(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

(43) 国际公布日
2021 年 6 月 17 日 (17.06.2021)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2021/114402 A1

(51) 国际专利分类号:
H04B 10/079 (2013.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/128300

(22) 国际申请日: 2019 年 12 月 25 日 (25.12.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201911282911.7 2019年12月13日 (13.12.2019) CN

(71) 申请人: **苏州大学(SOOCHOW UNIVERSITY)** [CN/CN]; 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路199号, Jiangsu 215000 (CN)。

(72) 发明人: **沈纲祥(SHEN, Gangxiang)**; 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路199号, Jiangsu 215000 (CN)。 **郭宁宁(GUO, Ningning)**; 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路199号, Jiangsu 215000 (CN)。

(74) 代理人: **苏州市中南伟业知识产权代理事务所（普通合伙）(CENTRAL SOUTH WELL INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE)**; 中国江苏省苏州市吴中区石湖西路188号吴中万达广场A座苏州大学国家科技园2303室, Jiangsu 215000 (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) **Title:** METHOD AND SYSTEM FOR PREVENTING FAILURE IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED TRANSMISSION QUALITY PREDICTION

(54) **发明名称**: 防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法及系统

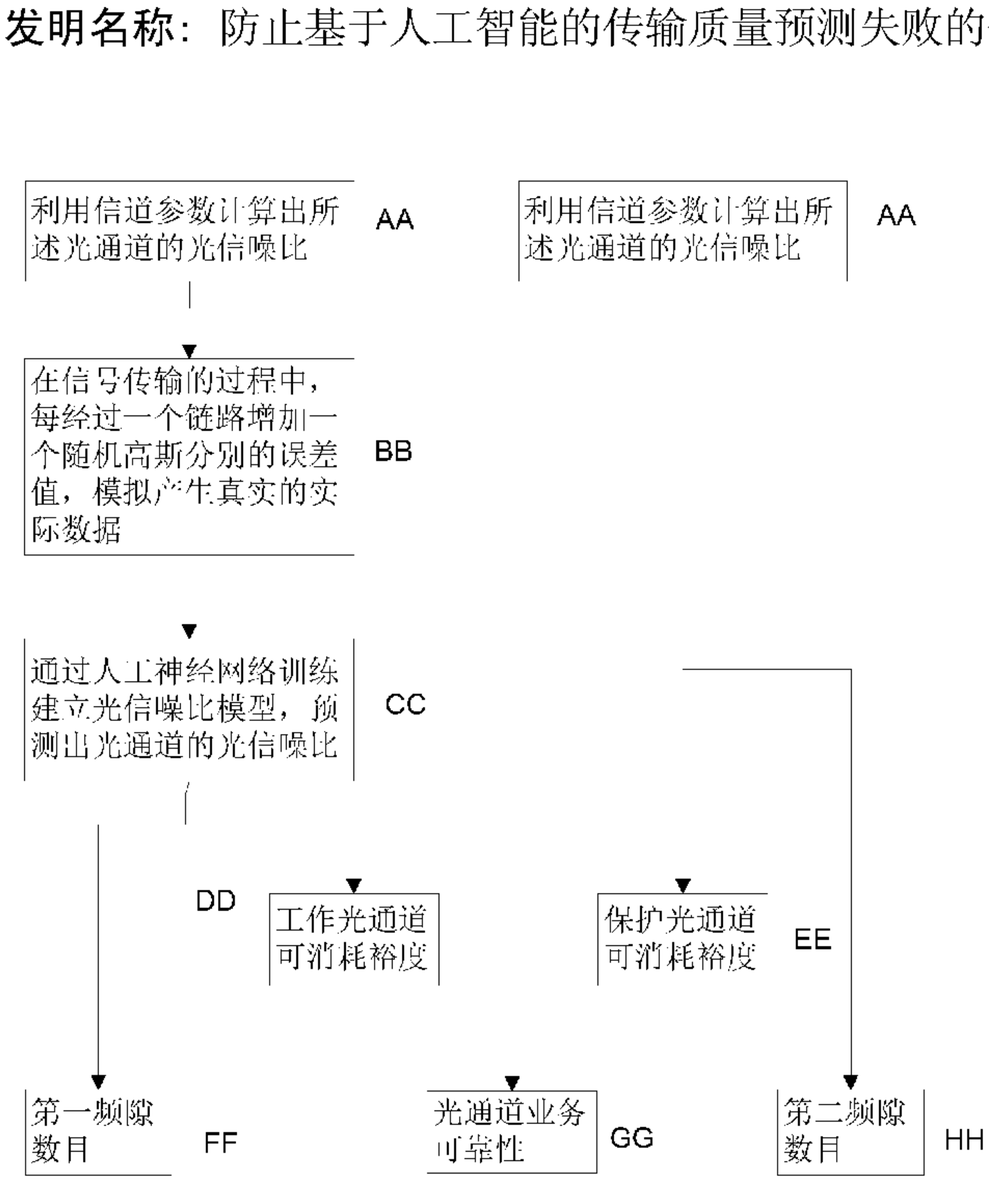


图 1

(57) **Abstract:** The present invention relates to a method for preventing the failure in artificial intelligence-based transmission quality prediction, comprising: a method for distributing an optical signal-to-noise ratio margin for a working optical channel and a method for distributing the optical signal-to-noise ratio margin for a protective optical channel, wherein according to the method for distributing the optical signal-to-noise ratio margin for the working optical channel, the number of first frequency slots meeting a flow demand and the consumable margin of the working optical channel are calculated; according to the method for distributing the optical signal-to-noise

[见续页]

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, ST, 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, 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))。

ratio margin for the protective optical channel, the number of second frequency slots meeting the flow demand and the consumable margin of the protective optical channel are calculated; and according to the number of the first frequency slots and the number of the second frequency slots, the utilization rate of spectrum resources is evaluated, and according to the consumable margin of the working optical channel, the reliability of the optical channel is evaluated. The present invention is stable in practical network application.

(57) 摘要：本发明涉及一种防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法,包括：工作光通道分配光信噪比裕度的方法和保护光通道分配光信噪比裕度的方法，其中根据工作光通道分配光信噪比裕度的方法计算出满足流量需求的第一频隙数目以及工作光通道可消耗裕度；根据保护光通道分配光信噪比裕度的方法计算出满足流量需求的第二频隙数目以及保护光通道可消耗的裕度；根据所述第一频隙数目以及所述第二频隙数目评估频谱资源的利用率，根据所述工作光通道可消耗裕度评估光通道的可靠性。本发明在实际的网络应用时更加稳定。

防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法及系统

技术领域

本发明涉及通信的技术领域，尤其是指一种防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法及系统。

背景技术

在预测光通道传输质量（QoT）的过程中，采用人工智能（AI）技术可以获得相对于传统方法更精确的预测，因此可以降低光网络中光通道的光信噪比(OSNR)裕度的设置，从而有效提高网络资源利用率。但是，许多基于AI 预测的方法是仅基于实验室测试的数据，是处于稳定的已知环境中，因此存在基于 AI 的 QoT 预测失败高的风险，导致在实际的网络应用中存在不稳定的问题。

发明内容

为此，本发明所要解决的技术问题在于克服现有技术中基于 AI 的 QoT 预测失败高，导致实际的网络应用中存在不稳定的问题，从而提供一种预测失败低，实际网络应用稳定的防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法及系统。

为解决上述技术问题，本发明的一种防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法，包括：工作光通道分配光信噪比裕度的方法和保护光通道分配光信噪比裕度的方法，其中根据工作光通道分配光信噪比裕度的方法计算出满足流量需求的第一频隙数目以及工作光通道可消耗裕度；根据保护光通道分配光信噪比裕度的方法计算出满足流量需求的第二频隙数目以及保护光通道可消耗的裕度；根据所述第一频隙数目以及所述第二频隙数目评估频谱资源的利用率，根据所述工作光通道可消耗裕度评估光通道的可靠性。

在本发明的一个实施例中，所述工作光通道可消耗裕度和所述保护光通道可消耗的裕度共同评估出光通道业务可靠性。

在本发明的一个实施例中，所述第一频隙数目和所述第二频隙数目共同评估光通道的利用率。

在本发明的一个实施例中，所述光通道业务可靠性的计算公式：$R_{lp}=1-F_w\cdot F_p$，其中F_w和F_p分别是工作光通道的失败率和保护光通道的失败率。

在本发明的一个实施例中，所述工作光通道分配光信噪比裕度的方法包括：利用信道参数计算出所述光通道的光信噪比；在信号传输的过程中，每经过一个链路增加一个随机高斯分别的误差值，模拟产生真实的实际数据；通过人工神经网络训练建立光信噪比模型，预测出光通道的光信噪比；根据所述光信噪比计算出满足流量需求的第一频隙数目以及工作光通道可消耗裕度。

在本发明的一个实施例中，所述计算第一频隙数目以及工作光通道可消耗裕度的公式为：

$$FEC_{limit}+U_{margin}\le OSNR_{lightpath}-S_{margin}=OSNR_{lightpath}-4.7dB$$

$$U_{margin}\le OSNR_{lightpath}-4.7dB-FEC_{limit}$$

其中，FEC_{limit}是前向纠错编码限制，U_{margin}、S_{margin}分别是未分配裕度和系统裕度，$OSNR_{lightpath}$是光通道的光信噪比值。

在本发明的一个实施例中，所述信道参数包括光通道的跳数、光通道的总长度、光通道中最长链路的长度、所有光通道的放大自发辐射噪声的和、所有光通道的非线性干扰的和、光通道上的光放大器的数量。

在本发明的一个实施例中，所述保护光通道分配光信噪比裕度的方法包括：利用信道参数计算出所述光通道的光信噪比；根据所述光信噪比计算出满足流量需求的第二频隙数目以及保护光通道可消耗的裕度。

在本发明的一个实施例中，所述计算第二频隙数目以及保护光通道可消

耗的裕度的公式为:

$$FEC_{limit} + U_{margin} \leq OSNR_{lightpath} - D_{margin} - S_{margin} = OSNR_{lightpath} - 6.7\ dB$$

$$U_{margin} \leq OSNR_{lightpath} - 6.7\ dB - FEC_{limit}$$

其中，FEC_{limit}是前向纠错编码限制，U_{margin}、D_{margin}和S_{margin}分别是未分配裕度、设计裕度和系统裕度，$OSNR_{lightpath}$是光通道的光信噪比值。

本发明还提供了一种防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护系统，包括工作光通道分配光信噪比裕度系统以及保护光通道分配光信噪比裕度系统，其中所述工作光通道分配光信噪比裕度系统用于计算出满足流量需求的第一频隙数目以及工作光通道可消耗裕度；所述保护光通道分配光信噪比裕度系统用于计算出满足流量需求的第二频隙数目以及保护光通道可消耗的裕度；根据所述第一频隙数目以及所述第二频隙数目评估频谱资源的利用率，根据所述工作光通道可消耗裕度评估光通道的可靠性。

本发明的上述技术方案相比现有技术具有以下优点:

本发明所述的防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法及系统，包括工作光通道分配光信噪比裕度的方法和保护光通道分配光信噪比裕度的方法，其中即使基于根据工作光通道分配光信噪比裕度的方法预测失败，那么根据所述保护光通道分配光信噪比裕度的方法，也可以确保网络业务得到及时地恢复，其中根据工作光通道分配光信噪比裕度的方法计算出满足流量需求的第一频隙数目以及工作光通道可消耗裕度，根据保护光通道分配光信噪比裕度的方法计算出满足流量需求的第二频隙数目以及保护光通道可消耗的裕度，根据所述第一频隙数目以及所述第二频隙数目用于评估频谱资源的利用率，根据所述工作光通道可消耗裕度用于评估光通道的可靠性，从而可以有效的防止所述工作光通道分配光信噪比裕度的方法预测失败，并使其在实际的网络应用时更加稳定；另外，采用工作光通道分配光信噪比裕度的方法具有光信噪比裕度减少的优势，保证在频谱资源使用上是高效的。

附图说明

为了使本发明的内容更容易被清楚的理解，下面根据本发明的具体实施例并结合附图，对本发明作进一步详细的说明，其中

图 1 是本发明防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法流程图；

图 2 是本发明保护光通道分配光信噪比裕度的设置示意图；

图 3 是本发明工作光通道分配光信噪比裕度的设置示意图；

图 4 是本发明可消耗的裕度与失败概率的关系；

图 5 是本发明基于 AI 的 OSNR 预测失效的一个保护实例；

图 6 是本发明频隙容量与 FEC 限制的关系图；

图 7a 是本发明在 NSFNET 下最大使用的频隙数目；

图 7b 是本发明在 USNET 下最大使用的频隙数目；

图 8a 是本发明在 NSFNET 下的可靠性分析；

图 8b 是本发明在 USNET 下的可靠性分析。

具体实施方式

实施例一

如图 1 所示，本实施例提供一种防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法，包括：工作光通道分配光信噪比裕度的方法和保护光通道分配光信噪比裕度的方法，其中根据工作光通道分配光信噪比裕度的方法计算出满足流量需求的第一频隙数目以及工作光通道可消耗裕度，根据保护光通道分配光信噪比裕度的方法计算出满足流量需求的第二频隙数目以及保护光通道可消耗的裕度，根据所述第一频隙数目以及所述第二频隙数目评估频谱资源的利用率，根据所述工作光通道可消耗裕度评估光通道的可靠性。

本实施例所述防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法，包括：工作光通道分配光信噪比裕度的方法和保护光通道分配光信噪比裕度的方法，其中所述工作光通道分配光信噪比裕度的方法是基于 AI 的预测方法，

即使基于根据工作光通道分配光信噪比裕度的方法预测失败，那么根据所述保护光通道分配光信噪比裕度的方法，也可以确保网络业务得到及时地恢复，其中根据工作光通道分配光信噪比裕度的方法计算出满足流量需求的第一频隙数目以及工作光通道可消耗裕度，根据保护光通道分配光信噪比裕度的方法计算出满足流量需求的第二频隙数目以及保护光通道可消耗的裕度，根据所述第一频隙数目以及所述第二频隙数目评估频谱资源的利用率，根据所述工作光通道可消耗裕度评估光通道的可靠性，从而可以有效的防止所述工作光通道分配光信噪比裕度的方法预测失败，并使其在实际的网络应用时更加稳定；另外，采用工作光通道分配光信噪比裕度的方法具有光信噪比裕度减少的优势，保证在频谱资源使用上是高效的。

在本发明中，所述工作光通道可消耗裕度和所述保护光通道可消耗的裕度共同评估光通道业务可靠性；所述第一频隙数目和所述第二频隙数目共同评估光通道的利用率，下面详细说明如何评估光通道业务可靠性和利用率：

在计算计算光通道的光信噪比（OSNR）时，通常考虑两个方面：光放大器的放大自发辐射噪声（ASE）和非线性干扰（NLI）。对于 ASE 噪声，本发明通过一个针对放大器类型专门提前建立的增益-噪声系数（NF）表来找到放大器增益对应的 NF；对于 NLI，本发明采用了非相干高斯噪声（IGN）模型的封闭形式的近似解。根据计算出的光信噪比，通常为光通道设置三种 OSNR 裕度：系统裕度，未分配裕度和设计裕度。其中系统裕度说明了网络运行条件，包括信号快速变化的惩罚，缓慢老化和非线性的影响；未分配裕度说明了信号需求与网络设备之间的容量差异；设计裕度说明了用于评估 QoT 的设计工具的准确性。

下面具体说明所述保护光通道分配光信噪比裕度的方法（简称传统方法）：

利用信道参数计算出所述光通道的光信噪比；根据所述光信噪比计算出满足流量需求的第二频隙数目以及保护光通道可消耗的裕度。

上述方法中，需要同时考虑系统裕度和设计裕度。如图 2 所示，假设在

网络生命的初始阶段（BoL），非线性的 OSNR 裕度为 2dB，光纤设备缓慢老化的裕度为 2.3dB，信号快速时变的影响为 0.4dB，此时表明系统裕度为 2+2.3+0.4=4.7dB，同时假设此时的设计裕度为 2dB。通过上述对裕度的假设，可以计算出每个光通道所需的 OSNR，再根据公式来选择一个调制格式，具体地，所述计算第二频隙数目以及保护光通道可消耗的裕度的公式为：

$$FEC_{limit} + U_{margin} \le OSNR_{lightpath} - D_{margin} - S_{margin} = OSNR_{lightpath} - 6.7\ \mathrm{dB} \quad (1)$$

$$U_{margin} \le OSNR_{lightpath} - 6.7\ \mathrm{dB} - FEC_{limit} \quad (2)$$

其中，FEC_{limit}是前向纠错编码限制，U_{margin}、D_{margin}和S_{margin}分别是未分配裕度、设计裕度和系统裕度，$OSNR_{lightpath}$是光通道的光信噪比值。

下面具体说明所述工作光通道分配光信噪比裕度的方法：（简称基于 AI 的预测方法）

利用信道参数计算出所述光通道的光信噪比；在信号传输的过程中每经过一个链路增加一个随机高斯分别的误差值，模拟产生真实的实际数据；通过人工神经网络训练建立光信噪比模型，预测出光通道的光信噪比；根据所述光信噪比计算出满足流量需求的第一频隙数目以及工作光通道可消耗裕度。

在上述方法中，网络生命初始阶段的系统裕度仍然设置为 4.7dB，如图 3 所示，由于基于 AI 的光信噪比预测可以更准确地评估光通道的 QoT，所以可以显著降低设计裕度，甚至是不需要设置设计裕度。在本研究中，本申请将设计裕度设置为 0。为了准确地预测光信噪比，需要足够的 AI 训练数据。由于很难收集到足够的真实网络数据，所以本申请通过计算弹性光网络（EON）中所有路由的光信噪比来模拟数据。为了模拟网络的统计特性，本申请在非线性干扰（NLI）中加入了一个最大值是±0.3 dB[3]的高斯误差。通过这种方法，计算网络中每个节点对间光通道的 OSNR，并使用这些值作为人工神经网络（ANN）的训练数据。上述训练数据的模拟并不会影响本申请所提出方法的有效性，因为如果能够收集到足够的真实数据来代替这些模拟数据，那么不需要修改任何其它步骤。另外，用于训练的人工神经网络

（ANN）有多个输入神经元，也就是信道参数，所述信道参数包括光通道的跳数、光通道的总长度、光通道中最长链路的长度、所有光通道的放大自发辐射噪声的和、所有光通道的非线性干扰的和、光通道上的光放大器的数量。

经过训练，可以得到了一个基于 AI 的 OSNR 预测模型，根据所述模型预测的 OSNR，同时忽略设计裕度的值（2dB），使用下面的公式选择最高效的调制格式。具体地，所述计算第一频隙数目以及工作光通道可消耗裕度的公式为：

$$FEC_{limit} + U_{margin} \le OSNR_{lightpath} - S_{margin} = OSNR_{lightpath} - 4.7dB \quad (3)$$

$$U_{margin} \le OSNR_{lightpath} - 4.7dB - FEC_{limit} \quad (4)$$

其中，FEC_{limit}是前向纠错编码限制，U_{margin}、S_{margin}分别是未分配裕度和系统裕度，$OSNR_{lightpath}$是光通道的光信噪比值。

在光通道的生命初始阶段，实际的光信噪比是前向纠错编码（FEC）限制和包括三种裕度的总的裕度设置的总和。此时光通道传输质量最优，失败率最低，接近于 0。在光通道的生命结束（EoL）阶段，当 OSNR 值低于 FEC 限制和快速时变影响的系统裕度的总和时，光通道服务将会失效，此时失败率为 1。本申请中，定义 BoL 阶段（网络生命的初始阶段）和 EoL 阶段（网络生命的结束阶段）裕度的差值为光通道可消耗的裕度（CM），也就是光路总裕度T_{margin}减去快速时变的影响F_{margin}，也就是$CM = T_{margin} - F_{margin}$。根据上述可以计算出的光通道可消耗的裕度（CM）值，然后根据图 4 所示的高斯分布来估计光通道的传输失败率，其中阴影区域是失败率的概率密度函数的积分。

如图 5 所示，假设节点对 A-C 之间的流量需求为 180Gb/s，先找到最短路径 A-B-C 作为工作光通道。首先根据信道参数计算得到保护光通道的光信噪比值为 21.1dB，在传统的裕度设置方法下，系统裕度和设计裕度都需要被考虑在内，共为 4.7+2=6.7dB。根据公式（1），可以计算出$FEC_{limit} + U_{margin} \le 14.4\,dB$（其中 21.1-6.7=14.4dB）；再根据图 6 所示，由于 FEC 被限制范围在[12.43，15.13]dB，因此对应选择 8-QAM 作为调制格式。在这

种调制格式下，链路 A-B 和 B-C 需要预留 3 个频隙来满足流量需求（其中，FEC 限制为 8-QAM 时，所述频隙容量对应为 75GB/s，此时节点 A-C 之间的流量需求除以频隙容量对应的数值就是需要预留的频隙值，即 180/75=2.4，近似为 3 个频隙），再根据公式（2）未分配裕度可以进一步计算为 14.4-12.43=1.97dB，由于信号快速时变的影响为：0.4dB，再根据图 2 对应计算得到可消耗的裕度 CM 值为 2+1.97+4.7-0.4=8.27dB。因此，根据图 4 的失效曲线，在网络生命初始阶段阶段（BoL），此时的工作光通道的失败率接近为 0。

而基于 AI 的方法预测光通道的 OSNR 值，根据信道参数计算得到工作光通道的光信噪比值为 21.03Db。此时，在不考虑设计裕度的情况下，根据公式（3），可以计算出$FEC_{limit} + U_{margin} \leq 16.33\ dB$（此时 21.03-4.7=16.33dB）；接下根据图 6 所示，由于 FEC 限制范围在[15.13，18.11]dB，因此对应选择 16-QAM 作为调制格式。使用这种调制格式，应该在链路 A-B 和链路 B-C 上预留 2 个频隙（其中，FEC 限制为 16-QAM 时，所述频隙容量对应为 100GB/s，此时节点 A-C 之间的流量需求除以频隙容量对应的数值就是需要预留的频隙值，即 180/100=1.8，近似为 2 个频隙）。在这种设置条件下，未分配裕度进一步计算为 16.33-15.13=1.2dB，由于信号快速时变的影响为：0.4dB，再根据图 3 对应计算得到可消耗的裕度 CM 值为 1.2+4.7-0.4=5.5dB。因此，根据图 4 的失效曲线，在网络生命初始阶段阶段（BoL），此时的工作光通道的失败率接近于 7%。

由上述可知：虽然基于 AI 的预测方法可以使用更高效的调制格式，但是此方法的失败率要远远高于传统方法。因此，为了提高光通道业务服务的可靠性，本申请提出在工作光通道之外，基于 1+1 保护设置一条保护光通道。为了保证在 AI 预测失败时，光通道服务能够完全恢复，从而利用传统的方法来设置保护光通道的 OSNR 裕度。这种方法充分利用了工作光通道上更精确的 OSNR 预测带来地频谱高利用率，同时即使预测模型失效，由于有一条可靠的保护光通道，业务服务也不会中断。在图 5 中，所述保护光通道设置为路由 A-E-D-C 上，这条光通道的 OSNR 值为 18.2dB，此时采用传统方法来

设置裕度。因此，可以得到$FEC_{limit} + U_{margin} \leq 11.5\,dB$，由于 FEC 限制的范围是[8.38，12.43]dB，因此选择 QPSK 作为调制格式。此时，链路 A-E，链路 E-D 和链路 D-C 上需要预留 4 个频隙。在这种设置条件下，保护光通道的未分配裕度为 3.12dB，对应于 9.42dB 的 CM 值，从图 4 可以看出，保护光通道的失败率接近为 0。

为了评估提出的保护机制的性能，本申请考虑了两个测试网络，一个是 14 节点和 21 链路的 NSFNET，另一个是 24 节点和 43 链路的 USNET。假设每个节点对之间的业务需求均匀分布在[100，X]Gb/s 范围内，其中 X 是最大所需业务容量，NSFNET 和 USNET 网络分别是 600 和 200。假设每个频隙的带宽粒度是 12.5GHz，如图 6 所示有 6 种调制格式（即：BPSK，QPSK，8-QAM，16-QAM，32-QAM，和 64-QAM）。

首先，使用最短路径算法来设置工作光通道；其次，保护光通道采用基于最高效频谱窗平面（SWP）的算法来自适应选择。本申请考虑了建立保护光通道的三种不同的情形，第一个情形假设工作光通道和保护光通道都采用传统方法设置 OSNR 裕度，第二个情形假设工作光通道是采用基于 AI 的方法设置裕度，保护光通道是采用传统的方法设置裕度，第三个情形假设工作光通道和保护光通道都采用基于 AI 的方法设置裕度。

在本申请中，考虑在满足所有流量需求后所使用的频隙数量，结果如图 7a 和图 7b 所示，其中“W”表示工作光通道，“P”表示保护光通道，因此“W: AI_P: traditional”表示工作光通道采用基于 AI 的 OSNR 裕度设置方法，保护光通道采用传统的裕度设置方法。由于“W: traditional_P: traditional”设置 OSNR 裕度的方法都是采用传统的方法，因此需要更多的频谱资源才能满足流量需求，与其他两个情形相比，这种情形使用的频隙数最多。相比之下，由于“W: AI_P: AI”工作光通道和保护光通道都是采用基于 AI 预测的裕度设置方法，所以可以实现更高效的频谱资源分配，因此这种情形使用的频隙数最少。作为中间情形，“W: AI_P: traditional”使用的频隙数量处于其他两种情形结果中间。但是，与最有效的“W: AI_P: AI”情形相比，它们使用的频隙数量差异很小，即在 NSFNET 和 USNET 最保守的

情况下，“W: AI_P: traditional”、“W: AI_P: AI”的减少量分别是10.2%、14.6%和10.2%、14.6%。

另外，本申请评估了以上三种情形下光通道的可靠性。光通道业务可靠性R_{lp}的计算公式为$R_{lp}=1-F_w\cdot F_p$，其中F_w和F_p分别是工作光通道和保护光通道的失败率。在申请中，对所有光通道服务的可靠性取平均作为最终结果如图8a和图8b所示。因为“W: traditional_P: traditional”采用了最保守的方法，所以可靠性最高。相反，“W: AI_P: AI”采用了最先进的预测方法，为工作光通道和保护光通道都设置了最低的裕度，所以可靠性最低。由于“W: AI_P: traditional”的工作光通道采用基于AI的方法，保护光通道采用传统的方法，可靠性处于中间结果。此外，有趣的是，虽然“W: AI_P: traditional”和“W: AI_P: AI”所使用的频隙数量非常接近，但前者的可靠性远远高于后者，在NSFNET中，相对于“W: traditional_P: traditional”，“W: AI_P: AI”的可靠性降低高达87%，而“W: AI_P: traditional”的可靠性降低仅为17%，在USNET中，“W: AI_P: AI”的可靠性降低高达82%，而“W: AI_P: traditional”的可靠性降低仅为24%。因此，本申请认为，在不会大幅度地增加频谱资源使用的情况下，所提出的防止基于AI的QoT预测失败的方法显著地提高了光路服务的可靠性。

实施例二

基于同一发明构思，本实施例提供了一种防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护系统，其解决问题的原理与所述防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法类似，重复之处不再赘述。

本实施例所述的防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护系统，包括工作光通道分配光信噪比裕度系统以及保护光通道分配光信噪比裕度系统，其中

所述工作光通道分配光信噪比裕度系统用于计算出满足流量需求的第一频隙数目以及工作光通道可消耗裕度；

所述保护光通道分配光信噪比裕度系统用于计算出满足流量需求的第

二频隙数目以及保护光通道可消耗的裕度，

根据所述第一频隙数目以及所述第二频隙数目评估频谱资源的利用率，根据所述工作光通道可消耗裕度评估光通道的可靠性。

本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和／或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和／或方框图中的每一流程和／或方框、以及流程图和／或方框图中的流程和／或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和／或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和／或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和／或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

显然，上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例，并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说，在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之中。

权 利 要 求 书

1. 一种防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法，其特征在于，包括：工作光通道分配光信噪比裕度的方法和保护光通道分配光信噪比裕度的方法，其中

根据工作光通道分配光信噪比裕度的方法计算出满足流量需求的第一频隙数目以及工作光通道可消耗裕度；

根据保护光通道分配光信噪比裕度的方法计算出满足流量需求的第二频隙数目以及保护光通道可消耗的裕度；

根据所述第一频隙数目以及所述第二频隙数目评估频谱资源的利用率，根据所述工作光通道可消耗裕度评估光通道的可靠性。

2. 根据权利要求 1 所述的防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法，其特征在于：所述工作光通道可消耗裕度和所述保护光通道可消耗的裕度共同评估出光通道业务可靠性。

3. 根据权利要求 1 所述的防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法，其特征在于：所述第一频隙数目和所述第二频隙数目共同评估光通道的利用率。

4. 根据权利要求 1 所述的防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法，其特征在于：所述光通道业务可靠性的计算公式：$R_{lp}=1-F_w\cdot F_p$，其中F_w和F_p分别是工作光通道的失败率和保护光通道的失败率。

5. 根据权利要求 1 所述的防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法，其特征在于：所述工作光通道分配光信噪比裕度的方法包括：利用信道参数计算出所述光通道的光信噪比；在信号传输的过程中，每经过一个链路增加一个随机高斯分别的误差值，模拟产生真实的实际数据；通过人工神经网络训练建立光信噪比模型，预测出光通道的光信噪比；根据所述光信噪比计算

出满足流量需求的第一频隙数目以及工作光通道可消耗裕度。

6. 根据权利要求 1 或 5 所述的防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法，其特征在于：所述计算第一频隙数目以及工作光通道可消耗裕度的公式为：

$$FEC_{limit} + U_{margin} \leq OSNR_{lightpath} - S_{margin} = OSNR_{lightpath} - 4.7dB$$

$$U_{margin} \leq OSNR_{lightpath} - 4.7dB - FEC_{limit}$$

其中，FEC_{limit}是前向纠错编码限制，U_{margin}、S_{margin}分别是未分配裕度和系统裕度，$OSNR_{lightpath}$是光通道的光信噪比值。

7. 根据权利要求 5 所述的防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法，其特征在于：所述信道参数包括光通道的跳数、光通道的总长度、光通道中最长链路的长度、所有光通道的放大自发辐射噪声的和、所有光通道的非线性干扰的和、光通道上的光放大器的数量。

8. 根据权利要求 1 所述的防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法，其特征在于：所述保护光通道分配光信噪比裕度的方法包括：利用信道参数计算出所述光通道的光信噪比；根据所述光信噪比计算出满足流量需求的第二频隙数目以及保护光通道可消耗的裕度。

9. 根据权利要求 1 或 8 所述的防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护方法，其特征在于：所述计算第二频隙数目以及保护光通道可消耗的裕度的公式为：

$$FEC_{limit} + U_{margin} \leq OSNR_{lightpath} - D_{margin} - S_{margin} = OSNR_{lightpath} - 6.7\ \mathrm{dB}$$

$$U_{margin} \leq OSNR_{lightpath} - 6.7\ \mathrm{dB} - FEC_{limit}$$

其中，FEC_{limit}是前向纠错编码限制，U_{margin}、D_{margin}和S_{margin}分别是未分配裕度、设计裕度和系统裕度，$OSNR_{lightpath}$是光通道的光信噪比值。

10. 一种防止基于人工智能的传输质量预测失败的保护系统，其特征在

于：包括工作光通道分配光信噪比裕度系统以及保护光通道分配光信噪比裕度系统，其中

所述工作光通道分配光信噪比裕度系统用于计算出满足流量需求的第一频隙数目以及工作光通道可消耗裕度；

所述保护光通道分配光信噪比裕度系统用于计算出满足流量需求的第二频隙数目以及保护光通道可消耗的裕度；

根据所述第一频隙数目以及所述第二频隙数目评估频谱资源的利用率，根据所述工作光通道可消耗裕度评估光通道的可靠性。

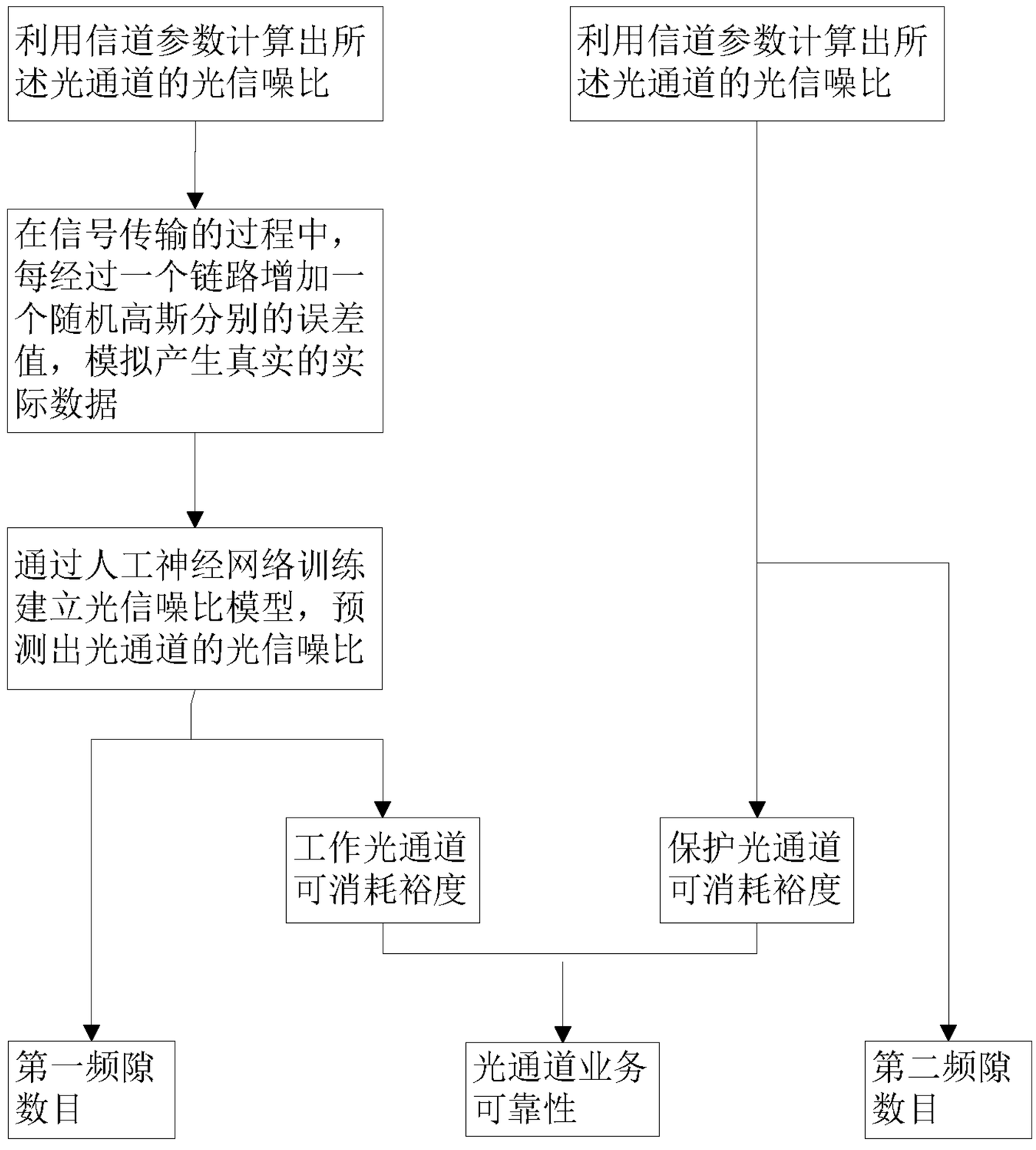

利用信道参数计算出所述光通道的光信噪比
在信号传输的过程中，每经过一个链路增加一个随机高斯分别的误差值，模拟产生真实的实际数据
通过人工神经网络训练建立光信噪比模型，预测出光通道的光信噪比
工作光通道可消耗裕度
保护光通道可消耗裕度
第一频隙数目
光通道业务可靠性
第二频隙数目

图 1

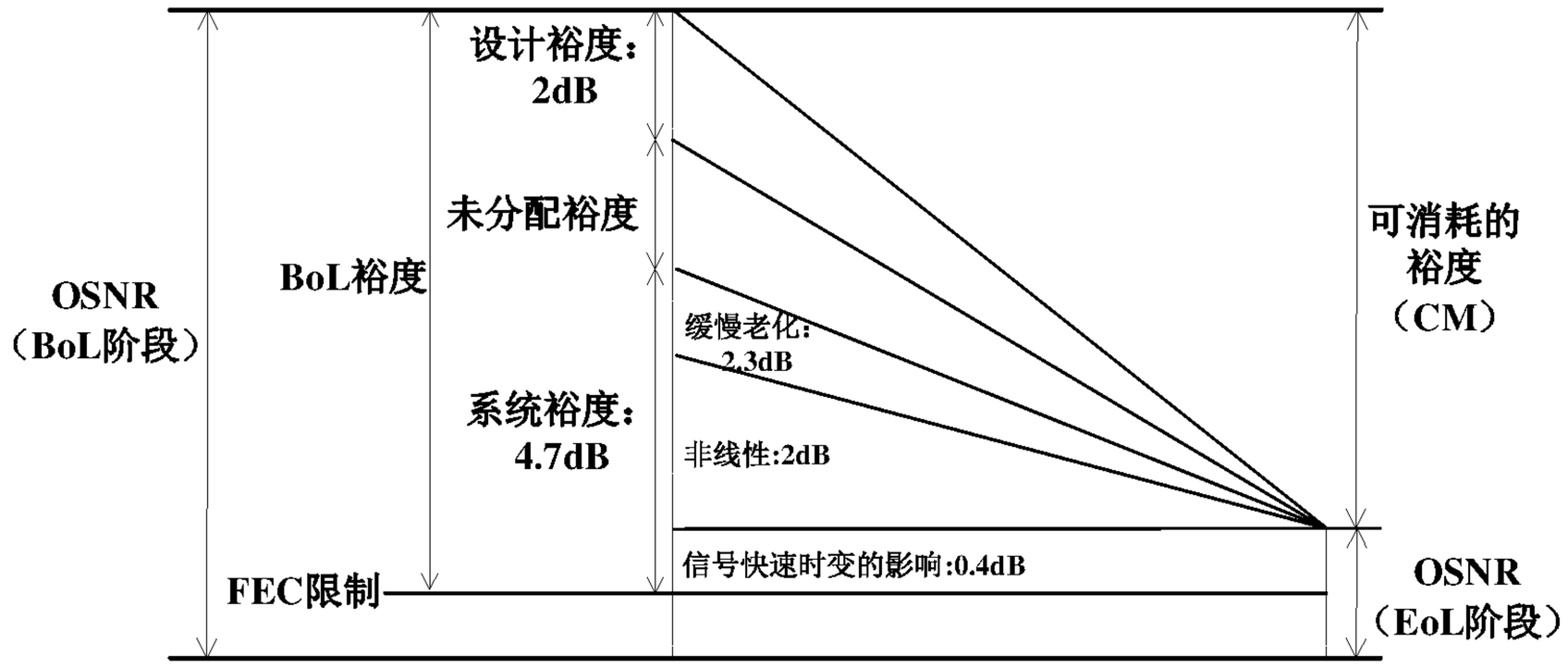

设计裕度：
2dB
未分配裕度
BoL裕度
OSNR
（BoL阶段）
缓慢老化：
2.3dB
系统裕度：
4.7dB
非线性:2dB
可消耗的
裕度
（CM）
信号快速时变的影响:0.4dB
FEC限制
OSNR
（EoL阶段）
网络生命初始阶段
（BoL）
网络生命结束阶段
（EoL）

图 2

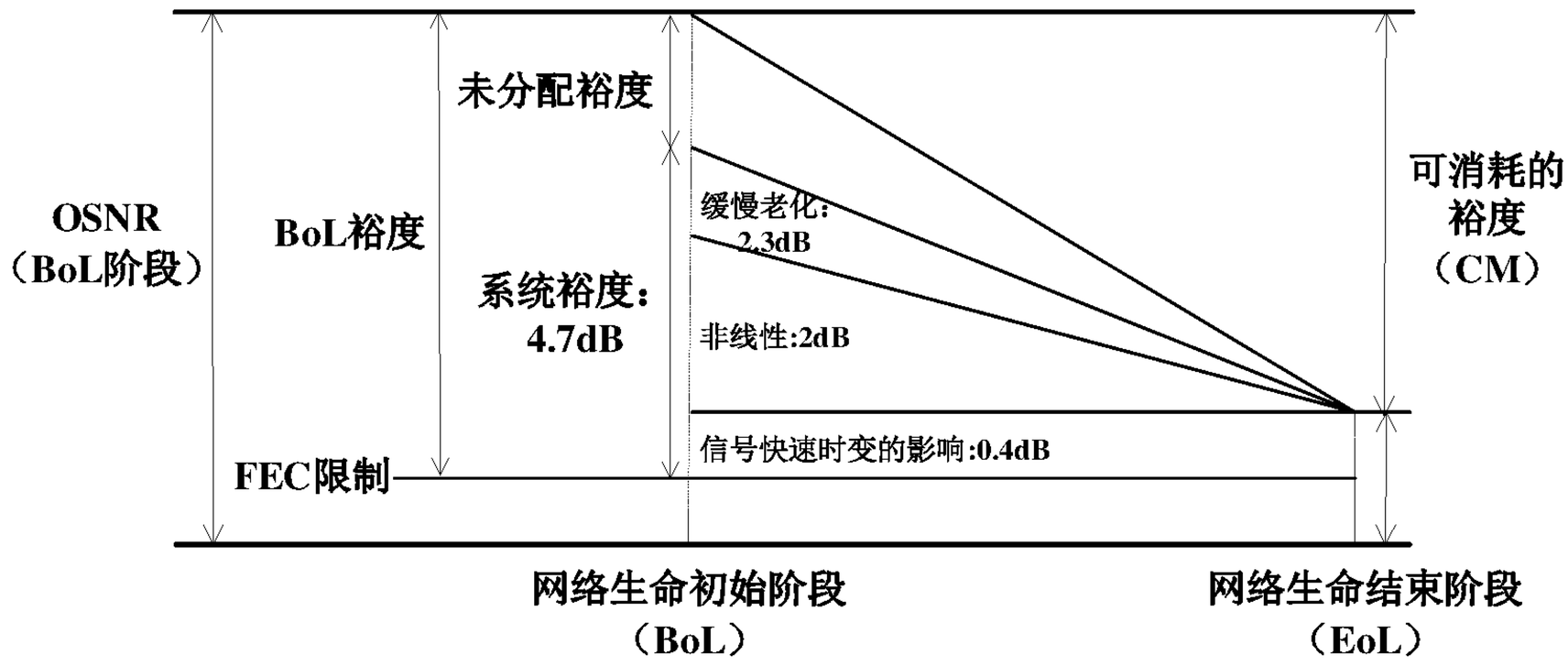

未分配裕度
OSNR
（BoL阶段）
BoL裕度
缓慢老化：
2.3dB
系统裕度：
4.7dB
非线性:2dB
可消耗的
裕度
（CM）
信号快速时变的影响:0.4dB
FEC限制
网络生命初始阶段
（BoL）
网络生命结束阶段
（EoL）

图 3

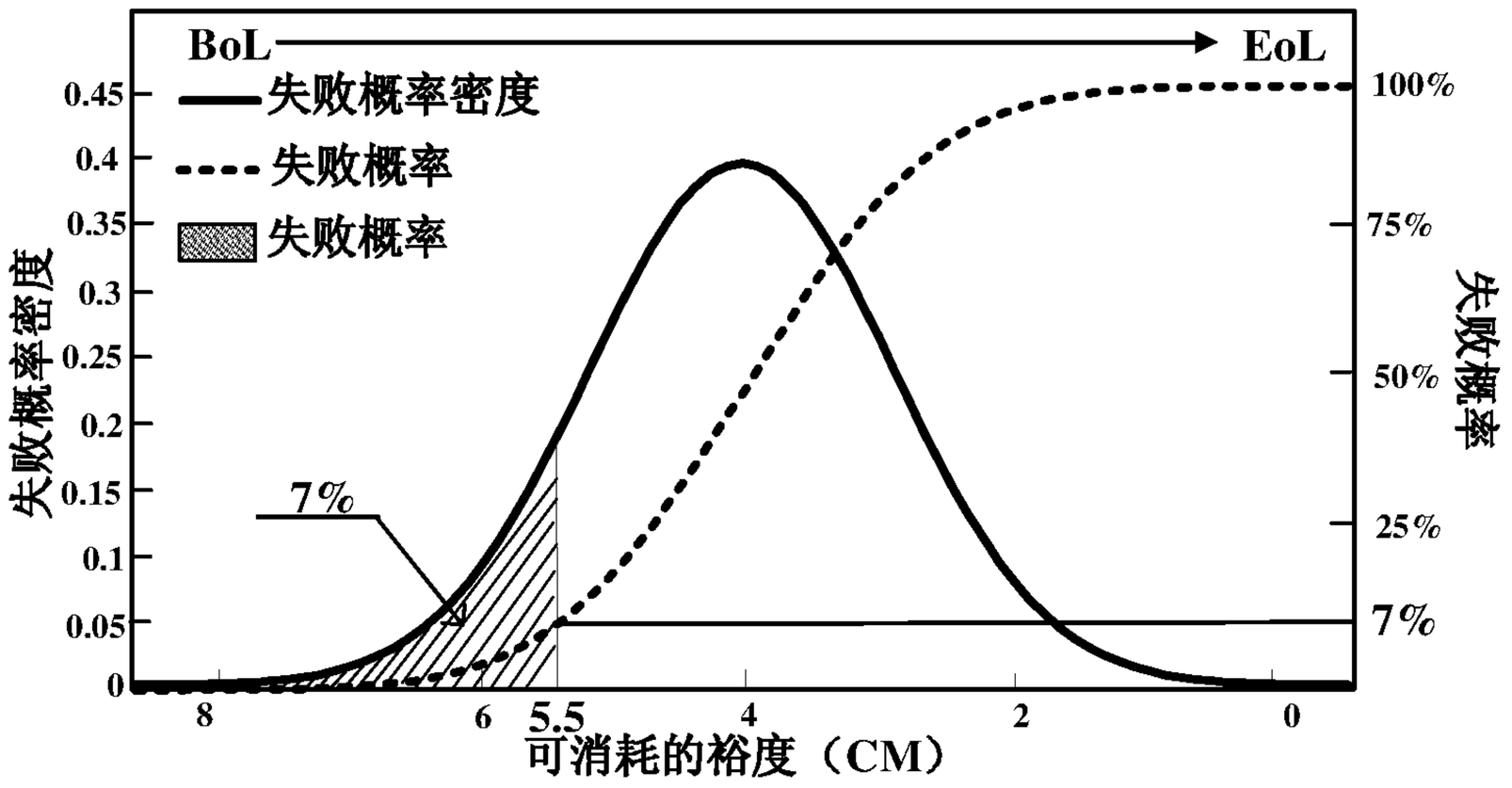

BoL
EoL
失败概率密度
失败概率
失败概率
失败概率密度
0.45
0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
7%
100%
75%
50%
25%
7%
失败概率
8
6
5.5
4
2
0
可消耗的裕度（CM）

图 4

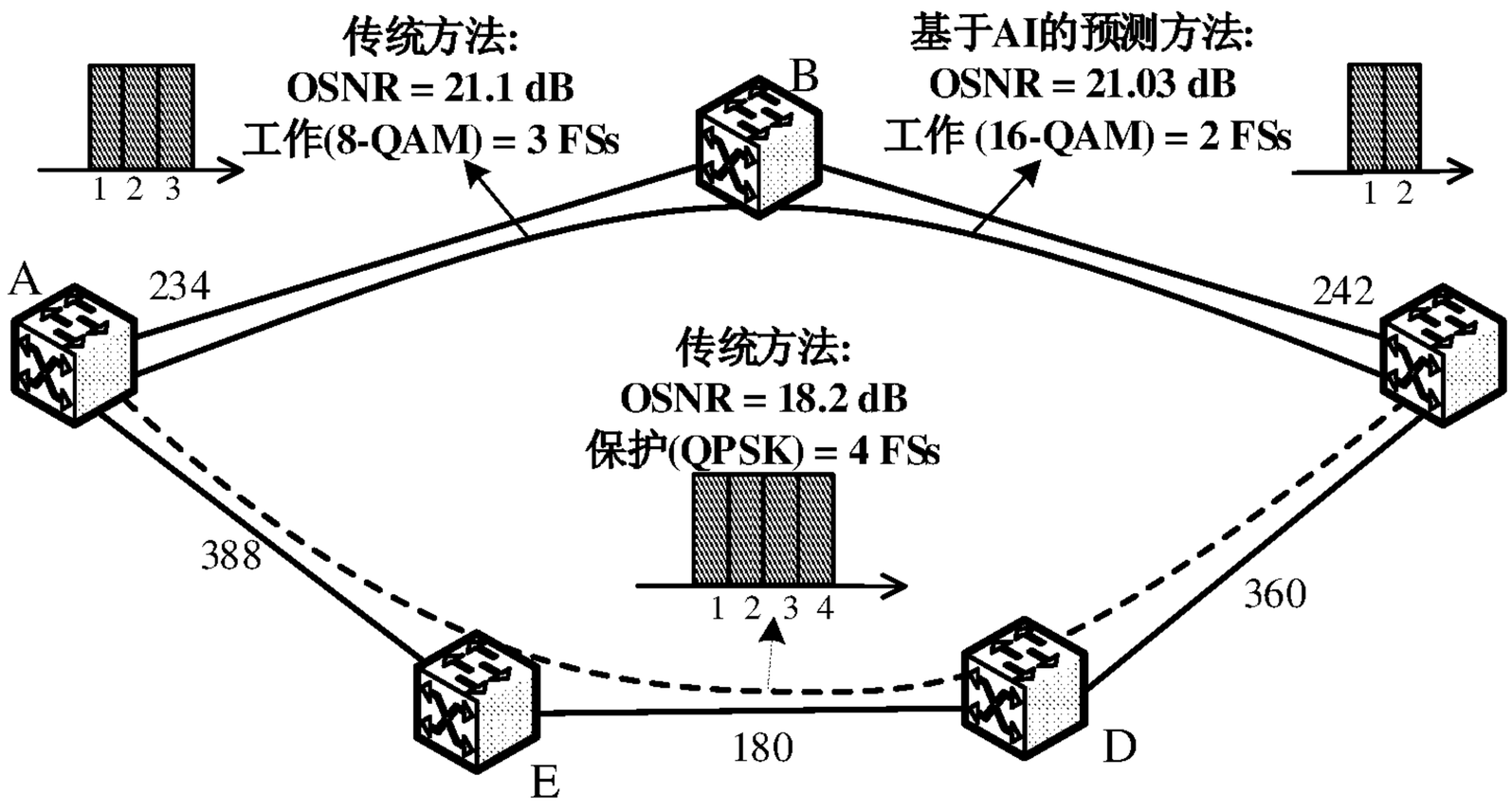

传统方法:
OSNR = 21.1 dB
工作(8-QAM) = 3 FSs
基于AI的预测方法:
OSNR = 21.03 dB
工作 (16-QAM) = 2 FSs
传统方法:
OSNR = 18.2 dB
保护(QPSK) = 4 FSs
A
B
D
E
234
242
388
360
180
1 2 3
1 2
1 2 3 4

图 5

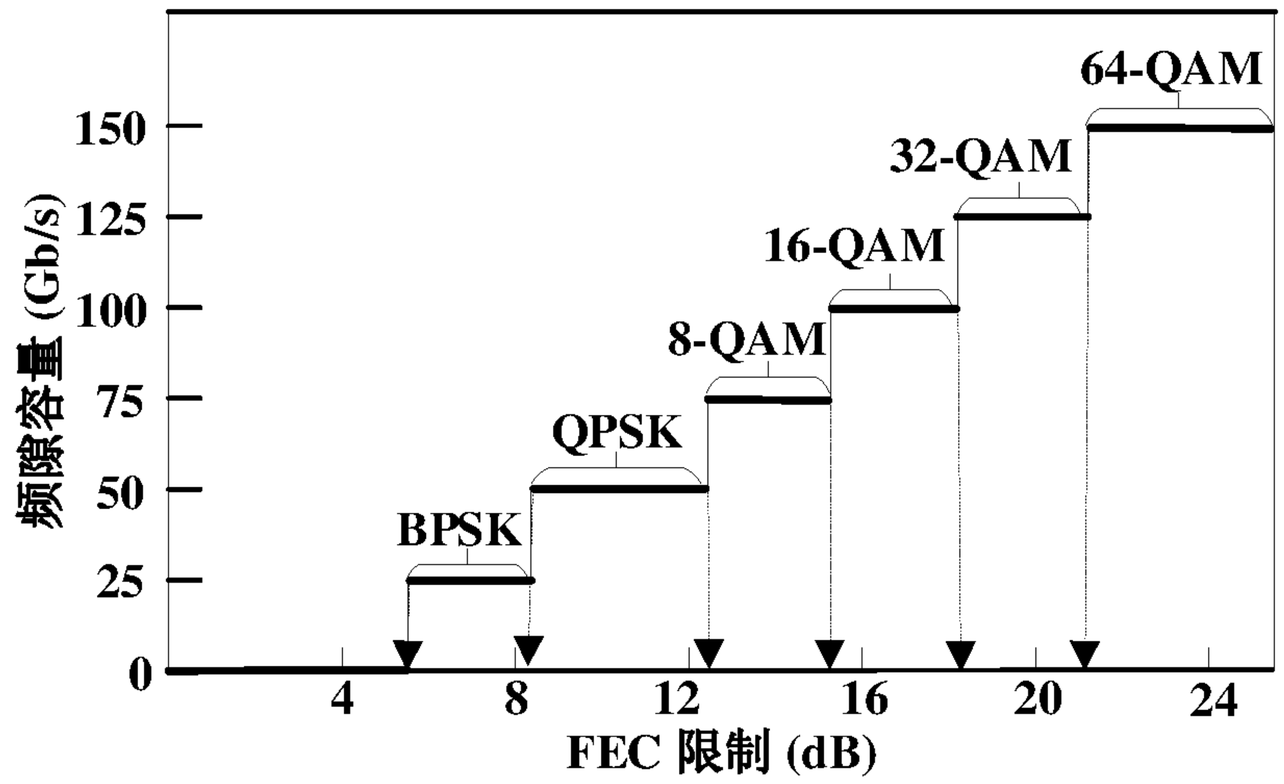

64-QAM
32-QAM
16-QAM
8-QAM
QPSK
BPSK
频隙容量 (Gb/s)
150
125
100
75
50
25
0
4
8
12
16
20
24
FEC 限制 (dB)

图 6

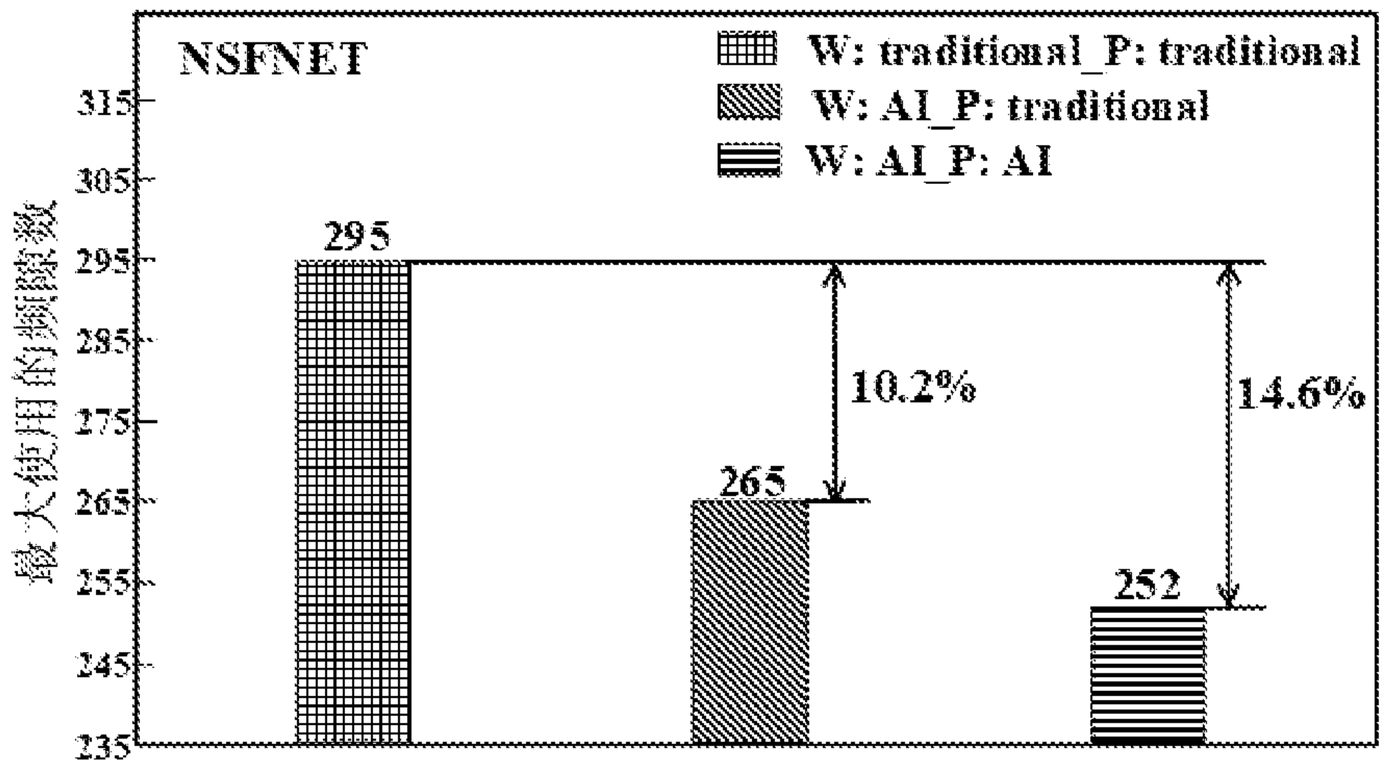

NSFNET
W: traditional_P: traditional
W: AI_P: traditional
W: AI_P: AI
最大使用的频隙数
315
305
295
285
275
265
255
245
235
295
265
252
10.2%
14.6%

图 7a

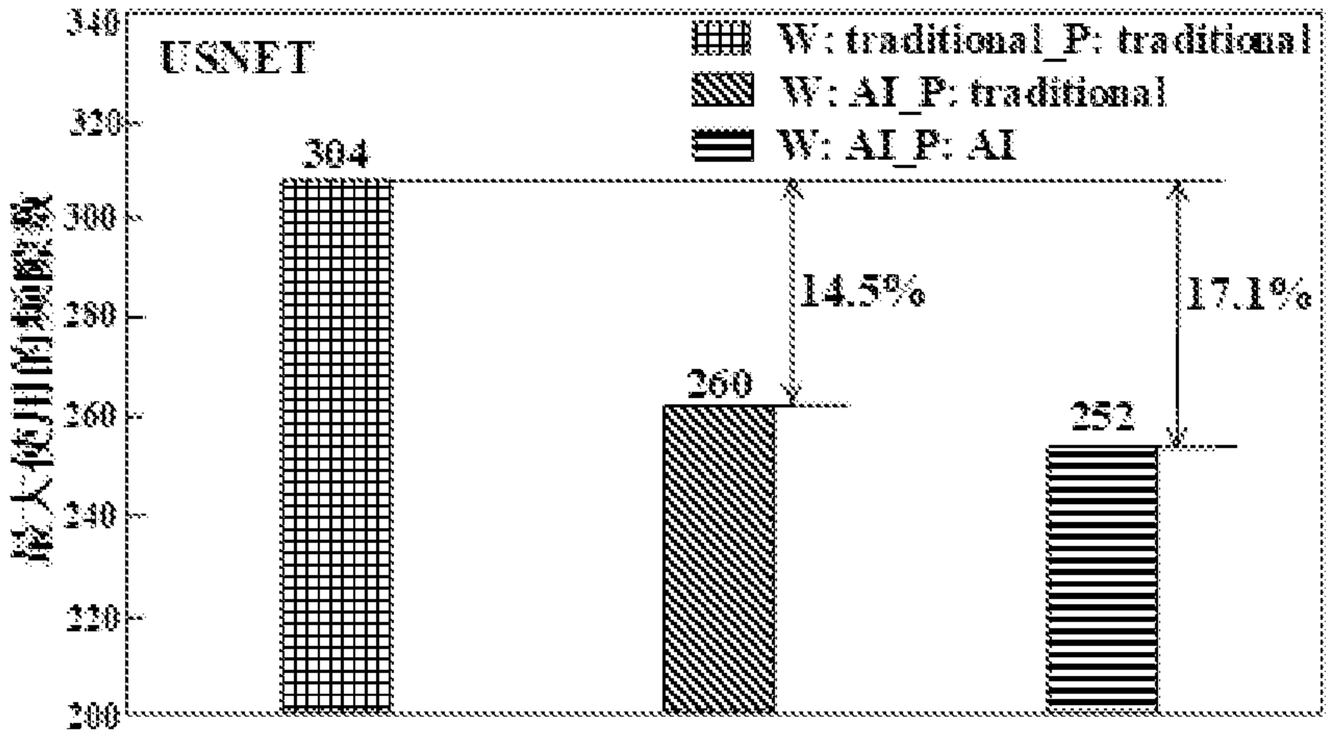

USNET
W: traditional_P: traditional
W: AI_P: traditional
W: AI_P: AI
最大使用的频隙数
340
320
300
280
260
240
220
200
304
260
252
14.5%
17.1%

图 7b

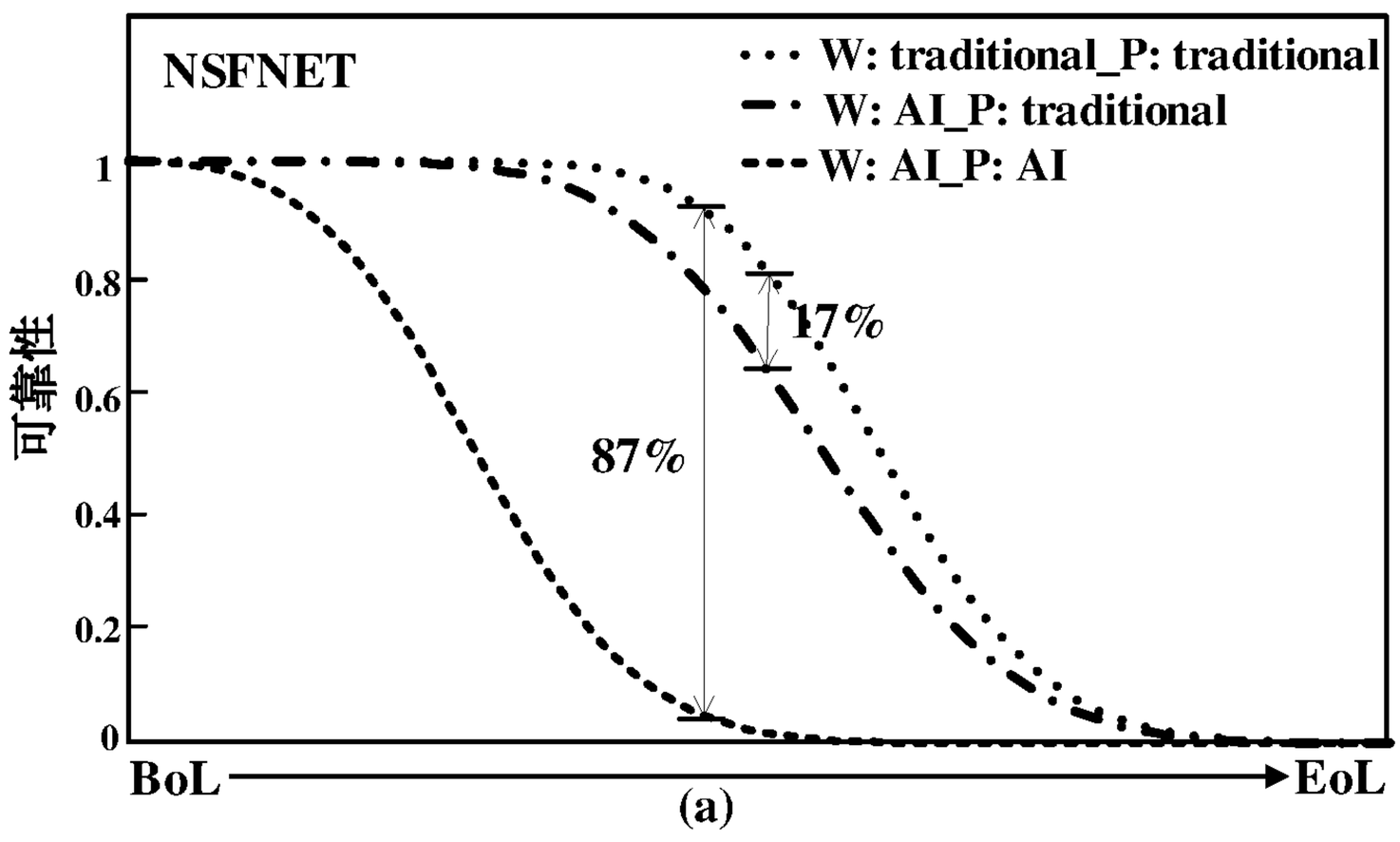

NSFNET
W: traditional_P: traditional
W: AI_P: traditional
W: AI_P: AI
可靠性
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
17%
87%
BoL
EoL
(a)

图 8a

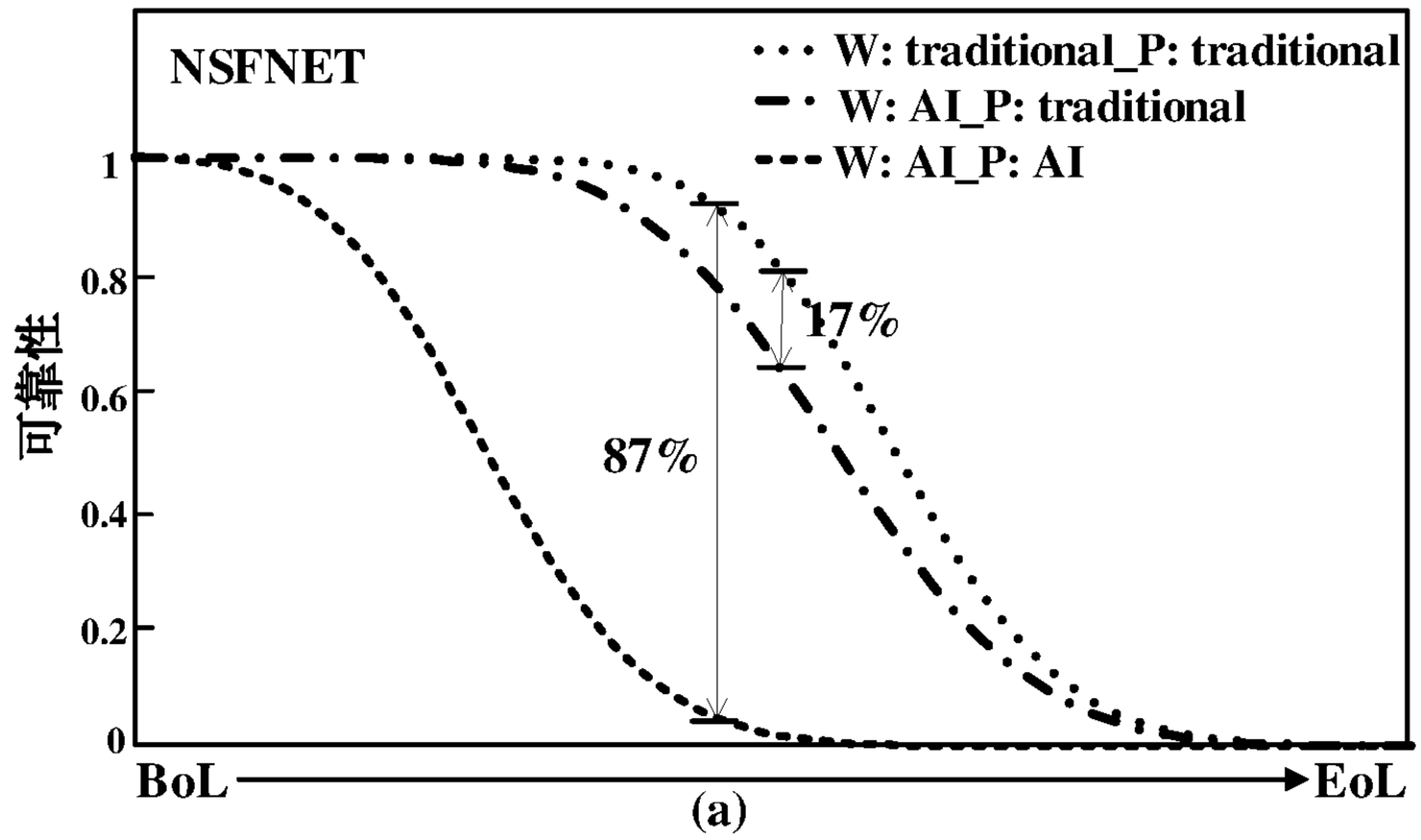

NSFNET
W: traditional_P: traditional
W: AI_P: traditional
W: AI_P: AI
可靠性
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
17%
87%
BoL
EoL
(a)

图 8b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2019/128300

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 10/079(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

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)

WPI, EPODOC, IEEE, CNKI, CNPAT: 预测, 失败, 光通道, 光信噪比, 裕度, 工作, 保护, 频率, 频隙, 频带, 频谱, predict, failure, OSNR, optical, frequency, slot, protect+, work, channel, margin

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 107623548 A (UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 23 January 2018 (2018-01-23) description, paragraphs 0042-0071, and figures 2-5	1-10
A	US 10177843 B2 (FUJITSU LIMITED) 08 January 2019 (2019-01-08) entire document	1-10
A	CN 108966687 A (XIEON NETWORKS S.A.R.L) 07 December 2018 (2018-12-07) entire document	1-10
A	US 2013044621 A1 (MOTOROLA MOBILITY LLC) 21 February 2013 (2013-02-21) entire document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
02 September 2020	**16 September 2020**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088** **China**	Authorized officer
Facsimile No. **(86-10)62019451**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2019/128300

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	107623548	A	23 January 2018	None			
US	10177843	B2	08 January 2019	EP	3236597	A1	25 October 2017
				JP	2017195479	A	26 October 2017
CN	108966687	A	07 December 2018	WO	2018167325	A1	20 September 2018
				EP	3376687	A1	19 September 2018
US	2013044621	A1	21 February 2013	US	9450694	B1	20 September 2016
				US	9350477	B1	24 May 2016

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2019/128300

A. 主题的分类

H04B 10/079(2013.01)i

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

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H04B

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

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））

WPI, EPODOC, IEEE, CNKI, CNPAT：预测，失败，光通道，光信噪比，裕度，工作，保护，频率，频隙，频带，频谱，predict, failure, OSNR, optical, frequency, slot, protect+, work, channel, margin

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 107623548 A (电子科技大学) 2018年 1月 23日 (2018-01-23) 说明书第0042-0071段，图2-5	1-10
A	US 10177843 B2 (FUJITSU LTD.) 2019年 1月 8日 (2019-01-08) 全文	1-10
A	CN 108966687 A (骁阳网络有限公司) 2018年 12月 7日 (2018-12-07) 全文	1-10
A	US 2013044621 A1 (MOTOROLA MOBILITY LLC.) 2013年 2月 21日 (2013-02-21) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“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）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“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

“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

“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

“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

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2020年 9月 2日	2020年 9月 16日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 赵晶晶 电话号码 86-(10)-53961582

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2019/128300

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	107623548	A	2018年 1月 23日	无			
US	10177843	B2	2019年 1月 8日	EP	3236597	A1	2017年 10月 25日
				JP	2017195479	A	2017年 10月 26日
CN	108966687	A	2018年 12月 7日	WO	2018167325	A1	2018年 9月 20日
				EP	3376687	A1	2018年 9月 19日
US	2013044621	A1	2013年 2月 21日	US	9450694	B1	2016年 9月 20日
				US	9350477	B1	2016年 5月 24日