(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110720182 B
(45)授权公告日 2021.02.09

(21)申请号 201880036717.8
(22)申请日 2018.07.28
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110720182 A
(43)申请公布日 2020.01.21
(30)优先权数据
15/665,351 2017.07.31 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2019.12.10
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/CN2018/097688 2018.07.28
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2019/024830 EN 2019.02.07
(73)专利权人 华为技术有限公司
地址 518129 广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼
(72)发明人 蒋志平 汤学峰
(74)专利代理机构 广州三环专利商标代理有限公司 44202
代理人 熊永强 李稷芳
(51)Int.Cl.
H04B 10/079(2006.01)
H04B 10/077(2006.01)
(56)对比文件
CN 102771071 A,2012.11.07
US 2010158532 A1,2010.06.24
张静.基于线性插值的RF-导频插入DDO-OFDM系统的仿真分析与实验验证.《光电子,激光》.2013,
审查员 李晓琳

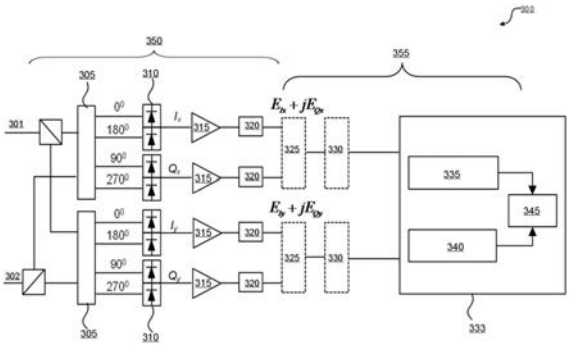
权利要求书2页 说明书9页 附图9页

(54)发明名称

光信噪比监测系统和方法

(57)摘要

提供了一种用于监测光信噪比(OSNR)的系统。在一些特定实施例中,该系统可以使用利用导频子载波调制的信号的导频子载波功率来导出纯信号功率,并使用整个电场的方差来导出总功率(信号的纯信号功率加上放大自发辐射(ASE)功率)。通过用总功率(ASE+纯信号)减去纯信号功率可以获得ASE功率。一旦知道了ASE功率和纯信号功率,则可以计算OSNR。



CN 110720182 B

1.一种监测光通信网络中的光信噪比OSNR的方法,所述方法包括:

在所述光通信网络处接收信号,其中,所述信号用导频子载波调制;

测量所述信号的总信号功率,其中,所述总信号功率包括纯信号功率和放大自发辐射ASE功率;

计算所述信号的电场的方差值;

检测所述信号的导频子载波功率以导出所述纯信号功率;

使用所述方差值和所述纯信号功率计算所述ASE功率;以及

通过将所述总信号功率除以0.1nm带宽中的所述ASE功率,计算所述OSNR。

2.根据权利要求1所述的方法,其中,在相干接收器处接收所述信号。

3.根据权利要求1和2中任一项所述的方法,还包括用至少一个偏振分束器对所述信号进行分束。

4.根据权利要求3所述的方法,还包括将分束后的所述信号与本地振荡器信号混合。

5.根据权利要求4所述的方法,还包括:

使用光电二极管从混合的所述信号生成模拟信号;

放大所述模拟信号;以及

将所述模拟信号转换为数字信号。

6.一种监测光通信网络中的光信噪比OSNR的方法,所述方法包括权利要求1至5任意一项所述方法的全部特征,并且,还包括减少所述信号的累积色散。

7.一种监测光通信网络中的光信噪比OSNR的方法,所述方法包括权利要求1至6任意一项所述方法的全部特征,并且,还包括使用滤波器对所述信号进行滤波,其中,所述滤波器具有滤波器带宽。

8.根据权利要求7所述的方法,其中,对所述信号进行滤波以检测所述滤波器带宽处的信号-ASE比。

9.根据权利要求7和8中任一项所述的方法,其中,在所述滤波器带宽内计算所述方差值。

10.一种监测光通信网络中的光信噪比OSNR的方法,其中,所述方法包括权利要求1至9任意一项所述方法的全部特征,并且,在所述信号的频谱的一部分上计算所述方差值。

11.一种用于检测光通信网络中的光信噪比OSNR的系统,所述系统包括:

处理器;以及

存储器,耦合至所述处理器,所述存储器存储指令,当所述指令由所述处理器执行时,使得所述系统执行以下操作:

在所述光通信网络处接收信号,其中,所述信号用导频子载波调制;

测量所述信号的总信号功率,其中,所述总信号功率包括纯信号功率和放大自发辐射ASE功率;

计算所述信号的电场的方差值;

检测所述信号的导频子载波功率以导出所述纯信号功率;

使用所述方差值和所述纯信号功率计算所述ASE功率;以及

通过将所述总信号功率除以0.1nm中带宽中的所述ASE功率计算所述OSNR。

12.根据权利要求11所述的系统,其中,在相干接收器处接收所述信号。

13.根据权利要求11至12中任一项所述的系统，还包括至少一个偏振分束器，所述至少一个偏振分束器用于分离所述信号。

14.根据权利要求13所述的系统，还包括混合器，所述混合器用于将分束后的所述信号与本地振荡器信号混合。

15.根据权利要求14所述的系统，还包括：

光电二极管，用于从混合的所述信号生成模拟信号；

功率放大器，用于放大所述模拟信号；以及

模数转换器，用于将所述模拟信号转换为数字信号。

16.一种用于检测光通信网络中的光信噪比OSNR的系统，所述系统包括权利要求11至15任意一项所述系统的全部特征，并且，还包括用于减少所述信号的累积色散的电路。

17.一种用于检测光通信网络中的光信噪比OSNR的系统，所述系统包括权利要求11至16任意一项所述系统的全部特征，并且，还包括滤波器，所述滤波器用于对所述信号进行滤波，其中，所述滤波器具有滤波器带宽。

18.根据权利要求17所述的系统，其中，对所述信号进行滤波以检测所述滤波器带宽处的信号-ASE比。

19.根据权利要求17和18中任一项所述的系统，其中，在所述滤波器带宽内计算所述方差值。

20.一种用于检测光通信网络中的光信噪比OSNR的系统，其中，所述系统包括权利要求11至19任意一项所述系统的全部特征，并且，在所述信号的频谱的一部分上计算所述方差值。

21.一种非暂时性计算机可读介质，其特征在于，

所述非暂时性计算机可读介质存储有计算机程序，所述计算机程序被硬件执行时能够实现权利要求1至10任意一项所述的方法。

光信噪比监测系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2017年7月31日提交的发明名称为“光信噪比监测系统和方法”、申请号为No.15/665,351的美国专利申请的优先权,其全部内容以引入的方式并入本文。

技术领域

[0003] 本公开一般涉及光通信技术,尤其涉及用于光通信系统中的光信噪比监测的系统和方法。

背景技术

[0004] 可以在光网络中使用光放大器以补偿各种损耗,例如光纤损耗和其他组件损耗。由于这些放大,光信噪比(optical signal-to-noise ratio,OSNR)可能会降低。在光通信系统中,OSNR是用于测量光信号性能的关键信号质量参数。OSNR可以定义为不包括放大自发辐射(amplified spontaneous emission,ASE)噪声的光信号的功率与0.1纳米带宽中的ASE噪声的功率之比。已建立的OSNR监测系统可能具有许多缺点,包括成本高、不准确、难以使用、以及具有侵入性。

发明内容

[0005] 在各个实施例中,提供了一种用于监测光信噪比(optical signal-to-noise ratio,OSNR)的系统。该系统可以使用导频子载波和相干数字信号处理(digital signal processing,DSP)技术来提供低成本、准确、快速、和在线的OSNR监测方案。根据本公开的各种实施例的OSNR监测系统和方法可以至少比常规OSNR监测方法更准确或更快。此外,根据本公开的各种实施例的OSNR监测系统和方法可以以在线方式(即,不中断正常操作)执行OSNR监测。在一些特定示例中,上述系统可以使用以导频子载波调制的信号的导频子载波功率来导出纯信号功率,并使用整个电场的方差来导出总功率(信号的纯信号功率加放大自发辐射(amplified spontaneous emission,ASE)功率)。可以通过从总功率(ASE+纯信号)中减去纯信号功率来获得ASE功率。一旦知道ASE功率和纯信号功率,就可以计算OSNR。

[0006] 根据一个方面,提供了一种监测光通信网络中的OSNR的方法。该方法包括在光通信网络处接收信号。该信号可以用导频子载波调制。该方法还包括测量该信号的总功率。信号的总功率包括纯信号功率和ASE功率。该方法还包括计算信号电场的方差值。该方法还包括检测信号的导频子载波功率以导出纯信号功率。该方法还包括使用信号电场的方差值和纯信号功率计算ASE功率。该方法还包括通过用总功率除以ASE功率计算OSNR。

[0007] 可选地,在前述方面的任一方面中,上述信号可以具有单偏振或双偏振。

[0008] 可选地,在前述方面的任一方面中,上述信号可以在光通信网络的相干接收器中接收。

[0009] 可选地,在前述方面的任一方面中,在接收上述信号之前,上述信号可以与本地振荡器(local oscillator,LO)信号混合,可以使用光电二极管从该混合的信号生成模拟信

号，可以对该模拟信号进行放大，并且可以将该模拟信号转换为数字信号。

[0010] 可选地，在前述方面的任一方面中，可以减少或去除上述信号的累积色散。

[0011] 可选地，在前述方面的任一方面中，可以通过具有特定带宽的滤波器对该信号进行滤波。

[0012] 可选地，在前述方面的任一方面中，可以对该信号进行滤波以检测上述带宽处的信号-ASE噪声比。

[0013] 可选地，在前述方面的任一方面中，如果对信号进行了滤波，则可以在滤波器的带宽内计算方差值。

[0014] 可选地，在前述方面的任一方面中，可以在上述信号的频谱的一部分上计算方差值。

[0015] 根据一方面，提供了用于检测光通信网络中的OSNR的系统。该系统包括处理器。该系统还包括耦合到上述处理器的存储器，该存储器存储指令，当该指令由上述处理器执行时，使得上述系统执行包括本文所述的方法的步骤的操作。在一些实施例中，这些步骤可以由功能单元或模块执行。

[0016] 通过考虑以下具体实施方式、附图、和权利要求，本发明的附加特征、优点、和实施例可以被阐明或显而易见。此外，应当理解，本发明的前述发明内容和以下具体实施方式都是示例性的，并且旨在提供进一步的解释，而不限制所要求保护的本发明的范围。然而，具体实施方式和特定示例仅指示本发明的优选实施例。根据该具体实施方式，本发明范围内的各种改变和修改对于本领域技术人员将变得显而易见。

附图说明

[0017] 图1示出了根据本公开的光通信网络的框图。

[0018] 图2示出了根据本公开的光信号的光谱的示意图。

[0019] 图3示出了根据本公开的用于在相干接收器处监测光信噪比的系统的示意图。

[0020] 图4A示出了根据本公开的在光谱的中间部分上测量的光信号的光谱的示意图。

[0021] 图4B示出了根据本公开的在光谱的一部分上测量的光信号的光谱的示意图。

[0022] 图5示出了根据本公开的光通信网络的框图。

[0023] 图6示出了根据本公开的用于单偏振光信噪比监测的系统的示意图。

[0024] 图7示出了根据本公开的用于双偏振光信噪比监测的系统的示意图。

[0025] 图8示出了根据本公开的测量光信噪比与其他方法相比的图。

[0026] 图9示出了根据本公开的估计的光信噪比的误差的图。

[0027] 图10示出了根据本公开的用于光信噪比监测的方法的流程图。

具体实施方式

[0028] 光通信网络使用光纤连接计算机(或可以生成或存储电子形式的数据的任何其他装置)。为了促进数据通信，光网络可以包括用于从电信号数据生成光信号(以及从光信号数据生成电信号)、在光信号通过光纤传播后存储光信号、以及通过网络路由光信号的光学装置。

[0029] 以下提供本公开的某些方面和实施例。对于本领域技术人员显而易见的是，这些

方面和实施例中的一些可以独立地应用，并且这些方面和实施例中的一些可以组合地应用。在下面的描述中，出于解释的目的，阐述了具体细节以便提供对本发明的实施例的透彻理解。然而，将显而易见的是，可以在没有这些具体细节的情况下实践各种实施例。附图和描述并不旨在限制。

[0030] 随后的描述仅提供示例性实施例，并且无意限制本公开的范围、适用性、或配置。相反，随后对示例性实施例的描述将向本领域技术人员提供用于实现示例性实施例的使能描述。应该理解的是，在不脱离所附权利要求中阐述的本发明范围的情况下，可以对单元的功能和布置进行各种改变。

[0031] 在下面的描述中给出了具体细节以提供对实施例的透彻理解。然而，本领域普通技术人员将理解，可以在没有这些具体细节的情况下实践实施例。例如，电路、系统、网络、过程、和其他组件可以以框图形式示出为组件，以避免在不必要的细节上混淆实施例。在其他情况下，可以示出公知的电路、过程、算法、结构、和技术而不示出不必要的细节，以避免混淆实施例。

[0032] 另外，应注意，各个实施例可被描述为被描绘为流程、流程图、数据流图、结构图、或框图的过程。尽管流程图可以将操作描述为顺序的过程，但是许多操作可以并行或并发执行。另外，可以重新安排操作的顺序。当一个过程的操作完成时，该过程终止，但可以具有图中未包括的其他步骤。过程可以对应于方法、函数、过程、子例程、子程序等。当过程对应于函数时，该过程的终止可以对应于该函数返回到调用函数或主函数。

[0033] 术语“计算机可读介质”包括但不限于便携式或非便携式存储装置、光学存储装置、以及能够存储、包含、或携带指令和数据中的至少一个的各种其他介质。计算机可读介质可以包括非暂时性介质，该非暂时性介质中可以存储数据并且不包括无线或通过有线连接传播的载波和暂时性电子信号。非暂时性介质的示例可以包括但不限于磁盘或磁带、诸如光盘(compact disk,CD)或数字通用磁盘(digital versatile disk,DVD)的光学存储介质、闪存、存储器、或存储装置。计算机可读介质上可能存储有代码和机器可执行指令中的至少一个，该代码和机器可执行指令可以表示过程、函数、子程序、程序、例程、子例程、模块、软件包、类、或指令、数据结构、或程序语句的任意组合。通过传递或接收信息、数据、自变量、参数、或存储器内容，代码段可以耦合到另一代码段或硬件电路。可以通过包括存储器共享、消息传递、令牌传递、网络传输等的任何适当方式来传递、转发、或传输信息、自变量、参数、数据等。

[0034] 此外，可以通过硬件、软件、固件、中间件、微码、硬件描述语言、或其任意组合来实现实施例。当以软件、固件、中间件、或微码实现时，用于执行必要任务的程序代码或代码段(例如，计算机程序产品)可以存储在计算机可读或机器可读介质中。处理器可以执行该必要任务。

[0035] 图1示出了根据本公开的示例性光通信网络100。如图所示，光通信网络100可以具有多个节点102，例如图1所示的节点102a-g。在光网络中，被称为光分插复用器(optical add-drop multiplexer,OADM)的装置通常被称为节点，在该节点可以插入/分出信道。单个节点102(例如节点102f和节点102d)可以包括可重构光分插复用器(reconfigurable optical add-drop multiplexer,ROADM)，该ROADM用于在连接各个节点102的光纤链路(例如链路106)上复用许多不同波长的信号。ROADM是OADM的一种，通常用于密集波分复用

(dense wavelength division multiplexing,DWDM)系统。

[0036] 例如,图1示出了节点102f和节点102d之间的光纤链路106的细节。如图所示,光纤链路106可以包括光放大器108,例如掺铒光纤放大器(Erbium-doped fiber Amplifier,EDFA)108a-e,还可以包括多个导频子载波检测器(pilot tone detector,PTD)104,例如该示例中所示的104a-f,上述部件单独存在或与其他组件组合。

[0037] PTD 104可以设置在光通信网络100中的光纤链路上的各种位置,以监测信道信息,例如波长、功率、调制形式、波特率、和其他性能特征中的任何或全部。单个PTD,例如PTD104a可以包括低速光电二极管、电放大器、模数转换器、以及数字信号处理器(DSP)。如图所示,接收器(Rx)可以用于通过光网络100中的节点102d和102f与发射器(Tx)通信。在单个节点102,例如节点102d,可能有连接至单个节点102的不同数量的发射器和接收器(可选地,只有一个发射器或只有一个接收器)的组合。应当理解,仅为简化说明,图1中所示的示例仅示出了连接至单个节点102的一个Tx/Rx。在给定的Tx,可以将导频子载波应用于每个波长。在该示例中,在低频调制高速数据信号。

[0038] 对于光纤链路中的不同波长,例如如图所示的光纤链路106中,不同的导频子载波可以应用于不同的波长。例如,导频子载波可以具有不同的频率。也就是说,某个相对较低的频率(导频子载波)可以被添加至通过光纤链路106中的特定信道发送的数据信号,并且导频子载波检测器可以用于检测这样的频率。导频子载波可以携带关于信道的信息,例如信道波长、波特率、调制形式等。

[0039] 光放大器(例如EDFA 108a-f)可以用于光通信网络100以补偿各种损耗,例如光纤损耗和其他组件损耗。然而,放大器是固有噪声的装置,可能会降低光信噪比(optical signal-to-noise ratio,OSNR)。在光通信系统中,OSNR是用于测量光信号性能的关键信号质量参数。传统OSNR监测系统可能具有许多缺点,包括具有高成本、不准确、难以使用、以及具有侵入性。

[0040] 传统OSNR监测系统的一个示例由ITU-T G.697定义并使用带外噪声监测。根据ITU-T G.697,需要对获得的待检测信号进行光谱分析。在低速光通信网络中,信道中的噪声的功率和信道间噪声的功率之间的差异并不是非常大。因此,信道间噪声的功率的线性插值可以等于信道中的噪声的功率。在低速光通信网络的这种传统OSNR监测中,待检测信道的中心波长处的峰值功率减去线性插值可以等于不包括信道中的噪声的光信号的功率。因此,在这种传统低速应用中,待检测信道中的信号的OSNR可以使用相对简单的信号和噪声测量来计算。

[0041] 然而,在高速光通信网络中,信道间的距离相对较小,并且光谱重叠。因此,信道中的噪声的实际功率和信道间噪声的功率之间的差异相对较大。如果通过测量信道间噪声的功率来获得信道中的噪声的功率,则计算出的OSNR和实际的OSNR之间的差异相对较大。换句话说,对于高速光通信网络,当根据传统的低速网络方法计算OSNR时,OSNR的计算可能并不准确。

[0042] 此外,带外OSNR监测系统还可能由于光通信网络中的可重构光分插复用器(ROADM)的作用而不准确。在常规操作中,ROADM可以过滤掉信道间放大自发辐射(amplified spontaneous emission,ASE),ASE是由放大器引起的噪声。因此,带外OSNR测量无法反映信道中的实际ASE噪声。另外,光信号的带宽几乎与信道滤波器带宽一样大。这

可能造成噪声和信号之间的平滑过渡，由于需要在载波信号之间具有清晰的间隔，因此导致OSNR测量不准确。

[0043] 用于OSNR测量的带内技术也是已知的。传统带内OSNR监测系统的一个示例被称为“偏振分束”。光信号可以包括纯信号分量和ASE分量。这种带内测量方法要求发射的光信号为高度偏振，而ASE信号为非偏振。这种带内测量还要求光信号仅包含一种偏振，并且光信号和ASE信号之间具有大的间隔。可以使用偏振控制器和偏振分束器。偏振控制器可以用于调整信号的偏振，从而信号的所有功率将在一个端口从偏振分束器出射。由于ASE信号是非偏振的，大约一半的ASE噪声可以从一个端口出射，而剩余的一半将在另一端口出射。然而，一些装置可能包含多个信号，每个信号具有不同的偏振态。因此，这种带内测量技术可能耗时较长。此外，对于现代相干光信号，可以使用偏振复用光信号。因此该偏振分光法可能不适用于测量OSNR。

[0044] 还提出了用于实现双偏振光信号的OSNR测量的其他技术。例如，一个示例性的OSNR测量系统使用光学可调谐滤波器来选择具有信号-ASE比的频谱切片。通过导频子载波检测来测量纯信号功率，并且通过光电流来测量总信号功率(即，纯信号功率和ASE功率)。但是，该技术在高OSNR时具有很高的误差，需要昂贵的光学可调谐滤波器，不适用于Nyquist信号(由于急剧滚降)，并且在信号被链路光学滤波器(例如波长选择开关(wavelength selective switch,WSS))改变时误差很大。

[0045] 本公开实施例提供了使用导频子载波和相干数字信号处理(DSP)技术的系统和方法，以提供低成本OSNR监测方案。根据本公开的各种实施例的OSNR监测系统和方法可以比传统OSNR监测方法更准确或更快。此外，根据本公开的各个实施例的OSNR监测系统和方法能够以在线方式(即，以不干扰正常操作的方式)执行OSNR监测。OSNR定义为总信号功率除以0.1纳米带宽内的ASE功率。因此，为了计算OSNR，需要确定光信号的总功率和ASE功率。

[0046] 图2示出了根据本公开的光信号200的光谱示意图。光信号200可以用具有精确调制深度的导频子载波调制。光信号200可以包括信号分量205和放大自发辐射(ASE)分量210。假设信号分量205的复数光电场为$E_S(t)$，ASE分量210的复数光电场为$E_{ASE}(t)$，则光信号200的电场可以是这两个分量的复数光电场之和：

[0047] $E_S(t)+E_{ASE}(t)$

[0048] (式1)

[0049] 光信号200的总功率可以通过计算光信号200的电场的方差值导出：

[0050] $|E_S(t)+E_{ASE}(t)|^2=|E_S(t)|^2+|E_{ASE}(t)|^2$

[0051] (式2)

[0052] 总信号功率可以与电场的方差值成比例。因为光信号200是使用导频子载波调制的，故纯信号功率(即，信号分量205的功率，不包括ASE分量210的功率)可以通过检测(例如，使用图1的PTD 104a-d检测)导频子载波功率导出。导频子载波功率可以根据比率与纯信号功率成比例。

[0053] 一旦已知光信号200的纯信号功率和总功率，则可以使用式1计算ASE功率(即，ASE分量210的功率)。一旦已知ASE功率，则可以根据OSNR的定义使用合适的带宽缩放计算OSNR：

[0054] $$OSNR = \frac{\text{总信号功率}}{0.1\,nm\text{中的}ASE\text{功率}}$$

（式3）

[0055] OSNR以0.1纳米带宽作为行业标准进行计算。因此，如果在比整个信号频谱小的带宽内测量信号功率，则可以使用频谱形状将信号功率缩放到整个信号功率，这可以通过校准来获知。

[0056] 相对图2描述的OSNR监测可以在光通信网络中的任何地方完成(即，可以在网络中的任何地方测量光信号200的功率和导频子载波功率)。然而，在一些实施例中，可以在相干接收器中实现OSNR监测。相干接收器可以具有用于实现相对图2描述的OSNR监测的硬件。

[0057] 图3示出了根据本公开的用于在相干接收器监测光信噪比的系统300的示意图。该系统300包括相干接收器部350和OSNR数字信号处理(DSP)部355。虽然为了简化起见没有在图3中示出，但是可以考虑到相干接收器部350还可以包括DSP组件。

[0058] 可以在相干接收器部350接收光信号301。可以用导频子载波调制光信号301。光信号301可以在90°光混合器305中与本地振荡器(local oscillator，LO)信号302混合，并由平衡光电二极管310检测以生成四个模拟电信号：I_x、Q_x、I_y、和Q_y。在典型双偏振相干信号中，有两种偏振(x,y)，并且在每种偏振中，有两个正交的相位(同相(in-phase，I)和正交相位(quadrature phase，Q))。四个模拟电信号可以通过功率放大器315放大。例如，功率放大器315可以包括跨阻抗放大器(transimpedance amplifier，TIA)。放大的模拟信号可以通过模数转换器(analog-to-digital converter，ADC)320转换为数字信号。

[0059] 在OSNR DSP部355中，可选地，数字信号可以在色散补偿(chromatic dispersion compensation，CD^{-1})块325被接收。CD^{-1}块325去除或减少累积色散。通常希望在相干接收器中去除或减少色散，以便去除或减少色散衰落。可选地，可以在滤波器330处接收数字信号。滤波器330应用频域滤波以获得给定频带上的OSNR。

[0060] 可以应用本文所述的任何方法在处理器333处对数字信号计算OSNR。具体地，方差计算引擎335可以用于检测数字信号的总功率并计算数字信号的方差。导频子载波检测引擎340可以用于检测信号的导频子载波功率以导出纯信号功率。OSNR计算引擎345可以用于使用总功率和纯信号功率计算ASE功率。OSNR计算引擎345还可以用于使用数字信号的总功率和ASE功率计算OSNR。

[0061] 如果ASE频谱和接收器响应比信号宽，则在某些方面可能会高估ASE对总信号功率的贡献。图4A和图4B示出了光信号400的光谱的示意图。光信号400可以包括信号分量405和ASE分量410。如图4A和4B所示，ASE分量410和接收器响应415的光谱比光分量405的光谱宽。

[0062] 在图4A中，光信号400的光谱的中间部分420可以用于通过计算数字信号在该光谱范围内的方差来测量总信号功率。由于已知信号光谱，所以可以获得总功率。在图4B中，光信号400的光谱的更小一部分320可以用于通过计算数字信号在该光谱范围内的方差来测量总功率。可以使用图3的滤波器330促进这些计算和测量。

[0063] 虽然图3中示出和描述了OSNR监测在相干接收器处实现，但是可以考虑到本文所述的OSNR监测可以在光通信网络中的任意点实现。图5示出了根据本公开的光通信网络500的框图。光通信网络500可以包括可重构光分插复用器(ROADM)、标准单模光纤(standard single mode fiber，SSMF)、以及大有效面积光纤(large effective area fiber，LEAF)。

光通信网络500还可以包括接收器(Rx)和发射器(Tx)。光通信网络500还可以包括多个光放大器510。如图5所示,OSNR监测可以在光通信网络500中的任意点实现,包括点501-506、510等。

[0064] 为了在点501-506(即在相干接收器外部)实现根据本公开的OSNR监测,根据是否需要单偏振检测或双偏振检测,可以使用图6或图7的系统。图6和图7所示的实施例与图3所示的实施例的不同之处在于图3中的OSNR监测系统的一部分作为相干接收器的一部分被实现。

[0065] 图6示出了根据本公开的用于单偏振OSNR监测的系统600的示意图。系统600接收光信号601。光信号601可以是用导频子载波调制的。系统600还接收可调谐本地振荡器(LO)信号602。LO信号602的波长确定测量信道。

[0066] 光信号601可以在耦合器605中与LO信号602耦合,并由光电二极管610检测。信号可以由功率放大器615放大。例如,功率放大器615可以是TIA。放大的信号可以通过模数转换器(ADC)620转换为数字信号。

[0067] 可以应用相对图2所述的算法在处理器633处对数字信号计算OSNR。具体地,方差计算引擎635可以用于检测数字信号的总功率并计算数字信号的方差。导频子载波检测引擎640可以用于检测信号的导频子载波功率以导出纯信号功率。OSNR计算引擎645可以用于使用数字信号的方差和纯信号功率计算ASE功率。OSNR计算引擎645还可以用于使用数字信号的总功率和ASE功率计算OSNR。

[0068] 图7示出了根据本公开的用于双偏振OSNR监测的系统700的示意图。系统700接收光信号701。光信号701可以是用导频子载波调制的。系统700还接收可调谐本地振荡器(LO)信号702。LO信号702的波长确定测量信道。与典型双偏振相干检测接收器类似,偏振分束器703用于将信号和LO分离为正交偏振。

[0069] 光信号701可以在耦合器705中与LO信号702耦合,并由光电二极管710检测。信号可以由功率放大器715放大。例如,功率放大器715可以是TIA。放大的信号可以通过模数转换器(ADC)720转换为数字信号。

[0070] 可以应用相对图2所述的方法在处理器733处对数字信号计算OSNR。具体地,方差计算引擎735可以用于检测数字信号的电场的方差值。导频子载波检测引擎740可以用于检测信号的导频子载波功率以导出纯信号功率。OSNR计算引擎745可以用于使用方差值和纯信号功率计算ASE功率。OSNR计算引擎745还可以用于使用数字信号的总功率和ASE功率计算OSNR。

[0071] 图8示出了根据本公开的测量光信噪比与另一方法相比的图。通过其他方法估计的OSNR在x轴上示出。根据本公开估计的OSNR在y轴上示出。从图8可以看出,与通过其他方法测量的OSNR相比,根据本公开估计的OSNR一样准确。

[0072] 图9示出了根据本公开的估计光信噪比的误差的图。根据本公开估计的OSNR在x轴上示出。OSNR误差的总量在y轴上示出。从图9可以看出,根据本公开估计的该OSNR的OSNR误差量非常小,范围从-0.2dB到0.35dB。

[0073] 图10示出了根据本公开的监测光通信网络中的OSNR的方法的流程图1000。例如,流程图1000可以通过如上所述参考图2执行。该方法包括在步骤1010,在光通信网络处接收信号。该信号可以由导频子载波调制。该信号可以具有单偏振或双偏振。在一些实施例中,

该信号可以在光通信网络的相干接收器处被接收。在一些实施例中，在接收该信号之前，可以将该信号与本地振荡器(LO)信号混合，可以使用光电二极管从混合的信号生成模拟信号，可以对该模拟信号进行放大，并将该模拟信号转换为数字信号。

[0074] 在一些实施例中，可以减少或去除该信号的累积色散。在一些实施例中，可以用具有特定带宽的滤波器对该信号进行滤波。可以对该信号进行滤波以检测在该带宽处的信号-ASE比。

[0075] 该方法还包括在步骤1020测量信号的总功率。信号的总功率包括纯信号功率和放大自发辐射(ASE)功率。该方法还包括在步骤1030计算信号的方差值。如果在步骤1010对信号进行了滤波，则可以在滤波器的带宽内计算方差值。在一些实施例中，可以在信号的频谱的一部分上计算该方差值。

[0076] 该方法还包括在步骤1040检测信号的导频子载波功率以导出纯信号功率。该方法还包括在步骤1050使用上述方差值和上述纯信号功率确定ASE功率。该方法还包括在步骤1060根据OSNR定义，通过用总功率除以0.1nm带宽中的ASE功率计算OSNR。

[0077] 以上讨论的方法、系统、和装置为示例。各种配置可以适当地省略、替代、或添加各种过程或组件。例如，在替代配置中，可以用以下的某种组合来执行该方法：以与所描述的顺序不同的顺序、可以添加各个阶段、可以省略各个阶段、并且可以组合各个阶段。而且，相对某些配置描述的特征可以组合在各种其他配置中。可以以类似方式组合配置的不同方面和单元。而且，技术在发展，因此，许多单元是示例，并且不限制本公开或权利要求的范围。

[0078] 如所指出的，计算机可读介质可以包括瞬态介质，例如无线广播或有线网络传输，或者包括存储介质(即非暂时性存储介质)，例如硬盘、闪存盘、光盘、数字视频光盘、蓝光光盘、或其他计算机可读介质。在各种示例中，计算机可读介质可以被理解为包括各种形式的一个或多个计算机可读介质。

[0079] 在前面的描述中，参考本申请的具体实施例描述了本申请的各方面，但是本领域技术人员将认识到，本发明不限于此。因此，尽管本文已经详细描述了本申请的说明性实施例，但是应当理解，可以以其他方式不同地实现和采用一些实施方式，并且所附权利要求旨在被解释为包括这样的变形形式，除了受现有技术的限制。上述发明的各种特征和方面可以单独或联合使用。此外，在不脱离本说明书的较宽范围的情况下，实施例可以在本文所述之外的任何数量的环境和应用中使用。因此，说明书和附图被认为是说明性的而不是限制性的。为了说明的目的，以特定顺序描述了方法。应当理解，在替代实施例中，可以以与所描述的顺序不同的顺序来执行方法。

[0080] 在将组件描述为执行或“用于”执行某些操作的情况下，可以例如通过设计电子电路或其他硬件以执行该操作、通过对可编程电子电路(例如微处理器或其他合适的电子电路)进行编程以执行该操作、或其任意组合来完成这样的配置。

[0081] 结合本文公开的实施例描述的各种说明性的逻辑块、模块、电路、和算法步骤可以被实现为电子硬件、计算机软件、固件、或其组合。为了清楚地说明硬件和软件的这种可互换性，以上已经一般性地根据其功能描述了各种说明性的组件、块、模块、电路、和步骤。将这种功能性实现为硬件还是软件取决于特定的应用和施加在整个系统上的设计约束。技术人员可以针对每个特定应用以各种方式来实现所描述的功能，但是这种实现决定不应被解释为导致脱离本发明的范围。

[0082] 本文描述的技术还可以以电子硬件、计算机软件、固件、或其任何组合来实现。这样的技术可以在各种装置中的任何一种中实现，例如通用计算机、无线通信装置手机、或具有多种用途的包括在无线通信装置手机和其他装置中的应用的集成电路装置。被描述为模块或组件的任何特征都可以在集成逻辑装置中一起实现，或者分别作为离散但可互操作的逻辑装置实现。如果以软件实施，则所述技术可至少部分地由计算机可读数据存储介质来实现，计算机可读数据存储介质包括程序代码，程序代码包括在被执行时执行上述一种或多种方法的指令。计算机可读数据存储介质可以组成计算机程序产品的一部分，该计算机程序产品可以包括包装材料。该计算机可读介质可以包括存储器或数据存储介质，例如，诸如同步动态随机存取存储器(synchronous dynamic random access memory，SDRAM)之类的随机存取存储器(random access memory，RAM)、只读存储器(read-only memory，ROM)、非易失性随机存取存储器(non-volatile random access memory，NVRAM)、电可擦可编程只读存储器(electrically erasable programmable read-only memory，EEPROM)、闪存、磁或光数据存储介质等。附加地或替代地，可以至少部分地通过计算机可读通信介质来实现该技术，该计算机可读通信介质以指令或数据结构的形式携带或传递程序代码，并且可以是由计算机访问、读取、和执行的任何或全部，例如传播的信号或波。

[0083] 程序代码可以由处理器执行，该处理器可以包括一个或多个处理器，例如一个或多个数字信号处理器(DSP)、通用微处理器、专用集成电路(application specific integrated circuit，ASIC)、现场可编程逻辑阵列(field programmable logic array，FPGA)、或其他等效的集成或离散逻辑电路。这样的处理器可以被配置为执行本公开中描述的任何技术。通用处理器可以是微处理器；但是在另一种情况下，处理器也可以是任何常规处理器、控制器、微控制器、或状态机。处理器还可以被实现为计算装置的组合，例如，DSP和微处理器、多个微处理器，与DSP核结合的一个或多个微处理器、或任何其他这样的配置的组合。因此，本文所使用的术语“处理器”可以指任何前述结构、前述结构的任何组合、或适于实施本文描述的技术的任何其他结构或装置。另外，在一些方面，本文描述的功能可以在用于编码和解码的专用软件模块或硬件模块中提供，或者被结合在组合的编码器-解码器(encoder-decoder，CODEC)中。

[0084] 此外，可以将配置描述为被描绘为流程图或框图的过程。尽管每个操作都可以将操作描述为顺序过程，但是许多操作可以并行或并发执行。另外，可以重新排列操作的顺序。一个过程可能具有图中未包括的其他步骤。此外，可以通过硬件、软件、固件、中间件、微码、硬件描述语言、或其任意组合来实现方法的示例。当以软件、固件、中间件、或微码实现时，用于执行必要任务的程序代码或代码段可以存储在诸如存储介质的非暂时性计算机可读介质中。处理器可以执行所描述的任务。

[0085] 已经描述了若干示例配置，在不脱离所附权利要求所寻求的保护范围的情况下，可以使用各种修改、替代构造、以及等同物。例如，以上单元可以是较大系统的组件，其中其他规则可以优先于或以其他方式修改本发明的应用。同样，可以在考虑以上单元之前、期间、或之后采取许多步骤。

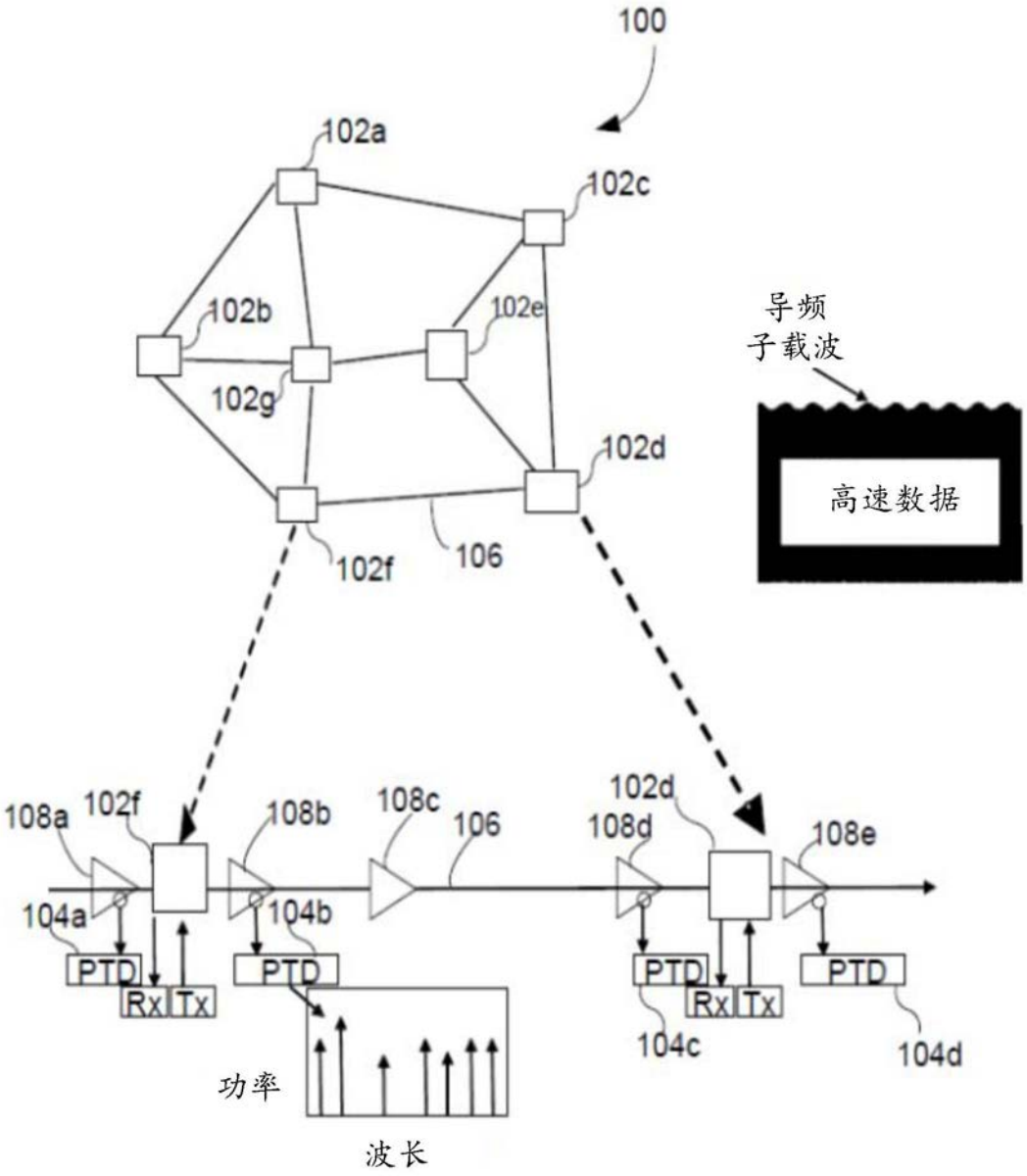

100
102a
102c
102b
102e
102g
102d
102f
106
导频
子载波
高速数据
108a
102f
108b
108c
106
102d
108d
108e
104a
104b
PTD
Rx
Tx
PTD
PTD
Rx
Tx
PTD
104c
104d
功率
波长

图1

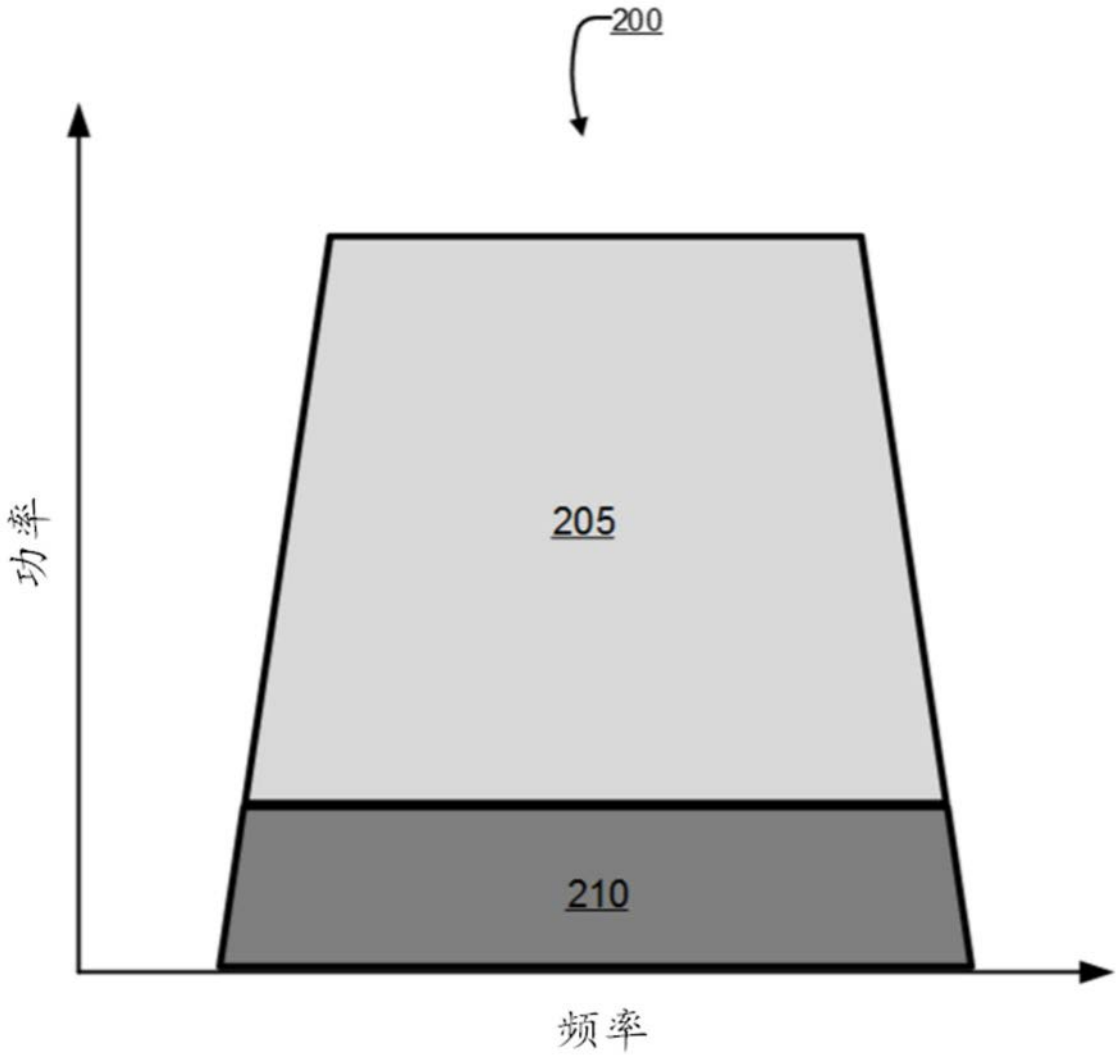


图2

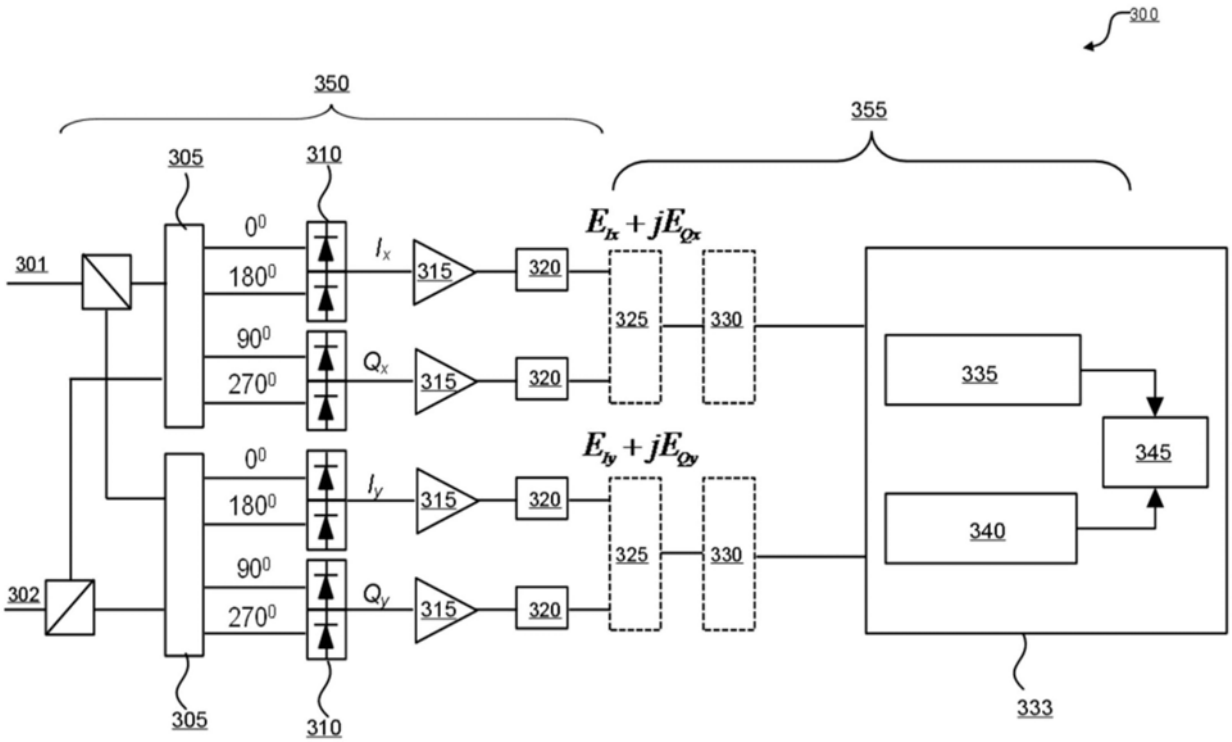

300
350
355
305
310
301
302
0⁰
180⁰
90⁰
270⁰
I_x
Q_x
I_y
Q_y
315
320
325
330
$E_{Ix}+jE_{Qx}$
$E_{Iy}+jE_{Qy}$
335
340
345
333

图3

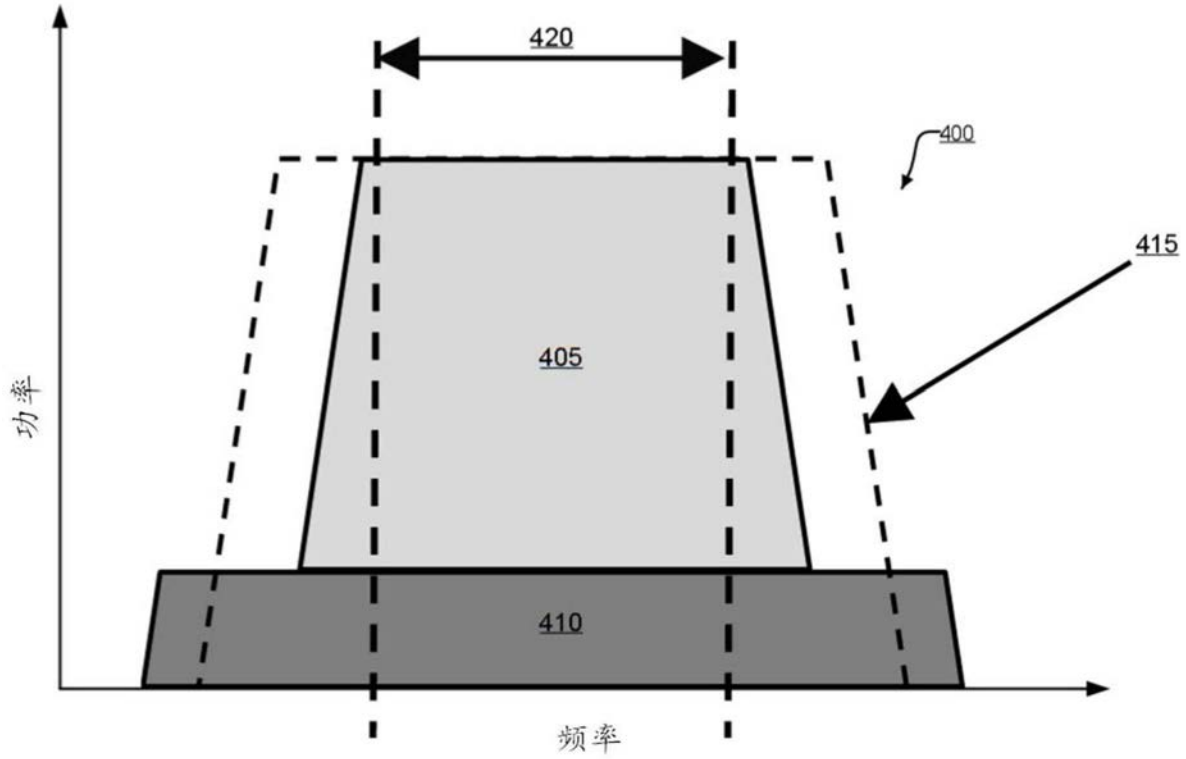

420
400
415
405
410
功率
频率

图4A

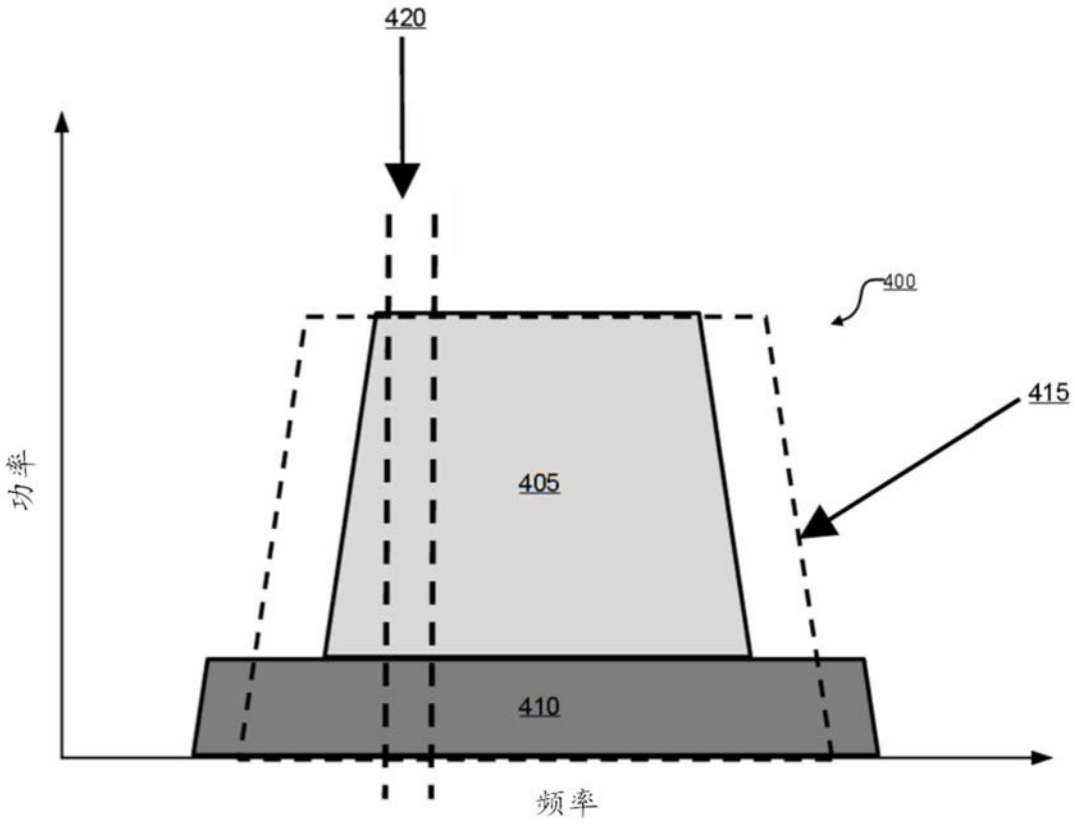


图4B

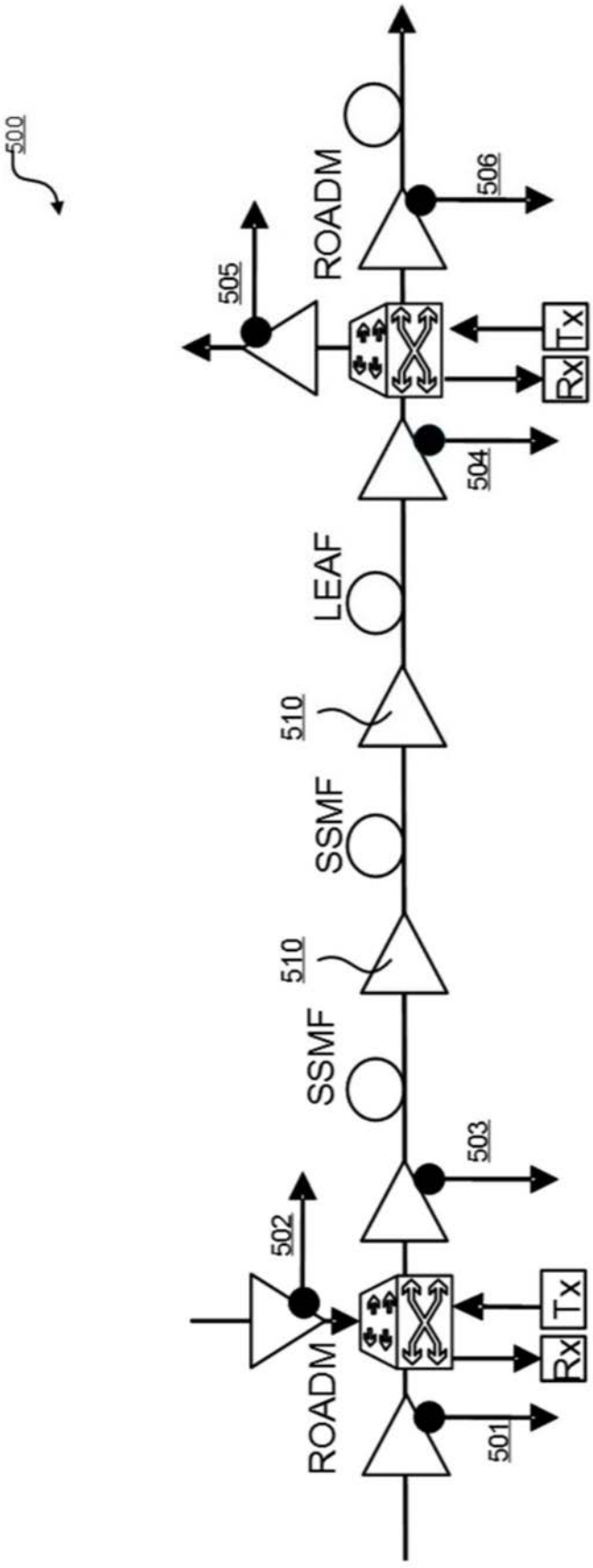

500
ROADM
506
505
Tx
Rx
504
LEAF
510
SSMF
510
SSMF
503
502
Tx
Rx
ROADM
501

图5

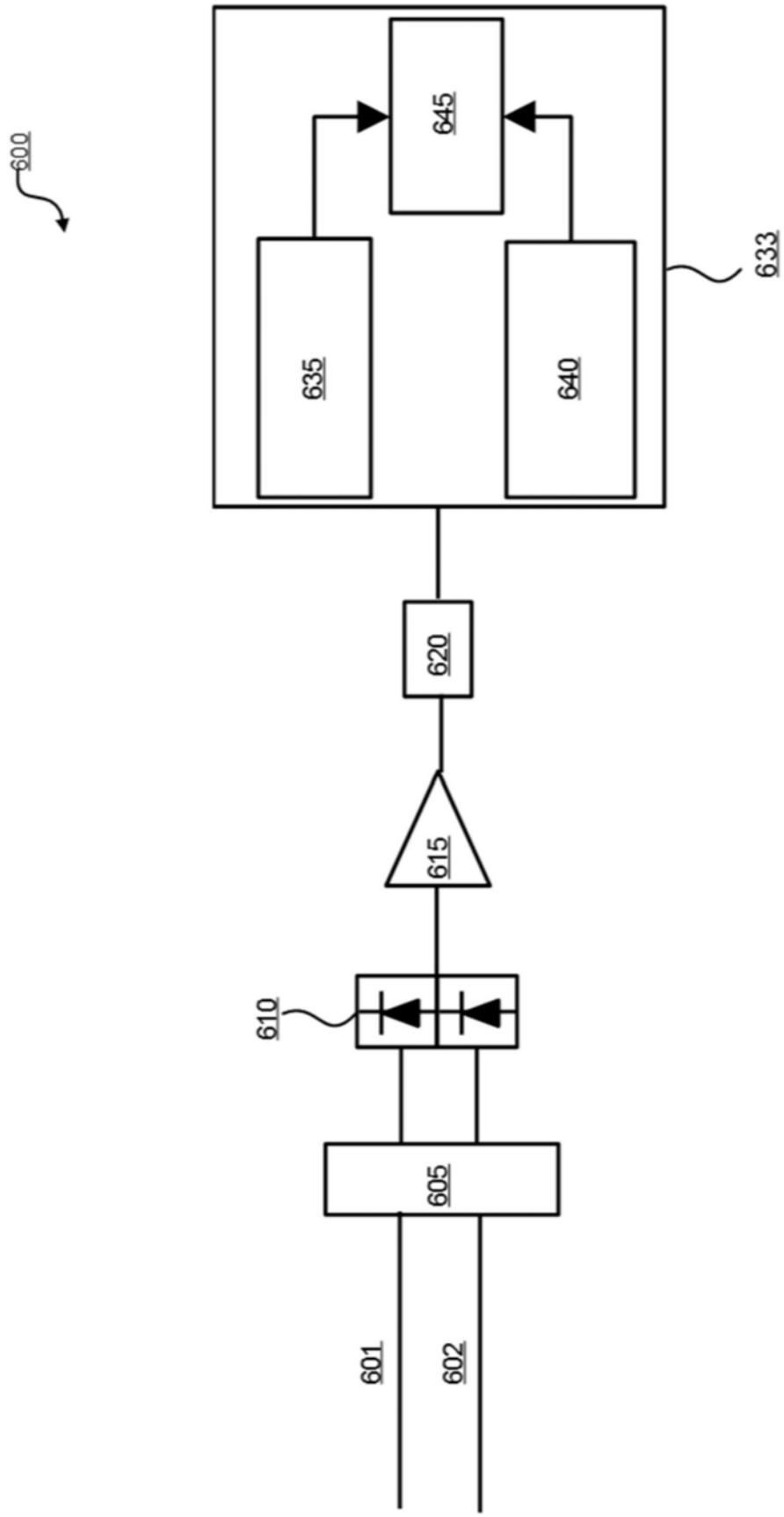


图6

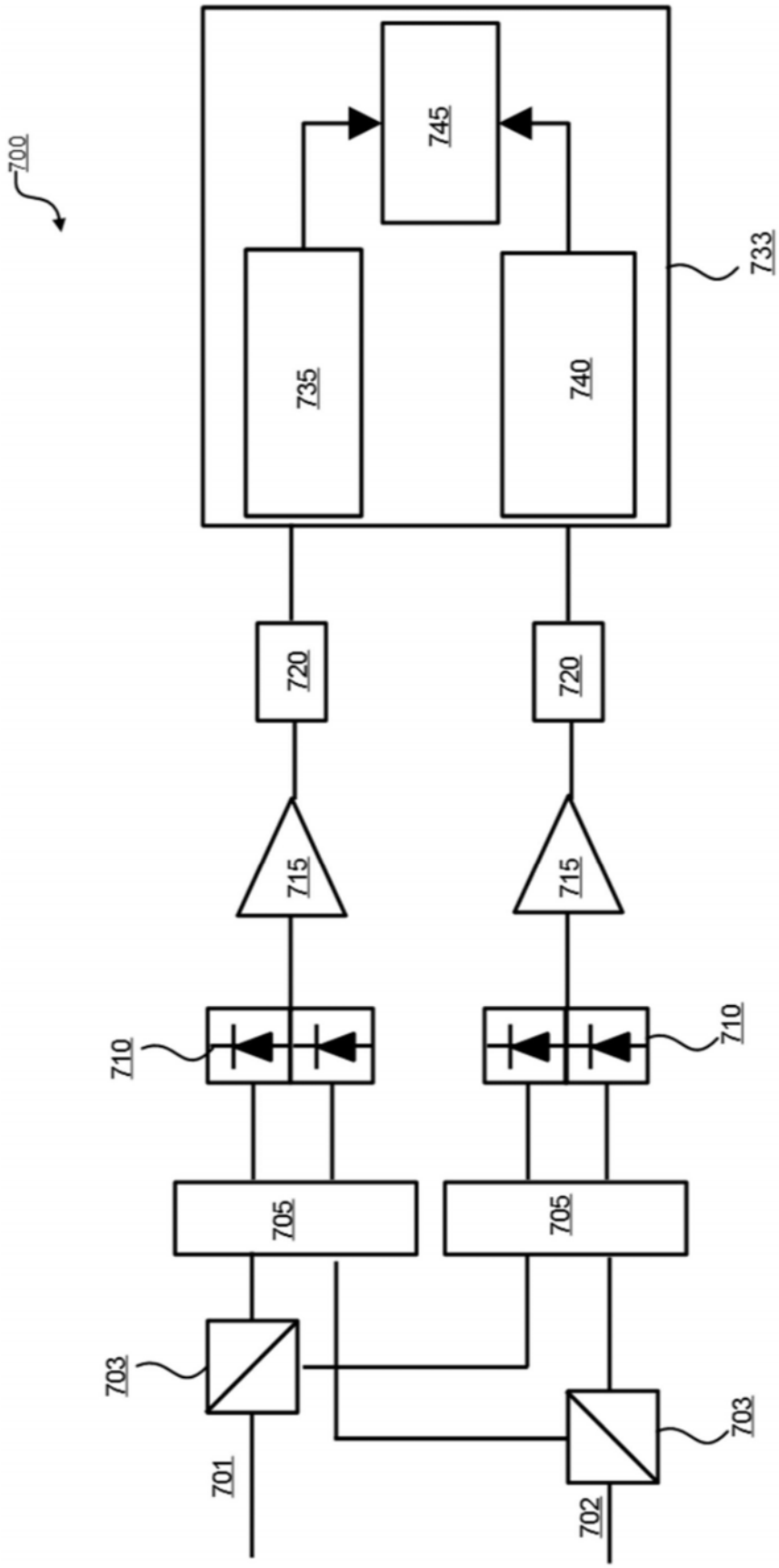

700
745
733
735
740
720
720
715
715
710
710
705
705
703
703
701
702

图7

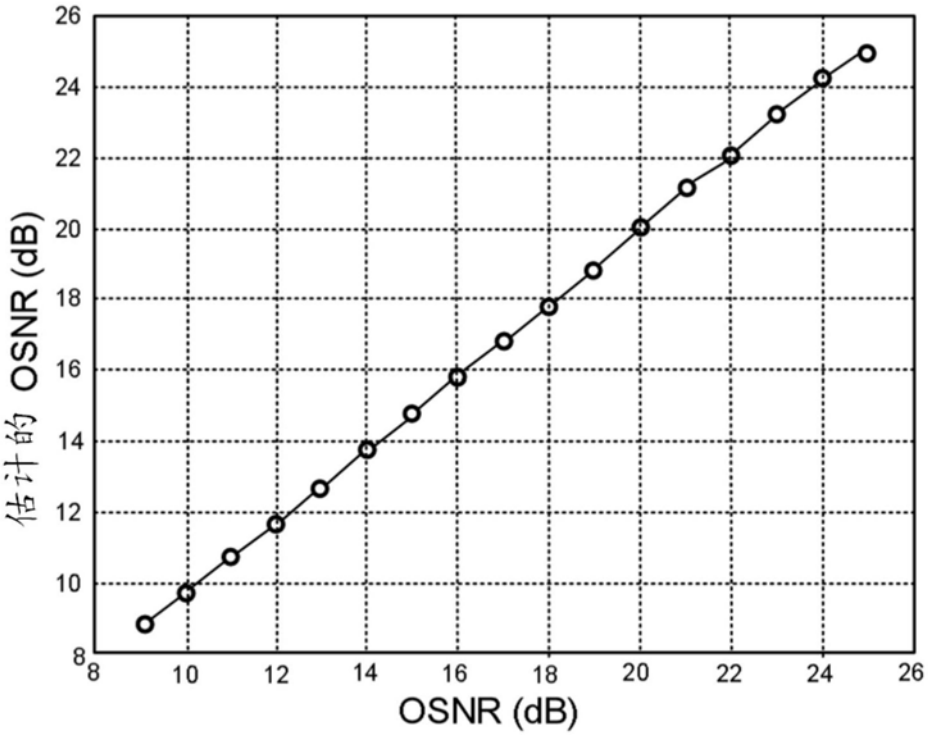

估计的 OSNR (dB)
OSNR (dB)
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26

图8

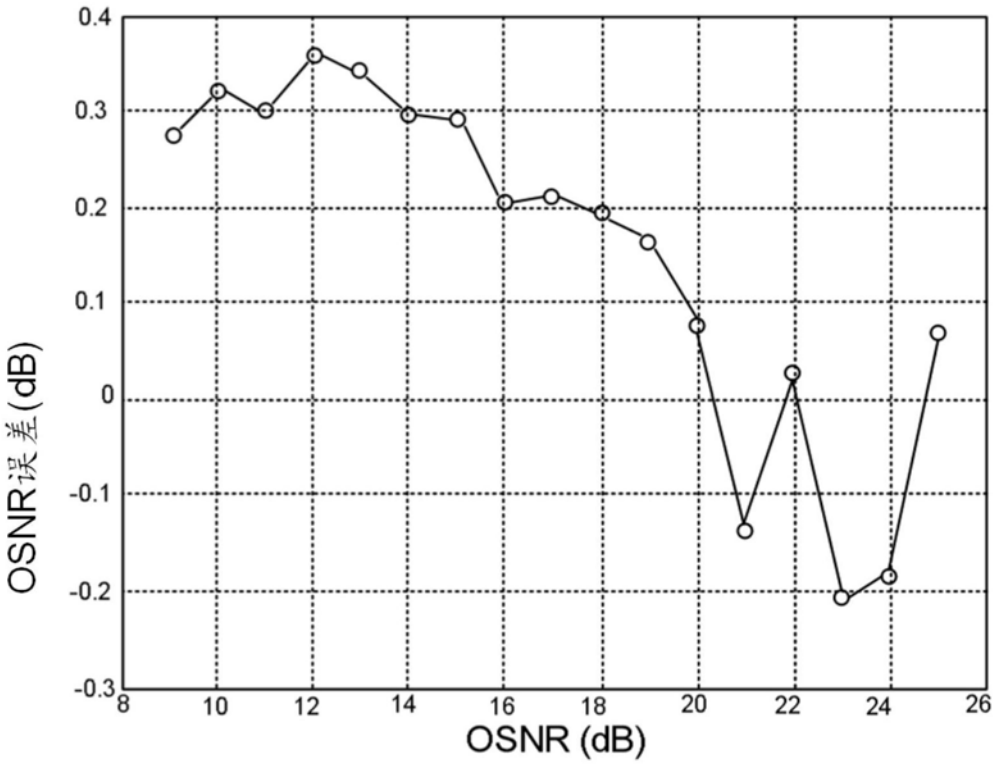

OSNR误差(dB)
OSNR (dB)
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26

图9

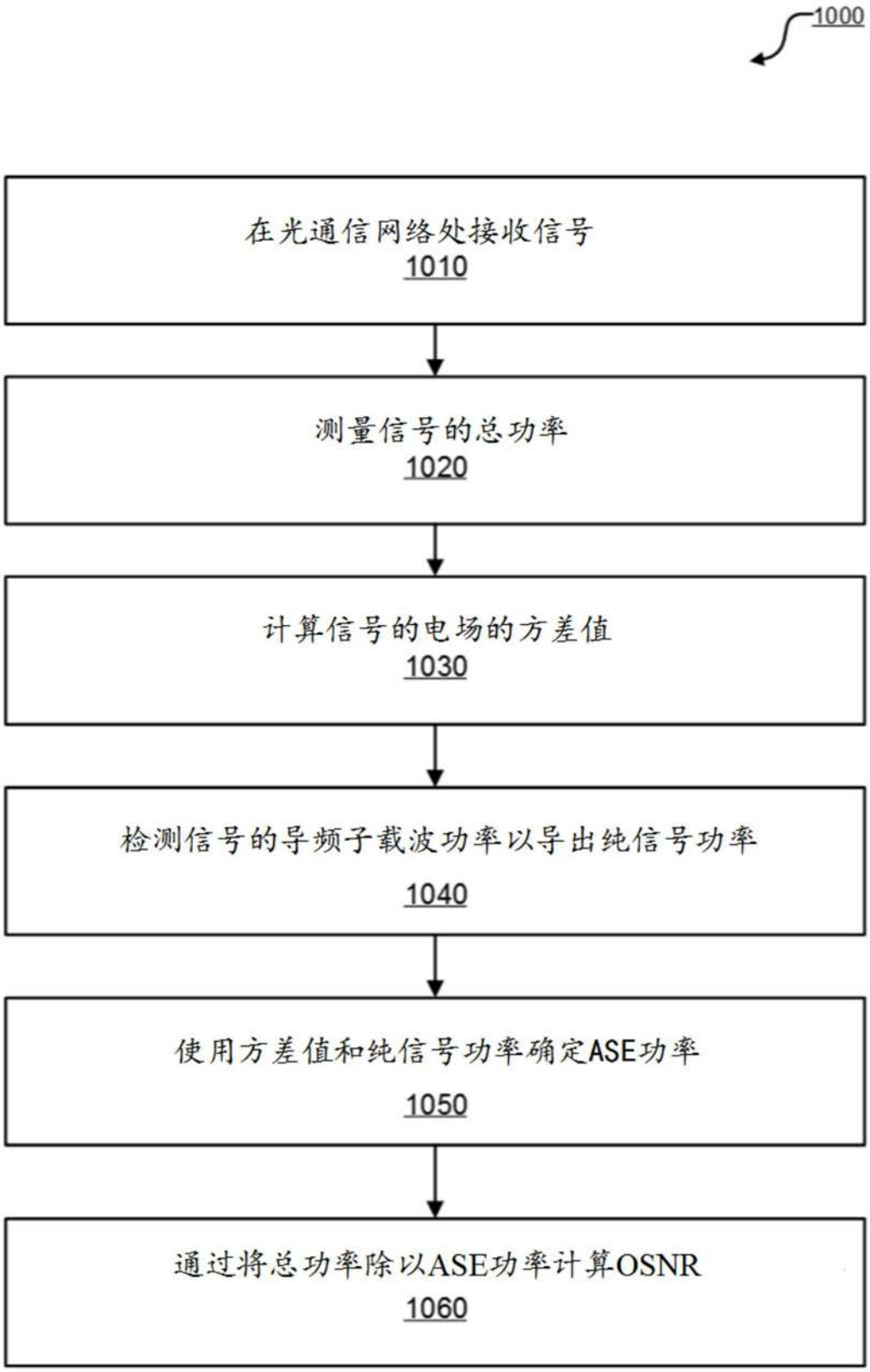

1000
在光通信网络处接收信号
1010
测量信号的总功率
1020
计算信号的电场的方差值
1030
检测信号的导频子载波功率以导出纯信号功率
1040
使用方差值和纯信号功率确定ASE功率
1050
通过将总功率除以ASE功率计算OSNR
1060

图10