



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 119716913 B

(45) 授权公告日 2025. 11. 25

(21) 申请号 202311258560.2

G01S 19/37 (2010.01)

(22) 申请日 2023.09.26

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 119716913 A

丁梦羽 等. "Equalization of Frequency Domain Adaptive Filter (FDAF) Using Signal Prediction Aided Reference Spectrum Model (SPRSM)". 《Transactions on Instrumentation and Measurement》. 2024, 第73卷pp. 1-16.

(43) 申请公布日 2025.03.28

(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

审查员 刘榕锰

(72) 发明人 丁梦羽 陈武 翁多杰

(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

专利代理师 王永文

(51) Int. Cl.

G01S 19/21 (2010.01)

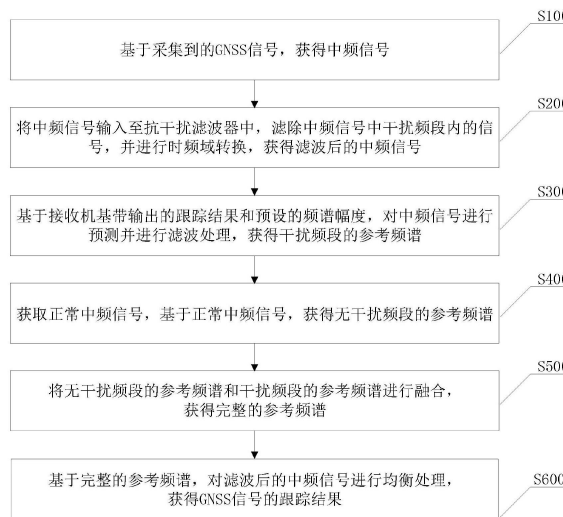
权利要求书3页 说明书13页 附图2页

(54) 发明名称

GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法、系统、接收机及介质

(57) 摘要

本发明提供的GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法、系统、接收机及介质,具体涉及GNSS干扰信号抑制技术领域,该方案包括:将采集到的GNSS信号的中频信号输入至抗干扰滤波器中,获得滤波后的中频信号;基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对中频信号进行预测并进行滤波处理,获得干扰频段的参考频谱;基于正常中频信号,获得无干扰频段的参考频谱;将无干扰频段的参考频谱和干扰频段的参考频谱进行融合,获得完整的参考频谱,进而对滤波后的中频信号进行均衡处理,获得均衡后的GNSS信号。该方案能够显著改善传统抗干扰滤波器引起的信号畸变,从而有效提高GNSS的抗干扰性能,进而提高接收机输出的信号的质量。



1. GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法,其特征在于,包括以下步骤:

基于采集到的GNSS信号,获得中频信号;

将所述中频信号输入至抗干扰滤波器中,滤除所述中频信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的中频信号;

基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测并进行滤波处理,获得干扰频段的参考频谱;

获取正常中频信号,基于所述正常中频信号,获得无干扰频段的参考频谱;

将所述无干扰频段的参考频谱和所述干扰频段的参考频谱进行融合,获得完整的参考频谱;

基于所述完整的参考频谱,对所述滤波后的中频信号进行均衡处理,获得均衡后的GNSS信号;

所述基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测并进行滤波处理,获得干扰频段的参考频谱,包括:

基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测,获得预测的GNSS信号;

将所述预测的GNSS信号输入至所述抗干扰滤波器中,滤除所述预测的GNSS信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的预测信号;

基于所述预测的GNSS信号和所述滤波后的预测信号,获得干扰频段的参考频谱;

所述基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测,获得预测的GNSS信号,包括:

获取前一时刻的码延迟和码跟踪误差,基于所述码延迟和所述码跟踪误差,获得预测的码延迟;

获取前一时刻的多普勒频偏和载波频率跟踪误差,基于所述多普勒频偏和所述载波频率跟踪误差,获得预测的多普勒频偏;

获取前一时刻的相位和载波相位跟踪误差,基于所述相位和所述载波相位跟踪误差,获得预测的相位;

基于所述接收机基带输出的前一时刻的跟踪结果,获得预测的导航电文;

根据所述预测的码延迟、所述预测的多普勒频偏、所述预测的相位、所述预测的导航电文和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测,获得预测的GNSS信号。

2. 根据权利要求1所述的GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法,其特征在于,所述将所述中频信号输入至抗干扰滤波器中,滤除所述中频信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的中频信号,包括:

利用所述抗干扰滤波器分析所述中频信号的特征,确定干扰信号的频段,获得干扰频段;

基于所述干扰频段,调整所述抗干扰滤波器的陷波频率,并基于所述陷波频率滤除所述干扰频段内的信号,获得滤波后的时域信号;

或者,通过比较所述中频信号的频谱幅度和预设门限值,抑制所述干扰频段内的信号,获得滤波后的时域信号;

将所述滤波后的时域信号进行傅里叶变换,获得滤波后的中频信号。

3. 根据权利要求1所述的GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法,其特征在于,所述基于所述预测的GNSS信号和所述滤波后的预测信号,获得干扰频段的参考频谱,包括:

计算所述预测的GNSS信号的频谱及所述滤波后的预测信号的频谱;

基于所述预测的GNSS信号的频谱和所述滤波后的预测信号的频谱的差值,获得干扰频段的参考频谱。

4. 根据权利要求1所述的GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法,其特征在于,所述基于所述完整的参考频谱,对所述滤波后的中频信号进行均衡处理,获得均衡后的GNSS信号,包括:

在无干扰频段内,获取所述滤波后的中频信号的幅度、所述完整的参考频谱的幅度和预设的幅度增益系数初值,调整所述幅度增益系数的取值,以使所述滤波后的中频信号的幅度与所述完整的参考频谱的幅度之差的绝对值最小,获得无干扰频段上均衡后的频域信号;

在干扰频段内,将滤除的所述干扰频段的参考频谱补偿到所述滤波后的中频信号的幅度,获得干扰频段上均衡后的频域信号;

基于所述无干扰频段上均衡后的频域信号和所述干扰频段上均衡后的频域信号,获得均衡后的频域信号;

对所述均衡后的频域信号进行逆傅里叶变换,获得均衡后的GNSS信号。

5. GNSS抗干扰滤波器的频域均衡系统,其特征在于,所述系统包括:

接收机前端,用于基于采集到的GNSS信号,获得中频信号;

抗干扰滤波器模块,用于将所述中频信号输入至抗干扰滤波器中,滤除所述中频信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的中频信号;

干扰频段频谱估计模块,用于基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测并进行滤波处理,获得干扰频段的参考频谱;

无干扰频段频谱估计模块,用于获取正常中频信号,基于所述正常中频信号,获得无干扰频段的参考频谱;

频谱融合模块,用于将所述无干扰频段的参考频谱和所述干扰频段的参考频谱进行融合,获得完整的参考频谱;

信号均衡模块,用于基于所述完整的参考频谱,对所述滤波后的中频信号进行均衡处理,获得均衡后的GNSS信号;

所述基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测并进行滤波处理,获得干扰频段的参考频谱,包括:

基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测,获得预测的GNSS信号;

将所述预测的GNSS信号输入至所述抗干扰滤波器中,滤除所述预测的GNSS信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的预测信号;

基于所述预测的GNSS信号和所述滤波后的预测信号,获得干扰频段的参考频谱;

所述基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测,获得预测的GNSS信号,包括:

获取前一时刻的码延迟和码跟踪误差,基于所述码延迟和所述码跟踪误差,获得预测

的码延迟;

获取前一时刻的多普勒频偏和载波频率跟踪误差,基于所述多普勒频偏和所述载波频率跟踪误差,获得预测的多普勒频偏;

获取前一时刻的相位和载波相位跟踪误差,基于所述相位和所述载波相位跟踪误差,获得预测的相位;

基于所述接收机基带输出的前一时刻的跟踪结果,获得预测的导航电文;

根据所述预测的码延迟、所述预测的多普勒频偏、所述预测的相位、所述预测的导航电文和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测,获得预测的GNSS信号。

6. 根据权利要求5所述的GNSS抗干扰滤波器的频域均衡系统,其特征在于,所述干扰频段频谱估计模块包括GNSS信号预测模块和抗干扰滤波器模型模块,其中,GNSS信号预测模块,用于基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测,获得预测的GNSS信号;

抗干扰滤波器模型模块,用于将所述预测的GNSS信号输入至所述抗干扰滤波器中,滤除所述预测的GNSS信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的预测信号。

7. 一种单天线抗干扰接收机,其特征在于,所述单天线抗干扰接收机上设置有抗干扰滤波器,所述抗干扰滤波器上存储有GNSS抗干扰滤波器的频域均衡程序,所述GNSS抗干扰滤波器的频域均衡程序被处理器执行时,实现如权利要求1-4任意一项上述GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法的步骤。

8. 计算机可读存储介质,其特征在于,所述计算机可读存储介质上存储有GNSS抗干扰滤波器的频域均衡程序,所述GNSS抗干扰滤波器的频域均衡程序被处理器执行时实现如权利要求1-4任意一项所述GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法的步骤。

## GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法、系统、接收机及介质

### 技术领域

[0001] 本发明涉及GNSS干扰信号抑制技术领域,尤其涉及的是一种GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法、系统、接收机及介质。

### 背景技术

[0002] 目前,全球卫星导航系统(GNSS)为全球物联网技术和人工智能技术的快速发展起到了重要的支撑作用,并在智能手机、智能手表、导航仪和无人机等方面得到广泛应用。然而,由于GNSS系统本身的抗干扰能力比较弱,保障GNSS系统在干扰环境下的可靠性显得尤为重要。

[0003] 现有技术中,通常是采用GNSS干扰信号滤波技术进行干扰抑制,其主要是根据GNSS前端采集的数据的分析结果,采用适当的滤波技术进行干扰信号的消减,例如自适应陷波技术、频域自适应滤波技术和变换域滤波技术等。这些干扰滤波技术虽然能够有效的抑制干扰信号对GNSS的影响,但干扰频段内有用的GNSS信号也同时被滤除。因此,GNSS抗干扰滤波技术存在容易造成有用的GNSS信号畸变或损耗的问题,从而导致GNSS信号质量下降,降低GNSS的性能。

[0004] 基于此,通信系统中通常采用均衡技术缓解信道传播造成的信号畸变问题。常见的均衡算法包括线性均衡、决策反馈均衡、自适应均衡和盲均衡等,这些均衡技术通过相应的滤波或补偿技术修正信号的波形、幅度或者相位,使之与参考模型的对应特征匹配,其中,参考模型通常是根据原始发射信号模型和信道特性建立的。而在实际环境中,接收到的GNSS信号通常是未知的,导致均衡所需的参考信号无法获取,因此传统的均衡技术很难用于补偿GNSS干扰引起的畸变,致使传统抗干扰滤波器引起的信号畸变无法得到有效改善,GNSS的抗干扰性能也不能得到有效提升。

### 发明内容

[0005] 鉴于上述现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法、系统、接收机及介质,旨在解决现有技术中存在的传统抗干扰滤波器引起的信号畸变无法得到有效改善,GNSS的抗干扰性能也不能得到有效提升的问题。

[0006] 为了实现上述目的,本发明第一方面提供一种GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法,包括以下步骤:

[0007] 基于采集到的GNSS信号,获得中频信号;

[0008] 将所述中频信号输入至抗干扰滤波器中,滤除所述中频信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的中频信号;

[0009] 基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测并进行滤波处理,获得干扰频段的参考频谱;

[0010] 获取正常中频信号,基于所述正常中频信号,获得无干扰频段的参考频谱;

[0011] 将所述无干扰频段的参考频谱和所述干扰频段的参考频谱进行融合,获得完整的

参考频谱；

[0012] 基于所述完整的参考频谱,对所述滤波后的中频信号进行均衡处理,获得均衡后的GNSS信号。

[0013] 可选的,所述基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测并进行滤波处理,获得干扰频段的参考频谱,包括:

[0014] 基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测,获得预测的GNSS信号;

[0015] 将所述预测的GNSS信号输入至所述抗干扰滤波器中,滤除所述预测的GNSS信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的预测信号;

[0016] 基于所述预测的GNSS信号和所述滤波后的预测信号,获得干扰频段的参考频谱;

[0017] 可选的,所述将所述中频信号输入至抗干扰滤波器中,滤除所述中频信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的中频信号,包括:

[0018] 利用所述抗干扰滤波器分析所述中频信号的特征,确定干扰信号的频段,获得干扰频段;

[0019] 基于所述干扰频段,调整所述抗干扰滤波器的陷波频率,并基于所述陷波频率滤除所述干扰频段内的信号,获得滤波后的时域信号;

[0020] 或者,通过比较所述中频信号的频谱幅度和预设门限值,抑制所述干扰频段内的信号,获得滤波后的时域信号;

[0021] 将所述滤波后的时域信号进行傅里叶变换,获得滤波后的中频信号。

[0022] 可选的,所述基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测,获得预测的GNSS信号,包括:

[0023] 获取前一时刻的码延迟和码跟踪误差,基于所述码延迟和所述码跟踪误差,获得预测的码延迟;

[0024] 获取前一时刻的多普勒频偏和载波频率跟踪误差,基于所述多普勒频偏和所述载波频率跟踪误差,获得预测的多普勒频偏;

[0025] 获取前一时刻的相位和载波相位跟踪误差,基于所述相位和所述载波相位跟踪误差,获得预测的相位;

[0026] 基于所述接收机基带输出的前一时刻的跟踪结果,获得预测的导航电文;

[0027] 根据所述预测的码延迟、所述预测的多普勒频偏、所述预测的相位、所述预测的导航电文和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测,获得预测的GNSS信号。

[0028] 可选的,所述基于所述预测的GNSS信号和所述滤波后的预测信号,获得干扰频段的参考频谱,包括:

[0029] 计算所述预测的GNSS信号的频谱及所述滤波后的预测信号的频谱;

[0030] 基于所述预测的GNSS信号的频谱和所述滤波后的预测信号的频谱的差值,获得干扰频段的参考频谱。

[0031] 可选的,所述基于所述完整的参考频谱,对所述滤波后的中频信号进行均衡处理,获得均衡后的GNSS信号,包括:

[0032] 在无干扰频段内,获取所述滤波后的中频信号的幅度、所述完整的参考频谱的幅度和预设的幅度增益系数初值,调整所述幅度增益系数的取值,以使所述滤波后的中频信

号的幅度与所述完整的参考频谱的幅度之差的绝对值最小,获得无干扰频段上均衡后的频域信号;

[0033] 在干扰频段内,将滤除的所述干扰频段的参考频谱补偿到所述滤波后的中频信号的幅度,获得干扰频段上均衡后的频域信号;

[0034] 基于所述无干扰频段上均衡后的频域信号和所述干扰频段上均衡后的频域信号,获得均衡后的频域信号;

[0035] 对所述均衡后的频域信号进行逆傅里叶变换,获得均衡后的GNSS信号。

[0036] 本发明第二方面提供一种GNSS抗干扰滤波器的频域均衡系统,所述系统包括:

[0037] 接收机前端,用于基于采集到的GNSS信号,获得中频信号;

[0038] 抗干扰滤波器模块,用于将所述中频信号输入至抗干扰滤波器中,滤除所述中频信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的中频信号;

[0039] 干扰频段频谱估计模块,用于基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测并进行滤波处理,获得干扰频段的参考频谱;

[0040] 无干扰频段频谱估计模块,用于获取正常中频信号,基于所述正常中频信号,获得无干扰频段的参考频谱;

[0041] 频谱融合模块,用于将所述无干扰频段的参考频谱和所述干扰频段的参考频谱进行融合,获得完整的参考频谱;

[0042] 信号均衡模块,用于基于所述完整的参考频谱,对所述滤波后的中频信号进行均衡处理,获得均衡后的GNSS信号。

[0043] 可选的,所述干扰频段频谱估计模块包括GNSS信号预测模块和抗干扰滤波器模型模块,其中,

[0044] GNSS信号预测模块,用于基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对所述中频信号进行预测,获得预测的GNSS信号;

[0045] 抗干扰滤波器模型模块,用于将所述预测的GNSS信号输入至所述抗干扰滤波器中,滤除所述预测的GNSS信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的预测信号。

[0046] 本发明第三方面提供一种单天线抗干扰接收机,所述单天线接收机上设置有抗干扰滤波器,所述抗干扰滤波器上存储有GNSS抗干扰滤波器的频域均衡程序,所述GNSS抗干扰滤波器的频域均衡程序被处理器执行时,实现任意一项上述GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法的步骤。

[0047] 本发明第四方面提供一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质上存储有GNSS抗干扰滤波器的频域均衡程序,所述GNSS抗干扰滤波器的频域均衡程序被处理器执行时实现任意一项上述GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法的步骤。

[0048] 与现有技术相比,本方案的有益效果如下:

[0049] 本发明以接收机前端采集的中频信号为处理对象,分别建立无干扰频段参考频谱和干扰频段参考频谱,并将二者融合之后获得的完整的参考频谱作为均衡器补偿信号畸变的参考模型,对抗干扰滤波器处理后的畸变的中频信号进行均衡处理,获得均衡后的GNSS信号。可见,本发明的方法在整个频域均衡处理过程中,仅需要基于完整的参考频谱,对滤波后的中频信号进行均衡处理,而且无需改变传统抗干扰滤波器的内部结构,即可获得完整的参考频谱。不仅能够显著改善传统抗干扰滤波器引起的信号畸变,从而有效提高GNSS

的抗干扰性能,进而提高接收机输出的信号的质量,而且具有实现简单,计算量小,及硬件成本低的优点。

### 附图说明

[0050] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,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性的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。

[0051] 图1为本发明的GNSS抗干扰滤波器的频域均衡系统结构示意图;

[0052] 图2为本发明的GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法流程图;

[0053] 图3为本发明的抗干扰滤波前后干扰信号频谱与正常中频信号频谱对比图。

### 具体实施方式

[0054] 以下描述中,为了说明而不是为了限定,提出了诸如特定系统结构、技术之类的具体细节,以便透彻理解本发明实施例。然而,本领域的技术人员应当清楚,在没有这些具体细节的其它实施例中也可以实现本发明。在其它情况下,省略对众所周知的系统、装置、电路以及方法的详细说明,以免不必要的细节妨碍本发明的描述。

[0055] 应当理解,当在本说明书和所附权利要求书中使用时,术语“包括”指示所描述特征、整体、步骤、操作、元素和/或组件的存在,但并不排除一个或多个其它特征、整体、步骤、操作、元素、组件和/或其集合的存在或添加。

[0056] 还应当理解,在本发明说明书中所使用的术语仅仅是出于描述特定实施例的目的而并不意在限制本发明。如在本发明说明书和所附权利要求书中所使用的那样,除非上下文清楚地指明其它情况,否则单数形式的“一”、“一个”及“该”意在包括复数形式。

[0057] 还应当进一步理解,在本发明说明书和所附权利要求书中使用的术语“和/或”是指相关联列出的项中的一个或多个的任何组合以及所有可能组合,并且包括这些组合。

[0058] 如在本说明书和所附权利要求书中所使用的那样,术语“如果”可以依据上下文被解释为“当...时”或“一旦”或“响应于确定”或“响应于检测到”。类似的,短语“如果确定”或“如果检测到[所描述条件或事件]”可以依据上下文被解释为意指“一旦确定”或“响应于确定”或“一旦检测到[所描述的条件或事件]”或“响应于检测到[所描述条件或事件]”。

[0059] 下面结合本发明实施例的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅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前提下所获得的所有其它实施例,都属于本发明保护的范围。

[0060] 在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明,但是本发明还可以采用其它不同于在此描述的其它方式来实施,本领域技术人员可以在不违背本发明内涵的情况下做类似推广,因此本发明不受下面公开的具体实施例的限制。

[0061] 对于单天线接收机,抗干扰滤波器目前最有效的减缓干扰影响的手段之一。然而抗干扰滤波器会同时滤除中频信号中的干扰信号和有用的GNSS信号(通常指下文提及的正常的GNSS信号),导致信号畸变的问题,影响信号质量。然而传统的均衡技术很难用于补偿

这类由干扰滤波器引起的信号损失,因此本发明提出了一种适用于GNSS抗干扰滤波器的GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法。该方法结合正常的中频信号(通常指下文提及的正常信号,其中正常信号指的是接收机接收到的正常的GNSS信号和噪声的混合信号)的频谱特征,同时利用接收机的跟踪结果进行GNSS信号预测,获得预测的GNSS信号,并融合正常信号的频谱特征和预测的GNSS信号的频谱特征,获得完整的参考频谱;通过滤除GNSS信号的中频信号中干扰频段内的信号后得到滤波后的频域信号,然后基于完整的参考频谱,对滤波后的频域信号进行均衡处理,获得均衡后的GNSS信号。该方法提出的适用于GNSS抗干扰滤波器的信号预测辅助的频域均衡技术,通过独立的模块和简单可行的频域补偿实现对GNSS抗干扰滤波器的优化,能够有效地减轻GNSS信号畸变,显著提高GNSS的抗干扰能力,具有工程应用意义。

#### [0062] 示例性方法

[0063] 本发明实施例提供一种GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法,部署于GNSS抗干扰滤波器的频域均衡系统上,但并不限于此,还可以是其他的能够接收GNSS信号的手机、智能穿戴产品、导航仪、无人机等电子设备上,针对的是在频域补偿单天线GNSS接收机抗干扰滤波器引起的信号畸变的情况。

[0064] 本实施例的GNSS抗干扰滤波器的频域均衡系统的结构,如图1所示,主要包括:接收机前端,抗干扰滤波器模块,主离散傅里叶变换(Discrete Fourier Transform, DFT)模块,即主DFT模块,信号均衡模块,主逆离散傅里叶变换(Inverse Discrete Fourier Transform, IDFT)模块,即主IDFT模块,接收机基带模块和参考频谱估计模块,其中,信号均衡模块具有两个输入端和一个输出端,接收机基带模块具有一个输入端和两个输出端,GNSS信号预测模块具有两个输入端和两个输出端,抗干扰滤波模型模块具有一个输入端和一个输出端,次级DFT模块具有三个输入端和一个输出端。具体的,接收机接收到的信号由接收机前端处理得到中频信号,中频信号数据输入至抗干扰滤波器模块,干扰滤波器的输入端连接到主DFT模块的输入端,主DFT模块的输出端连接到信号均衡模块的第一输入端,信号均衡模块的输出端连接到主IDFT模块的输入端,IDFT模块的输出端连接到接收机基带模块的输入端,接收机基带模块的第一输出端用作导航解算,第二输出端连接到GNSS信号预测模块的第一输入端;同时预设信号幅度通过GNSS信号预测模块的第二输入端输入至GNSS信号预测模块,GNSS信号预测模块的第一输出端连接到次级DFT模块的第一输入端,第二输出端连接到抗干扰滤波器模型模块的输入端,抗干扰滤波器模型的输出端连接到次级DFT模块的第二输入端;正常无干扰信号连接到接收机前端模型模块的输入端,接收机前端模型模块的输出端连接次级DFT模块的第三输入端,次级DFT模块的输出端连接到频谱融合模块的输入端,频谱融合模块的输出端连接到信号均衡模块的第二输入端。

[0065] 其中,接收机前端,用于基于采集到的GNSS信号,获得中频信号;

[0066] 抗干扰滤波器模块,用于将中频信号输入至抗干扰滤波器中,滤除中频信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的中频信号;

[0067] GNSS信号预测模块,用于基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对中频信号进行预测,获得预测的GNSS信号;

[0068] 抗干扰滤波器模型模块,用于将预测的GNSS信号输入至抗干扰滤波器中,滤除预测的GNSS信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的预测信号;

[0069] 无干扰频段频谱估计模块,用于获取正常中频信号,基于正常中频信号,获得无干扰频段的参考频谱;

[0070] 干扰频段频谱估计模块,用于基于预测的GNSS信号和滤波后的预测信号,获得干扰频段的参考频谱;

[0071] 频谱融合模块,用于将无干扰频段的参考频谱和干扰频段的参考频谱进行融合,获得完整的参考频谱;

[0072] 信号均衡模块,用于基于完整的参考频谱,对滤波后的中频信号进行均衡处理,获得均衡后的GNSS信号;

[0073] 主DFT模块,用于在将中频信号输入至抗干扰滤波器中,并滤除中频信号中干扰频段内的信号之后,进行傅里叶变换,获得滤波后的中频信号;

[0074] 次级DFT模块,用于对正常中频信号的时域信号进行傅里叶变换,获得无干扰频段的参考频谱;还用于对预测的GNSS信号和滤波后的预测信号的时域信号分别进行傅里叶变换,获得干扰频段的参考频谱;

[0075] 主IDFT模块,用于基于完整的参考频谱,对滤波后的中频信号进行均衡处理之后,对获得的均衡后的频域信号进行逆傅里叶变换,获得均衡后的GNSS信号;

[0076] GNSS接收机基带模块,包括捕获和跟踪两个模块,捕获模块的输出为跟踪模块服务,跟踪模块的输出就是最终用于定位解算的观测量,即伪距和载波相位。

[0077] 本实施例中参考频谱估计模块包含无干扰频段频谱估计模块、干扰频段频谱估计模块、次级DFT模块和频谱融合四个模块,无干扰频段频谱估计模块包括正常信号输出模块和接收机前端模型模块,干扰频段频谱估计模块包括GNSS信号预测模块和抗干扰滤波器模型模块。

[0078] 进一步地,参考频谱估计模块包括干扰频段频谱估计模块和无干扰频段频谱估计模块,其中,干扰频段频谱估计模块,用于基于预测的GNSS频域信号和滤波后的频域信号,获得滤除的频域信号,并基于滤除的频域信号,获得干扰频段的参考频谱;无干扰频段频谱估计模块,用于获取正常信号的频谱,基于正常信号的频谱,获得无干扰频段的参考频谱;参考频谱估计模块,用于将干扰频段的参考频谱和无干扰频段的参考频谱进行融合,获得完整的参考频谱。

[0079] 进一步地,接收机前端采集的中频信号由抗干扰滤波器模块进行干扰信号的滤除,并通过主DFT模块进行傅里叶变换,获得滤波后的GNSS信号的频域信号。

[0080] 进一步地,参考频谱估计模块根据跟踪结果计算均衡所需的完整的参考频谱,信号均衡模块根据完整的参考频谱对输入的信号的傅里叶变换结果进行补偿,补偿后的结果由主IDFT模块进行逆傅里叶变换转为时域信号,时域信号由接收机基带的捕获模块和跟踪模块处理之后得到跟踪结果,并将跟踪结果反馈至参考频谱估计模块。

[0081] 本实施例的系统仅需要利用抗干扰滤波器模块获取滤波后的中频信号、接收机基带跟踪结果和预设的频谱幅度,无需改变传统抗干扰滤波器结构和接收机信号处理的内部结构,即可获得完整的参考频谱,然后采用获得的完整的参考频谱对滤波后的频域信号进行均衡处理,能够显著改善传统抗干扰滤波器引起的信号畸变,能有效提高GNSS的抗干扰性能,而且具有复杂性低,计算量小,及硬件成本低的优点,易于实现,具有工程实践意义。

[0082] 上述GNSS抗干扰滤波器的频域均衡系统用于实现GNSS抗干扰滤波器的频域均衡

方法,该方法的流程图如图2所示,主要包括以下步骤:

[0083] 步骤S100:基于采集到的GNSS信号,获得中频信号;

[0084] 具体地,接收机前端将采集到的受干扰信号转换成中频数据。

[0085] 步骤S200:将中频信号输入至抗干扰滤波器中,滤除中频信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的中频信号;

[0086] 具体地,抗干扰滤波器模块对中频信号进行分析,确定干扰信号的频段,调整滤波器的配置,滤除干扰频段内的信号分量,获得滤波后的中频信号。容易理解的是,通常接收机获取到的信号是时域信号,本实施例进行频域均衡的前提是将时域信号通过傅立叶变换转换为频域信号即可。常见的抗干扰滤波器包括自适应陷波器和频域自适应滤波器等。

[0087] 步骤S300:基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对中频信号进行预测并进行滤波处理,获得干扰频段的参考频谱;

[0088] 具体地,初始时刻无跟踪结果,GNSS预测值预设为空,随着时间的推移,GNSS信号预测模块根据接收机基带输出的跟踪结果和预设幅度估计下一时刻的GNSS信号,获得预测的GNSS频域信号,并将预测的GNSS频域信号分别输入至抗干扰滤波器模型模块,获得滤波后的预测信号;然后对比预测的GNSS信号和滤波后的预测信号,获取预测的GNSS信号中被滤除的GNSS信号的频谱,并将其作为干扰频段的参考频谱。

[0089] 步骤S400:获取正常中频信号,基于正常中频信号,获得无干扰频段的参考频谱;

[0090] 具体地,获取正常的GNSS信号中的中频信号,基于正常中频信号,获取正常中频信号的频谱,并将正常中频信号的频谱作为无干扰频段的参考频谱。

[0091] 步骤S500:将无干扰频段的参考频谱和干扰频段的参考频谱进行融合,获得完整的参考频谱;

[0092] 具体地,频谱融合模块将无干扰频段的参考频谱和干扰频段的参考频谱进行叠加,获得完整的参考频谱。

[0093] 步骤S600:基于完整的参考频谱,对滤波后的中频信号进行均衡处理,获得均衡后的GNSS信号。

[0094] 具体地,信号均衡模块将滤波后的中频信号的频谱和完整的参考频谱相对比,对滤波后的中频信号进行均衡处理,获得均衡后的频域结果;IDFT模块对均衡后的频域结果进行逆傅里叶变换,将其转换为时域信号,并输入至接收机基带模块,接收机基带模块对时域信号进行处理,获得均衡后的GNSS信号,跟踪结果一方面用于定位解算,一方面输入到GNSS预测模块,重复步骤S300~步骤S700,以更新完整的参考频谱。

[0095] 可见,本实施例以接收机前端采集的中频信号为处理对象,分别建立无干扰频段参考频谱和干扰频段参考频谱,并将二者融合作为均衡器补偿信号畸变的参考模型,对抗干扰滤波器处理后的畸变的中频信号进行均衡处理,获得均衡后的GNSS信号。该方法的整个频域均衡处理过程,仅需要将采集的GNSS信号的中频信号输入至抗干扰滤波器中获得滤波后的中频信号,以及基于完整的参考频谱,对滤波后的中频信号进行均衡处理,而且无需改变传统抗干扰滤波器的内部结构,即可获得完整的参考频谱。不仅能够显著改善传统抗干扰滤波器引起的信号畸变,从而有效提高GNSS的抗干扰性能,进而提高接收机输出的信号的质量,而且具有实现简单,计算量小,及硬件成本低的优点。

[0096] 在一种实施方式中,对步骤S200中将中频信号输入至抗干扰滤波器中,滤除中频

信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的中频信号,具体包括:

[0097] 步骤S210:利用抗干扰滤波器分析中频信号的特征,确定干扰信号的频段,获得干扰频段;

[0098] 步骤S220:基于干扰频段,调整抗干扰滤波器的陷波频率,并基于陷波频率滤除干扰频段内的信号,获得滤波后的时域信号;

[0099] 或者,通过比较中频信号的频谱幅度和预设门限值,抑制干扰频段内的信号,获得滤波后的时域信号;

[0100] 步骤S230:将滤波后的时域信号进行傅里叶变换,获得滤波后的中频信号。

[0101] 本实施例以两种常见的抗干扰滤波器中的自适应陷波器或者频域自适应滤波器为例进行详细说明。

[0102] 第一种是自适应陷波器,其可以自助跟踪和滤除干扰信号,其传递函数为

$$[0103] \quad H_{JF}(z) = \frac{N(z)}{D(z)} = \frac{1 - 2\alpha z^{-1} + z^{-2}}{1 - \alpha(1+r)z^{-1} + rz^{-2}} \quad (1)$$

[0104] 其中, $z$ 为 $Z$ 变换算子, $r \in (0, 1)$ 决定了自适应陷波器的带宽,通常设置在0.95~0.99之间,陷波频率 $f_{\text{stop}}$ 由采样频率 $f_s$ 和参数 $\alpha$ 决定,记为 $f_{\text{stop}} = f_s \arccos(\alpha) / 2\pi$ [Hz]。

[0105] 由于干扰信号的功率远大于GNSS信号和噪声,因此自适应陷波器通过保证输出信号 $y$ 能量最小,实现自适应调整陷波频率到干扰频率处,从而滤除干扰信号。自适应陷波器的代价函数为:

$$[0106] \quad \min(J) = \min(E[y^2]) \quad (2)$$

[0107] 另一种是频域自适应滤波器,其通过比较信号的频谱幅度和预设门限来抑制干扰信号。当信号频谱幅值超过预设门限,频域滤波器则将该频点幅值置0,实现干扰信号的移除。其中,频域自适应滤波器的传递函数为:

$$[0108] \quad H_{Jf} = \begin{cases} 1, & |R_k| < V_{T,k} \\ 0, & |R_k| \geq V_{T,k} \end{cases} \quad (3)$$

[0109] 其中, $k$ 为短时傅里叶变换的第 $k$ 个频点,其对应的频率为 $f_k = kf_s/N$ , $N$ 傅里叶变换点数, $f_s$ 为采样频率。 $|R_k|$ 为信号在 $f_k$ 处的频谱幅度, $V_{T,k}$ 为对应的门限。

[0110] 由于正常信号的频谱幅度服从瑞利分布,而干扰环境下信号的频谱幅度远超正常范围,因此门限值 $V_{T,k}$ 可通过预设虚警概率 $P_{fa}$ 和正常情况下噪声功率 $\sigma^2$ 设定,具体为:

$$[0111] \quad V_{T,k} = \sigma \sqrt{-2\ln(P_{fa})} \quad (4)$$

[0112] 基于自适应陷波器或频域自适应滤波器获得滤波后的时域信号,由于本发明要采用频域均衡技术,因此将滤波后的时域信号进行傅里叶变换,转换为频域内的滤波后的中频信号。

[0113] 本实施例中,由于对滤波后的中频信号进行处理的过程中,不受抗干扰滤波器的类型、数量及参数的影响,因此可以选用各种类型的GNSS抗干扰滤波器进行滤波优化,适用范围广。

[0114] 在一种实施方式中,对步骤S300中基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对中频信号进行预测并进行滤波处理,获得干扰频段的参考频谱,具体包括:

[0115] 步骤S310:基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对中频信号进行预测,获得预测的GNSS信号;

[0116] 具体地,初始时刻无跟踪结果,GNSS预测值预设为空,随着时间的推移,GNSS信号预测模块根据接收机基带输出的跟踪结果和预设幅度估计下一时刻的GNSS信号,并经过时频域转换,获得预测的GNSS频域信号,并将预测的GNSS频域信号分别输入至抗干扰滤波器模型模块和次DFT模块。

[0117] 步骤S320:将预测的GNSS信号输入至抗干扰滤波器中,滤除预测的GNSS信号中干扰频段内的信号,获得滤波后的预测信号;

[0118] 具体地,抗干扰滤波器模型模块与抗干扰滤波器配置相同,处理GNSS预测值获取滤波后的GNSS信号,并输入至次级DFT模块。

[0119] 步骤S330:基于预测的GNSS信号和滤波后的预测信号,获得干扰频段的参考频谱;

[0120] 具体地,对比预测的GNSS信号和滤波后的预测信号,获取预测的GNSS信号中被滤除的GNSS信号的频谱,并将其作为干扰频段的参考频谱。

[0121] 在一种实施方式中,对步骤310中基于接收机基带输出的跟踪结果和预设的频谱幅度,对中频信号进行预测,获得预测的GNSS信号,具体包括:

[0122] 步骤311:获取前一时刻的码延迟和码跟踪误差,基于码延迟和码跟踪误差,获得预测的码延迟;

[0123] 步骤312:获取前一时刻的多普勒频偏和载波频率跟踪误差,基于多普勒频偏和载波频率跟踪误差,获得预测的多普勒频偏;

[0124] 步骤313:获取前一时刻的相位和载波相位跟踪误差,基于相位和载波相位跟踪误差,获得预测的相位;

[0125] 步骤314:基于接收机基带输出的前一时刻的跟踪结果,获得预测的导航电文;

[0126] 步骤315:根据预测的码延迟、预测的多普勒频偏、预测的相位、预测的导航电文和预设的频谱幅度,对中频信号进行预测,获得预测的GNSS信号。

[0127] 例如,在干扰频段,参考频谱是基于预测的GNSS信号的频域结果设计的。在静态或低动态环境下,短时间内接收到的信号的多普勒频移变化量很小,可以根据接收机基带中频信号和载波跟踪误差估计下一时刻的码偏移量和载波频率。此外,由于导航电文的周期较长(一般为20ms),因此导航电文的符号可近似为与前一时刻相同。那么,t时刻GNSS信号的预测值为:

$$[0128] \quad \zeta^p(t) = A^p c(t - \tau^p) d^p \sin(2\pi(f_{IF} - f_d^p)t + \theta^p) \quad (5)$$

[0129] 其中, $A^p$ 为预设的信号幅值,一般设置为无干扰时初始信号的幅度; $c$ 表示跟踪卫星的C/A码; $f_{IF}$ 为固定值,其表示GNSS接收机的中频; $\tau^p$ 为预测的码延迟,为前一时刻的码延迟加上码跟踪误差; $f_d^p$ 为预测的多普勒频偏,为前一时刻的多普勒频偏加上前一时刻载波频率跟踪误差; $\theta^p$ 为预测的相位,为前一时刻的相位加上前一时刻载波相位跟踪误差; $d^p$ 为预测的导航电文,为前一时刻跟踪结果中相关值的符号,即若相关值为正数, $d^p$ 则为1,反之, $d^p$ 为-1。

[0130] 预测的GNSS信号经过抗干扰滤波器的处理,得到滤波后的GNSS信号,即滤波后的预测信号。分别对预测的GNSS信号和滤波后的GNSS信号进行傅里叶变换,得到GNSS预测值

的频谱结果 $S_k^p$ 和滤波后的GNSS预测值的频谱结果 $\hat{S}_k^p$ ,即

$$[0131] \quad S_k^p = \sum_{n=0}^{N-1} s_n^p e^{\frac{2\pi i k n}{N}} \quad (6)$$

$$[0132] \quad \hat{S}_k^p = H_{Jf} \sum_{n=0}^{N-1} s_n^p e^{\frac{2\pi i k n}{N}} \quad (7)$$

[0133] 本实施例综合考虑干扰频段内GNSS信号的变化特性,利用前一时刻的码延迟、多普勒频偏、载波相位跟踪误差及导航电文的格式,从多个角度精确推测出当前时刻GNSS信号的预测值,使得预测结果更贴近实际,预测结果精度更高。

[0134] 本实施例所提出的上述GNSS信号预测方式,可以实现对GPS,北斗,GLONASS, Galileo等多种卫星导航系统的信号的预测,通用性广,具有很高的工程应用价值。

[0135] 在一种实施方式中,对步骤S330中基于预测的GNSS信号和滤波后的预测信号,获得干扰频段的参考频谱,具体包括:

[0136] 步骤S331:计算预测的GNSS信号的频谱及滤波后的预测信号的频谱;

[0137] 步骤S332:基于预测的GNSS信号的频谱和滤波后的预测信号的频谱的差值,获得干扰频段的参考频谱。

[0138] 结合公式(6)和公式(7),被滤除的GNSS信号的频域结果可近似为 $S_k^p - \hat{S}_k^p$ ,并将其作为干扰频段信号均衡的参考频谱。容易理解的是,为了避免干扰频段对预测的GNSS信号的精度带来影响,需要首先确定干扰频段的参考频谱,本实施例将在干扰环境中预测的GNSS信号的频谱和将干扰频谱滤除后得到的滤波后的预测信号的频谱做差,便获得干扰频段的参考频谱,简单高效。

[0139] 在一种实施方式中,对步骤S400中获取正常中频信号,基于正常中频信号,获得无干扰频段的参考频谱,具体包括:

[0140] 步骤S410:采集若干组正常的中频信号,并进行傅里叶变换,获得若干组正常信号的频谱;

[0141] 步骤S420:计算所有正常信号的频谱的平均值,获得无干扰频段的参考频谱。

[0142] 例如,在无干扰的正常环境中,GNSS信号被噪声信号淹没,而噪声信号的功率一般较为稳定,因此接收机处理得到的正常中频信号的频谱由天线和接收机前端中滤波器和放大器决定。基于这一事实,无干扰频段的参考频谱的幅值可由正常信号的频谱特征得到。即采集多组正常信号的中频信号,并进行短时傅里叶变换获得M组正常信号的频谱,频谱幅度的平均值作为修正无干扰频段信号的幅度的参考模型。该无干扰频段参考频谱 $|R_{ref,k}|$ 可表示为:

$$[0143] \quad |R_{ref,k}| = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left| \sum_{n=0}^{N-1} r_n^m e^{\frac{2\pi i k n}{N}} \right| \quad (8)$$

[0144] 其中, $r_n^m$ 为第M组第n个数据点,N为傅里叶变换点数,k为短时傅里叶变换的第k个频点, $\sum_{n=0}^{N-1} r_n^m e^{\frac{2\pi i k n}{N}}$ 表示对接收的中频信号 $r_n^m$ 进行短时傅里叶变换。

[0145] 在一种实施方式中,对步骤S700中将无干扰频段的参考频谱和干扰频段的参考频谱进行融合,获得完整的参考频谱,具体包括:

[0146] 将无干扰频段的参考频谱和干扰频段的参考频谱进行叠加,获得完整的参考频谱。

[0147] 例如,无干扰频段内,信号的幅度被降低,因此参考频谱为正常信号的频谱幅度,为信号均衡提供参考;在干扰频段内,信号被严重衰减,被滤除的GNSS信号作为参考频谱进行畸变信号的均衡。因此,结合公式(6)、公式(7)和公式(8),完整的参考频谱 $R_{ref,k}$ ,表示为:

$$[0148] \quad \begin{cases} |R_{ref,k}| = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left| \sum_{n=0}^{N-1} r_n^m e^{-\frac{2\pi i k n}{N}} \right|, f \notin F_J \\ R_{ref,k} = S_k^p - \hat{S}_k^p, f \in F_J \end{cases} \quad (9)$$

[0149] 其中, $F_J$ 为干扰频段。

[0150] 本实施例结合信号频谱在无干扰频段和干扰频段的特点,分别求解无干扰频段和干扰频段内的频谱,然后将二者融合为完整的参考频谱,以保障最终的参考频谱能有效反映各种真实环境下的频谱特征,为后续进行提高频域均衡处理的精确性奠定良好的基础。

[0151] 在一种实施方式中,对步骤S600中基于完整的参考频谱,对滤波后的中频信号进行均衡处理,获得均衡后的GNSS信号,具体包括:

[0152] 步骤S610:在无干扰频段内,获取滤波后的中频信号的幅度、完整的参考频谱的幅度和预设的幅度增益系数初值,调整幅度增益系数的取值,以使滤波后的中频信号的幅度与完整的参考频谱的幅度之差的绝对值最小,获得无干扰频段上均衡后的频域信号;

[0153] 步骤S620:在干扰频段内,将滤除的干扰频段的参考频谱补偿到滤波后的中频信号的幅度,获得干扰频段上均衡后的频域信号;

[0154] 步骤S630:基于无干扰频段上均衡后的频域信号和干扰频段上均衡后的频域信号,获得均衡后的频域信号;

[0155] 步骤S640:对均衡后的频域信号进行逆傅里叶变换,获得均衡后的GNSS信号。

[0156] 图3所示,为抗干扰滤波前、后干扰信号的频谱与正常信号的频谱仿真图。从图中可以看出,当存在干扰信号时,由于干扰功率远大于正常信号,干扰频段的频谱幅度远高于正常值,前端自动增益控制器为了保证输出信号的能量稳定,会降低放大器系数,导致无干扰频段的信号谱值低于正常值。当被干扰信号被抗干扰滤波器处理后,干扰频段的信号被明显衰减,导致被滤波后的信号发生明显畸变。因此,均衡处理需要补偿自动增益控制器在无干扰频段造成的幅度衰减和抗干扰滤波器在干扰频率造成的信号衰减,并将完整的参考频谱的设计分为无干扰频段频谱和干扰频段频谱两个部分。

[0157] 基于上述分析,信号均衡是对比采集的GNSS信号的频域结果与公式(9)的参考频谱。均衡算法eqz为:

$$[0158] \quad eqz = \begin{cases} \operatorname{argmin} \|G_k |\hat{R}_k| - |R_{ref,k}|\|^2, f \notin F_J \\ \operatorname{argmin} \|(S_k - \hat{S}_k) - (S_k^p - \hat{S}_k^p)\|^2, f \in F_J \end{cases} \quad (10)$$

[0159] 其中, $\hat{R}_k$ 为采集的无干扰频段的GNSS信号的频域结果, $S_k$ 为滤波前采集的干扰频段的GNSS信号的频域结果, $\hat{S}_k$ 为抗干扰滤波后的GNSS信号的频域结果, $G_k$ 为幅度增益系数。

[0160] 信号均衡算法的主要目的在于:在无干扰频段,调整增益 $G_k \approx |R_{ref,k}|/|\hat{R}_k|$ 使得无干扰频段信号的幅度与参考频谱幅度近似;在干扰频段,滤波后的GNSS预测值与被滤波后

的实际GNSS信号类似,并将被滤除的GNSS信号的频域结果 $S_k^p - \hat{S}_k^p$ 补偿到干扰频段,综合无干扰频段和干扰频段的均衡结果,整体上均衡后的信号的频域结果 $\hat{R}_{k,c}$ 可表示为:

$$[0161] \quad \hat{R}_{k,c} = \begin{cases} G_k |\hat{R}_k| e^{i\psi(\hat{R}_k)}, & f \notin F_J \\ \hat{R}_k + S_k^p - \hat{S}_k^p, & f \in F_J \end{cases} \quad (11)$$

[0162] 其中, $e^{i\psi(\hat{R}_k)}$ 为均衡前信号 $\hat{R}_k$ 的相位。

[0163] 然后,主IDFT模块对整体上均衡后的信号的频域结果进行逆傅里叶变换,将其转换为时域信号,并输入到接收机基带模块。

[0164] 均衡后的信号 $\hat{R}_{k,c}$ 进行逆傅里叶变换(IDFT),得到均衡后的时域信号,即均衡后的GNSS信号 $\hat{r}_{k,c}$ ,可表示为:

$$[0165] \quad \hat{r}_{k,c} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \hat{R}_{k,c} e^{\frac{2\pi i k n}{N}} \quad (12)$$

[0166] 进一步地,将均衡后的信号输入至接收机基带模块,获得对原始采集到的GNSS信号的跟踪结果,跟踪结果一方面用于定位解算,另一方面输入到GNSS预测模块,重复步骤S300~步骤S700,以更新完整的参考频谱。

[0167] 本实施例采用参考频谱辅助的信号均衡算法,结合干扰频段和无干扰频段各自的均衡策略分别进行均衡处理,并将干扰频段内的均衡结果和无干扰频段内的均衡结果进行融合,获得整体上的均衡处理效果,能够有效改善传统抗干扰滤波器引起的信号畸变的问题,从而有效提高GNSS接收机的抗干扰性能,显著改善GNSS信号的质量。

[0168] 本发明的频域均衡方法对应的频域均衡系统内嵌在抗干扰滤波器中,可作为一个独立的结构,仅需要通过频域均衡系统获取滤波后的中频信号和接收机基带跟踪结果,无需改变传统抗干扰滤波器结构和接收机处理信号的内部结构,易于实现,硬件成本较低。而且,在整个运算过程中,仅需要通过简单的短时傅里叶变换和反变换进行数据处理,利用乘法器实现GNSS信号预测,利用加法器和放大器实现信号均衡,计算量小,复杂度低,易于实现,具有广泛的应用前景和商业价值。

[0169] 对应于上述GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法,本发明实施例还提供一种单天线抗干扰接收机,该单天线抗干扰接收机上设置有抗干扰滤波器,抗干扰滤波器上存储有GNSS抗干扰滤波器的频域均衡程序,GNSS抗干扰滤波器的频域均衡程序被处理器执行时,实现上述GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法的步骤,在此不再赘述。

[0170] 本发明实施例还提供一种计算机可读存储介质,上述计算机可读存储介质上存储有GNSS抗干扰滤波器的频域均衡程序,上述GNSS抗干扰滤波器的频域均衡程序被处理器执行时实现本发明实施例提供的任何一种GNSS抗干扰滤波器的频域均衡方法的步骤。

[0171] 应理解,上述实施例中各步骤的序号大小并不意味着执行顺序的先后,各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定,而不对本发明实施例的实施过程构成任何限定。

[0172] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为了描述的方便和简洁,仅以上述各功能单元、模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能单元、模块完成,即将上述装置的内部结构划分成不同的功能单元或模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能单元、模块可以集成在一个处理单元中,也可

以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中,上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。另外,各功能单元、模块的具体名称也只是为了便于相互区分,并不用于限制本发明的保护范围。上述系统中单元、模块的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0173] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述或记载的部分,可以参见其它实施例的相关描述。

[0174] 本领域普通技术人员可以意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各实例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟是以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

[0175] 在本发明所提供的实施例中,应该理解到,所揭露的装置/终端设备和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的装置/终端设备实施例仅仅是示意性的,例如,上述模块或单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以由另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。

[0176] 以上所述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,并不是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,均应包含在本发明的保护范围之内。

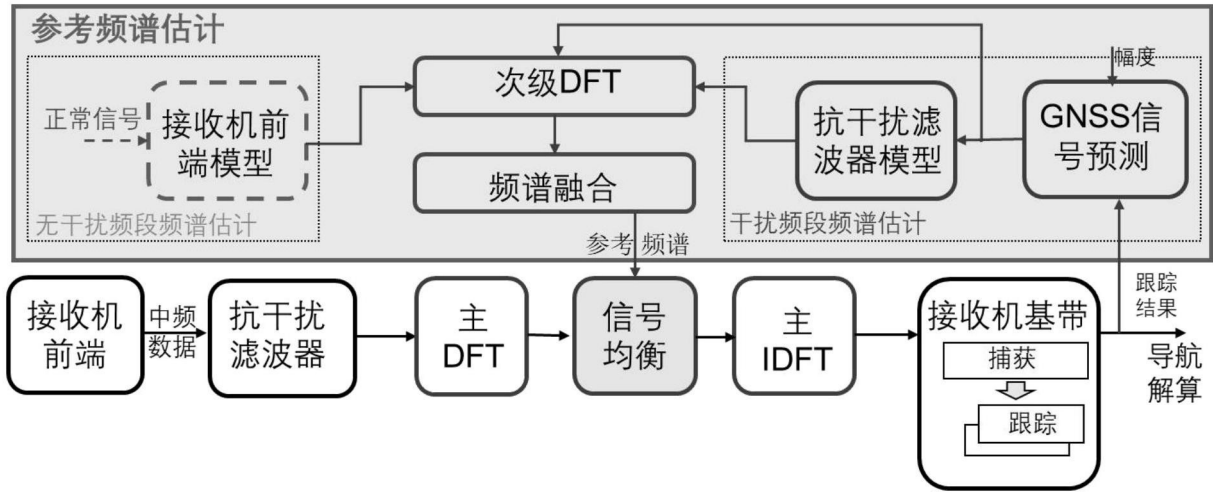


图1



图2

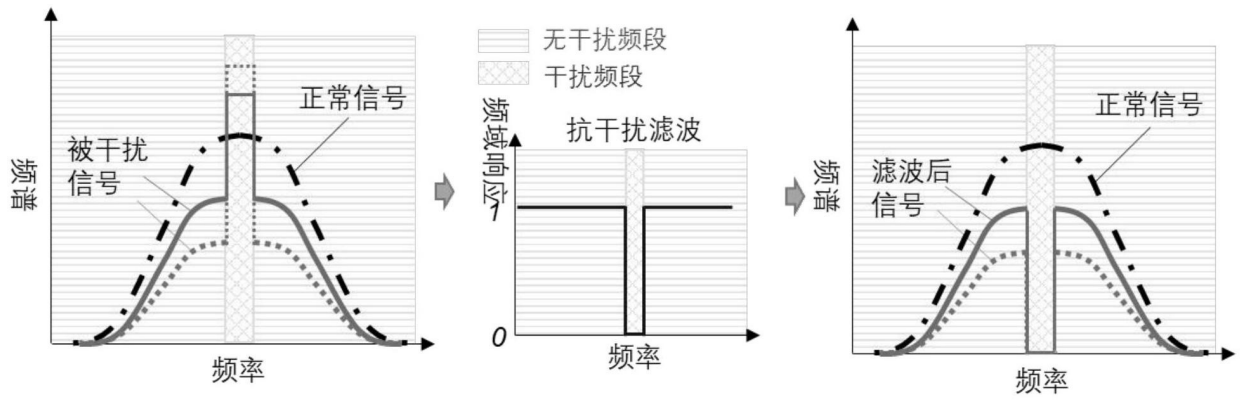


图3