



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103168437 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 27

(21) 申请号 201180035356. 3

(22) 申请日 2011. 05. 20

(30) 优先权数据

61/346690 2010. 05. 20 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 01. 18

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2011/037454 2011. 05. 20

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/146899 EN 2011. 11. 24

(73) 专利权人 奥兰若有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 P. 马米谢夫 J.R. 爱丁伯格

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

司 72001

代理人 蒋骏 李浩

(51) Int. Cl.

H04B 10/67(2013. 01)

(56) 对比文件

CN 101218767 A, 2008. 07. 09,

US 2008231941 A1, 2008. 09. 25,

US 2007196110 A1, 2007. 08. 23,

US 2005019042 A1, 2005. 01. 27,

US 2003175037 A1, 2003. 09. 18,

WO 2008017054 A2, 2008. 02. 07,

US 2003175037 A1, 2003. 09. 18,

CN 101432998 A, 2009. 05. 13,

US 2009208226 A1, 2009. 08. 20,

US 2004042802 A1, 2004. 03. 04,

CN 101432998 A, 2009. 05. 13,

审查员 刘兰

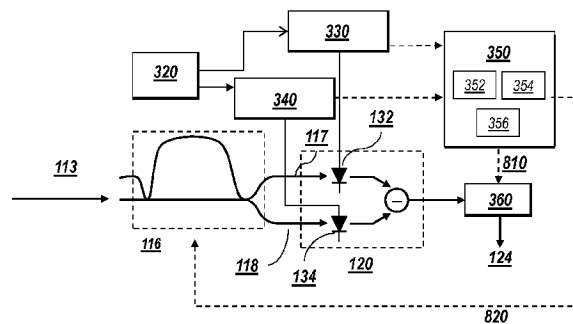
权利要求书3页 说明书12页 附图13页

(54) 发明名称

无需 FEC 反馈的自适应接收器

(57) 摘要

光通信网络依赖光接收器来解调光信号并将解调的光信号转换成电信号。光接收器可以与一个或多个特性相关联,在光信号的传输期间可使这些特性进行变化以便改善接收信号的质量。本发明可以基于传送该信号的通信链路上的光学滤波量来确定这些特性的值。可以通过观察与接收器相关联的检测器的特性,诸如检测器的相长和相消端口的平均光电流的比值,来确定接收器的特性值。所观察的检测器特性可以被映射到查找表中的接收器特性的预定值,在接收器的操作期间可以查询该查找表。



1. 一种用于通过调整光接收器的特性来配置光接收器的组件的方法,该方法包括:  
确定施加到接收器处所接收的光信号的光学滤波量,该光学滤波量表示光信号的传输期间光带宽的变化;  
基于所确定的光学滤波量来确定接收器的特性值,确定所述值包括:  
观察与所述接收器相关联的检测器的特性,所述检测器的特性表示以下中的至少一个:所述检测器的相长端口的平均光电流;所述检测器的相消端口的平均光电流;所述检测器的相长和相消端口的平均光电流的和;以及所述检测器的相长和相消端口的平均光电流的比值;以及  
最大化或最小化所述检测器的特性;以及  
基于所述接收器的特性的所确定的值来配置接收器的组件。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其中接收器的特性是以下之一或以下的组合:与接收器相关联的时钟和数据恢复(CDR)模块的判定阈值(DT)、CDR 的判定相位、接收器的电带宽、以及光干涉仪的自由光谱范围(FSR)。
3. 如权利要求 1 所述的方法,其中光信号从光链路中被接收,且光学滤波由链路上存在的一个或多个光学滤波器或多路复用器所施加。
4. 如权利要求 1 所述的方法,其中光信号是调制光信号,并且根据下列格式之一进行调制:m 进制相移键控(mPSK)、差分相移键控(DPSK)、差分 m 进制相移键控(DmPSK)、部分差分相移键控(PDPSK)、部分差分 m 进制相移键控(PDmPSK)、m 进制正交幅度调制(mQAM)、光学双二进制(ODB)、归零通断键控(RZ OOK)、和非归零通断键控(NRZ OOK)。
5. 如权利要求 1 所述的方法,其中确定光学滤波量包括查阅将光学滤波量与特性值相关的查找表。
6. 如权利要求 1 所述的方法,其中该组件为干涉仪。
7. 如权利要求 1 所述的方法,其中该组件为 CDR。
8. 一种用于估计存在于光链路中的光学滤波量的光学滤波估计装置,所述装置包括:  
光干涉仪,其被耦接来接收 DPSK 光信号,并将该 DPSK 光信号与自身干涉,该光干涉仪包括:  
用于输出第一信号的相长输出端口,以及  
用于输出第二信号的相消输出端口;  
差分检测器,其耦接到该光干涉仪,该差分检测器包括:  
第一光检测器,其耦接到该干涉仪的相长端口来接收第一信号并生成第一光电流,以及  
第二光检测器,其耦接到该干涉仪的相消端口来接收第二信号并生成第二光电流;  
接收器光功率确定模块,其用于基于差分检测器的至少一个特性来确定接收器光功率值;以及  
光学滤波估计模块,其用于基于所确定的接收器光功率值来估计光链路中的光学滤波量。
9. 如权利要求 8 所述的装置,其中该差分检测器的特性是:检测器的相长端口的平均光电流;检测器的相消端口的平均光电流;检测器的相长和相消端口的平均光电流的和;或检测器的相长和相消端口的平均光电流的比值。

10. 如权利要求 8 所述的装置,其中光干涉仪是延迟线干涉仪(DLI)或 Mach-Zehnder 干涉仪(MZI)。

11. 如权利要求 8 所述的装置,进一步包括时钟和数据恢复(CDR)模块,其用于将由差分检测器所生成的模拟电信号转换成数字电输出信号。

12. 如权利要求 11 所述的装置,进一步包括存储查找表的非瞬时性电子设备可读存储介质,该查找表存储了将第一信号与第二信号的比值与装置特性的预定值相关的数据。

13. 如权利要求 12 所述的装置,进一步包括接收器特性调整模块,其用于基于存储在查找表中的预定值来调整装置的特性。

14. 如权利要求 13 所述的装置,其中该装置的特性是以下之一:与接收器相关联的时钟和数据恢复(CDR)模块的判定阈值(DT)、CDR 的判定相位、接收器的电带宽、以及光干涉仪的自由光谱范围(FSR)。

15. 一种用于估计存在于光链路中的光学滤波量的方法,所述方法包括:

从光干涉仪中输出来自相长输出端口的第一信号和来自相消输出端口的第二信号;

在耦接到相长输出端口的第一检测器处接收该第一信号,并生成第一响应;

在耦接到相消输出端口的第二检测器处接收该第二信号,并生成第二响应;

确定使该第一响应与该第二响应相关的比值;

基于所确定的比值来估计该光链路中的光学滤波量。

16. 一种在光信号的传输期间基于传输介质的光带宽量来确定光接收器的特性值的方法,所述方法包括:

确定施加到接收器处所接收的光信号的光学滤波量,该光学滤波量表示光信号的传输期间光带宽中的变化;

基于所测量的光学滤波量来确定接收器的特性值,确定所述值包括:

观察与所述接收器相关联的检测器的特性,所述检测器的特性表示以下中的至少一个:所述检测器的相长端口的平均光电流;所述检测器的相消端口的平均光电流;所述检测器的相长和相消端口的平均光电流的和;以及所述检测器的相长和相消端口的平均光电流的比值;以及

最大化或最小化所述检测器的特性;以及

将所述接收器的特性的所确定的值存储于与该接收器相关联的非瞬时性电子设备可读介质中。

17. 如权利要求 16 所述的方法,其中确定所述特性值进一步包括最小化与该光信号相关联的比特误差率(BER)。

18. 如权利要求 16 所述的方法,其中接收器的特性是以下之一:与接收器相关联的时钟和数据恢复(CDR)模块的判定阈值(DT)、CDR 的判定相位、接收器的电带宽、以及光干涉仪的自由光谱范围(FSR)。

19. 如权利要求 16 所述的方法,其中光信号从光链路中被接收,且光学滤波由链路上存在的一个或多个光学滤波器或多路复用器所施加。

20. 如权利要求 16 所述的方法,其中光信号是调制光信号,并且根据下列格式之一进行调制:mPSK、DPSK、DmPSK、PDPSK、PDmPSK、mQAM、ODB、RZ OOK 和 NRZ OOK。

21. 一种将光接收器中的解调器调节为零相位偏置的方法,所述方法包括:

从解调器中输出来自相长输出端口的第一信号和来自相消输出端口的第二信号；  
在耦接到相长输出端口的第一检测器处接收该第一信号，并生成第一响应；  
在耦接到相消输出端口的第二检测器处接收该第二信号，并生成第二响应；  
确定使该第一响应与该第二响应相关的比值；

基于所述比值来调节解调器的配置，使得解调器的相位偏置接近于零，所述调节包括改变所述解调器的一个或多个设置，使得所述比值接近于最小值。

22. 如权利要求 21 所述的方法，其中该解调器为干涉仪。

23. 一种将光接收器中的解调器调节为  $\pi$  相位偏置的方法，所述方法包括：

从解调器中输出来自相长输出端口的第一信号和来自相消输出端口的第二信号；  
在耦接到相长输出端口的第一检测器处接收该第一信号，并生成第一响应；  
在耦接到相消输出端口的第二检测器处接收该第二信号，并生成第二响应；  
确定使该第一响应与该第二响应相关的比值；

基于所述比值来调节解调器的配置，使得解调器的相位偏置接近于  $\pi$ ，所述调节包括改变所述解调器的一个或多个设置，使得所述比值接近于最大值。

24. 如权利要求 23 所述的方法，其中所述解调器为干涉仪。

## 无需 FEC 反馈的自适应接收器

[0001] 相关的申请

[0002] 本申请要求 2010 年 5 月 20 日提交的序号为 61/346,690 的美国临时申请的优先权。前述申请的内容通过引用被结合于本文中。

### 技术领域

[0003] 本发明一般涉及光通信,并且特别是涉及一种用于确定存在于光通信网络中的光学滤波量,并根据光学滤波量来设置接收器特性的值的方法和系统。

### 背景技术

[0004] 点对点信息传输网络的主干是光学放大的密集波分复用(DWDM)光链路的系统。在 40Gb/s 及更高的信道速率下进行操作 DWDM 光纤传输系统是非常期望的,因为它们潜在地具有更高的光纤容量,并且与更低信道速率系统相比还具有每传输比特更低的成本。

[0005] 40Gb/s 的 DWDM 传输系统的调制格式通常被选择为具有高光信噪比(OSNR)灵敏度。高 OSNR 灵敏度意味着,低 OSNR 足以维持期望的传输比特误差率(BER),或等价地,该系统即便在存在高水平的光学噪声的情况下仍能够在期望的 BER 下进行操作。此外,因为现有的系统有时包括限制带宽的用于 50 GHz 信道间隔的光学多路复用器和多路分解器,所以 40Gb/s 的 DWDM 传输系统的调制格式通常被选择为对光学滤波是耐受的。并且,现有的系统有时包括级联光分插复用器。

[0006] 因此,差分相移键控(DPSK)已被考虑用于 40Gb/s 的 DWDM 传输系统,部分是因为 DPSK 传输系统具有卓越的 OSNR 灵敏度。使用平衡的直接检测接收器的 DPSK 传输系统(其有时被称为差分接收器)已被示出为与通断键控系统(诸如 NRZ 和 PSBT 系统)相比,具有大约 3dB 的 OSNR 灵敏度的改善。然而,传统的 DPSK 传输系统不具有良好的滤波容限。

[0007] 在 DPSK 系统中,数据通过载波的移相而被编码到载波上。可以基于要用每个相移进行编码的数据量来选择相移量。例如,DPSK 有时被称为差分二进制相移键控(DBPSK)。在 DBPSK 中,为了用每个相移来编码单个比特的数据(“1”或“0”),信号的相位可以以 180° 的增量进行偏移(即偏移  $\pi$  弧度)。另一个示例中,在差分正交相移键控(DQPSK)中,为了用每个相移来编码两比特的数据(例如“11”或“01”),信号的相位可以以 90° 的增量进行偏移(即偏移  $\pi/2$  弧度)。

[0008] 可能相移的数目通常被称作调制格式的“星座点(constellation point)”的数目。例如,DPSK 具有两个星座点,以及 DQPSK 具有 4 个星座点。使用不同数目星座点(例如,“m”个星座点)的调制格式也是已知的,并一般被称为 DmPSK 格式。

[0009] 如果信号的相位和信号的振幅均被用于将信号与数据进行编码,那么调制格式被称为 QAM(正交幅度调制)或 m-QAM,其中 m 是星座点的数目。

[0010] 信号的相位中的偏移被称为发送“符号”,以及每个符号被发送的速率被称为“符号速率”。如上所述,多个比特的数据可以用每个符号进行编码。比特被发送的速率被称为“比特率”。因此,在 DQPSK 系统中的符号速率是比特率的一半。例如,均以相同的符号速率

进行发送的 DPSK 系统与 DQPSK 系统将显示出不同的比特率—DQPSK 系统将具有的比特率是 DBPSK 系统的比特率的两倍。

[0011] 由此, DQPSK 系统中 43Gb/s 的数据速率对应于每秒 21.5 千兆符号。因此, DQPSK 传输系统与传统格式相比和与 DBPSK 相比具有更窄的光谱带宽、更大的色散容限以及相对于偏振模色散(PMD)的更大的容限。然而, DQPSK 传输系统具有比 DBPSK 传输系统差大约 1.5-2dB 的接收器灵敏度。此外, 发射器和接收器均比传统的 DBPSK 发射器/接收器显著地更复杂。

[0012] DBPSK 和 DQPSK 可以具有非归零(NRZ)型, 或者, 如果归零(RZ)脉冲雕刻器(pulse carver)被添加到发射器, 则 DBPSK 和 DQPSK 可以具有 RZ 型。

[0013] 图 1A 是描述用于发送尤其是 DPSK 光信号的光网络 100 的示例的框图。

[0014] 发射器 102 可以生成 DPSK 光信号 104。例如, 发射器 102 可以包括诸如激光器的光源。脉冲雕刻器可以从光源接受光, 并将脉冲添加到光。脉冲光束可以具有可以被一个或多个调制器所操纵的相位以便在光上编码数据信号。被操纵的光可以是 DPSK 光信号 104。

[0015] DPSK 光信号 104 可以在多路复用器 107 处与一个或多个其他信号 106 (诸如通断键控(OOK)信号)进行组合。例如, 可以使用波分复用(WDM)来对信号进行多路复用, 以及两个相邻的信号可具有相对类似的波长。通过将信号 104、106 多路复用在一起和/或使用一个或多个光学滤波器 108 对信号进行滤波, 更多信息可以通过传输线 109 被运载。滤波器 108 可以包括, 例如, 多路复用器、多路分解器、光交织器、光分/插滤波器和波长选择开关。滤波器 108 可以使穿过其的信号在光谱上变窄。

[0016] 在传输线 109 上运载的组的光信号, 可以在接收器 110 处被接收, 以便解调组合的光信号。在接收器 110 之前, 多路分解器 111 可以接收多路复用信号。多路分解器 111 可以选择信号中的一个, 例如, DQPSK 信号 104。多路分解器 111 可以例如通过隔离载有 DPSK 信号 104 的特定波长来选择信号。替代地, 接收器 110 可以包括用于接收引入的调制光信号的多路分解器 111 或选择器。

[0017] 接收器 110 可以接收源光束 113。源光束 113 在干涉仪 116 处被接收。

[0018] DPSK 接收器通常使用一个或多个光解调器, 其将发送的光信号的相位调制转换成可以用强度接收器检测的幅度调制信号。一般地, 光解调器被实现为延迟线干涉仪(DLI) 116, 该延迟线干涉仪 116 将光信号分离成两部分, 将一部分相对于另一部分延迟了差分延迟  $\Delta t$ , 并最终重组两个部分, 以实现取决于在发射器 102 处被调制到光信号上的相位的相长或相消干涉。因此, 干涉仪可以将 DPSK 光信号与自身相干涉。

[0019] 光解调器将 DPSK 相位调制信号在一个输出处转换成振幅调制光信号, 而在另一个输出处转换成反转的振幅调制光信号。这些信号利用可以由(例如)两个高速检测器(参见, 例如, 图 1B)构成的光检测器 120 进行检测。检测器的输出被彼此在电学上相减, 并且在此之后将所得到的电信号发送到数据恢复电路。

[0020] 在操作中, 干涉仪 116 使引入的信号的相位偏移。例如, 在 DPSK 系统中, 干涉仪 116、118 可以使引入的信号的相位相对于彼此偏移  $\pi$ 。干涉仪 116 被用于分析和/或解调引入的调制光信号 102, 并提供输出到检测器 120。下面参照图 1B-1D 更详细地描述干涉仪 116。

[0021] 干涉仪可以生成用于检测器 120 的一个或多个光输入。例如, 干涉仪 116 可以生

成提供给光检测器 120 的第一光输入 117 和第二光输入 118。光检测器 120 可以对输入光信号进行操作,并生成电输出信号 124。

[0022] 在一些实施例中,例如,检测器 120 可以是平衡检测器或不平衡检测器。

[0023] 图 1B 是图 1A 的接收器 110 的一部分的框图。在接收器 110 中,干涉仪 116 和光检测器 120 协作来将光域中的第一光源光束 113 变成第一输出信号 124。

[0024] 在干涉仪 116 处,光源光束 113 被分离成采样光束 128 和参考光束 130。采样光束 128 和参考光束 130 被处理以生成分别被光检测器 120 中的第一和第二检测器 132、134 接收的第一光输入 117 和第二光输入 118。第一和第二检测器 132、134 分别包括用于提供输出给电子设备的第一输出端口 136 和第二输出端口 138。例如,电子设备可以从第二输出 138 中减去第一输出 136 以便生成电输出信号 124 的差分检测器。

[0025] 图 1C 是例如干涉仪 116 的干涉仪的示例。例如,干涉仪 116 可以从分离器接收信号分量之一(例如,第一源光束 113)的延迟线干涉仪(DLI)。例如,干涉仪 116 可以由砷化镓或铌酸锂、自由空间光学器件(例如图 1C 和 1D)、光纤(例如图 1B, 2, 3)或 PLC 制造。干涉仪的其他示例包括 Mach-Zehnder 干涉仪(MZI)。

[0026] 干涉仪 116 可以包括用于将接收的第一源光束 113 分离成两个或更多个干涉仪信号分量 128、130 的第一分离器 142。第一干涉仪信号分量 128 被称为采样光束,并沿着光路 144 被提供给第一反射镜 148。同样地,参考光束 130 沿第二光路 146 被提供给第二反射镜 150。光路 144、146 可以包括信号从其中穿过的光学介质。例如,光路 144、146 可以包括空气或玻璃。光路 144、146 中的介质的光学属性影响信号 128、130 在光路 144、146 中行进所花费的时间量。

[0027] 从反射镜 148 和 150,相应的干涉仪信号分量 128 和 130 被提供给另一个分离器 152,在那里信号被进一步分离成由两个或更多个检测器 132、134 所接收的信号对(第一光输入 117 和第二光输入 118)。

[0028] 如果光路 144、146 (或未图示的其他光路)在长度和其他属性上相同,则采样光束 128 和参考光束 130 同时到达检测器 134、136。然而,通过使光路 144、146 中的一个或多个相对另一个进行变化,可以引入时间延迟,如图 1D 中所示出的。

[0029] 如图 1D 中所描绘的,干涉仪 116 可以是不平衡的,因为干涉仪具有时间延迟 154 (通常用符号“ $\tau$ ”所指代),此时间延迟在某些情况下可能等于在一个光路 144 中相对于另一个光路 146 的数据调制率的符号周期的数据调制率的符号周期(例如,对于 20G 符号/s 的线速率来说为 50ps)。时间延迟 154 影响每个相应的光束 128、130 在检测器 132、134 处被接收的时间。

[0030] 通过使用二进制相移键控,信号的相位可以以两个不同的方式进行偏移(偏移 0 或  $\pi$ )。因此,每个相移可以编码具有 1 比特的信息(例如“0”或“1”)的信号。符号速率指的是网络中发送这些“符号”的速率(例如,每秒对传输介质做出的符号改变的数目),而符号周期指的是对于发送单个符号所花费的时间量。例如,如果花费 46.5 ps(即  $4.65 \times 10^{-11}$  秒)来发送单个符号,那么符号周期为 46.5ps,并且符号速率大约为每秒  $2.15 \times 10^{10}$  个符号(或 21.5G 符号/秒)。

[0031] 传统的干涉仪包括时间延迟 154 以便确定特定信号已被相移的量。传统上,时间延迟 154 可被设置为(例如)一个符号周期,以便在相移信号的解译方面进行辅助。然而,时

间延迟 154 也可以被设置为大于或小于符号周期,如 2010 年 10 月 18 日提交的标题为“用于在通信网络中部署光解调器布置的方法和系统”的序号为 12/906, 554 的美国专利申请中所讨论的,其内容通过引用被结合在本文中。

[0032] 在 DPSK 接收器的“经典的”实现方式中,干涉仪的两臂之间的时间延迟 154 是光学 DPSK 数据信号的符号时隙的整数倍:  $\Delta t = nT$  (其中  $n = 1, 2, \dots, T$ ,  $T = 1/B$  为符号时隙; 以及  $B$  是符号比特率)。

[0033] 可以通过使两个光路 144、146 的光路长度不同来引入时间延迟 154, 或者尤其可以通过改变信号 128、130 之一穿过的介质来引入时间延迟 154。为了易于制造,可以通过使干涉仪 116 的光路 144 的物理长度长于另一个光路 146 的物理长度来引入时间延迟 154。

[0034] 干涉仪 116 相应地被设置为通过在更短的光路 146 上施加适当的电压来赋予相对相移 156。例如,可以基于调制格式来确定相移 156 的量。在 DQPSK 的示例中,相对相移 156 可以是  $\pi/4$  或  $-\pi/4$ 。在 DPSK 的示例中,相对相移 156 可以是  $\pi$  或 0。干涉仪和时间延迟更详细的描述可以在序号为 10/451, 464, 标题为“光学通信”的美国专利申请中被找到,其内容通过引用被结合在本文中。

[0035] 改变时间延迟 154 的量,可以改变干涉仪 116 的自由光谱范围(FSR)。FSR 与例如干涉仪的两个连续的反射或透射光强度的最大值或最小值之间在光频率或波长中的间隔有关。

[0036] 干涉仪的 FSR 可以依据穿过干涉仪的光信号的光带宽中的改变而进行修改。直到最近,有一个共识是,最佳性能(最佳光信噪比 OSNR 灵敏度)是在干涉仪的两臂之间的时间延迟  $\Delta t$  恰好是光学 DPSK/DQPSK 数据信号的符号时隙的整数倍时所获得的,并且当  $\Delta t$  与其最优值偏离时,恶化迅速增加(二次方地),(参见例如 Peter J. Winzer 和 Hoon Kim, “Degradation in Balanced DPSK receivers”, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, vol. 15, no. 9, 1282-1284 页, 2003 年 9 月)。换言之,根据传统理论,DLI 的最优 FSR ( $FSR = 1/\Delta t$ ) 等于  $1/nT$ , 并且(在  $n=1$  的情况下)等于该信号的符号速率。

[0037] 在信号在光谱上被变窄时(例如,在通过光多路复用器/多路分解器、光交织器、光分/插滤波器、波长选择开关或其他滤波器 108 后,当符号速率  $B$  与在 WDM 传输等等中的信道间隔相当时),DPSK 调制光网络的性能显著降低。为了改善在这种带宽受限的传输中的 DPSK/DQPSK 的性能,引入了部分 DPSK (P-DPSK) 的概念:通过使延迟干涉仪两臂之间的时间延迟  $\Delta t$  小于符号大小  $T$ (或者等效地,使 DLI FSR 大于符号速率:  $FSR > 1/T$ ),光学滤波的 DPSK 的性能被显著改善(参见,例如,2007 年 4 月 25 日提交的,标题为“部分 DPSK (PDPSK) 传输系统”的序号为 11/740, 212 的美国专利申请,其内容通过引用被结合在本文中)。所示出的是,根据传输系统中的信号光谱滤波的量,DLI 的最优 FSR 存在,并且这个最优 FSR 对于不同强度的光学滤波来说是不同的。

[0038] 然而,在实际的系统中,接收器应当能够在具有在传输线中的信号光谱滤波的不同量的条件下进行操作:例如,具有可重构光分/插复用器(ROADM)的系统的组合的光带宽可以根据在系统和 ROADM 设置中的 ROADM 的数目而显著地改变。根据传输线中的条件(例如,噪声、信号强度、光学滤波等),接收器设置需要被优化。此要求在可重构网络中变得更加重要,其中在操作期间传输距离和系统中的光学滤波量可以显著地改变。

[0039] 控制接收器的传统方法是从前向纠错(FEC)芯片中提供反馈,并且将接收器参数

调整到由 FEC 芯片所提供的最小可能的比特误差率 (BER)。图 2 描绘了采用 FEC 来调整接收器的特性的系统的示例。

[0040] 在 FEC 方案中,诸如纠错码 (ECC) 的冗余数据可以通过传输线被发送。ECC 可以是被预定的并且被预先编程到位于接收器处的检测单元中。ECC 可以和信号的有效载荷一同在接收器 110 处被接收。电源 210 对平衡检测器 120 供电,该平衡检测器 120 接受光检测器 132、134 的输出,并在差分单元 212 中将它们相减来解译该信号。例如,该差分单元可以是,跨阻放大器 (TIA)。因此,检测器 120 可以是输出模拟电信号的差分检测器。

[0041] 所得的解调信号被提供给由 FEC 检测单元 220 和控制单元 230 所控制的时钟和数据恢复 (CDR) 单元 240。要注意的是,如果在 CDR 之前使用了限幅放大器,则因为由该放大器做出了振幅判定,所以该放大器被认为是 CDR 电路的一部分。

[0042] CDR 电路将接收的模拟电信号转换成数字电信号。CDR 电路测量输入信号的电压,并做出逐位判定:如果符号电压高于(或等于)判定阈值 (DT) 电压,则取“1”,以及如果该电压低于 DT 电压,则取“0”。判定相位(或定时)是发生电压测量的比特(符号)时隙内的位置。

[0043] FEC 检测单元 220 检测 ECC,计算误差的数目 (BER),并指示控制单元 230 调整 CDR 的设置来减少 BER。

[0044] 虽然这种技术有效降低了 BER,但是它带有许多缺点。例如,接收器的特性必须被调整;然而,ECC 由发射器所生成,以及用于解译该 ECC 的检测单元通常位于接收器之外。在最好的情况下,这可能意味着需要在检测单元和接收器之间提供通信路径,这增加了解译该 ECC 和将改变应用到接收器特性之间的响应时间。在最坏的情况下,可能根本无法设置发射器和检测单元来提供 FEC,并且因此该信息对于接收器是简直不可用的。

[0045] 即使当这样的 FEC 信息对于接收器是可用的,使用 FEC 误差信号可能是调整接收器设置的低效率方式。例如,如果对接收器特性做出调整并且和 BER 被观察到减少,则可能是对特性的改变改善了 BER (并且因此应当被保持)。然而,也可能是传输线而不是接收器中的条件改变了 BER。因此,对接收器设置的改变可能没有影响到 BER,或者实际上可能已经降低了信号质量。此外,在 BER 接近于零时,对接收器设置的小的改变可能具有对 BER 的不相称的巨大影响,或者可能根本没有可观察的影响。在这种情况下,使用 FEC 来调节接收器设置变得困难或者不可能。

[0046] 因此,信赖 FEC 可能是光接收器的低效率和不期望的特性。

## 发明内容

[0047] 本发明基于发送信号的通信链路上的光学滤波量来确定光接收器的特性值。本发明人已经发现,出乎意料的是,用于接收器的最优设置高度依赖于传输线中的光学滤波量,并且基于接收器处可用的数据,可估计传输线中的光学滤波量。

[0048] 例如,可以通过观察与接收器相关联的检测器的特性,诸如检测器的相长和相消端口的平均光电流的比值,来确定接收器的特性的值。所观察的检测器特性可以被映射到查找表中接收器特性的预定值,在接收器的操作期间该查找表可以被查询。基于预定值,接收器的设置可以被调整以改善接收器的性能。

[0049] 根据本发明的示例性实施例,提供一种用于解调 DPSK 光信号的接收器。该接收器

可以包括光干涉仪,其被耦接来接收 DPSK 光信号,并且将 DPSK 光信号与自身相干涉。光干涉仪可包括用于输出第一信号的相长输出端口,和用于输出第二信号的相消输出端口。例如,光干涉仪可以是差分干涉仪(DI)或 Mach-Zehnder 干涉仪(MZI)。

[0050] 光干涉仪可以被连接到差分检测器,该差分检测器用于响应于第一信号和第二信号之间的差来提供模拟电信号。差分检测器可以包括被耦接到干涉仪的相长端口来接收第一信号并生成第一光电流的第一光检测器,和被耦接到干涉仪的相消端口来接收第二信号并生成第二光电流的第二光检测器。

[0051] 该接收器可以被进一步提供有时钟和数据恢复(CDR)模块,该时钟和数据恢复模块用于将由差分检测器所提供的电信号转换成数字电输出信号。该 CDR 可以与一种或多种特性相关联,诸如判定阈值(DT)和判定相位,以用于确定符号是否在由接收器所接收的数据流中被编码。

[0052] 接收器可以进一步包括用于计算第一光电流与第二光电流的比值的接收器光功率计算模块,和存储于电子设备可读存储介质中的查找表。查找表可以存储将第一信号与第二信号的比值与接收器特性的预定值进行相关的校准数据。接收器特性调整模块可以基于存储在查找表中的预定值来调整接收器的特性。例如,接收器的特性可以包括 CDR 的 DT、CDR 的判定相位、接收器的电带宽、以及干涉仪的自由光谱范围(FSR)。

[0053] 在本发明的一些实施例中,提供了一种用于调整光接收器特性的方法。该方法可以包括:确定施加到接收器处所接收的光信号的光学滤波量,该光学滤波量表示在光信号的传输期间光带宽的变窄或变宽。光信号可以从光链路被接收,并且光学滤波可以由存在于链路上的一个或多个光学滤波器或多路复用器所施加。光信号可以是根据下列格式之一进行调制的调制光信号:mPSK、DPSK、DmPSK、PDPSK、PDmPSK、mQAM 和 ODB。

[0054] 确定施加到光信号的光学滤波量可以包括确定与接收器相关联的检测器的特性。例如,该特性可以是以下之一:检测器的相长端口的平均光电流;检测器的相消端口的平均光电流;检测器的相长和相消端口的平均光电流的和;以及检测器的相长和相消端口的平均光电流的比值。光学滤波量可以基于确定的检测器特性来被选择。

[0055] 该方法可以进一步包括基于确定的光学滤波量来确定接收器的特性值。基于确定的特性值,接收器可以被配置。在本发明的其他实施例中,光链路中的光学滤波量可以被估计以用于除配置接收器之外的用途。

[0056] 在其他实施例中,提供了一种校准光接收器的特性的方法。校准接收器可以包括:确定施加到接收器处所接收的光信号的光学滤波量,基于所测量的光学滤波量来确定接收器的特性值,并且将所确定的值存储于与接收器相关联的非瞬时电子设备可读介质中。

[0057] 例如,特性值可以通过最小化与光信号相关联的比特误差率(BER)来被确定。在其他实施例中,该值可以通过观察与接收器相关联的检测器的特性来被确定。例如,该特性可以表示检测器的相长端口的平均光电流、检测器的相消端口的平均光电流、检测器的相长和相消端口的平均光电流的和、或者检测器的相长和相消端口的平均光电流的比值。所观察到的特性可以被最大化或最小化。

[0058] 使用本文描述的技术,光网络中的光学滤波量可以在接收器处被估计,并被用于各种目的。例如,使用光学滤波的估计值,接收器可以被配置以便改善性能而不依靠 FEC。

## 附图说明

- [0059] 图中,相同的附图标记始终被用来指代相同的元件。
- [0060] 图 1A 是传统光网络 100 的示意性框图。
- [0061] 图 1B 是图 1A 的光网络 100 的接收器 110 的一部分的示意性框图。
- [0062] 图 1C 描绘了图 1A 的干涉仪 116 和光检测器 118 的一部分。
- [0063] 图 1D 描绘了干涉仪 116 的另外的方面。
- [0064] 图 2 描绘了使用前向纠错(FEC)来调整接收器参数的系统的框图。
- [0065] 图 3 是描绘了根据本发明的教导的实验装置的框图,该实验装置建立的是接收器的优选设置被光传输线中的光学滤波量所影响。
- [0066] 图 4A 是描绘了基于通过使用图 3 中所描绘的装置所执行的实验的最优判定阈值相对具有 50GHz 的自由光谱范围的干涉仪的光信噪比的图表。
- [0067] 图 4B 是描绘了基于通过使用图 3 中所描绘的装置所执行的实验的最优判定阈值相对具有 66GHz 的自由光谱范围的干涉仪的光信噪比的图表。
- [0068] 图 5A 是描绘了用于具有 50GHz 的自由光谱范围的干涉仪的输出的传输系数的图表。
- [0069] 图 5B 是描绘了用于具有 66 GHz 的自由光谱范围的干涉仪的输出的传输系数的图表。
- [0070] 图 6 是描绘了干涉仪的相长和相消端口的二极管光电流的比值相对传输线的带宽的图表。
- [0071] 图 7A 是描绘了用于校准光接收器的示例性技术的流程图。
- [0072] 图 7B 是描绘了用于配置光接收器的示例性技术的流程图。
- [0073] 图 7C 是描绘了用于确定网络中的光学滤波量和基于确定的光学滤波量来选择适当的接收器设置的示例性技术的流程图。
- [0074] 图 8 是描绘了采用用于响应于光网络中计算的光学滤波量来调整接收器设置的控制环的接收器的框图。
- [0075] 图 9 是描绘了用于估计光信号带宽的装置的框图。
- [0076] 图 10 是描绘了作为干涉仪相位从最优调节的失调的函数的光电二极管电流的依赖性相关性的图表。

## 具体实施方式

[0077] 光通信网络依赖光接收器来解调光信号并将解调的光信号转换成电信号。光接收器可以与一个或多个特性相关联,在光信号的传输期间可对这些特性作出变化,以便改善接收信号的质量。为了实现最优性能(即最小 BER),应当适当地设置接收器数据恢复的参数(例如,DT 电压和判定相位/定时)。根据传输线条件,可以被优化的另一个重要的接收器参数是接收器的电带宽(BW)。

[0078] 本发明估计光通信网络中的光学滤波量(并因此估计光信号的光带宽)。光学滤波量可以表示,例如,在光信号的传输期间由一个或多个光学滤波器和/或多路复用器对光带宽的变窄或变宽。由于传输线中光学滤波器的相加或相减,或者由于从发射器到接收器使用不同的传输路径,传输线也可以改变。基于估计的光学滤波量,可以确定接收器的操作

特性值。例如,可以通过观察与接收器相关联的检测器的特性,诸如检测器的相长和相消端口的平均光电流的比值,来确定接收器的特性值。所观察的检测器特性可以被映射到查找表中接收器特性的预定值,在接收器的操作期间该查找表可以被查询。

[0079] 图 3 是描绘了实验装置的框图,该实验装置建立的是接收器的优选设置被光传输线中的光学滤波量所影响。如图 3 中所示,来自 43Gbps 的 DPSK 发射器 102 的信号,在由 DPSK 接收器所接收之前,穿过光学滤波器 108 和噪声加载系统 310。通过改变实验中级联的光学滤波器 108 的数目,发明人能够使传输的组合有效光带宽进行变化。

[0080] 接收器包括 DLI 116,后面是通过 CDR 电路 360 与 BER 计数器 370 连接的平衡接收器 120'。控制器 350 控制 CDR 360 的设置。

[0081] 平衡接收器 120' 的光电二极管 132、134 中的平均光电流分别通过使用连接到电源 320 和光电二极管 132、134 的第一和第二测量设备 330、340 来被测量。

[0082] 利用不同的光学滤波量和传输线中的 OSNR,通过最小化 BER 来经由控制器 350 对 CDR 电路设置(判定阈值 DT、相位、接收器电 BW 等)进行优化。实验结果在图 4A-4B 中被描绘。

[0083] 图 4A 是描绘了通过使用图 3 中所描绘的装置所执行的实验的结果的图表 400。图表 400 描绘了使用系统所执行的实验结果,藉此 DLI 116 使用了用于各种光学滤波量的 50 GHz 的自由光谱范围(FSR)402。图 4B 描绘了针对具有用于各种光学滤波量的 66GHz 的 FSR 432 的 DLI 116 使用图 3 中所描绘的装置所执行的实验的结果的图表 430。

[0084] 图表 400、430 的 x 轴 410 描绘了系统的光信噪比(OSNR),而 y 轴 420 描绘了所描述的变量的六种组合中的每种的最优判定阈值(DT)。通过改变无论是使用非归零(NRZ)还是归零(RZ)DPSK 的图 3 的系统,以及通过在 30、35 和 65 GHz 之间改变系统的光带宽,来建立这些组合。

[0085] 最优 DT 电压和相位大致对应于接收器处信号眼图的“眼开口”的中心。测量的眼图形状取决于传输线中的光学滤波和取决于接收器 DLI FSR。结果,最优接收器设置也改变。

[0086] 根据比较图 4A 和 4B 的重要观察是,对于特定的调制格式和特定的接收器 DLI FSR,最优的 CDR 设置是强烈依赖于传输线中的光学滤波量的。与此同时,对光信噪比(OSNR)的依赖性较弱。因此,避免对不同的光学滤波条件使用 FEC 统计来优化接收器和校准接收器是可能的(即,根据光学滤波来测量和存储最优 CDR 设置)。在接收器操作期间,如果光学滤波量是已知的,则在不使用 FEC 统计的情况下可以设置最优 CDR 参数。

[0087] 然而,在实际的系统中,接收器应该能够在具有传输线中的不同的信号光谱滤波量的条件下进行操作:例如,根据在系统中的 ROADM 的数目和 ROADM 设置,具有可重构光分/插复用器(ROADM)的系统的组合光带宽可以显著地改变。因此接收器应当能够“测量”链路中的光学滤波。下面参照图 5A-6 描述了这种接收器测量。

[0088] 图 5A 和 5B 是分别描绘了 DLI 116 的两个输出 117、118 的正弦传输曲线的图表 500 和 530。图表 500 描绘了 50GHz 的 DLI FSR 502 的传输,而图表 530 描绘了 66.7GHz 的 DLI FSR 532 的传输。图表 500、530 将 x 轴 510 上的发送信号的波长与 y 轴 520 上的发送信号的光谱和传输系数相比较。

[0089] DLI 116 的两个输出 117、118 可以被看作是相对于彼此偏移了 FSR 的一半的具有

正弦传输(其中正弦曲线的周期是 DLI FSR)的两个光学滤波器的输出。正弦曲线的位置可以被调节。利用最优 DLI 调节, DLI 相长端口的传输峰值之一与所接收的信号光谱的中心一致,并且 DLI 相消端口的传输最小值之一与所接收的信号光谱的中心一致。结果,相长端口主要发送信号光谱的中央部分,而相消端口主要发送信号光谱的尾部。对于更窄的光谱,来自于光谱的更小贡献出现于光谱的尾部中。因此, DLI 的相长和相消端口中的相对光功率可以指示信号光谱宽度,并且(因为发射器处的光谱带宽是已知的)因此可以指示传输线中的光谱滤波量。

[0090] 这样的相对光功率在图 6 的图表 600 中被描绘。由平衡接收器 120' 的两个光电二极管 132、134 所生成的平均光电流 620(分别为  $I_{pdc}$  和  $I_{pdd}$ )与 DI 的相长和相消端口的光功率成比例,并且因此相长和相消端口处的光电流( $I_{pdc}/I_{pdd}$ )的比值是传输线中的光学滤波 610 的良好测量。图 6 示出了对于 DLI FSR=50GHz (640) 和 DLI FSR=66.7GHz (630) 的情况,比值  $I_{pdc}/I_{pdd}$  对光学滤波的依赖性。

[0091] 通过测量平衡接收器的两个光电二极管的平均电流,容易计算线路中的光学滤波(假设 DLI FSR 和信号的调制格式是已知的)。应当注意的是,系统中的噪声仅轻微影响光学滤波估计的精确性。而且,电流  $I_{pdc}+I_{pdd}$  的和对应于接收器 110 处总的输入光信号。

[0092] 这些结果为用于基于网络中的估计的光学滤波量来校准和配置接收器的方法提供了基础。例如,图 7A 是描绘了用于校准光接收器的示例性技术的流程图。

[0093] 在步骤 710 处,网络中的光学滤波量可以被估计和确定。由于光接收器通常在工厂处或在类似实验室的条件中时被校准,因此光接收器可以在其中可以使用具有已知光学滤波量的网络来测试接收器的设施中被采用。因此,可以基于网络中的光学滤波器的具体数目和类型来直接测量或确定光学滤波量。

[0094] 在步骤 720 处,接收器特性的最优或期望值可以被确定。例如,可以通过使用 FEC 监视接收器的 BER 并调整特性以最小化 BER 或将 BER 减少到可接受的阈值以下,来确定特性的最优或期望值。

[0095] 替代地,可以通过使用仿真或根据先前收集的数据来确定最优或期望值。如果接收器利用变化的光信号输入功率进行操作,则也可以针对不同的输入光信号功率值来校准最优设置。

[0096] 可以在步骤 720 被确定的接收器的示例性特性,包括但不限于 CDR 的判定阈值(DT)、CDR 的判定相位、接收器的电带宽、限制跨阻放大器(TIA)(如果使用的话)的设置、DLI FSR(如果 FSR 可以被改变的话)、两个 DLI 端口之间的损耗不平衡,等等。

[0097] 一旦实现了适当的 BER,与 BER 相对应的值可以被存储在数据库、查找表或其他形式的持久存储器中。数据库或查找表可以在操作期间被编程到接收器中,或以其他方式使其对于接收器可用。数据库或查找表在接收器操作期间可以被查阅,如下面相对于图 7B 所描述的那样。

[0098] 图 7B 是描绘了用于在操作期间不依赖 FEC 来配置光接收器的示例性技术的流程图。在步骤 740 处,网络中的光学滤波量可以被估计。例如,光学滤波量可以通过使用诸如图 7C 中所描绘的方法之类的方法而被估计。

[0099] 在步骤 750 处,接收器的特性值可以被确定。例如,接收器可通过使用所确定的光学滤波量作为索引键来查阅查找表或数据库。特性值可以与查找表中的索引键相关联。接

收器可以检索特性值,并在步骤 760 处,应用特性值来配置接收器。有利地,这样的控制并不需要参数的抖动。

[0100] 图 7C 是描绘了用于确定网络中的光学滤波量并基于所确定的光学滤波量来选择适当的接收器的示例性技术的流程图。

[0101] 在步骤 770 处,干涉仪 116 的相长端口处的光电二极管 132 的光电流 ( $I_{pdc}$ ) 可以被测量。也可以利用光电二极管 132 的光电流的平均值。类似地,在步骤 772 处,干涉仪 116 的相消端口处的光电二极管 134 的光电流 ( $I_{pdd}$ ) 可以被测量。也可以利用光电二极管 134 的光电流的平均值。

[0102] 在步骤 774 处,光电流的比值 ( $I_{pdc}/I_{pdd}$ ) 可以被计算。在步骤 776 处,可以利用光电流的比值作为键来为接收器特性的适当值查询查找表。

[0103] 如图 8 中所示,步骤 770-774 可以由接收器光功率计算模块 352、光学滤波估计模块 354、和 / 或接收器特性调整模块 356 所执行。这样的模块可以被单独体现为硬件设备、软件模块,或控制逻辑,或可以被集成为控制器 350。

[0104] 用于估计光网络中光学滤波量并确定接收器的期望设置的指令可以被编码在保持一个或多个电子设备可读指令的非瞬时性电子设备可读存储介质上。例如,非瞬时性电子设备可读存储介质可以包括 RAM、ROM、闪存、计算机硬驱动器、CD、DVD、或计算机磁盘,或任何其他合适类型的电子设备可读存储介质。该指令可被体现为硬件或软件中所采用的控制逻辑。

[0105] 上述方法可以在用于基于网络中的光学滤波量来调整接收器特性的装置中被采用。例如,图 8 是描绘了采用用于响应于光网络中所计算的光学滤波量来调整接收器设置的控制环的接收器的框图。

[0106] 图 8 中,控制器 350 从第一和第二测量设备 330、340 接收输入信号、并计算光电二极管的光电流的比值。基于该比值,选择接收器特性的合适值。

[0107] 控制器进一步具备两个输出路径 810、820,用于将特性值应用到接收器。第一输出路径 810 将控制器 350 连接到 CDR 360。因此,可以通过输出路径 810 来调整诸如 CDR 的 DT 之类的 CDR 360 的设置。第二输出路径 820 将控制器 350 连接到干涉仪 116。因此,干涉仪的设置,诸如干涉仪 116 的端口之间的损耗不平衡和 / 或干涉仪的自由光谱范围 (FSR),可以被调整或选择。在控制器和其他接收器组件 (诸如跨阻放大器 (TIA)、平衡检测器 120 等等) 之间可以提供另外的输出路径,用于改变其他接收器组件的特性。

[0108] 如上所述,网络中的光学滤波量可被估计为接收器的一部分来改变接收器特性,并从而降低与接收器相关联的 BER。然而,网络中的光学滤波量在其他情境中也可能是有用的。本发明的示例性实施例进一步提供了一种用于估计光信号带宽的装置,如例如在图 9 中所示的。

[0109] 为了测量的光信号 910 的带宽,光信号 910 可以被分离成两个路径。然后两个路径中的每个中的信号可以通过对应的光学滤波器 920、930 被发送。

[0110] 分支中的两个滤波器 920、930 的传输带相对于彼此偏移。例如,DLI 干涉仪 116 可以被认为信号分离器和两个光学滤波器 920、930。在这种情况下,每个滤波器 920、930 的传输具有带有 DLI FSR 的周期的正弦传递函数,且两个滤波器的传输带相对于彼此偏移 DLI FSR/2。

[0111] 然后,比较两个滤波器的输出 922、932 处的光信号的光功率,由光信号带宽估计单元 940 基于预先建立的校准值来估计输入光信号的光带宽。校准取决于两个滤波器的实际传递函数。注意的是,低速光电二极管可以被用于功率测量。

[0112] 这种简单的光 BW 测量技术可以被用于各种应用(例如不仅在 DPSK 接收器中,也在其他调制格式接收器中)。注意的是,在校准中应该考虑到光电二极管响应度中以及相长和相消端口中的损耗中的差异(有意或者非有意的)。

[0113] 当前发明的另一个方面是 DLI 相位(干涉仪的两个分支之间的相对相位)的控制。因此,图 10 是描绘了作为干涉仪相位 1010 从最优调节的失调的函数的光电二极管电流的比值 1020 ( $I_{pdc}/I_{pdd}$  1030、 $I_{pdc}$  1034 和  $I_{pdd}$  1032 相对干涉仪的相位偏移量)的相关性的图表 1000。图 10 中, $I_{pdc}$  和  $I_{pdd}$  在总和  $I_{pdc}+I_{pdd}$  上被归一化。

[0114] 注意的是,图 10 中,最优调节对应于  $0 \pm 2\pi * k$  或对应于  $\pi * (2k+1)$ , 其中  $k=0, \pm 1, \dots$ 。对于  $\pi * (2k+1)$  的情况,数据被反转使得 DLI 的相长端口变为相消,反之亦然。

[0115] 图 10 指示了所说明的参数( $I_{pdc}/I_{pdd}$ 、 $I_{pdc}$  或  $I_{pdd}$ )中的任意可以被用作反馈信号,以控制并设置 DLI 调节到最优值。DLI 可以被调节到这些参数(或其中之一)处于最大值或最小值的位置。例如,为了将 DLI 相位偏置调节为 0,比值可以被最小化。为了将 DLI 相位偏置调节为  $\pi$ ,比值可以被最大化。为了将 DLI 相位偏置调节为任何其他值,可以采用将所请求的偏置值匹配到预定比值的查找表。可以在接收器的校准期间建立查找表中的值。

[0116] 总之,已经示出的是,当应用不依赖 FEC 的自适应接收器的本文所阐述的概念时,人们可以在光学滤波的宽范围上显著改善 DPSK 接收器(部分 DPSK 和其他 DPSK 两者)的性能。同样的概念可适用于具有直接检测和相干检测方案两者的 mPSK 和 mQAM 接收器,以及用于 NRZ 和 RZ 情况。同样的概念也可适用于光学双二进制格式的 ODB(也被称为相位形二进制传输 PSBT)和其他直接检测格式(RZ 和 NRZ 两者的通断键控)。

[0117] 虽然 FEC 对于配置使用本文所描述的技术的接收器并不是必要的,但是如果可用的话,FEC 可以与光学滤波量的估计结合来被利用。例如,可以采用一种混合方法,其中,网络中的光学滤波量的估计被用来生成接收器设置的初始估计,以及然后 FEC 可以被用来精细调节该结果。这种技术允许接收器设置迅速收敛,使得接收器可接收地执行,以及然后被精细调节以允许接收器进一步改善其性能。在另一示例中,在 BER 处于相对较高的值时可以使用 FEC,而在 BER 开始接近于零时,可以使用光学滤波量的估计来精细调节设备设置。

[0118] 此外,虽然本申请已经按照取决于可用相移的数目的调制格式被描述,但用来增加星座数目的另一种方式是采用偏振。偏振是指波的振荡的定向。通过由自身或者结合采用诸如 DQPSK 的其他调制格式来修改偏振,更多的数据可以被编码到符号中。例如,相位中的偏移可以被用于对两个比特进行编码,而偏振中的偏移可以被用于对两个附加比特进行编码。相移和偏振偏移的组合因此可以对四比特的数据进行编码。本发明同样可适用于星座数目由调制格式、光的偏振或者两者所确定的情况。

[0119] 前述的描述可以提供本发明的各种实施例的说明和描述,但并非意在穷举或将本发明限于所公开的精确形式。修改和变化可以鉴于上述教导而是可能的,或可以从本发明的实践中获得。例如,虽然上面已经描述了一系列动作,但在与本发明的原理相一致的其他

实现方式中可以修改这些动作的顺序。此外,非依赖性动作可以被并行地执行。而且,虽然已经描述了尤其着重于 P-DQPSK 的实现方式,但也可以采用其他的调制格式。

[0120] 此外,在不脱离本发明的精神的情况下,可以使用图中所说明的以及说明书中所描述的那些之外的一个或多个设备和 / 或配置来实现与本发明原理相一致的一个或多个实现方式。根据具体的部署和 / 或应用,一个或多个设备和 / 或组件可以从附图的实现方式中添加和 / 或去除。并且,一个或多个所公开的实现方式可以不被限于硬件的特定组合。

[0121] 此外,本发明的某些部分可以被实现为可以执行一个或多个功能的逻辑。该逻辑可以包括诸如硬件逻辑的硬件、专用集成电路、现场可编程门阵列、微处理器、软件、或硬件和软件的组合。

[0122] 除非像这样明确描述,否则在本发明的说明中所使用的元件、动作、或指令不应该被解释为对于本发明是关键或必需的。而且,如本文所使用的,冠词“a”意在包括一个或多个项目。意在只有一个项目的情况,使用术语“单个”或类似语言。此外,除非另外明确叙述,如本文中所使用的短语“基于”意在表示“至少部分地基于”的意思。此外,除非另外叙述,如本文中所使用的术语“用户”,意在被广范地解释为包括例如计算设备(例如工作站)或计算设备的用户。

[0123] 本发明的范围由权利要求书及其等同物所限定。

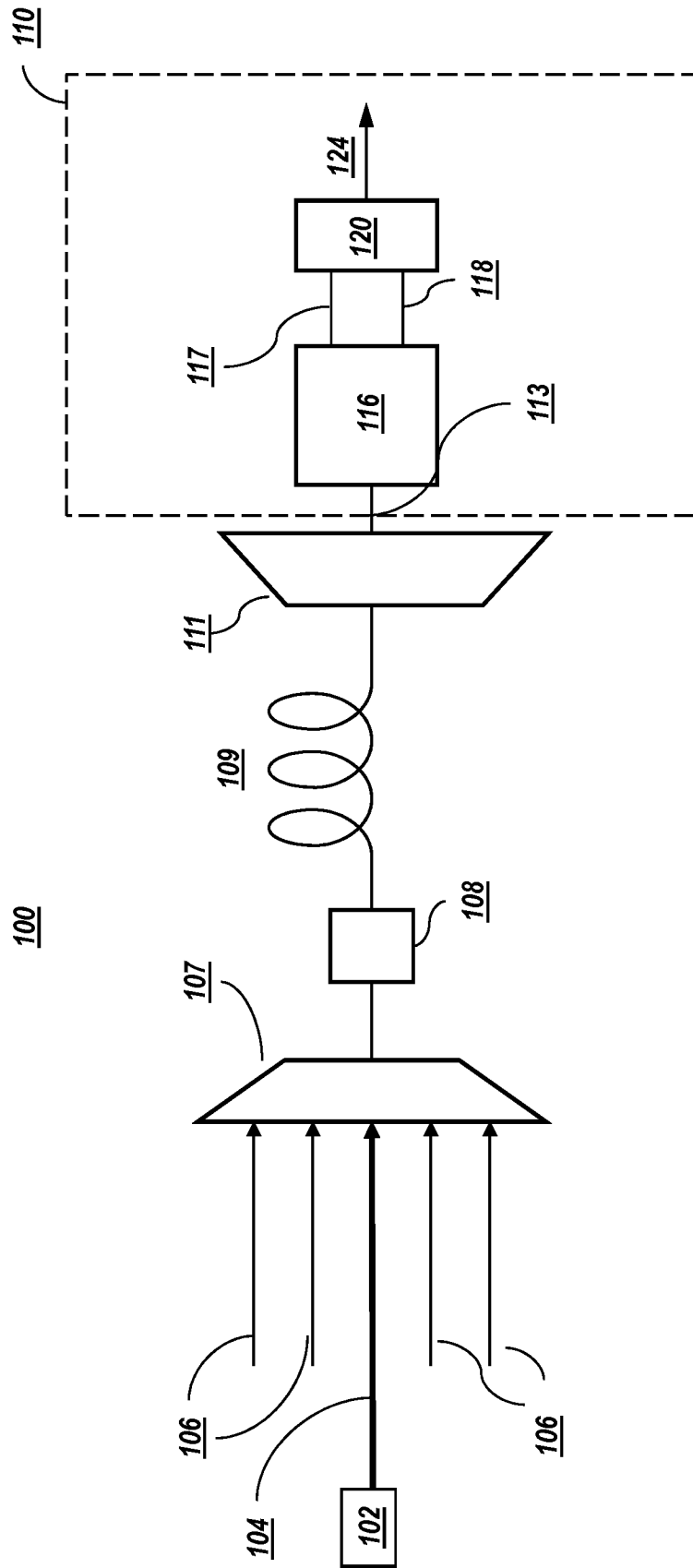


图 1A



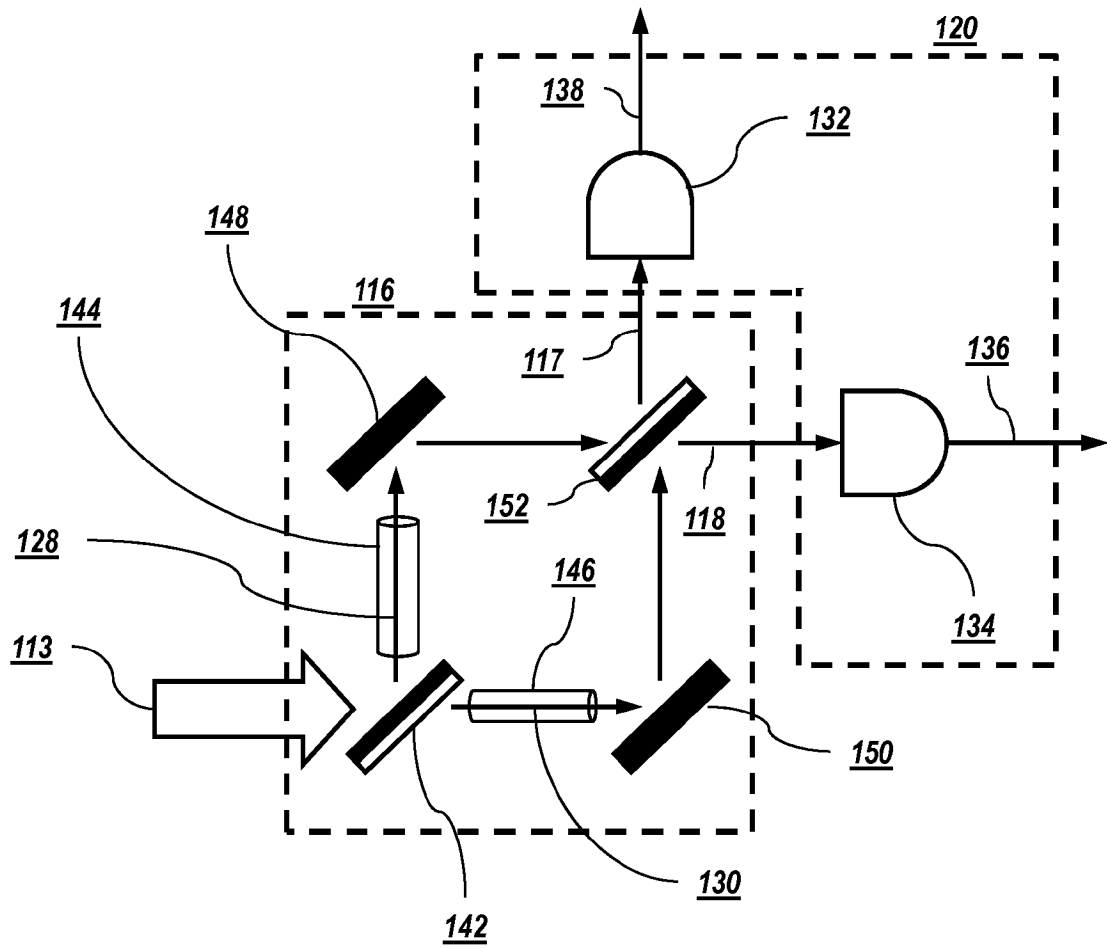


图 1C

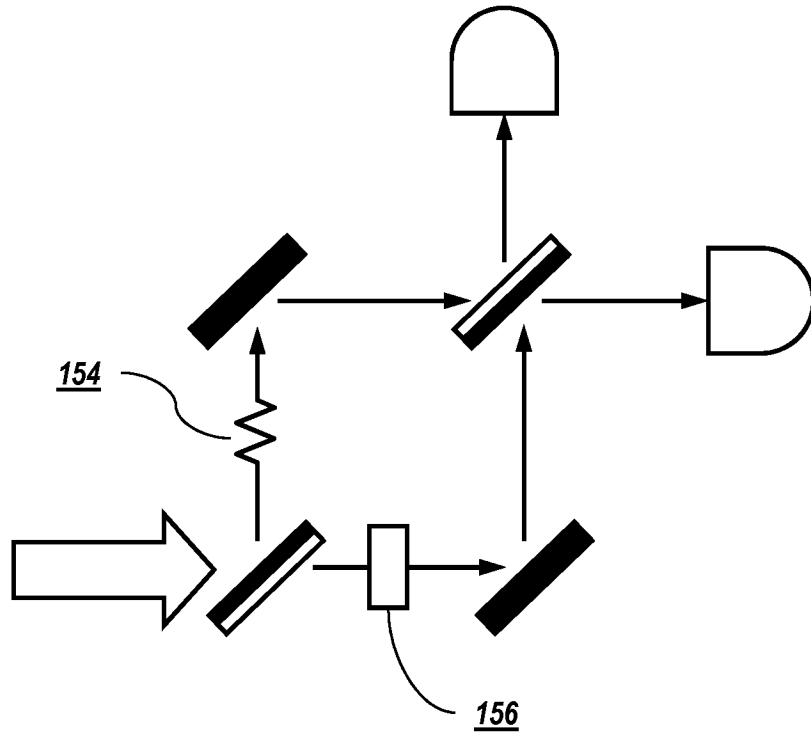


图 1D

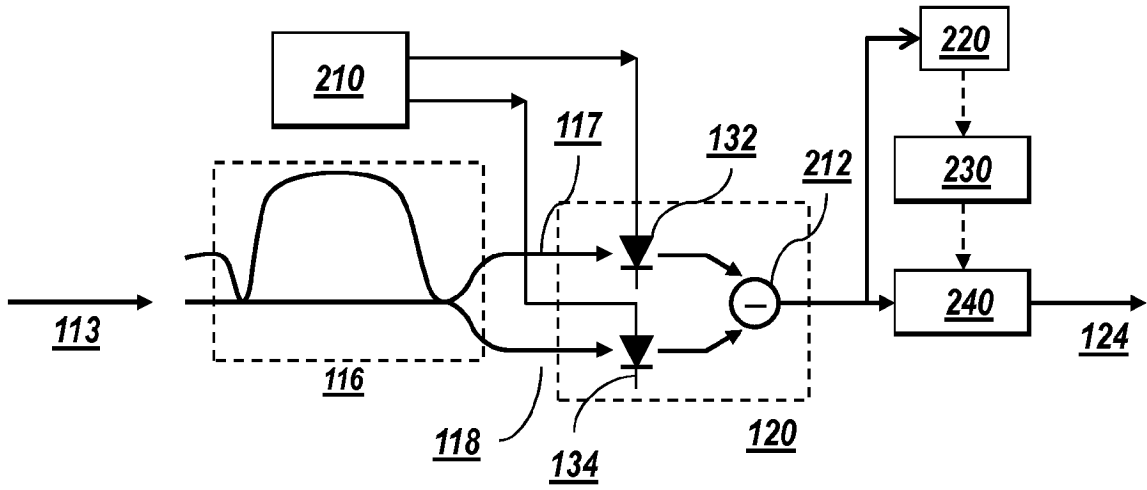


图 2

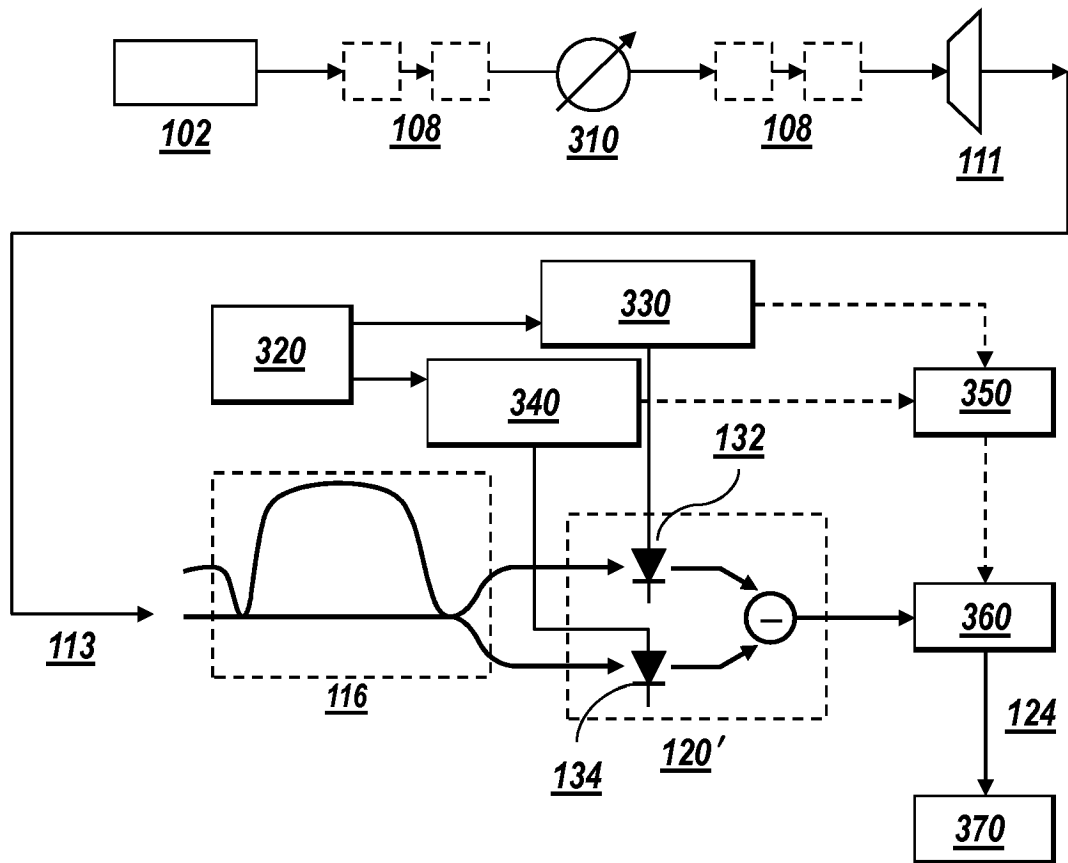


图 3

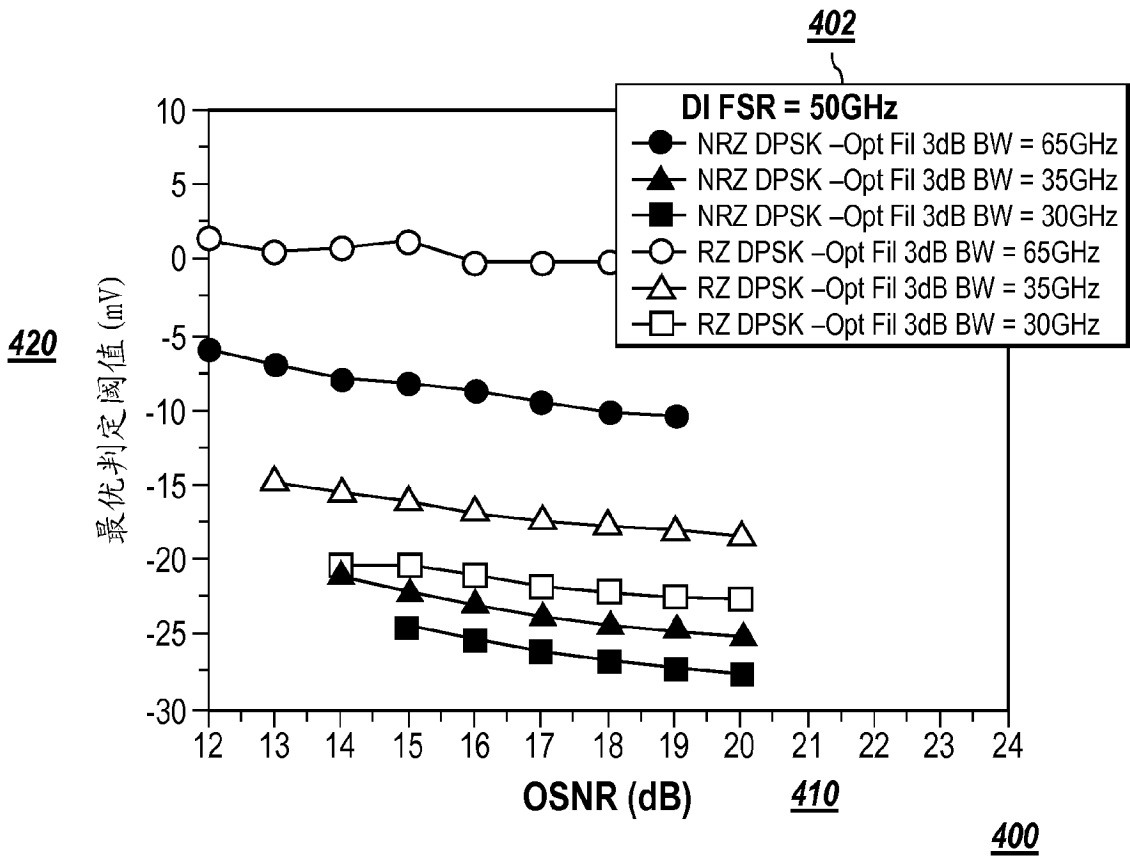


图 4A

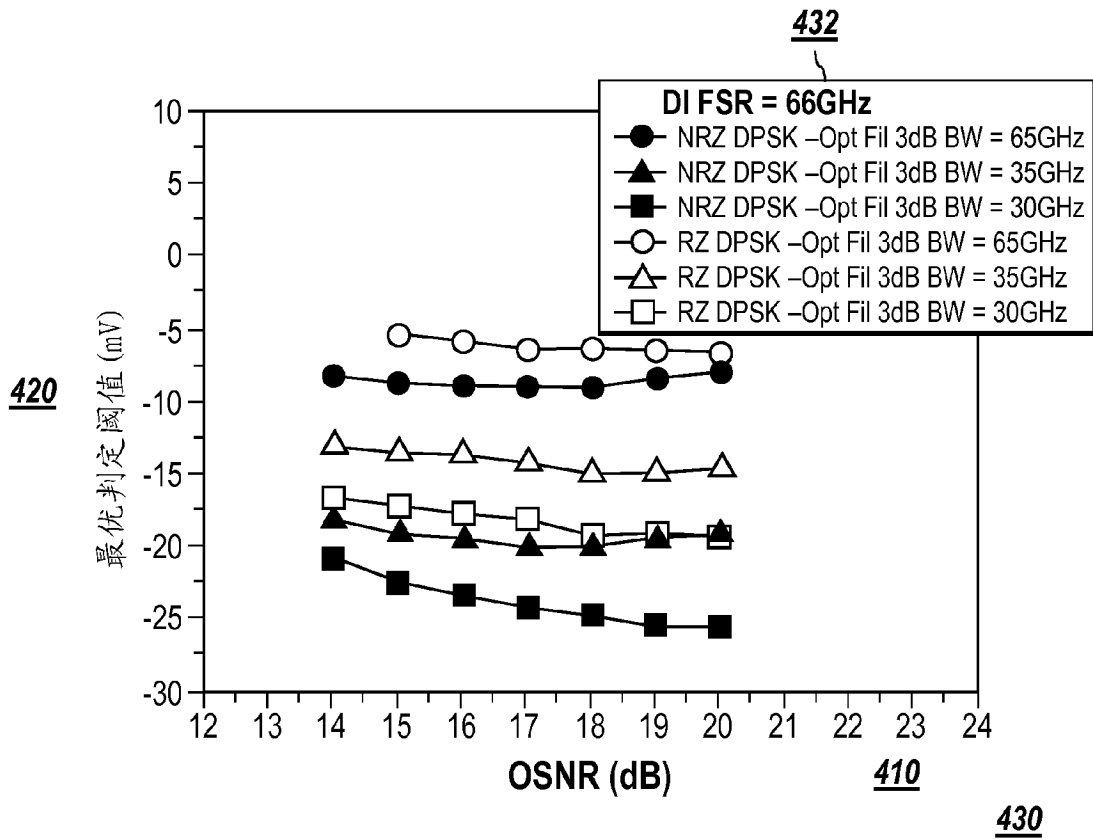


图 4B

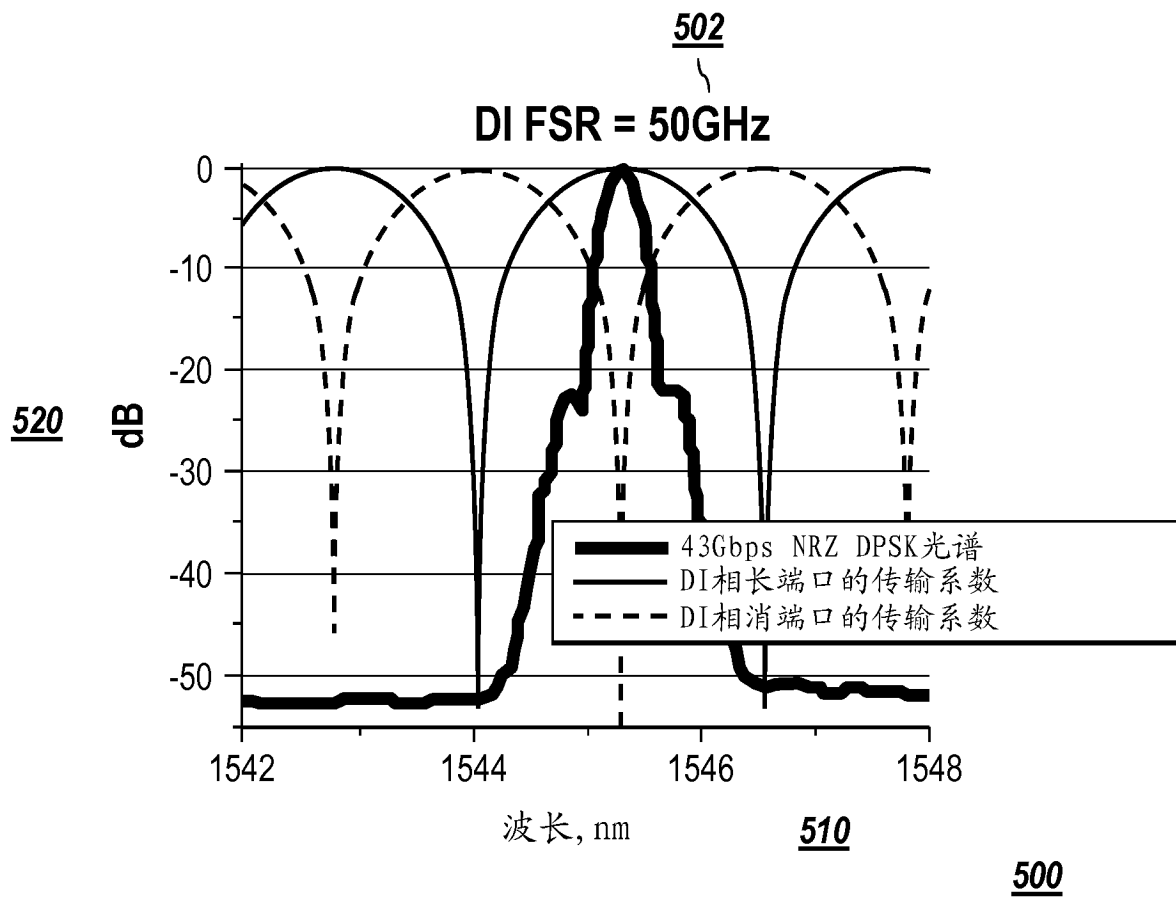


图 5A

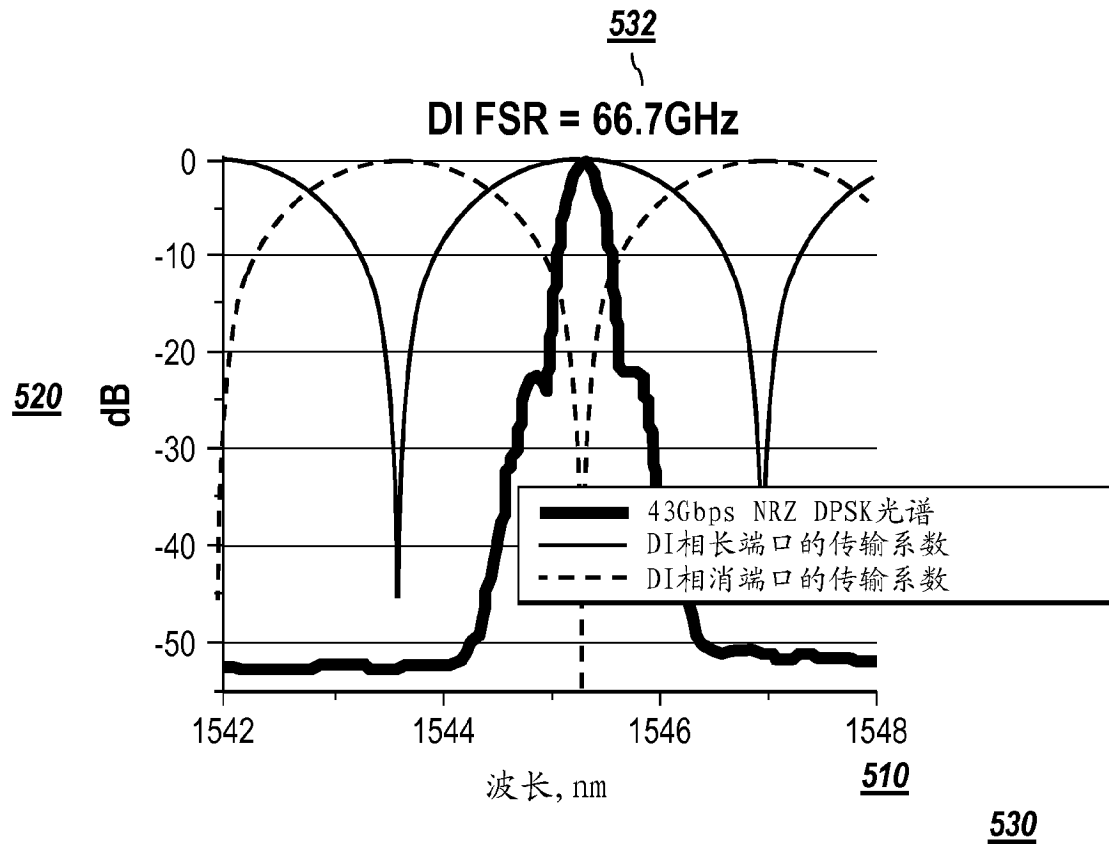
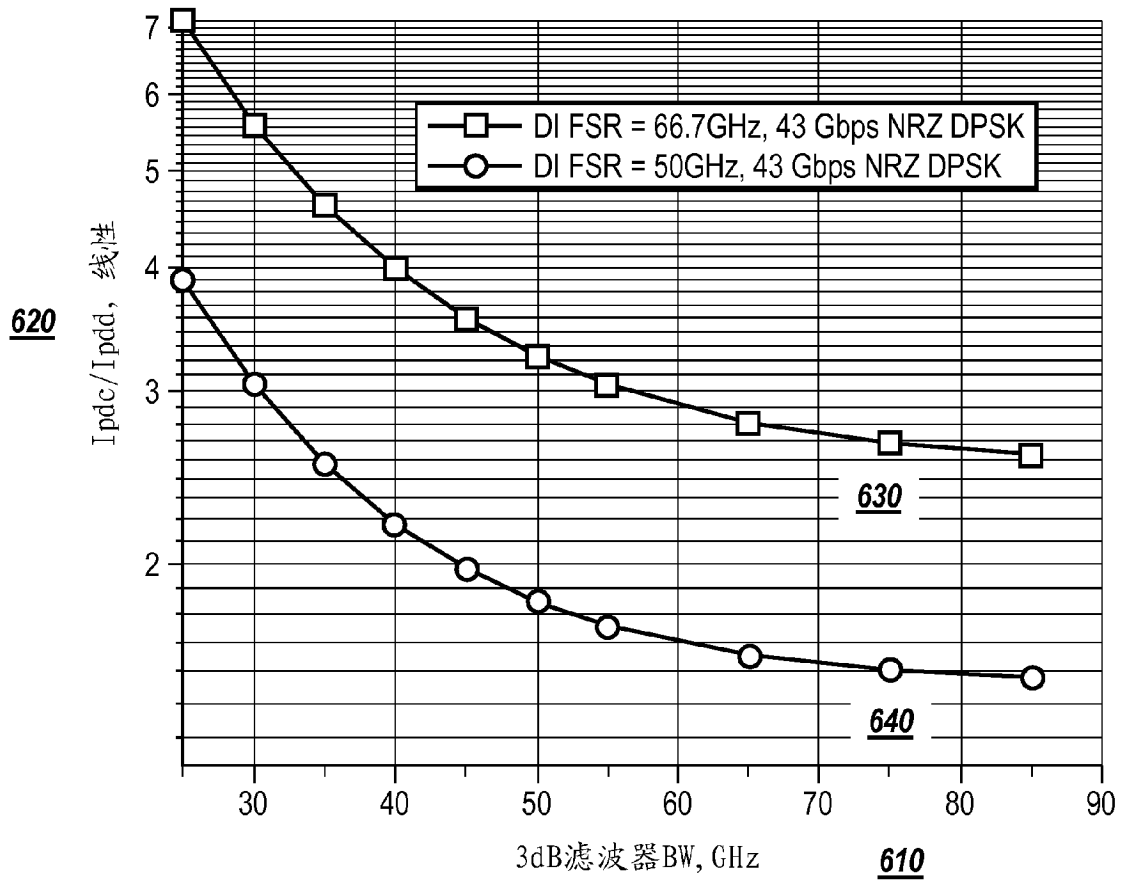


图 5B

在相长和相消端口中的二极管光电流的比值



600

图 6

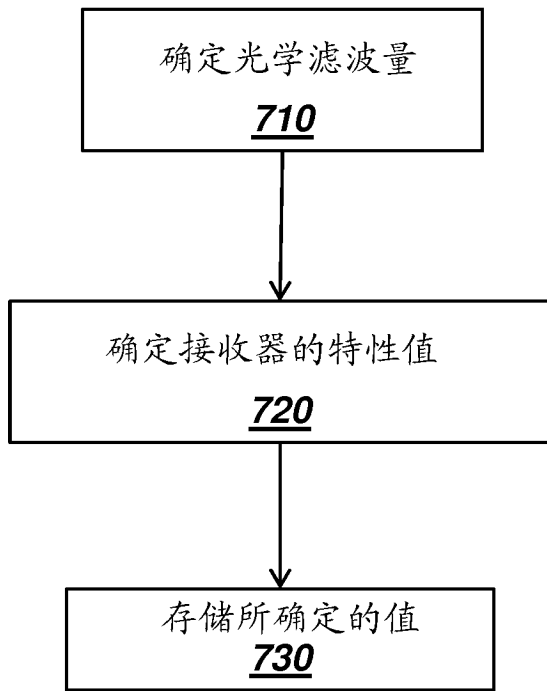


图 7A

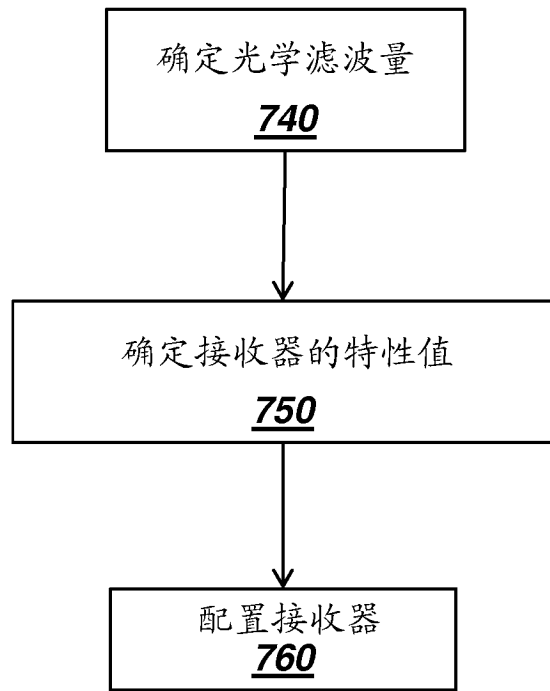


图 7B

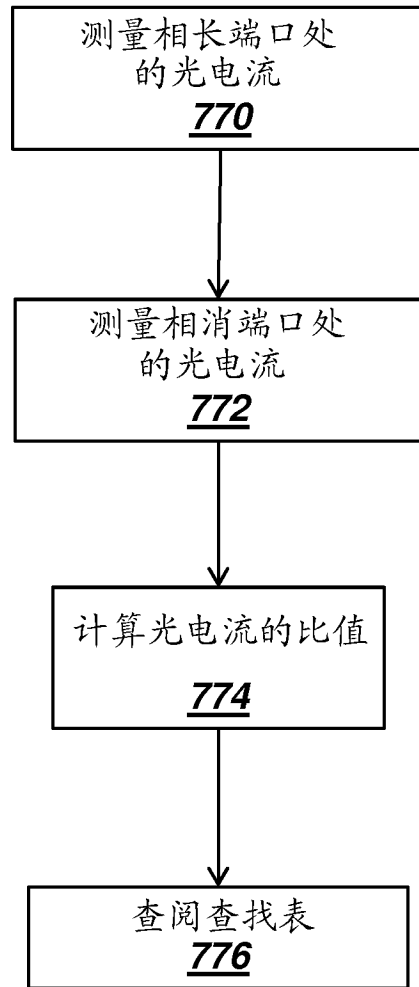


图 7C

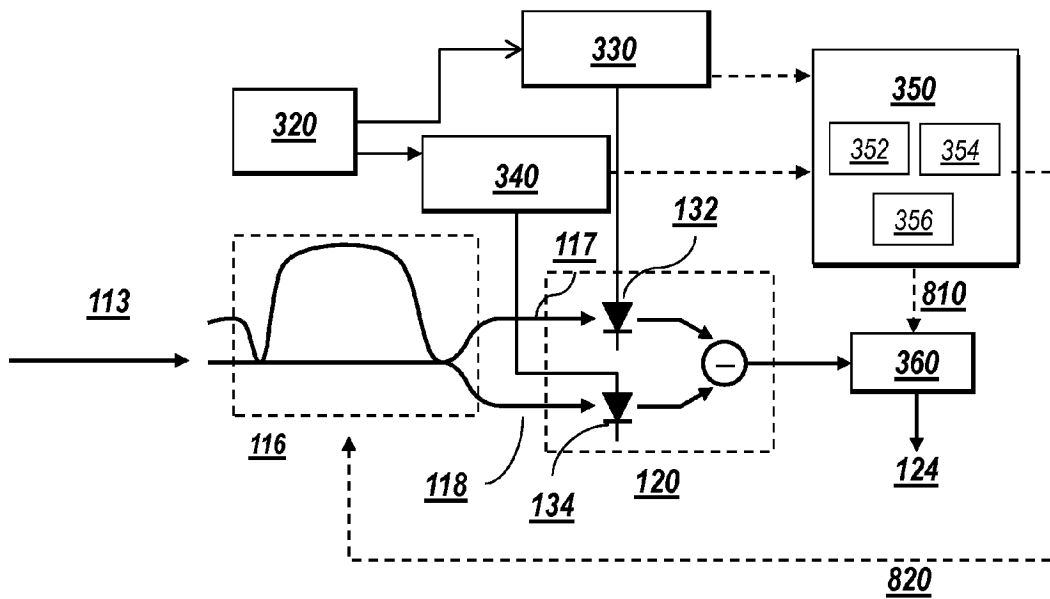


图 8

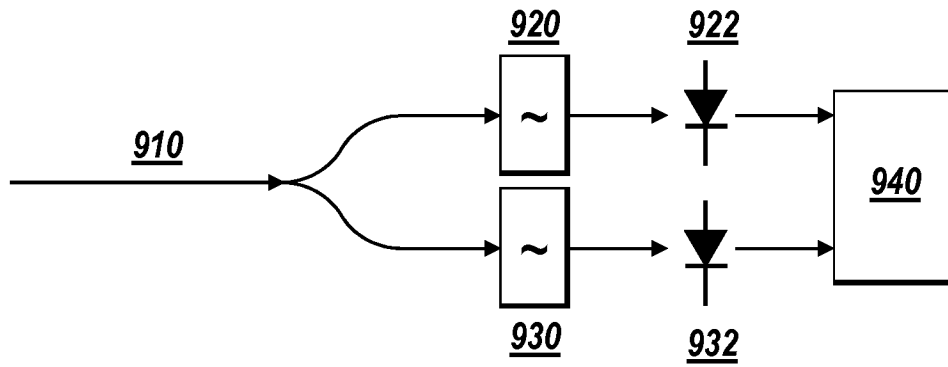


图 9

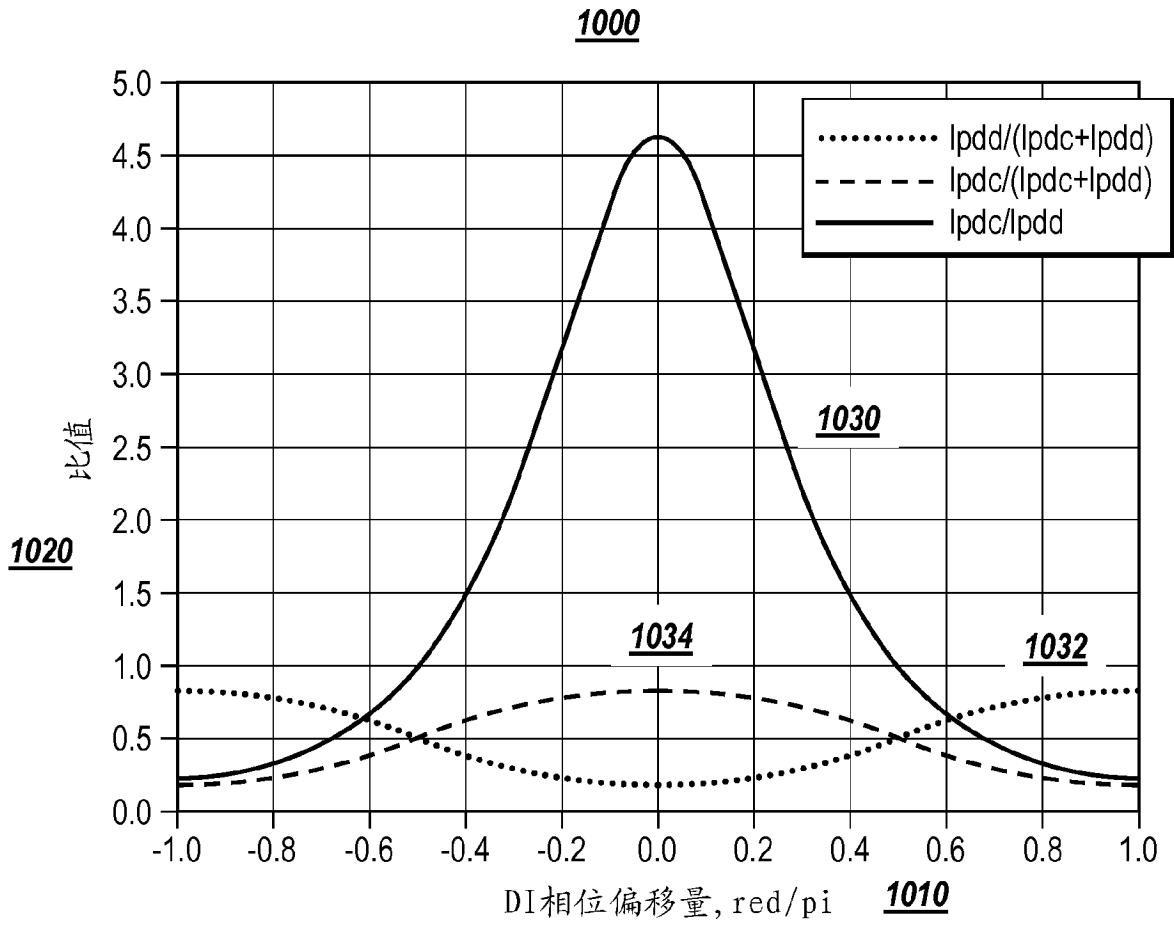


图 10