

滤波器的实现方法、噪声的抑制方法、装置及计算机设备

本申请要求于 2022 年 7 月 12 日提交中国专利局、申请号为 202210814493.7、
发明名称为“滤波器的实现方法、噪声的抑制方法、装置及计算机设备”的中
5 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

本申请涉及通信技术领域，特别是涉及一种滤波器的实现方法、噪声的抑
制方法、装置、计算机设备、存储介质和计算机程序产品。

10

背景技术

随着通信技术的发展，脉冲幅度调制（Pulse Amplitude Modulation，PAM）
技术在光互连中得到了广泛应用。由于 PAM 信号可以由强度调制产生，因此，
接收端可以基于强度调制直接检波（Intensity Modulation-Direct Detection，
15 IMDD）。相对于传统的不归零（Non-Return-to-Zero，NRZ）二进制调制信号，
PAM 信号的每个码元所传输的比特数更多，从而在同等信道带宽下 PAM 调制能
够实现更高比特率的传输。

但是，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，光信号在传输过程中经过多个反射端面会带来多径干涉（Multi-path
20 Interference，MPI）效应。而多径干涉效应所产生的 MPI 噪声容易对传输信号的
检测带来不利影响。特别是在 PAM 调制下，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。

传统技术中，基于 MPI 噪声对 PAM 信号传输的影响，目前存在一些抑制
MPI 噪声的方法。比如，数字滤波和模拟滤波的方案，但是经验证明，这些方
25 案都不是针对 MPI 的最优方案，在较大 MPI 噪声下或者 PAM 传输信号有较大
啁啾时，并不能有效滤除 MPI 噪声。再比如，高通滤波的方法，虽然采用该方
法可以滤除低频 MPI 噪声，但是这种方法仅对无啁啾的 PAM 信号有效，而对于
直调激光器（Directly Modulated Laser，DML）所产生的 PAM 信号，由于信号

本身存在较大啁啾，从而导致 MPI 噪声谱扩展到高频，而简单的高通滤波对减小 MPI 噪声基本无效。另外，在接收端 PAM 信号经过高通滤波后会产生直流漂移（DC Wander），也会对 PAM 信号的恢复产生不利影响。基于此，为了避免 MPI 噪声对 PAM 传输系统造成较大影响，目前还存在对光模块和光纤链路中连接头的回波损耗（Return Loss）进行严格的限定。比如 IEEE802.3（一种网络协议）和 100G Lambda MSA（光学互连系统规范）等国际标准中将光纤连接头的最大回波损耗从原来的-26 dB 减小到-35 dB。但是在已经布放的实际光纤链路中，由于连接头比较多，而且连接头的回波损耗难以控制在-35 dB 以下，导致实际系统中 MPI 噪声可能会对 PAM 传输带来较大的光功率代价。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 PAM 信号传输。因此，如何最大限度的抑制 MPI 噪声对 PAM 信号传输的影响是目前亟需解决的问题。

发明内容

基于此，有必要针对上述技术问题，提供一种能够有效抑制 MPI 噪声对 PAM 信号传输影响的滤波器的实现方法、噪声的抑制方法、装置、计算机设备、存储介质和计算机程序产品。

第一方面，本申请提供了一种维纳滤波器的实现方法，所述方法包括：

获取第一测试信号对应的第一信号频谱和第一功率谱，所述第一测试信号是信号发送端对第一测试数据进行调制并通过光纤传输后的光信号；

根据所述第一信号频谱和第一功率谱，确定所述第一测试信号的噪声谱；

获取第二测试信号对应的第二信号频谱，所述第二测试信号是所述信号发送端对第二测试数据进行调制并通过光纤传输后的光信号，所述第二测试数据的周期大于所述第一测试数据的周期；

根据所述第二信号频谱和所述第一测试信号的噪声谱，确定维纳滤波器的频率响应。

在其中一个实施例中，所述根据所述第二信号频谱和所述第一测试信号的噪声谱，确定维纳滤波器的频率响应，包括：获取所述第二信号频谱和所述第

一测试信号的噪声谱之间的第一差值；获取所述第一差值与所述第一测试信号的噪声谱之间的和；根据所述第一差值与所述和确定所述维纳滤波器的频率响应。

在其中一个实施例中，所述根据所述第一差值与所述和确定所述维纳滤波器的频率响应，包括：将所述第一差值与所述和的比值确定为所述维纳滤波器的频率响应。

在其中一个实施例中，所述根据所述第一信号频谱和第一功率谱，确定所述第一测试信号的噪声谱，包括：获取所述第一信号频谱和所述第一功率谱之间的第二差值，将所述第二差值作为所述第一测试信号的噪声谱。

10 在其中一个实施例中，所述确定所述第一测试信号的噪声谱之后，所述方法还包括：获取接收噪声谱，所述接收噪声谱用于表征信号接收端自身的噪声；根据所述第一测试信号的噪声谱与所述接收噪声谱，确定多径干扰噪声谱。

在其中一个实施例中，所述获取接收噪声谱，包括：获取检测信号对应的第二功率谱，将所述第二功率谱作为所述接收噪声谱，所述检测信号是无光信号输入时信号接收端所产生的噪声。

在其中一个实施例中，所述根据所述第一测试信号的噪声谱与所述接收噪声谱，确定多径干扰噪声谱，包括：获取所述第一测试信号的噪声谱与所述接收噪声谱之间的第三差值，将所述第三差值作为所述多径干扰噪声谱。

第二方面，本申请提供了一种多径干扰噪声的抑制方法，所述方法应用于光通信系统的信号接收端，所述方法包括：获取接收信号；根据维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号；所述维纳滤波器的频率响应是根据如上第一方面所述的方法实现。

在其中一个实施例中，所述采用维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号，包括：对所述维纳滤波器的频率响应进行谱分解，得到因果维纳滤波器的频率响应；根据所述因果维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号。

第三方面，本申请提供了一种维纳滤波器的实现装置，所述装置包括：第一频谱获取模块，用于获取第一测试信号对应的第一信号频谱和第一功率谱，

所述第一测试信号是信号发送端对第一测试数据进行调制并通过光纤传输后的光信号；噪声谱确定模块，用于根据所述第一信号频谱和第一功率谱，确定所述第一测试信号的噪声谱；第二频谱获取模块，用于获取第二测试信号对应的第二信号频谱，所述第二测试信号是所述信号发送端对第二测试数据进行调制
5 并通过光纤传输后的光信号，所述第二测试数据的周期大于所述第一测试数据的周期；滤波器确定模块，用于根据所述第二信号频谱和所述第一测试信号的噪声谱，确定维纳滤波器的频率响应。

第四方面，本申请提供了一种多径干扰噪声的抑制装置，所述装置应用于光通信系统的接收端，所述装置包括：接收信号获取模块，用于获取接收信号；
10 滤波模块，用于根据维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号；所述维纳滤波器的频率响应是根据权利要求 1 至 7 任一项所述的方法实现。

第五方面，本申请提供了一种光通信系统，所述系统包括：信号发送端，用于对输入的发送数据进行调制以生成光信号；光纤，用于传输所述信号发送端生成的所述光信号；信号接收端，用于接收所述光纤传输的所述光信号，并
15 采用如上第一方面所述的方法实现的维纳滤波器的频率响应对所述光信号进行滤波，得到滤波后的目标信号。

第六方面，本申请提供了一种计算机设备，包括存储器和处理器，所述存储器存储有计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现如上第一方面
20 或第二方面中任一项所述的方法的步骤。

第七方面，本申请提供了一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现如上第一方面或第二方面中任一项所述的方法的步骤。

第八方面，本申请提供了一种计算机程序产品，包括计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现如上第一方面或第二方面中任一项所述的方法的步骤。
25

上述滤波器的实现方法、噪声的抑制方法、装置、计算机设备、存储介质和计算机程序产品，通过获取第一测试信号对应的第一信号频谱和第一功率谱，

并根据第一信号频谱和第一功率谱，确定第一测试信号的噪声谱，进而获取第二测试信号对应的第二信号频谱，并根据第二信号频谱和第一测试信号的噪声谱，确定维纳滤波器的频率响应。其通过结合频域方法可以得到 MPI 噪声下的维纳滤波器的频率响应，从而可以实现针对 MPI 噪声的最优滤波器，并能够最大限度地抑制 MPI 噪声，以避免 MPI 噪声对 PAM 信号传输的影响。

附图说明

- 图 1 为一个实施例中维纳滤波器的实现方法的流程示意图；
- 图 2A 为一个实施例中 MPI 在-36dB 下接收端所接收到的信号频谱示意图；
- 10 图 2B 为一个实施例中 MPI 在-33dB 下接收端所接收到的信号频谱示意图；
- 图 2C 为一个实施例中 MPI 在-30dB 下接收端所接收到的信号频谱示意图；
- 图 3 为一个实施例中确定维纳滤波器的频率响应步骤的流程示意图；
- 图 4 为一个实施例中确定多径干扰噪声谱步骤的流程示意图；
- 图 5 为另一个实施例中维纳滤波器的实现方法的流程示意图；
- 15 图 6 为一个实施例中多径干扰噪声的抑制方法的流程示意图；
- 图 7 为一个实施例中光通信系统的结构框图；
- 图 8 为一个实施例中光通信系统的工作原理示意图；
- 图 9 为一个实施例中维纳滤波器的实现装置的结构框图；
- 图 10 为一个实施例中多径干扰噪声的抑制装置的结构框图；
- 20 图 11 为一个实施例中计算机设备的内部结构图。

具体实施方式

为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本申请进行进一步详细说明。应当理解，此处描述的具体实施例仅仅用以解释本申请，并不用于限定本申请。

目前，如何最大限度地抑制光纤通信系统中的 MPI 噪声对信号的干扰，并将有用信号分离出来，是接收机所面临的亟需解决的问题。而信号处理的目的就是减小 MPI 噪声的干扰，尽可能地恢复不受干扰地信号，这也是信号处理领

域的经典问题，通常称为最优滤波（Optimal Filter）问题。针对 MPI 噪声，数字滤波和模拟滤波的方案都已经得到了一定程度的验证，但是在较大 MPI 噪声下或者 PAM 传输信号有较大啁啾时，并不能有效滤除 MPI 噪声，而且这些方案都不是针对 MPI 的最优滤波。而采用高通滤波的方法虽然可以滤除低频 MPI 5 噪声，但是也仅对无啁啾的 PAM 信号比较有效，而对于直调激光器所产生的 PAM 信号，由于信号本身存在较大啁啾，会导致 MPI 噪声谱扩展到高频，因此，简单的高通滤波对减小 MPI 噪声基本无效。另外，在接收端 PAM 信号经过高通滤波还会产生直流漂移，从而导致对 PAM 信号的恢复产生不利影响。

虽然维纳滤波（Wiener Filter）可以实现最小均方误差下的最优滤波，但是 10 对于光纤通信中的 MPI 噪声，如何实现维纳滤波是一个非常具有挑战的难题。通常而言，维纳滤波器的实现方案由两种，时域方法和频域方法。

其中，时域方法可以通过求解维纳-霍夫方程（Wiener-Hopf Equation）实现： $R_{xx}w = R_{xd}$ 。通过该方程可以得到数字维纳滤波器的权重系数 w ，但是如何确定接收信号 x 的自相关矩阵 R_{xx} 以及发送信号 d 和接收信号 x 的互相关矢量 R_{xd} 却 15 存在一定的困难。虽然自相关矩阵 R_{xx} 可以由自相关函数得到，互相关矢量 R_{xd} 可以由互相关函数得到，但是，无论是自相关函数还是互相关函数都是统计量，需要大量的样本函数或者信号的统计分布才能得到。而在光通信系统中，信号接收端是很难实时估计接收信号的自相关函数以及发送信号和接收信号的互相关函数的。即便利用发送信号和接收信号的宽平稳性和遍历性，可以由样本函数 20 来估计自相关函数和互相关函数，但仍然需要尽可能多的样本函数采样值和大量的计算，这在实时高速率光通信中是不现实的。

而频域方法，维纳滤波器的频率响应一般通过接收信号的功率谱 $S_{xx}(e^{j\omega})$ 和 MPI 噪声谱 $S_{MPI}(e^{j\omega})$ 确定。但是，如果接收端自身的噪声 $S_{nn}(e^{j\omega})$ 不可忽略，则应当参考 MPI 噪声谱 $S_{MPI}(e^{j\omega})$ 和接收端噪声谱 $S_{nn}(e^{j\omega})$ 之和即总噪声谱 25 $S_{NN}(e^{j\omega})$ 确定滤波器的频率响应。其中 $S_{NN}(e^{j\omega}) = S_{MPI}(e^{j\omega}) + S_{nn}(e^{j\omega})$ ，则维纳滤波器的频率响应为：

$$H_{opt}(e^{j\omega}) = \frac{S_{xx}(e^{j\omega})}{S_{xx}(e^{j\omega}) + S_{NN}(e^{j\omega})}$$

在信号传输过程中，由于存在 MPI 噪声和接收端自身的噪声，因此，接收端所测量的信号频谱 $S_{Rx}(e^{j\omega})$ ，实际包含接收信号的功率谱 $S_{xx}(e^{j\omega})$ 和 MPI 噪声谱 $S_{MPI}(e^{j\omega})$ 以及接收端自身的噪声谱 $S_{nn}(e^{j\omega})$ 。即 $S_{Rx}(e^{j\omega}) = S_{xx}(e^{j\omega}) + S_{NN}(e^{j\omega})$ 。其中，接收信号的功率谱 $S_{xx}(e^{j\omega})$ 则是从信号频谱 $S_{Rx}(e^{j\omega})$ 中去除噪声后的能量谱，即 $S_{xx}(e^{j\omega}) = S_{Rx}(e^{j\omega}) - S_{NN}(e^{j\omega})$ 。具体地，功率谱 $S_{xx}(e^{j\omega})$ 可以采用功率谱估计方法得到，或者，对于 NRZ、PAM4 等常用的信号，还可以采用对应的功率谱的解析表达式得到。

但是，对于 MPI 噪声谱 $S_{MPI}(e^{j\omega})$ ，其对应的表达式通常为：

$$S_{MPI}(f) = \frac{4R^2}{\pi} \frac{\Delta\nu}{f^2 + (\Delta\nu)^2}$$

其中 f 是频率， $\Delta\nu$ 是激光器的线宽， R 为光纤中多次反射所产生的等效 MPI。上式给出的 MPI 噪声谱是针对线宽为 $\Delta\nu$ 的连续波（continuouswave）激光器在光纤链路中所产生的 MPI 噪声谱，而实际的光纤通信系统中，由于大信号调制，发送端调制器带来的啁啾会导致 MPI 噪声谱不再满足上述表达式。而目前还没有针对啁啾信号的 MPI 噪声谱的解析表达式，又由于 MPI 噪声谱和调制信号的频谱在接收端混叠在一起，目前无法得到针对啁啾信号的 MPI 噪声谱的实际测量结果。因此，如何得到啁啾信号的 MPI 噪声谱，并利用频域方法得到 MPI 噪声下的维纳滤波器的频率响应是关键所在。

基于此，在一个实施例中，如图 1 所示，提供了一种维纳滤波器的实现方法，以该方法应用于光通信系统为例进行说明，具体可以包括以下步骤：

步骤 102，获取第一测试信号对应的第一信号频谱和第一功率谱。

其中，第一测试信号是信号发送端对第一测试数据进行调制并通过光纤传输的光信号。具体地，第一测试数据包括周期性的二进制伪随机码流（Pseudorandom Bit Sequence，简称 PRBS）、方波、锯齿波、三角波中或者其他周期信号的任一种。

第一测试信号对应的第一信号频谱，则是信号接收端对接收的第一测试信号进行采样后并进行功率谱估计得到的信号频谱，即 $S_{Rx}(e^{j\omega})$ 。可以理解的是，该信号频谱中包括第一测试信号传输过程中所产生的噪声谱，即 $S_{NN}(e^{j\omega})$ 。

第一功率谱则是基于第一测试信号得到的没有噪声的能量谱。由于第一测试数据是周期性数据，因此，接收端得到的对应的信号频谱仅在一些离散的频率点才有信号能量。例如，以光通信系统为 25GbaudPAM4 传输系统，第一测试数据为 PRBS7 二进制码流为例来说，其周期为 2^7-1 比特，PAM4 信号频谱仅在
5 $N \times 393.7\text{MHz}$ (N 为整数, $N = 0, 1, 2, 3 \dots$) 频率点上才有能量。而这些频率点上对应的能量谱线则为第一测试信号对应的第一功率谱，即 $S_{xx}(e^{j\omega})$ 。具体地，第一功率谱可以基于接收的第一测试信号采用功率谱估计方法得到，或者，对于 NRZ、PAM4 等信号，还可以采用对应的功率谱的解析表达式计算得到。

在本实施例中，在正式传输数据之前，如光通信系统上电期间，信号发送
10 端可以通过对第一测试数据进行脉冲幅度调制后形成第一测试信号，并将第一测试信号传输至光纤中，光通信系统则获取信号接收端从光纤接收的第一测试信号对应的第一信号频谱和第一功率谱。

步骤 104，根据第一信号频谱和第一功率谱，确定第一测试信号的噪声谱。

由于第一功率谱是基于第一测试信号估计的没有噪声的能量谱，而第一信号频谱中包括第一测试信号传输过程中所产生的噪声谱，因此，基于第一信号
15 频谱和第一功率谱，即可确定第一测试信号的噪声谱。

在一种场景下，考虑到发送端光调制器所产生的啁啾与具体的信号码流相关，又由于 MPI 噪声和信号的时域波形和啁啾有关，而 PRBS（伪随机二进制码）码流更接近实际发送数据的码流，因此可以采用周期较短的 PRBS 码流作
20 为第一测试数据。例如，采用 PRBS7、PRBS9 或 PRBS11 等码流作为第一测试数据。进而使得基于第一测试数据调制后的第一测试信号得到的噪声谱更接近实际的噪声谱。

具体地，以光通信系统为 25GbaudPAM4 传输系统、第一测试数据为 PRBS7 二进制码流为例来说，由于第一测试数据是周期性数据，其周期为 2^7-1 比特。
25 因此，接收端得到的对应于 PAM4 信号频谱仅在 $N \times 393.7\text{MHz}$ (N 为整数, $N = 0, 1, 2, 3 \dots$) 频率点上才有能量，而对于 MPI 噪声，其能量在整个频谱范围内是连续分布的。

如图 2A、图 2B 以及图 2C 所示，给出了传输码流为 PRBS7 的 25GPAM4 光通

信系统，在不同 MPI（分别在-36dB、-33dB 以及-30dB）下接收端所接收到的信号频谱（如图 2A、图 2B 以及图 2C 的左图），其中，横轴表示频率，纵轴表示能量。由图可以看出，频谱中包含着一些离散的谱线，这些离散的谱线正是 PAM4 信号（即基于 PRBS7 码流得到的接收信号）的功率谱。除了这些离散的谱线，
5 频谱中还包含能量相对较低的连续谱，这就是 MPI 噪声谱和接收端噪声谱。因此，如果将图 2A、图 2B 以及图 2C 左图的信号频谱中离散的信号谱线去除，就可以得到如图 2A、图 2B 以及图 2C 右图所示的接收信号的噪声谱（该噪声谱包括 MPI 噪声谱和接收端噪声谱）。由于频谱中去掉了离散的信号谱线，这样得到的噪声谱在这些离散的频率点上是没有测量值的。为了弥补在这些离散的谱
10 线上缺失的噪声谱，可以基于另外一种不同周期的 PRBS 码流，重复上述步骤，就可以测得那些离散的频率点上缺失的噪声谱。

具体地，在本实施例中，根据上述获取的第一测试信号对应的第一信号频谱和第一功率谱，并从第一信号频谱中去除离散的第一功率谱，即可得到第一测试信号的噪声谱。例如，可以计算第一信号频谱与第一功率谱之间的差，则
15 该差即可以作为第一测试信号的噪声谱。

步骤 106，获取第二测试信号对应的第二信号频谱。

其中，第二测试信号是信号发送端对第二测试数据进行调制并通过光纤传输的光信号。具体地，第二测试数据的周期大于第一测试数据的周期。例如，第一测试数据可以采用具有较短周期的 PRBS7、PRBS9 或 PRBS11 等码流，则
20 第二测试数据可以采用具有较长周期的 PRBS31 等码流。在本实施例中，可以通过第二测试数据来模拟待要发送的数据，并由信号发送端对第二测试数据进行调制，在得到第二测试信号后由光纤传输，光通信系统则获取信号接收端从光纤中采样的第二测试信号，并通过功率谱估计得到采样的第二测试信号对应的第二信号频谱。可以理解的是，第二信号频谱与第一信号频谱的含义相类似，
25 其区别在于其分别是对应于不同接收信号的信号频谱。在本实施例中，为了区分不同接收信号的信号频谱，将接收的第一测试信号对应的信号频谱定义为第一信号频谱，将接收的第二测试信号对应的信号频谱定义为第二信号频谱。

步骤 108，根据第二信号频谱和第一测试信号的噪声谱，确定维纳滤波器的

频率响应。

在本实施例中，光通信系统根据维纳滤波器的频域方法，并基于上述获得的第二信号频谱和第一测试信号的噪声谱，从而可以确定维纳滤波器的频率响应。又由于滤波器主要通过频率响应来表征，因此，确定了维纳滤波器的频率响应，也就确定了对应的维纳滤波器。

上述维纳滤波器的实现方法，光通信系统通过获取第一测试信号对应的第一信号频谱和第一功率谱，并根据第一信号频谱和第一功率谱，确定第一测试信号的噪声谱，进而获取第二测试信号对应的第二信号频谱，并根据第二信号频谱和第一测试信号的噪声谱，确定维纳滤波器的频率响应。其通过结合频域方法可以得到 MPI 噪声下的维纳滤波器的频率响应，从而可以实现针对 MPI 噪声的最优滤波器，并能够最大限度地抑制 MPI 噪声，以避免 MPI 噪声对 PAM 信号传输的影响。

在一个实施例中，如图 3 所示，根据第二信号频谱和第一测试信号的噪声谱，确定维纳滤波器的频率响应，具体还可以包括：

步骤 302，获取第二信号频谱和第一测试信号的噪声谱之间的第一差值。

其中，第二信号频谱是通过第二测试数据模拟待要发送的数据，并由信号发送端对第二测试数据进行调制，在得到第二测试信号后由光纤传输，通过信号接收端从光纤中采样第二测试信号，并通过功率谱估计采样的第二测试信号对应的信号频谱。由于该信号频谱中既包括第二测试信号的功率谱，也包括对应的噪声谱，而第一测试信号的噪声谱可以近似于实际的噪声谱，因此，通过将第二信号频谱与第一测试信号的噪声谱进行差值计算，即可得到第二测试信号的功率谱。

具体地，光通信系统通过获取第二信号频谱和第一测试信号的噪声谱之间的第一差值，该第一差值则为第二测试信号的功率谱，即从第二信号频谱中去除噪声后的能量谱。

步骤 304，获取第一差值与第一测试信号的噪声谱之间的和。

步骤 306，根据第一差值与和确定维纳滤波器的频率响应。

具体地，光通信系统基于上述维纳滤波器的频率响应表达式，将上述第一

差值与和的比值确定为维纳滤波器的频率响应。

具体地，若第一测试信号对应的第一信号频谱为 $S1_{Rx}(e^{j\omega})$ ，第一测试信号对应的第一功率谱为 $S1_{xx}(e^{j\omega})$ ，则从第一信号频谱 $S1_{Rx}(e^{j\omega})$ 中去除第一功率谱 $S1_{xx}(e^{j\omega})$ ，即可以得到第一测试信号的噪声谱 $S_{NN}(e^{j\omega}) = S1_{Rx}(e^{j\omega}) - S1_{xx}(e^{j\omega})$ ，即第一测试信号的噪声谱 $S_{NN}(e^{j\omega})$ 为第一信号频谱 $S1_{Rx}(e^{j\omega})$ 与第一功率谱 $S1_{xx}(e^{j\omega})$ 之间的第二差值。由于第一测试信号的噪声谱可以近似于实际的噪声谱，因此，该第一测试信号的噪声谱可以作为接收端接收任一信号的噪声谱。

基于此，若第二测试信号对应的第二信号频谱为 $S2_{Rx}(e^{j\omega})$ ，则从第二信号频谱 $S2_{Rx}(e^{j\omega})$ 中去除噪声后的能量谱为 $S2_{xx}(e^{j\omega})$ ，也即 $S2_{xx}(e^{j\omega}) = S2_{Rx}(e^{j\omega}) - S_{NN}(e^{j\omega})$ 。则基于上述表达式可以得到维纳滤波器的频率响应为：

$$H_{opt}(e^{j\omega}) = \frac{S2_{xx}(e^{j\omega})}{S2_{xx}(e^{j\omega}) + S_{NN}(e^{j\omega})}$$

其中，分子为第二信号频谱 $S2_{Rx}(e^{j\omega})$ 和第一测试信号的噪声谱 $S_{NN}(e^{j\omega})$ 之间的第一差值，也即从第二信号频谱 $S2_{Rx}(e^{j\omega})$ 中去除噪声谱 $S_{NN}(e^{j\omega})$ 后的能量谱 $S2_{xx}(e^{j\omega})$ 。分母为该第一差值 $S2_{xx}(e^{j\omega})$ 与噪声谱 $S_{NN}(e^{j\omega})$ 之间的和，即分母为 $S2_{xx}(e^{j\omega}) + S_{NN}(e^{j\omega})$ 。

上述实施例中，光通信系统基于第一测试信号对应的第一信号频谱和第一功率谱，而确定信号的噪声谱，并根据该噪声谱和第二测试信号对应的第二信号频谱确定维纳滤波器的频率响应，从而提高维纳滤波器的频率响应的准确度。

在一种场景下，上述维纳滤波器的实现方法可以是在实际链路中的信号接收端实现，因此该方法具有自适应的特点。虽然目前也存在大量的自适应滤波器的实现方法，比如最小均方（Least Mean Square, LMS）自适应滤波和递推最小二乘（Recursive Least Square, RLS）自适应滤波，这些方法在统计平均意义下趋近于维纳滤波，但是由于所存在的估计误差，使得这些自适应滤波器的性能都无法达到维纳滤波器的性能。又由于自适应滤波器都存在收敛的问题，如果自适应步长选取不合适，还会导致不收敛或者收敛太慢的问题。相比之下，本公开所实现的维纳滤波器是针对 MPI 噪声的最优滤波器，而且稳定性很好，

不会存在收敛的问题。

在一个实施例中，如图 4 所示，在确定第一测试信号的噪声谱之后，上述方法还可以包括：

步骤 402，获取接收噪声谱。

- 5 其中，接收噪声谱用于表征信号接收端自身的噪声。由于第一测试信号的噪声谱中既包括接收端自身的噪声，还包括信号在光纤中传输的 MPI 噪声，因此，若能确定接收端自身的噪声，也就能够确定 MPI 噪声。

又由于 MPI 噪声是信号在光纤中传输时所产生的噪声，因此，当光纤中没有光信号传输时则不存在 MPI 噪声，也不存在有用信号。基于此，光通信系统通过检测在无光信号时，信号接收端检测的检测信号的第二功率谱，并以此来确定接收端自身的噪声。由于此时光纤中没有信号传输，即检测信号中既不存在 MPI 噪声，也不存在有用信号，因此，该检测信号的第二功率谱则为接收端自身的噪声，也即接收噪声谱。具体地，在本实施例中，可以将该检测信号对应的第二功率谱作为接收端自身的接收噪声谱。

- 15 步骤 404，根据第一测试信号的噪声谱与接收噪声谱，确定多径干扰噪声谱。

具体地，光通信系统获取第一测试信号的噪声谱与接收噪声谱之间的第三差值，将该第三差值作为多径干扰噪声谱。例如，若接收噪声谱为 $S_{nn}(e^{j\omega})$ ，第一测试信号的噪声谱为 $S_{NN}(e^{j\omega})$ ，则对应的多径干扰噪声谱 $S_{MPI}(e^{j\omega}) = S_{NN}(e^{j\omega}) - S_{nn}(e^{j\omega})$ 。即多径干扰噪声谱为第一测试信号的噪声谱与接收噪声谱之间的差值，此处为了便于说明，以区分不同的差值，将该差值定义为第三差值。

上述实施例中，光通信系统通过获取接收噪声谱，并根据第一测试信号的噪声谱与接收噪声谱，确定多径干扰噪声谱，即确定多径干扰噪声谱为第一测试信号的噪声谱与接收噪声谱之间的差值，从而能够实现对 MPI 噪声谱进行准确测量。

25 在一个实施例中，如图 5 所示，以下进一步说明上述维纳滤波器的实现方法，以该方法应用于光通信系统为例进行说明，其中，光通信系统包括信号发送端和信号接收端，则方法具体可以包括如下步骤：

步骤 502, 信号发送端发送第一测试信号。

其中, 第一测试信号是信号发送端在发送实际信号之前, 如光模块上电期间, 信号发送端对第一测试数据进行脉冲幅度调制后得到第一测试信号。

步骤 504, 信号接收端对接收的第一测试信号采样并进行功率谱估计, 得到
5 第一信号频谱和离散的第一功率谱。

其中, 第一功率谱 $S_{PRBS}(e^{j\omega})$ 的频率可以由第一测试信号的波特率、码元的比特数和周期的序列长度确定。又由于功率谱是频率的函数, 因此, 在确定频率后即可得到对应的功率谱。

具体地, 在本实施例中, 可以通过如下公式确定第一功率谱的频率:

$$10 \quad f_N = N \times \frac{\text{波特率} \times m}{\text{PRBS 码长度}} \quad N = 0, 1, 2, 3 \dots$$

其中 m 为码元的比特数, $m = \log_2 M$ 。 M 为发送码元集合的大小。对于 PAM4 信号, $M=4$, $m=2$ 。 N 为谐波数。 f_N 则表示周期性第一测试信号第 N 个谐波所对应的频率。 PRBS 码长度即为对应周期的序列长度, 例如, PRBS 码长度可以是 2^7-1 (即 127), 2^9-1 (即 511), $2^{11}-1$ (即 2047) 等。又由于 PRBS 信号为周期性
15 信号, 因此, PRBS 信号只在 f_N 频率点有能量, 而在其他频率点的信号能量为零。

第一信号频谱 $S_{RxPRBS}(e^{j\omega})$ 是对接收的第一测试信号进行采样后并进行功率谱估计得到的信号频谱。该信号频谱中包括第一测试信号传输过程中所产生的噪声谱 $S_{NN}(e^{j\omega})$ 。即 $S_{RxPRBS}(e^{j\omega}) = S_{PRBS}(e^{j\omega}) + S_{NN}(e^{j\omega})$ 。

20 步骤 506, 信号接收端从第一信号频谱中去除离散的第一功率谱, 得到第一测试信号的噪声谱。

具体地, 第一测试信号的噪声谱 $S_{NN}(e^{j\omega}) = S_{RxPRBS}(e^{j\omega}) - S_{PRBS}(e^{j\omega})$ 。

步骤 508, 信号发送端开始发送第二测试信号。

其中, 第二测试信号是信号发送端对第二测试数据进行调制并通过光纤传输后的光信号, 具体地, 第二测试数据的周期大于第一测试数据的周期。
25

步骤 510, 信号接收端对接收的第二测试信号采样并进行功率谱估计, 得到

第二信号频谱。

第二信号频谱 $S_{Rx}(e^{j\omega})$ 是对接收的第二测试信号进行采样后并进行功率谱估计得到的信号频谱。该信号频谱中包括第二测试信号传输过程中所产生的噪声谱 $S_{NN}(e^{j\omega})$ 以及实际信号的频谱。

- 5 步骤 512, 信号接收端根据第二信号频谱和第一测试信号的噪声谱, 确定维纳滤波器的频率响应。

由于第一测试信号的噪声谱 $S_{NN}(e^{j\omega})$ 已经由前述的方法确定, 进而可以确定第二测试信号真正的频谱, 即去除噪声后的频谱 $S_{xx}(e^{j\omega}) = S_{Rx}(e^{j\omega}) - S_{NN}(e^{j\omega})$ 。

- 10 则维纳滤波器的频率响应为:

$$H_{opt}(e^{j\omega}) = \frac{S_{xx}(e^{j\omega})}{S_{xx}(e^{j\omega}) + S_{NN}(e^{j\omega})}$$

步骤 514, 信号接收端对维纳滤波器的频率响应进行谱分解, 从而得到因果维纳滤波器的频率响应。

- 15 信号接收端通过对维纳滤波器的频率响应 $H_{opt}(e^{j\omega})$ 进行谱分解, 从而得到因果维纳滤波器的频率响应 $H_{wiener}(e^{j\omega})$ 。

步骤 516, 信号接收端根据因果维纳滤波器的频率响应得到对应的因果维纳滤波器。

由于滤波器主要由其频率响应来表征, 因此, 当已知因果维纳滤波器的频率响应, 也就确定了对应的因果维纳滤波器。

- 20 在本实施例中, 可以通过信号接收端估计接收信号的功率谱和噪声谱, 然后利用频域方法得到维纳滤波器的频率响应, 并由谱分解方法最终推导出因果维纳滤波器, 从而可以针对链路中的 MPI 噪声实现最小均方误差下的最优滤波器, 不仅实现方法简单, 稳定性好, 而且对于不同的 MPI 噪声具有自适应性的特点。

- 25 在一个实施例中, 如图 6 所示, 本公开还提供了一种多径干扰噪声的抑制方法, 本实施例以该方法应用于光通信系统的信号接收端为例进行说明, 具体可以包括如下步骤:

步骤 602，获取接收信号。

其中，接收信号是信号发送端对发送数据进行脉冲幅度调制后并通过光纤传输，之后被信号接收端所接收的光信号。

步骤 604，根据维纳滤波器的频率响应对接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号。

其中，维纳滤波器的频率响应是根据图 1 至图 5 所述的方法实现的。在本实施例中，信号接收端采用通过上述方法实现的维纳滤波器的频率响应对接收信号进行滤波，从而得到滤除噪声之后的目标信号，以实现无误码的 PAM 信号传输。

在一个实施例中，由于通常情况下，通过频域方法得到的维纳滤波器的频率响应是非因果的滤波器，从而无法在实时接收机中实现。因此，在本实施例中，当光通信系统为实时通信系统时，即信号接收端为实时接收端时，则采用维纳滤波器的频率响应对接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号，具体可以包括：对维纳滤波器的频率响应进行谱分解，从而得到因果维纳滤波器的频率响应，进而根据因果维纳滤波器的频率响应对接收信号进行滤波，以得到滤波后的目标信号。从而在实时接收端实现针对 MPI 噪声的最优滤波器，并能最大限度地抑制 MPI 噪声。

应该理解的是，虽然如上所述的各实施例所涉及的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，如上所述的各实施例所涉及的流程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。

在一个实施例中，如图 7 所示，本公开还提供了一种光通信系统，该系统包括：

信号发送端 702，用于对输入的发送数据进行调制以生成光信号。

光纤 704，用于传输信号发送端生成的光信号。

信号接收端 706，用于接收光纤传输的光信号，并采用上述方法实现的维纳滤波器的频率响应对光信号进行滤波，从而得到滤波后的目标信号。

具体地，如图 8 所示，信号发送端进一步包括 PAM4 编码模块和电吸收调制激光器 EML (Electroabsorption Modulated Laser)。信号接收端进一步包括光电二极管 PD(Photodiode)、跨组放大器 TIA(Transimpedance Amplifier)、模数转换器 ADC (Analog-to-Digital Converter) 以及数字信号处理模块 DSP (Digital Signal Processing)。

在本实施例中，结合上述如图 8 所示的光通信系统进一步说明其工作原理。
具体地，二进制码流经过发送端的 PAM4 编码后，采用 EML 将编码后的 PAM4 信号通过强度调制并加载在光载波上，调制后的光 PAM4 信号经过光纤传输，到达光接收机。光接收机利用 PD 将光信号转换为电信号，并经过 TIA 放大后，由 ADC 转换为数字信号，并经由 DSP 进行数字信号处理，从而得到接收信号的频谱。由于在光纤链路中存在反射，经由不同路径的多次反射叠加在接收端会形成多径干涉噪声 MPI。虽然 MPI 噪声谱的大部分能量集中在低频段，但是由于发送端 EML 调制会产生瞬态啁啾，使得 MPI 噪声谱扩展到高频段。

因此，在接收端，MPI 噪声谱和 PAM4 信号谱混叠在一起。基于此，本实施例基于如图 1 至图 5 所示的方法，在接收端的 DSP 中实现维纳滤波器，即确定维纳滤波器的频率响应，并对维纳滤波器的频率响应进行谱分解，从而得到因果维纳滤波器的频率响应，并根据因果维纳滤波器的频率响应得到对应的因果维纳滤波器，进而利用因果维纳滤波器对接收信号进行滤波，以最大限度地抑制 MPI 噪声和接收端自身的噪声，从而实现针对 MPI 噪声的最优滤波。

基于同样的发明构思，本申请实施例还提供了一种用于实现上述所涉及的维纳滤波器的实现方法的维纳滤波器的实现装置。该装置所提供的解决问题的实现方案与上述方法中所记载的实现方案相似，故下面所提供的一个或多个维纳滤波器的实现装置实施例中的具体限定可以参见上文中对于维纳滤波器的实现方法的限定，在此不再赘述。

在一个实施例中，如图 9 所示，提供了一种维纳滤波器的实现装置，所述

装置包括：

第一频谱获取模块 902，用于获取第一测试信号对应的第一信号频谱和第一功率谱，所述第一测试信号是信号发送端对第一测试数据进行调制并通过光纤传输后的光信号；

- 5 噪声谱确定模块 904，用于根据所述第一信号频谱和第一功率谱，确定所述第一测试信号的噪声谱；

第二频谱获取模块 906，用于获取第二测试信号对应的第二信号频谱，所述第二测试信号是所述信号发送端对第二测试数据进行调制并通过光纤传输后的光信号，所述第二测试数据的周期大于所述第一测试数据的周期；

- 10 滤波器确定模块 908，用于根据所述第二信号频谱和所述第一测试信号的噪声谱，确定维纳滤波器的频率响应。

- 在一个实施例中，滤波器确定模块还可以包括：第一差获取单元，用于获取所述第二信号频谱和所述第一测试信号的噪声谱之间的第一差值；和获取单元，用于获取所述第一差值与所述第一测试信号的噪声谱之间的和；频率响应
15 确定单元，用于根据所述第一差值与所述和确定所述维纳滤波器的频率响应。

在一个实施例中，频率响应确定单元具体还用于，将所述第一差值与所述和的比值确定为所述维纳滤波器的频率响应。

- 在一个实施例中，噪声谱确定模块具体还用于，获取所述第一信号频谱和所述第一功率谱之间的第二差值，将所述第二差值作为所述第一测试信号的噪声
20 谱。

在一个实施例中，所述装置还包括：接收噪声谱获取模块，用于获取接收噪声谱，所述接收噪声谱用于表征信号接收端自身的噪声；多径干扰噪声谱获取模块，用于根据所述第一测试信号的噪声谱与所述接收噪声谱，确定多径干扰噪声谱。

- 25 在一个实施例中，接收噪声谱获取模块具体用于，获取检测信号对应的第二功率谱，将所述第二功率谱作为所述接收噪声谱，所述检测信号是在无光信号输入时，所述信号接收端输出的信号。

在一个实施例中，多径干扰噪声谱获取模块具体用于，获取所述第一测试

信号的噪声谱与所述接收噪声谱之间的第三差值，将所述第三差值作为所述多径干扰噪声谱。

上述维纳滤波器的实现装置中的各个模块可全部或部分通过软件、硬件及其组合来实现。上述各模块可以硬件形式内嵌于或独立于计算机设备中的处理器中，也可以以软件形式存储于计算机设备中的存储器中，以便于处理器调用执行以上各个模块对应的操作。

基于同样的发明构思，本申请实施例还提供了一种用于实现上述所涉及的多径干扰噪声的抑制方法的多径干扰噪声的抑制装置。该装置所提供的解决问题的实现方案与上述方法中所记载的实现方案相似，故下面所提供的一个或多个多径干扰噪声的抑制装置实施例中的具体限定可以参见上文中对于多径干扰噪声的抑制方法的限定，在此不再赘述。

在一个实施例中，如图 10 所示，提供了一种多径干扰噪声的抑制装置，所述装置应用于光通信系统的接收端，所述装置包括：

接收信号获取模块 1002，用于获取接收信号。

滤波模块 1004，用于根据维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号；所述维纳滤波器的频率响应是根据上述图 1 至图 5 任一实施例所述的方法实现。

在一个实施例中，滤波模块还用于对维纳滤波器的频率响应进行谱分解，得到因果维纳滤波器的频率响应；并根据所述因果维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号。

上述多径干扰噪声的抑制装置中的各个模块可全部或部分通过软件、硬件及其组合来实现。上述各模块可以硬件形式内嵌于或独立于计算机设备中的处理器中，也可以以软件形式存储于计算机设备中的存储器中，以便于处理器调用执行以上各个模块对应的操作。

在一个实施例中，提供了一种计算机设备，该计算机设备可以是服务器，其内部结构图可以如图 11 所示。该计算机设备包括通过系统总线连接的处理器、存储器和网络接口。其中，该计算机设备的处理器用于提供计算和控制能力。该计算机设备的存储器包括非易失性存储介质和内存。该非易失性存储介

质存储有操作系统、计算机程序和数据库。该内存储器为非易失性存储介质中的操作系统和计算机程序的运行提供环境。该计算机设备的数据库用于存储噪声谱及滤波器频率响应等数据。该计算机设备的网络接口用于与外部的终端通过网络连接通信。该计算机程序被处理器执行时以实现一种维纳滤波器的实现方法或者实现一种多径干扰噪声的抑制方法。

本领域技术人员可以理解，图 11 中示出的结构，仅仅是与本申请方案相关的部分结构的框图，并不构成对本申请方案所应用于其上的计算机设备的限定，具体的计算机设备可以包括比图中所示更多或更少的部件，或者组合某些部件，或者具有不同的部件布置。

10 在一个实施例中，提供了一种计算机设备，包括存储器和处理器，存储器中存储有计算机程序，该处理器执行计算机程序时实现以下步骤：

获取第一测试信号对应的第一信号频谱和第一功率谱，所述第一测试信号是信号发送端对第一测试数据进行调制并通过光纤传输后的光信号；

根据所述第一信号频谱和第一功率谱，确定所述第一测试信号的噪声谱；

15 获取第二测试信号对应的第二信号频谱，所述第二测试信号是所述信号发送端对第二测试数据进行调制并通过光纤传输后的光信号，所述第二测试数据的周期大于所述第一测试数据的周期；

根据所述第二信号频谱和所述第一测试信号的噪声谱，确定维纳滤波器的频率响应。

20 在一个实施例中，处理器执行计算机程序时还实现以下步骤：获取所述第二信号频谱和所述第一测试信号的噪声谱之间的第一差值；获取所述第一差值与所述第一测试信号的噪声谱之间的和；根据所述第一差值与所述和确定所述维纳滤波器的频率响应。

25 在一个实施例中，处理器执行计算机程序时还实现以下步骤：将所述第一差值与所述和的比值确定为所述维纳滤波器的频率响应。

在一个实施例中，处理器执行计算机程序时还实现以下步骤：获取所述第一信号频谱和所述第一功率谱之间的第二差值，将所述第二差值作为所述第一测试信号的噪声谱。

在一个实施例中，处理器执行计算机程序时还实现以下步骤：获取接收噪声谱，所述接收噪声谱用于表征信号接收端自身的噪声；根据所述第一测试信号的噪声谱与所述接收噪声谱，确定多径干扰噪声谱。

5 在一个实施例中，处理器执行计算机程序时还实现以下步骤：获取检测信号对应的第二功率谱，将所述第二功率谱作为所述接收噪声谱，所述检测信号是在无光信号输入时，所述信号接收端检测的噪声。

在一个实施例中，处理器执行计算机程序时还实现以下步骤：获取所述第一测试信号的噪声谱与所述接收噪声谱之间的第三差值，将所述第三差值作为所述多径干扰噪声谱。

10 在一个实施例中，处理器执行计算机程序时还实现以下步骤：获取接收信号；根据维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号；所述维纳滤波器的频率响应是根据如上第一方面所述的方法实现。

15 在一个实施例中，处理器执行计算机程序时还实现以下步骤：对所述维纳滤波器的频率响应进行谱分解，得到因果维纳滤波器的频率响应；根据所述因果维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号。

在一个实施例中，提供了一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，计算机程序被处理器执行时实现以下步骤：

获取第一测试信号对应的第一信号频谱和第一功率谱，所述第一测试信号是信号发送端对第一测试数据进行调制并通过光纤传输后的光信号；

20 根据所述第一信号频谱和第一功率谱，确定所述第一测试信号的噪声谱；

获取第二测试信号对应的第二信号频谱，所述第二测试信号是所述信号发送端对第二测试数据进行调制并通过光纤传输后的光信号，所述第二测试数据的周期大于所述第一测试数据的周期；

25 根据所述第二信号频谱和所述第一测试信号的噪声谱，确定维纳滤波器的频率响应。

在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：获取所述第二信号频谱和所述第一测试信号的噪声谱之间的第一差值；获取所述第一差值与所述第一测试信号的噪声谱之间的和；根据所述第一差值与所述和确定所

述维纳滤波器的频率响应。

在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：将所述第一差值与所述和的比值确定为所述维纳滤波器的频率响应。

5 在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：获取所述第一信号频谱和所述第一功率谱之间的第二差值，将所述第二差值作为所述第一测试信号的噪声谱。

在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：获取接收噪声谱，所述接收噪声谱用于表征信号接收端自身的噪声；根据所述第一测试信号的噪声谱与所述接收噪声谱，确定多径干扰噪声谱。

10 在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：获取检测信号对应的第二功率谱，将所述第二功率谱作为所述接收噪声谱，所述检测信号是在无光信号输入时，所述信号接收端检测的噪声。

15 在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：获取所述第一测试信号的噪声谱与所述接收噪声谱之间的第三差值，将所述第三差值作为所述多径干扰噪声谱。

在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：获取接收信号；根据维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号；所述维纳滤波器的频率响应是根据如上第一方面所述的方法实现。

20 在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：对所述维纳滤波器的频率响应进行谱分解，得到因果维纳滤波器的频率响应；根据所述因果维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号。

在一个实施例中，提供了一种计算机程序产品，包括计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现以下步骤：

25 获取第一测试信号对应的第一信号频谱和第一功率谱，所述第一测试信号是信号发送端对第一测试数据进行调制后传输至光纤中的光信号；

根据所述第一信号频谱和第一功率谱，确定所述第一测试信号的噪声谱；

获取第二测试信号对应的第二信号频谱，所述第二测试信号是所述信号发送端对第二测试数据进行调制并通过光纤传输后的光信号，所述第二测试数据

的周期大于所述第一测试数据的周期；

根据所述第二信号频谱和所述第一测试信号的噪声谱，确定维纳滤波器的频率响应。

在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：获取所述
5 第二信号频谱和所述第一测试信号的噪声谱之间的第一差值；获取所述第一差值与
所述第一测试信号的噪声谱之间的和；根据所述第一差值与所述和确定所述维纳滤波器的频率响应。

在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：将所述第一差值与
所述和的比值确定为所述维纳滤波器的频率响应。

10 在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：获取所述
第一信号频谱和所述第一功率谱之间的第二差值，将所述第二差值作为所述第一
测试信号的噪声谱。

在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：获取接收
噪声谱，所述接收噪声谱用于表征信号接收端自身的噪声；根据所述第一测试
15 信号的噪声谱与所述接收噪声谱，确定多径干扰噪声谱。

在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：获取检测
信号对应的第二功率谱，将所述第二功率谱作为所述接收噪声谱，所述检测信
号是在无光信号输入时，所述信号接收端检测的噪声。

在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：获取所述
20 第一测试信号的噪声谱与所述接收噪声谱之间的第三差值，将所述第三差值作
为所述多径干扰噪声谱。

在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：获取接收
信号；根据维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目
标信号；所述维纳滤波器的频率响应是根据如上第一方面所述的方法实现。

25 在一个实施例中，计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤：对所述维
纳滤波器的频率响应进行谱分解，得到因果维纳滤波器的频率响应；根据所述
因果维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号。

需要说明的是，本申请所涉及的用户信息（包括但不限于用户设备信息、

用户个人信息等)和数据(包括但不限于用于分析的数据、存储的数据、展示的数据等),均为经用户授权或者经过各方充分授权的信息和数据。

本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程,是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一非易失性计算机可读取存储介质中,该计算机程序在执行时,可包括如上述各方法的实施例的流程。其中,本申请所提供的各实施例中所使用的对存储器、数据库或其它介质的任何引用,均可包括非易失性和易失性存储器中的至少一种。非易失性存储器可包括只读存储器(Read-Only Memory, ROM)、磁带、软盘、闪存、光存储器、高密度嵌入式非易失性存储器、阻变存储器(ReRAM)、磁变存储器(Magnetoresistive Random Access Memory, MRAM)、铁电存储器(Ferroelectric Random Access Memory, FRAM)、相变存储器(Phase Change Memory, PCM)、石墨烯存储器等。易失性存储器可包括随机存取存储器(Random Access Memory, RAM)或外部高速缓冲存储器等。作为说明而非局限, RAM 可以是多种形式,比如静态随机存取存储器(Static Random Access Memory, SRAM)或动态随机存取存储器(Dynamic Random Access Memory, DRAM)等。本申请所提供的各实施例中涉及的数据库可包括关系型数据库和非关系型数据库中至少一种。非关系型数据库可包括基于区块链的分布式数据库等,不限于此。本申请所提供的各实施例中涉及的处理器可为通用处理器、中央处理器、图形处理器、数字信号处理器、可编程逻辑器、基于量子计算的数据处理逻辑器等,不限于此。

以上实施例的各技术特征可以进行任意的组合,为使描述简洁,未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述,然而,只要这些技术特征的组合不存在矛盾,都应当认为是本说明书记载的范围。

以上所述实施例仅表达了本申请的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但并不能因此而理解为对本申请专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本申请构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本申请的保护范围。因此,本申请的保护范围应以所附权利要求为准。

24
权 利 要 求 书

- 1、一种维纳滤波器的实现方法，其特征在于，所述方法包括：
- 获取第一测试信号对应的第一信号频谱和第一功率谱，所述第一测试信号是信号发送端对第一测试数据进行调制并通过光纤传输后的光信号；
- 根据所述第一信号频谱和第一功率谱，确定所述第一测试信号的噪声谱；
- 5 获取第二测试信号对应的第二信号频谱，所述第二测试信号是所述信号发送端对第二测试数据进行调制并通过光纤传输后的光信号，所述第二测试数据的周期大于所述第一测试数据的周期；
- 根据所述第二信号频谱和所述第一测试信号的噪声谱，确定维纳滤波器的频率响应。
- 10 2、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述根据所述第二信号频谱和所述第一测试信号的噪声谱，确定维纳滤波器的频率响应，包括：
- 获取所述第二信号频谱和所述第一测试信号的噪声谱之间的第一差值；
- 获取所述第一差值与所述第一测试信号的噪声谱之间的和；
- 根据所述第一差值与所述和确定所述维纳滤波器的频率响应。
- 15 3、根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述根据所述第一差值与所述和确定所述维纳滤波器的频率响应，包括：
- 将所述第一差值与所述和的比值确定为所述维纳滤波器的频率响应。
- 4、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述根据所述第一信号频谱和第一功率谱，确定所述第一测试信号的噪声谱，包括：
- 20 获取所述第一信号频谱和所述第一功率谱之间的第二差值，将所述第二差值作为所述第一测试信号的噪声谱。
- 5、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述确定所述第一测试信号的噪声谱之后，所述方法还包括：
- 获取接收噪声谱，所述接收噪声谱用于表征信号接收端自身的噪声；
- 25 根据所述第一测试信号的噪声谱与所述接收噪声谱，确定多径干扰噪声谱。
- 6、根据权利要求 5 所述的方法，其特征在于，所述获取接收噪声谱，包括：
- 获取检测信号对应的第二功率谱，将所述第二功率谱作为所述接收噪声谱，所述检测信号是无光信号输入时所述信号接收端所产生的噪声。

7、根据权利要求5所述的方法，其特征在于，所述根据所述第一测试信号的噪声谱与所述接收噪声谱，确定多径干扰噪声谱，包括：

获取所述第一测试信号的噪声谱与所述接收噪声谱之间的第三差值，将所述第三差值作为所述多径干扰噪声谱。

5 8、一种多径干扰噪声的抑制方法，其特征在于，所述方法应用于光通信系统的信号接收端，所述方法包括：

获取接收信号；

根据维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号；

10 所述维纳滤波器的频率响应是根据权利要求1所述的方法实现。

9、根据权利要求8所述的方法，其特征在于，所述采用维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号，包括：

对所述维纳滤波器的频率响应进行谱分解，得到因果维纳滤波器的频率响应；

15 根据所述因果维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号。

10、一种维纳滤波器的实现装置，其特征在于，所述装置包括：

第一频谱获取模块，用于获取第一测试信号对应的第一信号频谱和第一功率谱，所述第一测试信号是信号发送端对第一测试数据进行调制并通过光纤传输后的光信号；

20

噪声谱确定模块，用于根据所述第一信号频谱和第一功率谱，确定所述第一测试信号的噪声谱；

第二频谱获取模块，用于获取第二测试信号对应的第二信号频谱，所述第二测试信号是所述信号发送端对第二测试数据进行调制并通过光纤传输后的光信号，所述第二测试数据的周期大于所述第一测试数据的周期；

25

滤波器确定模块，用于根据所述第二信号频谱和所述第一测试信号的噪声谱，确定维纳滤波器的频率响应。

11、一种多径干扰噪声的抑制装置，其特征在于，所述装置应用于光通信

系统的接收端，所述装置包括：

接收信号获取模块，用于获取接收信号；

滤波模块，用于根据维纳滤波器的频率响应对所述接收信号进行滤波，得到滤波后的目标信号；所述维纳滤波器的频率响应是根据权利要求 1 所述的方法实现。

12、一种光通信系统，其特征在于，所述系统包括：

信号发送端，用于对输入的发送数据进行调制以生成光信号；

光纤，用于传输所述信号发送端生成的所述光信号；

信号接收端，用于接收所述光纤传输的所述光信号，并采用权利要求 1 所述的方法实现的维纳滤波器的频率响应对所述光信号进行滤波，得到滤波后的目标信号。

13、一种计算机设备，包括存储器和处理器，所述存储器存储有计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求 1 所述的方法的步骤。

14、一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，其特征在于，所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求 1 所述的方法的步骤。

15、一种计算机程序产品，包括计算机程序，其特征在于，该计算机程序被处理器执行时实现权利要求 1 所述的方法的步骤。