



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110557208 A

(43)申请公布日 2019.12.10

(21)申请号 201910841622.X

(22)申请日 2019.09.06

(71)申请人 中国电子科技集团公司第二十八研究所

地址 210002 江苏省南京市秦淮区苜蓿园东街1号

(72)发明人 周洋 陆文广 朱辉 樊县林 梅发国

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所 (普通合伙) 32204

代理人 刘文闻

(51)Int.Cl.

H04B 17/336(2015.01)

H04L 27/00(2006.01)

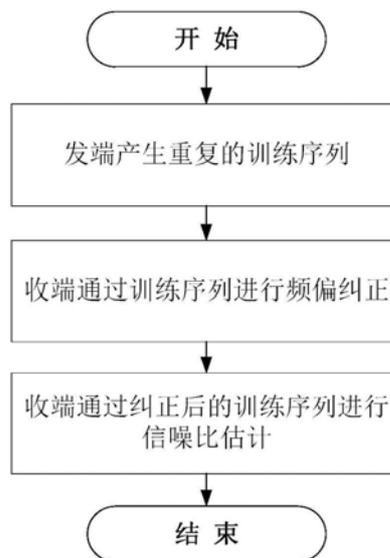
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

估计宽带链波形信噪比的方法及计算机存储介质

(57)摘要

本发明公开了一种估计宽带链波形信噪比的方法及计算机存储介质,所述方法包括,发送端将偶数子载波空置,奇数子载波设置固定的ZC序列,通过傅里叶逆变换获取两个重复的训练序列;在收端先利用两个重复的训练序列进行频偏估计,产生补偿序列对接收数据进行频偏纠正,然后计算同步头偶数子载波内接收数据的平均功率,记为噪声功率,计算奇数子载波内接收数据的平均功率,记为信号功率,二者的比值即为接收信噪比。本发明解决了现有方法计算复杂度高、没有考虑多普勒频偏影响的不足,能够有效且较为简单的估计宽带链波形的接收信噪比,取得较好的信噪比估计性能并且有利于工程实现。



1. 一种估计宽带链波形信噪比的方法,其特征在于,包括以下步骤:

- (1) 发送端产生两个重复的训练序列并发送;
- (2) 接收端接收训练序列,对训练序列进行频偏纠正;
- (3) 接收端通过频偏纠正后的训练序列进行信噪比估计。

2. 根据权利要求1所述的估计宽带链波形信噪比的方法,其特征在于,步骤(1)具体为:

(1.1) 将发送信号的频域数据块记为  $\mathbf{X} = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]^T$ , 其中N为子载波的个数,  $\top$  为转置;

(1.2) 将X的偶数子载波空置,奇数子载波插入长度为  $L = N/2$  的ZC序列,具体如下式所示:

$$X_k = \begin{cases} X_d(k/2), & k \in \mathcal{R}_d \\ 0, & k \in \mathcal{R}_0 \end{cases},$$

其中,  $X_k$  为第k个子载波上的数据,  $\mathcal{R}_d = \{0, 2, \dots, N-2\}$  和  $\mathcal{R}_0 = \{1, 3, \dots, N-1\}$  分别为奇数子载波和偶数子载波的指示序列,

$$X_d(l) = e^{j\pi l^2 / L}, l = 0, 1, \dots, L-1$$

$j = \sqrt{-1}$ , 为虚数单位;

(1.3) 通过傅里叶逆变换将X变换到时域得到两个重复的训练序列,具体为:

$$\mathbf{x} = \text{IFFT}(\mathbf{X}),$$

其中,  $\mathbf{x}$  为形成的训练序列,  $\mathbf{x} = [x_0, x_1, \dots, x_{N-1}]^T$ ;

(1.4) 发送训练序列 $\mathbf{x}$ 。

3. 根据权利要求2所述的估计宽带链波形信噪比的方法,其特征在于,步骤(2)具体为:

(2.1) 接收端接收信号,接收信号为  $\mathbf{y} = [y_0, y_1, \dots, y_{N-1}]^T$ ,  $y_n$  为  $x_n$  经过传输信道后接收到的数据,将 $\mathbf{y}$ 按照如下式子进行相关求和得到:

$$\Psi = \sum_{n=0}^{L-1} y_n (y_{n+L})^*,$$

其中,  $y_n$  为  $\mathbf{y}$  中的第n个数据, \* 表示共轭;

(2.2) 计算  $\Psi$  的相位  $\angle \Psi$ , 产生频偏补偿序列  $e^{-jn\angle \Psi}$ ;

(2.3) 对  $\mathbf{y}$  进行频偏补偿获得频偏纠正后的训练序列  $\hat{\mathbf{y}} = [\hat{y}_0, \hat{y}_1, \dots, \hat{y}_{N-1}]^T$ , 如下式所示

$$\hat{y}_n = y_n e^{-jn\angle \Psi},$$

其中,  $\hat{y}_n$  为  $\hat{\mathbf{y}}$  中的第n个数据。

4. 根据权利要求3所述的估计宽带链波形信噪比的方法,其特征在于,步骤(3)具体为:

(3.1) 通过傅里叶变换将  $\hat{\mathbf{y}}$  变换到频域,得到频域数据块  $\hat{\mathbf{Y}} = [\hat{Y}_0, \hat{Y}_1, \dots, \hat{Y}_{N-1}]^T$ ,  $\hat{Y}_n$  为  $\hat{\mathbf{Y}}$  的第n点数据;

(3.2) 将奇数子载波的数据提取出来,求出其平均功率即为噪声功率  $P_N$ , 如下所示:

$$P_N = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N/2-1} |\hat{Y}_{2l+1}|^2,$$

(3.3) 将偶数子载波的数据提取出来, 求出其平均功率的两倍即为信号和噪声的功率和 $P_S$ , 如下所示:

$$P_S = \frac{2}{N} \sum_{l=0}^{N/2-1} |\hat{Y}_{2l}|^2,$$

(3.4) 计算信噪比, 信噪比SNR表示为:

$$SNR = 10 * \log_{10} \left( \frac{P_S - P_N}{P_N} \right).$$

5. 一种计算机存储介质, 其上存储有计算机程序, 其特征在于: 所述计算机程序在被计算机处理器执行时实现权利要求1至4任一项所述的方法。

## 估计宽带链波形信噪比的方法及计算机存储介质

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种信噪比估计方法及计算机存储介质,特别是涉及一种估计宽带链波形信噪比的方法及计算机存储介质。

### 背景技术

[0002] 对于宽带链系统而言,信噪比估计对系统有着非常重要的作用,首先接收信噪比可以反映接收信号的质量,系统根据接收信噪比的大小来选择恰当的星座映射方式和编码速率以提高系统吞吐量,其次,在最小均方差均衡中需要利用接收信噪比完成均衡。在期刊《电力自动化设备》2013年10月发表的“双衰落信道下OFDM信噪比估计算法”一文中,作者提出了一种新的估计OFDM信噪比方法,该方法在接收端将本地PN序列与接收导频进行相关运算,结合MMSE方法,得到较高精确的信噪比估计值,该方法需要结合MMSE算法来估计信噪比,计算复杂度较高。在期刊《计算机工程》2010年8月发表的“适用于宽带电力线通信的OFDM信噪比估计方法”一文中,作者提出了一种适用于电力线信道的信噪比估计方法,该算法通过使用虚拟子载波或者保护边带的虚载波,可以灵活的进行数据辅助估计或者盲估计,该算法没有考虑多普勒频偏的影响,也没有考虑峰均功率比对信号失真的影响。

### 发明内容

[0003] 发明目的:本发明要解决的技术问题是提供一种估计宽带链波形信噪比的方法及计算机存储介质,解决了现有方法计算复杂度高、没有考虑多普勒频偏影响的不足,能够有效且较为简单的估计宽带链波形的接收信噪比,取得较好的信噪比估计性能并且有利于工程实现。

[0004] 技术方案:本发明所述的估计宽带链波形信噪比的方法,包括以下步骤:

[0005] (1) 发送端产生两个重复的训练序列并发送;

[0006] (2) 接收端接收训练序列,对训练序列进行频偏纠正;

[0007] (3) 接收端通过频偏纠正后的训练序列进行信噪比估计。

[0008] 进一步的,步骤(1)具体为:

[0009] (1.1) 将发送信号的频域数据块记为  $\mathbf{X} = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]^T$ , 其中N为子载波的个数,  $\top$  为转置;

[0010] (1.2) 将X的偶数子载波空置,奇数子载波插入长度为  $L = N/2$  的ZC序列,具体如下式所示:

$$[0011] \quad X_k = \begin{cases} X_d(k/2), & k \in \mathcal{R}_d \\ 0, & k \in \mathcal{R}_0 \end{cases},$$

[0012] 其中,  $X_k$  为第k个子载波上的数据,  $\mathcal{R}_d = \{0, 2, \dots, N-2\}$  和  $\mathcal{R}_0 = \{1, 3, \dots, N-1\}$  分别为奇数子载波和偶数子载波的指示序列,

$$[0013] \quad X_d(l) = e^{j\pi l^2 / L}, l = 0, 1, \dots, L-1$$

[0014]  $j = \sqrt{-1}$ , 为虚数单位;

[0015] (1.3) 通过傅里叶逆变换将X变换到时域得到两个重复的训练序列, 具体为:

[0016]  $x = \text{IFFT}(X)$ ,

[0017] 其中, x为形成的训练序列,  $\mathbf{x} = [x_0, x_1, \dots, x_{N-1}]^T$ ;

[0018] (1.4) 发送训练序列x。

[0019] 进一步的, 步骤(2) 具体为:

[0020] (2.1) 接收端接收信号, 接收信号为  $\mathbf{y} = [y_0, y_1, \dots, y_{N-1}]^T$ ,  $y_n$ 为 $x_n$ 经过传输信道后接收到的数据, 将y按照如下式子进行相关求和得到:

$$[0021] \quad \Psi = \sum_{n=0}^{L-1} y_n (y_{n+L})^*,$$

[0022] 其中,  $y_n$ 为y中的第n个数据, \*表示共轭;

[0023] (2.2) 计算 $\Psi$ 的相位 $\angle \Psi$ , 产生频偏补偿序列 $e^{-jn\angle \Psi}$ ;

[0024] (2.3) 对y进行频偏补偿获得频偏纠正后的训练序列  $\hat{\mathbf{y}} = [\hat{y}_0, \hat{y}_1, \dots, \hat{y}_{N-1}]^T$ , 如下式所示

$$[0025] \quad \hat{y}_n = y_n e^{-jn\angle \Psi},$$

[0026] 其中,  $\hat{y}_n$ 为 $\hat{\mathbf{y}}$ 中的第n个数据。

[0027] 进一步的, 步骤(3) 具体为:

[0028] (3.1) 通过傅里叶变换将 $\hat{\mathbf{y}}$ 变换到频域, 得到频域数据块  $\hat{\mathbf{Y}} = [\hat{Y}_0, \hat{Y}_1, \dots, \hat{Y}_{N-1}]^T$ ,  $\hat{Y}_n$ 为 $\hat{\mathbf{y}}$ 的第n点数据;

[0029] (3.2) 将奇数子载波的数据提取出来, 求出其平均功率即为噪声功率 $P_N$ , 如下所示:

$$[0030] \quad P_N = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N/2-1} |\hat{Y}_{2l+1}|^2,$$

[0031] (3.3) 将偶数子载波的数据提取出来, 求出其平均功率的两倍即为信号和噪声的功率和 $P_S$ , 如下所示:

$$[0032] \quad P_S = \frac{2}{N} \sum_{l=0}^{N/2-1} |\hat{Y}_{2l}|^2,$$

[0033] (3.4) 计算信噪比, 信噪比SNR表示为:

$$[0034] \quad SNR = 10 * \log_{10} \left( \frac{P_S - P_N}{P_N} \right).$$

[0035] 本发明所述的计算机存储介质, 其上存储有计算机程序, 其特征在于: 所述计算机程序在被计算机处理器执行时实现估计宽带链波形信噪比的方法。

[0036] 有益效果: 本发明提出了估计宽带链波形信噪比的方法, 该方法的基本思想是发端在每时隙的头部插入一个同步头, 收端利用该同步头完成信噪比的估计。同步头产生的

方式是将偶数子载波空置,将预先生成的ZC (Zad-Off Chu) 序列插入奇数子载波,然后通过傅里叶逆变换获得两个重复的训练序列,即为同步头。收端通过将奇数子载波和偶数子载波上数据的平均功率求出来,计算二者的比值,即为接收信噪比。本发明所提的信噪比估计方法,计算复杂度低,易于工程实现,且考虑了多普勒频偏和峰均功率比对信噪比估计的影响,可以取得较好的估计性能。

### 附图说明

[0037] 图1是本实施方式的方法流程图;

[0038] 图2是本实施方式的模块示意图。

### 具体实施方式

[0039] 本发明的方法中,发送端将偶数子载波空置,奇数子载波设置固定的ZC (Zad-Off Chu) 序列,通过傅里叶逆变换 (Inverse fast Fourier transform, IFFT) 获取两个重复的训练序列;在收端先利用两个重复的训练序列进行频偏估计,产生补偿序列对接收数据进行频偏纠正,然后计算同步头偶数子载波内接收数据的平均功率,记为噪声功率,计算奇数子载波内接收数据的平均功率,记为信号功率,二者的比值即为接收信噪比。具体实施方式如图1和图2所示。

[0040] (1) 发送端产生两个重复的训练序列并发送

[0041] (1.1) 频域数据块记为  $X = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]^T$ , 其中N为子载波的个数,  $T$  为转置,  $X_k$  为第k个子载波上的数据, 定义  $\mathcal{R}_d = \{0, 2, \dots, N-2\}$  和  $\mathcal{R}_o = \{1, 3, \dots, N-1\}$  分别为奇数子载波和偶数子载波的指示序列。本实施例中,子载波数  $N=512$ , 星座映射方式为4QAM。

[0042] (1.2) 将偶数子载波空置,奇数子载波插入长度为  $L=N/2$  的ZC序列,具体如下式所示:

$$[0043] \quad X_k = \begin{cases} X_d(k/2), & k \in \mathcal{R}_d \\ 0, & k \in \mathcal{R}_o \end{cases}$$

[0044] 其中k为第k个子载波,  $X_d(k)$  为ZC序列中的元素,其取值如下所示:

$$[0045] \quad X_d(l) = e^{j\pi l^2 / L}, l = 0, 1, \dots, L-1.$$

[0046] 其中,  $j = \sqrt{-1}$  为虚数单位;

[0047] (1.3) 通过傅里叶逆变换 (IFFT) 将频域数据块X变换到时域得到两个重复的训练序列,即x由前半和后半相同,均由两个同样的序列构成,具体可表示为  $x = \text{IFFT}(X)$

[0048] 其中,  $x = [x_0, x_1, \dots, x_{N-1}]^T$ ,  $x_n$  为x的第n点数据;

[0049] 将序列x发送。

[0050] (2) 通过训练序列估计频偏,再进行频偏纠正

[0051] (2.1) 记收端的接收信号为  $y = [y_0, y_1, \dots, y_{N-1}]^T$ ,  $y_n$  为  $x_n$  经过传输信道后接收到的数据,将y按照如下的式子进行相关求和得到:

$$[0052] \quad \Psi = \sum_{n=0}^{L-1} y_n (y_{n+L})^*$$

[0053] 其中,\*表示共轭;

[0054] (2.2) 计算 $\Psi$ 的相位 $\angle\Psi$ ,根据 $\angle\Psi = 2\pi \Delta fLT$ ,可以获知多普勒频偏 $\Delta f$ 为

$$[0055] \quad \Delta f = \frac{\angle\Psi}{2\pi LT},$$

[0056] 其中,T为采样间隔,即符号速率的倒数;

[0057] (2.3) 根据 $\angle\Psi$ ,产生频偏补偿序列 $e^{-jn\angle\Psi}$ ;

[0058] (2.4) 对y进行频偏补偿获得 $\hat{y} = [\hat{y}_0, \hat{y}_1, \dots, \hat{y}_{N-1}]^T$ ,如下式所示

$$[0059] \quad \hat{y}_n = y_n e^{-jn\angle\Psi}.$$

[0060] (3) 通过频偏纠正后的训练序列进行信噪比估计

[0061] (3.1) 通过傅里叶变换 (fast Fourier transform,FFT) 将 $\hat{y}$ 变换到频域,得到频域数据块 $\hat{Y} = [\hat{Y}_0, \hat{Y}_1, \dots, \hat{Y}_{N-1}]^T$ , $\hat{Y}_n$ 为第n点数据;

[0062] (3.2) 将奇数子载波的数据提取出来,求出其平均功率即为噪声功率 $P_N$ ,如下所示:

$$[0063] \quad P_N = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N/2-1} |\hat{Y}_{2l+1}|^2;$$

[0064] (3.3) 将偶数子载波的数据提取出来,求出其平均功率的两倍即为信号和噪声的功率和 $P_S$ ,如下所示:

$$[0065] \quad P_S = \frac{2}{N} \sum_{l=0}^{N/2-1} |\hat{Y}_{2l}|^2;$$

[0066] (3.4) 接收信噪比SNR可以表示为:

$$[0067] \quad SNR = 10 * \log_{10} \left( \frac{P_S - P_N}{P_N} \right).$$

[0068] 仿真结果表明,本方法进行频偏纠正后,信噪比估计可以正常工作,随着信噪比的增大,估计误差越来越小,而且不受频偏大小的影响。

[0069] 本发明实施例如果以软件功能模块的形式实现并作为独立的产品销售或使用,也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,本发明实施例的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的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)执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分。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)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。这样,本发明实例不限制于任何特定的硬件和软件结合。

[0070] 相应的,本发明的实施例还提供了一种计算机存储介质,其上存储有计算机程序。当所述计算机程序由处理器执行时,可以实现前述估计宽带链波形信噪比的方法。例如,该计算机存储介质为计算机可读存储介质。

[0071] 本领域内的技术人员应明白,本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机

可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0072] 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。

[0073] 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。

[0074] 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。

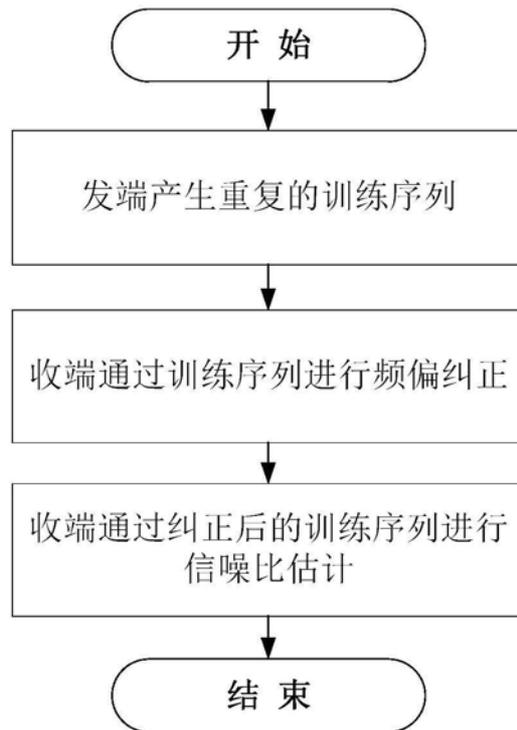


图1

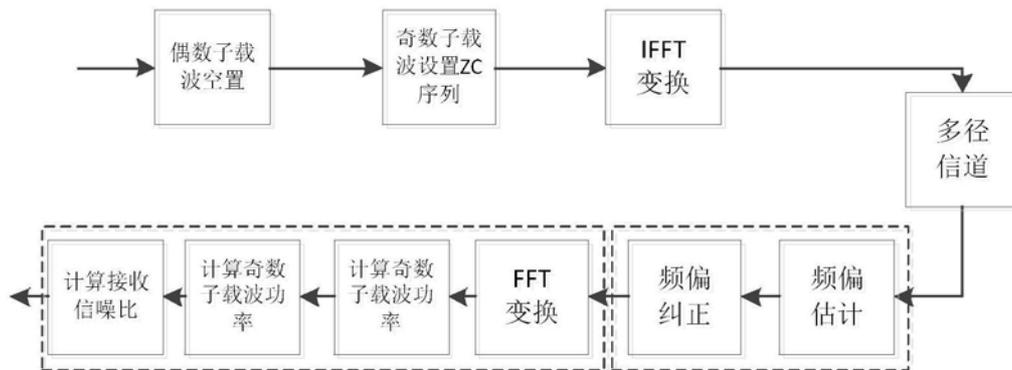


图2