

(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 2 月 18 日 (18.02.2021)



(10) 国际公布号
WO 2021/027591 A1

- (51) 国际专利分类号:
H04L 27/00 (2006.01) H04L 27/26 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2020/105990
- (22) 国际申请日: 2020 年 7 月 30 日 (30.07.2020)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201910747864.2 2019年8月14日 (14.08.2019) CN
- (71) 申请人: 北京智芯微电子科技有限公司(BEIJING SMARTCHIP MICROELECTRONICS TECHNOLOGY COMPANY LIMITED) [CN/CN]; 中国北京市海淀区西小口路 66 号中关村东升科技园 A 区 3 号楼, Beijing 100192 (CN)。 国

网信息通信产业集团有限公司 (STATE GRID INFORMATION & TELECOMMUNICATION GROUP CO., LTD) [CN/CN]; 中国北京市昌平未来科技城北区国网智能电网研究院内 C 座 4 层, Beijing 102211 (CN)。 国家电网有限公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街 86 号, Beijing 100031 (CN)。

- (72) 发明人: 赵东艳 (ZHAO, Dongyan); 中国北京市海淀区西小口路 66 号中关村东升科技园 A 区 3 号楼, Beijing 100192 (CN)。 唐晓柯 (TANG, Xiaoke); 中国北京市海淀区西小口路 66 号中关村东升科技园 A 区 3 号楼, Beijing 100192 (CN)。 胡毅 (HU, Yi); 中国北京市海淀区西小口路 66 号中关村东升科技园 A 区 3 号楼, Beijing 100192

(54) Title: REPETITIVE SEQUENCE-BASED FREQUENCY OFFSET ESTIMATION METHOD AND SYSTEM

(54) 发明名称: 基于重复序列的频偏估计方法及系统

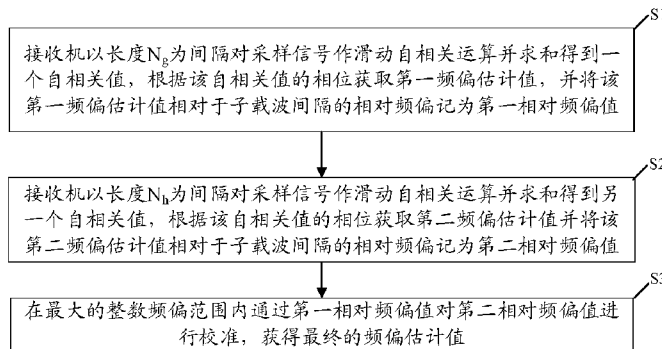


图 1

- S1 A RECEIVER PERFORMS SLIDING AUTOCORRELATION OPERATION ON SAMPLING SIGNALS WITH A LENGTH N_g AS AN INTERVAL AND PERFORMS SUMMATION TO OBTAIN AN AUTOCORRELATION VALUE, OBTAINS A FIRST FREQUENCY OFFSET ESTIMATION VALUE ACCORDING TO THE PHASE OF THE AUTOCORRELATION VALUE, AND RECORDS THE RELATIVE FREQUENCY OFFSET OF THE FIRST FREQUENCY OFFSET ESTIMATION VALUE WITH RESPECT TO A SUBCARRIER SPACING AS A FIRST RELATIVE FREQUENCY OFFSET VALUE
- S2 THE RECEIVER PERFORMS SLIDING AUTOCORRELATION OPERATION ON THE SAMPLING SIGNALS WITH A LENGTH N_h AS AN INTERVAL AND PERFORMS SUMMATION TO OBTAIN ANOTHER AUTOCORRELATION VALUE, OBTAINS A SECOND FREQUENCY OFFSET ESTIMATION VALUE ACCORDING TO THE PHASE OF THE AUTOCORRELATION VALUE, AND RECORDS THE RELATIVE FREQUENCY OFFSET OF THE SECOND FREQUENCY OFFSET ESTIMATION VALUE WITH RESPECT TO THE SUBCARRIER SPACING AS A SECOND RELATIVE FREQUENCY OFFSET VALUE
- S3 CALIBRATE THE SECOND RELATIVE FREQUENCY OFFSET VALUE BY MEANS OF THE FIRST RELATIVE FREQUENCY OFFSET VALUE IN A MINIMUM INTEGER FREQUENCY OFFSET RANGE TO OBTAIN A FINAL FREQUENCY OFFSET ESTIMATION VALUE

(57) Abstract: Disclosed in the present application are a repetitive sequence-based frequency offset estimation method and system. The method comprises: performing autocorrelation operation on sampling signals with a length N_g as an interval and performing summation to obtain a value, obtaining a first frequency offset estimation value according to the phase of the value, and recording the relative frequency offset of the first frequency offset estimation value with respect to a subcarrier spacing as a first relative frequency offset value, wherein $N_g = N/G$, N is the length of baseband Fourier transform, and G is an integer greater than 1; performing autocorrelation



(CN)。李铮(LI, Zheng); 中国北京市海淀区西小口路66号中关村东升科技园A区3号楼, Beijing 100192 (CN)。赵亚红(ZHAO, Yahong); 中国北京市海淀区西小口路66号中关村东升科技园A区3号楼, Beijing 100192 (CN)。赵旭(ZHAO, Xu); 中国北京市海淀区西小口路66号中关村东升科技园A区3号楼, Beijing 100192 (CN)。甘杰(GAN, Jie); 中国北京市海淀区西小口路66号中关村东升科技园A区3号楼, Beijing 100192 (CN)。张玉冰(ZHANG, Yubing); 中国北京市海淀区西小口路66号中关村东升科技园A区3号楼, Beijing 100192 (CN)。闫发军(YAN, Fajun); 中国北京市海淀区西小口路66号中关村东升科技园A区3号楼, Beijing 100192 (CN)。

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))。

(74) 代理人: 北京派特恩知识产权代理有限公司(CHINA PAT INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国北京市海淀区海淀南路21号中关村知识产权大厦B座2层, Beijing 100080 (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, IT, 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, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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,

operation on the sampling signals with a length N_h as an interval and performing summation to obtain another value, obtaining a second frequency offset estimation value according to the phase of the value, and recording the relative frequency offset of the second frequency offset estimation value with respect to the subcarrier spacing as a second relative frequency offset value, wherein $N_h = N * h$, and h is an integer greater than or equal to 1; and calibrating the second relative frequency offset value by means of the first relative frequency offset value. The frequency offset estimation method and system can improve the frequency offset estimation precision in a large frequency offset coverage range.

(57) 摘要: 本申请公开了一种基于重复序列的频偏估计方法及系统, 该方法包括: 以长度 N_g 为间隔对采样信号作自相关运算并求和得到一个值, 根据该值的相位获取第一频偏估计值并将该第一频偏估计值相对于子载波间隔的相对频偏记为第一相对频偏值, 其中, $N_g = N/G$, N 为基带傅里叶变换的长度, G 为大于1的整数; 以长度 N_h 为间隔对采样信号作自相关运算并求和得到另一个值, 根据该值的相位获取第二频偏估计值并将该第二频偏估计值相对于子载波间隔的相对频偏记为第二相对频偏值, 其中 $N_h = N * h$, h 为大于等于1的整数; 通过第一相对频偏值对第二相对频偏值进行校准。该频偏估计方法及系统能够提高大频偏覆盖范围下的频偏估计精度。

基于重复序列的频偏估计方法及系统

相关申请的交叉引用

本申请基于申请号为 201910747864.2、申请日为 2019 年 08 月 14 日的中国专利申请提出，并要求该中国专利申请的优先权，该中国专利申请的全部内容在此引入本申请作为参考。

技术领域

本申请是关于无线通信领域，特别是关于一种基于重复序列的频偏估计方法及系统。

背景技术

接收机中的初始同步捕获一般要求在收发信机之间的频率偏差情况下实现同步。为保证大频偏下的捕获以及同步，正交频分复用（Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM）系统中常使用重复序列。基于重复序列的同步方案常使用滑动自相关运算，在一定的初始频率偏差范围内，当接收窗滑动到重复信号的起始位置时，自相关幅度达到最大，此时自相关值的角度可以估计频偏。为降低对收发信机的晶振精确度的要求从而降低实现成本，通常要求捕获过程可以对抗较大的频偏，如 802.11a 和 802.15.4g 系统允许的频偏精度达 20ppm，则接收机在初始捕获过程中需要克服 40ppm 的频偏，为此根据系统工作的射频信号中心频率范围，802.11a 和 802.15.4g 分别设计了基本重复序列长度为 OFDM 有用符号长度（即基带 FFT 长度）的 1/4 和最低 1/8，则自相关运算的间隔通常设计为一个较小的长度，以达到初始捕获过程可对抗的最大频偏为 OFDM 系统子载波间隔的 2 倍和 4 倍。但这种大的频偏覆盖范围下的频偏估计精度受限。

基于重复序列的初始捕获/粗同步过程中获得的频偏估计精度依赖于使

用的总重复序列的长度、信噪比及定时偏差的大小。显然粗频偏估计的精度越高，对后续的基于自相关特性的精同步检测概率影响越小，对后续的数据解调过程的累计相位差也越小，越有利于提高后续数据解调的性能。

对 1.2M 带宽的 802.15.4 g MR-OFDM，其短训练序列的基本重复段为 1/8 的 FFT 长度（傅里叶变换长度），当系统工作在 870M 频段时，40 个 ppm 的频偏对应[-4, 4]个子载波间隔的频率捕获范围，接收机中通常使用前后连续的基本重复段（1/8 FFT 长度间隔的自相关）的自相关累加值来实现定时和频率估计。可以分析这种大的频偏覆盖范围相比小频偏覆盖范围的方案降低了同数据长度和同信噪比下的频偏估计精度。

公开于该背景技术部分的信息仅仅旨在增加对本申请的总体背景的理解，而不应当被视为承认或以任何形式暗示该信息构成已为本领域一般技术人员所公知的现有技术。

发明内容

本申请的目的在于提供一种基于重复序列的频偏估计方法及系统，其能够提高大频偏覆盖范围下的频偏估计精度。

为实现上述目的，本申请提供了一种基于重复序列的频偏估计方法，其包括：接收机以长度 N_g 为间隔对采样信号作滑动自相关运算并求和得到一个自相关值，根据该自相关值的相位获取第一频偏估计值，并将该第一频偏估计值相对于子载波间隔的相对频偏记为第一相对频偏值，其中， $N_g = \frac{N}{G}$ ，N 为基带傅里叶变换的长度，G 为大于 1 的整数；接收机以长度 N_h 为间隔对所述采样信号作滑动自相关运算并求和得到另一个自相关值，根据该自相关值的相位获取第二频偏估计值，并将该第二频偏估计值相对于子载波间隔的相对频偏记为第二相对频偏值，其中， $N_h = N * h$ ，h 为大于等于 1 的整数；在最大的整数频偏范围内通过所述第一相对频偏值对所述第

二相对频偏值进行校准，获得最终的频偏估计值。

在本申请的一实施方式中，在最大的整数频偏范围内通过所述第一相对频偏值对所述第二相对频偏值进行校准，获得最终的频偏估计值包括：

将所述最大的整数频偏范围扩大 h 倍，然后将扩大了 h 倍的整数频偏范围中的每个整数分别除以 h 获得多个商值；将所述第二相对频偏值与该多个商值分别求和值；将每个和值与所述第一相对频偏值进行比较，将与该第一相对频偏值最接近的和值作为最终的频偏估计值。

本申请还提供了一种基于重复序列的频偏估计系统，其包括：第一相对频偏值计算模块、第二相对频偏值计算模块、校准模块。

第一相对频偏值计算模块，用于以长度 N_g 为间隔对接收机的采样信号作滑动自相关运算并求和得到一个自相关值，根据该自相关值的相位获取第一频偏估计值，并将该第一频偏估计值相对于子载波间隔的相对频偏记为第一相对频偏值，其中， $N_g = \frac{N}{G}$ ， N 为基带傅里叶变换的长度， G 为大于 1 的整数；

第二相对频偏值计算模块，用于以长度 N_h 为间隔对所述采样信号作滑动自相关运算并求和得到另一个自相关值，根据该自相关值的相位获取第二频偏估计值，并将该第二频偏估计值相对于子载波间隔的相对频偏记为第二相对频偏值，其中， $N_h = N * h$ ， h 为大于等于 1 的整数；

校准模块与所述第一相对频偏值计算模块以及所述第二相对频偏值计算模块均相连，用于在最大的整数频偏范围内通过所述第一相对频偏值对所述第二相对频偏值进行校准，获得最终的频偏估计值。

在本申请的一实施方式中，所述校准模块包括：商值求取模块、和值求取模块、比较模块。商值求取模块用于将所述最大的整数频偏范围扩大 h 倍，然后将扩大了 h 倍的整数频偏范围中的每个整数分别除以 h 获得多个商值；和值求取模块与所述商值求取模块相耦合，用于将所述第二相对频

偏值与该多个商值分别求和值；比较模块与所述和值求取模块相耦合，用于将每个和值与所述第一相对频偏值进行比较，将与该第一相对频偏值最接近的和值作为最终的频偏估计值。

与现有技术相比，根据本申请的基于重复序列的频偏估计方法及系统，
5 首先以长度为 OFDM 的 FFT 长度的 $1/G$ (G 为大于 1 的整数) 为间隔对捕获的采样信号进行自相关运算以及累加运算，估计一个没有相位模糊度的第一相对频偏值，同时以 OFDM 的 FFT 长度的 h 倍为间隔 (h 为大于等于 1 的整数) 对捕获的采样信号进行自相关运算和累加运算，估计一个具有相位模糊度的但精度更高的第二相对频偏值，在最大的整数频偏范围内，通过没有相位模糊度的第一相对频偏值对具有相位模糊度的但精度更高的第二相对频偏值进行校准，从而获得更为精确的频偏估计值。本申请适用于
10 突发和连续 OFDM 系统的接收端频率同步过程，可以在大的频偏覆盖范围下提高频偏估计的精度。

附图说明

15 此处的附图被并入说明书中并构成本说明书的一部分，示出了符合本公开的实施例，并与说明书一起用于解释本公开的原理。

图 1 是根据本申请一实施方式的基于重复序列的频偏估计方法的流程图；

图 2 是根据本申请一实施方式的基于重复序列的频偏估计系统的模块
20 组成。

具体实施方式

下面结合附图，对本申请的具体实施方式进行详细描述，但应当理解本申请的保护范围并不受具体实施方式的限制。

除非另有其它明确表示，否则在整个说明书和权利要求书中，术语“包

括”或其变换如“包含”或“包括有”等等将被理解为包括所陈述的元件或组成部分，而并未排除其它元件或其它组成部分。

为了在大的频偏覆盖范围情况下能够提高频偏估计的精度，本申请提供了一种基于重复序列的频偏估计方法及系统，首先以长度为 OFDM 的 FFT 长度的 $1/G$ (G 为大于 1 的整数) 为间隔对捕获的采样信号进行自相关运算以及累加运算，估计一个没有相位模糊度的第一相对频偏值，同时以 OFDM 的 FFT 长度的 h 倍为间隔 (h 为大于等于 1 的整数) 对捕获的采样信号进行自相关运算和累加运算，估计一个具有相位模糊度的但精度更高的第二相对频偏值，在最大的整数频偏范围内，通过第一相对频偏值对第二相对频偏值进行校准，获得更为精确的频偏估计值。本申请适用于突发和连续 OFDM 系统的接收端频率同步过程，可以在大的频偏覆盖范围下提高频偏估计的精度。

如图 1 所示，在一实施方式中，基于重复序列的频偏估计方法包括步骤 S1~步骤 S3。

在步骤 S1 中，接收机以长度 N_g 为间隔对采样信号作滑动自相关运算并求和得到一个自相关值，根据该自相关值的相位获取第一频偏估计值，并将该第一频偏估计值相对于子载波间隔的相对频偏记为第一相对频偏值。其中， $N_g = \frac{N}{G}$ ， N 为基带傅里叶变换的长度， G 为大于 1 的整数。

在步骤 S2 中，接收机以长度 N_h 为间隔对采样信号作滑动自相关运算并求和得到另一个自相关值，根据该自相关值的相位获取第二频偏估计值，并将该第二频偏估计值相对于子载波间隔的相对频偏记为第二相对频偏值。其中， $N_h = N * h$ ， h 为大于等于 1 的整数。

在步骤 S3 中，在最大的整数频偏范围内通过第一相对频偏值对第二相对频偏值进行校准，获得最终的频偏估计值。

具体而言，在最大的整数频偏范围内通过第一相对频偏值对第二相对

频偏值进行校准，获得最终的频偏估计值包括：将最大的整数频偏范围扩大 h 倍，然后将扩大了 h 倍的整数频偏范围中的每个整数分别除以 h 获得多个商值；将第二相对频偏值与该多个商值分别求和值；将每个和值与第一相对频偏值进行比较，将与该第一相对频偏值最接近的和值作为最终的
5 频偏估计值。

为了更清楚的说明，在另一实施例再次进行阐述，该实施例应用在宽带 SUN-OFDM 系统中，其中，FFT 长度为 $N=128$ ，短训练序列为 $1/8$ 周期的重复序列。

首先，空口信号经接收机天线、射频前端，载波下变频、AD、数字滤波等过程，然后在 1 倍于基带速率下被采样到基带，以
10 $y(n)$ 来表示采样信号， $n = 0, 1, \dots$ ，接收机对基带数据以 N_g ($N_g = \frac{N}{G}$ ， G 为大于 1 的整数，本实施例中， G 取 8) 为延迟作滑动自相关运算：

$$A(n) = \sum_{l=0}^{N_g-1} s(i)y(n-l) * \text{conj}(s(i-1)y(n-l-N_g)),$$

$$n = n_0 + 2N_g - 1, n_0 + 2N_g - 1 + 1, \dots \quad (1)$$

其中， n_0 为起始接收数据的时间索引， $s(i)$ 为第 i 段基本重复段的符号 $\{+1, -1\}$ ， 1 为采样间隔，取值范围为 $0 \sim N_g - 1$ 之间的整数，上面的时间分辨率为 1 个基带采样。
15

这种运算也可以使用迭代方法进行运算以减少每个滑动采样期间的计算量。为提高度量值的信噪比，可作如下累加运算：

$$A_S(n) = \sum_{m=0}^{M-1} A(m * N_g + n),$$

$$n = n_0 + 2N_g + (M-1)N_g - 1, n_0 + 2N_g + (M-1)N_g - 1 + 1, \quad (2)$$

其中， M 为自相关累加的次数。

使用滑动自相关的累加和其它相关运算，可以确定定时位置，设定时位置为 n_C ，并由此定位时刻的 $A_S(n_C)$ 的角度计算收发信机之间的第一相对频率偏移 $\hat{\epsilon}$ (相对于子载波间隔 Δf) 估计如下：
25

$$\hat{\varepsilon} = \frac{N}{N_g} * \text{angle}(A_S(n_C)/(2\pi)) = G * \text{angle}(A_S(n_C)/(2\pi)) \quad (3)$$

该相对频偏估计范围为 $[-G/2, G/2]$ 。

然后在滑动过程中增加 N_h ($N_h = Nh$, h 为大于等于 1 的整数)为间隔的自相关运算及其累加:

$$A_p(n) = \sum_{l=0}^{N_g-1} s(i)y(n-l) * \text{conj}(s(i - \frac{N}{N_g})y(n-l - N_h)) \quad ,$$

$$n = n_0 + N_g + N_h - 1, \quad n_0 + N_g + N_h - 1 + 1, \quad \dots \quad (4)$$

$$A_{Sp}(n) = \sum_{m=0}^{M'-1} A_p(m * N_g + n), \quad n = n_0 + N_g + N_h + (M' - 1)N_g - 1, \quad n_0 + N_g + N_h + (M' - 1)N_g - 1 + 1, \quad \dots \quad (5)$$

其中 $M' = \text{floor}\left(\frac{(M+1)N_g - N_h}{N_g}\right) - 1$ 。根据定时同步算法确定的粗定时时刻 n_C , 计算一个具有相位模糊度导致的偏离实际相对频偏整数个子载波间隔的高精度相对频偏如下:

$$\hat{\varepsilon}_p = \text{angle}(A_{Sp}(n_C))/(2\pi)/h \quad (6)$$

该相对频偏估计范围为 $[-1/(2h), 1/(2h)]$ 。

然后, 根据要求的最大相对频偏(相对于 OFDM 系统的子载波间隔)范围如 $[-G/2, G/2]$, G 可取 2, 4 或者 8, 用估计的相对频偏 $\hat{\varepsilon}$ 对 $\hat{\varepsilon}_p$ 进行校准如下:

初始化:

$$\hat{\varepsilon}_o = \hat{\varepsilon}_p - G/2;$$

$$Md = \text{abs}(\hat{\varepsilon}_p - G/2 - \hat{\varepsilon})$$

校准尝试:

$$\text{for } i = -\left(\frac{Gh}{2} - 1\right), \quad -\left(\frac{Gh}{2} - 2\right), \quad -\left(\frac{Gh}{2} - 1\right), \quad \dots, \quad 0, \quad \dots, \quad \left(\frac{Gh}{2} - 1\right), \quad Gh/2$$

$$\text{if } \text{abs}(\hat{\varepsilon}_p + i/h - \hat{\varepsilon}) < Md$$

$$\hat{\varepsilon}_0 = \hat{\varepsilon}_p + i/h;$$

$$Md = \text{abs}(\hat{\varepsilon}_p + i/h - \hat{\varepsilon})$$

end

end (7)

校准结束时刻的 $\hat{\varepsilon}_0$ 即为原始最大相对频偏范围内的精度提高后的相对
5 频偏估计。

基于同样的发明构思，本申请还提供了一种基于重复序列的频偏估计系统。如图 1 所示，在一实施方式中，基于重复序列的频偏估计系统包括：第一相对频偏值计算模块 10、第二相对频偏值计算模块 11、校准模块 12。

第一相对频偏值计算模块 10 用于以长度 N_g 为间隔对接收机的采样信号
10 作滑动自相关运算并求和得到一个自相关值，根据该自相关值的相位获取第一频偏估计值，并将该第一频偏估计值相对于子载波间隔的相对频偏记为第一相对频偏值，其中， $N_g = \frac{N}{G}$ ，N 为基带傅里叶变换的长度，G 为大于 1 的整数。

第二相对频偏值计算模块 11 用于以长度 N_h 为间隔对接收机的采样信号
15 作滑动自相关运算并求和得到另一个自相关值，根据该自相关值的相位获取第二频偏估计值，并将该第二频偏估计值相对于子载波间隔的相对频偏记为第二相对频偏值，其中， $N_h = N * h$ ，h 为大于等于 1 的整数。

校准模块 12 与第一相对频偏值计算模块 10 以及第二相对频偏值计算模块 11 均相连，用于在最大的整数频偏范围内通过第一相对频偏值对第二
20 相对频偏值进行校准，获得最终的频偏估计值。

具体地，校准模块 12 包括：商值求取模块 12a、和值求取模块 12b、比较模块 12c。商值求取模块 12a 用于将最大的整数频偏范围扩大 h 倍，然后将扩大了 h 倍的整数频偏范围中最小的数减去 1 后得到一整数，并将该整数以及扩大了 h 倍的整数频偏范围中的每个整数分别除以 h 获得多个商
25 值；和值求取模块 12b 与商值求取模块 12a 相耦合，用于将第二相对频偏

值与该多个商值分别求和值；比较模块 12c 与和值求取模块 12b 相耦合，用于将每个和值与第一相对频偏值进行比较，将与该第一相对频偏值最接近的和值作为最终的频偏估计值。

5 综上，根据本实施方式的基于重复序列的频偏估计方法及系统，首先以长度为 OFDM 的 FFT 长度的 $1/G$ (G 为大于 1 的整数) 为间隔对捕获的采样信号进行自相关运算以及累加运算，估计一个没有相位模糊度的第一相对频偏值，同时以 OFDM 的 FFT 长度的 h 倍为间隔 (h 为大于等于 1 的整数) 对捕获的采样信号进行自相关运算和累加运算，估计一个具有相位模糊度的但精度更高的第二相对频偏值，在最大的整数频偏范围内，通过
10 没有相位模糊度的第一相对频偏值对具有相位模糊度的但精度更高的第二相对频偏值进行校准，从而获得更为精确的频偏估计值。本申请适用于突发和连续 OFDM 系统的接收端频率同步过程，可以在大的频偏覆盖范围下提高频偏估计的精度。

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、
15 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。

20 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
25 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
5 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
10 的步骤。

前述对本申请的具体示例性实施方案的描述是为了说明和例证的目的。这些描述并非想将本申请限定为所公开的精确形式，并且很显然，根据上述教导，可以进行很多改变和变化。对示例性实施例进行选择 and 描述的目的
15 在于解释本申请的特定原理及其实际应用，从而使得本领域的技术人员能够实现并利用本申请的各种不同的示例性实施方案以及各种不同的选择和改变。本申请的范围意在由权利要求书及其等同形式所限定。

权利要求书

1. 一种基于重复序列的频偏估计方法，包括：

接收机以长度 N_g 为间隔对采样信号作滑动自相关运算并求和得到一个自相关值，根据该自相关值的相位获取第一频偏估计值，并将该第一频偏估计值相对于子载波间隔的相对频偏记为第一相对频偏值，其中，

$N_g = \frac{N}{G}$ ， N 为基带傅里叶变换的长度， G 为大于1的整数；

接收机以长度 N_h 为间隔对所述采样信号作滑动自相关运算并求和得到另一个自相关值，根据该自相关值的相位获取第二频偏估计值，并将该第二频偏估计值相对于子载波间隔的相对频偏记为第二相对频偏值，

其中， $N_h = N * h$ ， h 为大于等于1的整数；

在最大的整数频偏范围内通过所述第一相对频偏值对所述第二相对频偏值进行校准，获得最终的频偏估计值。

2. 如权利要求1所述的基于重复序列的频偏估计方法，其中，在最大的整数频偏范围内通过所述第一相对频偏值对所述第二相对频偏值进行校准，获得最终的频偏估计值包括：

将所述最大的整数频偏范围扩大 h 倍，然后将扩大了 h 倍的整数频偏范围中的每个整数分别除以 h 获得多个商值；

将所述第二相对频偏值与该多个商值分别求和值；

将每个和值与所述第一相对频偏值进行比较，将与该第一相对频偏值最接近的和值作为最终的频偏估计值。

3. 一种基于重复序列的频偏估计系统，包括：

第一相对频偏值计算模块，用于以长度 N_g 为间隔对接收机的采样信号作滑动自相关运算并求和得到一个自相关值，根据该自相关值的相位获取第一频偏估计值，并将该第一频偏估计值相对于子载波间隔的相对

频偏记为第一相对频偏值，其中， $N_g = \frac{N}{G}$ ，N 为基带傅里叶变换的长度，G 为大于 1 的整数；

第二相对频偏值计算模块，用于以长度 N_h 为间隔对所述采样信号作滑动自相关运算并求和得到另一个自相关值，根据该自相关值的相位获取第二频偏估计值，并将该第二频偏估计值相对于子载波间隔的相对频偏记为第二相对频偏值，其中， $N_h = N * h$ ，h 为大于等于 1 的整数；

校准模块，与所述第一相对频偏值计算模块以及所述第二相对频偏值计算模块均相连，用于在最大的整数频偏范围内通过所述第一相对频偏值对所述第二相对频偏值进行校准，获得最终的频偏估计值。

4. 如权利要求 3 所述的基于重复序列的频偏估计系统，其中，所述校准模块包括：

商值求取模块，用于将所述最大的整数频偏范围扩大 h 倍，然后将扩大了 h 倍的整数频偏范围中的每个整数分别除以 h 获得多个商值；

和值求取模块，与所述商值求取模块相耦合，用于将所述第二相对频偏值与该多个商值分别求和值；

比较模块，与所述和值求取模块相耦合，用于将每个和值与所述第一相对频偏值进行比较，将与该第一相对频偏值最接近的和值作为最终的频偏估计值。

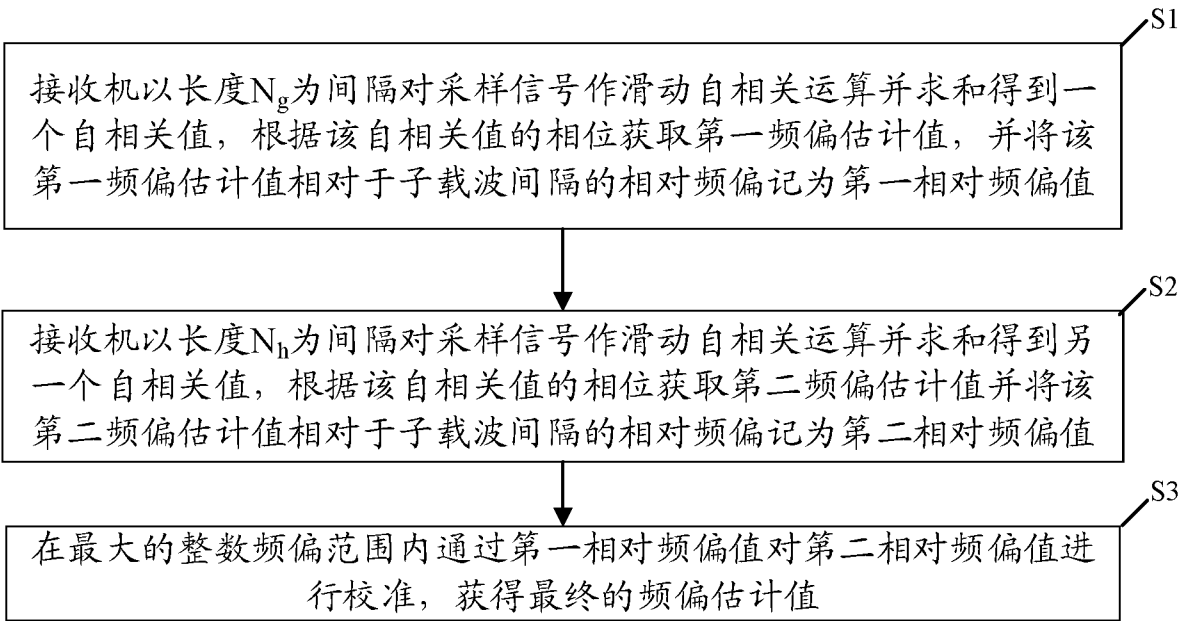


图 1

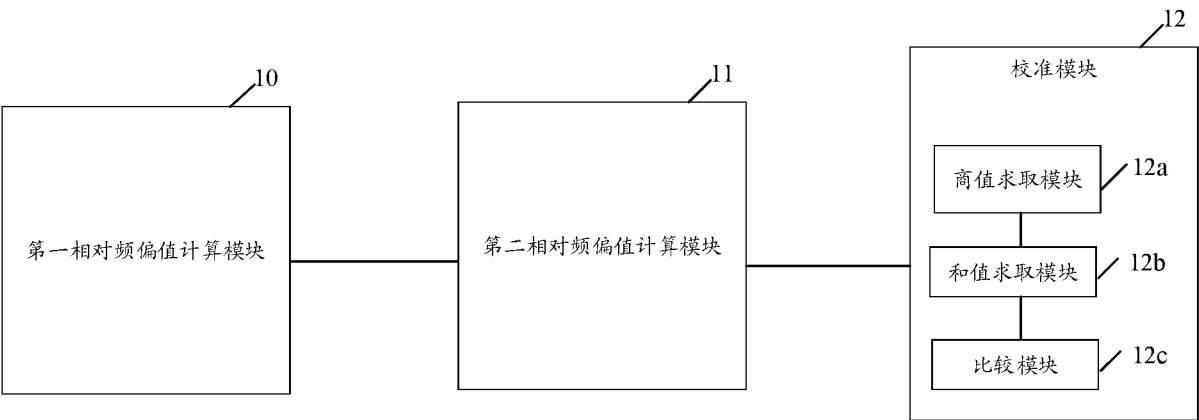


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/105990

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L 27/00(2006.01)i; H04L 27/26(2006.01)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)

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; CNTXT; CNKI; VEN; USTXT; WOTXT; EPTXT; IEEE: 正交频分, 频偏, 频率, 偏移, 校正, 校准, 修正, 自相关, 傅里叶, 长度, 重复, 序列, 符号, OFDM, frequency, shift, offset, calibration, FFT, repeat, sequence, correlation

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 110445740 A (BEIJING I-SPRINT INNOVATIONS PTE LTD. et al.) 12 November 2019 (2019-11-12) claims 1-4	1-4
X	CN 102065048 A (INSTITUTE OF MICROELECTRONICS OF CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 18 May 2011 (2011-05-18) description, paragraphs [0085]-[0126]	1, 3
A	CN 101902435 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 01 December 2010 (2010-12-01) entire document	1-4
A	US 8571160 B2 (SIPILA TEEMU TANELI et al.) 29 October 2013 (2013-10-29) entire document	1-4
A	US 2016020936 A1 (CONVERSANT INTELLECTUAL PROPERTY MAN INC) 21 January 2016 (2016-01-21) entire document	1-4

☐ 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

31 August 2020

Date of mailing of the international search report

25 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

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/105990

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	110445740	A	12 November 2019	None	
CN	102065048	A	18 May 2011	CN	102065048 B
CN	101902435	A	01 December 2010	CN	101902435 B
US	8571160	B2	29 October 2013	US	2009232231 A1
US	2016020936	A1	21 January 2016	US	10498578 B2
				US	2019013987 A1
				US	10091044 B2
				US	2020136879 A1

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/105990

A. 主题的分类

H04L 27/00(2006.01)i; H04L 27/26(2006.01)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)

H04L

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))

CNABS;CNTXT;CNKI;VEN;USTXT;WOTXT;EPTXT;IEEE:正交频分, 频偏, 频率, 偏移, 校正, 校准, 修正, 自相关, 傅里叶, 长度, 重复, 序列, 符号, OFDM, frequency, shift, offset, calibration, FFT, repeat, sequence, correlation

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
PX	CN 110445740 A (北京智芯微电子科技有限公司等) 2019年 11月 12日 (2019 - 11 - 12) 权利要求1-4	1-4
X	CN 102065048 A (中国科学院微电子研究所) 2011年 5月 18日 (2011 - 05 - 18) 说明书第[0085]-[0126]段	1, 3
A	CN 101902435 A (西安交通大学) 2010年 12月 1日 (2010 - 12 - 01) 全文	1-4
A	US 8571160 B2 (SIPILA TEEMU TANELI等) 2013年 10月 29日 (2013 - 10 - 29) 全文	1-4
A	US 2016020936 A1 (CONVERSANT INTELLECTUAL PROPERTY MAN INC) 2016年 1月 21日 (2016 - 01 - 21) 全文	1-4

☐ 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

2020年 8月 31日

国际检索报告邮寄日期

2020年 9月 25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

梁柱杰

电话号码 86-(20)-28950426

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/105990

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	110445740	A	2019年 11月 12日	无	
CN	102065048	A	2011年 5月 18日	CN	102065048 B 2014年 7月 2日
CN	101902435	A	2010年 12月 1日	CN	101902435 B 2012年 7月 4日
US	8571160	B2	2013年 10月 29日	US	2009232231 A1 2009年 9月 17日
US	2016020936	A1	2016年 1月 21日	US	10498578 B2 2019年 12月 3日
				US	2019013987 A1 2019年 1月 10日
				US	10091044 B2 2018年 10月 2日
				US	2020136879 A1 2020年 4月 30日