



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110677185 B

(45) 授权公告日 2021.08.06

(21) 申请号 201910323408.5

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2019.04.22

H04B 7/185 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110677185 A

审查员 凌林

(43) 申请公布日 2020.01.10

(30) 优先权数据
16/026,816 2018.07.03 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 上海方本律师事务所 31269
代理人 骆顺耀 汪玉平

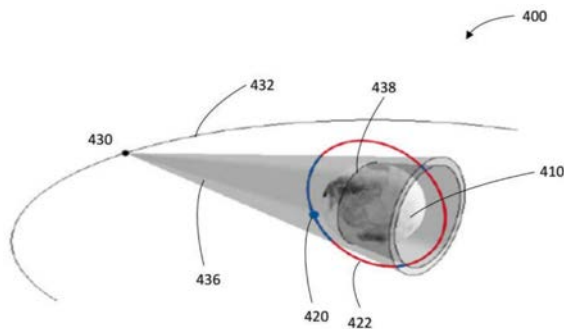
权利要求书3页 说明书17页 附图5页

(54) 发明名称

用于近地轨道卫星与端点之间中继数据的高通量卫星

(57) 摘要

一种高通量卫星 (HTS) 和运营HTS用于一个或多个近地轨道 (LEO) 卫星与目标地面站之间中继数据的方法, 其中HTS为点波束覆盖区域提供点波束。运营HTS的方法包括: 确定在轨LEO卫星的估计轨迹; 分配具有相同极化的颜色复用的多个点波束维持在轨LEO卫星与高通量卫星之间的星间链路; 以及将多个所分配点波束的分配信息发送到高通量卫星以维持经由高通量卫星第一点波束和具有相同极化的颜色复用的一个或多个分配的后续点波束的星间链路。



1. 一种运营高通量卫星以在一个或多个近地轨道 (LEO) 卫星和目标地面站之间中继数据的方法, 所述高通量卫星为点波束覆盖区域提供多个点波束, 所述方法包括:

确定在轨LEO卫星通过所述点波束覆盖区域时的估计轨迹;

基于所述估计的轨迹, 分配具有相同极化的颜色复用的多个点波束, 用于所述在轨LEO卫星穿过所述点波束覆盖区域时维持所述在轨LEO卫星与所述高通量卫星之间的星间链路; 以及

将所述多个所分配点波束的分配信息发送到所述高通量卫星, 以使所述高通量卫星维持经由第一点波束和具有相同极化的颜色复用的一个或多个分配的后续点波束的星间链路。

2. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述星间链路从所述第一点波束到所述一个或多个分配的后续点波束的交接是采用频率切换。

3. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

在分配用于维持所述星间链路的多个点波束之前, 在所确定的所述在轨LEO卫星的估计轨迹上叠加高通量卫星的点波束覆盖区域图, 以识别可用于维持所述星间链路的所述一个或多个后续点波束。

4. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述高通量卫星支持波束赋形, 并且其中所述方法还包括:

在分配所述多个点波束以维持所述星间链路之前, 确定所述高通量卫星和多个相应LEO卫星之间的星间链路数量大于阈值, 然后所述高通量卫星重新配置用于所述点波束覆盖区域的多个分配的点波束。

5. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

从所述点波束覆盖区域内的多个地面站识别所述目标地面站, 以支持所述高通量卫星和所述目标地面站之间的馈电链路通信; 以及

引起所述高通量卫星的数字信道化器将数据中继到所述识别的目标地面站。

6. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述星间链路从所述第一点波束到后续点波束的交接发生在在轨LEO卫星离开所述第一点波束的-3dB边界时。

7. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 用于提供所述星间链路的所述各个点波束支持使用Ka波段、Q波段或V波段点波束中的至少一个进行数据通信。

8. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 用于提供所述星间链路的所述各个点波束支持使用Ka波段/Q波段多波段点波束或Ka波段/V波段多波段点波束中的至少一个进行通信。

9. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 用于在所述高通量卫星和所述地面站之间提供馈电通信链路的各个点波束支持使用Ka波段点波束或Ku波段点波束中的至少一个进行通信。

10. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

在所述在轨LEO卫星将进入所述各个分配后续点波束的预期时间内, 在具有相同极化的颜色复用的所述各个分配的一个或多个后续点波束中分配可用频段。

11. 一种网络运营中心, 用于控制高通量卫星在一个或多个近地轨道 (LEO) 卫星与目标地面站之间中继数据的操作, 所述高通量卫星为点波束覆盖区域提供多个点波束, 所述网

络运营中心包括：

高通量卫星高速遥测与指挥链路；

处理器；

存储器；及

存储在存储器上并可以在处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现步骤：

确定在轨LEO卫星通过所述点波束覆盖区域的估计轨迹；

基于所述估计的轨迹，分配具有相同极化的颜色复用的多个点波束，用于在所述在轨LEO卫星穿过所述点波束覆盖区域时维持所述在轨LEO卫星与所述高通量卫星之间的星间链路；以及

将所述多个所分配的点波束的分配信息发送到所述高通量卫星，以使所述高通量卫星维持经由第一点波束和具有相同极化的颜色复用的所述一个或多个后续分配点波束的星间链路。

12. 根据权利要求11所述的网络运营中心，其特征在于，所述星间链路从所述第一点波束到所述一个或多个分配的后续点波束的交接使用频率切换。

13. 根据权利要求11所述的网络运营中心，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时还实现以下步骤：

在分配用于维持所述星间链路的多个点波束之前，在所确定的所述在轨LEO卫星的估计轨迹上叠加所述高通量卫星的点波束覆盖区域图，以识别可用于维持所述星间链路的所述一个或多个后续点波束。

14. 根据权利要求11所述的网络运营中心，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

在分配所述多个点波束以维持所述星间链路之前，确定所述高通量卫星和多个相应LEO卫星之间的星间链路数量大于阈值，然后所述高通量卫星重新配置用于所述点波束覆盖区域的多个分配的点波束。

15. 一种高通量卫星，包括：

多个馈源，为点波束覆盖区域提供多个点波束；

以及数字处理器，用以：

当所述在轨LEO卫星穿过所述点波束覆盖区域时，接收多个所分配的点波束的分配信息，用于维持所述在轨LEO卫星和所述高通量卫星之间的星间链路；

基于所述在轨LEO卫星的估计轨迹，配置具有相同极化的颜色复用的所述多个分配的点波束，用于当所述在轨LEO卫星通过所述点波束覆盖区域时维持所述星间链路；

通过所述多个分配的点波束的第一点波束建立与所述在轨LEO卫星的星间链路；以及

当所述LEO卫星通过所述点波束覆盖区域时，将所述星间链路从所述第一点波束交接具有相同极化的颜色复用的后续分配的点波束。

16. 根据权利要求15所述的高通量卫星，其特征在于，所述星间链路从所述第一点波束到所述一个或多个分配的后续点波束的交接使用频率切换。

17. 根据权利要求15所述的高通量卫星，其特征在于，所述高通量卫星支持波束赋形，并且其中所述数字处理器用于：

在与所述在轨LEO卫星建立所述星间链路之前,确定所述高通量卫星与多个相应的LEO卫星之间的星间链路数量大于阈值,然后重新配置所述点波束覆盖区域的多个分配的点波束。

18. 根据权利要求15所述的高通量卫星,其特征在于,用于提供所述星间链路的各个点波束支持使用Ka波段、Q波段或V波段点波束中的至少一个进行通信。

19. 根据权利要求15所述的高通量卫星,其特征在于,提供所述星间链路的所述各个点波束支持使用Ka波段/Q波段多波段点波束或Ka波段/V波段多波段点波束中的至少一个进行通信。

20. 根据权利要求15所述的高通量卫星,其特征在于,用于在所述高通量卫星和所述地面站之间提供馈电通信链路的所述各个点波束支持使用Ka波段点波束或Ku波段点波束中的至少一个进行通信。

用于近地轨道卫星与端点之间中继数据的高通量卫星

技术领域

[0001] 本申请涉及卫星通信领域,并且更具体地涉及用于将数据从近地轨道卫星中继到地面终端的高通量卫星和运营高通量卫星的方法。

背景技术

[0002] 地球或空间观测卫星的业务包括收集地球图像、陆地勘探数据、天气观测数据、海上监视数据或森林监测数据。地球或空间观测卫星通常采用近地轨道(LEO)卫星,在地球表面以上300至1,000公里的高度环绕地球运行。2017年,约有1071颗LEO卫星进入轨道,并且预计将发射的LEO卫星数量将增加。

[0003] LEO卫星需要与地面站建立通信链路,用于遥测、跟踪、指挥(TT&C)以及将地球或空间观测数据发送到一个或多个地面站。当用于地球或空间观测时,LEO卫星可(1)在LEO卫星绕地球运行时,捕获并存储地球观测(EO)数据于星载存储器中;(2)当LEO卫星在称为“存储和转发”的过程中处于目标地面站视野范围时,发送存储的EO数据。LEO卫星处于目标地面站视野范围的持续时间取决于LEO卫星的轨道高度、倾角以及目标地面站的纬度。由于LEO卫星的运行轨道高度较低,因此LEO卫星位于目标地面站视野范围的持续时间通常为每个轨道周期5至15分钟左右。当LEO卫星位于地面站视野范围时,LEO卫星可将数据和遥测发送到目标地面站并从目标地面站接收命令。在一些场景中,由于EO数据或TT&C数据量可能很大,因此将EO数据发送到目标地面站所需的持续时间可能超过LEO卫星位于与目标地面站视野范围的持续时间。任何尚未由LEO卫星发送到目标地面站的EO数据或TT&C数据可继续存储在星载存储器中,并在LEO卫星随后的地球轨道周期中,当LEO卫星重新位于地面站的视野范围时,发送到目标地面站。很明显,EO数据的发送时间-被延长了。当EO数据有实时性要求(例如,天气观测数据)时,延迟EO数据从LEO卫星到目标地面站的发送可能使得天气观测数据变得陈旧或过时。此外,如果LEO卫星的TT&C数据发送和接收延迟,则目标地面站处的某网络运营中心可能无法近乎实时地或及时地排除故障或以其它方式控制LEO卫星。

[0004] 在一些场景中,为了方便大量EO和TT&C数据发送到网络运营中心或目标地面站,可部署沿着地球表面对应于给定LEO卫星轨迹的若干连续间隔的地面终端。然而,建造和运营大量地面终端的代价可能是相当昂贵的。

发明内容

[0005] 一方面,本申请描述了一种运营高通量卫星以在一个或多个近地轨道(LEO)卫星和目标地面站之间中继数据的方法。高通量卫星为点波束覆盖区域提供多个点波束。该方法包括:确定通过点波束覆盖区域在轨LEO卫星的估计轨迹;基于估计的轨迹,分配具有相同极化的颜色复用的多个点波束,当在轨LEO卫星穿过点波束覆盖区域时用于维持在轨LEO卫星与高通量卫星之间的星间链路;以及将多个所分配点波束的分配信息发送到高通量卫星,以维持经由高通量卫星第一点波束和具有相同极化的颜色复用的一个或多个分配的后续点波束的星间链路。

[0006] 另一方面,本申请描述了一种网络运营中心,用于控制在一个或多个近地轨道(LEO)卫星与目标地面站之间中继数据的高通量卫星的运营。高通量卫星为点波束覆盖区域提供多个点波束。网络运营中心包括:高通量卫星的高速遥测和指挥链路;处理器;以及存储可执行指令的存储器,可执行指令在由处理器执行时,引起处理器:确定通过点波束覆盖区域的在轨LEO卫星的估计轨迹;基于估计的轨迹,分配具有相同极化的颜色复用的多个点波束,当在轨LEO卫星穿过点波束覆盖区域时,维持在轨LEO卫星与高通量卫星之间的星间链路;以及将多个所分配点波束的分配信息发送到高通量卫星,以维持经由高通量卫星第一点波束和具有相同极化的颜色复用的一个或多个后续分配点波束的星间链路。

[0007] 另一方面,本申请提供了一种高通量卫星,包括:多个馈源,为点波束覆盖区域提供多个点波束;以及数字处理器:当在轨LEO卫星穿过点波束覆盖区域时,接收多个所分配的点波束的分配信息,用于维持在轨LEO卫星和高通量卫星之间的星间链路;基于在轨LEO卫星的估计轨迹,配置具有相同极化的颜色复用的多个分配的点波束,用于在轨LEO卫星通过点波束覆盖区域时维持星间链路;通过多个分配的点波束的第一点波束建立与在轨LEO卫星的星间链路;以及当LEO卫星通过点波束覆盖区域时,将星间链路从第一点波束交接到具有相同极化的颜色复用后续分配的点波束。

[0008] 在本申请的又一方面,本申请描述了一种运营高通量卫星以在一个或多个近地轨道(LEO)卫星和目标地面站之间中继数据的方法。高通量卫星为点波束覆盖区域提供多个点波束。该方法包括:确定通过点波束覆盖区域在轨LEO卫星的估计轨迹;基于估计的轨迹,分配颜色复用的多个点波束,当在轨LEO卫星穿过点波束覆盖区域时用于维持在轨LEO卫星与高通量卫星之间的星间链路;以及将多个所分配点波束的分配信息发送到高通量卫星,以维持经由高通量卫星第一点波束和颜色复用的一个或多个分配的后续点波束的星间链路。

[0009] 在本申请的再一个方面,本申请描述了一种网络运营中心,用于控制在一个或多个近地轨道(LEO)卫星与目标地面站之间中继数据的高通量卫星的运营。高通量卫星为点波束覆盖区域提供多个点波束。网络运营中心包括:高通量卫星的高速遥测和指挥链路;处理器;以及存储可执行指令的存储器,可执行指令在由处理器执行时,引起处理器:确定通过点波束覆盖区域的在轨LEO卫星的估计轨迹;基于估计的轨迹,分配颜色复用的多个点波束,当在轨LEO卫星穿过点波束覆盖区域时,维持在轨LEO卫星与高通量卫星之间的星间链路;以及将多个所分配点波束的分配信息发送到高通量卫星,以维持经由高通量卫星第一点波束和颜色复用的一个或多个后续分配点波束的星间链路。

[0010] 在本申请的另一方面,本申请提供了一种高通量卫星,包括:多个馈源,为点波束覆盖区域提供多个点波束;以及数字处理器:当在轨LEO卫星穿过点波束覆盖区域时,接收多个所分配的点波束的分配信息,用于维持在轨LEO卫星和高通量卫星之间的星间链路;基于在轨LEO卫星的估计轨迹,配置颜色复用的多个分配的点波束,用于在轨LEO卫星通过点波束覆盖区域时维持星间链路;通过多个分配的点波束的第一点波束建立与在轨LEO卫星的星间链路;以及当LEO卫星通过点波束覆盖区域时,将星间链路从第一点波束交接到颜色复用后续分配的点波束。

[0011] 通过阅读以下结合附图的详细描述,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。

[0012] 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。本发明的这些和其它方面将参照本文所述的实施例清楚得出。

[0013] 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。

[0014] 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。

附图说明

[0015] 现在将通过举例的方式参考示出本公开的示例实施例的附图,并且在附图中:

[0016] 图1示出了地球静止轨道中的示例性“欧洲数据中继卫星(EDRS)”;

[0017] 图2示出了用于数据中继业务的示例性“跟踪和数据中继卫星(TDRS)”;

[0018] 图3示出了示例性“海因里希·赫兹卫星(H2Sat)”的构件;

[0019] 图4示出了根据本申请的实例的用于中继数据的卫星系统;

[0020] 图5示出了根据本申请的实例的由各个高通量卫星提供的点波束覆盖区域;

[0021] 图6示出了根据本申请的另一实例的包括由高通量卫星提供的单波段点波束和多波段点波束的点波束覆盖区域;

[0022] 图7以流程图的形式示出了根据本申请的实例的运营高通量卫星在一个或多个近地轨道卫星与目标地面站之间中继数据的方法;

[0023] 图8示出了根据本申请的实例的用于中继数据的高通量卫星系统;

[0024] 图9示出了根据本申请的实例的用于LEO卫星的射频有效载荷的简化框图;以及

[0025] 图10以框图形式示出了根据本申请的实例的示例性高通量卫星有效载荷。

[0026] 在附图中使用相似的参考标记来表示相似的元件和特征。

具体实施方式

[0027] 卫星是位于轨道空间中用于各种目的的装置。在一个实例中,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。

[0028] 卫星可在地球周围采用各种轨道路径。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,通信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。

[0029] 通信卫星通常沿地球静止轨道间隔开。也就是说,卫星位于各自轨位中。卫星运营商根据国际电信联盟(ITU)的国际条约协调对轨位的使用,且轨位之间的间隔取决于卫星的覆盖范围和工作频率。在一些实例中,卫星之间的间隔可在2到3度的轨道经度之间。在一些实例中,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(以将卫星带到期望的轨道)、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)和指挥和控制子系统(以保持与地面控制站的通信)。

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

[0032] 卫星的天线用来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(可由发射器产生)转换为可以在空间传播的射频(RF)信号,并且将接收的RF信号转换为电信号。在一些实例中,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。在一些实例中,卫星可在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发送和接收。在一些实例中,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。在一些实例中,卫星可在Ku波段之上的其它高频频段内工作。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)所划定的频段为上行链路27-31GHz,下行链路为17.7-21.2GHz)。在一些实例中,卫星可设计为在一个以上的波段中工作。在一个实例中,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。其它微波频带的实例包括X波段、Q波段、V波段等。

[0034] 通常部署地球或空间观测卫星用于检测和捕获数据,如地球图像、陆地勘探数据、天气观测数据、海上监视数据或森林监测数据。地球或空间观测卫星通常是近地轨道(LEO)卫星,并在地球表面以上300至1,000公里范围的高度环绕地球运行。LEO卫星需要与目标地面站建立通信链路,用于传输遥测、跟踪和命令(TT&C)信号以及用于将地球或空间观测数据发送到一个或多个地面站。当用于地球或空间观测时,LEO卫星可(1)在卫星绕地球运行时,捕获并存储地球观测(E0)数据于星载处理器中;(2)当LEO卫星在称为“存储和转发”的过程期中处于目标地面站视野范围时,发送存储的E0数据。LEO卫星可能处于目标地面站视野范围的持续时间通常为每个轨道周期5至15分钟左右,并且在此持续时间期间,LEO卫星可发送数据和遥测到目标地面站并从目标地面站接收命令。当E0数据或TT&C数据量很大时,将E0数据发送到目标地面站所需的持续时间可能超过LEO卫星位于目标地面站视野范围的持续时间。尚未发送到目标地面站的任何E0数据或TT&C数据可继续存储在星载存储器中,并在LEO卫星随后的地球轨道周期中,当LEO卫星重新位于上述地面站或另一个目标地面站的视野范围时,发送至目标地面站。当E0数据具有实时性要求(例如,天气观测数据)时,延迟E0数据的发送可能导致数据变得陈旧或过时。在一些设计中,沿着地球表面对应于

给定LEO卫星的轨迹可部署若干连续间隔的地面终端,使得尚未完成传送的数据可连续接力发送到后续地面站。然而,建造、运营和管理大量地面终端的代价可能是相当昂贵的。

[0035] 因此,在一些场景中,可提供地球静止轨道(GEO)卫星用于在给定LEO卫星(例如,地球或空间观测卫星)与目标地面站之间中继数据,以提供给定LEO卫星将数据传输到目标地面站更长的持续时间。

[0036] 现在参考图1,其示出了相对于地球150的地球静止轨道中的示例性欧洲数据中继卫星(EDRS) 100。EDRS是目前仍在商业运营的一颗数据中继卫星,为欧洲航天局(ESA)的用户群提供全球数据中继服务。例如,EDRS 100可为示例LEO卫星110和目标地面站120之间中继数据。示例性EDRS 100利用光学星间链路(OISL)提供高达1.8Gbps的反向服务(例如,LEO卫星至GEO卫星至地面终端)和最高500bps数据速率的遥测、跟踪、命令(TT&C)等前向服务(例如,地面终端至GEO卫星至LEO卫星)。示例性EDRS 100还包括Ka波段无线电发射器,以将数据发送到地面站。Ka波段无线电发射器可采用机械转向反射面天线实现,该天线提供大约300Mbps数据速率的返向服务和最高1Mbps数据速率的前向服务。

[0037] 尽管EDRS 100利用光学星间链路,提供比射频链路更大的带宽、更快的数据发送速度和更小的干扰,但是在LEO卫星、GEO卫星和目标地面站终端都安装光学收发机的成本很高。由于光学星间链路是点对点的通信系统,因此LEO卫星到地面终端的数据中继链路数量受到成本的限制。可安装在各个卫星(例如,安装于视野广阔的卫星地球舱板)上的光学激光通信终端的数量也可能是有限的。在一些实例中,EDRS 100仅可支持单个LEO卫星的数据中继服务。此外,光学激光定位精度要求高于射频定位精度要求。例如,射频信号的定位精度以毫弧度(mRad)为单位计,而激光信号定位精度以微弧度(μ Rad)或纳弧度(nRad)为单位计, $(\mu$ Rad, nRad分别比mRad高 10^3 或 10^6 倍)。此外,光学链路可能易受云或其它天气因素的干扰。

[0038] 现在参考图2,其示出了用于数据中继业务的示例性跟踪和数据中继卫星(TDRS) 200。TDRS 200利用射频技术,并包括两个单址接入天线210,每个接入天线直径大约15英尺,用于跟踪LEO卫星。单址接入天线210的每个天线每次只能向单个LEO卫星提供数据中继通信服务。单址接入天线210可使用不同的波段工作,包括S波段(2.0到3.0GHz)、Ku波段(13.7到15GHz)或Ka波段(22.5到27.5GHz)。而TDRS 200到地面的通信链路则使用2.0m/2.4m Ku波段专用天线220来提供TDRS 200与位于新墨西哥州白沙基地(White Sands Complex)的地面站之间的通信链路。

[0039] 另外,TDRS 200可包括用于发送和接收遥测、跟踪和命令(TT&C)的全向天线230。TDRS 200还包括使用S波段的多址接入天线232,并且使用相控阵天线同时与多个LEO卫星通信(例如,为了某些实时低速率通信)。用于上行指令链路转发天线可包括15个元件,而用于下行遥测链路的返向天线可包括32个元件。TDRS 200还可包括太阳能帆板240。

[0040] 虽然示例性TDRS 200可提供大容量数据传输,但是数据中继操作仅限于单址接入。虽然相控阵天线可支持多址接入操作,但示例性相控阵天线只能支持低数据速率命令和遥测数据的发送和接收。此外,TDRS200只能与新墨西哥州白沙基地的特定地面终端通信,从而限制了它与若干其它目标地面站信息收发的选择。也就是说,TDRS 200只可与白沙基地的特定地面终端通信,限制了它向地球表面任何其它地面终端通信的灵活性。

[0041] 现在参考图3,其示出了示例海因里希·赫兹卫星(H2Sat) 300的构件。H2Sat 300

是地球静止轨道卫星,可提供高数据速率和低数据速率的数据中继通信链路。高数据速率通信链路是经由多波束接收天线310的单向通信链路。例如,多波束接收天线310可使用Ka波段提供从LEO卫星到H2Sat 300的单向链路。多波束接收天线310可包括若干采用电扫描波束,并且可同时提供多达15个通信链路。多波束接收天线310可包括采用电扫描波束,用于跟踪在轨LEO卫星350的移动。当被跟踪的LEO卫星离开给定波束的覆盖区域时,H2Sat 300可通过用于波束切换的开关矩阵接通或激活另一波束,以继续跟踪在轨LEO卫星。因此,虽然H2Sat 300可跟踪沿着轨迹路径移动的LEO卫星,但是需要精确的计时跟踪和波束切换操作来维持跟踪。

[0042] 多波束接收天线310可操作以将数据从LEO卫星中继到信关站320,而信关站320可与网络控制中心322通信。

[0043] 示例性H2Sat 300还包括圆锥形喇叭天线330,用于提供低数据速率通信链路,用于中继遥测、跟踪和命令数据。圆锥形喇叭天线330使用时分复用(TDM)为给定覆盖区域内的多达10到15个LEO卫星提供低数据速率通信链路。

[0044] 虽然示例性H2Sat 300可支持多个LEO卫星的数据中继,但是与图2中所示的TDRS系统相比,多波束接收天线310的天线增益-噪声温度比G/T较低。由于LEO卫星的上行功率有限,因此H2Sat 300反向链路的天线增益-噪声温度比(G/T)可能影响从LEO卫星到信关站320数据中继的总体可用数据速率。

[0045] 此外,因为示例性H2Sat 300与单个信关站320建立通信链路,所以H2Sat 300不能支持将机密数据直接发送到任何其它期望的地面终端。数据发送需要首先通过信关站320来路由。此外,如果信关站320遭受自然灾害而不可用或由于临时技术故障而不能以所需速率通信,则H2Sat 300可能无法提供从LEO卫星向地面终端的数据中继服务。

[0046] 由于目前许多LEO卫星围绕地球运行,所以最好能提供可同时分别支持多个LEO卫星通信的数据中继卫星。如上所述,图1的示例性EDRS 100和图2的示例性TDRS 200可能不能支持与多个LEO卫星的大容量数据中继通信。图3的示例H2Sat 300虽可经多波束接收天线310支持多达15个LEO卫星的数据中继链路,然而,多波束接收天线310(例如,阵馈反射面)因高扫描损耗导致相对较低的G/T,并因此影响各个通信链路的最大可用数据速率。此外,对于示例性H2Sat 300,经由多波束接收天线310的返向星间链路是单向的,而馈电链路(例如,H2Sat 300到信关站320)由仅支持单个信关站320的单个波束构成。H2Sat 300的其它缺陷包括馈电链路易受雨衰影响,以及无法不通过信关站320将数据直接中继到期望的目标地面终端。

[0047] 期望提供一种地球静止轨道高通量卫星,用于与若干在轨LEO卫星和一个或多个地面终端之间中继数据,以增加每个LEO卫星可将数据发送到一个或多个地面站的持续时间。现在提供这种高通量卫星和运营高通量卫星的方法。

[0048] 在常规卫星固定业务(FSS)系统中,通常使用一个或多个宽点波束(例如,用于C波段的全球波束和用于Ku波段的某些区域波束)来覆盖期望的点波束覆盖区域。

[0049] 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。示例性HTS系统依赖于“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,并且可由该卫星各个点波束覆盖区域内的最终

用户使用。波束的空间隔离,使得每种颜色可由多个点波束复用,以增加HTS系统容量。在一些实例中,HTS系统可设计为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。

[0050] 在一些场景中,尽管使用较少的颜色可能导致较高的波束间干扰,尤其是在覆盖边缘(EOC)附近的区域,但是随着为每个波束覆盖区域分配更多带宽,总体系统容量也可能变得更高。示例性HTS系统设计可使用4色复用方案;但是其它一些HTS系统可能采用2色、6色,8色或更多色。在一些实例中,2色复用模式可导致一些相邻波束使用相同颜色。

[0051] 现在参考图4,其示出了根据本申请用于中继数据的卫星系统400实例。图4示出了地球410和LEO卫星420,例如地球观测卫星,以及围绕地球410的相应轨道路径422。LEO卫星420可于地球表面上方300至1000km范围内的近地轨道运行。LEO卫星420可配置为与一个或多个已识别地面站建立TT&C链路及通信链路,并将地球或空间观测数据发送到所识别的地面站。如所描述的,LEO卫星420可配置为捕获和存储观测数据,并且当LEO卫星420位于目标地面站(图4中未示出)的视野范围时,LEO卫星420可发送存储的观测数据到地面站。由于EO的数据量可能很大,且LEO卫星420在所识别地面站视野范围进行数据发送和接收的持续时间仅为每轨道周期5至15分钟左右,故数据发送到目标地面站所需的持续时间可能超过LEO卫星在目标地面站视野范围的持续时间。

[0052] 为了补充LEO卫星420和所识别的地面站之间通信链路的缺失以进行数据传输,卫星系统400包括用于在LEO卫星420和目标地面站之间中继数据的高通量卫星430。在图4中,高通量卫星430位于地球静止轨道432。示例性高通量卫星430配备具发送和接收数据功能的多个点波束。多个点波束提供点波束覆盖区域438。每个点波束具有波束宽度,该波束宽度决定地球表面处的每个各自点波束的覆盖区域。在图4中,多个点波束集合的结果示为点波束集合436并且映射到地球410的表面处的点波束覆盖区域438。

[0053] 现在参考图5,其示出了根据本申请的实例的分别由若干示例性高通量卫星提供的若干点波束覆盖区域。图5示出了由第一高通量卫星提供的示例性第一点波束覆盖区域510、由第二高通量卫星提供的示例性第二点波束覆盖区域520,以及由第三高通量卫星提供的示例性第三点波束覆盖区域530。第一点波束覆盖区域510可对应于由高通量卫星430提供的图4中所示的点波束覆盖区域438。每个相应的高通量卫星可为绕地球运行的地球静止轨道卫星,并且位于各自的轨位。这些高通量卫星在一起可提供点波束为位于整个地球表面的其它终端提供数据通信链路。在图5中,点波束覆盖区域可包括单波段点波束,例如Ka波段点波束、Q波段点波束或V波段点波束。

[0054] 在图5中,每个点波束具有波束宽度,该波束宽度决定地球表面处的覆盖区域,如单独的圆圈所示。点波束提供圆形覆盖区域;然而,应理解的是,点波束可在地球表面提供点波束覆盖区域,其可在地球表面处呈现椭圆形状。尽管覆盖区域表示为隔离的圆圈,但是每个相应的波束天线增益方向案会延伸并超出指示的圆圈。例如,所示圆圈可指示-3dB边界。

[0055] 在图5中所示的示例覆盖区域中,可采用颜色复用来最小化干扰。如果使用足够的颜色,则相邻波束(即,用于点波束相邻的覆盖区域)不使用相同的颜色,这有助于减少波束间干扰。在一些实例中,高通量卫星可以数百个点波束为特征。提供点波束以支持前向(地面终端到高通量卫星到LEO卫星)和反向(LEO卫星到高通量卫星到地面终端)通信链路。通

过颜色复用,许多波束可使用相同的频率和极化,并且通过各个点波束的覆盖区域的空间隔离来管理波束间干扰。应该理解,使用大量颜色可能导致有限的带宽分配给每个点波束,对通量产生负面影响。具有较少颜色的颜色复用模式可提高每个点波束可用的带宽,但代价是较高的波束间干扰。较高的波束间干扰会对系统可实现的容量产生不利影响,并且可能降低频谱效率。因此,利用固定颜色复用模式实现高通量卫星系统,其试图平衡上述因素。

[0056] 图5还示出了一个或多个LEO卫星的示例性轨道轨迹540。轨道轨迹540示为各个高通量卫星(如上所述)提供的点波束覆盖区域上的叠加图。

[0057] 参考图6,其示出了根据本申请的实例的由高通量卫星提供的点波束覆盖区域600。示例性多点波束覆盖区域600可包括单波段点波束和多波段点波束的集合。例如,可使用Ka波段点波束提供点波束覆盖区域600,其示出为较小的圆圈。此外,还可使用与Ka波段点波束同心的Q波段点波束或者使用与Ka波段点波束同心的V波段点波束来提供点波束覆盖区域600。在一些实例中,Q波段点波束或V波段点波束的波束宽度可大于Ka波段点波束的波束宽度。

[0058] 单波段点波束和多波段点波束的集合可提供点波束覆盖区域600,并且高通量卫星可使用Ka波段、Q波段、V波段或其它期望的频带以支持与LEO卫星的通信链路(例如,星间链路)。

[0059] 如所描述的,各个高通量卫星可设计为提供多个单波段点波束(例如参见图5)或者单波段点波束和多波段点波束的集合(例如参见图6)用于点波束覆盖区域。如高通量卫星如所描述的为点波束覆盖区域600提供多个点波束时,高通量卫星可同时为多个LEO卫星和多个目标地面终端之间中继数据。此外,因为高通量卫星将来自各个LEO卫星的数据中继到一个或多个目标地面终端,所以各个LEO卫星可与一个或多个目标地面终端中继通信的持续时间可大于当各个LEO卫星直接发送数据到一个或多个目标地面终端时的持续时间。

[0060] 在图6中,示例性单波段点波束用从S1到S14的参考标记来标识。在一些实例中,单波段点波束可为Ka波段点波束。在图6中,一些点波束与LEO卫星的轨道轨迹相交。当LEO卫星绕地球轨道运行时,LEO卫星可包括跟踪天线,用于跟踪高通量卫星(例如,地球静止轨道卫星)。当LEO卫星绕地球轨道运行时,LEO卫星可沿着LEO卫星轨道的路径进入并随后离开各个点波束的连续覆盖区域。

[0061] 当LEO卫星绕地球轨道运行时,高通量卫星可与用参考标记S1(图6)标识的第一点波束建立卫星间通信链路。当LEO卫星沿着轨道路径继续行进时,高通量卫星可将卫星间通信链路切换或交接到随后的点波束,如用参考标记S2标识的点波束,并且随后至用参考标记S3到S14标识的点波束。

[0062] 高通量卫星可设计为提供单波段(例如,Ka波段)点波束,其波束宽度在0.6到1.2度的范围内并且点波束直径在400到900千米的范围内。给定的LEO卫星可能以高速率绕地球运行,导致LEO卫星进入并随后在短持续时间内离开相应的点波束覆盖区域。由于给定的LEO卫星可能以相对较高的速率绕地球运行,为了维持高通量卫星与给定的LEO卫星之间的星间链路进行数据通信,在点波束覆盖区域内频繁进行点波束切换(例如,图6的点波束覆盖区域600)可能是必需的。为了最小化点波束切换操作的发生次数,高通量卫星可设计为提供具有更大波束宽度的单波段(例如,Ka波段)点波束。然而,与具有较小波束宽度的点波

束相比,具有较大波束宽度的点波束可能具有较差的天线增益-噪声温度比(G/T)。较差的天线G/T可能导致通信链路性能下降。因此,可能期望提供高通量卫星和用于运营高通量卫星的方法,以在给定LEO卫星绕地球轨道运行并穿过点波束覆盖区域(例如,图6的点波束覆盖区域600)时有效地处理点波束切换。

[0063] 现在参考图7,其以流程图的形式示出了根据本申请的实例的运营高通量卫星在一个或多个LEO卫星与目标地面站之间中继数据的方法700。示例性高通量卫星可包括图4中示出的相对于地球410(图4)的地球静止轨道中的高通量卫星430。示例性高通量卫星为点波束覆盖区域提供多个点波束。点波束覆盖区域可包括如图5所示的用于各个点波束的单波段覆盖区域的集合(例如,用参考标号510,520或530标识的各个点波束覆盖区域)或如图6所示的用于各个点波束的单波段覆盖区域和多波段覆盖区域的集合。图7的方法700包括由地面网络运营中心(NOC)或地面站处的一个或多个处理器执行的操作。

[0064] 在操作710,处理器确定通过点波束覆盖区域的在轨LEO卫星的估计轨迹。例如,在图6中,在轨LEO卫星的估计轨迹可为用参考标号650描绘和标识。在轨LEO卫星的轨迹可包括与移动时间信息列表相关联的一组纬度/经度信息。在一些实例中,网络运营中心或地面站可基于先前时间点的轨道路径来估计在轨LEO卫星的轨迹。

[0065] 如所描述的,高通量卫星可利用颜色复用方案来减少波束间干扰。也就是说,颜色复用方案可利用频谱的不同部分和/或不同的极化来减少波束间干扰。因为高通量卫星利用频率切换将通信链路从点波束覆盖区域中的给定点波束交接至后续点波束所需的持续时间可能小于利用极化切换时所需的持续时间,因此期望在通信链路从给定的点波束交接至随后的点波束时,高通量卫星采用频率切换的方法。

[0066] 在操作720,当在轨LEO卫星穿过点波束覆盖区域时,处理器可基于在轨LEO卫星的估计轨迹分配多个相同极化的颜色复用的点波束,用于维持在轨LEO卫星与高通量卫星之间的星间链路。如上所述,因为给定的LEO卫星可能以高速率绕地球运行,所以LEO卫星可进入并在短持续时间内随后离开点波束的相应覆盖区域。由于在轨LEO卫星只能在特定持续时间内在特定点波束的相应覆盖区域内,因此特定持续时间可小于使用极化切换来交接通信链路所需的持续时间。如果高通量卫星利用极化切换,则当通信链路从给定点波束到后续点波束的交接完成时,LEO卫星可能已经进入到LEO卫星轨迹中的下一个后续点波束了。为了改善与使用极化切换带来的相关挑战,处理器分配具相同极化的颜色复用的一个或多个后续点波束,以维持星间链路。

[0067] 为了说明,如参考图6所述,当LEO卫星绕地球运行时,高通量卫星可与用参考标记S1(图6)标识的第一点波束建立星间通信链路。基于在轨LEO卫星的估计轨迹,高通量卫星可识别在轨LEO卫星何时可接近或越过第一点波束S1的-3dB增益边界。基于从地面网络运营中心接收的点波束分配信息,高通量卫星可识别后续沿在轨LEO卫星估计轨迹的点波束(如用参考标记S2(图6)标识的点波束),并且使得后续点波束具有与第一点波束S1相同极化的颜色复用。

[0068] 也就是说,如果该后续点波束(S2)具有与第一点波束S1相同极化的颜色复用,则网络运营中心可将该后续点波束(S2)分配在所分配的多个点波束中,用于维持在轨LEO卫星和高通量卫星之间的星间链路。网络运营中心的处理器可反复地确定多个高通量卫星点波束中的哪些点波束具有相同极化的颜色复用,这些波束可分配以用于维持特定在轨LEO

卫星和高通量卫星之间的星间链路。

[0069] 在一些实例中,网络运营中心处的处理器可确定并分配可用频段在相应分配的一个或多个后续点波束(如上所述),这些波束在在轨LEO卫星预期进入的时间内具有相同极化的颜色复用。也就是说,处理器可基于点波束覆盖区域卫星业务状态报告确定可用频段和与之相关的时间,并且可将该可用频段分配给相应的LEO卫星。

[0070] 在一些实例中,在分配用于维持星间链路的多个分配的点波束之前,网络运营中心处的处理器在在轨LEO卫星所确定的估计的轨迹上叠加高通量卫星的点波束覆盖区域图,用于识别可用于维持星间链路的一个或多个后续点波束。例如,再次参考图6,处理器可将所确定的在轨LEO卫星的估计轨迹650叠加在高通量卫星点波束覆盖区域600上。在一些实例中,点波束覆盖区域600可与关于各个点波束的频谱和极化信息相关联,使得处理器可图形化识别相同极化的颜色复用的一个或多个后续点波束,以用于在在轨LEO卫星穿过点波束覆盖区域时维持星间链路。

[0071] 当高通量卫星与各个LEO卫星之间的星间链路的数量很大时,如上所述,图形化和/或可视化识别一个或多个所需的后续点波束可能是具有挑战性的。作为备选项,在一些实例中,处理器集合或收集LEO卫星的轨迹信息以及与各个点波束相关的频谱和极化的信息。随后,处理器可基于所收集的信息确定具有相同极化的颜色复用的一个或多个后续点波束,以维持星间链路。

[0072] 在一些场景中,当各个LEO卫星的多条轨迹穿过由高通量卫星提供的部分点波束覆盖区域时,该部分点波束覆盖区域可包括对通信链路的非均匀、高密度需求。为了应对点波束覆盖区域上的通信链路非均匀分布需求的挑战,在一些实例中,高通量卫星可支持动态波束赋形。当高通量卫星支持波束赋形时,在分配多个点波束以维持星间链路之前(例如,操作720),处理器可确定高通量卫星与多个相应LEO卫星之间的星间链路数量大于阈值来重新配置点波束覆盖区域的多个所分配的点波束。也就是说,处理器可利用波束赋形操作来提供重新配置的点波束覆盖区域,以减轻现有点波束覆盖区域建立或维持非均匀分布容量需求星间链路带来的挑战。

[0073] 在操作730,处理器将多个所分配点波束的分配信息发送到高通量卫星,以维持经由高通量卫星第一点波束和具有相同极化的颜色复用的一个或多个后续分配点波束的星间链路。星间链路从第一点波束到一个或多个分配的后续点波束的交接采用频率切换。应该理解,当网络运营中心将多个所分配点波束的分配信息发送到高通量卫星时,高通量卫星可调度各个点波束的配置(例如,频段、增益设置等),以在预计LEO卫星位于各个点波束边界内时建立或启用星间链路。

[0074] 在一些实例中,地面NOC的处理器可修改调制编码方式(MODCOD)。处理器可监测馈电链路性能,并且根据馈电链路性能降低或波动,处理器可通过请求LEO改变如图9所示星载调制解调器的MODCOD设置来改变MODCOD方式,以维持馈电链路性能,减轻雨衰或其它天气条件带来的影响。改变MODCOD方式基于地面NOC调制解调器处的DVB-S2或DVB-S2X标准的自适应编码和调制(ACM)功能。例如,地面NOC调制解调器可将馈电链路的性能状态信息发送到LEO卫星的调制解调器,而地面NOC调制解调器可向LEO卫星发送命令,使得LEO卫星可改变MODCOD方式以将馈电链路维持在期望的性能水平。

[0075] 本文描述的高通量卫星为点波束覆盖区域提供点波束。用于提供卫星间链路的各

个点波束可支持使用Ka波段、Q波段或V波段频率点波束中的至少一个进行数据通信。再次参考图5,用于第一点波束覆盖区域510、第二点波束覆盖区域520或第三点波束覆盖区域530的多个点波束可为Ka波段、Q波段或V波段频率点波束的任何一个。

[0076] 在另一个实例中,用于点波束覆盖区域的各个点波束可包括单波段点波束和多波段点波束的组合。例如,再次参考图6,用于点波束覆盖区域600的多个点波束可包括Ka波段/Q波段多波段点波束组合或Ka波段/V波段多波段点波束组合。也就是说,高通量卫星可包括多个点波束天线或馈源,其中每个点波束天线可提供一个或多个覆盖区域。在一些实例中,点波束天线或馈源可提供多波段点波束,其中点波束天线可生成第一频带点波束和与第一频带点波束同心的第二频带点波束。在该实例中,第一频带点波束可具有与第二频带点波束不同的波束宽度。

[0077] 为了说明,再次参考图6,其中示例点波束覆盖区域600包括若干多波段点波束。为了便于说明,在图6中仅标识了一个多波段点波束。所标识的多波段点波束可包括Ka波段点波束682和Q波段点波束684。因为Q波段点波束684具有比Ka波段点波束682更大的波束宽度,所以用于在点波束覆盖区域600中提供Q波段点波束684的点波束天线的数量可小于用于提供Ka波段点波束的点波束天线的数量。尽管使用Ka波段和Q波段描述了示例性多波段点波束,但其它ITU波段也可用来实现多波段天线。。

[0078] 现在参考图8,其示出了根据本申请的实例的用于在一个或多个LEO卫星与一个或多个目标地面站之间中继数据的HTS系统800。

[0079] HTS系统800包括第一高通量卫星810。第一高通量卫星810可为地球静止轨道卫星。第一高通量卫星810可提供多个点波束,用于提供第一点波束覆盖空间812。第一点波束覆盖空间812包括多点波束组合布置成例如在地球表面处提供第一点波束覆盖的区域。

[0080] 如图8中所示,第一LEO卫星814在第一点波束覆盖空间812的边界内。因此,第一高通量卫星810可与第一在轨LEO卫星814建立星间链路870。此外,如图8所示,第一地面终端818位于第一点波束覆盖空间812的边界内。第一高通量卫星810可与第一地面终端818建立第一馈电链路872。

[0081] 如本文所述,LEO卫星可捕获并存储地球观测数据,并且随后在LEO卫星位于目标地面终端视野范围时发送存储的EO数据。例如,在图8中,第一LEO卫星814提供第一直接到地终端空间816,当目标地面终端位于直接到地终端空间816的范围内时,LEO卫星814可将数据发送到目标地面终端。

[0082] 当LEO卫星不在目标地面终端的视野范围时,LEO卫星可继续存储捕获的数据。如本文所述,因为LEO卫星在相对地球表面较低高度的轨道运行,所以第一地面终端818处于直接到地终端空间816的范围内的持续时间可在5到15分钟左右。为了改善从第一LEO卫星814直接到第一地面终端818的数据发送依赖视野范围内有限发送时间的缺陷,第一LEO卫星814可利用以下的组合:(1)当第一LEO卫星814具位于第一地面终端818的视野范围时,从第一LEO卫星814直接发送数据到第一地面终端818;以及(2)通过第一星间链路870和第一馈电链路872进行数据中继,以增加可用于以下传输的持续时间:(a)从第一LEO卫星814到第一地面终端818的数据发送;和(b)从第一地面终端818到第一LEO卫星814处的数据接收。

[0083] 在图8中,示例性第一高通量卫星810包括第一点波束覆盖空间812,其提供占地球表面大约三分之一的点波束覆盖区域。如果第二高通量卫星820和第三高通量卫星830位于

地球静止轨道的轨位与相邻高通量卫星基本上等距,则第一高通量卫星810,第二高通量卫星820、和第三高通量卫星830的组合可在各个LEO卫星和目标地面站之间中继数据,比各个LEO卫星如仅依赖于相应的直接到地面终端空间(例如,参见第一直接地面终端空间816)内的通信链路提供更长数据发送的持续时间。用于中继数据的第一高通量卫星810、第二高通量卫星820和第三高通量卫星830的组合可为绝大部分地球表面提供数据通信传输覆盖。

[0084] 在图8的示例性HTS系统800中,相应的星间链路支持使用Ka波段、Q波段和/或V波段频率点波束中的至少一个进行数据通信。此外,各个馈电链路支持使用Ka波段频率点波束的数据通信。在一些实例中,可实现工作在其它ITU频带信号的点波束。

[0085] 作为说明性实例,在图8中,当在轨LEO卫星(如第一LEO卫星814)通过第一点波束位于第一高通量卫星810的视野范围时,在轨LEO卫星和第一高通量卫星810之间的星间链路可以形成。再次参考图6,第一点波束可为用参考标记S1标识的第一点波束。

[0086] 在一些实例中,在第一LEO在轨卫星和高通量卫星之间建立星间链路之后,地面NOC的处理器可从点波束覆盖区域内的多个地面站识别目标地面站,用于支持高通量卫星和目标地面站之间的馈电链路通信。在轨LEO卫星可将关于目标地面站的信息发送到地面NOC,而地面NOC可向高通量卫星发送命令,用于指示与所识别的目标地面站建立馈电链路。

[0087] 因为高通量卫星为点波束覆盖区域600提供多个点波束,所以地面NOC可指示高通量卫星建立馈电链路以支持高通量卫星与点波束覆盖区域600内地面站中任何一个之间馈电链路的通信。在一些实例中,一旦建立了星间链路,则在轨LEO卫星可指定向其传输数据的特定地面终端,并且高通量卫星可与目标地面终端建立馈电链路。也就是说,高通量卫星的数字处理器或数字信道化器可:(1)将从LEO卫星接收的射频输入信号数字化为各个子信道;(2)以预期的增益和频率设置将各个子信道路由到目标地面站。

[0088] 高通量卫星可使用任何数量的频带点波束建立馈电链路。例如,为了转移或减少馈电链路上的天气或雨衰的影响,高通量卫星可使用Ka波段点波束或Ku波段点波束建立馈电链路。与Q波段或V波段点波束相比,Ka波段点波束或Ku波段点波束较少受雨衰影响。在较高频带工作的点波束由于雨衰而更容易遭受链路劣化。

[0089] 此外,为了减轻雨衰的影响,高通量卫星可设计为利用自适应编码和调制(ACM)以及星载数字路由。例如,ACM操作可通过改变前向纠错(FEC)码和调制方式来补偿雨衰,从而减轻雨衰影响。此外,高通量卫星可配置星载数字信道化器,用于将待发送数据路由到雨衰影响可能不大的备用地面终端。因此,高通量卫星可经由星载数字信道化器将来自在轨LEO卫星上行链路的数据路由到(1)与高通量卫星的目标地面终端相连的现有馈电链路;或(2)在轨LEO卫星指定的另一个不同目标地面终端的备用馈电链路。

[0090] 用于在高通量卫星和地面站之间提供馈电链路的各个点波束可支持使用Ka波段点波束或Ku波段点波束中的至少一个进行通信。在其它ITU频带中工作的点波束也可用于提供馈电链路。

[0091] 应该理解,当在LEO卫星通过第一点波束和高通量卫星之间建立星间链路时,LEO卫星可通过高通量卫星从地面NOC接收关于分配相同极化的颜色复用的多个点波束的信息。LEO卫星还可接收与高通量卫星的点波束覆盖区域有关的信息。因此,当LEO卫星沿着计划中的LEO卫星轨迹绕地球运行时,LEO卫星可根据全球定位系统提供的位置信息,配置LEO卫星的天线,以在LEO卫星进入和离开点波束覆盖区域的各个点波束时改变其数据发送或

接收的频率。

[0092] 现在参考图9,其示出了根据本申请的实例的安装在示例性LEO卫星上的示例性射频有效载荷900的简化框图。示例性LEO卫星如图8的第一LEO卫星814,可配备跟踪天线902,用于在第一LEO卫星814沿其轨道路径行进时跟踪高通量卫星。在一些实例中,跟踪天线902可包括机械天线转向机构、开关波束、反射面阵列、相控阵、双电透镜或超材料阵列。在一些实例中,跟踪天线的旋转速度可为10度/秒或更快。

[0093] 在图9中,示例性跟踪天线902是相控阵跟踪天线。相控阵跟踪天线可利用有各自相移阵列天线的相长干涉。示例射频有效载荷900可包括一个或多个滤波器,如带通滤波器(BPF),以及一个或多个放大器,如大功率放大器(HPA)或低噪声放大器(LNA)。示例射频有效载荷900还可包括上变频器(UCo)和下变频器(DonCo)。

[0094] 现在参考图10,其以框图形式示出了示例性高通量卫星有效载荷1000。高通量卫星有效载荷1000包括N个点波束天线1002。高通量卫星有效载荷1000包括多个馈源,为点波束覆盖区域提供多个点波束。多个馈源可发送或接收射频信号至在轨LEO卫星、地面终端或其它端点。

[0095] 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。数字处理器1008将下变频频谱数字化以产生数字化频谱,实现快速分析和切换操作,包括信道切换或重新分配。大体上,数字处理器1008可将输入或检测到的射频信号数字化为各个子信道,并且利用所配置的增益设置和频段分配,将各个子信道路由到期望的下行链路波束。数字化通道由数字处理器1008输出,经上变频、放大(通常通过行波管1010),由天线1002发送。

[0096] 数字处理器1008还可实现用于在一个或多个近地轨道(LEO)卫星与目标地面站之间中继数据的一个或多个操作。例如,数字处理器1008可从地面NOC或地面终端接收多个所分配点波束的分配信息,用于在轨LEO卫星通过高通量卫星有效载荷1000提供的点波束覆盖区域时维持在轨LEO卫星与高通量卫星有效载荷1000之间的星间链路。数字处理器1008可配置具有相同极化的颜色复用的多个分配的点波束,用于在轨LEO卫星通过点波束覆盖区域时维持星间链路。数字处理器1008可通过多个所分配点波束的第一点波束与在轨LEO卫星建立星间链路。此外,当LEO卫星通过点波束覆盖区域时,数字处理器1008可将星间链路从第一点波束交接给具有相同极化的颜色复用后续分配的点波束。也就是说,数字处理器1008可基于所分配的频段或增益设置在各个连续的时间点配置第一点波束和后续分配的点波束,以便在轨LEO卫星通过第一点波束和后续分配的点波束时启用和建立与在轨LEO卫星相连的星间链路。

[0097] 在一些实例中,高通量卫星可设计为根据表1中总结的规格来建立星间和馈电链路。

[0098] 表1:

	星间/馈电链路	频段	接入方案
[0099]	星间链路 (LEO 到 GEO HTS)	Ka 波段/Ka 波段和 Q 波段多波段点波束; 或 Ka 波段/Ka 波段和 V 波段多波段点波束	支持多个用户进行数据和遥测传输
	馈电链路 (GEO HTS 到地面)	Ka 波段点波束	
	馈电链路 (地面 到 GEO HTS)	Ka 波段点波束	支持多个用户向 LEO 发送命令
[0100]	星间链路 (GEO HTS 到 LEO)	Ka 波段/Ka 波段和 Q 波段多波段点波束; 或 Ka 波段/Ka 波段和 V 波段多波段点波束	

[0101] 高通量卫星有效载荷1000可通过高速遥测和指令链路与地面网络运营中心(NOC)1020或地面终端通信,用于将元数据和连接参数传送到地面网络运营中心1020,并用于从网络运营中心1020接收配置和设置指令。网络运营中心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高通量卫星有效载荷1000的配置和业务流程。

[0102] 网络运营中心1020可实现本文描述的方法的部分或全部操作。例如,网络运营中心1020可实现为用于控制在一个或多个LEO卫星与目标地面站之间中继数据的高通量卫星的运营。网络运营中心1020包括高通量卫星的高速遥测和指挥链路、处理器和存储可执行指令的存储器,当可执行指令在由至少一个处理器执行时,引起处理器:确定通过点波束覆盖区域在轨LEO卫星的估计轨迹;基于估计的轨迹,分配具有相同极化的颜色复用的多个分配的点波束,用于当在轨LEO卫星穿过点波束覆盖区域时维持在轨LEO卫星与高通量卫星之间的星间链路;以及将多个所分配的点波束的分配信息发送到高通量卫星,以维持经由高通量卫星第一点波束和具有相同极化的颜色复用的一个或多个后续分配点波束的星间链路。星间链路从第一点波束到一个或多个分配的后续点波束的交接采用频率切换。

[0103] 在一些实例中,当LEO卫星完成绕地球一次或一周时的可下载数据量可在每次400到900吉比特的范围内。可下载的数据量可取决于所采用的点波束频带、LEO卫星上行链路等效全向辐射功率(EIRP)、LEO卫星天线的增益-噪声温度比(G/T)、地面终端用于接收数据通信的天线尺寸、高通量卫星的可用带宽,以及可用于直接从LEO卫星到目标地面终端的数据发送的持续时间。

[0104] 如上所述,网络运营中心1020可通过一个或多个处理器执行机器可读指令的来实现,以引起一个或多个处理器执行所述的操作。

[0105] 在说明性实例中,如表2中所总结的,高通量卫星可利用以下详述的不同带宽的星间链路和馈电链路预算来实现。表2提供了围绕地球的各个LEO卫星轨道的示例性可下载数据量估计。例如,当Ka波段点波束以72MHz带宽发送数据时,每个LEO卫星轨道周期可下载数据量约为430吉比特。当使用更高的带宽时,每个LEO卫星轨道周期的可下载数据量将更大。

[0106] 表2:

[0107]

星间链路(LEO 到 GEO)				
载波频率 (GHz)	30.0	30.0	30.0	Ka 波段
LEO 卫星 发射天线直 径(cm)	40.0	40.0	40.0	
LEO 卫星 发射功率 (W)	50.0	50.0	50.0	
LEO 卫星 EIRP(dBW)	55.3	55.3	55.3	
带宽(MHz)	72.0	125.0	200.0	占用 BW
上行链路功 率谱密度 (dBW / 40kHz)	22.7	20.3	18.3	
自由空间损 耗(dB)	213.0	213.0	213.0	LEO 到 GEO
GEO 卫星 G/T(dB/K)	18.0	18.0	18.0	HTS 点 G/T
载噪比 C/N(dB)	11.3	8.9	6.8	
馈电链路(GEO 到地面)				
载波频率	20.0	20.0	20.0	Ka 波段

	(GHz)			
	GEO 卫星 EIRP 每载 波(dBW)	48.6	51.0	53.0
	下行链路 EIRP 谱密 度(dBW / Hz)	-30.0	-30.0	-30.0
	自由空间损 耗(dB)	209.6	209.6	209.6
	99.9%可用 度下的链路 雨衰(dB)	10.0	10.0	10.0
	大气损耗 (dB)	1.5	1.5	1.5
	7 米信关 G/T(dB / K)	34.9	34.9	34.9
	C/N(dB)	13.4	13.4	13.4
	总 C / N(dB)	9.2	7.5	6.0
	频谱效率 (比特/符号)	2.1	1.9	1.6
	每次通过时 的可下载数 据量(Gb)	430.0	659.9	917.2
				GEO 到地面
				DVB-S2 EN_30230702v010101a
				每次通过时可用时间 窗口内可传输数据

[0108]

[0109] 需要指出的是,上述各个示例性实施例中虽然都利用了具有相同极化的颜色复用的多个点波束这一特征来实现本申请的目的,但是这一特征只是实现本申请目的的优选特征,本申请的其他可选实施例中可以替代性地只利用颜色复用的多个点波束,这同样可以实现本申请的目的;限于篇幅,这些可选实施例不再一一赘述。

[0110] 本文描述的示例性高通量卫星和运营高通量卫星的方法可便于在给定时间内多个LEO卫星与一个或多个目标地面站之间的数据中继操作。此外,本文描述的运营高通量卫星的方法可改善LEO卫星仅能在位于目标地面终端视野范围的时间内向目标地面终端发送数据的不足。利用以下组合:(1)当LEO卫星位于目标地面终端视野范围时从LEO卫星向目标地面终端的发送数据;(2)通过高通量卫星的中继数据,与仅当LEO卫星位于目标地面终端视野范围时进行数据发送时相比,从LEO卫星向目标地面终端发送数据的持续时间增加。作

为说明性实例,在LEO卫星仅依靠当LEO卫星位于目标地面终端视野范围进行数据发送时,可用数据发送的持续时间通常在每个轨道周期5到15分钟左右。当LEO卫星同时依靠位于目标地面终端视野范围的直接数据发送和经由高通量卫星中继的数据发送时,可用数据发送的持续时间可为每个轨道周期大约60分钟或更长。

[0111] 以上呈现的各种实施例仅仅是实例,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。

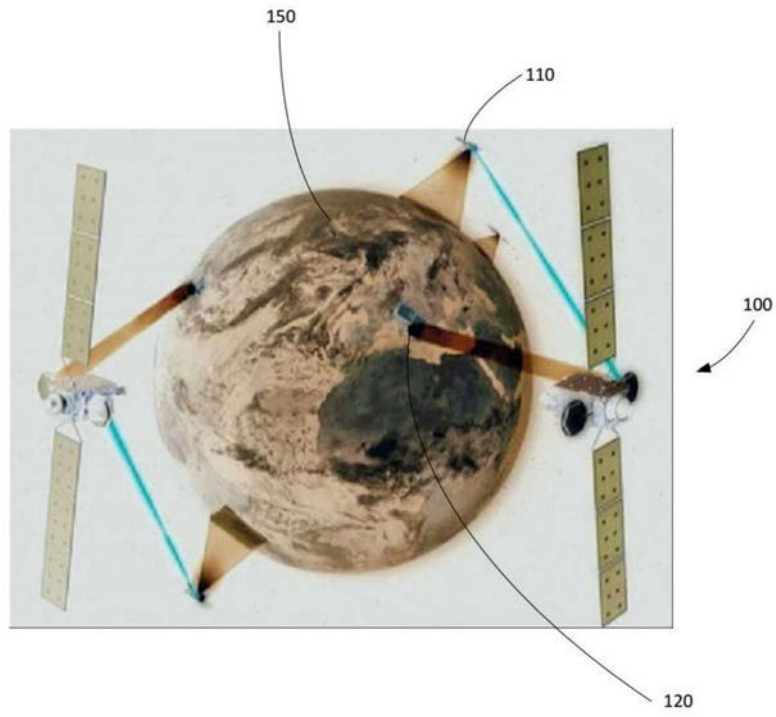


图1

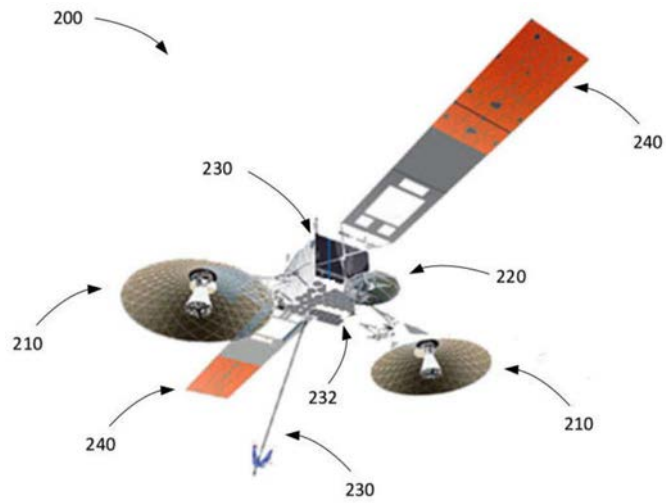


图2

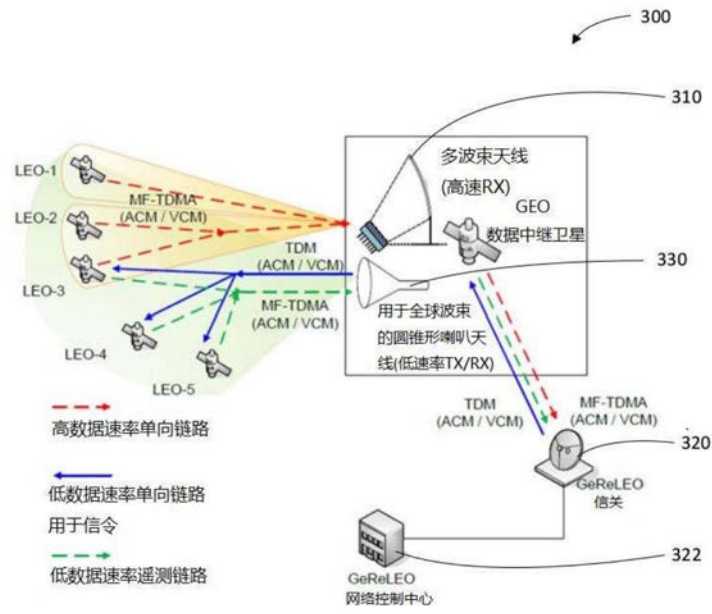


图3

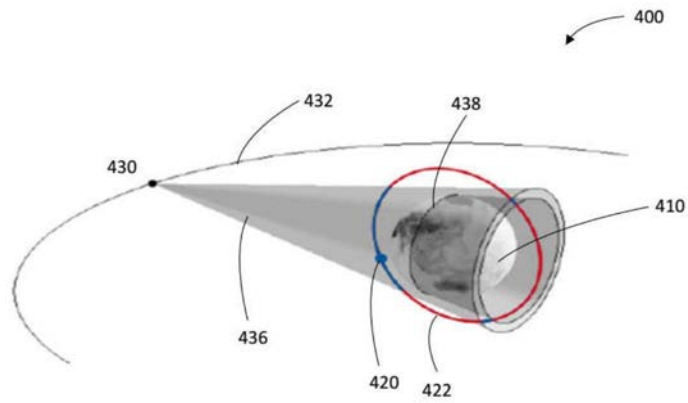


图4

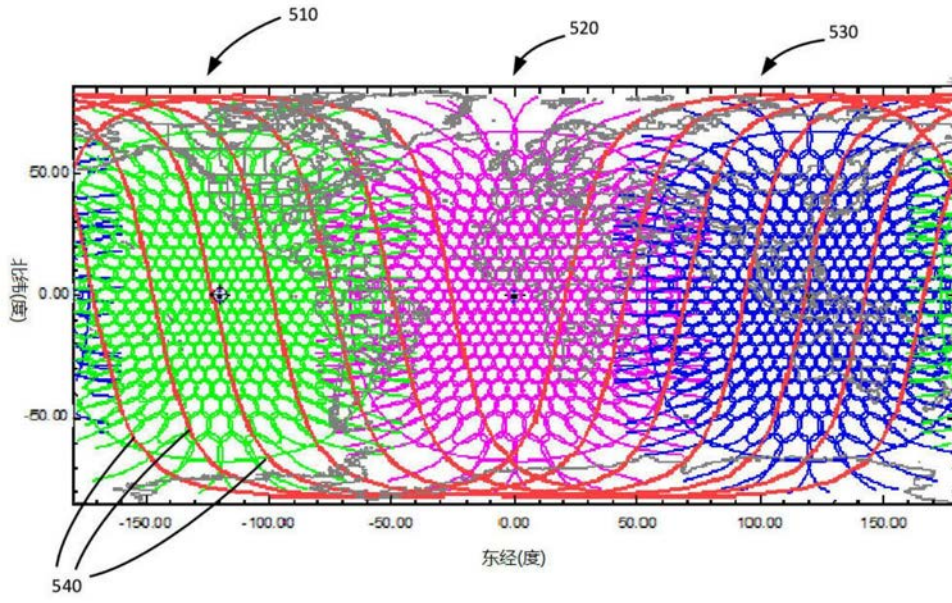


图5

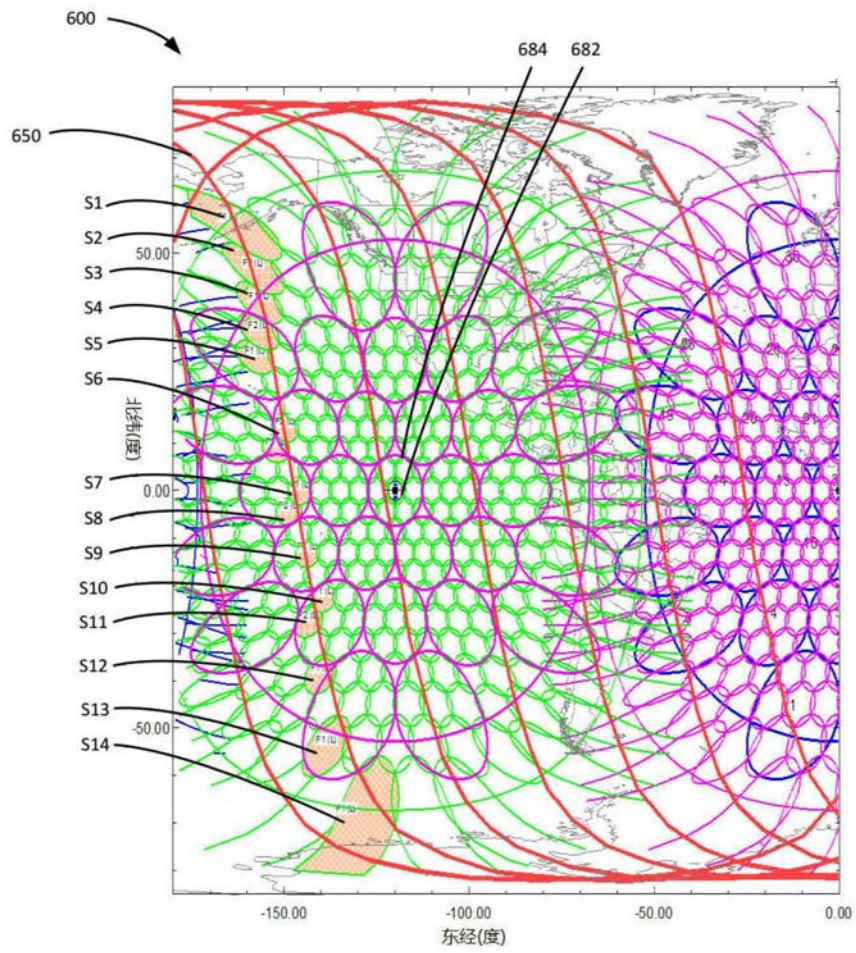


图6

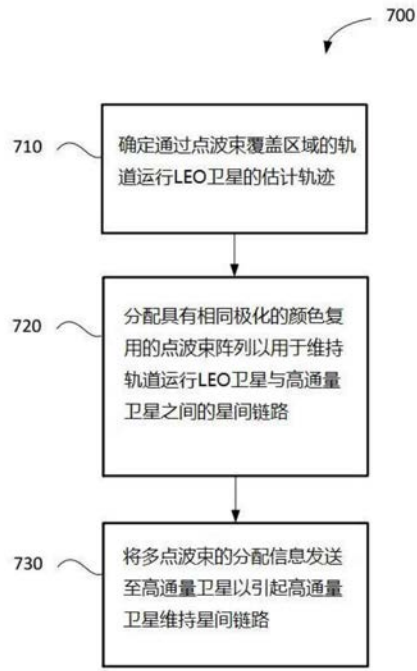


图7

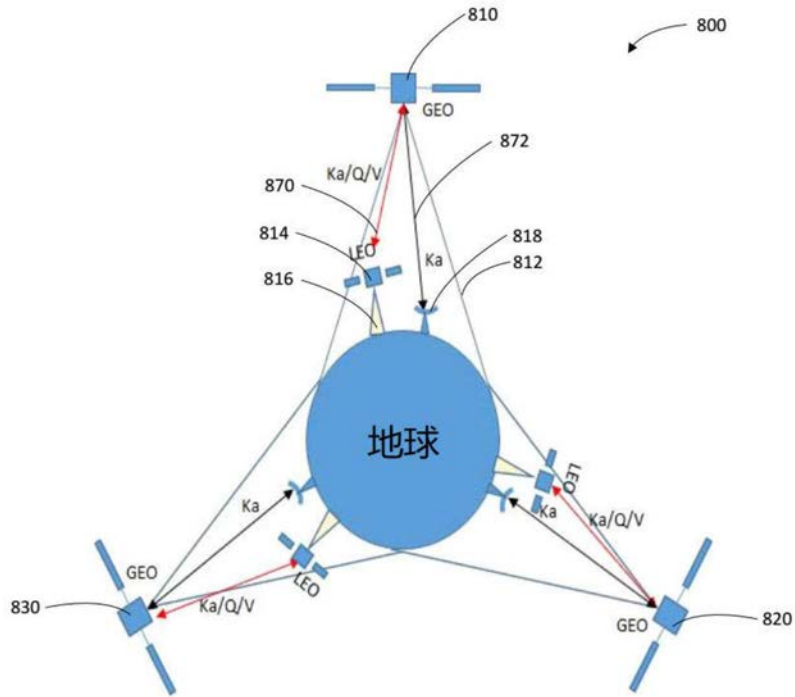


图8



图9

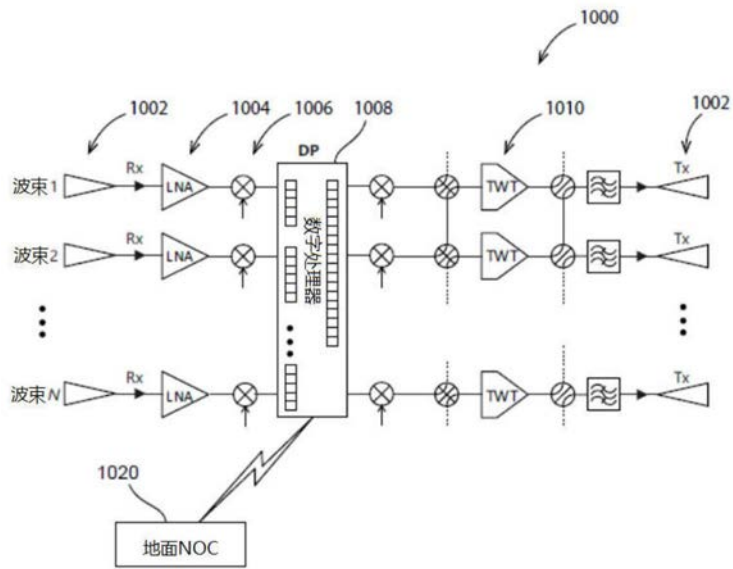


图10