



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107005334 A

(43)申请公布日 2017.08.01

(21)申请号 201580049313.9

吉尔·祖思曼 贝克·比兰德

(22)申请日 2015.09.11

(74)专利代理机构 中原信达知识产权代理有限
责任公司 11219

(30)优先权数据

62/048,818 2014.09.11 US

代理人 鲁山 孙志湧

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.03.13

(51)Int.Cl.

H04J 14/00(2006.01)

H04J 14/02(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2015/001999 2015.09.11

H04J 14/08(2006.01)

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/038463 EN 2016.03.17

(71)申请人 代表亚利桑那大学的亚利桑那大学

董事会

地址 美国亚利桑那州

申请人 哥伦比亚大学(纽约)理事会

(72)发明人 丹尼尔·基尔佩 克伦·贝格曼

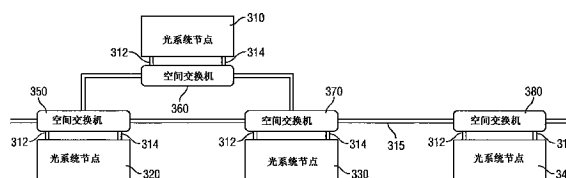
权利要求书3页 说明书8页 附图10页

(54)发明名称

弹性光联网

(57)摘要

光通信系统包括多个光系统节点、多个光空间交换机和多个光纤。所述多个光系统节点均包括至少一个可重构光分插复用器(ROADM)。光系统节点均具有至少一个客户端侧端口和至少一个线路侧端口。每个光空间交换机操作地耦合到多个光系统节点之一的线路侧端口。每个光纤将光空间交换机中的一个耦合到光空间交换机中的另一个。



1. 一种光通信系统,包括:

多个光系统节点,均包括至少一个可重构光分插复用器ROADM,所述光系统节点均具有至少一个客户端侧端口和至少一个线路侧端口;

多个光空间交换机,每个光空间交换机操作地耦合到所述多个光系统节点之一的线路侧端口;以及

多个光纤,所述光纤中的每个光纤将所述光空间交换机中的一个光空间交换机耦合到所述光空间交换机中的另一个光空间交换机。

2. 根据权利要求1所述的光通信系统,其中,所述光空间交换机中的至少一个光空间交换机包括至少一个功能模块,所述至少一个功能模块能够由所述光空间交换机选择性地切换到穿过该光空间交换机的信号路径,所述至少一个功能模块被配置为执行信号调节和/或信号监测。

3. 根据权利要求2所述的光通信系统,其中,所述功能模块包括至少一个光放大器。

4. 根据权利要求1所述的光通信系统,其中,所述光空间交换机中的至少一个光空间交换机包括布置在穿过该光空间交换机的信号路径中的至少一个光控制器。

5. 根据权利要求4所述的光通信系统,其中,所述光控制器布置在该光空间交换机的输入处。

6. 根据权利要求4所述的光通信系统,其中,所述光控制器布置在该光空间交换机的输出处。

7. 根据权利要求4所述的光通信系统,其中,所述光控制器包括第一光控制和第二光控制器,所述第一光控制器被布置在该光空间交换机的输入处,并且所述第二光控制器被布置在该光空间交换机的输出处。

8. 根据权利要求4所述的光通信系统,其中,所述光控制器包括光功率控制器。

9. 根据权利要求8所述的光通信系统,其中,所述光功率控制器包括可变化光衰减器。

10. 根据权利要求4所述的光通信系统,其中,所述光控制器包括光功率监测器。

11. 根据权利要求1所述的光通信系统,其中,来自所述光通信系统的至少一个光纤连接使用所述光空间交换机连接到不同光通信系统的至少一个线路侧端口。

12. 根据权利要求1所述的光通信系统,其中,所述光通信系统中的节点之间的至少一个光纤连接是使用所述光空间交换机中的一个或多个光空间交换机来重构的,使得所述至少一个光纤连接成为连接不同光通信系统的节点的光纤连接。

13. 根据权利要求1所述的光通信系统,进一步包括具有多个线路侧端口的光接入网络节点和与所述光接入网络节点相关联的至少一个附加光空间交换机,所述多个线路侧端口通过所述附加光空间交换机连接到多个线路侧光纤,所述多条线路侧光纤终止于最终用户位置或光纤到路边终端。

14. 根据权利要求13所述的光通信系统,其中,来自至少一个接入网络线路侧光纤的至少一个光信号直接连接到ROADM系统节点的至少一个线路侧端口,以由此绕过所述光接入系统节点。

15. 根据权利要求14所述的光通信系统,其中,来自至少一个接入网络线路侧光纤的至少一个光信号直接连接到ROADM系统节点的至少一个插入/分出端口,由此绕过所述光接入系统节点。

16. 根据权利要求14所述的光通信系统,其中,来自光接入网络的多个线路侧光纤使用所述空间交换机连接到功能元件,所述功能元件以光学方式将来自所述多个线路侧光纤的信号进行组合,其中,经光学组合的信号随后连接到ROADM系统节点的线路侧端口,以由此绕过光接入系统节点。

17. 一种通过光通信系统重构信号路径的方法,所述光通信系统包括均具有可重构光分插复用功能的多个光互连的光系统节点,,所述方法包括:

确定所述光系统节点中的第一光系统节点和第二光系统节点之间的预配置信号路径不可用;以及

在确定所述预配置信号路径不可用时,使用与所述第一光系统节点相关联的第一光空间交换机来绕过所述第一光系统节点,并将要穿过所述预配置信号路径的光信道重定向到与所述光系统节点中的第三光系统节点相关联的第三光空间交换机,所述第三光空间交换机能够进一步将所述光信道重定向到与所述第二光系统节点相关联的第二光空间交换机。

18. 根据权利要求17所述的方法,进一步包括监测所述光信道的一个或多个信号质量参数,并且基于所述监测,在所述光信道上执行信号调节。

19. 根据权利要求18所述的方法,其中,所述信号质量参数包括光功率电平,并且所述信号调节包括光放大和衰减。

20. 根据权利要求19所述的方法,进一步包括:将所监测的光功率电平与目标值进行比较,并且如果所监测的光功率电平低于所述目标值,则光放大所重定向的光信道。

21. 根据权利要求18所述的方法,其中,在所述光信道被重定向之前执行所述监测。

22. 根据权利要求20所述的方法,其中,在所述光通道被重定向之后执行所述监测。

23. 根据权利要求17所述的方法,进一步包括:基于由位于所述第一光系统节和所述第二光系统节点的下流的信号质量监测器监测的信号质量参数来对所述光信道执行信号调节。

24. 根据权利要求23所述的方法,其中,所述信号调节是光放大。

25. 根据权利要求18所述的方法,其中,被监测的信号质量参数反映前向纠错输入错误。

26. 根据权利要求17所述的方法,其中,由于在所述第一和第二光信号节点之间出现光纤断开,所述预配置信号路径不可用。

27. 根据权利要求17所述的方法,其中,确定所述第一光系统节点和所述第二光系统节点之间的预配置信号路径不可用包括:确定电力对所述第二光系统节点或所述第一光系统节点下游的另一光系统节点不可用或将不可用。

28. 根据权利要求17所述的方法,进一步包括监测光耦合到所述光空间交换机的一个或多个光纤的输入和/或输出处的光功率电平。

29. 根据权利要求28所述的方法,进一步包括将所监测的光功率电平与目标值进行比较,并且调整所重定向的光信道的光功率电平以匹配所重定向的光信道的已知最新的目标操作功率。

30. 根据权利要求18所述的方法,其中,利用位于所述第一光系统节点下游的光性能监测器来监测所述信号质量参数。

31. 根据权利要求30所述的方法,其中,在所述光信道上执行信号调节包括调整所述光

信道中的一个或多个光信道的功率电平。

32. 根据权利要求26所述的方法, 其中, 使用功率控制算法来执行调整所述一个或多个光信道的功率电平。

33. 根据权利要求32所述的方法, 其中, 所述功率控制算法包括无导数优化算法。

34. 根据权利要求31所述的方法, 其中, 至少部分地基于最小允许功率电平和/或最大允许功率电平、衰减电平或增益电平, 将对所述一个或多个光信道的功率电平的调整限制到指定范围。

35. 根据权利要求18所述的方法, 其中, 所监测的信号质量参数反映前向纠错输入误差, 并且利用位于所述第一光系统节点下游的光性能监测器来执行所述监测。

36. 根据权利要求1所述的光通信系统, 进一步包括至少一个附加光纤, 所述至少一个附加光纤将所述光空间交换机中的一个光空间交换机耦合到所述光空间交换机中的另一个光空间交换机, 使得穿过所述附加光纤的光信号不穿过ROADM, 所述ROADM被包括在所述光空间交换机分别操作地耦合到的光信号节点。

37. 根据权利要求13所述的光通信系统, 其中, 所述光接入节点是无源光网络 (PON) 节点。

38. 根据权利要求37所述的光通信系统, 其中, 所述PON节点是通过WDM PON传输WDM PON信号的WDM PON节点。

弹性光联网

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2014年9月11日提交的题为“Resilient Metro Optical Networking (弹性城域光连网)”的美国临时专利申请序列号62/048,818的利益和优先权,其全部内容通过引用并入本文。本发明是通过与美国政府机构的合同——即由NSF授予的经费号EEC0812072作出的。

背景技术

[0003] 商用光通信系统采用高度动态和可配置的电子交换设备,其在主要静态的高容量光系统上运行。这种架构在过去工作良好,因为典型的数据业务流量量级为10-100Mb/s,而光信道的容量为10-100Gb/s。随着业务需求的增加,应用业务流量的大小增加,并且互联网的使用方式也发生了变化。人们更频繁地使用或期望在千兆位/秒范围内的数据流。此外,诸如涉及操纵、备份和传输大型数据集、按需网络、企业数据中心和存储网络、视频点播、和科学计算的大数据的趋势都打破了常规的静态光网络模型。因此,对于城域网络和其他网络的光层中的动态和高度可配置的能力的需求不断增长。此外,诸如自然灾害和电力中断的事件造成了巨大的变化,这也需要一种能够减轻其影响的自适应并且由此弹性的光网络基础架构。

发明内容

[0004] 本文描述的是具有动态和高度可重构光网络能力的光通信系统。根据本发明的一个方面,在每个网络节点处的光纤设施或网络的线路侧引入光空间交换机。光空间交换机允许节点之间的光纤连接被重构,同时还允许底层光系统像往常一样执行光保护和恢复。此外,底层光系统作出的这样的光保护和恢复可以完全独立于该光纤设施或线路侧交换来执行。此外,光功率控制,监测器和光放大器可以用于调整光纤上的增益,以便实现稳定操作所需的总功率电平。

[0005] 提供本发明内容是为了以简化的形式介绍精选的概念。在具体实施方式部分中进一步描述了这些概念。除了本发明内容描述的那些元件或步骤之外的元件或步骤是可能的,并且所述元件或步骤并非必需的。本发明内容不旨在标识所要求保护的主题的关键特征或必要特征,也不旨在用于帮助确定所要求保护的主题的范围。所要求保护的主题不限于解决在本公开的任何部分中指出的任何或所有缺点的实施方式。

附图说明

[0006] 图1图示出了根据本文描述的主题的、可以被配置为传输波分复用(WDM)业务的、用于光通信或传输网络的分层架构的一个示例。

[0007] 图2示出光系统节点的一个示例。

[0008] 图3A示出了具有连接到外部光纤设施的一系列光系统节点的常规光通信或传输系统。

[0009] 图3B示出在光系统节点和光纤设施之间并入光空间交换机的可重构光通信或传输系统的一个说明性实施方式。

[0010] 图4示出除了光空间交换机之外还包含功能模块的可重构光通信系统的另一个说明性实施方式。

[0011] 图5示出了在光纤中断之后的图4的可重构光通信或传输系统。

[0012] 图6示出了包括来自不同类型网络的光系统节点的可重构光通信系统的另一个说明性实施方式。

[0013] 图7示出了可以在WDM无源光网络(PON)中采用的光系统节点的一个示例。

[0014] 图8示出与交换来自无源光网络(PON)的信号的不同光系统相关联的两个光系统节点。

[0015] 图9示出了基于全光2D MEMs的光空间交换机的一个示例。

具体实施方式

[0016] 图1图示了根据本文描述的主题的、用于光通信或传输网络的分层架构10的一个示例,其可以被配置为传输波分复用(WDM)业务。根据实施方式,相较于图1所图示的那些光网络和光互连,分层架构10可以包括附加的、更少的、或不同配置的光网络和光互连。在分层架构10内,所示的最低层——层1包括一个或多个接入网络12,每个接入网络12可以包括一个或多个接入子网络14-1、14-2、...14-K。每个接入子网14-N包括在环形结构、树结构、总线结构,网状结构、或其任何组合中经由光纤18互连的接入节点16。

[0017] 一般来说,每个接入节点16通信地耦合到一个或多个接入点20,诸如远程办公楼、住宅区等。例如,在每个接入点20处部署一个或多个光模块,诸如光网络单元(ONU)。

[0018] 通信地耦合到接入点20中的一个或多个接入点,接入节点16聚合那些接入点20在其上传送上行链路业务的波长信道,并将聚合的波长信道放置到接入节点16形成的接入子网14-N上。类似地,接入节点16从接入子网14-N分出下行链路业务在其上被传送到接入点20的波长信道。

[0019] 接入网络12进而作为来自网络的上行链路WDM业务的终点(例如,将光接入网络信号转换为电信号,并且然后将其与去往相同城域网节点的其他接入信号进行汇合,然后将它们置于城域网光信道上)并将其聚合,并且将该所聚合业务布置在诸如层2处的城域网22的更高层的网络上。城域网22由多个互连的网络节点24形成——网络节点24有时被称为中心局(CO),并且城域网22传输多个接入网络的WDM业务。在这点上,每个网络节点24聚合来自它所连接的一个或多个接入网络的WDM业务,并将该所聚合的业务传输到城域网22中的中枢节点12。

[0020] 中枢节点12进而对从一个或多个网络节点24到可被称为区域网络(regional network) 26的较高层网络的波长信道进行路由。更具体地,中枢节点100对到多个服务侧节点(未示出)中适当的的一个的波长信道进行路由,多个服务侧节点例如商业服务边界路由器、住宅服务或移动服务宽带网络网关(BNG)、宽带远程接入服务器(BRAS)等。然后,服务侧节点将上行链路业务从波长信道路由到适当的目的地,诸如到内容服务器、回到接入网络、到互联网等。这样的服务侧节点路由可能须要向区域网络发送上行链路业务。区域网络26还由多个互连网络节点32形成,互连网络节点32将上行链路业务放置在层4处的长距离网

络(long haul network) 28上以用于区域间传输。下行链路业务以类似但反向的方式通过该网络传播。

[0021] 图1的光通信或传输网络中所示的各个光系统节点——诸如网络节点24和网络节点32可以包含可重构光分插复用器(ROADM:reconfigurable optical add/drop multiplexers),其是支持远程配置波长的全光子系统。ROADM允许通过节点插入、分出或快速路由业务(即,信道或波长),ROADM通常采用诸如波长选择性交换机、分路器和解多路复用器。

[0022] 图2中图示了可以用作接入节点16、网络节点24和/或网络节点32中的一个或多个的光系统节点的一个说明性示例。当然,本文描述的主题可以与广泛多种的不同光系统节点一起使用,并且不限于图2中呈现的特定示例。

[0023] 图2是基于多自由度的基于ROADM的光系统节点100(示出了四个网络自由度)的一个说明性示例的示意图。每个网络自由度耦合到一对光放大器102,其中输入连接到 $1 \times N$ 光扇入设备,例如功率分配器(PS:power splitter)或波长选择交换机(WSS) 104,并且输出连接到 $N \times 1$ 光扇出设备,即WSS 106。来自网络自由度1的输入端口108₁上的多路复用光信号分别经由PS/WSS 104选择性地引导至WSS 106,以及用于网络自由度2、3和/或4的相关联的输出端口110₂、110₃和/或110₄。以相同的方式,输入端口108₂、108₃和108₄(网络自由度2、3和4)上的多路复用光信号可以类似地路由到系统的其他网络自由度。输入端口108和输出端口110充当光系统节点100的线路端口。多个多路复用器/解多路复用器组件112₁、112₂、112₃、和112₄连接到WSS106和PS/WSS 104,以用于通过WSS 106和PC/WSS104将来自客户端侧端口的波长插入至每个网络自由度1、2、3和4/从每个网络自由度1、2、3和4分出。

[0024] 例如,图3a示出了在诸如如图1所示的任何网络的常规光网络中采用的一系列光系统节点310、320、330和340。如上所述,光系统节点均包括:一个或多个客户端侧端口或接口,其用于将客户端信号从客户端侧传输到节点;以及一个或多个光纤设施或线路侧端口或接口,其用于将信号通过光纤对315从节点传输到光网络的光纤设施或线路侧。光系统节点通过光网络的光纤设施彼此通信。

[0025] 在常规系统中,每个相应系统连接到固定的一组线路侧光纤。这些是硬连线物理连接,其需要断开并手动重新连接以便更改连接。虽然ROADM系统使得该系统内的光信号能够灵活地切换到连接至该系统的各个光纤,但它们无法改变物理光纤及其到系统的连接。此外,网络层内和跨网络层的每个系统只能通过终止信号并通过客户端侧接口发送信号来交换信号(在系统之间移动信号)。这实际上锁定了连接到每个系统的光纤设施,使得只有每个相应系统的信号可以在相应的光纤设施上传输。

[0026] 通常对于维护操作、灾难响应、或仅仅灵活的服务供应,人们希望能够修改光纤设施连接。例如,如果连接到特定系统的光纤被切断,则系统将需要附接到新的光纤设施。节点或办公室通常具有出入的数百或甚至数千的光纤,但是每个系统只能使用它连接的光纤。本文描述的系统和技术通过使用线路侧空间交换机并提供关键的信号监测、控制、和调节元件以实现连接不同系统的光纤设施的灵活切换来解决这个问题。此外,这些系统和技术不仅使得不同的系统能够共享和利用节点或办公室处可用的所有线路侧光纤设施,而且它们还使得不同类型的系统和不同网络层内的系统能够共享光纤设施。因此,例如来自PON接入系统的信号可以通过由ROADM城域系统使用的光纤设施传输。此外,这些连接可以在没

有物理和手动干预的情况下以编程和远程方式改变。

[0027] 图3b图示了在可重构光通信或传输系统中采用的图3a所示的光系统节点310、320、330和340的一个说明性实施方式,该可重构光通信或传输系统在光系统节点和光纤设施之间包含光空间交换机。特别地,光空间交换机360与光系统节点310相关联,光空间交换机350与光系统节点320相关联,光空间交换机370与光系统节点330相关联,光空间交换机380与光系统节点340相关联。每个光系统节点310、320、330和340具有带有光输入端口312和输出端口314的线路侧,该光输入端口312和输出端口314穿过相应光空间交换机,每个光系统节点310、320、330和340与相应光空间交换机相关联以连接到外部光纤设施。光空间交换机允许光信号从任何线路侧输入光纤路由到任何选择的线路侧输出光纤。

[0028] 当重配置外部光纤设施连接时,光损耗和信道配置从其目标值改变。为了根据需要补偿这些改变,一些实施方式可以引入连接到空间交换机的功能模块。功能模块是连接到光空间交换机并且其可以通过光空间交换机选择性地切换到光信号路径中以便执行信号调节和/或信号监测的设备。图4示出了除了光空间交换机之外还包含功能模块的可重构光通信系统的另一个说明性实施方式。在图3和图4以及随后的附图中,相似的元件由相似的附图标记表示。

[0029] 如图4所示,功能模块的一个特定示例是光放大器325,并且其执行的信号调节是用于向信号提供附加增益或功率的光放大。可采用的其它类型的功能模块是光功率控制器323,如图4所示其可以连接到光纤设施或线路侧上的空间交换机350、360、370和380中的一个或多个的输入和/或输出。光功率控制器测量光功率并将光功率调整到目标值。这样的监测器的一个实施方式是光电检测器,其接收在去往外部光纤设施的光纤上的信号的分接复制。光功率控制器的另一个实施方式是可变光衰减器,其可以在外部光纤设施连接之前且在监测器连接之前连接到空间交换机的输出。这样的光功率控制器可以与光放大器一起使用。

[0030] 在一些实施方式中,并入到光放大器325中的光功率监测器和控制可以用于执行与前述光功率控制器323相同的功能。此外,光放大器监测和控制——包括增益和输出功率控制——可以以与空间交换机内置或附接至其的光监测器和控制器的不同组合来使用。

[0031] 当发生网络重构时,可以调整光空间交换机以完全绕过光系统节点和/或通过附接到空间交换机的功能模块来传递信号。光功率控制用于将光纤设施上的光功率水平保持在其目标值。

[0032] 可以在典型的操作状况期间测量光纤设施中的每个光纤的输入和/或输出处的光功率水平。例如,当系统处于稳定、非告警或故障状态时,可以以定期(例如,一小时)间隔更新测量。每当对系统进行计划内的改变并且实现稳定操作时,也可以更新目标值。当重构光纤设施时,控制光纤设施信号功率的输入和/或输出以匹配针对被移动的信道集合所确定的已知最新的目标操作功率。为了实现这一点,底层光系统将执行其通常的瞬态或光功率控制响应以提供对信道的进一步精细调谐和调整。

[0033] 图5示出了在光系统节点320和330之间的光纤断开之后的图4的可重构光通信或传输系统。在该示例中,原始信号路径(点划线)被重构为通过上面的光系统节点310的信号路径(虚线)。如果重构的信道优先,则重构路径可以使用已经配置用于其他信道的光纤。一旦信号回到其原始路径上,该信号就将如原始配置这样来被插入和分出,除了信号质量监

测器327或光功率监测器可以被用于向系统提供用于控制的信息。

[0034] 在一些实施方式中,在重构之后的一段时间内,连续地调整在交换机重构中涉及的一个或多个光纤的输入和/或输出处的光功率水平。可以基于来自位于进行交换机重构的光系统节点下游的一个或多个信号质量监测器327的反馈来执行该调整。信号质量监测器327可以是在光纤断路下游的空间交换机处引入的光性能监测器(参见图5)。

[0035] 在一些实施方式中,信号质量监测器327可以使用用以检测重构的信道中的一个的接收机来获得前向纠错(FEC)输入错误读数(预FEC或预校正错误)。接收器可以位于重构信道处的下游。在某些情况下,基于下游信号质量参数的测量,此种功率调整可以使用基于信号质量参数的功率控制算法。功率控制调整可以限于指定的范围以考虑到最小和/或最大允许的功率电平、衰减电平、或增益电平。功率控制算法还可以使用无导数优化算法。

[0036] 除了改变光纤配置以实现不同的信号连接路径之外,可以在光系统节点处通过空间交换机引入信号组合、分离、和阻塞功能模块,以便组合或分离来自节点的不同输入和输出端口或插入和分出端口(add and drop ports)的信号。

[0037] 本文描述的可重构技术的原理可以用于连接来自两个不同的底层通信的光系统节点并且用于将来自一个系统的信号沿着先前被另一系统使用的路径发送。当来自一个系统的信号优先时,例如在紧急情境下,可以使用该功能,其中,重构的信号由紧急响应小组使用。

[0038] 在另一示例中,本文所描述的可重构技术的原理可以用于基于与电力电网相关的信息来改变光纤连接。例如,在灾难场景中,可以重构光纤连接以基于网络中不同节点处的区域中的可用电力来提供最大容量。此外,该光纤重构可以基于预测电力故障级联的算法。

[0039] 根据本发明的一个方面,光系统节点可以包括来自不同类型网络的节点,诸如ROADM网络和接入网络。例如,图6示出了光系统节点410、420和430,其是与系统A和其他光系统节点440和450相关联的基于ROADM的系统节点,所述光系统节点440和450是与系统B相关联的基于ROADM的系统节点。接入网络的示例包括无源光网络(PON)(例如,PON433、435和437)或点对点网络。在PON网络中,每个节点具有被分成N个复制的单个输出信号,其被发送到N个不同的最终用户或者光纤到路边节点(在到达最终用户之前终止光信号的节点-将信号转换成电信号或无线信号以将其发送给最终用户)。

[0040] 在最简单的情况下,PON网络中的光系统节点包括扇出设备,诸如一个或多个无源分路器或级联的无源分路器系列。例如,在诸如WDM PON的更复杂类型的PON中——,光系统节点可以采用附加的无源光部件。例如,图7示出了在WDM PON中的光系统节点500,其在由网络服务提供者操作的上游光线路终端(OLT)510和作为终端用户的服务接口的下游光网络单元(ONU)520之间提供连通性。光系统节点500包括通过光纤535耦合的两组多路复用器/解多路复用器(mux/demux)530和550。mux/demux 530可以是功率分配器(power splitter)、波长分配器(wavelength splitter)、或两者的组合。mux/demux550耦合到一个或多个阵列波导光栅(AWG)560,并且可以具有多分支光树配置。在仅存在单个AWG 560的情况下,mux/demux 550可以是可选的。每个AWG 560将来自最终用户的若干波长的信道多路复用到单个光纤(上游)上,并将单个光纤上的信号解多路复用成用于向最终用户(下游)传输的不同波长的各个信道。

[0041] 在一个实施方式中,来自ONU 520的一个或多个光纤连接到光空间交换机,并且光

空间交换机进而连接到AWG 560。此外然后,mux/demux 550连接到空间交换机,其然后连接到OLT 510。以这种方式,WDM PON信号可以被重构到不同的OLT或甚至到ROADM网络,其中,它们可以被传送到另一个中心局并且在完全不同的中心局处的OLT处终止。在降低最近节点处OLT的可用性的灾难或组件故障的事件中,可以使用此功能其它还可以用于可能需要暂时将连接移动到其他节点的维护操作或网络升级。

[0042] 在点对点的接入网络中,N个线路侧信号从接入网络节点连接到N个不同的最终用户或光纤到路边节点。当采用本文所描述的技术时,进入接入节点的所有接入网络线路侧光纤首先连接到光空间交换机(例如,图6中的光空间交换机415),然后光空间交换机连接到光接入网线路侧端口。

[0043] 绕过光接入节点,来自线路侧接入网络的光纤可以直接连接到基于ROADM的系统节点的线路侧端口。因此,取决于通信要求,可以在接入节点或基于ROADM的节点之间传输接入网络上的光信号。同样,作为接入网络的一部分的光纤可以由来自ROADM网络的信号使用,或者反之亦然。特别地,或者连接到最终用户或者连接到其他网络节点的光接入网络光纤可以通过利用光空间交换机切换连接来由ROADM网络使用。在这种情况下,接入光纤可以用于形成高容量接入干线或作为ROADM网络的备份路径。

[0044] 图8示出了图6的光系统节点430和450,其分别与系统A和B相关联。在该示例中,要发送到PON 433的OLT的来自ONU 445的信号被切换到系统A的光系统节点430,以用于滤波并传输到系统B的相邻节点450,在那里它被分出到PON 437的OLT。系统A和B中基于ROADM的节点将PON信号视为直通信道,并且ROADM WSS中的滤波防止其干扰其他WDM信道。替选地,PON信号可以切换到节点之间的自由光纤,并简单地直接传送到下一个节点。即,自由光纤独立于基于ROADM的系统,并且穿过该光纤的信号不经放大或其他处理。这可能是有用的,例如,在PON信号的波长与ROADM系统不兼容并且它不需要放大到达下一个节点的情况下。

[0045] 应当注意,本文所述的光纤连接可以是单向单光纤连接、双向单光纤连接、或例如图3-6所示的双向双光纤连接的任何组合。

[0046] 本文描述的光空间交换机可以采用任何合适的技术,其允许不同的光信号沿着通过交换机的不同路径从输入端口路由到不同的被选输出端口。可采用的示例性全光交换技术包括但不限于光机交换技术、光微机电(MEMs)交换技术、电光交换技术、热光交换技术、液晶交换技术、气泡交换机技术、声光交换技术和半导体光放大器交换技术。

[0047] 简而言之,光机交换可以由棱镜、移动光纤、和反射镜执行。光MEMs交换可以以机械、光和电的方式执行。基于MEMS的交换机可以是二维(2D)或三维(3D)识别。在2D MEMS交换机中,每个反射镜具有与两个不同位置(开或关)相对应的两种可能状态。在基于3D MEMS的交换机中,针对每个输入和输出端口存在专用的可移动镜。电光交换可以通过向基板施加电压,从而改变基板折射率来执行。热光交换可以通过改变材料的温度以改变其折射率来执行。基于液晶的交换可以通过施加电场以重新定向材料内的液晶分子以改变入射光束的偏振来执行。气泡交换可以通过加热和冷却含有液体的基板来进行。气泡将光偏折到输出端口。声光交换可以通过材料中的光和声音或振动波的相互作用来执行,其使得光的正交偏振分量彼此互换。半导体光放大器交换可以通过向半导体材料施加电压来执行,使该材料从吸光到透明或甚至光放大来变化,从而实现开关功能。

[0048] 图9示出了使用简单的纵横交换架构的基于2D MEMs的光空间交换机的一个示例。

输入端口和输出端口从1-4和a-d来分别标记。MEMs设备600的各个反射镜可以由它们的行和列位置表示。处于开状态的反射镜ij将光信号从输入端口i反射到输出端口j。在图9的示例中,反射镜1d、2b、3c和4a处于开状态。因此,来自输入端口1、2、3和4的光信号被示为交换到输出端口d,b,c和a。尽管图9中所图示的基于2D MEMs的光交换机采用纵横交换结构,但应当注意在备选方案中也可采用更复杂的交换架构。

[0049] 在上面的讨论中,图2-6中所图示的光系统节点被称为同时具有用于传输客户端侧信号的一个或多个客户端侧端口和用于传输线路侧信号的一个或多个线路侧端口。光系统节点通常执行各种类型的信号处理,以将信号从客户端侧信号变换到线路侧信号,并且反之亦然。这样的信号处理可以将信号在由客户端侧信号采用的各个协议和线路侧信号采用的协议之间变换。作为示例而不是对本文描述的主题的限制,将呈现说明性的信号处理方法,其可以在一些实施方式中用于将客户端侧信号变换为线路侧信号。当然,不同类型的光网络中的不同类型的光系统节点可以执行不同类型的信号处理,并且本文描述的技术不应被解释为限制本文所描述的主题。

[0050] 例如,客户端侧可以传输符合诸如以下的协议的客户端信号:同步光网络(SONET)、同步数字体系(SDH)、异步传输模式(ATM)、光传输网络(OTN)、以太网、互联网协议(IP)、多协议标签交换(MPLS)、存储协议(例如光纤信道(FC))、企业系统连接(ESCON)、光纤连接(FICON)、数字视频传输、或其组合。客户端侧可以以包括8千兆位每秒(Gbps)、10Gbps、40Gbps、和100Gbps的任何传输速率操作。在一些情况下,一个网络层的客户端侧信号将是下一网络层的线路侧信号。在其他情况下,一层的客户端侧信号将是连接到下一层的客户端侧信号的短距离接口,并且线路侧信号与客户端侧信号完全分离。

[0051] 线路侧可以以包括光传送单元(OTU)、OTUk、OTUkV、OTUkeV、和OTUkfV的传输速率的任何传输速率操作,其中,k可以包括1、2、3、和4作为用于指示所支持的比特率的示例。

[0052] 在可以被执行以在客户端侧信号被光系统节点接收之后将客户端侧信号变换为线路侧信号的一系列步骤的一个示例中。包含在客户端侧信号中的传入数据被透明地映射到另一种形式的数据,而无需考虑传入数据拆分。该映射过程可以包括数据的代码转换。接下来,客户端侧信号可以异步地映射到异步映射帧。除其他以外,异步映射可以将客户端时序与线路时序解耦。在经历异步映射之后,可以为异步映射帧生成纠错冗余。最后,生成包括客户端数据、开销(例如,与操作管理和维护功能相关的信息)和冗余的输出帧。可以相反地执行类似的过程以将线路侧信号变换为客户端侧信号。线路侧光空间交换机还可以被配置为将线路侧信号交换到合适的电子服务交换机,以便将它们转换为适当的客户端侧信号格式。通过将特定客户端侧端口连接到光空间交换机,这些信号然后可以被重新引入到线路侧,以便通过另一个网络层进行传输以连接到该节点处的另一个系统或网络。

[0053] 光系统节点及其相关联的光空间交换机的配置可以在节点的地点处本地控制或者远程(例如,在中心局等处)控制。为此目的,可以采用一个或多个控制器或处理器来处理计算机可执行指令以控制它们的操作。可使用任何计算机可读存储介质——诸如任何合适类型的存储器——来提供计算机可执行指令。

[0054] 如本文所使用,术语“存储器”可以表示用于存储数据的一个或多个设备,包括只读存储器(ROM)、随机存取存储器(RAM)、磁RAM,磁芯存储器、磁盘存储介质、光存储介质、闪存设备、或用于存储信息的其它计算机可读存储介质。术语“计算机可读存储介质”包括但

不限于便携式或固定存储设备、光存储设备、无线信道、SIM卡、其它智能卡、以及能够存储、包含、或携带指令或数据的各种其它介质，然而，计算机可读存储介质不包括例如传播信号的暂时形式的存储。

[0055] 在前面的描述中，参照本发明的具体示例实施例描述了本发明的示例方面。因此，说明书和附图被认为是说明性的而不是限制性的。然而，显而易见的是，在不脱离本发明的更广泛的精神和范围的情况下，可以以计算机程序产品或软件、硬件、或其任何组合对其进行各种修改和改变。

[0056] 此外，应当理解，突出本发明的功能和优点的附图仅出于说明的目的而呈现。本发明的示例方面的架构是足够灵活和可配置的，使得其可以以不同于附图中所示的方式来利用(和操纵)。

[0057] 虽然在某些具体示例实施例中描述了本文的示例方面，但是许多附加的修改和变化对于本领域技术人员将是显而易见的。因此，应当理解，本文的示例实施例可以以除具体描述以外的方式实施。因此，本示例性实施例再次应在所有方面被认为是说明性的而非限制性的。

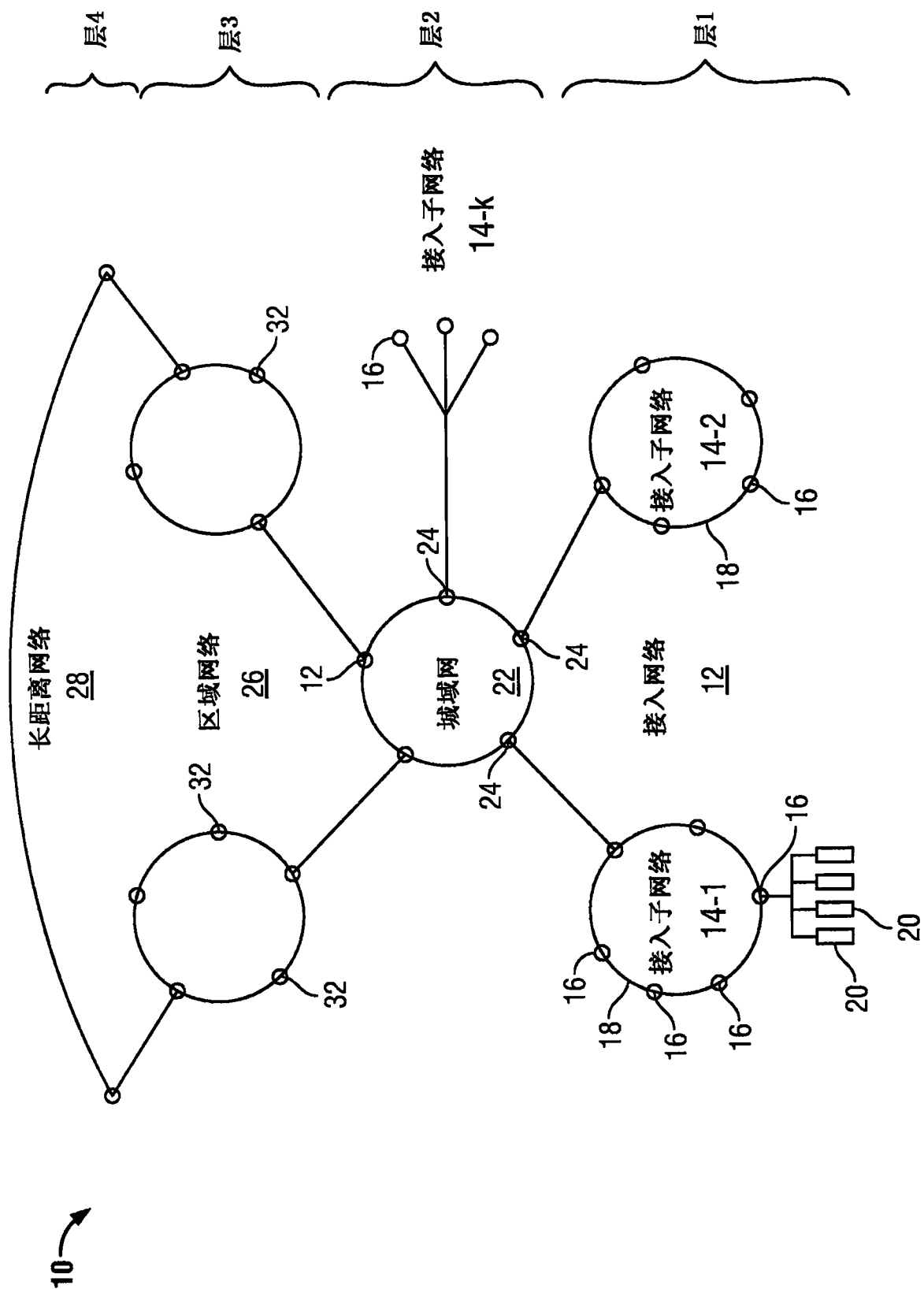


图 1

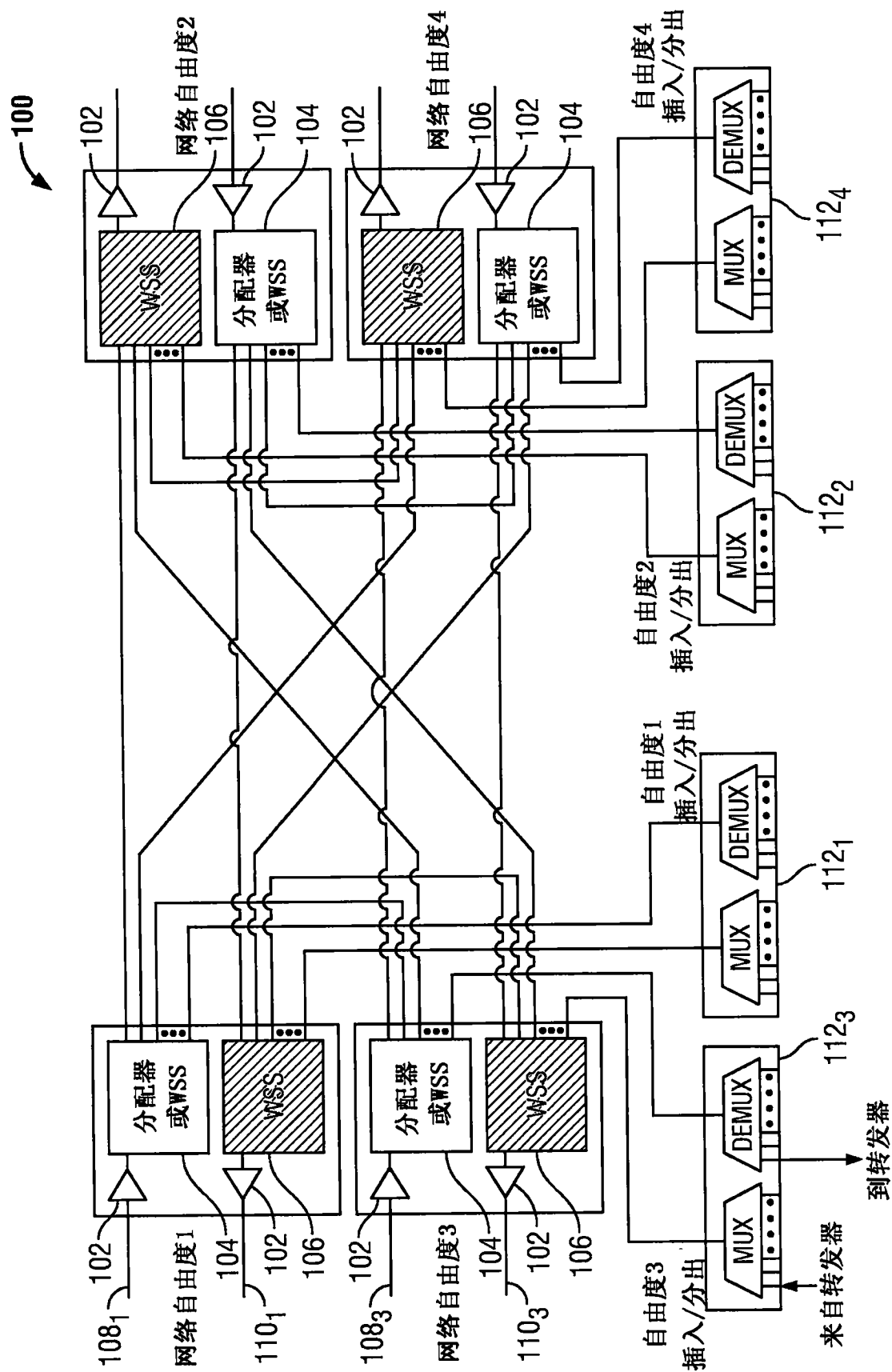


图2

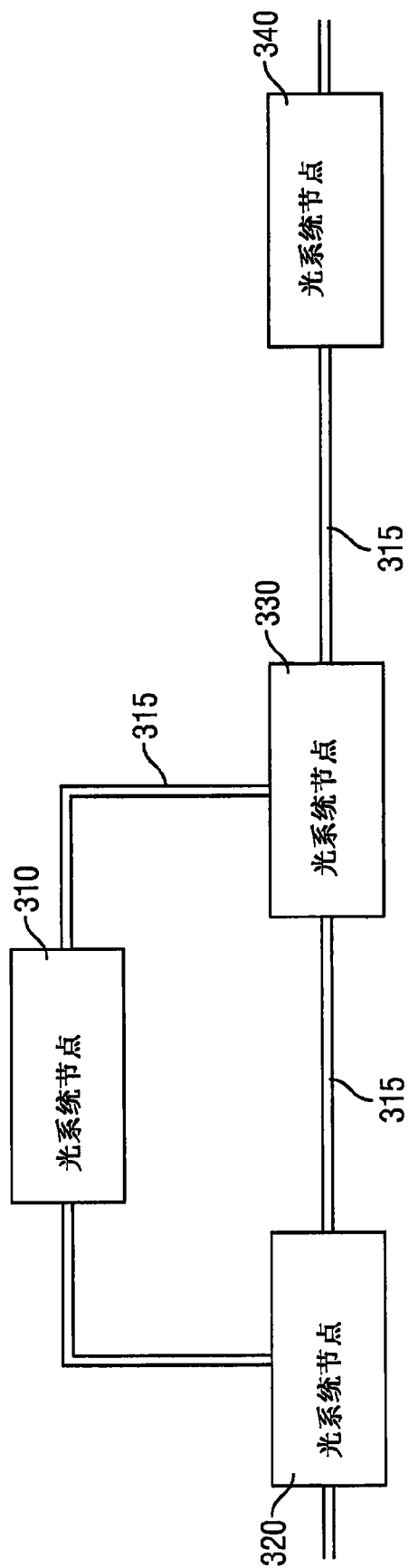


图3A

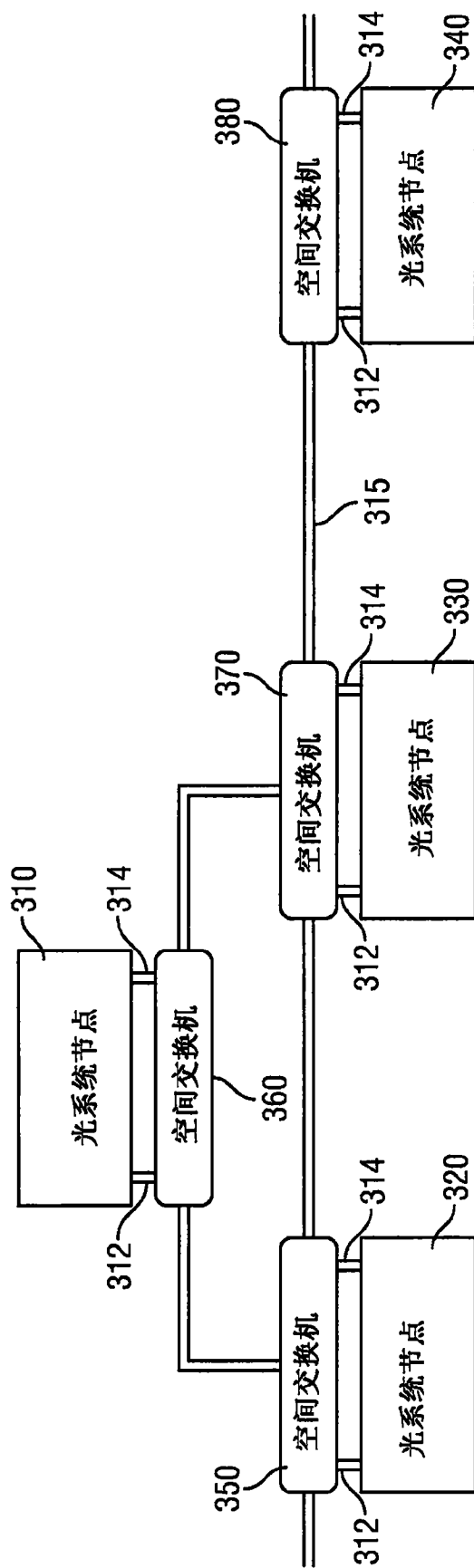


图3B

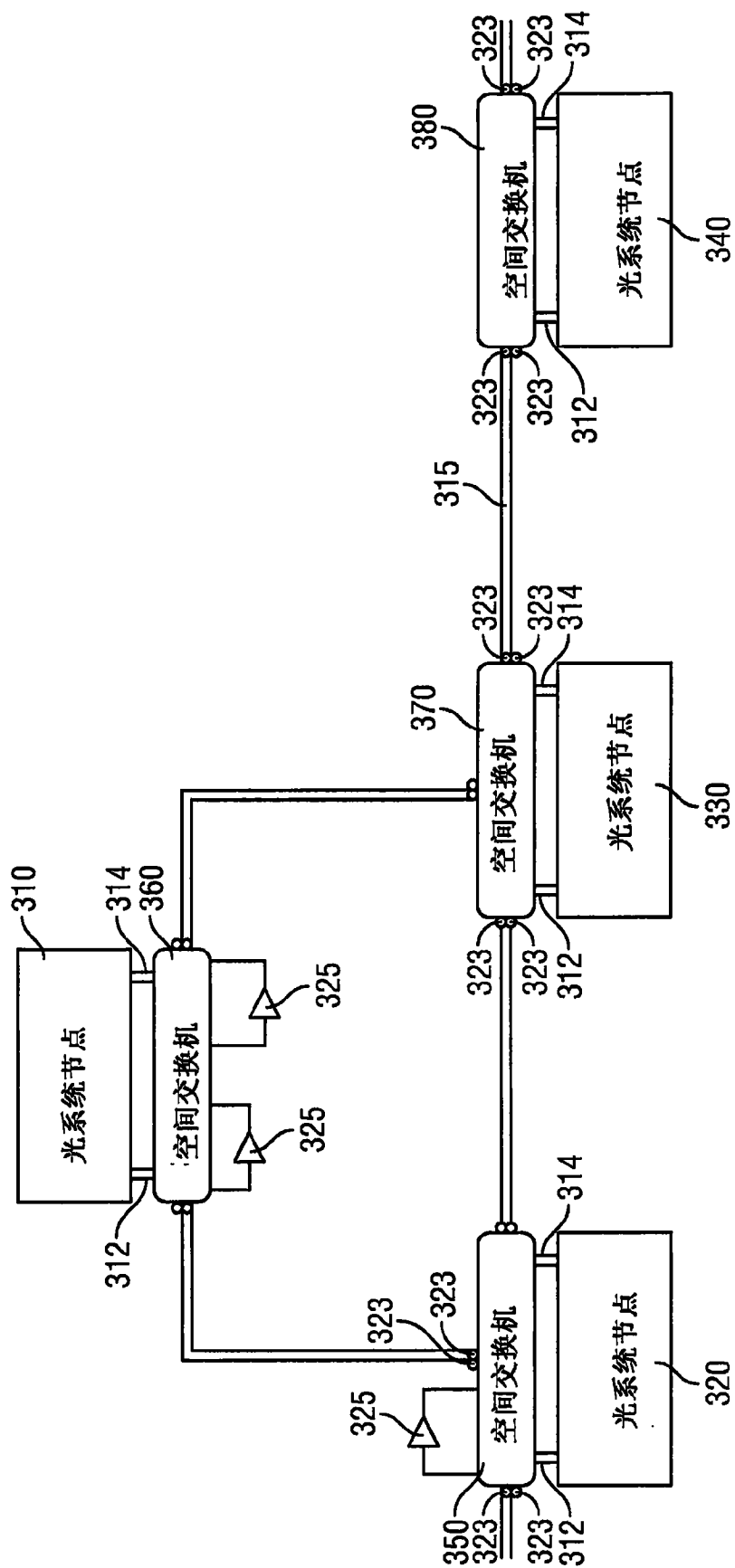


图4

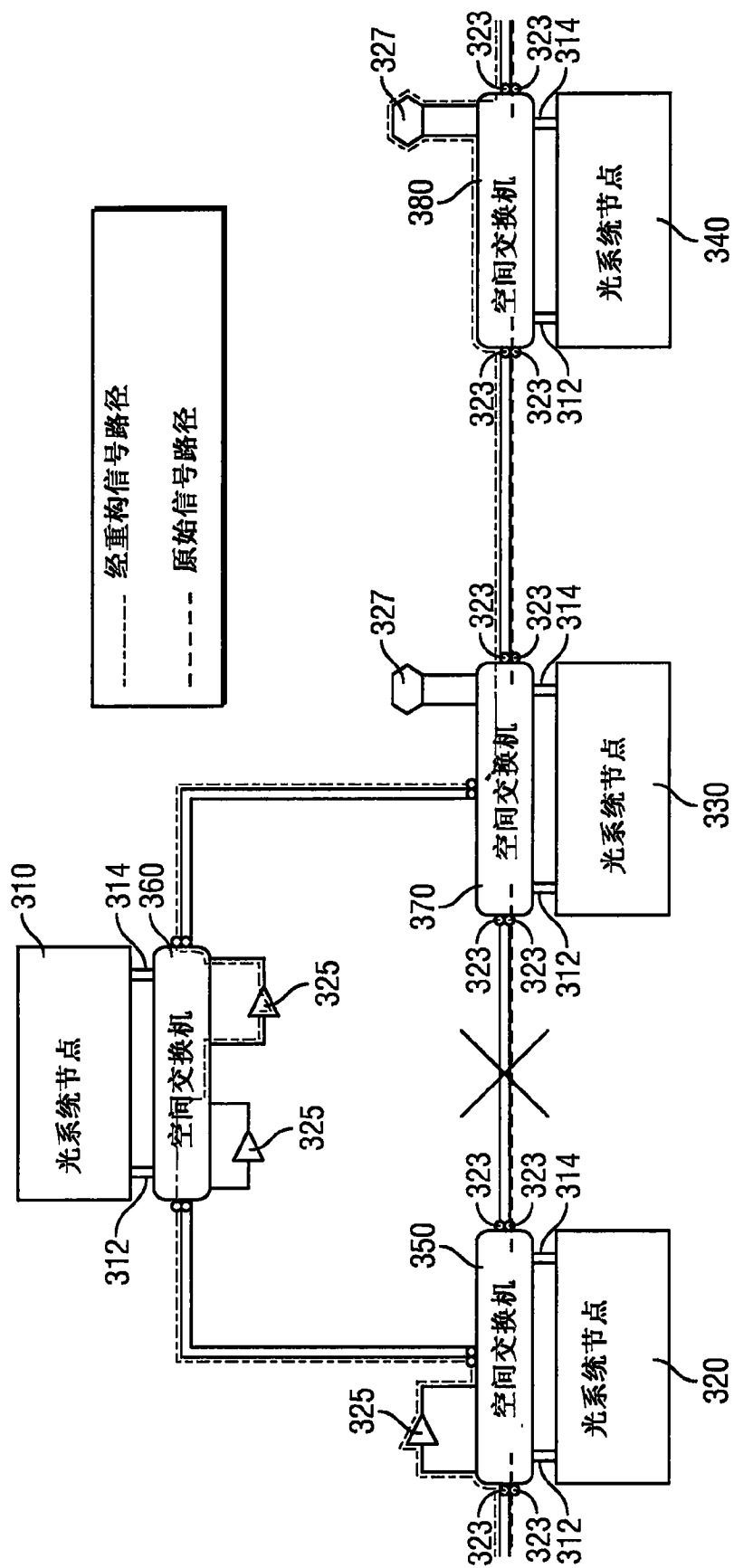


图5

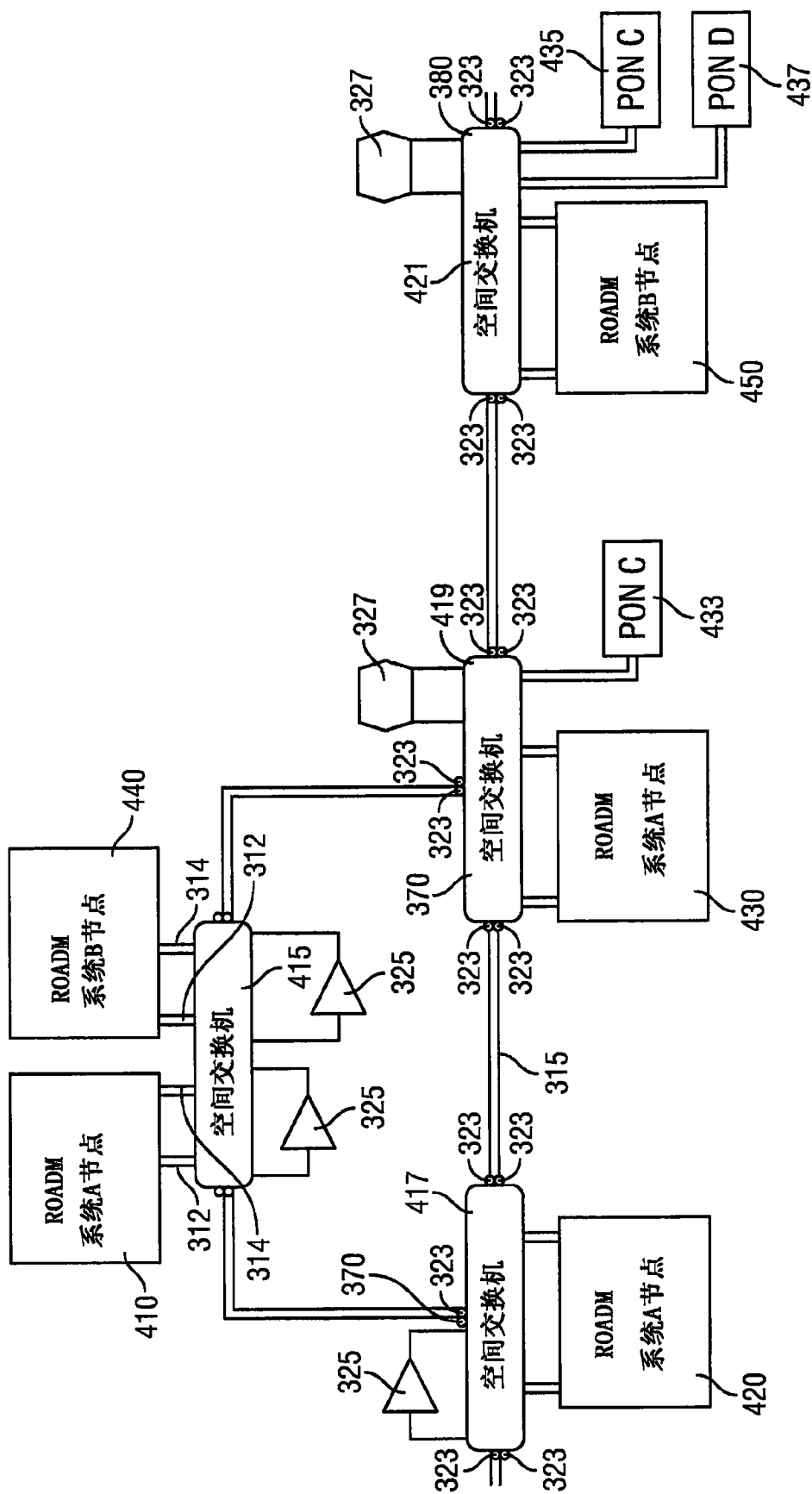


图6

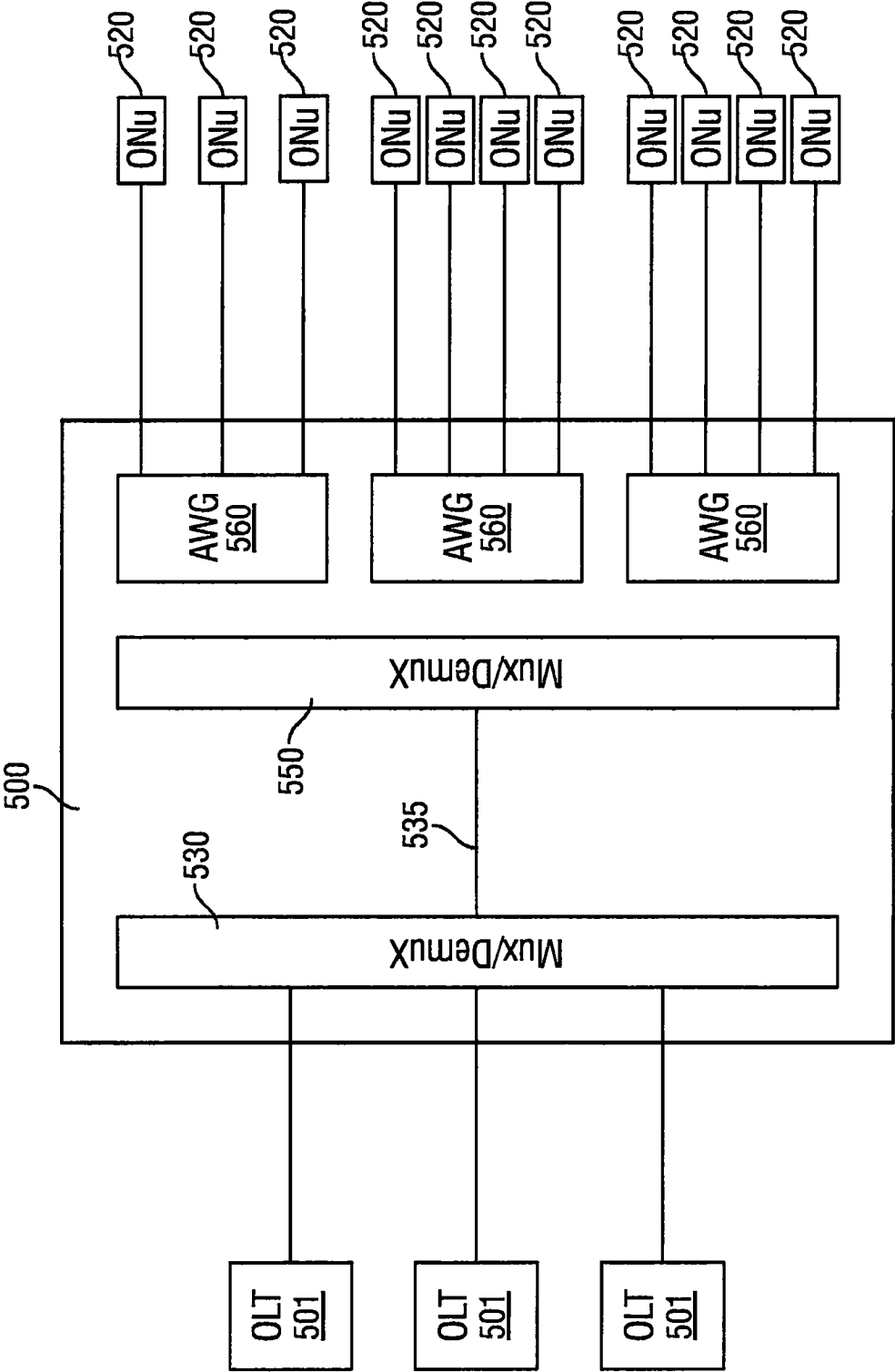


图7

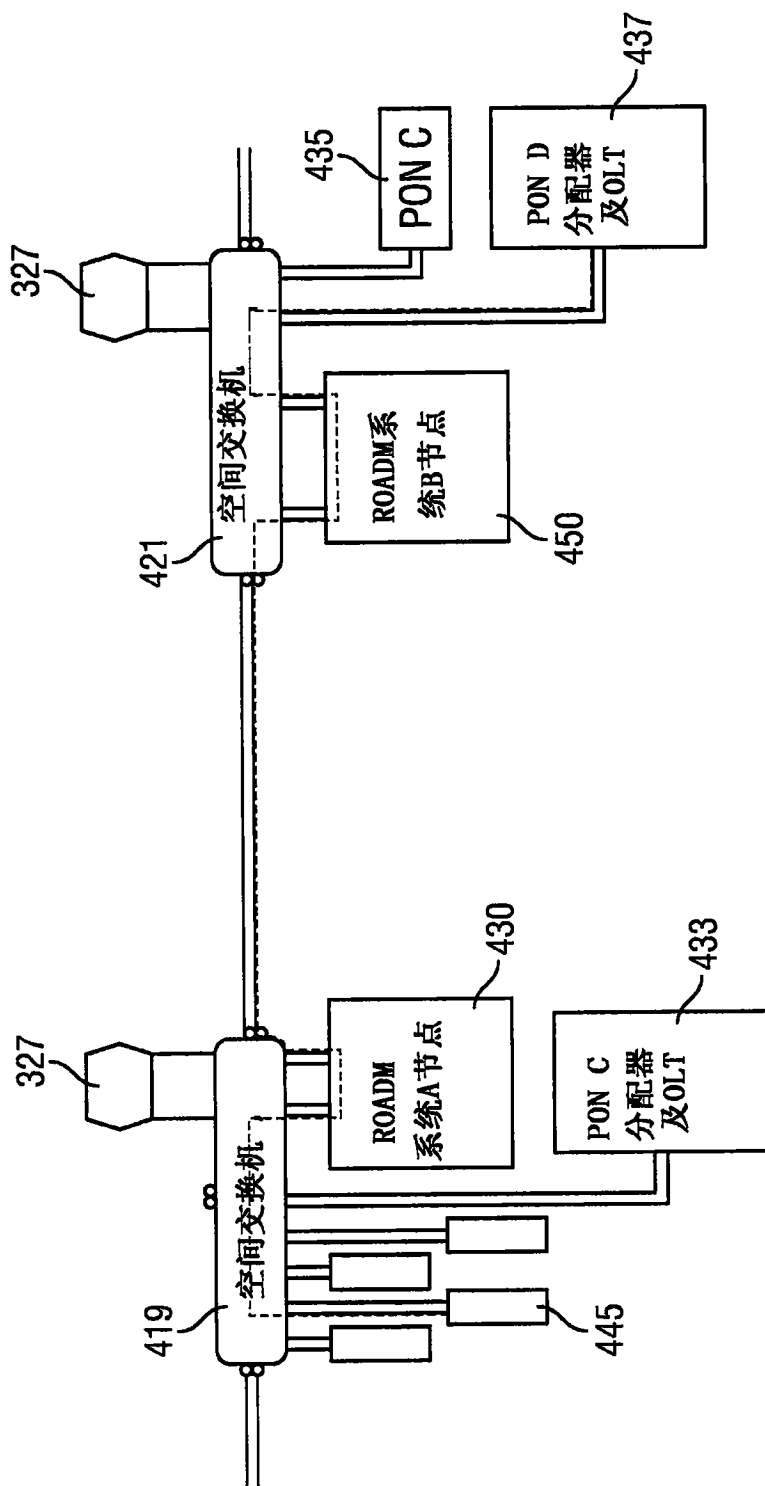


图8

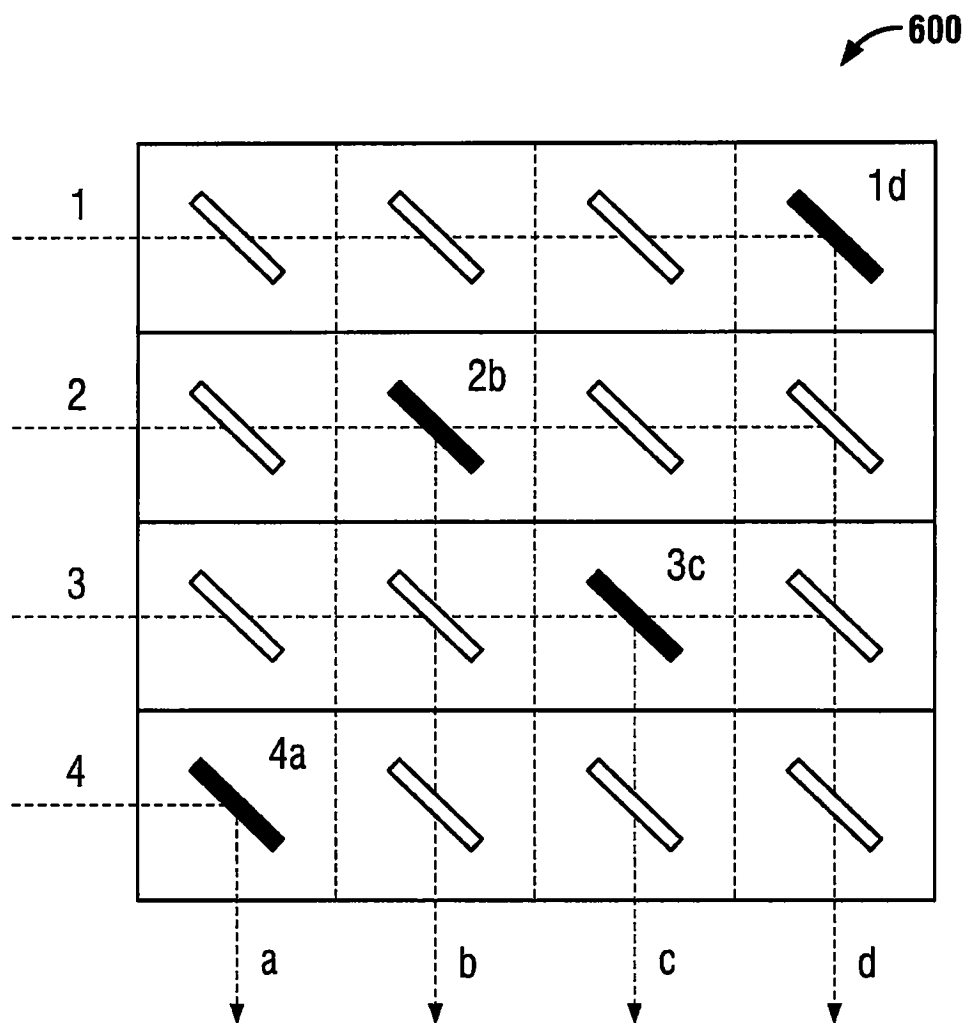


图9