

模拟均衡器的校正方法、控制芯片、接收机及存储介质

交叉引用

本申请基于申请号为“202011289876.4”、申请日为2020年11月17日的中国专利申请提出，并要求该中国专利申请的优先权，该中国专利申请的全部内容在此以引入方式并入本申请。

技术领域

本申请涉及数字信号通信，例如涉及一种模拟均衡器的校正方法、控制芯片、接收机及存储介质。

背景技术

连续时间线性均衡器（Continuous Time Linear Equalization, CTLE）是信号接收端的模拟滤波器，也称为模拟均衡器。当高速数字信号通过有损通道传输时，CTLE 可用于提高信号的高频分量以补偿高频通道损耗，提高接收机的性能以及接收信号的质量。随着信号传输速率不断提高，长距背板等信道对信号的衰减变得更加严重，码间干扰也更加严重，使得对信号的均衡处理也更加复杂，补偿的程度过大或过小都会造成信号失真，不利于后续的检测和处理。这要求接收端能够对 CTLE 进行调整和校正，从而适度补偿高频通道损耗，使接收电路达到最优的性能。

校正的原理主要是通过调整 CTLE 的高频增益增大高速串行信号中高频信号幅度，当高频信号的幅度与低频信号的幅度相等时则完成校正，但是这种方法需要设计整流器电路；也有一些方法通过模拟电路对 CTLE 进行校正，但需要设计复杂的高通或低通滤波器，并且校正过程容易受信道质量和数据速率的影响；也可以通过统计误码率，对 CTLE 进行校正，当误码率达到最小时认为校正完成，但这种方法需要预知传输数据来统计误码率；也可以利用变步长最

小均方 (Sign-Sign Least Mean Square, LMS) LMS 算法和迫零最小均方差算法等对 CTLE 进行校正, 但校正过程的计算复杂。

发明内容

本申请实施例提供一种模拟均衡器的校正方法, 包括:

监测模拟前端 (Analog Front End, AFE) 电路的输出信号的正向眼图高度, 所述模拟前端电路包括至少一级模拟均衡器;

在监测到的正向眼图高度低于眼图高度阈值的情况下, 生成校正指令;

根据所述校正指令对所述模拟前端电路中的模拟均衡器进行校正, 直至监测到的正向眼图高度达到所述眼图高度阈值。

本申请实施例还提供了一种控制芯片, 包括: 存储器、处理器以及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序, 所述处理器执行所述程序时实现上述模拟均衡器的校正方法。

本申请实施例还提供了一种接收机, 包括: 模拟前端电路、监测电路以及上述的控制芯片;

所述模拟前端电路的输出端与所述监测电路的输入端连接;

所述监测电路的输出端与所述控制芯片的输入端连接;

所述控制芯片用于根据所述监测电路的监测结果校正所述模拟前端电路中的模拟均衡器。

本申请实施例还提供了一种计算机可读存储介质, 计算机可读存储介质上存储有计算机程序, 该程序被处理器执行时实现上述模拟均衡器的校正方法。

附图说明

图 1 为一实施例提供的一种模拟均衡器的校正方法的流程图;

图 2 为另一实施例提供的一种模拟均衡器的校正方法的流程图;

图 3 为一实施例提供的一种模拟均衡器的校正装置的结构示意图;

图 4 为一实施例提供的一种控制芯片的硬件结构示意图;

图 5 为一实施例提供的一种接收机的结构示意图;

图 6 为一实施例提供的一种接收机的工作原理的示意图。

具体实施方式

下面结合附图和实施例对本申请进行说明。可以理解的是，此处所描述的具体实施例仅仅用于解释本申请，而非对本申请的限定。需要说明的是，在不冲突的情况下，本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互任意组合。另外还需要说明的是，为了便于描述，附图中仅示出了与本申请相关的部分而非全部结构。

图 1 为一实施例提供的一种模拟均衡器的校正方法的流程图。该方法可应用于接收机的控制芯片。如图 1 所示，本实施例提供的方法包括步骤 110-130。

在步骤 110 中，监测模拟前端电路的输出信号的正向眼图高度，所述模拟前端电路包括至少一级模拟均衡器。

本实施例中，发射机向接收机发送高速串行数据信号，经过信道衰减，码间干扰变得十分严重，接收机通过模拟前端电路对信道衰减进行补偿，可以减小码间干扰。模拟前端电路中可以包括数字电路器件和模拟电路器件，并包括至少一级 CTLE，CTLE 可用于提高信号的高频分量以补偿高频通道损耗，提高接收机的性能以及接收信号的质量。

眼图是一系列数字信号在示波器上累积而显示的图形，用于分析数字信号的特征，分析码间串扰和噪声的影响，从而估计接收到的数字信号的优劣，正向眼图高度用于描述眼图中“眼睛”张开的大小，反映码间串扰的强弱，正向眼图高度越高，且眼图越端正，则码间串扰越小；反之码间串扰越大。本实施例依据正向眼图高度对 CTLE 的补偿能力加以调整，以减小码间串扰，改善接收机的性能，控制芯片通过实时监测模拟前端电路的输出信号的正向眼图高度，来确定是否需要校正 CTLE，以及校正 CTLE 的策略，例如是否开启各级 CTLE 的补偿功能、是否需要调整高频增益或者低频增益等。

在步骤 120 中，在监测到的正向眼图高度低于眼图高度阈值的情况下，生成校正指令。

本实施例中，通过设置眼图高度阈值以衡量 CTLE 的电路均衡效果。如果正向眼图高度低于眼图高度阈值，说明码间串扰较大，目前的模拟前端电路无法有效补偿高频通道损耗，这种情况下需要对 CTLE 进行校正；如果正向眼图高度达到了眼图高度阈值，说明码间串扰较小，能够满足需要，则无需再对

CTLE 进行校正。校正指令可用于控制和调整 CTLE 的补偿能力，在正向眼图高度低于眼图高度阈值的情况下，通过改变开启补偿功能的 CTLE 的级数以及调整 CTLE 的高频增益或低频增益，提高正向眼图高度以满足需求。

在一实施例中，眼图高度阈值可以为固定值，也可以为可调节的动态值，可以根据信号传输的信道类型、背板长度、信道衰减程度、CTLE 的级数等设置或调整。例如，信道衰减程度较大，则接收到的信号的质量较差，可以适当降低眼图高度阈值，以获得能够满足实际需求的均衡后的信号，而如果信道衰减程度较小，则可以适当提高眼图高度阈值，以获得更高质量的均衡后的信号。又如，CTLE 的级数越多，则模拟前端电路的补偿能力越强，可以适当提高眼图高度阈值，以获得更高质量的均衡后的信号。

在步骤 130 中，根据所述校正指令对所述模拟前端电路中的模拟均衡器进行校正，直至监测到的正向眼图高度达到所述眼图高度阈值。

本实施例中，对 CTLE 的校正包括控制各级 CTLE 的补偿功能的开关，和/或调整各级 CTLE 的增益，校正过程可以分层次进行。例如，首先在各级 CTLE 的补偿功能关闭的情况下，判断当前监测到的正向眼图高度是否低于眼图高度阈值，如果是，则可以开启一级 CTLE 的补偿功能；在开启一级 CTLE 的补偿功能的情况下，逐步增大 CTLE 的高频增益，如果增大到上限值后监测到的正向眼图高度仍低于眼图高度阈值，则可以开启两级 CTLE 的补偿功能，然后再逐步增大 CTLE 的高频增益，直到正向眼图高度达到眼图高度阈值，以此类推，最多可以将 AFE 电路中所有的 CTLE 的补偿功能都开启。此外，如果仅通过增大高频增益也无法使正向眼图高度达到眼图高度阈值，则还可以在此基础上减小低频增益，进一步增大 CTLE 整体的补偿能力，使接收机达到最优的性能。

本实施例的方法，不需要预设数据码型，统计误码率，也不需要复杂的数学算法，用于任意信道衰减场景，电路结构简单、易于实现。以正向眼图高度作为校正的依据，通过对模拟均衡器进行校正使得信号的正向眼图高度足够高，提高眼图质量和模拟前端电路输出信号的质量，从而实现了模拟均衡器的自适应校正。

在一实施例中，校正指令包括补偿功能开启指令；补偿功能开启指令用于指示开启模拟前端电路中的模拟均衡器的补偿功能。

本实施例中，补偿功能开启指令用于指示开启 AFE 电路中任意级的 CTLE 的补偿功能，开启补偿功能的 CTLE 的级数越多，则 AFE 电路对高频衰减的补偿能力越强。例如，模拟前端电路包括三级 CTLE，分别为 CTLE 1、CTLE 2 以及 CTLE 3，则在校正过程的初始阶段，可以仅开启 CTLE 1 的补偿功能；如果在这种情况下无法通过调整增益得到满足要求的正向眼图高度，则更新补偿功能开启指令，用于指示开启 CTLE 1 和 CTLE 2 的补偿功能；同理，如果在这种情况下无法通过调整增益得到满足要求的正向眼图高度，则更新补偿功能开启指令，用于指示开启 CTLE 1、CTLE 2 和 CTLE 3 的补偿功能。补偿功能开启指令可表示为：CTLE_BOOST_EN<x:0>，其中，x 表示控制码的位数，例如，利用两位控制码可指示开启补偿功能的 CTLE 的级数，最大级数为 4。通过逐级开启 CTLE 的补偿功能，能够避免单次调整的幅度过大，从而使用最少的 CTLE 实现满足实际需求的高频衰减补偿。

在一实施例中，校正指令包括增益调整指令；增益调整指令用于指示以下至少之一：按照第一步长增大模拟前端电路中的模拟均衡器的高频增益；按照第二步长减小模拟前端电路中的模拟均衡器的低频增益。

本实施例中，增益调整指令用于指示逐步调整 CTLE 的补偿功能。例如，在校正过程的初始阶段，可以优先按照第一步长增大高频增益，如果仅通过增大高频增益无法得到满足要求的正向眼图高度，则更新增益调整指令，进一步指示按照第二步长减小低频增益。例如，增益调整指令为 LFG<y1:0>，表示减小 CTLE 的低频增益，y1 表示控制码的位数；增益调整指令为 HFG<y1:0>，表示增大 CTLE 的高频增益，y2 表示控制码的位数，。随着 LFG、HFG 控制码的增大低频增益和高频增益分别增大。

需要说明的是，校正指令可以同时包括补偿功能开启指令和增益调整指令。

在一实施例中，在校正过程中可以优先增大高频增益，以获得更高的整体增益，提高接收信号的信噪比，便于对接收信号的后续处理。在一些实施例中，在校正过程中也可以同时增大高频增益并减小低频增益，或者，可以优先减小低频增益，如果无法满足需求再增大高频增益，也可以实现 CTLE 的校正，但会在一定程度上降低信号的整体增益。

在一实施例中，第一步长和第二步长可以为固定值，也可以为动态值。可

可以根据信号传输的信道类型、背板长度、信道衰减程度、CTLE 的级数、正向眼图高度与眼图高度阈值的差距大小等设置或调整。以第一步长为例，第一步长可以为预先设定的值，也可以根据高频增益的上限值确定，例如高频增益的范围为 $[0, A]$ ，则第一步长可以为 $[0, A]/B$ ， B 为正整数；此外，在校正过程的初始阶段，监测到的正向眼图高度与眼图高度阈值的差距较大，第一步长可以设置为较大的值，而随着校正过程的进行，监测到的正向眼图高度与眼图高度阈值的差距逐渐减小，第一步长可以按照线性或非线性的形式逐步减小，从而避免调整幅度过大。

在一实施例中，步骤 110 包括：

步骤 1110：通过第一判决电路和时钟数据恢复 (Clock Data Recovery, CDR) 电路对所述输出信号进行采样，得到第一数据信号边沿信号以及所述第一数据信号和所述边沿信号对应的两相时钟。

步骤 1120：通过第二判决电路按照采样时钟对所述输出信号进行采样，得到第二数据信号。

步骤 1130：将所述第二数据信号与所述第一数据信号进行比对，确定监测到的正向眼图高度与眼图高度阈值的关系。

本实施例中，第一判决电路用于对 AFE 电路的输出信号进行采样，得到第一数据信号和边沿信号。接收机中可以有两个第一判决电路，两个第一判决电路分别用于输出第一数据信号和边沿信号。第一数据信号和边沿信号输入至 CDR 电路，以恢复出两相时钟，并作为第一判决电路的采样时钟。在高速串行通信的场景下，信道上只传输串行数据，并没有传输时钟信号，通过 CDR 电路可以对接收到的串行数据进行时钟恢复，从而得到准确可靠的接收数据。其中，第一数据信号对应的时钟与边沿信号对应的时钟为反相时钟。

此外，通过第二判决电路按照采样时钟对所述输出信号进行采样，得到第二数据信号，第二数据信号的每一位为 0 或者为 1 分别表示该位对应的正向眼图高度是否低于判决阈值，此处判决阈值即为眼图高度阈值，可以利用阈值电压 (Threshold Voltage) 电路设置眼图高度阈值。通过将第一数据信号和第二数据信号进行比对，可以分析码间串扰的程度，从而确定监测到的正向眼图高度是否达到眼图高度阈值，进而确定对 CTLE 的校正策略。

在一实施例中，第二数据信号对应的采样时钟与第一数据信号对应的时钟同步且边沿对齐。

本实施例中，第二判决电路的采样时钟与用于得到第一数据信号的第一判决电路的采样时钟同步且边沿对齐，从而保证第二判决电路输出的第二数据信号与第一判决电路输出的第一数据信号为同一拍数据。

在一实施例中，步骤 1103，包括：

在检测到时钟锁定信号的情况下，读取相同长度的第一数据信号与第二数据信号；将第一数据信号中值为 1 的位与第二数据信号中相应位的值进行异或，并累加各位的异或结果；若累加结果为 0，则确定监测到的正向眼图高度达到眼图高度阈值；若累加结果不为 0，则确定监测到的正向眼图高度低于眼图高度阈值或者输出信号的正向眼图闭合。

本实施例中，将第二判决电路的判决阈值，即眼图高度阈值记为 V_{TH1} ，当检测到时钟锁定信号（即 $CDR_LOCK=1$ ）时，读取相同长度的第一数据信号与第二数据信号，将第一数据信号中值为 1 的位与第二数据信号的对应位进行异或，然后对异或结果进行累加，累加结果表明了第一数据信号与第二数据信号的一致。如果累加结果为 0，表明第一数据信号与第二数据信号完全一致，则可输出指示信号 $Eyeopen=1$ ，表示输出信号的眼图张开并且正向眼图高度大于或等于 V_{TH1} ，不需要对 CTLE 进行校正；如果累加结果不为 0，表明第一数据信号与第二数据信号不完全一致，则输出指示信号 $Eyeopen=0$ ，表示正向眼图高度低于 V_{TH1} 或者眼图闭合，这种情况下需要对 CTLE 进行校正。

在一实施例中，步骤 120 包括

步骤 1210：在监测到的正向眼图高度低于眼图高度阈值的情况下，根据第一数据信号、第二数据信号以及时钟锁定信号，确定模拟前端电路中各模拟均衡器的补偿功能的开关状态，以及对模拟均衡器的增益调整策略；

步骤 1220：根据开关状态以及增益调整策略生成校正指令。

本实施例中，在检测到时钟锁定信号（即 $CDR_LOCK=1$ ）的情况下，根据第一数据信号和第二数据信号，可以确定 CTLE 不同的开关状态和/或增益调整策略，生成不同的校正指令。例如，当检测到时钟锁定信号（即 $CDR_LOCK=1$ ）时，读取相同长度的 ESDATA 和 DATA^A，如果累加结果为 0，则不需要对 CTLE

进行校正；如果累加结果不为 0，则需要对 CTLE 进行校正。累加结果越大，则第一数据信号和第二数据信号不一致的位数越多，这种情况下，需要开启补偿功能的 CTLE 越多，或者增益调整的幅度（即步长）越大。

在一实施例中，还包括：

步骤 140：根据第二数据信号，确定输出信号的幅度与幅度阈值的关系；

步骤 150：根据输出信号的幅度与幅度阈值的关系，确定模拟前端电路中的模拟均衡器的低频增益是否减小为下限值。

本实施例中，还对输出信号的幅度进行监测，以保证模拟均衡器的低频增益不会过低，避免接收信号的幅度过小影响后续的处理。

在一实施例中，在需要监测输出信号的幅度的情况下，第二判决电路可以作为一个或多个。第一判决电路可以在整个校正过程中基于眼图高度阈值(VTH1)进行采样获得第一数据信号，第一数据信号的每一位为 0 或者为 1 分别表示该位对应的正向眼图高度是否低于眼图高度阈值，在此基础上控制芯片可以确定监测到的正向眼图高度与眼图高度阈值的关系，从而确定是否需要 CTLE 进行校正。而第二判决电路主要用于在减小低频增益的校正过程中，基于幅度阈值(VTH2)进行采样获得第二数据信号，这种情况下，第二数据信号的每一位为 0 或者为 1 分别表示该位的幅度是否大于或等于幅度阈值，在此基础上控制芯片可以确定输出信号的幅度与幅度阈值的关系，进而确定低频增益是否已经减小为下限值，如果是，则完成校正，如果否，则可以继续较小低频增益以提高正向眼图高度。在第二判决电路只有一个的情况下，该第二判决电路可交替用于获得第一数据信号和第二数据信号。在第二判决电路为两个的情况下，其中一个可用于基于眼图高度阈值获得第一数据信号，另一个可用于基于幅度阈值获得第二数据信号。

在一实施例中，步骤 140 包括：

在检测到时钟锁定信号的情况下，读取设定长度的第二数据信号；统计所述第二数据信号中值为 1 的位数，或者将所述第二数据信号中各位的值累加；若值为 1 的位数大于或等于设定值，或者累加结果大于或等于设定值，则确定输出信号的幅度达到幅度阈值；若值为 1 的位数，或者累加结果小于设定值，则确定输出信号的幅度低于幅度阈值。

本实施例中，将第二判决电路的判决阈值，即幅度阈值记为 V_{TH2} ，当检测到时钟锁定信号（即 $CDR_LOCK=1$ ）时，读取设定长度的第二数据信号，统计第二数据信号中值为 1 的位数，或者将第二数据信号中各位的值累加，得到的位数或累加结果反映了输出信号的幅度的大小，如果得到的位数或累加结果大于或等于设定值（例如为 1），则输出指示信号 $V_{amp_valid}=1$ ，表示输出信号幅度大于或等于 V_{TH2} ，低频增益还可以继续减小；如果得到的位数或累加结果小于设定值，则输出指示信号 $V_{amp_valid}=0$ ，表示输出信号幅度小于 V_{TH2} ，低频增益已减小至下限值。

在一实施例中，步骤 130 包括：

步骤 1310：根据校正指令开启模拟前端电路中的模拟均衡器的补偿功能；

步骤 1320：基于起始状态，按照第一步长增大模拟前端电路中的模拟均衡器的高频增益，直至监测到的正向眼图高度达到眼图高度阈值；

步骤 1330：若模拟均衡器的高频增益增大到上限值后，监测到的正向眼图高度仍未达到眼图高度阈值，则开启至少一级非开启状态的模拟均衡器的补偿功能并重复执行增大高频增益的操作，或者按照第二步长减小模拟前端电路中的模拟均衡器的低频增益，直至监测到的正向眼图高度达到眼图高度阈值。

本实施例中，对 CTLE 的校正分层次进行，包括逐级开启各级 CTLE 的补偿功能；优先逐步增大 CTLE 的高频增益；如果高频增益增大到上限值，监测到的正向眼图高度仍未达到眼图高度阈值，则可以开启更多级的 CTLE 的补偿功能，也可以逐步减小 CTLE 的低频增益。以 AFE 电路中包括三级 CTLE 为例进行说明。实时监测 AFE 电路的输出信号的正向眼图高度，首先，在监测到的正向眼图高度低于眼图高度阈值的情况下，生成校正指令 $CTLE_BOOST_EN<2:0>=000$ ，即三级 CTLE 的补偿功能均关闭，此时 CTLE 相当于缓冲器。

然后，监测当前的正向眼图高度是否张开达到眼图高度阈值（是否 $Eyeopen=1$ ），如果是，则保持 CTLE 配置，自适应校正过程完成，否则，开启 CTLE 1 的补偿功能，并将三级 CTLE 的低频增益设置为最大值，高频增益设置为最小值 0。

其次，监测当前的正向眼图高度是否张开达到眼图高度阈值（是否

Eyeopen=1)，如果是，则保持 CTLE 配置，自适应校正过程完成，否则，在高频增益未达到上限值的情况下，每次将高频增益增加 1，直至 Eyeopen=1；如果高频增益达到上限值，Eyeopen=0，则开启 CTLE 1 和 CTLE 2 的补偿功能，并将三级 CTLE 的低频增益设置为最大值，高频增益设置为最小值 0。

再次，监测当前的正向眼图高度是否张开达到眼图高度阈值（是否 Eyeopen=1），如果是，则保持 CTLE 配置，自适应校正过程完成，否则，在高频增益未达到上限值的情况下，每次将高频增益增加 1，直至 Eyeopen=1，如果高频增益达到上限值，Eyeopen=0，则开启 CTLE 1、CTLE 2 和 CTLE 3 的补偿功能，并将三级 CTLE 的低频增益设置为最大值，高频增益设置为最小值 0。

最后，在各级 CTLE 的补偿功能均开启的情况下，监测当前的正向眼图高度是否张开达到眼图高度阈值（是否 Eyeopen=1），如果是，则保持 CTLE 配置，自适应校正过程完成，否则，在高频增益未达到上限值的情况下，每次将高频增益增加 1，直至 Eyeopen=1。如果高频增益达到上限值，Eyeopen=0，也可以减小低频增益。

在一实施例中，步骤 130 包括：

步骤 1340：在输出信号的幅度不低于幅度阈值且模拟均衡器的低频增益不低于下限值的情况下，按照第二步长减小模拟前端电路中的模拟均衡器的低频增益，直至监测到的正向眼图高度达到眼图高度阈值。

本实施例中，还可以通过减小低频增益以提高正向眼图高度。例如，在 CTLE 1、CTLE 2 和 CTLE 3 的补偿功能均开启、高频增益已达到上限值，正向眼图高度仍未达到眼图高度阈值的情况下，可以判断低频增益是否高于下限值并且低频增益不为 0。如果是，则每次将低频增益减小 1，直至 Eyeopen=1，否则，停止校正过程，最终正向眼图高度没有达到眼图高度阈值，Eyeopen=0。

在一实施例中，起始状态包括：模拟均衡器的低频增益设置为最大值，模拟均衡器的高频增益设置为最小值。

本实施例中，基于起始状态，可以从高频增益为最小值开始逐步增大高频增益，或者从低频增益为最大值开始逐步减小低频增益，以避免调整幅度过大，使得接收机的性能最佳。

图 2 为另一实施例提供的一种模拟均衡器的校正方法的流程图。本实施例

以逐级开启 CTLE 的补偿功能并优先增大高频增益为例，对分层次校正过程进行说明。未在本实施例中详尽描述的技术细节可参见上述任意实施例。

如图 2 所示，该方法包括：

a. 通过第一判决电路（记为 SLICER）和 CDR 电路对输出信号进行采样，得到第一数据信号（记为 DATA）、边沿信号（记为 EDGE）以及第一数据信号和边沿信号对应的两相时钟（分别记为 CLK0 和 CLK180）。其中，CLK0 和 CLK180 为反相时钟。

b. 通过第二判决电路（记为 ESSLICER）按照采样时钟（记为 ECLK0）对输出信号进行采样，得到第二数据信号（记为 ESDATA）。其中，ECLK0 与 CLK0 同步且边沿对齐。

c. 将第一数据信号与第二数据信号进行比对，确定监测到的正向眼图高度与眼图高度阈值的关系。需要说明的是，可以采用上述实施例中对第一数据信号和第二数据的异或以及累加的操作，确定监测到的正向眼图高度与眼图高度阈值的关系。

d. 监测到的正向眼图高度低于眼图高度阈值？若是，则执行 e；若否，则模拟均衡器校正完成。

e. 生成校正指令，并根据校正指令开启模拟前端电路中的模拟均衡器的补偿功能，进入起始状态。其中，可以指示开启一级或多级 CTLE 的补偿功能，也可以指示各级 CTLE 的补偿功能均不开启。

f. 监测到的正向眼图高度达到眼图高度阈值？若是，则模拟均衡器校正完成；若否，则执行 g。

g. 按照第一步长增大模拟前端电路中的模拟均衡器的高频增益。

h. 监测到的正向眼图高度达到眼图高度阈值？若是，则模拟均衡器校正完成；若否，则执行 i。

i. 模拟均衡器的高频增益增大到上限值？若是，则执行 j，若否，则返回执行 g。

j. 模拟前端电路中的模拟均衡器的补偿功能均开启？若是，则执行 l；若否，则执行 k。

k. 开启至少一级非开启状态的模拟均衡器的补偿功能，进入起始状态。

m. 监测到的正向眼图高度达到眼图高度阈值？若是，则模拟均衡器校正完成；若否，则执行 n。

n. 输出信号的幅度高于幅度阈值且模拟均衡器的低频增益大于 0？若是，则返回执行 l；若否，则模拟均衡器校正完成。

需要说明的是，在减小低频增益之前，可以判断输出信号的幅度是否高于幅度阈值，以及低频增益是否大于 0（即增益调整指令中的 LFG 大于 0），从而确定是否可以继续减小低频增益，以避免接收信号的整体增益过低，降低接收信号的质量。可以采用上述实施例中对第二数据信号的统计或累加的操作，确定输出信号的幅度与幅度阈值的关系。

本实施例的方法，利用第一判决电路基于眼图高度阈值获得第一数据信号和边沿信号，进而进行时钟恢复，得到准确可靠的接收数据；并利用第二判决电路获得第二数据信号，在此基础上，根据 CDR 时钟锁定后的第一判决电路的数据通路（即第一数据信号）与正常数据通路（即第二数据信号）的数值异同，可以确定输出信号的正向眼图高度是否达到眼图高度阈值，根据第二数据信号可以确定输出信号的幅度是否达到幅度阈值，从而做出有效的校正决策；通过逐级开启 CTLE 的补偿功能，逐步增大高频增益或者减小低频增益实现精细的自适应校正，并且效率高、适用性广，不需要复杂算法，控制逻辑简单。

本申请实施例还提供一种模拟均衡器的校正装置。图 3 为一实施例提供的一种模拟均衡器的校正装置的结构示意图。如图 3 所示，所述模拟均衡器的校正装置包括：监测模块 210、控制模块 220 和传输模块校正模块 230。

监测模块 210，设置为监测模拟前端电路的输出信号的正向眼图高度，所述模拟前端电路包括至少一级模拟均衡器；

控制模块 220，设置为在监测到的正向眼图高度低于眼图高度阈值的情况下，生成校正指令；

校正模块 230，设置为根据所述校正指令对所述模拟前端电路中的模拟均衡器进行校正，直至监测到的正向眼图高度达到所述眼图高度阈值。

本实施例的模拟均衡器的校正装置，以正向眼图高度作为校正的依据，通过对模拟均衡器进行校正使得信号的正向眼图高度足够高，提高眼图质量和模

拟前端电路输出信号的质量，从而实现了模拟均衡器的自适应校正，可用于任意信道衰减场景，并且电路结构简单、易于实现。

在一实施例中，所述校正指令包括补偿功能开启指令；

所述补偿功能开启指令用于指示开启所述模拟前端电路中的模拟均衡器的补偿功能。

在一实施例中，所述校正指令包括增益调整指令；所述增益调整指令用于指示以下至少之一：按照第一步长增大所述模拟前端电路中的模拟均衡器的高频增益；按照第二步长减小所述模拟前端电路中的模拟均衡器的低频增益。

在一实施例中，监测模块，包括：

第一判决单元，设置为通过第一判决电路和时钟数据恢复电路对所述输出信号进行采样，得到第一数据信号、边沿信号以及所述第一数据信号和所述边沿信号对应的两相时钟；

第二判决单元，设置为通过第二判决电路按照采样时钟对所述输出信号进行采样，得到第二数据信号；

第一监测单元，设置为将所述第二数据信号与所述第一数据信号进行比对，确定监测到的正向眼图高度与所述眼图高度阈值的关系。

在一实施例中，第一监测单元，具体设置为：

在检测到时钟锁定信号的情况下，读取相同长度的第一数据信号与第二数据信号；

将所述第一数据信号中值为 1 的位与所述第二数据信号中相应位的值进行异或，并累加各位的异或结果；

若累加结果为 0，则确定监测到的正向眼图高度达到所述眼图高度阈值；

若累加结果不为 0，则确定监测到的正向眼图高度低于所述眼图高度阈值或者所述输出信号的正向眼图闭合。

在一实施例中，所述第二数据信号对应的采样时钟与所述第一数据信号对应的时钟同步且边沿对齐。

在一实施例中，控制模块 220，设置为：

在监测到的正向眼图高度低于眼图高度阈值的情况下，根据所述第一数据信号、所述第二数据信号以及时钟锁定信号，确定所述模拟前端电路中各所述

模拟均衡器的补偿功能的开关状态，以及对模拟均衡器的增益调整策略；

根据所述开关状态以及所述增益调整策略生成所述校正指令。

在一实施例中，监测模块 210，还包括：

第二监测单元，设置为根据所述第二数据信号，确定所述输出信号的幅度与幅度阈值的关系；

根据所述输出信号的幅度与幅度阈值的关系，确定所述模拟前端电路中的模拟均衡器的低频增益是否减小为下限值。

在一实施例中，第二监测单元，具体设置为：

在检测到时钟锁定信号的情况下，读取设定长度的第二数据信号；

统计所述第二数据信号中值为 1 的位数，或者将所述第二数据信号中各位的值累加；

若值为 1 的位数大于或等于设定值，或者累加结果大于或等于设定值，则确定所述输出信号的幅度达到所述幅度阈值；

若值为 1 的位数，或者累加结果小于设定值，则确定所述输出信号的幅度低于所述幅度阈值。

在一实施例中，校正模块 230，设置为：

根据所述校正指令开启所述模拟前端电路中的模拟均衡器的补偿功能；

基于起始状态，按照第一步长增大所述模拟前端电路中的模拟均衡器的高频增益，直至监测到的正向眼图高度达到所述眼图高度阈值；

若模拟均衡器的高频增益增大到上限值后，监测到的正向眼图高度仍未达到所述眼图高度阈值，则开启至少一级非开启状态的模拟均衡器的补偿功能并重复执行增大高频增益的操作，或者按照第二步长减小所述模拟前端电路中的模拟均衡器的低频增益，直至监测到的正向眼图高度达到所述眼图高度阈值。

在一实施例中，校正模块 230，设置为：

在所述输出信号的幅度不低于幅度阈值且模拟均衡器的低频增益不低于下限值的情况下，按照第二步长减小所述模拟前端电路中的模拟均衡器的低频增益，直至监测到的正向眼图高度达到所述眼图高度阈值。

在一实施例中，所述起始状态包括：模拟均衡器的低频增益设置为最大值，模拟均衡器的高频增益设置为最小值。

本实施例提出的模拟均衡器的校正装置与上述实施例提出校正方法属于同一发明构思，未在本实施例中详尽描述的技术细节可参见上述任意实施例，并且本实施例具备与执行模拟均衡器的校正方法相同的有益效果。

本申请实施例还提供了一种控制芯片，图4为一实施例提供的一种控制芯片的硬件结构示意图，如图4所示，本申请提供的控制芯片，包括存储器32、处理器31以及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，处理器31执行所述程序时实现上述校正方法。

控制芯片还可以包括存储器32；该控制芯片中的处理器31可以是一个或多个，图4中以一个处理器31为例；存储器32用于存储一个或多个程序；所述一个或多个程序被所述一个或多个处理器31执行，使得所述一个或多个处理器31实现如本申请实施例中所述模拟均衡器的校正方法。

控制芯片还包括：通信装置33、输入装置34和输出装置35。

控制芯片中的处理器31、存储器32、通信装置33、输入装置34和输出装置35可以通过总线或其他方式连接，图4中以通过总线连接为例。

输入装置34可用于接收输入的数字或字符信息，以及产生与控制芯片的用户设置以及功能控制有关的按键信号输入。输出装置35可包括显示屏等显示设备。

通信装置33可以包括接收器和发送器。通信装置33设置为根据处理器31的控制进行信息收发通信。

存储器32作为一种计算机可读存储介质，可设置为存储软件程序、计算机可执行程序以及模块，如本申请实施例所述模拟均衡器的校正方法对应的程序指令/模块（例如，模拟均衡器的校正装置中的监测模块210、控制模块220和传输模块校正模块230）。存储器32可包括存储程序区和存储数据区，其中，存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需的应用程序；存储数据区可存储根据控制芯片的使用所创建的数据等。此外，存储器32可以包括高速随机存取存储器，还可以包括非易失性存储器，例如至少一个磁盘存储器件、闪存器件、或其他非易失性固态存储器件。在一些实例中，存储器32可进一步包括相对于处理器31远程设置的存储器，这些远程存储器可以通过网络连接至控制芯

片。上述网络的实例包括但不限于互联网、企业内部网、局域网、移动通信网及其组合。

本申请实施例还提供一种接收机。图 5 为一实施例提供的一种接收机的结构示意图。如图 5 所示，该系统包括：模拟前端电路、监测电路以及如上述实施例所述的控制芯片；所述模拟前端电路的输出端与所述监测电路的输入端连接；所述监测电路的输出端与所述控制芯片的输入端连接；所述控制芯片用于根据所述监测电路的监测结果校正所述模拟前端电路中的模拟均衡器。

本实施例的接收机，以正向眼图高度作为校正的依据，通过对模拟均衡器进行校正使得信号的正向眼图高度足够高，提高眼图质量和模拟前端电路输出信号的质量，从而实现了模拟均衡器的自适应校正，可用于任意信道衰减场景，并且电路结构简单、易于实现。

在一实施例中，监测电路包括：第一判决电路、时钟数据恢复电路以及第二判决电路。

本实施例中，通过第一判决电路和时钟数据恢复电路对所述输出信号进行采样，得到第一数据信号、边沿信号以及所述第一数据信号和所述边沿信号对应的两相时钟；通过第二判决电路按照采样时钟对所述输出信号进行采样，得到第二数据信号；将所述第二数据信号与所述第一数据信号进行比对，确定监测到的正向眼图高度与所述眼图高度阈值的关系。

图 6 为一实施例提供的一种接收机的工作原理的示意图。如图 6 所示，接收机接收到的信号依次经过用于减弱信号反射的片内终端电阻（On Die Termination, ODT）、三级 CTLE、两个 SLICER 电路、CDR 电路、ESSLICER 电路、VTH 电路、数据解串（Data Demultiplexer, DMUX）电路以及控制芯片，其中，AFE 电路包括片 ODT 以及 CTLE。发射机（Transmit, TX）发送的高速串行数据信号经过信道衰减和干扰到达接收机（Reception, RX）的输入端，眼图可能是闭合的或者不能张开到预设的程度，通过调整三级 CTLE 的补偿功能开关状态和/或增益，可以使得 AFE 电路的输出信号眼图张开到预设的程度，实现数据的正确传输。

控制芯片生成的校正指令包括补偿功能开启指令，例如

CTLE_BOOST_EN<2:0>用于控制三级 CTLE 的补偿功能的开关状态;校正指令还可以包括增益调整指令,例如 LFG<4:0>用于控制三级 CTLE 整体低频增益,HFG<4:0>用于控制三级 CTLE 整体高频增益,其中,LFG 或 HFG 指令的控制码越大,低频增益或高频增益的调整幅度对应增大。

图 6 中,AFE 电路的输出信号输入至两个 SLICER 电路,分别进行采样得到第一数据信号和边沿信号;CDR 输出的两相时钟 CLK0 和 CLK180 分别用于两个 SLICER 电路的采样判决;第一数据信号和边沿信号输入至 CDR 电路以进行时钟恢复。VTH 电路可用于设置 ESSLICER 电路的判决阈值(VTH1 和/或 VTH2);ESSLICER 的采样时钟 ECLK0 与用于采样得到第一数据信号的 SLICER 的采样时钟 CLK0 同步且边沿对齐。控制芯片根据第一数据信号、第二数据信号以及时钟锁定信号对 CTLE 进行校正,校正完成后恢复出来的正确数据可通过 DMUX 输出给物理编码子层(Physical Coding Sublayer, PCS)。

需要说明的是,本实施例对 CTLE 的级数、校正指令中控制码的位数、ESSLICER 以及 VTH 的个数不做限定。第一判决电路和第二判决电路对应的判决阈值均可固定值或者动态值。

本实施例提出的接收机与上述实施例提出校正方法属于同一发明构思,未在本实施例中详尽描述的技术细节可参见上述任意实施例,并且本实施例具备与执行模拟均衡器的校正方法相同的有益效果。

本申请实施例还提供一种存储介质,所述存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现本申请实施例中任一所述模拟均衡器的校正方法。该方法,包括:监测模拟前端电路的输出信号的正向眼图高度,所述模拟前端电路包括至少一级模拟均衡器;在监测到的正向眼图高度低于眼图高度阈值的情况下,生成校正指令;根据所述校正指令对所述模拟前端电路中的模拟均衡器进行校正,直至监测到的正向眼图高度达到所述眼图高度阈值。

本申请实施例的计算机存储介质,可以采用一个或多个计算机可读的介质的任意组合。计算机可读介质可以是计算机可读信号介质或者计算机可读存储介质。计算机可读存储介质例如可以是,但不限于:电、磁、光、电磁、红外线、或半导体的系统、装置或器件,或者任意以上的组合。计算机可读存储介

质的更具体的例子（非穷举的列表）包括：具有一个或多个导线的电连接、便携式计算机磁盘、硬盘、随机存取存储器（Random Access Memory, RAM）、只读存储器（Read Only Memory, ROM）、可擦式可编程只读存储器（Erasable Programmable Read Only Memory, EPROM）、闪存、光纤、便携式 CD-ROM、光存储器件、磁存储器件、或者上述的任意合适的组合。计算机可读存储介质可以是任何包含或存储程序的有形介质，该程序可以被指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用。

计算机可读介质上包含的程序代码可以用任何适当的介质传输，包括但不限于：无线、电线、光缆、无线电频率（Radio Frequency, RF）等等，或者上述的任意合适的组合。

可以以一种或多种程序设计语言或其组合来编写用于执行本申请操作的计算机程序代码，所述程序设计语言包括面向对象的程序设计语言，诸如 Java、Smalltalk、C++，还包括常规的过程式程序设计语言，诸如“C”语言或类似的设计语言。程序代码可以完全地在用户计算机上执行、部分地在用户计算机上执行、作为一个独立的软件包执行、部分在用户计算机上部分在远程计算机上执行、或者完全在远程计算机或服务器上执行。在涉及远程计算机的情形中，远程计算机可以通过任意种类的网络，包括局域网(LAN)或广域网(WAN)，连接到用户计算机，或者，可以连接到外部计算机（例如利用因特网服务提供商来通过因特网连接）。

以上所述，仅为本申请的示例性实施例而已，并非用于限定本申请的保护范围。

本领域内的技术人员应明白，术语用户终端涵盖任何适合类型的无线用户设备，例如移动电话、便携数据处理装置、便携网络浏览器或车载移动台。

一般来说，本申请的多种实施例可以在硬件或专用电路、软件、逻辑或其任何组合中实现。例如，一些方面可以被实现在硬件中，而其它方面可以被实现在可以被控制器、微处理器或其它计算装置执行的固件或软件中，尽管本申请不限于此。

本申请的实施例可以通过移动装置的数据处理器执行计算机程序指令来实

现，例如在处理器实体中，或者通过硬件，或者通过软件和硬件的组合。计算机程序指令可以是汇编指令、指令集架构（Instruction Set Architecture, ISA）指令、机器指令、机器相关指令、微代码、固件指令、状态设置数据、或者以一种或多种编程语言的任意组合编写的源代码或目标代码。

通过示范性和非限制性的示例，上文已提供了对本申请的示范实施例的详细描述。但结合附图和权利要求来考虑，对以上实施例的多种修改和调整对本领域技术人员来说是显而易见的，但不偏离本申请的范围。因此，本申请的恰当范围将根据权利要求确定。

权 利 要 求 书

1. 一种模拟均衡器的校正方法，包括：

监测模拟前端电路的输出信号的正向眼图高度，所述模拟前端电路包括至少一级模拟均衡器；

在监测到的正向眼图高度低于眼图高度阈值的情况下，生成校正指令；

根据所述校正指令对所述模拟前端电路中的模拟均衡器进行校正，直至监测到的正向眼图高度达到所述眼图高度阈值。

2. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述校正指令包括补偿功能开启指令；

所述补偿功能开启指令用于指示开启所述模拟前端电路中的模拟均衡器的补偿功能。

3. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述校正指令包括增益调整指令；所述增益调整指令用于指示以下至少之一：

按照第一步长增大所述模拟前端电路中的模拟均衡器的高频增益；

按照第二步长减小所述模拟前端电路中的模拟均衡器的低频增益。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的方法，其中，监测模拟前端电路的输出信号的正向眼图高度，包括：

通过第一判决电路和时钟数据恢复电路对所述输出信号进行采样，得到第一数据信号边沿信号以及所述第一数据信号和所述边沿信号对应的两相时钟；

通过第二判决电路按照采样时钟对所述输出信号进行采样，得到第二数据信号；

将所述第二数据信号与所述第一数据信号进行比对，确定监测到的正向眼图高度与所述眼图高度阈值的关系。

5. 根据权利要求4所述的方法，其中，将所述第二数据信号与所述第一数据信号进行比对，确定监测到的正向眼图高度与所述眼图高度阈值的关系，包括：

在检测到时钟锁定信号的情况下，读取相同长度的第二数据信号与第一数据信号；

将所述第一数据信号中值为1的位与所述第二数据信号中相应位的值进行异或，并累加各位的异或结果；

若累加结果为 0，则确定监测到的正向眼图高度达到所述眼图高度阈值；

若累加结果不为 0，则确定监测到的正向眼图高度低于所述眼图高度阈值或者所述输出信号的正向眼图闭合。

6. 根据权利要求 4 或 5 所述的方法，其中，所述第二数据信号对应的采样时钟与所述第一数据信号对应的时钟同步且边沿对齐。

7. 根据权利要求 4 至 6 中任一项所述的方法，其中，在监测到的正向眼图高度低于眼图高度阈值的情况下，生成校正指令，包括：

在监测到的正向眼图高度低于眼图高度阈值的情况下，根据所述第一数据信号、所述第二数据信号以及时钟锁定信号，确定所述模拟前端电路中各所述模拟均衡器的补偿功能的开关状态，以及对模拟均衡器的增益调整策略；

根据所述开关状态以及所述增益调整策略生成所述校正指令。

8. 根据权利要求 4 至 7 中任一项所述的方法，其中，还包括：

根据所述第二数据信号，确定所述输出信号的幅度与幅度阈值的关系；

根据所述输出信号的幅度与幅度阈值的关系，确定所述模拟前端电路中的模拟均衡器的低频增益是否减小为下限值。

9. 根据权利要求 8 所述的方法，其中，根据所述第二数据信号，确定所述输出信号的幅度与幅度阈值的关系，包括：

在检测到时钟锁定信号的情况下，读取设定长度的第二数据信号；

统计所述第二数据信号中值为 1 的位数，或者将所述第二数据信号中各位的值累加；

若值为 1 的位数大于或等于设定值，或者累加结果大于或等于设定值，则确定所述输出信号的幅度达到所述幅度阈值；

若值为 1 的位数，或者累加结果小于设定值，则确定所述输出信号的幅度低于所述幅度阈值。

10. 根据权利要求 1 至 9 中任一项所述的方法，其中，根据所述校正指令对所述模拟前端电路中的模拟均衡器进行校正，直至监测到的正向眼图高度达到所述眼图高度阈值，包括：

根据所述校正指令开启所述模拟前端电路中的模拟均衡器的补偿功能；

基于起始状态，按照第一步长增大所述模拟前端电路中的模拟均衡器的高

频增益，直至监测到的正向眼图高度达到所述眼图高度阈值；

若模拟均衡器的高频增益增大到上限值后，监测到的正向眼图高度仍未达到所述眼图高度阈值，则开启至少一级非开启状态的模拟均衡器的补偿功能并重复执行增大高频增益的操作，或者按照第二步长减小所述模拟前端电路中的模拟均衡器的低频增益，直至监测到的正向眼图高度达到所述眼图高度阈值。

11. 根据权利要求 1 至 9 中任一项所述的方法，其中，根据所述校正指令对所述模拟前端电路中的模拟均衡器进行校正，直至监测到的正向眼图高度达到所述眼图高度阈值，包括：

在所述输出信号的幅度不低于幅度阈值且模拟均衡器的低频增益不低于下限值的情况下，按照第二步长减小所述模拟前端电路中的模拟均衡器的低频增益，直至监测到的正向眼图高度达到所述眼图高度阈值。

12. 根据权利要求 10 所述的方法，其中，所述起始状态包括：模拟均衡器的低频增益设置为最大值，模拟均衡器的高频增益设置为最小值。

13. 一种控制芯片，包括存储器、处理器以及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述程序时实现如权利要求 1-12 中任一项所述的模拟均衡器的校正方法。

14. 一种接收机，包括：模拟前端电路、监测电路以及如权利要求 13 所述的控制芯片；

所述模拟前端电路的输出端与所述监测电路的输入端连接；

所述监测电路的输出端与所述控制芯片的输入端连接；

所述控制芯片用于根据所述监测电路的监测结果校正所述模拟前端电路中的模拟均衡器。

15. 根据权利要求 14 所述的接收机，其中，所述监测电路包括：第一判决电路、时钟数据恢复电路以及第二判决电路；

所述第一判决电路用于根据所述时钟数据恢复电路提供的两相时钟对所述模拟前端电路的输出信号进行采样，得到第一数据信号和边沿信号；

所述第二判决电路用于按照采样时钟对所述输出信号进行采样，得到第二数据信号。

16. 一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，该程序被处理器

执行时实现如权利要求 1-12 中任一所述的模拟均衡器的校正方法。