

信号处理的方法、装置及系统

本申请要求于 2022 年 7 月 18 日提交中国专利局、申请号为 202210838818.5、
发明名称为“信号处理的方法、装置及系统”的中国专利申请的优先权，其全
5 部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本公开涉及通信技术领域，尤其涉及信号处理的方法、装置及系统。

背景技术

10 随着通信技术领域的发展，出现了提高比特率的高阶调制技术，例如脉冲
幅度调制（Pulse Amplitude Modulation，PAM）和双二进制调制等。然而，高阶
调制信号在传输的过程中更容易受到多径干涉（Multi-path Interference，MPI）
效应的影响。在实际传输系统中，光发射端、光接收端和光纤连接头都会带来
反射。调制信号在传输过程中经过多个反射端面带来多径干涉效应，而多径干
15 涉效应所产生的 MPI 噪声相对于传输信号检测带来不利影响。MPI 噪声使得误
码率显著上升，从而给光传输系统带来很大的光功率代价。

相关技术中，对光发射端、光接收端和光纤连接头的回波损耗进行严格限
定，比如 IEEE802.3 和 100G Lambda MSA 等国际标准中将光纤连接头的最大回
波损耗从原来的-26dB 减小到-35dB。但是在已经布放的实际光纤链路中，由于
20 光纤连接头较多，而且光纤连接头的回波损耗难以控制在-35dB 以下，因此，实
际系统中 MPI 噪声可能会对调制信号带来很大的光功率代价，甚至在某些实际
链路中，即便采用了复杂的前向纠错码（Forward Error Correction，FEC），仍
然无法实现无误码的传输，如何减小多径干涉对光传输的影响是一直困扰着业
界的问题。

25 发明内容

本公开提供一种信号处理的方法、装置及系统，以至少解决相关技术中减
少多径干涉噪声对光传输影响的问题。本公开的技术方案如下：

根据本公开实施例的第一方面，提供一种信号处理的方法，应用于发送端，

所述方法包括：

对信号源发出的信号进行直流平衡编码，得到编码信号；

对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号；

发送所述调制信号至接收端，以指示所述接收端对接收到的调制信号进行
5 高通滤波处理，得到频率高于预设值的调制信号，并对所述频率高于预设值的
调制信号进行解调和解码处理，得到处理后的信号。

在一种可能的实现方式中，所述调制处理包括脉冲幅度调制处理，所述对
信号源发出的信号进行直流平衡编码，得到编码信号，包括：

根据脉冲幅度调制的调制阶数，确定对信号源发出的信号进行解复用的个
10 数；

将所述信号解复用为所述个数的子信号；

分别对所述个数的子信号进行直流平衡编码，得到所述个数的子编码信号；

所述对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号，包括：

根据所述个数的子编码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号。

15 在一种可能的实现方式中，所述根据所述个数的子编码信号进行脉冲幅度
调制，得到调制信号，包括：

将所述个数的子编码信号按照格雷码转换规则转换为格雷码信号；

根据所述格雷码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号。

在一种可能的实现方式中，所述调制信号包括双二进制调制信号，所述对
20 所述编码信号进行调制处理，得到调制信号，包括：

对所述编码信号进行双二进制调制处理，得到双二进制调制信号。

在一种可能的实现方式中，所述调制信号包括双二进制调制信号，所述对
所述编码信号进行调制处理，得到调制信号，包括：

从所述编码信号中获取延迟预设比特位的编码信号；

25 对所述编码信号和所述延迟预设比特位的编码信号进行异或处理，得到预
编码信号；

对所述预编码信号进行预编码处理和双二进制调制处理，得到双二进制调
制信号。

- 在一种可能的实现方式中，所述直流平衡编码包括下述中的至少一种：
8B10B 编码、MB810 编码、5S/6S 编码、27S/32S 编码。
- 根据本公开实施例的第二方面，提供一种信号处理装置，包括：
- 编码模块，用于对信号源发出的信号进行直流平衡编码，得到编码信号；
- 5 调制模块，用于对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号；
- 处理模块，用于发送所述调制信号至接收端，以指示所述接收端对接收到的调制信号进行高通滤波处理，得到频率高于预设值的调制信号，对所述频率高于预设值的调制信号进行解调和解码处理，得到处理后的信号。
- 在一种可能的实现方式中，所述调制处理包括脉冲幅度调制处理，所述编
- 10 码模块包括：
- 确定子模块，用于根据脉冲幅度调制的调制阶数，确定对信号源发出的信号进行解复用的个数；
- 解复用子模块，用于将所述信号解复用为所述个数的子信号；
- 编码子模块，用于分别对所述个数的子信号进行直流平衡编码，得到所述
- 15 个数的子编码信号；
- 所述调制模块，包括：
- 第一调制子模块，用于根据所述个数的子编码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号。
- 在一种可能的实现方式中，所述第一调制子模块包括：
- 20 转换单元，用于将所述个数的子编码信号按照格雷码转换规则转换为格雷码信号；
- 调制单元，用于根据所述格雷码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号。
- 在一种可能的实现方式中，所述调制信号包括双二进制调制信号，所述调制模块包括：
- 25 第二调制子模块，用于对所述编码信号进行双二进制调制处理，得到双二进制调制信号。
- 在一种可能的实现方式中，所述调制信号包括双二进制调制信号，所述调制模块包括：

获取子模块，用于从所述编码信号中获取延迟预设比特位的编码信号；

处理子模块，用于对所述编码信号和所述延迟预设比特位的编码信号进行异或处理，得到预编码信号；

第三调制子模块，用于对所述预编码信号进行预编码处理和双二进制调制
5 处理，得到双二进制调制信号。

在一种可能的实现方式中，所述直流平衡编码包括下述中的至少一种：

8B10B 编码、MB810 编码、5S/6S 编码、27S/32S 编码。

根据本公开实施例的第三方面，提供一种信号处理的系统，包括发送端和接收端，其中，所述发送端包括：

10 编码器，用于对信号源发出的信号进行直流平衡编码，得到编码信号；

调制器，用于对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号；

调制激光器，用于发送所述调制信号至接收端；

所述接收端包括：

光电接收器，用于接收调制信号；

15 高通滤波器，用于对接收到的调制信号进行高通滤波处理，得到频率高于预设值的调制信号；

解码器，用于对所述频率高于预设值的调制信号进行解调和解码处理，得到处理后的信号。

根据本公开实施例的第三方面，提供一种电子设备，包括：

20 处理器；

用于存储所述处理器可执行指令的存储器；

其中，所述处理器被配置为执行所述指令，以实现如本公开实施例任一项所述的信号处理的方法。

根据本公开实施例的第四方面，提供一种计算机可读存储介质，当所述计
25 算机可读存储介质中的指令由电子设备的处理器执行时，使得所述电子设备能够执行如本公开实施例任一项所述的信号处理的方法。

根据本公开实施例的第五方面，提供一种计算机程序产品，所述计算机程序产品中包括指令，所述指令被电子设备的处理器执行时，使得所述电子设备

能够执行如本公开实施例任一项所述的信号处理的方法。

本公开的实施例提供的技术方案至少带来以下有益效果：本公开实施例，对信号源发出的信号进行直流平衡编码，得到编码信号。通过直流平衡编码可以使得信号中高电平的数量和低电平的数量保持相等，再对编码信号进行调制
5 后，可以使得调制信号在零频率附近的低频段能量很低。因此，本公开实施例在接收端通过对接收到的调制信号进行高通滤波处理，得到频率高于预设值的调制信号，可以有效的减少 MPI 噪声对传输性能的影响，提升对 MPI 噪声的容忍度。

应当理解的是，以上的一般描述和后文的细节描述仅是示例性和解释性的，
10 并不能限制本公开。

附图说明

此处的附图被并入说明书中并构成本说明书的一部分，示出了符合本公开的实施例，并与说明书一起用于解释本公开的原理，并不构成对本公开的不当限定。

- 15 图 1 是根据一示例性实施例示出的一种信号处理的方法的应用环境图；
- 图 2 是根据一示例性实施例示出的一种信号处理的方法的流程图；
- 图 3 是根据一示例性实施例示出的 PAM4 信号经过光纤传输所产生的 MPI 噪声谱示意图；
- 图 4 是根据另一示例性实施例示出的 PAM4 信号经过光纤传输所产生的
20 MPI 噪声谱示意图；
- 图 5 是根据另一示例性实施例示出的 PAM4 信号经过光纤传输所产生的 MPI 噪声谱示意图；
- 图 6 是根据另一示例性实施例示出的一种信号处理的方法的流程图；
- 图 7 是根据另一示例性实施例示出的一种信号处理的方法的流程图；
- 25 图 8 是根据另一示例性实施例示出的一种信号处理的方法的流程图；
- 图 9 是根据另一示例性实施例示出的一种信号处理的方法的流程图；
- 图 10 是根据另一示例性实施例示出的一种信号处理的方法的流程图；
- 图 11 是根据另一示例性实施例示出的一种信号处理的方法的流程图；

图 12 是根据一示例性实施例示出的 8B10B 编码后的 PAM4 信号的功率谱示意图；

图 13 是根据另一示例性实施例示出的双二进制信号的功率谱示意图；

图 14 是根据一示例性实施例示出的 25Gbaud PAM4 光信号传输的误码率曲线示意图；

图 15 是根据另一示例性实施例示出的 25Gbaud PAM4 光传输系统在不同 MPI 下的光功率代价示意图；

图 16 是根据一示例性实施例示出的一种信号处理的装置的示意框图；

图 17 是根据一示例性实施例示出的一种电子设备的示意框图。

10 具体实施方式

为了使本领域普通人员更好地理解本公开的技术方案，下面将结合附图，对本公开实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。

需要说明的是，本公开的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换，以便这里描述的本公开的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。以下示例性实施例中所述的实施方式并不代表与本公开相一致的所有实施方式。相反，它们仅是与如所附权利要求书中所详述的、本公开的一些方面相一致的装置和方法的例子。

20 还需要说明的是，本公开所涉及的用户信息（包括但不限于用户设备信息、用户个人信息等）和数据（包括但不限于用于展示的数据、分析的数据等），均为经用户授权或者经过各方充分授权的信息和数据。

为了方便本领域技术人员理解本公开实施例提供的技术方案，下面先对技术方案实现的技术环境进行说明。

25 针对 MPI 噪声对高阶调制信号的影响，相关技术中采用滤波的方法进行降噪。然而，在 MPI 噪声较大或高阶调制信号有较大啁啾时，并不能有效的滤除 MPI 噪声。对于直调激光器（Directly Modulated Laser, DML）产生的高阶调制信号，信号本身存在较大啁啾，导致 MPI 噪声扩展到高频，因此，滤波方式

对减少 MPI 噪声基本无效。另外，在接收端，高阶调制信号经过滤波后会产生直流漂移，对调制信号的恢复产生不利影响。

基于类似于上文所述的实际技术需求，本公开实施例提出了信号处理的方法、装置及系统。

5 本公开所提供的信号处理的方法，可以应用于如图 1 所示的应用环境中。

其中，发送端 110 通过光纤与接收端 120 进行通信。其中，发送端 110 可以是但不限于各种编码器、调制激光器，所述调制激光器包括但不限于 EML (Electroabsorption-Modulated Laser, 电吸收调制激光)、DML (Directly Modulated Laser, 直调激光器)、MZM (Mach-Zehnder Modulator, 光电调制器)。
10 接收端 120 可以是但不限于各种光电二极管、跨阻放大器、高通滤波器和解码器等。信号源发送的信号 S 经过直流平衡编码以及调制处理，通过调制激光器将光信号发送出去。光信号在光纤传输过程中，由于发射端、接收端和光纤链路中的反射，会产生 MPI 噪声，带有 MPI 噪声的光信号被接收端光电二极管接收，其中光电二极管用于将光信号转换成电信号，并经过跨阻放大器 (TIA, transimpedance amplifier) 放大，再经过高通滤波器可以把低频的 MPI 噪声滤除，
15 减小 MPI 噪声对信号恢复的影响，最后得到处理后的信号 S' (恢复信号)。

图 2 是根据一示例性实施例示出的一种信号处理的方法的流程图，如图 2 所示，所述方法用于发送端中，包括以下步骤。

在步骤 S201 中，对信号源发出的信号进行直流平衡编码，得到编码信号。

20 本公开实施例中，所述信号源发出的信号作为待传输的数据，其格式包括但不限于二进制、八进制、以及十六进制。对所述信号进行直流平衡编码，其中所述直流平衡编码的编码方式包括但不限于 8B10B 编码、MB810 编码、5S/6S 编码、27S/32S 编码。

在步骤 S203 中，对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号。

25 本公开实施例中，对编码信号进行调制处理，其中，调制的方式包括但不限于脉冲幅度调制 PAM-N (N 表示调制阶数)，双二进制调制、不归零二进制调制 (NRZ, Non-Return-to-Zero)，部分响应调制，以及 PAM-N 和部分响应调制的组合。PAM 信号码元可以有多个电平，例如 PAM4 有四个电平，PAM8 有

八个电平，PAM16有十六个电平。相对于PAM4信号，双二进制编码在同等带宽下，可以实现相同比特率的传输，其中，双二进制编码的传输电平有三个。

在步骤S205中，发送所述调制信号至接收端，以指示所述接收端对接收到的调制信号进行高通滤波处理，得到频率高于预设值的调制信号，对所述频率
5 高于预设值的调制信号进行解调和解码处理，得到处理后的信号。

本公开实施例中，可以通过光纤通信的方式将所述调制信号发送至接收端。调制信号在传输的过程中容易受到MPI噪声的影响。所述接收到的调制信号包括发送端发送的调制信号以及MPI噪声信号。在接收端，可以通过光电二极管将接收到的调制信号转换成电信号，经过跨阻放大器将所述电信号放大，通过
10 高通滤波器对放大后的电信号进行滤波处理，滤除掉低频的MPI噪声，再对滤波后的信号进行与编码端相对应的解调方式、解码方式进行处理，得到处理后的信号。例如编码端使用8B10B编码，解码端则使用8B10B解码；编码端使用PAM4调制，解码端则使用PAM4解调。本公开实施例中，所述高通滤波器可以包括任何类型的高通滤波器，例如一阶RC高通滤波器或者四阶贝塞尔高通滤波
15 器等。本公开对此不做限制。

本公开实施例，对信号源发出的信号进行直流平衡编码，得到编码信号。通过直流平衡编码可以使得信号中高电平的数量和低电平的数量保持相等，再用编码信号进行光调制后，可以使得调制信号在零频率附近的低频段能量很低（功率谱在低频段（<100MHz）以下的能量很少）。参考图3至图5所示，发
20 射端采用25Gbaud PAM4信号对EML调制所产生的光信号在光纤中传输过程中，由于链路反射而产生MPI噪声，图3对应有效MPI为-36dB下的MPI噪声功率谱，图4对应有效MPI为-33dB下的MPI噪声功率谱，图5对应有效MPI为-30dB下的MPI噪声功率谱。可以看出，MPI噪声功率谱分布在0-25GHz内，但是主要能量分布在低频段。因此，本公开实施例在接收端通过对接收到的调
25 制信号进行高通滤波处理，得到频率高于预设值的调制信号，从而可以滤除大部分的MPI噪声。因此，本公开实施例，发送端采用直流平衡编码，接收端采用高通滤波技术，可以有效的减少MPI噪声对传输性能的影响，提升对MPI噪声的容忍度。此外，由于直流平衡编码没有零频率分量，经过高通滤波后不会

产生直流漂移，因此高通滤波不会影响调制信号的恢复。

在一种可能的实现方式中，所述调制处理包括脉冲幅度调制处理，步骤 S201，对信号源发出的信号进行直流平衡编码，得到编码信号，包括：

根据脉冲幅度调制的调制阶数，确定对信号源发出的信号进行解复用的个数；

将所述信号解复用为所述个数的子信号；

分别对所述个数的子信号进行直流平衡编码，得到所述个数的子编码信号；

步骤 S203，对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号，包括：

根据所述个数的子编码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号。

本公开实施例中，所述脉冲幅度调制可以包括 PAM-N 其中 N 表示调制阶数，例如比如 PAM4、PAM8、PAM16 或者更高阶的 PAM 编码。根据脉冲幅度调制的调制阶数，例如 N，在一个示例中，确定对信号源发出的信号进行解复用的个数为 $\log_2 N$ 。将所述信号解复用为所述个数的子信号，例如，当 N 为 4 时，将所述信号拆分为两路信号；当 N 为 8 时，将所述信号拆分为三路信号；当 N 为 16 时，将所述信号拆分为四路信号。具体的解复用方式可以包括对信号源发出的信号对应的码流，依次分配至与调制阶数相对应的个数的子信号，得到对应个数的子编码信号。在一个示例中，参考图 6 所示，以 PAM4 为例，由于 PAM4 的调制阶数为 4，则解复用的个数为 2。信号源发出的信号对应二进制码流为 0101111000100110，将该码流依次分配至上下两个子信号码流中，例如将第一个数字 0 分配至第一子信号 601，将第二个数字 1 分配至第二子信号 602，将第三个数字 0 分配至第一子信号 601，将第四个数字 1 分配至第二子信号 602，以此类推，恰好是二进制码流的奇数位的数字构成了第一子信号 601，具体为 00110101，二进制码流偶数位的数字（前述二进制码流中有下划线的数字）构成了第二子信号 602，具体为 11100010。

在一个示例中，参考图 7 所述，以 PAM8 为例，由于 PAM8 的调制阶数为 8，则解复用的个数为 3。信号源发出的信号 S 为 001011001111100011011101，将该码流依次分配至第一子信号 701、第二子信号 702 和第三子信号 703 中。具体的，将信号 S 的第一个数字 0 分配至第一子信号 701 中，作为第一子信号 701 的第

一个数字；将信号 S 的第二个数字 1 分配至第二子信号 702 中，作为第二子信号 702 的第一个数字；将信号 S 的第三个数字 1 分配至第三子信号 703 中，作为第三子信号 703 的第一个数字；将信号 S 的第四个数字 0 分配至第一子信号 701 中，作为第一子信号 701 的第二个数字；将信号 S 的第五个数字 1 分配至第二子信号 702 中，作为第二子信号 702 的第二个数字；将信号 S 的第六个数字 1 分配至第三子信号 703 中，作为第三子信号 703 的第三个数字，以此类推，分别得到第一子信号 701，具体为 00011001；第二子信号 702，具体为 01010110；第三子信号 703，具体为 11110111。类似的，如果是 PAM16，可以将信号源发出的信号解复用为四路，具体解复用方式与上述相同，在这里不再赘述。

10 分别对所述个数的子信号进行直流平衡编码，得到所述个数的子编码信号。直流平衡编码以 8B10B 为例，在一个示例中，参考图 6 所述，第一子信号 601 经过 8B10B 编码，变为第一子编码信号 603，具体为：0011011010。第二子信号 602 经过 8B10B 编码，变为第二子编码信号 604，具体为：1110000101。根据所述个数的子编码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号。在一个示例中，
15 参考图 6 所示，可以将第一子编码信号 603 作为 PAM4 的最高有效位（MSB，Most significant bit），将第二子编码信号 604 作为 PAM4 的最低有效位（LSB，Least significant bit）。在另一个示例中，也可以将第一子编码信号 603 作为 PAM4 的最低有效位，将第二子编码信号 604 作为 PAM4 的最高有效位。参考图 6 所示，以第一子编码信号 603 作为 PAM4 的最高有效位为例，根据 PAM4 对应的编码规则：二进制 00 编码为 PAM4 的码元 0，二进制 01 编码为 PAM4 的码元 1，二进制 10 编码为 PAM4 的码元 2，二进制 11 编码为 PAM4 的码元 3。第一子编码信号 603 的第一个数字 0 作为 PAM4 的第一个码元的最高有效位，第二子编码信号 604 的第一个数字 1 作为 PAM 的第一个码元的最低有效位，则 PAM4 的第一个码元为 01，根据 PAM4 的编码规则，01 对应码元 1，则 PAM4 的第一个码元为 1。
20 第一子编码信号 603 的第二个数字 0 作为 PAM4 的第二个码元的最高有效位，第二子编码信号 604 的第二个数字 1 作为 PAM4 的第二个码元的最低有效位，根据 PAM4 的编码规则，01 对应码元 1，则 PAM4 的第二个码元为 1。以此类推，得到 PAM4 调制信号 605，具体为 1132022121。下面，对 PAM4 调

制信号 605 的直流平衡性质进行说明。

PAM4 的各个码元会用不同的电平来表示,例如 PAM4 的码元 0 用-3V 表示, PAM4 的码元 1 用-1V 表示,码元 2 用 1V 表示,码元 3 用 3V 表示。对于 PAM4 调制信号 605,具体为 1132022121,其中,高电平(如:1V、3V)与低电平(如:
5 -1V、-3V)的数量是对等的,因此具有直流平衡性。

分别对所述个数的子信号进行直流平衡编码,得到所述个数的子编码信号。直流平衡编码以 8B10B 为例,在一个示例中,参考图 7 所述,第一子信号 701 经过 8B10B 编码,得到第一子编码信号 704,具体为 1100110010;第二子信号 702 经过 8B10B 编码,得到第二子编码信号 705,具体为 0101011100;第三子
10 信号 703 经过 8B10B 编码,得到第三子编码信号 706,具体为 0101110001。分别选用第一子编码信号 704 的第一个数字 1、第二子编码信号 702 的第一个数字 0、第三子编码信号 703 的第一个数字 0,组成 100,根据 PAM8 的编码规则,100 对应码元 4,则 4 作为 PAM8 的第一个码元,以此类推,得到 PAM8 的调制信号 707,具体为 4703572241。

15 上面讨论了如何把二进制码流编码成为直流平衡的 PAM 码流,在接收端,就需要根据前述编码过程,做逆变换,恢复二进制码流。以采用 8B10B 编码的 PAM4 为例,参考图 8 所示,在接收端接收到滤波处理以后的 PAM4 调制信号后,通过 PAM4 解码,得到第一子编码信号 603 和第二子编码信号 604。对第一子编码信号 603 进行 8B10B 解码,得到第一子信号 601,对第二子编
20 号 604 进行 8B10B 解码,得到第二子信号 602,将第一子信号 601 和第二子信号 602 按照与编码时相对应的复用方式,将两子信号复用在一起,得到处理后的信号 S' 。

本公开实施例,普通的二进制码流通过 8B10B 编码、MB810 编码或者其他直流平衡编码后,可以实现直流平衡。但是如果最终的线路编码为 PAM 编码(比
25 如 PAM4、PAM8、PAM16 或者更高阶的 PAM 编码),由于 PAM 的编码规则,直流平衡的二进制码流经过 PAM 编码会部分甚至全部失去直流平衡的特性。以图 6 中原始码流 0101111000100110 为例,若不经解复用步骤,直接进行直流平衡编码(8B10B)得到 01011011001101010011,再做 PAM4 编码得到 1123031103,

这样得到的 PAM4 信号中高电平与低电平的数量不对等，因此，直流平衡的二进制码流经过 PAM 编码会部分甚至全部失去直流平衡的特性。

因此，本公开实施例，针对脉冲幅度调制处理，本公开实施例根据脉冲幅度调制的调制阶数，确定解复用子信号的个数，再分别对所述个数的子信号进行直流平衡编码，得到所述个数的子编码信号，根据所述个数的子编码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号，能够保证最终得到的调制信号具有直流平衡的性质。后续接收端采用高通滤波技术，可以有效的减少 MPI 噪声对传输性能的影响，提升对 MPI 噪声的容忍度。

图 8 是根据一示例性实施例示出的一种信号处理方法的流程图，参考图 8 所示，根据所述个数的子编码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号，包括：

将所述个数的子编码信号按照格雷码转换规则转换为格雷码信号；

根据所述格雷码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号。

本公开实施例中，所述格雷码也称为循环二进制码或反射二进制码。以 PAM4 和 8B10B 编码为例，将信号源发送的信号 S 对应的码流，具体为 010111100100110，可以按照上述实施例中公开的方法，将所述码流解复用为第一子信号 601，具体为 00110101，和第二子信号 602，具体为 11100010。对所述第一子信号 601 和第二子信号 602 分别进行 8B10B 编码，得到第一子编码信号 603，具体为 0011011010，和第二子编码信号 604，具体为 1110000101。根据格雷码转换规则，根据第一子编码信号 603 的比特位为 0 或 1，对第二子编码信号 604 的比特位做翻转，即如果第一子编码信号 603 的比特位为 1，则对第二子编码信号 604 的比特位做翻转；如果第一子编码信号 603 的比特位为 0，则对第二子编码信号 604 的比特位不做翻转。这个过程可以对第一子编码信号 603 和第二子编码信号 604 进行异或逻辑实现，参考图 8 所示， $\oplus$ 即表示异或逻辑（即 $0 \oplus 0 = 0, 0 \oplus 1 = 1, 1 \oplus 0 = 1, 1 \oplus 1 = 0$ ）。通过对第一子编码信号和第二子编码信号进行格雷码转换，得到格雷码信号 801。进一步的，对格雷码信号进行 PAM4 的编码，得到调制信号 802。具体来讲，如果第一子编码(MSB)为 0，第二子编码(LSB)为 0，经过格雷码转换所产生的 PAM4 编码为 0；如果第一子编码为 0，第二子编码为 1，经过格雷码转换所产生的 PAM4 编码为 1；如果第一

子编码为 1，第二子编码为 1，经过格雷码转换所产生的 PAM4 编码为 2，如果第一子编码为 1，第二子编码为 0，经过格雷码转换所产生的 PAM4 编码为 3。

参考图 9 所示，接收端恢复 PAM4 码流后，通过 PAM4 解码变成 MSB 码流 901 和 LSB 码流 902 两路二进制码流，然后 LSB 码流 902 和 MSB 码流 901 异或后形成新的 LSB 码流 903。MSB 码流 901 和新的 LSB 码流 903 分别做 8B10B 解码后，复用成为一路二进制码流，此即为原始的二进制码流 S。

本公开实施例中，对于编码信号按照格雷码转换规则转换为格雷码信号。以 PAM4 编码为例，普通的 PAM4 编码规则为：二进制 00 编码为 PAM 的码元 0，二进制 01 编码为 PAM 的码元 1，二进制 10 编码为 PAM 的码元 2，二进制 11 编码为 PAM 的码元 3；而对于采用格雷码的 PAM4，其编码规则为：二进制 00 编码为 PAM 的码元 0，二进制 01 编码为 PAM 的码元 1，二进制 11 编码为 PAM 的码元 2，二进制 10 编码为 PAM 的码元 3。采用格雷码的 PAM4 调制，相邻的两个 PAM4 码元所代表的二进制码只有一个比特位不同，而码元误判所产生的错误码元往往是相邻的码元，每个码元错误所导致的两个比特的错误率很低，所以比特误码率比普通 PAM4 调制低。

在一种可能的实现方式中，所述调制信号包括双二进制调制信号，步骤 S203，对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号，包括：

对所述编码信号进行双二进制调制处理，得到双二进制调制信号。

本公开实施例中，对编码信号进行双二进制调制处理，得到双二进制调制信号。所述双二进制调制信号即双二进制码。所述双二进制码为按照一定的规则将原来的二进制中逻辑信号“1”或“0”转换为逻辑信号“+1”、“-1”和“0”，使信号的频谱带宽减为原来的一半。采用双二进制调制可以减少信号占有的带宽，改进频率的利用率，增大光信号在光纤中的传输距离。

本公开实施例中，对编码信号进行双二进制调制处理，相对于 PAM4 调制信号，双二进制传输有更好的 MPI 容忍度。在发送端，对信源发送的信号进行直流平衡编码，经过双二进制调制，在接收端采用高通滤波处理，可以更好的减小 MPI 噪声干扰。

图 10 是根据一示例性实施例示出的一种信号处理的方法的流程图，参考图

10 所示，

所述调制信号包括双二进制调制信号，步骤 S203，对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号，包括：

从所述编码信号中获取延迟预设比特位的编码信号；

5 对所述编码信号和所述延迟预设比特位的编码信号进行异或处理，得到预编码信号；

对所述预编码信号进行预编码处理和双二进制调制处理，得到双二进制调制信号。

本公开实施例中，在双二进制调制处理前，参考图 10 中的预编码和双二进制
10 制编码 1002，所述对所述预编码信号进行预编码处理和双二进制调制处理，得到双二进制调制信号。其中，预编码处理包括将预编码信号延迟预设比特位，得到延迟预编码信号；将延迟预编码信号与所述预编码信号进行异或处理。通过上述预编码处理，使得接收端判决更简单，而且可以降低双二进制传输中误码率。然而，预编码处理会破坏编码信号的直流平衡特性，因此，参考图 10 中
15 异或处理 1001，本公开实施例从所述编码信号中获取延迟预设比特位的编码信号，对所述编码信号和所述延迟预设比特位的编码信号进行异或处理，得到预编码信号。通过上述异或处理，本公开实施例可以使得最终的双二进制调制信号具备直流平衡性质。图 10 中， $\oplus$ 代表异或逻辑， z^{-1} 表示延迟一个比特， Σ 表示代数求和。

20 参考图 11 所示，在接收端，对高通滤波后的双二进制调制信号进行双二进制解码，并对得到的二进制码流做异或处理 1101，得到 8B10B 编码的二进制码流，最后对 8B10B 编码的二进制码流解码，得到原始的二进制码流。在一个示例中，所述双二进制解码的解码方法可以包括：若接收到的双二进制 ± 1 码元，则判决为比特 0；若双二进制 0 码元则判决为比特 1，通过上述方式恢复原始的
25 二进制码流，可以不需要预解码。

通过本公开实施例，提供了一种直流平衡的双二进制编码方式，并且该方式可以减少双二进制编码误码率，在接收端对双二进制码流做高通滤波处理，得到处理后的信号。提高了双二进制码流对 MPI 噪声的容忍度。

在一种可能的实现方式中，所述直流平衡编码包括下述中的至少一种：
8B10B 编码、MB810 编码、5S/6S 编码、27S/32S 编码。

参考图 12 所示，曲线 1203 表示 50Gbaud/s 的 NRZ 信号的功率谱密度，曲线 1201 表示 25Gbaud/s 的 PAM4 信号的功率谱密度，曲线 1202 表示 25Gbaud/s 的 8B10B+PAM4 信号的功率谱密度。三种信号的比特率都是 50Gb/s，但是 25Gbaud/s 的 PAM4 信号和 25Gbaud/s 的 8B10B+PAM4 信号的功率谱密度只有 50Gbaud/s 的 NRZ 信号带宽的一半。而 25Gbaud/s 的 8B10B+PAM4 信号没有零频率分量，因此是直流平衡信号。

参考图 13 所示，曲线 1303 表示 50Gbaud/s 的 NRZ 信号的功率谱密度，曲线 1301 表示 25Gbaud/s 双二进制信号的功率谱密度，曲线 1302 表示 25Gbaud/s 的双二进制编码+8B10B 信号的功率谱密度。这三种信号的比特率都是 50Gb/s，25Gbaud /s 双二进制信号和 25Gbaud/s 的双二进制编码+8B10B 信号只有 50Gbaud 的 NRZ 信号的一半。25Gbaud/s 的双二进制编码+8B10B 信号没有零频率分量，因此是直流平衡信号。

参考图 14 所示，图 14 给出了 25Gbuad PAM4 光传输的误码率随接收光功率的变化曲线。其中 MPI=0，表示光纤链路中没有 MPI 的误码率，MPI=-28dB 是光纤链路中存在-28dB 的等效 MPI 的误码率。可以看到，MPI=-28dB 对误码率影响很大，相对没有 MPI 的误码率差了几个数量级。MPI=-28，7.5MHz HPF 是传统 PAM4 信号通过光纤传输后，接收端采用高通滤波后的误码率，高通滤波器可以部分滤除 MPI 噪声，但是对传统的 MPI 信号也会造成一定的信号畸变（如基线漂移，baseline wander），所以高通滤波器的截止频率需要优化才能达到最小的误码率。图中 MPI=-28，7.5MHz HPF 就是高通滤波器截止频率（7.5MHz）优化后的误码率，相比没有滤波器的误码率（黑色圆点），性能有少许改善。图中 MPI=-28，8B10B&31MHz HPF 是等效 MPI=-28dB 下，8B10B 编码的 PAM4 信号通过光纤传输后的误码率，由于接收端采用了高通滤波器（截止频率优化后为 31MHz），可以最大限度地滤除 MPI 噪声，而对 PAM4 信号影响很小，因此误码率相对于没有滤波的误码率有了几个数量级地改善。

参考图 15 所示，是在不同有效 MPI 下，25Gbaud/s PAM4 光传输相对于没

有 MPI 光传输的光功率代价。圆点 PAM4 是传统地 PAM4 传输在不同 MPI 下的光功率代价，如果把光功率代价限定为 ≤ 1 dB，那么 25Gbaud/s PAM4 光传输对 MPI 的容忍度约为-32 dB。方点是 PAM4&HPF 为 25Gbaud/s PAM4 通过光纤传输并在接收端高通滤波后的光功率代价；接收端采用截止频率为 7.5MHz 的高通滤波，这时传输系统对 MPI 的容忍度大约为-31 dB,相比接收端没有高通滤波器的情况，MPI 容忍度提高了 1 dB。图中三角形是 PAM4&8B10BEncoding+HPF 是发射端采用 8B10B PAM4 编码，而接收端采用截止频率为 31MHz 高通滤波器时的光功率代价，该系统对 MPI 的容忍度约为-27 dB，相比没有 8B10B 编码，没有接收端高通滤波的情况（如圆点所示），MPI 容忍度提高了 5 dB。由此可见，通过发射端的直流平衡编码(如 8B10B 或者 MB810)和接收端的高通滤波，可以有效地提升光通信系统对 MPI 的容忍度。

应该理解的是，虽然流程图中的各个步骤按照箭头的指示依次显示，但是这些步骤并不是必然按照箭头指示的顺序依次执行。除非本文中有明确的说明，这些步骤的执行并没有严格的顺序限制，这些步骤可以以其它的顺序执行。而且，图中的至少一部分步骤可以包括多个步骤或者多个阶段，这些步骤或者阶段并不必然是在同一时刻执行完成，而是可以在不同的时刻执行，这些步骤或者阶段的执行顺序也不必然是依次进行，而是可以与其它步骤或者其它步骤中的步骤或者阶段的至少一部分轮流或者交替地执行。

可以理解的是，本说明书中上述方法的各个实施例之间相同/相似的部分可互相参见，每个实施例重点说明的是与其他实施例的不同之处，相关之处参见其他方法实施例的说明即可。

图 16 是根据一示例性实施例示出的一种信号处理的装置的示意框图。参照图 16，该装置 1600 包括：

编码模块 1601，用于对信号源发出的信号进行直流平衡编码，得到编码信号；

调制模块 1603，用于对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号；

处理模块 1605，用于发送所述调制信号至接收端，以指示所述接收端对接收到的调制信号进行高通滤波处理，得到频率高于预设值的调制信号，对所述

频率高于预设值的调制信号进行解调和解码处理，得到处理后的信号。

在一种可能的实现方式中，所述调制处理包括脉冲幅度调制处理，所述编码模块包括：

确定子模块，用于根据脉冲幅度调制的调制阶数，确定对信号源发出的信号进行解复用的个数；

解复用子模块，用于将所述信号解复用为所述个数的子信号；

编码子模块，用于分别对所述个数的子信号进行直流平衡编码，得到所述个数的子编码信号；

所述调制模块，包括：

第一调制子模块，用于根据所述个数的子编码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号。

在一种可能的实现方式中，所述第一调制子模块包括：

转换单元，用于将所述个数的子编码信号按照格雷码转换规则转换为格雷码信号；

调制单元，用于根据所述格雷码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号。

在一种可能的实现方式中，所述调制信号包括双二进制调制信号，所述调制模块包括：

第二调制子模块，用于对所述编码信号进行双二进制调制处理，得到双二进制调制信号。

在一种可能的实现方式中，所述调制信号包括双二进制调制信号，所述调制模块包括：

获取子模块，用于从所述编码信号中获取延迟预设比特位的编码信号；

处理子模块，用于对所述编码信号和所述延迟预设比特位的编码信号进行异或处理，得到预编码信号；

第三调制子模块，用于对所述预编码信号进行预编码处理和双二进制调制处理，得到双二进制调制信号。

在一种可能的实现方式中，所述直流平衡编码包括下述中的至少一种：

8B10B 编码、MB810 编码、5S/6S 编码、27S/32S 编码。

根据本公开实施例的第三方面，提供一种信号处理的系统，包括发送端和接收端，其中，所述发送端包括：

编码器，用于对信号源发出的信号进行直流平衡编码，得到编码信号；

调制器，用于对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号；

5 调制激光器，用于发送所述调制信号至接收端；

所述接收端包括：

光电接收器，用于接收调制信号；

高通滤波器，用于对接收到的调制信号进行高通滤波处理，得到频率高于预设值的调制信号；

10 解码器，用于对所述频率高于预设值的调制信号进行解调和解码处理，得到处理后的信号。

关于上述实施例中的装置，其中各个模块执行操作的具体方式已经在有关该方法的实施例中进行了详细描述，此处将不做详细阐述说明。

图 17 是根据一示例性实施例示出的一种用于信号处理的电子设备 1700 的框图。例如，电子设备 1700 可以为服务器。参照图 17，电子设备 1700 包括处理组件 1720，其进一步包括一个或多个处理器，以及由存储器 1722 所代表的存储器资源，用于存储可由处理组件 1720 的执行的指令，例如应用程序。存储器 1722 中存储的应用程序可以包括一个或一个以上的每一个对应于一组指令的模块。此外，处理组件 1720 被配置为执行指令，以执行上述方法。

20 电子设备 1700 还可以包括：电源组件 1724 被配置为执行电子设备 1700 的电源管理，有线或无线网络接口 1726 被配置为将电子设备 1700 连接到网络，和输入输出（I/O）接口 1728。电子设备 1700 可以操作基于存储在存储器 1722 的操作系统，例如 Windows Server，Mac OS X，Unix，Linux，FreeBSD 或类似。

在示例性实施例中，还提供了一种包括指令的计算机可读存储介质，例如包括指令的存储器 1722，上述指令可由电子设备 1700 的处理器执行以完成上述方法。存储介质可以是计算机可读存储介质，例如，所述计算机可读存储介质可以是 ROM、随机存取存储器（RAM）、CD-ROM、磁带、软盘和光数据存储设备等。

在示例性实施例中，还提供一种计算机程序产品，所述计算机程序产品中包括指令，上述指令可由电子设备 1700 的处理器执行以完成上述方法。

需要说明的，上述的装置、电子设备、计算机可读存储介质、计算机程序产品等根据方法实施例的描述还可以包括其他的实施方式，具体的实现方式可以参照相关方法实施例的描述，在此不作一一赘述。

本领域技术人员在考虑说明书及实践这里公开的发明后，将容易想到本公开的其它实施方案。本公开旨在涵盖本公开的任何变型、用途或者适应性变化，这些变型、用途或者适应性变化遵循本公开的一般性原理并包括本公开未公开的本技术领域中的公知常识或惯用技术手段。说明书和实施例仅被视为示例性的，本公开的真正范围和精神由权利要求指出。

应当理解的是，本公开并不局限于上面已经描述并在附图中示出的精确结构，并且可以在不脱离其范围进行各种修改和改变。本公开的范围仅由所附的权利要求来限制。

20
权 利 要 求 书

- 1.一种信号处理的方法，其特征在于，应用于发送端，所述方法包括：
- 对信号源发出的信号进行直流平衡编码，得到编码信号；
- 对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号；
- 发送所述调制信号至接收端，以指示所述接收端对接收到的调制信号进行
- 5 高通滤波处理，得到频率高于预设值的调制信号，并对所述频率高于预设值的调制信号进行解调和解码处理，得到处理后的信号。
- 2.根据权利要求 1 所述的方法，所述调制处理包括脉冲幅度调制处理，所述对信号源发出的信号进行直流平衡编码，得到编码信号，包括：
- 根据脉冲幅度调制的调制阶数，确定对信号源发出的信号进行解复用的个
- 10 数；
- 将所述信号解复用为所述个数的子信号；
- 分别对所述个数的子信号进行直流平衡编码，得到所述个数的子编码信号；
- 所述对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号，包括：
- 根据所述个数的子编码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号。
- 15 3.根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述根据所述个数的子编码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号，包括：
- 将所述个数的子编码信号按照格雷码转换规则转换为格雷码信号；
- 根据所述格雷码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号。
- 4.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述调制信号包括双二进制调
- 20 制信号，所述对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号，包括：
- 对所述编码信号进行双二进制调制处理，得到双二进制调制信号。
- 5.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述调制信号包括双二进制调制信号，所述对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号，包括：
- 从所述编码信号中获取延迟预设比特位的编码信号；
- 25 对所述编码信号和所述延迟预设比特位的编码信号进行异或处理，得到预编码信号；

对所述预编码信号进行预编码处理和双二进制调制处理，得到双二进制调制信号。

6.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述直流平衡编码包括下述中的至少一种：

5 8B10B 编码、MB810 编码、5S/6S 编码、27S/32S 编码。

7.一种信号处理装置，其特征在于，包括：

编码模块，用于对信号源发出的信号进行直流平衡编码，得到编码信号；

调制模块，用于对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号；

10 处理模块，用于发送所述调制信号至接收端，以指示所述接收端对接收到的调制信号进行高通滤波处理，得到频率高于预设值的调制信号，对所述频率高于预设值的调制信号进行解调和解码处理，得到处理后的信号。

8.根据权利要求 7 所述的装置，其特征在于，所述调制处理包括脉冲幅度调制处理，所述编码模块包括：

15 确定子模块，用于根据脉冲幅度调制的调制阶数，确定对信号源发出的信号进行解复用的个数；

解复用子模块，用于将所述信号解复用为所述个数的子信号；

编码子模块，用于分别对所述个数的子信号进行直流平衡编码，得到所述个数的子编码信号；

所述调制模块，包括：

20 第一调制子模块，用于根据所述个数的子编码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号。

9.根据权利要求 8 所述的装置，其特征在于，所述第一调制子模块包括：

转换单元，用于将所述个数的子编码信号按照格雷码转换规则转换为格雷码信号；

25 调制单元，用于根据所述格雷码信号进行脉冲幅度调制，得到调制信号。

10.根据权利要求 7 所述的装置，其特征在于，所述调制信号包括双二进制

调制信号，所述调制模块包括：

第二调制子模块，用于对所述编码信号进行双二进制调制处理，得到双二进制调制信号。

11.根据权利要求 7 所述的装置，其特征在于，所述调制信号包括双二进制调制信号，所述调制模块包括：

获取子模块，用于从所述编码信号中获取延迟预设比特位的编码信号；

处理子模块，用于对所述编码信号和所述延迟预设比特位的编码信号进行异或处理，得到预编码信号；

10 第三调制子模块，用于对所述预编码信号进行预编码处理和双二进制调制处理，得到双二进制调制信号。

12.根据权利要求 7 所述的装置，其特征在于，所述直流平衡编码包括下述中的至少一种：

8B10B 编码、MB810 编码、5S/6S 编码、27S/32S 编码。

13.一种信号处理的系统，其特征在于，包括发送端和接收端，其中，所述发送端包括：

编码器，用于对信号源发出的信号进行直流平衡编码，得到编码信号；

调制器，用于对所述编码信号进行调制处理，得到调制信号；

调制激光器，用于发送所述调制信号至接收端；

所述接收端包括：

20 光电接收器，用于接收调制信号；

高通滤波器，用于对接收到的调制信号进行高通滤波处理，得到频率高于预设值的调制信号；

解码器，用于对所述频率高于预设值的调制信号进行解调和解码处理，得到处理后的信号。

25 14.一种电子设备，其特征在于，包括：

处理器；

用于存储所述处理器可执行指令的存储器；

其中，所述处理器被配置为执行所述指令，以实现如权利要求 1 所述的信号处理的方法。

15. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，当所述计算机可读存储介质中的指令由电子设备的处理器执行时，使得所述电子设备能够执行如权利要求 1 所述的信号处理的方法。

16. 一种计算机程序产品，所述计算机程序产品中包括指令，其特征在于，所述指令被电子设备的处理器执行时，使得所述电子设备能够执行如权利要求 1 所述的信号处理的方法。