



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106059678 B

(45)授权公告日 2019.04.09

(21)申请号 201610225712.2

(22)申请日 2016.04.12

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106059678 A

(43)申请公布日 2016.10.26

(30)优先权数据  
14/684,748 2015.04.13 US

(73)专利权人 波音公司  
地址 美国伊利诺斯州

(72)发明人 埃里克·延-尤·钱  
乔纳森·M·圣克莱尔

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限  
责任公司 11240  
代理人 梁丽超 刘瑞贤

(51)Int.Cl.

H04B 10/60(2013.01)

H04B 10/11(2013.01)

H04B 10/67(2013.01)

H04J 3/06(2006.01)

(56)对比文件

CN 101771468 A,2010.07.07,

CN 101682420 A,2010.03.24,

CN 103748812 A,2014.04.23,

CN 101968567 A,2011.02.09,

US 2005061954 A1,2005.03.24,

审查员 李晓琳

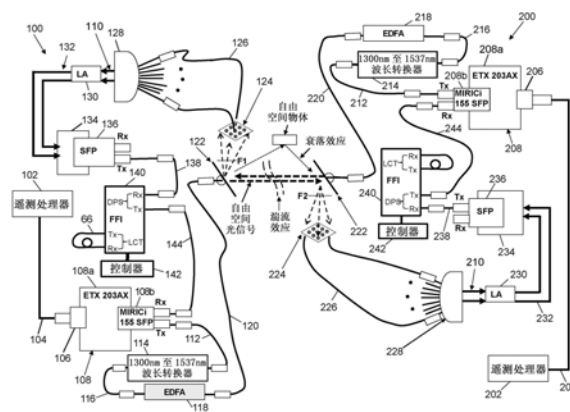
权利要求书3页 说明书9页 附图5页

(54)发明名称

千兆以太网遥测数据的双向自由空间激光通信系统

(57)摘要

本公开涉及千兆以太网遥测数据的双向自由空间激光通信系统。一种自由空间激光通信系统,用于以千兆以太网协议使用双重的缓解大气效应的方法进行遥测数据的双向传输。给自由空间双向GBE激光通信系统利用光合成接收器阵列和成帧器/前向错误校正/交织(FFI)设备以缓解大气湍流和信道衰落的组合效应。由于针对同步光网络(SONET)协议设计FFI设备,因此使用智能(或者智慧)的介质转换器以将GBE遥测数据转换为SONET帧,这使得FFI设备执行错误校正算法,并提供用于超过一公里距离的无缝的无错误的GBE激光通信链路。可使用低成本的市售部件实施这种双向激光通信系统。



1. 一种通信系统,包括:

透镜阵列;

光通信接收器阵列,所述光通信接收器阵列被光耦合至所述透镜阵列,并且被配置为将入射在所述透镜阵列的光转换成差分电信号;

再生器,被配置为,将所述差分电信号转换成根据特定的网络协议格式化的再生光信号;

错误校正子系统,被配置为将来自所述再生器的所述再生光信号转换成表示数据位流的电信号,对所述表示数据位流的所述电信号执行前向错误校正,以产生表示校正的数据位流的电信号,并且将表示所述校正的数据位流的电信号转换成根据特定的网络协议格式化的表示所述校正的数据位流的光信号;

介质转换器,被配置为将由所述错误校正子系统传送的光信号转换成表示校正的所述数据位流的GBE格式的电信号;以及

数据处理器,被编程为处理从所述介质转换器接收的所述GBE格式的电信号。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述特定的网络协议是同步光网络。

3. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述数据处理器是以每秒至少一个吉比特的速率传送以太网帧的遥测处理器。

4. 根据权利要求1所述的系统,进一步包括望远镜,被配置为引导自由空间光信号射向所述透镜阵列。

5. 根据权利要求4所述的系统,其中,所述数据处理器被进一步编程为将表示数据位流的GBE格式的电信号发送至所述介质转换器,并且所述介质转换器进一步被配置为将从所述数据处理器接收的电信号转换成根据所述特定的网络协议格式化以表示数据位流的、一光信号,所述系统进一步包括:

波长转换器,被配置用于将从所述介质转换器接收的一光信号转换成另一光信号;

光放大器,用于放大位于另一光信号;以及

光连接件,所述光连接件将放大的光信号传送至所述望远镜。

6. 根据权利要求5所述的系统,其中,所述特定的网络协议是同步光网络,并且所述数据处理器被编程以处理遥测数据。

7. 一种通信系统,包括:

第一望远镜和第二望远镜;

第一数据处理器,被编程为传送表示数据位流的GBE格式的电信号;

第一介质转换器,被配置为将从所述第一数据处理器接收的GBE格式的电信号转换成根据特定的网络协议格式化以表示所传送的数据位流的一光信号;

波长转换器,被配置用于将从所述第一介质转换器接收的所述一光信号转换成另一光信号;

光放大器,用于放大所述另一光信号;以及

光连接件,用于将放大的光信号传送至所述第一望远镜;

第一透镜阵列,被定位为从所述第二望远镜接收光;

第一光通信接收器阵列,所述第一光通信接收器阵列被光耦合至所述第一透镜阵列,

并且被配置为将入射在所述第一透镜阵列的光转换成差分电信号；

第一再生器,被配置为将所述差分电信号转换成根据特定的网络协议格式化的再生光信号；

第一错误校正子系统,被配置为将来自所述第一再生器的所述再生光信号转换成表示数据位流的电信号,对表示所述数据位流的电信号执行前向错误校正,以产生表示校正的数据位流的电信号,并且将表示所述校正的数据位流的电信号转换成根据特定的网络协议格式化以表示所述校正的数据位流的光信号；

第二介质转换器,被配置为将来自所述第一错误校正子系统的校正的光信号转换成表示所述校正的数据位流的GBE格式的电信号；

第二数据处理器,被编程为处理从所述第二介质转换器接收的GBE格式的电信号。

8. 根据权利要求7所述的通信系统,其中,所述第一望远镜、所述第一数据处理器以及所述第一介质转换器被设置在移动平台和地面站中一方上,而所述第二望远镜、所述第二数据处理器以及所述第二介质转换器被配置在所述移动平台和所述地面站中另一方上。

9. 根据权利要求7所述的通信系统,其中,所述特定的网络协议是同步光网络。

10. 根据权利要求9所述的通信系统,其中,所述第一数据处理器和所述第二数据处理器的每个是能够以每秒至少一个吉比特的速率传送以太网帧的相应的遥测处理器。

11. 根据权利要求8所述的通信系统,进一步包括:

第二透镜阵列,被配置为从所述第一望远镜接收光；

第二光通信接收器阵列,所述第二光通信接收器阵列被光耦合至所述第二透镜阵列,并且被配置为将入射在所述第二透镜阵列的光转换成差分电信号；

第二再生器,被配置为将来自所述第二光通信接收器的所述差分电信号转换成根据特定的网络协议格式化的再生光信号；以及

第二错误校正子系统,被配置为将来自所述第二再生器的所述再生光信号转换成表示数据位流的电信号,对表示所述数据位流的所述电信号执行前向错误校正,以产生表示校正的数据位流的电信号,并且将表示所述校正的数据位流的电信号转换成根据特定的网络协议格式化以表示所述校正的数据位流的光信号；

其中,所述第二介质转换器被配置为将来自所述第二错误校正子系统的校正的光信号转换成表示所述校正的数据位流的GBE格式的电信号。

12. 根据权利要求11所述的通信系统,进一步包括:

第一带通滤波器,被放置于所述第一望远镜和所述第一透镜阵列之间,并且具有第一中心波长；以及

第二带通滤波器,被放置于所述第二望远镜和所述第二透镜阵列之间,并且具有不同于所述第一中心波长的第二中心波长。

13. 一种用于使用通过大气传播的光信号在数据处理器之间传输数据的方法,包括:

(a) 从第一数据处理器以GBE格式的电信号的形式传送数据位流；

(b) 将从所述第一数据处理器接收的GBE格式的电信号转换成根据特定的网络协议格式化以表示所传送的数据位流的光信号；

(c) 将在步骤(b)中产生的光信号从第一望远镜通过大气传送；

(d) 在第二望远镜处接收由所述第一望远镜传送的光信号；

(e) 将由所述第二望远镜接收到的光信号转换成电信号；

(f) 将在步骤(e)中产生的电信号转换成根据所述特定的网络协议格式化的再生光信号；

(g) 将所述再生光信号转换成表示数据位流的电信号；

(h) 对在步骤(g)产生的电信号执行前向错误校正以产生表示校正的数据位流的电信号；

(i) 将表示所述校正的数据位流的电信号转换成根据所述特定的网络协议格式化以表示所述校正数据的位流的光信号；

(j) 将在步骤(i)中产生的光信号转换成表示所述校正的数据位流的GBE格式的电信号；以及

(k) 在第二数据处理器处接收表示所述校正的数据位流的所述GBE格式的电信号。

14. 根据权利要求13所述的方法, 其中, 步骤(b)包括:

将从所述第一数据处理器接收的GBE格式的电信号转换成根据所述特定的网络协议格式化的一波长的光信号；

将所述一波长的光信号转换成另一波长的光信号；

放大所述另一波长的光信号；以及

将放大的光信号通过单模光纤发送至所述第一望远镜。

15. 根据权利要求13所述的方法, 其中, 所述特定的网络协议是同步光网络, 并且, 所述第一数据处理器和所述第二数据处理器每个是能够以每秒至少一个吉比特的速率传送以太网帧的相应的遥测处理器。

## 千兆以太网遥测数据的双向自由空间激光通信系统

### 技术领域

[0001] 本公开总体上涉及自由空间激光通信系统。更具体地,本公开涉及具有错误控制电路的自由空间大气激光通信系统。

### 背景技术

[0002] 遥测是自动通信过程,通过这种过程,可测量在远端或难以接近的点收集的其它数据,并传送到接收设备以用于监视。例如,已知在飞机上获取遥测数据,然后响应于来自地面的遥控指令,将该数据传送至地面上的接收器。一个现有的解决方案采用了射频(RF)链路以在飞机和地面站之间传送遥测数据。使用RF链路的缺点包括低数据速率以及容易受到电磁干扰。

[0003] 自由空间大气激光的光通信系统凭借传播穿过大气的光束传送并且接收信息。使用自由空间光通信链路代替现有的RF链路的益处至少包含以下:更高速的遥测数据传送,以及自由空间光信号不受电磁干扰。

[0004] 对于飞机和地面站之间的长距离(>1公里)遥测链路,自由空间激光的光通信是可行的解决方案,这是因为包含于高数据速率发射器、高功率光放大器和高灵敏度的接收器中的技术是成熟的,并且在商业上是可用的。然而,遥测数据的光传送存在三个主要问题:(1)自由空间激光通信具有引起发射器位置和接收器位置之间的光束漂移的大气湍流效应。(2)在自由空间中的光信号经历衰落效应,该衰落效应由从自由空间内的其它物体反射的信号对接收器的相消干扰引起。相消干扰的结果是,接收器处的光信号经历信号位的丢失,或者在数字光数据流中产生错误信号位。(3)在没有针对自由空间高速光通信的标准的情况下,优选普遍的千兆以太网(GBE)协议用于高速遥测数据。这可能会引起与针对高速同步光网络(SONET)协议设计的现有激光通信设备不兼容的问题。问题(1)和(2)是自由空间光通信的固有问题;问题(3)是光学系统部件的设计问题。

[0005] 本公开致力于能够解决上述问题中的一个或多个的自由空间激光通信系统。

### 发明内容

[0006] 在下面详细公开的主题涉及自由空间激光通信系统,用于以GBE协议使用双重大气效应缓解方法进行遥测数据的双向传输。该自由空间双向GBE激光通信系统利用光通信接收器阵列(OCRA)和成帧器/前向错误校正/交织设备(FFI)设备,以减轻大气湍流的效应(例如,由在大气中的局部折射指数的随机不均匀性引起的光束漂移)和信道衰落(例如,从自由空间内的其它物体反射到接收器的信号的相消干扰)。由于针对SONET协议设计FFI设备,智能(或智慧)介质转换器被用于将SONET帧转换成GBE遥测数据,并且反之亦然,这使FFI设备能够执行错误校正算法,并且提供了超过一公里距离的无缝无错误GBE激光通信链路。可使用低成本、市售的(现货供应的)部件来实现这种双向的激光通信系统。

[0007] 下面详细公开的自由空间激光通信系统通过使用OCRA来减轻对光束的大气湍流效应以及使用FFI设备减轻衰落效应,解决了在背景技术部分中讨论的三个问题。通过使用

市售的智能小型可插拔 (SFP) 收发器将 GBE 数据转换成将由 FFI 设备处理的 SONET OC-3 光数据流 (即, 具有高达 155.52 Mbit/s 的光载波传输速率) 解决了第三个问题。

[0008] 如本文所用, 术语“光学连接件”包括, 但不限于, 包含通过一个或多个连接器串联连接的一个光纤或其它波导, 或两个或多个光纤或其它波导的任何连接件。在下面详细公开的实施例中, 所有的光纤是单模光纤。

[0009] 下面详细公开的本主题的一个方面是一种系统, 包括: 透镜阵列; 光通信接收器阵列, 光通信接收器阵列被光耦合至透镜阵列, 并且被配置为将入射在透镜阵列的光转换成差分电信号; 再生器, 被配置为将差分电信号转换成根据特定的网络协议格式化的再生光信号; 错误校正子系统, 被配置为将来自再生器的再生光信号转换成表示数据位流的电信号, 对表示数据位流的电信号执行前向错误校正, 以产生表示校正的数据位流的电信号, 并且将表示校正的数据位流的电信号转换成根据特定的网络协议格式化的光信号, 以表示校正的数据位流; 介质转换器, 被配置为将由错误校正子系统传送的光信号转换成表示校正的数据位流的 GBE 格式的电信号; 以及数据处理器, 被编程为处理从介质转换器接收的 GBE 格式的电信号。在本公开的实施方式中, 特定的网络协议是同步光网络, 而数据处理器是以每秒至少一个吉比特的速率传送以太网帧的遥测处理器。该系统进一步包括望远镜, 被配置为引导自由空间光信号入射在透镜阵列上自由空间光信号。

[0010] 下面详细公开的本主题的另一个方面是一种通信系统, 包括: 第一望远镜和第二望远镜; 第一数据处理器, 被编程为传送表示数据位流的 GBE 格式的电信号; 第一介质转换器, 被配置为将从第一数据处理器接收的 GBE 格式的电信号转换成根据特定的网络协议格式化的、一个波长的光信号, 以表示所传送的数据位流; 波长转换器, 被配置用于将从第一介质转换器接收的一个波长的光信号转换成另一个波长的光信号; 光放大器, 用于放大其它波长的光信号; 以及光连接件, 将放大的光信号传送至望远镜; 第一透镜阵列, 被定位为从第二望远镜接收光线; 第一光通信接收器阵列, 被光耦合至第一透镜阵列, 并且被配置为将入射在第一透镜阵列上的光转换成差分电信号; 第一再生器, 被配置为将差分电信号转换成根据特定的网络协议格式化的再生光信号; 第一错误校正子系统, 被配置为将来自第一再生器的再生光信号转换成表示数据位流的电信号, 对表示数据位流的电信号执行前向错误校正, 以产生表示校正的数据位流的电信号, 并且将表示校正数据位流的电信号转换成根据特定的网络协议格式化的光信号, 以表示校正的数据位流; 第二介质转换器, 被配置为将来自第一错误校正子系统的校正的光信号转换成表示校正的数据位流的 GBE 格式的电信号; 第二数据处理器, 被编程为处理从第二介质转换器接收的 GBE 格式的电信号。该通信系统可以进一步包括: 第二透镜阵列, 被定位为从第一望远镜接收光; 第二光通信接收器阵列, 其被光耦合至第二透镜阵列, 并且被配置为将入射在第二透镜阵列的光转换成差分电信号; 第二再生器, 被配置为将来自第二光通信接收器的差分电信号转换成根据特定的网络协议格式化的再生光信号; 以及第二错误校正子系统, 被配置为将来自第二再生器的再生光信号转换成表示数据位流的电信号, 对表示数据位流的电信号执行前向错误校正, 以产生表示校正的数据位流的电信号, 并且将表示校正数据位流的电信号转换成根据特定的网络协议格式化的光信号, 以表示校正的数据位流; 其中, 第一介质转换器被配置为将来自第二错误校正子系统的校正的光信号转换成表示校正数据位流的 GBE 格式的电信号。此外, 该通信系统可包括: 第一带通滤波器, 被放置于第一望远镜和第二透镜阵列之间, 并且中心

具有第一波长;以及第二带通滤波器,被放置于第二望远镜和第一透镜阵列之间,并且中心具有不同于第一波长的第二波长。

[0011] 另一方面是一种系统,包括:望远镜;多个透镜,被布置成从望远镜接收光信号;多个光检测器,用于将由透镜接收的光信号转换成电信号;电子电路,被配置成将来自光电检测器的电信号转换成根据特定的网络协议格式化的再生光信号;错误校正子系统,被配置为将再生光信号转换成表示数据位流的电信号,对表示数据位流的电信号执行前向错误校正,以产生表示校正数据位流的电信号,并将表示校正数据位流的电信号转换成根据特定的网络协议格式化的光信号,来表示校正数据的位流;介质转换器,被配置为将校正的光信号转换成表示经校正的数据位流的GBE格式的电信号;以及数据处理器,被编程以处理从介质转换器接收到的GBE格式的电信号。

[0012] 然而,本公开的主题的另一个方面是一种用于使用传播通过大气的光信号在数据处理器之间传输数据的方法,包括:(a)从第一数据处理器以GBE格式的电信号的形式传送数据位流;(b)将从第一数据处理器接收的GBE格式的电信号转换成根据特定的网络协议格式化的光信号,以表示所传送的数据位流;(c)将在步骤(b)中产生的光信号从第一望远镜传送通过大气;(d)在第二望远镜接收由第一望远镜传送的光信号;(e)将由第二望远镜接收到的光信号转换成电信号;(f)将在步骤(e)中产生的电信号转换成根据特定的网络协议格式化的再生光信号;(g)将再生光信号转换成表示数据位流的电信号;(h)对在步骤(g)产生的电信号执行前向错误校正以产生表示校正数据位流的电信号;(i)将表示校正数据的位流的电信号转换成根据特定的网络协议格式化的光信号,以表示校正的数据位流;(j)将在步骤(i)中产生的光信号转换成表示校正的数据位流的GBE格式的电信号;以及(k)在第二数据处理器接收表示校正数据位流的GBE格式的电信号。

[0013] 遥测数据的自由空间激光通信的系统和方法的其它方面在下面公开和陈述。

## 附图说明

[0014] 在上一部分中所讨论的特征、功能和优点可以在各种实施方式中独立地实现,或者也可以在其它实施方式中被组合。为了阐明上述的及其它方面,下文将参考附图描述各种实施方式。

[0015] 图1是示出根据一个实施方式的用于GBE遥测数据的双向自由空间激光通信系统的组件的框图,该系统使用组合的OCRA/FFI双重大气缓解技术。

[0016] 图2是示出根据图1所示的一个实施方式的光接收器结构的框图。

[0017] 图3是示出可包含在图1所示的系统的一种类型的波长转换设备的结构的框图。

[0018] 图4是示出可包含在图1所示的系统的一种类型的光信号再生器的结构的框图。

[0019] 图5是示出可包含在图1所示系统中的一些硬件组件和成帧器/前向错误校正/交织设备的功能的混合图。

[0020] 图6是示出根据一个实施方式的用于使用通过大气传播的光信号在数据处理器之间进行数据通信的方法的流程图。

[0021] 将在下文中参考示图,其中不同的附图中类似的元件具有相同的参考标号。

## 具体实施方式

[0022] 现在将详细描述GBE遥测数据的自由空间激光通信系统的各种实施方式以用于说明的目的。在不背离本发明所附的权利要求的范围的情况下,在一些应用中可省略以下公开的至少一些涉及光特征或者方面的细节。

[0023] 图1是示出根据一个实施方式的用于GBE遥测数据的双向自由空间激光通信系统的部件。图1所示的系统包括在地面上的第一激光通信系统100以及在移动平台(诸如飞机)上的第二激光通信系统200。然而,本领域技术人员将认识到,激光通信系统100和200可被置于各自的飞机上,从而能够进行空-对-空的通信。

[0024] 依然参照图1,激光通信系统100包括瞄准/跟踪/捕获(PTA)望远镜122,而激光通信系统200包括PTA望远镜222。PTA望远镜122和222的每个包括安装在万向支架组件上的光学望远镜组件。通常,瞄准、捕获和跟踪系统使用双轴万向支架,以粗略瞄准控制几百微弧度的精度,以及快速转向镜,用于精细跟踪控制以保持在微弧度内的瞄准。如在图1中的粗体虚线箭头所示,望远镜能够传送和接收通过大气的自由空间光信号。在图1中通过一对虚线波浪线表示大气层中的湍流效应。图1还示出了在大气中的自由空间物体,在从PTA望远镜122传送自由空间光信号的过程中以及由PTA望远镜222接收衰落信号的过程中,该自由空间物体已产生衰落效应。在图1中,由一对虚线箭头表示这种衰落效应,一个箭头表示从PTA望远镜122射入自由空间物体的光信号,以及另一箭头表示由自由空间物体反射向PTA望远镜222的光信号。

[0025] 描述激光通信系统100和200的运作前,将对它们的各种部件和连接件进行说明。

[0026] 激光通信系统100的PTA望远镜122将从激光通信系统200接收到的自由空间光信号引导至光接收器。激光通信系统100的光接收器包括微透镜阵列124,安装在微透镜阵列124上的带通滤光器F1,以及具有各自光检测器(在图1未示出)的光通信接收器阵列(OCRA)128,各个光检测器通过相应的光连接件126光耦合到微透镜阵列124的各微透镜上。

[0027] OCRA 128的光检测器之后是电模拟求和放大网络(图1未示出),产生单个差分输出110,其被耦合到限幅放大器(LA)130。限幅放大器130的输出端通过同轴电缆132连接到再生光信号的再生器134的输入端,并再生器134经由SFP收发器136(其可被视为再生器134的组成部分)输出再生光信号。SFP收发器136按照特定的网络协议将再生光信号格式化。在优选的实施方式中,该特定的网络协议是SONET协议。SFP收发器136的发射器通过光连接件138被光耦合到包含在成帧/前向错误校正/交织(FFI)设备140中的数字处理子系统(DPS) SFP收发器(在图1未示出,但在后面参照图5讨论)的接收器。此外,FFI设备140的激光通信终端(LCT) SFP收发器(在图1未示出,但在后面参照图5讨论)的发射器通过光连接件66被光耦合到相同LCT SFP收发器的接收器上。FFI设备140在控制器142的控制下运行。FFI设备140的DPS SFP收发器的发射器通过光连接件144,被光耦合到介质转换器108a的SFP收发器108b的接收器(在图1和其它附图中由“Rx”表示)。介质转换器108还包括通过类别6以太网电缆104以及RJ45连接器106电耦合到遥测处理器102的以太网分界设备108a。介质转换器108的SFP收发器108b的发射器(在图1和其它附图中由“Tx”表示)通过光连接件112,被光耦合到波长转换设备114,该波长转换设备将来自介质转换器108的光信号转换为更长的波长。然后,波长转换设备114通过光连接件116光耦合到掺铒光纤放大器(EDFA)118。最后,EDFA 118通过光连接件120光耦合到PTA望远镜122。

[0028] 同样地,激光通信系统200的PTA望远镜222将从激光通信系统100接收到的自由空间光信号引导至光接收器。激光通信系统200的光接收器包括微透镜阵列224,安装在微透镜阵列224上的带通滤光器F2,以及具有各个光检测器(在图1未示出)的OCRA 228,各个光检测器通过相应的光连接件226,光耦合到微透镜阵列224的各微透镜。

[0029] OCRA 228的光检测器之后是电模拟求和放大网络(图1未示出),产生单个差分输出210,其被耦合到限幅放大器(LA)230。限幅放大器230的输出端通过同轴电缆232连接到再生光信号的再生器234的输入端,并再生器234经由SFP收发器236(其可被视为再生器234的组件)输出再生光信号。SFP收发器236根据特定的网络协议将再生光信号格式化。在优选的实施方式中,该特定的网络协议是SONET协议。SFP收发器236的发射器通过光连接件238,光耦合到包含在FFI设备240(其可具有与FFI设备140完全相同的结构)中的数字处理子系统(DPS)SFP收发器(在图1未示出)的接收器。此外,FFI设备240的激光通信终端(LCT)SFP收发器(在图1未示出,但在后面参照图5讨论)的发射器通过光连接件66,光耦合到相同LCT SFP收发器的接收器。FFI设备240在控制器242的控制下运行。FFI设备240的DPS SFP收发器的发射器通过光连接件244,被光耦合到介质转换器208的SFP收发器208b的接收器。介质转换器208还包括通过类别6以太网电缆204以及RJ45连接器206电耦合到遥测处理器202的以太网分界设备208a。介质转换器208的SFP收发器208a的发射器通过光连接件212光耦合到波长转换设备214,该波长转换设备将来自介质转换器208的光信号转换为更长的波长。然后,波长转换设备214通过光连接件216被光耦合到掺铒光纤放大器(EDFA)218。最后,EDFA 218通过光连接件220被光耦合到PTA望远镜222。

[0030] 根据在图1中所说明的实施方式,介质转换器108由ETX-203AX载波以太网分界设备108a和MiRICi-155SFP转换器108b组成,而介质转换器208由ETX-203AX载波以太网分界设备208a和MiRICi-155SFP转换器208b组成。这些组件均购自RAD数据通信公司(新泽西州马瓦)。在相同的实施方式中,FFI设备由“高效信道编码”公司(俄亥俄亚霍加高地)制造。

[0031] 根据在图1中所说明的实施方式,微透镜阵列124和224每个都具有以 $3 \times 3$ 阵列布置的九个微透镜,并且OCRA 128和228每个分别具有九个接收信道,该九个接收信道被光耦合到相应微透镜阵列中的九个微透镜。图2示出了用于激光通信系统100的光接收器架构。用于激光通信系统200的光接收器架构可以相同。

[0032] 图2示出了微透镜阵列124的九个微透镜10中的三个。为了减少损耗,在图2所示的结构将光从微透镜阵列124直接耦合到用作光检测器的雪崩光电二极管(APD)14的阵列上。各光纤12被用于将光从每个微透镜10耦合到相应的雪崩光电二极管14。这可以使用终止于光纤连接器内的准直光纤阵列来实现。各雪崩光电二极管14的输出端被连接到跨阻抗放大器(TIA)阵列组件16的TIA的各个输入端。各APD/TIA对形成OCRA 128的各个接收器。使用求和放大器组件18的电子求和放大器对从APD接收器输出的模拟光电流不相干地求和。求和放大器组件18将APD接收器的电子输出组合成一对电差分输出信号。

[0033] 现将参考图1详细描述激光通信系统100和200各自使用组合的OCRA/FFI双重大气缓解技术。为了说明的目的,现将描述将遥测数据从在地面上的激光通信系统100发送至飞机上的激光通信系统200的过程。

[0034] 在图1的左侧,它示出了地面站上的遥测处理器102。遥测处理器102通过类别6以太网电缆104,将电GBE数据传送至介质转换器108和从介质转换器108接收电GBE数据,该介

质转换器将电GBE信号转换为SONET OC-3光信号。在图1所示的实施方式中,介质转换器108具有1300nm的激光。波长转换设备114被用于将光信号转换为1537nm的波长。将1537nm的光信号输入到EDFA 118,以将信号放大至多瓦输出范围(一般的输出功率为37dBm,>4瓦特)。EDFA 118运行在1500至1600nm的波长范围内。因此,需要波长转换设备114将光信号从介质转换器108的SFP收发器108b的发射器输入至EDFA 118。EDFA 118的放大输出被耦合至PTA望远镜122以将1537-nm的光信号通过自由空间传送至移动平台(如飞机)的PTA望远镜222。如在图1的中间所示,通过自由空间传送的光信号将具有由于大气湍流和由于衰落引起的效应。大气湍流的效应导致光束漂移,其减少了由移动平台接收的信号光子。

[0035] 在图1中所示的激光通信系统200采用了高灵敏度OCRA结构,以保留由于光束漂移会丢失的信号光子。如前所述,ORCA设备具有紧密间隔的微透镜阵列,以从PTA望远镜接收自由空间光信号。当由于湍流引起光束漂移时,由微透镜阵列收集扩散出的信号光子。各微透镜阵列被连接到OCRA板上的高灵敏度的雪崩光电二极管(APD)接收器。在图1的示例中,在微透镜阵列224中存在与OCRA板的九个APD接收器相关联的九个微透镜。每个APD接收器具有-33dBm的灵敏度。这以37dBm的EDFA的输出功率,提供了至少70dBm的自由空间光功率的预算。

[0036] 将光信号从微透镜阵列224耦合到OCRA 228的APD接收器。OCRA 228将APD接收器的电输出组合成一对电差分输出信号。将差分输出信号从OCRA 228连接至限幅放大器230,该限幅放大器将OCRA差分输出调节到足够的振幅和波形,以驱动再生器234的差分发射器的输入端。再生器234包括标准的商用现货SFP收发器236。再生光信号从SFP收发器236的发射器(在图1中由“Tx”表示)输入到FFI设备240的DPS接收器。当从再生器234接收光信号时,FFI设备240进行时钟和数据恢复,以利用所恢复的时钟和数据信号来驱动LCT SFP收发器(其是FFI设备240的一部分)的发射器。如图1所示,光信号从LCT发射器被循环回至LCT接收器。FFI设备240对通过自由空间(如图1中部所示)传送的数据流中的丢失位和/或任何错误位执行错误校正算法。然后使校正的位流通过另一个时钟和数据恢复电路以重塑SONET OC-3格式的波形,从而驱动FFI设备240中的DPS发射器。DPS发射器的输出端通过光连接件244(使用单模光纤),将光信号传送到介质转换器208的接收器,该介质转换器将SONET OC-3信号转换为GBE数据,以与GBE遥测处理器202进行通信(在图1中的右侧)。

[0037] 如图1中间所示,在类似的过程中,机载的遥测处理器202可以通过自由空间光链路与地面站的遥测处理器102进行通信,因此遥测处理器102和202之间的通信是双向的,这意味着可以同时传送和接收自由空间光信号。这也被称为双工操作。为了尽量减少微透镜阵列上的串扰,相应的窄带带通滤光器被安装在每一个微透镜阵列上,以滤除由相关的EDFA产生的发射器信号。如图1所示,波长转换设备214(机载的)产生1569-nm的光信号到EDFA 218的输入端,而波长转换设备114(在地面站上)产生1537-nm的光信号到EDFA 118的输入端。因此,两个自由空间光信号具有32nm的波长差。带通光学滤波器F1(安装在微透镜阵列124上)具有约4nm的带宽,以及1569nm的中心波长,而窄带带通光学滤波器F2(安装在微透镜阵列124上)具有约4nm的带宽以及1537nm的中心波长,由于两个滤波器的中心波长相隔32nm,并且它们的带宽是4nm,因此,来自相关EDFA光输出端的光信号在各微透镜阵列上的任何串扰都可以被消除,因为滤波器F1传送来自EDFA 218的光信号并且滤除来自EDFA 118的光信号,而滤波器F2传送来自EDFA 118的光信号并且滤除来自EDFA 218的光信号。

[0038] 当OCRA减轻由于大气湍流引起的光束漂移效应时,FFI设备减轻信号衰落效应(这是由在大气中反射信号的物体的光信号的相消干扰引起的)。此外,各ETX-203AX/MiRiCi 155介质转换器108、208是商用现货智能(或智慧)的收发器,其具有特殊的时钟速率同步机制,从而以155Mbit/s的速率将GBE电信号转换为SONET OC-3光信号,反之亦然。ETX-203AX/MiRiCi 155介质转换器使遥测处理器能够与针对SONET数据协议设计的FFI设备进行通信。针对具有局域网络的低成本大众市场的标准电信OC-3的数据速率,设计ETX-203AX/MiRiCi 155的配置。这里公开的自由空间激光通信系统利用此功能。ETX-203AX/MiRiCi 155转换器与FFI设备直接相接以实现遥测处理器的GBE光链路。这是可行的,因为FFI设备具有以155Mbit/s的倍数的SONET数据速率运行的内部时钟和数据恢复系统。所述FFI设备被设计用来校正由于衰落效应引起的光信号错误。当在自由空间光数据流中出现由于衰落效应引起的丢失位或者错误位时,FFI设备配置有填充光数据流中的丢失位或校正光数据流中的错误位,并且经由单模光纤通过其光输出端口重新传送所校正的光信号的算法。但FFI设备需要SONET信号来运行。由于GBE和SONET之间的时钟速率的不兼容性,它们不具有以GBE输入数据格式的功能。使用ETX-203AX/MiRiCi 155智能的介质转换器克服了这个问题,并为遥测处理器提供无差错GBE自由空间光链路的操作。

[0039] 图3示出低成本波长转换设备的一个结构。虽然参考图3描述了波长转换设备114,但是应该理解的是,波长转换设备214(见图1)的结构可以是相同的。

[0040] 根据在图3中所说明的实施方式,波长转换设备114包括安装在印刷电路板(PCB) 30上的商用现货SFP收发器32,该印刷电路板具有用于SFP收发器32的两对差分电连接器(未在PCB 30上示出)和直流电源连接器(未在PCB 30上示出)。接收器的差分输出连接器对上的电信号被连接到发射器的差分输入连接器对。当1300-nm的光信号被耦合到SFP收发器32的接收器,接收器的输出驱动发射器的输入端。SFP收发器32的发射器配有1537-nm的激光(在波长转换设备114的情况下)或1569-nm的激光(在波长转换设备214的情况下)。如在图1所示,SFP收发器32将所调制的光信号输出到EDFA 118(或218)的输入端。使用波长转换设备,因为收发器208b(或108b)的发射器工作在1300-nm波长下,以及EDFA以最大增益和效率工作在1500至1600-nm波长范围内。

[0041] 图4示出低成本的再生器的结构,它类似于在图3中所示的波长转换器的设计。虽然参考图3描述了再生器134,但是应当理解,再生器234(见图1)的结构可以是相同的。

[0042] 根据在图4中所说明的实施方式,再生器134包括在PCB 40上的商用现货SFP收发器136,该PCB具有用于SFP收发器136的两对差分电连接器(未在PCB 40中示出)和直流电源连接器(未在PCB 40中示出)。限幅放大器130(或230)(见图1)的差分输出端被连接到发射器输入端的差分连接器对。接收器输出差分连接器在未连接的情况下保持打开。当SFP收发器136(或236)被通电,并且将差分输出信号从OCRA 128(或228)(见图1)的限幅放大器130(或230)施加到差分输入端时,OCRA输入信号被再生为由SFP收发器136(或236)的发射器的光输出。再生信号的波长取决于在SFP收发器136的发射器的激光器的选择。从1300nm至1600nm的波长范围与FFI设备140(和240)的DPS接收器兼容。

[0043] 图5示出包含于图1所示的系统中的FFI设备140的一些硬件部件和其它电子电路的功能。虽然参考图5描述了FFI设备140,但是应当理解,FFI设备240(见图1)的结构可以是相同的。

[0044] 根据在图5中所说明的实施方式,FFI设备140包括一对商用现货SFP收发器42和44,其连同电源46和USB PC接口48一起安装在PCB 50上。如前面所描述的,FFI设备140执行时钟和数据恢复,利用所恢复的时钟和数据信号来驱动LCT SFP收发器42的发射器。光信号从LCT SFP收发器42的发射器经由光连接件56,被循环回至LCT SFP收发器42的接收器。光连接件56包括一对光纤连接器52和54,光纤连接器通过相应的光纤彼此光耦合,以及耦合至SFP收发器42的发射器和接收器。在DPS收发器44的接收器处比较循环回的光接收器信号以及输入信号(以SONET格式),FFI设备240对数据流中的丢失位和/或任何错误位执行错误校正算法。然后将校正的位流通过另一个时钟和数据恢复电路以重塑SONET OC-3格式的波形,从而驱动DPS收发器44的发射器。

[0045] 在FFI设备中设计LCT,以在没有OCRA的情况下作为自由空间激光通信的传送信道工作以用于单个大气减轻。由于这里所公开的系统使用具有OCRA的双重缓解方法,LCT与环回光纤连接,该环回光纤在不改变FFI设备内的电子硬件的情况下有利于双重大气减缓(FFI设备与OCRA的集合)。

[0046] 基本上,前向错误校正期间,电信号的格式是SONNET格式,即,FFI设备在内部以SONET格式的电信号工作。错误校正处理本身正在控制输入和输出信号的位流。它应以SONET或其它的信号格式操作,但FFI设备的硬件是基于SONET的。因此错误校正硬件被设计成与SONET的输入和输出格式相互作用。

[0047] 在PCB 50上的电子电路包括如下:(a)第一时钟和数据恢复电路22,其处理由SFP收发器44的接收器输出的电信号,以恢复来自输入光信号的数据位流;(b)交织电子器件24,其交织数据位流的数据;(c)前向错误校正(FEC)电子器件26,其执行第一前向错误校正功能;(d)成帧电子器件28,其整理校正数据的位流,以形成帧;以及(e)第二时钟和数据恢复电路30,其处理通过成帧电子器件28输出的电信号,并将那些所处理的电信号发送到SFP收发器42的发射器。SFP收发器42的发射器和接收器通过光连接件56被光耦合。在PCB 50上的电子电路进一步包括以下:(f)第三时钟与数据恢复电路58,其处理通过SFP收发器42的接收器输出的电信号,以从光信号恢复数据位流;(g)解交织电子器件60,其撤消交织;(h)FEC电子器件62,其执行第二前向错误校正功能(通过执行两次错误校正,它保证了校正信号位流的高完整性);(i)解成帧电子器件64,其撤消成帧;及(j)第四时钟和数据恢复电路66,其处理通过解成帧电子器件66输出的电信号,并将那些所处理的电信号发送到SFP收发器44的发射器,其将经错误校正的数据位流转换为SONET格式的光信号。

[0048] 图6是示出用于使用传播穿过大气的光信号在数据处理器之间进行数据通信的方法的流程图。根据一个实施方式的方法300包括以下步骤:以GBE格式的电信号的形式从第一数据处理器传送数据位流(步骤302);将从第一数据处理器接收的GBE格式的电信号转换成在一个波长的SONET格式的光信号(步骤304);将一个波长的光信号转换成在另一个波长的光信号(步骤306);放大其它波长的光信号(步骤308);通过单模光纤将放大的光信号发送至第一望远镜(步骤310);通过大气从第一望远镜传送在步骤310中产生的光信号(步骤312);在第二望远镜接收由第一望远镜传送的光信号(步骤314);将由第二望远镜接收的光信号转换成电信号(步骤316);将在步骤316产生的电信号转换成SONET格式的再生光信号(步骤318);将再生光信号转换成表示数据位流的电信号(步骤320);对在步骤320产生的电信号执行前向错误校正,以产生表示校正的数据位流的电信号(步骤322);将表示校正数据

位流的电信号转换成SONET格式的光信号来表示校正数据位流(步骤324);将在步骤324产生的光信号转换成表示校正数据位流的GBE格式的电信号(步骤326);以及在第二数据处理器接收表示校正的数据位流的GBE格式的电信号(步骤328)。

[0049] 总之,上面描述的系统采用了用于飞机和地面站之间的GBE遥测数据的自由空间双向激光通信链路的双重大气效应缓解方法。这个系统是使用RF链路的可行的改善方法,其在数据速率增长方面以及容易受到电磁干扰方面具有限制。

[0050] 尽管已经参考各种实施方式对自由空间激光通信系统进行描述,但本领域中的技术人员将理解,在不偏离本文中的教导的情况下可对其元件进行各种改变以及可替代其元件的等同物。此外,可作出各种修改以适应在特定情况下实践本公开的概念和还原。因此,本公开旨在通过权利要求涵盖主题而不是限于所公开的实施方式。

[0051] 下文叙述的方法权利要求不应当被解释为要求按字母顺序(在权利要求中的任何字母顺序仅用于参考先前所述的步骤的目的)或者在它们被列举的顺序来执行在其中叙述的步骤。也不应被解释为排除被同时或交替进行的两个或更多个步骤的任何部分。

[0052] 注意:下面的段落描述本公开的其它方面:

[0053] A1.一种系统,包括:

[0054] 望远镜;

[0055] 多个透镜,被布置成从所述望远镜接收光信号;

[0056] 多个光检测器,用于将由所述透镜接收的光信号转换成电信号;

[0057] 电子电路,被配置成将来自所述光电检测器的电信号转换成根据特定的网络协议格式化的再生光信号;

[0058] 错误校正子系统,被配置为将再生光信号转换成表示数据位流的电信号,对表示数据位流的电信号执行前向错误校正,以产生表示校正数据位流的电信号,并将表示校正数据位流的电信号转换成根据特定的网络协议格式化的光信号,来表示校正的数据位流;

[0059] 介质转换器,被配置为将校正的光信号转换成表示经校正的数据位流的GBE格式的电信号;以及

[0060] 数据处理器,被编程以处理从所述介质转换器接收到的GBE格式的电信号。

[0061] A2.如段落A1所叙述的系统,其中,特定的网络协议是同步光网络。

[0062] A3.如段落A1所叙述的系统,其中,所述数据处理器是遥测处理器,其以至少一个吉比特每秒的速率传送以太网帧。

[0063] A4.如段落A3所叙述的系统,其中,所述数据处理器进一步被编程以将表示数据位流的GBE格式的电信号发送至所述介质转换器,并且所述介质转换器被进一步配置为将从所述数据处理器接收到的电信号转换成根据特定的网络协议格式化的一个波长的光信号,所述系统进一步包括:

[0064] 波长转换器,被配置用于将从所述介质转换器接收到的一个波长的光信号转换成另一个波长的光信号;

[0065] 光放大器,用于放大其它波长的光信号;以及

[0066] 光连接件,光连接件将放大的光信号传送至所述望远镜。

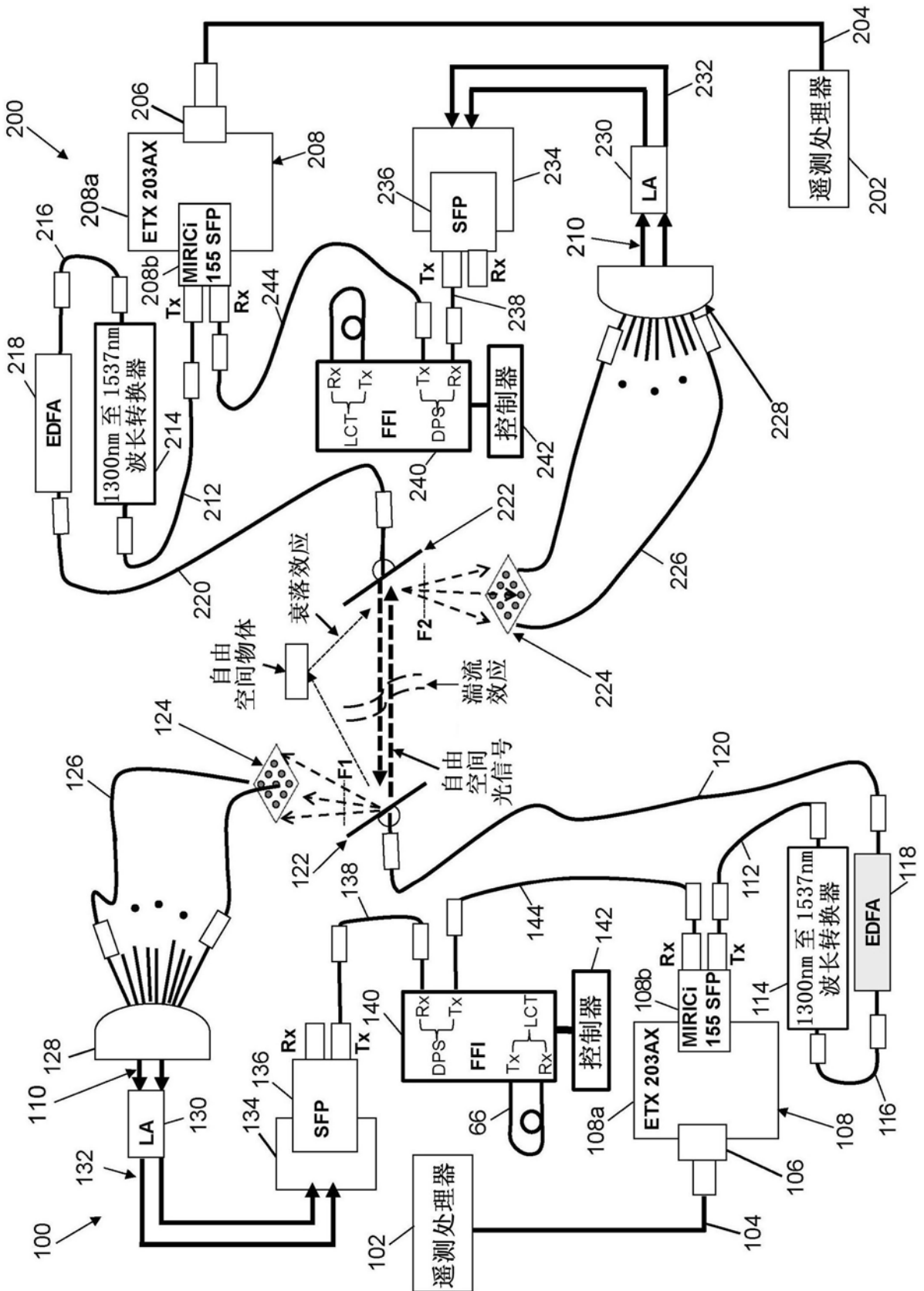


图1

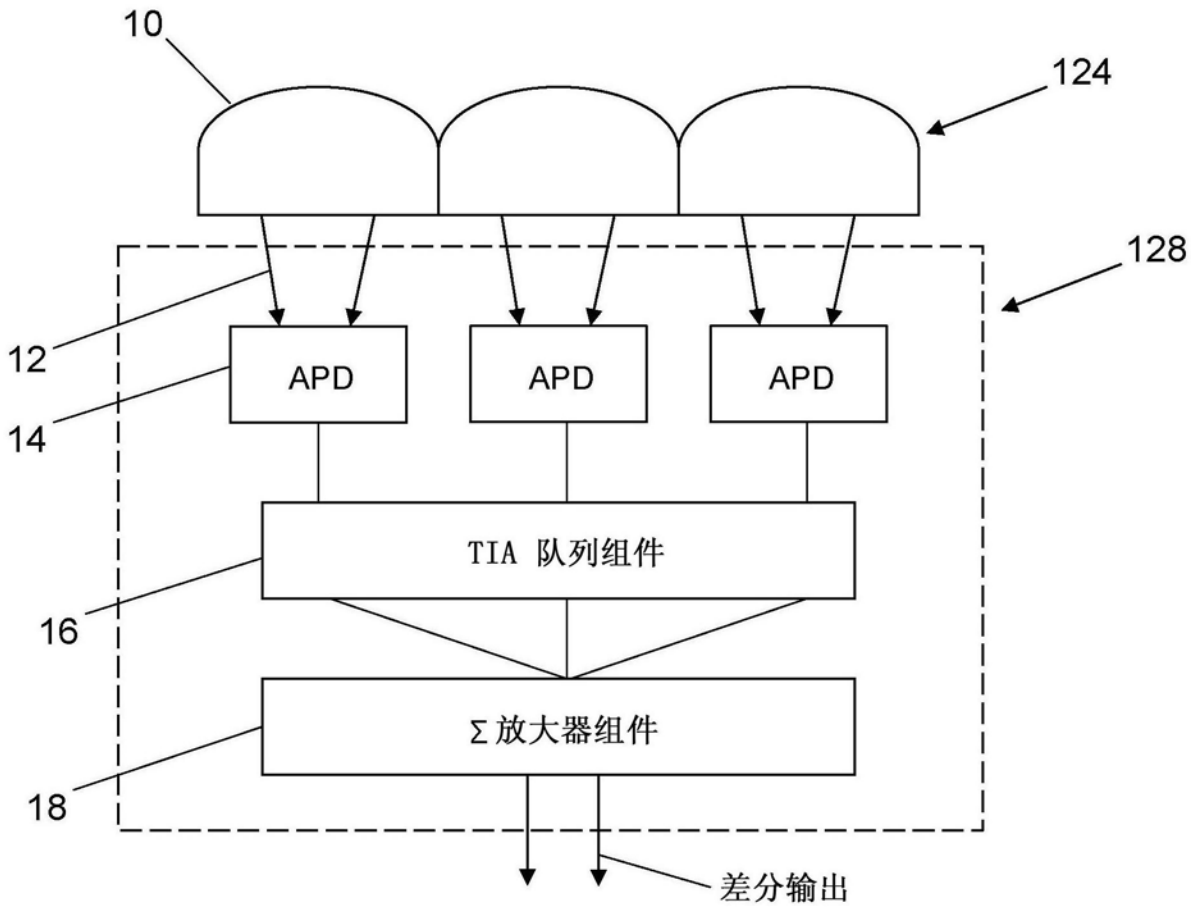


图2

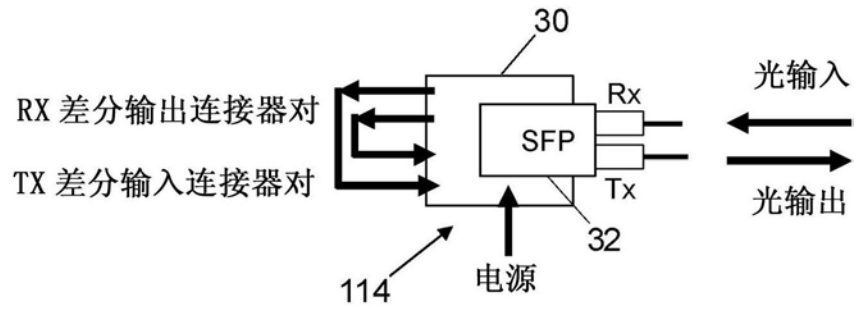


图3

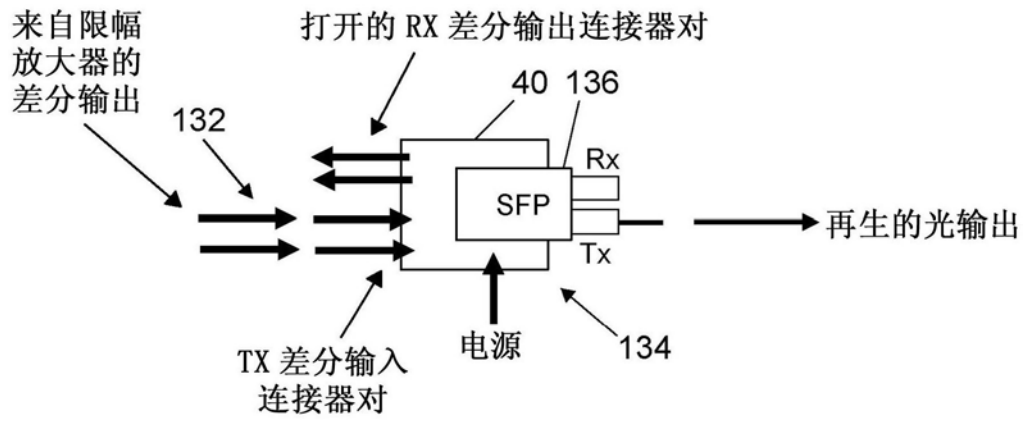


图4

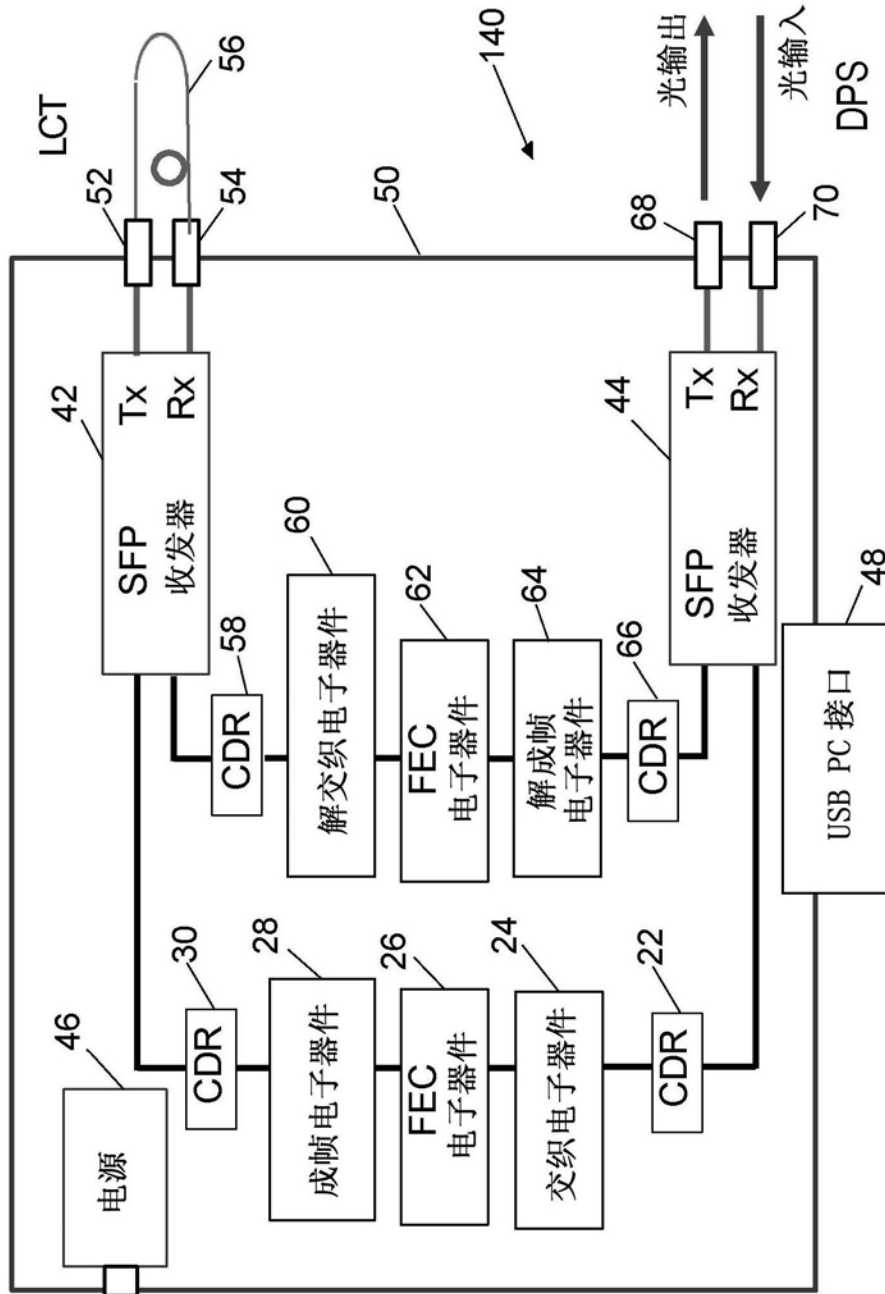


图5

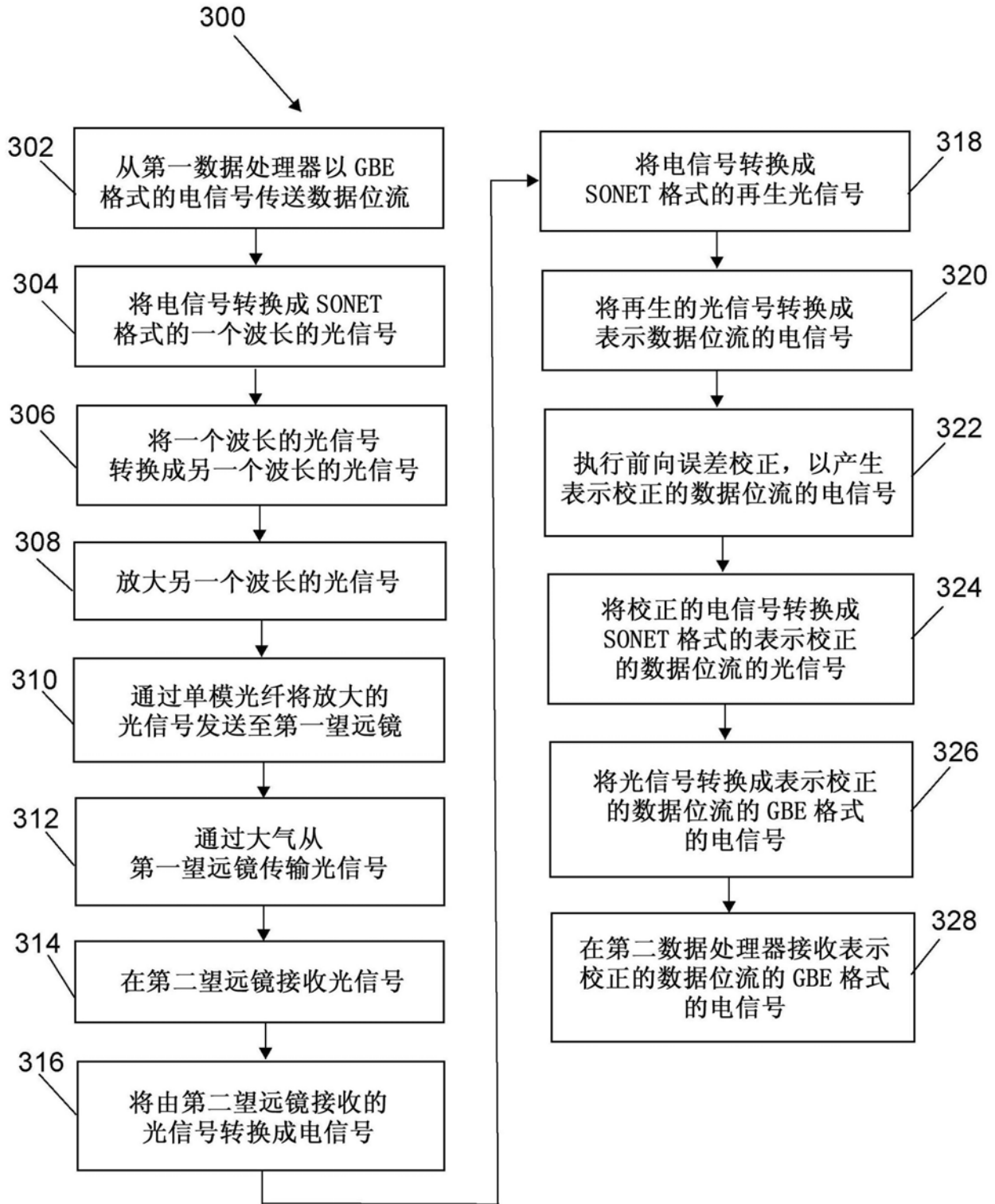


图6