



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 97101037.4

[43]公开日 1997年12月3日

[11] 公开号 CN 1166736A

[22]申请日 97.1.22

[30]优先权

[32]96.1.23 [33]FR[31]9600732

[71]申请人 阿尔卡塔尔海底网络公司

地址 法国克利希

[72]发明人 马努克尔·德苏维乐 约瑟·西思尼
奥里沃·勒克乐

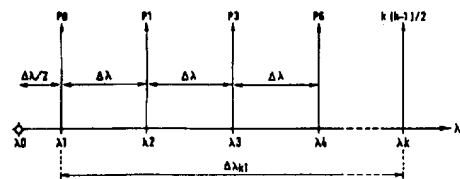
[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标
事务所
代理人 杜日新

权利要求书 5 页 说明书 11 页 附图页数 4 页

[54]发明名称 共线再生WDM孤子信号的同步调制方法和装置及光通信系统

[57]摘要

本发明的目的是使光纤传输的波分复用(WDM)孤子能够同步地再生。其方法是:恢复WDM信号中的时钟信号,并以该途径恢复的时钟速率同步调制孤子。该方法的特征在于:把光调制器的位置选在发射机与第一调制器之间,或沿着光学链路相邻各个调制器之间的一定距离处,以使不同波长的信号同步。本发明的装置,通过用光调制器和时钟恢复同步地调制所述孤子,并在调制器的输出端进行多信道滤波,能够实现共线再生孤子。



权 利 要 求 书

1. 一种对传播于发射机与接收机之间光纤上的光信号进行共线再生的方法，所述信号是用孤子表示的比特流形式的，该孤子的特征尤其在于其传播波长和比特率，本方法包括以下步骤：

放大所述要被再生的光信号，以补偿可能的损耗；

通过耦联到所述光纤上的光耦合器，取出一部分要被再生的光信号；

从所述的取出的部分中恢复所述比特流的时钟信号；

通过适当的相移，把所述时钟信号加到光调制器上，以同步调制所述要被再生的光信号；以及

在所述同步调制之后，对所述要被再生的光信号孤子进行光谱滤波；

本方法的特征在于：

所述孤子的特征是，一组 m 个位于端点为 λ_1 和 λ_n 的光频谱带中的传播波长，其中 λ_1 和 λ_n 分别是所述一组中的最长和最短波长；以及

从波长 λ_1 与 λ_n 之间的波长 λ_k 恢复所述时钟信号，以使 $\tau_g(\lambda_k)Z_R = kT$ ；

其特征还在于

在所述发射机与所述光调制器之间或两个相邻调制器之间的一定距离 Z_R 处，实现所述的再生，其中所述的距离 Z_R 是被选出的，以使其所得值在乘以到达时间之差 $\delta\tau_g = \tau_g(\lambda_n) - \tau_g(\lambda_1)$ 时，满足以下条件：

$$[kT - T/4] < \delta\tau_g Z_R < [kT + T/4]$$

其中 k 是整数而 T 是比特时间（ Z_R 以 km 计，而 $\delta\tau_g$ 以 $\text{ps}\cdot\text{km}^{-1}$ 计）。

2. 根据权利要求 1 的方法，其特征在于：所述的距离 Z_R 是被选出的，以使所得到的值在乘以群时间差 $\delta\tau_g = \tau_g(\lambda_n) - \tau_g(\lambda_1)$ 时，满足以下条件：

$$[kT - T/N] < \delta\tau_g Z_R < [kT + T/N]$$

这里 $N > 4$ 。

3. 一种对传播于发射机与接收机之间光纤上的光信号进行共线再生的方法，所述信号是用孤子表示的比特流形式的，该孤子的特征尤其在于传播

波长和比特率，本方法包括以下步骤：

放大所述要被再生的光信号，以补偿可能的损耗；

通过耦联到所述光纤上的光耦合器，取出一部分要被再生的光信号；

从所述的取出的部分中恢复所述比特流的时钟信号；

通过适当的相移，把所述时钟信号加到光调制器上，以同步调制所述要被再生的光信号；以及

在所述同步调制之后，对所述要被再生的光信号孤子进行光谱滤波；

本方法的特征在于：

所述孤子的特征是，一组 m 个传播波长是从 n 个位于端点为 λ_1 和 λ_n 的光频谱带中的波长 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 中选出的，其中 λ_1 和 λ_n 分别是所述一组中的最长和最短波长；

从波长 λ_1 与 λ_n 之间的波长 λ_k 恢复所述时钟信号，以使 $\tau_g(\lambda_k)Z_R = kT$ ；

其特征还在于

在所述发射机与所述光调制器之间或两个相邻的调制器之间的一定距离 Z_R 处，实现所述的再生，其中 $\lambda_j - \lambda_{j-1} = \Delta\lambda, \forall j > 0, j$ 是整数，且当 $D'_0 \neq 0$ 时，

$$\lambda_1 - \lambda_0 = \frac{\Delta\lambda}{2} = \left(\frac{T_{bit}}{4Z_R D'_0} \right)^{1/2}$$

这里 λ_0 是零色散波长，而 $D'_0 = 0$ ($D = \text{常数}$) 时 $\Delta\lambda = T_{bit}/Z_R D$ 。

4. 根据前述任意一个权利要求的方法，其特征在于所述光纤包含多个光纤段，每个段的特征一部分在于其长度和色散值，所述的方法还包括控制所述光纤段的色散。

5. 一种用于传输以孤子表示的比特流形式的光信号的光传输系统，该孤子的特征尤其在于传播波长和比特率，所述的系统包含至少一个发射机和一个接收机以及一个将它们互相连接起来的光纤；所述的系统还包含至少一个含有时钟恢复电路的光再生器装置，和一个与光谱滤波器连在一起的光调制器；

所述的系统其特征在于：

所述的发射机在一组位于端点为 λ_1 和 λ_n 的光频谱带中的传播波长处发送孤子，其中 λ_1 和 λ_n 分别是所述一组中的最长和最短波长；

所述不同的波长对应于各个不同的群传播时间 $\tau_g(\lambda_1)$ ， $\tau_g(\lambda_n)$ ，所述的群传播时间的特征在于群传播时间差 $\delta\tau_g = \tau_g(\lambda_n) - \tau_g(\lambda_1)$ ；

而且系统的特征还在于：

所述的光再生器装置被置于所述发射机与所述光调制器之间，或两个相邻调制器之间一定距离 Z_R 处，所述的距离 Z_R 是被选出的，以使其所得值在乘以群传播时间差 $\delta\tau_g = \tau_g(\lambda_n) - \tau_g(\lambda_1)$ 时，满足条件：

$$[kT - T/4] < \delta\tau_g Z_R < [kT + T/4]$$

这里 k 是整数，而 T 是比特时间（ Z_R 以 km 计，而 $\delta\tau_g$ 以 $\text{ps}\cdot\text{km}^{-1}$ 计）。

6. 根据权利要求5的系统，其特征在于所述距离是 Z_R 选出的，以使其所得到的值在乘以群传播时间差 $\delta\tau_g = \tau_g(\lambda_n) - \tau_g(\lambda_1)$ 时，满足条件：

$$[kT - T/N] < \delta\tau_g Z_R < [kT + T/N]$$

这里 $N > 4$ 。

7. 一种用于传输以孤子表示的比特流形式的光信号的光传输系统，该孤子的特征尤其在于传播波长和比特率，所述的系统包含至少一个发射机和一个接收机以及一个将它们互相连接起来的光纤；所述的系统还包含至少一个含有时钟恢复电路的光再生器装置，和一个与光谱滤波器连在一起的光调制器；

所述的系统其特征在于：

所述的发射机在一组位于端点为 λ_1 和 λ_n 的光频谱带中的传播波长处发送孤子，其中 λ_1 和 λ_n 分别是所述一组中的最长和最短波长；

所述不同的波长对应于各个不同的群传播时间 $\tau_g(\lambda_1)$ ， $\tau_g(\lambda_n)$ ，所述的群传播时间的特征在于群传播时间差 $\delta\tau_g = \tau_g(\lambda_n) - \tau_g(\lambda_1)$ ；

而且其特征还在于：

所述的光再生器装置被置于所述发射机与所述光调制器之间，或两个相邻调制器之间的一定距离 Z_R 处；

其特征还在于：

所述 WDM 系统采用一组 m 个 WDM 信道, 这 m 个 WDM 信道是从 n 个分别有波长 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 的信道 (c_1, \dots, c_n) 中选出的, 其中 $\lambda_j - \lambda_{j-1} = \Delta\lambda, \forall j > 0, j$ 是整数, 且

$$\lambda_1 - \lambda_0 = y \left(\frac{T_{bit}}{4Z_R D'_0} \right)^{1/2}$$

和 $\Delta\lambda = x(\lambda_1 - \lambda_0)$

这里 λ_0 是零色散波长, 而

$$x = \frac{2M}{2N - M}, \quad y = \frac{2N - M}{2\sqrt{M}}$$

这里 $N = xy^2(x+2)/2, M = x^2y^2$, 而且 N, M 是非零整数, $2N > M \geq 1$.

8. 根据权利要求 7 的系统, 其特征在于: $N = M = 1$, 这里 $x = 2, y = 1/2$, 且当 $D'_0 \neq 0$ 时,

$$\lambda_1 - \lambda_0 = \frac{\Delta\lambda}{2} = \left(\frac{T_{bit}}{4Z_R D'_0} \right)^{1/2}$$

这里 λ_0 是零色散波长, 而当 $D'_0 = 0$ ($D = \text{常数}$) 时, $\Delta\lambda = T_{bit} / Z_R D$.

9. 根据权利要求 4 至 8 任何一个的系统, 其特征在于: 它包括有一组 q 个光纤段, 每个光纤段的特征一部分在于其长度和色散值, 而且本发明的系统进一步包括对所述光纤段色散的控制。

10. 根据权利要求 9 的系统, 其特征在于: q 趋于无穷大, 每个光纤段的长度趋于无穷小, 色散连续变化而有效色散采用积分计算。

11. 根据前述任意一个权利要求的系统, 其特征在于有效色散梯度为零: $D'_{0, \text{eff}} = 0$, 且 $\Delta\lambda = T_{bit} / Z_R D$.

12. 根据权利要求 11 的系统, 其特征在于有效色散梯度实际为零:

$$D' = 0, \quad \text{且} \quad \Delta\lambda = T_{bit} / Z_R D.$$

13. 用于产生孤子的装置, 它包括一个通过光耦合器与传输信道上孤子信号的比特率进行同步的时钟信号恢复电路 RH; 用于匹配相位 Φ 的装置, 即

一根光延迟线； 以及一个受时钟信号 RF 驱动의强度和/或相位调制器，
所述的装置其特征在于，

它还包括一个光信道导向滤波器，该滤波器用于把多个波长处的孤子脉冲放入同一个时间位置。

共线再生 WDM 孤子信号的同步调制方法和装置 及光通信系统

本发明涉及光通信领域，尤其涉及超长距离通信领域。对于很长距离的光纤链路而言，使用有特定光谱特性的“孤子”型信号已经被公知，这种特定光谱特性使该信号能够无明显色散地在有色散的光纤上传播，即以这样的方式实现：让折射率随信号强度而变，从而使色散反向平衡，或反之亦然。信号的光谱形式一直不受传播距离影响地得到保持，因此传播距离主要影响在于链路的损耗。这种链路损耗可以通过共线（in-line）光放大进行补偿，例如采用掺铒光纤放大器（EDFA）。

就采用共线光放大（用 EDFA）方式传输孤子而言，有待解决的问题有：

- 1) 戈登-豪斯(Gordon-haus)抖动，它会导致信号比特到达时间的不确定性；和
- 2) 来自光放大器中自发辐射放大的噪声积累。

已经提出了许多种解决办法，并被公开在下述文献中，这些文献特别适合于在本申请中作为相关现有技术的描述：

文献[1] = EP-A1 576 208 (J.P.Gordon 和 L.F.Mollenauer) 名称为“具有频率滑移导向滤波器的孤子系统”。根据该文的教导，沿着孤子型信号传输链路，插入若干个中心频率可变的滤波器，有可能实现孤子的集总放大，而不发生自发辐射噪声的指数放大。在这个系统中没有孤子的再生。根据文献[1]，这个系统的优点在于它与波分复用（WDM）传输系统的兼容性。该文献也引用了下述文献[2]的教导，但是显而易见文献[2]的技术与 WDM 不兼容（见第二页第二十一到二十四行）。

文献[2] = Nakazawa 等人的题为“一百万公里以上距离的 10Gbit/s 孤子数据传输”，Elect. Lett. 27(14), pp. 1270-1272, 1991-7-4, 教导了用于共线孤子再生的同步调制。

文献[2]教导：用 LiNO_3 光调制器实现与时钟信号同步的孤子调制，该时钟信号来自于与孤子源相同的时钟。很长距离的链路被模拟成每隔 50 公

里有一个掺铒光纤放大器的 500 公里光纤环路，并且在围绕该环路的每个回路上都有再生。由于孤子传输所用光纤的色散，在平均值为 -1.5ps/km/nm 的一个 -0.7ps/km/nm 到 -2.2ps/km/nm 的范围内变化，所以通过环路周围一个回路的传播时间，取决于孤子波长。这就是此系统不适合于 WDM 传输系统的原因，正如文献[1]所强调的。

文献[3] = L.F.Mollenauer 等人的题目为 "采用集总放大器的超长距离传输系统中有孤子的波分复用问题" (《Journal of Lightwave Tech.》9 (3), pp.362-367, 1991-3)。该文献提出了一个用于越洋传输 (9000 公里) 的有光学集总放大作用的 WDM 孤子传输系统。该文的教导主要涉及不同波长的孤子之间的碰撞。并给出了这种链路中各种参数的典型值。

比如，市场出售的色散位移光纤其色散分布值大约为 $\pm 0.5\text{ps/km/nm}$ 。此外，在 363 页右边一栏的最后一段，文献[3]谈到要控制构成链路的光纤段的色散值。

在 365 页右边一栏的第一段，给出了一个链路的实例及其参数的数值。在相邻长度段之间的色散中，与碰撞或变化所致的各种孤子微扰之间的平均距离相对应的距离 L_{pert} 是 40 公里，并有 $D = 1\text{ps/km/nm}$ 的平均色散；在 1.2nm 的最大间隔中有四个 4 Gbit/s 的 WDM 信道；其孤子有 $\tau = 50\text{ps}$ 的时间宽度和 5τ 的最小间隔；而且孤子周期在 $z_0 = 930$ 公里量级。相邻信道之间相互作用所产生的抖动在 $\pm 7.5\text{ps}$ 量级；对于四信道系统而言，最坏的情况会有 $\pm 22.5\text{ps}$ 的抖动。

尽管如此，在文献[3]所考虑的所有情况下，既没做到也不要求孤子同步到达链路末端。

还有其他一些有助于理解本发明的文献，最后再对这些文献作一简要说明。这些其他文献也很适合于在本申请中作为对现有技术的描述：

文献[4] = M. Nakazawa 等人的题为 "在正负色散配置的光纤传输线上的光孤子通信" (Electr. Lett., 31 (3), pp.216-217, 1995-2-2)。该文主要涉及用于孤子传输的光学链路中的色散控制，并包含若干有不同色散的光纤段。该文的教导具体是这样的，整个链路全长范围内的平均色散必须是负的，其目的是保持孤子特性：这样正色散区域可以恰当地完全平衡剩余负色散。

文献[5] = S. Kumar 等人题为“在有集总放大器的光纤中孤子传输的色散控制”（《光纤中的光孤子理论与应用论文集》，pp.1-12，日本神户，1995-11月-14 ~ 17）。该论文的最后一章讨论了非再生 WDM 系统色散控制的各个方面。

文献[3]和[5]研究了集总放大器间距，与不同信道孤子间各碰撞之间的平均链路长度之相互关系，而且文献[5]教导了一种选择有不同负色散值的光纤的方法，以保持色散的非线性效应是沿着准固定的链路的光信号幅值的函数。

这些现有技术的文献所提出的系统不能令人满意，因为其中没有一个能够在同步再生孤子的系统中使用多个 WDM 信道的。所有文献都暗示了一些对这一系统有用的有益东西，但是它们大多数认为信道之间不能同步化，因此这种情况下的同步再生的问题没有被涉及。这就是从本领域普通技术人员的技术偏见出发，不可能注重借助于波长多路复用孤子，同时也采用再生，以消除戈登-豪斯抖动并保持孤子优化的光谱形状，这样一种超长距离上超高数据率 WDM 光学链路的原因。

本发明的目的是减轻现有技术中的一些问题。

为此，本发明提供一种使发射机和接收机之间传播的光信号共线再生的方法，所述的信号是由孤子表示的比特流形式的，孤子的具体特征是传播波长和比特率，该方法包含以下步骤：

放大所述要被再生的光信号，以补偿可能的损耗；

通过耦合在所述光纤上的光耦合器，取出一部分要被再生的光信号；

从所述的取出的部分中恢复所述比特流的时钟信号；

通过适当的相移，把所述时钟信号加到光调制器上，以同步调制所述要被再生的光信号；以及

在所述同步调制之后，对所述要被再生的光信号孤子进行光谱滤波；

本方法的特征在于：

所述孤子的特征是，一组 m 个位于端点为 λ_1 和 λ_n 的光频谱带中的传播波长，其中 λ_1 和 λ_n 分别是所述一组中的最长和最短波长；以及

从波长 λ_1 与 λ_n 之间的波长 λ_k 恢复所述时钟信号，以使 $\tau_g(\lambda_k)Z_R = kT$ ；

其特征还在于

在所述发射机与所述光调制器之间或两个相邻的调制器之间的一定距离 Z_R 处, 实现所述的再生。其中所述的距离 Z_R 是被选出的, 以使其所得值在乘以到达时间之差 $\delta\tau_g = \tau_g(\lambda_n) - \tau_g(\lambda_1)$ 时, 满足以下条件:

$$[kT - T/4] < \delta\tau_g Z_R < [kT + T/4]$$

其中 k 是整数, 而 T 是比特时间 (Z_R 以 km 计, 而 $\delta\tau_g$ 以 ps·km⁻¹ 计)。

在优选的变型中, 所述的距离 Z_R 这样选择, 以使其所得值在乘以该群时间差 $\delta\tau_g = \tau_g(\lambda_n) - \tau_g(\lambda_1)$ 时, 满足以下条件:

$$[kT - T/N] < \delta\tau_g Z_R < [kT + T/N]$$

这里 $N > 4$ 。

在一种变型中, 本方法涉及有 m 个 WDM 信道的 WDM 孤子光信号, 这 m 个 WDM 信道是从 n 个分别有波长 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 的信道 (c_1, \dots, c_n) 中选出的, 其中 $\lambda_j - \lambda_{j-1} = \Delta\lambda, \forall j > 0, j$ 是整数, 且

$$\lambda_1 - \lambda_0 = \frac{\Delta\lambda}{2} = \left(\frac{T_{bit}}{4Z_R D'_0} \right)^{1/2}$$

这里 λ_0 是零色散波长。

根据一个优良的特征, 所述的光纤包含多个光纤段, 每个光纤段的特征在于其长度和色散值, 所述的方法进一步包含对所述光纤段的色散控制。

在一种变型中, 本发明还涉及一种用于传输以孤子表示的比特流形式的光信号的光传输系统, 该孤子的特征尤其在于其传播波长和比特率, 所述的系统包含至少一个发射机和一个接收机以及一个将它们互相连接起来的光纤; 所述的系统还包含至少一个含有时钟恢复电路的光再生器装置, 和一个与光谱滤波器连在一起的光调制器;

所述的系统其特征在于:

所述的发射机在一组位于端点为 λ_1 和 λ_n 的光频谱带中的传播波长处发送孤子, 其中 λ_1 和 λ_n 分别是所述一组中的最长和最短波长;

所述不同的波长对应于各个不同的基群传播时间 $\tau_g(\lambda_1), \tau_g(\lambda_n)$, 所述的群传播时间的特征在于基群传播时间差 $\delta\tau_g = \tau_g(\lambda_n) - \tau_g(\lambda_1)$;

而且其特征还在于:

所述的光再生器装置被置于所述发射机与所述光调制器之间或两个相邻的调制器之间一定距离 Z_R 处, 所述的距离 Z_R 是被选出的, 以使其所得值

在乘以群传播时间差 $\delta\tau_g = \tau_g(\lambda_n) - \tau_g(\lambda_1)$ 时, 满足条件:

$$[kT - T/4] < \delta\tau_g Z_R < [kT + T/4]$$

这里 k 是整数, 而 T 是比特时间 (Z_R 以 km 计, 而 $\delta\tau_g$ 以 $\text{ps}\cdot\text{km}^{-1}$ 计)。

根据一个特征, 所述 Z_R 的是被选出的, 以使所得值在乘以群传播时间差 $\delta\tau_g = \tau_g(\lambda_n) - \tau_g(\lambda_1)$ 时, 满足条件:

$$[kT - T/N] < \delta\tau_g Z_R < [kT + T/N]$$

这里 $N > 4$ 。

在另一个优选的变型中, 所述 WDM 的系统采用 m 个 WDM 信道, 这 m 个 WDM 信道是从 n 个分别有波长 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 的信道 (c_1, \dots, c_n) 中选出的, 其中 $\lambda_j - \lambda_{j-1} = \Delta\lambda, \forall j > 0, j$ 是整数, 且

$$\lambda_1 - \lambda_0 = \frac{\Delta\lambda}{2} = \left(\frac{T_{bit}}{4Z_R D'_0} \right)^{1/2}$$

这里 λ_0 是零色散波长。

根据一个特征, 所述的系统包含多个光纤段, 每个光纤段的特征在于其长度和其色散值, 所述的系统进一步包含对所述光纤段的色散控制。

在另一个实施例中, 本发明提供了用于再生孤子的装置, 它包括一个通过一光耦合器与传输信道上孤子信号的比特率相同步的时钟信号恢复电路 RH; 用于匹配相位 Φ 的装置, 即一根光延迟线; 以及一个受时钟信号 RF 驱动的可能强度和/或相位调制器,

所述的装置其特征在于, 它还包括一个光信道导向滤波器, 该滤波器用于把多个波长处的孤子脉冲放入同一个时间位置。

借助于下文的详细说明和附图, 本发明及其各种特征和优点将更为易于理解, 其中:

图 1 是采用现有技术中已有的并适用于本发明装置的结构的光纤光学传输系统实例框图;

图 2 是现有技术中已有的用于孤子同步调制的装置的框图, 它也适用于本发明的装置;

图 3 是有关长距离链路中的孤子再生器之间距离, 关于 WDM 孤子传输系统的信道间隔的曲线图;

图 4 是表示本发明的通信系统中 WDM 信道间隔的一个优选实例的框

图；以及

图 5 表示了与作为链路长度函数的品质因数 Q 相对应，并反映本发明优点的仿真结果。

附图是为了说明本发明原理及其新的变型而给出的非限定性实例。在所有附图中，相同的标号表示相同的元件；而且为了清楚起见，这些附图并不都是成比例的。

图 1 是一个采用现有技术中已有的并适用于本发明装置的结构的光纤光学传输系统实例框图。该图所示的系统包括：与一组共线光放大器($G1, G2, G3, \dots$)组合在一起的再生器($C3, CLK, C2, C1, NOLM$)，及一组导向滤波器($BP1, BP2, BP3, \dots$)。导向滤波器包含孤子的频带，但是这么做，会损失孤子中的能量。这就是共线放大器的增益必须大于链路损耗的原因，所述的链路损耗是孤子通过放大器($G1, G2, G3, \dots$)之间的光纤($LF1, LF2, \dots$)时引起的。通过减小孤子的频带宽度，也可以减小导向滤波器的时间抖动，如文献[1]所述的。

在孤子再生器中和 1 图所示系统中，例如从文献[1]可知，导向滤波器是具有一定的通频带的带通滤波器。在孤子再生器中和本发明的系统中，导向滤波器就是信道滤波器，即带通滤波器，它们可以透过一组有不同中心频率并对应于波分复用系统各信道波长的窄频带。

文献[2]描述了用于同步调制孤子的 $LiNO_3$ 光调制器，如图 2 所示。这种孤子的问题是，要被再生的信号数据率不能超过 20 Gbit/s 到 30 Gbit/s (文献[2]中是 10Gbit/s)。 $LiNO_3$ 调制器受控于时钟电路从共线孤子信号中产生出来的电子控制信号。该时钟恢复电路装置包括：用于提取传播于输入端 $F1$ 与输出端 $F2$ 之间光信号的光耦合器 $C3$ ；时钟提取电路 $CLKX$ ；提供延迟的延迟线 DEL ；和用于为 $LiNO_3$ 调制器 MOD 的运行提供所需受控能量的放大器 GM 。此外，图 2 表示了一个用于解决再生器电路插入损耗的输入端光放大器 $EDFA$ ；双折射偏振控制器 PC ；和一个用于收缩孤子能量谱分布的带通滤波器 BP 。如图 1 所示，已知的系统包括一个具有稍窄于孤子频带的通频带的窄带通滤波器。在孤子再生器和本发明的系统中，导向滤波器是一个信道滤波器。

这些附件中的一些，可以在下文所描述的本发明各个优选实施例中找

到。

为了能同时同步地调制一组 WDM 多路复用的孤子信号,即为了同时同步地调制具有不同波长不同群速,进而有不同传播时间的信号,必须开发出能使信号同步的装置。根据本发明的方法,按照信号传播光路的长度与其各自波长的函数关系来选择该长度,以使信号至少在调制器处近似地同步,就可以达到上述要求。

尽管当它们在光纤中传播时色散会破坏各信道的同步,但是所有信道包含的信号都是周期性的,传输时比特率是一致的。这导致了传输链路上的相邻信道孤子之间的“碰撞”(见文献[3] = Mollenauer 等人, 1991 中的理论分析)。因此,考虑到各信道之间的相对滑移 (slip), 在沿着链路的一些间隔开的点上,所有信道需要再次相互同步。这只要确定了间隔并在这样的同步化点上放置再生器,就可以用单独一个调制器实现同步调制,而不必进行多路复用。要考虑两种情况: 第一是当色散梯度 ($D'_0 = (dD/d\lambda)\lambda_0$) 不为零时, 其次是当其为零时。

例如,对于在零色散波长为 λ_0 而且 $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ 的 λ_1 和 λ_2 波长上发送的两个信道而言,到达调制器的时间差是群时间差的结果 $\delta\tau_g = \tau_g(\lambda_2) - \tau_g(\lambda_1)$:

当 $D'_0 \neq 0$ 时,

$$\delta\tau_g = \frac{1}{2} \left(\frac{\delta\Delta}{d\lambda} \right)_{\lambda_0} \left\{ (\lambda_2 - \lambda_0)^2 - (\lambda_1 - \lambda_0)^2 \right\} = \frac{1}{2} \left(\frac{\delta\Delta}{d\lambda} \right)_{\lambda_0} \left\{ \Delta\lambda^2 + 2\Delta\lambda(\lambda_1 - \lambda_0) \right\} (\text{ps} \cdot \text{km}^{-1})$$

且当 $D'_0 = 0$ 时, $\delta\tau_g = (\lambda_2 - \lambda_1) D(\lambda_1)$ 。

所以本发明的方法提出,通过参考信道间隔和光纤的色散,选择发射机与调制器之间或相邻排列的各调制器之间的距离,实现对所有 WDM 信道用单独一个同步调制器,从而保证了所有信道在通过调制器时都被同步。调制器之间的距离 Z_R 要选择得使群时间差 $\delta\tau_g$ 满足以下条件:

$$[kT - T/4] < \delta\tau_g Z_R < [kT + T/4]$$

其中 k 是整数而 T 是比特时间 (Z_R 以 km 计, $\delta\tau_g$ 以 $\text{ps} \cdot \text{km}^{-1}$ 计)。这个限定能够实现两个波长为 λ_1 和 λ_2 的 WDM 信道之间的近似同步。为了获得更好的同步,可以减小时间窗口的宽度,直至达到所需的同步程度。

于是,当位于 Z_R 距离的调制器的最大群时间差 $\delta\tau_g$ 等于比特时间 T 的

整数 k 倍加上或减去比特时间的某个较小分数时，可以得到更好的结果：

$$[kT - T/N] < \delta\tau_g Z_R < [kT + T/N]$$

这里 $N > 4$ ，而且 Z_R 以 km 计，而 $\delta\tau_g$ 以 $\text{ps}\cdot\text{km}^{-1}$ 计。

图 3 是表示长距离链路中的孤子再生器之间距离 Z_R ，和波长为 λ_k 和 λ_1 的信道之间间隔 $\Delta\lambda_{k1}$ 的曲线图，其中 λ_1 是 WDM 孤子传输系统中 WDM 频段内的最短波长（当 $D'_0 \neq 0$ 时）。图中的曲线在其右侧用参数 p 标记，该标记表示在波长差为 $\Delta\lambda_{k1}$ （以 nm 计）的距离 Z_R （以 km 计）处隔开两个信号的比特周期数。

为了给出一些看图的例子，请读者看虚线。例如，对于两个间隔为 2nm 的信道而言，可以发生同步化的地方是在，距离 $Z_R = 160\text{km}$ 附近，在那里两信道间有一个比特时间周期的滑移；或者距离 $Z_R = 320\text{km}$ 附近，此处信道间有两个比特时间周期的滑移；或者甚至在信道间有三个比特时间周期的滑移的距离 $Z_R = 480\text{km}$ 附近。

为了给出另一些看图的例子，请读者看实线。例如在 $Z_R = 500\text{km}$ 的再生距离附近，具有实线所示的信道间隔的 WDM 系统，将确保信号在再生器处是同步的。在图中所示的例子中，相对于最短波长，以波长差 $\Delta\lambda_{k1} = \lambda_k - \lambda_1$ 给出一个波长 λ_1 ，这些波长差近似为如下：

$$\Delta\lambda_{21} = 0.85 \text{ nm}; \quad p = 1;$$

$$\Delta\lambda_{31} = 1.45 \text{ nm}; \quad p = 2;$$

$$\Delta\lambda_{41} = 1.95 \text{ nm}; \quad p = 3;$$

$$\Delta\lambda_{51} = 2.35 \text{ nm}; \quad p = 4;$$

$$\Delta\lambda_{61} = 2.65 \text{ nm}; \quad p = 5;$$

$$\Delta\lambda_{71} = 3.05 \text{ nm}; \quad p = 6; \quad \text{等等}.$$

在图中，可以看到，对于再生器之间的光纤固定长度 Z_R 而言，可以同步一组按照所述长度 Z_R 确定波长的信道。比较起来，设计系统时，这样常常更为方便，尤其是当采用信道滤波器时，将具有规则的信道间隔。在这种情况下，对于 k 为整数且 $k > 1$ ， $p = k(k-1)/2$ ，即对于每对相邻信道之间的相同间隔而言，可以写为 $\Delta\lambda_{k1}(p) = (k-1)\Delta\lambda$ ，其中 $\Delta\lambda = \lambda_k - \lambda_{k-1}$ 。用以上给出的关系，可以得到：

$$\lambda_1 - \lambda_0 = \frac{\Delta\lambda}{2} = \left(\frac{T_{bit}}{4Z_R D'_0} \right)^{\frac{1}{2}}$$

这里 λ_0 是零色散波长。

用对应于每个 k 值的参数 p ，把这种规则的信道间隔表示在图 4 中。可以看出，第一信道与零色散波长之间的间隔，仅仅是后续信道与相邻信道之间间隔的一半；这是由上述关系造成的（见前一段结尾处的公式）。

一个容量为 $N \times 20$ Gbit/s，且对应 $T_{bit} = 50$ ps， $D'_0 = 8 \times 10^{-2}$ ps/nm²/km，和 $Z_R = 500$ km 的同步 WDM 系统实例，给出了大约 1.1nm 的信道间隔。

本发明的方法与前述文献所述的，或者任何其他用于控制色散的系统中所用的色散控制方法完全兼容。这仅仅需要用以下方法计算所得的有效值代替上文所给出公式中的固定参数。

我们从考虑系统包含有一组 q 个光纤段($t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_q$)的情况出发，其每一光纤的长度为 L_k ，并且在各自波长 λ_{0k} 处的色散梯度 $D'_0(\lambda_{0k})$ 为零。在这种情况下，有效色散 $D_{eff}(\lambda)$ 可以计算出来，而且零色散有效波长 $\lambda_{0,eff}$ 和色散梯度 $D'_{0,eff}$ 也同样可以做到。这个参数足以满足本发明的上述计算：

$$D'_{0,eff} = \frac{\sum_{k=1}^q L_k D'(\lambda_{0k})}{\sum_{k=1}^q L_k}$$

这里 $L = \sum L_k$ 。当光纤段数量很大 ($q \gg 1$) 时，集合可以用积分 (L_k 对 dz 的积分) 来代替，它对应于连续色散分布。此外，可以选择 ($L_k, D'(\lambda_{0k})$)，使公式的分子集合为零，而得出 $D'_{0,eff} = 0$ (补偿梯度的系统)。

如果 $D'_{0,eff} \neq 0$ ，在与上述相同的条件下，若用有效色散梯度：

$$\Delta\lambda = \left(\frac{T_{bit}}{Z_R D'_{0,eff}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

代替色散梯度，则信道 c_k 和 c_1 在距离 Z_R 处同步。

还应看到，为了构成 m -信道的 WDM 系统，完全可以只选择上述公式提供的 n 个波长中的 m 个。这个选择可以用于减小沿链路上孤子碰撞引起的抖动影响。也有利于减小再生器之间的间隔。

图 5 表示了作为链路长度函数的品质因数 Q 的仿真结果，它用于根据上述

条件所设计的一个 WDM 系统。为进行计算而选出的参数为如下： 4×10^7 b/s WDM 链路有四个 10 Gbit/s 信道，采用孤子的同步幅度调制，并采用信道滤波器滤波。放大器，滤波器，和调制器之间的距离，分别定在 $Z_a = 30\text{km}$ ， $Z_f = 4Z_a = 120\text{km}$ ，和 $Z_{Rmin} = 4Z_f = 480\text{ km}$ 处。信道滤波器是法布里-珀罗型的，有 $\Delta\lambda = 1\text{ nm}$ ，并有优化的传输频带形式。其他参数如下确定：

$D'_0 = 6.95 \times 10^{-2} \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 和 $Z_R = 720\text{ km} = 3Z_{Rmin}/2$ ，而且 $\lambda_0 = 1.5528\text{ nm}$ ， $D''_0 = 0$ ， $A_{eff} = 50\text{ }\mu\text{m}^2$ 是光纤损耗为 $\alpha = 0.20\text{ dB/km}$ 且 $\eta_{sp}/\eta_{in} = 2$ （自发辐射除以放大器输入耦合损耗的比率）时的有效面积，孤子脉冲宽度 $\Delta T = 20\text{ ps}$ ，以及调制深度为 10dB。

信道 A，B，C，和 D 对应于以下 (k, p) 参数所描述的波长：(3,3)，(4,6)，(6,15)，和 (7,21)。按物理波长计，它分别为 $\lambda_A = 1555.3\text{ nm}$ ($\Delta\lambda_{31} = 2.5\text{ nm}$)， $\lambda_B = 1556.3\text{ nm}$ ($\Delta\lambda_{41} = 3.5\text{ nm}$)， $\lambda_C = 1558.3\text{ nm}$ ($\Delta\lambda_{61} = 5.5\text{ nm}$)，和 $\lambda_D = 1559.1\text{ nm}$ ($\Delta\lambda_{71} = 6.5\text{ nm}$)。为了仿真的目的，用 $2^7 - 1$ 比特的伪随机序列对孤子进行编码，而且没有首码相关。用非线性薛定格 (Schroedinger) 公式，通过傅立叶分析中的增量法，对距离为 20,000 km 的传播进行计算。

曲线 NR 表示没有再生时四个信道的品质因数；曲线 A，B，C，和 D 表示采用本发明方法的同步再生时，四个信道的品质因数。当采用同步再生时，能看到明显的改进，而且可以看到，除此方式之外链路无法满足超过 4Mm 或 5Mm 的情况。与之相比，通过采用本发明的方法，即使超过 20,000 km（即 20 Mm）也完全可以保持可接受的品质因数。我们认为，第一信道 A 相对较差的性能是由于孤子之间的碰撞所致，这种碰撞对这个信道影响十分明显。可以看到，信道 D 有最好的性能，它承受的碰撞最小。

请看四个信道在 20,000 km 处的眼图，它表示：噪声强度导致了信道 A 比信道 B 的性能差。在到达时，戈登-豪斯时间抖动不仅存在于孤子间的碰撞效应和 WDM 交互作用之中，而且还被转换到再生器输出端的幅度噪声之中。

在距离 Z_{Rein} 处信道 A 和 B 之间的最大误差可以通过计算找到： $\delta\tau_{73} = 1.39\text{ ps}$ 。这个误差被认为是不明显的，并且不影响同步调制的效果。

当色散梯度为零(在有用的光谱区 $D'(\lambda)=0$)或甚至是补偿过的($D'_{0,\text{eff}}=0$)时,信道同步性由以下条件给出:

$$\Delta\lambda = \frac{T_{\text{bit}}}{Z_R D}$$

这里 D 是有用光谱区中的色散常数(对于多个长度 $D = D_{\text{eff}} = \text{常数}$)并有

$$D_{\text{eff}} = \frac{\sum \Delta L_k D(\lambda_k)}{\sum \Delta L_k}$$

要注意:对后一种情况($D' = 0, D'_{0,\text{eff}} = 0$),有用的光谱区中波长的梳形位置无关紧要。

以上仅参考一些实施例描述了本发明的装置。这些实施例采用了 WDM 系统中的具体参数,并使用了实施再生的 WDM 系统所需的一些现有技术装置。本发明列出的实施例不是穷举,本领域的普通技术人员将知道如何根据具体需要使用本发明的装置。

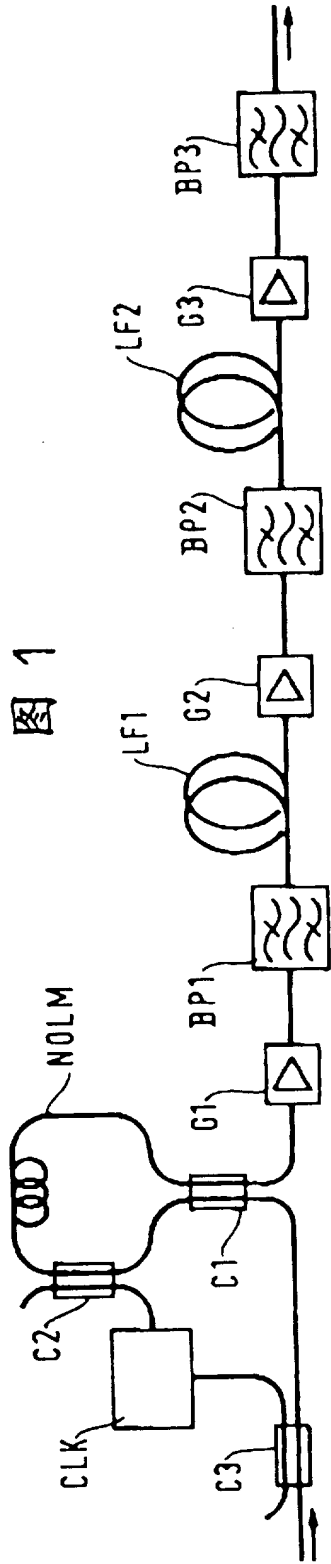


图 1

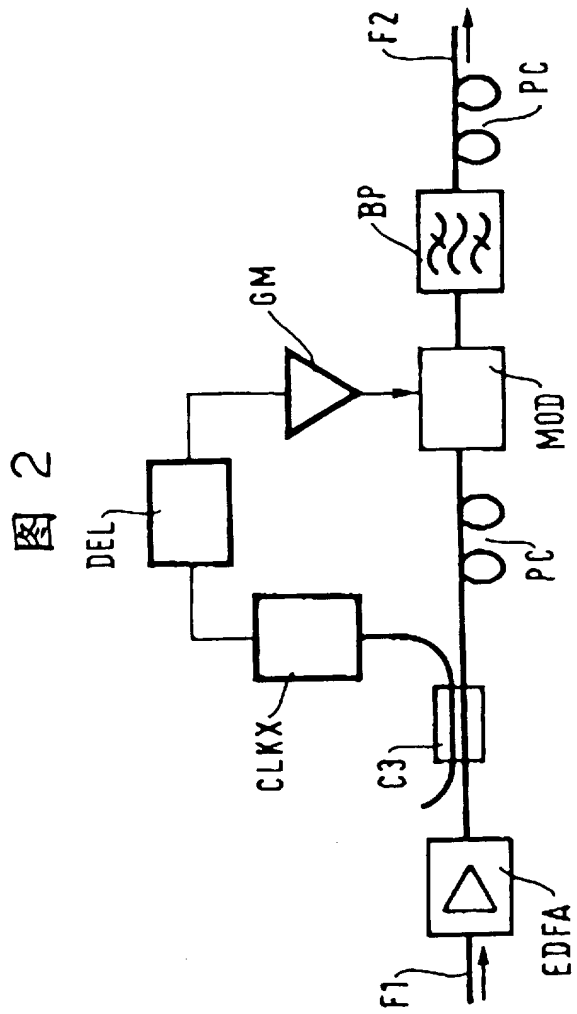


图 2

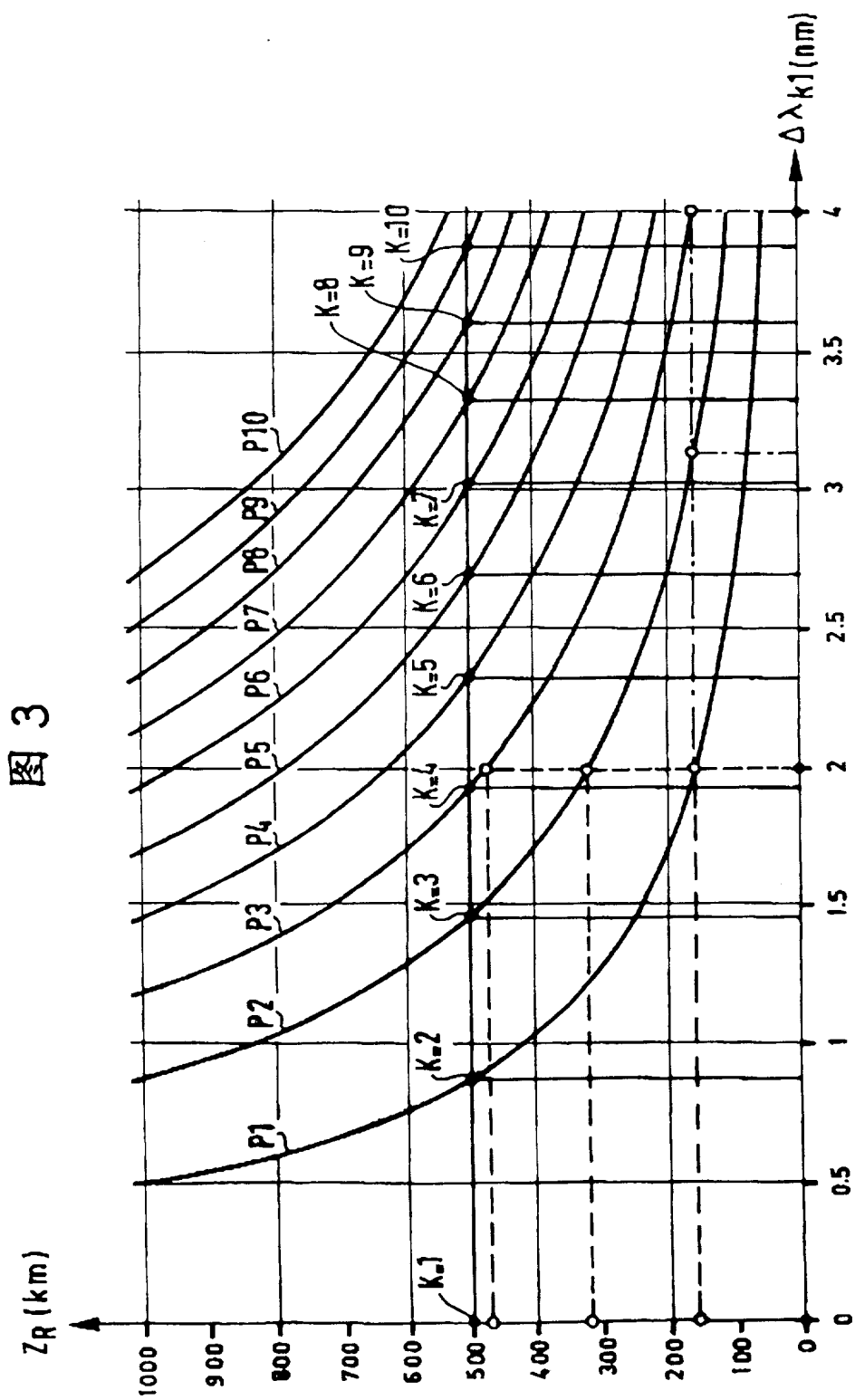


图 4

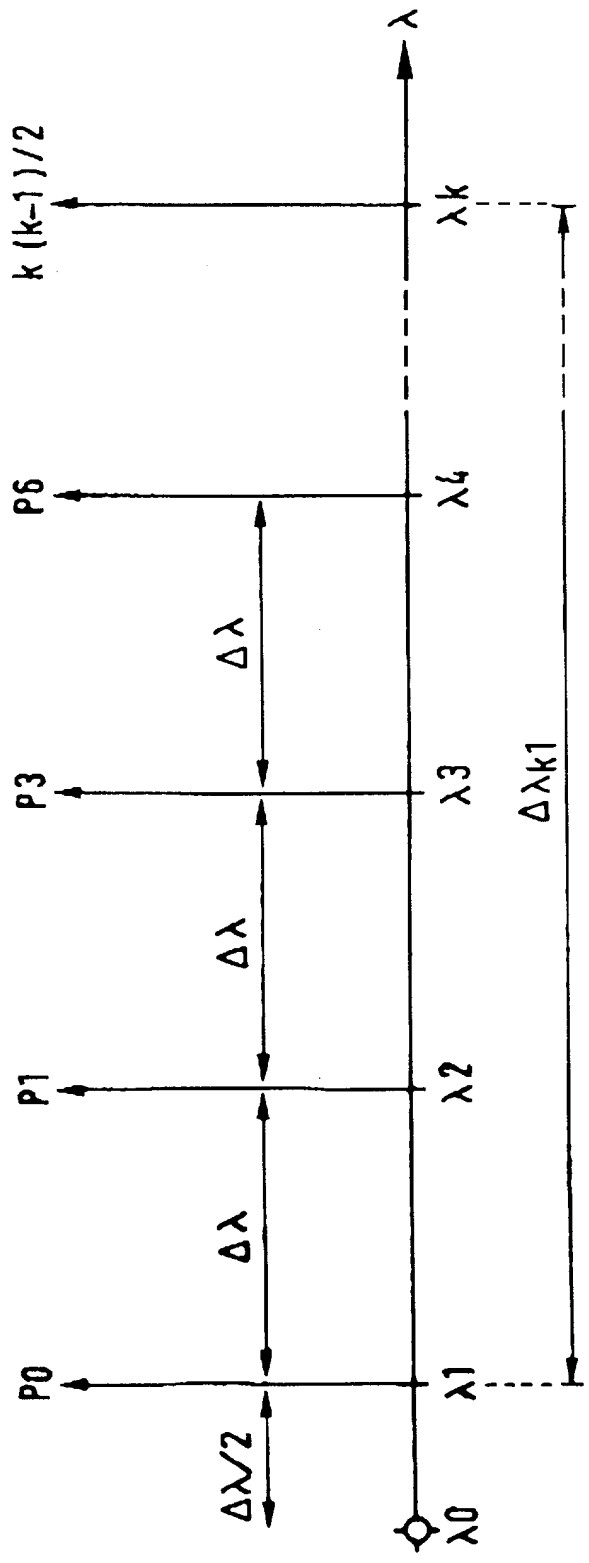


图 5

