



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106257846 A

(43)申请公布日 2016.12.28

(21)申请号 201610357305.7

(22)申请日 2016.05.26

(30)优先权数据

14/746,754 2015.06.22 US

(71)申请人 波音公司

地址 美国伊利诺斯州

(72)发明人 S·G·兰伯特

(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 吕俊刚

(51)Int.Cl.

H04B 10/11(2013.01)

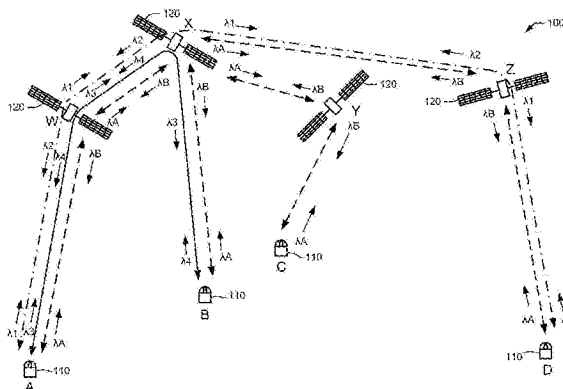
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

## (54)发明名称

具有弯管通道和导引通道的自由空间光学通信网络

## (57)摘要

本申请涉及具有弯管通道和导引通道的自由空间光学通信网络。具体地,涉及一种用于自由空间光学通信网络中的多个节点的方法,该方法包括以下步骤:在所述网络的所述多个节点中的至少一些节点之间利用弯管通道来中继数据;以及即使在所述弯管通道不活动时,也利用导引通道来指向、获取以及跟踪,以继续保持全部所述多个节点之间的视线。



1. 一种用于自由空间光学通信网络(100)中的多个节点(110、120)的方法,该方法包括以下步骤:

在所述网络的所述多个节点中的至少一些节点之间利用弯管通道(1、2)来中继数据;以及

即使在所述弯管通道不活动时,也利用导引通道来指向、获取以及跟踪,以继续保持全部所述多个节点之间的视线。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,在所述弯管通道上中继的所述数据被重新放大,但不被调制或解调制。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述导引通道具有比所述弯管通道显著低的数据速率。

4. 根据权利要求1所述的方法,所述方法还包括重新配置所述网络的步骤,包括以下步骤:

利用所述导引通道来标识用于新弯管通道的新的一组光学链路;以及  
切换至所述新弯管通道;

由此,已经通过所述导引通道建立了针对所述新弯管通道的空间获取。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中,针对每一个节点,将所述导引通道上的导引输入信号用作指向、获取以及跟踪,以继续保持与近伴随节点的接收视线LOS。

6. 根据权利要求5所述的方法,所述方法还包括以下步骤:

将抖动添加至所述导引输入信号;

从所述抖动导出目标相关功率;以及

利用所述目标相关功率来校正发送视线LOS与所述接收视线LOS之间的未对准。

7. 一种用于自由空间光学通信网络(100)的节点(110、120),该节点包括:

第一终端(210),该第一终端(210)用于与所述网络中的近伴随节点建立第一光学链路;以及

第二终端(210),该第二终端(210)用于与所述网络中的远伴随节点建立第二光学链路;

其中,每一个终端包括:光学孔径(212);动力分接头(214),该动力分接头(214)用于分出经由所述光学孔径接收的导引输入信号的一部分;以及孔径控制处理器(218),该孔径控制处理器(218)用于将所述部分用于指向、获取以及跟踪,以继续保持与其伴随节点的光学视线;并且

其中,每一个终端还包括光学回路,该光学回路用于分离所述导引输入信号与弯管输入信号,并且重新放大所述弯管输入信号,而不调制或解调制所述弯管输入信号。

8. 根据权利要求7所述的节点,

其中,所述第一终端将其重新放大的弯管输入信号发送至所述第二终端,以供光学传送至所述远伴随节点;并且

其中,所述第二终端将其重新放大的弯管输入信号发送至所述第一终端,以供光学传送至所述近伴随节点。

9. 根据权利要求7所述的节点,所述节点还包括:

中央处理器(240),该中央处理器(240)由所述第一终端和所述第二终端共用;

其中,每一个终端还包括调制解调器(230),该调制解调器(230)用于对所分离的导引输入信号进行解调制,并将电导引输入信号发送至所述中央处理器。

10. 根据权利要求7所述的节点,其中,每一个终端还包括:

光学耦合器/章动器(222),该光学耦合器/章动器(222)用于在光学分离所述弯管输入信号与光学导引输入信号之前,将抖动添加至所述光学导引输入信号;

接收导引动力检测器(229),该接收导引动力检测器(229)用于确定目标相关功率;并且

其中,所述孔径控制处理器使用所述目标相关功率,来校正发送与接收视线之间的未对准。

## 具有弯管通道和导引通道的自由空间光学通信网络

### 技术领域

[0001] 在具有弯管(bent pipe)架构的自由空间光学(FSO)通信网络中,数据经由光学空间链路在中继节点之间传递。在每一个中继节点处,数据被重新放大,但不被调制或解调制。

### 背景技术

[0002] 在地面站与中继卫星之间的光学链路上,因大气的物理性质而可能出现中断(outage)(例如,云堵塞,而且晴空湍流影响严重到光学链路无法正常运行)。通过高误码或总数据丢失来特征化中断。在单一地面站处预测链路中断时,可以通过端接现有光学链路并重新建立新光学链路来重新配置该网络。

[0003] 最近的重新配置方法费时。重新建立新光学链路需要可能花费几分钟来执行的空间和信号获取。随着该重新配置的执行,数据被缓冲以防止数据丢失。按照100Gbps数据速率和一分钟切换时间,必须缓冲六兆兆比特数据。来自该缓冲的增加等待时间影响了网络通信量,并且增加了数据丢失的潜在性。

### 发明内容

[0004] 在此,根据实施方式,一种用于自由空间光学通信网络中的多个节点的方法,该方法包括以下步骤:在所述网络的所述多个节点中的至少一些节点之间利用弯管通道来中继数据;以及即使在所述弯管通道不活动时,也利用导引通道(pilot channel)来指向、获取以及跟踪,以继续保持全部所述多个节点之间的视线。

[0005] 在此,根据另一实施方式,一种用于自由空间光学通信网络中的中继节点的方法,该方法包括以下步骤:利用第一光学孔径与所述网络中的近伴随节点建立第一光学链路,并且利用第二光学孔径与所述网络中的远伴随节点建立第二光学链路。所述方法还包括以下步骤:经由所述第一光学链路接收导引输入(pilot-in)信号和弯管输入(bent pipe-in)信号;利用所述导引输入信号控制所述第一光学孔径,以供指向、获取以及跟踪,来继续保持与所述近伴随节点的光学视线;以及以光学方式重新放大所述弯管输入信号,并且将该重新放大信号经由所述第二光学链路发送至所述远伴随节点。

[0006] 在此,根据另一实施方式,一种用于自由空间光学通信网络的节点,该节点包括:第一终端,该第一终端用于与所述网络中的近伴随节点建立第一光学链路;和第二终端,该第二终端用于与所述网络中的远伴随节点建立第二光学链路。每一个终端包括:光学孔径;动力分接头;该动力分接头用于分出经由所述光学孔径接收的导引输入信号的一部分;以及孔径控制处理器,该孔径控制处理器用于将所述部分用于指向、获取以及跟踪,以继续保持与其伴随节点的光学视线。每一个终端还包括光学回路,该光学回路用于分离所述导引输入信号与弯管输入信号,并且重新放大所述弯管输入信号,而不调制或解调制所述弯管输入信号。

[0007] 这些特征和功能可以在不同实施方式中独立地实现,或者可以在其它实施方式中

组合。这些实施方式的进一步细节可以参照下列描述和附图而了解。

### 附图说明

[0008] 图1是自由空间光学通信网络和重新配置该网络的方法的例示图。

[0009] 图2是用于自由空间光学通信网络中的节点的光学净荷的示例的例示图。

[0010] 图3是用于自由空间光学通信网络中的节点的光学净荷的另一示例的例示图。

### 具体实施方式

[0011] 对图1进行说明,其例示了具有弯管架构的自由空间光学通信网络100。网络100包括端节点110和中继节点120。端节点110包括地面站,而中继节点120包括地球轨道上的中继卫星。出于例示的目的,图1示出了四个地面站作为端节点110,和四个中继卫星作为中继节点120。然而,网络100不限于那些数量。

[0012] 四个地面站处于位置A、B、C以及D。四个中继卫星处于位置W、X、Y以及Z。例如,如果卫星未对地静止或者地面站是移动的,则这些位置可以移动。

[0013] 每一个节点110和120都可以经由激光通信(lasercom)与网络100中的一个或更多个其它节点110和120通信。可以通过一个或更多个光学链路来执行激光通信。

[0014] 网络100在节点110与120之间利用弯管通道来中继数据。传入信号通过中继节点120接收、重新放大,并中继至另一节点110或120(例如,另一中继位置,或地面站)。弯管通道上的数据未被任何中继节点120调制或解调制。弯管通道可以在任何指定时间活动或不活动。例如,可能是不发送数据期间的时段。

[0015] 考虑到按实线示出的端至端弯管通道1。通道1由下列位置处的节点之间的光学链路形成:A/W、W/X、X/Z以及Z/D。弯管通道1是双向的。其允许数据在按第一波长( $\lambda_1$ )的方向上和按第二波长( $\lambda_2$ )的相反方向上在位置A与D处的地面节点之间中继。弯管通道1还可以在每一个方向上中继附加波长。

[0016] 网络100还在节点110与120之间利用导引通道来中继光学导引信号。导引通道具有清晰视线(即,没有云,或被地球物理阻挡)。该导引通道专用于指向、获取以及跟踪(PAT)。可以在每一个节点110和120处调制/解调制导引信号。即使当弯管通道不活动时,也利用导引通道来指向、获取以及跟踪,以继续保持全部节点110与120之间的视线。

[0017] 该导引通道由成对节点之间的光学链路形成。这些光学链路覆盖网络100中的所有节点110和120。考虑图1的示例,光学链路形成在下列位置处的成对节点之间:A/W、W/X、B/X、C/X、X/Y、X/Z、C/Y,以及D/Z。如果卫星上有足够的资源可用(即,足够的光学终端)并且卫星视线未被地球阻挡,则可以建立其它光学链路(例如,Y/Z和W/Y)。

[0018] 星座(constellation)管理方(例如,分布式命令和控制设施)可以使用该导引通道,直接与网络100中的每一个节点110和120通信。该通信可以是直接的(例如,从位置B处的地面站至位置X处的中继卫星),或者经由跨通道链路(例如,从位置B处的地面站至位置Y处的卫星)。

[0019] 该导引通道可以是双向的。通过每一个光学链路,第一导引信号在一个方向上按第一波长( $\lambda_A$ )传送,而第二导引信号在相反方向上按第二波长( $\lambda_B$ )传送。这两个导引信号可以经由波分复用(WDM)、频分复用(FDM)、极化或某一其它方法而放置在同一信道上。

[0020] 在节点110或120接收导引通道光学链路上的导引信号之后,所接收导引信号被解调制并处理。调制格式包括,但不限于:开关键控(OOK)、差分相移键控(DPSK)、以及脉冲位置调制(PPM)。该处理包括:利用该导引信号作为获取和跟踪信标,以供建立和保持与发送导引信号的节点110或120的视线连接性的目的之用。可以利用象限探测器或其它角感测技术,对所接收视线角执行空间跟踪。

[0021] 该导引通道用于执行网络100的快速重新配置。考虑位置D处的地面站与位置Z处的中继卫星之间的预测中断的示例。可以根据收集信息(链路条件等)来预测中断。

[0022] 当预测到中断时,基于可用资源来标识针对新弯管通道2的新的一组光学链路。如图1所示,位置A和B处的地面站被标识为端节点110,而位置W和X处的卫星被标识为新弯管通道2中的中继节点120。一旦启动用于切换至新弯管通道2的命令,该新弯管通道2就因已经通过导引通道建立的空间获取而自动活跃起来。(该新的一组光学链路可以被标识,并且用于切换的命令可以通过网络管理方或者驻留于卫星外部的网络管理方功能来启动)。从而,该重新配置网络100通过由光学链路A/W、W/X以及X/B形成的新弯管通道2(按点虚线示出)中继数据。

[0023] 因为不执行空间重新获取,所以重新配置网络100是快速的。仅可能出现短暂中断(需要小缓冲),以在接收地面站处同步化数据接收时钟。然而,所缓冲数据的量基本上少于常规重新配置。等待时间缩减,就好像丢失数据的机会。

[0024] 导引通道用于除了快速重新配置以外的其它目的。导引通道上的数据可以包括遥测和命令数据。该导引通道可以用于在中继节点120与端节点110之间传递命令和低速率遥测。

[0025] 导引通道上的数据可以包括涉及链路健康的数据。该链路健康数据可以用于监测链路条件,如大气和云影响、衰落统计、以及信号强度。

[0026] 导引通道可以用于向任务管理方传送弯管通道状态(例如,所接收的平均功率),或者提供该数据,以供在端至端信道编码和解码中使用。

[0027] 导引通道可以向网络100中的所有中继节点120提供数据。用于特殊卫星的数据可以通过需要其的具体卫星来去除。如果从导引通道去除数据,则将该数据的余项被重新调制并且发送至其它卫星。在该另选例中,将该数据发送至所有卫星,并且每一个卫星仅操作针对其键入的数据。该另选方法不需要重新调制,但其占据更多带宽,

[0028] 每一个中继节点120都可以将数据添加至导引通道。如果数据被添加至导引信号,则该导引信号被重新调制并中继。

[0029] 导引通道可以具有比弯管通道显著更低的数据速率。例如,弯管通道的数据速率可以为100Gbps,而导引通道具有小于1Mbps的数据速率。

[0030] 导引通道的添加可以以最小权重惩罚(weight penalty)来实现。添加了最小量的硬件。该添加包括光学切换回路,如光学分插(add/drop)复用器和波导管、调制解调器、以及处理器。导引通道和弯管通道可以共用同一光学链路。在接收到传入光学信号之后,光学切换回路分离导引信号与弯管信号。调制解调器解调制导引信号,以生成电导引输入信号,并且处理器处理该电导引输入信号。如果处理器向导引输入信号添加信息或去除来自该导引输入信号的信息,则调制解调器重新调制该电信号,以生成光学导引输出(pilot-out)信号,并且光学切换回路组合该导引输出信号与弯管信号。

[0031] 下面,对图2进行说明,其例示了在网络100的节点110或120上的光学净荷200的示例。粗实线表示光学路径,而虚线表示电信号路径。携带光学净荷200的节点110或120将被称为本地节点。

[0032] 图2的净荷200包括第一和第二光学终端210。第一光学终端210与近伴随(nearcompanion)节点通信,而第二终端210与远伴随(far companion)节点通信。该净荷200可以包括:附加终端210,和用于在终端210之间路由信号的NxN开关(未示出)。

[0033] 在图2中,每一个终端210的导引通道和弯管通道都被示出为活动的。即,每一个终端210接收光学导引输入信号和光学弯管输入信号,并且发送光学导引输出信号和光学弯管输出(bent pipe-out)信号。

[0034] 第一终端210包括:万向光学孔径212(例如万向望远镜)、获取动力分接头214、获取角检测器216、以及控制处理器218。获取动力分接头214分出(bleed)光学导引输入信号的一部分,并将该部分发送至获取角检测器216,其在空间上获取该光学导引输入信号。获取角检测器216将电误差信号发送至控制处理器218,其操纵光学孔径212,以建立并保持与近伴随节点的视线。

[0035] 在图2的净荷200中,光学导引输入信号服务除了PAT以外的其它功能。该光学导引输入信号还携带遥测和命令数据。

[0036] 在第一终端210中,光学弯管输入信号和导引输入信号跟随从获取动力分接头214起至二色发送/接收(Tx/Rx)分束器220,并接着至自由空间至光学耦合器/章动器222的光学路径。该耦合器/章动器222通过针对光学导引输入信号(并且还针对弯管输入信号)的空间章动,来施加抖动。弯管输入信号和调制导引输入信号通过低噪声光学放大器224放大,以建立针对导引输入信号的低噪声接收器前端。该低噪声放大还将导引输入信号和弯管输入信号提升至可以在净荷200上被路由的水平。

[0037] 光学解复用器226分离弯管输入信号与导引输入信号。该光学解复用器226可以是波长解复用器,假设导引信号波长从弯管波长在频率上充分分离,以使不出现串扰并且希望没有畸变。

[0038] 该光学导引输入信号被分裂并且发送至导引信号检测器228和接收导引动力检测器229。该接收导引动力检测器229按正交感测导引输入信号上的抖动,以导出目标相关功率(power on target)。该目标相关功率可以用于校正发送视线(LOS)与接收LOS之间的未对准(例如,归因于热漂移)。

[0039] 考虑下列示例。控制处理器218使用如下的控制,其具有用于光学孔径212的射束转向器的高频内回路,和用于光学孔径212的万向节的低频外回路。接收导引动力检测器229按正交感测导引输入信号上的抖动,以测量导引输入信号针对接收LOS的角偏移。如果导引输入信号未被真正视轴化(boresighted),则该角误差用于接近外部回路,以保持校正发送LOS与接收LOS之间的漂移。该漂移校正可以在导引链路活动时加以执行。

[0040] 该导引信号检测器228检测光学导引输入信号,并将电导引输入信号发送至导引调制器230。导引调制器230解调制该电导引输入信号,并生成被发送至中央处理器240的电信号。该导引输入信号可以交织并且进行前向纠错编码,以帮助传送通过大气衰落通道。中央处理器240对该信号进行解交织并进行解码,以提取消息内容。

[0041] 中央处理器240可以被配置成,针对每一个终端210执行下列功能:在网络中的卫

星与地面站之间的遥测和命令信息传递、信道质量/鲁棒性测量、信道衰落统计表述、前向纠错和编码、交织和解交织、以及目标相关PAT返回通道动力信令。

[0042] 该遥测和命令数据在网络重新配置期间被使用,以指令一个或多个终端210与不同伴随节点建立光学链路。该遥测和命令数据标识不同的伴随节点,并且中央处理器240命令控制处理器218建立光学链路。中央处理器240和控制处理器218可以通过命令和遥测总线(未示出)来通信。

[0043] 根据调制解调器中的信号强度和误码来推断信道质量。信道质量可以添加至导引输出信号作为返回遥测。根据对信号强度进行采样来推断衰落统计。衰落统计也可以添加至导引输出信号作为返回遥测。

[0044] 信道质量/鲁棒性测量、信道衰落统计表述、以及目标相关功率信令可以添加至电导引输出信号。命令和遥测数据也可以添加至电导引输出信号,除了可以排除专用于本地节点的数据以外。

[0045] 中央处理器240向导引调制解调器230发送电导引输出信号,以供调制。在导引调制解调器230中,交织和前向纠错可以在调制之前添加至导引输出信号,以帮助减轻针对导引信道的任何潜在信道衰落影响。

[0046] 来自导引调制解调器230的信号驱动导引激光器232,其生成光学导引输出信号。光学复用器234组合光学导引输出信号与光学解复用器226的光学输出(弯管输入信号)。光学复用器234的输出通过高功率光学放大器236重新放大。

[0047] 高功率光学放大器236的光学输出被发送至第二终端210的二色Tx/Rx分束器220。该重新放大的信号被传递通过Tx/Rx分束器220和获取动力分接头214,并接着经由万向光学孔径212传送至远伴随节点。

[0048] 在每一个终端210中,发送至接收隔离(transmit-to-receive isolation)是重要的,以使传出导引信号不干涉传入导引信号。该隔离可以经由波长分离来实现,并且可以使用极化、空间分离(利用分离发送和接收孔径)以及定时(当接收器正在监听时遮没(blanking)发送器)。

[0049] 第一和第二终端210利用同一组件,尽管该组件可以利用不同尺寸化孔径和不同高功率放大器来不同地配置。另外,地面站可以具有自适应光学系统。

[0050] 光学净荷200不限于两个终端210。地面节点或卫星的不同配置可以具有不同数据的终端。然而,通过中央命令和遥测处理器来处理并路由所有命令和遥测。

[0051] 下面,对图3进行说明,其例示了其中导引输入信号被单独用于PAT的净荷300。每一个终端310都包括和图2的终端210相同的组件,除了导引信号检测器228和导引调制解调器230以外。

[0052] 二色发送/接收(Tx/Rx)分束器320将光学信号发送至高功率光学放大器336,以供重新放大。高功率光学放大器336的光学输出被发送至第二终端310的二色发送/接收(Tx/Rx)分束器320。

[0053] 在图2和图3的净荷200和300中,即使弯管通道不活动,也继续保持与近伴随节点和远伴随节点的视线。

[0054] 而且,本公开包括根据下列条款的实施方式:

[0055] 条款1:一种用于自由空间光学通信网络中的多个节点的方法,该方法包括以下步



骤:在所述网络的所述多个节点中的至少一些节点之间利用弯管通道来中继数据;以及即使在所述弯管通道不活动时,也利用导引通道来指向、获取以及跟踪,以继续保持全部所述多个节点之间的视线。

[0056] 条款2:根据条款1所述的方法,其中,在所述弯管通道上中继的所述数据被重新放大,但不被调制或解调制。

[0057] 条款3:根据条款1所述的方法,其中,所述导引通道具有比所述弯管通道显著低的数据速率。

[0058] 条款4:根据条款1所述的方法,所述方法还包括重新配置所述网络的步骤,包括以下步骤:利用所述导引通道来标识用于新弯管通道的新的一组光学链路;以及切换至所述新弯管通道;由此,已经通过所述导引通道来建立针对所述新弯管通道的空间获取。

[0059] 条款5:根据条款1所述的方法,其中,针对每一个节点,将所述导引通道上的导引输入信号用作指向、获取以及跟踪,以继续保持与近伴随节点的接收视线(LOS)。

[0060] 条款6:根据条款5所述的方法,其中,所述导引输入信号携带遥测和命令数据,而弯管输入信号携带所述弯管通道上的所述数据;并且其中,所述导引输入信号以光学方式与所述弯管输入信号分离,并且被解调制;并且其中,处理所述遥测和命令数据。

[0061] 条款7:根据条款6所述的方法,所述方法还包括以下至少一个步骤:将数据添加至所述导引通道和从所述导引通道去除数据,以生成电导引输出信号;并且其中,光学导引输出信号由所述电导引输出信号形成,并且与所述弯管输入信号组合。

[0062] 条款8:根据条款7所述的方法,其中,将链路健康数据和弯管信道状态中的至少一个添加至所述导引信道。

[0063] 条款9:根据条款5所述的方法,所述方法还包括以下步骤:将抖动添加至所述导引输入信号;从所述抖动导出目标相关功率;以及利用所述目标相关功率来校正发送LOS与接收LOS之间的未对准。

[0064] 条款10:根据条款9所述的方法,其中,所述发送LOS利用高频回路和低频回路来控制,并且其中,所述目标相关功率用于接近所述低频回路。

[0065] 条款11:一种用于自由空间光学通信网络中的中继节点的方法,该方法包括以下步骤:利用第一光学孔径与所述网络中的近伴随节点建立第一光学链路,并且利用第二光学孔径与所述网络中的远伴随节点建立第二光学链路;经由所述第一光学链路接收导引输入信号和弯管输入信号;利用所述导引输入信号控制所述第一光学孔径,以供指向、获取以及跟踪,来继续保持与所述近伴随节点的光学视线;以及以光学方式重新放大所述弯管输入信号,并且将该重新放大信号经由所述第二光学链路发送至所述远伴随节点。

[0066] 条款12:一种用于自由空间光学通信网络的节点,该节点包括:第一终端,该第一终端用于与所述网络中的近伴随节点建立第一光学链路;和第二终端,该第二终端用于与所述网络中的远伴随节点建立第二光学链路;

[0067] 其中,每一个终端都包括:光学孔径;动力分接头;该动力分接头用于分出经由所述光学孔径接收的导引输入信号的一部分;以及孔径控制处理器,该孔径控制处理器用于将所述部分用于指向、获取以及跟踪,以继续保持与其伴随节点的光学视线;并且

[0068] 其中,每一个终端还包括光学回路,该光学回路用于分离所述导引输入信号与弯管输入信号,并且重新放大所述弯管输入信号,而不调制或解调制所述弯管输入信号。

[0069] 条款13:根据条款12所述的节点,其中,所述第一终端将其重新放大的弯管输入信号发送至所述第二终端,以供光学传送至所述远伴随节点;并且其中,所述第二终端将其重新放大的弯管输入信号发送至所述第一终端,以供光学传送至所述近伴随节点。

[0070] 条款14:根据条款12所述的节点,所述节点还包括:中央处理器,该中央处理器由所述第一终端和所述第二终端共用;其中,每一个终端还包括调制解调器,该调制解调器用于对所分离的导引输入信号进行解调制,并将电导引输入信号发送至所述中央处理器。

[0071] 条款15:根据条款14所述的节点,其中,所述电导引输入信号携带遥测和命令数据,并且其中,所述中央处理器被配置成处理所述命令和遥测数据,以执行网络重新配置。

[0072] 条款16:根据条款14所述的节点,其中,所述中央处理器被配置成,修改所述电导引输入信号,以添加和/或去除数据;并且

[0073] 其中,每一个终端都包括:调制解调器,该调制解调器用于重新调制所述修改信号,以生成光学导引输出信号;以及光学回路,该光学回路用于组合所述光学导引输出信号与重新放大的所述弯管信号。

[0074] 条款17:根据条款16所述的节点,其中,所述中央处理器被配置成,添加链路健康数据和弯管信道状态中的至少一个。

[0075] 条款18:根据条款16所述的节点,其中,所述中央处理器被配置成,去除节点专用数据。

[0076] 条款19:根据条款12所述的节点,其中,每一个终端还包括光学耦合器/章动器,该光学耦合器/章动器用于在光学分离所述弯管输入信号与光学导引输入信号之前,将抖动添加至所述光学导引输入信号;接收导引动力检测器,该接收导引动力检测器用于确定目标相关功率;并且其中,所述孔径控制处理器使用所述目标相关功率,来校正发送与接收视线之间的未对准。

[0077] 条款20:根据条款19所述的节点,其中,所述孔径控制处理器使用具有高频内回路和低频外回路的控制;并且其中,所述目标相关功率被用于接近所述低频回路。

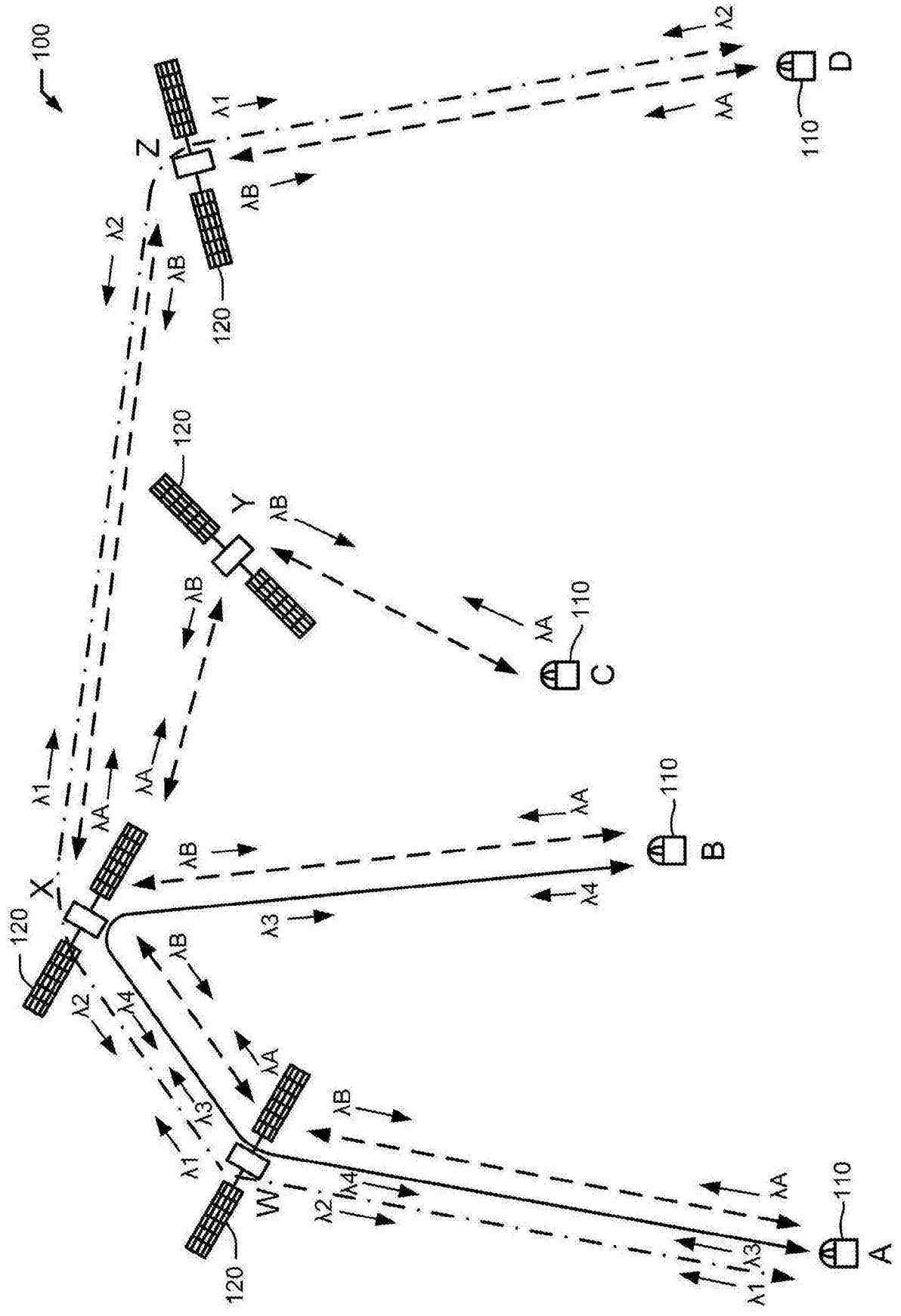


图1

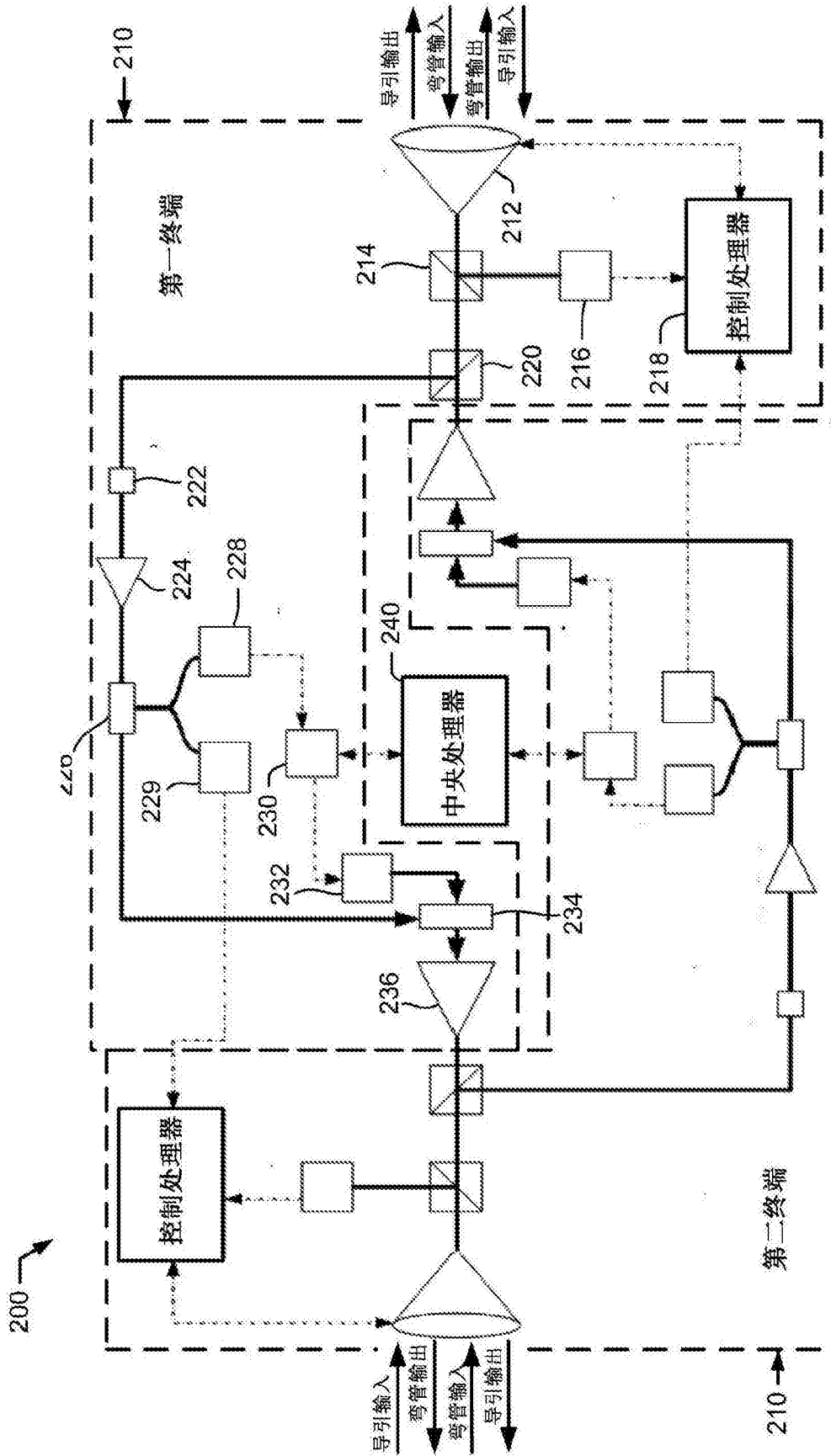


图2

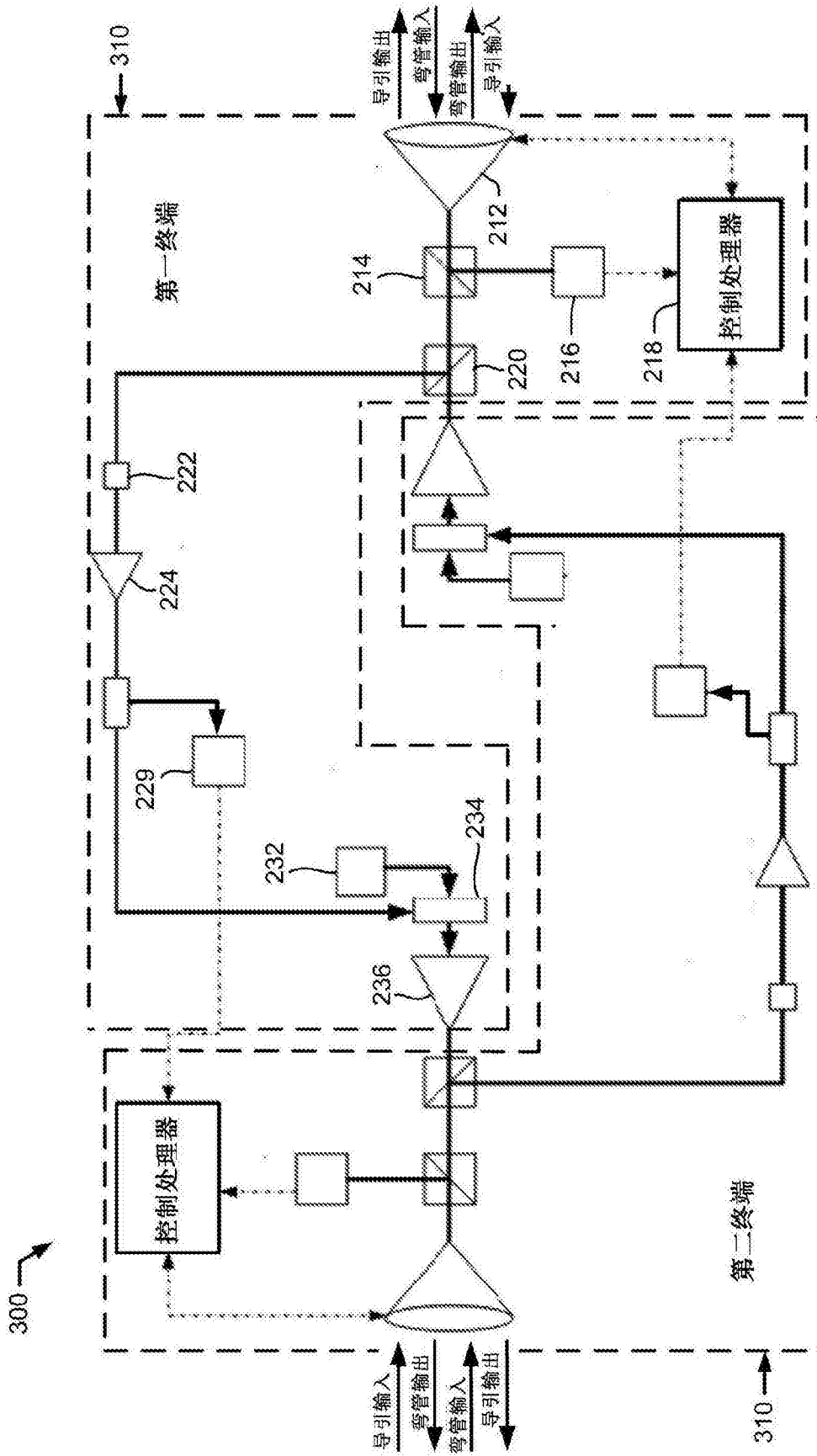


图3