



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114844579 B

(45) 授权公告日 2024. 02. 06

(21) 申请号 202210458104.1

(22) 申请日 2022.04.28

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114844579 A

(43) 申请公布日 2022.08.02

(73) 专利权人 杭州城芯科技有限公司

地址 310000 浙江省杭州市西湖区三墩镇

西园三路3号5楼504室

(72) 发明人 王静 陈浔濛 孙庭波

(74) 专利代理机构 北京格允知识产权代理有限公司

公司 11609

专利代理师 张莉瑜

(51) Int. Cl.

H04B 17/21 (2015.01)

H04B 1/30 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 105656834 A, 2016.06.08

CN 106597429 A, 2017.04.26

CN 111211797 A, 2020.05.29

CN 112051555 A, 2020.12.08

US 2007099570 A1, 2007.05.03

Haoying Dai等. Classification of IQ-Modulated Signals Based on Reservoir Computing With Narrowband Optoelectronic Oscillators.《IEEE Journal of Quantum Electronics》.2021,第57卷(第3期),全文.

审查员 袁欣

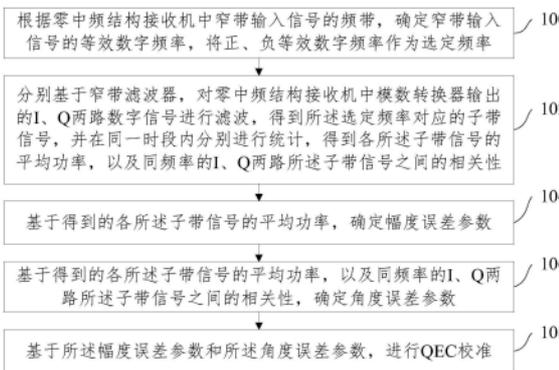
权利要求书3页 说明书9页 附图5页

(54) 发明名称

基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法及装置

(57) 摘要

本发明涉及通信技术领域,尤其涉及一种基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法及装置,其中方法包括:确定窄带输入信号的等效数字频率,将正、负等效数字频率作为选定频率;分别基于窄带滤波器,对模数转换器输出的I、Q两路数字信号进行滤波,得到选定频率对应的子带信号,并在同一时段内分别进行统计,得到各子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路子带信号之间的相关性;基于得到的各子带信号的平均功率,确定幅度误差参数;基于得到的各子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路子带信号之间的相关性,确定角度误差参数;基于幅度误差参数和角度误差参数,进行QEC校准。本发明能够更为准确地实现QEC校准。



1. 一种基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法,其特征在于,包括:

根据零中频结构接收机中窄带输入信号的频带,确定窄带输入信号的等效数字频率,将正、负等效数字频率作为选定频率;

分别基于窄带滤波器,对零中频结构接收机中模数转换器输出的I、Q两路数字信号进行滤波,得到所述选定频率对应的子带信号,并在同一时段内分别进行统计,得到各所述子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路所述子带信号之间的相关性;

基于得到的各所述子带信号的平均功率,确定幅度误差参数;

基于得到的各所述子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路所述子带信号之间的相关性,确定角度误差参数;

基于所述幅度误差参数和所述角度误差参数,进行QEC校准;

其中,所述基于得到的各所述子带信号的平均功率,确定幅度误差参数,包括:

设各所述子带信号分别为 $x_{if+}(n)$ 、 $x_{if-}(n)$ 、 $x_{qf+}(n)$ 和 $x_{qf-}(n)$ ,对应的平均功率分别为 $E\{|x_{if+}(n)|^2\}$ 、 $E\{|x_{if-}(n)|^2\}$ 、 $E\{|x_{qf+}(n)|^2\}$ 和 $E\{|x_{qf-}(n)|^2\}$ ;其中, $x_{if+}(n)$ 表示I路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 对应的子带信号, $x_{if-}(n)$ 表示I路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 对应的子带信号, $x_{qf+}(n)$ 表示Q路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 对应的子带信号, $x_{qf-}(n)$ 表示Q路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 对应的子带信号, $\Omega_0$ 表示窄带输入信号的等效数字频率, $n$ 表示采样点的序号;

计算所述幅度误差参数 $\alpha$ ,表达式为

$$\alpha = \sqrt{\frac{E\{|x_{qf+}(n)|^2\} + E\{|x_{qf-}(n)|^2\}}{E\{|x_{if+}(n)|^2\} + E\{|x_{if-}(n)|^2\}}};$$

所述基于得到的各所述子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路所述子带信号之间的相关性,确定角度误差参数,包括:

设 $E\{x_{if+}^*(n)x_{qf+}(n)\}$ 表示子带信号 $x_{if+}(n)$ 和 $x_{qf+}(n)$ 之间的相关性, $E\{x_{if-}^*(n)x_{qf-}(n)\}$ 表示子带信号 $x_{if-}(n)$ 和 $x_{qf-}(n)$ 之间的相关性,其中 $x_{if+}^*(n)$ 表示 $x_{if+}(n)$ 的共轭, $x_{if-}^*(n)$ 表示 $x_{if-}(n)$ 的共轭;

计算所述角度误差参数 $\varphi$ ,表达式为:

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{E\{x_{if+}^*(n)x_{qf+}(n)\} + E\{x_{if-}^*(n)x_{qf-}(n)\}}{-\sqrt{(E\{|x_{qf+}(n)|^2\} + E\{|x_{qf-}(n)|^2\})(E\{|x_{if+}(n)|^2\} + E\{|x_{if-}(n)|^2\})}}\right)。$$

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:

所述窄带滤波器为FFT窄带选择滤波器。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:

所述基于所述幅度误差参数和所述角度误差参数,进行QEC校准,包括:

将Q路数字信号与所述幅度误差参数的倒数相乘,校准Q路数字信号中的幅度误差;

将I路数字信号与所述角度误差参数相乘,再与经过幅度误差校准后的Q路数字信号叠加,校准Q路数字信号中的角度误差;

输出I路数字信号和经过角度误差校准后的Q路数字信号。

4. 一种基于窄带滤波器的时域统计QEC校准装置,其特征在于,包括:

选频模块,用于根据零中频结构接收机中窄带输入信号的频带,确定窄带输入信号的

等效数字频率,将正、负等效数字频率作为选定频率;

统计模块,用于分别基于窄带滤波器,对零中频结构接收机中模数转换器输出的I、Q两路数字信号进行滤波,得到所述选定频率对应的子带信号,并在同一时段内分别进行统计,得到各所述子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路所述子带信号之间的相关性;

幅度模块,用于基于得到的各所述子带信号的平均功率,确定幅度误差参数;

角度模块,用于基于得到的各所述子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路所述子带信号之间的相关性,确定角度误差参数;

校准模块,用于基于所述幅度误差参数和所述角度误差参数,进行QEC校准;

其中,所述基于得到的各所述子带信号的平均功率,确定幅度误差参数,包括:

设各所述子带信号分别为 $x_{if+}(n)$ 、 $x_{if-}(n)$ 、 $x_{qf+}(n)$ 和 $x_{qf-}(n)$ ,对应的平均功率分别为 $\{E\{|x_{if+}(n)|^2\}$ 、 $E\{|x_{if-}(n)|^2\}$ 、 $E\{|x_{qf+}(n)|^2\}$ 和 $E\{|x_{qf-}(n)|^2\}$ ;其中, $x_{if+}(n)$ 表示I路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 对应的子带信号, $x_{if-}(n)$ 表示I路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 对应的子带信号, $x_{qf+}(n)$ 表示Q路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 对应的子带信号, $x_{qf-}(n)$ 表示Q路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 对应的子带信号, $\Omega_0$ 表示窄带输入信号的等效数字频率, $n$ 表示采样点的序号;

计算所述幅度误差参数 $\alpha$ ,表达式为

$$\alpha = \sqrt{\frac{E\{|x_{qf+}(n)|^2\} + E\{|x_{qf-}(n)|^2\}}{E\{|x_{if+}(n)|^2\} + E\{|x_{if-}(n)|^2\}}};$$

所述基于得到的各所述子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路所述子带信号之间的相关性,确定角度误差参数,包括:

设 $E\{x_{if+}^*(n)x_{qf+}(n)\}$ 表示子带信号 $x_{if+}(n)$ 和 $x_{qf+}(n)$ 之间的相关性, $E\{x_{if-}^*(n)x_{qf-}(n)\}$ 表示子带信号 $x_{if-}(n)$ 和 $x_{qf-}(n)$ 之间的相关性,其中 $x_{if+}^*(n)$ 表示 $x_{if+}(n)$ 的共轭, $x_{if-}^*(n)$ 表示 $x_{if-}(n)$ 的共轭;

计算所述角度误差参数 $\varphi$ ,表达式为:

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{E\{x_{if+}^*(n)x_{qf+}(n)\} + E\{x_{if-}^*(n)x_{qf-}(n)\}}{-\sqrt{(E\{|x_{qf+}(n)|^2\} + E\{|x_{qf-}(n)|^2\})(E\{|x_{if+}(n)|^2\} + E\{|x_{if-}(n)|^2\})}}\right)。$$

5. 根据权利要求4所述的装置,其特征在于:

所述窄带滤波器为FFT窄带选择滤波器。

6. 一种基于窄带滤波器的时域统计QEC校准装置,包括:

信号频带选择控制模块、第一至第六统计模块、第一至第三求和模块、第一至第二除法模块、第一至第二开方模块、第一乘法模块、失配校准模块,以及两个窄带滤波器;

所述信号频带选择控制模块与两个所述窄带滤波器均连接,用于根据零中频结构接收机中窄带输入信号的频带,确定窄带输入信号的等效数字频率,将正、负等效数字频率作为选定频率;

两个所述窄带滤波器均与零中频结构接收机中模数转换器连接,用于分别输入所述模数转换器输出的I、Q两路数字信号,在所述信号频带选择控制模块的控制下,输出所述选定频率对应的子带信号;

第一统计模块用于输入I路正等效数字频率对应的子带信号,并在预设时段内统计平

均功率；

第二统计模块用于输入I路负等效数字频率对应的子带信号,并在预设时段内统计平均功率；

第三统计模块用于输入I、Q两路正等效数字频率对应的子带信号,并在预设时段内统计相关性；

第四统计模块用于输入I、Q两路负等效数字频率对应的子带信号,并在预设时段内统计相关性；

第五统计模块用于输入Q路正等效数字频率对应的子带信号,并在预设时段内统计平均功率；

第六统计模块用于输入Q路负等效数字频率对应的子带信号,并在预设时段内统计平均功率；

第一求和模块与所述第一统计模块、所述第二统计模块连接,用于输入I路正、负等效数字频率对应的子带信号的平均功率,计算并输出二者之和；

第二求和模块与所述第三统计模块、所述第四统计模块连接,用于输入正、负等效数字频率对应的子带信号的相关性,计算并输出二者之和；

第三求和模块与所述第五统计模块、所述第六统计模块连接,用于输入Q路正、负等效数字频率对应的子带信号的平均功率,计算并输出二者之和；

第一除法模块与所述第一求和模块、所述第三求和模块连接,用于将所述第一求和模块的输出与所述第三求和模块的输出相除,并输出；

第一开方模块与所述第一除法模块连接,用于将所述第一除法模块的输出开方,得到幅度误差参数的倒数,并输出；

第一乘法模块与所述第一求和模块、所述第三求和模块连接,用于将所述第一求和模块的输出与所述第三求和模块的输出相乘,并输出；

第二开方模块与所述第一乘法模块连接,用于将所述第一乘法模块的输出开方,并输出；

第二除法模块与所述第二求和模块、所述第二开方模块连接,用于将所述第二求和模块的输出与所述第二开方模块的输出的负值相除,并求反正弦,得到角度误差参数,并输出；

失配校准模块用于根据所述模数转换器输出的I、Q两路数字信号以及幅度误差参数的倒数、角度误差参数,进行QEC校准。

7. 一种计算机设备,包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求1至3中任一项所述基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法的步骤。

8. 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求1至3中任一项所述基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法的步骤。

## 基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及通信技术领域,尤其涉及基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法及装置、计算机设备、计算机可读存储介质。

### 背景技术

[0002] 零中频结构接收机通过正交混频将信号分离为正交项独立传输,但由于模拟器件误差、正交信号的信道延时和增益差异,会造成幅相失配,即I/Q失配。I/Q失配导致基带信号有镜频干扰产生,影响基带信号处理,因此在基带信号处理前必须抑制I/Q失配引起的镜频干扰。为实现I/Q失配校准,抑制镜频干扰,QEC校准方法(即正交误差修正校准方法)成为研究热点。

[0003] 目前,传统QEC校准方法无法准确估计出窄带输入信号通过接收信道后携带的I/Q不平衡信息,导致校准效果不佳。因此,针对以上不足,需要提供一种更为准确地QEC校准方法。

### 发明内容

[0004] (一)要解决的技术问题

[0005] 本发明要解决的技术问题是解决传统QEC校准方法效果不佳的问题。

[0006] (二)技术方案

[0007] 为了解决上述技术问题,本发明提供了一种基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法,包括:

[0008] 根据零中频结构接收机中窄带输入信号的频带,确定窄带输入信号的等效数字频率,将正、负等效数字频率作为选定频率;

[0009] 分别基于窄带滤波器,对零中频结构接收机中模数转换器输出的I、Q两路数字信号进行滤波,得到所述选定频率对应的子带信号,并在同一时段内分别进行统计,得到各所述子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路所述子带信号之间的相关性;

[0010] 基于得到的各所述子带信号的平均功率,确定幅度误差参数;

[0011] 基于得到的各所述子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路所述子带信号之间的相关性,确定角度误差参数;

[0012] 基于所述幅度误差参数和所述角度误差参数,进行QEC校准。

[0013] 可选地,所述窄带滤波器为FFT窄带选择滤波器。

[0014] 可选地,所述基于得到的各所述子带信号的平均功率,确定幅度误差参数,包括:

[0015] 设各所述子带信号分别为 $x_{if+}(n)$ 、 $x_{if-}(n)$ 、 $x_{qf+}(n)$ 和 $x_{qf-}(n)$ ,对应的平均功率分别为 $E\{|x_{if+}(n)|^2\}$ 、 $E\{|x_{if-}(n)|^2\}$ 、 $E\{|x_{qf+}(n)|^2\}$ 和 $E\{|x_{qf-}(n)|^2\}$ ;其中, $x_{if+}(n)$ 表示I路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 对应的子带信号, $x_{if-}(n)$ 表示I路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 对应的子带信号, $x_{qf+}(n)$ 表示Q路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 对应的子带信号, $x_{qf-}(n)$ 表示Q路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 对应的子带信号, $\Omega_0$ 表示窄带输入信号的等效数字频率, $n$ 表示采样点的序号;

[0016] 计算所述幅度误差参数 $\alpha$ ,表达式为

$$[0017] \quad \alpha = \sqrt{\frac{E\{|x_{qf+}(n)|^2\} + E\{|x_{qf-}(n)|^2\}}{E\{|x_{if+}(n)|^2\} + E\{|x_{if-}(n)|^2\}}}.$$

[0018] 可选地,所述基于得到的各所述子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路所述子带信号之间的相关性,确定角度误差参数,包括:

[0019] 设 $E\{x_{if+}^*(n)x_{qf+}(n)\}$ 表示子带信号 $x_{if+}(n)$ 和 $x_{qf+}(n)$ 之间的相关性, $E\{x_{if-}^*(n)x_{qf-}(n)\}$ 表示子带信号 $x_{if-}(n)$ 和 $x_{qf-}(n)$ 之间的相关性,其中 $x_{if+}^*(n)$ 表示 $x_{if+}(n)$ 的共轭, $x_{if-}^*(n)$ 表示 $x_{if-}(n)$ 的共轭;

[0020] 计算所述角度误差参数 $\varphi$ ,表达式为:

$$[0021] \quad \varphi = \arcsin\left(\frac{E\{x_{if+}^*(n)x_{qf+}(n)\} + E\{x_{if-}^*(n)x_{qf-}(n)\}}{-\sqrt{(E\{|x_{qf+}(n)|^2\} + E\{|x_{qf-}(n)|^2\})(E\{|x_{if+}(n)|^2\} + E\{|x_{if-}(n)|^2\})}}\right).$$

[0022] 可选地,所述基于所述幅度误差参数和所述角度误差参数,进行QEC校准,包括:

[0023] 将Q路数字信号与所述幅度误差参数的倒数相乘,校准Q路数字信号中的幅度误差;

[0024] 将I路数字信号与所述角度误差参数相乘,再与经过幅度误差校准后的Q路数字信号叠加,校准Q路数字信号中的角度误差;

[0025] 输出I路数字信号和经过角度误差校准后的Q路数字信号。

[0026] 本发明还提供了一种基于窄带滤波器的时域统计QEC校准装置,包括:

[0027] 选频模块,用于根据零中频结构接收机中窄带输入信号的频带,确定窄带输入信号的等效数字频率,将正、负等效数字频率作为选定频率;

[0028] 统计模块,用于分别基于窄带滤波器,对零中频结构接收机中模数转换器输出的I、Q两路数字信号进行滤波,得到所述选定频率对应的子带信号,并在同一时段内分别进行统计,得到各所述子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路所述子带信号之间的相关性;

[0029] 幅度模块,用于基于得到的各所述子带信号的平均功率,确定幅度误差参数;

[0030] 角度模块,用于基于得到的各所述子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路所述子带信号之间的相关性,确定角度误差参数;

[0031] 校准模块,用于基于所述幅度误差参数和所述角度误差参数,进行QEC校准。

[0032] 可选地,所述窄带滤波器为FFT窄带选择滤波器。

[0033] 本发明还提供了一种基于窄带滤波器的时域统计QEC校准装置,包括:

[0034] 信号频带选择控制模块、第一至第六统计模块、第一至第三求和模块、第一至第二除法模块、第一至第二开方模块、第一乘法模块、失配校准模块,以及两个窄带滤波器;

[0035] 所述信号频带选择控制模块与两个所述窄带滤波器均连接,用于根据零中频结构接收机中窄带输入信号的频带,确定窄带输入信号的等效数字频率,将正、负等效数字频率作为选定频率;

[0036] 两个所述窄带滤波器均与零中频结构接收机中模数转换器连接,用于分别输入所述模数转换器输出的I、Q两路数字信号,在所述信号频带选择控制模块的控制下,输出所述

选定频率对应的子带信号；

[0037] 第一统计模块用于输入I路正等效数字频率对应的子带信号,并在预设时段内统计平均功率；

[0038] 第二统计模块用于输入I路负等效数字频率对应的子带信号,并在预设时段内统计平均功率；

[0039] 第三统计模块用于输入I、Q两路正等效数字频率对应的子带信号,并在预设时段内统计相关性；

[0040] 第四统计模块用于输入I、Q两路负等效数字频率对应的子带信号,并在预设时段内统计相关性；

[0041] 第五统计模块用于输入Q路正等效数字频率对应的子带信号,并在预设时段内统计平均功率；

[0042] 第六统计模块用于输入Q路负等效数字频率对应的子带信号,并在预设时段内统计平均功率；

[0043] 第一求和模块与所述第一统计模块、所述第二统计模块连接,用于输入I路正、负等效数字频率对应的子带信号的平均功率,计算并输出二者之和；

[0044] 所述第二求和模块与所述第三统计模块、所述第四统计模块连接,用于输入正、负等效数字频率对应的子带信号的相关性,计算并输出二者之和；

[0045] 第三求和模块与所述第五统计模块、所述第六统计模块连接,用于输入Q路正、负等效数字频率对应的子带信号的平均功率,计算并输出二者之和；

[0046] 第一除法模块与所述第一求和模块、所述第三求和模块连接,用于将所述第一求和模块的输出与所述第三求和模块的输出相除,并输出；

[0047] 第一开方模块与所述第一除法模块连接,用于将所述第一除法模块的输出开方,得到幅度误差参数的倒数,并输出；

[0048] 第一乘法模块与所述第一求和模块、所述第三求和模块连接,用于将所述第一求和模块的输出与所述第三求和模块的输出相乘,并输出；

[0049] 第二开方模块与所述第一乘法模块连接,用于将所述第一乘法模块的输出开方,并输出；

[0050] 第二除法模块与所述第二求和模块、所述第二开方模块连接,用于将所述第二求和模块的输出与所述第二开方模块的输出的负值相除,并求反正弦,得到角度误差参数,并输出；

[0051] 失配校准模块用于根据所述模数转换器输出的I、Q两路数字信号以及幅度误差参数的倒数、角度误差参数,进行QEC校准。

[0052] 本发明还提供了一种计算机设备,包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现上述任一项所述基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法的步骤。

[0053] 本发明还提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现上述任一项所述基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法的步骤。

[0054] (三)有益效果

[0055] 本发明的上述技术方案具有如下优点:本发明提供了基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法及装置、计算机设备、计算机可读存储介质,区别于传统QEC校准方法将窄带输入信号等效为单音输入校准,本发明考虑了信道链路中直流、谐波、交调对接收信号的影响,根据窄带输入信号的频带,确定选定频率的信号子带,基于窄带滤波器得到子带信号,并进行相应的时域统计,抑制直流、交调、谐波等,根据I/Q失配角度误差和幅度误差与相应时域统计特性之间的关系确定误差参数,进而更为准确地实现QEC校准,能够通过校准获得具有良好镜频抑制特性的基带数据。

### 附图说明

[0056] 图1是本发明一实施例提供的一种基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法步骤示意图;

[0057] 图2是本发明一实施例提供的一种基于窄带滤波器的时域统计QEC校准装置结构图;

[0058] 图3是本发明另一实施例提供的一种基于窄带滤波器的时域统计QEC校准装置结构图;

[0059] 图4是一幅单音的窄带输入信号频谱图;

[0060] 图5是图4信号采用传统方法进行校准后的结果图;

[0061] 图6是图4信号采用本发明方法进行校准后的结果图;

[0062] 图7是一幅多子带单音的窄带输入信号频谱图;

[0063] 图8是图7信号采用本发明方法进行校准后的结果图。

### 具体实施方式

[0064] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0065] 如前所述,零中频结构接收机中的I/Q失配导致基带信号有镜频干扰产生,在基带信号处理前必须抑制I/Q失配引起的镜频干扰。目前,传统QEC校准方法按照窄带输入信号等效为单音输入校准,而实际上信道链路中直流、谐波、交调会对接收信号产生影响,使得I/Q失配误差具有频率特性,窄带输入信号经过混频、低通滤波器及模数转换器后,输出的I、Q两路数字信号与频率相关,传统QEC校准方法无法准确估计出窄带输入信号通过接收信道后携带的I/Q不平衡信息,导致校准效果不佳。

[0066] 有鉴于此,本发明提供了一种基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法,在QEC校准过程中,克服信道链路中直流、谐波、交调对接收信号的影响,提取相应的I/Q失配参数,以更为准确地实现QEC校准。

[0067] 下面描述以上构思的具体实现方式。

[0068] 如图1所示,本发明实施例提供的一种基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法,包括:

[0069] 步骤100,根据零中频结构接收机中窄带输入信号的频带,确定窄带输入信号的等

效数字频率 $\Omega_0$ ,将正、负等效数字频率作为选定频率,即,选定频率包括正等效数字频率 $+\Omega_0$ 和负等效数字频率 $-\Omega_0$ ;

[0070] 步骤102,分别基于窄带滤波器,对零中频结构接收机中模数转换器输出的I、Q两路数字信号进行滤波,得到选定频率对应的子带信号,即,基于一个窄带滤波器对模数转换器输出的I路数字信号进行滤波,得到I路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 和I路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 对应的子带信号,基于另一个窄带滤波器对模数转换器输出的Q路数字信号进行滤波,得到Q路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 和Q路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 对应的子带信号;

[0071] 并在同一时段内分别进行统计,得到各子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路子带信号之间的相关性;其中,各子带信号的平均功率,即,I路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 、I路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 、Q路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 和Q路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 对应的子带信号分别在时域上进行统计得到的平均功率,同频率的I、Q两路子带信号之间的相关性,即,时域上进行统计得到的I路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 对应的子带信号和Q路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 对应的子带信号之间的相关性,以及I路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 对应的子带信号和Q路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 对应的子带信号之间的相关性;

[0072] 步骤104,基于得到的各子带信号的平均功率,确定幅度误差参数;

[0073] 步骤106,基于得到的各子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路子带信号之间的相关性,确定角度误差参数;

[0074] 步骤108,基于幅度误差参数和角度误差参数,进行QEC校准。

[0075] 本发明实施例考虑了信道会引入直流偏置、交调、谐波等影响,窄带输入信号无法按照传统方法视为单音信号进行校准,因此,本发明将零中频结构接收机中模数转换器输出的I、Q两路数字信号视为与频率相关的数字信号,根据窄带输入信号的频带,确定选定频率的信号子带,基于窄带滤波器进行滤波,得到各个子带信号,并进行相应的时域统计,抑制直流、交调、谐波等,根据I/Q失配角度误差和幅度误差与相应时域统计特性之间的关系确定误差参数(即确定角度误差参数和幅度误差参数),进而基于误差参数更为准确地实现QEC校准,能够通过校准获得具有良好镜频抑制特性的基带数据。其中,窄带输入信号可以由发射机环回至接收机的信号,也可为接收机自天线接收的输入信号。

[0076] 下面描述图1所示的各个步骤的执行方式。

[0077] 设模数转换器输出的I、Q两路数字信号分别为 $x_i(n)$ 、 $x_q(n)$ , $n$ 表示采样点的序号,则 $x_i(n)$ 、 $x_q(n)$ 的表达式分别为:

$$[0078] \quad x_i(n) = b_0 \cos(\Omega_0 n) + \sum_{i=1}^{N-1} b_i [\cos(\Omega_i n)]$$

$$[0079] \quad x_q(n) = b_0 \alpha \sin(\Omega_0 n - \varphi) + \sum_{i=1}^{N-1} b_i [\alpha_i \sin(\Omega_i n + \theta_i)]$$

[0080] 其中, $\Omega_0$ 表示窄带输入信号的等效数字频率, $b_0$ 表示窄带输入信号对应的幅度, $\alpha$ 表示幅度误差参数, $\varphi$ 表示角度误差参数, $i \in [0, N-1]$ , $N$ 表示除窄带输入信号以外的不同频率个数, $\Omega_i$ 为第 $i$ 个数字频率, $b_i$ 表示第 $i$ 个数字频率对应的幅度, $\alpha_i$ 表示第 $i$ 个数字频率对应的幅度误差, $\theta_i$ 表示第 $i$ 个数字频率对应的角度误差。

[0081] 可选地,窄带滤波器为FFT窄带选择滤波器,带宽可配,频带可选,FFT窄带选择滤波器根据子带信息调整滤波器带宽和滤波器的频带。所设计FFT窄带选择滤波器具有可重

构能力。FFT窄带选择滤波器可根据所输入I、Q两路数字信号和信号子带,输出I路所需子带正频信号和负频信号、Q路所需子带正频信号和负频信号,输出信号具有窄带特性。FFT窄带选择滤波器能有效抑制直流、交调、谐波等,且在窄带系统中,FFT窄带滤波器可根据信号采样率、信号带宽,灵活配置选择所需子带,子带频率带宽可调,仅通过子带参数配置即可调整子带,可提高算法适用能力。

[0082] 可选地,步骤104包括:

[0083] 设各子带信号分别为 $x_{if+}(n)$ 、 $x_{if-}(n)$ 、 $x_{qf+}(n)$ 和 $x_{qf-}(n)$ ,对应的、统计得到的平均功率分别为 $E\{|x_{if+}(n)|^2\}$ 、 $E\{|x_{if-}(n)|^2\}$ 、 $E\{|x_{qf+}(n)|^2\}$ 和 $E\{|x_{qf-}(n)|^2\}$ ;其中, $x_{if+}(n)$ 表示I路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 对应的子带信号,简称I路正频信号, $x_{if-}(n)$ 表示I路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 对应的子带信号,简称I路负频信号, $x_{qf+}(n)$ 表示Q路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 对应的子带信号,简称Q路正频信号, $x_{qf-}(n)$ 表示Q路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 对应的子带信号,简称Q路负频信号, $|\cdot|$ 表示取绝对值运算, $E\{\cdot\}$ 表示在时域上统计;

[0084] 相应地,步骤104中计算幅度误差参数 $\alpha$ ,表达式为:

$$[0085] \quad \alpha = \sqrt{\frac{E\{|x_{qf+}(n)|^2\} + E\{|x_{qf-}(n)|^2\}}{E\{|x_{if+}(n)|^2\} + E\{|x_{if-}(n)|^2\}}}。$$

[0086] 进一步地,步骤106包括:

[0087] 设 $E\{x_{if+}^*(n)x_{qf+}(n)\}$ 表示统计得到的同频率子带信号 $x_{if+}(n)$ 和 $x_{qf+}(n)$ 之间的相关性, $E\{x_{if-}^*(n)x_{qf-}(n)\}$ 表示统计得到的同频率子带信号 $x_{if-}(n)$ 和 $x_{qf-}(n)$ 之间的相关性,其中 $x_{if+}^*(n)$ 表示 $x_{if+}(n)$ 的共轭, $x_{if-}^*(n)$ 表示 $x_{if-}(n)$ 的共轭, $x_{if+}^*(n)x_{qf+}(n)$ 即 $x_{if+}(n)$ 取共轭后与 $x_{qf+}(n)$ 相乘, $x_{if-}^*(n)x_{qf-}(n)$ 即 $x_{if-}(n)$ 取共轭后与 $x_{qf-}(n)$ 相乘;

[0088] 相应地,步骤106中,计算角度误差参数 $\varphi$ ,表达式为:

$$[0089] \quad \varphi = \arcsin\left(\frac{E\{x_{if+}^*(n)x_{qf+}(n)\} + E\{x_{if-}^*(n)x_{qf-}(n)\}}{-\sqrt{(E\{|x_{qf+}(n)|^2\} + E\{|x_{qf-}(n)|^2\})(E\{|x_{if+}(n)|^2\} + E\{|x_{if-}(n)|^2\}))}\right)。$$

[0090] 可选地,步骤108包括:

[0091] 将Q路数字信号与幅度误差参数的倒数(即 $1/\alpha$ )相乘,校准Q路数字信号中的幅度误差;

[0092] 将I路数字信号与角度误差参数相乘,再与经过幅度误差校准后的Q路数字信号叠加,校准Q路数字信号中的角度误差;

[0093] 输出I路数字信号和经过角度误差校准后的Q路数字信号。

[0094] 上述实施方式步骤108将误差在Q路上进行校准,可选地,步骤108也可将误差在I路上进行校准,最终输出Q路数字信号和经过校准后的I路数字信号。

[0095] 相比现有技术的传统方法,采用本发明提供的实施例能够更为准确、有效地抑制镜频信号。

[0096] 如图2所示,本发明还提供了一种基于窄带滤波器的时域统计QEC校准装置,包括选频模块200、统计模块201、幅度模块202、角度模块203和校准模块204;具体地,其中:

[0097] 选频模块200用于根据零中频结构接收机中窄带输入信号的频带,确定窄带输入信号的等效数字频率,将正、负等效数字频率作为选定频率;

[0098] 统计模块201用于分别基于窄带滤波器,对零中频结构接收机中模数转换器输出的I、Q两路数字信号进行滤波,得到选定频率对应的子带信号,并在同一时段内分别进行统计,得到各子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路子带信号之间的相关性;

[0099] 幅度模块202用于基于得到的各子带信号的平均功率,确定幅度误差参数;

[0100] 角度模块203用于基于得到的各子带信号的平均功率,以及同频率的I、Q两路子带信号之间的相关性,确定角度误差参数;

[0101] 校准模块204用于基于幅度误差参数和角度误差参数,进行QEC校准。

[0102] 可选地,窄带滤波器为FFT窄带选择滤波器。

[0103] 上述基于窄带滤波器的时域统计QEC校准装置各模块之间的信息交互、执行过程等内容,由于与本发明方法实施例基于同一构思,具体内容可参见本发明方法实施例中的叙述,此处不再赘述。

[0104] 以上各实施例中,硬件模块可以通过机械方式或电气方式实现。例如,一个硬件模块可以包括永久性专用的电路或逻辑(如专门的处理器,FPGA或ASIC)来完成相应操作。硬件模块还可以包括可编程逻辑或电路(如通用处理器或其它可编程处理器),可以由软件进行临时的设置以完成相应操作。具体的实现方式(机械方式、或专用的永久性电路、或者临时设置的电路)可以基于成本和时间上的考虑来确定。

[0105] 特别地,如图3所示,本发明还提供了一种基于窄带滤波器300的时域统计QEC校准装置,包括:

[0106] 信号频带选择控制模块301、第一至第六统计模块、第一至第三求和模块、第一至第二除法模块、第一至第二开方模块、第一至第三乘法模块、叠加模块323,以及两个窄带滤波器300;其中,

[0107] 信号频带选择控制模块301与两个窄带滤波器300均连接,用于根据零中频结构接收机中窄带输入信号的频带,确定窄带输入信号的等效数字频率 $\Omega_0$ ,将正、负等效数字频率 $\pm \Omega_0$ 作为选定频率;

[0108] 两个窄带滤波器300均与零中频结构接收机中模数转换器连接,用于分别输入模数转换器输出的I、Q两路数字信号 $x_i(n)$ 、 $x_q(n)$ ,并在信号频带选择控制模块301的控制下,各自输出选定频率对应的子带信号;即,一个窄带滤波器300在信号频带选择控制模块301的控制下输出正、负等效数字频率 $\pm \Omega_0$ 对应的I路正频信号 $x_{if+}(n)$ 、I路负频信号 $x_{if-}(n)$ ,另一个窄带滤波器300在信号频带选择控制模块301的控制下输出正、负等效数字频率 $\pm \Omega_0$ 对应的Q路正频信号 $x_{qf+}(n)$ 、Q路负频信号 $x_{qf-}(n)$ ;

[0109] 第一统计模块302用于输入I路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 对应的子带信号 $x_{if+}(n)$ ,并在预设时段内统计 $x_{if+}(n)$ 的平均功率 $E\{|x_{if+}(n)|^2\}$ ;

[0110] 第二统计模块303用于输入I路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 对应的子带信号 $x_{if-}(n)$ ,并在预设时段内统计 $x_{if-}(n)$ 的平均功率 $E\{|x_{if-}(n)|^2\}$ ;

[0111] 第三统计模块304用于输入I、Q两路正等效数字频率对应的子带信号 $x_{if+}(n)$ 、 $x_{qf+}(n)$ ,并在预设时段内统计 $x_{if+}(n)$ 与 $x_{qf+}(n)$ 的相关性 $E\{x_{if+}^*(n)x_{qf+}(n)\}$ ;

[0112] 第四统计模块305用于输入I、Q两路负等效数字频率对应的子带信号 $x_{if-}(n)$ 、 $x_{qf-}(n)$ ,并在预设时段内统计 $x_{if-}(n)$ 与 $x_{qf-}(n)$ 的相关性 $E\{x_{if-}^*(n)x_{qf-}(n)\}$ ;

[0113] 第五统计模块306用于输入Q路正等效数字频率 $+\Omega_0$ 对应的子带信号 $x_{qf+}(n)$ ,并在

预设时段内统计 $x_{qf+}(n)$ 的平均功率 $E\{|x_{qf+}(n)|^2\}$ ;

[0114] 第六统计模块307用于输入Q路负等效数字频率 $-\Omega_0$ 对应的子带信号 $x_{qf-}(n)$ ,并在预设时段内统计 $x_{qf-}(n)$ 的平均功率 $E\{|x_{qf-}(n)|^2\}$ ;

[0115] 第一求和模块308与第一统计模块302、第二统计模块303连接,用于输入I路正、负等效数字频率对应的子带信号的平均功率 $E\{|x_{if+}(n)|^2\}$ 、 $E\{|x_{if-}(n)|^2\}$ ,计算并输出二者之和 $(E\{|x_{if+}(n)|^2\}+E\{|x_{if-}(n)|^2\})$ ;

[0116] 第二求和模块309与第三统计模块304、第四统计模块305连接,用于输入正、负等效数字频率对应的子带信号的相关性 $E\{x_{if+}^*(n)x_{qf+}(n)\}$ 、 $E\{x_{if-}^*(n)x_{qf-}(n)\}$ ,计算并输出二者之和 $(E\{x_{if+}^*(n)x_{qf+}(n)\}+E\{x_{if-}^*(n)x_{qf-}(n)\})$ ;

[0117] 第三求和模块310与第五统计模块306、第六统计模块307连接,用于输入Q路正、负等效数字频率对应的子带信号的平均功率 $E\{|x_{qf+}(n)|^2\}$ 、 $E\{|x_{qf-}(n)|^2\}$ ,计算并输出二者之和 $(E\{|x_{qf+}(n)|^2\}+E\{|x_{qf-}(n)|^2\})$ ;

[0118] 第一除法模块311与第一求和模块308、第三求和模块310连接,用于将第一求和模块308的输出 $(E\{|x_{if+}(n)|^2\}+E\{|x_{if-}(n)|^2\})$ 与第三求和模块310的输出 $(E\{|x_{qf+}(n)|^2\}+E\{|x_{qf-}(n)|^2\})$ 相除,并输出 $(E\{|x_{if+}(n)|^2\}+E\{|x_{if-}(n)|^2\})/(E\{|x_{qf+}(n)|^2\}+E\{|x_{qf-}(n)|^2\})$ ;

[0119] 第一开方模块313与第一除法模块311连接,用于将第一除法模块311的输出开方,

得到幅度误差参数的倒数 $1/\alpha$ ,并输出;幅度误差参数 $\alpha = \sqrt{\frac{E\{|x_{qf+}(n)|^2\}+E\{|x_{qf-}(n)|^2\}}{E\{|x_{if+}(n)|^2\}+E\{|x_{if-}(n)|^2\}}}$ ;

[0120] 第一乘法模块315与第一求和模块308、第三求和模块310连接,用于将第一求和模块308的输出 $(E\{|x_{if+}(n)|^2\}+E\{|x_{if-}(n)|^2\})$ 与第三求和模块310的输出 $(E\{|x_{qf+}(n)|^2\}+E\{|x_{qf-}(n)|^2\})$ 相乘,并输出 $(E\{|x_{if+}(n)|^2\}+E\{|x_{if-}(n)|^2\}) \times (E\{|x_{qf+}(n)|^2\}+E\{|x_{qf-}(n)|^2\})$ ;

[0121] 第二开方模块314与第一乘法模块315连接,用于将第一乘法模块315的输出开方,并输出 $\sqrt{(E\{|x_{qf+}(n)|^2\}+E\{|x_{qf-}(n)|^2\})(E\{|x_{if+}(n)|^2\}+E\{|x_{if-}(n)|^2\})}$ ;

[0122] 第二除法模块312与第二求和模块309、第二开方模块314连接,用于将第二求和模块309的输出 $(E\{x_{if+}^*(n)x_{qf+}(n)\}+E\{x_{if-}^*(n)x_{qf-}(n)\})$ 与第二开方模块314的输出的负值 $-\sqrt{(E\{|x_{qf+}(n)|^2\}+E\{|x_{qf-}(n)|^2\})(E\{|x_{if+}(n)|^2\}+E\{|x_{if-}(n)|^2\})}$ 相除,并求反正弦,得到角度误差参数,

并输出;角度误差参数 $\varphi = \arcsin\left(\frac{E\{x_{if+}^*(n)x_{qf+}(n)\}+E\{x_{if-}^*(n)x_{qf-}(n)\}}{-\sqrt{(E\{|x_{qf+}(n)|^2\}+E\{|x_{qf-}(n)|^2\})(E\{|x_{if+}(n)|^2\}+E\{|x_{if-}(n)|^2\})}}\right)$ 。

[0123] 上述内容对应图3中较大灰框,目的是实现I/Q失配参数估计。图3中较小灰框对应失配校准模块,该时域统计QEC校准装置中,所述失配校准模块用于根据所述模数转换器输出的I、Q两路数字信号以及幅度误差参数的倒数、角度误差参数,进行QEC校准,输出校准后的I、Q两路信号。

[0124] 一种实施方式中,如图3所示,所述失配校准模块包括第二乘法模块321、第三乘法模块322和叠加模块323;其中,

[0125] 第二乘法模块321与第一开方模块313连接,用于将Q路数字信号 $x_q(n)$ 与幅度误差参数的倒数相乘,得到经过幅度误差校准后的Q路数字信号,并输出;

[0126] 第三乘法模块322与第二除法模块312连接,用于将I路数字信号 $x_i(n)$ 与角度误差参数相乘,并输出;

[0127] 叠加模块323用于将第二乘法模块321、第三乘法模块322的输出叠加,最终得到校准后的Q路数字信号,并输出。

[0128] 上述实施方式中,误差在Q路进行校准,在其他实施方式中,误差也可在I路进行校准。

[0129] 如图4至图8所示,本发明还对所提出的技术方案在校准性能进行了验证。图4为一幅单音的窄带输入信号频谱图,信号输入校准前镜频抑制40dB(频率:-12MHz,镜像抑制比:41.33dB),由图4可知,接收到的信号除了主音和镜频,还有直流、谐波、交调等信号。图5示出了图4信号输入后采用传统方法进行校准后的结果图,镜频抑制35dB(频率:-12MHz,镜像抑制比:35.88dB),图6示出了图4信号输入后采用本发明方法进行校准后的结果图,镜频抑制80dB(频率:-12MHz,镜像抑制比:81.23dB),由图5和图6可知,采用传统方法校准后镜频抑制变差,本发明方法能够实现更优的效果。图7为一幅多子带单音的窄带输入信号频谱图(主音-12MHz),图8是图7信号采用本发明方法进行校准后的结果图(主音-12MHz),由图7和图8可知,当出现多子带单音信号时,输入窄带信号处于-12MHz单音所在子带,此时本发明方法仍然可准确提取到I/Q失配参数,镜频信号被抑制,其它子带单音镜频抑制也比未校准前优。

[0130] 特别地,在本发明一些优选的实施方式中,还提供了一种计算机设备,包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现上述任一实施方式中所述基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法的步骤。

[0131] 在本发明另一些优选的实施方式中,还提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,计算机程序被处理器执行时实现上述任一实施方式中所述基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法的步骤。

[0132] 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,计算机程序可存储于一非易失性计算机可读存储介质中,该计算机程序在执行时,可包括如上述基于窄带滤波器的时域统计QEC校准方法实施例的流程,在此不再重复说明。

[0133] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

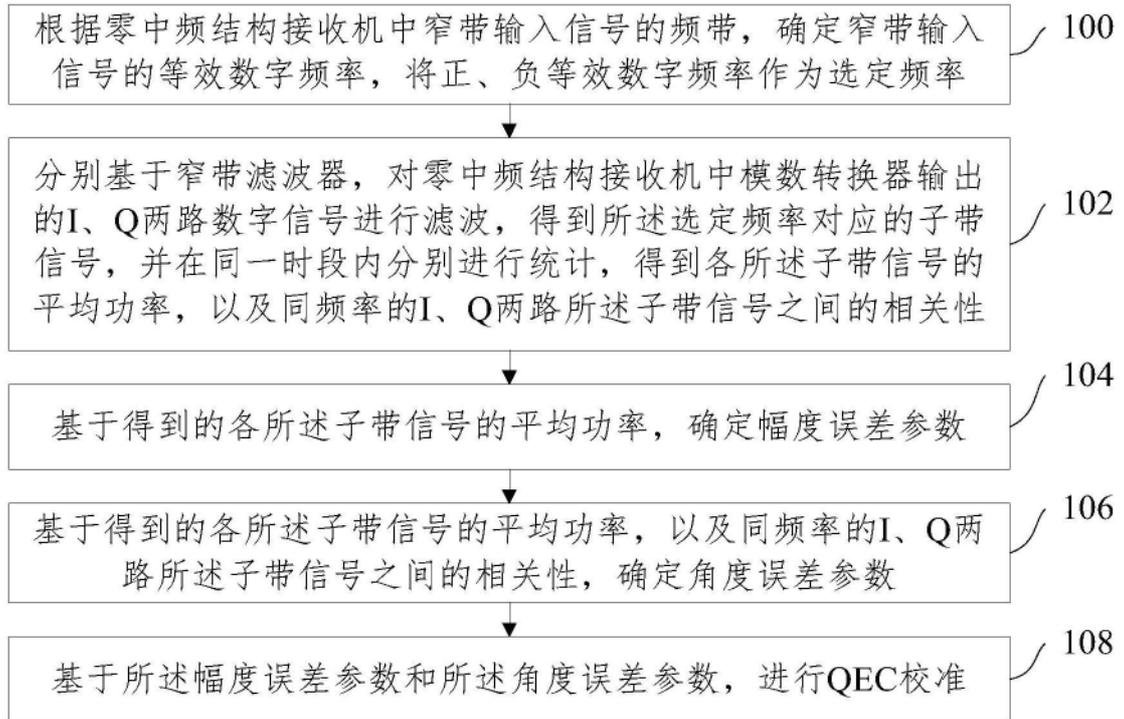


图1

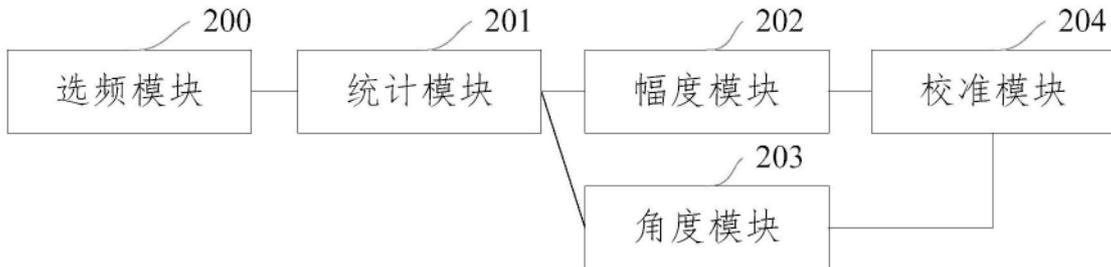


图2

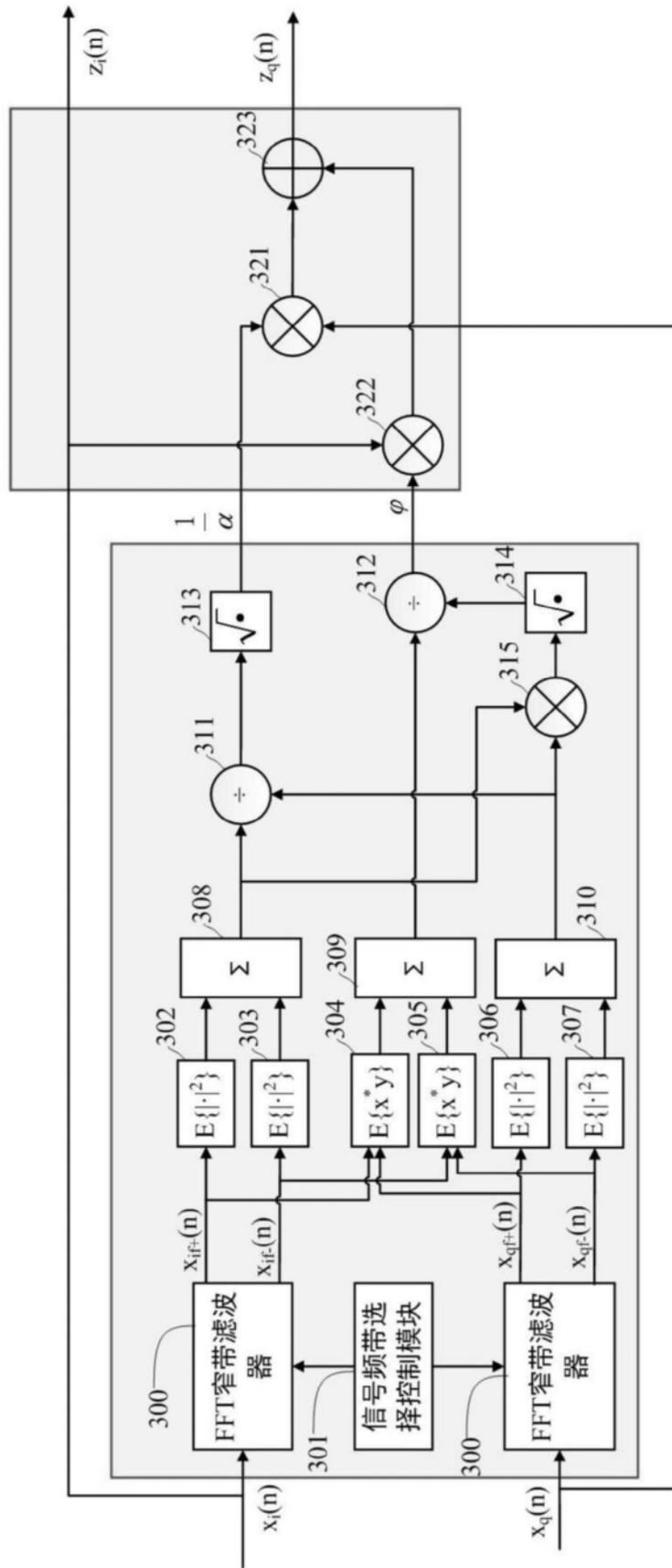


图3

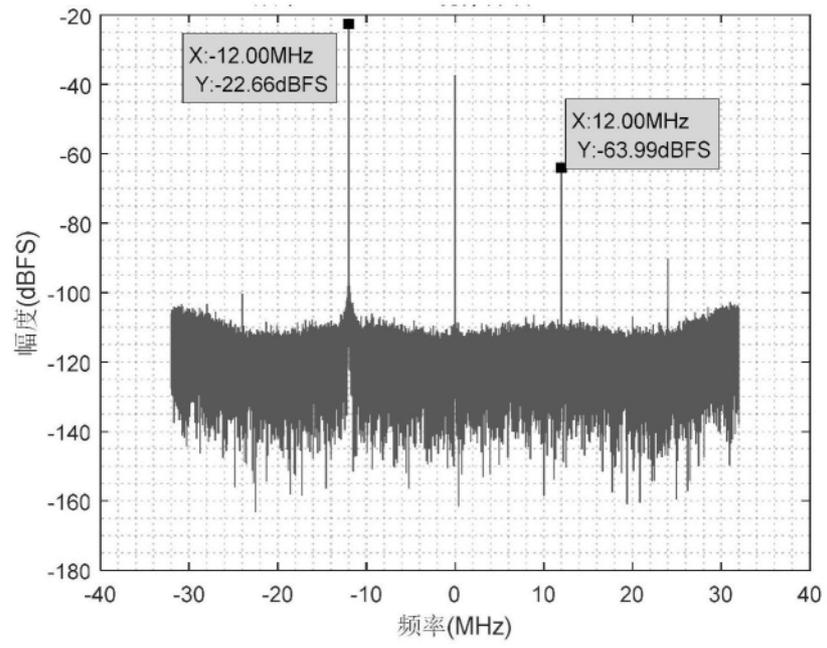


图4

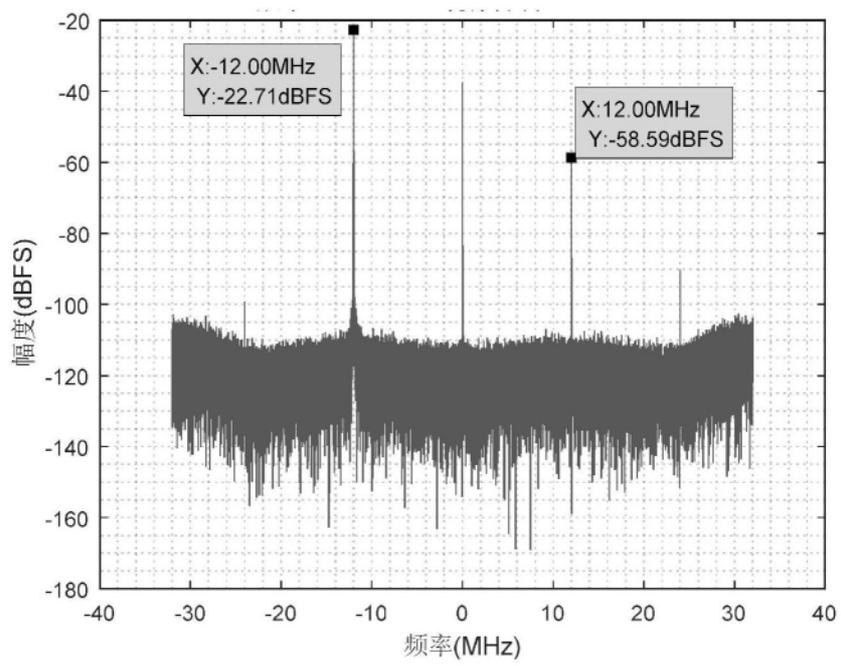


图5

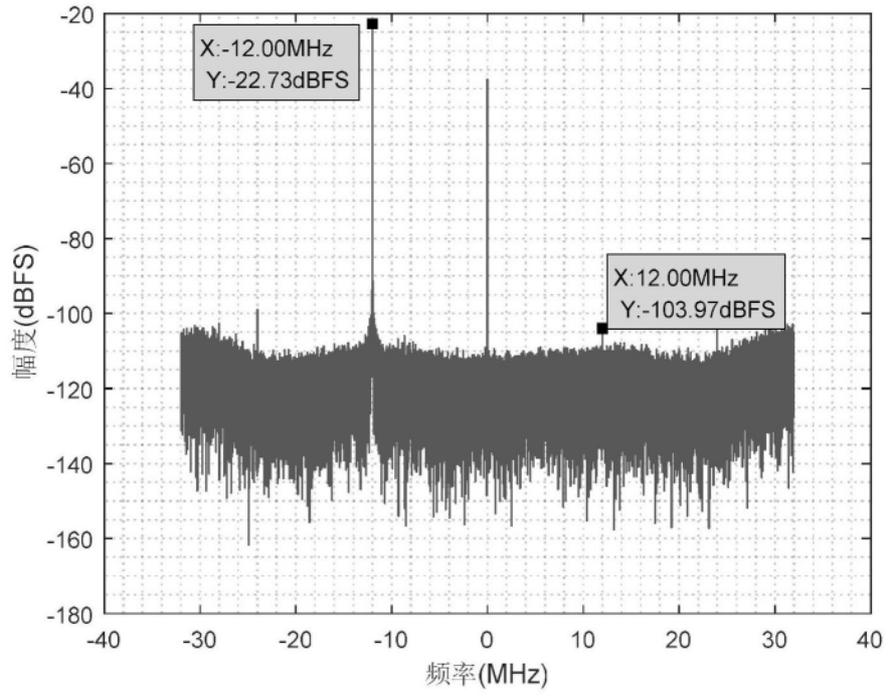


图6

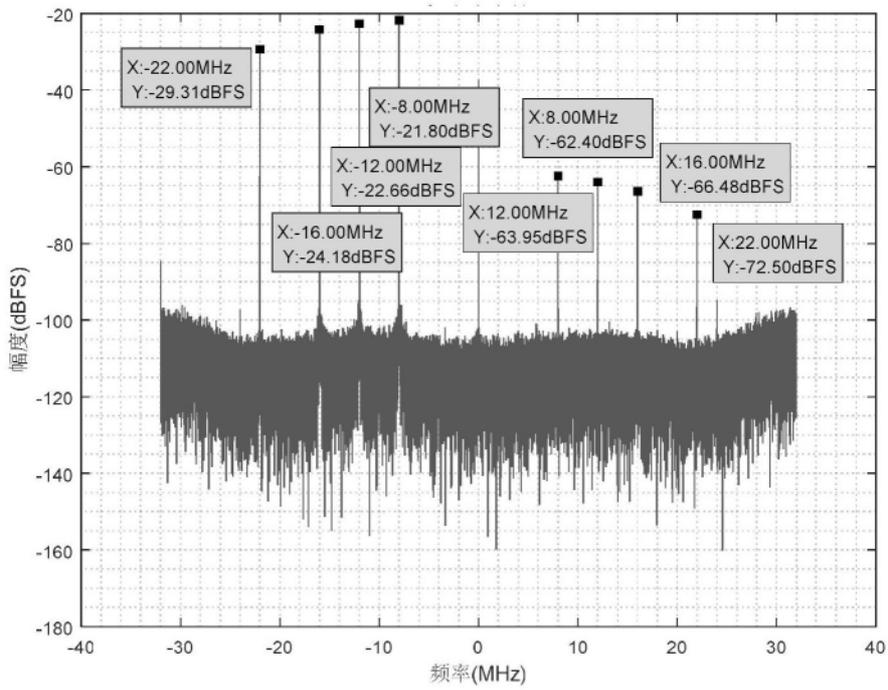


图7

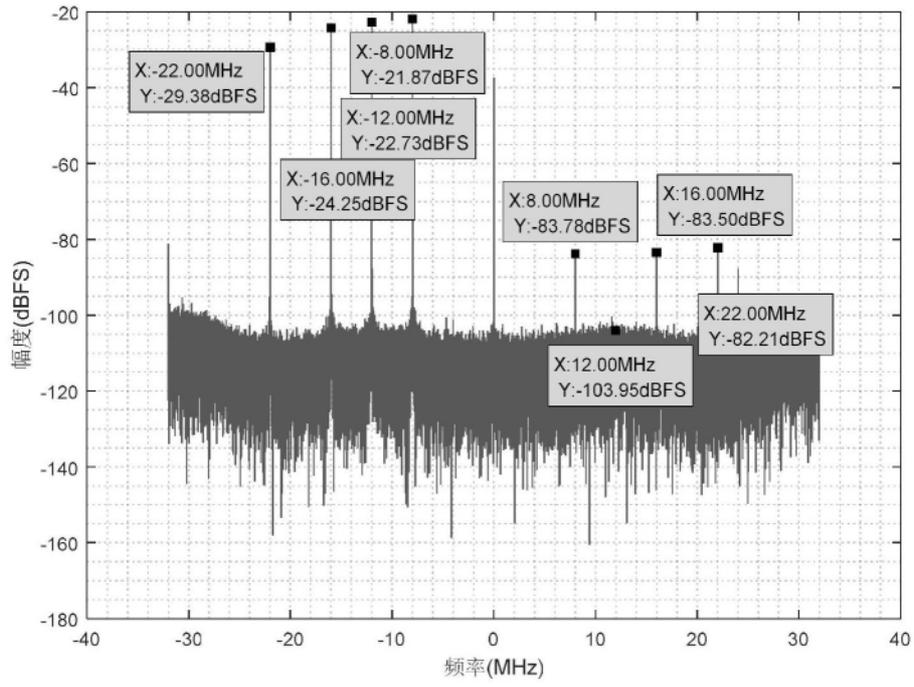


图8