

光模块、波长自适应相干光通信方法及计算机存储介质

技术领域

本发明涉及相干光通信领域，具体地涉及一种光模块、波长自适应相干光通信方法及计算机存储介质。

背景技术

随着大数据、物联网以及 5G 业务的迅速发展，网络容量需要日益激增，使得具有大带宽、长距离传输的相干光通讯技术成为下一代高速大容量光网络的首选。作为高相干性的光源和本振器，窄线宽可调谐激光器成为相干光通讯的核心器件之一。目前窄线宽可调谐激光器主要为 DBR、DFB 以及 ECL 等，但随着使用寿命的减小，输出频率均不可避免的发生偏移，从而与光模块本振光频偏增大，影响光模块的性能，并且频率高精度与高稳定性的光源需要高精度温控或电流控制等能力，制作难度高且成本昂贵。

发明内容

本发明的目的在于提供一种光模块、波长自适应相干光通信方法及计算机存储介质。

本发明提供一种波长自适应光模块，包括：

本振激光器，其用于输出本振光；

接收模块，其用于接收输入光信号和所述本振光信号；

混频模块，其用于将所述输入光信号和所述本振光信号进行混频得到拍频信号；

数字信号处理模块，其至少被配置用于计算所述拍频信号频率，并根据所述拍频信号频率通过反馈控制回路调整所述本振激光器所输出的所述本振光的

频率。

作为本发明的进一步改进，所述光模块还包括数模转换模块，所述数模转换模块用于将所述混频模块混频后的信号转换为数字信号，并输送至所述数字信号处理模块。

作为本发明的进一步改进，所述数字信号处理模块计算所述拍频信号频率的混频信号 I_{beat} 的公式为：

$$I_{beat}(t) = I_{LO} + I_S + 2m\sqrt{I_{LO} \cdot I_S} \cos(2\pi f_{IF}t + (\theta_{LO} - \theta_S)),$$

$$f_{IF} = f_{LO} - f_S,$$

其中， I_{LO} 为所述本振光信号的光强度， I_S 为所述输入光信号的光强度， m 为所述本振光和所述输入光的混合效率， f_{IF} 为拍频信号的频率， f_{LO} 为本振光的频率， θ_{LO} 为本振光的初相位， f_S 为输入光的频率， θ_S 为输入光的初相位，通过所述公式测量 f_{IF} 可得到本振光和输入光的频率差。

作为本发明的进一步改进，所述数字信号处理模块被配置为：

当所述拍频信号频率大于预设阈值时，调整所述本振光的频率拍频信号频率小于所述预设阈值。

作为本发明的进一步改进，所述数字信号处理模块被配置为：

当所述拍频信号频率不为零时，通过数模转换模块产生控制信号，调整所述本振光的频率直至拍频信号频率等于零。

本发明还提供一种波长自适应相干光通信方法，包括步骤：

将输入光信号与本振光信号进行混频得到两者的拍频信号；

计算所述拍频信号频率，并根据所述拍频信号频率调整所述本振光频率。

作为本发明的进一步改进，“计算所述拍频信号频率”步骤中，计算所述拍频信号频率的混频信号 I_{beat} 的公式为：

$$I_{beat}(t) = I_{LO} + I_S + 2m\sqrt{I_{LO} \cdot I_S} \cos(2\pi f_{IF}t + (\theta_{LO} - \theta_S)),$$

$$f_{IF} = f_{LO} - f_S,$$

其中, I_{LO} 为所述本振光信号的光强度, I_S 为所述输入光信号的光强度, m 为所述本振光和所述输入光的混合效率, f_{IF} 为拍频信号的频率, f_{LO} 为本振光的频率, θ_{LO} 为本振光的初相位, f_S 为输入光的频率, θ_S 为输入光的初相位。

作为本发明的进一步改进, “根据所述拍频信号频率调整所述本振光频率”具体包括:

当所述拍频信号频率大于预设阈值时, 调整所述本振光的频率直至拍频信号频率小于所述预设阈值。

作为本发明的进一步改进, “根据所述拍频信号频率调整所述本振光频率”具体包括:

当所述拍频信号频率不为零时, 通过数模转换模块产生控制信号, 调整所述本振光的频率直至拍频信号等于零。

本发明还提供一种计算机存储介质, 其中存储有计算机程序, 并且所述计算机程序运行时导致所述计算机存储介质的所在设备执行上述波长自适应相干光通信方法的步骤。

本发明的有益效果是: 本发明提供的光模块和波长自适应相干光通信方法通过实时计算本振光信号和输入光信号混频后得到的拍频信号频率, 来得到本振光信号与输入光信号之间的频差, 并根据频差实时调整本振光信号频率, 从而使本振光频率与输入光信号频差保持在较小范围内, 实现波长自适应相干链路, 降低了对输入光的频率精度和稳定性的要求。

附图说明

图 1 是本发明一实施方式中的光模块的原理示意简图。

图 2 是本发明一实施方式中的波长自适应相干光通信方法步骤示意图。

图 3 是本发明一实施方式中的光模块的结构框图。

具体实施方式

为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本申请具体实施方式及相应的附图对本申请技术方案进行清楚、完整地描述。显然，所描述的实施方式仅是本申请一部分实施方式，而不是全部的实施方式。基于本申请中的实施方式，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施方式，都属于本申请保护的范围。

下面详细描述本发明的实施方式，实施方式的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施方式是示例性的，仅用于解释本发明，而不能理解为对本发明的限制。

为方便说明，本文使用表示空间相对位置的术语来进行描述，例如“上”、“下”、“后”、“前”等，用来描述附图中所示的一个单元或者特征相对于另一个单元或特征的关系。空间相对位置的术语可以包括设备在使用或工作中除了图中所示方位以外的不同方位。例如，如果将图中的装置翻转，则被描述为位于其他单元或特征“下方”或“上方”的单元将位于其他单元或特征“下方”或“上方”。因此，示例性术语“下方”可以囊括下方和上方这两种空间方位。

如图 1 所示，为本发明提供的一种光模块 1 的原理示意简图，光模块应用于相干光通信系统，其包括：本振激光器 11、接收模块 12、混频模块 13、数模转换模块 14、数字信号处理模块 15 和反馈控制回路 16。

发送单元将发送的电信号调制到所述光载波上，经过信号编码和偏振控制等形成发送的输入光信号，并通过光纤进行传输至光模块 1。

本振激光器 11 用于输出本振光，本振光的光波与接收到的输入光波前匹配

和偏振匹配，用以与输入光信号进行混频。

接收模块 12 用于接收输入光信号和本振光信号。

混频模块 13 用于将输入光信号和所述本振光信号进行混频得到拍频信号，拍频信号在进一步经过光电检测、放大滤波等步骤后，通过数模转换模块 14 将拍频信号转换为数字信号，并输送至数字信号处理模块 15。

数字信号处理模块 15 对数字信号进行处理，在本实施方式中，除了常规解调光信号等功能外，数字信号处理模块还至少被配置用于计算拍频信号频率，并根据拍频信号频率通过反馈控制回路 16 调整本振激光器 11 输出的本振光频率。

具体的，在本实施方式中，数字信号处理模块 15 计算拍频信号频率的混频信号 I_{beat} 的公式为：

$$I_{beat}(t) = I_{LO} + I_S + 2m\sqrt{I_{LO} \cdot I_S} \cos(2\pi f_{IF}t + (\theta_{LO} - \theta_S)),$$

$$f_{IF} = f_{LO} - f_S,$$

其中， I_{LO} 为本振光信号的光强度， I_S 为输入光信号的光强度， m 为本振光和输入光的混合效率， f_{IF} 为拍频信号的频率， f_{LO} 为本振光的频率， θ_{LO} 为本振光的初相位， f_S 为输入光的频率， θ_S 为输入光的初相位。

在上述公式中，输入光信号和本振光信号的光强度、频率、初相位和混合效率一定，因此，混频信号中除了代表本振光和信号光强度的直流项，还有由本振光和信号光频差决定的相对低频交流信号，即所谓的拍频信号。通过拍频信号频率的测量计算，就可以得到本振光和信号光之间的频率差。

进一步的，在本发明的一些实施方式中，数字信号处理模块 15 被配置为：当本振光信号光强度 I_{LO} 与输入光信号光强度 I_S 之和与拍频信号强度 I_{beat} 之间的差值大于预设阈值时，通过反馈控制回路 16 调整本振光的频率直至两者之间的差值小于预设阈值。

当本振光信号和输入光信号之间存在频差时，数字信号处理模块 15 可以

通过诸如相位估计算法等方式消除频差的影响，然而当频差过大时，过大的频偏值会影响数字信号处理模块 15 信号处理算法的性能，同时随着使用寿命减少，发送单元输出频率均不可避免的发生偏移，从而与本振光频偏增大，影响光模块 1 的性能。因此通过上述公式计算得到拍频信号光频率超过预设阈值时，可以实时通过反馈控制回路 16 调整本振光频率以减小频差，使本振光信号与输入光信号频率相匹配，从而降低对输入光的频率精度和稳定性的要求，这里所述的预设阈值为数字信号处理模块 15 能够有效消除频差影响的频差最大值。

进一步的，在本发明的一些实施方式中，数字信号处理模块 15 被配置为：当所述拍频信号频率不为零时，通过数模转换模块 14 产生控制信号，调整所述本振光的频率直至拍频信号频率等于零。

通过实时将本振光信号频率调整为保持与输入光一致，可以进一步提高数字信号处理模块 15 信号处理算法的性能。

如图 2 所示，本发明还提供一种波长自适应相干光通信方法，包括步骤：

S1：将输入光信号与本振光信号进行混频得到两者的拍频信号。

S2：计算所述拍频信号频率，并根据所述拍频信号强度调整所述本振光频率。

具体的，计算所述拍频信号频率的混频信号 I_{beat} 的公式为：

$$I_{beat}(t) = I_{LO} + I_S + 2m\sqrt{I_{LO} \cdot I_S} \cos(2\pi f_{IF}t + (\theta_{LO} - \theta_S)),$$

$$f_{IF} = f_{LO} - f_S,$$

其中， I_{LO} 为所述本振光信号的光强度， I_S 为所述输入光信号的光强度， m 为所述本振光和所述输入光的混合效率， f_{IF} 为拍频信号的频率， f_{LO} 为本振光的频率， θ_{LO} 为本振光的初相位， f_S 为输入光的频率， θ_S 为输入光的初相位。

进一步的，在本发明一些实施方式中，当所述混频信号频率大于预设阈值时，通过数模转换模块 14 产生控制信号，调整所述本振光的频率直至两者之间

的差值小于所述预设阈值。

进一步的，在本发明一些实施方式中，当所述拍频信号频率不为 0 时，通过数模转换模块 14 产生控制信号，调整所述本振光的频率直至拍频信号频率等于 0。

如图 3 所示，示例性的，为本发明一实施方式中的光模块的结构框图，光模块 1 包括光转发接收组件 21(TROSA)、数字信号处理芯片 22 (DSP)、连接器 23 (Connector) 等，其中，光转发接收组件 21 的电子有源部分包括：可调谐激光光源 211 (ITLA)，属于接收端 RX 电路的内差相干接收器 212 (ICR)、和跨阻放大器 213 (TIA) 等，属于发射端电路的驱动芯片 214 (Driver) 和相干发射器 215 (ICT) 等。其中，内差相干接收器 212 包括混频模块 2121 和高速光电二极管 2122 (PD) 等，混频模块 2121 及数字信号处理芯片 22 执行上述相干光通信方法。另外，光模块还包括连接数字信号处理芯片 22 和可调谐激光光源 211 之间的反馈控制回路 216，数字信号处理芯片 22 通过反馈控制回路 216 向可调谐激光光源 211 输出控制信号调整本振信号光频率。

本发明还提供一种计算机存储介质，其中存储有计算机程序，并且所述计算机程序运行时导致所述计算机存储介质的所在设备执行上述波长自适应相干光通信方法的步骤。

综上所述，本发明提供的波长自适应光模块和波长自适应相干光通信方法通过实时计算本振光信号和输入光信号混频后得到的拍频信号频率，来得到本振光信号与输入光信号之间的频差，从而实时调整本振光频率与输入光信号频率一致，实现波长自适应，降低了对输入光的频率精度和稳定性的要求。

应当理解，虽然本说明书按照实施方式加以描述，但并非每个实施方式仅包含一个独立的技术方案，说明书的这种叙述方式仅仅是为清楚起见，本领域技术人员应当将说明书作为一个整体，各实施方式中的技术方案也可以经适当组合，形成本领域技术人员可以理解的其他实施方式。

上文所列出一系列的详细说明仅仅是针对本发明的可行性实施方式的具体说明，并非用以限制本发明的保护范围，凡未脱离本发明技艺精神所作的等效实施方式或变更均应包含在本发明的保护范围之内。

Confidential

权 利 要 求 书

1.一种光模块，其特征在于，包括：

本振激光器，其用于输出本振光；

接收模块，其用于接收输入光信号和所述本振光信号；

混频模块，其用于将所述输入光信号和所述本振光信号进行混频得到拍频信号；

数字信号处理模块，其至少被配置用于计算所述拍频信号频率，并根据所述拍频信号频率通过反馈控制回路调整所述本振激光器所输出的所述本振光的频率。

2.根据权利要求1所述的光模块，其特征在于，所述光模块还包括数模转换模块，所述数模转换模块用于将所述混频模块混频后的信号转换为数字信号，并输送至所述数字信号处理模块。

3.根据权利要求2所述的光模块，其特征在于，所述数字信号处理模块计算所述拍频信号频率的混频信号 I_{beat} 的公式为：

$$I_{beat}(t) = I_{LO} + I_S + 2m\sqrt{I_{LO} \cdot I_S} \cos(2\pi f_{IF}t + (\theta_{LO} - \theta_S)),$$

$$f_{IF} = f_{LO} - f_S,$$

其中， I_{LO} 为所述本振光信号的光强度， I_S 为所述输入光信号的光强度， m 为所述本振光和所述输入光的混合效率， f_{IF} 为拍频信号的频率， f_{LO} 为本振光的频率， θ_{LO} 为本振光的初相位， f_S 为输入光的频率， θ_S 为输入光的初相位，通过所述公式测量 f_{IF} 可得到本振光和输入光的频率差。

4.根据权利要求3所述的光模块，其特征在于，所述数字信号处理模块被配置为：

当所述拍频信号频率值大于预设阈值时，通过所述数模转换模块产生控制

信号，调整所述本振光的频率直至两者拍频信号频率小于所述预设阈值。

5.根据权利要求3所述的光模块，其特征在于，所述数字信号处理模块被配置为：

当所述拍频信号频率不为零时，通过数模转换模块产生控制信号，调整所述本振光的频率直至拍频信号频率等于零。

6.一种波长自适应相干光通信方法，其特征在于，包括步骤：

将输入光信号与本振光信号进行混频得到两者的拍频信号；

计算所述拍频信号频率，并根据所述拍频信号频率调整所述本振光频率使两者尽可能一致。

7.根据权利要求6所述的波长自适应相干光通信方法，其特征在于，“计算所述拍频信号频率”步骤中，计算所述拍频信号频率的混频信号 I_{beat} 的公式为：

$$I_{beat}(t) = I_{LO} + I_S + 2m\sqrt{I_{LO} \cdot I_S} \cos(2\pi f_{IF}t + (\theta_{LO} - \theta_S)),$$

$$f_{IF} = f_{LO} - f_S,$$

其中， I_{LO} 为所述本振光信号的光强度， I_S 为所述输入光信号的光强度， m 为所述本振光和所述输入光的混合效率， f_{IF} 为拍频信号的频率， f_{LO} 为本振光的频率， θ_{LO} 为本振光的初相位， f_S 为输入光的频率， θ_S 为输入光的初相位。

8.根据权利要求7所述的波长自适应相干光通信方法，其特征在于，“根据所述拍频信号频率调整所述本振光频率”具体包括：

当所述拍频信号频率大于预设阈值时，通过数模转换模块产生控制信号，调整所述本振光的频率直至两者之间的差值小于所述预设阈值。

9.根据权利要求7所述的波长自适应相干光通信方法，其特征在于，“根据所述拍频信号频率调整所述本振光频率”具体包括：

当所述拍频信号频率不为零时，通过数模转换模块产生控制信号，调整所

述本振光的频率直至拍频信号频率接近或等于零。

10.一种计算机存储介质，其特征在于，其中存储有计算机程序，并且所述计算机程序运行时导致所述计算机存储介质的所在设备执行根据权利要求 6-9 中任意一项所述波长自适应相干光通信方法的步骤。

Confidential