



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112865869 B

(45) 授权公告日 2021.12.07

(21) 申请号 202110114209.0

G06F 17/18 (2006.01)

(22) 申请日 2021.01.27

H04B 10/2507 (2013.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 高霞

申请公布号 CN 112865869 A

(43) 申请公布日 2021.05.28

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院

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

(72) 发明人 周概 刘伯涛

(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

代理人 谢松

(51) Int. Cl.

G06F 17/14 (2006.01)

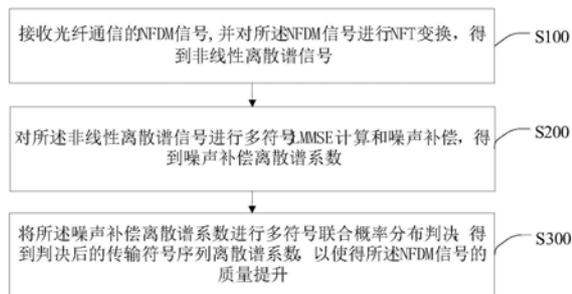
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

基于非线性离散谱信号的多符号联合数字  
信号处理方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法,所述方法包括:接收光纤通信的NFDM信号,并对所述NFDM信号进行NFT变换,得到非线性离散谱信号;对所述非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,得到噪声补偿离散谱系数;将所述噪声补偿离散谱系数进行多符号联合概率分布判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数,以使得所述NFDM信号的质量提升。本发明实施例通过对接收的光纤通信中的NFDM信号中的非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,并进行多符号联合概率分布判决,以提升NFDM信号的质量。



1. 一种基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法,其特征在于,所述方法包括:

接收光纤通信的NFDM信号,并对所述NFDM信号进行NFT变换,得到非线性离散谱信号;所述光纤通信的NFDM信号的生成方式为:获取传输符号序列;在所述传输符号序列前添加训练序列,得到目标符号序列;将所述目标符号进行NFDM调制,生成光纤通信的NFDM信号;

对所述非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,得到噪声补偿离散谱系数;所述对所述非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,得到噪声补偿离散谱系数包括:根据所述非线性离散谱信号,得到离散谱特征值、离散谱系数;其中,所述离散谱系数包含训练序列离散谱系数和传输符号序列离散谱系数;根据所述离散谱特征值,得到特征值噪声集;根据所述特征值噪声集和所述训练序列离散谱系数,得到候选特征值噪声集,幅度噪声补偿系数和相位噪声补偿系数;根据所述候选特征值噪声集、所述离散谱系数、所述幅度噪声补偿系数和所述相位噪声补偿系数,得到噪声补偿离散谱系数;

将所述噪声补偿离散谱系数进行多符号联合概率分布判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数,以使得所述NFDM信号的质量提升;所述将所述噪声补偿离散谱系数进行多符号联合概率分布判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数包括:根据所述噪声补偿离散谱系数,得到传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数和训练序列噪声补偿离散谱系数;根据所述训练序列噪声补偿离散谱系数和真实训练序列离散谱系数,得到多符号的联合概率分布函数;根据所述多符号的联合概率分布函数,对所述传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数进行判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数。

2. 根据权利要求1所述的基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法,其特征在于,所述根据所述特征值噪声集和所述训练序列离散谱系数,得到候选特征值噪声集,幅度噪声补偿系数和相位噪声补偿系数包括:

获取真实训练序列离散谱系数;

根据所述训练序列离散谱系数和所述真实训练序列离散谱系数,得到离散谱系数幅度差值和离散谱系数相位差值;

计算所述离散谱系数幅度差值和所述离散谱系数相位差值与相邻符号的噪声相关性,得到噪声相关性绝对值;

将满足所述噪声相关性绝对值大于预设值的所述特征值噪声集作为候选特征值噪声集;

将所述候选特征值噪声集代入到多符号LMMSE的计算公式中,得到幅度噪声补偿系数和相位噪声补偿系数。

3. 根据权利要求2所述的基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法,其特征在于,所述根据所述训练序列离散谱系数和所述真实训练序列离散谱系数,得到离散谱系数幅度差值和离散谱系数相位差值包括:

计算所述训练序列离散谱系数,得到与所述训练序列离散谱系数对应的第一幅度值和第一相位值;

计算所述真实训练序列离散谱系数,得到与所述真实训练序列离散谱系数对应的第二幅度值和第二相位值;

将所述第一幅度值减去所述第二幅度值,得到离散谱系数幅度差值;

将所述第一相位值减去所述第二相位值,得到离散谱系数相位差值。

4. 根据权利要求3所述的基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法,其特征在于,所述根据所述候选特征值噪声集、所述离散谱系数、所述幅度噪声补偿系数和所述相位噪声补偿系数,得到噪声补偿离散谱系数包括:

根据所述离散谱系数,得到离散谱系数幅度和离散谱系数相位;

将所述离散谱系数幅度减去所述幅度噪声补偿系数与所述候选特征值噪声集的积,得到噪声补偿离散谱系数幅度;

将所述离散谱系数相位减去所述相位噪声补偿系数与所述候选特征值噪声集的积,得到噪声补偿离散谱系数相位;

根据所述噪声补偿离散谱系数幅度和所述噪声补偿离散谱系数相位,得到噪声补偿离散谱系数。

5. 根据权利要求1所述的基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法,其特征在于,所述根据所述多符号的联合概率分布函数,对所述传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数进行判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数包括:

根据所述多符号的联合概率分布函数,求解出所述传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数的似然概率值;

选取最大的所述似然概率值对应的所述传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数作为判决后的离散谱系数。

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。

## 基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光纤通信技术领域,尤其涉及的是基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法。

### 背景技术

[0002] 光纤通信中存在非线性效应,严重影响光纤通信中信号的传输。衰减、色散可以通过掺铒光纤放大器和数字信号处理解决。非线性降低传输容量,现有对抗非线性的技术:查错控制编码、数字反向传播,但是这些技术受噪声-非线性相互作用和交叉相位调制效应限制,并且现有技术对连续谱调制研究较多,对离散特征值调制研究较少。

[0003] 因此,现有技术还有待改进和发展。

### 发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题在于,针对现有技术的上述缺陷,提供一种基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法,旨在解决现有技术中的对非线性离散谱信号的受噪声-非线性相互作用和交叉相位调制效应限制,并且对连续谱调制研究较多,对离散特征值调制研究较少的问题。

[0005] 本发明解决问题所采用的技术方案如下:

[0006] 第一方面,本发明实施例提供一种基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法,其中,所述方法包括:

[0007] 接收光纤通信的NFDM信号,并对所述NFDM信号进行NFT变换,得到非线性离散谱信号;

[0008] 对所述非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,得到噪声补偿离散谱系数;

[0009] 将所述噪声补偿离散谱系数进行多符号联合概率分布判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数,以使得所述NFDM信号的质量提升。

[0010] 在一种实现方式中,其中,所述光纤通信的NFDM信号的生成方式为:

[0011] 获取传输符号序列;

[0012] 在所述传输符号序列前添加训练序列,得到目标符号序列;

[0013] 将所述目标符号进行NFDM调制,生成光纤通信的NFDM信号。

[0014] 在一种实现方式中,其中,所述对所述非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,得到噪声补偿离散谱系数包括:

[0015] 根据所述非线性离散谱信号,得到离散谱特征值、离散谱系数;其中,所述离散谱系数包含训练序列离散谱系数和传输符号序列离散谱系数;

[0016] 根据所述离散谱特征值,得到特征值噪声集;

[0017] 根据所述特征值噪声集和所述训练序列离散谱系数,得到候选特征值噪声集,幅度噪声补偿系数和相位噪声补偿系数;

[0018] 根据所述候选特征值噪声集、所述离散谱系数、所述幅度噪声补偿系数和所述相位噪声补偿系数,得到噪声补偿离散谱系数。

[0019] 在一种实现方式中,其中,所述根据所述特征值噪声集和所述训练序列离散谱系数,得到候选特征值噪声集,幅度噪声补偿系数和相位噪声补偿系数包括:

[0020] 获取真实训练序列离散谱系数;

[0021] 根据所述训练序列离散谱系数和所述真实训练序列离散谱系数,得到离散谱系数幅度差值和离散谱系数相位差值;

[0022] 计算所述离散谱系数幅度差值和所述离散谱系数相位差值与相邻符号的噪声相关性,得到噪声相关性绝对值;

[0023] 将满足所述噪声相关性绝对值大于预设值的所述特征值噪声集作为候选特征值噪声集;

[0024] 将所述候选特征值噪声集代入到多符号LMMSE的计算公式中,得到幅度噪声补偿系数和相位噪声补偿系数。

[0025] 在一种实现方式中,其中,所述根据所述训练序列离散谱系数和所述真实训练序列离散谱系数,得到离散谱系数幅度差值和离散谱系数相位差值包括:

[0026] 计算所述训练序列离散谱系数,得到与所述训练序列离散谱系数对应的第一幅度值和第一相位值;

[0027] 计算所述真实训练序列离散谱系数,得到与所述真实训练序列离散谱系数对应的第二幅度值和第二相位值;

[0028] 将所述第一幅度值减去所述第二幅度值,得到离散谱系数幅度差值;

[0029] 将所述第一相位值减去所述第二相位值,得到离散谱系数相位差值。

[0030] 在一种实现方式中,其中,所述根据候选特征值噪声集、所述离散谱系数、所述幅度噪声补偿系数和所述相位噪声补偿系数,得到噪声补偿离散谱系数包括:

[0031] 根据所述离散谱系数,得到离散谱系数幅度和离散谱系数相位;

[0032] 将所述离散谱系数幅度减去所述幅度噪声补偿系数与所述候选特征值噪声集的积,得到噪声补偿离散谱系数幅度;

[0033] 将所述离散谱系数相位减去所述相位噪声补偿系数与所述候选特征值噪声集的积,得到噪声补偿离散谱系数相位;

[0034] 根据所述噪声补偿离散谱系数幅度和所述噪声补偿离散谱系数相位,得到噪声补偿离散谱系数。

[0035] 在一种实现方式中,其中,所述将所述噪声补偿离散谱系数进行多符号联合概率分布判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数包括:

[0036] 根据所述噪声补偿离散谱系数,得到传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数和训练序列噪声补偿离散谱系数;

[0037] 根据所述训练序列噪声补偿离散谱系数和所述真实训练序列离散谱系数,得到多符号的联合概率分布函数;

[0038] 根据所述多符号的联合概率分布函数,对所述传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数进行判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数。

[0039] 在一种实现方式中,其中,所述根据所述多符号的联合概率分布函数,对所述传输

符号序列噪声补偿信号离散谱系数进行判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数包括:

[0040] 根据所述多符号的联合概率分布函数,求解出所述传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数的似然概率值;

[0041] 选取最大的所述似然概率值对应的所述传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数作为判决后的离散谱系数。

[0042] 第二方面,本发明实施例还提供一种基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理装置,其中,所述装置包括:

[0043] 非线性离散谱信号获取单元,用于接收光纤通信的NFDM信号,并对所述NFDM信号进行NFT变换,得到非线性离散谱信号;

[0044] 噪声补偿离散谱系数获取单元,用于对所述非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,得到噪声补偿离散谱系数;

[0045] 判决后的传输符号序列离散谱系数获取单元,用于将所述噪声补偿离散谱系数进行多符号联合概率分布判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数,以使得所述NFDM信号的质量提升。

[0046] 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基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法。

[0047] 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基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法。

[0048] 本发明的有益效果:本发明实施例首先接收光纤通信的NFDM信号,并对所述NFDM信号进行NFT变换,得到非线性离散谱信号;然后对所述非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,得到噪声补偿离散谱系数;最后将所述噪声补偿离散谱系数进行多符号联合概率分布判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数,以使得所述NFDM信号的质量提升;可见,本发明实施例中通过对接收的光纤通信中的NFDM信号中的非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,并进行多符号联合概率分布判决,以提升NFDM信号的质量。

## 附图说明

[0049] 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。

[0050] 图1为本发明实施例提供的基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法流程示意图。

[0051] 图2为本发明实施例提供的不同技术的误码率的示意图。

[0052] 图3为本发明实施例提供的基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理装

置的原理框图。

[0053] 图4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

[0054] 本发明公开了基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法,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。

[0055] 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。

[0056] 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。

[0057] 由于现有技术中对非线性离散谱信号的处理受噪声-非线性相互作用和交叉相位调制效应限制,并且对连续谱调制研究较多,对离散特征值调制研究较少。

[0058] 为了解决现有技术的问题,本实施例提供了基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法,通过上述方法可以对NFDM信号在光纤传输过程中和光放大过程中产生的噪声进行计算得到噪声,并进行噪声补偿,在此基础上进行多符号联合概率分布判决,这样可以使得NFDM信号的质量得到提升。具体实施时,先接收光纤通信的NFDM信号,并对所述NFDM信号进行NFT变换,得到非线性离散谱信号;然后,对所述非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,得到噪声补偿离散谱系数,以实现降低噪声,提高NFDM信号的质量,同时为后续进行多符号联合概率分布判决做基础;最后,将所述噪声补偿离散谱系数进行多符号联合概率分布判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数,以使得所述NFDM信号的质量提升。

[0059] 举例说明

[0060] 光纤通信中存在非线性效应,严重影响光纤通信中信号的传输。在存在非线性和色散的情况下,NFDM信号经过光纤衰落后不但能量会整体降低,波形的形状也会失真,非线性频谱上的信息会受到破坏。由于光放大器是对波形的整体放大,因此,它仅能恢复波形的能量,无法纠正衰减造成的失真。而且,除了引入的ASE噪声,放大作用也会对信号造成二次伤害。因此,降低光纤通信中NFDM信号的噪声非常的重要,噪声降低之后可以提升信号的质量,从而使得传输容量和传输距离得到提升。在本实施例中,首先,接收光纤通信的NFDM信号,并对所述NFDM信号进行NFT变换,得到非线性离散谱信号;然后,对所述非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,得到噪声补偿离散谱系数,以实现降低噪声,提高

NFDM信号的质量,同时为后续进行多符号联合概率分布判决做基础;最后,将所述噪声补偿离散谱系数进行多符号联合概率分布判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数,以使得所述NFDM信号的质量提升。本发明实施例通过对接收的光纤通信中的NFDM信号中的非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,并进行多符号联合概率分布判决,以提升NFDM信号的质量。

[0061] 示例性方法

[0062] 本实施例提供基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法,该方法可以应用于光纤通信的智能终端。具体如图1所示,所述方法包括:

[0063] 步骤S100、接收光纤通信的NFDM信号,并对所述NFDM信号进行NFT变换,得到非线性离散谱信号;

[0064] 具体地,光纤通信时,会有发射端和接收端,技术人员在发射端先生成需要传输的符号,光纤通信的目的是使接收端接收到失真比较小的符号,也即能准确识别出发射端的符号,由于光纤通信存在非线性效应以及噪声影响,符号从发射端传输到接收端后会出现失真,如果不做任何的数字信号处理,接收端很有可能接收到错误的符号,并且传输的距离也会大打折扣。为了解决光纤通信中的非线性效应的影响,对发射端符号进行NFDM调制,在接收端要对所述NFDM信号进行NFT变换,得到非线性离散谱信号,后续主要是对非线性离散谱信号进行数字信号处理,以降低噪声的影响,这样,接收端就能接收到失真较小的信号,达到高质量的信号传输目的。在本实施例中,光纤通信的NFDM信号的生成方式为:获取传输符号序列;在所述传输符号序列前添加训练序列,得到目标符号序列;将所述目标符号进行NFDM调制,生成光纤通信的NFDM信号。

[0065] 具体地,技术人员生成传输符号序列,接收端系统便可以获取到传输符号序列,为了降低光纤信道中的噪声,技术人员在传输符号序列前添加训练序列,组成目标符号序列,然后将目标符号序列进行NFDM调制,生成的光纤通信的NFDM信号,通过性处理的方式来实现抵抗光纤通信中的噪声和非线性效应的影响。

[0066] 接收端系统接收到光纤通信的NFDM信号后,就可以执行如图1所示的步骤S200、对所述非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,得到噪声补偿离散谱系数;

[0067] 具体地,由于光纤通信的信道存在噪声,使得信号失真,并且随着距离的增加,信号变得更弱,传输的距离也变得受限,现有技术采用的是增加中继光放大器,但是中继光放大器会引入ASE噪声,其放大作用会对信号造成二次伤害。为了降低光纤通信中信道的噪声和中继光放大器引入的ASE噪声,本发明实施例对非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算,得到信道噪声,然后对NFDM信号进行噪声补偿,得到噪声补偿离散谱系数,以使得降低光纤通信中信道噪声的目的,从而提高通信质量。

[0068] 为了得到噪声补偿离散谱系数,所述对所述非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,得到噪声补偿离散谱系数包括如下步骤:

[0069] 步骤S201、根据所述非线性离散谱信号,得到离散谱特征值、离散谱系数;其中,所述离散谱系数包含训练序列离散谱系数和传输符号序列离散谱系数;

[0070] 步骤S202、根据所述离散谱特征值,得到特征值噪声集;

[0071] 步骤S203、根据所述特征值噪声集和所述训练序列离散谱系数,得到候选特征值噪声集,幅度噪声补偿系数和相位噪声补偿系数;

[0072] 步骤S204、根据所述候选特征值噪声集、所述离散谱系数、所述幅度噪声补偿系数和所述相位噪声补偿系数,得到噪声补偿离散谱系数。

[0073] 具体地,根据所述非线性离散谱信号,就可以得到离散谱特征值 $\lambda$ 和离散谱系数 $b$ ,记第 $i$ 个符号的离散谱特征值和谱系数为 $\{\lambda_i, b(\lambda_i)\}$ 。其中,所述离散谱系数包含训练序列离散谱系数和传输符号序列离散谱系数;实际处理过程中,通过在传输符号前添加一段已知的符号序列,其组成的符号序列是经过NFDM调制的NFDM信号,那么接收端对NFDM信号进行NFT处理后形成的离散谱系数就包含与传输符号对应的传输符号序列离散谱系数和与已知的符号序列对应的训练序列离散谱系数。然后,根据离散谱特征值 $\lambda$ 又可以得到特征值噪声集 $\Delta\lambda$ ,其中, $\Delta\lambda$ 是特征值噪声集 $\{\Re(\Delta\lambda), \Im(\Delta\lambda)\}$ , $\Delta\lambda$ 是 $M*N$ 的矩阵。接着,根据所述特征值噪声集 $\Delta\lambda$ 和所述训练序列离散谱系数 $b$ ,得到候选特征值噪声集 $\overline{\Delta\lambda}$ ,幅度噪声补偿系数 $c_a$ 和相位噪声补偿系数 $c_p$ 。相应的,为了得到候选特征值噪声集 $\overline{\Delta\lambda}$ ,幅度噪声补偿系数 $c_a$ 和相位噪声补偿系数 $c_p$ ,所述根据所述特征值噪声集和所述训练序列离散谱系数,得到候选特征值噪声集 $\overline{\Delta\lambda}$ ,幅度噪声补偿系数和相位噪声补偿系数包括如下步骤:获取真实训练序列离散谱系数;根据所述训练序列离散谱系数和所述真实训练序列离散谱系数,得到离散谱系数幅度差值和离散谱系数相位差值;计算所述离散谱系数幅度差值和所述离散谱系数相位差值与相邻符号的噪声相关性,得到噪声相关性绝对值;

[0074] 将满足所述噪声相关性绝对值大于预设值的所述特征值噪声集作为候选特征值噪声集;

[0075] 将所述候选特征值噪声集代入到多符号LMMSE的计算公式中,得到幅度噪声补偿系数和相位噪声补偿系数。

[0076] 具体地,先获取真实训练序列离散谱系数;然后根据所述训练序列离散谱系数和所述真实训练序列离散谱系数,得到离散谱系数幅度差值和离散谱系数相位差值;实际中,当发射端发射训练序列后,接收端是可以知道训练序列的,也就可以得到真实训练序列离散谱系数,而所述训练序列离散谱系数是接收端接收到的训练序列经过NFT变化得到的,此时,得到所述训练序列离散谱系数和所述真实训练序列离散谱系数后,就可以得到离散谱系数幅度差值和离散谱系数相位差值。为了得到离散谱系数幅度差值和离散谱系数相位差值,所述根据所述训练序列离散谱系数和所述真实训练序列离散谱系数,得到离散谱系数幅度差值和离散谱系数相位差值包括如下步骤:计算所述训练序列离散谱系数,得到与所述训练序列离散谱系数对应的第一幅度值和第一相位值;计算所述真实训练序列离散谱系数,得到与所述真实训练序列离散谱系数对应的第二幅度值和第二相位值;将所述第一幅度值减去所述第二幅度值,得到离散谱系数幅度差值;将所述第一相位值减去所述第二相位值,得到离散谱系数相位差值。

[0077] 具体地,所述训练序列离散谱系数和所述真实训练序列离散谱系数都是复数,因此不能通过直接相减得到差值,要先计算所述训练序列离散谱系数的第一幅度值和第一相位值,然后,计算所述真实训练序列离散谱系数,得到与所述真实训练序列离散谱系数对应的第二幅度值和第二相位值;由于根据复数计算幅度值和相位值是公知常识,在此不再详述。最后,将所述第一幅度值减去所述第二幅度值,得到离散谱系数幅度差值 $\Delta|\bar{b}|$ ,将所述

第一相位值减去所述第二相位值,得到离散谱系数相位差值 $\Delta\angle\tilde{b}$ 。

[0078] 得到离散谱系数幅度差值 $\Delta|\tilde{b}|$ 和离散谱系数相位差值 $\Delta\angle\tilde{b}$ 后,还要计算相邻符号的噪声相关性,得到噪声相关性绝对值;也即计算特征值噪声集 $\Delta\lambda = \{\Re(\Delta\lambda), \Im(\Delta\lambda)\}$ 中对应的本符号的噪声的相关性,此外,噪声相关性除了考虑 $b(\lambda_i)$ 所属的特征值噪声 $\Delta\lambda_i$ 外,还同时考虑了相邻符号中的特征值噪声 $\Delta\lambda_{i-1}$ 和 $\Delta\lambda_{i+1}$ ,甚至还考虑了本符号对应的噪声集中前 $i-N$ 和后 $i+N$ 符号对应的噪声的相关性,其中, $N$ 取自然数 $1, 2, 3, 4, \dots$ 。举例说明,当实际中噪声考虑的是相邻符号中的噪声 $\Delta\lambda_{i-1}$ 和 $\Delta\lambda_{i+1}$ ,由于噪声是复数,分为实部和虚部,这样当 $\Delta|\tilde{b}|$ 和 $\Delta\angle\tilde{b}$ 与特征值噪声集 $\{\Re(\Delta\lambda), \Im(\Delta\lambda)\}$ 中对应的相邻噪声的相关性共有六组噪声相关性绝对值。得到噪声相关性绝对值后,将满足所述噪声相关性绝对值大于预设值的所述特征值噪声集作为候选特征值噪声集;将所述候选特征值噪声集代入到多符号LMMSE的计算公式中,得到幅度噪声补偿系数和相位噪声补偿系数。例如:如果噪声相关性绝对值大于预设值的有四组,预设值为 $0.1$ ,则将这四组候选特征值噪声集 $\overline{\Delta\lambda}$ ,和 $\Delta|\tilde{b}|$ 以及 $\Delta\angle\tilde{b}$ 代入到多符号LMMSE的计算公式中,其中,多符号LMMSE的计算公式如下:

$$[0079] \quad c_a = \mathbf{E}(\Delta|\tilde{b}|\overline{\Delta\lambda})\mathit{cov}^{-1}(\overline{\Delta\lambda}^T\overline{\Delta\lambda})$$

$$[0080] \quad c_p = \mathbf{E}(\Delta\angle\tilde{b}\overline{\Delta\lambda})\mathit{cov}^{-1}(\overline{\Delta\lambda}^T\overline{\Delta\lambda})$$

[0081] 也即,得到幅度噪声补偿系数 $c_a$ 和相位噪声补偿系数 $c_p$ 。

[0082] 得到幅度噪声补偿系数 $c_a$ 和相位噪声补偿系数 $c_p$ 后,根据所述候选特征值噪声集、所述离散谱系数、所述幅度噪声补偿系数和所述相位噪声补偿系数,得到噪声补偿离散谱系数。相应的,为了得到噪声补偿离散谱系数,所述根据所述候选特征值噪声集、所述离散谱系数、所述幅度噪声补偿系数和所述相位噪声补偿系数,得到噪声补偿离散谱系数包括如下步骤:根据所述离散谱系数,得到离散谱系数幅度和离散谱系数相位;将所述离散谱系数幅度减去所述幅度噪声补偿系数与所述候选特征值噪声集的积,得到噪声补偿离散谱系数幅度;将所述离散谱系数相位减去所述相位噪声补偿系数与所述候选特征值噪声集的积,得到噪声补偿离散谱系数相位;根据所述噪声补偿离散谱系数幅度和所述噪声补偿离散谱系数相位,得到噪声补偿离散谱系数。

[0083] 具体地,前述已经根据非线性离散谱信号得到离散谱系数,为了降低噪声,要根据所述离散谱系数,得到离散谱系数幅度 $\tilde{b}(\lambda)$ 和离散谱系数相位 $\angle\tilde{b}$ ,然后,将所述离散谱系数幅度 $\tilde{b}(\lambda)$ 减去所述幅度噪声补偿系数 $c_a$ 与满足噪声相关性预设条件的所述候选特征值噪声集 $\overline{\Delta\lambda}$ 的积,得到噪声补偿离散谱系数幅度;将所述离散谱系数相位 $\angle\tilde{b}$ 减去所述相位噪声补偿系数 $c_p$ 与所述候选特征值噪声集 $\overline{\Delta\lambda}$ 的积,得到噪声补偿离散谱系数相位;具体的补偿公式如下:

$$[0084] \quad |\bar{b}(\lambda)| = |\tilde{b}(\lambda)| - c_a\overline{\Delta\lambda}$$

$$[0085] \quad \angle\bar{b} = \angle\tilde{b} - c_p\overline{\Delta\lambda}$$

[0086] 得到噪声补偿离散谱系数幅度 $\bar{b}(\lambda)$ 和噪声补偿离散谱系数相位 $\angle\bar{b}$ ,最后根据所述噪声补偿离散谱系数幅度和所述噪声补偿离散谱系数相位,计算得到噪声补偿离散谱系数,得到的噪声补偿离散谱系数是个复数,由于根据幅度和相位计算复数是现有技术,因此,此处的计算不做详细论述。

[0087] 得到噪声补偿离散谱系数后,执行如图1所示的步骤S300、将所述噪声补偿离散谱系数进行多符号联合概率分布判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数,以使得所述NFDM信号的质量提升。

[0088] 具体地,为了提高光纤通信信道的质量,需要对接收到的信号进行更为高效的判决,为此,本发明实施例采用多符号联合概率分布判决的方法,对所述噪声补偿离散谱系数进行判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数,图2展示了在不同距离下,54Gbit/s的NFDM离散谱调制信号,在应用不同技术时的误码率。相比与传统技术,该发明中的方法给NFDM信号的离散频谱系数带来了十分显著的性能提升。

[0089] 为了得到判决后的传输符号序列离散谱系数,所述将所述噪声补偿离散谱系数进行多符号联合概率分布判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数包括如下步骤:

[0090] 步骤S301、根据所述噪声补偿离散谱系数,得到传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数和训练序列噪声补偿离散谱系数;

[0091] 步骤S302、根据所述训练序列噪声补偿离散谱系数和所述真实训练序列离散谱系数,得到多符号的联合概率分布函数;

[0092] 步骤S303、根据所述多符号的联合概率分布函数,对所述传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数进行判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数。

[0093] 具体地,先根据所述噪声补偿离散谱系数,得到传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数的 $b$ 和训练序列噪声补偿离散谱系数 $\bar{b}$ ;再根据所述训练序列噪声补偿离散谱系数 $\bar{b}$ 和所述真实训练序列离散谱系数的 $b$ ,得到多符号的联合概率分布函数,根据所述多符号的联合概率分布函数,对所述传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数进行判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数 $\hat{b}$ ,相应的,为了得到判决后的传输符号序列离散谱系数 $\hat{b}$ ,所述根据所述多符号的联合概率分布函数,对所述传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数进行判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数包括如下步骤:根据所述多符号的联合概率分布函数,求解出所述传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数的似然概率值;具体公式如下:

$$[0094] \quad \{\hat{b}_i(\hat{\lambda}_i), \hat{b}_{i+1}(\hat{\lambda}_{i+1})\} = \underset{r,s \in \{1, \dots, M_b\}^2}{\operatorname{argmax}} P(\bar{b}_i, \bar{b}_{i+1} | b_i = \psi_b(r), b_{i+1} = \psi_b(s))$$

[0095] 最后,选取最大的所述似然概率值对应的所述传输符号序列噪声补偿信号离散谱系数作为判决后的离散谱系数。

[0096] 示例性设备

[0097] 如图3中所示,本发明实施例提供一种基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理装置,所述装置包括非线性离散谱信号获取单元401,噪声补偿离散谱系数获取单元402,判决后的传输符号序列离散谱系数获取单元403,其中:

[0098] 非线性离散谱信号获取单元401,用于接收光纤通信的NFDM信号,并对所述NFDM信

号进行NFT变换,得到非线性离散谱信号;

[0099] 噪声补偿离散谱系数获取单元402,用于对所述非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,得到噪声补偿离散谱系数;

[0100] 判决后的传输符号序列离散谱系数获取单元403,用于将所述噪声补偿离散谱系数进行多符号联合概率分布判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数,以使得所述NFD M信号的质量提升。

[0101] 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4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基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法。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。

[0102] 本领域技术人员可以理解,图4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。

[0103] 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:

[0104] 接收光纤通信的NFD M信号,并对所述NFD M信号进行NFT变换,得到非线性离散谱信号;

[0105] 对所述非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,得到噪声补偿离散谱系数;

[0106] 将所述噪声补偿离散谱系数进行多符号联合概率分布判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数,以使得所述NFD M信号的质量提升。

[0107] 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。

[0108] 综上所述,本发明公开了基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法,所述方法包括:

[0109] 接收光纤通信的NFDM信号,并对所述NFDM信号进行NFT变换,得到非线性离散谱信号;对所述非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,得到噪声补偿离散谱系数;将所述噪声补偿离散谱系数进行多符号联合概率分布判决,得到判决后的传输符号序列离散谱系数,以使得所述NFDM信号的质量提升。本发明实施例通过对接收的光纤通信中的NFDM信号中的非线性离散谱信号进行多符号LMMSE计算和噪声补偿,并进行多符号联合概率分布判决,以提升NFDM信号的质量。

[0110] 应当理解的是,本发明公开了一种基于非线性离散谱信号的多符号联合数字信号处理方法,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。

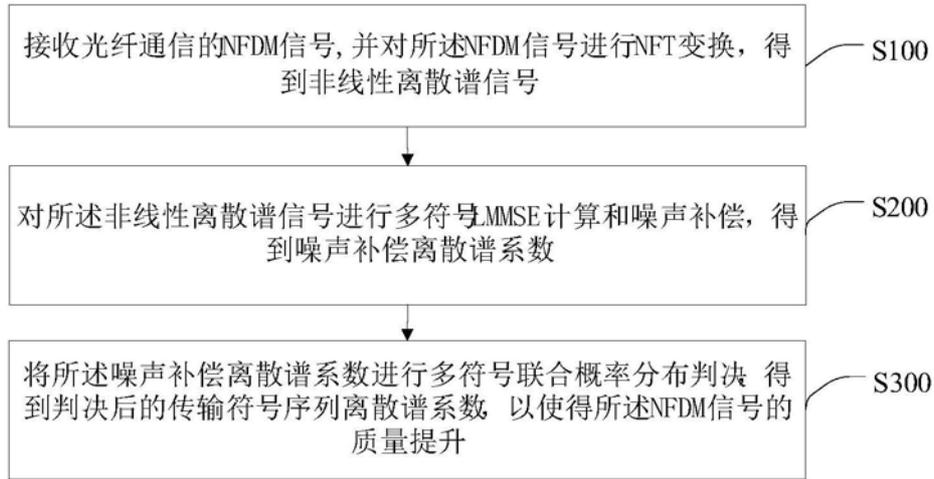


图1

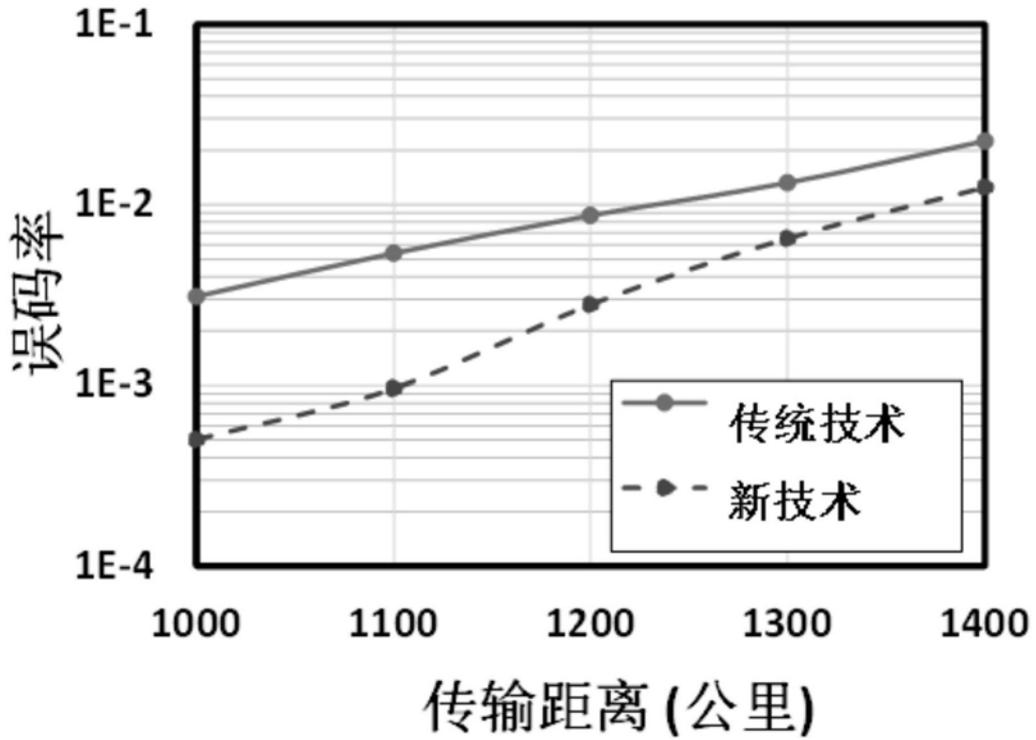


图2



图3

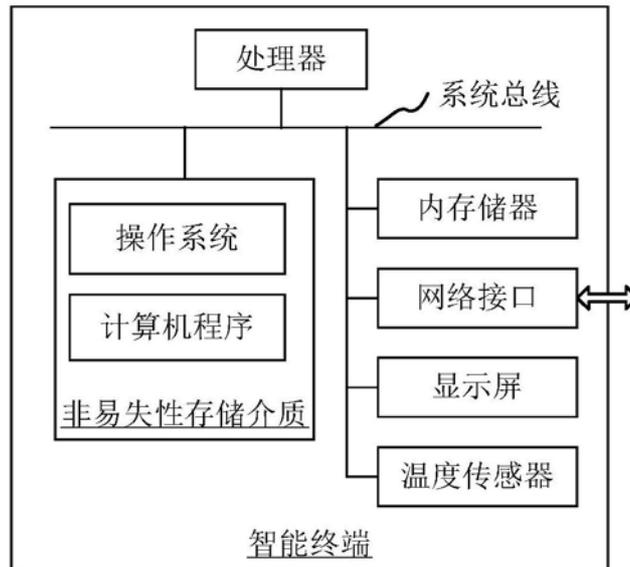


图4