



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111884714 B

(45) 授权公告日 2023. 06. 16

(21) 申请号 202010728396.7

(22) 申请日 2016.05.19

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111884714 A

(43) 申请公布日 2020.11.03

(30) 优先权数据
14/717,958 2015.05.20 US

(62) 分案原申请数据
201680028574.7 2016.05.19

(73) 专利权人 II-VI 特拉华股份有限公司
地址 美国特拉华

(72) 发明人 J·德安得利

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所
有限公司 11038

专利代理师 曾琳

(51) Int.Cl.
H04B 10/077 (2013.01)
H04J 14/02 (2006.01)

(56) 对比文件
US 2014241727 A1, 2014.08.28
CN 101873513 A, 2010.10.27
CN 101103560 A, 2008.01.09
US 2005078682 A1, 2005.04.14
US 2011236017 A1, 2011.09.29
CN 103947146 A, 2014.07.23
US 8948604 B1, 2015.02.03

审查员 蔡巧燕

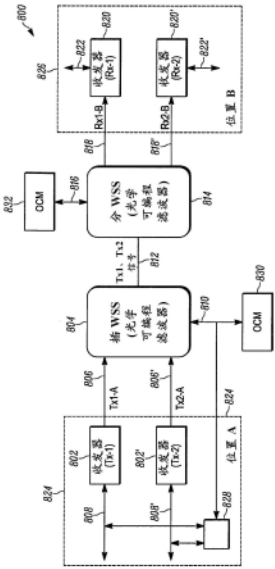
权利要求书1页 说明书14页 附图17页

(54) 发明名称

用于硬件配置的网络的方法和设备

(57) 摘要

本公开内容涉及用于硬件配置的网络的方法和设备。一种用于硬件配置的光网络的光网络元件包括：第一光端口，从硬件配置的光网络接收包括接收控制信息的输入光信号。以光学方式耦合到第一光端口的解调器对接收控制信息进行解码以用于配置光网络元件。具有接收发送控制信息的电调制输入的调制器将调制施加在光载波上，由此产生代表发送控制信息的发送光控制信号。第二光端口将代表发送控制信息的发送光控制信号发送给硬件配置的光网络。



1. 一种光收发器,包括:

a) 可调谐发送器,具有电气输入,可调谐发送器被配置为产生可调谐发送信号;

b) 光接收器,具有光输入和电气输出,光接收器被配置为在光输入处接收具有编码的控制信息的光信号,对编码的控制信息进行解码,以及在电气输出处提供解码的控制信息,其中,所述光信号包括低频控制信号,以及所述低频控制信号包括用于配置网络元件的信息;以及

c) 处理器,具有与光接收器的电气输出连接的输入和与可调谐发送器的电气输入连接的输出,处理器被配置为基于解码的控制信息确定校正配置信息,

其中,校正配置信息提供由可调谐发送器产生的可调谐波长信道的自动提供,并进一步提供经校正的数据连接的建立。

2. 根据权利要求1所述的光收发器,其中,具有编码的控制信息的光信号包括其中处于低频的1和0串直接施加在客户数据讯务上的光信号。

3. 根据权利要求1所述的光收发器,其中,具有编码的控制信息的光信号包括其中处于低频的1和0串直接施加在光载波上的光信号。

4. 根据权利要求1所述的光收发器,其中,具有编码的控制信息的光信号包括其中处于低频的1和0串直接施加在CW光上的光信号。

5. 根据权利要求1所述的光收发器,其中,编码的控制信息进一步包括数字诊断信息。

6. 根据权利要求1所述的光收发器,其中,可调谐发送器进一步被配置为产生具有编码的控制信息的可调谐发送信号。

7. 根据权利要求6所述的光收发器,其中,可调谐发送器进一步被配置为使得选择所产生的具有编码的控制信息的可调谐发送信号的波长以在硬件配置的网络中选择所产生的可调谐发送信号的预期目的地。

用于硬件配置的网络的方法和设备

[0001] 本申请是于2016年5月19日提交的、题为“用于硬件配置的网络的方法和设备”的国际申请号为PCT/US2016/033310、国家申请号为201680028574.7的专利申请的分案申请。

[0002] 这里使用的章节标题仅用于组织目的,并且不应该被解释为以任何方式限制在本申请中描述的主题。

背景技术

[0003] 增加的对通过光纤的高容量数据传输的需要以及增加的灵活地并且动态地联网在一起的光网络元件的数量对光纤电信产业提出很大挑战。例如,更高容量需求要求更多收发器波长在谱域中更紧密地分隔在一起以在单根光纤或连接上提供更高容量。这些高容量高信道数系统需要更加实时的性能数据监测以控制收发器。另外,这些高容量高信道数系统所需的更大数量的收发器需要收发器配置的更高程度的自动化以提高可靠性并且减少人类操作。另外,将网络配置为包括增加的数量的各种光学元件(包括收发器、放大器、波长滤波器、波长复用器、波长解复用器、交叉连接、光开关、无源分离器和组合器)需要能够在各种光学元件类型上操作的自动化和控制方案。

[0004] 希望高容量高信道数系统具有自动化配置,所述自动化配置允许网络元件自提供和自监测以便在网络启动(turn-up)期间以及在正在进行的操作期间减少网络操作人员的负担。所述自动化允许以更低的成本构造和操作更大规模的光网络。

[0005] 还希望高容量高信道数光通信系统具有动态的并且可重构的光网络,所述光网络提供提高的网络灵活性和带宽利用率。响应于变化的条件和数据通信需求,这些光通信系统经常需要实时配置。另外,对动态讯务(traffic)路由的支持需要高级波长和信道监测以调谐收发器和波长选择开关(WSS)波长。

[0006] 另外,调整光通信系统以实现高容量和高信道数需要在与当前部署的光通信的覆盖区相同的覆盖区或更小的覆盖区内提供增强的配置能力。因此,希望配置方法和设备重新使用和/或在很大程度上依赖于已有网络元件部件。

附图说明

[0007] 在下面结合附图进行的详细描述中更具体地描述根据优选示例性实施例的本教导以及它的另外的优点。本领域技术人员将会理解,以下描述的附图仅用于说明目的。附图不必符合比例,而是重点通常在于表示教导的原理。在附图中,相同标号通常在各种附图中始终表示相同特征和结构元件。附图并不意图以任何方式限制申请人的教导的范围。

[0008] 图1A表示本教导的硬件配置的光学元件的实施例的方框图。

[0009] 图1B表示本教导的硬件配置的光学元件的实施例的方框图,其中在光学元件内部产生光载波信号。

[0010] 图1C表示本教导的硬件配置的光学元件的实施例的方框图,其中光载波信号来自于光网络。

[0011] 图1D表示包括光收发器的硬件配置的光学元件的一个实施例的方框图。

- [0012] 图1E表示结合图1D描述的光收发器在发送光纤上的测量输出的示波器描述。
- [0013] 图2A表示包括具有可调谐发送器的光收发器的硬件配置的光学元件的一个实施例的方框图。
- [0014] 图2B表示根据本教导的代表可调谐收发器在发送光纤上的测量输出的光谱。
- [0015] 图3A表示包括波长选择开关的根据本教导的硬件配置的网络元件。
- [0016] 图3B显示根据本教导的表示低频控制信号的波长选择开关的测量输出的示波器描述。
- [0017] 图4表示根据本教导的包括光放大器的硬件配置的光学元件的一个实施例的方框图。
- [0018] 图5表示包括基于对公知以太网协议的修改的冲突避免协议的根据本教导的低频控制信号的示波器描述。
- [0019] 图6表示点对点收发器拓扑(有时在本领域被称为光链路)中的本教导的硬件配置的网络的实施例。
- [0020] 图7表示包括连接到波长选择开关或光学可编程滤波元件的多个可调谐收发器的本教导的硬件配置的网络的实施例。
- [0021] 图8表示包括具有波长选择开关光学元件的波分复用网络的本教导的硬件配置的网络的实施例。
- [0022] 图9表示图8的硬件配置的网络,其中配线被错误地安装。
- [0023] 图10表示图8的硬件配置的WDM网络的实施例,其中安装器在位置A对元件进行布线时犯错误。
- [0024] 图11表示根据本教导的包括硬件配置的元件的低成本组合器-分离器的实施例。

具体实施方式

- [0025] 在说明书中对“一个实施例”或“实施例”的提及意味着:结合该实施例描述的特定特征、结构或特性被包括在教导的至少一个实施例中。短语“在一个实施例中”在本说明书的各种地方的出现不必全部表示相同的实施例。
- [0026] 应该理解,本教导的方法的各步骤可按照任何次序和/或同时执行,只要本教导仍然可操作即可。另外,应该理解,本教导的设备和方法能够包括任何数量的描述的实施例或全部的描述的实施例,只要本教导仍然可操作即可。
- [0027] 现在将参照如附图中所示的本教导的示例性实施例更详细地描述本教导。尽管结合各种实施例和示例描述本教导,但本教导不应该局限于这种实施例。相反地,如本领域技术人员所理解,本教导包括各种替代物、变型和等同物。这里访问本教导的本领域普通技术人员将会意识到如这里所述的本公开的范围内的另外的实现方式、变型和实施例以及其它使用的领域。
- [0028] 术语“元件”或“网络元件”在这里被用于描述用于建立和操作光网络的各种装置和光学子系统。这些装置和光学子系统的一些示例是收发器、开关、波长选择开关、可编程滤波器、放大器、分插复用器和交叉连接。如这里所使用,术语“部件”描述构成这些子系统的光学、机械和电子部件。术语“网络”描述多个网络元件,所述多个网络元件连接以形成交换信息并且以协作方式操作的元件的组或系统。

[0029] 当在本公开中结合网络使用时,术语“配置”旨在包括各种网络管理、控制和操作功能。例如,术语“配置”包括各种任务,诸如元件检查、元件诊断、元件性能监测和元件操作参数的控制。应该被视为“配置”的定义的一部分的本领域的一些术语包括网络管理、网络操作、FCAPS (故障管理、配置、计费、性能、安全) 以及网络监测和警告。网络管理包括各种任务,诸如配置、发现、识别和检查网络元件、发现网络元件的故障或错误配置并且对网络元件的故障或错误配置做出反应以及监测网络元件的性能。另外,术语“配置”能够应用于单个元件,或者它能够应用于用作或旨在用作连接的系统或网络的一批元件。特别地,术语“配置网络”包括各种任务,诸如网络发现、被动监测和网络操作的主动控制。

[0030] 主要经光客户机接口配置现有技术光网络元件。在元件 (诸如,收发器、波长选择开关、放大器和光网络中的其它元件) 之间很少直接交换管理信息或者不直接交换管理信息。通常在单个信道上发送配置信息,这限制管理信息的量和能够配置的网络元件的数量。尤其在启动操作期间,单个管理或监督信道也限制外部网络管理系统可用的信息的量。

[0031] 另外,在现有技术光网络配置系统中,大量诊断信息被从网络元件发送给一个或多个外部网络管理系统或用户以用于处理。诊断信息在外部网络管理系统中被处理,并且指令随后被发送回给元件以产生网络配置变化。已知系统的这种远程和/或亲自 (hands-on) 配置架构限制能够配置的网络的规模。当来自网络元件的需要处理的信息的量增加以便提高元件监测和/或提供动态元件操作时,这种限制尤其真实。例如,对动态讯务路由的支持需要光学元件,所述光学元件为光路计算提供大量实时数据,包括内嵌放大器性能和动态路径谱条件。

[0032] 因此,非常希望具有用于配置光网络中的元件的方法和和设备,所述方法和设备被自动化、在多个信道上可调谐、并且在构成所述网络的各种光学元件上工作。本教导至少部分地涉及用于发送和处理用于硬件配置的网络 (HCN) 的控制和管理信息的方法和和设备。如这里所使用,术语“硬件配置的网络”是光学和电气开关和传输元件和部件的联网系统,所述光学和电气开关和传输元件和部件在具有很少用户输入或没有用户输入的情况下自动地配置、控制和管理它们的操作。

[0033] 硬件配置的网络的一个可能特性是:它在没有集中式命令或用户介入的情况下自动地连接并且提供信道和波长。硬件配置的网络的另一可能特性是:它在没有集中式命令或用户介入的情况下检测并且校正配置错误。典型硬件配置的网络的另一可能特性是:它在没有集中式命令或用户介入的情况下重新配置光学元件。由硬件配置的网络执行的配置的示例包括元件启动、可调谐元件的调谐、可编程光学滤波器特性 (诸如,带宽、滤波器形状、色散和其它可配置参数) 的编程、设置波长选择开关 (WSS) 的衰减水平、设置掺铒光纤放大器 (EDFA) 上的增益和增益谱以及为光开关和波长分插复用器和交叉连接配置端口和每个端口的波长。尽管结合网络元件的自配置描述本教导的硬件配置的网络的各方面,但本领域技术人员将会理解,也可结合网络元件的自配置使用用户和/或集中式命令或可访问硬件配置的网络的配置控制和信息的外部管理系统。

[0034] 图1A表示根据本教导的硬件配置的光学元件的实施例的方框图。本教导的硬件配置的网络使用调制到经过网络的各种光信号上的低频调制 (而非使用专用监督光信道) 经网络发送控制信息。也就是说,用于发送和接收控制信息的低频调制的光载波是在网络中传播的光信号的某个部分。在本教导的硬件配置的网络的各种实施例中用作光载波的这些

光信号能够包括客户数据讯务、伪信号、CW光和放大的自发辐射。如这里所使用,术语“光载波”被定义为施加有调制(所述调制可以是低频调制)的任何光。这个定义比这个术语在本领域中的其它使用宽泛。例如,在光通信的一些应用中,术语“光载波”被用于描述用于传送数据的特定波长的光,经常是来自激光发射器的基于ITU栅格的波长。在各种实施例中,能够在光学元件本身中产生光载波,或者光载波能够是从网络接收的光载波。

[0035] 硬件可配置的光学元件100包括用于发送和接收电控制信息的电子控制端口102。硬件可配置的光学元件100还包括:输出端口,耦合到用于向光网络发送光信号的发送光纤104;和输入端口,耦合到用于从光网络接收的接收光纤106。解调器108对接收的控制信息进行解码,并且将解码的控制信息发送给控制处理器110,控制处理器110处理信息,然后根据控制信息配置光学元件。

[0036] 光调制器112利用发送控制信息调制光载波,从而发送控制信息能够被发送到光网络中。在一个操作方法中,光调制器112利用代表发送控制信息的低频调制调制光载波。发送光控制信号随后被使用发送光纤104发送给网络。在一些操作方法中,发送光控制信号被直接施加在用作光载波的客户数据信号上,并且随后在发送光纤104上发送调制的光信号的这个组合。

[0037] 图1B表示本教导的硬件配置的光学元件120的实施例的方框图,其中由位于光学元件内部的光信号发生器122产生光载波信号。在一些实施例中,光信号发生器122是光收发器元件的客户发送器的一部分。在一些实施例中,光信号发生器122包括光放大器,并且光载波是放大的自发辐射。调制器124被用于利用控制信息调制光载波。在一些操作方法中,由本地处理器126产生控制信息。在其它操作方法中,由远程源产生控制信息,所述远程源具有以电气方式连接到电子控制端口128的输出。分离器130被用于分离包括来自光网络132的接收控制信号的输入光信号的一部分。解调器134对接收控制信息进行解码,然后将该接收控制信息发送给控制处理器126,控制处理器126基于提供的控制信息配置硬件配置的元件120。

[0038] 图1C表示本教导的硬件配置的光学元件140的实施例的方框图,其中光载波信号源自光学元件外部。光载波源自光网络,并且到达输入光纤142。来自输入光纤142的光信号的一部分被分离,并且被发送给解调器148。解调器148对接收控制信息进行解码,然后将该接收控制信息发送给控制处理器149,控制处理器149基于提供的控制信息配置硬件配置的元件140。光信号的一部分被分离器144分离,并且被发送给光调制器146,光调制器146以低频调制的形式将发送控制信息施加在光载波上。发送光控制信号随后在发送光纤147上离开光学元件。

[0039] 在一些实施例中,光载波包括由位于硬件配置的光学元件140上游的光收发器元件产生的客户数据信号。在其它实施例中,光载波包括来自上游光放大器的放大的自发辐射。图1D表示包括光收发器150的硬件配置的光学元件的一个实施例的方框图。光收发器150包括用于发送和接收电子命令和控制信息的电气控制端口152。在一些实施例中,电气控制端口152是工业标准I2C接口。在其它实施例中,电气控制端口152使用用于嵌入式系统控制的多主多从串行协议。光收发器150还包括:输出,以光学方式耦合到发送光纤154;和输入,以光学方式耦合到接收光纤156,接收光纤156将光信号传送给光收发器150。在发送和接收光纤中,光信号都能够包括客户数据讯务和低频控制信号之一或二者。客户数据讯

务能够包括在网络上发送的网络讯务。低频控制信号能够包括用于配置网络元件的各种类型的信息。

[0040] 图1E表示结合图1D描述的光收发器150在发送光纤154上的测量输出160的示波器描述。参照图1D和1E,在这个实施例中,光收发器150以10Gb/s数据速率产生客户数据讯务162。客户数据讯务162表现为在相对较长时间标度上的作为时间的函数的高和低数据电平。

[0041] 因此,本教导的一个方面在于使用直接施加在来自收发器100的光通信信号上的处于低频的1和0串对控制信号164进行编码。在图1D、1E中示出的实施例中,控制信号164被直接施加在由收发器150产生的客户数据讯务162上。在各种实施例中,低频“1”和“0”能够在以光学方式耦合到发送光纤154的对应接收光学元件(未示出)处被解码。低频调制可以是振幅调制,如图1E中所示。在各种其它实施例中,低频调制能够是任何调制格式,诸如相位调制或频率调制。

[0042] 很重要地,需要注意的是,客户数据讯务162不受低频调制的影响。使用直接施加在来自收发器150的光信号上的处于低频的“1”和“0”串164对控制信号进行编码的一个优点在于:用于低频调制的频率通常无法通过对高数据速率的客户数据讯务162进行解码的接收器中的电滤波器。根据光信号的调制、扰码和编码的细节,基线漂移可将这些高通滤波器的低频截止设置为低至100kHz。因此,低频控制信号的频率被选择为低于在收发器中使用的高通滤波的最低频率,并且因此,低频控制信号将不会影响客户数据讯务162的完整性。另外,使用在本领域公知并且广泛存在的相对较低成本、较低带宽光学设备和电子设备,能够完成基于低频调制的编码和解码。根据本教导的硬件配置的网络的一些实施例使用当前部署的收发器150中已经存在的光学和电气部件。

[0043] 图2A表示包括具有可调谐发送器202的光收发器的硬件配置的光学元件的一个实施例的方框图200。可调谐发送器202包括用于发送和接收命令和控制信息的电气控制端口204。在一些实施例中,电气控制端口204是工业标准I2C接口。在其它实施例中,电气控制端口204使用用于嵌入式系统控制的多主从串行协议。可调谐收发器202包括输出,所述输出以光学方式耦合到发送光纤206。

[0044] 图2B表示根据本教导的代表可调谐收发器在发送光纤206上的测量输出的光谱208。光谱208指示:可调谐收发器202中的可调谐激光器被设置为特定波长210。在一个特定实施例中,能够在从1528nm到1567nm的波长范围上设置和调整可调谐收发器202波长或信道。

[0045] 参照图2A和2B,在这个实施例中,光收发器200正在以10Gb/s数据速率产生客户数据讯务224,利用示波器描述相对较长的时间标度,客户数据讯务224被示出为作为时间的函数的高和低数据电平。用于配置网络的控制和管理信息被编码为直接施加在客户数据讯务224上的处于低频的“1”和“0”串222。在根据本教导的一些操作方法中,可调谐收发器202的典型输出功率处于0-3dbm范围中,这对应于大约1-2mW。此外,在一些操作方法中,低频编码调制格式是可调谐激光信道的低频功率变化,因此在激光信道设置点的波长操作。另外,在一些操作方法中,低频调制的调制深度处于大约0.5%和10%之间。在一些实施例中,低频调制是5%或更低。

[0046] 因此,根据本教导的硬件配置的网络的一个特征在于:控制信息被编码在可调谐

发送器信号上,因此基于可调谐发送器的调谐配置,携带已编码的控制信息的波长是可调谐的。因此,通过调谐携带已编码的信息的信号的波长,能够基于在光网络中配置的特定波长路径改变已编码的控制信息的目的地。例如,包括光网络的波长开关、滤波器和放大器的配置建立光网络中的从源到目的地的波长路径。也可基于网络元件的重新配置改变从各种源到各种目的地的波长路径。源波长可被调谐以采用通向特定目的地或一组目的地的预期波长路径,并且因此,施加在处于该源波长的光信号上的低频控制信号将会将已编码的控制信息提供给该特定目的地或一组目的地。因此,通过简单地调谐可调谐收发器的激光波长,能够改变低频控制信号的目的地。通过选择特定波长路径,选择携带低频调制的控制信号的波长的这种能力允许来自一个网络元件的已编码的控制信息可到达网络中的各种不同元件中的任何元件。

[0047] 根据本教导的硬件配置的网络的另一特征在于:特定波长上的控制信号的低频编码不影响在光纤中或在整个光网络中传播的其它波长。

[0048] 图3A表示包括波长选择开关302的根据本教导的硬件配置的光学元件300。在根据本教导的一些实施例中,波长选择开关302是没有特殊修改的标准的可商购获得的波长选择开关302。波长选择开关广泛地存在于端口结构和信道规划的范围中,并且当前被用在现有技术光网络中。波长选择开关(诸如,由Finisar公司制造的波长选择开关)提供高度可编程的并且灵活的切换平台,所述切换平台在同一网络中的多个波长上将讯务从一个光链路切换到另一光链路。然而,根据本教导的波长选择开关能够被构造为具有根据本教导的另外的特征。在本教导的一个实施例中,波长选择开关302包括用于直接检测已编码的控制数据的一个或多个低频光电二极管。

[0049] 另外,根据本教导的硬件配置的网络中使用的波长选择开关是双向的,并且能够在两个方向上等效地操作。因此,本教导的一个方面在于:波长选择开关302也能够从网络中的其它光学元件接收控制信号并且对控制信号进行解码,以及发送旨在用于网络中的其它光学元件的控制信号并且对控制信号进行编码。

[0050] 硬件配置的光学元件300包括波长选择开关302,所述波长选择开关302具有:至少一个光输入,以光学方式连接到接收光纤304;和多个光输出,以光学方式连接到多个发送光纤306、306'、306"。波长选择开关302还具有电气控制端口308。在根据本教导的一些操作方法中,接收光纤304传播一个或多个波长上的光信号。返回参照图2A、2B,所述光信号可包括源于可调谐光收发器202的客户数据讯务。

[0051] 图3A表示接收光纤304上的客户数据讯务310。通常由波长选择开关302执行的一个功能是响应于电子控制信号改变接收的光信号的衰减并且通过所述改变衰减产生振幅调制信号。结果是:施加在在波长选择开关302的光输入上接收的光信号上的低频调制能够被独立地施加在通过波长选择开关302的处于任何或所有波长或信道的光信号上。

[0052] 图3A还表示具有低频控制信号312的客户数据讯务310,所述低频控制信号312具有由电子控制信号编码的“1”和“0”串的形式。需要注意的是,客户数据讯务310的完整性不受低频控制信号影响。使用选择性地控制波长选择开关302的特定波长信道的衰减的电子控制信号,低频控制信号被选择性地施加在路由至所述多个发送光纤306、306'、306"中的任何发送光纤的预期波长信道上。

[0053] 由波长选择开关302产生的具有“1”和“0”串312的形式的低频控制信号能够被滤

波以从客户数据讯务消除高频信号,如图3B中示出的示波器描述350中所示。图3B显示波长选择开关302在接收光纤306上的测量输出的示波器描述350,其中根据本教导对客户数据讯务进行了滤波。结果是通过波长选择开关302的低衰减所获得的“1”的第一信号电平和通过波长选择开关302的更高衰减所获得的“0”的第二低信号电平。已被滤波的控制信号的数据速率能够相对较低。例如,低频控制信号的数据速率能够是大约5位/s。

[0054] 图4表示硬件配置的光放大器400的一个实施例的方框图。在示出的实施例中,硬件配置的光放大器400是掺铒光纤放大器(EDFA),EDFA是在现代光通信系统中常用的光放大器。本领域技术人员将会理解,能够使用许多其它类型的光放大器。光放大器400包括被配置用于发送和接收电命令和控制信息的电气控制端口402。根据本教导,光放大器400还包括:光输入端口,耦合到接收光纤404,接收光纤404提供待放大的光信号;和光输出端口,耦合到发送光纤406,发送光纤406发送已放大的光信号,所述已放大的光信号也可包括低频控制信号。

[0055] 图4还示出将要由光放大器400放大的由接收光纤404提供的输入客户数据讯务408的示波器描述。在这个实施例中,以例如10Gb/s数据速率调制客户数据讯务408。光放大器400改变接收的光信号的衰减,并且产生低频振幅调制的控制信号410。

[0056] 在图4中示出的实施例中,使用由控制端口402提供的电子控制信号,配置信息被编码在低频调制的控制信号上。使用施加在客户数据讯务408上的低频调制,低频振幅调制的控制信号410中的配置信息数据被编码为“1”和“0”串,如图4中所示。客户数据讯务408的完整性不受低频振幅调制的控制信号影响,因为相对于客户数据讯务的调制深度,低频调制的振幅调制深度较小。另外,客户数据讯务408的完整性不受低频振幅调制的控制信号影响,因为低频调制的频率太低而无法通过客户数据讯务的接收滤波器。

[0057] 如这里所述,本教导的硬件配置的网络的一个特征在于:客户数据讯务408的完整性不受由光放大器400施加的少量低频调制影响。在一些实施例中,由光放大器400施加的振幅调制为光放大器400的整个谱带宽提供低频调制。换句话说,由光放大器放大的所有信道经历基本上相同的低频调制。在这些实施例中,经过光放大器400的所有信道从电子控制信号接收相同的编码信息。然而,在本教导的其它实施例中,光放大器400具有增益控制,所述增益控制能够控制经过光放大器400的特定信道或信道的频带的增益。在这些实施例中,在选择的经过光放大器400的一个或多个信道、波长或频带上对控制信号进行编码。

[0058] 本教导的一个特征在于:低频控制信号能够被施加在各种类型的已有光信号上。对于结合图1D-1E和2示出的实施例,已有光信号包括源自收发器元件的客户数据讯务。在一些实施例中,已有光信号不包括实时数据讯务。例如,已有光信号能够包括伪通信数据信号。在其它实施例中,已有光信号包括光收发器的CW输出或来自光放大器的放大的自发辐射。

[0059] 此外,在一些实施例中,已有光信号源自将电子控制信息施加在已有光信号上的同一光学元件。在其它实施例中,已有光信号源自位于将电子控制信息施加在已有光信号上的光学元件上游的其它光学元件。在一些实施例中,来自在所述网络中连接的一个或多个分开的元件的电子控制信息被施加在同一已有光信号上。在一些实施例中,电子控制端口为光控制信号提供配置信息。在一些实施例中,光网络元件中的处理器为光控制信号提供配置信息。在一些实施例中,基于接收的光控制信号产生由光网络元件中的处理器提供

的发送光控制信号的配置信息。

[0060] 在本教导的一个实施例中,硬件配置的光学元件包括反向传播拉曼泵单元和可变增益(VG)光放大器(诸如,可变增益EDFA光放大器)。拉曼泵单元和可变增益光放大器能够被集成以提供非常低的噪声指数和极好的增益平度,这是超远程光通信系统非常需要的特性。在各种结构中,现有技术光放大器模块能够在各种配置中当前支持多达三个拉曼/EDFA泵光放大器。

[0061] 在使用拉曼泵单元和可变增益光放大器的实施例中,快速自动增益控制(AGC)电路能够被用于提供高度的瞬态抑制,所述高度的瞬态抑制允许光放大器使增益在这样的操作条件期间保持不变:存在独立于由拉曼泵光放大器产生的放大的受激发射(ASE)的输入功率的快速并且较大的变化。可从Finisar公司商购获得具有低噪声指数和大动态增益范围(高达15dB)的在C频带上提供平坦增益的合适的可变增益两级掺铒光纤放大器。在一些实施例中,光放大器包括各种特征,诸如综合瞬态控制、可调谐中间级接入(MSA)损耗和增益倾斜功能,所述各种特征全部可被一起或分开使用以控制通过所述装置的衰减从而将低频调制施加在已有光信号上。

[0062] 本教导的一个特征在于:硬件配置的光学元件提供用于将配置信息发送给包括许多硬件配置的光学元件的网络中的元件的方式。本教导的方法和设备与已知网络中的已有的部署的光学元件兼容,并且能够被使用已知的低频调制技术和已知的信息处理的方法容易地实现。兼容的已有网络包括工业标准数据通信和电信网络,诸如大服务提供商网络和企业网络以及私有网络和为特定目的建造的网络系统,诸如用于工业控制的那些网络系统。在本教导的一些实施例中,以点对点方式在光学元件之间交换配置信息或控制信号。在其它实施例中,对于网络上的一些或全部光学元件,以广播方式或多播方式在光学元件之间交换配置信息。在其它实施例中,以多点方式或级联方式交换配置信息。在各种实施例中,能够使用用于在光学元件之间交换配置信息或控制信号信息的这些方式的任何组合。

[0063] 包括本教导的硬件配置的光学元件的硬件配置的网络的另一特征在于:已知通信协议和已知管理信息协议可被用于配置网络元件。也就是说,能够使用用于从网络元件收集信息以及配置网络元件的已知规则系统。这些协议包括数据通信、电信传输以及例如用于管理数据格式、寻址、路由、错误和故障管理、流量和顺序控制和其它已知管理元件和功能的管理协议。在各种实施例中,这些协议包括嵌入式系统、实时系统和计算机总线协议。

[0064] 图5表示包括基于对公知以太网协议的修改的冲突避免协议的根据本教导的低频控制信号500的示波器描述。图5中示出的低频控制信号500包括适合多点通信的协议。在示出为区域502、502'的“突发”中发送已编码的控制信息,其中调制的“1”和“0”出现在客户数据讯务504上。与重新发送时间 T 508相比,示出为时间 t 506的突发持续时间较小。在一些实施例中, t/T 之比是0.1,以使得包时间仅是重新发送时间的10%。每个收发器将重新发送时间的随机百分比用于包突发以便避免从不同发送器发送的包的可能的冲突,并且提高在接收器处的解码的可靠性。换句话说,各种发送器的 t/T 被随机选择。

[0065] 本教导的一个方面在于:硬件配置的网络中的光学元件能够被按照任何网络配置布置,包括网、点对点、环、总线、树和其它已知结构。另外,本教导的硬件配置的网络的光学元件可包括若干不同元件类型,包括收发器、放大器、光信道监测器(OCM)、波长选择开关、WDM复用器和WDM解复用器、交叉连接和光开关。因此,本教导的配置系统支持大量网络拓

扑、网络大小和范围以及网络服务。

[0066] 本教导的另一方面在于:能够利用如这里所述的常见配置方案配置光网络元件(包括收发器、放大器、光信道监测器、波长选择开关、复用器/解复用器、交叉连接和光开关)的不同组合。

[0067] 图6表示点对点收发器拓扑(有时在本领域被称为光链路)中的本教导的硬件配置的网络的实施例。图6中示出的点对点配置能够被扩展为包括另外的光收发器元件的其它更复杂的网络拓扑(诸如,网、环和总线)。在图6中示出的实施例中,两个光收发器602、602'经一根光纤604连接,光纤604用于从第一收发器602向第二收发器602'发送。第二光纤606从第二收发器602'向第一收发器602发送信息。

[0068] 收发器602包括用于发送和接收命令和控制信息信号的控制端口608、608'。第一收发器602的测量输出的示波器描述迹609显示处于10Gb/s数据速率的正常客户数据讯务610和低频控制信号612。需要注意的是,客户数据讯务610的完整性不受低频控制信号612影响。图6中示出的低频控制信号612是振幅调制信号,但本领域技术人员将会理解,能够使用任何调制格式。低频控制信号612包括从第一收发器602发送的控制和管理信息。第二光收发器602'中的微处理器被用于对从第一光收发器602接收的“1”和“0”串进行解码。以这种方式,从第一光收发器602向第二光收发器602'共享配置信息。

[0069] 第二光纤606被用于从第二收发器602'向第一收发器602发送配置信息。以这种方式,从第二光收发器602'向第一光收发器602共享配置信息。第一和第二收发器602、602'上的控制端口608、608'能够包括工业标准I2C接口或其它类型的通信接口。因此,使用当前教导的低频调制方法,在两个收发器602、602'之间沿两个方向都能够对数字诊断信息进行编码、共享和解码。

[0070] 图7表示包括连接到波长选择开关或光学可编程滤波元件704的多个可调谐光收发器702、702'的本教导的硬件配置的网络700的实施例。波长选择开关能够被用于基于特定波长或信道在光纤之间对光信号进行路由。波长选择开关能够被配置为可重新配置的光分插复用器,并且用作将波长和带宽快速地移至不同光纤的自动接插板。例如,可从Finisar公司商购获得的Flexgrid™技术产品在波长选择开关内提供具有6.25GHz分辨率和12.5GHz的信道宽度分辨率的信道中心频率的动态控制。利用Flexgrid™技术,一旦部署,信道规划可在“运行中”配置,意味着:信道带宽能够被调整以在未来需求出现时最高效地支持未来需求,或者为了任何其它目的而被调整。

[0071] 现有技术可编程光学滤波器的一个示例是可从Finisar公司商购获得的WaveShaper家庭的可编程光处理器。

[0072] 可编程光学滤波器提供可编程光学滤波和切换的范围,包括滤波器特性(诸如,中心波长、带宽、形状和色散以及衰减)的非常精细的控制。可编程光学滤波器能够提供各种功能,诸如可调谐光学滤波、光带宽管理、动态增益均衡、可编程光学滤波、偏振处理和多端口光学处理)。使用本教导的硬件配置的网络方法和设备,能够配置波长选择开关和可编程光学滤波器的所有这些参数。

[0073] 图7表示两个光收发器702、702',所述两个光收发器702、702'具有利用光纤706、706'连接到可编程滤波元件704的输入的光输出。在许多配置中,所述两个收发器702、702'和可编程滤波元件704之间的光学连接是双向的。可编程滤波元件704包括:输出,以光学方

式连接到输出纤维708;和电子控制端口710,接收电子控制信号。所述两个光收发器702、702'具有接收电子控制信号的电子控制端口712、714。

[0074] 在一些实施例中,光收发器702、702'是可调谐的,并且被设置为发送和接收不同波长信道。在图7中示出的配置中,可编程滤波元件704被编程为接收两个波长信道并且在输出纤维708上发送所述两个波长信道。本领域技术人员将会理解,具有任何数量的信道的任何数量的收发器能够被用于本教导的方法和设备。

[0075] 在一些实施例中,本地客户机716被用于提供控制信息以配置可编程滤波元件704并且从收发器702、702'设置波长信道。在一些实施例中,使用控制端口710、712和714从外部源独立地提供控制信息。控制信息被编码在低频控制信号上,低频控制信号被施加于在光纤706、706'和708上传播的已有光信号上。以这种方式,通过网络传送用于元件配置的信息。在一些实施例中,既使用基于本地客户机的输入方法,又使用独立输入方法。在各种实施例中,本地客户机可与光学元件位于同一位置,或者可不与光学元件位于同一位置。

[0076] 图8示出包括具有波长选择开关光学元件的波分复用网络的本教导的硬件配置的网络800的实施例。许多已知网络元件配置依赖于使用客户机使用单独的“监督”信道将配置信息传送给波分复用网络中的各种元件。本教导的硬件配置的网络的一个特征在于:提供元件配置不再需要已知客户机硬件。能够在网络中提供并且使用客户机硬件和其它外部管理系统,但元件配置不再需要它们。此外,如果使用这些客户机硬件和其它外部管理系统,则它们能够具有大大减少的作用。替代地,如这里所述,经施加在光网络中的已有光信号上的低频控制信号提供配置信息。

[0077] 图8表示第一和第二收发器802、802',第一和第二收发器802、802'具有利用光纤806、806'以光学方式耦合到插波长选择开关804的双向光端口。在一些实施例中,在第一和第二收发器802、802'与插波长选择开关804之间存在双向通信。在其它实施例中,仅存在从第一和第二收发器802、802'到插波长选择开关804的单向通信。收发器802、802'还包括接收控制信息的控制端口808、808'。

[0078] 插波长选择开关804具有接收控制信息的电气控制端口810。在一些实施例中,不使用电气控制端口810,并且经光纤806、806'提供控制信息。另外,插波长选择开关804包括光学双向端口,所述光学双向端口利用光纤812以光学方式耦合到分波长选择开关814的双向端口。分波长选择开关814具有接收控制信息的电气控制端口816。在操作中,插波长选择开关804能够被配置为以可控方式将来自各种输入端口的各种波长连接到特定输出端口。分波长选择开关814也能够被配置为以可控方式将来自特定输入端口的各种波长连接到各种输出端口中的一个或多个输出端口。本领域技术人员将会理解,插波长选择开关804和分波长选择开关814也能够沿反向操作,从而插波长选择开关804变为分波长选择开关,反之亦然。

[0079] 分波长选择开关814也包括两个双向端口,所述两个双向端口以光学方式耦合到第一和第二光纤818、818'。在示出的实施例中,光纤818、818'将来自分波长选择开关814的光信号发送给收发器820、820'。收发器820、820'具有电气控制端口822、822'。在图8中示出的实施例中,收发器802、802'通过插波长选择开关804向分波长选择开关814发送,向收发器820、820'发送,收发器820、820'接收信号。

[0080] 在图8中示出的实施例中,在位置A 824的收发器802处于发送模式并且以光学方

式耦合到收发器820,收发器820在位置B 826处于接收模式。类似地,在位置A 824的收发器802'处于发送模式并且连接到在位置B 826的收发器820',收发器820'处于接收模式。在一个操作方法中,至少部分地使用客户机配置装置828配置收发器802以在特定波长信道上提供数据。

[0081] 使用低频调制将已编码的控制信息施加在源于收发器802的波长信道上,所述波长信道被发送给插波长选择开关804。已编码的控制信息由插波长选择开关804接收,然后被解码并且用于配置插波长选择开关804以从收发器802向输出光纤812传送信号,输出光纤812连接到分波长选择开关814。这个动作使控制信号传送到分波长选择开关814,在分波长选择开关814,控制信号随后被解码。分波长选择开关814随后使用解码的控制信息配置分波长选择开关814以将来自收发器802的信号传送给光纤818。分波长选择开关814的这种配置由此将源于收发器802的信号和已编码的控制信息传送给接收器820。已编码的控制信息在收发器820被接收,并且被用于配置收发器820以接收来自收发器802的信号数据。

[0082] 在一些实施例中,一个或多个光信道监测器830、832将控制信息提供给硬件可配置的插波长开关804和分波长开关814。光信道监测器830、832监测经过插波长选择开关804或分波长选择开关814或二者的光信号的细节,并且使用该信息向硬件配置的网络通知各种控制动作。经这里描述的低频调制,控制动作被发信号通知给网络。

[0083] 本领域技术人员将会理解,插波长选择开关804和分波长选择开关814能够沿正向和反向方向同时运行讯务。然而,沿两个方向传播讯务需要每个元件之间的两根光纤。

[0084] 本领域技术人员将会理解,显示图8中示出的硬件配置的网络的自动配置和提供使用的事件的特定顺序是说明性,并且不以任何方式限制本教导。例如,各种协议能够被用于使用这里描述的低频控制信号按照各种顺序在光学元件之间建立网络连通性和网络配置。此外,对于任何或全部配置事件,客户机能够被用于将电子控制信号提供给网络中的任何元件。另外,客户机能够被用于启动一个或多个配置事件,并且自动编码的信息被用于配置事件的剩余部分。

[0085] 本教导的一个方面在于:能够以自动方式检测安装错误,而不使用客户机或外部网络管理器。安装错误使实际部署的硬件物理连接偏离规划的硬件物理连接。术语“物理连接”在这里被称为一个或多个光学元件的特定端口与特定纤维或光学元件上的特定端口的连接。当安装错误发生时,预先编程在采用规划的硬件物理连接的光学元件中的规划的元件配置将不会在元件之中导致合适的光信号路径。在已知配置系统中,从安装错误恢复的唯一方式是使用昂贵的人类干预既检测错误连接又重新部署硬件以建立规划的硬件物理连接。

[0086] 图9表示图8的硬件配置的网络900,其中安装错误在位置B 902引起交叉配线状况。规划的配线连接要求进行接收的收发器RX-1 904与光纤906连接并且进行接收的收发器RX-2 908与光纤910连接。安装器错误导致进行接收的收发器RX-1 904与光纤910连接并且进行接收的收发器RX-2 908与光纤906连接,如图9中所示。不幸地,对于电信服务提供商而言,这种安装错误经常发生,并且引起显著服务启动延迟和增加的成本。即使利用现有技术网络硬件配置的系统,交叉配线状况也既难以检测又难以校正。检测安装错误状况需要使用人类操作人员进行多个网络元件的错误状况的关联以及由现场技术员执行的随后的服务呼叫以对装备进行定位并且将装备重新连接到规划的物理连接。

[0087] 使用本教导的硬件配置的网络设备和方法,图9的交叉配线安装错误能够被自动地检测并且校正,而几乎没有人类干预或出车维修。具体地讲,在开始,分波长选择开关912将来自在位置A 914的进行发送的收发器TX-1 916的根据本教导的包括低频控制信号的光信号发送给在位置B 902的进行接收的收发器RX-2 908。在位置B 902的进行接收的收发器RX-2 908识别连接错误,因为低频控制信号上的已编码的配置信息来自在位置A 914的TX-1 916而非按照预期来自在位置A 914的TX-2 918。在位置B 902的进行接收的收发器RX-2 908随后通过在引导至合适的网络元件的低频控制信号上对校正配置信息进行编码来启动校正动作以便提供减缓安装错误的校正动作。

[0088] 特别地,使用分波长选择开关912的重新配置校正配线错误。通过从在位置B 902的进行接收的收发器RX-2 908向在位置B 902的分波长选择开关912发送的已编码的信息来启动重新配置,以对分信道进行重新配置,以使得在位置B 902的RX-2 908从在位置A 914的TX-2 918接收光信号。因此,分波长选择开关912基于从进行接收的收发器RX-2 908发送的控制信息被重新配置,以使得来自在位置A 914的TX-1 916的信号出现在部署的光纤910上,而非出现在规划的光纤906上,并且来自在位置A 914的TX-2 918的信号出现在部署的光纤906上,而非出现在规划的光纤908上。以这种方式,本教导的硬件配置的网络中的光学元件的重新配置校正安装错误,而没有昂贵的人类干预。熟悉网络配置和故障恢复的现有技术的那些技术人员很好理解对其它安装错误的扩展和必要的重新配置步骤。

[0089] 本教导的一个方面是这样的能力:在网络的发送侧较早地捕获安装错误,而非如已知系统中当前执行的操作一样仅在信号到达网络的接收端检测配置错误。图10表示图8的硬件配置的波分复用网络1000的实施例,其中安装器在位置A 1002对元件进行布线时犯错误。具体地讲,源于进行发送的收发器TX-1 1006的光纤1004连接到插波长选择开关1010上的输入1008,输入1008实际上被规划用于光纤发送接收器TX-2 1012。此外,源于进行发送的收发器TX-2 1012的光纤1014连接到插波长选择开关1010上的输入1016,输入1016被规划用于发送接收器TX-1 1006。换句话说,因为安装错误,相对于规划的部署,在输入1008、1016上交换了从收发器1006、1012到插波长选择开关1010的连接。在这种错误配置中,在开始被配置为对来自进行发送的收发器TX-1 1006的出现在输入1016上的信号进行路由的插波长选择开关1010替代地在该端口1016上从收发器TX-2 1012接收信号。由插波长选择开关1010检测到的低频控制信号上提供的已编码的配置信息使这个错误在插波长选择开关1010内被立即检测到。在一些操作方法中,通过使硬件配置的网络通知客户机或第三方管理器需要修理配线,能够修复错误。在其它自动操作方法中,硬件配置的网络自动地重新配置收发器1006、1012,或自动地重新配置插波长选择开关1010。基于发送给光学元件的控制信息开始自动重新配置,所述光学元件能够被重新配置从检测到错误的光学元件修复错误。

[0090] 本教导的一个方面是这样的能力:提供低成本多收发器组合器-分离器。图11表示根据本教导的包括硬件配置的元件的低成本组合器-分离器1100的实施例。多个收发器1102、1102'使用多根光纤1104、1104'连接到无源组合器1106。无源组合器1106能够包括任何数量的端口。例如,无源组合器1106能够是十六端口(16:1)无源组合器。

[0091] 无源组合器1106的输出利用光纤1108以光学方式耦合到光放大器1110。光放大器1110被用于克服组合器1106的损耗,对于16:1组合器,所述损耗是大约13dB。光放大器1110

能够是广泛地存在的低成本掺铒光纤放大器。例如,在一个实施例中,光放大器1110具有用于每个收发器1102、1102'的0dBm的启动功率和用于克服组合器损耗的足够的放大器增益,以使得放大器1110的输出功率是12dBm。光放大器1110的输出利用光纤1112以光学方式耦合到光分离器-组合器1114。光分离器-组合器1114包括多个光输出1116、1116',所述多个光输出1116、1116'以光学方式耦合到多个收发器1118、1118'。

[0092] 在各种实施例中,收发器1102、1102'和收发器1118、1118'在发送或接收模式下操作。例如,在一个操作方法中,收发器1102、1102'在发送模式下操作并且收发器1118、1118'在接收模式下操作。在另一操作方法中,收发器1102、1102'在接收模式下操作并且收发器1118、1118'在发送模式下操作。

[0093] 使用这里描述的低频调制配置收发器1102、1102'、收发器1118、1118'和放大器1110中的一些或全部。本教导的硬件配置的网络的一个特征在于:不需要跟踪光纤次序或标记特定收发器连接,因为所有配置信息能够由低频控制信号提供。配置信息允许可调谐信道的自动提供,并且在收发器之间建立所有数据连接。

[0094] 本教导的一个方面在于:这里描述的硬件配置的网络能够为光网络元件提供数字诊断。已知收发器有时包括微处理器和诊断接口,所述接口提供关于数据链路的性能信息。这允许用户远程实时监测网络中的任何收发器的许多性能参数,诸如接收的光功率、发送的光功率、激光偏置电流、收发器输入电压和收发器温度。数字诊断功能为用户、客户机和外部网络管理系统提供用于实现性能监测的工具。

[0095] 一些已知光收发器经数字诊断监测接口(DDMI)提供数字诊断。数字诊断监测接口指定控制信息,所述控制信息被传送给客户机或外部管理系统并且包括诸如下面各项的信息:元件识别信息、元件操作参数、网络和元件配置信息、警报和警告参数以及销售商信息。在Finisar公司应用注释AN-2030"Digital Diagnostic Monitoring Interface for Optical Transceivers"中详述了用于小形状因数(SFP)光收发器的数字诊断监测接口。

[0096] 已知数字诊断监测接口包括接口装置或光收发器,所述接口装置或光收发器允许实时访问装置操作参数以及警报和警告标记,当操作参数处于正常范围之外时,所述警报和警告标记警告用户。通过对在内部监测的模拟信号进行数字化,已知数字诊断监测接口装置产生诊断数据。在接口装置制造期间,通常编写校准和警报阈值数据。除了产生内部模拟值的数字读数之外,已知数字诊断监测接口装置还基于与当前值和工厂预设值的比较产生各种状态位。此外,已知数字诊断监测接口装置产生标识符信息。

[0097] 本教导的硬件配置的网络的另一方面是提供增强的数字诊断监测。本教导的硬件配置的网络的一些实施例提供数字诊断监测接口控制信息作为这里描述的低频控制信号的一部分。特别地,低频控制信息能够包括数据字段,所述数据字段是这里描述的低频控制信号的一部分并且提供关于收发器元件的发送器部件的特定信息。例如,低频信息信号能够包括包含发送器的收发器元件的一个或多个发送器序列号和/或特定收发器元件的发送器信道识别编号。发送器信道识别编号提供激光发射器被调谐至的波长和/或信道编号。这里描述的低频信息信号还能够包括关于收发器元件的接收器部件的信息。例如,低频信息信号能够包括包含接收器的收发器元件的一个或多个接收器序列号和/或特定收发器元件的接收器信道识别编号。

[0098] 本教导的硬件配置的网络的另一方面在于:它能够通过与元件(诸如,收发器、放

大器、波长滤波器、光信道监测器、波长选择开关、波长复用器、波长解复用器、交叉连接和光开关) 交换配置信息来提供增强的数字诊断。增强的数字诊断信息被用作在本教导的光控制信号上编码的控制信息。与现有技术配置系统相比, 使用本教导的光控制信号通过选择合适的光载波来在到达硬件配置的网络中的各种光学元件的能力方面提供另外的灵活性。在本教导的硬件配置的网络的一些实施例中, 硬件可配置的元件包括光电二极管, 所述光电二极管对这里描述的低频控制信号进行解码。

[0099] 本领域技术人员将会理解, 根据本教导的硬件可配置的元件能够被用于各种目的。例如, 在一些实施例中, 在收发器发送器操作之前, 硬件可配置的光放大器能够被用于网络启动配置。此外, 在一些实施例中, 硬件可配置的放大器可被配置为具有取决于光路噪声计算的光学增益。此外, 在一些实施例中, 基于远程收发器的信道启动调整硬件可配置的放大器增益轮廓。此外, 在一些实施例中, 硬件可配置的放大器能够将关于光学增益的信息发送给收发器。

[0100] 此外, 在一些实施例中, 根据数据讯务按照需要利用灵活的信道规划配置和重新配置硬件可配置的波长选择开关端口。此外, 在一些实施例中, 硬件可配置的波长选择开关被用于通过在故障之后重新配置网络中的光路来提供针对故障的网络保护。此外, 在一些实施例中, 硬件可配置的光学可编程滤波器基于由硬件可配置的收发器元件提供的性能信息自动地调整路径色散, 而无需用户或外部网络管理干预。

[0101] 此外, 在一些实施例中, 使用这里描述的低频控制信号校准硬件可配置的光信道监测器。参照图8, 通过在本教导的硬件配置的网络中添加精密信道监测器830、832并且使用增强的数字诊断控制信息, 在所述网络中使用的收发器能够被调谐并且更加紧密地分隔开以用于更高的总光传送速率和谱效率。

[0102] 等同物

[0103] 尽管结合各种实施例描述申请人的教导, 但申请人的教导不应该局限于这种实施例。相反地, 如本领域技术人员所理解, 申请人的教导包括可在不脱离本教导的精神和范围的情况下对其做出的各种替代物、变型和等同物。

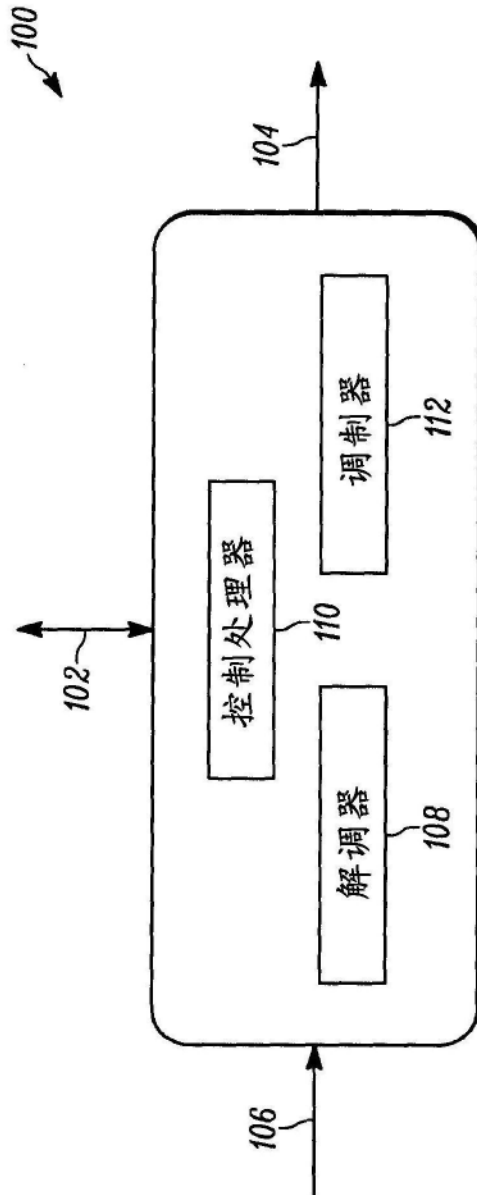


图1A

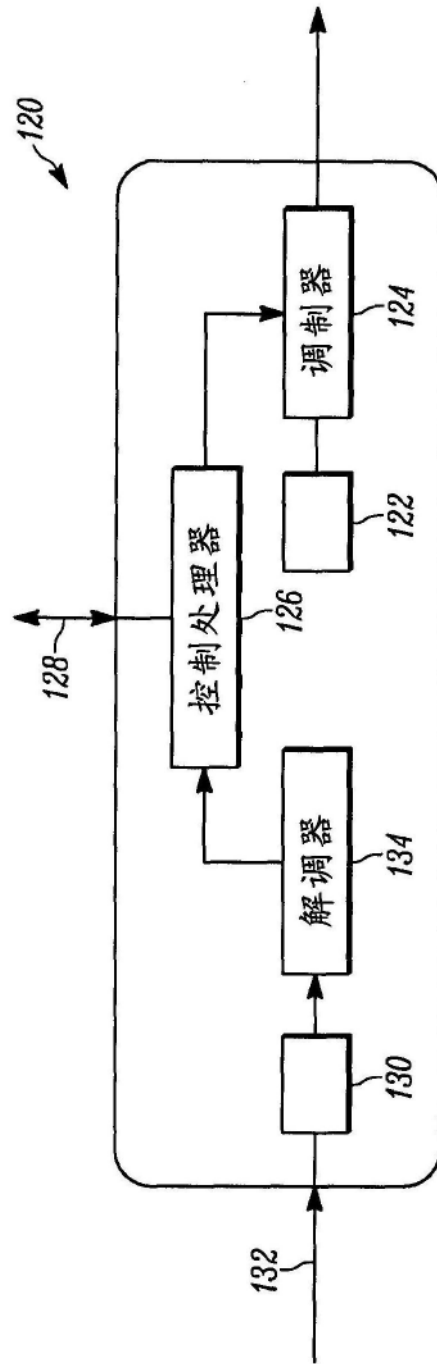


图1B

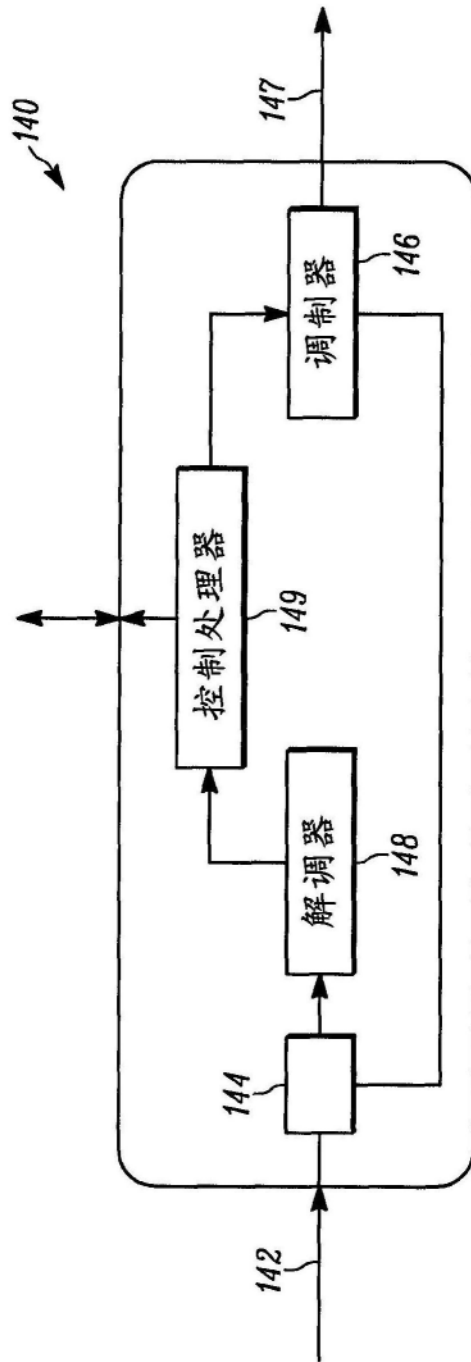


图1C

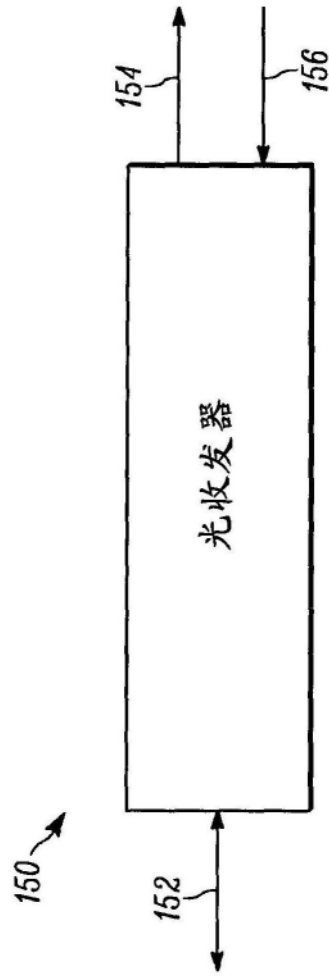


图1D

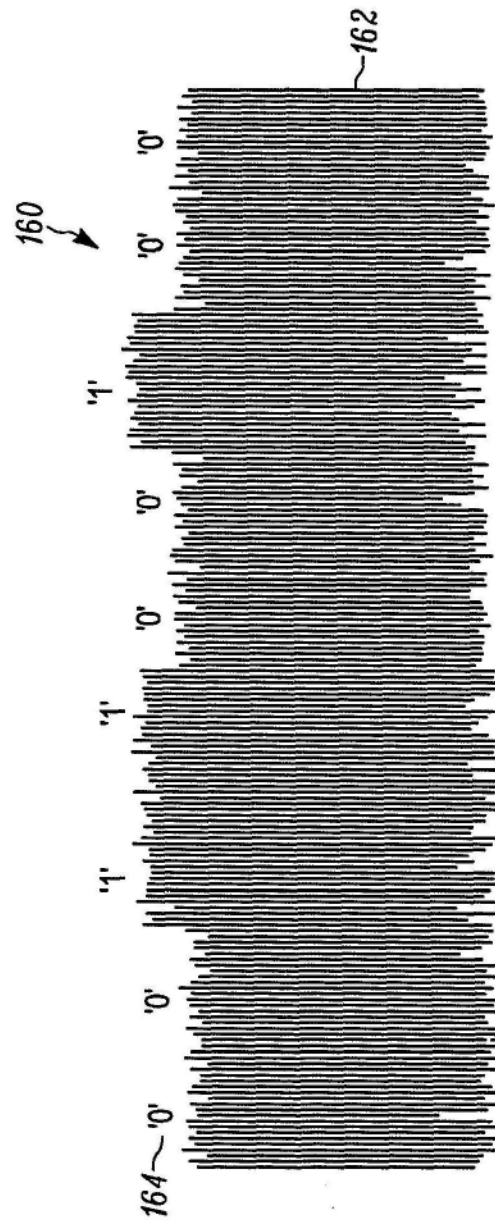


图1E

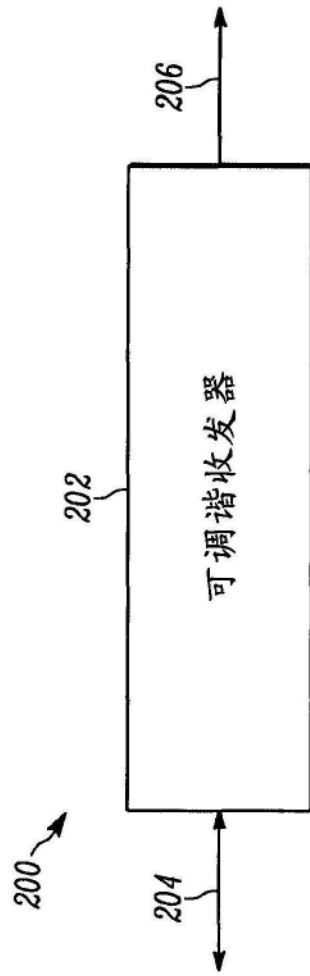


图2A

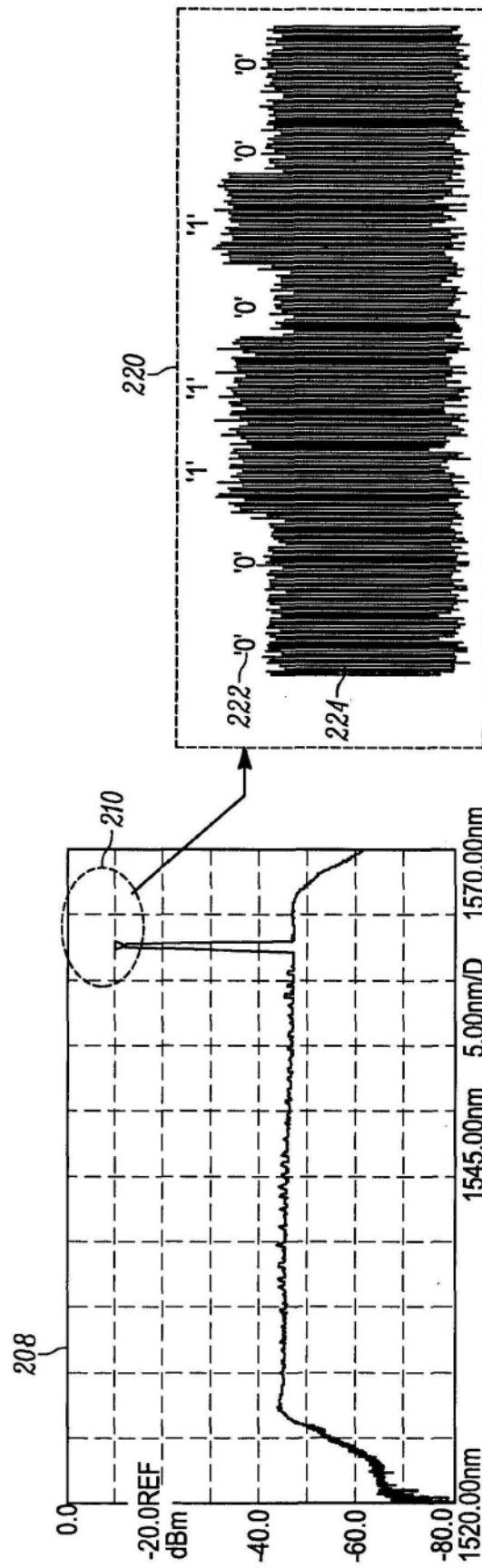


图2B

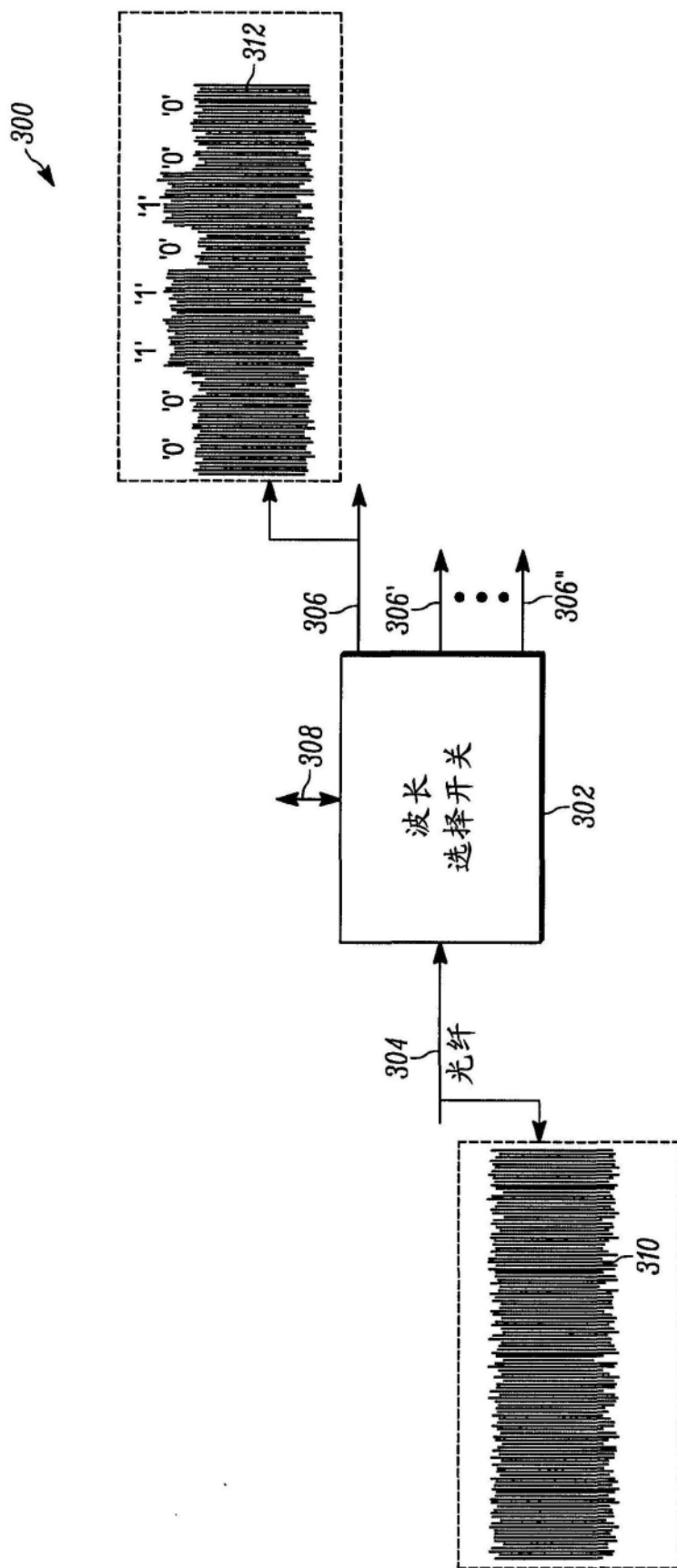


图3A

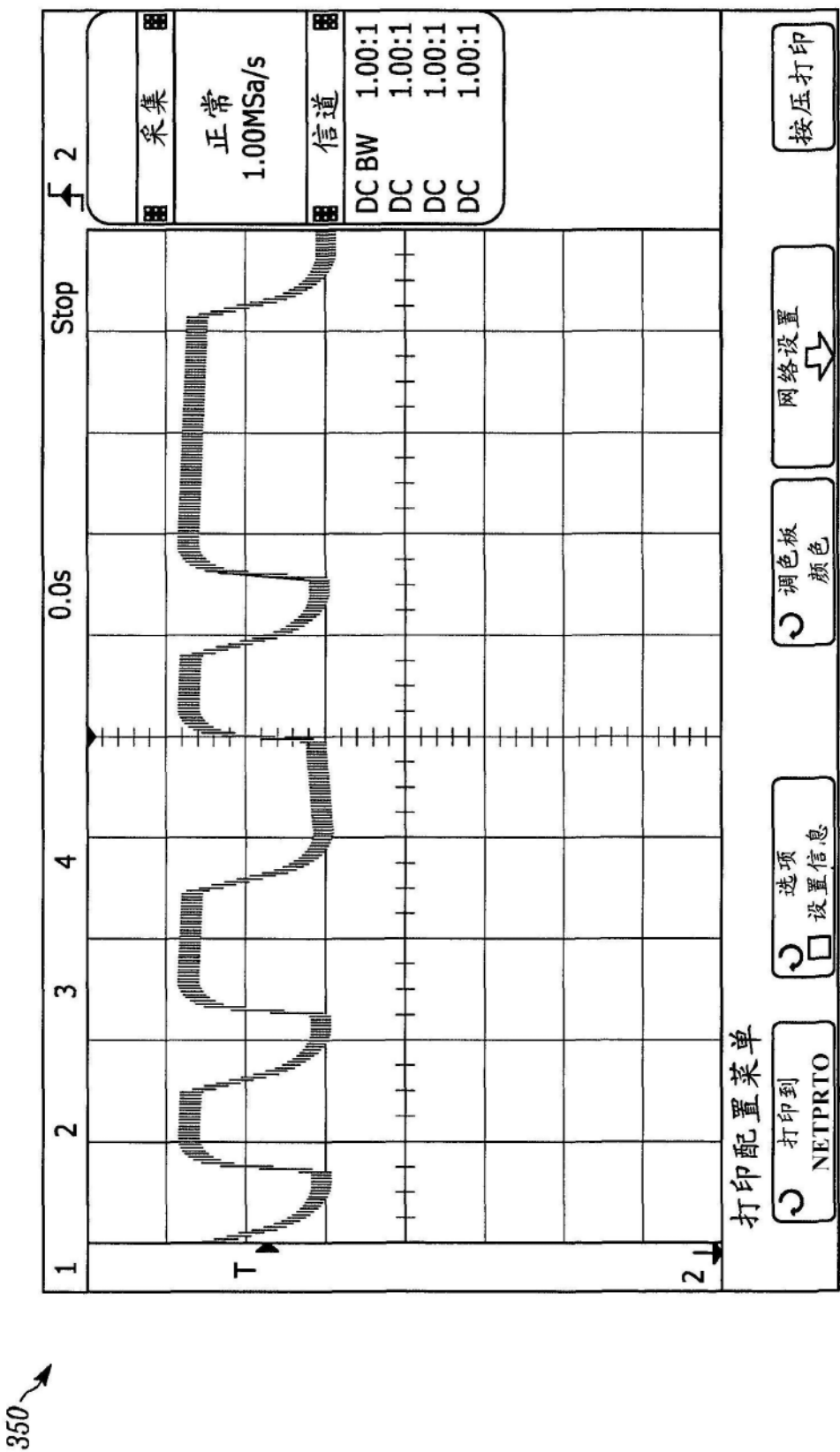


图3B

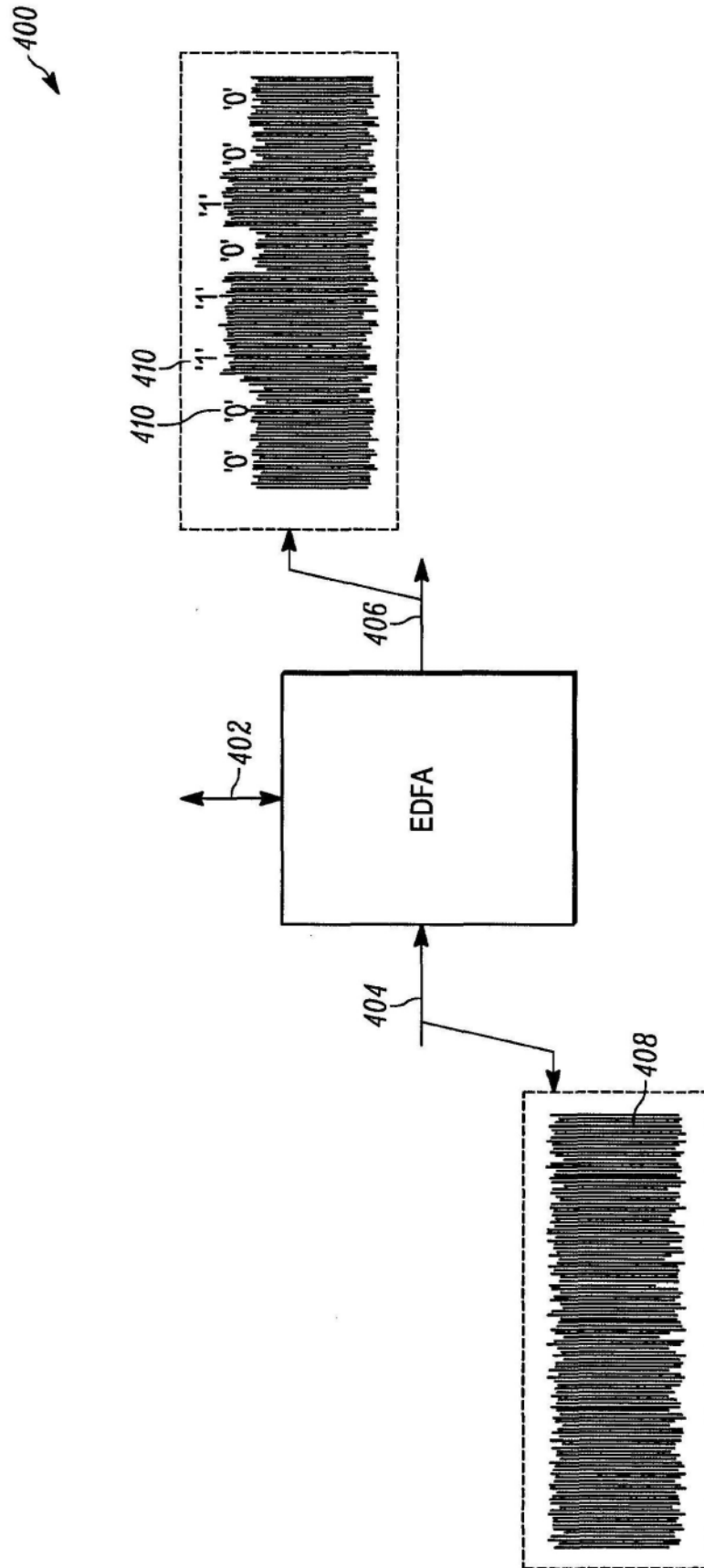


图4

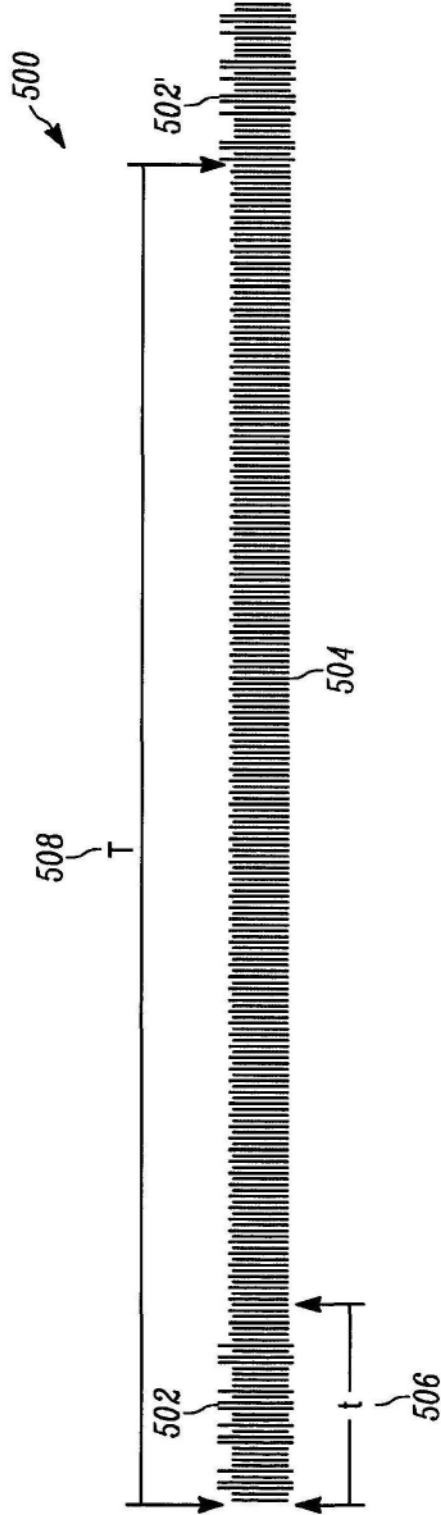


图5

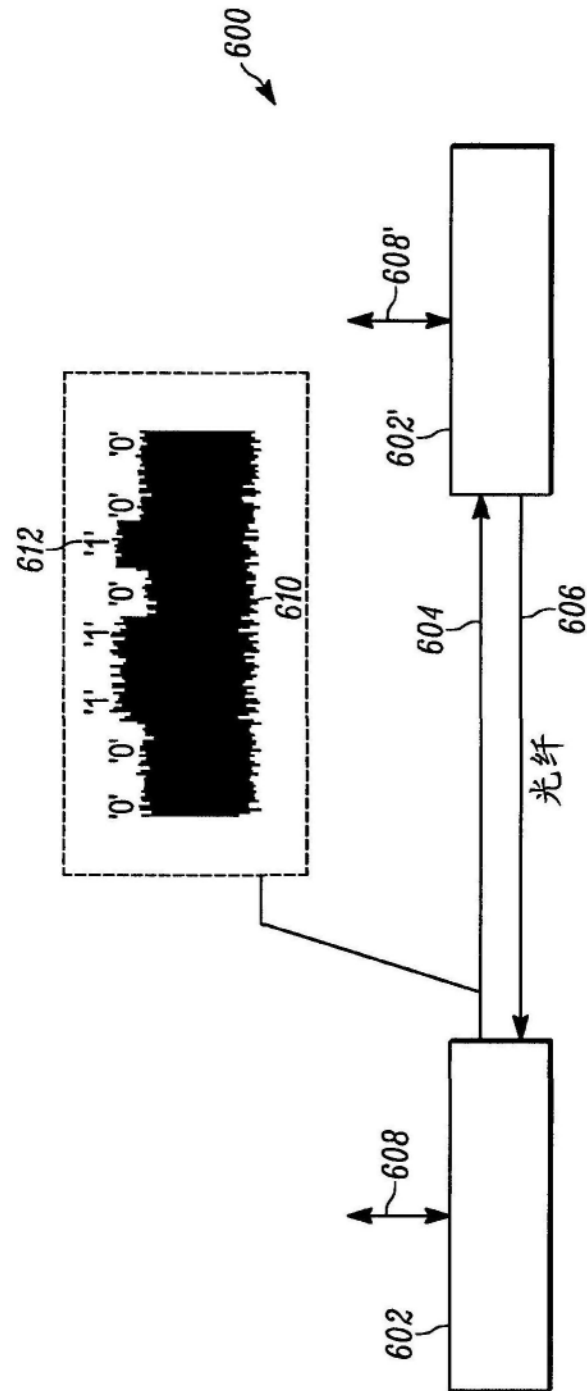


图6

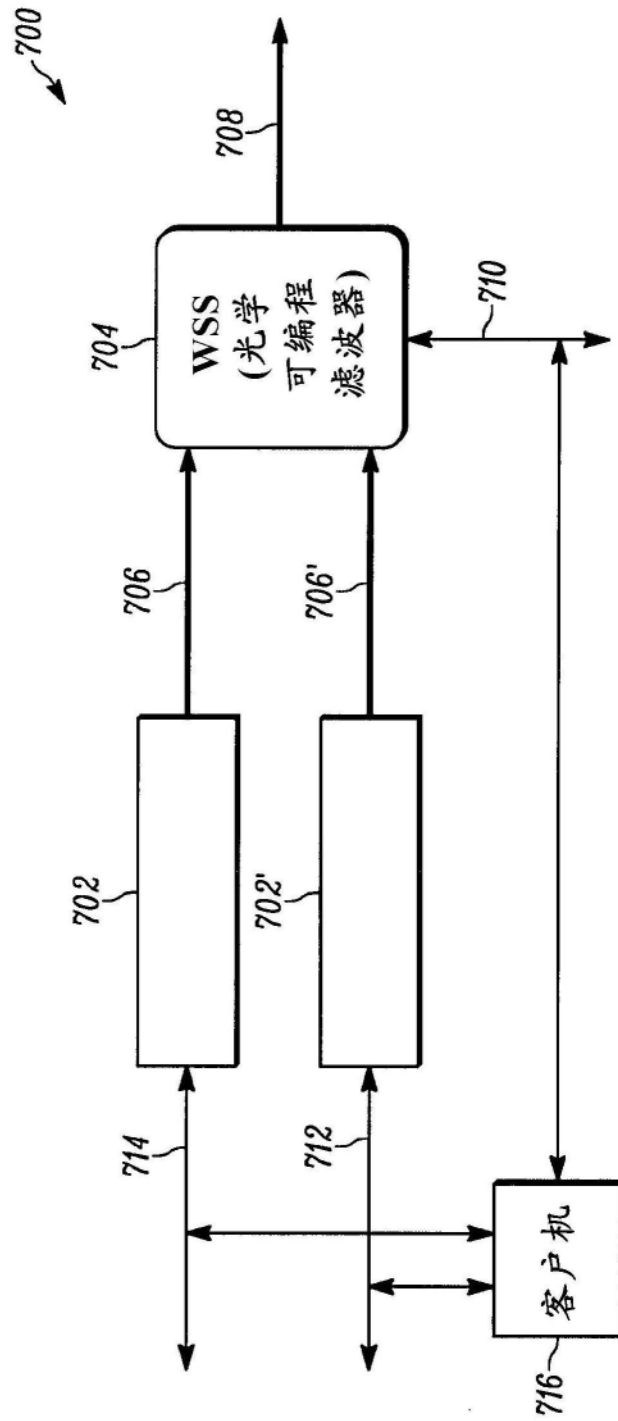


图7

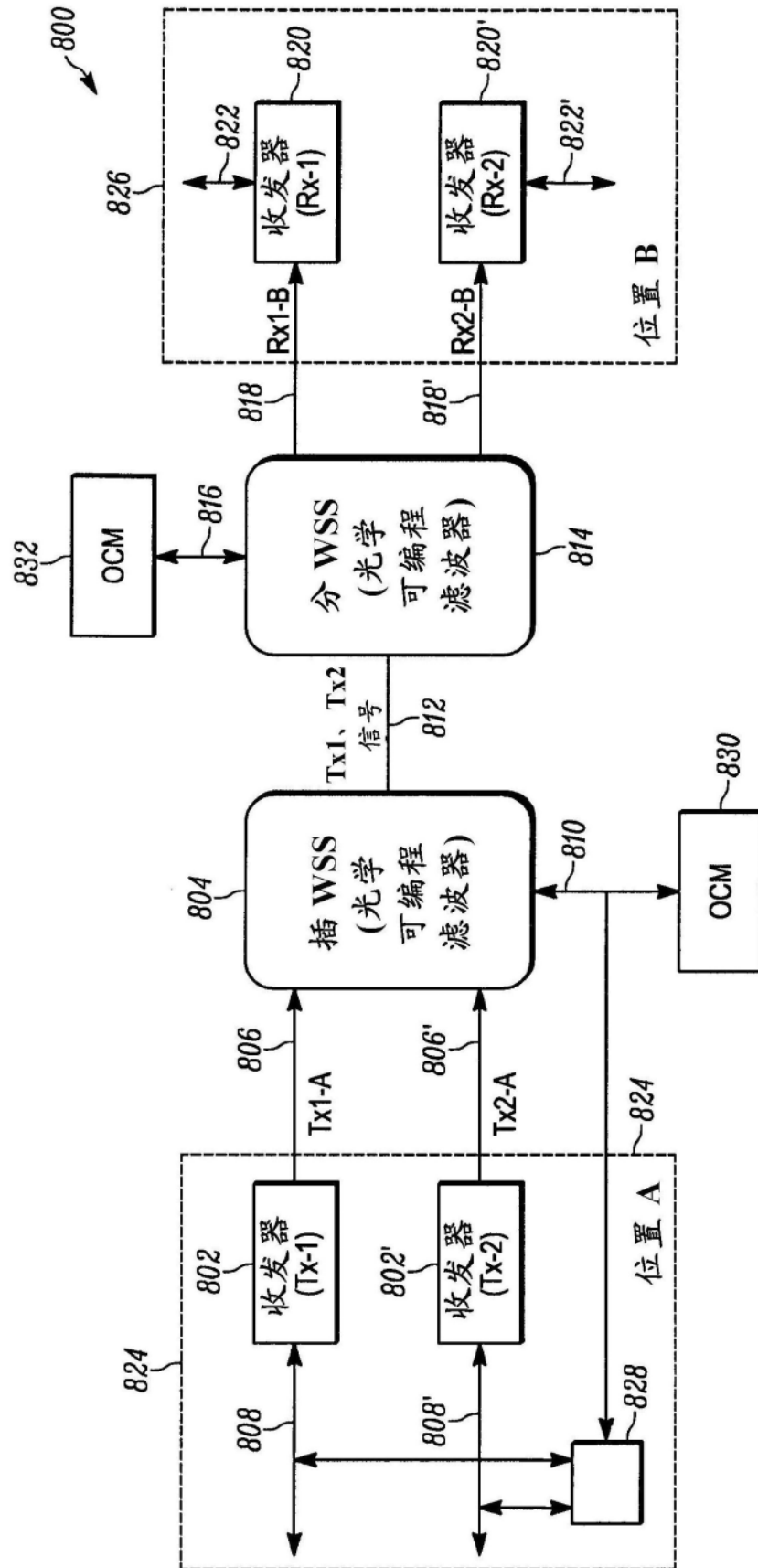


图8

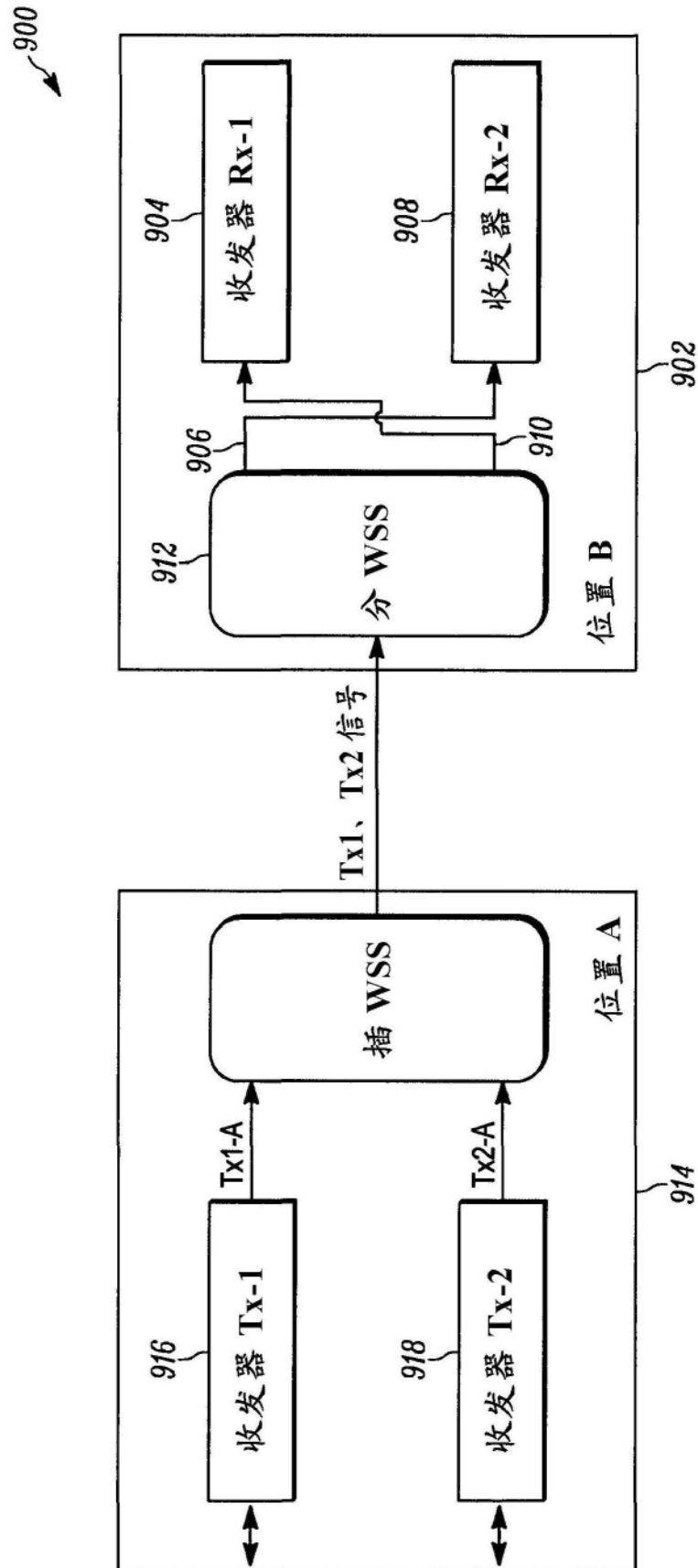


图9

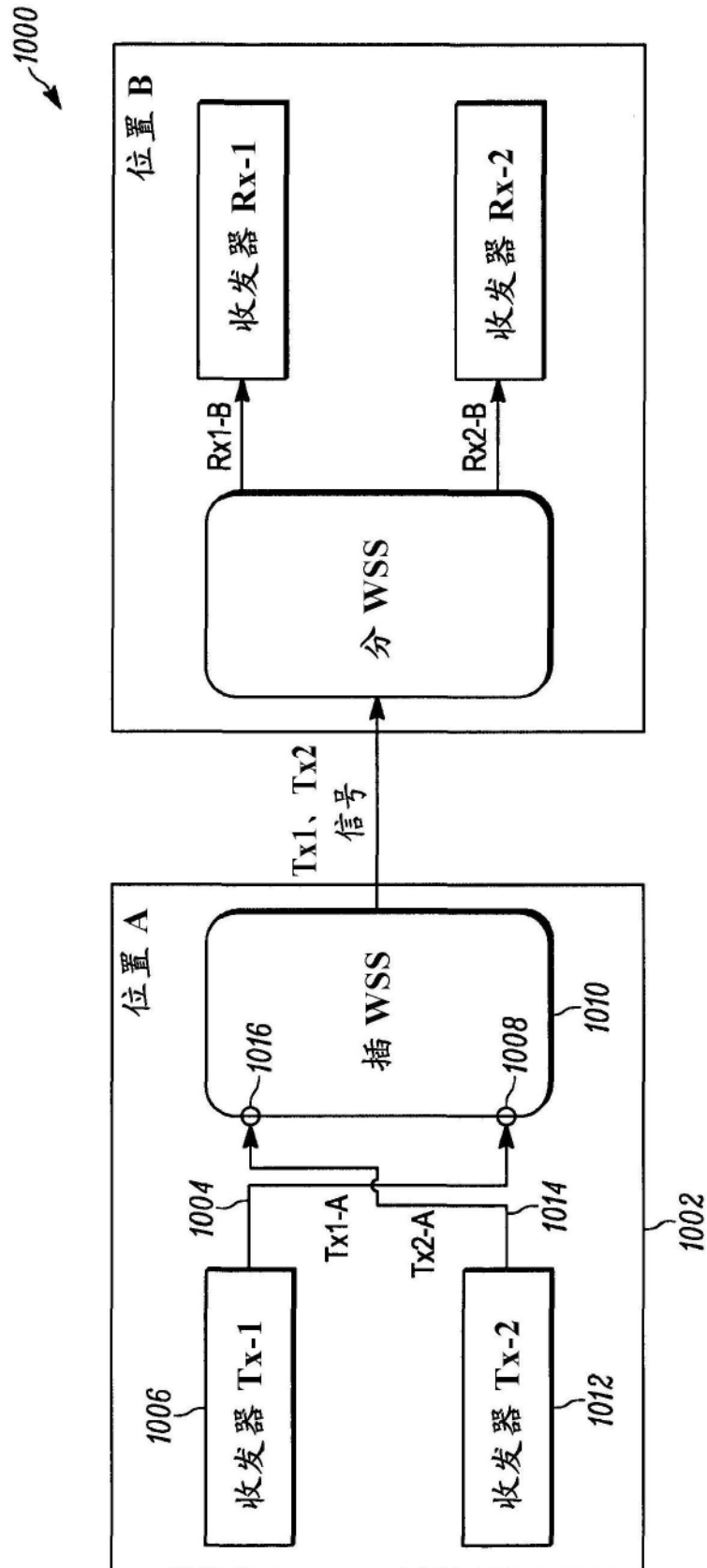


图10

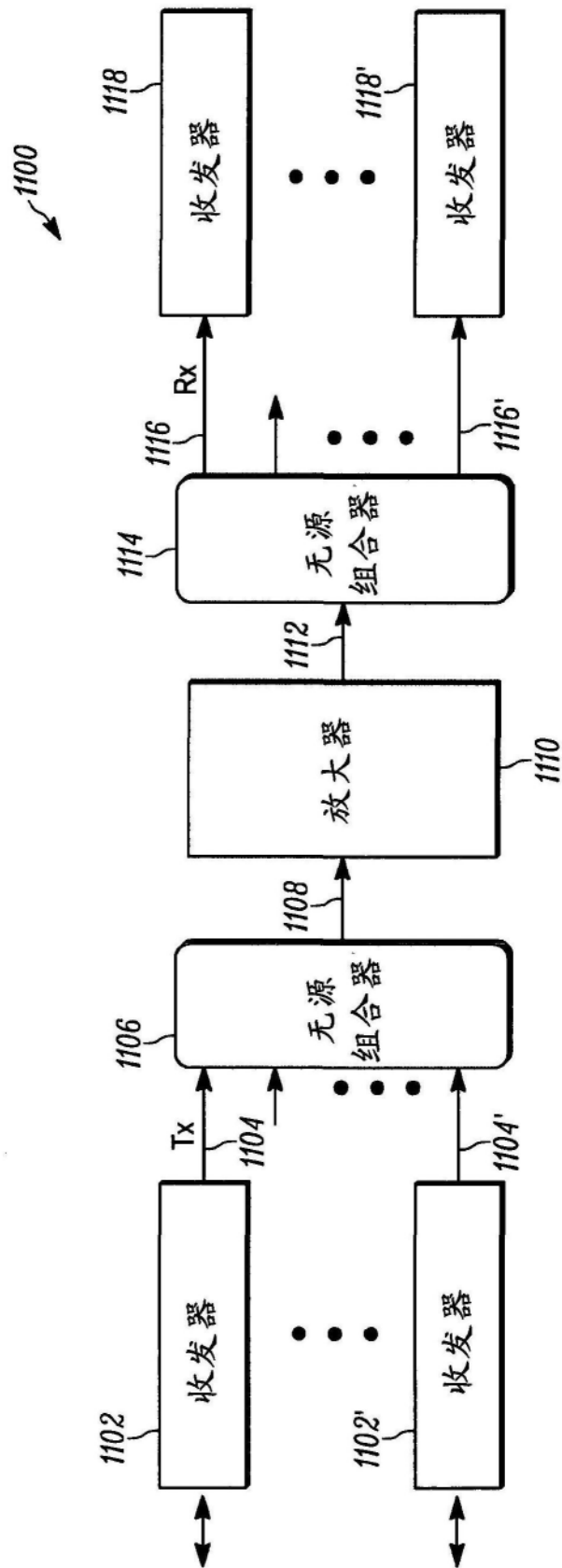


图11