

说明书

发明名称: LPO光模块发端增益自适应控制方法、系统及光模块

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2024年11月21日提交中国专利局的申请号为2024116727683, 名称为“LPO光模块发端增益自适应控制方法、系统及光模块”的中国专利申请的优先权, 其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

[0003] 本申请涉及光通信技术领域, 具体而言, 涉及一种LPO光模块发端增益自适应控制方法、系统及光模块。

背景技术

[0004] 随着光通信行业的迅速发展, 且得益于近年来5G和人工智能(AI)巨量需求的推动, 光模块的市场需求迅速增长。其中, 数据中心网络速率正逐渐从100G、200G和400G发展到800G和1.6T, 甚至在不久的将来可达到3.2T。数据中心光网络的膨胀式需求也快速地反馈到了光模块供应端, 直接结果就是快速推动了光模块速率的不断提高。然而, 技术迭代不仅仅是数字的翻倍, 在达到400G速率的阶段之后, 解决数据传输速率提升问题的同时, 也必须面临增加的功耗、需求的封装方式和光模块成本所带来的挑战。

[0005] 在早期, 一个10G光模块的功耗仅仅为1W左右, 发展至今, 现阶段的光模块功耗(400G和800G)基本处于10W以上的能耗状态。光模块功耗的急剧增加, 也使得光模块在整个设备的总功耗占比中快速提升, 目前已占整个设备总功耗的40%或更多, 这给整个数据中心的能源利用和成本带来了巨大的负担。为了解决这些问题, 行业进行了多个方向的探索, 其中线性驱动可插拔光模块(Linear-drive Pluggable Optics, LPO)光模块为行业主要侧重的方向之一。

[0006] LPO光模块采用线性驱动策略, 通过使用具有优异线性度和均衡能力的转阻放大器(Transimpedance Amplifier, TIA)和驱动芯片(Driver)来替代数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)或时钟数据恢复器(Clock and Data Recovery, CDR), 从而规避了DSP或CDR方案光模块的能耗高、链接延时高等

缺点，更能契合当前数据中心距离短、带宽高、功耗低和延迟低的数据通信需求。

[0007] 与传统光模块相比，LPO光模块的优势主要体现在功耗低、成本低、延迟低和易于维护等四个方面；但是相对应的，由于没有DSP和CDR的介入，线性驱动不可避免地存在误码率增加和模块通道插损过大的问题；尤其是在不同温度下，如果不同交换机之间需要维持较低的误码率和通道插损，当前业内的操作通常是不同的设备通过不同的有限脉冲响应滤波器（FIR）或其他各类参数对LPO模块来进行单独匹配，这将会是一笔较大的施工成本。并且，在后续的维护过程中也存在维护困难、成本逐渐增加等问题。因此，为了有效地降低各类成本，从根源（LPO系列光模块）解决这一系列难题就一直是科研工作人员的研究方向之一。

[0008] 现有光通信网络条件下，LPO光模块的应用如下：交换机通过IIC总线及和光模块厂家约定的参数调整协议，调整LPO光模块的各参数，以匹配另一端的数据接收和发送；当前的LPO光模块优化方式主要是通过在不同数据传输表现下，配合交换机侧的设置参数，手动调节参数设置值来实现，存在以下缺陷：（1）遍历参数设置值困难，在交换机任意电口参数改变的前提下，每台交换机都需要重新对光模块的参数进行遍历，否则无法保证通信的一致性，而在所有参数的设置范围内，交换机不同的参数组合需要不同的参数设置值才能达到最优的输出条件；（2）交换机每个端口的插损不同，如果需要匹配不同交换机的不同端口插损，同样需要对参数设置值进行遍历，否则会影响到光模块之间的握手通信及通信效率；（3）在不同温度和不同插损条件下，手动调节参数设置值往往很难找到一个平衡点，因此每个交换机均需要人工梳理、遍历配置的前提下，任何一个数据中心的工作量都是一个极其耗费人力和物力的工程，并且在增大开销的同时，人工配置设备引入的人为错误和失误同样不可小觑，以上缺陷均会给客户端带来不小的经济损失和负面影响。

[0009] 基于此，如何实现自适应调节发端输出增益，以降低光模块通道插损是目前亟须解决的技术问题。

[0010] 申请内容

- [0011] 本申请的目的在于提供LPO光模块发端增益自适应控制方法、系统及光模块，通过确定综合输出幅度，将所述综合输出幅度与目标增益进行比对，在同步调节不同插损条件下的最大增益峰值前提下，将发端增益的调节由人工操作转移到光模块固件，通过光模块固件完成发端增益的匹配及自适应输出工作，可解决如何实现自适应调节发端输出增益，以降低光模块通道插损的技术问题。
- [0012] 本申请通过以下技术方案实现：LPO光模块发端增益自适应控制方法，包括以下步骤：获取LPO光模块状态机在正常运行状态下的最大增益峰值以及输出幅度采集值；基于所述输出幅度采集值以及峰值控制查找表拟合计算，确定综合输出幅度；将所述综合输出幅度与目标增益进行比对；光模块固件基于所述比对结果并综合最大增益峰值自适应调节LPO光模块的发端增益。
- [0013] 根据一种可选实施方式，所述最大增益峰值基于当前LPO光模块通道的插损条件并通过峰值控制查找表获取。
- [0014] 根据一种可选实施方式，所述峰值控制查找表将插损条件划分为多个档位，每个档位对应一最大增益峰值。
- [0015] 根据一种可选实施方式，所述获取LPO光模块状态机在正常运行状态下的最大增益峰值以及输出幅度采集值，包括：
- [0016] 按照LPO光模块的预设采样循环周期，采集LPO光模块状态机在正常运行状态下的最大增益峰值以及输出幅度采集值。
- [0017] 根据一种可选实施方式，所述输出幅度采集值的频率为18 GHz ~20GHz。
- [0018] 根据一种可选实施方式，所述综合输出幅度的表达式如下：
- [0019]
$$C = Kx * Value + Bx$$
- [0020] 上式中， C 表示综合输出幅度， Kx 表示峰值控制查找表中对应档位的斜率， $Value$ 表示输出幅度采集值， Bx 表示峰值控制查找表中对应档位的截距。
- [0021] 根据一种可选实施方式，所述获取LPO光模块状态机在正常运行状态下的最大增益峰值以及输出幅度采集值之前，方法还包括：

- [0022] 在LPO光模块上电后状态机进入初始化状态，在配置初始发端增益以及最大增益峰值之后，状态机切换至正常运行状态。
- [0023] 根据一种可选实施方式，基于所述比对结果并综合最大增益峰值自适应调节LPO光模块的发端增益，具体包括：
- [0024] 当综合输出幅度大于目标增益时，步进减少发端增益直至满足步进结束条件并同步调节最大增益峰值，所述步进结束条件为实时采集的输出幅度采集值和目标增益的偏差绝对值小于设定阈值。
- [0025] 根据一种可选实施方式，基于所述比对结果并综合最大增益峰值自适应调节LPO光模块的发端增益，具体包括：
- [0026] 当综合输出幅度小于目标增益时，步进增加发端增益直至满足步进结束条件并同步调节最大增益峰值。
- [0027] 本申请还提供一种LPO光模块发端增益自适应控制系统，包括：
- [0028] 数据获取模块，用于获取LPO光模块状态机在正常运行状态下的最大增益峰值以及输出幅度采集值；
- [0029] 计算模块，用于基于所述输出幅度采集值以及峰值控制查找表拟合计算，确定综合输出幅度；
- [0030] 比对模块，用于将所述综合输出幅度与目标增益进行比对；
- [0031] 调节模块，用于光模块固件基于所述比对结果并综合最大增益峰值自适应调节LPO光模块的发端增益。
- [0032] 本申请还提供一种LPO光模块，应用如上述所述的LPO光模块发端增益自适应控制方法。
- [0033] 本申请所提供的LPO光模块发端增益自适应控制方法、系统及光模块的技术方案至少具有如下优点和有益效果：本申请以输出幅度采集值为基础，通过确定综合输出幅度，将所述综合输出幅度与目标增益进行比对，在同步调节不同插损条件下的最大增益峰值前提下，将发端增益的调节由人工操作转移到光模块固件，通过光模块固件完成发端增益的匹配及自适应输出工作，可自适应匹配到不同的交换机端口和不同的高低温环境，能够有效地提高LPO光模块和交换机

之间的匹配效率，降低应用端不必要的人力施工成本及维护成本以及人工调试引入的各种错误和误差。

附图说明

[0034] 图1为本申请实施例提供的一种LPO光模块发端增益自适应控制方法的流程图；

[0035] 图2为本申请实施例提供的一种自适应发端增益控制示意图。

本发明的实施方式

[0036] 为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。通常在此处附图中描述和示出的本申请实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。

[0037] 图1为本申请实施例所提供的一种LPO光模块发端增益自适应控制方法的流程图。参见图1所示，该发端增益自适应控制方法包括以下步骤：

[0038] S101、获取LPO光模块状态机在正常运行状态下的最大增益峰值以及输出幅度采集值。

[0039] 可选地，可以按照LPO光模块的预设采样循环周期，采集LPO光模块状态机在正常运行状态下的最大增益峰值以及输出幅度采集值。

[0040] 一些实施方式中，LPO光模块的预设采样循环周期可以根据实际的应用场景灵活设置，在此并不限定具体的取值。可以理解的是，通过按照LPO光模块的预设采样循环周期，采集LPO光模块状态机在正常运行状态下的最大增益峰值以及输出幅度采集值，可以实现对最大增益峰值和输出幅度采集值的实时采集，进而可以实现后续的实时匹配。

[0041] S102、基于输出幅度采集值以及峰值控制查找表拟合计算，确定综合输出幅度。

[0042] S103、将综合输出幅度与目标增益进行比对。

[0043] S104、光模块固件基于比对结果并综合最大增益峰值自适应调节LPO光模块的发端增益。

- [0044] 其中，线性驱动可插拔光模块（Linear-drive Pluggable Optics, LPO）上电后状态机进入初始化状态，在初始化状态下，状态机在配置初始发端增益、最大增益峰值以及其他调节参数之后，切换至正常运行状态，之后LPO光模块进入正常的主循环内；其中，初始发端增益、最大增益峰值为综合考虑目标客户使用场景和模块实际的物理特性而配置的通用值。
- [0045] 在正常运行状态下，每个主循环均获取一次LPO光模块的输出幅度采集值，以保证后续拟合计算和增益反馈调节的实时性。
- [0046] 在本实施例的一种可选实施方式中，输出幅度采集值的频率为18GHz 20GHz，其中，20GHz后续简称为20GPKD值，20GHz频率下的输出幅度采集值作为主导。
- [0047] 在本实施例的一种可选实施方式中，峰值控制查找表将插损条件划分为多个档位，每个档位对应一最大增益峰值。
- [0048] 进一步地，每个主循环均同步获取一次获取LPO光模块的最大增益峰值Peaking Ctrl，在本实施例的一种实施方式中，最大增益峰值基于当前LPO光模块通道的插损条件通过查找峰值控制查找表（Peaking Ctrl LUT）获取。
- [0049] 需要说明的是，峰值控制查找表Peaking Ctrl LUT为每只LPO光模块出厂前，根据LPO光模块物理特性在预设温度范围（-40℃~85℃）形成的一张查找表，包含不同温度档位下光模块发端对应的最大增益峰值。
- [0050] 需要说明的是，在一种可能的实现方式中，该峰值控制查找表将全插损条件划分为若干个档位，例如20个，每个档位分别计算出该档位下需要设置的最大增益峰值，该最大增益峰值为一个范围控制值。
- [0051] 基于输出幅度采集以及峰值控制查找表拟合计算，确定综合输出幅度；该综合输出幅度的表达式如下：
- [0052]
$$C = Kx * Value + Bx$$

- [0053] 上式中， C 表示综合输出幅度， Kx 表示峰值控制查找表中对应档位的斜率， $Value$ 表示输出幅度采集， Bx 表示峰值控制查找表中对应档位的截距。
- 其中， Kx 和 Bx 可根据峰值控制查找表计算得到。
- [0054] 需要说明的是，在一种可能的实现方式中，该峰值控制查找表将预设温度范围（低温-25℃~高温75℃）划分为若干个档位，例如每5℃为一个档位，将预设温度范围划分为20个档位，当超过最低温度-25℃和最高温度75℃时，线性拟合的斜率设置为0，截距保持上一个档位的不变；通过温度分档的方式，以此可降低不同插损的影响，且不会对模块固件的运行和计算造成过大的负担。
- [0055] 进一步地，将该综合输出幅度 C 与目标增益（目标VGAIN值）进行比对，光模块固件基于该比对结果并综合最大增益峰值自适应调节LPO光模块的发端增益，自适应发端增益控制可参见图2所示。
- [0056] 在本实施例的一种实施方式中，基于该比对结果并综合最大增益峰值自适应调节LPO光模块的发端增益，具体包括：
- [0057] 当综合输出幅度大于目标增益时，步进减少发端增益，将综合输出幅度负反馈到VGAIN值上，直至满足步进结束条件并同步调节最大增益峰值，该步进结束条件为实时采集的20GPKD值和目标VGAIN值的偏差绝对值小于设定阈值；当综合输出幅度小于目标增益时，步进增加发端增益，将综合输出幅度正反馈到VGAIN值上，直至满足步进结束条件并同步调节最大增益峰值；在满足结束条件后，状态机切换至正常运行状态，并在正常运行状态下对20GPKD值与目标VGAIN值进行计算和监控。
- [0058] 综上，本申请以输出幅度采集值为基础，通过确定综合输出幅度，将该综合输出幅度与目标增益进行比对，在同步调节不同插损条件下的最大增益峰值前提下，将发端增益的调节由人工操作转移到光模块固件，通过光模块固件完成发端增益的匹配及自适应输出工作，可自适应匹配到不同的交换机端口和不同的

高低温环境，能够有效地提高LPO光模块和交换机之间的匹配效率，降低应用端不必要的人力施工成本及维护成本以及人工调试引入的各种错误和误差。

[0059] 基于上述实施例，本申请提供一种LPO光模块发端增益自适应控制系统，该系统包括数据获取模块、计算模块、比对模块以及调节模块。

[0060] 其中，数据获取模块用于获取LPO光模块状态机在正常运行状态下的最大增益峰值以及输出幅度采集值；计算模块用于基于该输出幅度采集值以及峰值控制查找表拟合计算，确定综合输出幅度；比对模块用于将该综合输出幅度与目标增益进行比对；调节模块用于光模块固件基于该比对结果并综合最大增益峰值自适应调节LPO光模块的发端增益。

[0061] 基于上述实施例，本申请提供一种LPO光模块，该LPO光模块应用上述LPO光模块发端增益自适应控制方法。

[0062] 以上仅为本申请的可选实施例而已，并不用于限制本申请，对于本领域的技术人员来说，本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本申请的保护范围之内。

工业实用性

[0063] 采用上述方案，能够自适应匹配到不同的交换机端口和不同的高低温环境，相较于现有人工配置的方式，可以有效地提高LPO光模块和交换机之间的匹配效率，降低应用端不必要的人力施工成本及维护成本以及人工调试引入的各种错误和误差。

权利要求书

- [权利要求 1] LPO光模块发端增益自适应控制方法，其特征在于，包括以下步骤：
获取LPO光模块状态机在正常运行状态下的最大增益峰值以及输出幅度采集值；
基于所述输出幅度采集值以及峰值控制查找表拟合计算，确定综合输出幅度；
将所述综合输出幅度与目标增益进行比对；
光模块固件基于所述比对结果并综合最大增益峰值自适应调节LPO光模块的发端增益。
- [权利要求 2] 如权利要求1所述的LPO光模块发端增益自适应控制方法，其特征在于，所述最大增益峰值基于当前LPO光模块通道的插损条件并通过峰值控制查找表获取。
- [权利要求 3] 如权利要求2所述的LPO光模块发端增益自适应控制方法，其特征在于，所述峰值控制查找表将插损条件划分为多个档位，每个档位对应一最大增益峰值。
- [权利要求 4] 如权利要求1所述的LPO光模块发端增益自适应控制方法，其特征在于，所述获取LPO光模块状态机在正常运行状态下的最大增益峰值以及输出幅度采集值，包括：
按照LPO光模块的预设采样循环周期，采集LPO光模块状态机在正常运行状态下的最大增益峰值以及输出幅度采集值。
- [权利要求 5] 如权利要求1所述的LPO光模块发端增益自适应控制方法，其特征在于，所述输出幅度采集值的频率为18GHz~20GHz。
- [权利要求 6] 如权利要求1所述的LPO光模块发端增益自适应控制方法，其特征在于，所述综合输出幅度的表达式如下：

$$C = Kx * Value + Bx$$

上式中， C 表示综合输出幅度， Kx 表示峰值控制查找表中对应档位的斜率， $Value$ 表示输出幅度采集值， Bx 表示峰值控制查找表中对应档位的截距。

- [权利要求 7]

如权利要求1所述的LPO光模块发端增益自适应控制方法，其特征在于，所述获取LPO光状态机在正常运行状态下的最大增益峰值以及输出幅度采集值之前，所述方法还包括：
在LPO光模块上电后状态机进入初始化状态，在配置初始发端增益以及最大增益峰值之后，状态机切换至正常运行状态。
- [权利要求 8]

如权利要求1所述的LPO光模块发端增益自适应控制方法，其特征在于，基于所述比对结果并综合最大增益峰值自适应调节LPO光模块的发端增益，具体包括：
当综合输出幅度大于目标增益时，步进减少发端增益直至满足步进结束条件并同步调节最大增益峰值，所述步进结束条件为实时采集的输出幅度采集值和目标增益的偏差绝对值小于设定阈值。
- [权利要求 9]

如权利要求8所述的LPO光模块发端增益自适应控制方法，其特征在于，基于所述比对结果并综合最大增益峰值自适应调节LPO光模块的发端增益，具体包括：
当综合输出幅度小于目标增益时，步进增加发端增益直至满足步进结束条件并同步调节最大增益峰值。
- [权利要求 10]

LPO光模块发端增益自适应控制系统，其特征在于，包括：
数据获取模块，用于获取LPO光模块状态机在正常运行状态下的最大增益峰值以及输出幅度采集值；
计算模块，用于基于所述输出幅度采集值以及峰值控制查找表拟合计算，确定综合输出幅度；
比对模块，用于将所述综合输出幅度与目标增益进行比对；

调节模块，用于光模块固件基于所述比对结果并综合最大增益峰值自适应调节LPO光模块的发端增益。

[权利要求 11]

一种LPO光模块，其特征在于，应用如权利要求1至9任一项所述的LPO光模块发端增益自适应控制方法。