

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局



(10) 国际公布号  
WO 2015/161473 A1

(43) 国际公布日  
2015年10月29日 (29.10.2015)

- (51) 国际专利分类号:  
H04B 10/293 (2013.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2014/076061
- (22) 国际申请日: 2014年4月23日 (23.04.2014)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (71) 申请人: 华为技术有限公司 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。
- (72) 发明人: 周恩波 (ZHOU, Enbo); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 张森 (ZHANG, Sen); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 黄延穗 (HUANG, Yanhui); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。
- (74) 代理人: 北京同达信恒知识产权代理有限公司 (TDIP & PARTNERS); 中国北京市西城区裕民路18号北环中心A座2002, Beijing 100029 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[见续页]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR OPTIMIZING PERFORMANCE OF OPTICAL COMMUNICATION NETWORK

(54) 发明名称: 一种优化光通信网络性能的方法及装置

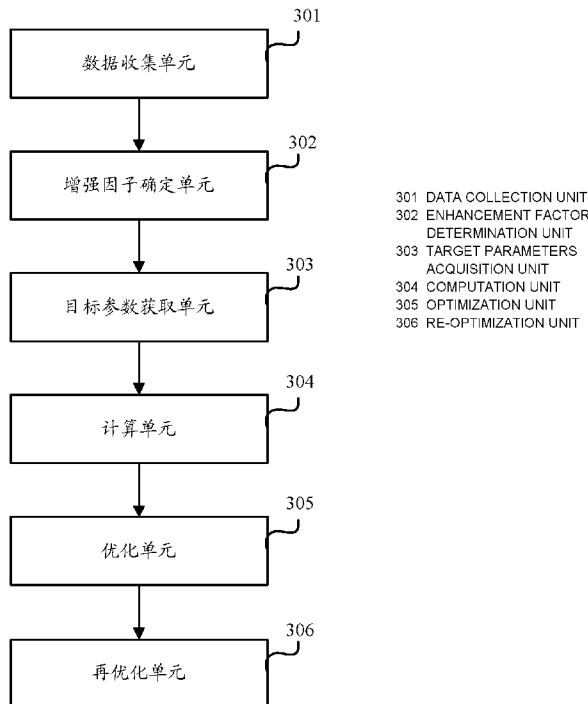


图 3 / FIG.3

(57) Abstract: The present invention relates to the technical field of networks, and particularly relates to a method and device for optimizing the performance of an optical communication network. The method comprises: collecting network state information about an optical communication network; determining a target non-linear noise coefficient enhancement factor  $\alpha$  corresponding to the optical communication network according to the network state information; obtaining a plurality of sets of target NFs and target  $L_{eff}$ s corresponding to the combination of a plurality of sets of pump powers under the target  $\alpha$ ; performing computation to obtain a plurality of equivalent optical signal to noise ratios (OSNR) of the optical communication network by using the target  $\alpha$ , the target NFs and the target  $L_{eff}$ s; and selecting the maximum OSNR from the OSNRs, and adjusting the at least one multi-step Raman fibre amplifier according to the power value of the combination of pump powers corresponding to the maximum OSNR. By means of the solution provided in the present invention, BER satisfies the requirement condition after a signal has been transmitted through a link, and additionally it does not require the total pump power to be maximum when BER satisfies the requirement condition, thus avoiding the negative effect that the Raman fibre amplifier application has on system security.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2015/161473 A1



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。 **本国际公布:**  
— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

---

本发明涉及网络技术领域，尤其涉及一种优化光通信网络性能的方法及装置，该方法包括：收集光通信网络的网络状态信息；根据所述网络状态信息确定所述光通信网络对应的目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ ；获得目标  $\alpha$  下的多组泵浦功率组合对应的多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ；利用所述目标  $\alpha$ 、目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ，计算得到所述光通信网络的多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ；从所述  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  中，选择最大的  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，按照所述最大的  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  对应的泵浦功率组合中的功率值调整所述至少一个多阶拉曼光纤放大器。通过本发明提供的方案可以使得信号经过链路传输以后 BER 满足需求条件，另外链路 BER 满足需求条件的时候并不要求总的泵浦功率最大，从而避免了拉曼光纤放大器应用对系统安全性的不良影响。

# 一种优化光通信网络性能的方法及装置

## 技术领域

本发明涉及网络技术领域，尤其涉及一种优化光通信网络性能的方法及装置。

## 背景技术

RFA ( Raman fiber amplifier, 拉曼光纤放大器 ) 的光纤网络链路如图 1 所示，信号在发端被调制后在传输过程中由于光纤的损耗，信号功率被衰减，经过拉曼光纤放大器放大，最后信号传输到收端进行解调。如果拉曼光纤放大器的噪声指数越小，并且信号在传输过程中受到的非线性畸变 ( distortion ) 越小，那么信号能够无电中继传输的距离就越远。

拉曼光纤放大器具有增益带宽大、低噪声和高饱和输出功率等优点，是超大容量、超长距离波分复用光纤通信系统的关键器件。其中，采用多个泵浦激光器的多阶拉曼光纤放大器还可以实现信号在宽带范围内的增益平坦以及对信号进行多阶拉曼放大，对于进一步降低噪声有很大好处。

如图 2 所示为现有技术中一个二阶反向泵浦的拉曼光纤放大器的结构示意图，一个二阶反向泵浦的拉曼光纤放大器，泵浦 pump1 和 pump2 形成一阶泵浦光，pump3 形成二阶泵浦光。假设 pump1 为 1427nm 激光器，pump2 为 1453nm 激光器，pump3 为 1360nm 激光器，pump1 和 pump2 形成的一阶泵浦光与信号光的频率偏移近一倍斯托克斯频率，一阶泵浦光在光纤中传播时，通过拉曼散射可以放大信号光；pump3 形成的二阶泵浦光与信号光的频率偏移近两倍斯托克斯频率，信号光在光纤中传播时，通过泵浦一阶泵浦光以及二阶泵浦光的放大处理后得到放大后的信号光。

现有技术中，虽然二阶拉曼光纤放大器的泵浦功率越高对应 RFA 的 NF ( Noise figure, 噪声系数 ) 越低，但是通过信号光在光纤链路传输的功率演

化可以看出,二阶拉曼泵浦功率高的时候光纤传输链路的 $L_{\text{eff}}$  (effective length, 非线性有效长度)也越大,从而引入的非线性噪声也越大。

现有技术中,为了降低多阶拉曼光纤放大器的噪声指数,采用的方式是:将多阶拉曼光纤放大器的二阶泵浦光功率设置为比一阶泵浦功率大很多,但是这种方式只能保证信号传输之后的 OSNR 高,不能保证信号的 BER (biterror, 误码率),而且总的泵浦功率太大会对网络的安全性造成不良的影响。

## 发明内容

本发明实施例提供一种优化光通信网络性能的方法及装置,用以解决现有技术光通信网络中多阶拉曼光纤放大器的二阶泵浦光功率设置方案不能保证信号的误码率最好的问题。

第一方面,提供一种优化光通信网络性能的装置,该装置包括:

数据收集单元,用于收集光通信网络的网络状态信息,其中,该光通信网络中包括至少一个多阶拉曼放大器;

增强因子确定单元,用于根据所述网络状态信息确定所述光通信网络对应的目标非线性噪声系数增强因子 $\alpha$ ;

目标参数获取单元,用于确定所述目标非线性噪声系数增强因子 $\alpha$ 下的,所述多阶拉曼放大器的泵浦功率组合与噪声系数 NF 的对应关系,以及所述泵浦功率组合与 $L_{\text{eff}}$ 的对应关系,获得所述目标非线性噪声系数增强因子 $\alpha$ 下的多组泵浦功率组合对应的多组目标 NF 和目标 $L_{\text{eff}}$ ;

计算单元,用于利用所述目标非线性噪声系数增强因子 $\alpha$ 、所述多组目标 NF 和目标 $L_{\text{eff}}$ ,计算得到所述光通信网络的多个等效光信噪比 $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ,所述多组目标 NF 和目标 $L_{\text{eff}}$ 中的每一组目标 NF 和目标 $L_{\text{eff}}$ 对应一个等效光信噪比 $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ;

优化单元,用于从所述多个等效光信噪比 $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ 中,选择最大的等效光

信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$ ，按照所述最大的等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$  对应的泵浦功率组合中的功率值，调整所述至少一个多阶拉曼光纤放大器的泵浦功率。

结合第一方面，在第一种可能的实现方式中，计算确定单元还用于利用

$$\text{公式: } OSNR_{eq}^{opt} = \frac{P_s^{opt}}{P_{ASE} + k(P_s^{opt})^3} = \frac{1}{3k(P_s^{opt})^2} = \frac{1}{3(\alpha L_{eff}^2)^2 (h\nu BNF(G-1)N/2\alpha L_{eff}^2)^{2/3}}$$

计算所述等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$ ；其中， $h$  为普朗克常量， $\nu$  为信号频率， $B_o$  为光信噪比  $OSNR$  定义的噪声带宽， $G$  为所述多阶拉曼光纤放大器的增益， $N$  为所述第一光通信网络中的放大器个数。

结合第一方面，或者第一方面的第一种可能的实现方式，在第二种可能的实现方式中，该装置进一步包括：

再优化单元，当收集所述光通信网络上报的放大的自发辐射 ASE 光功率  $P_{ASE}$ 、信号出纤光功率和等效非线性噪声  $P_{NL}$ ；根据获得的  $P_{ASE}$ 、信号出纤光功率和等效非线性噪声  $P_{NL}$ ，确定所述光通信网络当前的等效光信噪比  $OSNR_{eq}$ ，并获取该  $OSNR_{eq}$  与所述最大的等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$  的差值  $\varepsilon$ ，如果所述差值  $\varepsilon$  小于等于设定阈值，则停止调整所述光通信网络的泵浦功率。

结合第一方面的第二种可能的实现方式，在第三种可能的实现方式中，当所述差值  $\varepsilon$  大于设定阈值，所述再优化单元还用于计算确定所述光通信网络的等效非线性噪声  $P_{NL}$  是否大于 2 倍所述光通信网络的链路累积的 ASE 噪声  $P_{ASE}$ ，若是，则减小所述至少一个多阶拉曼放大器的二阶泵浦光功率；否则增大所述至少一个多阶拉曼放大器的二阶泵浦光功率。

结合第一方面，或者第一方面的第一至三种可能的实现方式，在第四种可能的实现方式中，所述数据收集单元收集所述光通信网络的：信号光波长和波长数目、信号调制码型、信号调制速率、跨段长度、跨段数目、光纤瑞利散射系数、光纤损耗系数、各级放大器中拉曼泵浦激光器数目和泵浦方向作为所述光通信网络的网络状态信息。

第二方面，提供一种优化光通信网络性能的系统，该系统包括光发射机、光接收机以及连接在所述光发射机和光接收机之间的至少一个多阶拉曼放大器形成的光通信网络，该系统还包括：

优化装置，该优化装置与所述光发射机、光接收机以及所述至少一个多阶拉曼放大器中的每个多阶拉曼放大器连接；用于收集该光通信网络的网络状态信息；并根据所述网络状态信息确定所述光通信网络对应的目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ ；确定所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的，所述多阶拉曼放大器的泵浦功率组合与噪声系数 NF 的对应关系，以及所述泵浦功率组合与  $L_{\text{eff}}$  的对应关系，获得所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的多组泵浦功率组合对应的多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ；利用所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ 、所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ，计算得到所述光通信网络的多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  中的每一组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  对应一个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ；从所述多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  中，选择最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，将所述最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  对应的泵浦功率组合中的功率值发送到所述至少一个多阶拉曼光纤放大器；

所述至少一个多阶拉曼光纤放大器根据接收到的功率值设置自身各泵浦激光器的泵浦功率。

第一方面，提供一种优化光通信网络性能的方法，光通信网络中包括至少一个多阶拉曼放大器，该方法包括：

收集所述光通信网络的网络状态信息；

根据所述网络状态信息确定所述光通信网络对应的目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ ；

确定所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的，所述多阶拉曼放大器的泵浦功率组合与噪声系数 NF 的对应关系，以及所述泵浦功率组合与  $L_{\text{eff}}$  的对应关系，获得所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的多组泵浦功率组合对

应的多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ;

利用所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ 、所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ，计算得到所述光通信网络的多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  中的每一组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  对应一个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ;

从所述多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  中，选择最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，按照所述最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  对应的泵浦功率组合中的功率值，调整所述至少一个多阶拉曼光纤放大器的泵浦功率。

结合第二方面，在第一种可能的实现方式中，所述利用所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ 、所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ，计算得到所述光通信网络的多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，包括：

利用公式：

$$OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}} = \frac{P_s^{\text{opt}}}{P_{\text{ASE}} + k(P_s^{\text{opt}})^3} = \frac{1}{3k(P_s^{\text{opt}})^2} = \frac{1}{3(\alpha L_{\text{eff}}^2)^2 (h\nu BNF(G-1)N/2\alpha L_{\text{eff}}^2)^{2/3}} \text{ 计}$$

算所述等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ;

其中， $h$  为普朗克常量， $\nu$  为信号频率， $B_o$  为光信噪比 OSNR 定义的噪声带宽， $G$  为所述多阶拉曼光纤放大器的增益， $N$  为所述光通信网络中的放大器个数。

结合第二方面，或者第二方面的第一种可能的实现方式，在第二种可能的实现方式中，调整所述至少一个多阶拉曼光纤放大器的泵浦功率之后，该方法进一步包括：

收集所述光通信网络上报的放大的自发辐射 ASE 光功率  $P_{\text{ASE}}$ 、信号出纤光功率和等效非线性噪声  $P_{\text{NL}}$ ;

根据获得的  $P_{\text{ASE}}$ 、信号出纤光功率和等效非线性噪声  $P_{\text{NL}}$ ，确定所述光通信网络当前的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}$ ，并获取该  $OSNR_{\text{eq}}$  与所述最大的等效光信噪

比  $OSNR_{eq}^{opt}$  的差值  $\varepsilon$ ，如果所述差值  $\varepsilon$  小于等于设定阈值，则停止调整所述光通信网络的泵浦功率。

结合第二方面的第二种可能的实现方式，在第三种可能的实现方式中，当所述差值  $\varepsilon$  大于设定阈值时，该方法进一步包括：

计算确定所述光通信网络的等效非线性噪声  $P_{NL}$  是否大于 2 倍所述光通信网络的链路累积的 ASE 噪声  $P_{ASE}$ ，若是，则减小所述至少一个多阶拉曼放大器的二阶泵浦光功率；否则增大所述至少一个多阶拉曼放大器的二阶泵浦光功率。

结合第二方面，或者第二方面的第一至三种可能的实现方式，在第四种可能的实现方式中，所述网络状态信息包括：所述光通信网络中存在的信号光波长和波长数目、信号调制码型、信号调制速率、跨段长度、跨段数目、光纤瑞利散射系数、光纤损耗系数、各级放大器中拉曼泵浦激光器数目和泵浦方向。

本申请实施例中的上述一个或多个技术方案，至少具有如下的技术效果：

本发明实施例所提供的方法和装置，解决了现有拉曼光纤放大系统只考虑信号传输之后光信噪比而不能保证 BER 的问题。通过本发明提供的方案可以使得信号经过链路传输以后 BER 满足需求条件，另外链路 BER 满足需求条件的时候并不要求总的泵浦功率最大，从而避免了拉曼光纤放大器应用对系统安全性的不良影响。

## 附图说明

图 1 为现有技术中光纤网络链路的结构示意图；

图 2 为现有技术中一个二阶反向泵浦的拉曼光纤放大器的结构示意图；

图 3 为本发明实施例提供的一种优化光通信网络性能的装置的结构示意图；

图 4 为本发明实施例提供的一种优化光通信网络性能的系统结构示意图；

图 5 为本发明实施提供的一种优化光通信网络性能的方法的流程示意图。

具体实施方式

虽然二阶拉曼泵浦功率越高对应 RFA 的噪声指数越低，但是通过信号在光纤链路传输的功率演化可以看出，二阶拉曼泵浦功率高的时候光纤传输链路的非线性有效长度 ( $L_{eff}$ ) 也越大，从而引入的非线性噪声也越大。以下通过具体的实例对 RFA 的 NF、 $L_{eff}$  与泵浦功率组合的对应关系进行说明：

当单波 193.4THz 信号光在 100km 的 SSMF (Standard Single Mode Fiber, 标准单模光纤) 中传输，且该 SSMF 的光纤瑞利散射系数为 -78dB，信号光以 -2dBm 输入和 -2dBm 输出，该信号光通过一个二阶拉曼光纤放大器进行放大处理，所述二阶拉曼光纤放大器中 pump1 和 pump2 形成一阶泵浦光，pump3 形成二阶泵浦光；pump1 为 1427nm 激光器，pump2 为 1453nm 激光器，pump3 为 1360nm 激光器。以下给出三种泵浦功率组合的情况 (a、b 和 c)，其中，泵浦功率组合是指所述二阶拉曼光纤放大器中三个激光器对应功率形成的组合。该实例中，在 a、b、c 三种泵浦功率组合下对应的非线性有效长度

$L_{eff} = \frac{1}{P_0} \int_0^L P(z) dz$  和 NF 会是不同的值，具体如表 1 所示：

类型	1360nm 功率	1427nm 功率	1453nm 功率	Leff(km)	NF(dB)
a	0 W	0.0159 W	0.666 W	27.68	-2.4
b	0.4 W	0.0159 W	0.3738 W	29.45	-2.7
c	1.4 W	0.0159 W	0.0111 W	39.59	-3.6

表 1

从表 1 可以看出，二阶泵浦光功率越大，二阶拉曼光纤放大器的 NF 越低；所以对于一条由相同的多个 RFA 组成链路来说，传输后的 OSNR (OSNR Optical Signal-to-Noise Ratio, 光信噪比) 越高。但是二阶泵浦光功率越大，信号在光纤中的非线性有效长度越大，信号受到的非线性畸变就会越严重。

本发明实施例提供一种优化光通信网络性能的装置，该装置具体包括：

数据收集单元，用于收集光通信网络的网络状态信息，其中，该光通信网络中包括至少一个多阶拉曼放大器；

增强因子确定单元，用于根据所述网络状态信息确定所述光通信网络对应的目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$

目标参数获取单元，用于确定所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的，所述多阶拉曼放大器的泵浦功率组合与噪声系数 NF 的对应关系，以及所述泵浦功率组合与  $L_{\text{eff}}$  的对应关系，获得所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的多组泵浦功率组合对应的多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ；

计算单元，用于利用所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ 、所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ，计算得到所述光通信网络的多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  中的每一组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  对应一个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ；

优化单元，用于从所述多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  中，选择最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，按照所述最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  对应的泵浦功率组合中的功率值，调整所述至少一个多阶拉曼光纤放大器的泵浦功率。

本发明实施例所提供的装置，解决了现有技术中使用拉曼光纤放大的光通信网络系统只考虑信号传输之后的光信噪比而不能保证 BER 的问题。通过本发明提供的方案可以使得信号经过链路传输以后 BER 满足需求，并且链路 BER 满足需求的同时并不要求总的泵浦功率最大，从而避免了拉曼光纤放大器应用对系统安全性的不良影响。

为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明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发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

## 实施例一

如图 3 所示, 本发明实施例提供一种优化光通信网络性能的装置, 该装置具体包括:

本发明实施例中, 可以首先利用仿真等方式建立光通信网络的不同状态信息与非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  的对应关系; 然后在特定的非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下, 提供足量的多阶拉曼光纤放大器在不同泵浦功率组合下对应的噪声系数 NF 和光纤传输链路的非线性有效长度  $L_{\text{eff}}$ 。具体实现可以是:

获取不同状态信息的光通信网络对应的非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ , 并获取所述光通信网络中包括的多个多阶拉曼光纤放大器在不同泵浦功率组合下对应的噪声系数 NF 和光纤传输链路的非线性有效长度  $L_{\text{eff}}$ , 保存不同状态信息对应的非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ ; 以及在每个状态信息下的泵浦功率组合与噪声系数 NF、 $L_{\text{eff}}$  的对应关系。

保存不同状态信息对应的非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ ; 以及在每个状态信息下的泵浦功率组合与噪声系数 NF、 $L_{\text{eff}}$  的对应关系之后, 在具体应用中, 可以将保存的对应关系直接存储到优化光通信网络性能的装置中; 也可以存储在可以与所述优化光通信网络性能的装置通信的其他设备中, 使得优化光通信网络性能的装置需要使用所述对应关系的时候可以通过一定的方式获取到。

在该实施例中获取不同状态信息的光通信网络的非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ , 可以通过仿真的方式实现的。

因为, 拉曼光纤放大器在不同泵浦功率下的 NF 以及  $L_{\text{eff}}$  可以通过计算机仿真或者解如下数值方程获取。解数值方程的原理如下:

假设一条链路包含 M 个波长, N 个完全相同的跨段, 各波以相同功率输入光纤发端, 通过解信号光和各泵浦光在光纤内的数值方程, 可以求出链路的累积 ASE (amplified spontaneous emission, 放大的自发辐射) 和稳定后的信号光功率在各跨段内的分布, 也可以得出链路的非线性有效长度, 数值方

程如下:

$$\begin{aligned} \frac{dP^{\pm}(z, \nu)}{dz} &= \mp \alpha(\nu) P^{\pm}(z, \nu) \pm \gamma(\nu) P^{\mp}(z, \nu) \\ &= \sum_{\zeta > \nu} \left\{ \frac{g_r(\zeta - \nu)}{K_{\text{eff}} A_{\text{eff}}} [P^{\pm}(z, \zeta) + P^{\mp}(z, \zeta)] P^{\pm}(z, \nu) + hv \frac{g_r(\zeta - \nu)}{A_{\text{eff}}} [P^{\pm}(z, \zeta) + P^{\mp}(z, \zeta)] \left[ 1 + \frac{1}{e^{h(\zeta - \nu)/kT} - 1} \right] \Delta \nu \right\} \\ &\mp \sum_{\zeta < \nu} \left\{ \frac{g_r(\nu - \zeta)}{K_{\text{eff}} A_{\text{eff}}} \left( \frac{\nu}{\zeta} \right) [P^{\pm}(z, \zeta) + P^{\mp}(z, \zeta)] P^{\pm}(z, \nu) + 2hv \frac{g_r(\zeta - \nu)}{A_{\text{eff}}} P^{\pm}(z, \nu) \left[ 1 + \frac{1}{e^{h(\zeta - \nu)/kT} - 1} \right] \Delta \zeta \right\} \end{aligned}$$

其中  $P^{\pm}$  表示 前向 (+) 或者后向 (-) 传输的光功率;  $\gamma(\nu)$  表示频率  $\nu$  的光的瑞利散射系数; 带有  $h\nu$  的两项表示因自发辐射引起的光功率变化,

$\left[ 1 + \frac{1}{e^{h(\zeta - \nu)/kT} - 1} \right]$  反应了温度 (T) 对拉曼自发辐射的影响。

上式中, 将信号光和泵浦光不加区别的用一个方程形式来表达, 这样对于输入光纤的任意光波, 无论功率大小, 波长如何分布, 波长连续的或者分立, 都可以在一个数学模型中将功率分布求解出来。

根据上述公式求出各波长信号光和噪声的功率分布, 可以求出各跨段对应的非线性有效长度  $L_{\text{eff}}$  和拉曼光纤放大器的 NF。因为多阶拉曼光纤放大器中的每阶功率不相同则会对应不同的非线性有效长度  $L_{\text{eff}}$  和拉曼光纤放大器的 NF, 所以本发明实施例所提供的方法, 可以通过上述计算仿真等方式确定多阶拉曼光纤放大器的每组功率组合与非线性有效长度  $L_{\text{eff}}$  和拉曼光纤放大器的 NF 的对应关系。

基于上述得到的对应关系, 本发明实施例提供的优化光通信网络性能的装置具体包括:

数据收集单元 301, 用于收集光通信网络的网络状态信息, 其中, 该光通信网络中包括至少一个多阶拉曼放大器;

因为收集了不同状态信息的光通信网络的非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ , 即通过仿真等方式确定了不同网络状态信息对应的非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ 。所以在具体优化某一个光通信网络时, 就可以收集所述光通信网络的网络状态信息, 从而可以根据所保存的状态信息与非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  的对

应关系，确定所述待优化光通信网络的非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ 。

在本发明实施例中，所述数据收集单元 401 收集所述光通信网络的：信号光波长和波长数目、信号调制码型、信号调制速率、跨段长度、跨段数目、光纤瑞利散射系数、光纤损耗系数、各级放大器中拉曼泵浦激光器数目和泵浦方向作为所述光通信网络的网络状态信息。

在具体的实现中，如果上述参数中的某一个或者是某几个没有采集到，可以调用缺省值。例如：光纤瑞利散射系数。

增强因子确定单元 302，用于根据所述网络状态信息确定所述光通信网络对应的目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ ；

在具体的应用环境中，光通信网络的状态会影响到多阶拉曼放大器的放大效果，所以在本发明实施例提供的方案中，首先确定需要优化的光通信网络是怎样的一个状态。

目标参数获取单元 303，用于确定所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的，所述多阶拉曼放大器的泵浦功率组合与噪声系数 NF 的对应关系，以及所述泵浦功率组合与  $L_{\text{eff}}$  的对应关系，获得所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的多组泵浦功率组合对应的多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ；

计算单元 304，用于利用所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ 、所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ，计算得到所述光通信网络的多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  中的每一组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  对应一个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ；

在本发明实施例中，计算所述第一光通信网络的第一等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  的具体公式可以通过以下方式获得：

因为光通信网络中链路的拉曼光纤放大器的噪声指数越低，收端的 OSNR 越高，但是非线性有效长度越长，信号收到的非线性畸变影响越大，只有权衡非线性效应和收端 ASE 噪声才能使得信号传输后的 BER 最好。因此在调整

拉曼泵浦激光器的时候，仅考虑信号传输后的 OSNR 高还不够，更需要通过调整各泵浦波长功率大小实现链路 BER 最好。

对于无色散补偿的链路，非线性噪声可以等效为高斯噪声，则链路的等效光信噪比  $OSNR_{eq}$  ( $OSNR_{eq}$  是衡量信号传输之后 BER 好坏的唯一指标) 可以表示为 Eq.(1)式:

$$OSNR_{eq} = \frac{P_s}{P_{NL} + P_{ASE}} \dots \dots \dots (1)$$

其中  $P_s$  为收端信号光功率， $P_{NL}$  为链路等效非线性噪声， $P_{ASE}$  为链路累积的 ASE，而链路的等效非线性噪声又正比于各跨段信号入纤功率的立方，可以表示为  $P_N = kP_s^3$ ， $k$  为该系统的非线性噪声系数，与链路的非线性有效长度平方成正比关系，即  $k = \alpha L_{eff}^2$ ， $\alpha$  为非线性噪声系数增强因子， $\alpha$  是一个与系统参数（波长数目、信号码型、信号速率、光纤类型等）相关的常数。

要使得收端 OSNR<sub>eq</sub> 最大，对 Eq.(1)式两边取倒数，然后再对信号功率求导等于 0 时，对应的等效光信噪比最大。

$$\frac{\partial \left( \frac{1}{OSNR_{eq}} \right)}{\partial P_s} = \frac{\partial \left( kP_s^2 + \frac{P_{ASE}}{P_s} \right)}{\partial P_s} = 0 \dots \dots \dots (2)$$

可以得到

$$P_{ASE} = 2kP_s^3 = 2P_N \dots \dots \dots (3)$$

对于一个各跨段完全一样的链路，链路的累积 ASE 噪声可以表示为

$$P_{ASE} = hvB_0NF(G-1)N \dots \dots \dots (4)$$

其中  $h$  为普朗克常量， $\nu$  为信号频率， $B_0$  为 OSNR 定义的噪声带宽，ITU 规范通常为 12.5 GHz， $G$  为放大器的增益， $N$  为放大器的个数。由(3)式可以确定链路的最佳入纤光功率  $P_s^{opt}$  和在该放大器配置下(对应特定的 NF 和  $L_{eff}$ )传输后的最佳等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$

$$P_s^{opt} = \left( \frac{P_{ASE}}{2k} \right)^{1/3} \dots \dots \dots (5)$$

所以根据上述公式的推导过程，可以确定计算所述光通信网络的第一等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$  的具体公式可以是：

$$OSNR_{eq}^{opt} = \frac{P_s^{opt}}{P_{ASE} + k(P_s^{opt})^3} = \frac{1}{3k(P_s^{opt})^2} = \frac{1}{3(\alpha L_{eff}^2)^2 (h\nu BNF(G-1)N/2\alpha L_{eff}^2)^{2/3}} \quad (6)$$

优化单元 305，用于从所述多个等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$  中，选择最大的等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$ ，按照所述最大的等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$  对应的泵浦功率组合中的功率值，调整所述至少一个多阶拉曼光纤放大器的泵浦功率。

因为不同的泵浦功率组合下拉曼光纤放大器的 NF 不一样，信号的  $L_{eff}$  也不一样，系统对应的最佳等效光信噪比也不一样。因此调整拉曼光纤放大系统泵浦光功率的原则应保证链路的等效光信噪比  $OSNR_{eq}$  最高，而不是传输后的光信噪比最高。所以本发明实施例中，所述预设条件则是将多组目标 NF 和目标  $L_{eff}$  所对应的多个等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$  进行比较，选择等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$  中最大的作为优化光通信网络中的等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$ 。

经过上述装置结构可以对所述光通信网络进行一次优化操作，因为上述参数只是根据仿真和实验所得的数据进行的初次优化，但是因为光通信网络的实时情况会对网络的性能造成一定的影响，所以上述优化过程在很多时候并不能达到的最优的效果，为了达到更好的优化效果，本发明实施例所提供的方案中还应对所述光通信网络进行二次优化，具体该可以是：

当所述多阶拉曼光纤放大器中的每个都按照所述第二泵浦功率组合中规定的每阶功率设置自身各泵浦激光器所需的驱动电流值之后，该装置还进一步包括：

再优化单元 306，当收集所述光通信网络上报的放大的自发辐射 ASE 光功率  $P_{ASE}$ 、信号出纤光功率和等效非线性噪声  $P_{NL}$ ；根据获得的  $P_{ASE}$ 、信号出

纤光功率和等效非线性噪声  $P_{NL}$ ，确定所述光通信网络当前的等效光信噪比  $OSNR_{eq}$ ，并获取该  $OSNR_{eq}$  与所述最大的等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$  的差值  $\varepsilon$ ，如果所述差值  $\varepsilon$  小于等于设定阈值，则停止调整所述光通信网络的泵浦功率。

在该实施例中，当所述差值  $\varepsilon$  大于设定阈值且调节次数小于最大调节次数，即之前的优化操作都没有达到预期的效果，并且还没有达到预设的调节次数，所以为了达到更好的优化效果还可做进一步的优化，其中优化的方式可以是以下：

所述再优化单元 306 还用于计算确定所述光通信网络的等效非线性噪声  $P_{NL}$  是否大于 2 倍所述光通信网络的链路累积的 ASE 噪声  $P_{ASE}$ ，若是，则减小所述至少一个多阶拉曼放大器的二阶泵浦光功率；否则增大所述至少一个多阶拉曼放大器的二阶泵浦光功率。

为了更详细的说明本发明实施例所提供的方案，以下通过两个场景的优化表明本申请实施例所提供方案的作用：

#### 场景一、单波场景：

其中，32G 波特率 16QAM 调制格式的单波信号（频率为 193.4THz）在每跨入纤光功率为 -2dBm 的光通信网络中传输，该光通信网络的光纤为以下三种情况：光纤瑞利散射系数分别为 -82dB、-79dB 和 -76dB。则在每种光纤参数下，不同的功率组合对应不同的 NF 和  $L_{eff}$  具体会是以下情况：

一、当瑞利散射系数为 -82dB 的场景下，光通信网络中的多阶拉曼光纤放大器由 1360nm 激光器、1427nm 激光器和 1453nm 激光器组成，当激光器选择不同的功率组合的情况下会对应不同的 NF 和  $L_{eff}$ ：瑞利散射系数为 -82dB 时单波场景下，不同的功率组合的情况下对应不同的 NF 和  $L_{eff}$  如表 2 所示：

瑞利散射系数为 -82dB					
1360nm power (W)	1427nm power (W)	1453nm power (W)	NF (dB)	$L_{eff}$ (km)	OSNReq (dB)
1.4	0.0159	0.0106	-4.75	39.81	25.34
1.3	0.0159	0.0165	-4.64	38.94	25.33

1.2	0.0159	0.0262	-4.50	37.84	25.32
1.1	0.0159	0.0416	-4.34	36.52	25.32
1	0.0159	0.0651	-4.17	35.16	25.31
0.9	0.0159	0.0976	-3.99	33.83	25.30
0.8	0.0159	0.1394	-3.82	32.67	25.29
0.7	0.0159	0.1891	-3.66	31.65	25.28
0.6	0.0159	0.2457	-3.52	30.79	25.26
0.5	0.0159	0.3076	-3.39	30.06	25.25
0.4	0.0159	0.3738	-3.28	29.44	25.23
0.3	0.0159	0.4432	-3.17	28.90	25.21
0.2	0.0159	0.5157	-3.07	28.45	25.19
0.1	0.0159	0.5901	-2.98	28.04	25.18
0	0.0159	0.6669	-2.90	27.70	25.16

表 2

即本实施例步骤 403 中利用多组泵浦功率组合从所述对应关系中对对应确定多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ，在表 2 中每个激光器所在列中的数字为每个激光器所选择的功率，每一行中三个功率的组合在一起即形成一组泵浦功率组合。可见表 2 中共有 15 组泵浦功率组合，对应 15 组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ 。

根据泵浦功率组合确定对应的 NF 和  $L_{\text{eff}}$  后，则可通过公式 (6) 计算对应的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，在表 2 所示的实例中对应 15 个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ 。

根据从表格中所给出的 15 个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  中选择一个最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，则表 2 所示的参数可见：当瑞利散射系数为 -82dB 时，二阶泵浦功率取 1.4W（总功率 1.076W）， $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}=25.34$  的链路的性能最好。

二、当瑞利散射系数为 -79dB 的场景下，光通信网络中的多阶拉曼光纤放大器由 1360nm 激光器、1427nm 激光器和 1453nm 激光器组成，当激光器选择不同的功率组合的情况下会对应不同的 NF 和  $L_{\text{eff}}$ ：瑞利散射系数为 -79dB 时单波场景下，不同的功率组合的情况下对应不同的 NF 和  $L_{\text{eff}}$  如表 3 所示：

瑞利散射系数为 -79dB					
1360nm power (W)	1427nm power (W)	1453nm power (W)	NF(dB)	Leff (km)	OSNReq (dB)

1.4	0.0159	0.0109	-4.03	39.71	24.87
1.3	0.0159	0.0168	-3.94	38.84	24.87
1.2	0.0159	0.0265	-3.84	37.77	24.88
1.1	0.0159	0.0420	-3.72	36.48	24.90
1	0.0159	0.0654	-3.59	35.14	24.93
0.9	0.0159	0.0979	-3.46	33.84	24.95
0.8	0.0159	0.1395	-3.33	32.66	24.97
0.7	0.0159	0.1892	-3.22	31.64	24.98
0.6	0.0159	0.2454	-3.11	30.77	24.99
0.5	0.0159	0.3073	-3.01	30.05	24.99
0.4	0.0159	0.3735	-2.91	29.44	24.99
0.3	0.0159	0.4432	-2.83	28.91	24.99
0.2	0.0159	0.5157	-2.75	28.45	24.98
0.1	0.0159	0.5901	-2.68	28.04	24.97
0	0.0159	0.6663	-2.61	27.68	24.96

表3

从表 3 所示的参数可见：当瑞利散射系数为-79dB 时，二阶泵浦功率取 0.5W（总功率 0.823W）， $OSNR_{eq}^{opt}=24.99$  的链路的性能最好。

三、当瑞利散射系数为-76dB 的场景下，光通信网络中的多阶拉曼光纤放大器由 1360nm 激光器、1427nm 激光器和 1453nm 激光器组成，当激光器选择不同的功率组合的情况下会对应不同的 NF 和  $L_{eff}$ ：瑞利散射系数为-76dB 时单波场景下，不同的功率组合的情况下对应不同的 NF 和  $L_{eff}$  如表 4 所示：

瑞利散射系数为-76dB					
1360nm power ( W)	1427nm power ( W)	1453nm power ( W)	NF(dB)	$L_{eff}$ (km)	$OSNR_{eq}$ (dB)
1.4	0.0159	0.0115	-2.04	39.39	23.56
1.3	0.0159	0.0174	-1.99	38.63	23.58
1.2	0.0159	0.0272	-1.93	37.63	23.63
1.1	0.0159	0.0426	-1.91	36.39	23.70
1	0.0159	0.0658	-1.88	35.08	23.79
0.9	0.0159	0.0982	-1.86	33.80	23.89
0.8	0.0159	0.1394	-1.85	32.62	23.98
0.7	0.0159	0.1891	-1.82	31.63	24.06
0.6	0.0159	0.2457	-1.80	30.79	24.12
0.5	0.0159	0.3075	-1.77	30.07	24.17
0.4	0.0159	0.3732	-1.75	29.43	24.22
0.3	0.0159	0.4432	-1.72	28.92	24.25
0.2	0.0159	0.5150	-1.70	28.44	24.28
0.1	0.0159	0.5900	-1.67	28.05	24.30
0	0.0159	0.6663	-1.64	27.69	24.32

表4

从表 4 所示的参数可见：当瑞利散射系数为-76dB 时，二阶泵浦功率取 0W（总功率 0.682W）， $OSNR_{eq}^{opt}=24.32$  链路性能最好。

在上述单波场景下三种光纤瑞利散射系数的具体参数值可以看出：

当瑞利散射系数为-82dB 时，二阶泵浦功率取 1.4W（总功率 1.076W）链路的性能最好；当瑞利散射系数为-79dB 时，二阶泵浦功率取 0.5W（总功率 0.823W）链路的性能最好；当瑞利散射系数为-76dB 时，二阶泵浦功率取 0W（总功率 0.682W）链路的性能最好。

场景二：WDM（5 波）仿真场景

光通信网络为：32G 波特率 16QAM 调制格式的 5 个波长信号（信号频率范围为 193.3THz 到 193.5THz，信道间隔 50GHz）在每跨单波输入功率为 -2dBm 入纤经过 20 跨，单跨光纤长度 100km；该光通信网络的光纤为以下三种情况：光纤瑞利散射系数分别为-82dB、-79dB 和-76dB（其中所述瑞利散射系数等同于所述网络状态信息）。则在每种光纤参数下，不同的功率组合对应不同的 NF 和  $L_{eff}$  具体会是以下情况：

一、当瑞利散射系数为-82dB 的场景下，光通信网络中的多阶拉曼光纤放大器由 1360nm 激光器、1427nm 激光器和 1453nm 激光器组成当激光器选择不同的功率组合的情况下会对应不同的 NF 和  $L_{eff}$ ：瑞利散射系数为-82dB 时单波场景下，不同的功率组合的情况下对应不同的 NF 和  $L_{eff}$  如表 5 所示：

瑞利散射系数为-82dB					
1360nm power (W)	1427nm power (W)	1453nm power (W)	NF(dB)	$L_{eff}$ (km)	$OSNR_{eq}$ (dB)
1.4	0.0159	0.0111	-4.69	39.61	25.20
1.3	0.0159	0.0172	-4.58	38.79	25.19
1.2	0.0159	0.0272	-4.44	37.63	25.18
1.1	0.0159	0.0433	-4.28	36.34	25.18
1	0.0159	0.0673	-4.11	35.00	25.17
0.9	0.0159	0.1004	-3.94	33.70	25.17
0.8	0.0159	0.1426	-3.78	32.55	25.16
0.7	0.0159	0.1926	-3.62	31.55	25.15

0.6	0.0159	0.2495	-3.49	30.71	25.13
0.5	0.0159	0.3114	-3.36	29.99	25.12
0.4	0.0159	0.3776	-3.25	29.38	25.10
0.3	0.0159	0.4476	-3.14	28.87	25.08
0.2	0.0159	0.5201	-3.05	28.41	25.06
0.1	0.0159	0.5945	-2.96	28.01	25.05
0	0.0159	0.6708	-2.88	27.65	25.03

表 5

从表 5 所示的参数可见：当瑞利散射系数为-82dB 时，二阶泵浦功率取 1.4W（总功率 1.428W）， $OSNR_{eq}^{opt}=25.20$  的链路的性能最好。

二、当瑞利散射系数为-79dB 的场景下，光通信网络中的多阶拉曼光纤放大器由 1360nm 激光器、1427nm 激光器和 1453nm 激光器组成当激光器选择不同的功率组合的情况下会对应不同的 NF 和  $L_{eff}$ ：瑞利散射系数为-79dB 时单波场景下，不同的功率组合的情况下对应不同的 NF 和  $L_{eff}$  如表 6 所示：

瑞利散射系数为-79dB					
1360nm power (W)	1427nm power (W)	1453nm power (W)	NF(dB)	$L_{eff}$ (km)	$OSNR_{eq}$ (dB)
1.4	0.0159	0.0114	-3.97	39.47	24.73
1.3	0.0159	0.0176	-3.88	38.66	24.73
1.2	0.0159	0.0276	-3.78	37.58	24.74
1.1	0.0159	0.0436	-3.66	36.29	24.77
1	0.0159	0.0675	-3.54	34.95	24.79
0.9	0.0159	0.1004	-3.41	33.67	24.82
0.8	0.0159	0.1426	-3.29	32.53	24.83
0.7	0.0159	0.1926	-3.18	31.54	24.85
0.6	0.0159	0.2495	-3.07	30.71	24.85
0.5	0.0159	0.3114	-2.97	29.99	24.86
0.4	0.0159	0.3776	-2.88	29.38	24.86
0.3	0.0159	0.4470	-2.80	28.84	24.86
0.2	0.0159	0.5195	-2.72	28.40	24.85
0.1	0.0159	0.5945	-2.65	28.01	24.84
0	0.0159	0.6708	-2.58	27.65	24.83

表 6

从表 6 所示的参数可见：当瑞利散射系数为-79dB 时，二阶泵浦功率取 0.5W（总功率 0.827W）， $OSNR_{eq}^{opt}=24.86$  链路的性能最好。

三、当瑞利散射系数为-76dB 的场景下，光通信网络中的多阶拉曼光纤放

大器由 1360nm 激光器、1427nm 激光器和 1453nm 激光器组成当激光器选择不同的功率组合的情况下会对应不同的 NF 和  $L_{\text{eff}}$ ：瑞利散射系数为-76dB 时单波场景下，不同的功率组合的情况下对应不同的 NF 和  $L_{\text{eff}}$  如表 7 所示：

瑞利散射系数为-76dB					
1360nm power (W)	1427nm power (W)	1453nm power (W)	NF(dB)	$L_{\text{eff}}$ (km)	$OSNR_{\text{eq}}$ (dB)
1.4	0.0159	0.0120	-1.97	39.24	23.41
1.3	0.0159	0.0182	-1.92	38.45	23.44
1.2	0.0159	0.0283	-1.88	37.43	23.49
1.1	0.0159	0.0442	-1.85	36.20	23.56
1	0.0159	0.0679	-1.83	34.89	23.66
0.9	0.0159	0.1008	-1.82	33.63	23.76
0.8	0.0159	0.1426	-1.80	32.50	23.85
0.7	0.0159	0.1926	-1.79	31.53	23.92
0.6	0.0159	0.2495	-1.76	30.71	23.98
0.5	0.0159	0.3114	-1.74	29.99	24.04
0.4	0.0159	0.3776	-1.72	29.39	24.08
0.3	0.0159	0.4470	-1.70	28.85	24.12
0.2	0.0159	0.5195	-1.67	28.41	24.15
0.1	0.0159	0.5939	-1.64	28.00	24.17
0	0.0159	0.6701	-1.62	27.64	24.19

表7

从表 7 所示的参数可见：当瑞利散射系数为-76dB 时，二阶泵浦功率取 0W（总功率 0.686W）， $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}=24.19$  链路的性能最好。

在上述 WDM 场景下三种光纤瑞利散射系数的具体参数值可以看出：

当瑞利散射系数为-82dB 时，二阶泵浦功率取 1.4W（总功率 1.428W）链路的性能最好；当瑞利散射系数为-79dB 时，二阶泵浦功率取 0.5W（总功率 0.827W）链路的性能最好；当瑞利散射系数为-76dB 时，二阶泵浦功率取 0W（总功率 0.686W）链路的性能最好。

本发明实施例所提供的装置，解决了现有拉曼光纤放大系统只考虑信号传输之后的光信噪比而不能保证 BER 的问题。通过本发明提供的方案可以使得信号经过链路传输以后 BER 满足需求，并且链路 BER 满足需求的同时并不要求总的泵浦功率最大，从而避免了拉曼光纤放大器应用对系统安全性的不良影响。

## 实施例二

如图 4 所示, 本发明还提供一种优化光通信网络性能的系统, 该系统该系统包括光通信网络 401, 其中该光通信网络包括光发射机 401a、光接收机 401b 以及连接在所述光发射机和光接收机之间的至少一个多阶拉曼放大器 401c, 该系统还包括:

优化装置 402, 该优化装置 402 与所述光发射机 401a、光接收机 401b 以及所述至少一个多阶拉曼放大器 401c 中的每个多阶拉曼放大器连接; 用于收集该光通信网络的网络状态信息; 并根据所述网络状态信息确定所述光通信网络对应的目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ ; 确定所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的, 所述多阶拉曼放大器的泵浦功率组合与噪声系数 NF 的对应关系, 以及所述泵浦功率组合与  $L_{\text{eff}}$  的对应关系, 获得所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的多组泵浦功率组合对应的多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ; 利用所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ 、所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ , 计算得到所述光通信网络的多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ , 所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  中的每一组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  对应一个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ; 从所述多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  中, 选择最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ , 将所述最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  对应的泵浦功率组合中的功率值发送到所述至少一个多阶拉曼光纤放大器;

所述至少一个多阶拉曼光纤放大器 401c 根据接收到的功率值设置自身各泵浦激光器的泵浦功率。

该实施例中所述优化装置 402 对所述光通信网络 401 的具体优化方式与实施例一所提供的优化光通信网络性能的装置相同, 此处不再赘述。

## 实施例三

如图 5 所示, 本发明实施例还提供一种优化光通信网络性能的方法, 光通信网络中包括至少一个多阶拉曼放大器, 该方法包括:

本发明实施例中，可以首先利用仿真等方式建立光通信网络的不同状态信息与非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  的对应关系；然后在特定的非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下，提供足量的多阶拉曼光纤放大器在不同泵浦功率组合下对应的噪声系数 NF 和光纤传输链路的非线性有效长度  $L_{\text{eff}}$ 。具体实现可以是：

获取不同状态信息的光通信网络对应的非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ ，并获取所述光通信网络中包括的多个多阶拉曼光纤放大器在不同泵浦功率组合下对应的噪声系数 NF 和光纤传输链路的非线性有效长度  $L_{\text{eff}}$ ，保存不同状态信息对应的非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ ；以及在每个状态信息下的泵浦功率组合与噪声系数 NF、 $L_{\text{eff}}$  的对应关系。

在该实施例中获取不同状态信息的光通信网络的非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ ，可以通过仿真的方式实现的。

因为，拉曼光纤放大器在不同泵浦功率下的 NF 以及  $L_{\text{eff}}$  可以通过计算机仿真或者解如下数值方程获取。解数值方程的原理如下：

假设一条链路包含 M 个波长，N 个完全相同的跨段，各波以相同功率输入光纤发端，通过解信号光和各泵浦光在光纤内的数值方程，可以求出链路的累积 ASE（amplified spontaneous emission，放大的自发辐射）和稳定后的信号光功率在各跨段内的分布，也可以得出链路的非线性有效长度，数值方程如下：

$$\begin{aligned} \frac{dP^{\pm}(z, \nu)}{dz} &= \mp \alpha(\nu) P^{\pm}(z, \nu) \pm \gamma(\nu) P^{\mp}(z, \nu) \\ &= \sum_{\zeta > \nu} \left\{ \frac{g_r(\zeta - \nu)}{K_{\text{eff}} A_{\text{eff}}} [P^{\pm}(z, \zeta) + P^{\mp}(z, \zeta)] P^{\pm}(z, \nu) + hv \frac{g_r(\zeta - \nu)}{A_{\text{eff}}} [P^{\pm}(z, \zeta) + P^{\mp}(z, \zeta)] \left[ 1 + \frac{1}{e^{h(\zeta - \nu)/kT} - 1} \right] \Delta \nu \right\} \\ &\mp \sum_{\zeta < \nu} \left\{ \frac{g_r(\nu - \zeta)}{K_{\text{eff}} A_{\text{eff}}} \left( \frac{\nu}{\zeta} \right) [P^{\pm}(z, \zeta) + P^{\mp}(z, \zeta)] P^{\pm}(z, \nu) + 2hv \frac{g_r(\zeta - \nu)}{A_{\text{eff}}} P^{\pm}(z, \nu) \left[ 1 + \frac{1}{e^{h(\zeta - \nu)/kT} - 1} \right] \Delta \zeta \right\} \end{aligned}$$

其中  $P^{\pm}$  表示 前向 (+) 或者后向 (-) 传输的光功率； $\gamma(\nu)$  表示频率  $\nu$  的光的瑞利散射系数；带有  $h\nu$  的两项表示因自发辐射引起的光功率变化，

$\left[ 1 + \frac{1}{e^{h(\zeta - \nu)/kT} - 1} \right]$  反应了温度 (T) 对拉曼自发辐射的影响。

上式中，将信号光和泵浦光不加区别的用同一个方程形式来表达，这样对于输入光纤的任意光波，无论功率大小，波长如何分布，波长连续的或者分立，都可以在一个数学模型中将功率分布求解出来。

根据上述公式求出各波长信号光和噪声的功率分布，可以求出各跨段对应的非线性有效长度  $L_{\text{eff}}$  和拉曼光纤放大器的 NF。因为多阶拉曼光纤放大器中的每阶功率不相同则会对应不同的非线性有效长度  $L_{\text{eff}}$  和拉曼光纤放大器的 NF，所以本发明实施例所提供的方法，可以通过上述计算仿真等方式确定多阶拉曼光纤放大器的每组功率组合与非线性有效长度  $L_{\text{eff}}$  和拉曼光纤放大器的 NF 的对应关系。

基于上述得到的对应关系，本发明实施例提供的优化光通信网络性能的方法具体包括：

步骤 501，收集所述光通信网络的网络状态信息；

其中，所述网络状态信息包括：所述光通信网络中存在的信号光波长和波长数目、信号调制码型、信号调制速率、跨段长度、跨段数目、光纤瑞利散射系数、光纤损耗系数、各级放大器中拉曼泵浦激光器数目和泵浦方向。

步骤 502，根据所述网络状态信息确定所述光通信网络对应的目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ ；

步骤 503，确定所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的，多阶拉曼放大器的泵浦功率组合与噪声系数 NF 的对应关系，以及所述泵浦功率组合与  $L_{\text{eff}}$  的对应关系，获得所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的多组泵浦功率组合对应的多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ；

步骤 504，利用所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ 、所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ，计算得到所述光通信网络的多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  中的每一组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  对应一个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ；

本发明实施例中，所述利用所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ 、所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ，计算得到所述光通信网络的多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，包括：

利用公式：

$$OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}} = \frac{P_s^{\text{opt}}}{P_{\text{ASE}} + k(P_s^{\text{opt}})^3} = \frac{1}{3k(P_s^{\text{opt}})^2} = \frac{1}{3(\alpha L_{\text{eff}}^2)^2 (h\nu BNF(G-1)N/2\alpha L_{\text{eff}}^2)^{2/3}}$$
 计

算所述等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ；

其中， $h$  为普朗克常量， $\nu$  为信号频率， $B_o$  为光信噪比 OSNR 定义的噪声带宽， $G$  为所述多阶拉曼光纤放大器的增益， $N$  为所述光通信网络中的放大器个数。

步骤 505，从所述多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  中，选择最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，按照所述最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  对应的泵浦功率组合中的功率值，调整所述至少一个多阶拉曼光纤放大器的泵浦功率。

经过上述方法可以对所述第一光通信网络进行一次优化操作，因为上述参数只是根据仿真和实验所得的数据进行的初次优化，但是因为光通信网络场景的实时情况会对网络的性能造成一定的影响，所以上述优化过程在很多时候并不能达到的最优的效果，为了达到更好的优化效果，本发明实施例所提供的方案中还所述第一光通信网络进行二次优化，调整所述至少一个多阶拉曼光纤放大器的泵浦功率之后，该方法进一步包括：

收集所述光通信网络上报的放大的自发辐射 ASE 光功率  $P_{\text{ASE}}$ 、信号出纤光功率和等效非线性噪声  $P_{\text{NL}}$ ；

根据获得的  $P_{\text{ASE}}$ 、信号出纤光功率和等效非线性噪声  $P_{\text{NL}}$ ，确定所述光通信网络当前的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}$ ，并获取该  $OSNR_{\text{eq}}$  与所述最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  的差值  $\varepsilon$ ，如果所述差值  $\varepsilon$  小于等于设定阈值，则停止调整所述光通信网络的泵浦功率。

在该实施例中，当所述差值  $\varepsilon$  大于设定阈值且调节次数小于最大调节次数，即之前的优化操作都没有达到预期的效果，并且还没有达到预设的调节次数，所以为了达到更好的优化效果还可做进一步的优化，其中优化的方式可以是以下：

计算确定所述光通信网络的等效非线性噪声  $P_{NL}$  是否大于2倍所述光通信网络的链路累积的 ASE 噪声  $P_{ASE}$ ，若是，则减小所述至少一个多阶拉曼放大器的二阶泵浦光功率；否则增大所述至少一个多阶拉曼放大器的二阶泵浦光功率。

本申请实施例中的上述一个或多个技术方案，至少具有如下的技术效果：

本发明实施例所提供的方法和装置，解决了现有拉曼光纤放大系统只考虑信号传输之后光信噪比最好而不能保证 BER 最好的问题。通过本发明提供的方案可以使得光信号经过光通信网络的链路传输以后 BER 达到最佳，另外链路 BER 最好的时候并不要求总的泵浦功率最大，从而避免了拉曼光纤放大器应用对系统安全性的不良影响。

所属领域的技术人员可以清楚地了解到，为描述的方便和简洁，仅以上述各功能模块的划分进行举例说明，实际应用中，可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能模块完成，即将装置的内部结构划分成不同的功能模块，以完成以上描述的全部或者部分功能。上述描述的系统，装置和单元的具体工作过程，可以参考前述方法实施例中的对应过程，在此不再赘述。

在本申请所提供的几个实施例中，应该理解到，所揭露的系统，装置和方法，可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，例如，所述模块或单元的划分，仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另一点，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口，装置或单元的间接耦合或通信连接，可以是电性，机械或其它的形式。

所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

另外，在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能单元的形式实现。

所述集成的单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解，本申请的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的全部或部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络设备等）或处理器（processor）执行本申请各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括：U 盘、移动硬盘、只读存储器（ROM，Read-Only Memory）、随机存取存储器（RAM，Random Access Memory）、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

以上所述，以上实施例仅用以对本申请的技术方案进行了详细介绍，但以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想，不应理解为对本发明的限制。本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内，可轻易想到的变化或替换，都应涵盖在本发明的保护范围之内。

## 权利要求

1、一种优化光通信网络性能的装置，其特征在于，该装置包括：

数据收集单元，用于收集光通信网络的网络状态信息，其中，该光通信网络中包括至少一个多阶拉曼放大器；

增强因子确定单元，用于根据所述网络状态信息确定所述光通信网络对应的目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ ；

目标参数获取单元，用于确定所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的，所述多阶拉曼放大器的泵浦功率组合与噪声系数 NF 的对应关系，以及所述泵浦功率组合与  $L_{\text{eff}}$  的对应关系，获得所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的多组泵浦功率组合对应的多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ；

计算单元，用于利用所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ 、所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ，计算得到所述光通信网络的多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  中的每一组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  对应一个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ；

优化单元，用于从所述多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  中，选择最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，按照所述最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  对应的泵浦功率组合中的功率值，调整所述至少一个多阶拉曼光纤放大器的泵浦功率。

2、如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，计算确定单元还用于利用公

式：
$$OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}} = \frac{P_s^{\text{opt}}}{P_{\text{ASE}} + k(P_s^{\text{opt}})^3} = \frac{1}{3k(P_s^{\text{opt}})^2} = \frac{1}{3(\alpha L_{\text{eff}}^2)^2 (h\nu BNF(G-1)N/2\alpha L_{\text{eff}}^2)^{2/3}}$$
 计

算所述等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ；其中， $h$  为普朗克常量， $\nu$  为信号频率， $B_o$  为光信噪比 OSNR 定义的噪声带宽， $G$  为所述多阶拉曼光纤放大器的增益， $N$  为所述第一光通信网络中的放大器个数。

3、如权利要求 1 或 2 任一所述的装置，其特征在于，该装置进一步包括：

再优化单元，当收集所述光通信网络上报的放大的自发辐射 ASE 光功率

$P_{ASE}$ 、信号出纤光功率和等效非线性噪声  $P_{NL}$ ；根据获得的  $P_{ASE}$ 、信号出纤光功率和等效非线性噪声  $P_{NL}$ ，确定所述光通信网络当前的等效光信噪比  $OSNR_{eq}$ ，并获取该  $OSNR_{eq}$  与所述最大的等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$  的差值  $\varepsilon$ ，如果所述差值  $\varepsilon$  小于等于设定阈值，则停止调整所述光通信网络的泵浦功率。

4、如权利要求 3 所述的装置，其特征在于，当所述差值  $\varepsilon$  大于设定阈值，所述再优化单元还用于计算确定所述光通信网络的等效非线性噪声  $P_{NL}$  是否大于 2 倍所述光通信网络的链路累积的 ASE 噪声  $P_{ASE}$ ，若是，则减小所述至少一个多阶拉曼放大器的二阶泵浦光功率；否则增大所述至少一个多阶拉曼放大器的二阶泵浦光功率。

5、如权利要求 1~4 任一所述的装置，其特征在于，所述数据收集单元收集所述光通信网络的：信号光波长和波长数目、信号调制码型、信号调制速率、跨段长度、跨段数目、光纤瑞利散射系数、光纤损耗系数、各级放大器中拉曼泵浦激光器数目和泵浦方向作为所述光通信网络的网络状态信息。

6、一种优化光通信网络性能的系统，其特征在于，该系统包括光发射机、光接收机以及连接在所述光发射机和光接收机之间的至少一个多阶拉曼放大器形成的光通信网络，该系统还包括：

优化装置，该优化装置与所述光发射机、光接收机以及所述至少一个多阶拉曼放大器中的每个多阶拉曼放大器连接；用于收集该光通信网络的网络状态信息；并根据所述网络状态信息确定所述光通信网络对应的目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ ；确定所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的，所述多阶拉曼放大器的泵浦功率组合与噪声系数 NF 的对应关系，以及所述泵浦功率组合与  $L_{eff}$  的对应关系，获得所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的多组泵浦功率组合对应的多组目标 NF 和目标  $L_{eff}$ ；利用所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ 、所述多组目标 NF 和目标  $L_{eff}$ ，计算得到所述光通信网络的多个等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$ ，所述多组目标 NF 和目标  $L_{eff}$  中的每一组目标 NF 和目标

$L_{\text{eff}}$  对应一个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ；从所述多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  中，选择最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，将所述最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  对应的泵浦功率组合中的功率值发送到所述至少一个多阶拉曼光纤放大器；

所述至少一个多阶拉曼光纤放大器根据接收到的功率值设置自身各泵浦激光器的泵浦功率。

7、一种优化光通信网络性能的方法，光通信网络中包括至少一个多阶拉曼放大器，其特征在于，该方法包括：

收集所述光通信网络的网络状态信息；

根据所述网络状态信息确定所述光通信网络对应的目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ ；

确定所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的，所述多阶拉曼放大器的泵浦功率组合与噪声系数 NF 的对应关系，以及所述泵浦功率组合与  $L_{\text{eff}}$  的对应关系，获得所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$  下的多组泵浦功率组合对应的多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ；

利用所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ 、所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ，计算得到所述光通信网络的多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  中的每一组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$  对应一个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ；

从所述多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  中，选择最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，按照所述最大的等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$  对应的泵浦功率组合中的功率值，调整所述至少一个多阶拉曼光纤放大器的泵浦功率。

8、如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，所述利用所述目标非线性噪声系数增强因子  $\alpha$ 、所述多组目标 NF 和目标  $L_{\text{eff}}$ ，计算得到所述光通信网络的多个等效光信噪比  $OSNR_{\text{eq}}^{\text{opt}}$ ，包括：

利用公式：

$$OSNR_{eq}^{opt} = \frac{P_s^{opt}}{P_{ASE} + k(P_s^{opt})^3} = \frac{1}{3k(P_s^{opt})^2} = \frac{1}{3(\alpha L_{eff}^2)^2 (h\nu BNF(G-1)N/2\alpha L_{eff}^2)^{2/3}} \text{ 计}$$

算所述等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$ ;

其中,  $h$  为普朗克常量,  $\nu$  为信号频率,  $B_o$  为光信噪比 OSNR 定义的噪声带宽,  $G$  为所述多阶拉曼光纤放大器的增益,  $N$  为所述光通信网络中的放大器个数。

9、如权利要求 7 或 8 任一所述的方法, 其特征在于, 调整所述至少一个多阶拉曼光纤放大器的泵浦功率之后, 该方法进一步包括:

收集所述光通信网络上报的放大的自发辐射 ASE 光功率  $P_{ASE}$ 、信号出纤光功率和等效非线性噪声  $P_{NL}$ ;

根据获得的  $P_{ASE}$ 、信号出纤光功率和等效非线性噪声  $P_{NL}$ , 确定所述光通信网络当前的等效光信噪比  $OSNR_{eq}$ , 并获取该  $OSNR_{eq}$  与所述最大的等效光信噪比  $OSNR_{eq}^{opt}$  的差值  $\varepsilon$ , 如果所述差值  $\varepsilon$  小于等于设定阈值, 则停止调整所述光通信网络的泵浦功率。

10、如权利要求 9 所述的方法, 其特征在于, 当所述差值  $\varepsilon$  大于设定阈值时, 该方法进一步包括:

计算确定所述光通信网络的等效非线性噪声  $P_{NL}$  是否大于 2 倍所述光通信网络的链路累积的 ASE 噪声  $P_{ASE}$ , 若是, 则减小所述至少一个多阶拉曼放大器的二阶泵浦光功率; 否则增大所述至少一个多阶拉曼放大器的二阶泵浦光功率。

11、如权利要求 7 至 10 任一所述的方法, 其特征在于, 所述网络状态信息包括: 所述光通信网络中存在的信号光波长和波长数目、信号调制码型、信号调制速率、跨段长度、跨段数目、光纤瑞利散射系数、光纤损耗系数、各级放大器中拉曼泵浦激光器数目和泵浦方向。

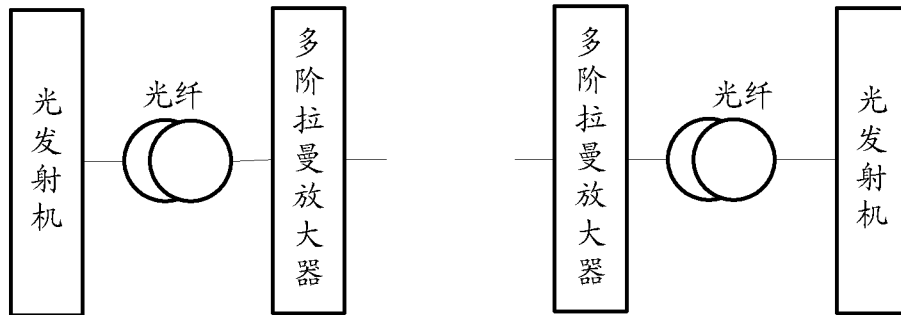


图 1

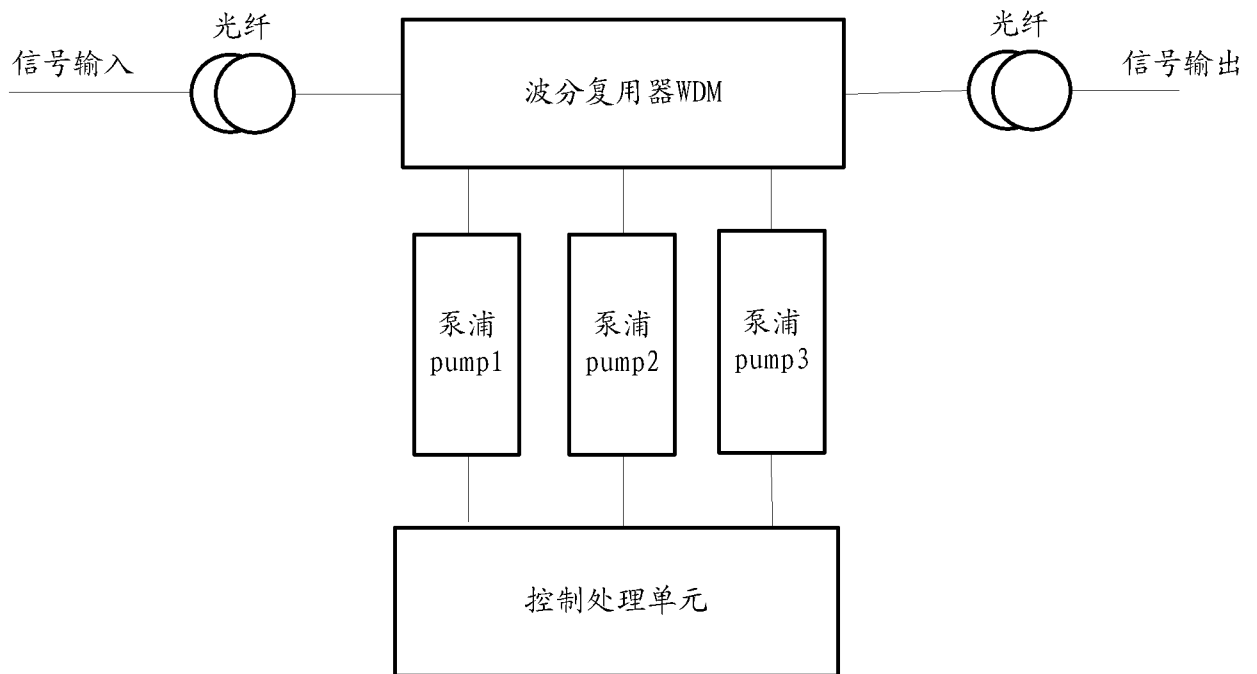


图 2

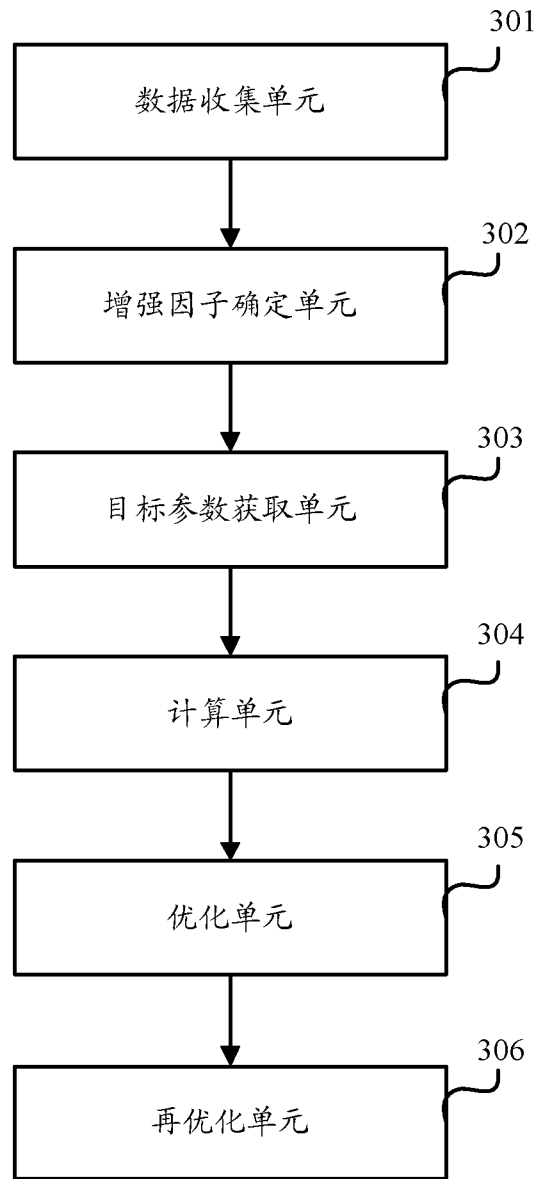


图 3

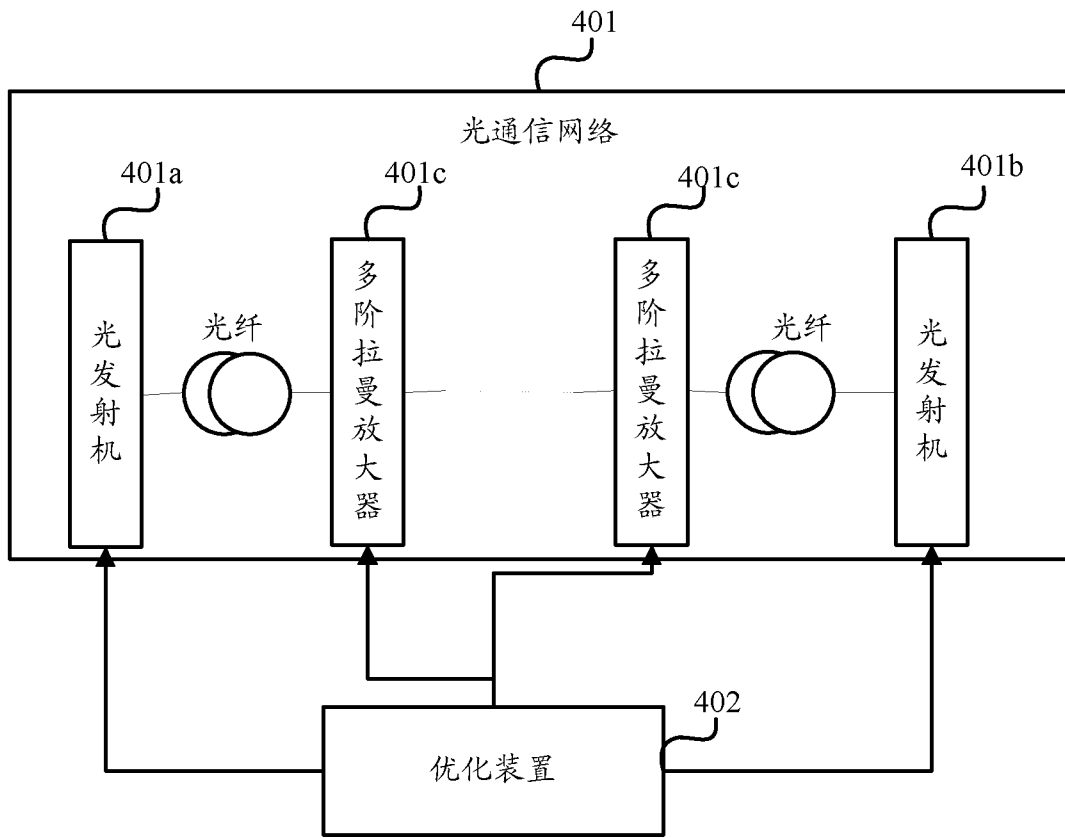


图 4

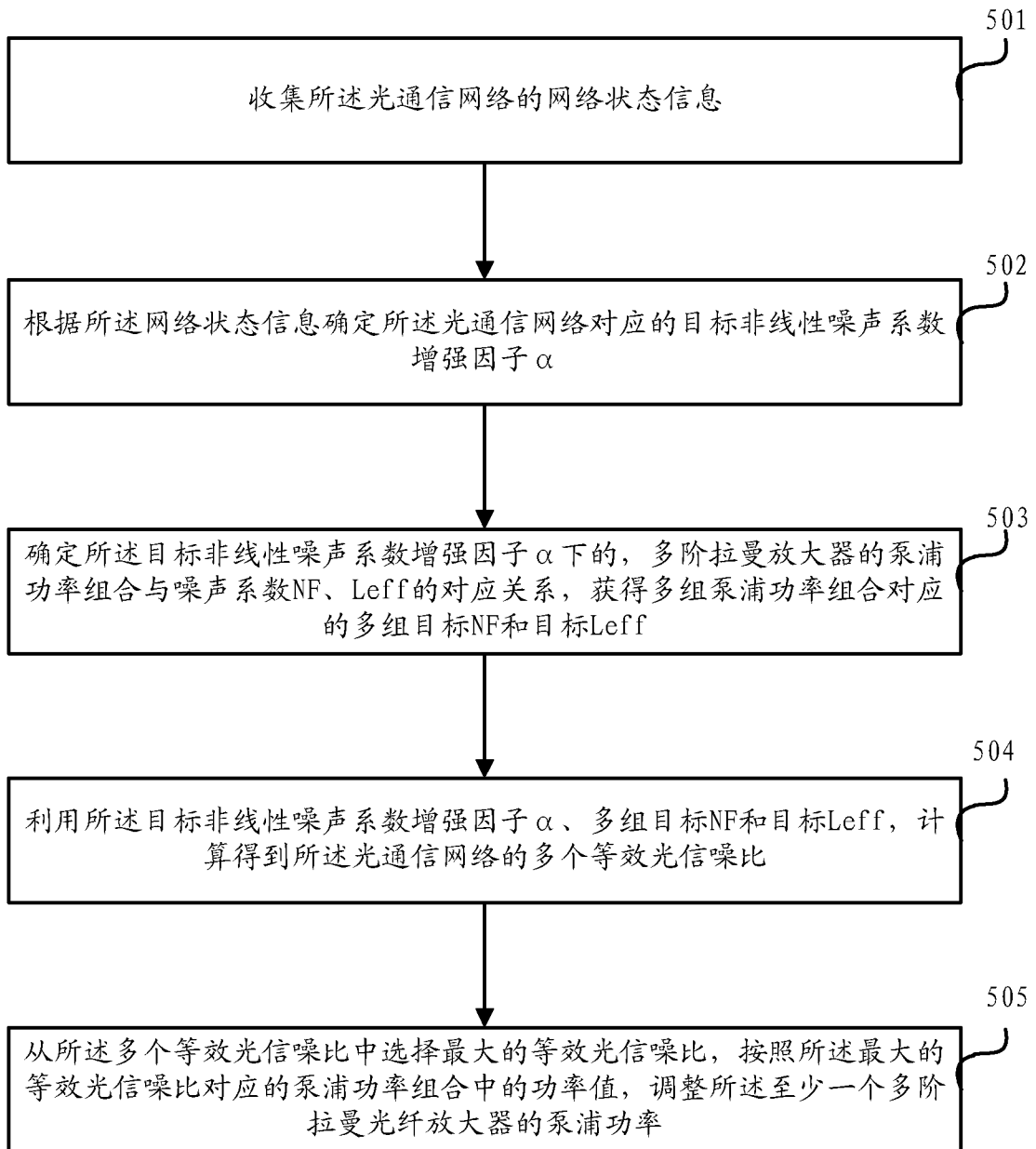


图 5

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/CN2014/076061**

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 10/293 (2013.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B, H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; VEN; CNKI; IEEE: coefficient, factor, parameter, Raman, amplifier, pump, noise, figure, nonlinear, effective, length, optical signal noise ratio, OSNR, corresponding, adjust, change, power

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 1639931 A (PIRELLI & C. S.P.A.), 13 July 2005 (13.07.2005), the whole document	1-11
A	CN 1418416 A (SIEMENS AG), 14 May 2003 (14.05.2003), the whole document	1-11

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search  
05 January 2015 (05.01.2015)

Date of mailing of the international search report  
**10 February 2015 (10.02.2015)**

Name and mailing address of the ISA/CN:  
State Intellectual Property Office of the P. R. China  
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao  
Haidian District, Beijing 100088, China  
Facsimile No.: (86-10) 62019451

Authorized officer  
**WANG, Wei**  
Telephone No.: (86-10) **62089398**

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.

**PCT/CN2014/076061**

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 1639931 A	13 July 2005	US 7813034 B2	12 October 2010
		JP 2005534997 A	17 November 2005
		CA 2492810 A1	04 March 2004
		AU 2002331367 A1	11 March 2004
		EP 1525648 B1	13 June 2012
		WO 2004019461 A1	04 March 2004
		US 8300306 B2	30 October 2012
		US 2006109543 A1	25 May 2006
		EP 1525648 A1	27 April 2005
		US 2007223085 A1	27 September 2007
		CA 2492810 C	31 December 2013
		US 7253944 B2	07 August 2007
		US 2011080634 A1	07 April 2011
		CN 100349336 C	14 November 2007
		CN 1418416 A	14 May 2003
CA 2403056 C	12 October 2010		
WO 0169821 A1	20 September 2001		
EP 1264426 B1	06 June 2007		
US 2004028358 A1	12 February 2004		
CN 1185812 C	19 January 2005		
JP 2003526819 A	09 September 2003		
DE 10012881 A1	27 September 2001		
CA 2403056 A1	20 September 2001		
DE 10012881 B4	04 September 2008		
EP 1264426 A1	11 December 2002		
DE 50112600 D1	19 July 2007		

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2014/076061

<p>A. 主题的分类</p> <p>H04B 10/293(2013.01)i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>											
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>H04B, H04L</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))</p> <p>CNABS;VEN;CNKI, IEEE: 拉曼, 喇曼, 放大器, 泵浦, 噪声, 系数, 因子, 参数, 非线性, 有效, 长度, 光信噪比, 对应, 相应, 调整, 调节, 功率, Raman, amplifier, pump, noise, figure, nonlinear, effective, length, optical signal noise ratio, OSNR, corresponding, adjust, change, power</p>											
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>CN 1639931 A (皮雷利&amp;C 有限公司) 2005年 7月 13日 (2005 - 07 - 13) 全文</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 1418416 A (西门子公司) 2003年 5月 14日 (2003 - 05 - 14) 全文</td> <td>1-11</td> </tr> </tbody> </table>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	A	CN 1639931 A (皮雷利&C 有限公司) 2005年 7月 13日 (2005 - 07 - 13) 全文	1-11	A	CN 1418416 A (西门子公司) 2003年 5月 14日 (2003 - 05 - 14) 全文	1-11
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求									
A	CN 1639931 A (皮雷利&C 有限公司) 2005年 7月 13日 (2005 - 07 - 13) 全文	1-11									
A	CN 1418416 A (西门子公司) 2003年 5月 14日 (2003 - 05 - 14) 全文	1-11									
<p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p>											
<p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件</p> <p>“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件</p> <p>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性</p> <p>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性</p> <p>“&amp;” 同族专利的文件</p>											
<p>国际检索实际完成的日期</p> <p>2015年 1月 05日</p>	<p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2015年 2月 10日</p>										
<p>ISA/CN的名称和邮寄地址</p> <p>中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 中国</p> <p>传真号 (86-10)62019451</p>	<p>受权官员</p> <p>汪巍</p> <p>电话号码 (86-10)62089398</p>										

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2014/076061

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	1639931	A	2005年 7月 13日	US	7813034	B2	2010年 10月 12日
				JP	2005534997	A	2005年 11月 17日
				CA	2492810	A1	2004年 3月 04日
				AU	2002331367	A1	2004年 3月 11日
				EP	1525648	B1	2012年 6月 13日
				WO	2004019461	A1	2004年 3月 04日
				US	8300306	B2	2012年 10月 30日
				US	2006109543	A1	2006年 5月 25日
				EP	1525648	A1	2005年 4月 27日
				US	2007223085	A1	2007年 9月 27日
				CA	2492810	C	2013年 12月 31日
				US	7253944	B2	2007年 8月 07日
				US	2011080634	A1	2011年 4月 07日
				CN	100349336	C	2007年 11月 14日
				CN	1418416	A	2003年 5月 14日
CA	2403056	C	2010年 10月 12日				
WO	0169821	A1	2001年 9月 20日				
EP	1264426	B1	2007年 6月 06日				
US	2004028358	A1	2004年 2月 12日				
CN	1185812	C	2005年 1月 19日				
JP	2003526819	A	2003年 9月 09日				
DE	10012881	A1	2001年 9月 27日				
CA	2403056	A1	2001年 9月 20日				
DE	10012881	B4	2008年 9月 04日				
EP	1264426	A1	2002年 12月 11日				
DE	50112600	D1	2007年 7月 19日				

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)