



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107848633 A

(43)申请公布日 2018.03.27

(21)申请号 201680028016.0

(22)申请日 2016.04.01

(30)优先权数据

14/676,568 2015.04.01 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.11.14

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2016/025537 2016.04.01

(87)PCT国际申请的公布数据

WO2016/161275 EN 2016.10.06

(71)申请人 世界卫星有限公司

地址 美国弗吉尼亚州

(72)发明人 A·D·史密斯 A·奥斯奇基

D·W·菲尔德 J·格罗斯曼

(74)专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有
限公司 44205

代理人 林伟峰

(51)Int.Cl.

B64G 1/10(2006.01)

B64G 1/24(2006.01)

B64G 1/50(2006.01)

B64G 1/58(2006.01)

权利要求书2页 说明书8页 附图5页

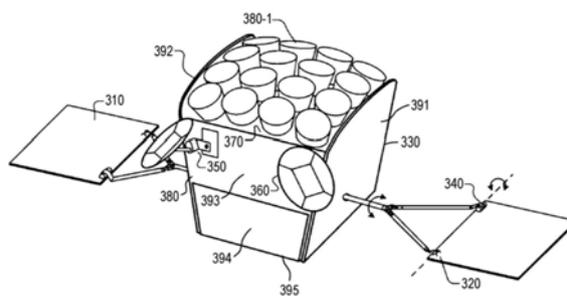
(54)发明名称

用于通信卫星的热稳定的方法

(57)摘要

本发明涉及一种用于使绕着地球的轨道中的通信卫星热稳定的方法,所述方法依赖于所述卫星的天线波束图案的离散旋转对称性。利用所述对称性,通过使所述卫星旋转穿过所述旋转对称性的对称角度,所述卫星的取向时时改变。由于所述对称性,所述波束图案在所述旋转之后未改变;但是因为所述旋转角度小于 360° ,所以所述卫星的不同侧面暴露于阳光。不同热辐射器和热屏蔽罩在所述卫星的不同侧面上的使用意味着,所述卫星的热预算在所述旋转之后为不同的。通过根据需要合理地施加旋转,由于相对于太阳的轨道取向随着时间演变,可能的是实现对所述卫星的所述热预算的有效控制。

LEO轨道的通信卫星300



1. 一种用于改变绕着地球的轨道中的通信卫星的热预算的方法,所述方法包括:
使所述卫星绕着所述卫星的波束图案的对称轴线旋转;
其中所述波束图案具有绕着所述对称轴线的离散旋转对称性,并且
其中按所述离散旋转对称性的一对称角度来旋转所述卫星。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述卫星包括一个或多个热辐射器,并且
其中旋转所述卫星致使所述一个或多个热辐射器所接收阳光的辐射热的量的变化。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中当所述卫星在地球的人口稀少区域上方时,旋转所述卫星。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述卫星在极地轨道中,并且其中当所述卫星在极地区域上方时,旋转所述卫星。
5. 根据权利要求4所述的方法,其中当所述极地轨道的 β 角度达到预定值时,旋转所述卫星。
6. 根据权利要求5所述的方法,其中所述预定值进行调整以减小所述卫星上的温度变化。
7. 根据权利要求1所述的方法,其中所述波束图案的波束在旋转所述卫星时关闭。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中所述对称轴线为偏航轴线。
9. 根据权利要求1所述的方法,其中所述对称角度为 90° 、 180° 或 270° 中的一者。
10. 一种用于控制绕着地球的轨道中的通信卫星的温度的方法,所述方法包括:
监测温度;
响应于达到预定值的温度,使所述卫星绕着所述卫星的波束图案的对称轴线旋转;
其中所述波束图案具有绕着所述对称轴线的离散旋转对称性,并且按所述离散旋转对称性的一对称角度来旋转所述卫星。
11. 根据权利要求10所述的方法,其中在继所述温度达到所述预定值,经历一延迟后,旋转所述卫星。
12. 根据权利要求11所述的方法,其中当所述卫星在地球的人口稀少区域上方时,旋转所述卫星。
13. 根据权利要求10所述的方法,其中所述波束图案的波束在旋转所述卫星时关闭。
14. 根据权利要求1或2中任一项所述的方法,其中当所述卫星在地球的人口稀少区域上方时,旋转所述卫星。
15. 根据权利要求1、2或14中任一项所述的方法,其中所述卫星在极地轨道中,并且其中当所述卫星在极地区域上方时,旋转所述卫星。
16. 根据权利要求1、2、14或15中任一项所述的方法,其中当所述极地轨道的 β 角度达到预定值时,旋转所述卫星。
17. 根据权利要求1、2、14、15或16中任一项所述的方法,其中所述预定值进行调整以减小所述卫星上的温度变化。
18. 根据权利要求1、2、14、15、16或17中任一项所述的方法,其中所述波束图案的波束在旋转所述卫星时关闭。
19. 根据权利要求1、2、14、15、16、17或18中任一项所述的方法,其中所述对称轴线为偏航轴线。

20. 根据权利要求1、2、14、15、16、17、18或19中任一项所述的方法,其中所述对称角度为 90° 、 180° 或 270° 中的一者。

21. 根据权利要求10、11或12中任一项所述的方法,其中所述波束图案的波束在旋转所述卫星时关闭。

用于通信卫星的热稳定的方法

技术领域

[0001] 本发明整体地涉及通信卫星,并且更具体地,涉及通信卫星的热管理。

背景技术

[0002] 自从五十多年前电星通信卫星的发射以来,许多人造卫星已发射入各种地球轨道中以用作通信中继站。此类通信卫星这些年来已实现能力和成本的极大改善,从而在许多情况下提供对地球区域的通信连通性,而由其它通信技术无法良好地服务这些地球区域。

[0003] 通信卫星的轨道通常选择成使卫星的通信效率最大化。例如,通信卫星可置于低地球轨道(LEO)中以实现无线电通信的短延迟。

[0004] 图1示出了通信卫星的极地LEO轨道。图1示出了行星地球110的轮廓,其中其白天半球120由阳光130照射,而黑夜半球140为黑暗的。图1示出了通信卫星的可能极地LEO轨道150。极地轨道在本领域中理解为穿过地球的极地区域上方或附近的轨道。可观察到图1所示的特定极地LEO轨道部分地处于地球的黑夜半球上。因此,该轨道中的卫星在轨道的一些部分上可由地球从太阳遮蔽。

[0005] 对本领域的技术人员将明显的是,一些卫星轨道可整体暴露于阳光,而其它卫星轨道可具有位于地球阴影中的显著部分。LEO轨道尤其如此。此外,由于地球绕着太阳转,阳光到达地球的角度改变。另外,卫星的轨道演变;最值得注意的是,轨道的平面绕着地球的旋转轴线进动。由于这些时间依从性变化,在一些时间点整体处于阳光中的轨道可在数月后部分地处于地球阴影中,反之亦然。

[0006] 当然,阳光具有加热通信卫星的作用。此外,卫星包括生成废热的许多部件,诸如无线电放大器、蓄电池、反作用轮等。此类热量连同阳光的热量必须以可控方式移除,以将卫星和其部件的温度保持在期望范围内。从所有热源进入和离开卫星的热流称为卫星的“热预算”。控制热预算称为“热管理”。更常见的是,热管理的目标是使卫星或关键卫星部件的温度稳定。

[0007] 空气通常用于地球表面上的热管理。例如,汽车、计算机和许多其它装置配备有风扇以用于冷却。调整由风扇所提供的冷却量可易于通过例如根据需要打开和关闭风扇来实现:如果装置的温度太高,那么风扇可打开以移动空气并冷却该装置。当温度降低时,风扇可关闭。

[0008] 在其中无空气的太空中,使物体(诸如卫星)冷却为更困难的。在实践中,辐射冷却为唯一可行选项。辐射冷却基于这一事实:温热物体发射(辐射)热量(在下文中,“辐射热”)。物体越温热,发射越多辐射热。辐射热包括电磁辐射(诸如光波和无线电波)。事实上,物体当暴露于阳光时经历的加热是由于阳光固有的辐射热。辐射热发射可用于卫星的热管理。

[0009] 卫星通常配备有热辐射器。这些热辐射器为制备成辐射热的有效发射器的卫星部件。由于辐射热的物理性质,热辐射器在很多情况下也是辐射热的良好吸收器,该辐射热来自热源,诸如阳光。卫星还通常配备有热屏蔽罩,这些热屏蔽罩为热辐射器的对应体。热屏

蔽罩通常为辐射热的不良吸收器以及不良发射器。热屏蔽罩可视为航天器的热绝缘体。

[0010] 卫星可在一个侧面上设计有热屏蔽罩并且在相对侧面上设计有热辐射器。如果卫星取向成使得热屏蔽罩侧面面向太阳,而热辐射器侧面面向空虚太空,那么从热阳光的辐射热吸收减少,而从卫星至太空的辐射热发射增强,并且卫星的温度可预期降低。相反地,如果卫星取向成使得热辐射器侧面面向太阳,而热屏蔽罩侧面面向空虚太空,那么从热阳光至卫星的辐射热吸收增强,而从卫星至太空的辐射热发射减少,并且卫星的温度可预期升高。中间取向将达到中间结果,并且卫星的温度因此可简单地通过调整卫星的取向来控制。

[0011] 作为调整整体卫星的取向的替代方案,卫星可配备有热辐射器,该热辐射器的取向相对于卫星的本体可调整。例如,NASA航天飞机在货舱门的内表面上配备有大型热面板。温度调整可通过调整热面板相对于航天飞机的本体的取向和通过调整将热量从航天飞机的各个部分承载至热面板的冷却剂的流量来实现。

[0012] 许多类型的卫星对于它们如何进行取向具有约束条件。例如,用于地球观察的卫星可配备有必须瞄准地球表面的相机或其它传感器。该要求限制了此类卫星的可能取向的范围。

[0013] 对于通信卫星,通常,卫星包括一个或多个天线,该一个或多个天线必须准确地瞄准其中待提供通信服务的地球区域。天线通常特征在于其如何传送无线电信号。天线所传送的无线电信号在不同方向上以不同强度传播通过太空。对应于传播信号的太空分布的几何形状通常称为“天线波束”。词语“波束”的使用反映了几何形状:对于通常用于通信卫星上的高度方向性天线,该几何形状看起来非常像探照灯的光束。如果无线电信号为可视的,那么天线将看起来如同探照灯。

[0014] 用作接收天线的天线由“天线波束”来表征。这是因为天线为互逆装置,并且当用于接收无线电信号时,天线对于从不同方向到达的无线电信号表现出不同敏感性。对应于此类不同敏感性的太空分布的几何形状与在天线用于传送的情况下的几何形状相同。因此,对于接收天线,“天线波束”示出了太空区域,从该太空区域可有效地接收信号。

[0015] 通信卫星可具有例如带有圆形天线波束的单个天线。图2示出了LEO极地轨道中的此类卫星的一个实例。LEO卫星210在LEO极地轨道150中环绕地球。卫星配备有特征在于天线波束230的无线电天线220。示出天线波形230的锥形形状表示其中由天线所传送的信号以良好强度接收的太空区域。对于接收天线,其表示其中信号可产生并且可由卫星以良好效率接收的太空区域。其中天线波束230交汇地球表面的地球区域通常称为“覆盖区”并且在图2中示为覆盖区230。覆盖区230为其中卫星210可通过天线220提供通信服务的地球区域。

[0016] 在图2中,天线波束示为具有圆形对称性,使得覆盖区230为圆圈。此外,天线“直接向下”瞄准,意味着天线波束的圆形对称轴线以直角与地球表面相遇,并且其中该轴线与地球表面相遇的点为子卫星点,图2中示为子卫星点240。从卫星行进至地球并且以直角与地球表面相遇的轴线通常称为“偏航”轴线并且在图2中示为偏航轴线250。圆形覆盖区230绕着子卫星点居中。

[0017] 由于圆形对称性,LEO卫星可绕着偏航轴线自由地旋转,而不影响覆盖区的形状。此类操纵称为“偏航转向”并且可有利地用于卫星的热管理。卫星可在卫星的不同侧面上配

备有热辐射器和热屏蔽罩的组合,并且可根据需要旋转以将一个侧面或另一个侧面暴露于阳光,而不影响覆盖区230的形状和尺寸。

[0018] 在实践中,偏航转向不是用于配备有多个天线的许多通信卫星的选项。利用此类卫星,无线电通信根据多个天线波束的几何图案发生,该几何图案通常称为卫星的“波束图案”。波束图案必须准确地瞄准球表面以生成覆盖区的期望图案。覆盖区的图案仔细地设计成实现期望性能,并且图案的任何中断可为极其有害的。当卫星为卫星星座的一部分时尤其如此,在该卫星星座中,一个卫星所提供的通信服务必须与其它卫星所提供的通信服务协同。

[0019] 在许多通信卫星中,天线刚性地附连至卫星的本体。天线的相对位置和相对取向设计成实现期望波束图案;即,当适当地瞄准地球表面时得到覆盖区的期望图案的波束图案。卫星绕着偏航轴线或任何其它轴线的旋转,伴随着波束图案的旋转。任何显著旋转通常导致覆盖区的图案的不可接受变形。因此,通过偏航转向的热管理不是此类卫星的选项。

[0020] 一种可能解决方案为使用可转向天线。此类天线生成波束,该波束的取向可调整。用于波束转向的机械和电子器件手段均为可能的。然后,卫星可旋转,同时天线转向以维持期望波束图案。

[0021] 另一种可能解决方案是使卫星配备有更强自适应性热辐射器。例如,热辐射器可安装于具有平衡环和电机的卫星的本体上,该平衡环和电机允许热辐射器相对于卫星的本体移动。然后,其暴露于阳光的角度可根据需要来改变以实现期望热管理。此外,热辐射器可配备有热开关(当需要时,该热开关使辐射器停用)或用于使冷却剂循环至面板的系统,其中冷却剂循环图案制成为根据需要借助于阀和泵可调整的,以实现期望热管理。

[0022] 这些解决方案和可用于现有技术的其它解决方案具有增加成本、增加卫星重量和抑制性能的显著缺点。未来,具有小、轻、紧凑、低成本卫星设计的通信卫星系统将提供一系列的新服务。为实现此类卫星,需要一种用于热管理的不同方法。

发明内容

[0023] 本发明的实施例可与通信卫星一起使用,该通信卫星的波束图案具有离散旋转对称性。这种类型的对称性意指,尽管波束图案不具有圆形对称性,但是存在对称轴线并且存在某些角度;波束图案可旋转该某些角度,使得在旋转之后,新波束图案在功能上等同于原始波束图案。例如,埃及金字塔(其基部为完美方形)具有此类对称性。这些金字塔中的一者可绕着垂直轴线旋转 90° 、 180° 或 270° 以得到自身的等同复制品。

[0024] 如果波束图案具有离散旋转对称性,那么整个卫星可旋转多个对称角度中的一者,并且新波束图案将在功能上等同于原始波束图案。在旋转之后,卫星可持续以相同性能参数向相同区域提供通信服务。

[0025] 当然,卫星旋转不可能为瞬间的,并且当卫星旋转了对称角度时,中间位置可得到不可接受的或不提供足够覆盖或两者的覆盖区的图案。本发明的实施例利用一些卫星系统中的两个特征:(i)存在地球区域,其中用于提供覆盖的卫星多于所需;和(ii)存在地球区域,其中人口稀少,使得其中的通信服务中断所带来的对整体系统性能的影响为可接受。利用第一特征,卫星可执行旋转并且关闭所有其通信波束,当执行旋转时,其它卫星可用于提供通信服务。利用第二特征,如果相关中断为可忍受的,那么卫星可在关闭或不关闭其波束

的情况下执行旋转。

[0026] 旋转卫星将卫星的不同部分暴露于阳光,并且因此,可用于卫星的热管理。在本发明的实施例中,卫星在卫星的不同侧面上配备有不同热辐射器和/或不同热屏蔽罩。热管理通过轨道参数、波束图案的合理选择以及协同其它卫星来实现,这些其它卫星当需要时允许旋转卫星以将温度保持于期望范围内。本发明的实施例可提供通信卫星的热管理子系统的重量和成本的显著减小。

附图说明

[0027] 图1示出了通信卫星的极地低地球轨道(LEO)。

[0028] 图2示出了LEO轨道中的通信卫星。该卫星具有单个通信天线,该单个通信天线生成具有以偏航轴线为中心的圆形对称性的天线波束。

[0029] 图3示出了用于LEO轨道的通信卫星。该卫星具有多个通信天线和多个热辐射器。

[0030] 图4示出了由图3的卫星的多个天线所生成的多波束图案。

[0031] 图5示出了地球的表面上的覆盖区的图案,如可由图4的多波束图案生成。

[0032] 图6示出了卫星轨道与阳光的到达方向的关系。其还示出了 β 角度如何限定和 β 角度如何随着时间演变。

具体实施方式

[0033] 图3示出了适于本发明的一些实施例的卫星300。该卫星最佳用于LEO轨道。卫星包括太阳能面板310和320以用于从阳光生成电力。太阳能面板诸如在铰链340处进行铰接,并且电机用于根据需要对太阳能面板进行取向以用于将该面板暴露于阳光。卫星还包括两个无线电天线350和360,无线电天线350和360也处于铰接安装件上并且可根据需要进行取向以瞄准地球表面上的特定位置。卫星还包括十六个通信天线的阵列,其中这些天线经由支撑幅材面板370刚性地附连至卫星的本身380。十六个天线示为等同圆罐,其一者标记为380-1。

[0034] 需注意,卫星示为“倒置的”。当在轨道中时,十六个天线瞄准地球表面。这在图4中示出,其中十六个天线的每一者生成单独天线波束,使得十六个天线的阵列生成十六个波束的波束图案400。在地球表面上,波束图案得到十六个覆盖区的图案,其一者标记为覆盖区410。

[0035] 卫星300还包括卫星的本体的四个侧面上的五个热辐射器391-395。特别地,热辐射器391和392分别称为+Y辐射器和-Y辐射器,并且热辐射器393和394分别称为+X辐射器和+X蓄电池辐射器。剩余辐射器从图3的视图隐藏;热辐射器395在卫星的底侧面上,如图3所示,并且称为-Z辐射器。五个热辐射器在尺寸、能力和功能上均非等同的。这部分地由于卫星设计的约束条件;例如,+X蓄电池辐射器为蓄电池模块的一部分,并且因此,其主要功能是冷却蓄电池。其它辐射器经由热管联接至其它卫星模块。

[0036] 卫星300还包括热屏蔽罩。该热屏蔽罩从图3的视图隐藏;其在卫星的底侧面上,如图3所示,并且标记为330。不同辐射器和热屏蔽罩在卫星的不同侧面上的可用性允许卫星利用本发明的实施例,如在阅读本公开之后对本领域的技术人员将是明显的。

[0037] 图5示出了由卫星300在地球表面上所生成的覆盖区500的图案。该图案由十六个

覆盖区501至516组成。在图5中,它们示为等同圆圈,这些等同圆圈充分重叠以确保在覆盖区之间的边界附近无区域为未覆盖的。可观察到覆盖区400的图案具有离散旋转对称性。

[0038] 离散旋转对称性为一些几何形状的特性。对于二维形状,诸如地理区域500的图案,如果其在旋转一些角度之后看起来相同,那么该形状据说具有离散旋转对称性。词语离散用于区别该类型的旋转对称性与圆形对称性。具有圆形对称性的形状在旋转任何角度之后看起来相同;相比之下,具有离散旋转对称性的形状仅在旋转角度具有特定值(仅有限数量的大于 0° 且小于 360° 的可能角度值)的情况下看起来相同。(任何形状在旋转 0° 或 360° 之后看起来相同;其与未旋转相同。)这些角度值称为“对称角度”。对于覆盖区500的图案,如果旋转 90° 、 180° 和 270° ,那么该图案看起来相同,并且这些角度为该形状的三个对称角度。出于本公开和附属权利要求书的目的,旋转一定角度(该角度为多个正或负对称角度)应视为等同于旋转对称角度。

[0039] 离散旋转对称性的形状还可限定用于三维形状,诸如,例如由天线阵列370所生成的三维波束图案。如果三维形状在绕着旋转轴线旋转一些角度之后看起来相同,那么该三维形状据说具有离散旋转对称性的特性。存在离散旋转对称性的旋转轴线称为“对称轴线”。如同二维形状,仅存在用于绕着对称轴线旋转的有限数量的大于 0° 且小于 360° 可能对称角度,但可存在多个对称轴线。例如,立方体具有多个对称轴线:其可绕着平行于其边缘中的一者的任何轴线旋转 90° 、 180° 和 270° ,并且其仍将看起来相同。

[0040] 在由天线阵列370所生成的波束图案400的情况下,十六个天线相对于彼此有意地设置,使得波束图案具有离散旋转对称性,其中对称角度为 90° 、 180° 和 270° 。事实上,覆盖区500的图案的离散旋转对称性为波束图案400的离散旋转对称性的结果,该结果当卫星300直接瞄准地球表面时获得,使得波束图案的对称轴线相对于地球表面成直角。

[0041] 具有离散旋转对称性的波束图案为有利的,因为卫星可绕着对称轴线旋转对称角度而不导致波束图案的变化。在本发明的一些实施例中,此类卫星出于将卫星的不同侧面在不同时间暴露于阳光的目的旋转对称角度,而均不改变波束图案。

[0042] 应当注意,具有离散旋转对称性的波束图案不必然地生成具有离散旋转对称性的覆盖区的图案。反之亦然,可能的是甚至以不具有离散旋转对称性的波束图案生成具有离散旋转对称性的覆盖区的图案。例如,如果卫星300倾斜使得波束图案的对称轴线以非直角与地球表面相遇,那么所得覆盖区的图案将不具有离散旋转对称性,即使波束图案仍具有离散旋转对称性。波束图案的离散旋转对称性的特性对于卫星设计为固有的,并且无关于波束图案如何与地球表面相遇。本发明的实施例可有利地与卫星一起使用,该卫星生成具有离散旋转对称性的波束图案而不论卫星如何倾斜或波束图案如何与地球表面相遇。

[0043] 在任何现实世界工程化系统中,该系统的设计者将系统性能の説明作为整体和以其子系统来阐述。此类说明始终包括必须满足的公差以用于系统根据需要进行操作。当然,通信卫星和其覆盖图案也是如此:通信卫星的波束图案的参数必须在特定公差范围内以用于卫星根据需要进行操作。出于本公开和附属权利要求书的目的,如果可能的是将卫星绕着对称轴线旋转对称角度使得初始和最终波束图案两者均满足相同设计公差,那么通信卫星的波束图案视为具有离散旋转对称性。

[0044] 由天线所传送(或接收)的无线电信号的全部表征应包括无线电信号的极性状态的指示。因此,可决定将极性说明包括于波束图案的定义中。然而,一些无线电接收器设计

为极性未知的(即,它们以任何极性状态进行工作),其它为极性灵活的(即,它们根据需要适配其操作来以可用极性状态进行工作),而其它可仅以特定极性状态而不以其它极性状态进行工作。在阅读本公开之后,如何制备和使用本发明的一些实施例(其中极性包括于波束图案的离散旋转对称性的定义中)和其它实施例(其中极性未包括,取决于无线电系统的能力)对本领域的技术人员将是明显的。在极性包括在内的情况下,在旋转对称角度之后,如果波束图案的几何形状看起来相同并且如果所传送和所接收信号的极性的图案也看起来相同,那么具有离散旋转对称性的波束图案可视为看起来相同。

[0045] 在本发明的实施例中,卫星时时绕着波束图案的对称轴线执行旋转。旋转进行对称角度,使得波束图案在旋转之后保持未改变,并且卫星持续提供通信服务而无中断或减损。当然,在旋转之后,不同天线服务不同覆盖区;然而,如何在卫星上或在地面上配置信道连通性在本领域中是众所周知的,使得适当通信信道转到适当目的地。

[0046] 根据本发明的实施例旋转卫星的优点在于这一事实:当波束图案具有离散旋转对称性时,热辐射器和热屏蔽罩的图案不必然地具有该对称性。卫星的一些侧面可制备成相比于其它侧面在发射或吸收辐射热方面更有效,并且不同卫星模块也可不同地与卫星的不同侧面热联接。因此,例如,如果卫星300的蓄电池过热,那么可能有利的是旋转卫星,使得+X蓄电池辐射器394背向太阳。相反地,例如,如果卫星因处于地球阴影中长时间间隔而太冷,那么可能有益的是旋转卫星,使得热屏蔽罩330背向太阳,而热辐射器393和394面向太阳,使得阳光的热量可更容易地吸收。

[0047] 一般来讲,当需要时旋转卫星而不中断通信服务的能力向本发明的实施例提供以类似于现有技术偏航转向的方式执行卫星的热管理的能力,并提供类似优点,即使卫星的波束图案不具有圆形对称性。

[0048] 重要的是应注意,尽管波束图案在卫星旋转对称角度之后保持未改变,但是此类旋转不可能瞬时执行。事实上,在典型卫星中,旋转通过调整反作用轮中的一者或多者的旋转速率来完成,并且可实现旋转速率取决于所涉及反作用轮的质量。在大多数卫星中,期望的是将该质量保持尽可能低的,其结果是典型卫星的可实现旋转速率为相当低的。

[0049] 由于卫星通过中间角度进行过渡,当执行旋转对称角度时,波束图案不是设想那样,并且卫星的提供通信服务的能力严重受影响。更糟的是,所得不期望覆盖图案可致使与相邻卫星的覆盖图案的干扰问题。为此,在本发明的一些实施例中,当卫星进行旋转时,一些或所有的卫星波束关闭。一旦旋转完成,其中卫星已旋转对称角度,则波束再次打开。

[0050] 在本发明的许多实施例中,由于一些卫星系统的两个特征,在卫星正执行旋转时发生的中断为可接受的:(i)存在地球区域,其中用于提供覆盖的卫星多于所需;和(ii)存在地球区域,其中人口稀少,使得其中的通信服务中断所带来的对整体系统性能的影响为可接受。

[0051] 第一特征为有利的,因为如果存在冗余卫星覆盖,那么卫星中的一者可关闭其波束,而其它卫星持续提供通信服务。当卫星需执行旋转时,该系统可调度此类旋转的时间,此时卫星处于这些区域之一(其中冗余覆盖为可用的)的上方。然后,卫星可关闭其波束并执行旋转,而未执行旋转的其它卫星配置成提供通信服务。

[0052] 第二特征为有利的,因为通过不同于本发明的实施例的手段的卫星的热管理成本可为极高的。当设计通信卫星系统时,在通过本发明的实施例执行热管理的优点和在各处

提供连续通信服务的需求之间将存在权衡。可证明的是,响应于通过旋转卫星(而不是必须使卫星配备有另选热管理技术)而能够改变卫星的热预算的优点,在地球的一些人口稀少地区容忍偶然服务中断为成本有效的。

[0053] 在本发明的一些实施例中,可有利的是经常执行卫星旋转,在一个轨道周期内可能执行多次,这可能产生系统性能的适度中断,如先前段落所讨论。在其它实施例中,此类旋转可为不经常的。例如,由于极地轨道相对于太阳的取向从一个月至下一个月改变,在一些时间点已延长处于地球阴影中的时间段的轨道可发现自己随后两个月完全处于阳光中。对于该轨道中的卫星,可能有利的是根据需要每数月执行一次旋转,以将从太阳所接收的平均热量保持为大致恒定的。

[0054] 图6示出了本发明的一个实施例,其中执行此类不经常的旋转。在图6中,地球110从北极上方进行观察。阳光130到达左侧,使得地球的黑夜半球在右侧并且白天半球在左侧。地球的照射和位置与世界时间3月22日15:40的日期一致。

[0055] 图6示出了三个极地轨道,在该视图中,这三个极地轨道在边缘显示为三个直线610、620和630。极地轨道610与日夜之界对准。沿着轨道610环绕的卫星始终暴露于阳光。轨道平面和阳光到达方向之间的角度称为“ β 角度”。对于该轨道610, β 角度的值为 90° 。其它两个轨道620和630分别具有 $+30^\circ$ 和 -30° 的 β 角度。这两个轨道中的卫星大部分的时间处于地球的阴影中。显然,实现轨道610中的卫星的良好热预算的卫星取向对于轨道620和630中的卫星不可能这样。

[0056] 图6示出了这样的事实:所有极地轨道在地球的极地上方彼此相遇。在基于多个极地轨道的卫星系统中,在给定时间,在极地上方存在远远多于地球上任何其它位置上方的卫星。因此,极地为卫星切断其波束并在需要时执行旋转的良好地方。因为卫星在每个轨道中在两个极地之一上方经过两次,所以对于卫星存在执行旋转的大量机会。对于类似于图6所示轨道的LEO极地轨道,此类机会远多于每小时一次。

[0057] 随着年度进展和阳光的到达方向改变,极地轨道的轨道平面保持为非常稳定的。因此,轨道的 β 角度响应于阳光的到达角度改变而改变。特别地,图6所示日期之后的两个月,阳光的到达方向将已改变约 60° 。在图6的图示中,阳光将从左下方到达。轨道620的 β 角度将接近 90° ,并且整个轨道将处于阳光中。相比之下,轨道610将具有接近 -30° 的 β 角度,并且其大部分将处于地球阴影中。显然,在3月22日实现轨道610中卫星的良好热预算的卫星取向在两个月之后将不再为良好取向。一般来讲,其它轨道也是如此。根据本发明的一些实施例,轨道610中的卫星将已在3月22日和两个月之后之间的一些时间点执行旋转,以维持具有良好热预算的取向。在一些实施例中,可存在 β 角度的一个或多个预定值,旋转以该 β 角度执行。当轨道的 β 角度达到这些值中的一者时,执行预定旋转以实现更适于所改变 β 角度的不同热预算。

[0058] 尽管本说明书中的多个实例涉及极地轨道,但是在阅读本公开之后,如何制备和利用本发明的实施例对本领域的技术人员将是明显的,其中卫星轨道为非极地。特别地,本公开中涉及极地轨道的大部分陈述和特性还适用于近极地轨道,即,具有高倾斜角度的轨道。此外,许多陈述和特性适用于任何LEO轨道或甚至其它类型的轨道。在阅读本公开之后,如何制备和利用可与处于各种类型的轨道中的卫星一起使用的本发明的实施例对本领域的技术人员将是明显的;并且在阅读本公开之后,本发明的构思和方法如何可适于自身适

宜于适应变化的卫星系统对本领域的技术人员将是明显的。

[0059] 应当理解,本公开仅教导了一个或多个示例性实施例的一个或多个实例,并且本发明的许多变型可由本领域的技术人员在阅读本公开之后易于想出,并且本发明的范围由本公开所附属的权利要求书限定。

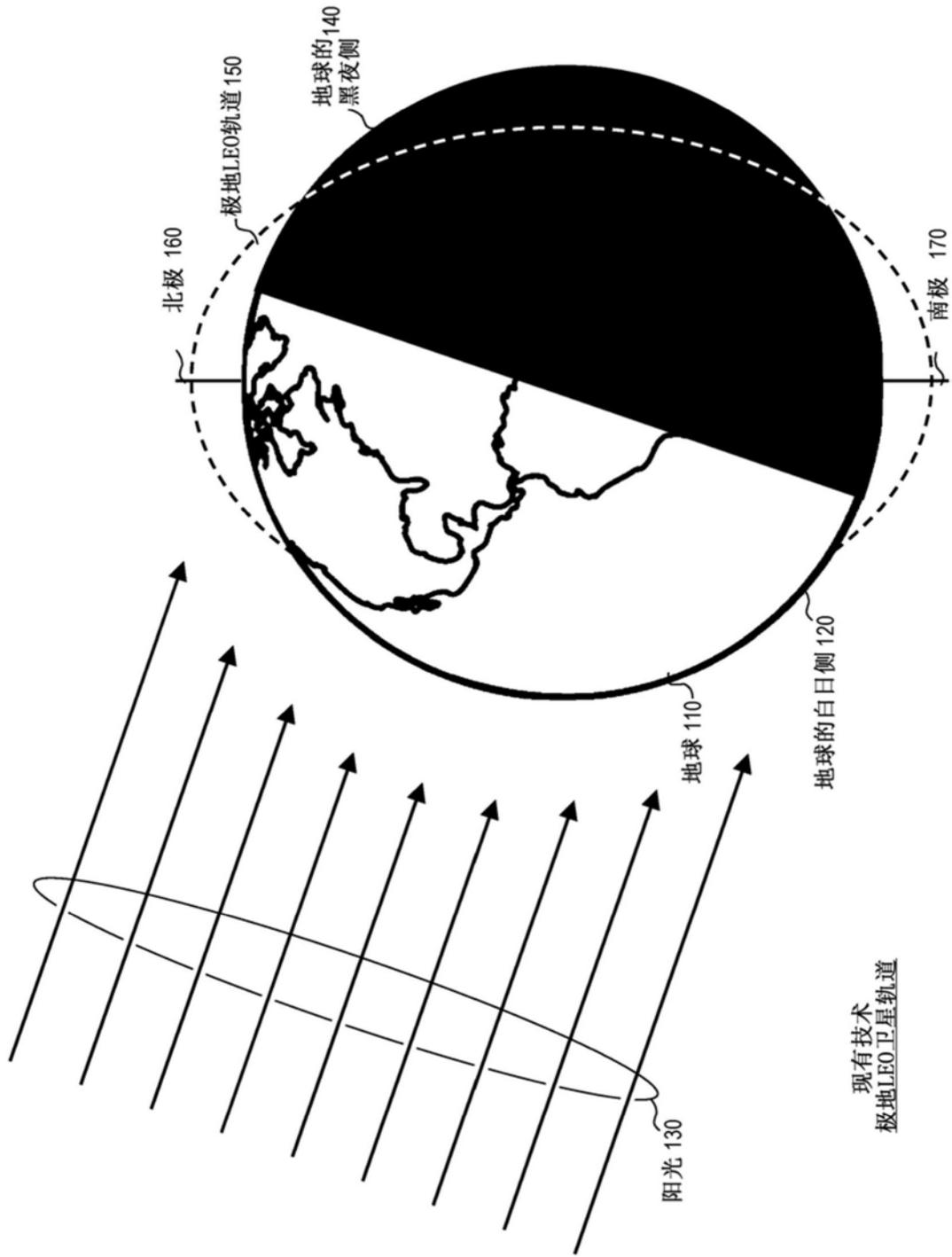


图1

现有技术
LEO卫星的圆形天线波束

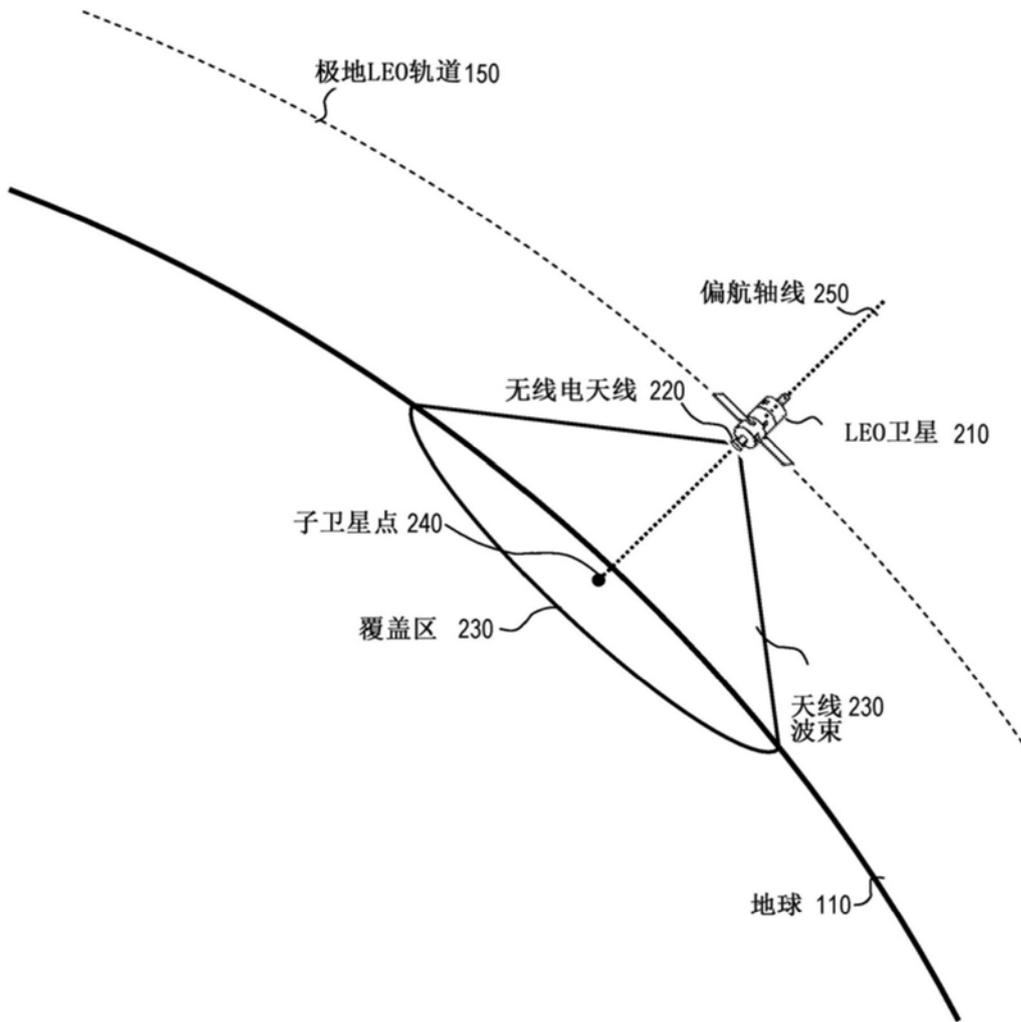


图2

LEO轨道的通信卫星300

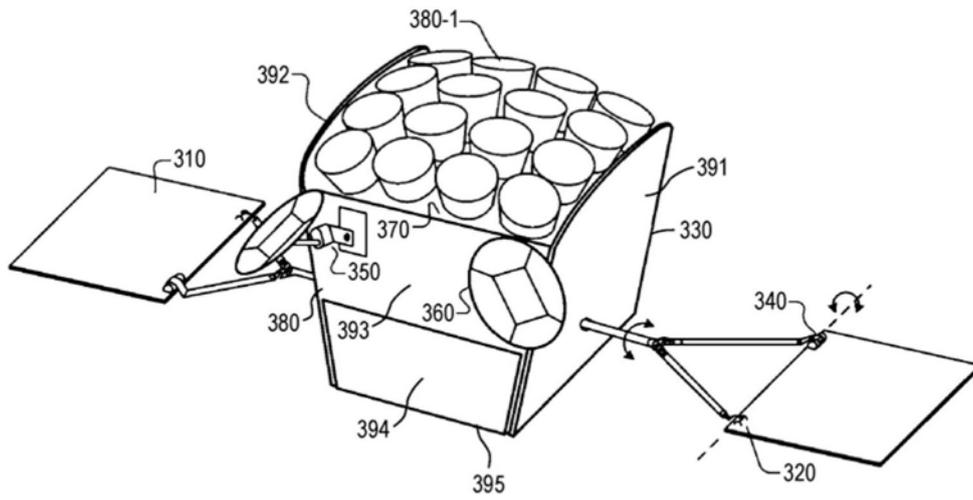


图3

LEO卫星300的多波束图案400

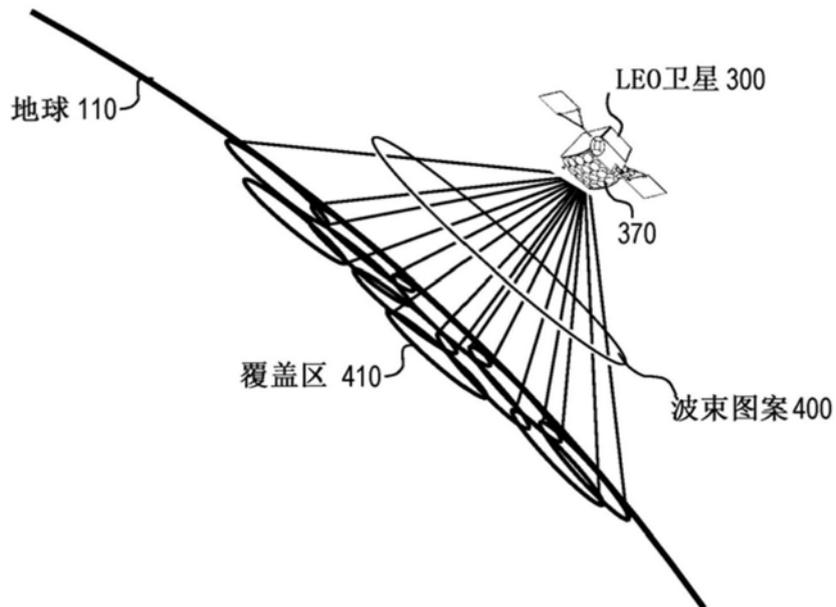


图4

卫星300所生成的覆盖区500的图案

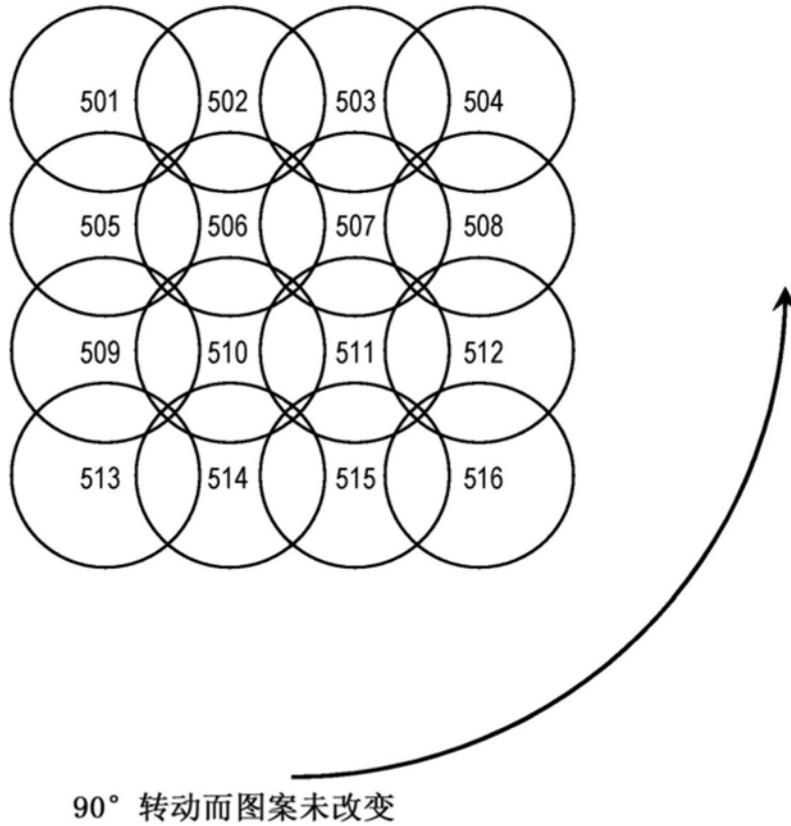


图5

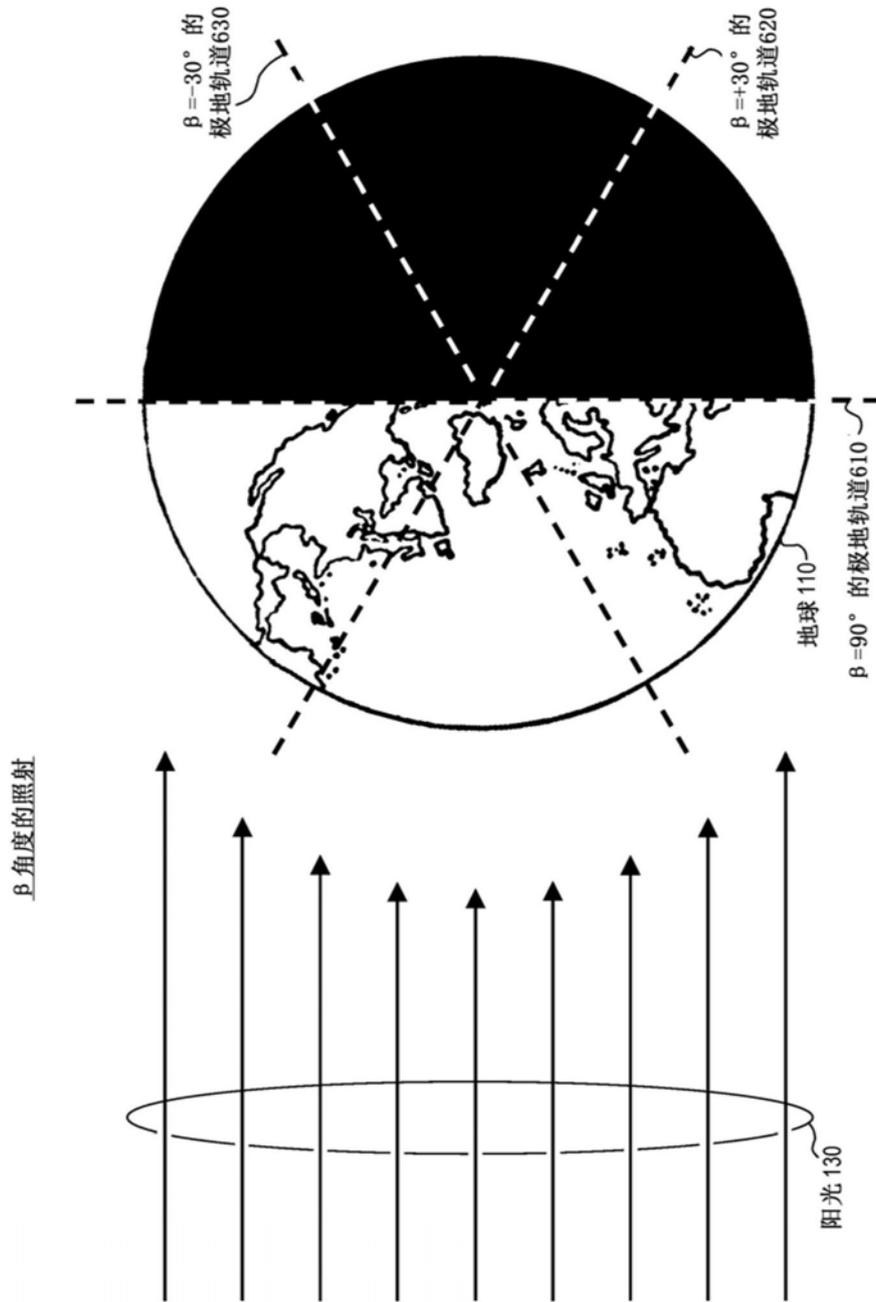


图6