

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04B 10/04 (2006.01)

H04B 10/12 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200780007889.4

[43] 公开日 2009年5月20日

[11] 公开号 CN 101438518A

[22] 申请日 2007.3.6

[21] 申请号 200780007889.4

[30] 优先权

[32] 2006.3.6 [33] US [31] 60/779,700

[86] 国际申请 PCT/US2007/063379 2007.3.6

[87] 国际公布 WO2007/103916 英 2007.9.13

[85] 进入国家阶段日期 2008.9.5

[71] 申请人 泰科电讯(美国)有限公司

地址 美国新泽西州

[72] 发明人 M·尼索夫 A·N·皮利佩特斯基
蔡金星 N·S·伯加诺

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 王岳 李家麟

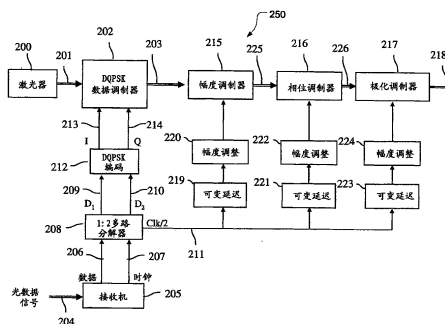
权利要求书3页 说明书12页 附图7页

[54] 发明名称

用于高比特率系统的传输格式

[57] 摘要

一种装置系统和方法，其中多级数据调制格式(图2)，例如 DQPSK 与符号速率同步幅度(215，图2)、相位(216，图2)和/或极化调制(217，图2)结合。



1.一种用于发射光信号的装置，包括：

数据调制器，其被配置用于使用多级数据调制格式调制光信号上的数据，来提供数据调制信号，所述数据调制信号包括多个比特的所述数据，该数据在符号速率所提供的多个输出符号的每个中编码，以及

至少一个开销调制器，其被配置用于以至少一种特征的符号速率给予周期性调制，该特征从由所述光信号的幅度、所述光信号的相位和所述光信号的极化构成的组中选取。

2.根据权利要求1所述的装置，其中以所述符号速率的所述周期性调制包括至少两个特征的周期性调制，这两个特征从由所述光信号的所述幅度、所述光信号的所述相位和所述光信号的所述极化构成的组中选取。

3.根据权利要求1所述的装置，其中以所述符号速率的所述周期性调制包括所述光信号的所述幅度、所述光信号的所述相位和所述光信号的所述极化的每个的周期性调制。

4.根据权利要求1所述的装置，所述装置进一步包括至少一个幅度调整机制，用于选择性地改变所述周期性调制的级别。

5.根据权利要求1所述的装置，所述装置进一步包括至少一个可变的延迟机制，用于选择性地改变所述周期性调制相对所述输出符号的定时。

6.根据权利要求1所述的装置，其中所述多级数据调制格式是差分四相相移键控（DQPSK）调制格式。

7.根据权利要求1所述的装置，其中所述多级数据调制格式是四相相移键控（QPSK）调制格式。

8.根据权利要求1所述的装置，其中所述数据调制信号包括前向纠错（FEC）编码。

9.根据权利要求1所述的装置，其中以所述符号速率的所述周期性调制由与所述数据调制器耦合的时钟建立。

10.根据权利要求1所述的装置，其中所述至少一个开销调制器与所述数据调制器的输出耦合。

11.根据权利要求1所述的装置，其中所述数据调制器与所述至少一个开销

调制器的输出耦合。

12.根据权利要求1所述的装置,其中所述数据由所述装置以不同于所述多级数据调制格式的调制格式进行接收。

13.一种传输系统,包括:

发射机,所述发射机包括:

数据调制器,其被配置用于使用多级数据调制格式调制光信号上的数据,来提供数据调制信号,所述数据调制信号包括多个比特的所述数据,该数据在符号速率所提供的多个输出符号的每个中编码;

至少一个开销调制器,其被配置用于以至少一种特征的所述符号速率给予周期性调制,该特征从由所述光信号的幅度、所述光信号的相位和所述光信号的极化构成的组中选取;

与所述发射机耦合的光传输路径;以及

与光传输路径耦合的接收机。

14.根据权利要求13所述的系统,其中以所述符号速率的所述周期性调制包括至少两个特征的周期性调制,这两个特征从由所述光信号的所述幅度、所述光信号的所述相位和所述光信号的所述极化构成的组中选取。

15.根据权利要求13所述的系统,其中以所述符号速率的所述周期性调制包括所述光信号的所述幅度、所述光信号的所述相位和所述光信号的所述极化的每个的周期性调制。

16.根据权利要求13所述的系统,所述装置进一步包括至少一个幅度调整机制,用于选择性地改变所述周期性调制的级别。

17.根据权利要求13所述的系统,所述装置进一步包括至少一个可变的延迟机制,用于选择性地改变所述周期性调制相对所述输出符号的定时。

18.根据权利要求13所述的系统,其中所述多级数据调制格式是差分四相相移键控(DQPSK)调制格式。

19.根据权利要求13所述的系统,其中所述多级数据调制格式是四相相移键控(DPSK)调制格式。

20.根据权利要求13所述的系统,其中所述数据调制信号包括前向纠错(FEC)编码。

21.根据权利要求13所述的系统,其中以所述符号速率的所述周期性调制由

与所述数据调制器耦合的时钟建立。

22.根据权利要求 13 所述的系统,其中所述至少一个开销调制器与所述数据调制器的输出耦合。

23.根据权利要求 13 所述的系统,其中所述数据调制器与所述至少一个开销调制器的输出耦合。

24.根据权利要求 13 所述的系统,其中所述数据由所述发射机以不同于所述多级数据调制格式的调制格式进行接收。

25.一种用于在光通信系统上调制光信号以传输的方法,所述方法包括:
使用多级调制格式调制所述光信号上的数据,来编码多个比特的所述数据,该数据在符号速率所提供的多个输出符号的每个中;

以至少一种特征的所述符号速率给予周期性调制,该特征从由所述光信号的幅度、所述光信号的相位和所述光信号的极化构成的组中选取。

26.根据权利要求 25 所述的方法,所述方法进一步包括选择性地调整在所述符号速率处的所述周期性调制的级别。

27.根据权利要求 25 所述的方法,所述方法进一步包括用于选择性地改变所述光信号的幅度的所述周期性调制相对所述输出符号的定时。

用于高比特率系统的传输格式

相关申请的交叉引用

本申请要求于2006年3月6日提交的美国临时申请序列号60/779,700的权益,此处将其教导引入作为参考。

技术领域

本申请涉及信息的光传输,特别是涉及改善光纤传输系统上的传输能力。

背景技术

由于沿光纤传输路径的长度上积累了很多的减损,诸如那些在海底或横贯大陆使用了光放大转发器的陆地光波传输系统中那样长的光纤传输路径,遭受到了性能下降的影响。在单个数据信道中的这些减损源可以包括在掺铒光纤放大器(EDFA)中产生的被放大的自发发射(ASE)噪声,单模光纤折射率取决于传播通过它的光强度引起的非线性效应,和导致不同光频率以不同群速度传播的色散。而且,极化相关效应可以导致时变的减损,例如引起不同极化以不同的群延迟传播的极化模式色散和/或引起不同极化具有不同衰减的极化相关损耗。此外,对于其中几个光信道可能位于相同光纤上的波分复用(WDM)系统,光纤非线性折射率导致的信道之间的串扰可能是需要关注的问题。

在某些系统中,每个信道都以高数据率操作远程传输系统是有益的。多个同步数字体系(SDH)标准,例如10Gb/s和40Gb/s,可以被认为是有用的。通常来说,限制系统性能的减损可导致两种类型的接收眼孔图样的减损,这两种类型的减损与随机性(噪声引起的)和确定性减损(或者接收的位模式中的失真)相关。第二种类型的失真有时被称为符号间干扰或者ISI。当比特率升至每秒几十吉比特时,管理那些影响所接收的脉冲形状的减损并限制ISI可以是有益的。

所接收的波形的失真受到传输线路的设计,以及传输脉冲形状的影响。已经使用开关键控(OOK)实现已知的远程系统,其中在OOK中传输的脉冲利

用数据比特流的 1 和 0 被打开和关闭。开关键控可以多种众所周知的格式来实现，如归零 (RZ)，非归零 (NRZ) 和啁啾归零 (CRZ) 格式。通常，在 RZ 格式中，传输的光脉冲不占据整个比特周期并在相邻比特间返回至零，而在 NRZ 格式中，当连续二进制 1 被发送时光脉冲具有固定值特性。在啁啾格式中，例如 CRZ，比特同步正弦相位调制被给予所传输的脉冲。

相移键控 (PSK) 是本领域的普通技术人员已知的另一种调制方法。在 PSK 调制中，1 和 0 是通过光载波中的相位差或转变来识别的。PSK 可通过在第一个相位打开发射机以表示 1，并在第二个相位表示 0 来实现。在差分相移键控 (DPSK) 格式中，信号的光强度可保持不变，而 1 和 0 通过差分相位转变来表示。DPSK 调制格式包括 RZ-DPSK，这里的归零幅度调制被给予 DPSK 信号和 CRZ-DPSK。

多级调制格式也是有益的。在多级调制格式中，多个数据比特可以被编码在单一传输符号上。这些格式可以增强光谱效率并改善对上面提到的减损的容忍度。已知多种多级调制格式。用于每个符号编码两个比特的多级调制格式的例子包括四相移键控 (QPSK)；其中信息以四个差分相位进行编码的差分四相移键控 (DQPSK)；幅移键控和差分二进制相移键控 (ASK-DBPSK) 的组合。用于每符号编码三个比特的具有八个符号级别的多级调制格式包括差分 8 级相移键控 (D8PSK) 和 ASK-DQPSK。四相幅移键控和差分四相调制 (QASK-DQPSK) 的组合可以用于提供 16 个符号级别或者每个符号 4 个比特。

当传输系统的比特率增加时，传输损失可以变得更加限制。鉴于在上面列出的减损，使用传统的技术很难在横越海洋的距离上传送具有足够性能限度的 40Gb/s 信号。

附图说明

结合以下附图，参考以下具体描述，其中相同的附图标记代表相同的部件。图 1 是符合本发明公开内容的系统的一个典型实施例的简化框图。图 2 示出了符合本发明公开内容的发射机的一个典型实施例的简化框图。图 2A 示出了符合本发明公开内容的发射机的另一个典型实施例的简化框图。图 3 示出了符合本发明公开内容的与发射机的一个典型实施例相关联的波形。图 4 包括 Q-因子与功率的曲线图，其图解了符合本发明公开内容的实施例的传

输性能。

图 5 示出了符合本发明公开内容的实施例的幅度特性与符号速率同步 AM 调制的变化量的眼图 (eye diagram)。

图 6 示出了符合本发明公开内容的实施例的幅度特性与相对于数据和符号速率同步 AM 调制之间的时移的可变量的眼图。

具体实施方式

通常,符合本发明公开内容的系统和方法可包括多级数据调制格式,其结合了与符号速率同步的幅度、相位、和/或极化调制。与多级调制结合的幅度、相位和/或极化调制这里被称为“开销调制 (overhead modulation)”。在具有符合本发明公开内容的多级调制格式的符号速率上使用同步开销调制,在长距离高速光传输中产生了高性能用于单信道和 WDM 光传输系统。

光纤中某个中心频率的光波有三个特性:幅度、相位(频率)和极化状态,这三个特性可以连续随时间变化。“调制格式”的意思是这三个特性中的一个或多个根据给予该光波的信息/数据而变化。其它参数可以不迫使跟随信息信号。如这里所用到的,“多级调制格式”应该指的是允许在每个传输符号中编码多于一个数据比特的任何调制格式。例如, DQPSK 是一种多级调制格式,它提供了四符号级,允许每个符号编码两个比特。其他多级调制格式包括,但并不限于, QPSK、ASK-DBPSK、D8PSK、ASK-DQPSK 和 QASK-DQPSK。

这里使用的术语“符号”指的是在一次传输的数据的最小单元。术语“符号速率”指的是每秒传输的符号的数量,即赫兹 (Hz)。对于使用多级调制格式进行编码的数据,多个数据比特在单一的符号中同时被发送,导致符号速率为比特率的几分之一。例如, DQPSK 调制的信号包括用于每个符号的两比特数据,导致符号速率是比特率的一半。

图 1 是符合本发明公开内容的 WDM 传输系统 100 的一个典型实施例的简化框图。该传输系统用来在从发射终端 104 至一个或多个远距离的接收终端 106 的光信息路径 102 上发送多个光信道。该典型系统 100 可以是长距离海底系统,该系统被配置用于从发射机向 5000 公里或更远外的接收机发送信道。尽管在光系统的上下文中描述了典型实施例,并该实施例与长距离 WDM 光系统结合时才有用,但这里讨论的广义概念可以在其他发射和接收其他类型信号的通信系

统中实现。

本领域的技术人员将认识到，为了解释方便本系统 100 已经被描述为高度简化的点到点的系统。例如，发射终端 104 和接收终端 106 当然可以都被配置为收发机，其中每一个都被配置来执行发射和接收功能。然而，为了解释方便，在此仅仅关于发射或接收功能描写和描述该终端。可以理解的是，符合本发明公开内容的系统和方法可以被结合在多种多样的网络组件和配置中。通过解释而不是限制的方式提供已阐明的典型实施例。

在阐明的典型实施例中，多个发射机 TX1、TX2...TXN 中的每个都在相关联的输入端口 108-1、108-2...108-N 上接收数据信号，并在相关联的波长 λ_1 、 $\lambda_2 \dots \lambda_N$ 上发射该数据信号。发射机 TX1、TX2...TXN 中的一个或多个可被配置通过使用多级调制格式并以符号速率进行同步开销调制将数据调制到该相关联的波长上。当然为了解释方便，以高度简化的形式示出发射机。本领域内的技术人员将认识到每个发射机可以包括电和光组件，这些组件被配置用于在具有期望幅度和调制的其相关联的波长上发送数据信号。

所发送的波长或者信道各自承载在多个路径 110-1、110-2...110-N 上。数据信道被多路复用器或者组合器 112 组合到光路径 102 上的聚合信号中。光信息信道 102 可以包括光纤波导、光放大器、光滤波器、色散补偿模块和其他有源和无源组件。

该聚合信号可以在一个或多个远程接收终端 106 上被接收。多路分解器 114 将波长 λ_1 、 $\lambda_2 \dots \lambda_N$ 上的传输信道分隔到相关联的路径 116-1、116-2...116-N 上，这些路径与相关联的接收机 RX1、RX2...RXN 耦合。接收机 RX1、RX2...RXN 中的一个或多个被配置为解调所发送的信号，并在相关联的输出路径 118-1、118-2、118-3...118-N 上提供相关联的输出数据信号。

图 2 是符合本发明公开内容的一个典型发射机 250 的简化框图。尽管阐明的典型实施例包括具体的多级调制格式，即 DQPSK，和以符号速率给予同步开销调制的调制器的配置，但是可以理解的是这里描述的典型实施例仅是为了阐明而不是限制性的。符合本发明公开内容的系统可以使用多级调制格式和/或开销调制的配置来实现。

所示典型实施例 250 包括激光器 200，用于产生连续波 (CW) 光信号 201。该光信号可以与数据调制器耦合，用于使用多级数据调制格式将数据信号编码

为光信号 201。在所示的典型实施例中，光信号 201 与 DQPSK 数据调制器 202 耦合，DQPSK 数据调制器 202 根据 DQPSK 调制格式调制信号，以一种熟知的方式向其给予信息，并产生已调制的光信息信号 203。使用 DQPSK 调制格式，已调制光信息信号 203 可包括每符号两数据比特。

数据调制器 202 可以从输入数据源 204 接收将被给予光信号 201 的数据，其可以是短距光信号。从输入数据源接收的数据可以使用不同于由调制器 202 给予的多级数据调格式的调制格式进行调制。光信号 204 可以在光接收机 205 中被转化为电信号。光接收机 205 可提供电数据和时钟信号 206 和 207 给多路分解器 208。例如，多路分解器 208 可以在两个线路 209 (D1) 和 210 (D2) 上提供比特去交织信号，以及时钟信号 207 一半速率的第二时钟信号 211 (Clk/2)。这里的两个数据信号 209 和 210 可以使用已知的 DQPSK 编码器电路 212 进行编码，并且已编码的信号可以在 I 和 Q 线路 213 和 214 上输出，其可以驱动 DQPSK 调制器 202。

作为结果的 DQPSK 信号 203 可经受一个或者多个额外的以符号速率同步驱动的开销调制级。在所示的典型实施例中，符号速率是时钟速率的一半，即 Clk/2。开销调制级可包括幅度调制器 215，相位调制器 216 和/或极化调制器 217，并且产生同步已调制（以符号速率）DQPSK 信号 218。在符号速率时钟信号经过相关的延迟调整和幅度调整之后，一个或多个调制级可以由符号速率时钟信号 211 (Clk/2) 来驱动。例如，驱动幅度调制器 215 的时钟信号可以首先通过延迟元件 219，然后通过幅度调整 220。驱动相位调制器 216 的时钟信号可以首先通过延迟元件 221，然后通过幅度调整 222。驱动极化调制器 217 的时钟信号可以首先通过延迟元件 223，然后通过幅度调整 224。

符号速率时钟 211 驱动幅度调制器 215 的典型方式可通过检查光信号 203 的电场分量来描述，幅度调制器作用于光信号 203。在 x-y 坐标系中，这些分量可以表达为：

$$E_x(t) = A_x(t)e^{i(\omega t + \phi_x(t))} \quad (1)$$

$$E_y(t) = A_y(t)e^{i(\omega t + \phi_y(t))} \quad (2)$$

这里 ω 是光载波频率， $A_x(t)$ 和 $A_y(t)$ 假设为实际场幅度，实际场幅度可包括任何强度的调制， $\phi_x(t)$ 和 $\phi_y(t)$ 是光相位分量，包括由调制器 202 给予的数据调

制和任何可能存在的光相位调制。幅度调制器 215 可通过仅改变实部幅度 $A_x(t)$ 和 $A_y(t)$ 使用函数 $F(t)$ 对光信号进行调制, 该函数是周期性的, 并且具有基本的频率分量, 该分量等于并且相位锁定于时钟信号 211 上。调制器 215 可以施加额外的幅度调制, 以便信号 203 的强度被乘以 $I(t)$ 。此处假设周期性函数 $F(t)$ 被标准化在 $[+1, -1]$ 限制的范围内, $I(t)$ 可以由下式给出:

$$I(t) = 0.5 * [(1 - B)F(t + \Psi_{am}) + 1 + B] \quad (3)$$

$$B = \frac{100 - A_{am}}{100 + A_{am}} \quad 0 \leq A_{am} \leq 100 \quad (4)$$

其中 A_{am} 是调制器 215 对信号 203 进行幅度调制的百分比, ψ_{am} 是与数据调制有关的调制相位角。因而, $I(t)$ 可以是周期性函数 $F(t)$ 的缩放函数, 其具有最大单位值、 B 的最小值, 并且在时间上偏移 ψ_{am} 。AM 级别由幅度调整 220 来设定, 偏移 ψ_{am} 由可变延迟 219 来调整。来自幅度调制器 225 的信号可以由下面的电场分量来表示:

$$E_{x-out}(t) = \sqrt{I(t)} A_x(t) e^{i(\omega t + \phi_x(t))} \quad (5)$$

$$E_{y-out}(t) = \sqrt{I(t)} A_y(t) e^{i(\omega t + \phi_y(t))} \quad (6)$$

任何符合以上说明的周期性函数都可以为额外调制说明提供通用项。然而, 正弦调制可能是特别有用的。而且, 本领域所熟知的驱动幅度调制器 215 的电信号可以是具有半符号速率频率的正弦信号, 由两倍电压驱动 (假设幅度调制器 215 是 Mach-Zehnder 干涉计型调制器)。

相位调制器 216 和极化调制器 217 对信号的操作方式与幅度调制器 215 的对信号的操作方式相似。这些组件可按包含额外相位项的方程(5)和(6)所描述的方式运行。例如, 调制器 216 和 217 给予的符号速率处的同步调制可是正弦的。调制级 216 和 217 可修改信号 203 的光相位, 同时幅度不变化。在这种情况下, 光信号被给予的相位调制包括两个不同且独立的相位: 与极化调制器 217 相关的相位 ψ_2 和与光相位调制器 216 相关的 ψ_1 。因而, 从极化调制器发起的光信号 218 的相位角 ϕ_x 和 ϕ_y 可以是:

$$\phi_x(t) = a_x \cos(\Omega t + \Psi_2) + b \cos(\Omega t + \Psi_1) \quad (7)$$

$$\phi_y(t) = a_y \cos(\Omega t + \Psi_2) + b \cos(\Omega t + \Psi_1) \quad (8)$$

此处 a_x 和 a_y 是极化调制器的相位调制指数， b 是光相位调制器的相位调制指数， $\Psi_{1,2}$ 分别是由延迟元件221和223设置的相位偏移， Ω 是时钟211设置的比特率。

如方程(7)和(8)所示，光相位调制器216可以给予相同相位调制给光信号的 x 和 y 分量。相应地，光相位调制器216可以对信号203的光相位进行调制，而不调制它的极化。光相位调制器216不调制极化的原因可能是，光信号的极化调制与在相位 ϕ_x 和 ϕ_y 之间的差成比例，并且由于光相位调制器对 ϕ_x 和 ϕ_y 进行等量的调制，因此该差并不受到光相位调制器216的影响。原则上，具有这些电场分量的单频信号的每个可能极化态(State-of-Polarization)(SOP)都能通过改变 a_x/a_y 比率，同时保持 $(a_x^2 + a_y^2)$ 值不变，并且改变在0到 2π 之间的相关相位差 $\phi_x - \phi_y$ 来获得。然而，极化调制器217可以通过仅改变相位 ϕ_x 和 ϕ_y 之差来对光信号的SOP进行调制，这足以提供一种调制周期中平均值较低的“极化度”(degree of polarization)(DOP)。

相应地，输出信号218可具有基本上等于零的极化度，并被称为被扰乱的极化。极化调制器217可用于在完整的庞加莱球(Poincare sphere)整个周期内追踪光信息信号218的SOP。可替换地，光信号的SOP可以沿着庞加莱球往返运动。在任一种情况中，每个调制周期上的SOP的平均值基本上可以低于单位值。

本领域的普通技术人员将认识到，附图2所示的不同调制器的功能仅仅是解释阐明，两个或者更多的调制器可以在单一功能单元中实现。例如，通过使数据信号213和214提供适合的电驱动信号，数据调制器202可以也起幅度调制器215的作用。此外，相位调制器216和极化调制器217的功能可以以类似

于美国专利号为 5,526,162 的图 3 所示的方式进行组合，此处将其教导引入作为参考。

本领域的普通技术人员也将认识到调制器可以按任何顺序提供。例如，如图 2A 所示，开销调制可在数据调制之前给予，即数据调制器可以耦合到一个或多个开销调制器的输出，或者开销调制的一部分可以在数据调制之前提供，而开销调制的另一部分在数据调制之后给予。而且，仅使用所描述的调制器中的一个或者多个是有用的。例如，在某些应用中极化调制可能并不是必要的，并且设备 217、224 和 223 可能被省略。而且，开销调制可通过电波形来产生，例如通过激光器的直接调制。这里使用的表达“通信”和“耦合”指的是任何连接、耦合、链接等等，通过它们，一个系统元件承载的信号被给予“通信”或“耦合”元件。这种“通信”或者“耦合”设备不必直接相互连接，并且可以通过中间光组件或者设备进行分离。

图 3 示出了符合当前所公开内容的与发射机相关的一系列示例波形，其被设置发送 CRZ-DQPSK 波形（即同步幅度和相位调制，没有极化调制）。例如，数据模式 301 可以表示信号 204 上的光数据，信号 204 根据不同于发射机 250 给予的多级调制格式的典型“短距”格式进行调制。波形 301 的数据比特可以以比特率 B（或者等于比特时间 $T=1/B$ ）出现在符合本发明所公开的发射机的输入端中。例如，模式 301 的这个输入数据流可以以 40Gb/s 比特率运行，其使得比特时间 T 为 25psec。波形 302 和 303 表示了图 2 的点 225 上信号的典型幅度和相位。幅度特性 302 示出了占据符号时间 S 大约 40% 的脉冲。这些脉冲由幅度调制器 215 形成，其中幅度调制指数（调制深度）是 100%。在该图中，符号时间 S 是输入数据的比特时间的两倍（2T）。

为了改善系统 BER，符合本发明公开内容的系统中一个或更多发射机可包括用于对调制数据应用前向纠错（FEC）编码的编码器。本领域内的技术人员所熟知的是，FEC 编码本质上将适合码结合到数据流中，以检测和纠正没有先前已知信息的数据错误。纠错码被产生用于数据流（即编码），并发送给接收机。接收机可包括 FEC 解码器用于恢复纠错码，并使用这些码纠正接收到的数据流中的任何错误（即解码）。

已知有大量的纠错码，每一纠错码具有的不同特性与如何生成码和随后它们如何执行有关。这些码的一些例子是线性的和周期性汉明码、周期性

Bose-Chaudhuri-Hocquenghen (BCH)码、卷积码 (Viterbi)、循环 Golay 和 Fire 码, 一些较新码如 Turbo 卷积和乘积码 (TCC、TPC)。用于执行多种纠错码的硬件和软件配置已为本领域普通技术人员所知。在符合本发明公开内容的系统中, 例如如果使用了 7% 的 FEC 开销, 实际符号速率将增加 7%, 而且相应的符号周期减少 7%。

波形 303 表示的是点 225 处信号的光相位。此处 RZ-DQPSK 信号采取以 $\pi/2$ 弧度间隔的 4 个值/级别 (即 0 、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$) 之一。图 2 中波形 304 表示的是点 226 处的光相位。波形 303 和 304 之间的差是相位调制器 216 提供的正弦相位调制。波形 304 表示的是具有 1 个弧度峰峰相位调制的正弦相位调制。304 描述的信号相位在符号时间内不是恒定值, 但连续比特之间的相位差是恒定。因而, 差分相位调制器仍可对信号进行解调而不没有“背靠背”衰耗恶化。这在 Neal S. Bergano 的公开号为 2004/0161245 的美国专利“Synchronous amplitude modulation for improved performance of optical transmission systems”中进行了描述, 此处将其教导整个引入作为参考。

图 4 图示了典型的实验验证, 即符合本发明公开内容的系统能够提高光传输系统的非线性容错。加入由幅度调制器 215、相位调制器 216 和/或极化调制器 217 提供的额外调制的动机是, 改善光数据传输系统中的传输性能。该图表示了为三种不同调制格式收集的数据, 这三种调制格式通过使用图 2 中所示的典型发射器是可以的。

在此实验中, 发射了 28 个具有 133GHz 信道间隔和 42.7Gb/s 比特速率的 WDM 信道。DQPSK 调制器由两个 21.4Gb/s 预编码 $2^{15}-1$ 伪随机比特流来驱动。邻近信道被随机极化 (PRZ) 或者正交极化 (CRZ), 并利用反向和延迟数据模式调制。

在色散预补偿后, WDM 信号被发送到 6550km 传输距离处的循环环形测试台。468km 环形测试台由 12 个单级 C-band EDFA, 9 个 45km 斜率匹配跨度和 2 个 30km 补偿跨度组成。这些数据是 14 次经过 468km 环形测试台收集的, 共产生了 6550km 传输距离。斜率匹配跨度由 27km 大有效面积光纤 ($100\mu m^2$, $+20ps/nm/km$) 组成, 其后是 18km 反向色散光纤 ($30\mu m^2$, $40ps/nm/km$)。测量的剩余色散斜率是 $2fs/nm^2/km$, 并且测量的测试台(包括光纤、EDFA 和所有分量)PMD 是 $0.056ps/\sqrt{km}$ 。

在接收机中，在色散后补偿之后，测量的信道是被滤波，并使用 21.4GHz Mach-Zehnder 延迟干涉计进行解调的。两个光输出被发送给平衡接收器。

前面的工作示出了同步调制能够用来在损耗光谱效率条件下改善非线性容错性 (Neal S. Bergano 等; Electronics Letters, vol.32,no.1,pp.52-54,Jan.1996)。由于 DQPSK 光谱大概是 DBPSK 的光谱一半，因此重要的光谱间隔（同样的光谱效率）对于同步调制也是可用的。

图 4 示出 6550km 后用于 PRZ-DQPSK、CRZ-DQPSK 和 RZ-DQPSK 格式的性能与信道功率。同步极化 (PRZ) 和相位调制 (CRZ) 格式展示了比 RZ-DQPSK 更好的非线性容错性，这是由于更低的光谱密度。PRZ-DQPSK 可从每比特快速极化变化中获益。信道功率容错性可增加 $\sim 1.5\text{dB}$ ，并且性能比 RZ-DQPSK 格式的性能提高 1dB。

图 5 示出了符合本发明公开内容的具有不同幅度调制级别/深度的典型系统输出中的幅度“眼图”。幅度调制器和相位调制器的调制指数是可调整（例如分别使用幅度调整装置 220, 222），并且能用于优化特殊系统设计的传输性能。例如，眼图 501-506 对应 0%（即没有同步幅度调制）、20%、40%、60%、80%和 100%的调制深度。在某些应用中，以损害更大光带宽来减少脉冲宽度是有优势的，然而在其它应用中，正确工程折衷可能是相反的。以相似的方式，在一些应用中，在调制器 216 中使用大相位调制指数是有优势的，然而以其它方式，在其他应用中，正确的工程折衷可能是相反的。

图 6 示出了符合本发明公开内容的系统输出中的幅度“眼图”，该“眼图”在数据符号和同步幅度调制间具有不同的延迟设置（例如使用不同的延迟装置 219）。图 6 中所有的眼图是以 60%的 AM 指数进行显示的。因而，眼图 601 与眼图 504 相似，眼图 601 被计算用于 0° 时间偏移和 60%AM 调制指数。眼图 602 和 603 分别被计算用于 -15° 和 -30° ，而眼图 604 和 605 被计算用于 $+15^\circ$ 和 $+30^\circ$ 。该可调整的“偏斜”能用于改善传输性能。

驱动和延迟的相似优化也适合于相位和极化调制部分。由于当这三种同步调制与相位调制一起使用时，用于幅度调制器的最优调制指数可变化，因此为了获得最优的性能，所有三种同步调制可以一起进行优化。为了选定的调制格式可以优化地选择接收光纤滤波器的选择。

根据本发明的公开内容，提供了一种方法和装置，其通过使用与多级传输

格式结合的同步开销调制来改善用于单信道和 WDM 的长距离高速光传输性能。这种开销调制能够是幅度调制、相位调制和/或与符号速率同步的极化调制的组合。

例如，差分四相相移键控（DQPSK）能够用于发送每符号两比特。使用每符号两比特能减少某些类型的损耗，这些损耗取决于如 PMD 之类符号的长度和与色散相关的损耗。高速数据信号可以被多路分解，并被编码至两条路径上（通常称为“同相”和“四相”分量的 I 和 Q）。I 和 Q 分量可使用 DQPSK 调制器调制光信号。这个基本 DQPSK 信号可增加与符号速率同步的开销调制。最终的信号更能容忍通常在光波传输系统中发现的失真，因而能够提供更好的传输性能。

根据公开的一个方面，提供了一种用于发射光信号的装置，该装置包括：数据调制器，其被配置用于使用多级数据调制格式调制光信号上的数据，来提供数据调制信号，其包括多个比特的所述数据，该数据在符号速率所提供的多个输出符号的每个上编码；以及至少一个开销调制器，其被配置用于以至少一种特征的符号速率给予周期性调制，该特征从由所述光信号的幅度、所述光信号的相位和所述光信号的极化构成的组中选取。

根据公开的另一个方面，提供了一种传输系统，其包括发射机、与所述发射机耦合的光传输路径和与光传输路径耦合的接收机。。发射机可包括数据调制器，其被配置用于使用多级数据调制格式调制光信号上的数据，来提供数据调制信号，其包括多个比特的所述数据，该数据在符号速率所提供的多个输出符号的每个上编码；至少一个开销调制器，其被配置用于以至少一种特征的符号速率给予周期性调制，该特征从由所述光信号的幅度、所述光信号的相位和所述光信号的极化构成的组中选取。

根据公开的另一个方面，提供了一种用于在光通信系统上调制光信号以传输的方法，这个方法包括使用多级调制格式调制光信号上的数据，来编码多个比特的所述数据，该数据在符号速率所提供的多个输出符号的每个中；以至少一种特征的符号速率给予周期性调制，该特征从由所述光信号的幅度、所述光信号的相位和所述光信号的极化构成的组中选取。

虽然这里描述了本发明的实施例，但是在此通过说明性而非限制性的方式示出了使用符合本发明公开的系统或方法的若干实施例中的一些。本领域技术人员很容易理解到，在本质上不偏离所公开内容的精神和范围的情况下，可以做

出许多其它实施例。

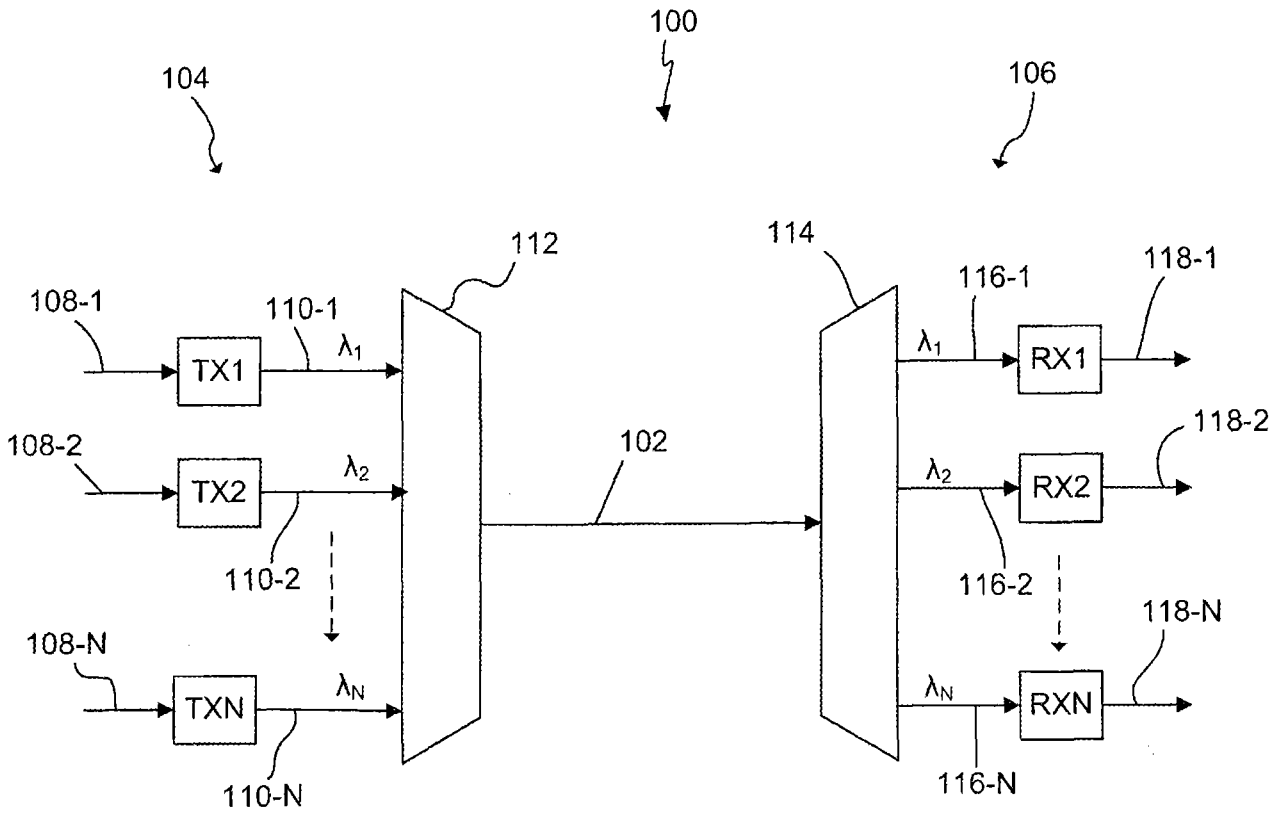


图 1

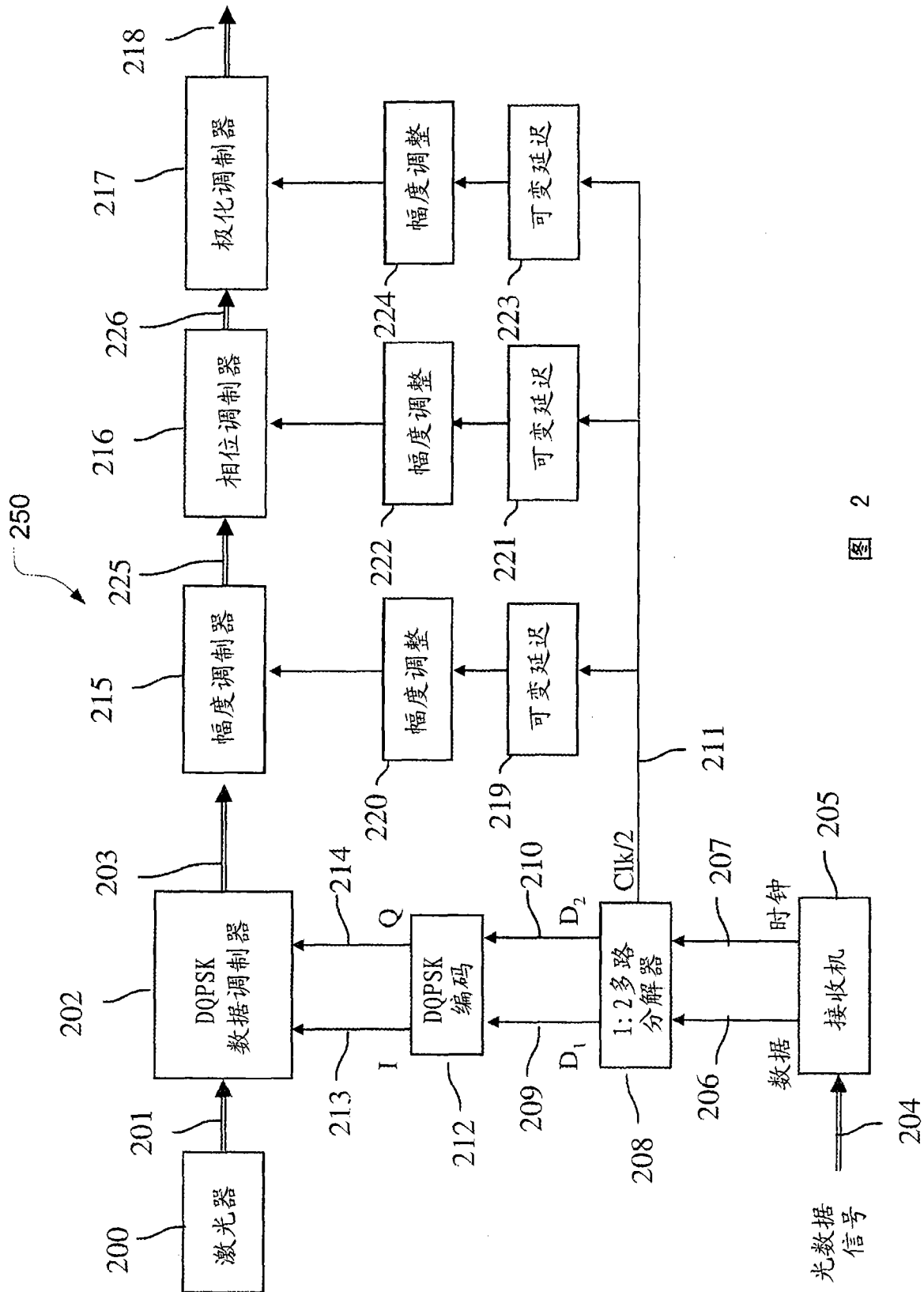


图 2

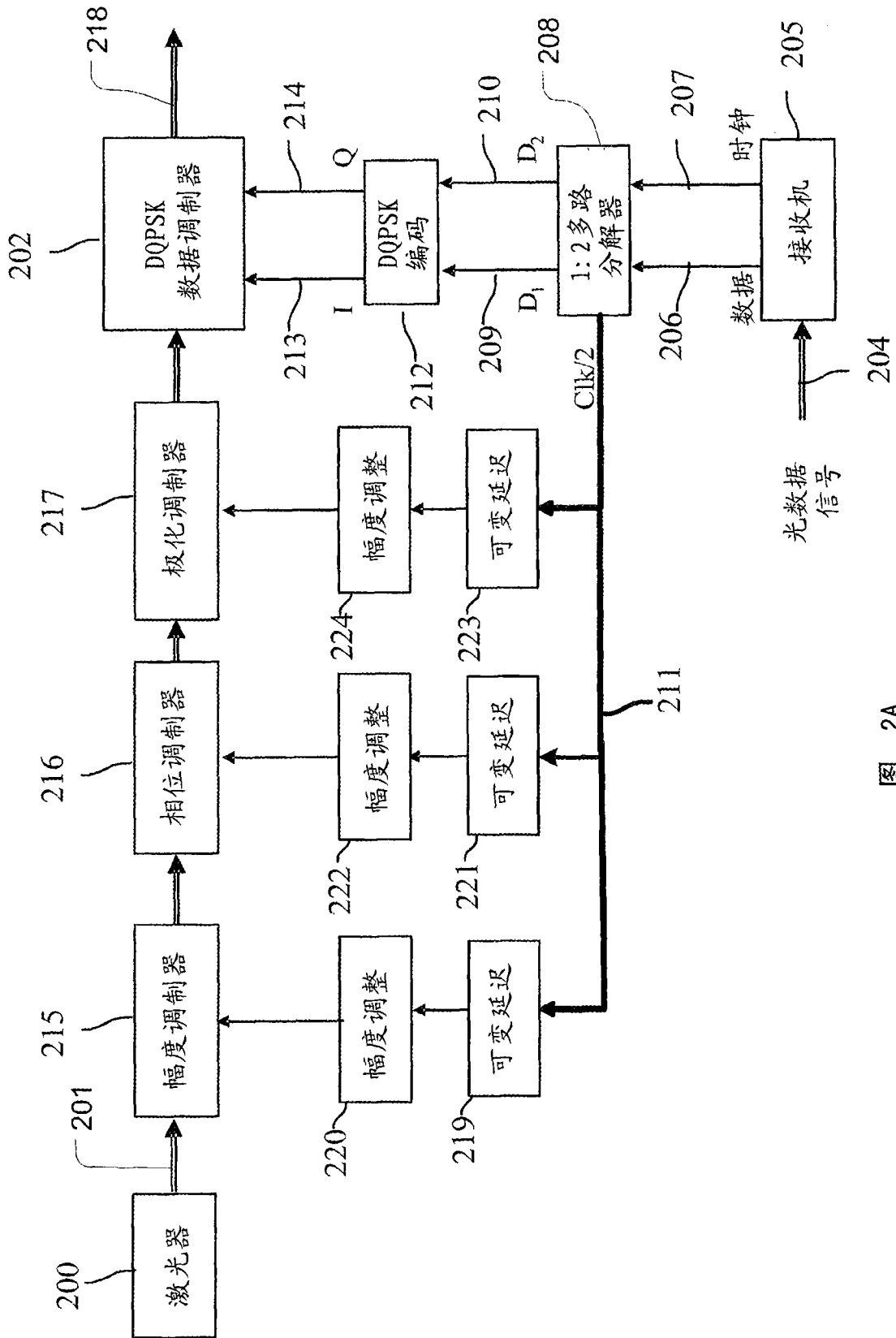


图 2A

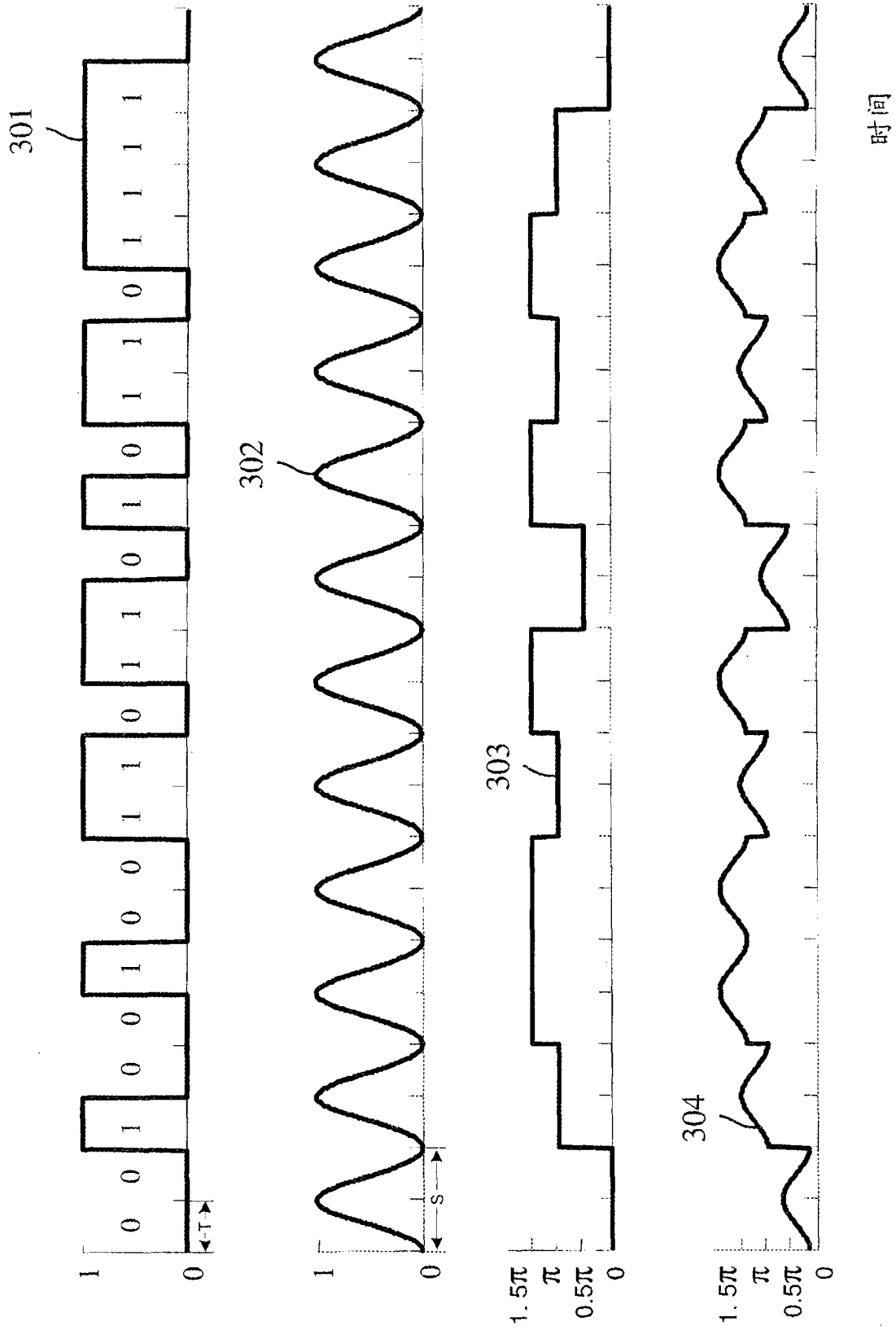


图 3

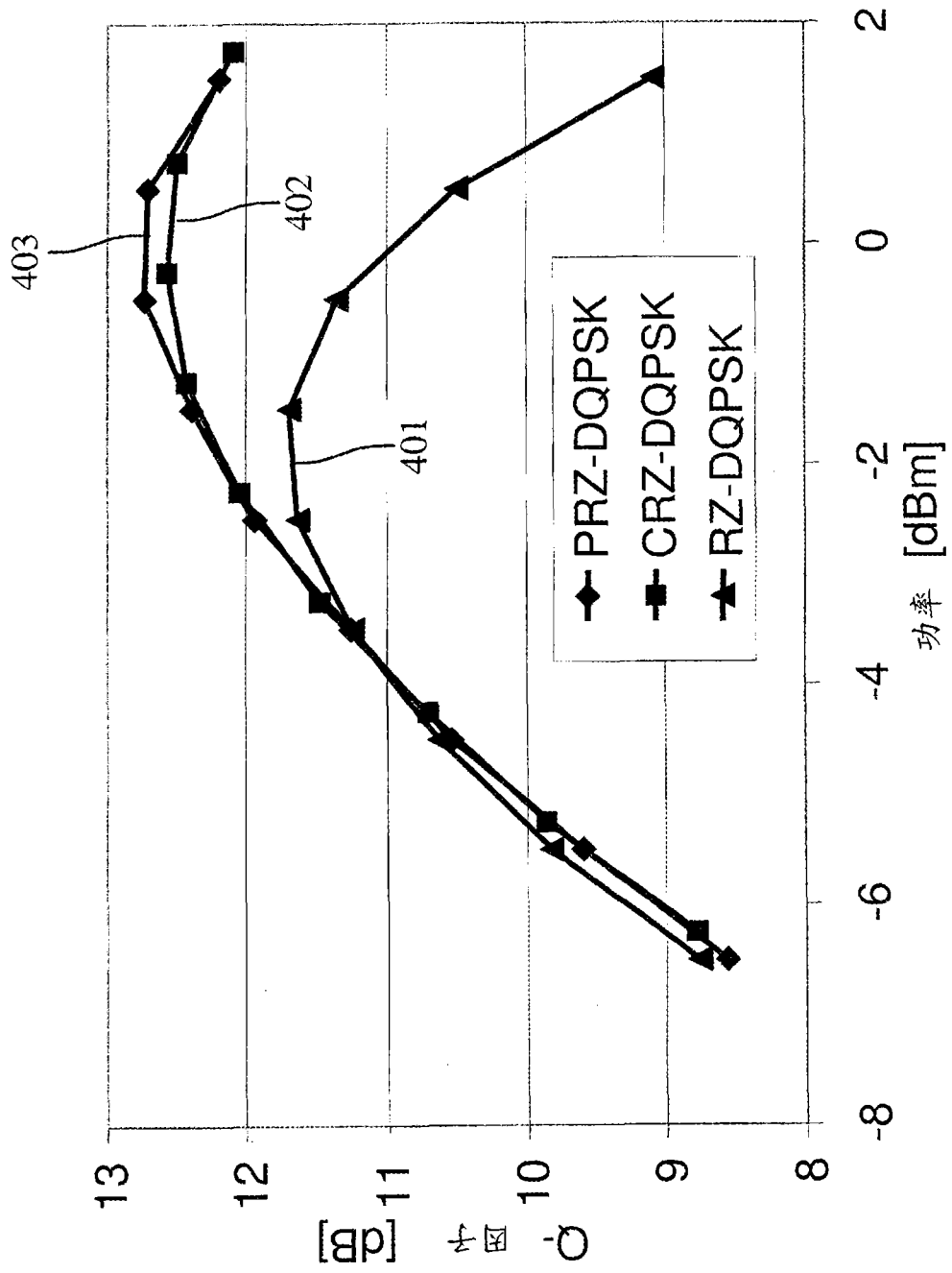


图 4

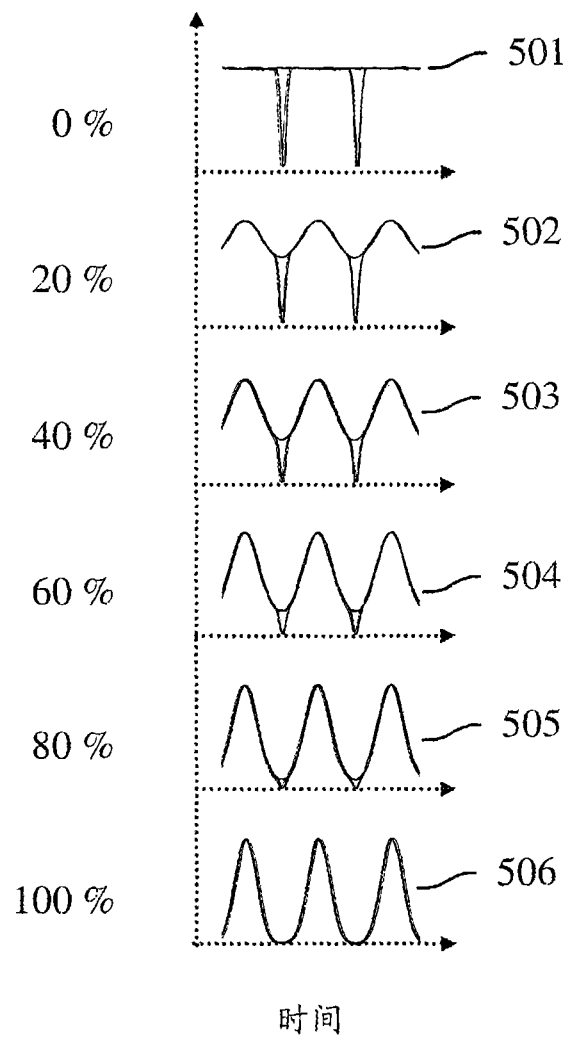


图 5

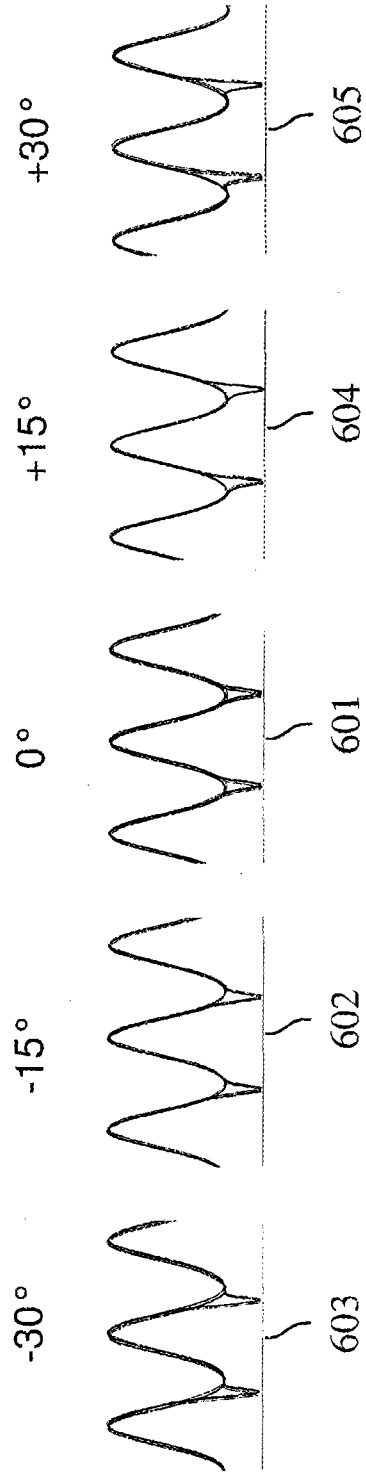


图 6