(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2023 年 1 月 26 日 (26.01.2023)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2023/000128 A1

(51) 国际专利分类号:
H04B 10/556 (2013.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/107037

(22) 国际申请日: 2021 年 7 月 19 日 (19.07.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 华为技术有限公司 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。

(72) 发明人: 苏长征 (SU, Changzheng); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 赵磊 (ZHAO, Lei); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 周轶刚 (ZHOU, Yigang); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。

(74) 代理人: 广州三环专利商标代理有限公司 (SCIHEAD IP LAW FIRM); 中国广东省广州市越秀区先烈中路 80 号汇华商贸大厦 1508 室, Guangdong 510070 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,

WO 2023/000128 A1

(54) **Title:** PHOTOELECTRIC MODULE, COMMUNICATION METHOD, AND RELATED DEVICE

(54) **发明名称**: 一种光电模块、通信方法及相关设备

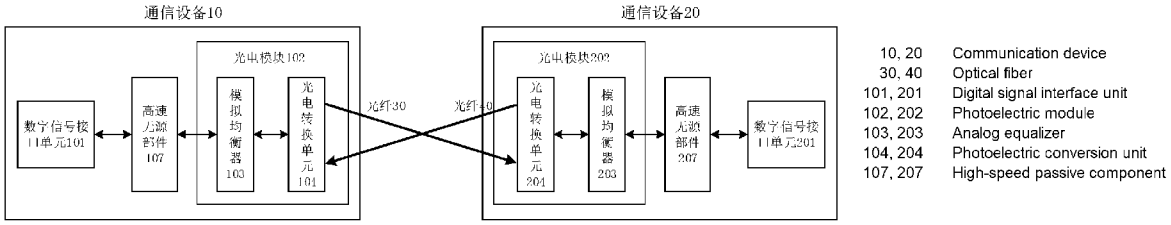


图 9

(57) **Abstract:** Disclosed in the embodiments of the present application are a photoelectric module, a communication method, and a related device. The photoelectric module comprises an analog equalizer and a photoelectric conversion unit. The analog equalizer is connected to the photoelectric conversion unit. The analog equalizer is used to perform first analog signal equalization processing on a first electrical signal so as to obtain a second electrical signal, and send the second electrical signal to the photoelectric conversion unit; or the analog equalizer is used to receive a third electrical signal from the photoelectric conversion unit, and perform second analog signal equalization processing on the third electrical signal so as to obtain a fourth electrical signal. The photoelectric conversion unit is used to receive the second electrical signal from the analog equalizer, and convert the second electrical signal into a first optical signal; or the photoelectric conversion unit is used to convert the second optical signal into the third electrical signal, and send the third electrical signal to the analog equalizer. By means of the embodiments of the present application, an electrical signal can be equalized in an analog domain, such that the signal transmission delay is reduced while the signal transmission quality is guaranteed.

(57) **摘要**: 本申请实施例公开了一种光电模块、通信方法及相关设备, 该光电模块包括模拟均衡器和光电转换单元, 模拟均衡器和光电转换单元连接; 模拟均衡器, 用于对第一电信号进行第一模拟信号均衡处理以得到第二电信号, 并发送所述第二电信号至所述光电转换单元, 或, 用于从光电转换单元接收第三电信号, 对所述第三电信号进行第二模拟信号均衡处理以得到第四电信号; 光电转换单元, 用于从模拟均衡器接收所述第二电信号并将所述第二电信号转换为第一光信号, 或, 用于将第二光信号转换为所述第三电信号并向模拟均衡器发送所述第三电信号。采用本申请实施例可以通过在模拟域对电信号进行均衡处理, 从而在保证信号传输质量的同时, 降低信号传输时延。

[见续页]

MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

一种光电模块、通信方法及相关设备

技术领域

本申请实施例涉及通信技术领域，尤其涉及一种光电模块、通信方法及相关设备。

背景技术

一个高性能计算(high performance computing，HPC)集群通常包括有多级交换机和多台服务器等。在交换机与服务器、交换机与交换机之间可以采用高速电缆或者光纤进行数据传输，以降低传输时延。

随着传输数据量的增大，单端口的数据速率越来越高，服务器接口主流已经从4×10Gbps演进到4×25Gbps。其中，端口速率越高意味着带宽越大，电信号在印刷电路板 (printed circuit board，PCB)、电缆等介质中传输的损耗系数越大。因此，为了解决电信号或者光信号在传输和光/电转换过程中带来的信号衰减和信号失真，市面上大多采用在交换机或者服务器等内部增加一个时钟与数据恢复（clock and data recovery，CDR）单元的方式，以对接收到电信号进行再生、再定时和再放大。

然而，额外增加的CDR单元虽然可以在一定程度上解决电信号在传输过程中因损耗系数大带来的问题，但是采用CDR对接收到电信号进行再生、再定时和再放大的过程中，需要将接收到的高速电信号通过串并转换为低速电信号并进行数字逻辑处理，然后再并串转换为高速电信号。其中，数字逻辑处理和串并转换等都会带来较大的时延，反而又增加了计算等待时间，降低了HPC集群整体的计算能力。因此，如何在保证信号传输质量的前提下，降低传输时延是亟待解决的问题。

发明内容

本申请实施例提供一种光电模块、通信方法及相关设备，可以在保证信号传输质量的同时，降低传输时延。

第一方面，本申请实施例提供了一种光电模块，包括模拟均衡器和光电转换单元，所述模拟均衡器和所述光电转换单元连接；所述模拟均衡器，用于对第一电信号进行第一模拟信号均衡处理以得到第二电信号，并发送所述第二电信号至所述光电转换单元，或，用于从所述光电转换单元接收第三电信号，对所述第三电信号进行第二模拟信号均衡处理以得到第四电信号；所述光电转换单元，用于从所述模拟均衡器接收所述第二电信号并将所述第二电信号转换为第一光信号，或，用于将第二光信号转换为所述第三电信号并向所述模拟均衡器发送所述第三电信号。

在本申请实施例中，光电模块内可以采用模拟均衡器替代原有的CDR。如此，可以通过模拟均衡器直接在模拟域对输入的电信号（例如第一电信号，可以为本设备向其他设备发送信号时，输入模拟均衡器的电信号；又例如第三电信号，可以为其他设备向本设备发送信号时，本设备的光电转换单元接收到并输出至模拟均衡器的电信号）进行模拟信号均衡处理，补偿该电信号在传输过程中产生的损耗，并高效、快速地输出质量更优、码间干扰更小的电信号（例如第二电信号或者第四电信号）。如此，实现在保证信号传输质量的同时，避免了上述CDR中数字逻辑处理和串并转换等复杂且耗时长的处理过程，大大降低了通信设备间的信号传输时延，进而降低了各通信设备的计算等待时间，提高了整体的计算能力。

在一种可能的实现方式中，所述光电转换单元包括：第一光电转换器，用于从所述模拟均衡器接收所述第二电信号并将所述第二电信号转换为所述第一光信号；所述模拟均衡器包括：发送均衡器，用于对所述第一电信号进行所述第一模拟信号均衡处理以得到所述第二电信号，并发送所述第二电信号至所述第一光电转换器。在本申请实施例中，在本设备向其他设备发送信号的情况下，本设备中待发送的电信号（例如第一电信号）在输入至该模拟均衡器之前的传输过程中存在传输损耗，因此，模拟均衡器接收到的电信号往往会存在一定程度的信号失真和衰减，从而导致其码间干扰大于原始输出的电信号的码间干扰。基于此，在发送方向上，本申请中的模拟均衡器可以在模拟域对接收到的电信号进行均衡处理，补偿该电信号前期传输过程中的损耗，并高效、快速地输出质量更优、码间干扰更小的电信号（例如第二电信号）至光电模块中的光电转换单元。然后，光电转换单元可以将接收到的电信号转换成相应的光信号，以便后续通过光纤将信号快速传输至其他设备，保证其他设备能够快速接收到质量更优的信号。在一些可能的实施例中，如上所述，由于模拟均衡器输出的电信号后续还要进行电光转换并传输至其他设备，因此该模拟均衡器还可以基于后续传输过程中可能产生的传输损耗对该电信号进行预均衡处理，以弥补后续传输过程中的损耗，进一步保证其他设备接收到的信号质量等，本申请实施例对此不作具体限定。

在一种可能的实现方式中，所述发送均衡器包括第一连续时间线性均衡器 CTLE、第一低频均衡器 LFEQ、第一电平失配补偿电路中的至少一种。如此，模拟均衡器在发送方向上可以对接收到的本设备待发送的信号（例如第一电信号）的高频部分和/或低频部分进行补偿，减少其高频部分和/或低频部分的码间干扰，从而较之接收到的电信号，可以得到并输出码间干扰更小的优质电信号。

在一种可能的实现方式中，所述发送均衡器包括：串联的所述第一 CTLE、所述第一 LFEQ 和所述第一电平失配补偿电路。在本申请实施例中，可以通过模拟均衡器对信号的全部频段进行补偿，得到更高质量的电信号，更加可靠地保证其他设备接收到的信号质量。

在一种可能的实现方式中，所述光电转换单元包括：第二光电转换器，用于将所述第二光信号转换为所述第三电信号并向所述模拟均衡器发送所述第三电信号；所述模拟均衡器包括：接收均衡器，用于从所述第二光电转换器接收所述第三电信号，对所述第三电信号进行所述第二模拟信号均衡处理以得到所述第四电信号。在本申请实施例中，在本设备接收其他设备发送的信号的情况下，本设备中的光电转换单元可以接收其他设备输出的光信号，并将其转换成相应的电信号（例如第三电信号）输出至模拟均衡器。相应的，该电信号在输入至该模拟均衡器之前的传输过程中存在损耗，基于此，在接收方向上，本申请中的模拟均衡器可以在模拟域对接收到的电信号进行均衡处理，补偿该电信号前期传输过程中的损耗，并高效、快速地输出质量更优、码间干扰更小的电信号（例如第四电信号），从而保证本设备最后接收到并用于进行相应计算或者分析等的电信号的质量。

在一种可能的实现方式中，所述接收均衡器包括第二 CTLE、第二 LFEQ、第二电平失配补偿电路中的至少一种。如此，模拟均衡器在接收方向上可以对接收到的其他设备待发送的信号（例如第三电信号）的高频部分和/或低频部分进行补偿，减少其高频部分和/或低频部分的码间干扰，从而较之接收到的电信号，可以得到并输出码间干扰更小的优质电信号。

在一种可能的实现方式中，所述接收均衡器包括：串联的所述第二 CTLE、所述第二 LFEQ 和所述第二电平失配补偿电路。在本申请实施例中，可以通过模拟均衡器对信号的全部频段进行补偿，得到更高质量的电信号，更加可靠地保证本设备接收到的信号质量。

第二方面，本申请实施例提供了一种通信设备，包括数字信号接口单元，以及第一方面中任意一项所述的光电模块；所述数字信号接口单元，用于从处理设备接收第一数字电信号，将所述第一数字电信号转换为所述第一电信号，并发送所述第一电信号至所述模拟均衡器，或，用于从所述模拟均衡器接收所述第四电信号，将所述第四电信号转换为第二数字电信号，并发送所述第二数字电信号至所述处理设备。

在本申请实施例中，在本设备向其他设备发送信号的情况下，本设备中的数字信号接口单元可以将处理设备（例如中央处理器（central processing unit，CPU）或者图形处理器(graphics processing unit，GPU)等等）输出的数字电信号转换为模拟电信号（例如第一电信号），并将该模拟电信号输入至模拟均衡器，以便后续可以通过该模拟均衡器直接在模拟域对该模拟电信号进行均衡处理，从而高效、快速地得到并输出码间干扰更小的高质量模拟电信号（例如第二电信号），以保证其他设备接收到的信号的质量，并且大大降低了信号传输时延。或者，在本设备接收其他设备发送的信号的情况下，模拟均衡器基于接收到的光电转换单元发送的模拟电信号（例如第三电信号），直接在模拟域对该模拟电信号进行均衡处理，高效、快速地得到并输出码间干扰更小的高质量模拟电信号（例如第四电信号）至该数字信号接口单元，然后数字信号接口单元可以将该模拟电信号转换成相应的高质量的数字电信号并输出至上述处理设备，从而保证后续处理设备可以基于接收到的数字电信号进行可靠、准确的计算或者分析等等，并且大大降低了本设备等待接收信号的时间。

在一种可能的实现方式中，所述设备还包括：高速无源部件，用于连接所述数字信号接口单元与所述模拟均衡器。在本申请实施例中，本申请的数字信号接口单元和均衡器之间还可以通过高速无源部件连接，从而为信号提供低损耗的高速传输通道，在进一步降低码间干扰，保证信号质量的同时，降低传输时延。

在一种可能的实现方式中，所述高速无源部件包括第一高速接插件、第二高速接插件和高速电缆，所述第一高速接插件与所述第二高速接插件通过所述高速电缆连接；所述第一高速接插件与所述数字信号接口单元连接，所述第二高速接插件与所述模拟均衡器连接。在本申请实施例中，若设备中的数字信号接口单元与模拟均衡器（或者说光电模块）之间的距离较远，且传输的信号速率较高，则信号在此期间传输时会产生较为严重的传输损耗以及较大的传输时延。基于此，本申请实施例中的高速无源部件可以包括两个高速接插件，以及用于连接两个高速接插件的一段高速电缆。通过两个高速接插件分别与数字信号接口单元和模拟均衡器连接，然后通过中间的高速电缆提供低损耗的高速传输通道，保证信号在设备内进行较长距离传输的情况下，降低信号传输损耗和传输时延，进而可以确保后续模拟均衡器可以快速且有效地补偿电信号的传输损耗。

在一种可能的实现方式中，所述高速无源部件包括第一高速接插件，所述第一高速接插件连接在所述数字信号接口单元与所述模拟均衡器之间；所述设备还包括：第一空芯光纤和空芯光纤连接器；所述第一空芯光纤与所述光电转换单元连接，用于发送所述第一光信号或接收所述第二光信号；所述空芯光纤连接器，用于将所述第一光信号发送至第二空芯光纤或从所述第二空芯光纤接收所述第二光信号。在本申请实施例中，本设备与其他设备之间可以通过空芯光纤（例如第二空芯光纤）连接，从而降低信号在设备之间的传输时延。另外，本设备中的高速无源部件可以仅包括一个用于连接在数字信号接口单元与模拟均衡器之间的高速接插件，如此，模拟均衡器（或者说光电模块）则位于距离数字信号接口单元较近的位置，

相应的，光电模块内的光电转换单元则位于距离设备之间的空芯光纤较远的位置，也即光电转换单元输出的光信号需要经过较长的距离才能传输至设备之间的空芯光纤，或者设备之间的空芯光纤输出的光信号需要经过较长的距离才能传输至光电转换单元。基于此，本设备还可以包括一段与光电转换单元的空芯光纤（例如第一空芯光纤），以及用于连接设备内的空芯光纤以及设备之间的空芯光纤的连接器，通过该连接器可以经由设备内外的空芯光纤进行高速的光信号传输。

第三方面，本申请实施例提供了一种有源光缆，包括至少两个第一方面中任意一项所述的光电模块，以及空芯光纤；所述至少两个光电模块通过所述空芯光纤连接。

第四方面，本申请实施例提供了一种通信系统，其特征在于，包括多个通信设备，所述多个通信设备之间通过第三方面中所述的有源光缆连接。在一种可能的实现方式中，所述多个通信设备包括至少一个上述第二方面中任一项所述的设备。

第五方面，本申请实施例提供了一种利用光电模块的通信方法，包括：通过所述光电模块内的模拟均衡器，对第一电信号进行第一模拟信号均衡处理以得到第二电信号，并发送所述第二电信号至光电转换单元，或，通过所述模拟均衡器从所述光电转换单元接收第三电信号，对所述第三电信号进行第二模拟信号均衡处理以得到第四电信号；通过所述光电模块内的所述光电转换单元，从所述模拟均衡器接收所述第二电信号并将所述第二电信号转换为第一光信号，或，通过所述光电转换单元将第二光信号转换为所述第三电信号并向所述模拟均衡器发送所述第三电信号。

第六方面，本申请实施例提供了一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现上述第五方面中所述的基于光电模块的通信方法流程。其中，该处理器可以为一个或多个处理器。

第七方面，本申请实施例提供了一种计算机程序，该计算机程序包括指令，当该计算机程序被计算机执行时，使得计算机可以执行上述第五方面中所述的基于光电模块的通信方法流程。

第八方面，本申请实施例提供一种芯片，该芯片包括处理器和通信接口，所述处理器用于从该通信接口调用并运行指令，当该处理器执行所述指令时，使得该芯片执行上述第五方面中所述的基于光电模块的通信方法流程。

第九方面，本本申请实施例提供了一种芯片系统，该芯片系统可以包括上述第一方面中任意一项所述的光电模块，用于实现上述第五方面中所述的基于光电模块的通信方法流程所涉及的功能。在一种可能的设计中，所述芯片系统还包括存储器，所述存储器，用于保存调整方法必要的程序指令和数据。该芯片系统，可以包括芯片，也可以包含芯片和其他分立器件。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案，下面将对本申请实施例或背景技术中所需要使用的附图进行说明。

图 1 是本申请实施例提供的一种高性能计算集群的架构示意图。

图 2 是本申请实施例提供的一种 HPC 数据传输链路的示意图。

图 3 是本申请实施例提供的一组空芯光纤的示意图。

图 4 是一种节点间数据链路的示意图。

图 5 是另一种节点间数据链路的示意图。

图 6 是本申请实施例提供的一种系统架构示意图。

图 7 是本申请实施例提供的一种光电模块的结构示意图。

图 8 是本申请实施例提供的一种通信系统的结构示意图。

图 9 是本申请实施例提供的另一种通信系统的结构示意图。

图 10 是本申请实施例提供的一组通信设备的内部连接结构示意图。

图 11 是本申请实施例提供的一种模拟均衡器的结构示意图。

图 12 是本申请实施例提供的一种 CTLE 的电路结构以及增益曲线调节示意图。

图 13 是本申请实施例提供的一种 LFEQ 的电路结构示意图。

图 14 是本申请实施例提供的一组单比特响应曲线图。

图 15 是本申请实施例提供的一种时域补偿范围示意图。

图 16 是本申请实施例提供的一种光电模块的结构示意图。

图 17 是本申请实施例提供的一组光电模块的结构示意图。

图 18 是本申请实施例提供的一种有源光缆的结构示意图。

图 19 是本申请实施例提供的又一种通信系统的结构示意图。

图 20 是本申请实施例提供的一组有源光缆的结构示意图。

图 21 是本申请实施例提供的另一种有源光缆的结构示意图。

图 22 是本申请实施例提供的一种利用光电模块的通信方法的流程示意图。

具体实施方式

下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例进行描述。本申请的说明书和权利要求书及所述附图中的术语“第一”、“第二”、“第三”和“第四”，以及“第一个”、“第二个”、“第三个”和“第四个”等均是用于区别不同对象，而不是用于描述特定顺序。此外，术语“包括”和“具有”以及它们任何变形，意图在于覆盖不排他的包含。例如包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备没有限定于已列出的步骤或单元，而是可选地还包括没有列出的步骤或单元，或可选地还包括对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

在本文中提及“实施例”意味着，结合实施例描述的特定特征、结构或特性可以包含在本申请的至少一个实施例中。在说明书中的各个位置出现该短语并不一定均是指相同的实施例，也不是与其它实施例互斥的独立的或备选的实施例。本领域技术人员显式地和隐式地理解的是，本文所描述的实施例可以与其它实施例相结合。

首先，对本申请中的部分用语进行解释说明，以便于本领域技术人员理解。

（1）高性能计算(high performance computing，HPC)，指通常使用多个处理器（作为单

个服务器的一部分）或者某一集群中的多台服务器（作为单个计算资源操作）及其交换网络的计算系统和环境。

请参阅图 1，图 1 是本申请实施例提供的一种高性能计算集群的架构示意图。如图 1 所示，一个大型的高性能计算集群可以包括多级交换机（例如一级交换机、二级交换机和三级交换机，每级均可以包括多个交换机）和多个服务器阵列，每个服务器阵列均可以包括多个服务器。应理解，图 1 仅为示意性举例，根据 HPC 集群规模大小可以有不同的配置。例如，较小规模的 HPC 集群可以仅使用一级交换机，中等规模的 HPC 集群可能使用两级交换机，大规模 HPC 集群可能使用三级或者更多级交换机进行数据交换。

为了降低数据（或者说信号）在不同服务器或者交换机之间传输的时延，减少计算等待时间，提高整体的计算能力，HPC 系统通常使用高性能网络互连，比如采用低时延"无限带宽"技术(infiniband，IB)交换机。其中，"无限带宽"技术是一个用于高性能计算的计算机网络通信标准，它具有极高的吞吐量和极低的延迟，用于计算机与计算机之间的数据互连。infiniband 也用作服务器与存储系统之间的直接或交换互连，以及存储系统之间的互连。在 infiniband 交换机与服务器、infiniband 交换机之间可以采用高速电缆或者光纤进行数据传输，以进一步降低传输时延。

请参阅图 2，图 2 是本申请实施例提供的一种 HPC 数据传输链路的示意图。如图 2 所示，A 节点和 E 节点可以为服务器，B 节点、C 节点和 D 节点可以为交换机。需要说明的是，由于高速率电信号在电缆中传输的损耗系数较大，因此当两个节点之间的距离超过 5 米时，通常都需要使用光纤进行传输，同时需要一个光电模块来进行光/电转换（例如图 2 中 A、B、C、D 节点内的光电模块）。在一个实际的 HPC 集群中，交换机节点间的距离通常都超过 5 米，因此大多只能使用光纤进行信号传送，而交换机与服务器之间可以综合考虑信号速率与节点间距离，可以使用光纤也可以使用电缆进行信号传送。如图 2 所示，A 节点- B 节点间链路示意为采用光纤进行信号传输，而 D 节点-E 节点间链路示意为采用电缆进行信号传输，本申请实施例对此不作具体限定。

如图 2 所示，一个信号从 A 节点发出，经过 B 节点、C 节点、D 节点，然后到达 E 节点，其中涉及的主要时延可以包括：A 节点网络处理接口单元的信号处理时延、A 节点-B 节点间的链路传输时延、B 节点数据交换单元的信号处理时延、B 节点-C 节点间的链路传输时延、C 节点数据交换单元的信号处理时延、C 节点-D 节点间的链路传输时延、D 节点数据交换单元的信号处理时延、D 节点-E 节点间的链路传输时延、E 节点网络处理接口单元的信号处理时延。

（2）插损，即插入损耗，一般为将某些器件或分支电路(滤波器、阻抗匹配器、适配器等)加进某一电路时，能量或增益的损耗。其中，光信号在两个节点之间进行传输时的插入损耗一般可以分为三部分，以图 2 中的 A 节点和 B 节点为例，光信号在 A 节点和 B 节点之间传输时的插入损耗可以包括：A 节点的光电模块与光纤连接处的插入损耗（一般可以通过适配器等器件将光电模块与光纤进行连接），光纤传输过程中光纤内部存在的插入损耗（或者说传输损耗），光纤与 B 节点的光电模块连接处的插入损耗。

（3）空芯光纤，与常规的光纤波导导光的全反射原理不同，空芯光纤的纤芯是空气，因

此带来低时延、超低非线性、低色散等好处。然而，空芯光纤起初存在插损非常大的问题，为了克服空芯光纤插损大的问题，市面上提出了多种基于反谐振原理的空芯光纤，即基于包层中谐振腔的反谐振机理将光束缚在作为核心的空气孔中。请参阅图 3，图 3 是本申请实施例提供的一组空芯光纤的示意图。如图 3 中的（a）、（b）、（c）和（d）所示，基于反谐振原理的空芯光纤主要是利用光在光纤内的管状玻璃薄膜间来回相干反射将光限制在空气芯附近并沿轴线传输。其加工制造工艺极其复杂，往往需要在加工制造过程中对空芯光纤内的管状玻璃的直径（um 级别）和薄膜厚度（nm 级别）进行精确控制。目前市面上仅能做到单根反谐振空芯光纤的长度到达数公里，其实际插损系数的典型值为 1~10dB/km，仍然远大于现有的实芯单模光纤约 0.2dB/km 的插损系数。如上所述，现有的反谐振空芯光纤仍存在长度短、插损大的缺点，导致其很难被大规模使用。

（4）时钟与数据恢复（clock and data recovery，CDR），其主要作用是让接收端的信号与发射端信号保持一致。因为电信号或者光信号传输至一定距离的时候，通常是长距离传输，其波形会出现一定程度的失真，接收端接收到的信号是一个个长短不一的脉冲信号，无法满足实际需求。在上述情况下，可以通过 CDR 进行信号的再生，再放大和再定时，等等，从而得到符合需求的信号。一般情况下，会使用到 CDR 的光电模块，多数都是一些高速率、长距离传输的光电模块。

如上所述，随着信息社会的快速发展，需要传输的数据量越来越大，单端口的数据速率越来越高，服务器接口主流已经从 4×10Gbps 演进到 4×25Gbps。其中，端口速率越高意味着带宽越大，电信号在印刷电路板 (printed circuit board，PCB)、电缆等介质中传输的损耗系数越大，因此，往往需要对本节点接收到的信号，或者本节点待发送的信号进行一系列处理，从而弥补信号在传输过程中不可避免的损耗，以保证信号的质量，确保节点可以基于接收到的信号进行可靠、准确的计算等。

综上，为了便于理解本申请实施例，进一步分析并提出本申请所具体要解决的技术问题。在现有技术中，为了解决在传输速率越来越快的情况下，产生的信号损耗严重的问题，包括多种技术方案，以下示例性的例举如下常用的方案。

请参阅图 4，图 4 是一种节点间数据链路的示意图。如图 4 所示，A 节点和 B 节点可以为 HPC 集群中通过光纤进行数据传输的两个设备。A 节点和 B 节点内均可以包括数字信号接口单元和光电模块，可选地，该数字信号接口单元和光电模块可以部署在 PCB 上。如图 4 所示，A 节点和 B 节点的光电模块均可以包括电光转换单元、光电转换单元和 CDR。

可选地，图 4 所示的 A 节点、B 节点的设备类型可以包括但不限于：服务器、交换机、存储资源池和内存资源池等。相应的，A 节点、B 节点内的数字信号接口单元可以包括但不限于：网络处理接口单元、数据交换单元、存储接口单元、内存接口单元等。如上所述，该数字信号接口单元可以用于实现对数字信号的逻辑处理，并输出或接收一路（lane）或多路的电信号，该电信号可以为高速电信号，用于在节点间传输数据。

如图 4 所示，以 A 节点向 B 节点发送信号为例，A 节点中的电光转换单元可以通过光纤与 B 节点中的光电转换单元连接，如此，A 节点的数字信号接口单元输出的电信号可以通过 A 节点的电光转换单元转换成相应的光信号，并经由光纤传输至 B 节点的光电转换单元，然后，通过 B 节点的光电转换单元将该光信号换成相应的电信号，并输入至 B 节点的数字信号

接口单元，最后，B 节点的数字信号接口单元可以对输入的电信号进行一系列逻辑计算等等。相应的，如图 4 所示，B 节点中的电光转换单元可以通过光纤与 A 节点中的光电转换单元连接，B 节点向 A 节点发送信号同理，此处不再进行赘述。

结合图 4 所示的节点结构可知，在上述损耗系数较大的情况下，以 A 节点为例，A 节点的网络处理接口单元输出的电信号由于在 PCB 等介质上传输时的损耗（或者说畸变，比如信号的幅度、频率和相位等发生改变，损耗一般可以指信号幅度的降低），使其存在一定程度的衰减和失真，从而已经很难直接驱动 A 节点的电光转换单元；相应的，A 节点的光电转换单元输出的电信号在传输过程中也会存在损耗，导致信号衰减和失真，因此 A 节点的网络处理接口单元也无法准确接收来自 A 节点的光电转换单元输出的电信号。此外，通常情况下，光信号在光纤中传输时也会存在一定程度的衰减和失真，并且光电转换单元和电光转换单元在进行光信号和电信号的互相转换的过程中也会存在一定的衰减和失真，等等。

如此，为了解决电信号或者光信号在传输以及光/电转换过程中带来的信号衰减和信号失真，如图 4 所示，可以在 A 节点和 B 节点各自的光电模块中增加一个 CDR，以对接收到电信号进行再生、再定时和再放大，然后再输入至电光转换单元或者数字信号接口单元。以 A 节点向 B 节点发送信号为例，增加的 CDR 可以尽可能的保证最终输入至 B 节点的数字信号接口单元的电信号与 A 节点的数字信号接口单元最初输出的电信号一致。

进一步地，如图 4 所示，信号从一个节点的数字信号接口单元输出至另一个节点的数据接口单元的所有时延之和，在本申请实施例中可以定义为两个节点间（或者说两个通信设备间）的链路传输时延。下面，仍以信号从 A 节点传输到 B 节点传输为例，A 节点-B 节点间的链路传输时延包括：

（1）A 节点 CDR 发送方向时延（即 A 节点 CDR 接收到数字信号接口单元发送的信号后，进行信号的再生、在定时和再放大所需的时延）、B 节点 CDR 接收方向时延（即 B 节点 CDR 接收到光电转换单元发送的信号后，进行信号的再生、在定时和再放大所需的时延）。可选地，根据不同速率、不同编码格式以及不同的设计方案，上述这两项时延之和一般为几十纳秒（ns）到几百纳秒之间，一个典型值为 100ns。

（2）A 节点光电模块输出到 B 节点光电模块之间的光纤传输时延。以当前使用的光纤为实芯的单模光纤（single mode fiber，SMF）或者多模光纤（multi mode fiber，MMF）为例，光纤的传输时延系数约为 4.8ns/m，以 50 米长的光纤为例，光纤传输时延总计为 240ns。

（3）A 节点、B 节点的电信号在各自的 PCB 上的走线时延，例如 A 节点数字信号接口单元输出电信号到 A 节点 CDR 之间的走线时延，A 节点 CDR 输出电信号到 A 节点电光转换单元之间的走线时延，等等，此处不再详述。受 PCB 使用材料的介电常数不同的影响，PCB 传输时延系数约在 5~10ns/m，然而由于 PCB 走线长度较短，通常在每个节点的走线长度小于 0.5 米，即 A 节点、B 节点的电信号走线时延总和通常小于 10ns。显然，相比上述 CDR 时延和光纤传输时延来说，电信号在 PCB 上的走线时延是一个很小的数值。

进一步地，当端口速率继续增加，比如增加到 4×50Gbps，业界开始采用 4 电平脉冲幅度调制（4 levels pulse amplitude modulation，PAM4）编码格式来替代非归零（non-return-to-zero，NRZ）编码格式以降低信号的波特率，从而避免信号带宽增大导致的 PCB 和电缆等介质传输的损耗系数增大。然而，由于多电平信号对信号失真更加敏感，并且能够容忍的信号衰减更小，当数字信号接口单元距离光电模块较远时，为了避免信号失真和信号衰减过大，需要在

主板 PCB 上再增加一个 CDR 单元。

请参阅图 5，图 5 是另一种节点间数据链路的示意图。有关图 5 的介绍可以参考上述图 4 中的描述，此处不再进行赘述。其中，例如在上述端口速率继续增加至 4×50Gbps 的情况下，相较于图 4，图 5 中的 C 节点和 D 节点中均增设了中继 CDR，该中继 CDR 的两端分别与数字信号接口单元和光电模块中的 CDR 连接。同理，下面以数据从 C 节点到 D 节点传输为例，C 节点-D 节点间的链路传输时延包括：

（1）C 节点光电模块内 CDR 发送方向时延、D 节点光电模块内 CDR 接收方向时延。可选地，根据不同速率、不同编码格式以及不同的设计方案，上述这两项时延之和一般为几十纳秒到几百纳秒之间，一个典型值为 100ns。

（2）C 节点中继 CDR 发送方向时延、D 节点中继 CDR 接收方向时延。可选地，根据不同速率、不同编码格式以及不同的设计方案，上述这两项时延之和一般为几十纳秒到几百纳秒之间，一个典型值为 100ns。

（3）C 节点光电模块输出到 D 节点光电模块之间的光纤传输时延，仍以当前使用的光纤为实芯的 SMF 或 MMF 为例，光纤的传输时延系数均为 4.8ns/m，以 50 米光纤为例，光纤传输时延总计为 240ns。

（4）C 节点、D 节点的电信号在各自的 PCB 上的走线时延。同理，C 节点、D 节点的电信号走线时延总和一般小于 10ns。显然，相比上述光电模块内 CDR 时延、中继 CDR 时延和光纤传输时延来说，电信号在 PCB 上的走线时延是一个很小的数值。

需要说明的是，图 4 和图 5 仅为示例性的说明一种可能的节点间数据链路，在一些可能的实施方式中，每个节点内均可以包括比图 4 或者图 5 更多或者更少，甚至不同的部件，等等，本申请实施例对此不作具体限定。

综上，增设的 CDR 虽然可以在一定程度上解决电信号和光信号因传输以及光电转换等损耗带来的问题，但是采用 CDR 对接收到电信号进行再生、再定时和再放大的过程中，需要将接收到的高速电信号通过串并转换为低速电信号并进行数字逻辑处理，然后再并串转换为高速电信号。其中，数字逻辑处理和串并转换等操作复杂、耗时长，都会带来较大的时延。以上图 C 节点-D 节点间的链路为例，光纤传输时延为 240ns，光电模块内 CDR 时延为 100ns，主板上中继 CDR 时延为 100ns，PCB 走线时延约为 10ns，总时延为 450ns，其中，光电模块内的 CDR 时延以及中继 CDR 时延的总和（200ns）甚至与 50 米长的光纤传输时延相当，几乎占了总时延的一半，这大大增加了整个链路的传输时延，也即增加了计算等待时间，进而降低了 HPC 集群整体的计算能力。

因此，为了解决当前技术中不满足实际业务需求的问题，本申请实际要解决的技术问题包括如下方面：通过合理的器件选择和布局，在保证信号传输质量的前提下，降低通信设备间的信号传输时延，以减少计算等待时间，提高整体的计算能力。可选地，上述通信设备间包括但不限于：服务器、交换机、存储资源池、内存资源池等任意两个设备之间。比如，两台服务器之间，两台交换机之间，服务器与交换机之间，服务器与内存资源池之间，交换机与存储资源池之间等，本申请实施例对此不作具体限定。

请参阅图 6，图 6 是本申请实施例提供的一种系统架构示意图。本申请实施例的技术方案可以在图 6 举例所示的系统架构或类似的系统架构中具体实施。如图 6 所示，该系统架构

可以包括一个 HPC 集群，该 HPC 集群可以包括多个节点，具体可以包括多个一级交换机（比如交换机 100a、100b 和 100c 等）、多个二级交换机（比如交换机 200a、200b 和 200c 等）、多个三级交换机（比如交换机 300a、300b 和 300c 等）、服务器阵列 400、内存资源池 500 和存储资源池 600 等等。其中，服务器阵列 400 中可以包括多个服务器，内存资源池 500 中可以包括多个内存，存储资源池 600 中可以包括多个存储器，等等，此处不再详述。如图 6 所示，该多个交换机、服务器阵列 400、内存资源池 500 和存储资源池 600 任意设备之间可以通过光纤连接以进行信号传输。

其中，该多个交换机、服务器阵列 400、内存资源池 500 和存储资源池 600 中均可以包括数字信号接口单元和光电模块。在本申请实施例中，该多个交换机、服务器阵列 400、内存资源池 500 和存储资源池 600 中的光电模块内均可以采用模拟均衡器替代原有的 CDR。如此，上述各个节点可以通过各自节点内的模拟均衡器直接在模拟域对接收到的高速电信号（可以为本节点的数字信号接口单元输出至模拟均衡器的电信号，也可以为本节点的光电转换单元基于其他节点输出的光信号进行转换后输出至模拟均衡器的电信号）进行模拟信号均衡处理，补偿其在传输过程中产生的损耗，从而高效、快速地输出质量更优的电信号，实现在保证信号传输质量的同时，避免了上述数字逻辑处理和串并转换等等复杂且耗时长的处理过程，大大降低了信号传输时延，继而降低了各节点的计算等待时间，提高了该 HPC 集群整体的计算能力。

其中，在 HPC 集群的场景中，电信号的波特率一般大于 25G 波特率(Baud/s)，例如若采用 NRZ 编码格式，其每路电信号的速率大于 25Gbps，若采用 PAM4 编码格式，其每路电信号的速率大于 50Gbps，若采用 PAM8 编码格式，其每路高速电信号的速率大于 75Gbps，等等，其它编码格式的速率以此类推，此处不再详述。如上所述，本申请实施例中的模拟均衡器可以适用于处理速率非常高的高速电信号（例如为波特率大于 25G 波特率，甚至大于 50 G 波特率的高速电信号）。

进一步地，上述光纤可以采用实芯光纤，也可以采用空芯光纤。优选地，可以采用空芯光纤替代 SMF、MMF 等实芯光纤。

首先，由于实芯光纤采用纤芯材料的折射率约为 1.45，而空芯光纤采用空气做为传输介质，其折射率约为 1，因此光信号在空芯光纤中的传输速度高于在实芯光纤中的传输速度，分别约为 300000km/s 和 207000km/s。光信号传输经过 1 米空芯光纤和 1 米实芯光纤所需的时延分别为 3.3ns 和 4.8ns，显然，光信号经过相同距离的光纤，空芯光纤所需的时延远远小于实芯光纤，一般仅为实芯光纤的 69%。

其次，在图 6 所示的系统架构中，也即在 HPC 集群的场景中，光纤传输距离较短，其范围介于 5~2000 米之间，典型值约为 10~100 米。参考上述对空芯光纤的解释说明可知，现有空芯光纤的插损较大，单段空芯光纤长度较短等缺点对该场景的整体性能以及成本影响很小。因此本申请实施例可以优选采用空芯光纤，以进一步降低传输时延。

需要说明的是，图 6 所示的系统架构仅为示意性举例，为本申请实施例中较为优选的系统架构或者应用场景，本申请实施例提供的光电模块等可以应用于除图 6 所示的 HPC 集群外的其他场景中，本申请实施例对此不作具体限定。此外，在一些可能的实施方式中，上述节点还可以是手机、笔记本电脑和台式电脑等移动终端，等等，本申请实施例对此不作具体限定。

请参阅图 7，图 7 是本申请实施例提供的一种光电模块的结构示意图。如图 7 所示，该光电模块 102 可以应用于通信设备 10 中，该通信设备 10 可以为光电通信设备，例如为上述图 6 所示系统架构中的交换机（例如交换机 100a、100b、100c、200a、200b、200c 和 300a 等等）、服务器、内存资源池和存储资源池等节点中的任意一个。

如图 7 所示，光电模块 102 可以包括模拟均衡器 103，以及与该模拟均衡器 103 连接的光电转换单元 104。下面，分别以通信设备 10 发送信号和接收信号为例，对图 7 所示的光电模块 102 进行详细阐述。

（1）以通信设备 10 向其他设备发送信号为例。

模拟均衡器 103，用于接收第一电信号，对第一电信号进行第一模拟信号均衡处理，得到第二电信号，并发送该第二电信号至光电转换单元 104。可选地，该第一电信号、第二电信号可以为模拟电信号，并且均衡处理后得到的第二电信号的码间干扰可以小于第一电信号的码间干扰。

光电转换单元 104，用于接收第二电信号，将该第二电信号转换成对应的第一光信号。可选地，该第一光信号后续可以经由通信设备 10 与其他设备之间连接的光纤（例如空芯光纤）传输至其他设备。

如上所述，应理解，第一电信号在输入至该模拟均衡器 103 之前的传输过程中不可避免的会产生传输损耗（或者说畸变，比如信号的幅度、频率和相位等发生改变，损耗一般可以指信号幅度的降低），因此模拟均衡器 103 接收到的第一电信号相较于原始的第一电信号（或者说刚开始传输时的第一电信号）会存在一定程度的信号衰减和失真（例如第一电信号的幅度、频率和相位中的至少一项会发生改变，较为典型地情况为幅度降低等），导致模拟均衡器 103 接收到的第一电信号的码间干扰严重。需要说明的是，码间干扰严重会使误码率显著增加，若不加以处理，则其他设备最终接收到的信号则很有可能是完全错误的，或者是完全无效的，严重影响其他设备以及通信系统整体的计算能力。

如此，本申请实施例可以通过在光电模块 102 中增设的模拟均衡器 103 直接在模拟域对接收到的第一电信号进行高效、快速的模拟信号均衡处理，补偿其前期传输过程中产生的传输损耗，无需数字逻辑处理和串并转换等便可以输出信号质量更优、信号码间干扰更小的第二电信号。可选地，该第二电信号可以尽可能地接近原始的第一电信号，甚至与原始的第一电信号相同，还可以比原始第一电信号的码间干扰更小，等等，本申请实施例对此不作具体限定。

综上，在向其他设备发送信号时，本申请实施例提供的光电模块可以大大缩短在发送前进行信号传输损耗补偿所要耗费的时间，从而在保证信号质量的同时，极大程度上降低了信号从通信设备 10 传输到其他设备的传输时延，降低了其他设备的计算等待时间。

（2）以通信设备 10 接收其他设备发送的信号为例。

光电转换单元 104，用于接收第二光信号，将第二光信号转换为相应的第三电信号，并发送该第三电信号至模拟均衡器 103。可选地，该第二光信号可以是其他设备通过光纤发送到光电转换单元 104 中的信号。

模拟均衡器 103，用于接收第三电信号，对第三电信号进行第二模拟信号均衡处理，得到第四电信号。可选地，该第三电信号、第四电信号可以为模拟电信号，并且均衡处理后得到的第四电信号的码间干扰可以小于第三电信号的码间干扰。可选地，通信设备 10 后续可以基于该第四电信号进行一系列计算或者分析等。

可选地，上述第一电信号、第二电信号、第三电信号和第四电信号可以为波特率大于25G波特率，甚至大于50G波特率的高速电信号，等等，本申请实施例对此不作具体限定。

如上所述，相应的，第三电信号在输入至该模拟均衡器之前的传输过程中不可避免的会产生传输损耗（或者说畸变），因此模拟均衡器103接收到的第三电信号往往会存在一定程度的信号衰减和失真，导致模拟均衡器103接收到的第三电信号的码间干扰严重，使得通信设备10最终接收到的信号则很有可能是完全错误的，或者是完全无效的，严重影响通信设备10以及通信系统整体的计算能力。

如此，本申请实施例可以通过在光电模块102中增设的模拟均衡器103直接在模拟域对接收到的第三电信号进行高效、快速的模拟信号均衡处理，从而输出信号质量更优、信号码间干扰更小的第四电信号。可选地，该第四电信号可以尽可能地接近光电转换单元104原始输出的第三电信号，或者尽可能的接近其他设备原始输出的电信号，甚至与其他设备原始输出的电信号相同，还可以比其他设备原始输出的电信号的码间干扰更小，等等，本申请实施例对此不作具体限定。

综上，在接收其他设备发送的信号时，本申请实施例提供的光电模块可以大大缩短本设备（即通信设备10）在计算前进行信号传输损耗补偿所要耗费的时间，从而在保证信号质量的同时，极大程度上降低了信号从其他设备传输到通信设备10的传输时延，降低了通信设备10的计算等待时间，提高了整体的计算能力。

可选地，通信设备10也可以仅用于发送信号或者仅用于接收信号，也即光电模块102内的模拟均衡器103、光电转换单元104仅用于实现上述实施例（1）中所述的功能，或者，模拟均衡器103、光电转换单元104仅用于实现上述实施例（2）中所述的功能，本申请实施例对此不作具体限定。

请参阅图8，图8是本申请实施例提供的一种通信系统的结构示意图。如图8所示，该通信系统可以包括通信设备10（例如第一通信设备）和通信设备20（例如第二通信设备），其中，通信设备10和通信设备20可以通过如图8所示的光纤30和光纤40连接。该通信设备10和通信设备20可以为上述图6所示系统架构中的交换机、服务器、内存资源池和存储资源池等节点中的任意一个。

如图8所示，通信设备10中可以包括数字信号接口单元101和光电模块102，该光电模块102可以包括模拟均衡器103和光电转换单元104，其中，模拟均衡器103可以包括发送均衡器103a、接收均衡器103b；光电转换单元104可以包括第一光电转换器105和第二光电转换器106。其中，发送均衡器103a可以分别与数字信号接口单元101、第一光电转换器105连接；接收均衡器103b可以分别与数字信号接口单元101、第二光电转换器106连接。

可选地，请一并参阅上述图7对应的实施例可知，本申请实施例中涉及的模拟均衡器103可以仅包括该发送均衡器103a，相应的，本申请实施例中涉及的光电转换单元104可以仅包括该第一光电转换器105；或者，模拟均衡器103可以仅包括该接收均衡器103b，相应的，光电转换单元104可以仅包括该第二光电转换器106，等等，本申请实施例对此不作具体限定。

如图8所示，同理，通信设备20中可以包括数字信号接口单元201和光电模块202，该光电模块202可以包括模拟均衡器203和光电转换单元204，其中，模拟均衡器203可以包括发送均衡器203a、接收均衡器203b；光电转换单元204可以包括第一光电转换器205和第

二光电转换器 206。其中，发送均衡器 203a 可以分别与数字信号接口单元 201、第一光电转换器 205 连接；接收均衡器 203b 可以分别与数字信号接口单元 201、第二光电转换器 206 连接。

可选地，数字信号接口单元 101 和数字信号接口单元 201 可以为网络处理接口单元、数据交换单元、存储接口单元、内存接口单元等中的任意一种，本申请实施例对此不作具体限定。

进一步地，如图 8 所示，第一光电转换器 105 与第二光电转换器 206 通过光纤 30 连接，从而为通信设备 10 向通信设备 20 发送信号提供传输通道；第二光电转换器 106 与第一光电转换器 205 通过光纤 40 连接，从而为通信设备 20 向通信设备 10 发送信号提供传输通道。其中，光纤 30 和光纤 40 可以为实芯光纤或者空芯光纤，优选空芯光纤，从而为光信号的传输提供低时延的传输通道，具体可参考上述图 6 对应实施例中的描述，此处不再进行赘述。其中，例如光纤 30 为空芯光纤时，也可以表示该光纤 30 中至少包括一段空芯光纤，例如光纤 30 总长为 100m，其中可以包括长度为 40m 的一段空芯光纤，等等，本申请实施例对此不作具体限定。

下面，将结合图 8 所示的通信设备 10 和通信设备 20，以通信设备 10 向通信设备 20 发送信号为例，对本申请实施例提供的一种光电模块进行进一步详细阐述。

首先，需要说明的是，信号在两个通信设备之间进行传输时，器件的传输参数和信道传输参数的不平坦特性均会使得信号产生畸变，造成信号幅频特性的不平坦与群时延特性的波动等，从而使信号的码间干扰非常严重。以通信设备 10 向通信设备 20 发送信号为例，信号可能产生的畸变大致可以包括但不限于如下几点：

（1）数字信号接口单元 101 至发送均衡器 103a 之间的传输；
（2）发送均衡器 103a 至第一光电转换器 105 之间的传输；
（3）第一光电转换器 105 在将电信号转换成光信号时；
（4）第一光电转换器 105 与光纤 30 之间的连接；
（5）光信号在光纤 30 中的传输；
（6）光纤 30 与第二光电转换器 206 之间的连接；
（7）第二光电转换器 206 在将光信号转换成电信号时；
（8）第二光电转换器 206 至接收均衡器 203b 之间的传输；
（9）接收均衡器 203b 至数字信号接口单元 201 之间的传输。

其次，以通信设备 10 向通信设备 20 发送信号为例，对该过程中各个结构的功能进行详细阐述，具体如下。

数字信号接口单元 101：接收来自处理设备（图 8 中未示出）的第一数字电信号，将第一数字电信号转换成相应的模拟电信号（例如第一电信号），并发送该第一电信号至发送均衡器 103a。可选地，该处理设备可以与数字信号接口单元 101 连接，例如可以为 CPU、GPU 或者存储器等等。

发送均衡器 103a：接收第一电信号，并在模拟域对第一电信号进行模拟信号均衡处理，补偿该第一电信号在前期传输过程中的畸变（例如包括上述畸变（1）），降低其码间干扰，从而得到第二电信号，然后发送该第二电信号至第一光电转换器 105。

可选地，考虑到电信号后续传输过程中可能存在的大量畸变（例如上述畸变（2）、（3）、（4）、（5）、（6）、（7）、（8）等中的至少一项），且容易导致电信号的高频部分严重衰减，因此，为了保证通信设备20中的接收均衡器203b接收到的电信号不至于存在严重的码间干扰，发送均衡器103a还可以对该第一电信号进行预均衡处理。例如，可以将该第一电信号的低频部分进行适当衰减，从而相较于未进行预均衡处理的情况，可以使得后续通信设备20中的接收均衡器203b接收到的电信号的高频部分和低频部分的幅度差异变小，降低了接收均衡器203b接收到的电信号的码间干扰，等等，本申请实施例对此不作具体限定。

第一光电转换器105：接收第二电信号，将该第二电信号转换成对应的第一光信号并输入至光纤30。

光纤30：接收第一光信号，然后发送该第一光信号至通信设备20中的第二光电转换器206。

第二光电转换器206：接收第一光信号，将第一光信号转换成对应的电信号（例如第三电信号），并发送第三电信号至接收均衡器203b。可以理解的是，由于通信设备10与通信设备20中的结构相似，发送与接收相对称，因此通信设备20接收到的第一光信号，相当于图7实施例中所述的通信设备10接收到的第二光信号，均为本设备接收到的其他设备发送的光信号。因此，此处的第三电信号可以仅用于表示由本设备接收到光信号转换得到的电信号，而不特指由第二光信号转换得到的电信号。

接收均衡器203b：接收第三电信号，并在模拟域对第三电信号进行模拟信号均衡处理，补偿该第三电信号在前期传输过程中的畸变（例如包括上述畸变（2）、（3）、（4）、（5）、（6）、（7）、（8）），降低其码间干扰，从而得到第四电信号，然后发送该第四电信号至数字信号接口单元201。可选地，相应的，考虑到信号后续传输至数字信号接口单元201过程中可能存在的畸变，因此为了保证数字信号接口单元201接收到的电信号的码间干扰仍然较低甚至为零，接收均衡器203b还可以对第三电信号进行预均衡处理，等等，本申请实施例对此不作具体限定。

数字信号接口单元201：接收第四电信号，将该第四电信号转换成相应的数字电信号（例如第二数字电信号），并发送该第二数字电信号至通信设备20中的处理设备，以使得通信设备20中的处理设备可以基于该第二数字电信号进行一系列的计算或者分析等等。

至此，完成了通信设备10向通信设备20发送信号的全部过程，可以理解的是，本申请旨在通过在光电模块内设置模拟均衡器，实现直接在模拟域对信号进行均衡处理，以补偿信号传输过程中产生的畸变，达到耗时较短，且能够有效保证通信设备20最终接收到的第四电信号甚至第二数字电信号的质量的目的。可选地，通过模拟均衡器的均衡处理可以使得通信设备20最终接收到的该第四电信号或者第二数字电信号尽可能接近通信设备10最初输出的第一电信号或者第一数字电信号，甚至与该第一电信号或者第一数字电信号相同，保证信号传输的有效、可靠。

可以理解的是，由于通信设备20与通信设备10的结构相似，同理，通信设备20向通信设备10发送信号的过程可参考上述通信设备10向通信设备20发送信号的过程，此处不再进行赘述。

请参阅如下所示的表1，并结合前述图4、图7和图8所述的实施例可知，本申请实施例在采用模拟均衡器以及空芯光纤的情况下信号的传输时延显著下降。如表1所示，本申请图

8 所示实施例中的通信设备 10 与通信设备 20 之间的传输总时延仅为 175ns，而图 4 所示实施例中的节点 A 和节点 B 之间的传输时延长达 350ns，本申请实施例的信号传输时延仅为现有技术的 50%。具体差异如下：

（1）本申请实施例采用模拟均衡器替代原有的 CDR，相较于原本的 CDR，模拟均衡器不存在数字逻辑处理和串并转换等带来的较大时延，仅存在电信号在模拟均衡器内的走线时延，而模拟均衡器作为一种集成电路芯片，其内部走线的长度是极短的，带来的时延可以忽略不计，几乎为零，从而节省了约 100ns 时延。

（2）本申请实施例采用空芯光纤替代原有的实芯光纤（SMF 和 MMF 等）作为通信设备（或者说节点）之间的传输通道。例如，以长度均为 50m 的光纤传输为例，本申请实施例节省了约 75ns 时延。

具体时延以及比值可参阅如下表 1 中的内容，此处不再详述。

表 1

对比项目	现有技术时延	本申请时延	本申请时延/现有技术时延
CDR	100ns		0%
模拟均衡器		0ns	
光纤时延	240ns	165ns	69%
电信号走线时延	10ns	10ns	100%
总时延	350ns	175ns	50%

可选地，请参阅图 9，图 9 是本申请实施例提供的另一种通信系统的结构示意图。有关图 9 的介绍可以参考上述图 7 和图 8 对应实施例中的描述，此处不再进行赘述。如图 9 所示，通信设备 10 和通信设备 20 中分别还可以包括高速无源部件 107 和高速无源部件 207。其中，高速无源部件 107 用于连接数字信号接口单元 101 和模拟均衡器 103（例如包括发送均衡器 103a 和接收均衡器 103b）；相应的，高速无源部件 207 用于连接数字信号接口单元 201 和模拟均衡器 203（例如包括发送均衡器 203a 和接收均衡器 203b）。

以通信设备 10 为例，高速无源部件 107 的两端分别与数字信号接口单元 101 和光电模块 102 内的模拟均衡器 103 连接，从而可以在数字信号接口单元 101 和模拟均衡器 103 之间提供低时延、低插损、低畸变的高速电信号传输通道，其传输时延几乎为零。如此，即使模拟均衡器 103 部署在距离数字信号接口单元较远的位置，也可以降低高速电信号（例如第一电信号或者第四电信号）在数字信号接口单元 101 和模拟均衡器 103 传输过程中的传输时延以及传输损耗和畸变。因此，相较于图 8 所示的通信系统，图 9 所示的通信系统可以利用通信设备内的高速无源部件，进一步减少信号的传输时延，并保证信号的传输质量，从而进一步提升通信系统的整体计算能力。

请参阅图 10，图 10 是本申请实施例提供的一组通信设备的内部连接结构示意图。图 10 中以图 9 所示的通信设备 10 为例，可以理解的是，图 10 所示的连接结构也可以应用于通信

设备 20 或者其他任意一个通信设备内，此处不再进行赘述。

如图 10 中的（a）所示，该通信设备 10 具体可以包括数字信号接口单元 101、高速接插件 01、高速接插件 02、高速电缆 03 和光电模块 102。

可选地，数字信号接口单元 101 可以包含于某个封装好的集成电路芯片内部，如图 10 中的（a）所示，该集成电路芯片可以部署在 PCB 上。如图 10 中的（a）所示，数字信号接口单元 101（或者说该集成电路芯片）可以通过若干个焊接点焊接在 PCB 上。

可选地，高速接插件 01 可以部署在 PCB 上距离该数字信号接口单元 101 较近（或者说距离该集成电路芯片较近）的位置。其中，高速接插件 01 与高速接插件 02 通过高速电缆 03 连接，可以形成上述图 9 所示的高速无源部件 107，相应的，通信设备 20 中的高速无源部件 207 也可以包括该高速接插件 01、高速接插件 02 和高速电缆 03。可选地，高速接插件 01 与高速接插件 02 之间的距离可以较远。

可选地，高速接插件 02 与光电模块 103 可以在如图 10 所示的面板上进行连接。

可选地，光电模块 102 与光纤 30 连接，用于输入/输出光信号，并进行相应的光/电转换等等，此处不再赘述。

综上，以通信设备 10 向通信设备 20 发送信号为例，如图 10 中的（a）所示，数字信号接口单元 101 输出的高速电信号（例如第一电信号）依次经过 PCB、高速接插件 01、高速电缆 03、高速接插件 02 和光电模块 102。在光电模块 102 中，经过模拟信号均衡处理和电光转换后，输出相应的光信号至光纤 30。随后，经过光纤 30 的传输，光纤 30 输出光信号至通信设备 20 的光电模块 202，在光电模块 202 中经过光电转换和模拟信号均衡处理后，输出相应的高速电信号并依次经过通信设备 20 中的高速接插件 02、高速电缆 03、高速接插件 01、PCB，最后输入到数字信号接口单元 201。

如图 10 中的（b）所示，该通信设备 10 具体可以包括数字信号接口单元 101、高速接插件 01、高速接插件 02、高速电缆 03 和光电模块 102。

可选地，数字信号接口单元 101 可以包含于某个集成电路芯片内部（该集成电路芯片可以是未封装的），如图 10 中的（b）所示，该集成电路芯片可以部署在基板（substrate）上，该基板可以部署在 PCB 上。如图 10 中的（b）所示，基板可以通过若干个焊接点焊接在该基板上。

可选地，高速接插件 01 可以部署在该基板上距离该数字信号接口单元 101 较近（或者说距离该集成电路芯片较近）的位置。

可选地，有关图 10 中的（b）的介绍可以参考上述图 10 中的（a）的描述，此处不再进行赘述。

综上，仍以通信设备 10 向通信设备 20 发送信号为例，如图 10 中的（b）所示，数字信号接口单元 101 输出的高速电信号依次经过基板、高速接插件 01、高速电缆 03、高速接插件 02 和光电模块 102。在光电模块 102 中，经过模拟信号均衡处理和电光转换后，输出相应的光信号至光纤 30。随后，经过光纤 30 的传输，光纤 30 输出光信号至通信设备 20 的光电模块 202，在光电模块 202 中经过光电转换和模拟信号均衡处理后，输出相应的高速电信号并依次经过通信设备 20 中的高速接插件 02、高速电缆 03、高速接插件 01、基板，最后输入到数字信号接口单元 201。

如图 10 中的（c）所示，该通信设备 10 具体可以包括数字信号接口单元 101、高速接插件 01、光电模块 102、光纤 04 和空芯光纤连接器 05。

可选地，数字信号接口单元 101 可以包含于某个封装好的集成电路芯片内部，如图 10 中的（c）所示，该集成电路芯片可以部署在 PCB 上。如图 10 中的（c）所示，数字信号接口单元 101（或者说该集成电路芯片）可以基于若干个焊接点焊接在 PCB 上。

可选地，高速接插件 01 可以部署在 PCB 上距离该数字信号接口单元 101 较近（或者说距离该集成电路芯片较近）的位置，用于连接数字信号接口单元 101 和光电模块 102，具体用于连接数字信号接口单元 101 和光电模块 102 中的模拟均衡器 103。可选地，图 9 所示的高速无源部件 107 或者高速无源部件 207 可以仅包括该高速接插件 01。

可选地，如图 10 中的（c）所示，该光电模块 102 自身可以包括一段光纤 04，该光纤 04 可以与光电模块 102 中的光电转换单元 104（即第一光电转换器 105 和第二光电转换器 106）连接，用于输入/输出光信号，例如可以用于发送上述第一光信号，或者用于接收上述第二光信号。可选地，该光纤 04 可以为空芯光纤或者实芯光纤转空芯光纤，相应的，光纤 30 可以为空芯光纤（或者说至少包括一段空芯光纤）。

可选地，如图 10 中的（c）所示，该光纤 04 可以在通信设备 10 的面板上通过空芯光纤连接器 05 与光纤 30 连接。其中，空芯光纤连接器 05 可以用于在光纤 04 和光纤 30 之间输入/输出光信号，例如，可以用于从光纤 04 接收上述第一光信号，并发送该第一光信号至光纤 30，或者从光纤 30 接收上述第二光信号，并发送该第二光信号至光纤 04。如此，基于通信设备 10 内增设的光纤 04 和空芯光纤连接器 05，可以为光信号在设备内外的传输提供低损耗、高速率的传输通道，从而进一步降低传输损耗，保证信号质量，并降低传输时延。

综上，仍以通信设备 10 向通信设备 20 发送信号为例，如图 10 中的（c）所示，数字信号接口单元 101 输出的高速电信号依次经过 PCB、高速接插件 01、光电模块 102。在光电模块 102 中，经过模拟信号均衡处理和电光转换后，输出的光信号依次经过光纤 04、空芯光纤连接器 05 和光纤 30。随后，经过光纤 30 的传输，光纤 30 输出光信号至通信设备 20 中的光电模块 202。可选地，通信设备 20 中也可以包括空芯光纤连接器和一段空芯光纤或者实芯光纤转空芯光纤，如此，光纤 30 输出的光信号可以依次经由空芯光纤连接器和一段空芯光纤或者实芯光纤转空芯光纤输入至光电模块 202。然后，在光电模块 202 中经过光电转换和模拟信号均衡处理后，输出相应的高速电信号并依次经过通信设备 20 中的高速接插件 01、PCB，最后输入到数字信号接口单元 201。

如图 10 中的（d）所示，该通信设备 10 具体可以包括数字信号接口单元 101、高速接插件 01、光电模块 102、光纤 04 和空芯光纤连接器 05。

可选地，数字信号接口单元 101 可以包含于某个集成电路芯片内部（该集成电路芯片可以是未封装的），如图 10 中的（d）所示，该集成电路芯片可以部署在基板（substrate）上，该基板可以部署在 PCB 上。如图 10 中的（d）所示，基板可以基于若干个焊接点焊接在该基板上。

可选地，高速接插件 01 可以部署在该基板上距离该数字信号接口单元 101 较近（或者说距离该集成电路芯片较近）的位置。

可选地，有关图 10 中的（d）的介绍可以参考上述图 10 中的（c）的描述，此处不再进行赘述。

综上，仍以通信设备 10 向通信设备 20 发送信号为例，如图 10 中的（d）所示，数字信号接口单元 101 输出的高速电信号依次经过基板、高速接插件 01、光电模块 102。在光电模块 102 中，经过模拟信号均衡处理和电光转换后，输出的光信号依次经过光纤 04、空芯光纤连接器 05 和光纤 30。随后，经过光纤 30 的传输，光纤 30 输出光信号至通信设备 20 中的光电模块 202。可选地，通信设备 20 中也可以包括空芯光纤连接器和一段空芯光纤或者实芯光纤转空芯光纤，如此，光纤 30 输出的光信号可以依次经由空芯光纤连接器、一段空芯光纤或者一段实芯光纤转空芯光纤输入至光电模块 202。然后，在光电模块 202 中经过光电转换和模拟信号均衡处理后，输出相应的高速电信号并依次经过通信设备 20 中的高速接插件 01、基板，最后输入到数字信号接口单元 201。

请参阅如下所示的表 2，并结合前述图 5、图 9 和图 10 对应的实施例可知，本申请实施例在采用高速无源部件、模拟均衡以及空芯光纤的情况下，信号的传输时延显著下降。如下表 2 所示，本申请图 9 所示实施例中的通信设备 10 与通信设备 20 之间的传输总时延仅为 175ns，而图 5 所示实施例中的节点 C 和节点 D 之间的传输时延长达 450ns，本申请实施例的信号传输时延仅为现有技术的 39%。具体差异如下：

（1）本申请实施例采用高速无源部件组合替代原有的中继 CDR，用于连接数字信号接口单元和光电模块，从而节省了约 100ns 时延；

（2）本申请实施例采用模拟均衡器替代原有的 CDR，避免了复杂的数字逻辑处理和串并转换等，从而节省了约 100ns 时延；

（3）本申请实施例采用空芯光纤替代原有的实芯光纤（SMF 和 MMF 等）做为通信设备（或者说节点）之间的传输通道。例如，以长度均为 50m 的光纤传输为例，本申请实施例节省了约 75ns 时延。

具体时延以及比值可参阅如下表 2 中的内容，此处不再详述。

表 2

对比项目	现有技术时延	本申请时延	本申请时延/现有技术时延
中继CDR	100ns		0%
CDR	100ns		0%
高速无源部件		0ns	
模拟均衡器		0ns	
光纤时延	240ns	165ns	69%
电信号走线时延	10ns	10ns	100%
总时延	450ns	175ns	39%

进一步地，如上所述，为了克服器件与信道（即信号在设备间传输过程中经过的通道）的不平坦特性带来的信号畸变，需要在必要的地方（例如数字信号接口单元 101 和光电转换

单元 104 之间）增加均衡器予以消除，以补偿器件和信道带来的不平坦变化，从而达到减少信号畸变的目的。本申请实施例中采用的模拟均衡器主要是校正传输信号的幅度、频率特性和相位频率特性等。可选地，可以针对幅度均衡器和相位均衡器进行分析与设计，以获得本申请实施例中的模拟均衡器。其中，模拟均衡器的设计指标可以主要涉及均衡带宽、均衡量等，本申请实施例对此不作具体限定。

基于此，请参阅图 11，图 11 是本申请实施例提供的一种模拟均衡器的结构示意图。如图 11 所示，以图 7、图 8 或者图 9 所示的通信设备 10 中的模拟均衡器 103 为例，模拟均衡器 103 可以包括发送均衡器 103a 和接收均衡器 103b。如图 11 所示，发送均衡器 103a 可以包括依次串联的输入放大电路 1030、连续时间线性模拟均衡器（continuous time linear equalizer，CTLE）1031、低频模拟均衡器（low frequency equalizer，LFEQ）1032、电平失配补偿电路 1033、输出放大电路 1034。相应的，如图 11 所示，接收均衡器 103b 可以包括依次串联的输入放大电路 1035、连续时间线性模拟均衡器 1036、低频模拟均衡器 1037、电平失配补偿电路 1038、输出放大电路 1039。可选地，图 11 所示的模拟均衡器的结构还可以应用于通信设备 20 内的模拟均衡器 203，或者其他任意一个通信设备的模拟均衡器中。

首先，以发送均衡器 103a 为例，对模拟均衡器 103 执行模拟信号均衡处理的过程进行详细阐述。

其中，输入放大电路 1030 的输入端可以与数字信号接口单元 101 连接（或者与高速无源部件 107 连接），用于接收数字信号接口单元 101 输出的高速电信号（例如第一电信号），对该第一电信号进行放大，得到第一电信号-A，并发送该第一电信号-A 出至连续时间线性模拟均衡器 1031。

连续时间线性模拟均衡器 1031，用于接收第一电信号-A，并补偿该第一电信号-A 的高频部分（或者说高频分量）的信号传输损耗，以降低该第一电信号-A 的高频部分的码间干扰，得到第一电信号-B，然后发送该第一电信号-B 至低频模拟均衡器 1032。请参阅图 12，图 12 是本申请实施例提供的一种 CTLE 的电路结构以及增益曲线调节示意图。如图 12 所示，可以通过调节 CTLE 电路中的 Rs1（串联等效电路）和 Cs1（串联等效电容）来调节峰值，针对性地进行频率补偿以实现较平坦的增益曲线（也即调节电信号的幅频特性）。应理解，图 12 所示的电路结构仅为示意性举例，在一些可能的实施例中，CTLE 电路可以包括比图 12 所示更多或者更少的部件，本申请实施例对此不作具体限定。

低频模拟均衡器 1032，用于接收第一电信号-B，并补偿该第一电信号-B 的低频部分（或者说低频分量）的信号传输损耗，以降低第一电信号-B 的低频部分的码间干扰，得到第一电信号-C，然后发送该第一电信号-C 至电平失配补偿电路 1033。请参阅图 13，图 13 是本申请实施例提供的一种 LFEQ 的电路结构示意图。如图 13 所示，LFEQ 可以基于负反馈技术，调节信道低频损耗部分的斜率，还可以调节信号增益，实现对信号低频部分的均衡控制，从而降低信号低频部分的码间干扰。应理解，图 13 所示的电路结构仅为示意性举例，在一些可能的实施例中，LFEQ 电路可以包括比图 13 所示更多或者更少的部件，本申请实施例对此不作具体限定。

电平失配补偿电路 1033，可以包括判决反馈均衡器（decision feedback equalizer，DFE），用于接收第一电信号-C，并通过 DFE 补偿该第一电信号-C 的高频部分的信号传输损耗，以降低该第一电信号-C 的高频部分的码间干扰，得到第一电信号-D，然后发送该第一电信号-D 至

输出放大电路 1034。可选地，请参阅图 14，图 14 是本申请实施例提供的一组单比特响应曲线图。如图 14 中左侧的单比特响应（single bit response，SBR）曲线所示，在没有 DFE 进行钳制的情况下，信号经过信号传输损耗后，导致码间干扰变严重。如图 14 中右侧的单比特响应（single bit response，SBR）曲线所示，在经过 3 拍（tap）的 DFE 后，可以使得信号高频部分的码间干扰趋于零，这大大降低了信号高频部分的码间干扰，保证了信号质量。

输出放大电路 1034 的输出端可以与第一光电转换器 105 连接，用于接收第一电信号-D 并进行放大，得到第二电信号，然后发送该第二电信号至第一光电转换器 105。可选地，输出放大电路 1034 还可以包括前向反馈均衡器（feed forward equalizer，FFE）。如上所述，考虑到信号再后续传输过程中存在的损耗，还可以通过该 FFE 对该第一电信号-D 进行预均衡处理，对该第一电信号-D 的低频部分进行适当衰减，再得到第二电信号。如上所述，预均衡处理后可以保证后续其他设备接收到的电信号的高频部分和低频部分的幅度差异变小，也即保证其他设备接收到的电信号的码间干扰较小。

综上，请参阅图 15，图 15 是本申请实施例提供的一种时域补偿范围示意图。如图 15 所示，连续时间线性模拟均衡器 1031 主要用于补偿电信号高频部分的损失，从而降低其高频部分的码间干扰；低频模拟均衡器 1032 主要用于补偿电信号低频部分的损失，从而降低其低频部分的码间干扰；电平失配补偿电路 1033 中的 DEF 主要用于补偿电信号高频部分的损失，从而降低其高频部分的码间干扰；输出放大电路 1034 中的 FEF 主要用于在向其他设备输出信号前，事先对信号的低频部分进行衰减，从而降低其他通信设备中的均衡器接收到的信号的码间干扰。如此，通过上述 CTLE、LFEQ、DFE、FFE 联合实现了全频带内的损耗补偿，从而降低信号的码间干扰（或者说降低了信道内的码间干扰），提升信道传输的信噪比 (signal noise ratio，SNR)，有效保证信号传输质量。

其次，由于发送均衡器 103a 和接收均衡器 103b 的结构相似，下面将结合图 11 所示的发送均衡器 103b 的结构对其执行模拟信号均衡处理的过程进行简单介绍。

第二光电转换器 106 输出的高速电信号（例如第三电信号）首先经由接收均衡器 103b 中的输入放大电路 1035 进行接收并放大，放大后的第三电信号再依次通过连续时间线性模拟均衡器 1036、低频模拟均衡器 1037、电平失配补偿电路 1038，以分别对该第三电信号的高频部分以及低频部分进行补偿，降低其码间干扰，最后通过输出放大电路 1039 进行放大后输出质量更优、码间干扰更小的高速电信号（例如第四电信号）。

可选地，有关接收均衡器 103b 的详细介绍可以参考上述发送均衡器 103a 的描述，此处不再进行赘述。

应理解，图 11 所示的结构仅为示意性举例，在一些可能的实施例中，发送均衡器 103a 以及接收均衡器 103b 也可以仅包括图 11 中的部分器件或电路，例如，发送均衡器 103a 可以仅包括输入放大电路 1030、连续时间线性模拟均衡器 1031、电平失配补偿电路 1033 和输出放大电路 1034；或者，发送均衡器 103a 可以仅包括输入放大电路 1030、连续时间线性模拟均衡器 1031 和输出放大电路 1034；或者，发送均衡器 103a 可以仅包括连续时间线性模拟均衡器 1031、低频模拟均衡器 1032、电平失配补偿电路 1033。又例如，接收均衡器 103b 可以仅包括输入放大电路 1035、电平失配补偿电路 1038 和输出放大电路 1039；或者，接收均衡器 103b 可以仅包括连续时间线性模拟均衡器 1036、低频模拟均衡器 1037、电平失配补偿电

路 1038，等等，本申请实施例对此不作具体限定。

结合图 11 所示的模拟均衡器 103，下面将进一步对本申请实施例中的光电模块进行详细阐述。请参阅图 16，图 16 是本申请实施例提供的一种光电模块的结构示意图。图 16 中以图 8 或者图 9 所示的通信设备 10 中的光电模块 102 为例，可以理解的是，图 16 所示的结构还可以应用于光电模块 202 或者其他任意一个通信设备内的光电模块内，此处不再进行赘述。如图 16 所示，光电模块 102 可以包括一个发送通道（transmitter，TX））和一个接收通道（receiver，RX）。具体地，如图 16 中的虚线框所示，TX 可以包括发送均衡器 103a 以及第一光电转换器 105，RX 可以包括接收均衡器 103b 以及第二光电转换器 106。下述实施例中提及的 TX 和 RX 均可以采用上述结构。如图 16 所示，光电模块 102 的一端用于进行电信号的输入/输出（例如输入第一电信号和输出第四电信号），另一端用于进行光信号的输入/输出（例如输入第二光信号和输出第一光信号），此处不再进行赘述。

请参阅图 17，图 17 是本申请实施例提供的一组光电模块的结构示意图。如图 17 所示，在实际应用中，本申请实施例提供的一种光电模块可以是图 17 中的光电模块（a）、光电模块（b）、光电模块（c）、光电模块（d）、光电模块（e）、光电模块（f）等所示的各类结构，或者上述各种结构的组合，又或者还可以是其他任何可能的结构，本申请实施例对此不作具体限定。可选地，图 17 所示的光纤（例如包括光纤 1、光纤 2、光纤 3 和光纤 4 等）可以为空芯光纤。

如图 17 所示，光电模块（a）可以为发送模块，可以仅包括一个 TX；光电模块（b）可以为接收模块，可以仅包括一个 RX。如图 17 所示，光电模块（a）和光电模块（b）可以分别设置于两个通信设备中，并通过光纤连接，以实现信号从光电模块（a）到光电模块（b）的传输。

如图 17 所示，光电模块（c）可以为单通道收发模块，可以包括一个 TX 和一个 RX。其中，TX 与光纤 1 连接，用于将本设备的电信号转换成光信号并通过光纤 1 输出至其他设备。其中，RX 与光纤 2 连接，用于通过光纤 2 接收其他设备发送的光信号并转换成电信号输入至本设备。

如图 17 所示，光电模块（d）可以为多通道并行模块，可以包括多个 TX（例如 TX1 和 TX2）和多个 RX（例如 RX1 和 RX2）。其中，TX1 与光纤 1 连接，TX2 与光纤 2 连接，可以用于并行地将两路电信号转换成对应的两路光信号并通过光纤 1 和光纤 2 输出至其他设备。其中，RX1 与光纤 3 连接，RX2 与光纤 4 连接，用于通过光纤 3 和光纤 4 并行地接收其他设备发送两路光信号并转换成对应的两路电信号输入至本设备。

如图 17 所示，光电模块（e）可以为单纤双向光电模块，可以包括一个 TX、一个 RX 以及波分复用部件（wave division multiplexing，WDM）。其中，TX 和 RX 分别与 WDM 连接，WDM 再与光纤连接，使得 TX 发送的光信号和 RX 接收的光信号均可以通过 WDM 经由同一根光纤进行传输。

如图 17 所示，光电模块（f）可以为波分复用光电模块，可以包括多个 TX 例如 TX1 和 TX2）、多个 RX（例如 RX1 和 RX2）和多个 WDM（例如 WDM1 和 WDM2）。其中，TX1 和 TX2 分别与 WDM1 连接，WDM1 再与光纤 1 连接，使得 TX1 和 TX2 并行输出的两路光信号可以通过 WDM1 进行合波后输入至光纤 1，随后通过光纤 1 输出至其他设备。其中，RX1

和 RX2 分别与 WDM2 连接，WDM2 再与光纤 2 连接，WDM2 用于接收来自光纤 2 的合波信号并进行分波，分波后得到两路光信号分别输入至 RX1 和 RX2。

进一步地，结合上述实施例中描述的光电模块，本申请实施例还提供了一种有源光缆。请参阅图 18，图 18 是本申请实施例提供的一种有源光缆的结构示意图。如图 18 所示，有源光缆 50 可以包括两个光电模块（例如光电模块 102 和光电模块 202）以及连接两个光电模块的空芯光纤 107，其中，光电模块 102 和光电模块 202 可以与空芯光纤 107 的两端直接耦合（例如光电模块 102 可以与空芯光纤 107 的一端直接耦合，光电模块 202 可以与空芯光纤 107 的另一端直接耦合），以减少甚至避免光电模块与光纤连接处的插入损耗。其中，光电模块 102 可以包括模拟均衡器 103（例如包括发送均衡器 103a 和接收均衡器 103b）、光电转换单元 104（例如包括第一光电转换器 105 和第二光电转换器 106），此处不再进行赘述。其中，光电模块 202 可以包括模拟均衡器 203（例如包括发送均衡器 203a 和接收均衡器 203b）、光电转换单元 204（例如包括第一光电转换器 205 和第二光电转换器 206），此处不再进行赘述。其中，空芯光纤 107 可以包括单根或者多根空芯光纤，每根空芯光纤可以为包括至少一段空芯光纤，等等，或者，在一些可能的实施例中，考虑到实际需求以及成本等也可以采用实芯光纤，本申请实施例对此不作具体限定。

请参阅图 19，图 19 是本申请实施例提供的又一种通信系统的结构示意图。如图 19 所示，有源光缆 50 作为一个整体可以用于连接两个通信设备，例如，有源光缆 50 中的光电模块 102 可以与通信设备 10 中的高速无源部件 107 连接，有源光缆 50 中的光电模块 202 可以与通信设备 20 中的高速无源部件 107 连接，从而为通信设备 10 和通信设备 20 提供高速低时延的传输通道。有关通过有源光缆 50 进行信号传输的详细过程可以参考上述图 8-图 11 对应实施例中的相关描述，此处不再进行赘述。

请一并参阅图 18 和图 19，本申请实施例提供的一种高速低时延有源光缆（active optical cable，AOC）可以将两个光电模块通过一根或多根空芯光纤连接起来，封装耦合成一个整体部件，在实际使用中仅需要将有源光缆的两头插入到两台设备中，可以启到类似于网线的效果。显然，相较于前述光纤需要通过适配器与设备内的光电模块进行插接，操作复杂且带来额外的光链路损耗（即光纤两端与两个设备中的光电模块之间的插入损耗）的方案而言，本申请实施例提供的有源光缆内的两个光电模块可以与光纤直接耦合，有源光缆可以作为一个外部整体去连接两个设备，具有简单易用，插损低的好处。并且，在将光电模块整合到有源光缆内部后，通信设备 10 和通信设备 20 中仅包括电信号的传输，不再涉及光信号的转换，如此，可以大大提升通信设备内的信号传输效率，并降低通信设备的制造成本，与此同时，还可以通过光缆或者电缆的连接选择，使得通信设备可以适用于电通信或者光电通信等全方面的场景中。

结合图 17 所示的各类光电模块，以及图 18 和图 19 所示的有源光缆，本申请实施例还提供了相应的各类有源光缆。请参阅图 20，图 20 是本申请实施例提供的一组有源光缆的结构示意图。如图 20 所示，在实际应用中，本申请实施例提供的一种光电模块可以是图 20 中的有源光缆（a）、有源光缆（b）、有源光缆（c）、有源光缆（d）所示的各类结构，或者可以是上述各种结构的组合，又或者还可以是其他任何可能的结构，本申请实施例对此不作具体限

定。

如图 20 所示，有源光缆（a）可以为单通道有源光缆，可以包括光电模块 A 和光电模块 B，其中，光电模块 A 和光电模块 B 均包括单路 TX 和 RX。具体地，如图 20 所示，在有源光缆（a）中，光电模块 A 包括 TX-A 和 RX-A，光电模块 B 包括 TX-B 和 RX-B。如图 20 所示，该有源光缆（a）还可以包括空芯光纤 1 和空芯光纤 2，分别用于连接 TX-A 和 RX-B，以及 RX-A 和 TX-B。

如图 20 所示，在有源光缆（a）中，光电模块 A 中的 TX-A 输出的光信号可以通过空芯光纤 1 输入到光电模块 B 中的 RX-B；光电模块 B 中的 TX-B 输出的光信号可以通过空芯光纤 2 输入到光电模块 A 中的 RX-A，等等，此处不再详述。

如图 20 所示，有源光缆（b）可以为单纤双向有源光缆，可以包括光电模块 A 和光电模块 B，其中，光电模块 A 和光电模块 B 中不仅包含单路 TX 和 RX，还分别包括一个波分复用部件。具体地，如图 20 所示，在有源光缆（b）中，光电模块 A 包括 TX-A、RX-A 和 WDM-A，光电模块 B 包括 TX-B、RX-B 和 WDM-B。如图 20 所示，该有源光缆（b）还包括空芯光纤 1，用于连接光电模块 A 和光电模块 B，具体用于连接 WDM-A 和 WDM-B。

如图 20 所示，在有源光缆（b）中，光电模块 A 的 TX-A 输出的光信号波长与光电模块 B 的 TX-B 输出的光信号波长一般不同，可以分别为 λa 和 λb。

如图 20 所示，在有源光缆（b）中，光电模块 A 的 TX-A 输出的 λa 光信号通过 WDM-A 合波后输入空芯光纤 1，随后，光电模块 B 的 WDM-B 接收来自空芯光纤 1 的 λa 光信号，分波后输入到光电模块 B 的 RX-B。相应的，光电模块 B 的 TX-B 输出的 λb 光信号通过 WDM-B 合波后输入空芯光纤 1，随后，光电模块 A 的 WDM-A 接收来自空芯光纤 1 的 λb 光信号，分波后输入到光电模块 A 的 RX-A，等等，此处不再详述。

如图 20 所示，有源光缆（c）可以为多通道有源光缆，可以包括光电模块 A 和光电模块 B，其中，光电模块 A 和光电模块 B 可以均包括四路 TX 和 RX。具体地，如图 20 所示，在有源光缆（c）中，光电模块 A 包括 TX-A1、TX-A2、TX-A3、TX-A4，以及 RX-A1、RX-A2、RX-A3、RX-A4；光电模块 B 包括 TX-B1、TX-B2、TX-B3、TX-B4，以及 RX-B1、RX-B2、RX-B3、RX-B4。

如图 20 所示，该有源光缆（c）还包括八芯空芯光纤，具体包括空芯光纤 1、空芯光纤 2、空芯光纤 3、空芯光纤 4、空芯光纤 5、空芯光纤 6、空芯光纤 7 和空芯光纤 8，分别用于连接 TX-A1 和 RX-B1、TX-A2 和 RX-B2、TX-A3 和 RX-B3、TX-A4 和 RX-B4、RX-A1 和 TX-B1、RX-A2 和 TX-B2、RX-A3 和 TX-B3、RX-A4 和 TX-B4。

如图 20 所示，在有源光缆（c）中，光电模块 A 的 TX-A1、TX-A2、TX-A3、TX-A4 输出的光信号分别输入空芯光纤 1、空芯光纤 2、空芯光纤 3、空芯光纤 4，随后，光电模块 B 的 RX-B1、RX-B2、RX-B3、RX-B4 分别接收来自空芯光纤 1、空芯光纤 2、空芯光纤 3、空芯光纤 4 的光信号。

相应的，在有源光缆（c）中，光电模块 B 的 TX-B1、TX-B2、TX-B3、TX-B4 输出的光信号分别输入空芯光纤 5、空芯光纤 6、空芯光纤 7、空芯光纤 8，随后，光电模块 A 的 RX-A1、RX-A2、RX-A3、RX-A4 分别接收来自空芯光纤 5、空芯光纤 6、空芯光纤 7、空芯光纤 8 的光信号。

需要说明的是，如图 20 中的有源光缆（c）所示，是以 4 通道的多通道有源电缆为例，在实际应用中，该多通道有源电缆的通道数量可以是大于或者等于 2 的任何整数，本申请实施例对此不作具体限定，比如可以是 2、4、6、8、16 个通道等，相应的，所需的空芯光纤的芯数（或者说根数）可以是 4、8、12、16、32。

如图 20 所示，有源光缆（d）可以为波分复用有源光缆，可以包括光电模块 A 和光电模块 B，其中，光电模块 A 和光电模块 B 可以均包括四路 TX 和 RX，以及 TX 方向 WDM 和 RX 方向 WDM。具体地，如图 20 所示，在有源光缆（d）中，光电模块 A 包括 TX-A1、TX-A2、TX-A3、TX-A4 和 WDM-TXA，以及 RX-A1、RX-A2、RX-A3、RX-A4 和 WDM-RXA；光电模块 B 包括 TX-B1、TX-B2、TX-B3、TX-B4 和 WDM-TXB，以及 RX-B1、RX-B2、RX-B3、RX-B4 和 WDM-RXB。

如图 20 所示，该有源光缆（d）还包括空芯光纤 1，用于连接光电模块 A 中的 WDM-TXA 和光电模块 B 中的 WDM-RXB，以及空芯光纤 2，用于连接光电模块 A 中的 WDM-RXA 和光电模块 B 中的 WDM-TXB。

如图 20 所示，在有源光缆（d）中，光电模块 A 中四通道 TX 输出的光信号波长一般会不同，可以分别为 λa1、λa2、λa3 和 λa4；相应的，光电模块 B 中四通道 TX 输出的光信号波长也会有所不同，可以分别为 λb1、λb2、λb3 和 λb4。

如图 20 所示，在有源光缆（d）中，光电模块 A 的 TX-A1、TX-A2、TX-A3 和 TX-A4 各自输出的 λa1 光信号、λa2 光信号、λa3 光信号和 λa4 光信号通过 WDM-TXA 合波后输入空芯光纤 1，随后，光电模块 B 的 WDM-RXB 接收来自空芯光纤 1 的合波光信号，分波后得到的 λa1 光信号、λa2 光信号、λa3 光信号和 λa4 光信号分别输入到光电模块 B 的 RX-B1、RX-B2、RX-B3 和 RX-B4。

相应的，光电模块 B 的 TX-B1、TX-B2、TX-B3 和 TX-B4 各自输出的 λb1 光信号、λb2 光信号、λb3 光信号和 λb4 光信号通过 WDM-TXB 合波后输入空芯光纤 2，随后，光电模块 A 的 WDM-RXA 接收来自空芯光纤 2 的合波光信号，分波后得到的 λb1 光信号、λb2 光信号、λb3 光信号和 λb4 光信号分别输入到光电模块 A 的 RX-A1、RX-A2、RX-A3 和 RX-A4，等等，此处不再详述。

需要说明的是，如图 20 中的有源光缆（d）所示，是以 4 通道的波分复用有源电缆为例，在实际应用中，该波分复用有源光缆的通道数量可以是大于或者等于 2 的任何整数，比如 4、6、8 或者 16 个通道等，相应的，在空芯光纤 1 和空芯光纤 2 中传输的可以是 4、6、8 或者 16 波复用的光信号，等等，本申请实施例对此不作具体限定。例如，光电模块 A 的发送通道可以包括 TX-A1、TX-A2、TX-A3、TX-A4、TX-A5、TX-A6、TX-A7 和 TX-A8，光电模块 A 的接收通道可以包括 RX-A1、RX-A2、RX-A3、RX-A4、RX-A5、RX-A6、RX-A7 和 RX-A8，光电模块 B 同理，此处不再进行赘述。

结合图 20 中所示的有源光缆（d），进一步地，请参阅图 21，图 21 是本申请实施例提供的另一种有源光缆的结构示意图。如图 21 所示，该有源光缆（e）可以是多通道并行波分复用有源光缆，是一种更复杂的有源光缆结构。

如图 21 所示，有源光缆（e）包括光电模块 A 和光电模块 B，其中，光电模块 A 和光电模块 B 内均包括两组如有源光缆（d）中的四通道波分复用。具体地，如图 21 所示，光电模

块 A 和光电模块 B 均包括 8 通道 TX 和 8 通道 RX，以及相应的 4 个波分复用部件（例如 WDM-TX1-A、WDM-TX2-A、WDM-RX1-A 和 WDM-RX2-A，以及 WDM-TX1-B、WDM-TX2-B、WDM-RX1-B 和 WDM-RX2-B）。如图 21 所示，有源光缆（e）还可以包括空芯光纤 1、空芯光纤 2、空芯光纤 3、空芯光纤 4，分别用于连接 WDM-TX1-A 和 WDM-RX1-B、WDM-TX2-A 和 WDM-RX2-B、WDM-RX1-A 和 WDM-TX1-B、WDM-RX2-A 和 WDM-TX2-B。具体地，有关有源光缆（e）的详细介绍可参考上述图 20 中对有源光缆（d）的描述，此处不再进行赘述。

可选地，如图 21 中的有源光缆（e）所示，是以 2 组 4 通道的并行波分复用有源光缆为例，在实际应用中，该多通道并行波分复用有源光缆的也可以是 4 组 4 通道的并行波分复用有源光缆，或者 4 组 6 通道的并行波分复用有源光缆，又或者 6 组 2 通道的并行波分复用有源光缆，等等，每组均可以通过两芯空芯光纤互连，本申请实施例对此不作具体限定。例如，以 4 组，每组 4 波长为例（也即 4 通道），光电模块 A 和光电模块 B 内均可以包含：16 通道 TX 和 16 通道 RX，4 个发送方向 WDM，4 个接收方向 WDM，其中，每 4 个通道做一次波分复用/解复用，并通过 8 芯空芯光纤互连，等等，此处不再详述。

综上，本申请实施例提供了一种光电模块，通过在光电模块内采用模拟均衡器替代原有的 CDR 的方法，实现直接在模拟域对接收到的电信号进行均衡处理，降低信号的码间干扰，显然，采用模拟均衡器可以直接避免数字逻辑处理和多次串并转换等操作复杂、耗时长的过程，如此，在保证信号质量的同时，大大减少了信号在光电模块内的传输时延，进而减少了设备的计算等待时间，提升了整体的计算能力。

另外，本申请实施例还通过采用高速无源部件替代原有中继 CDR 的方法，在传输高速电信号的场景中，可以进一步减少了信号在数字信号接口单元至光电模块的信号传输损耗和信号传输时延。

另外，本申请实施例还通过采用空芯光纤替代原有实芯光纤的方法，进一步减少信号在光纤中的传输时延。如上所述，采用本申请实施例可以在保证信号传输质量的同时，最大化的缩短信号从一个设备传输到另一设备的传输时延，简言之，可以有效保证一个通信系统内的某一通信设备可以在极短的时间内接收到高质量的信号，从而可以极大程度上提升整个通信系统的计算能力。

进一步地，结合本申请实施例提供的光电模块，本申请实施例还提供了一种有源光缆，可以将两个光电模块分别与空芯光纤的两端直接耦合并封装成一个整体，如此，相较于原有技术中，光电模块位于通信设备内部，需要通过适配器才能与光纤连接，从而导致插损大的方案而言，本申请实施例提供的有源光缆可以很好的降低甚至避免光电模块与光纤之间的插损，相当于光信号的插损可以仅剩余光信号在光纤内部传输时产生的损耗，从而可以进一步保证信号传输时的质量。并且，在实际应用时，只需将有源光缆的两端分别接入两个通信设备，操作便捷。

请参阅图 22，图 22 是本申请实施例提供的一种利用光电模块的通信方法的流程示意图。该通信方法可以应用于通信设备（例如通信设备 10 和通信设备 20，如上述图 6 所述的交换机、服务器，内存资源池和存储资源池等中的任意一个）。该通信设备可以包括光电模块；所述光电模块包括模拟均衡器和光电转换单元；所述模拟均衡器与光电转换单元连接。可选地，

该通信方法可以应用于上述图 6 所述的系统架构或者类似的系统架构中，该通信方法可以包括以下步骤 S301-步骤 S302。

步骤 S301，通过光电模块内的模拟均衡器，对第一电信号进行第一模拟信号均衡处理以得到第二电信号，并发送所述第二电信号至光电转换单元，或，通过所述模拟均衡器从所述光电转换单元接收第三电信号，对所述第三电信号进行第二模拟信号均衡处理以得到第四电信号；步骤 S302，通过光电模块内的光电转换单元，从所述模拟均衡器接收所述第二电信号并将所述第二电信号转换为第一光信号，或，通过所述光电转换单元将第二光信号转换为所述第三电信号并向所述模拟均衡器发送所述第三电信号。

在一些可能的实施方式中，该方法具体可以包括：通过光电转换单元中的第一光电转换器，从所述模拟均衡器接收所述第二电信号并将所述第二电信号转换为所述第一光信号；通过模拟均衡器中的发送均衡器，对所述第一电信号进行所述第一模拟信号均衡处理以得到所述第二电信号，并发送所述第二电信号至所述第一光电转换器。

在一些可能的实施方式中，该方法具体可以包括：通过光电转换单元中的第二光电转换器，将所述第二光信号转换为所述第三电信号并向所述模拟均衡器发送所述第三电信号；通过模拟均衡器中的接收均衡器，从所述第二光电转换器接收所述第三电信号，对所述第三电信号进行所述第二模拟信号均衡处理以得到所述第四电信号。

可选地，该利用光电模块的通信方法具体可参考上述图 7-图 11 对应实施例的描述，此处不再进行赘述。

可选地，本申请实施例中所描述的该利用光电模块的通信方法中的各方法流程具体可以基于件、硬件、或其结合的方式实现。其中，以硬件实现的方式可以包括逻辑电路、算法电路或模拟电路等。以软件实现的方式可以包括程序指令，可以被视为是一种软件产品，被存储于存储器中，并可以被处理器运行以实现相关功能。

本申请实施例还提供一种计算机可读存储介质，其中，该计算机可读存储介质可存储有程序，该程序被处理器执行时，使得所述处理器可以执行上述方法实施例中记载的任意一种的部分或全部步骤。

本申请实施例还提供一种计算机程序，该计算机程序包括指令，当该计算机程序被多核处理器执行时，使得所述处理器可以执行上述方法实施例中记载的任意一种的部分或全部步骤。

在上述实施例中，对各个实施例的描述都各有侧重，某个实施例中没有详述的部分，可以参见其它实施例的相关描述。需要说明的是，对于前述的各方法实施例，为了简单描述，故将其都表述为一系列的动作组合，但是本领域技术人员应该知悉，本申请并不受所描述的动作顺序的限制，因为依据本申请，某些步骤可能可以采用其它顺序或者同时进行。其次，本领域技术人员也应该知悉，说明书中所描述的实施例均属于优选实施例，所涉及的动作和模块并不一定是本申请所必须的。

在本申请所提供的几个实施例中，应该理解到，所揭露的装置，可通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，例如上述单元的划分，仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到

另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另一点，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口，装置或单元的间接耦合或通信连接，可以是电性或其它的形式。

上述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

另外，在本申请各实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能单元的形式实现。

上述集成的单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用时，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解，本申请的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的全部或部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可以为个人计算机、服务器或者网络设备等，具体可以是计算机设备中的处理器）执行本申请各个实施例上述方法的全部或部分步骤。其中，而前述的存储介质可包括：U 盘、移动硬盘、磁碟、光盘、只读存储器（read-only memory，ROM）、双倍速率同步动态随机存储器（double data rate，DDR）、闪存（flash）或者随机存取存储器（random access memory，RAM）等各种可以存储程序代码的介质。

以上所述，以上实施例仅用以说明本申请的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述实施例对本申请进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的精神和范围。

权利要求

1.一种光电模块，其特征在于，包括模拟均衡器和光电转换单元，所述模拟均衡器和所述光电转换单元连接；

所述模拟均衡器，用于对第一电信号进行第一模拟信号均衡处理以得到第二电信号，并发送所述第二电信号至所述光电转换单元，或，用于从所述光电转换单元接收第三电信号，对所述第三电信号进行第二模拟信号均衡处理以得到第四电信号；

所述光电转换单元，用于从所述模拟均衡器接收所述第二电信号并将所述第二电信号转换为第一光信号，或，用于将第二光信号转换为所述第三电信号并向所述模拟均衡器发送所述第三电信号。

2.根据权利要求 1 所述的光电模块，其特征在于，所述光电转换单元包括：第一光电转换器，用于从所述模拟均衡器接收所述第二电信号并将所述第二电信号转换为所述第一光信号；

所述模拟均衡器包括：发送均衡器，用于对所述第一电信号进行所述第一模拟信号均衡处理以得到所述第二电信号，并发送所述第二电信号至所述第一光电转换器。

3.根据权利要求 2 所述的光电模块，其特征在于，所述发送均衡器包括第一连续时间线性均衡器 CTLE、第一低频均衡器 LFEQ、第一电平失配补偿电路中的至少一种。

4. 根据权利要求 3 所述的光电模块，其特征在于，所述发送均衡器包括：串联的所述第一 CTLE、所述第一 LFEQ 和所述第一电平失配补偿电路。

5.根据权利要求 1-4 任一项所述的光电模块，其特征在于，所述光电转换单元包括：第二光电转换器，用于将所述第二光信号转换为所述第三电信号并向所述模拟均衡器发送所述第三电信号；

所述模拟均衡器包括：接收均衡器，用于从所述第二光电转换器接收所述第三电信号，对所述第三电信号进行所述第二模拟信号均衡处理以得到所述第四电信号。

6. 根据权利要求 5 所述的光电模块，其特征在于，所述接收均衡器包括第二 CTLE、第二 LFEQ、第二电平失配补偿电路中的至少一种。

7. 根据权利要求 6 所述的光电模块，其特征在于，所述接收均衡器包括：串联的所述第二 CTLE、所述第二 LFEQ 和所述第二电平失配补偿电路。

8.一种通信设备，其特征在于，包括数字信号接口单元，以及如权利要求 1-7 任意一项所述的光电模块；

所述数字信号接口单元，用于从处理设备接收第一数字电信号，将所述第一数字电信号转换为所述第一电信号，并发送所述第一电信号至所述模拟均衡器，或，用于从所述模拟均衡器接收所述第四电信号，将所述第四电信号转换为第二数字电信号，并发送所述第二数字

电信号至所述处理设备。

9.根据权利要求 8 所述的设备，其特征在于，所述设备还包括：高速无源部件，用于连接所述数字信号接口单元与所述模拟均衡器。

10.根据权利要求 9 所述的设备，其特征在于，所述高速无源部件包括第一高速接插件、第二高速接插件和高速电缆，所述第一高速接插件与所述第二高速接插件通过所述高速电缆连接；所述第一高速接插件与所述数字信号接口单元连接，所述第二高速接插件与所述模拟均衡器连接。

11.根据权利要求 9 所述的设备，其特征在于，所述高速无源部件包括第一高速接插件，所述第一高速接插件连接在所述数字信号接口单元与所述模拟均衡器之间；

所述设备还包括：第一空芯光纤和空芯光纤连接器；

所述第一空芯光纤与所述光电转换单元连接，用于发送所述第一光信号或接收所述第二光信号；

所述空芯光纤连接器，用于将所述第一光信号发送至第二空芯光纤或从所述第二空芯光纤接收所述第二光信号。

12.一种有源光缆，其特征在于，包括至少两个如权利要求 1-7 任一项所述的光电模块，以及空芯光纤；所述至少两个光电模块通过所述空芯光纤连接。

13.一种通信系统，其特征在于，包括多个通信设备，所述多个通信设备之间通过如权利要求 12 所述的有源光缆连接。

14. 根据权利要求 13 所述的通信系统，其特征在于，所述多个通信设备包括至少一个如权利要求 8 至 11 中任一项所述的设备。

15.一种利用光电模块的通信方法，其特征在于，包括：

通过所述光电模块内的模拟均衡器，对第一电信号进行第一模拟信号均衡处理以得到第二电信号，并发送所述第二电信号至光电转换单元，或，通过所述模拟均衡器从所述光电转换单元接收第三电信号，对所述第三电信号进行第二模拟信号均衡处理以得到第四电信号；

通过所述光电模块内的所述光电转换单元，从所述模拟均衡器接收所述第二电信号并将所述第二电信号转换为第一光信号，或，通过所述光电转换单元将第二光信号转换为所述第三电信号并向所述模拟均衡器发送所述第三电信号。

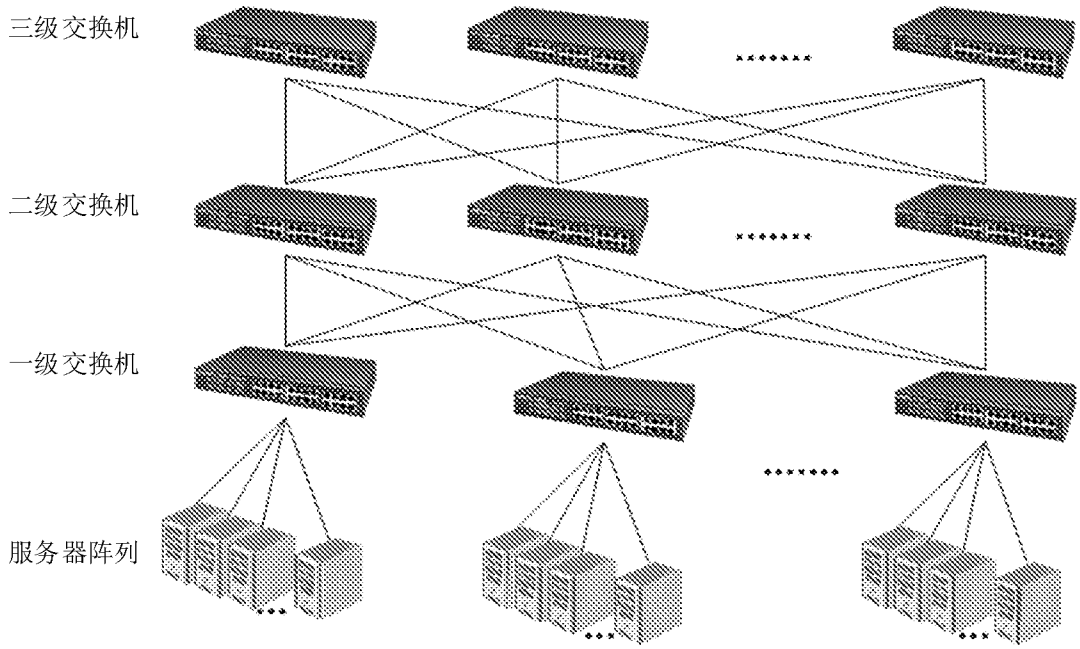

三级交换机
二级交换机
一级交换机
服务器阵列

图 1

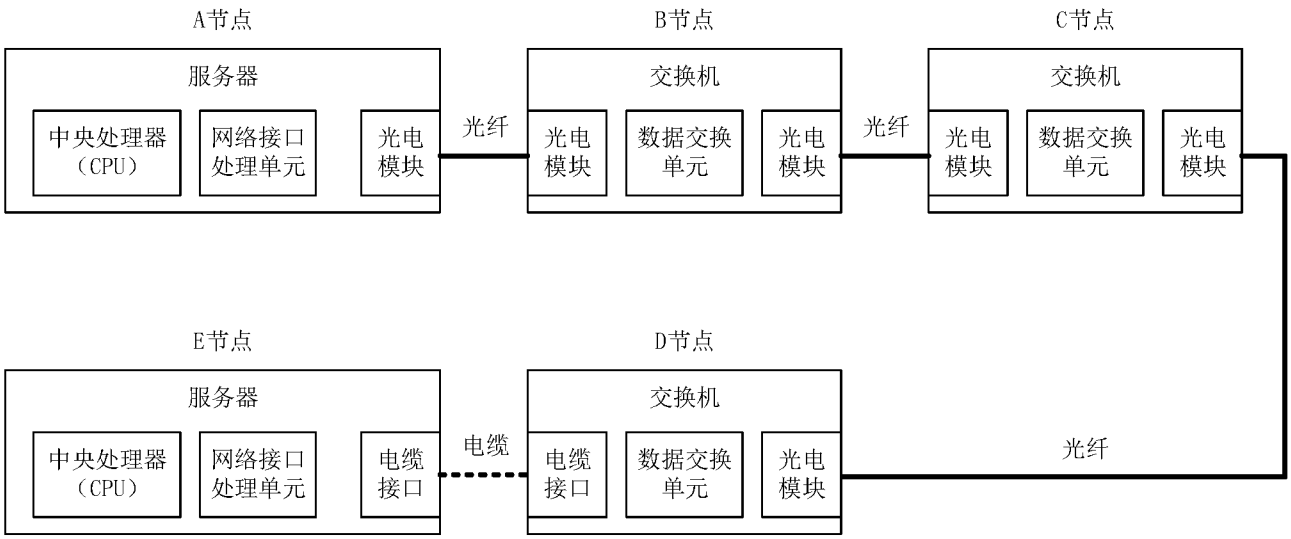

A节点
服务器
中央处理器（CPU）
网络接口处理单元
光电模块
光纤
B节点
交换机
光电模块
数据交换单元
光电模块
光纤
C节点
交换机
光电模块
数据交换单元
光电模块
E节点
服务器
中央处理器（CPU）
网络接口处理单元
电缆接口
电缆
D节点
交换机
电缆接口
数据交换单元
光电模块
光纤

图 2

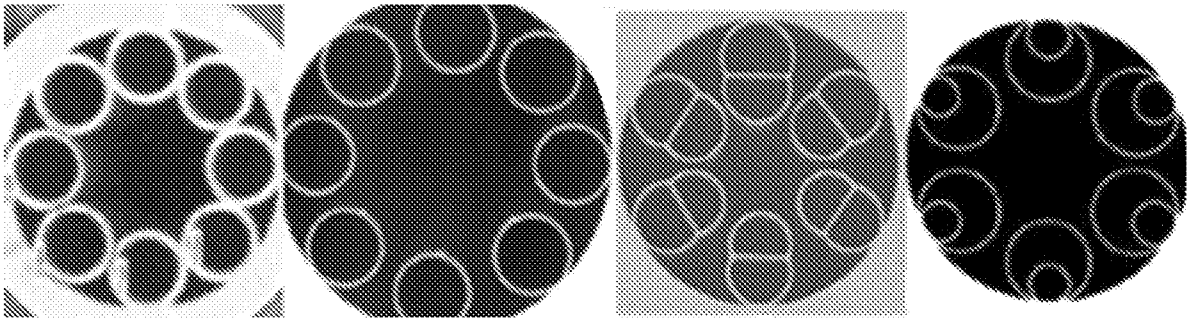

(a)
(b)
(c)
(d)

图 3

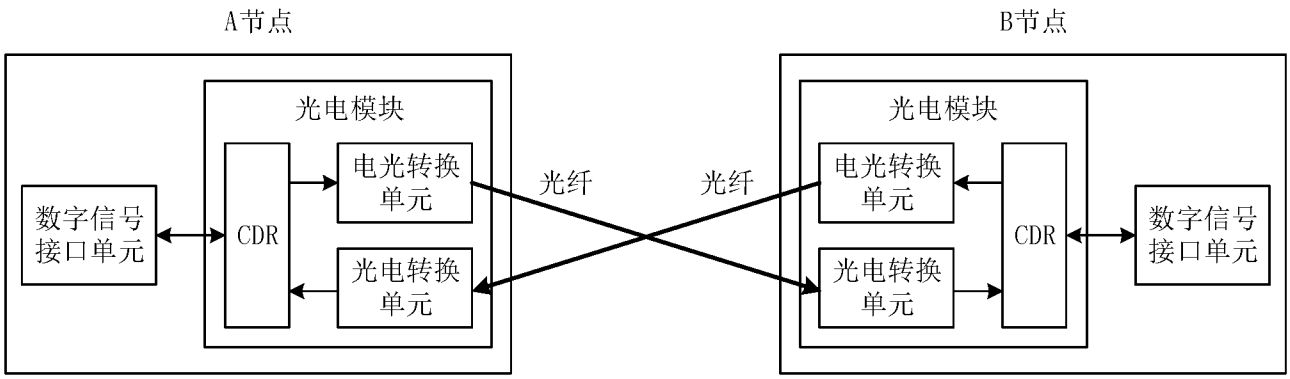

A节点
B节点
光电模块
光电模块
数字信号接口单元
CDR
电光转换单元
光电转换单元
光纤
光纤
电光转换单元
光电转换单元
CDR
数字信号接口单元

图 4

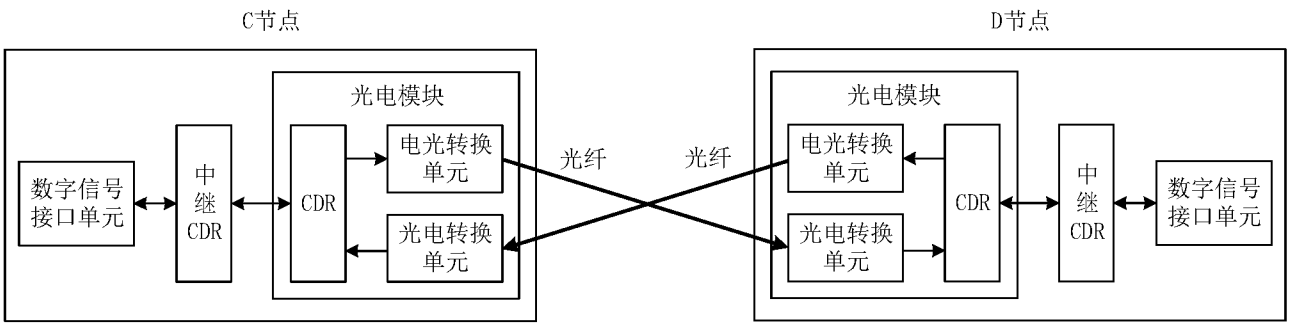

C节点
D节点
光电模块
光电模块
数字信号接口单元
中继CDR
CDR
电光转换单元
光电转换单元
光纤
光纤
电光转换单元
光电转换单元
CDR
中继CDR
数字信号接口单元

图 5

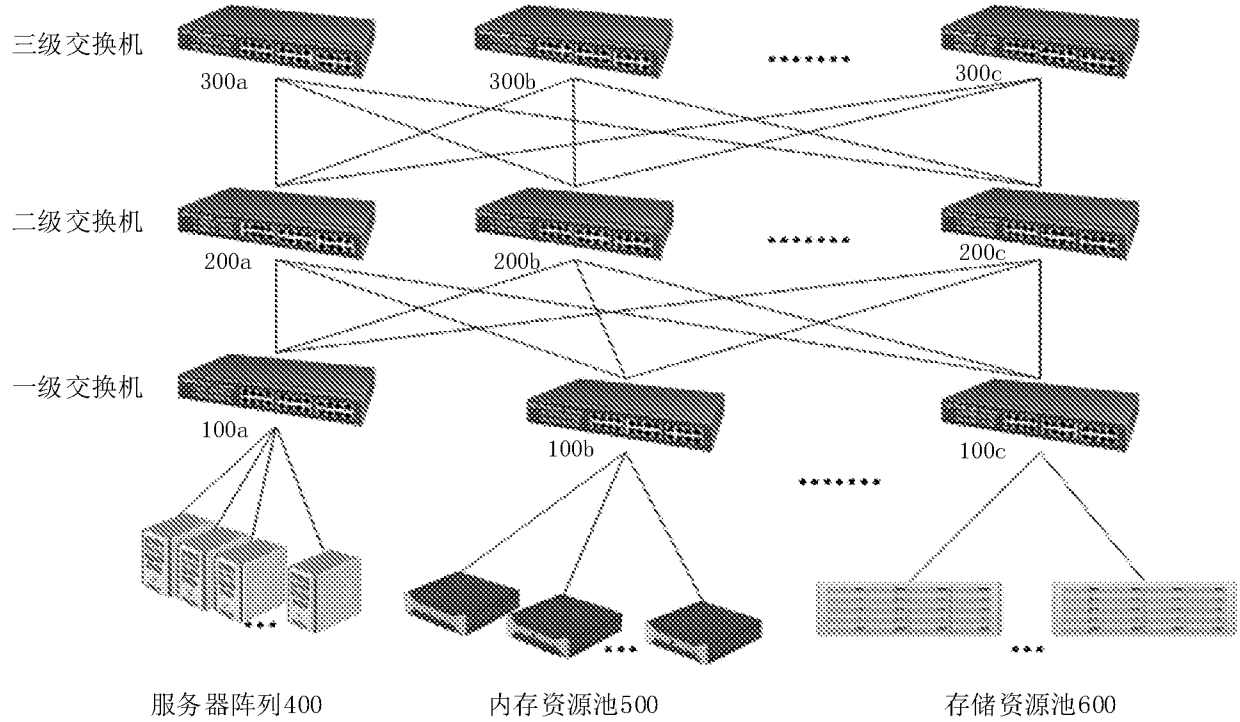

三级交换机
300a
300b
300c
二级交换机
200a
200b
200c
一级交换机
100a
100b
100c
服务器阵列400
内存资源池500
存储资源池600

图 6

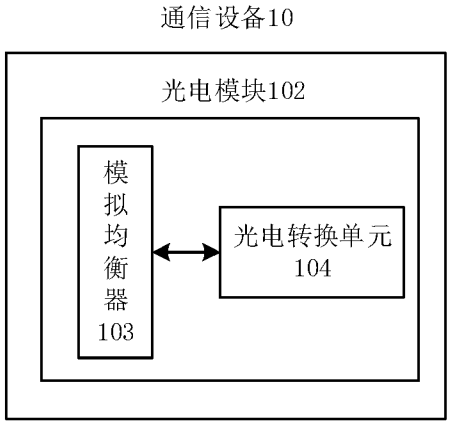

通信设备10
光电模块102
模拟均衡器103
光电转换单元104

图 7

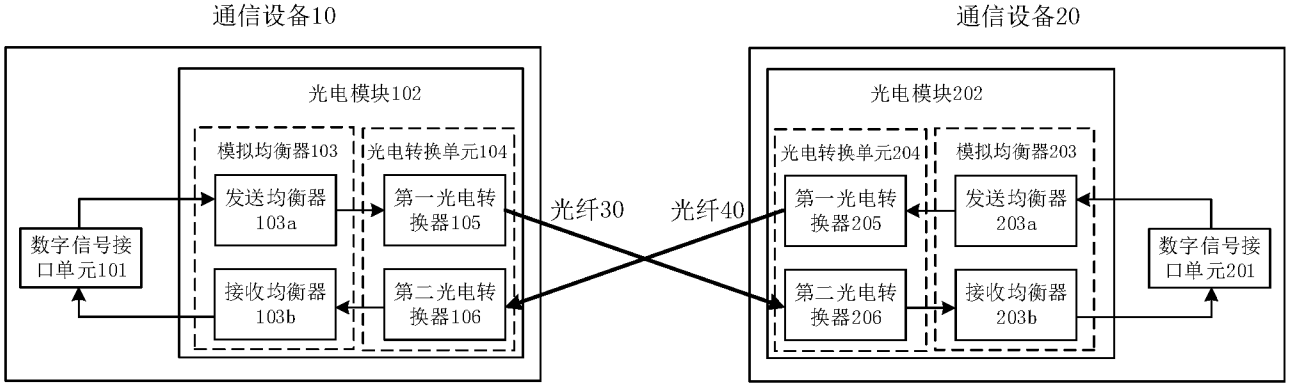

通信设备10
光电模块102
模拟均衡器103
光电转换单元104
发送均衡器103a
第一光电转换器105
数字信号接口单元101
接收均衡器103b
第二光电转换器106
光纤30
光纤40
通信设备20
光电模块202
光电转换单元204
模拟均衡器203
第一光电转换器205
发送均衡器203a
数字信号接口单元201
第二光电转换器206
接收均衡器203b

图 8

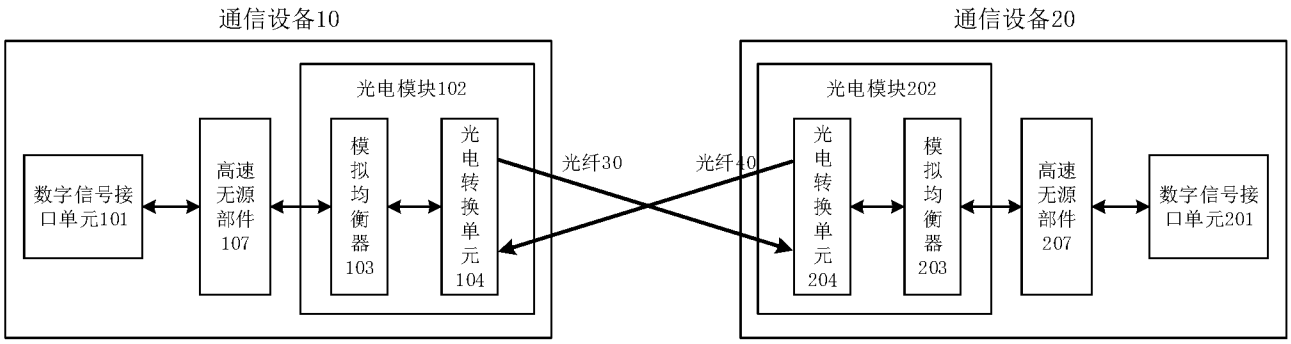

通信设备10
光电模块102
数字信号接口单元101
高速无源部件107
模拟均衡器103
光电转换单元104
光纤30
光纤40
通信设备20
光电模块202
光电转换单元204
模拟均衡器203
高速无源部件207
数字信号接口单元201

图 9

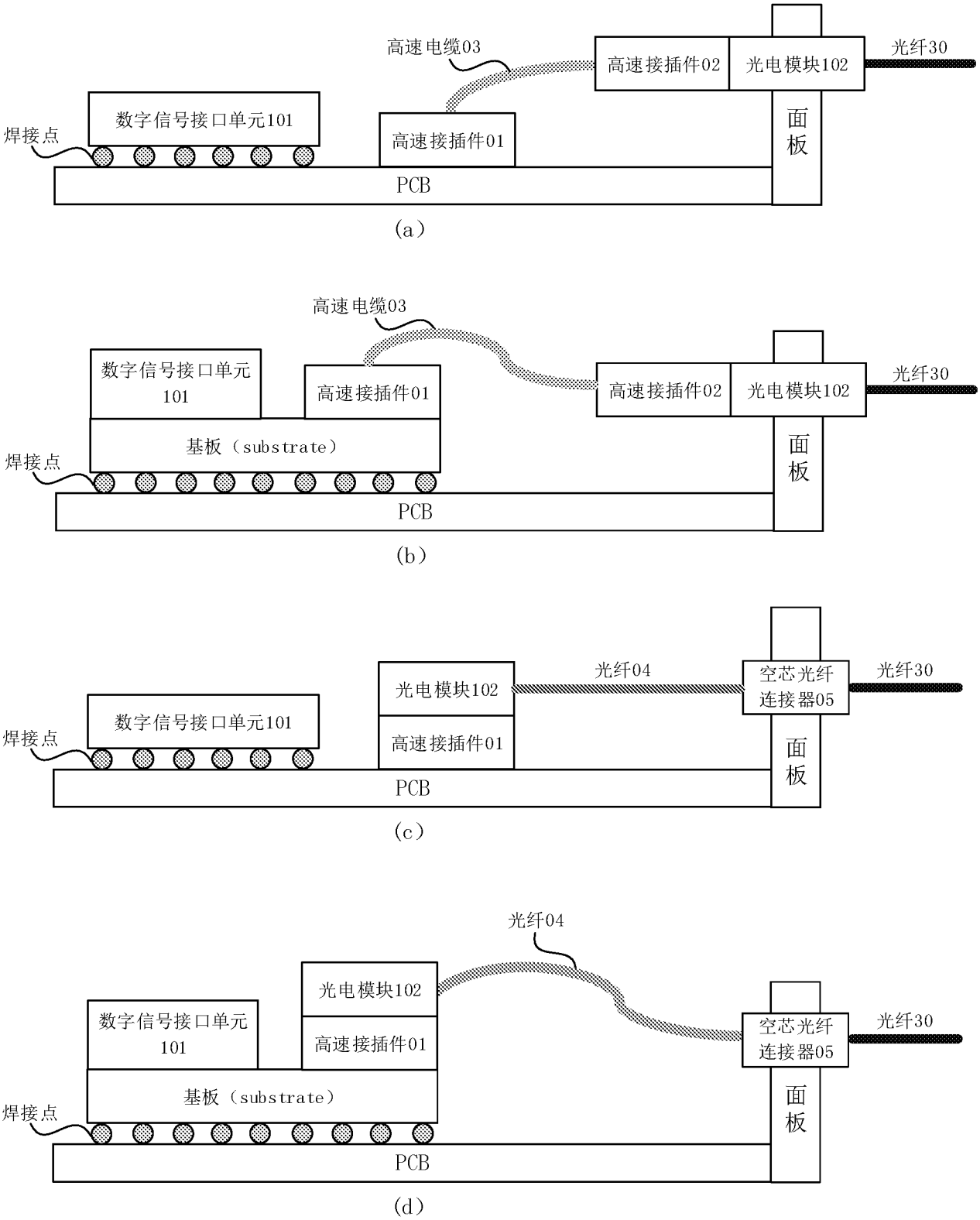

高速电缆03
高速接插件02
光电模块102
光纤30
数字信号接口单元101
焊接点
高速接插件01
面板
PCB
(a)
高速电缆03
数字信号接口单元101
高速接插件01
高速接插件02
光电模块102
光纤30
基板（substrate）
焊接点
面板
PCB
(b)
光电模块102
光纤04
空芯光纤连接器05
光纤30
数字信号接口单元101
焊接点
高速接插件01
面板
PCB
(c)
光纤04
光电模块102
空芯光纤连接器05
光纤30
数字信号接口单元101
高速接插件01
基板（substrate）
焊接点
面板
PCB
(d)

图 10

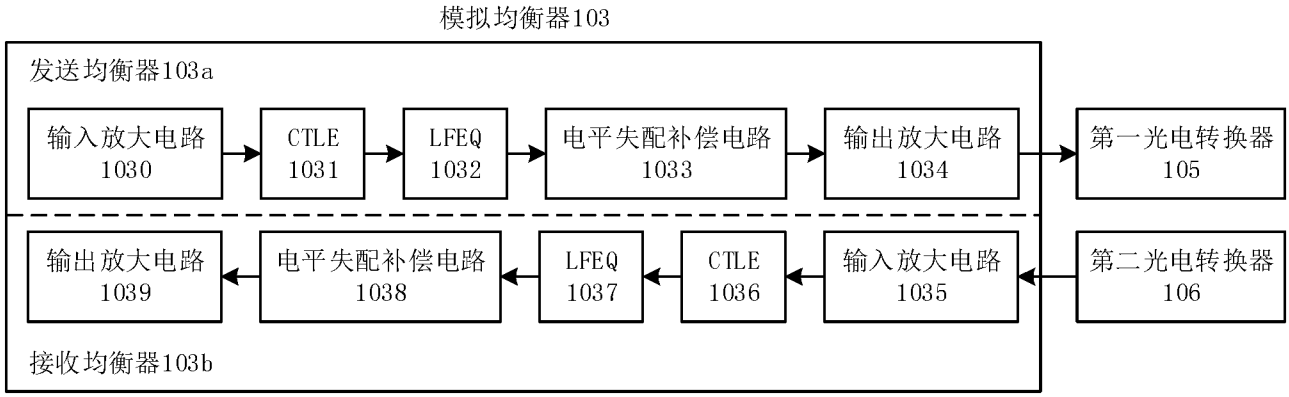

模拟均衡器103
发送均衡器103a
输入放大电路 1030
CTLE 1031
LFEQ 1032
电平失配补偿电路 1033
输出放大电路 1034
第一光电转换器 105
输出放大电路 1039
电平失配补偿电路 1038
LFEQ 1037
CTLE 1036
输入放大电路 1035
第二光电转换器 106
接收均衡器103b

图 11

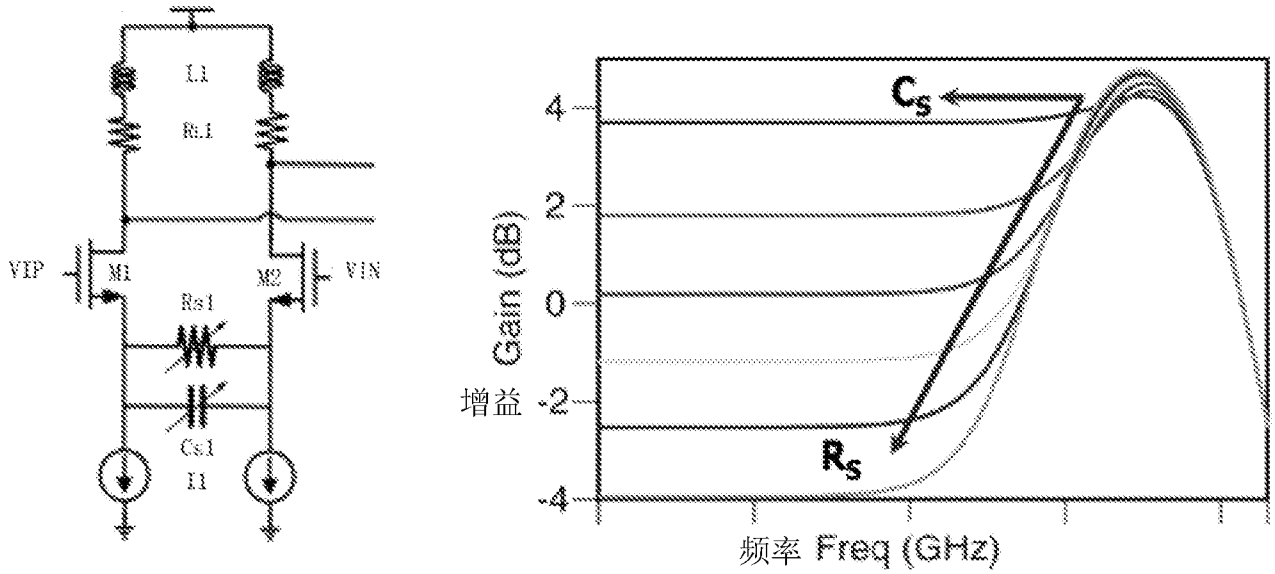

L1
RL1
VIP
M1
M2
VIN
Rs1
Cs1
I1
Gain (dB)
增益
4
2
0
-2
-4
Cs
Rs
频率 Freq (GHz)

图 12

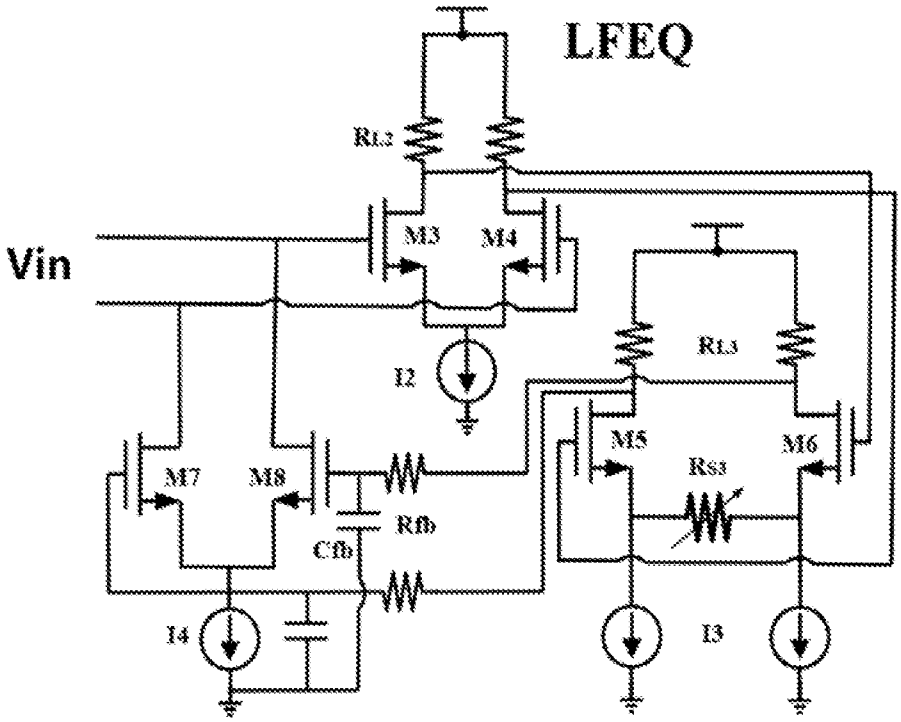
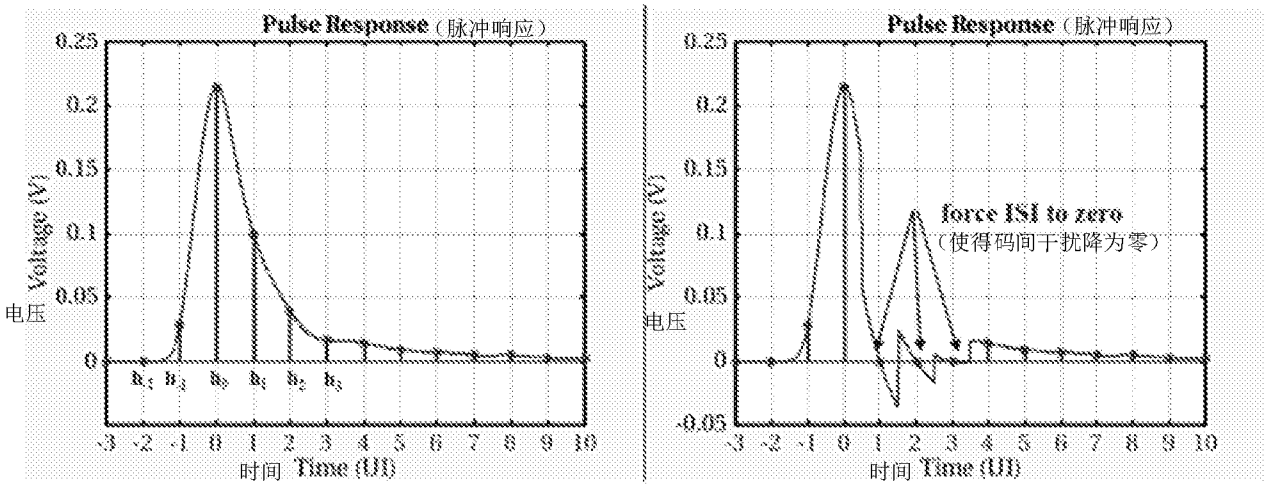


图 13



Single bit response after loss channel
（产生传输损耗后的单比特响应）

Single bit response after 3 tap DFE
（施加3拍DFE后的单比特响应）

图 14

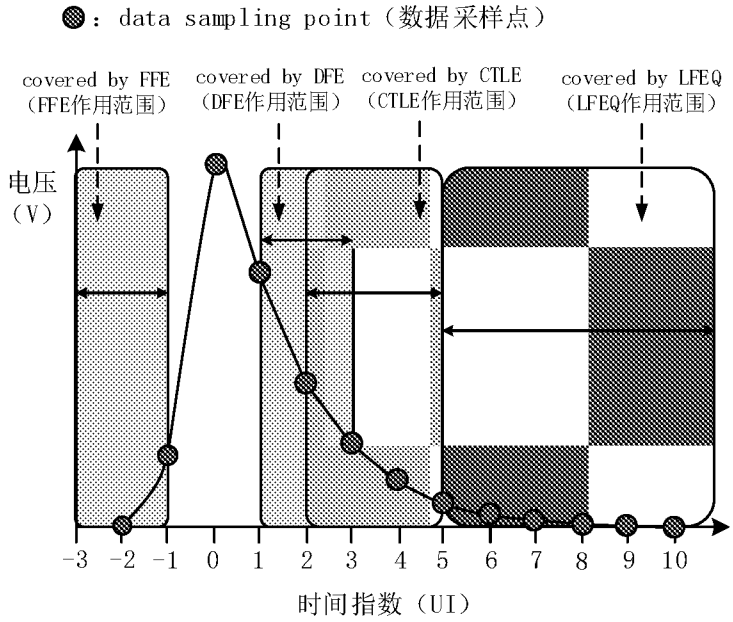

●：data sampling point（数据采样点）
covered by FFE
（FFE作用范围）
covered by DFE
（DFE作用范围）
covered by CTLE
（CTLE作用范围）
covered by LFEQ
（LFEQ作用范围）
电压
（V）
-3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
时间指数（UI）

图 15

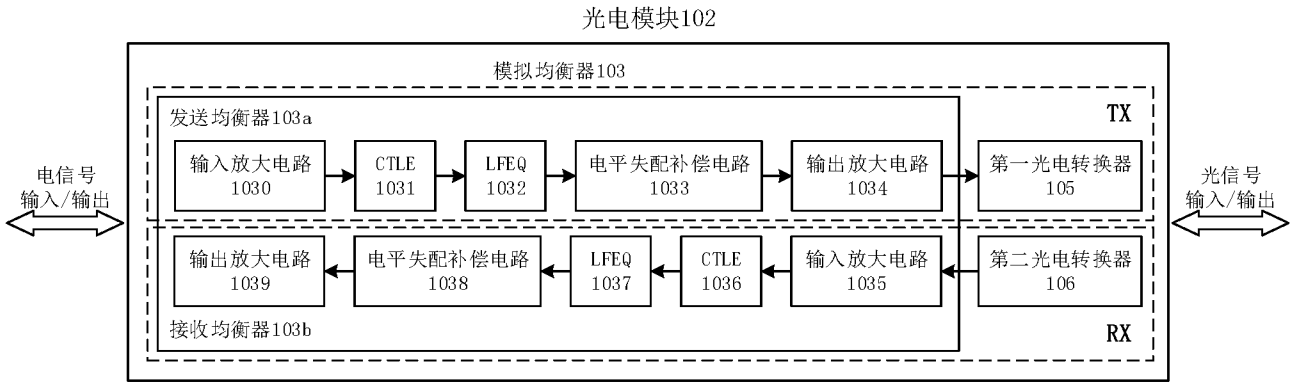

光电模块102
模拟均衡器103
发送均衡器103a
TX
输入放大电路
1030
CTLE
1031
LFEQ
1032
电平失配补偿电路
1033
输出放大电路
1034
第一光电转换器
105
电信号
输入/输出
光信号
输入/输出
输出放大电路
1039
电平失配补偿电路
1038
LFEQ
1037
CTLE
1036
输入放大电路
1035
第二光电转换器
106
接收均衡器103b
RX

图 16

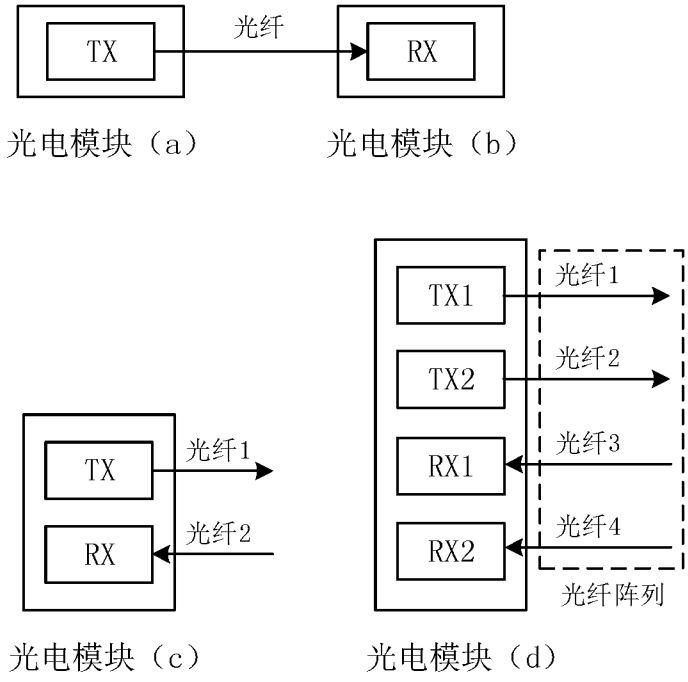

TX
光纤
RX
光电模块（a）
光电模块（b）
TX
RX
光纤1
光纤2
TX1
TX2
RX1
RX2
光纤1
光纤2
光纤3
光纤4
光纤阵列
光电模块（c）
光电模块（d）
TX
RX
WDM
光纤
TX1
TX2
RX1
RX2
WDM1
WDM2
光纤1
光纤2
光电模块（e）
光电模块（f）

图 17

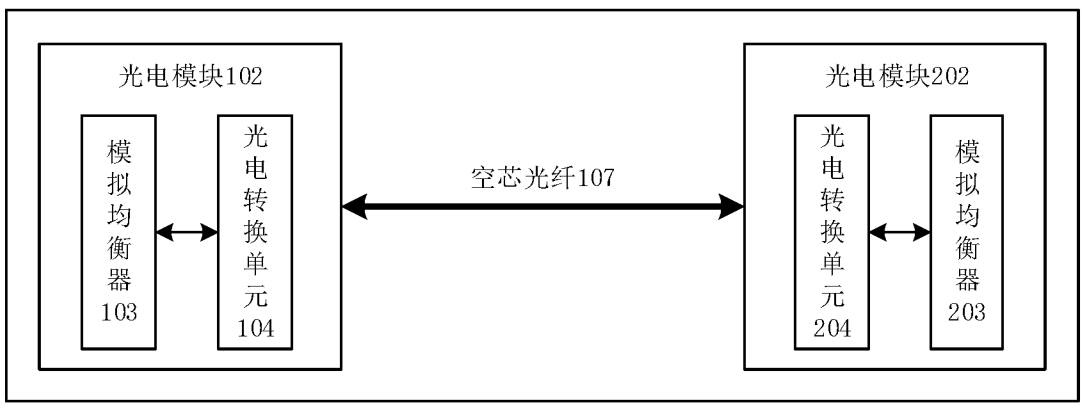

有源光缆50
光电模块102
模拟均衡器103
光电转换单元104
空芯光纤107
光电模块202
光电转换单元204
模拟均衡器203

图 18

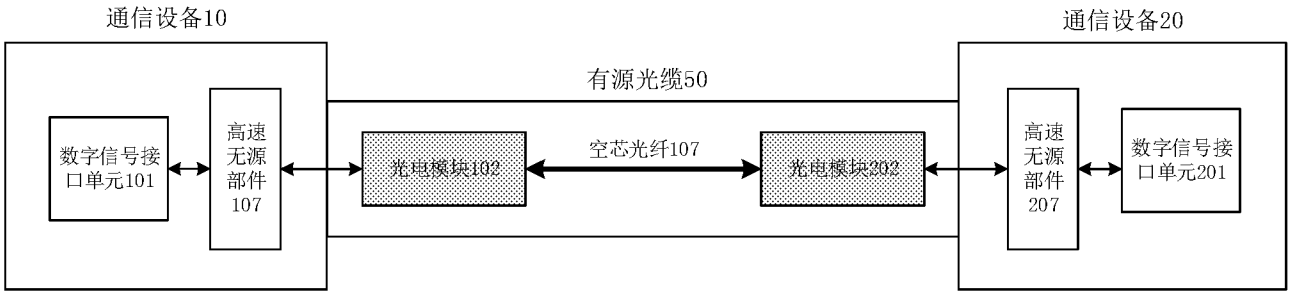
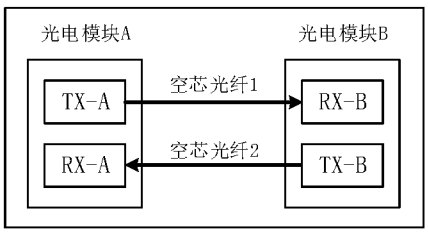
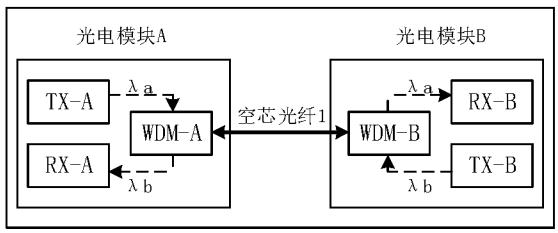


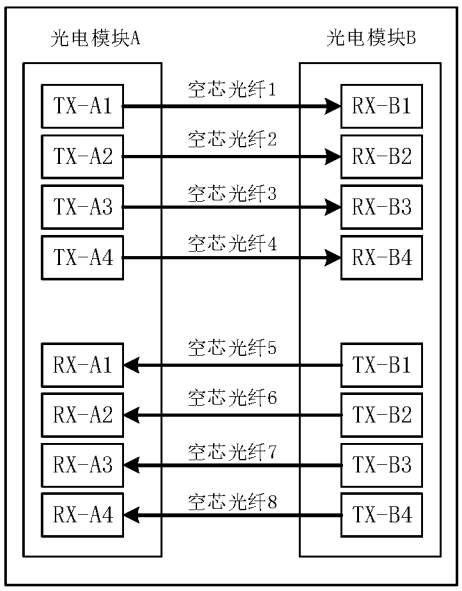
图 19



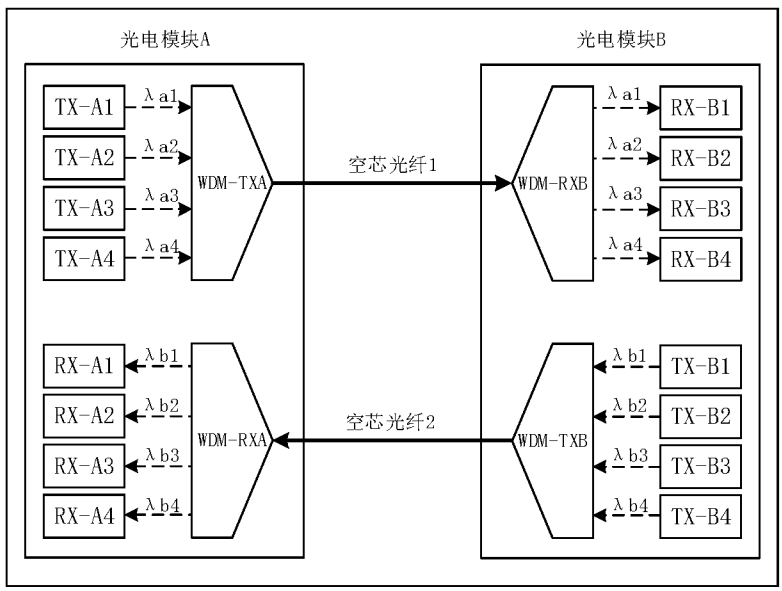
有源光缆(a)



有源光缆(b)

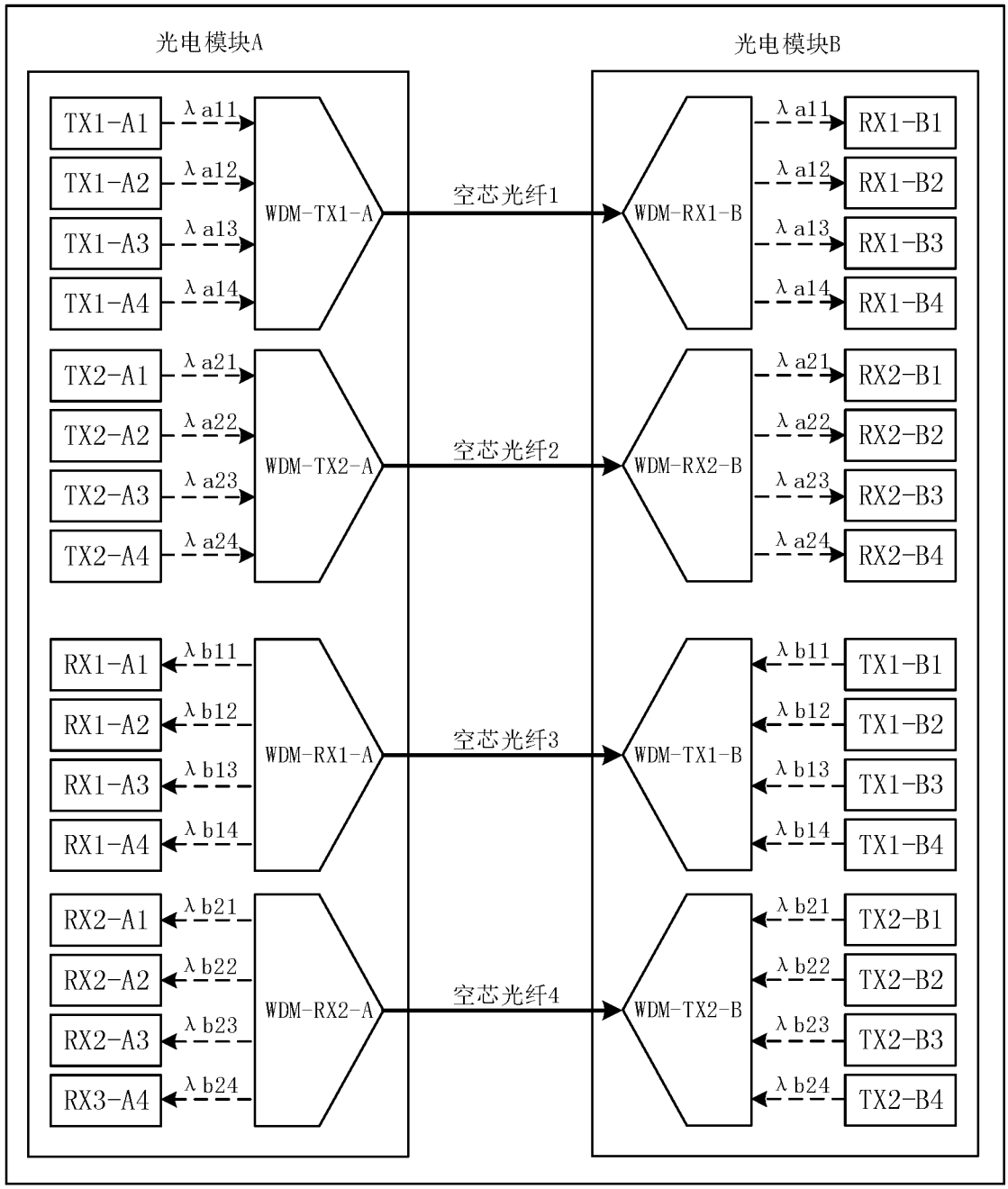


有源光缆(c)



有源光缆(d)

图 20


光电模块A
光电模块B
TX1-A1
TX1-A2
TX1-A3
TX1-A4
λa11
λa12
λa13
λa14
WDM-TX1-A
空芯光纤1
WDM-RX1-B
RX1-B1
RX1-B2
RX1-B3
RX1-B4
TX2-A1
TX2-A2
TX2-A3
TX2-A4
λa21
λa22
λa23
λa24
WDM-TX2-A
空芯光纤2
WDM-RX2-B
RX2-B1
RX2-B2
RX2-B3
RX2-B4
RX1-A1
RX1-A2
RX1-A3
RX1-A4
λb11
λb12
λb13
λb14
WDM-RX1-A
空芯光纤3
WDM-TX1-B
TX1-B1
TX1-B2
TX1-B3
TX1-B4
RX2-A1
RX2-A2
RX2-A3
RX3-A4
λb21
λb22
λb23
λb24
WDM-RX2-A
空芯光纤4
WDM-TX2-B
TX2-B1
TX2-B2
TX2-B3
TX2-B4

有源光缆(e)

图 21

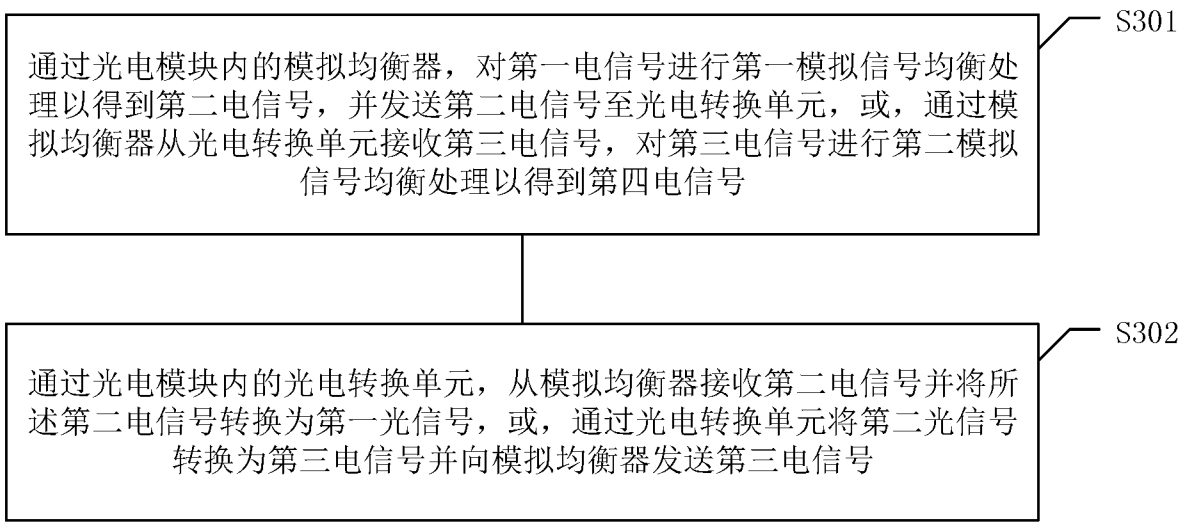

S301
通过光电模块内的模拟均衡器，对第一电信号进行第一模拟信号均衡处理以得到第二电信号，并发送第二电信号至光电转换单元，或，通过模拟均衡器从光电转换单元接收第三电信号，对第三电信号进行第二模拟信号均衡处理以得到第四电信号
S302
通过光电模块内的光电转换单元，从模拟均衡器接收第二电信号并将所述第二电信号转换为第一光信号，或，通过光电转换单元将第二光信号转换为第三电信号并向模拟均衡器发送第三电信号

图 22

INTERNATIONAL SEARCH REPO

International application No.

PCT/CN2021/107037

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 10/556(2013.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: 光信号, 电信号, 均衡, 光电转换, 模拟, 数字, CTLE, LFEQ, 接口, optical signal, electrical signal, equalization, analog, digital, interface

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 109218235 A (FIBERHOME TECHNOLOGIES GROUP CO., LTD.) 15 January 2019 (2019-01-15) description, paragraphs 0012-0028, and figures 1-2	1-4, 12-13, 15
Y	CN 109218235 A (FIBERHOME TECHNOLOGIES GROUP CO., LTD.) 15 January 2019 (2019-01-15) description, paragraphs 0012-0028, and figures 1-2	2-14
X	CN 101662326 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. et al.) 03 March 2010 (2010-03-03) description, page 8, paragraph 2 to page 12, paragraph 2, and figures 2-8	1, 5-15
Y	CN 101662326 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. et al.) 03 March 2010 (2010-03-03) description, page 8, paragraph 2 to page 12, paragraph 2, and figures 2-8	2-14
A	CN 113067786 A (ALCATEL-LUCENT SHANGHAI BELL CO., LTD. et al.) 02 July 2021 (2021-07-02) entire document	1-15

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
11 February 2022	**28 February 2022**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China** Facsimile No. **(86-10)62019451**	Authorized officer Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 106961309 A (UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 18 July 2017 (2017-07-18) entire document	1-15
A	WO 2012075902 A1 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 14 June 2012 (2012-06-14) entire document	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2021/107037

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 109218235 A	15 January 2019	None	
CN 101662326 A	03 March 2010	EP 2360859 A1	24 August 2011
		WO 2010022616 A1	04 March 2010
		US 2011188860 A1	04 August 2011
CN 113067786 A	02 July 2021	None	
CN 106961309 A	18 July 2017	WO 2018218697 A1	06 December 2018
		US 2020252128 A1	06 August 2020
WO 2012075902 A1	14 June 2012	CN 102231644 A	02 November 2011

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2021/107037

A. 主题的分类

H04B 10/556(2013.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H04B H04L

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNPAT,WPI,EPODOC,CNKI:光信号，电信号，均衡，光电转换，模拟，数字，CTLE,LFEQ,接口，optical signal,electrical signal,equalization,analog,digital,interface

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 109218235 A (武汉邮电科学研究院有限公司) 2019年1月15日 (2019-01-15) 说明书第0012-0028段，附图1-2	1-4，12-13，15
Y	CN 109218235 A (武汉邮电科学研究院有限公司) 2019年1月15日 (2019-01-15) 说明书第0012-0028段，附图1-2	2-14
X	CN 101662326 A (华为技术有限公司等) 2010年3月3日 (2010-03-03) 说明书第8页第2段至第12页第2段，附图2-8	1，5-15
Y	CN 101662326 A (华为技术有限公司等) 2010年3月3日 (2010-03-03) 说明书第8页第2段至第12页第2段，附图2-8	2-14
A	CN 113067786 A (上海诺基亚贝尔股份有限公司等) 2021年7月2日 (2021-07-02) 全文	1-15
A	CN 106961309 A (中国科学技术大学) 2017年7月18日 (2017-07-18) 全文	1-15
A	WO 2012075902 A1 (华为技术有限公司) 2012年6月14日 (2012-06-14) 全文	1-15

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2022年2月11日	2022年2月28日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 刘娟 电话号码 86-(10)-53961619

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2021/107037

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	109218235	A	2019年1月15日	无			
CN	101662326	A	2010年3月3日	EP	2360859	A1	2011年8月24日
				WO	2010022616	A1	2010年3月4日
				US	2011188860	A1	2011年8月4日
CN	113067786	A	2021年7月2日	无			
CN	106961309	A	2017年7月18日	WO	2018218697	A1	2018年12月6日
				US	2020252128	A1	2020年8月6日
WO	2012075902	A1	2012年6月14日	CN	102231644	A	2011年11月2日