[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
*H04J 14/02 (2006.01)*
*H04B 10/158 (2006.01)*
*H04L 27/22 (2006.01)*

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02813625.X

[45] 授权公告日 2009 年 2 月 11 日

[11] 授权公告号 CN 100461660C

[22] 申请日 2002.5.9 [21] 申请号 02813625.X

[30] 优先权

[32] 2001.5.10 [33] US [31] 09/853,316

[86] 国际申请 PCT/IB2002/001589 2002.5.9

[87] 国际公布 WO2002/091645 英 2002.11.14

[85] 进入国家阶段日期 2004.1.6

[73] 专利权人 富士通株式会社

地址 日本神奈川县川崎市

[72] 发明人 T·霍施达 H·奥纳卡

[56] 参考文献

WO0122627A 2001.3.29

EP0381341A2 1990.8.8

审查员 陈 沛

[74] 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

代理人 李 辉

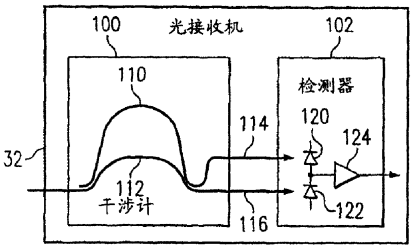
权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 7 页

[54] 发明名称

# 用于多路分解非强度调制的波分复用信号的方法和系统

[57] 摘要

用于多路分解非强度调制的波分复用(WDM)信号的方法和系统，包括接收具有多个非强度调制的光信息信号的 WDM 信号。只要多个非强度调制的光信息信号被复用在 WDM 信号的至少一部分中，多个非强度调制的光信息信号就被转换成为强度调制的信号。



1．一种用于多路分解非强度调制的波分复用信号的方法，包括：

接收具有多个非强度调制的光信息信号的波分复用信号；以及

只要所述多个非强度调制的光信息信号被复用在波分复用信号的至少一部分中，就将多个非强度调制的光信息信号转换成为强度调制的信号，所述多个非强度调制的光信息信号是通过使用非对称马赫-曾德干涉计来转换的，所述非对称马赫-曾德干涉计包括与波分复用信号的信道间隔或该信道间隔的整数倍数相符的自由频谱范围。

2．根据权利要求1所述的方法，还包括在第一级多路分解之前，将波分复用信号的所有非强度调制的光信息信号同时转换成为强度调制的信号。

3．根据权利要求1所述的方法，其中多个非强度调制的光信息信号包括来自波分复用信号的一组部分多路分解的信号。

4．根据权利要求1所述的方法，其中波分复用信号包括一个最小信道间隔，该最小信道间隔具有在所述整数倍数的0.4到0.6范围内的波分复用信号的符号速率的倍数。

5．根据权利要求4所述的方法，其中最小信道间隔为所述整数倍数的0.5内的符号速率的倍数。

6．根据权利要求1所述的方法，还包括：

使用至少一个波长交织器将波分复用信号分离成为多个部分多路分解的信号；以及

使用一个非对称马赫-曾德干涉计在每组中同时转换非强度调制的光信息信号。

7．一种用于多路分解非强度调制的波分复用信号的系统，包括：

用于接收具有多个非强度调制的光信息信号的波分复用信号的装置；以及

用于只要所述多个非强度调制的光信息信号被复用在所述波分复用信号的至少一部分中，就将多个非强度调制的光信息信号转换成为强度

调制的信号的装置，所述多个非强度调制的光信息信号是通过使用非对称马赫-曾德干涉计来转换的，所述非对称马赫-曾德干涉计包括与波分复用信号的信道间隔或该信道间隔的整数倍数相符的自由频谱范围。

8．根据权利要求 7 所述的系统，还包括在第一级多路分解之前同时将波分复用信号的所有非强度调制的光信息信号转换成为强度调制的信号的装置。

9．根据权利要求 7 所述的系统，其中多个非强度调制的光信息信号包括来自波分复用信号的一组部分多路分解的信号。

10．根据权利要求 7 所述的系统，其中波分复用信号包括一个最小信道间隔，该间隔具有一个整数倍数的 0.4 到 0.6 范围内的波分复用信号的符号速率的倍数。

11．根据权利要求 10 所述的系统，其中最小信道间隔为所述整数倍数的 0.5 内的符号速率的倍数。

12．根据权利要求 7 所述的系统，还包括：

用于使用至少一个波长交织器来把波分复用信号分离成为多个部分多路分解的信号的装置；以及

用于使用一个非对称马赫-曾德干涉计来同时在每组中转换非强度调制的光信息信号的装置。

13．一种用于光接收机的多路分解器，包括：

一个非对称马赫-曾德干涉计，可操作来接收具有多个非强度调制的光信息信号的波分复用信号，并且只要非强度调制的光信息信号被复用在波分复用信号中，就将非强度调制的光信息信号转换成为强度调制的光信息信号，其中所述干涉计具有与波分复用信号的信道间隔或该信道间隔的整数倍数相符的自由频谱范围；以及

多个多路分解元件，每个可操作来将接收的一组强度调制的光信息信号分离成为多个信号，每个信号具有至少一个强度调制的光信息信号。

14．根据权利要求 13 所述的多路分解器，其中多路分解元件包括马赫-曾德干涉计。

# 用于多路分解非强度调制的波分复用信号的方法和系统

## 技术领域

本发明总体上涉及光通信系统，更具体而言，本发明涉及用于多路分解非强度调制的波分复用（WDM）信号的方法和系统。

## 背景技术

电信系统、电缆电视系统以及数据通信网使用光网来在远程点之间快速传送大量信息。在光网中，信息以光信号形式通过光纤传送。光纤是能够在长距离上损耗很小地传输信号的窄束玻璃。

光网通常采用波分复用（WDM）来提高传输容量. 在 WDM 网络中，在每根光纤中以完全不同的波长承载多个光信道。由于在每根光纤中有多个波长或者信道，所以网络容量提高了.

信号能够在 WDM 或其它光网中传输的最大距离受到与光纤相关联的吸附作用、散射和其它损耗的限制。采用基于差分相移健控的比特同步强度调制的信号编码方案已经被建议来抑制由自相位（self-phase）调制（SPM ）、交叉相位（cross-phase）调制（XPM）和光纤中的群速离差（GVD ）引起的降级。在该方案中，使用一个相位调制器来用数据调制来自激光器二极管的输出，以便产生一个光差分相移健控( DPSK)信号，随后使用一个强度调制器来用一个时钟重新调制该信号。不过，在光接收机中，重新调制的 DPSK 信号必须被解调并且转换成为强度调制的信号用于检测。这种用于每个信道的电路是体积大且昂贵的。

## 发明内容

本发明提供用于多路分解非强度调制的波分复用（WDM）和其它多信道信号的方法和系统，它大大减小或者消除了与先前的系统和方法相关联的问题和缺点。在一个特定实施例中，多个信号的相位、频率或其

它非强度调制特性被一起转换成为强度调制的信号，从而减小接收机的尺寸和成本。

根据本发明的一个实施例，用于多路分解非强度调制的波分复用( WDM)信号的方法和系统包括接收具有多个非强度调制的光信息信号的 WDM 信号。在所述多个非强度调制的光信息信号被复用在 WDM 信号的至少一部分中时，多个非强度调制的光信息信号被转换成为强度调制的信号。

更具体地，根据本发明的一个特定实施例，可以使用一个非对称马赫-曾德干涉计来将非强度调制的光信息信号转换成为强度调制的信号。在这个实施例中，马赫-曾德干涉计可以具有一个与 WDM 信号的信道间隔或信号的整数倍数相符的自由频谱范围。

本发明还涉及一种用于多路分解非强度调制的波分复用信号的系统，包括：用于接收具有多个非强度调制的光信息信号的波分复用信号的装置；以及用于只要所述多个非强度调制的光信息信号被复用在所述波分复用信号的至少一部分中，就通过一个具有与波分复用信道间隔或其整数子倍数一致的自由频谱范围的干涉计将多个非强度调制的光信息信号转换成为强度调制的信号的装置。

本发明还涉及一种用于光接收机的多路分解器，包括：一个格式转换器，可操作来接收具有多个非强度调制的光信息信号的波分复用信号，并且只要非强度调制的光信息信号被复用在波分复用信号中，就将非强度调制的光信息信号转换成为强度调制的光信息信号，其中所述格式转换器是具有与波分复用信道间隔或其整数子倍数一致的自由频谱范围的干涉计；以及多个多路分解元件，每个可操作来将接收的一组强度调制的光信息信号分离成为多个信号，每个信号具有至少一个强度调制的光信息信号。

本发明的技术优点包括用于多路分解非强度调制的波分复用( WDM)信号的改进的方法和系统。在一个特定实施例中，同时并且在同一个芯片中将多个相位、频率或其它非强度调制的信号转换成为强度调制的信号。因此，系统的尺寸和成本被减小。

本发明的一个或多个实施例的其它技术优点包括提供一个用于多重调制信号的改进的多路分解器．特别地，同时在同一个芯片中将多重调制的 WDM 信号多路分解且转换成为多个强度调制的信号。因此，系统的部件数和费用被减小。

通过下面的附图、描述以及所附的权利要求，本发明的其它技术优点对于本领域技术人员来说是显而易见的。

附图说明

为了更完整地理解本发明及其优点，结合附图来进行以下描述，在附图中，类似的数字表示类似的部件，其中：

图 1 中的框图说明根据本发明的一个实施例使用分布式放大的光通信系统；

图 2 中的框图说明根据本发明的一个实施例的图 1 中的光发射机；

图3A-C说明根据本发明的若干实施例在图1的光通信系统中传输的非强度调制的信号；

图 4 中的框图说明根据本发明另一个实施例的图 1 的光发射机；

图 5 说明根据本发明一个实施例的图 4 的光发射机产生的光波形；

图 6 中的框图说明根据本发明一个实施例的图 1 的光接收机；

图 7 说明根据本发明一个实施例的图 6 的非对称马赫一曾德(Mach-Zender)干涉计的频率响应；

图 8A-C 中的框图表示根据本发明若干实施例的图 1 的多路分解

器；

图 9 中的流程图说明根据本发明一个实施例在使用分布式放大的光通信系统上传送数据的方法；

图 10 中的框图表示根据本发明一个实施例使用分布式放大的双向光通信系统；

图 11 中的框图表示根据本发明另一个实施例的图 1 的光发射机和接收机；

图 12 中的框图表示根据本发明一个实施例的图 11 的调制器；

图 13 中的流程图说明根据本发明一个实施例基于接收机侧的信息来调整光信号的调制深度的方法；

图 14 中的框图说明根据本发明一个实施例在信息信道中分配时钟信号的光通信系统；以及

图 15 中的框图说明根据本发明一个实施例从被调制的信号中提取时钟信号的光接收机。

具体实施方式

图 1 说明根据本发明一个实施例的光通信系统 10。在这个实施例中，光通信系统 10 是一个波分复用（WDM）系统，其中在一个公共路径上以完全不同的波长来承载多个光信道。应当理解，光通信系统 10 可以包括其它合适的单独信道、多信道或者双向传输系统。

参见图 1，WDM 系统 10 包括由一条光链路 16 耦合在一起的在源端点的 WDM 发射机 12 以及在目的地端点的 WDM 接收机 14。WDM 发射机 12 通过光链路 16 在多个光信号或者信道中将数据发射到远程定位的 WDM 接收机 14。选择信道之间的间隔以便避免或者最小化相邻信道之间的串话。在一个实施例中，如下面更详细描述的，最小信道间隔（df）包括一个整数（N）的 0.4 到 0.6 内的传输符号和/或比特率（B）的倍数。数学上表达为：$(N+0.4)B<df<(N+0.6)B$。这个抑制了相邻信道串话。应当理解，在不偏离本发明范围的情况下，可以适当改变信道间隔。

WDM 发射机 12 包括多个光发射机 20 和 WDM 复用器 22。每个光发射机 20 在信道间隔上的一组不同的波长 $\lambda_1$，$\lambda_2$... $\lambda_n$ 中的一个波长上产生光信息信号 24。光信息信号 24 包括其至少一个特性被调制来编码音频、视频、文本、实时、非实时或者其它恰当数据的光信号。WDM

复用器 22 将光信息信号 24 复用到一个单独的 WDM 信号 26 中以便在光链路 16 上传输。应当理解，光信息信号 24 可以在其它情况下被适当地组合到 WDM 信号 26 中。WDM 信号在同步光网（SONET）或者其它恰当的格式中传输。

WDM 接收机 14 接收、分离和解码光信息信号 24，以便恢复所包括的数据。在一个实施例中，WDM 接收机 14 包括 WDM 多路分解器 30 和多个光接收机 32。WDM 多路分解器 30 从单独的 WDM 信号 26 中多路分解光信息信号 24，并且将每个光信息信号 24 发送到相应的光接收机 32。每个光接收机 32 从相应的信号 24 中光恢复或者电恢复被编码的数据。如这里所使用的，每个术语意味着被确定的条目的至少一个子集中的每一个。

光链路 16 包括光纤或者其它合适的介质，其中光信号可以低损耗地传输。一个或多个光放大器 40 沿着光链路 16 放置。光放大器 40 提高强度或者放大光信息信号 24 以及 WDM 信号 26，而不需要光电转换。

在一个实施例中，光放大器 40 包括离散放大器 42 和分布式放大器 44。离散放大器 42 包括稀土元素的氧化物掺杂光纤放大器，例如铒掺杂光纤放大器（EDFA），以及其它合适的可操作来在光链路 16 的一个点上放大 WDM 信号 26 的放大器。

分布式放大器 44 沿着延长的光链路 16 来放大 WDM 信号 26。在一个实施例中，分布式放大器 44 包括双向分布式拉曼（Raman）放大器（DRA）。每个双向 DRA 44 包括一个在放大器 44 的开端耦合到光链路 16 的前向或者共泵浦（co-pumping）源激光器 50 以及在放大器 44 的末端耦合到光链路 16 的后向或者相反泵浦（counter-pumping）源激光器 52。应当理解，共泵浦和相反泵浦源放大器 50 和 52 可以放大光链路 16 的不同的或者只是部分重叠的长度。

拉曼泵浦源 50 和 52 包括半导体或者能够产生泵浦光或者放大信号、能够放大包括一个、多个或所有被包括的光信息信号 24 的 WDM 信号 26 的其它合适的激光器。泵浦源 50 和 52 可以被去偏振、偏振扰频或者偏振复用，以便最小化拉曼增益的偏振灵敏度。

来自共泵浦激光器 52 的放大信号在 WDM 信号 26 的传播方向中被发射，因此与 WDM 信号 26 以基本上相同的速度和/或轻微或其它适当的速度失配来与 WDM 信号 26 共同传播。来自相反泵浦激光器 52 的放

大信号在与 WDM 信号 26 相对的传播方向中被发射，因此关于 WDM 信号 26 被相反地传播。放大信号同时地以相同或者其它合适的速度在相反的方向中传播。

放大信号包括以低于要被放大的一个或多个信号的波长的一个或多个高功率光或者波。随着放大信号在光链路 16 中传播，它在链路 16 中散射微粒，丢失对于微粒的一些能量并且以与被放大的一个或多个信号相同的波长继续。这样，放大的信号获得在许多英里或公里上的能量，这是因为它由更多的光子表示。对于 WDM 信号 26，共泵浦和相反泵浦激光器 50 和 52 中的每个可以包括若干不同的泵浦波长，它们被一起使用来放大波长不同的光信息信号 24 中的每一个。

在一个实施例中，如下面更详细描述的，一个载波信号的非强度特性在每个光发射机 20 中被利用数据信号调制。非强度特性包括相位、频率或其它合适的对于归因于来自前向泵浦分布式放大器或者双向泵浦分布式放大器的交叉增益调制（XGM）的串话没有敏感度或者具有有限敏感度的特性。还可以使用强度调制器利用时钟或者其它非数据信号进一步和/或重新调制非强度调制的光信息信号。因此，非强度调制的光信息信号可以包括非数据信号的强度调制。

在一个特定实施例中，如下面更详细描述的，WDM 信号 26 包括相位或频率调制的光信息信号 24，在没有信道 24 之间的归因于 XGM 的串话的情况下，所述光信息信号被使用双向 DRA 44 进行放大。在这个实施例中，双向 DRA 44 以较高的光信噪比提供放大，因此使得能够进行更长距离的传输以及提高传输性能。

图 2 说明根据本发明一个实施例的光发射机 20 的细节。在这个实施例中，光发射机 20 包括激光器 70、调制器 72 和数据信号 74。激光器 70 以具有良好波长控制的规定的频率产生一个载波信号。通常，由激光器 70 发射的波长被选择在 1500 毫微米（nm）范围内，在该范围中，对于基于二氧化硅的光纤来说产生最小的信号衰减。更特别地，通常将波长选择在 1310 到 1650nm 的范围内，但是也可以适当地改变。

调制器 72 利用数据信号 74 来调制载波信号，从而产生光信息信号 24。调制器 72 可以采用幅度调制、频率调制、相位调制、强度调制、幅移键控、频移键控、相移键控和其它恰当的技术来把数据信号 74 编码到载波信号上。此外，应当理解，不同的调制器 72 可以组合地采用

一个以上的调制系统。

根据一个实施例，调制器 74 利用数据信号 74 来调制载波信号的相位、频率或其它合适的非强度特性。如前所述，这产生非强度光信息信号 24，它对于归因于使用双向 DRA 或其它分布式放大的远程和其它传输系统中的 XGM 的串话具有差的敏感度。图 3A－C 中说明了载波、载波的频率调制和载波的相位调制的细节。

参见图 3A，载波信号 76 是在规定的波长上的完全周期的信号。载波信号 76 具有至少一个可以由调制来改变的特性并且能够通过调制来承载信息。

参见图 3B，载波信号 76 的频率被数据信号 74 调制，从而产生频率调制的光信息信号 78。在频率调制中，载波信号 76 的频率作为数据信号 74 的函数而被偏移。频移键控被使用，其中载波信号的频率在离散的状态之间偏移。

参见图 3C，载波信号 76 的相位被利用数据信号 80 调制，从而产生相位调制的光信息信号 82。在相位调制中，载波信号 76 的相位作为数据信号 80 的函数而被偏移。相移键控被使用，其中载波信号的相位在离散的状态之间偏移。

图 4 说明根据本发明另一个实施例的光发射机 80。在这个实施例中，数据被相位或者频率调制到载波信号上，然后被利用与信号时钟同步的强度调制进行重新调制，从而提供传输系统中的较高的功率容忍。

参见图 4，光发射机 80 包括激光器 82、非强度调制器 84 和数据信号 86。非强度调制器 84 利用数据信号 86 来调制来自激光器 82 的载波信号的相位或频率。所得到的数据调制的信号被传送到强度调制器 88 以便利用时钟频率 90 进行重新调制，从而产生双重调制或者多重调制的光信息信号 92。因为基于时钟的强度调制是非随机的完全周期的模式，所以只要在前向泵浦方向中只有轻微的速度失配，则由 DRA 44 产生归因于 XGM 的很少串话或者不产生串话。图 5 说明双重调制的光信息信号 92 的波形。

图 6 说明根据本发明一个实施例的光接收机 32 的细节。在这个实施例中，光接收机 32 接收多路分解的光信息信号 24，其中数据被利用相移键控而调制在载波信号的相位上。应当理解，在不偏离本发明范

围的情况下，光接收机 32 在其它情况下还可以被适当地配置来接收和检测被编码在光信息信号 24 中的数据。

参见图 6，光接收机 32 包括非对称干涉计 100 和检测器 102。干涉计 100 是非对称马赫－曾德或者其它合适的干涉计，可操作来将非强度调制的光信息信号 24 转换成为强度调制的光信息信号，以便由检测器 102 检测数据。优选地，马赫－曾德干涉计 100 具有对于信道间隔的波长依赖的损耗和良好的抑制特性。

马赫－曾德干涉计 100 将接收的光信号分离成为不同长度的两个干涉计路径 110 和 112，然后干涉地组合两个路径 110 和 112，从而产生两个互补的输出信号 114 和 116。特别地，光路径差（L）等于符号速率（B）乘以光速（c）并且被路径的光学指数（n）除。数学上表示为：L=Bc/n。

在一个特定实施例中，基于符号或者比特速率来调整两个路径长度 110 和 112 的尺寸，以便提供一个符号周期或者比特偏移。在这个实施例中，马赫－曾德干涉计 100 具有波长依赖的损耗，它在信道间隔包括如前所述的在一个整数的 0.4 到 0.6 内的符号传输速率倍数时，提高相邻信道的抑制。

检测器 102 是双重检测器或者其它合适的检测器。在一个实施例中，双重检测器 102 包括在一个平衡配置中串连连接的光电二极管 120 和 122 以及限幅放大器 124。在这个实施例中，来自马赫－曾德干涉计 100 的两个互补光输出端 114 和 116 施加到光电二极管 120 和 122，以便将光信号转换成为电信号。限幅电子放大器 124 根据干涉计 100 递送的光强度来将电信号转换成为数字信号（0 或 1）。在另一个实施例中，检测器 102 是具有一个耦合到输出端 116 的光电二极管 122 的单独检测器。在这个实施例中，输出端 114 不被使用。

图 7 说明根据本发明一个实施例的非对称马赫－曾德干涉计 100 的频率响应。在这个实施例中，信道间隔包括如前所述的在一个整数的 0.4 到 0.6 内的符号传输速率倍数。如所看到的，相邻信道的光频率被非对称马赫－曾德干涉计 100 自动抑制，以助于多路分解器 30 的信道抑制。应当理解，非对称马赫－曾德干涉计可以连同其它合适的信道间隔来被使用。

图 8A－C 说明根据本发明一个实施例的多路分解器 30 的细节。在

这个实施例中，在 WDM 接收机 14 的多路分解器 30 中并且/或在多路分解之前或在多路分解步骤之间，相位或频率调制的光信息信号 24 被转换成为强度调制光信息信号。应当理解，在不偏离本发明访问的情况下，多路分解器 30 在其它情况下还可以从 WDM 信号 26 中适当地多路分解和/或分离光信息信号 24。

参见图 8A，多路分解器 30 包括多个多路分解元件 130 和一个多信道格式转换器 131。每个多路分解元件 130 将接收到的一组信道 132 分离成为两组离散的信道 134。最终的信道分离由介质膜滤光片 136 执行，所述介质膜滤光片中的每一个具有一个特定的信道波长 138。

多信道格式转换器 131 将相位调制转换成为强度调制，并且可以是具有一比特偏移以便将非强度调制的信号转换成为强度调制的信号的如前所述的非对称马赫－曾德干涉计，或者是具有一个将至少两个相位或者频率调制的信道转换成为强度调制的 WDM 信号信道的周期光频率响应的恰当的光器件。强度转换干涉计可以在第一级多路分解元件 130 之前，在第一和第二级之间或者在其它合适的级之间。其它的多路分解元件 130 可以包括能够操作来把进入的一组信道 132 过滤成为两组输出信道 134 的过滤器或者非转换马赫－曾德干涉计。

在一个特定实施例中，多信道格式转换器 131 是具有与 WDM 信道间隔或者其整数子倍数一致的自由频谱范围的非对称马赫－曾德干涉计。这允许所有 WDM 信道在马赫－曾德干涉计中被同时转换。在这个实施例中，可以基于定义自由频率范围的信道比特率来配置信道间隔。在多路分解器 30 中放置强度－转换马赫－曾德干涉计使得不再需要在每个光接收机 32 中都需要干涉计 100，这是体积大并且昂贵的。此外，包括马赫－曾德的多路分解器 30 和其它多路分解器元件 130 可以构成在同一个芯片上，这减小了 WDM 接收机 14 的尺寸和成本。

参见图 8B，多路分解器 30 包括多个波长交织器 133 和用于由最后一级波长交织器 133 输出的每组交织的光信息信号的多信道格式转换器 135。每个波长交织器 133 将接收到的一组信道分离成为两组离散的交织的信道。多信道格式转换器 135 可以是具有一比特偏移以便将非强度调制的信号转换成为强度调制的信号的如上关于干涉计 100 描述的非对称马赫－曾德干涉计或者其它合适的光器件。在格式转换器前面使用波长交织器作为 WDM 多路分解的一部分允许若干 WDM 信道在一

个马赫－曾德干涉计中被同时转换，即使干涉计的自由频谱范围不与WDM信道间隔的整数倍数相一致。图8C说明对于使用波长交织器133的多路分解器30的一个特定实施例的四个马赫－曾德干涉计的传输，其中自由频率范围是四分之三的信道间隔。在这个实施例中，四个马赫－曾德干涉计可以用于转换所有的WDM信道。

图9说明根据本发明的一个实施例在使用分布式放大的光通信系统中传输信号的方法。在这个实施例中，数据信号被相移键控到载波信号上，并且在传输期间使用离散和分布式放大来放大所述信号。

参见图9，所述方法在步骤140中开始，其中每个不同的波长光载波信号的相位被利用数据信号74调制，从而产生光信息信号24。在步骤142，光信息信号24被复用到WDM信号26。在步骤143，WDM信号26被在光链路16上传输。

进入步骤144，使用离散和分布式放大沿着光链路16来放大WDM信号26。如前所述，可以使用EDFA 42在离散的点来放大WDM信号26并且使用双向DRA 44来分布式地放大WDM信号26。因为数据信号被调制到载波信号的相位上，所以消除了归因于前向泵浦放大的来自XGM的信道之间的串话。因此，信噪比被最大化，并且信号被在更长的距离上无再生地传输。

接下来，在步骤145，WDM信号26被WDM接收机14接收。在步骤146，WDM信号26被多路分解器30多路分解，从而分离出光信息信号24。在步骤147，相位调制的光信息信号24被转换成为强度调制的信号，从而在步骤148中恢复数据信号74。这样，数据信号74就被使用具有低比特噪声比的前向或双向泵浦分布式放大在长距离上传输。

图10说明根据本发明一个实施例的双向光通信系统150。在这个实施例中，双向通信系统150包括在光链路156的每个端上的WDM发射机152和WDM接收机154.WDM发射机152包括如前关于WDM发射机12所述的光发射机和复用器。同样，WDM接收机154包括如前关于WDM接收机14所述的多路分解器和光接收机。

在每个端点，WDM发射机和接收机组被路由设备158连接到光链路156。路由设备158可以是光循环器、滤光器或者光交织过滤器，能够允许外出业务量从WDM发射机152传送到链路156上并且将进入业务量从链路156路由到WDM接收机154。

光链路 156 包括双向离散放大器 160 和双向分布式放大器 162，其沿着链路周期地分隔。双向离散放大器 160 可以包括如前关于放大器 42 所述的 EDFA 放大器。同样，分布式放大器 162 可以包括 DRA 放大器，其包括如前关于 DRA 放大器 44 所述的共泵浦和相反泵浦激光器 164 和 166。

在操作中，WDM 信号被产生并且从每个端点发送到另一个端点，WDM 信号被从另一个端点接收。沿着光链路 156 的长度，使用双向泵浦的 DRA 162 放大 WDM 信号。因为没有以光强度的形式来承载数据，所以消除了归因于 XGM 的串话。因此，DRA 和其它合适的分布式放大可以在远程和其它合适的双向光传输系统中使用。

图 11 说明根据本发明另一个实施例的光发射机 200 和光接收机 202。在这个实施例中，光发射机 200 和光接收机 204 通信来微调调制用于光信息信号 24 的改进的传输性能。应当理解，在不偏离本发明范围的情况下，在其它情况下可以使用下游反馈来微调光信息信号 24 的调制。

参见图 11，光发射机 200 包括激光器 210、调制器 212 和如前关于激光器 70 描述地进行操作的数据信号 214、调制器 72 和数据信号 74。控制器 216 从下游光接收机 202 接收误码率或传输错误的其它指示，并且基于所述指示来调整调制器 212 的调制深度，以便减少和/或最小化传输错误。控制器 216 可以调整调制器 212 的幅度、强度、相位、频率和/或其它合适的调制深度，并且可以使用任何合适的控制回路或者单独或者连同其它特性为了最小化或者减小的传输错误率对调制进行调整的其它算法。因此，例如控制器 216 可以在光发射机 80 中调整非强度调制深度和周期的强度调制的深度，以便产生和优化多重调制的信号。

光接收机 202 包括如前关于干涉计 100 和检测器 102 描述地进行操作的干涉计 220 和检测器 222。前向纠错(FEC)解码器 224 使用 SONET 或其它帧或其它传输协议数据的头标、头标中的冗余、征兆或其它合适的比特或者其它部分来确定比特错误。FEC 解码器 224 纠正检测到的比特错误，并且将误码率或传输错误的其它指示符转发到用于光接收机 202 的控制器 226。

控制器 226 在光监控信道（OSC）230 上将误码率或者其它指示符

传送到光发射机 200 中的控制器 216。控制器 216 和 226 可以互相通信来在传输系统的启动或建立期间、在传输系统的操作期间周期地、在传输系统的操作期间连续地或者响应于预定义的触发器事件来微调调制深度。这样，基于在接收机中测量的接收到的信号质量来调整调制深度，以便最小化色散、非线性影响、接收机特性和系统的其它不可预测和/或可预测的特性。

图 12 说明根据本发明一个实施例的调制器 212 的细节。在这个实施例中，调制器 212 采用相位和强度调制来产生双调制的光信息信号。基于接收机侧的反馈来调整相位和强度调制深度，以便最小化传输错误。

参见图 12，调制器 212 包括耦合到电驱动器 232 的偏置电路 230，用于诸如相移键控的相位调制。偏置电路 230 可以是电源和电驱动器 232 宽带放大器。控制器 216 控制偏置电路 230 来输出一个偏置信号到电驱动器 232。偏置信号提供用于相位调制的指数。电驱动器 232 基于偏置信号来放大数据信号 214，并且将所得到的信号输出到相位调制器 234。相位调制器 234 把接收的偏置调整的数据信号调制到由激光器 210 输出的载波信号的相位上，以便产生一个相位调制的光信息信号 236。

对于诸如强度偏移键控的强度调制，调制器 212 包括一个耦合到电驱动器 242 的偏置电路 240。控制器 216 控制偏置电路 240 来输出一个偏置信号到电驱动器 242。偏置信号用作强度调制指数。电驱动器 242 基于偏置信号来放大网络、系统或其它合适的时钟信号 244，并且将所得到的信号输出到强度调制器 246。强度调制器 246 耦合到相位调制器 234 并且将接收的偏置调整的时钟信号调制到相位调制的光信息信号 236 上，以便产生双调制的光信息信号用于传输到接收机。应当理解，可以在其它情况下恰当地基于接收机侧的反馈来控制发射机中的相位和强度调制，以便最小化在光链路上的数据传输错误。

图 13 说明根据本发明一个实施例的使用接收机侧信息来微调光信息信号的调制深度的方法。该方法在步骤 250 开始，其中在光发射机 200 中利用数据信号 214 来调制光载波。接下来，在步骤 252，所得到的光信息信号 24 被在 WDM 信号 26 中发射到光接收机 202。

继续到步骤 254，在光接收机 204 中恢复数据信号 214。在步骤

256，FEC 解码器 224 基于 SONET 开销中的比特来确定数据的误码率。在步骤 258，光接收机 202 的控制器 226 在 OSC 230 上将误码率报告给光发射机 200 的控制器 216。

接下来，在判决步骤 260，控制器 216 确定调制是否被最佳化。在一个实施例中，当误码率被最小化时，调制被最佳化。如果调制没有被最佳化，则判决步骤 260 的否（No）分支通向步骤 262，其中调制深度被调整。步骤 262 返回到步骤 250，其中数据信号 214 被利用新的调制深度调制并且被发送到光接收机 202。在从重复的路径和测量或其它合适的机制中最佳化调制深度之后，判决步骤 260 的是（Yes）分支通向过程的结束。这样，传输性能被提高并且传输错误被最小化。

图 14 说明根据本发明一个实施例在信息信道中分配时钟信号的光通信系统 275。在这个实施例中，在信道中将纯时钟发送到光系统 275 中的一个、多个或所有节点。

参见图 14，光系统 275 包括在光链路 284 上耦合到 WDM 接收机 282 的 WDM 发射机 280。WDM 发射机 280 包括多个光发射机 290 和 WDM 复用器 292。每个光发射机 290 在信道间隔上的一组离散波长之一上产生光信息信号 294。在时钟信道 296 中，光发射机 290 产生具有至少一个被调制来对于时钟信号进行编码的特性的光信息信号 294。在数据信道 297 中，光发射机 290 产生具有至少一个被调制来对于一个相应的数据信号进行编码的特性的光信息信号 294。

来自时钟和数据信道 296 和 297 的光信号 294 被 WDM 复用器 292 复用到一个单独的 WDM 信号 298 以便在光链路 284 上传输。沿着光链路 284，信号可以被如前所述的离散和/或分布式放大器进行放大。

WDM 接收机 282 接收、分离和解码光信息信号 294，以便恢复被包括的数据和时钟信号。在一个实施例中，WDM 接收机 282 包括 WDM 多路分解器 310 和多个光接收机 312。WDM 多路分解器 310 从单独的 WDM 信号 298 中多路分解光信息信号 294，并且将每个光信息信号 294 发送到一个相应的光接收机 312。

每个光接收机 312 从相应的信号 294 中光恢复或者电恢复编码的数据或时钟信号。在时钟信道 296 中，时钟信号被恢复和转发到数据信道 297 中的光接收机 312，用于数据提取和前向纠错。在信息信道中的纯时钟的传输允许具有较少抖动的更稳定的时钟恢复。可以由前向

纠错使用稳定的时钟来在即使存在抖动和差的光信号质量的情况下也会提高误码率。

图 15 说明根据本发明的一个实施例用于从一个被调制的信号中提取时钟信号的光接收机 320。在这个实施例中，光接收机 320 接收多路分解的光信息信号，其具有被相位调制到一个载波信号上的数据，其随后被利用与如上关于光发射机 80 所述的网络、系统或其它合适的时钟同步的强度调制而被重新调制。光接收机 320 从光信号中提取时钟信息，并且使用稳定的时钟来从信道的相位调制的信号中恢复数据。这样，每个信道都能够恢复其自己的时钟。

参见图 15，光接收机 320 包括如前关于光接收机 32 描述的干涉计 322 和检测器 324。干涉计 322 接收被调制的信号，并且将相位调制转换成为强度调制，以便由检测器 324 恢复数据信号 330。

时钟恢复元件 326 包括光电二极管和/或其它合适的部件来在数据信号的相位到强度的转换之前恢复时钟信号。时钟恢复元件 326 可以包括一个锁相环、一个储能电路、一个高质量滤波器等。时钟恢复元件 326 接收被调制的信号并且从强度调制中恢复时钟信号 332。

数据信号 330 和恢复的时钟信号 332 输出到数字双稳态多谐振荡器或者其它合适的数据恢复电路 334。这样，在数据信号的相位到强度的转换之前，光接收机 320 从光信息信号中提取时钟信息，并且即使在对应于在 $1e^{-2}$ 的范围中的误码率的差的光信号质量的情况下，也会提供具有较少抖动的稳定时钟恢复。

尽管关于几个实施例描述了本发明，但是可以为本领域技术人员建议各种修改和改变。本发明旨在包括落在所附权利要求范围内的这种修改和改变。

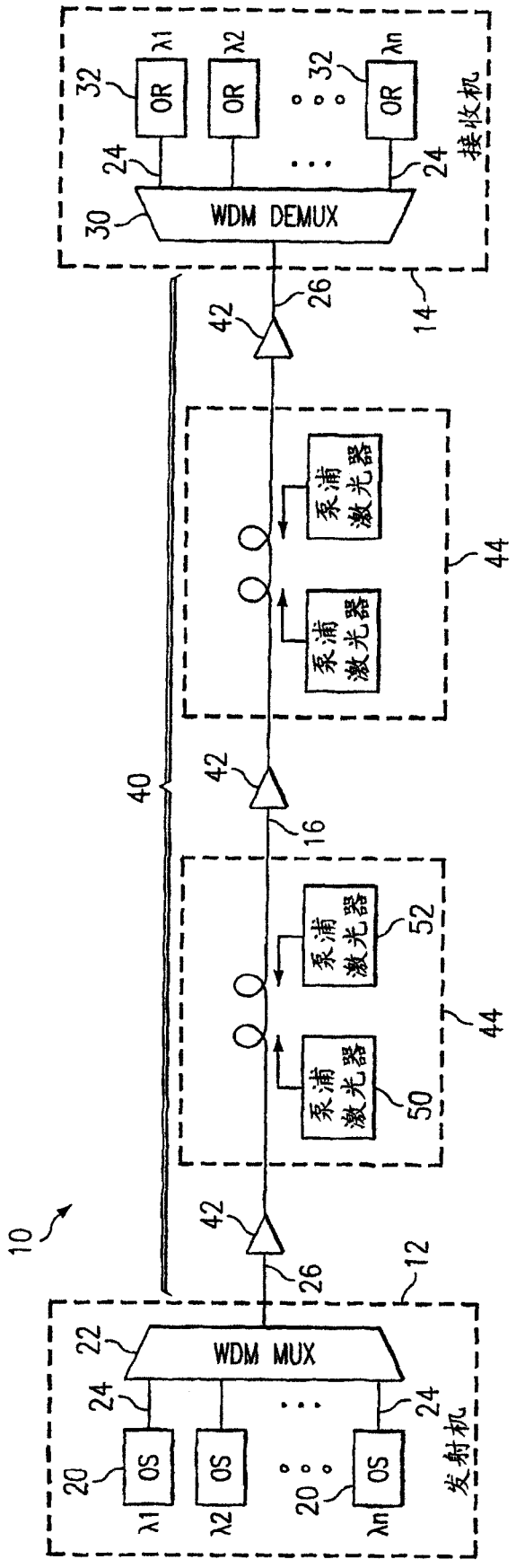

10
发射机
接收机
WDM MUX
WDM DEMUX
OS
OR
λ1
λ2
λn
泵浦激光器
12
14
16
20
22
24
26
30
32
40
42
44
50
52

图 1

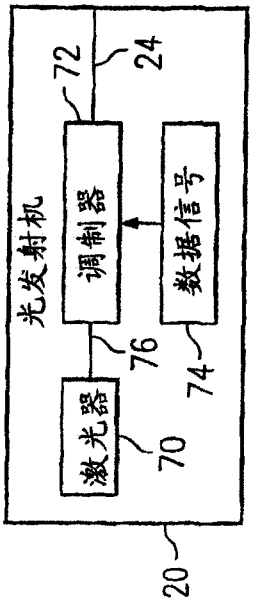

光发射机
调制器
数据信号
激光器
20
24
70
72
74
76

图 2

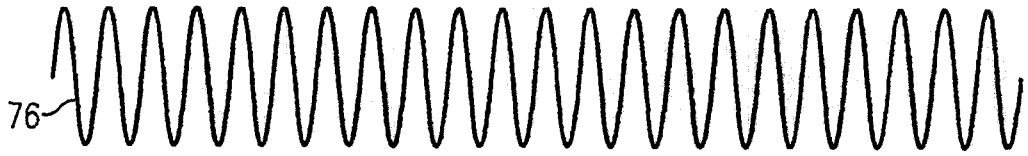



图 3A

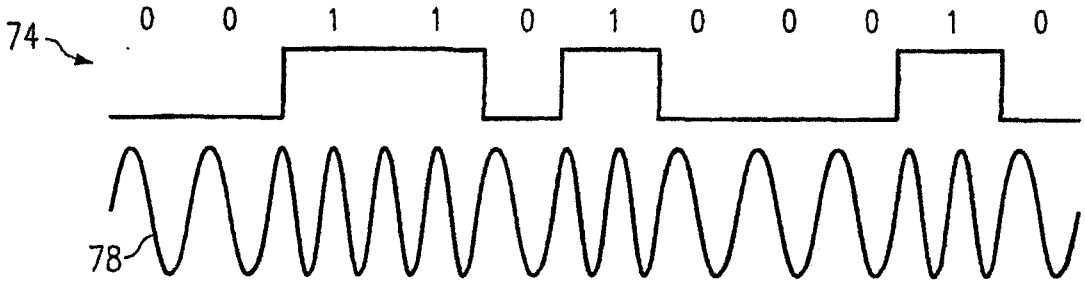



图 3B

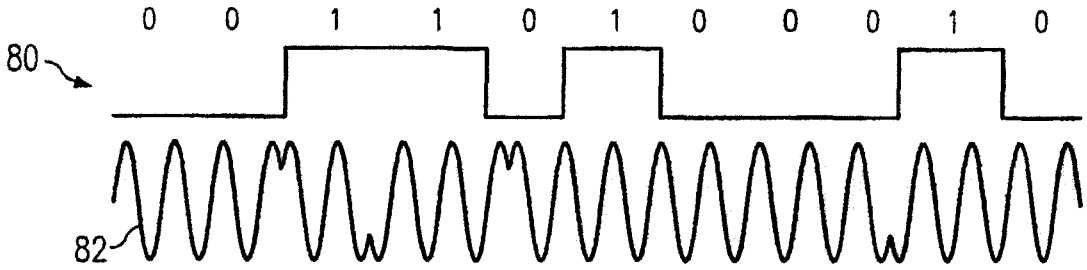



图 3C

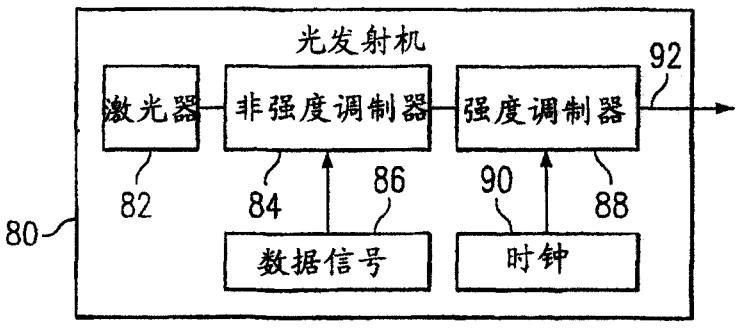



图 4

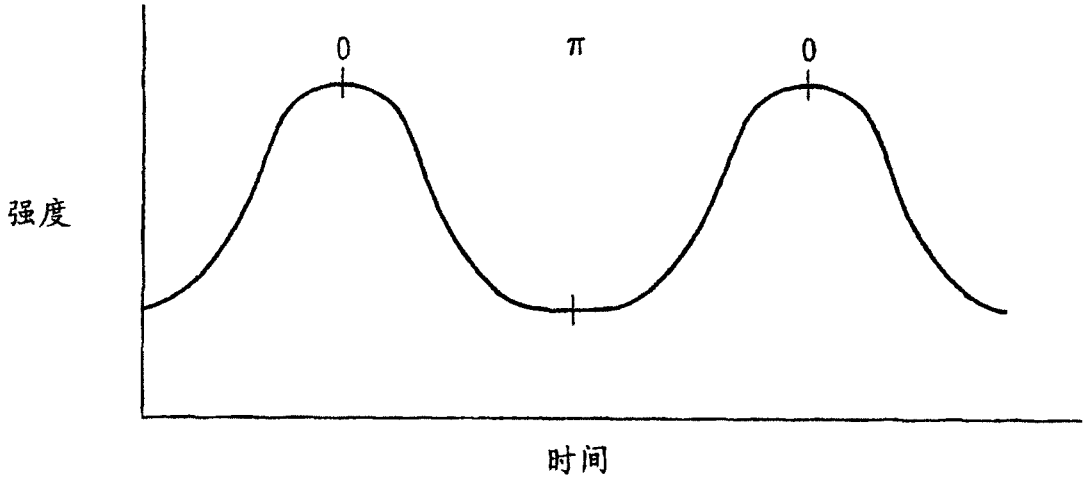

强度
0
π
0
时间

图 5

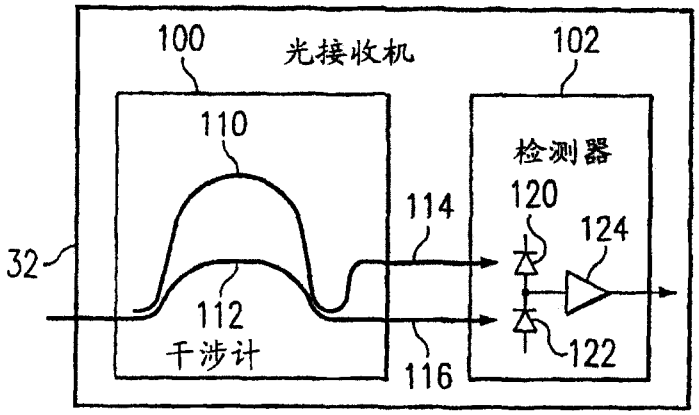

100
光接收机
102
110
检测器
120
114
124
32
112
干涉计
116
122

图 6

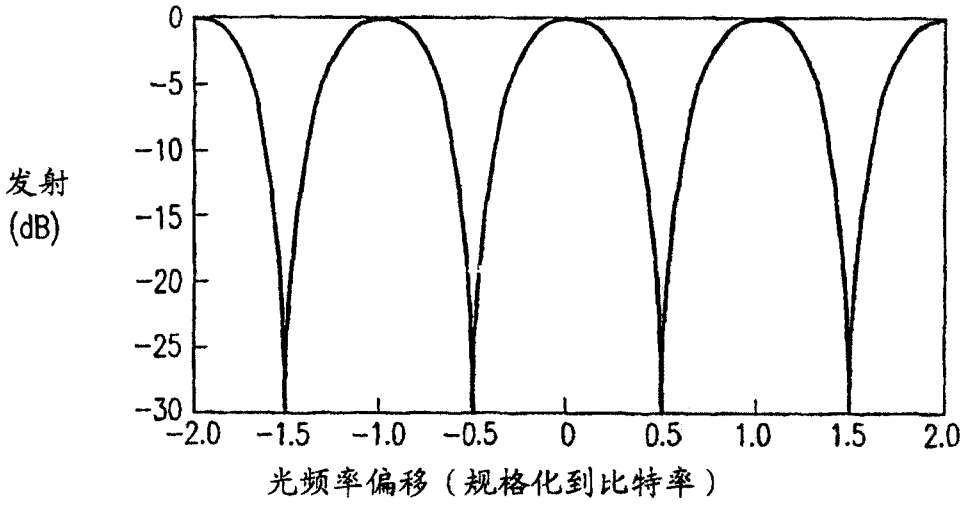

发射
(dB)
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-2.0
-1.5
-1.0
-0.5
0
0.5
1.0
1.5
2.0
光频率偏移（规格化到比特率）

图 7

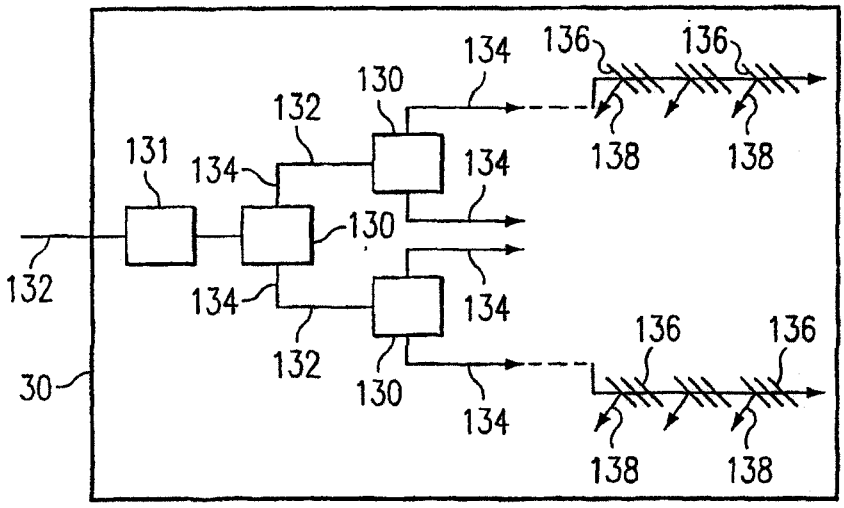

134
136
136
130
132
131
134
134
138
138
130
132
134
134
136
136
132
130
134
30
138
138

图 8A

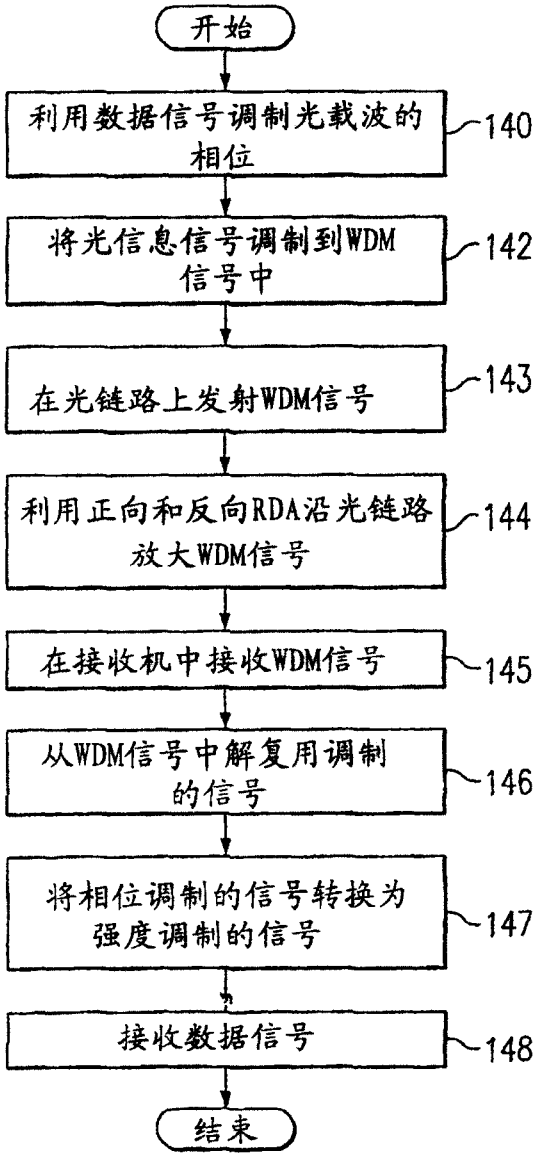

开始
利用数据信号调制光载波的相位
140
将光信息信号调制到WDM信号中
142
在光链路上发射WDM信号
143
利用正向和反向RDA沿光链路放大WDM信号
144
在接收机中接收WDM信号
145
从WDM信号中解复用调制的信号
146
将相位调制的信号转换为强度调制的信号
147
接收数据信号
148
结束

图 9

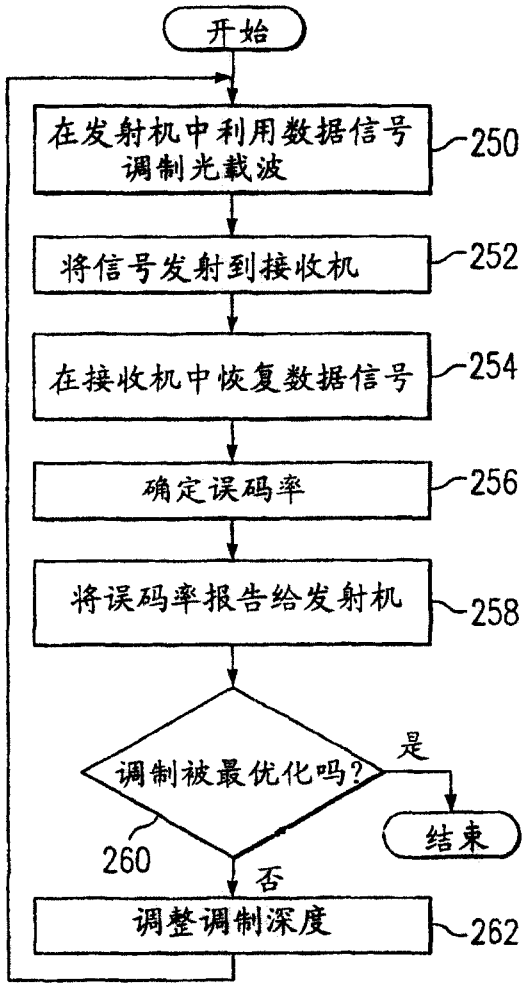

开始
在发射机中利用数据信号调制光载波
250
将信号发射到接收机
252
在接收机中恢复数据信号
254
确定误码率
256
将误码率报告给发射机
258
调制被最优化吗?
是
结束
260
否
调整调制深度
262

图 13

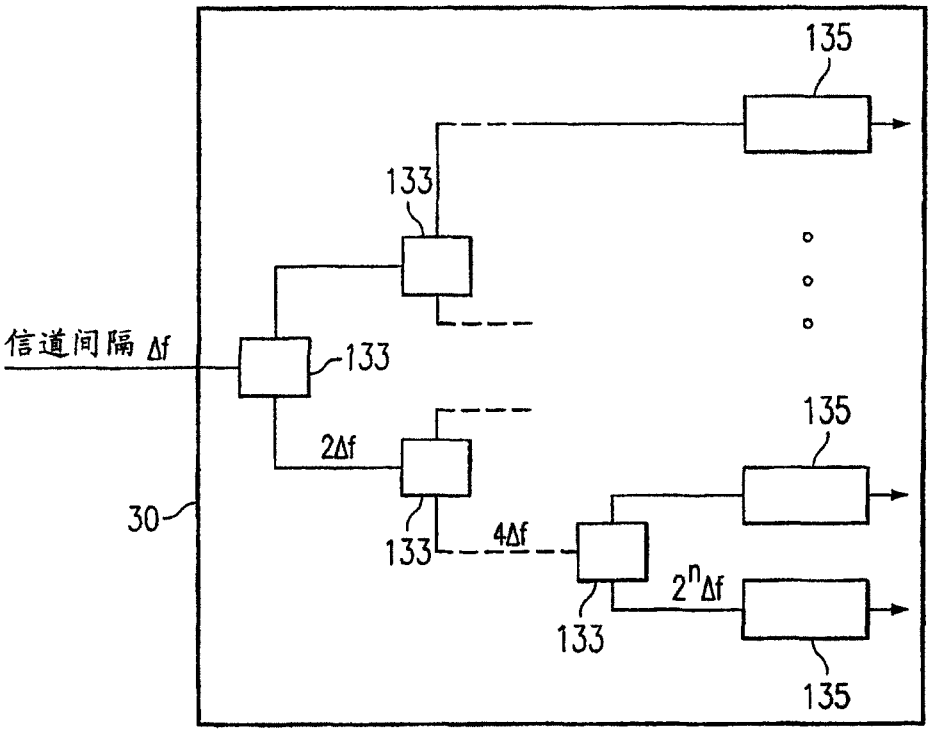

135
133
信道间隔 Δf
133
135
2Δf
30
133
4Δf
$2^n\Delta f$
133
135

图 8B

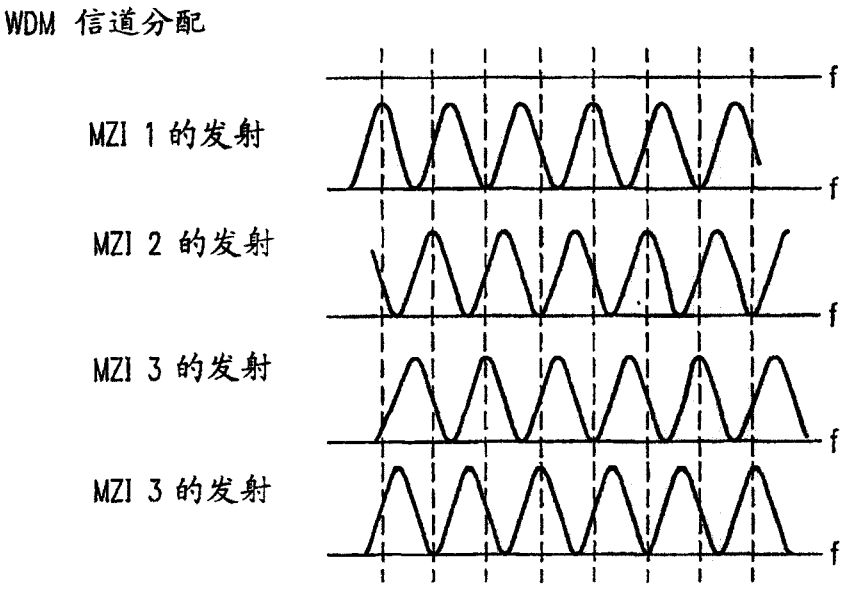

WDM 信道分配
MZI 1 的发射
MZI 2 的发射
MZI 3 的发射
MZI 3 的发射
f
f
f
f
f

图 8C

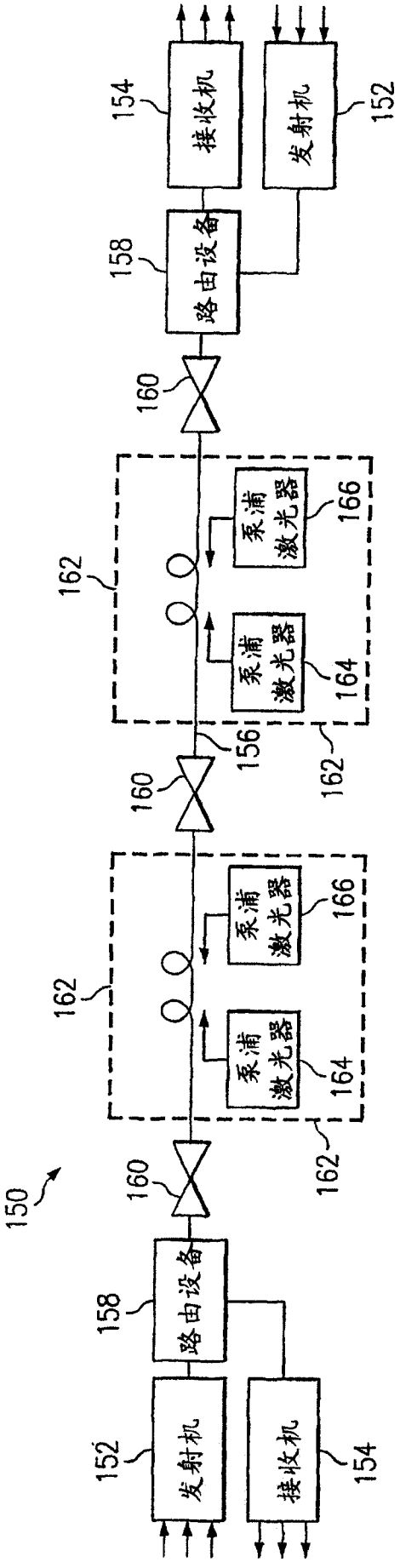

150
发射机
152
接收机
154
路由设备
158
160
162
泵浦激光器
164
166
156

图 10

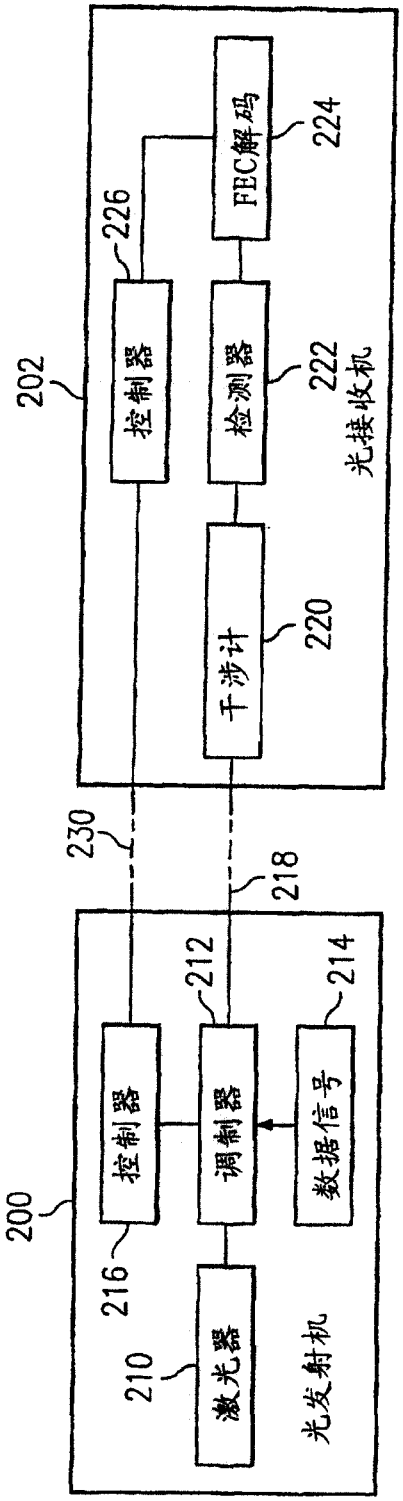

光发射机
200
激光器
210
控制器
216
调制器
212
数据信号
214
218
230
光接收机
202
干涉计
220
检测器
222
控制器
226
FEC解码
224

图 11

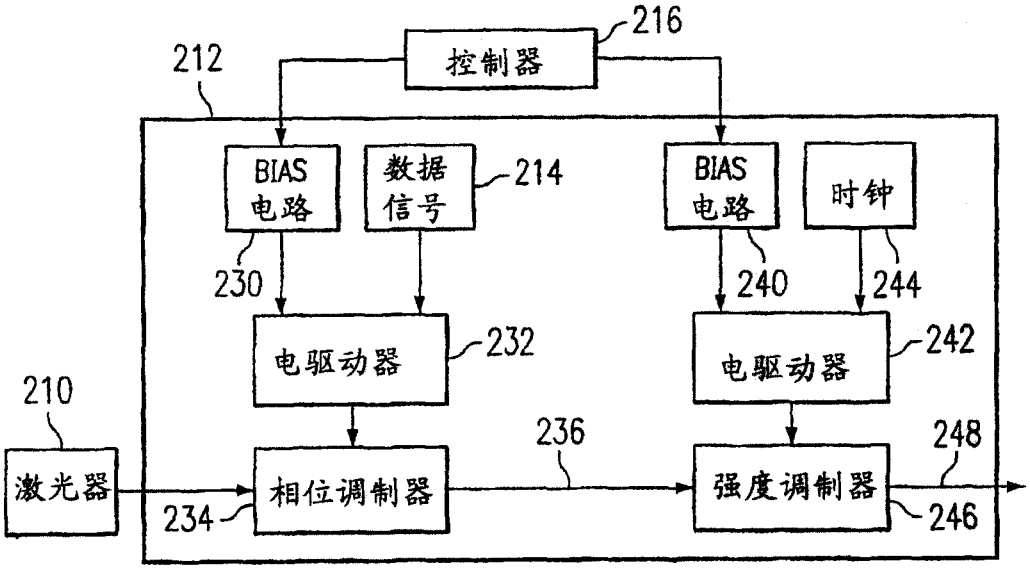

216
控制器
212
BIAS
电路
数据
信号
214
BIAS
电路
时钟
230
240
244
电驱动器
232
电驱动器
242
210
236
248
激光器
相位调制器
强度调制器
234
246

图 12

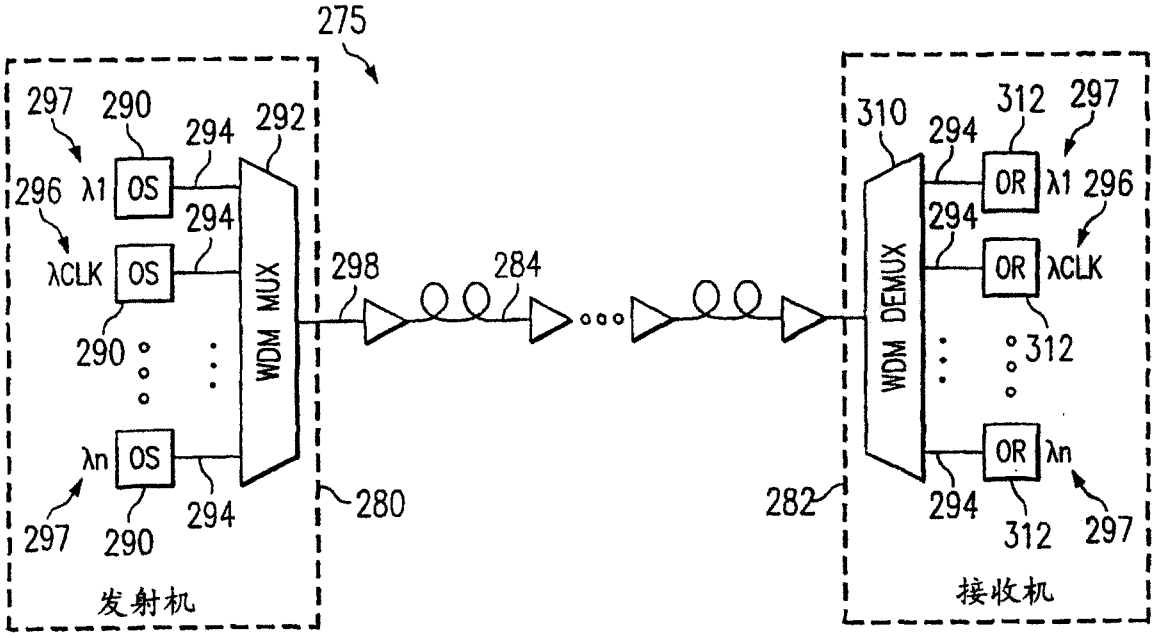

275
297
290
294
292
296
λ1
OS
294
λCLK
OS
298
284
290
WDM MUX
λn
OS
280
297
290
294
发射机
310
294
312
297
OR
λ1
296
294
OR
λCLK
WDM DEMUX
312
OR
λn
282
294
312
297
接收机

图 14

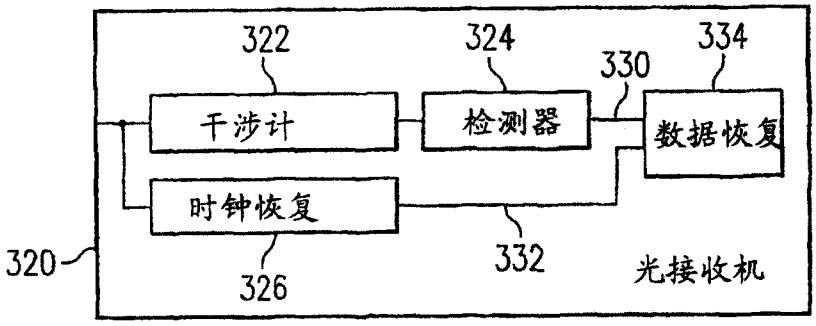

322
324
330
334
干涉计
检测器
数据恢复
时钟恢复
320
326
332
光接收机

图 15