



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113536725 B

(45) 授权公告日 2023.09.05

(21) 申请号 202110701291.7

H03F 1/42 (2006.01)

(22) 申请日 2021.06.23

H03F 3/08 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113536725 A

(56) 对比文件

CN 101051167 A, 2007.10.10

CN 106712918 A, 2017.05.24

(43) 申请公布日 2021.10.22

CN 107252302 A, 2017.10.17

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院

CN 110505643 A, 2019.11.26

地址 518057 广东省深圳市南山区粤海街
道高新技术产业园南区粤兴一道18号
香港理工大学产学研大楼205室

CN 110515255 A, 2019.11.29

CN 1456932 A, 2003.11.19

US 2002191903 A1, 2002.12.19

(72) 发明人 罗怀健 陆佳宁 余长源

US 2003151799 A1, 2003.08.14

(74) 专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事
务所(普通合伙) 44268

US 2008267631 A1, 2008.10.30

US 2017163465 A1, 2017.06.08

专利代理师 刘芙蓉

审查员 郟修尘

(51) Int. Cl.

G06F 30/373 (2020.01)

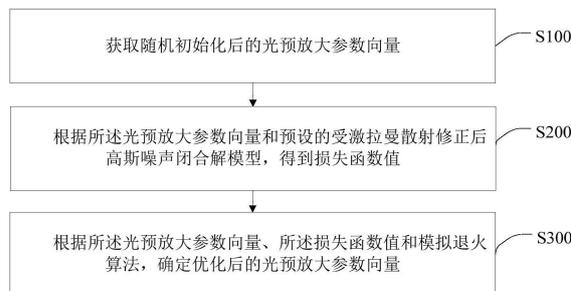
权利要求书2页 说明书10页 附图4页

(54) 发明名称

一种应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法

(57) 摘要

本发明公开了一种应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法,所述方法包括:获取随机初始化后的光预放大参数向量,其中,所述光预放大参数向量用于表征超宽带波分复用系统中若干波段光放大器的增益斜率向量和增益偏置向量;根据所述光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到损失函数值;根据所述光预放大参数向量、所述损失函数值和模拟退火算法,确定优化后的光预放大参数向量。本发明通过上述方法来优化每个信道的预放大功率谱,使得传输时的整体带宽内的信道信噪比最大,进而得到最大的通信传输容量。



1. 一种应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法,其特征在于,所述方法包括:

获取随机初始化后的光预放大参数向量,其中,所述光预放大参数向量用于表征超宽带波分复用系统中若干波段光放大器的增益斜率向量和增益偏置向量;

根据所述光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到损失函数值;

根据所述光预放大参数向量、所述损失函数值和模拟退火算法,确定优化后的光预放大参数向量;

所述根据所述光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到损失函数值包括:

获取信道带宽、信道功率向量和放大自发辐射噪声功率;

根据所述光预放大参数向量,得到信道入纤功率向量;

基于所述受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,对所述信道功率向量进行功率计算,得到非线性噪声功率向量;

将所述非线性噪声功率向量和所述放大自发辐射噪声功率进行求和,得到噪声总功率向量;

将所述信道入纤功率向量除以噪声总功率向量,得到功率商值向量;

对所述功率商值向量进行对数运算,得到信噪比向量;根据所述信噪比向量,得到损失函数值;

所述根据所述信噪比向量,得到损失函数值包括:

对所述信噪比向量进行对数运算,得到容量向量;

获取所述容量向量的容量均值、容量最大值和容量最小值;

计算所述容量均值的倒数,得到容量均值倒数;

将所述容量均值倒数加上所述容量最大值后减去容量最小值,得到损失函数值;

所述损失函数值表示为:

$$\text{Loss} = \frac{1}{\text{mean}(\text{capacity})} + \max(\text{capacity}) - \min(\text{capacity});$$

其中,capacity表示容量向量;

所述根据所述光预放大参数向量、所述损失函数值和模拟退火算法,确定优化后的光预放大参数向量包括:

获取随机概率值;

获取初始温度参数和初始迭代参数,其中,所述初始温度参数用于表征所述模拟退火算法的变量参数;

根据所述模拟退火算法和所述初始迭代参数,对所述初始温度参数进行更新,得到更新后的温度参数;

对所述光预放大参数向量和更新后的温度参数进行迭代运算,得到更新后的光预放大参数向量;

根据更新后的光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到更新后的损失函数值;

根据所述损失函数值和更新后的损失函数值,得到优化后的光预放大参数向量。

2. 根据权利要求1所述的应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法,其特征在于,所述获取随机初始化后的光预放大参数向量包括:

生成若干随机值;

将若干所述随机值组成向量作为光预放大参数向量。

3. 根据权利要求1所述的应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法,其特征在于,所述根据所述光预放大参数向量,得到信道入纤功率向量包括:

获取各波段光信号的中心频率和各信道的中心频率向量;

将所述中心频率向量减去每个波段光信号的中心频率,得到频率差值向量;

将所述光预放大参数向量中的增益斜率向量乘以所述频率差值向量,得到积向量;

将所述积向量加上所述光预放大参数向量中的增益偏置向量,得到信道入纤功率向量。

4. 根据权利要求1所述的应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法,其特征在于,所述根据所述模拟退火算法和所述初始迭代参数,对所述初始温度参数进行更新,得到更新后的温度参数包括:

当对所述光预放大参数向量和更新后的温度参数进行迭代运算的次数达到预设的迭代次数阈值时,对所述初始迭代参数进行自累加操作,得到迭代参数;

将所述初始温度参数除以所述迭代参数,得到更新后的温度参数。

5. 根据权利要求1所述的应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法,其特征在于,所述根据所述损失函数值和更新后的损失函数值,得到优化后的光预放大参数向量包括:

当更新后的损失函数值小于或等于所述损失函数值,继续执行根据更新后的光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到更新后的损失函数值的步骤;

当更新后的损失函数值大于所述损失函数值,对更新后的损失函数值、所述损失函数值和所述温度参数进行指数运算,得到所述光预放大参数向量的概率值;当所述光预放大参数向量的概率值大于或等于所述随机概率值时,继续执行根据更新后的光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到更新后的损失函数值的步骤;

当更新后的温度参数达到预设的温度参数阈值,或者当根据所述模拟退火算法和所述初始迭代参数,对所述初始温度参数进行更新的次数达到预设的更新次数阈值且所述更新后的光预放大参数向量不变时,停止所述模拟退火算法,得到优化后的损失函数值;

将所述优化后的损失函数值对应的更新后的光预放大参数向量作为优化后的光预放大参数向量。

6. 一种智能终端,其特征在于,包括有存储器,以及一个或者一个以上的程序,其中一个或者一个以上程序存储于存储器中,且经配置以由一个或者一个以上处理器执行所述一个或者一个以上程序包含用于执行如权利要求1-5中任意一项所述的方法。

7. 一种非临时性计算机可读存储介质,其特征在于,当所述存储介质中的指令由电子设备的处理器执行时,使得电子设备能够执行如权利要求1-5中任意一项所述的方法。

一种应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法

技术领域

[0001] 本发明涉及数字信号处理技术领域,尤其涉及的是一种应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法。

背景技术

[0002] 移动互联网的飞速发展不仅催生了第五代通信互联网,也使得各类移动通讯应用如春笋般在近五年的时间里出现。如4k视频流传输,超高清视频电话,云计算等等。作为通信网络的骨干网,光纤通信系统在通信容量的提升上面临着巨大的挑战与机遇。

[0003] 但是随着通信带宽的拓宽,频谱也相应地被拓宽了,由于每个波段包含很多信道,多个波段导致信道数量非常庞大(几百个信道),不同波段的光功率被预放大后,光纤内总体的光功率会非常大,一般可达20几个dBm。如此大的光功率结合超宽的带宽,就会引起除了自相位调制、四波混频、交叉相位调制等非线性效应外的受激拉曼散射效应,并对低频信道产生增益,这些增益会产生非线性效应,从而导致更高的非线性噪声功率,使得信号的信噪比降低,从而使信道的通信容量极限下降。

[0004] 因此,现有技术还有待改进和发展。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题在于,针对现有技术的上述缺陷,提供一种应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法,旨在解决现有技术中光信号在预防大后引起的自相位调制、四波混频、交叉相位调制等非线性效应外的受激拉曼散射效应,并对低频信道产生增益,这些增益会产生非线性效应,从而导致更高的非线性噪声功率,使得信号的信噪比降低,从而使信道的通信容量极限下降的问题。

[0006] 本发明解决问题所采用的技术方案如下:

[0007] 第一方面,本发明实施例提供一种应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法,其中,所述方法包括:

[0008] 获取随机初始化后的光预放大参数向量,其中,所述光预放大参数向量用于表征超宽带波分复用系统中若干波段光放大器的增益斜率向量和增益偏置向量;

[0009] 根据所述光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到损失函数值;

[0010] 根据所述光预放大参数向量、所述损失函数值和模拟退火算法,确定优化后的光预放大参数向量。

[0011] 在一种实现方式中,其中,所述获取随机初始化后的光预放大参数向量包括:

[0012] 生成若干随机值;

[0013] 将若干所述随机值组成向量作为光预放大参数向量。

[0014] 在一种实现方式中,其中,所述根据所述光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到损失函数值包括:

- [0015] 获取信道带宽、信道功率向量和放大自发辐射噪声功率；
- [0016] 根据所述光预放大参数向量，得到信道入纤功率向量；
- [0017] 基于所述受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型，对所述信道功率向量进行功率计算，得到非线性噪声功率向量；
- [0018] 将所述非线性噪声功率向量和所述放大自发辐射噪声功率进行求和，得到噪声总功率向量；
- [0019] 将所述信道入纤功率向量除以噪声总功率向量，得到功率商值向量；
- [0020] 对所述功率商值向量进行对数运算，得到信噪比向量；
- [0021] 根据所述信噪比向量，得到损失函数值。
- [0022] 在一种实现方式中，其中，所述根据所述光预放大参数向量，得到信道入纤功率向量包括：
- [0023] 获取各波段光信号的中心频率和各信道的中心频率向量；
- [0024] 将所述中心频率向量减去每个波段光信号的中心频率，得到频率差值向量；
- [0025] 将所述光预放大参数向量中的增益斜率向量乘以所述频率差值向量，得到积向量；
- [0026] 将所述积向量加上所述光预放大参数向量中的增益偏置向量，得到信道入纤功率向量。
- [0027] 在一种实现方式中，其中，所述根据所述信噪比向量，得到损失函数值包括：
- [0028] 对所述信噪比向量进行对数运算，得到容量向量；
- [0029] 获取所述容量向量的容量均值、容量最大值和容量最小值；
- [0030] 计算所述容量均值的倒数，得到容量均值倒数；
- [0031] 将所述容量均值倒数加上所述容量最大值后减去容量最小值，得到损失函数值。
- [0032] 在一种实现方式中，其中，所述根据所述光预放大参数向量、所述损失函数值和模拟退火算法，确定优化后的光预放大参数向量包括：
- [0033] 获取随机概率值；
- [0034] 获取初始温度参数和初始迭代参数，其中，所述初始温度参数用于表征所述模拟退火算法的变量参数；
- [0035] 根据所述模拟退火算法和所述初始迭代参数，对所述初始温度参数进行更新，得到更新后的温度参数；
- [0036] 对所述光预放大参数向量和更新后的温度参数进行迭代运算，得到更新后的光预放大参数向量；
- [0037] 根据更新后的光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型，得到更新后的损失函数值；
- [0038] 根据所述损失函数值和更新后的损失函数值，得到优化后的光预放大参数向量。
- [0039] 在一种实现方式中，其中，所述根据所述模拟退火算法和所述初始迭代参数，对所述初始温度参数进行更新，得到更新后的温度参数包括：
- [0040] 当对所述光预放大参数向量和更新后的温度参数进行迭代运算的次数达到预设的迭代次数阈值时，对所述初始迭代参数进行自累加操作，得到迭代参数；

[0041] 将所述初始温度参数除以所述迭代参数,得到更新后的温度参数。

[0042] 在一种实现方式中,其中,所述根据所述损失函数值和更新后的损失函数值,得到优化后的光预放大参数向量包括:

[0043] 当更新后的损失函数值小于或等于所述损失函数值,继续执行根据更新后的光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到更新后的损失函数值的步骤;

[0044] 当更新后的损失函数值大于所述损失函数值,对更新后的损失函数值、所述损失函数值和所述温度参数进行指数运算,得到所述光预放大参数向量的概率值;当所述光预放大参数向量的概率值大于或等于所述随机概率值时,继续执行根据更新后的光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到更新后的损失函数值的步骤;

[0045] 当更新后的温度参数达到预设的温度参数阈值,或者当根据所述模拟退火算法和所述初始迭代参数,对所述初始温度参数进行更新的次数达到预设的更新次数阈值且所述更新后的光预放大参数向量不变时,停止所述模拟退火算法,得到优化后的损失函数值;

[0046] 将所述优化后的损失函数值对应的更新后的光预放大参数向量作为优化后的光预放大参数向量。

[0047] 第二方面,本发明实施例还提供一种应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化装置,其中,所述装置包括:

[0048] 光预放大参数向量模块,用于获取随机初始化后的光预放大参数向量,其中,所述光预放大参数向量用于表征超宽带波分复用系统中若干波段光放大器的增益斜率向量和增益偏置向量;

[0049] 损失函数值获取模块,用于根据所述光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到损失函数值;

[0050] 优化后的光预放大参数向量确定模块,用于根据所述光预放大参数向量、所述损失函数值和模拟退火算法,确定优化后的光预放大参数向量。

[0051] 第三方面,本发明实施例还提供一种智能终端,包括有存储器,以及一个或者一个以上的程序,其中一个或者一个以上程序存储于存储器中,且经配置以由一个或者一个以上处理器执行所述一个或者一个以上程序包含用于执行如上述任意一项所述的应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法。

[0052] 第四方面,本发明实施例还提供一种非临时性计算机可读存储介质,当所述存储介质中的指令由电子设备的处理器执行时,使得电子设备能够执行如上述中任意一项所述的应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法。

[0053] 本发明的有益效果:本发明实施例首先获取随机初始化后的光预放大参数向量,其中,所述光预放大参数向量用于表征超宽带波分复用系统中若干波段光放大器的增益斜率向量和增益偏置向量;为后续进行优化做准备,然后根据所述光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到损失函数值,为后续进一步优化做准备;最后根据所述光预放大参数向量、所述损失函数值和模拟退火算法,确定优化后的光预放大参数向量,优化后的光预放大参数向量可以用来优化的每个信道的预放大功率谱,使得传输时的整体带宽内的信道信噪比最大进而得到最大的通信传输容量。相较于传统的功率

控制调优算法,该程式无需暴力扫描,时间复杂度低,且受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型考虑了超宽带引起的受激拉曼散射,结果更精确,可提升极限通信容量更大。

附图说明

[0054] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明中记载的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0055] 图1为本发明实施例提供的应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法流程图示意图。

[0056] 图2为本发明实施例提供的三个波段放大器放大后的功率谱斜率和中心偏振示意图。

[0057] 图3为本发明实施例提供的退火算法流程图。

[0058] 图4为本发明实施例提供的基于模拟退火算法的功率控制参数寻优流程框图。

[0059] 图5为本发明实施例提供的所有信道的极限容量谱图。

[0060] 图6为本发明实施例提供的应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化装置的原理框图。

[0061] 图7为本发明实施例提供的智能终端的内部结构原理框图。

具体实施方式

[0062] 本发明公开了一种应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法,为使本发明的目的、技术方案及效果更加清楚、明确,以下参照附图并举实施例对本发明进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0063] 本技术领域技术人员可以理解,除非特意声明,这里使用的单数形式“一”、“一个”、“所述”和“该”也可包括复数形式。应该进一步理解的是,本发明的说明书中使用的措辞“包括”是指存在所述特征、整数、步骤、操作、元件和/或组件,但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、元件、组件和/或它们的组。应该理解,当我们称元件被“连接”或“耦接”到另一元件时,它可以直接连接或耦接到其他元件,或者也可以存在中间元件。此外,这里使用的“连接”或“耦接”可以包括无线连接或无线耦接。这里使用的措辞“和/或”包括一个或多个相关联的列出项的全部或任一单元和全部组合。

[0064] 本技术领域技术人员可以理解,除非另外定义,这里使用的所有术语(包括技术术语和科学术语),具有与本发明所属领域中的普通技术人员的一般理解相同的意义。还应该理解的是,诸如通用字典中定义的那些术语,应该被理解为具有与现有技术的上下文中的意义一致的意义,并且除非像这里一样被特定定义,否则不会用理想化或过于正式的含义来解释。

[0065] 由于现有技术中,提升光通信容量可以从利用光的维度入手,这些维度有:偏振,时间,波长,模式。其中波长作为光的一个物理特性,由于其宽广的范围,十分适合被用于光的复用。目前,超宽带波分复用因其超高带宽带来的容量增加受到广泛的关注。

[0066] 超高带宽波分复用系统的波长范围由C波段,L波段和S波段组成。目前正在商用的

是C波段,L波段有望在相应波段的放大器成熟后被应用,而目前S波段因其相应放大器还未商用并没有加入波分复用的波段。但是S波段的范围几乎是C波段的两倍,因此在未来仪器发展成熟后势必会引入波分复用系统组成超高带宽的波分复用相干通信系统,来大幅度提高通信容量。

[0067] 但是随着通信带宽的拓宽,频谱也相应地被拓宽了。因此当信道数量非常庞大时(几百个信道),光纤内总体的光功率会非常大,一般可达20几个dBm。如此大的光功率结合超宽的带宽,就会引起除了自相位调制、四波混频、交叉相位调制等非线性效应外的受激拉曼散射效应,并对低频信道产生增益。增益的频移大概在13THz左右。这就导致了高频信号功率下降,低频信号功率进一步升高,从而在低频区域产生更高的非线性效应。这些非线性效应则会导致更高的非线性噪声功率,降低信号的信噪比,从而使信道的通信容量极限下降。

[0068] 为了应对引入更多波段带来的通信容量极限下降的问题,我们提出了一种基于受激拉曼散射修正后高斯噪声模型的闭合解和模拟退火算法的程式,用来优化的每个信道的预放大功率谱,使得传输时的整体带宽内的信道信噪比最大进而得到最大的通信传输容量。

[0069] 为了解决现有技术的问题,本实施例提供了一种应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法,通过上述方法来优化每个信道的预放大功率谱,使得传输时的整体带宽内的信道信噪比最大,进而得到最大的通信传输容量。具体实施时,获取随机初始化后的光预放大参数向量,其中,所述光预放大参数向量用于表征超宽带波分复用系统中若干波段光放大器的增益斜率向量和增益偏置向量;然后根据所述光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到损失函数值;最后根据所述光预放大参数向量、所述损失函数值和模拟退火算法,确定优化后的光预放大参数向量。

[0070] 示例性方法

[0071] 本实施例提供一种应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法,该方法可以应用于数字信号处理的智能终端。具体如图1所示,所述方法包括:

[0072] 步骤S100、获取随机初始化后的光预放大参数向量,其中,所述光预放大参数向量用于表征超宽带波分复用系统中若干波段光放大器的增益斜率向量和增益偏置向量;

[0073] 具体地,随机初始化后的光预放大参数向量可以在服务器产生,然后获取服务器上的随机初始化后的光预放大参数向量,也可以直接在终端设备上产生,具体不做限制。其中,所述光预放大参数向量用于表征超宽带波分复用系统中若干波段光放大器的增益斜率向量和增益偏置向量,如图2所示。

[0074] 为了得到光预放大参数向量,所述获取随机初始化后的光预放大参数向量包括如下步骤:

[0075] S101、生成若干随机值;

[0076] S102、将若干所述随机值组成向量作为光预放大参数向量。

[0077] 在本实施例中,光预放大参数向量包括三个波段(L波段,C波段和S波段)的放大器,每个波段的放大器包括两个参数:增益斜率向量slope和增益偏置向量offset,这样,一共有六个参数。先随机生成6个数,将这6个数组成向量,并将该向量作为光预放大参数向量。

[0078] 得到光预放大参数向量后,就可以执行如图1所示的如下步骤:S200、根据所述光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到损失函数值;

[0079] 具体地,可以将所述光预放大参数向量输入到预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,也可以将所述光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型进行混合运算,得到损失函数值,具体不做限制。

[0080] 为了得到损失函数值,所述根据所述光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到损失函数值包括如下步骤:

[0081] S201、获取信道带宽、信道功率向量和放大自发辐射噪声功率;

[0082] S202、根据所述光预放大参数向量,得到信道入纤功率向量;

[0083] S203、基于所述受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,对所述信道功率向量进行功率计算,得到非线性噪声功率向量;

[0084] S204、将所述非线性噪声功率向量和所述放大自发辐射噪声功率进行求和,得到噪声总功率向量;

[0085] S205、将所述信道入纤功率向量除以噪声总功率向量,得到功率商值向量;

[0086] S206、对所述功率商值向量进行对数运算,得到信噪比向量;

[0087] S207、根据所述信噪比向量,得到损失函数值。

[0088] 具体地,先获取信道带宽B(可以设置为28GHz)、信道功率向量 P_i 、 $P_{i,j}$ 和放大自发辐射噪声功率 P_{ASE} ;在本实施例中,放大自发辐射噪声功率 P_{ASE} 通过如下公式得到:

$$[0089] \quad P_{ASE} = B \cdot h \cdot \nu \cdot N_f \cdot (G - 1)$$

[0090] 其中,B代表信道宽度,h是普朗克常数($6.62607004 \times 10^{-34} \text{m}^2 \text{kg/s}$), ν 代表该信道光频率,NF代表光放大器的噪声系数,G则是放大器于该信道的增益系数。再根据所述光预放大参数向量x,得到信道入纤功率向量 P_{ch} ;相应的,所述根据所述光预放大参数向量,得到信道入纤功率向量包括如下步骤:获取各波段光信号的中心频率和各信道的中心频率向量;将所述中心频率向量减去每个波段光信号的中心频率,得到频率差值向量;将所述光预放大参数向量中的增益斜率向量乘以所述频率差值向量,得到积向量;将所述积向量加上所述光预放大参数向量中的增益偏置向量,得到信道入纤功率向量。例如:x是一个向量,其中有六个元素 x_1-x_6 , x_1 代表L波段的增益斜率, x_2 代表L波段的增益偏置, x_3 代表C波段的增益斜率, x_4 代表C波段的增益偏置, x_5 代表S波段的增益斜率, x_6 代表S波段的增益偏置。将x输入高斯噪声模型中时,实际上是将x的6个元素分别输入给三个波段的放大器,使三个波段放大后的信道功率(即各个信道的入纤光功率分布),按照如下式子分布:

$$[0091] \quad \text{power}_L = x_1(f - f_L) + x_2$$

$$[0092] \quad \text{power}_C = x_3(f - f_C) + x_4$$

$$[0093] \quad \text{power}_S = x_5(f - f_S) + x_6$$

[0094] 其中f代表各个信道的中心频率(是一个向量), f_L , f_C ,和 f_S 分别代表L波段,C波段和S波段的整体中心频率。在得到整体带宽的入纤光功率分布后,可以进一步计算各信道的非线性功率。信道入纤功率向量 P_{ch} 由 power_L 、 power_C 和 power_S 组成。得到信道入纤功率向量后,基于所述受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,对所述信道功率向量 P_i 、 $P_{i,j}$ 进行功率计算,得到非线性噪声功率向量 P_{NLI} ;例如,非线性噪声功率向量 P_{NLI} 通过如下公式得到:

$$[0095] \quad P_{NLI} = P_i^3 \sum_{j=1}^n \left[\frac{P_{i,j}}{P_i} \right]^2 \cdot [\eta_{SPM,j}(fi)n^\epsilon + \eta_{XPM,j}(fi)]$$

[0096] 其中, P_i 代表第 i 个信道的功率, $P_{i,j}$ 代表第 j 个信道的功率, $\eta_{SPM,j}(fi)$ 和 $\eta_{XPM,j}(fi)$ 分别代表修正后的自相位调制非线性系数和交叉相位调制非线性系数, n^ϵ 代表非线性噪声。然后将所述非线性噪声功率向量 P_{NLI} 和所述放大自发辐射噪声功率 P_{ASE} 进行求和, 得到噪声总功率向量; 将所述信道入纤功率向量 P_{ch} 除以噪声总功率向量, 得到功率商值向量; 对所述功率商值向量进行对数运算, 得到信噪比向量 SNR; 例如, 信噪比向量 $SNR = 10 \log \left(\frac{P_{ch}}{P_{ASE} + P_{NLI}} \right)$ 。最后根据所述信噪比向量, 得到损失函数值。相应的, 所述根据所述

信噪比向量, 得到损失函数值包括如下步骤: 对所述信噪比向量进行对数运算, 得到容量向量; 获取所述容量向量的容量均值、容量最大值和容量最小值; 计算所述容量均值的倒数, 得到容量均值倒数值; 将所述容量均值倒数值加上所述容量最大值后减去容量最小值, 得到损失函数值。例如, 通过如下公式得到容量向量 capacity:

$$[0097] \quad capacity = B \times \log_2(1 + SNR)$$

[0098] 其中, B 为信道带宽, SNR 为信噪比向量, 代表每个信道的信噪比。

[0099] 损失函数值 Loss 通过如下公式得到:

$$[0100] \quad Loss = \frac{1}{\text{mean}(capacity)} + \max(capacity) - \min(capacity)$$

[0101] 其中, capacity 是一个向量, 代表所有信道的容量。

[0102] 得到损失函数值后, 就可以执行如图 1 所示的如下步骤: S300、根据所述光预放大参数向量、所述损失函数值和模拟退火算法, 确定优化后的光预放大参数向量。

[0103] 具体地, 如图 2-3 所示, 根据模拟退火算法, 通过对光预放大参数向量和所述损失函数值的更新和迭代, 得到最小的损失函数值。相应的, 所述根据所述光预放大参数向量、所述损失函数值和模拟退火算法, 确定优化后的光预放大参数向量包括:

[0104] S301、获取随机概率值;

[0105] S302、获取初始温度参数和初始迭代参数, 其中, 所述初始温度参数用于表征所述模拟退火算法的变量参数;

[0106] S303、根据所述模拟退火算法和所述初始迭代参数, 对所述初始温度参数进行更新, 得到更新后的温度参数;

[0107] S304、对所述光预放大参数向量和更新后的温度参数进行迭代运算, 得到更新后的光预放大参数向量;

[0108] S305、根据更新后的光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型, 得到更新后的损失函数值;

[0109] S306、根据所述损失函数值和更新后的损失函数值, 得到优化后的光预放大参数向量。

[0110] 具体地, 先获取随机概率值 p_0 , p_0 是 0 到 1 之间按照均匀分布随机产生的一个随机概率值, 获取初始温度参数 T_{max} 和初始迭代参数 $iter_num$, 其中, 所述初始温度参数用于表

征所述模拟退火算法的变量参数;根据所述模拟退火算法和所述初始迭代参数,对所述初始温度参数进行更新,得到更新后的温度参数;相应的,所述根据所述模拟退火算法和所述初始迭代参数,对所述初始温度参数进行更新,得到更新后的温度参数包括如下步骤:当对所述光预放大参数向量和更新后的温度参数进行迭代运算的次数达到预设的迭代次数阈值且时,对所述初始迭代参数进行自累加操作,得到迭代参数;将所述初始温度参数除以所述迭代参数,得到更新后的温度参数。例如,温度参数会随着上述迭代过程的增加而降低,例如每运行100轮降低一次温度,降温公式如下式:

$$[0111] \quad T = T_{\max} / \text{iter_num}$$

[0112] T 更新后的温度参数,为 T_{\max} 代表初始温度参数,值为300, iter_num 代表迭代百轮数(初始值为1),每迭代100轮 iter_num 值便加1,该模拟退火算法停止的条件为两个,一个是温度参数降低到初始设定的最小温度参数(如100)时,停止寻优,第二个是 loss 降温20次,更新后的光预放大参数向量 x_{new} 依旧没有降低时,停止寻优。接着对所述光预放大参数向量和更新后的温度参数进行迭代运算,得到更新后的光预放大参数向量;例如,在获取了当前的光预放大参数向量 x 的损失值 loss 后,模拟退火算法会在该光预放大参数向量 x 的基础上更新生成一个更新后的光预放大参数向量 x_{new} ,生成方法如下公式所示:

$$[0113] \quad x_{\text{new}} = x + (\text{upper} - \text{lower}) \times \text{sign}(r) \times T \times \left[\left(1 + \frac{1}{T}\right)^{|r|} - 1 \right]$$

[0114] 其中, upper 代表光预放大参数向量 x 取值的最大值, lower 代表光预放大参数向量 x 取值的最小值, r 是一个 $[-1, 1]$ 的随机数, T 代表温度参数。根据更新后的光预放大参数向量 x_{new} 和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到更新后的损失函数值 loss_{new} ;具体过程为将更新后的光预放大参数向量 x_{new} 当做先前的光预放大参数向量,继续执行步骤S200的步骤,得到更新后的损失函数值 loss_{new} 。接着根据所述损失函数值和更新后的损失函数值,得到优化后的光预放大参数向量,相应的,所述根据所述损失函数值和更新后的损失函数值,得到优化后的光预放大参数向量包括如下步骤:当更新后的损失函数值小于或等于所述损失函数值,继续执行根据更新后的光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到更新后的损失函数值的步骤;当更新后的损失函数值大于所述损失函数值,对更新后的损失函数值、所述损失函数值和所述温度参数进行指数运算,得到所述光预放大参数向量的概率值;当所述光预放大参数向量的概率值大于或等于所述随机概率值时,继续执行根据更新后的光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到更新后的损失函数值的步骤;当更新后的温度参数达到预设的温度参数阈值,或者当根据所述模拟退火算法和所述初始迭代参数,对所述初始温度参数进行更新的次数达到预设的更新次数阈值且所述更新后的光预放大参数向量不变时,停止所述模拟退火算法,得到优化后的损失函数值;将所述优化后的损失函数值对应的更新后的光预放大参数向量作为优化后的光预放大参数向量。例如,若 $\text{loss}_{\text{new}} \leq \text{loss}$,则把 x_{new} 当成新的 x ,继续使用上面的更新公式迭代寻找 loss_{new} 更低的 x_{new} ;若 $\text{loss}_{\text{new}} > \text{loss}$,则以一定的概率接受该 x_{new} ,该光预放大参数向量的概率值如下公式生成:

$$[0115] \quad p = \exp\left(\frac{-(|loss_{new}| - |loss|)}{T}\right), \quad p0 = \text{randon}(0,1)$$

[0116] 上式中,光预放大参数向量的概率值p的分布范围为(0,1),若温度参数T越小,则p越接近于0,随机概率值p0是0到1之间按照均匀分布随机产生的一个随机概率,若 $p \geq p0$,则接受该更新后的光预放大参数向量 x_{new} 为新的光预放大参数向量x进入下一步迭代。反之则不接受。因此,温度参数越高时,接受相对质量低的更新后的光预放大参数向量 x_{new} 的概率越大,故通过模拟退火算法将温度降低,以更高的概率得到优质的更新后的光预放大参数向量。通过上述模拟退火算法的迭代运算,当迭代结束,最终会得到优化后的损失函数值,此时的优化后的损失函数值是最小的,那么所述优化后的损失函数值对应的更新后的光预放大参数向量是最优的,可以作为优化后的光预放大参数向量,进而使得整体信道的极限容量最大,且保持信道间的容量均衡。

[0117] 如图4所示,展示的是本发明应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法的一个实施例,如图5所示,展现的是初步仿真的结果,横坐标代表超宽带信道,纵坐标代表该信道的容量。这里我们选择了三种不同的优化策略,圆圈代表追求整体容量最大化的优化结果,可以看出选择这种优化策略有一个缺点,就是会导致信道间容量不均衡。星号代表追求波段内信道间容量最均衡,但是可以看出总体的容量不高。加号则兼备前两种策略的优势,既有相当高的总体容量,又具备相对平稳的容量分布。

[0118] 示例性设备

[0119] 如图6中所示,本发明实施例提供一种应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化装置,该装置包括:光预放大参数向量模块401,损失函数值获取模块402和优化后的光预放大参数向量确定模块403,其中:

[0120] 光预放大参数向量模块401,用于获取随机初始化后的光预放大参数向量,其中,所述光预放大参数向量用于表征超宽带波分复用系统中若干波段光放大器的增益斜率向量和增益偏置向量;

[0121] 损失函数值获取模块402,用于根据所述光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到损失函数值;

[0122] 优化后的光预放大参数向量确定模块403,用于根据所述光预放大参数向量、所述损失函数值和模拟退火算法,确定优化后的光预放大参数向量。

[0123] 基于上述实施例,本发明还提供了一种智能终端,其原理框图可以如图7所示。该智能终端包括通过系统总线连接的处理器、存储器、网络接口、显示屏、温度传感器。其中,该智能终端的处理器用于提供计算和控制能力。该智能终端的存储器包括非易失性存储介质、内存储器。该非易失性存储介质存储有操作系统和计算机程序。该内存储器为非易失性存储介质中的操作系统和计算机程序的运行提供环境。该智能终端的网络接口用于与外部的终端通过网络连接通信。该计算机程序被处理器执行时以实现一种应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法。该智能终端的显示屏可以是液晶显示屏或者电子墨水显示屏,该智能终端的温度传感器是预先在智能终端内部设置,用于检测内部设备的运行温度。

[0124] 本领域技术人员可以理解,图7中的原理图,仅仅是与本发明方案相关的部分结构的框图,并不构成对本发明方案所应用于其上的智能终端的限定,具体的智能终端可以包

括比图中所示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者具有不同的部件布置。

[0125] 在一个实施例中,提供了一种智能终端,包括有存储器,以及一个或者一个以上的程序,其中一个或者一个以上程序存储于存储器中,且经配置以由一个或者一个以上处理器执行所述一个或者一个以上程序包含用于进行以下操作的指令:获取随机初始化后的光预放大参数向量,其中,所述光预放大参数向量用于表征超宽带波分复用系统中若干波段光放大器的增益斜率向量和增益偏置向量;

[0126] 根据所述光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到损失函数值;

[0127] 根据所述光预放大参数向量、所述损失函数值和模拟退火算法,确定优化后的光预放大参数向量。

[0128] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程,是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一非易失性计算机可读取存储介质中,该计算机程序在执行时,可包括如上述各方法的实施例的流程。其中,本发明所提供的各实施例中所使用的对存储器、存储、数据库或其它介质的任何引用,均可包括非易失性和/或易失性存储器。非易失性存储器可包括只读存储器(ROM)、可编程ROM(PROM)、电可编程ROM(EPROM)、电可擦除可编程ROM(EEPROM)或闪存。易失性存储器可包括随机存取存储器(RAM)或者外部高速缓冲存储器。作为说明而非局限,RAM以多种形式可得,诸如静态RAM(SRAM)、动态RAM(DRAM)、同步DRAM(SDRAM)、双数据率SDRAM(DDRSDRAM)、增强型SDRAM(ESDRAM)、同步链路(Synchlink)DRAM(SLDRAM)、存储器总线(Rambus)直接RAM(RDRAM)、直接存储器总线动态RAM(DRDRAM)、以及存储器总线动态RAM(RDRAM)等。

[0129] 综上所述,本发明公开了应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法、智能终端、存储介质,所述方法包括:获取随机初始化后的光预放大参数向量,其中,所述光预放大参数向量用于表征超宽带波分复用系统中若干波段光放大器的增益斜率向量和增益偏置向量;根据所述光预放大参数向量和预设的受激拉曼散射修正后高斯噪声闭合解模型,得到损失函数值;根据所述光预放大参数向量、所述损失函数值和模拟退火算法,确定优化后的光预放大参数向量。本发明通过上述方法来优化每个信道的预放大功率谱,使得传输时的整体带宽内的信道信噪比最大,进而得到最大的通信传输容量。

[0130] 基于上述实施例,本发明公开了一种应用于超宽带波分复用系统的预放大参数优化方法,应当理解的是,本发明的应用不限于上述的举例,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

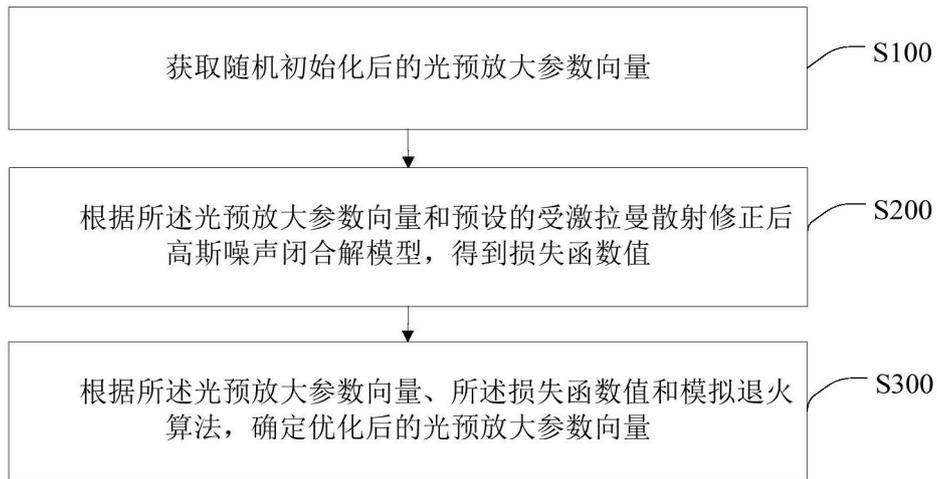


图1

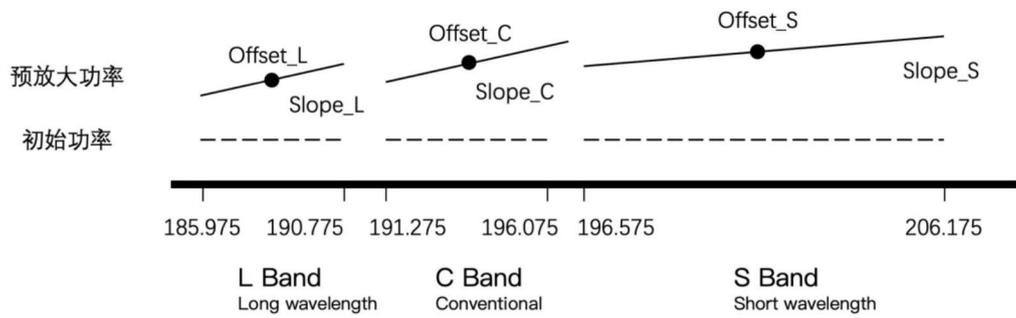


图2

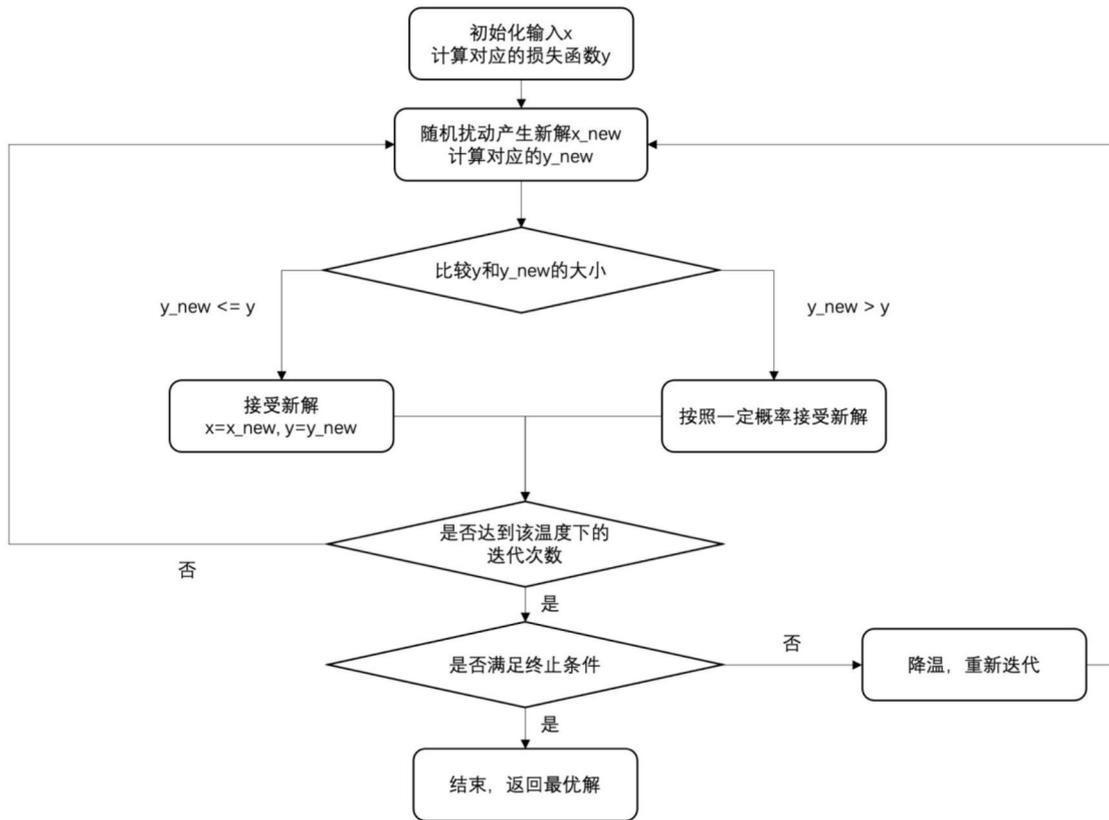


图3

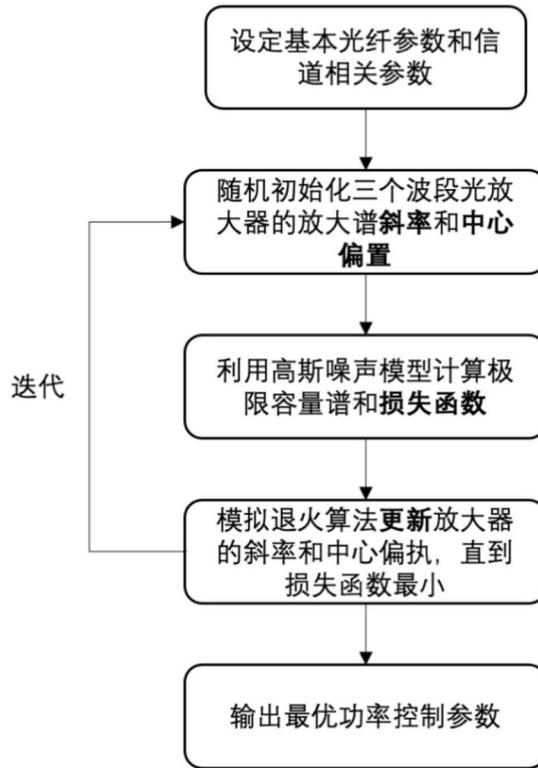


图4

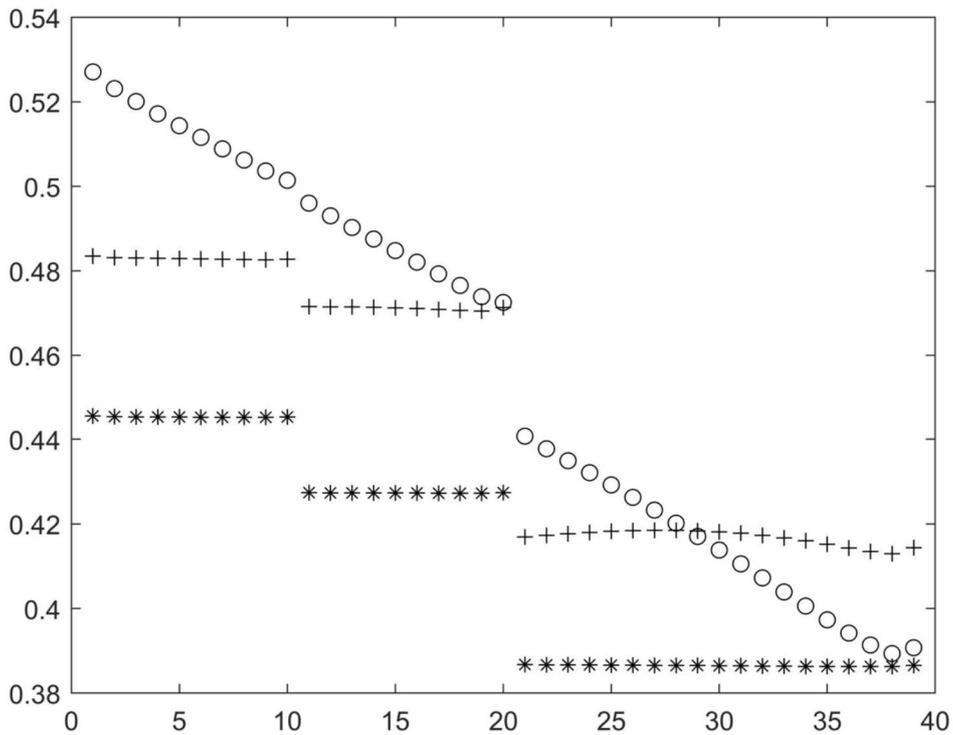


图5

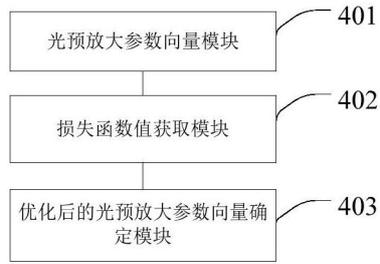


图6

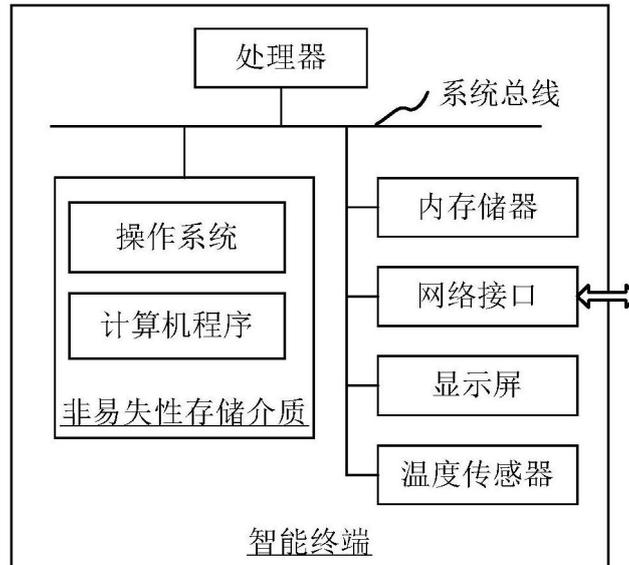


图7