



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103460629 A

(43) 申请公布日 2013. 12. 18

(21) 申请号 201180059766. 1

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

(22) 申请日 2011. 12. 01

11256

## (30) 优先权数据

12/964, 945 2010. 12. 10 US

代理人 王茂华

(85) PCT申请进入国家阶段日

(51) Int. Cl.

2013. 06. 09

H04J 14/06 (2006. 01)

H04L 27/26 (2006. 01)

## (86) PCT申请的申请数据

PCT/US2011/062850 2011. 12. 01

## (87) PCT申请的公布数据

W02012/078445 EN 2012. 06. 14

(71) 申请人 阿尔卡特朗讯

地址 法国巴黎

(72) 发明人 刘翔 C·塞瑟玛德哈范

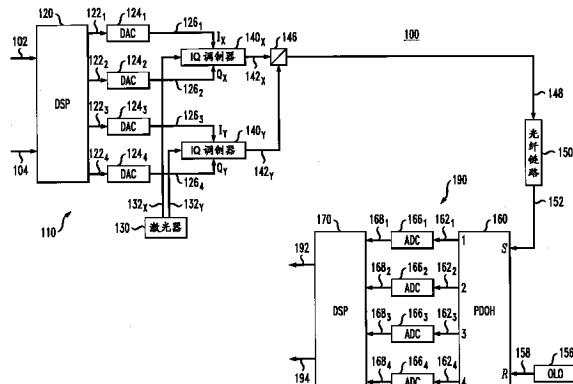
权利要求书3页 说明书11页 附图5页

## (54) 发明名称

用于导频辅助的数据传输的相干光接收机

## (57) 摘要

一种用于数据帧格式的相干光接收机，其中数据帧具有两个或更多个导频符号块和一个或多个有效载荷符号块，每个导频符号块具有循环前缀或后缀，每个有效载荷符号块与至少一个相邻的块级联并且两个块之间没有保护间隔。接收机使用与导频符号块相对应的光信号来执行数据帧同步、频率偏移校正和信道估计进程，这在即便存在某些传输减损的情况下也是鲁棒的。接收机应用具有滑动窗的块重叠处理来恢复有效载荷数据，从而基本消除由数据帧的有效载荷部分中不存在保护间隔所导致的块间干扰的不利影响。在一个实施方式中，接收机针对偏振分复用信号执行信道估计和块重叠处理，从而使得能够组合、交织地应用信道响应补偿和偏振解复用进程。



1. 一种光接收机,包括 :

光电转换器,适于 :

混合经调制的光信号和光参考信号以生成多个混合的光信号;以及

将所述多个混合的光信号转换成对应的多个数字电信号,其中:

所述多个数字电信号包括第一同相数字信号和第一正交相位数字信号,所述第一同相数字信号和所述第一正交相位数字信号具有与数据帧相对应的第一组信号样本;

所述数据帧包括 :

第一多个导频符号块,其中每个导频符号块包括相应的多个导频符号和相应的保护间隔;以及

第一组的一个或多个有效载荷符号块,其中每个有效载荷符号块包括来自第一星座符号序列的相应的多个星座符号;以及

至少一个有效载荷符号块和另一块是级联的,并且两者之间没有保护间隔,其中所述另一块是导频符号块或有效载荷符号块;以及

数字信号处理器,适于处理所述第一组信号样本以恢复编码在所述第一星座符号序列中的数据。

2. 如权利要求 1 所述的光接收机,其中所述第一组的一个或多个有效载荷符号块包括多个有效载荷符号块,其中所述第一组中的每对连续的有效载荷符号块是级联的,并且两者之间没有保护间隔。

3. 如权利要求 1 所述的光接收机,其中 :

所述第一多个导频符号块包括帧同步块,所述帧同步块具有第一串 N 个导频符号,所述第一串 N 个导频符号与第二串 N 个导频符号级联,所述第二串为所述第一串的副本,其中 N 为正整数;以及

所述数字信号处理器还适于 :

计算所述第一组信号样本的自相关函数;

找到所述自相关函数的最大值以确定所述数据帧的时间位置;

计算所述自相关函数在所述最大值处的相位;以及

基于所计算的相位,计算所述经调制的光信号的载波频率与所述光参考信号的频率之间的频率偏移;以及

向所述第一组信号样本应用频率偏移校正以产生信号样本的第一修改组,其中所述信号样本的第一修改组中的每个信号样本具有相对于所述第一组信号样本中的对应信号样本的相移,所述相移与所计算的频率偏移和所述第一组信号样本中的所述信号样本的相对时间成正比。

4. 如权利要求 1 所述的光接收机,其中 :

所述第一多个导频符号块包括 :

第一信道估计块,具有指定的第一多相序列;以及

第二信道估计块,具有不同于所述指定的第一多相序列的指定的第二多相序列;并且

所述数字信号处理器还适于基于与所述第一多相序列和所述第二多相序列相对应的所述第一组信号样本中的信号样本,来确定信道响应函数 H。

5. 如权利要求 4 所述的光接收机,其中:

所述多个数字电信号还包括第二同相数字信号和第二正交相位数字信号,所述第二同相数字信号和所述第二正交相位数字信号具有与所述数据帧相对应的第二组信号样本;

所述数据帧还包括:

第二多个导频符号块,其中每个导频符号块包括相应的多个导频符号和相应的保护间隔;以及

第二组的一个或多个有效载荷符号块,其中:

所述第二组的每个有效载荷符号块包括来自第二序列的星座符号的相应的多个星座符号;

所述经调制的光信号的第一偏振是用所述第一多个导频符号块和所述第一组的一个或多个有效载荷符号块中的符号调制的;并且

所述经调制的光信号的第二偏振是用所述第二多个导频符号块和所述第二组的一个或多个有效载荷符号块中的符号调制的。

6. 如权利要求 5 所述的光接收机,其中:

所述第二多个导频符号块包括:

第三信道估计块,具有所述指定的第二多相序列;以及

第四信道估计块,具有所述指定的第一多相序列;

所述第一信道估计块与所述第三信道估计块同步;

所述第二信道估计块与所述第四信道估计块同步;并且所述数字信号处理器还适于基于与所述指定的第一多相序列和所述指定的第二多相序列相对应的所述第一组信号样本和所述第二组信号样本二者中的信号样本,来确定所述信道响应函数 H。

7. 如权利要求 5 所述的光接收机,其中所述数字信号处理器还适于应用信道响应逆函数  $H^{-1}$  以产生信号样本的第一修改组和信号样本的第二修改组,其中:

所述第一修改组具有来自所述第一组信号样本和所述第二组信号样本二者的贡献;并且

所述第二修改组具有来自所述第一组信号样本和所述第二组信号样本的贡献。

8. 如权利要求 1 所述的光接收机,其中所述数字信号处理器还适于:

向所述第一组信号样本应用频率偏移校正以产生与所述第一多个有效载荷符号块相对应的第一序列的经频率偏移校正的信号样本;

在所述第一序列中选择第一经频率偏移校正的信号样本块;

向所述第一经频率偏移校正的信号样本块应用信道响应均衡以产生第一经信道响应均衡的信号样本块;

从所述第一经信道响应均衡的信号样本块的开始部分移除信号样本的子块,并且从所述第一经信道响应均衡的信号样本块的末尾部分移除信号样本的另一子块,以产生第一截取的信号样本块;

在所述第一序列中选择第二经频率偏移校正的信号样本块,其中所述第二块与所述第一块重叠;

向所述第二经频率偏移校正的信号样本块应用信道响应均衡以产生第二经信道响应均衡的信号样本块;

从所述第二经信道响应均衡的信号样本块的开始部分移除信号样本的子块，并且从所述第二经信道响应均衡的信号样本块的末尾部分移除信号样本的另一子块，以产生第二截取的信号样本块；以及

级联所述第一截取的块和所述第二截取的块，其中为了应用信道响应均衡，所述数字信号处理器：

向所选择的信号样本块应用傅里叶变换以产生对应的频率分量块；

向所述频率分量块应用信道响应逆函数  $H^{-1}$ ，以产生经信道响应均衡的频率分量块；以及

向所述经信道响应均衡的频率分量块应用傅里叶逆变换，以产生对应的经信道响应均衡的信号样本块。

9. 如权利要求 8 所述的光接收机，其中：

所述第一经频率偏移校正的信号样本块和所述第二经频率偏移校正的信号样本块中的每一个具有  $2N$  个信号样本，其中  $N$  是正整数；

每个被移除的子块具有  $L/2$  个信号样本，其中  $L$  是正的偶数；

所述数据帧中的每个所述导频符号块中的循环前缀具有  $L$  个导频符号；并且

所述数据帧中的每个有效载荷符号块具有  $2N-L$  个星座符号。

10. 一种光通信方法，包括：

混合经调制的光信号和光参考信号以生成多个混合的光信号；

将所述多个混合的光信号转换成对应的多个数字电信号，其中：

所述多个数字电信号包括第一同相数字信号和第一正交相位数字信号，所述第一同相数字信号和所述第一正交相位数字信号具有与数据帧相对应的第一组信号样本；

所述数据帧包括：

第一多个导频符号块，其中每个导频符号块包括相应的多个导频符号和相应的保护间隔；以及

第一组的一个或多个有效载荷符号块，其中每个有效载荷符号块包括来自第一星座符号序列的相应的多个星座符号；并且

至少一个有效载荷符号块和另一块是级联的，并且两者之间没有保护间隔，其中所述另一块是导频符号块或有效载荷符号块；以及

处理所述第一组信号样本以恢复编码在所述第一序列中的数据。

## 用于导频辅助的数据传输的相干光接收机

### [0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请的主题涉及 Xiang Liu 和 Chandrasekhar Sethumadhavan 于本申请同天递交的题为“PILOT-ASSISTED DATA TRANSMISSION IN A COHERENT OPTICAL-COMMUNICATION SYSTEM”第 12/964929 号（代理人案号：807982-US-NP）的美国专利申请，此美国专利申请的全部内容通过引用并入本文。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及光通信装备，更具体地，涉及但不限于相干光传输系统中的信号处理。

### 背景技术

[0004] 这部分介绍了可帮助方便更好地理解本发明的方面。由此，这部分的陈述从这个角度被阅读并且不被理解为承认哪些是现有技术或者哪些不是现有技术。

[0005] 下一代光通信系统被设计用于相对高的数据传输速率，例如每个信道高于约 100Gbit/s。在这些速率下，色散 (CD) 和偏振模色散 (PMD) 的效应严重降低了光纤链路的传输性能。由于对光域的色散补偿的实际实现相对昂贵，因此各种数字信号处理 (DSP) 技术（诸如，正交频分复用 (OFDM)）被用于减轻 CD 和 PMD 对信号传输的不利影响。然而，光 OFDM 的一个问题是它不仅在接收机处需要相对复杂的数字信号处理，而且在发送机处也需要相对复杂的数字信号处理。此外，光 OFDM 具有相对高的峰均功率比 (PAPR)，PAPR 通过对调制非线性和功率放大器非线性施加非常苛刻的约束而不利地影响硬件。

### 发明内容

[0006] 本文公开了用于数据帧格式的相干光接收机的各个实施方式，这种格式的数据帧具有两个或更多个导频符号块和一个或多个有效载荷符号块，每个导频符号块具有循环前缀或后缀，每个有效载荷符号块与至少一个相邻的块级联并且两个块之间没有保护间隔。接收机使用与导频符号块相对应的光信号来执行数据帧同步、频率偏移校正和信道估计进程，这即使在存在传输障碍（例如，色散 (CD) 和偏振模色散 (PMD)）的情况下也是鲁棒的。接收机应用具有滑动窗的块重叠处理来恢复有效载荷数据，从而基本消除由数据帧的有效载荷部分中不存在保护间隔所导致的块间干扰的不利影响。在一个实施方式中，接收机针对偏振分复用信号执行信道估计和块重叠处理，从而使得能够组合、交织地应用信道响应补偿和偏振解复用进程（例如，如图 3C 所示）。

[0007] 根据一个实施方式，提供了一种光接收机，该光接收机具有光电转换器，该光电转换器混合经调制的光信号和光参考信号以生成多个混合的光信号，并且将多个混合的光信号转换成相应的多个数字电信号。多个数字电信号包括具有与数据帧相对应的第一组信号样本的第一同相数字信号和第一正交相位数字信号。数据帧包括第一多个导频符号块和第一组一个或多个有效载荷符号块。每个导频符号块包括相应的多个导频符号和相应的保护间隔。每个有效载荷符号块包括来自第一星座符号序列的多个相应的星座符号。至少一个

有效载荷符号块和另一块是级联的并且两者之间没有保护间隔,其中该另一块是同一数据帧的导频符号块或下一数据帧的导频符号块或同一数据帧的有效载荷符号块。接收机还具有数字信号处理器,该数字信号处理器处理第一组信号样本,以恢复编码在第一星座符号序列中的数据。

[0008] 根据另一实施方式,提供一种光通信方法,该方法具有如下的步骤:混合经调制的光信号和光参考信号以生成多个混合的光信号;以及将多个混合的光信号转换成相应的多个数字电信号。多个数字电信号包括具有与数据帧相对应的第一组数字样本的第一同相数字信号和第一正交相位数字信号。数据帧包括第一多个导频符号块和第一组一个或多个有效载荷符号块。每个导频符号块包括相应的多个导频符号和相应的保护间隔。每个有效载荷符号块包括来自第一星座符号序列的相应的多个星座符号。至少一个有效载荷符号块和另一个块是级联的并且两者之间没有保护间隔,其中另一个块是导频符号块或有效载荷符号块。该方法还包括处理第一组信号样本以恢复编码在第一序列中的数据的步骤。

## 附图说明

[0009] 本发明的各个实施方式的各个方面、特征和优点从下面的详细描述和附图以实施例的方式变得十分明显,在附图中:

[0010] 图1示出了根据本发明的一个实施方式的光传输系统的框图;

[0011] 图2A-2C示出了根据本发明的一个实施方式的可在图1所示的光传输系统的发送机中使用的数字信号处理器的操作;以及

[0012] 图3A-3C示出了根据本发明的一个实施方式的可在图1所示的光传输系统的接收机中使用的信号处理器的操作。

## 具体实施方式

[0013] 具有频域均衡(FDE)的OFDM传输和单载波(SC)传输具有相似的数字信号处理(DSP)复杂度。这两个信号传输技术之间的主要DSP区别是,在OFDM传输中,在发送机侧执行快速傅里叶逆变换(IFFT)操作,而在SC-FDE传输中,在接收机侧执行IFFT操作。结果,SC-FDE传输系统中的发送机可使用比在OFDM发送机中使用的数字信号处理器具有更小处理功率的数字信号处理器。此外,SC-FDE传输系统可有利地被配置为比同等执行的OFDM系统具有更小的峰均功率比(PAPR)值,由此放松了对调制非线性和功率放大器非线性的约束。

[0014] 图1示出了根据本发明的一个实施方式的单载波光传输系统100的框图。系统100具有经由光纤链路150连接的光发送机110和光接收机190。在一个实施方式中,光纤链路150是具一个或多个光放大器(在图1中未明确示出)的放大光纤链路。

[0015] 发送机110接收两个独立的数据流102和104,以用于发送至接收机190。数字信号处理器120参考图2A-2C如下面所描述地处理数据流102和104,以生成数字信号 $122_1-122_4$ 。数字信号 $122_1-122_4$ 分别经过数模转换器(DAC) $124_1-124_4$ 中的数模转换以产生驱动信号 $126_1-126_4$ 。驱动信号 $126_1$ 和 $126_2$ 分别是与数据流102相对应的同相(I)和正交相位(Q)驱动信号。驱动信号 $126_3$ 和 $126_4$ 是与数据流104相对应的相似的同相和正交相位驱动信号。

[0016] 光 IQ 调制器  $140_x$  使用驱动信号  $126_1$  和  $126_2$  来调制由激光源 130 生成的光载波信号  $132_x$ , 并且产生经调制的信号  $142_x$ 。类似地, 光 IQ 调制器  $140_y$  使用信号  $126_3$  和  $126_4$  来调制由激光源 130 生成的光载波信号  $132_y$  并且产生经调制的信号  $142_y$ 。偏振光合束器 146 组合经调制的信号  $142_x$  和  $142_y$ , 以产生光偏振分复用 (PDM) 信号 148。注意, 光载波信号  $132_x$  和  $132_y$  具有相同的载波频率。驱动信号 126 中的每一个在被施加用以驱动相应的光 IQ 调制器 140 之前可由 RF 放大器 (未明确示出) 放大。

[0017] 光纤链路 150 从合束器 146 接收信号 148, 以用于传输至接收机 190。在通过光纤链路 150 传播时, 信号 148 经过各种传输障碍, 诸如色散 (CD) 和偏振模色散 (PMD), 并且在光纤链路的接收机端处作为光信号 152 出现。

[0018] 接收机 190 具有光电 (O/E) 转换器 160, O/E 转换器 160 具有 (i) 标记为 S 和 R 的两个输入端口, 以及 (ii) 标记为 1 至 4 的四个输出端口。输入端口 S 接收光信号 152。输入端口 R 接收由光本地振荡器 (OLO) 156 生成的光参考信号 158。参考信号 158 具有与信号 152 基本相同的光载波频率 (波长)。参考信号 158 可例如使用由波长控制回路 (在图 1 中未明确示出) 控制的可调谐激光器生成, 其中波长控制回路迫使可调谐激光器的输出波长基本跟踪信号 152 的波长。在各种实施方式中, 光本地振荡器 156 可包括恰当地连接在一起以生成参考信号 158 的可调谐和 / 或不可调谐激光器、光变频器、光调制器和光滤波器的组合。

[0019] O/E 转换器 160 混合输入信号 152 和参考信号 158 以生成 8 个混合光信号 (在图 1 中未明确示出)。O/E 转换器 160 然后将 8 个混合光信号转换成 4 个电信号  $162_1$ - $162_4$ , 其指示与信号 152 的两个正交偏振分量相对应的复数。例如, 电信号  $162_1$  和  $162_2$  可以是分别与信号 152 的 x 偏振分量相对应的模拟同相信号和模拟正交相位信号。类似地, 电信号  $162_3$  和  $162_4$  可以是分别与信号 152 的 y 偏振分量对应的模拟同相信号和模拟正交相位信号。

[0020] 在一个实施方式中, O/E 转换器 160 是具有耦合至其 8 个输出端口的 4 个平衡光检测器的不同偏振 90 度光混合设备 (PDOH)。各种合适的 PDOH 例如是从 Optoplex Corporation of Fremont, California 和 CeLight, Inc., Silver Spring, Maryland 可商业购得的。可在系统 100 的各种实施方式中实现 O/E 转换器 160 的各种 O/E 转换器上的附加信息在公开号为 2010/0158521 的美国专利申请、序列号为 12/541, 548 的美国专利申请 (于 2009 年 8 月 14 日提交) 和申请号为 PCT/US09/37746 (于 2009 年 3 月 20 日提交) 的国际专利申请中公开, 全部申请的全部内容通过引用并入本文。

[0021] 由 O/E 转换器 160 生成的电信号  $162_1$ - $162_4$  中的每一个电信号在模数转换器 (ADC)  $166_1$ - $166_4$  的对应一个中被转换成数字形式。可选地, 电信号  $162_1$ - $162_4$  中的每个可在被转换数字形式的结果信号之前在相应的放大器 (未明确示出) 中被放大。由 ADC  $166_1$ - $166_4$  产生的数字信号  $168_1$ - $168_4$  通过下面参考图 3A-3C 进一步描述的数字信号处理器 170 进行处理, 以将由数据流 102 应用的数据恢复至发送机 110。恢复的数据分别经由数字信号 192 和 194 从接收机 190 输出。

[0022] 图 2A-2C 示出了根据本发明的一个实施方式可用于实现数字信号处理器 120 (图 1) 的数字信号处理器 200 的操作。更具体地, 图 2A 示出了处理器 200 的框图。图 2B-2C 示出了由数字信号处理器 200 使用的示例性帧结构。

[0023] 处理器 200 处理输入数据流 202 以生成数字输出信号  $222_I$  和  $222_Q$ 。在典型的实

施方式中,处理器 120(图 1)是使用被配置成互相并行操作的两个处理器 200 实现的。更具体地,对于这两个并行处理器 200 中的第一个,输入数据流 202 是数据流 102,而数字输出信号  $222_1$  和  $222_q$  分别是数字信号  $122_1$  和  $122_2$ 。对于这两个并行处理器 200 中的第二个,输入数据流 202 是数据流 104,数字输出信号  $222_1$  和  $222_q$  分别是数字信号  $122_3$  和  $122_4$ 。

[0024] 输入数据流 202 被应用于编码模块 204,在编码模块 204 中,它被可选地交织并且进行前向纠错(FEC) 编码。

[0025] 由编码模块 204 产生的编码的比特流 206 被应用至星座映射模块 208,在星座映射模块 208 中,它被转换成星座符号的对应序列 210。由星座映射模块 208 使用的星座例如可以是 QAM(正交调幅) 星座或 QPSK(正交相移键控) 星座。

[0026] 符号序列 210 被应用至成帧模块 212,在成帧模块 212 中,符号序列 210 被转换成数据流的对应序列 214。当处理器 200 噢用于实现 DSP 120(图 1)时,序列 214 包括两个并行的子序列,一个子序列对应于 X 偏振,而另一个子序列对应于 Y 偏振。由成帧模块 212 产生的帧序列 214 随后被应用至脉冲成形模块 218,在脉冲成形模块 218 中,帧序列 214 被转换成输出信号  $222_1$  和  $222_q$ 。

[0027] 图 2B 示出了由成帧模块 212 生成的帧序列 214 的示例性结构。帧序列 214 的代表性的帧包括多个导频符号块(PS) 和多个有效载荷块(DS)。例如,帧 230 具有(i) 导频符号块  $PS_s, PS_{c1}$  和  $PS_{c2}$  和(ii) 有效载荷符号块  $DS_1, DS_2 \dots DS_n$ 。导频符号块 PS 和有效载荷符号块 DS 之间的一个重要区别是前者具有循环前缀(CP,有时也称为保护间隔)而后者不具有循环前缀。使用导频符号块 PS 中的循环前缀有助于在接收机(例如,接收机 190(图 1))处执行的在存在传输减损(例如,CD 和 / 或 PMD)的情况下鲁棒的同步进程和信道估计进程。不使用有效载荷符号块中的循环前缀有助于使传输开销最小化,并且因此获得相对高的有效载荷数据吞吐量。应用至没有 CP 的有效载荷符号块(图 2B 中的块 DS)的信道补偿进程依赖于从导频符号块  $PS_{c1}$  和  $PS_{c2}$  获得的信道信息并且在下面参考图 3A-3C 更详细的描述。

[0028] 导频符号块  $PS_s$  被设计为辅助接收机(例如,接收机 190(图 1))进行频率估计和帧同步。示例性导频符号块  $PS_s$  包括(i) 循环前缀  $CP_s$ ;以及(ii) 具有  $2N$  个符号的符号序列  $E(n)$ (即, $n = 1, 2, \dots, 2N$ ),具有前  $N$  个符号的字符串等于具有后  $N$  个符号的字符串。循环前缀  $CP_s$  具有符号序列  $E(n)$  的后  $L$  个符号的副本。在数学方面,导频符号块  $PS_s$  由等式(1) 表达成:

$$[0029] PS_s = [E(n = (2N-L+1):2N), E(n = 1:2N)] \quad (1)$$

[0030] 其中,“:”符号指从符号左边的值开始并且以符号的右边的值结束的  $n$  的范围。

[0031] 在一个实施方式中,符号序列  $E(n)$  被按如下构造。首先,选择  $2N$  个正交(在 OFDM 意义上)频率的集合,并且该集合从最低频率开始并且以最高频率结束。其次,向每个奇数频率分配 0 振幅,并且向每个偶数频率分配从 QPSK 星座随机选择的符号。回想,QPSK 星座由以均一的角间距定位在以复平面的原点为中心的圆上的 4 个星座点构成。这种分配的结果是具有  $2N$  个频域符号的集合,这些符号中的一半为 0。最后,向此  $2N$  频域符号的集合应用快速傅里叶逆变换(IFFT) 操作以达到符号序列  $E(n)$ 。

[0032] 在另一实施方式中,符号序列  $E(n)$  由等式(2) 表达成:

$$[0033] E(n) = e^{(-j\pi(n-1)^2/N)} \quad (2)$$

[0034] 其中,  $n = 1, 2, \dots, 2N$ 。

[0035] 通过具有两个相等的一半, 符号序列  $E(n)$  可被容易地用于自相关以找到帧的开始点, 并且找到载波信号 132 与参考信号 158 之间的频率偏移。可用于执行基于自相关的同步的合适的方法在由 T. M. Schmidl 和 D. C. Cox 于 1997 年 12 月在 IEEE Transactions on Communications 的第 45 卷、第 12 期、第 1613–1621 页上公布的题为“Robust Frequency on Communications”, 该文章的全部内容通过引用并入本文。

[0036] 在一个实施方式中, 对应于 X 偏振 (例如, 由图 1 的调制信号  $142_x$  表示) 的导频符号块  $PS_s$  与对应于 Y 偏振 (例如, 由图 1 的调制信号  $142_y$  表示) 的导频符号块  $PS_s$  相同。在可替换的实施方式中, X 偏振和 Y 偏振可使用不同的相应的导频符号块  $PS_s$ 。

[0037] 图 2C 示出了导频符号块  $PS_{c1}$  和  $PS_{c2}$  的示例性结构。注意, 与 X 偏振相对应的导频符号块  $PS_{c1}$  和  $PS_{c2}$  可不同于与 Y 偏振相对应的导频符号块  $PS_{c1}$  和  $PS_{c2}$ 。导频符号  $PS_{c1}$  和  $PS_{c2}$  被设计为辅助接收机 (例如, 接收机 190 (图 1)) 进行信道估计和信道补偿。

[0038] 类似于导频符号块  $PS_s$ , 每个导频符号块  $PS_c$  具有在符号的相应 (已知的、预定的) 主体序列 (KS) 前面加上循环前缀 (CP)。循环前缀 CP 通过从主体序列 KS 的末尾取得若干符号构成, 这使得每个导频数据集合  $PS_c$  为部分循环序列。循环前缀 CP 的长度 (L) 被选择为长于信道 (例如, 图 1 的光纤链路 150) 的脉冲响应的期望的持续时间。帧序列 214 中的导频符号块的这种属性使指定的接收者处理接收的信号 (例如, 图 1 的符号 152) 中的导频符号块, 从而减轻因 CD 和 PMD 的效应而由光纤链路施加的块间干扰。

[0039] 与导频符号块  $PS_{c1}$  和  $PS_{c2}$  相对应的主体序列具有相同的长度, 一个实施方式中该长度大于有效载荷符号块 DS 的长度 (也见下面图 3C 的描述)。在典型的实现中, 每个主体序列 KS 是长度为  $2N$  的指定多相序列, 其中时域中的全部非零符号的幅度具有不同相位但是具有相同的幅度, 其中  $N$  是正整数。使用这种序列的一个目的是使接收机在感兴趣的整个频率范围内精确并且均一地探测信道响应函数 H。信道响应函数 H 是依赖于频率的  $2 \times 2$  矩阵, 该矩阵的元素是描述发送机 (例如, 图 1 的发送机 110) 的前端、光纤链路 (例如, 图 1 的光纤链路 150) 和接收机 (例如, 图 1 的接收机 190) 的前端的组合的信号传递特性的频率的复函数。

[0040] 在一个实施方式中, 每个主体序列 KS 具有  $2N$  个符号, 图 2C 中所示的单独主体序列  $KS_1-KS_4$  由等式 (3)–(5) 表达成:

$$[0041] KS_1(n) = e^{(-j\pi(n-1)^2/N)} \quad (3)$$

$$[0042] KS_2(n) = e^{(-j\pi n(n-1)/N)} \quad (4)$$

$$[0043] KS_3 = KS_2, KS_4 = KS_1 \quad (5)$$

[0044] 其中  $n = 1, 2, \dots, 2N$ 。由等式 (5) 表达的不同主体序列 KS 之间的关系的优点可在于, 它能使接收机在频率中容易地计算作为频率函数的  $2 \times 2$  信道响应矩阵的全部 4 个元素。可用于此目的的合适的矩阵计算方法例如在由 C. J. Youn 在 2010 European Conference on Optical Communications (ECOC'10) 文章 P4.06 中公布的文章“An Efficient and Frequency-Offset-Tolerant Channel Estimation and Synchronization Method for PDM CO-OFDM Transmission”中描述。

[0045] 在可替换的实施方式中, 附加的合适的多相序列可通过下列各项中的一项或多项由等式 (3)–(4) 限定的多相序列构造:(i) 循环地位移整个序列;(ii) 将序列的每个符号

相移恒定的相位；(iii) 取得序列的每个符号的第  $m$  个功率，其中  $m$  是大于 1 的整数；以及(iv) 将整个序列进行相位共轭。在时域和频域二者中具有均一幅度的另外合适的多相序列（或码）可基于在由 David C. Chu 于 1972 年 7 月在 IEEE Transaction on Information Theory 的第 531-532 页公布的文章“Polyphase Codes with Good Periodic Correlation Properties”中提供的一般描述来构造，其中该文章的全部内容通过引用并入本文。

[0046] 注意，对应于 X 偏振的导频符号块  $PS_{c1}$  和  $PS_{c2}$  分别与对应于 Y 偏振的导频符号块  $PS_{s1}$  和  $PS_{s2}$  同步。导频符号块  $PS_{c1}$  和  $PS_{c2}$  的这种特性是数据流 230 的更一般的特性的表现，由此，对应于 X 偏振的每个符号块与对应于 Y 偏振的对应符号块同步。如此，对应于 X 偏振的导频符号块  $PS_s$  与对应于 Y 偏振的导频符号块  $PS_s$  同步。类似地，对应于 X 偏振的每个有效载荷符号块  $DS_1$  与对应于 Y 偏振的导频符号块  $DS_1$  同步（参见图 2B）。

[0047] 回到图 2A，由成帧模块 212 产生的帧序列 214 被应用于脉冲成形模块 218，在脉冲成形模块 218 中，帧序列 214 被转换成输出信号  $222_1$  和  $222_Q$ 。在脉冲成形模块 218 中实现的脉冲成形是生成数字波形的过程，该数字波形在被转换成对应的模拟信号之后可应用于光调制器来调制光载波信号（例如，光载波信号  $132_x$  或  $132_y$ （图 1）），使得所产生的调制光信号是用与帧序列 214 的各个块相对应的符号调制的。在一种配置中，可例如通过针对输出信号  $222_1$  和  $222_Q$  重复每个信号样本一次或多次来应用过采样。

[0048] 图 3A-3C 示出了根据本发明的一个实施方式的可用于实现数字信号处理器 170（图 1）的数字信号处理器 300 的操作。更具体地，图 3A-3C 示出了处理器 300 的框图。图 3C 示出了在处理器 300 的 FDCCE（频域信道补偿 / 均衡）子模块 352 中实现的处理。当处理器 300 被用作处理器 170 时，输入信号  $302_1-302_4$  分别对应于信号  $168_1-168_4$ （图 1），并且输出信号  $332_x$  和  $332_y$  分别对应于输出信号 192 和 194（图 1）。

[0049] EDC（电子色散补偿器）模块 310 执行减轻由光纤链路 150 锁施加在输入信号 152 上的色散的不利影响的数字信号处理。具体地，EDC 模块  $310_x$  处理与 PDOH 160（图 1）的第一主偏振轴（例如，x 轴）相对应的输入信号  $302_1-302_2$ 。类似地，EDC 模块  $310_y$  处理与 PDOH 160 的第二主偏振轴（例如，y 轴）相对应的输入信号  $302_3-302_4$ 。注意，在发送机处使用的 X 偏振和 Y 偏振可以或可能不与 PDOH 160 的主偏振轴（即，x 轴和 y 轴）对齐。可用于实现 EDC 模块 310 的各个 EDC 模块例如在第 7,570,889 号、第 7,532,820 号和第 7,382,984 号美国专利中描述，全部专利的内容通过引用并入本文。

[0050] 由 EDC 模块  $310_x$  和  $310_y$  所产生的色散补偿信号  $312_1-312_4$  被应用于如下面参考图 3B-3C 进一步描述的处理这些信号的导频辅助频分均衡和解码（PA-FDED）模块 320 以恢复应用至发送机用于发送的原始数据流，例如图 1 的数据流 102 和 104。更具体地，PA-FDED 模块 320 生成承载与信号 152 的第一独立调制的分量（例如，图 1 的分量  $142_x$ ）对应的数据的数据流  $332_x$ ，并且类似地生成承载与信号 152 的第二独立调制的分量相对应的数据的数据流  $332_y$ （例如，图 1 的分量  $142_y$ ）。

[0051] 图 3B 示出了根据本发明的一个实施方式的 PA-FDED 模块 320 的框图。PA-FDED 模块 320 具有同步子模块 340，同步子模块 340 接收色散补偿信号  $312_1-312_4$  作为其输入。同步子模块 340 依赖于导频符号块  $PS_s$  的上述属性以确定每个帧 230 的开始（也见图 2B）。在一种配置中，同步子模块 340 计算由等式 (6) 限定的自相关函数：

$$[0052] \quad P(n) = \sum_{k=1}^N [r_x(n+k-1) * r_x(n+k+N-1) + r_y(n+k-1) * r_y(n+k+N-1)] \quad (6)$$

[0053] 其中“\*”符号表示复共轭； $r_x(n)$  是实部为由信号 312<sub>1</sub> 提供的信号样本并且虚部为由信号 312<sub>2</sub> 提供的对应信号样本的复数；以及  $r_y(n)$  是实部为由信号 312<sub>3</sub> 提供的信号样本并且虚部为由信号 312<sub>4</sub> 提供的对应信号样本的复数。由于导频符号块 PS<sub>s</sub> 的符号序列 E(n) 具有两个长度为 N 的相同部分，因此函数 P(n) 的绝对值具有暂时与符号序列 E(n) 的第一符号对齐的显著最大值，并且同样可用于确定相应帧 230 的时间位置。

[0054] 位于同步子模块 340 下游的 FE(频率估计 / 补偿) 子模块 344 执行输入信号 152 的载波频率与参考信号 158 的频率之间的失配的电子估计和补偿(见图 1)。在一个实施方式中，FE 子模块 344 确定 P(n<sub>max</sub>) 的相位，其中 n<sub>max</sub> 是与由同步子模块 340 确定的函数 P(n) (见等式 (6)) 的绝对值的最大值对应的时隙。FE 子模块 344 然后使用 P(n<sub>max</sub>) 的相位来计算信号 152 和 158 之间的频率偏移。如果频率偏移为 0，则 P(n<sub>max</sub>) 是实数并且其相位为 0。如果频率偏移不为 0，则 P(n<sub>max</sub>) 是复数并且其相位直接与频率偏移和导频符号块 PS<sub>s</sub> 的持续时间相关。因为频率偏移可随时间改变，所以 FE 子模块 344 为每个接收的帧 230 执行频率偏移计算。

[0055] 在确定频率偏移之后，FE 子模块 344 通过将向每个信号样本应用与频率偏移乘以 2π 和由同步子模块 340 确定的帧的开始与信号样本之间消耗的时间相等的相移，执行频率失配补偿。可适用于充当 FE 子模块 344 的各个 FE 模块在例如第 7,747,177 号美国专利和公开号为 2008/0152361 的美国专利申请中公开，这两个专利申请的全部内容通过引用并入本文。

[0056] CE(信道估计) 子模块 348 使用与导频符号块 PS<sub>c1</sub> 和 PS<sub>c2</sub> 对应的信号样本以确定信道响应函数 H，信道响应函数 H 在频域中可表达成由等式 (7) 给出的 2x2 Jones 矩阵：

$$[0057] \quad H(f) = \begin{pmatrix} a(f) & b(f) \\ c(f) & d(f) \end{pmatrix} \quad (7)$$

[0058] 更具体地，使用主体序列 KS1、KS2、KS3 和 KS4 的先验知识，CE 子模块 348 构造信道响应函数 H，从而将该信道响应函数应用至这些主体序列将主体序列转变成与这些已知的主体序列对应的接收的信号样本。注意，可由 CE 子模块 348 针对每个帧 230 计算单独的信道响应函数 H，这使接收机适当地跟踪依赖于时间的信道。

[0059] 图 3C 还示出了在 FDCCE(频域信道补偿 / 均衡) 子模块 352 中实现的示例性处理。更具体地，所示的处理处理与单个传输的帧的有效载荷(例如，具有与 X 偏振和 Y 偏振对应的数据帧 230 中的有效载荷符号块 DS，见图 2B) 相对应的信号样本，并且同样使用由信道估计子模块 348 确定的信道响应函数 H。对于处理每个新帧，FDCCE 子模块 352 使用从 CE 子模块 348 确定和接收的新的信道响应函数 H。

[0060] 如上面所指示的，帧 230 中的有效载荷符号块 DS 的符号不具有循环前缀。结果，块间干扰(IBI) 发生在接收机处。为了减轻 IBI 的不利影响，FDCCE 子模块 352 如下面关于图 3C 进一步详细描述地执行具有滑动窗 358 的重叠 FDCCE 处理，其中滑动窗 358 具有与接收的帧相对应的频率校正信号的序列 366 的 2N 个连续信号样本。序列 366 包括两个平行的子序列，即，对应于信号 312<sub>1</sub>-312<sub>2</sub> 的序列 366<sub>x</sub> 和对应于信号 312<sub>3</sub>-312<sub>4</sub> 的序列 366<sub>y</sub>(也见图 3A-3B)。注意，序列 366<sub>x</sub> 中的信号样本具有来自信号 142<sub>x</sub> 携带的符号和来自信号

$142_y$  携带的符号的贡献（图 1）。序列  $366_y$  中的信号样本类似地具有来自由信号  $142_x$  携带的符号和来自由信号  $142_y$  携带的符号的贡献（图 1）。

[0061] 对于滑动窗 368 的第  $i$  个位置，FDCCE 子模块 352 (i) 将快速傅里叶变换 (FFT)  $372_{ix}$  应用至位于窗口内且属于序列  $366_x$  的  $2N$  个信号样本的块  $370_{ix}$ ；以及 (ii) 将 FFT  $372_{iy}$  应用至位于窗口内且属于序列  $366_y$  的  $2N$  个信号样本的块  $370_{iy}$ 。FFT 操作  $372_{ix}$  将块  $370$  转换成  $2N$  个频率分量的相应块  $374_{ix}$ 。FFT 操作  $372_{iy}$  将块  $370_{iy}$  转换成  $2N$  个频率分量的相应块  $374_{iy}$ 。

[0062] 块  $374_{ix}$  和  $374_{iy}$  经过将这些块转换成块  $378_{ix}$  和  $378_{iy}$  的频域均衡 (FDE) 进程  $376_i$ 。类似于块  $374_i$ ，块  $378_{ix}$  和  $378_{iy}$  中的每个具有  $2N$  个频率分量。FDE 进程  $376_i$  包括信道响应逆函数  $H^{-1}$  的应用，信道响应逆函数  $H^{-1}$  是由 FECCE 子模块 352 从由信道估计子模块 348 确定的信道响应函数  $H$ （见等式 (7)）导出的。由于信道响应函数  $H$  一般具有非对角形式（即， $b(f) \neq 0$  和  $c(f) \neq 0$ ），因此 FDE 进程  $376_i$  将来自块  $374_{ix}$  和  $374_{iy}$  的频率分量混合以产生块  $378_{ix}$  和  $378_{iy}$  的对应频率分量。注意，FFT 操作  $372_i$  不具有这种特征，因为 (i)  $374_{ix}$  是通过仅在块  $370_{ix}$  上操作而不使用来自块  $370_{iy}$  的任何信号样本来产生的，以及 (ii) 块  $374_{iy}$  是通过仅操作  $370_{iy}$  而不使用来自块  $370_{ix}$  的任何信号样本来产生的。

[0063] 块  $378_{ix}$  和  $378_{iy}$  分别经过逆 FFT (IFFT) 操作  $380_{ix}$  和  $380_{iy}$ 。IFFT 操作  $380_{ix}$  将块  $378_{ix}$  转换成形成块  $382_{ix}$  的  $2N$  个时域信号样本。类似地，IFFT 操作  $380_{iy}$  将块  $378_{iy}$  转换成形成块  $382_{iy}$  的  $2N$  个时域信号样本。类似于 FFT 操作  $372_i$ ，IFFT 操作  $380_i$  不混合  $x$  块和  $y$  块。

[0064] 块  $382_{ix}$  被截取，以从块的开始移除  $N_e$  个信号样本并且从块的末尾移除  $N_e$  个信号样本，其中  $N_e$  是被选择以使受 IBI 影响的信号样本被截除的预定数目。块  $382_{ix}$  的具有  $2N-2N_e$  个信号样本的剩余部分用于形成均衡的信号样本的序列  $384_x$ ，序列  $384_x$  从 FDCCE 子模块 352 输出至 PA-FDED 模块 320 的下游子模块。类似地，块  $382_{iy}$  被截取以从块的开始移除  $N_e$  个信号样本并且从块的末尾移除  $N_e$  个信号样本。块  $382_{iy}$  的具有  $2N-2N_e$  个信号样本的剩余部分用于形成均衡的信号样本的序列  $384_y$ ，序列  $384_y$  也从 FDCCE 子模块 352 输出至 PA-FDED 模块 320 的下游子模块。

[0065] 滑动窗 368 将序列  $366_x$  和  $366_y$  向下位移  $2N-2N_e$  个信号样本至第  $(i+1)$  个位置，并且如图 3C 中所示，针对第  $(i+1)$  个位置重复上面针对第  $i$  个位置所描述的处理。重复将滑动窗 368 位移  $2N-2N_e$  个信号样本和相应处理直到针对 X 偏振和 Y 偏振二者的全部有效载荷符号对应帧已经被恢复为止。

[0066] 在一种配置中， $N_e = L/2$  和  $2N-2N_e = N_{DS}$ ，其中  $L$  是导频符号块  $PS_{c1}$  和  $PS_{c2}$ （图 2C）中的循环前缀 CP 的长度，并且， $N_{DS}$  是帧 230（图 2B）中的有效载荷符号块 (DS) 的长度。在这种配置中，在滑动窗 368 的第  $i$  个位置处执行的处理恢复帧 230（图 2B）中的导频符号块  $DS_i$  的全部符号。为了恢复帧  $(DS_i)$  中的第一有效载荷符号块的符号，滑动窗 368 被定位，以使得窗口内的第一  $N_e$  个信号样本属于同一帧中的导频符号块  $PS_{c2}$ 。为了恢复帧  $(DS_n)$  中的最后有效载荷符号块的符号，滑动窗 368 被定位，以使得窗口内的最后  $N_e$  个信号样本属于下一帧的导频符号块  $PS_s$ 。

[0067] 注意，如上所述，CE 子模块 348 可执行信道估计，并且 FDCCE 子模块 352 可执行针对偏振分复用信号的块重叠，以使得 FDCCE 子模块 352 以有利地节省处理时间和 / 或功率

的组合、交织、非串行方式应用信道响应补偿和偏振解复用进程。

[0068] 回到图 3B, 由 FDCCD 子模块 352 产生的均衡序列  $384_x$  和  $384_y$  被应用至相位估计 / 相位校正 (PE/PC) 子模块 356。PE/PC 子模块 356 执行校正或补偿输入信号 152 与参考信号 158 (图 1) 之间的缓慢变化的相移的数字处理, 并且然后估计均衡序列  $384_x$  和  $384_y$  中的信号样本的相位, 以用于星座解映射和解码。可用于实现 PE/PC 子模块 356 的各个处理模块在上面引用的公开号为 2008/0152361 的美国专利申请、第 7, 688, 918 号美国专利和公开号为 2008/0075472 的美国专利申请在被公开, 这些专利申请的全部内容通过引用并入本文。

[0069] 解映射子模块 360 使用由 PE/PC 子模块 356 获得的相位估计和星座映射以将均衡的序列  $384_x$  和  $384_y$  转换成星座符号的对应序列。解映射 360 随后解码每个星座符号以将其转换成相应的比特集合, 由此生成分别与均衡序列  $384_x$  和  $384_y$  相对应的比特流  $362_x$  和  $362_y$ 。在不存在误差的情况下, 比特流  $362_x$  是比特流  $206_x$  的副本, 并且比特流  $362_y$  是比特流  $206_y$  的副本 (也见图 2A)。当存在解码误差时, 比特流 362 可在某些方面不同于相应的比特流 206。

[0070] FEC (前向纠错) 子模块 364 通过使用由编码模块 204 (图 2A) 引入至对应比特流 206 的数据冗余, 执行比特流  $362_x$  和  $362_y$  中的纠错。所得到的纠错后的比特流经由信号  $332_x$  和  $332_y$  被输出。适于在 FEC 子模块 364 中使用的许多 FEC 方法是本领域已知的。硬判决和软判决可在 FEC 子模块 364 的各种实施方式中实现。这些方法的若干典型实施例例如在第 7, 734, 191 号、第 7, 574, 146 号、第 7, 424, 651 号、第 7, 212, 741 号和第 6, 683, 855 号美国专利, 全部这些专利的内容通过引用并入本文。

[0071] 尽管已经参考阐释性实施方式描述了本发明, 但是这个描述不用于被解释为限制意义。尽管已经参考偏振分复用 (PDM) 信号描述了本发明的各个实施方式, 但是本发明不限于此并且可类似地应用于处理非 PDM 信号。所描述的实施方式的各种修改以及本发明的其它实施方式被认为位于如下面的权利要求所表达的本发明的原理和范围内。

[0072] 术语“单载波”是在本说明书中用于将本文中公开的光传输系统的实施方式与光 OFDM 传输系统对比的技术术语。此术语不应该被解释为暗示本发明的实施方式不与 WDM 技术兼容。本领域普通技术人员之一将理解, 本文中公开的某些信号处理技术可被应用至 WDM 复用的不同载波频率 (波长) 中的每一个载波频率。

[0073] 如本文所使用的, 术语“同步”指两个数据或符号块、两个符号、和 / 或与它们对应的时隙的暂时对齐。例如, 如果两个符号块的前沿基本同时到达指定位置 (例如, 输入端口或输出端口), 即, 如果到达时间之间的差别小于指定的较小容差, 两个符号块被认为是同步的。类似地, 如果两个符号的前沿基本同时到达指定位置, 即, 如果到达时间之间的差别小于指定的较小容差, 则两个符号被认为是同步的。

[0074] 尽管已经参考循环前缀描述了本发明的各个实施方式, 但是本发明不限于此。基于所提供的描述, 本领域技术人员将能够用循环后缀来替代循环前缀或作为循环前缀的附加来类似地实现本发明。如本文所使用的, 术语“保护间隔”应该被解释为覆盖循环前缀和循环后缀的上位术语。

[0075] 在各个实施方式中, 每个数据帧具有至少一个有效载荷符号块 ( $DS_i$ , 图 2B), 至少一个有效载荷符号块与另一个块级联并且两者之间没有保护间隔。例如, 如果数据帧使用循环前缀作为保护间隔, 则这种级联点之一位于数据帧的最后一个导频符号块与同一数据

帧的第一个有效载荷符号块之间（例如，图 2B 的导频符号块  $PS_{c_2}$  与有效载荷符号块  $DS_1$  之间）的边界处。可替换地，如果数据帧使用循环后缀作为保护间隔，则这种级联点之一位于数据帧的最后一个有效载荷符号块与下一数据帧的第一个导频符号块之间（例如，图 2B 的有效载荷符号块  $DS_n$  与相邻的导频符号块  $PS_s$  之间）的边界处。

[0076] 本发明可实现为基于电路的过程，包括在单个集成电路上的可能实现。

[0077] 除非特别说明，每个数值和范围应该被解释成近似，就像位于值或范围的数值之前的词语“约”或“近似”。

[0078] 将进一步理解，已经描述和说明以解释本发明的本质的部分的细节、材料和布置可由本领域技术人员在不偏离由下面的权利要求表达的本发明的范围进行各种改变。

[0079] 权利要求中示图号和 / 或示图的参考标记的使用用于标识所要求保护的主题的一个或多个可能的实施方式以方便权利要求的解释。这种使用不被解释为将这些权利要求的范围一定限制到在相应附图中所示的实施方式。

[0080] 尽管下面方法权利要求中的元素（如果有）通过相应的标记以具体顺序记载，除非权利要求记载以其它方式暗示用于实现这些元素的一些或全部的具体顺序，但是这些元素不一定用于限制于以该具体顺序实现。

[0081] 本文参考“一个实施方式”或“实施方式”意味着与实施方式一起描述的具体特征、结构或特性可包括在本发明的至少一个实施方式中。短语“在一个实施方式中”在说明书中各个位置处的出现不一定全指同一个实施方式，也不是与其它实施方式一定互相排除的单独的、可替代的实施方式。术语“实现”也有相同的情况。

[0082] 而且为了描述，术语“耦合”、“耦合中 (coupling)”、“被耦合”或“连接”、“连接中 (connecting)”、或“被连接”指本领域已知或随后被开发以允许能够在两个或更多个元件之间转移能量的任何方式，一个或多个附加元件的插入可被构想到（尽管不是需要的）。相反，术语“被直接耦合”、“被直接连接”等暗示不存在这些附加元件。

[0083] 由本申请中的权利要求所覆盖的实施方式限于 (1) 由本说明书使能的实施方式以及 (2) 与法定主题对应的实施方式。未使能的实施方式和与非法定主题相对应的实施方式明确不被要求保护，即使他们在形式上落入权利要求的范围内也如此。

[0084] 说明书和附图仅说明本发明的原理。因此将理解，本领域技术人员将能够想到尽管未在本文中明确描述或示出但体现了本发明的原理并且体现本发明的精神和范围内的各种布置。而且，本文中记载的全部实施例在原理上清楚地仅用于教学目的以帮助读者理解本发明的原理和推动本领域的发明人构造的概念，并且被解释成不限制这些具体记载的实施例和条件。而且，本文中记载本发明的原理、方面和实施方式的所有陈述以及它们的具体实施例旨在涵盖其等同物。

[0085] 在附图中示出的各种元件（包括标记为“处理器”的任何功能块）的功能可通过使用专门的硬件和能够执行与合适的软件相关联的软件硬件提供。当由处理器提供时，功能可由单个专用的处理器、单个共享的处理器、或多个单独的处理器提供，其中多个单独的处理器中的一些是共享的。而且，术语“处理器”或“控制器”的明确使用不应该被解释为仅指能够执行软件的硬件，并且可暗示地包括（没有限制）数字信号处理器 (DSP) 硬件、用于存储软件的专用集成电路 (ASIC)、随机访问存储器 (RAM)、以及非易失性存储设备。还可包括其它硬件（传统的和 / 或定制的）。类似地，在附图中示出的任何开关都仅是概念性的。

它们的功能可通过程序逻辑的操作、专用逻辑、程序控制和专用逻辑的相互作用、或甚至手动地实现，具体的技术可由实现者通过更具体地理解上下文来选择。

[0086] 本领域技术人员应理解，本文中任何框图代表体现了本发明原理的说明性电路的概念性视图。类似地，将理解，任何流程图、流图、状态转换图、伪代码等代表可基本在计算机可读介质中呈现并且因此由计算机或处理器执行的各种过程，而不管计算机或处理器是否被明确示出。

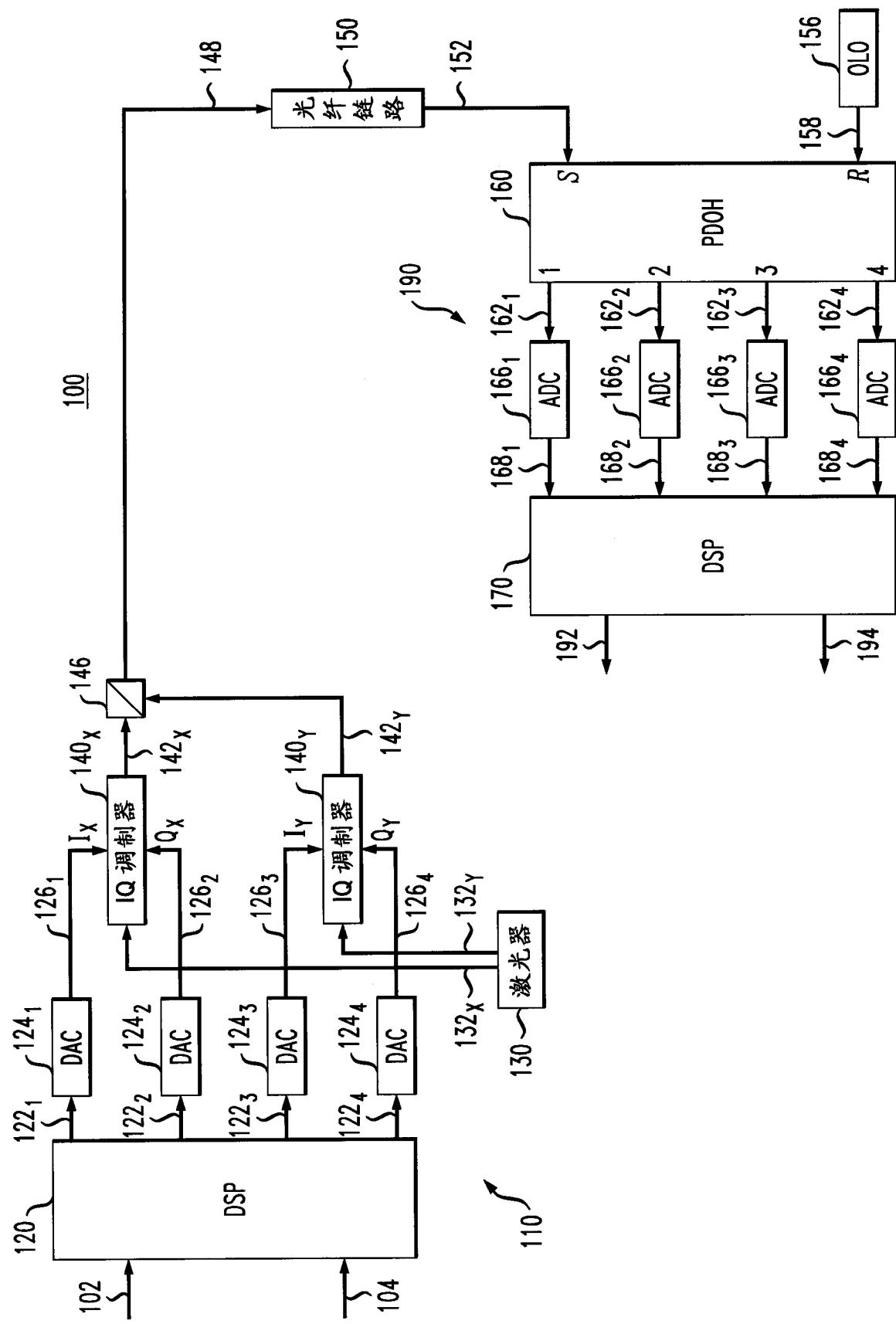


图 1

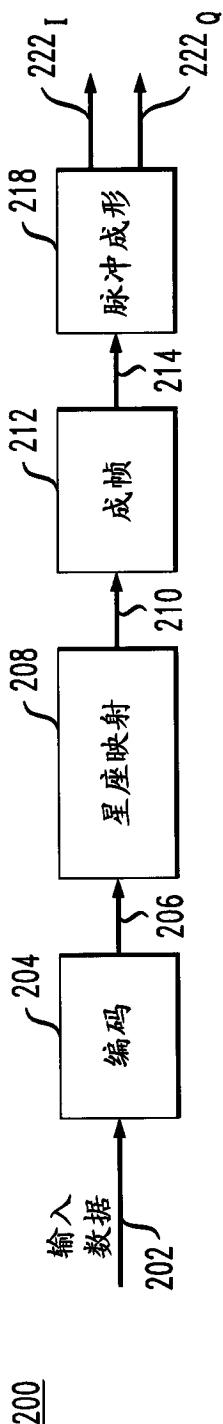


图 2A

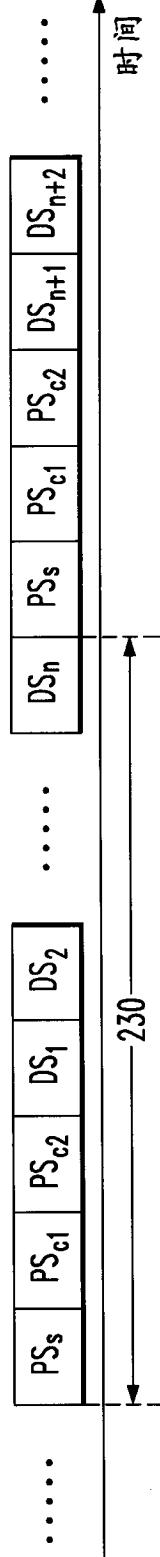
214

图 2B

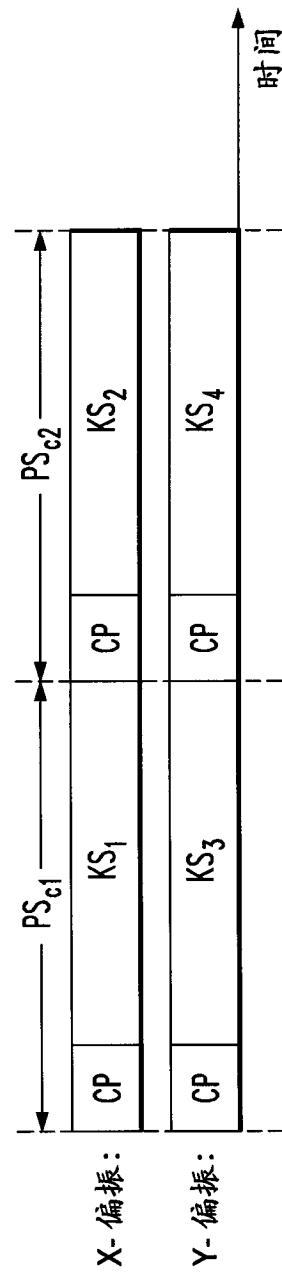


图 2C

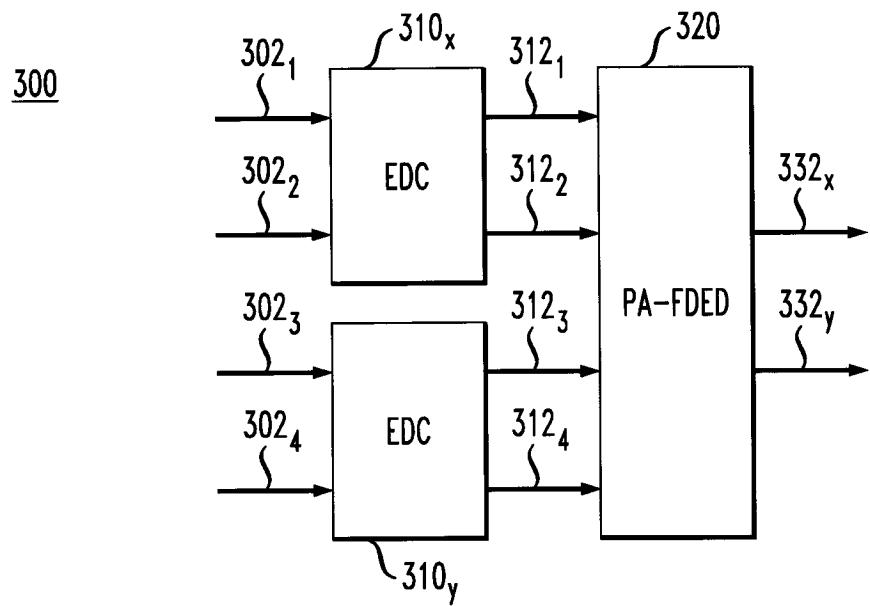


图 3A

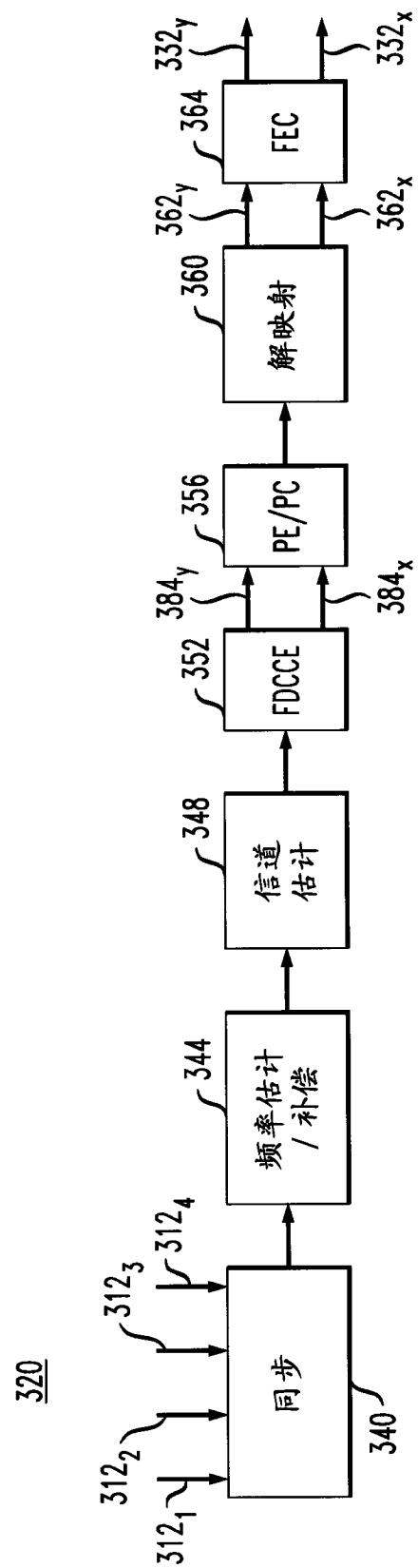


图 3B

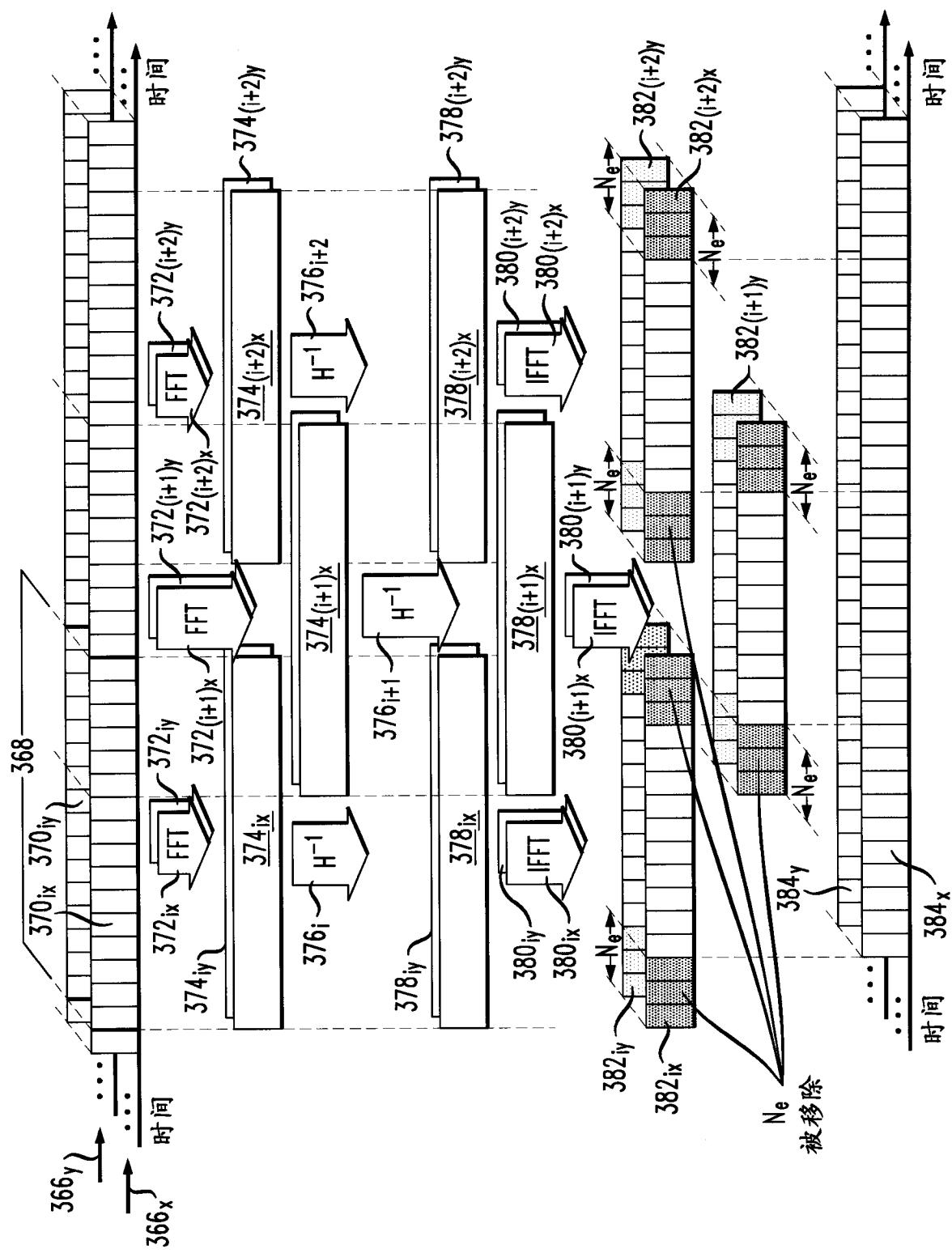


图 3C