式。

[0051] 当处于第一阶段运营模式202时, 卫星监测频谱填充率以判定其是否达到或超过

第一阈值204。在该实例中,第一阈值设置为50%,但是应当理解,该阈值精确百分比的设置某种程度上是任意的。在一个实例中,频谱填充率的评估可能比第一阈值所使用的总百分比更复杂;例如,可能会考虑一定数量的波束是否具有超过阈值的填充率,因为可能存在某些需求低于其它波束的地理区域,其填充率可能非常低并且降低整体填充率。

[0052] 如果频谱填充率超过第一阈值204,则卫星转换到第二阶段运营模式206。在该实例中,第二阶段运营模式206在一部分点波束引入波束内地理细分。波束内地理细分将波束划分为内部区域和外部区域。内部区域可通过颜色复用模式使用分配给该波束的全频谱,而外部区域通过颜色复用模式只可使用分配给该波束的剩余部分频谱。相距最近的同色波束将频谱的不同部分分配给其自身的外部区域,使得不同波束的外部区域等效地采用比波束内部区域更高的颜色复用模式。

[0053] 在第二阶段运营模式206中,卫星继续监测频谱填充率以确定其是否达到或超过高于第一阈值204的第二阈值208。如果频谱填充率没有超过第二阈值208,它还监测其是否已经降低到低于第一阈值204的第三阈值210以下。如果频谱填充率降低到低于第三阈值210,则方法200将卫星转换回第一阶段运营模式202。如果频谱填充率超过第二阈值208,则卫星转换到第三阶段运营模式212。

[0054] 在该实例中,第三阶段运营模式212引入预编码并应用于至少一部分点波束的信号。如以下实例中详述,将预编码的判定及运行应用在卫星有效载荷上,可以以运算复杂度为代价进一步改善频谱使用效率。当卫星频谱填充率达到特别高的水平时,使用预编码可获得额外容量并延长卫星服务寿命,因而值得花费额外的运算力。

[0055] 相反,如果频谱填充率下降到低于第四阈值214,则可能不再值得使用运算复杂的预编码,进而方法200可转换回第二阶段运营模式206。第四阈值216可设置在第一阈值204和第二阈值208之间。

[0056] 在一个实例中,各种阈值204,208,210,214的百分比频谱填充率值可设置如下:

	阈值	频谱填充率
[0057]	第一阈值 204	50%
	第二阈值 208	80%
	第三阈值 210	30%
[0058]	第四阈值 214	60%

[0059] 应当理解,以上数值仅仅是示例,并且可为其它实施方式选择其它数值。

[0060] 在各种实施例中,卫星可特征为上述两个、三个或更多个阶段或运营模式,并且至少部分的基于整体频谱填充率来进行切换。各种阶段或运营模式可包括使用三种所述技术中的任何一种:改变颜色复用模式、波束内地理细分和预编码。任何特定阶段可使用所述的三种技术的组合或子组合,或用于增加容量或减少波束间干扰的其它技术。以下提供了三种所述技术的进一步示例。许多实例关注卫星通信用户前向下行链路的管理,因为这是最有可能在带宽需求(即频谱填充率)与波束间干扰问题之间产生矛盾的环节。

[0061] 颜色复用模式改变

[0062] 在一个实例中,最初可使用相对多的颜色来建立颜色复用模式,这样可最小化波

束间干扰,但是每个点波束的可分配带宽也相应减少。由于最初预期需求较低,在卫星部署之后的早期阶段,每点波束提供较低带宽是可接受的。随着需求的增加,可改变颜色复用模式以减少颜色的数量。

[0063] 在一个实例中,卫星可在用户前向下行链路上以16色复用模式开始提供服务。在一个特定实例中,用于用户前向下行链路的频谱是19.7-20.2GHz。每个波束可分配62.5MHz的带宽,极化为左旋(L)或右旋(R)。随着需求的增加,复用模式可改变为8色,为每个波束提供125MHz的带宽。随着需求的进一步增加,复用模式可再次改变为4色,每个波束250MHz。根据转发器的设计,还可进一步改变为2色复用方案,从而为每个波束分配全500MHz带宽(L或R极化)。

[0064] 图3中示出了采用8色复用模式的点波束组合300。点波束组合300包括70个点波束,使用颜色1至颜色8,8种不同颜色。每个同色波束分配到的19.7至20.2GHz之间的频谱带宽以及极化如参考标记302所示。

[0065] 现在参考图4,其示出了采用4色复用模式的相同波束布局400。四种颜色之间的频谱分配以402图解表示。

[0066] 在8色复用模式300中,从中心波束到8个共色的相邻波束的第一层的平均距离是5.8R,其中R是波束的半径。在4色复用模式400中,从中心波束到6个共色的相邻波束的第一层的平均距离是3.5R。更近的共色波束间隔意味着更高的波束间干扰。

[0067] 图5和6分别示出了采用8色复用模式300和4色复用模式的载波干扰统计图500,600。4色波束的平均波束间载波干扰(C/I)为14.9dB,比8色情况低约5.3dB。16,8和4色情况的详细波束间C/I比较如下表所示:

[0068] 表1,颜色复用模式比较

[0069]

	频谱填充率	峰值C/I (dB)	平均C/I (dB)	EOC C/I (dB)
16色	12.5%	35.0	27.2	18.5
8色	25.0%	26.1	20.2	15.2
4色	50.0%	20.4	14.9	12.6
2色	100.0%	11.0	6.4	-0.43

[0070] 当给定链路载波噪声比 $C/N=10\text{dB}$ (不包含波束间C/I的贡献),使用较高颜色复用模式来改善波束间C/I时,对于填充率为12.5%和25%的情况,可分别提高19.3%和14.1%的频谱效率(SE)。常规固定4色方案与基于填充率从16色转换为4色的渐变色复用方案的SE比较如下表所示:

[0071] 表2,频谱效率比较

[0072]

频谱填充率	平均 SE, 固定 4 色(bps/Hz)	平均 SE, 渐变色复用(bps/Hz)	SE 提高百分比
12.5%	2.10	2.51	<b>19.3%</b>
25.0%	2.10	2.40	<b>14.1%</b>
50.0%	2.10	2.10	<b>0</b>

[0073] 必须强调的是,上述16至8、8至4和4至2种颜色的渐变颜色复用模式演变仅是颜色

复用模式变化的一个实例。该技术可推广到任何 $k*n$ 色到 $m*n$ 色的频谱演变情况,其中 $k$ 和 $m$ 是整数, $m < k$ ,并且 $n$ 是偶数整数。例如,颜色复用模式也可从12色过渡到6色( $n=2, k=6, m=3$ ),并然后6色到4色( $n=2, k=3, m=2$ )等。

[0074] 波束内地理细分

[0075] 在相同波束的不同区域,卫星EIRP,G/T,且尤其是波束间干扰(C/I)可能明显不同。知道了这一点之后,可为波束覆盖内细分的地理子区域分配不同的可用频谱来提高容量。

[0076] 在至少一些实施方式中,可基于波束间C/I分布来进行地理细分。以4色复用模式的波束举例来说,波束间C/I分布可以以波束中心为最大,沿波束径向距离而劣化。图7(a)示出了这种波束的示例性C/I分布700。图中同心圆表示20dB、18dB、16dB和14dB的C/I实测等值线。在一个示例实施方式中,可基于特定的C/I测量值或等值线来选择波束的内部和外部区域之间的划分。例如,可选择C/I=14dB作为内部区域和外部区域之间的界限。内部区域使用之前的4色复用模式,而外部区域使用8色复用模式,以便改善该区域的C/I性能。图7(b)示出了在14dB等值线处分成内部区域和外部区域的波束覆盖区域702。

[0077] 图8(a)示出了另一示例C/I分布800,该分布由2色复用模式产生。在此情况下,C/I等值线趋于在波束覆盖区域上形成平行的弦。因此,将覆盖区域划分为内部区域和外部区域可采用如图8(b)所示的形式,其中C/I=7dB的弦将波束覆盖区域802划分为一个内部区域和两个外部区域。

[0078] 波束覆盖区域的C/I平均值可在通常情况(未作地理细分)和上述地理细分示例情况之间进行比较,如下表描述:

[0079] 表3,波束内地理细分之前与之后用户波束间C/I比较

情形	初始颜色复用数	初始平均C/I(dB)	内部区域平均C/I, 之后(dB)	外部区域平均C/I, 之前(dB)	外部区域颜色数, 之后	外部区域平均C/I, 之后(dB)
1	4	14.8	16.2	13.9	8	18.1
2	2	6.4	9.0	2.9	4	13.9

[0081] 同样,我们可量化上述实例中SE的提升,其中假设链路载波噪声比(C/N)为10dB(不包含波束间C/I的贡献),如下表所示:

[0082] 表4,波束内地理细分之前与之后频谱效率的提升

情形	初始颜色复用	总体SE, 之前 (bps/Hz)	内部区域SE, 之后 (bps/Hz)	外部区域SE, 之前 (bps/Hz)	外部区域SE, 之后 (bps/Hz)	外部区域SE的提升

[0084]	1	4	2.10	<b>2.21</b>	2.05	<b>2.32</b>	<b>12.8%</b>
	2	2	1.44	<b>1.65</b>	1.03	<b>2.05</b>	<b>100.3%</b>

[0085] 应当理解,波束内部与外部区域之间的地理分界线可基于任何几何形状来选择,而不必如以上描述中那样遵循原始C/I等值线来划分。例如,内部区域可为一个与原波束同心的正方形,其面积为原始波束覆盖面积的50%。对于不同的波束,内部区域和外部区域之间的形状和面积比也可不同。

[0086] 星载预编码

[0087] 当前述技术实施后,每个波束的可用频谱接近完全使用并且波束间干扰主导链路(尤其前向链路)性能时,则难以从卫星中挤出更多的容量。此时我们可以考虑采用星载预编码以减轻波束间干扰并最大化HTS系统的总容量。预编码最初用于具有多输入多输出(MIMO)架构的地面蜂窝通信。然而,在本申请中,预编码将在卫星有效载荷上实施。

[0088] 在具有频率复用的多点波束HTS系统中,每个用户终端接收的前向信号 $y$ ,卫星传输的数据符号 $s$ ,信道增益 $h$ 和信道热噪声 $\sigma$ 可以写为如下的矢量方程形式:

$$[0089] \quad Y=Hs+\sigma. \quad (1)$$

[0090] 对于给定的用户波束 $i$ ,方程(1)可扩展为如下矩阵形式:

$$[0091] \quad \begin{bmatrix} y_{i,1} \\ y_{i,2} \\ \vdots \\ y_{i,n_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \cdots & h_{1,N} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \cdots & h_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n_i,1} & h_{n_i,2} & \cdots & h_{n_i,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_N \end{bmatrix} + \sigma, \quad (2)$$

[0092] 其中,波束 $i$ 中总共有 $n_i$ 个终端,且整个HTS网络中总共有 $N$ 个终端。参数 $y_{i,1}$ ,  $y_{i,2}$ ,  $\dots$ ,  $y_{i,n_i}$ 分别是波束 $i$ 内终端 $1, 2, \dots, n_i$ 处的接收信号; $s_1, s_2, \dots, s_N$ 是从卫星有效载荷发送到地面上 $N$ 个相应终端的信号符号; $h_{j,k}$  ( $j=1$ 到 $n_i$ 和 $k=1$ 到 $N$ )是从有效载荷上中继的第 $k$ 个符号到地面上第 $j$ 个终端的信道增益。由于星载点波束天线之间的隔离度有限,地面终端还会接收到原应发向其它波束覆盖的信号(如果卫星使用CDMA扩频载波,还会接收到发向同一波束内其它终端的信号)。这些信号于是成为期望信号的干扰,即前述波束间干扰,并由方程(1)和(4)中信道矩阵 $H$ 的非零非对角线元素反映。

[0093] 如果存在 $M$ 个用户波束,则网络中的用户终端的总数为:

$$[0094] \quad N = \sum_{i=1}^M n_i. \quad (3)$$

[0095] 将所有 $N$ 个接收信号方程放在一起,我们可写出多终端HTS系统的通用矩阵表达式:

$$[0096] \quad \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_j \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \cdots & h_{1,j} & \cdots & h_{1,N} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \cdots & h_{2,j} & \cdots & h_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots \\ h_{j,1} & h_{j,2} & \cdots & h_{j,j} & \cdots & h_{j,N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N,1} & h_{N,2} & \cdots & h_{N,j} & \cdots & h_{N,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_j \\ \vdots \\ s_N \end{bmatrix} + \sigma. \quad (4)$$

[0097] 方程(4)中的矩阵元素 $h_{j,k}$  ( $j, k=1$ 到 $N$ )可分解成

[0098] 
$$h_{j,k} = a_{j,i} \cdot G_{i,k} \cdot L_k \cdot F_k \cdot R_k, \quad (5)$$

[0099] 其中 $a_{j,i}$ 是源自星载数字处理器(DP)输出的第j个符号到第i个星载下行波束天线输入端口的路径增益。 $G_{i,k}$ 是朝向地面终端k的第i个星载波束天线增益; $L_k$ 和 $F_k$ 分别是卫星和终端k之间的自由空间损耗和衰落损耗; $R_k$ 是用户终端k朝向HTS的增益。在上述参数中, $a_{j,i}$ , $G_{i,k}$ , $L_k$ 和 $R_k$ 均为可提前准确确定的特征物理量,而 $F_k$ 则可能因用户终端附近的环境条件(例如电离层和大气层)变化而波动。

[0100] 信号符号s在传送到星载下行天线之前可由星载预编码模块对其复向量加权,其中w为复数权向量。可选择所使用w的值以最大化系统的总容量。用于预编码的权向量w可合并到方程(1)中:

[0101] 
$$Y = H(Ws) + \sigma, \quad (6)$$

[0102] 并以矩阵形式表示为:

[0103] 
$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_j \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \cdots & h_{1,j} & \cdots & h_{1,N} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \cdots & h_{2,j} & \cdots & h_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots \\ h_{j,1} & h_{j,2} & \cdots & h_{j,j} & \cdots & h_{j,N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N,1} & h_{N,2} & \cdots & h_{N,j} & \cdots & h_{N,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & w_2 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & w_j & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & w_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_j \\ \vdots \\ s_N \end{bmatrix} + \sigma. \quad (7)$$

[0104] 在终端j处,接收信号 $y_j$ 和相应的信号与干扰加噪声比SNIR<sub>j</sub>是:

[0105] 
$$y_j = \sum_{k=1}^N h_{j,k} w_k s_k + \sigma, \quad (8)$$

[0106] 
$$SINR_j = \frac{C_j}{(I+N)_j} = \frac{|h_{j,j} w_j|^2}{\sum_{k \neq j}^N |h_{j,k} w_k|^2 + \sigma^2}. \quad (9)$$

[0107] 因此,我们可以通过求解以下优化问题来选择复数权向量w:

[0108] 
$$\underset{\sum \|w\|^2 < P}{\text{maximize}} \sum_{j=1}^N c_j \log_2(1 + SINR_j), \quad (10)$$

[0109] 式中的求和项代表由香农极限所估计的系统加权信息容量, $c_j$ 是代表用户终端优先级的预定义加权因子(可选项)。如果所有终端具有相同的优先级,则可使用 $c_j = 1$  ( $j = 1$ 到N)。 $w$ 的功率(即, $\|w\|^2$ )必须由某个特定值P来约束,以满足卫星星载处理器可支持的输出功率。

[0110] 为了从方程(10)求解出w,必须知道信道矩阵H,并且经常更新H,因其包含时变的衰落损耗项。我们可以在各个用户终端处测量总共N个信道增益 $h_{k,k}$  ( $k = 1$ 到N),并通过用户终端反向链路单跳发送回卫星星载处理器DP。根据已测得的 $h_{k,k}$ 可推出相应衰落损耗 $F_k$ ,则方程(7-9)中的所有信道元素 $h_{j,k}$ 可通过方程(5)更新。如果终端k正在移动,则还必须更新(5)中的 $G_{i,k}$ , $L_k$ 和 $R_k$ 项以便求解(10)。

[0111] 向量w的优化运算和更新过程会影响预编码的有效性,因为它必须接近实时的反映用户链接所处环境。因此,在一些实施方式中,w的取值须依靠卫星星载处理器根据恒常来自用户终端的信道增益测量报告来进行计算。因为预编码模块位于卫星上,所以与在地

面信关实施的预编码相比,可更快并更有效的更新H矩阵。许多现有的预编码算法,例如迫零法(ZF)、最小均方误差法(MMSE),都可容易的用于求解(10)。在实际实施方式中,为减轻星载处理器的计算负荷,卫星可以以一个最小时间间断更新权向量 $w$ ,或者在进行权向量 $w$ 更新计算之前判断H矩阵的累积变化量是否已超出设定阈值,否则无须实时更新 $w$ 。

[0112] 应当理解,对所有波束的所有用户终端预编码可能消耗卫星星载处理器的绝大部分计算资源。因此,在一些实施方式中,卫星可仅针对在第二阶段运营模式中,波束内地理细分所定义的外部区域用户终端进行预编码。当实施星载预编码时,同频谱(颜色)的用户终端都必须包括其中,否则方程(9)将无法体现所有波束间干扰,因而随后的预编码将会是次优解。由于信道热噪声的随机性质,预编码不会改善链路的C/N,但可改善波束间等效C/I。从理论上讲,预编码可完全抵消波束间C/I,但是在实际实施方式中,使用所提出的星载预编码应可实现对整体波束间C/I 3到9dB的改善。

[0113] 图9示出了一个HTS系统900的信号增益/损耗简化框图。在该实例中,星载数字处理器中的预编码模块902从信关接收信号符号 $s$ ,输出时对其应用复向量 $w$ 加权。之后的信道增益/损耗由矩阵H体现,它包括信号放大增益、天线增益、自由空间损耗、衰落损耗和用户终端增益。由用户终端接收的信号Y用于确定每个用户终端处的相应信道增益,然后通过用户上行链路信道将其报告回星载数字处理器,所测得的增益将用于更新复数权向量 $w$ 。

[0114] 图10以框图形式示出了HTS有效载荷1000的一个实例。该实例中的HTS有效载荷1000包括N个点波束天线1002。在一个点波束天线1002中接收的信号由低噪声放大器(LNA)1004放大,在混频器1006中下变频,并输入到数字处理器(DP)1008。DP 1008将频谱数字化以产生数字化频谱,实现频谱快速分析和切换操作,包括信道切换或重新分配。数字处理器1008还可实施这里描述的用于运营HTS卫星的一个或多个方法。例如,数字处理器1008可通过控制信号改变分配给单独点波束的频谱和极化。作为另一实例,数字处理器1008可使用信道切换来确保波束内地理细分模型中分配给特定用户终端的信道。作为又一实例,数字处理器1008可实施对所接收的信号的预编码,包括计算出合适的复数权向量 $w$ 。

[0115] 数字化信道由DP1008输出,之后经上变频、放大器放大(通常通过行波管1010),由天线1002发向地面。

[0116] HTS有效载荷1000可通过高速遥测和指挥链路与地面网络运营中心(NOC)1020通信,将元数据和连接参数传送到地面NOC 1020,同时从地面NOC 1020接收配置和设置指令。NOC 1020可包括一个或多个服务器和软件,用于实现网络管理功能以管理HTS有效载荷1000的配置和业务流程。NOC 1020可实施本文描述的一个或多个方法的部分或全部运营模式。例如,NOC 1020可在第二阶段运营模式中确定波束内部区域和外部区域的划分,并且因应外部区域中颜色复用模式的改变,指示远程终端使用相应的接收和/或传输频谱。NOC 1020可至少部分基于频谱填充率来判定是否从一种运营模式转换到另一种运营模式,并且可指示HTS有效载荷1000作出相应的改变。

[0117] NOC 1020还可实施用户计费操作和支持系统,以批准远程站点的访问和注册HTS系统,以及向HTS和/或远程终端发送设置和配置信息。例如,它可指示远程终端哪些频率及带宽可以使用等。HTS还可将来自远程终端的信息中继到NOC 1020,如用户终端的位置信息(在某些情况下,通过远程终端自带的GPS获得)。

[0118] 应当理解,上述NOC1020运营可以以机器指令经一个或多个处理器来自动执行。



[0119] 详细实施例

[0120] 在一个说明性实施例中,HTS系统实施上述三阶段运营模式及它们之间的转换。在该实例中,HTS系统包括100个 $0.6^\circ$ 点波束。可使用的用户前向(下行链路)频谱为500MHz,包括5%载波滚降和5%保护波段。每个HTS转发器高功率放大器额定功率为190W,支持两个用户波束。所有用户终端都假定使用0.75米天线。以下将分析比较卫星在16年预期运营寿命内采用常规固定2色复用运营与采用上述三阶段过渡运营带来的不同。

[0121] 图11示出了卫星填充率和相应的容量比较。从第1年到第8年,所提出的采用三阶段运营的HTS系统在第一阶段运营,使用渐变的频谱颜色模式直到填充率达到44%。从第9年到第14年,HTS系统采用第二阶段运营模式的波束内地理细分,其中波束的内部区域使用2色复用模式而外部区域使用4色复用模式。波束的内部区域和外部区域面积比为1:1,且分区如图8(b)所示。在第15年和第16年,HTS系统采用第三阶段运营模式。在此阶段,波束外部区域也采用2色复用,跟内部区域一样。在此情况下,外部区域的波束间C/I可能下降到3dB或更差;然而如果采用星载预编码使得波束间干扰降低6dB,则卫星容量将提高多达60%。

[0122] 可使用以下表格来比较常规固定2色复用方案和所提出的HTS多阶段运营的性能表现。以下第一个表格详述了使用常规2色复用模式的HTS的性能,而第二个表格详述了使用所提出三阶段运营模式的HTS的性能。

[0123] 表5常规2色HTS:容量和其它参数。

[0124]

年份	1	2	5	8	9	13	15	16
频谱填充率	2%	4%	20%	44%	70%	83%	92%	96%
波束分配带宽 (MHz)	10	20	100	220	350	415	460	480
颜色复用数	2	2	2	2	2	2	2	2
平均C/I (dB)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
SE (bps/Hz)	1.53	1.53	1.50	1.44	1.34	1.34	1.34	1.34
前向 (FWD) 总容量 (Gbps)	1.5	2.9	14.3	30.1	44.6	52.8	58.6	61.1

[0125] 表6提出的三阶段HTS运营:容量和其它参数

	年份	1	2	5	8	9	13	15	16
	运营阶段	1	1	1	1	2	2	3	3
	频谱填充率	2%	4%	20%	44%	70%	83%	92%	96%
	<b>波束分配带宽（全部/内部）(MHz)</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>100</b>	<b>220</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>380</b>	<b>400</b>
[0126]	全部/内部区域颜色复用数	16	16	8	4	2	2	2	2
	全部/内部 C/I (dB)	27.2	27.2	20.2	14.9	9.0	9.0	9.0	9.0
	全部/内部 SE (bps/Hz)	3.66	3.66	3.21	2.49	1.57	1.57	1.57	1.57
	<b>波束分配带宽（外部）(MHz)</b>					<b>50</b>	<b>65</b>	<b>80</b>	<b>80</b>
	外部颜色复用数					4	4	2	2
	外部 C/I (dB)					13.9	13.9	8.9	8.9
	外部 SE (bps/Hz)					1.82	1.82	1.49	1.49
[0127]	前向 (FWD)总容量 (Gbps)	3.5	7.0	30.5	52.0	53.4	63.5	68.0	71.0
	<b>提高幅度</b>	<b>139%</b>	<b>139%</b>	<b>114%</b>	<b>73%</b>	<b>20%</b>	<b>20%</b>	<b>16%</b>	<b>16%</b>

[0128] 表6中第15年和第16年的波束外部区域C/I的测量值均为8.9dB,包括由预编码引入的6dB增益。应当理解,所提出的技术使得频谱效率显著改善并且可相应延长HTS系统的使用寿命。

[0129] 以上呈现的各种实施例仅仅是示例性的,且绝不意味着限制本申请的范围。本文描述的创新及其各种变体对于本领域普通技术人员而言是显而易见的,这些变体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体。

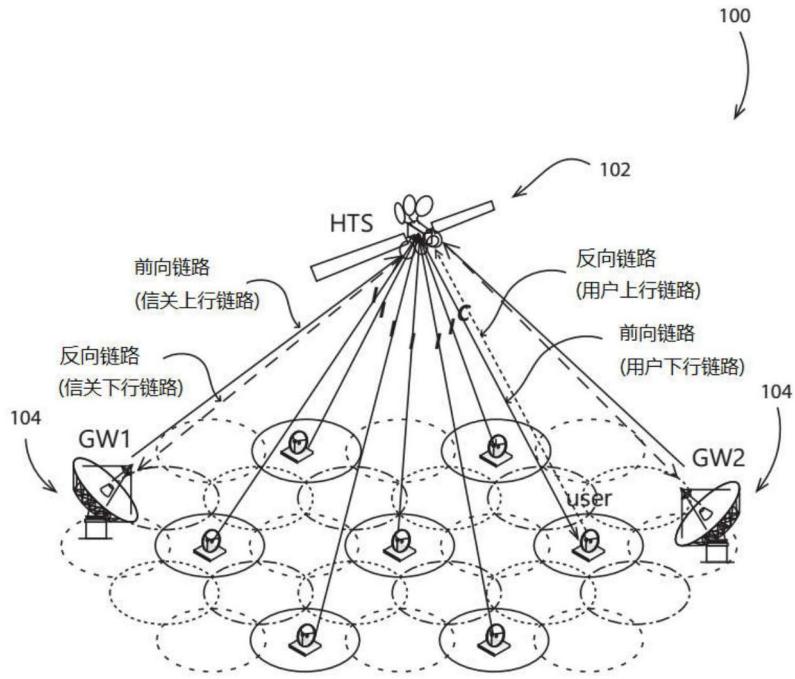


图1

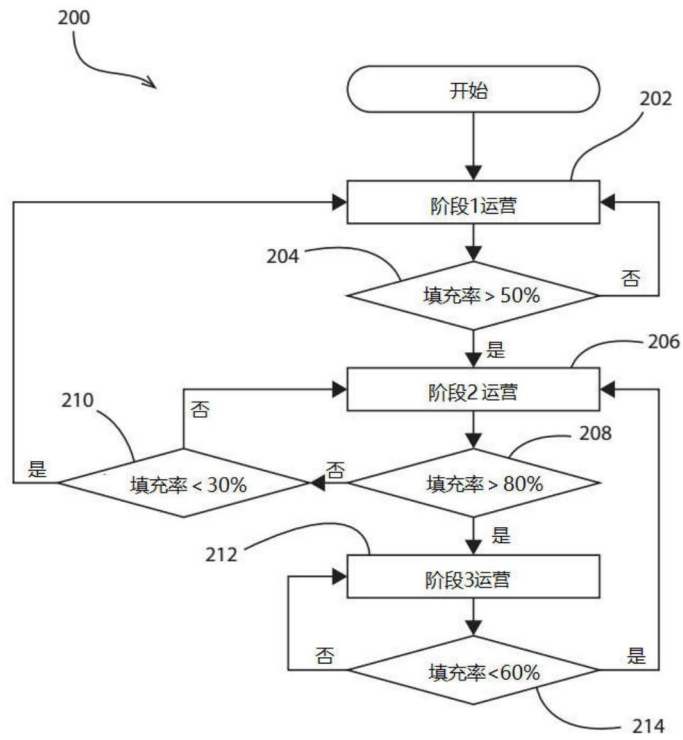


图2

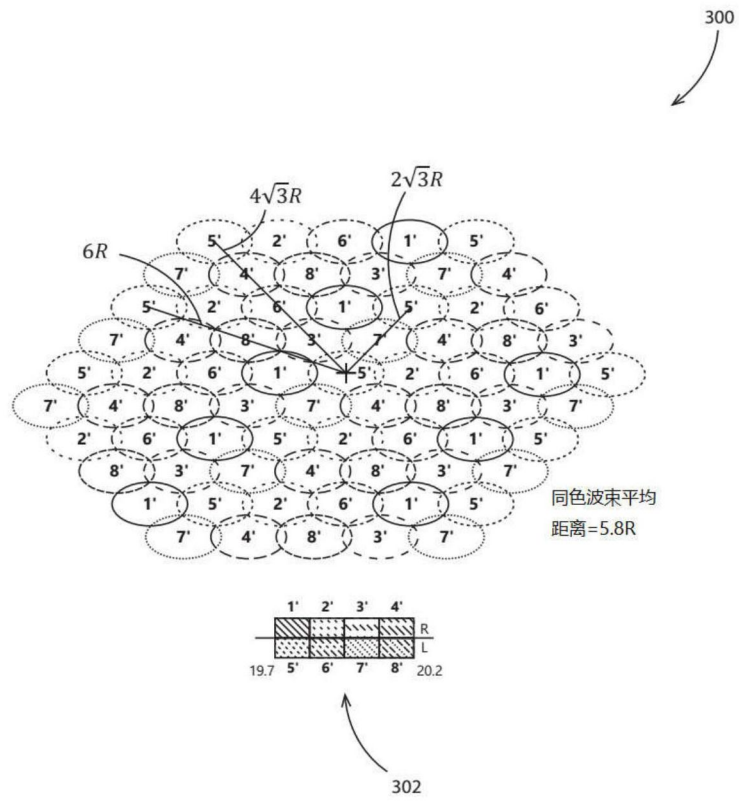


图3

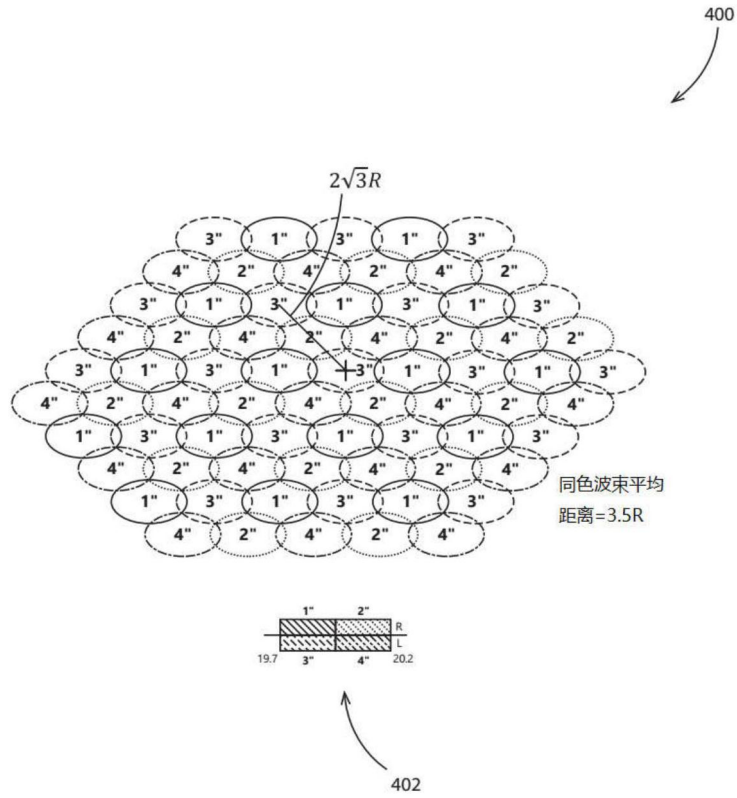


图4

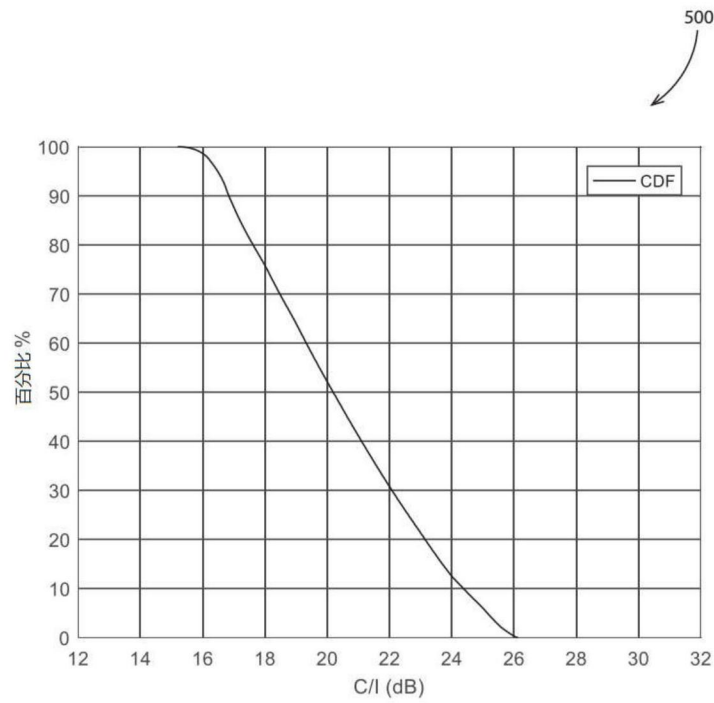


图5

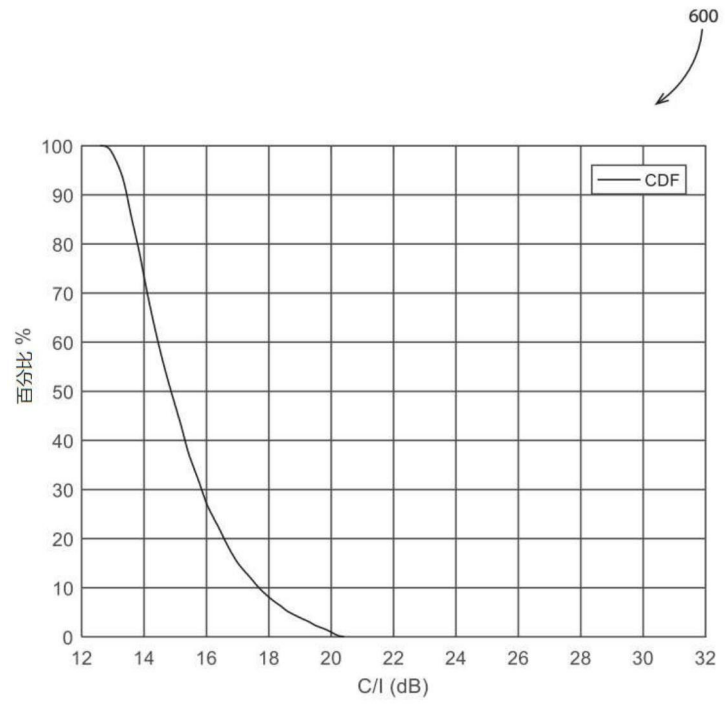


图6

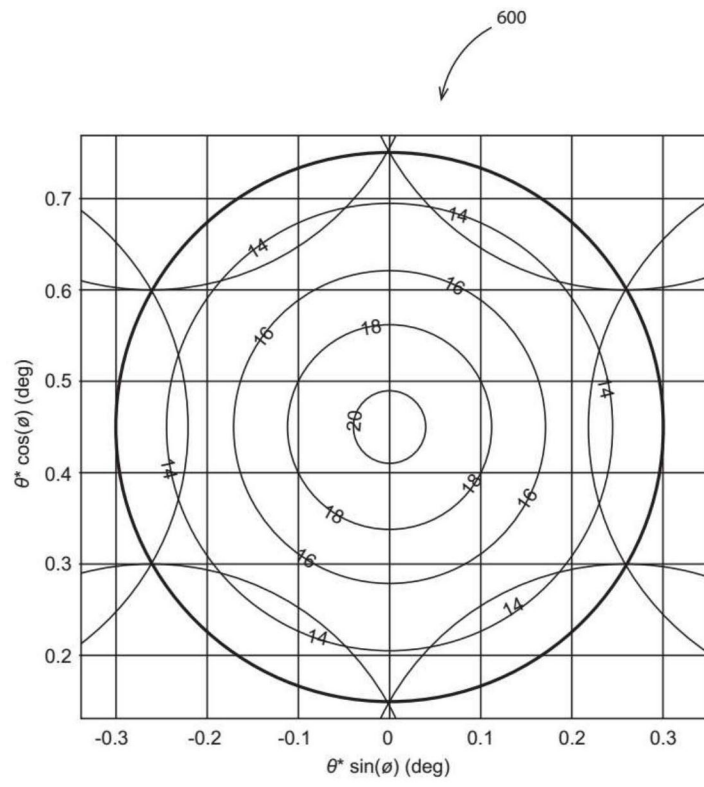


图7(a)

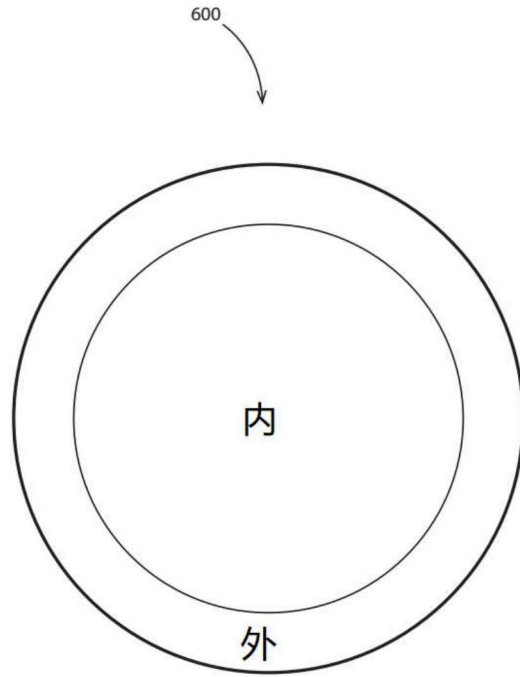


图7 (b)

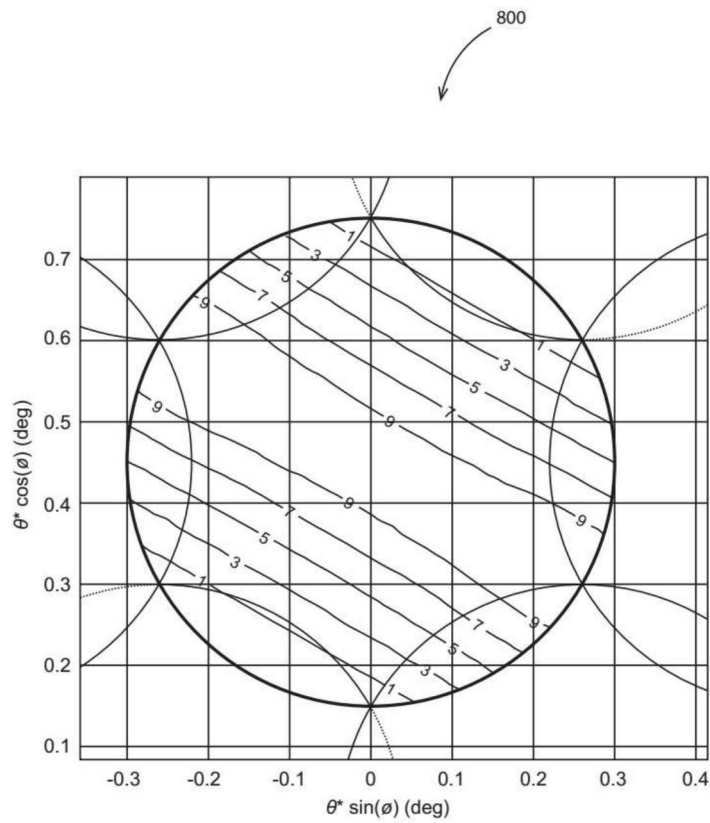


图8 (a)

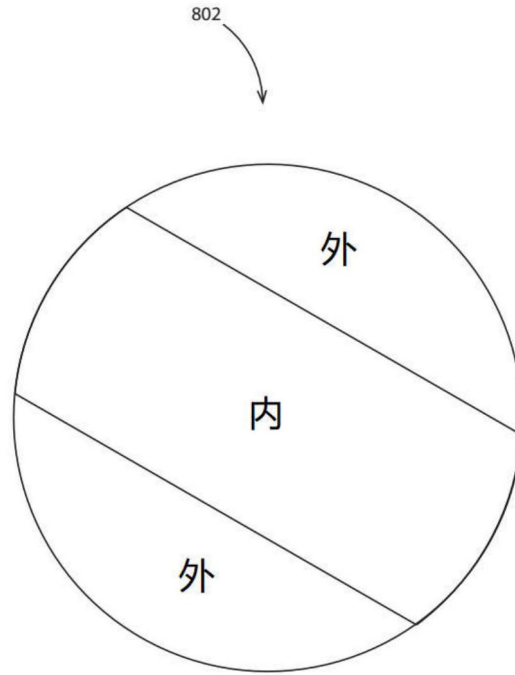


图8 (b)

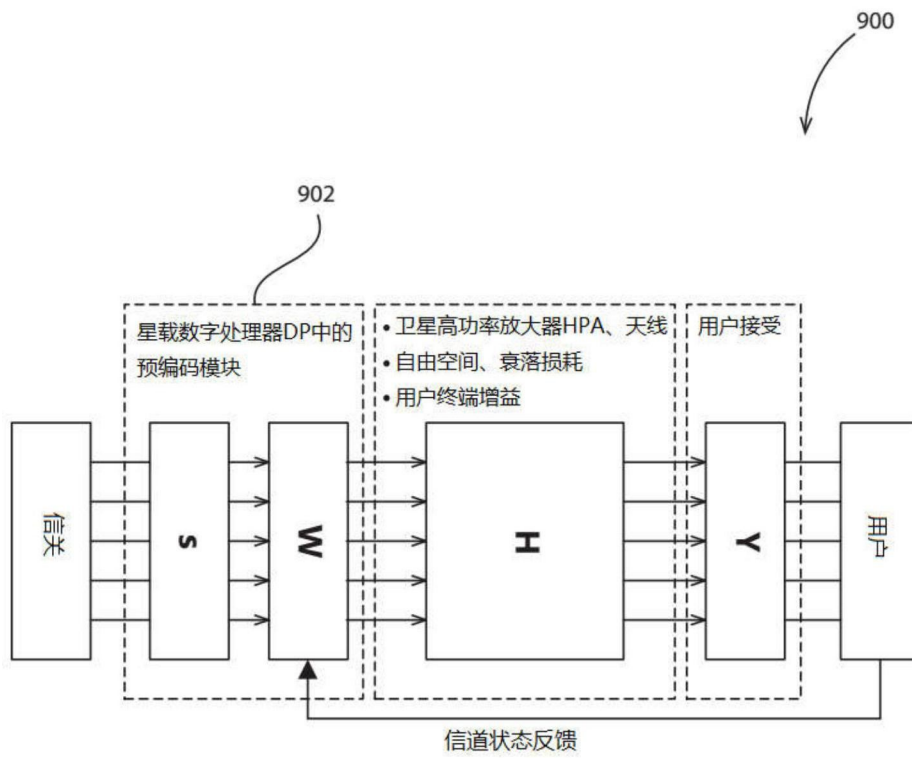


图9



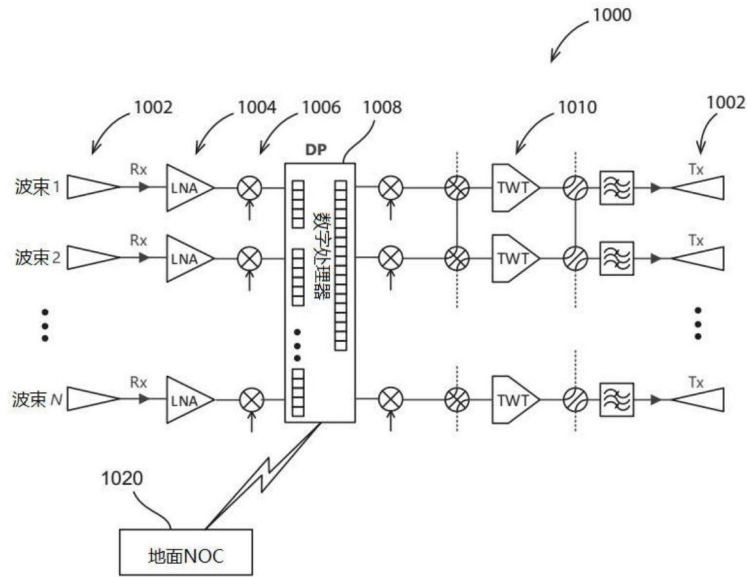


图10

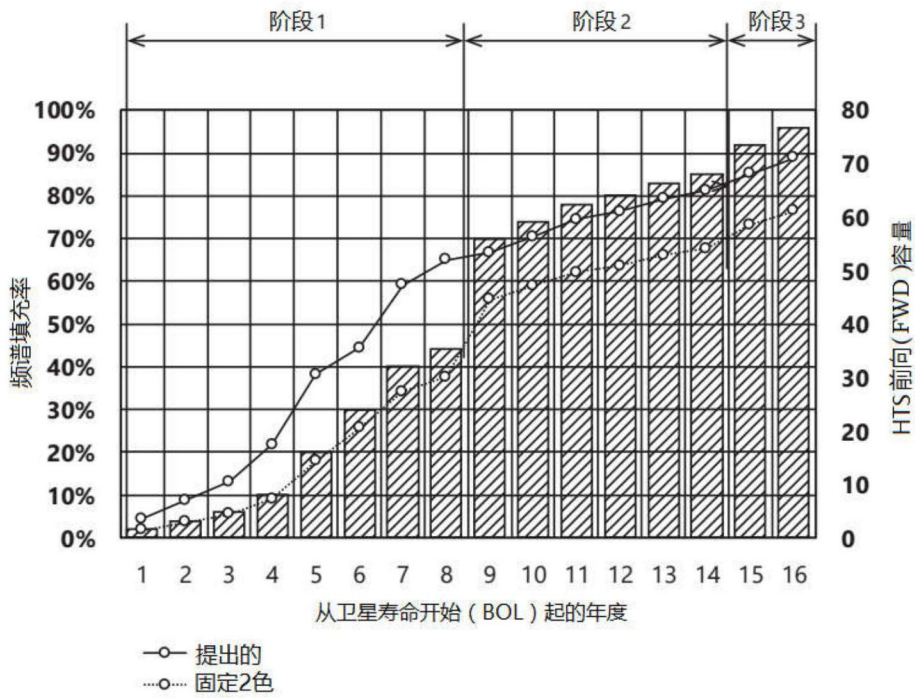


图11