



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113296137 B

(45) 授权公告日 2023. 11. 17

(21) 申请号 202010113763.2

(22) 申请日 2020.02.24

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113296137 A

(43) 申请公布日 2021.08.24

(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高新园  
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 杨扬 陈武 翁多杰

(74) 专利代理机构 深圳中一专利商标事务所  
44237  
专利代理师 高星

(51) Int. Cl.  
G01S 19/43 (2010.01)  
G01B 15/06 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 105334510 A, 2016.02.17

CN 102221700 A, 2011.10.19

US 2008291779 A1, 2008.11.27

US 2013335264 A1, 2013.12.19

CN 105783949 A, 2016.07.20

CN 109412744 A, 2019.03.01

US 2015055138 A1, 2015.02.26

CN 101915918 A, 2010.12.15

CN 102894965 A, 2013.01.30

CN 102645269 A, 2012.08.22

CN 202676278 U, 2013.01.16

朱雪松 等.《基于导航卫星载波信号的海浪  
高度反演系统》.《电波科学学报》.2012, 第27卷  
(第6期), 第1071-1075页.

MARTIN-NEIRA M.《A Passive  
Reflectometry and Interferometry System》.  
《ESA J》.1993, 第17卷(第4期), 第331-355页.

审查员 王琳琳

权利要求书2页 说明书11页 附图5页

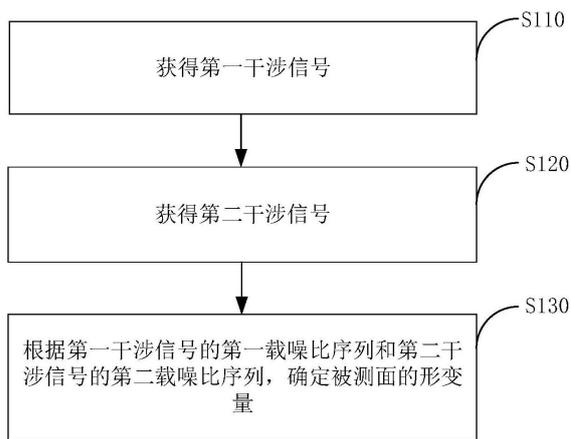
(54) 发明名称

干涉式形变监测方法、装置和接收机

(57) 摘要

本申请提供一种干涉式形变监测方法、装置和接收机,涉及遥感测控技术领域,其中,该方法包括:首先获得第一干涉信号,然后获得第二干涉信号,其中,第一干涉信号和第二干涉信号都是由直射信号和直射信号对应的反射信号形成的,直射信号对应的反射信号为直射信号经被测面反射后的信号,直射信号为全球导航卫星系统GNSS信号,形成第一干涉信号的直射信号的发射角度和形成第二干涉信号的直射信号的发射角度相同,发射时间不同,最后根据第一干涉信号的第一载噪比序列和第二干涉信号的第二载噪比序列,确定被测面的形变量。本申请不需要连续检测干涉信号,因此可以有效提高接收机的可靠性。

CN 113296137 B



1. 一种干涉式形变监测方法,其特征在于,包括:

获得第一干涉信号;

获得第二干涉信号,其中,所述第一干涉信号和所述第二干涉信号都是由直射信号和直射信号对应的反射信号形成的,所述直射信号对应的反射信号为所述直射信号经被测面反射后的信号,所述直射信号为全球导航卫星系统GNSS信号,形成所述第一干涉信号的直射信号的发射角度和形成所述第二干涉信号的直射信号的发射角度相同,发射时间不同;

根据所述第一干涉信号的第一载噪比序列和所述第二干涉信号的第二载噪比序列,确定所述被测面的形变量;

其中,所述根据所述第一干涉信号的第一载噪比序列和所述第二干涉信号的第二载噪比序列,确定所述被测面的形变量,包括:

根据所述第一载噪比序列和所述第二载噪比序列,确定第一相位差,所述第一相位差为所述第一载噪比序列和所述第二载噪比序列之间的相位差;

根据预设的导航电文和预设的被测面数据,确定所述被测面的等效高度角,所述等效高度角为所述直射信号在所述被测面的入射角的余角;

根据所述第一相位差和所述被测面的等效高度角,确定所述被测面的形变量。

2. 根据权利要求1所述的干涉式形变监测方法,其特征在于,所述根据预设的导航电文和预设的被测面数据,确定所述被测面的等效高度角,包括:

根据所述导航电文和直射信号接收位置,确定所述被测面的卫星高度角和卫星方位角;

根据所述被测面的卫星高度角、卫星方位角和所述被测面数据,确定所述被测面的等效高度角;其中,所述被测面数据包括所述被测面的倾斜角、所述被测面的方位角,以及所述直射信号接收位置到所述被测面的垂直距离。

3. 根据权利要求2所述的干涉式形变监测方法,其特征在于,所述根据所述被测面的卫星高度角、卫星方位角和所述被测面数据,确定所述被测面的等效高度角,包括:

采用如下公式确定所述被测面的等效高度角:

$$\begin{cases} \sin \beta = \sin \beta'' \cos \alpha' \\ \beta'' = \pi - \theta' - \gamma \\ \tan \alpha' = \tan \alpha \cos \theta' \\ \tan \theta = \tan \theta' \cos \alpha \\ \alpha = \alpha_s - \alpha_r \end{cases}$$

其中, $\beta$ 表示所述被测面的等效高度角, $\beta''$ 表示所述被测面的等效高度角在第一参考平面上的投影角, $\theta'$ 表示所述卫星高度角在第一参考平面上的投影角, $\gamma$ 表示所述被测面的倾斜角, $\alpha$ 表示所述卫星方位角与所述被测面的方位角之差, $\alpha'$ 表示所述卫星方位角与所述被测面的方位角之差在第二参考平面上的投影角, $\theta$ 表示所述卫星高度角, $\alpha_s$ 表示所述卫星方位角, $\alpha_r$ 表示所述被测面的方位角,所述第一参考平面分别与所述被测面和地面垂直,且所述反射信号接收位置位于所述第一参考平面中,所述第二参考平面分别与所述被测面和所述第一参考平面垂直,且被测面反射位置位于所述第二参考平面中。

4. 根据权利要求1-3任一项所述的干涉式形变监测方法,其特征在于,所述根据所述第一相位差和所述被测面的等效高度角,确定所述被测面的形变量,包括:

采用如下公式确定所述被测面的形变量：

$$d_{def} = \frac{\Delta\Phi}{2 \sin \beta} \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \#$$

其中， $d_{def}$ 表示所述被测面的形变量， $\beta$ 表示所述被测面的等效高度角， $\Delta\Phi$ 表示所述第一相位差， $\lambda$ 表示所述直射信号中的波长。

5. 一种干涉式形变监测装置，其特征在于，所述装置包括：

获取模块，用于获得第一干涉信号，以及获得第二干涉信号，其中，所述第一干涉信号和所述第二干涉信号都是由直射信号和直射信号对应的反射信号形成的，所述直射信号对应的反射信号为所述直射信号经被测面反射后的信号，所述直射信号为全球导航卫星系统GNSS信号，形成所述第一干涉信号的直射信号的发射角度和形成所述第二干涉信号的直射信号的发射角度相同，发射时间不同；

确定模块，用于根据所述第一干涉信号的第一载噪比序列和所述第二干涉信号的第二载噪比序列，确定所述被测面的形变量；

其中，所述确定模块具体用于：

根据所述第一载噪比序列和所述第二载噪比序列，确定第一相位差，所述第一相位差为所述第一载噪比序列和所述第二载噪比序列之间的相位差；

根据预设的导航电文和预设的被测面数据，确定所述被测面的等效高度角，所述等效高度角为所述直射信号在所述被测面的入射角的余角；

根据所述第一相位差和所述被测面的等效高度角，确定所述被测面的形变量。

6. 一种接收机，包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求1至4任一项所述的方法。

7. 一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，其特征在于，所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1至4任一项所述的方法。

## 干涉式形变监测方法、装置和接收机

### 技术领域

[0001] 本申请属于遥感测控技术领域,尤其涉及一种干涉式形变监测方法、装置和接收机。

### 背景技术

[0002] 基于全球导航卫星系统反射测量技术(Global Navigation Satellite System-Reflectometry,GNSS-R)的形变监测技术具有测量精度高、使用成本低和操作安全性高等优点,其可以应用于地质测量、山体滑坡和建筑检测等领域。

[0003] GNSS-R形变监测技术属于一种遥感技术,通过接收机接收由卫星发射的直射信号和直射信号经被测面反射产生的反射信号,并对直射信号和反射信号进行积分计算处理,得到被测面的形变量。但是,经被测面反射产生的反射信号的信号强度通常都比较低,使得接收机需要具备较强的信号跟踪能力,才能持续接收到质量良好的反射信号。若接收机的信号跟踪能力不足,容易产生因反射信号失锁而无法进行积分计算处理的问题,进而无法监测到被测面的形变量,因而可靠性不够高。

### 发明内容

[0004] 有鉴于此,本申请实施例提供一种干涉式形变监测方法、装置和接收机,用于提高接收机的可靠性。

[0005] 第一方面,本申请实施例提供一种干涉式形变监测方法,包括:

[0006] 获得第一干涉信号;

[0007] 获得第二干涉信号,其中,第一干涉信号和第二干涉信号都是由直射信号和直射信号对应的反射信号形成的,直射信号对应的反射信号为直射信号经被测面反射后的信号,直射信号为全球导航卫星系统GNSS信号,形成第一干涉信号的直射信号的发射角度和形成第二干涉信号的直射信号的发射角度相同,发射时间不同;

[0008] 根据第一干涉信号的第一载噪比序列和第二干涉信号的第二载噪比序列,确定被测面的形变量。

[0009] 可选的,根据第一干涉信号的第一载噪比序列和第二干涉信号的第二载噪比序列,确定被测面的形变量,包括:

[0010] 根据第一载噪比序列和第二载噪比序列,确定第一相位差,第一相位差为第一载噪比序列和第二载噪比序列之间的相位差;

[0011] 根据预设的导航电文和预设的被测面数据,确定被测面的等效高度角,等效高度角为直射信号在被测面的入射角的余角;

[0012] 根据第一相位差和被测面的等效高度角,确定被测面的形变量。

[0013] 可选的,根据预设的导航电文和预设的被测面数据,确定被测面的等效高度角,包括:

[0014] 根据导航电文和直射信号接收位置,确定被测面的卫星高度角和卫星方位角;

[0015] 根据被测面的卫星高度角、卫星方位角和被测面数据,确定被测面的等效高度角。  
 [0016] 可选的,被测面数据包括被测面的倾斜角、被测面的方位角,以及反射信号接收位置到被测面的垂直距离。

[0017] 可选的,根据被测面的卫星高度角、卫星方位角和被测面数据,确定被测面的等效高度角,包括:

[0018] 采用如下公式确定被测面的等效高度角:

$$[0019] \begin{cases} \sin \beta = \sin \beta'' \cos \alpha' \\ \beta'' = \pi - \theta' - \gamma \\ \tan \alpha' = \tan \alpha \cos \theta' \\ \tan \theta = \tan \theta' \cos \alpha \\ \alpha = \alpha_s - \alpha_r \end{cases}$$

[0020] 其中, $\beta$ 表示被测面的等效高度角, $\beta''$ 表示被测面的等效高度角在第一参考平面上的投影角, $\theta'$ 表示卫星高度角在第一参考平面上的投影角, $\gamma$ 表示被测面的倾斜角, $\alpha$ 表示卫星方位角与被测面的方位角之差, $\alpha'$ 表示卫星方位角与被测面的方位角之差在第二参考平面上的投影角, $\theta$ 表示卫星高度角, $\alpha_s$ 表示卫星方位角, $\alpha_r$ 表示被测面的方位角,第一参考平面分别与被测面和地面垂直,且反射信号接收位置位于第一参考平面中,第二参考平面分别与被测面和第一参考平面垂直,且被测面反射位置位于第二参考平面中。

[0021] 可选的,根据第一相位差和被测面的等效高度角,确定被测面的形变量,包括:

[0022] 采用如下公式确定被测面的形变量:

$$[0023] d_{def} = \frac{\Delta \Phi}{2 \sin \beta} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

[0024] 其中, $d_{def}$ 表示被测面的形变量, $\beta$ 表示被测面的等效高度角, $\Delta \Phi$ 表示第一相位差, $\lambda$ 表示直射信号中的波长。

[0025] 第二方面,本申请实施例提供了一种接收机的通信装置,包括:

[0026] 获取模块,用于获得第一干涉信号,以及获得第二干涉信号,其中,第一干涉信号和第二干涉信号都是由直射信号和直射信号对应的反射信号形成的,直射信号对应的反射信号为直射信号经被测面反射后的信号,直射信号为全球导航卫星系统GNSS信号,形成第一干涉信号的直射信号的发射角度和形成第二干涉信号的直射信号的发射角度相同,发射时间不同;

[0027] 确定模块,用于根据第一干涉信号的第一载噪比序列和第二干涉信号的第二载噪比序列,确定被测面的形变量。

[0028] 可选的,确定模块具体用于:

[0029] 根据第一载噪比序列和第二载噪比序列,确定第一相位差,第一相位差为第一载噪比序列和第二载噪比序列之间的相位差;

[0030] 根据预设的导航电文和预设的被测面数据,确定被测面的等效高度角,等效高度角为直射信号在被测面的入射角的余角;

[0031] 根据第一相位差和被测面的等效高度角,确定被测面的形变量。

[0032] 可选的,确定模块具体用于:

[0033] 根据导航电文和直射信号接收位置,确定被测面的卫星高度角和卫星方位角;

[0034] 根据被测面的卫星高度角、卫星方位角和被测面数据,确定被测面的等效高度角。  
 [0035] 可选的,被测面数据包括被测面的倾斜角、被测面的方位角,以及反射信号接收位置到被测面的垂直距离。

[0036] 可选的,确定模块具体用于:

[0037] 采用如下公式确定被测面的等效高度角:

$$[0038] \begin{cases} \sin \beta = \sin \beta'' \cos \alpha' \\ \beta'' = \pi - \theta' - \gamma \\ \tan \alpha' = \tan \alpha \cos \theta' \\ \tan \theta = \tan \theta' \cos \alpha \\ \alpha = \alpha_s - \alpha_r \end{cases}$$

[0039] 其中, $\beta$ 表示被测面的等效高度角, $\beta''$ 表示被测面的等效高度角在第一参考平面上的投影角, $\theta'$ 表示卫星高度角在第一参考平面上的投影角, $\gamma$ 表示被测面的倾斜角, $\alpha$ 表示卫星方位角与被测面的方位角之差, $\alpha'$ 表示卫星方位角与被测面的方位角之差在第二参考平面上的投影角, $\theta$ 表示卫星高度角, $\alpha_s$ 表示卫星方位角, $\alpha_r$ 表示被测面的方位角,第一参考平面分别与被测面和地面垂直,且反射信号接收位置位于第一参考平面中,第二参考平面分别与被测面和第一参考平面垂直,且被测面反射位置位于第二参考平面中。

[0040] 可选的,确定模块具体用于:

[0041] 采用如下公式确定被测面的形变量:

$$[0042] d_{def} = \frac{\Delta \Phi}{2 \sin \beta} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

[0043] 其中, $d_{def}$ 表示被测面的形变量, $\beta$ 表示被测面的等效高度角, $\Delta \Phi$ 表示第一相位差, $\lambda$ 表示直射信号中的波长。

[0044] 第三方面,本申请实施例提供了一种接收机,包括存储器、处理器以及存储在存储器中并可在处理器上运行的计算机程序,处理器执行计算机程序时实现上述第一方面或第一方面的任一实施方式的方法。

[0045] 第四方面,本申请实施例提供了一种计算机可读存储介质,包括计算机可读存储介质存储有计算机程序,计算机程序被处理器执行时实现上述第一方面或第一方面的任一实施方式的方法。

[0046] 本申请提供了一种干涉式形变监测方法、装置和接收机,首先可以获得第一干涉信号,然后获得第二干涉信号,其中,第一干涉信号和第二干涉信号都是由直射信号和直射信号对应的反射信号形成的,直射信号对应的反射信号为直射信号经被测面反射后的信号,直射信号为全球导航卫星系统GNSS信号,形成第一干涉信号的直射信号的发射角度和形成第二干涉信号的直射信号的发射角度相同,发射时间不同,最后根据第一干涉信号的第一载噪比序列和第二干涉信号的第二载噪比序列,确定被测面的形变量。本申请可以通过干涉信号的载噪比序列与直射信号和反射信号的载波相位差之间的关系,确定被测面的形变量,由于不需要连续检测干涉信号,因此可以有效提高接收机的可靠性。

## 附图说明

[0047] 为了更清楚地说明本申请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申请的一些实施例,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他的附图。

[0048] 图1是本申请实施例提供的干涉式形变监测方法的示意性流程图;

[0049] 图2是本申请实施例提供的接收机应用场景的示意图;

[0050] 图3是本申请实施例提供的信号反射模型的二维示意图;

[0051] 图4是本申请实施例提供的GNSS反射几何模型的三维示意图;

[0052] 图5是本申请实施例提供的GNSS反射几何模型的局部放大图;

[0053] 图6是本申请实施例提供的确定被测面形变量的流程图;

[0054] 图7是本申请实施例提供的干涉式形变监测装置的结构框图;

[0055] 图8是本申请实施例提供的接收机的结构示意图。

## 具体实施方式

[0056] 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,以便透彻理解本申请实施例。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申请。在其它情况中,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申请的描述。

[0057] 应当理解,当在本申请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。

[0058] 还应当理解,在本申请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。

[0059] 另外,在本申请说明书和所附权利要求书的描述中,术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于区分描述,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0060] 全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System,GNSS)是能在地球表面或近地空间的任何地点为用户提供全天候的三维坐标和速度以及时间信息的空基无线电导航定位系统,具备全天候、连续性、实时性和高精度等诸多优势。其中,GNSS系统具体可以是全球卫星定位系统(Global Positioning System,GPS)、格洛纳斯导航系统(GLONASS)、伽利略(Galileo)系统或北斗卫星导航系统等。在本申请实施例中,接收机可以接收任意GNSS系统的GNSS信号,本实施例对此不做特别限定。

[0061] GNSS-R形变监测技术属于一种遥感技术,主要的工作方式是接收机接收到卫星发射的直射信号,由于卫星发射的直射信号覆盖面很广,因此会有部分直射信息经被测面反射形成反射信号,反射信号会被被测面影响产生某些变化,然后接收机接收反射信号,最后通过对比直射信号与反射信号,得到反射信号与直射信号不同部分的信息,并分析这些信息得到被测面的某些信息。但是,经被测面反射产生的反射信号的信号强度通常都较低,使得接收机需要具备较强的信号跟踪能力,才能持续接收到质量良好的反射信号。若接收机的信号跟踪能力不足,容易产生因反射信号丢失而无法进行积分计算处理的问题,进而

无法监测到被测面的形变量,因而可靠性不够高。

[0062] 为此,本申请实施例提供一种不需要连续检测直射信号和反射信号,可以有效提高接收机的可靠性的技术方案。

[0063] 本申请实施例提供的接收机可以是软件接收机、硬件接收机、单频接收机或双频接收机等具有接收GNSS信号功能的设备。

[0064] 下面以具体地实施例对本申请的技术方案进行详细说明。下面这几个具体的实施例可以相互结合,对于相同或相似的概念或过程可能在某些实施例不再赘述。

[0065] 图1是本申请实施例提供的干涉式形变监测方法的示意性流程图,如图1所示,该方法可以包括如下步骤:

[0066] S110、获得第一干涉信号。

[0067] 在本申请实施例中,接收机可以通过右旋天线接收GNSS的直射信号,通过左旋天线接收GNSS的反射信号,然后将直射信号和反射信号通过合路器形成干涉信号,其中,反射信号为直射信号经被测面反射后的信号,直射信号为全球导航卫星系统GNSS信号。接收机可以将首次获得的干涉信号确定为第一干涉信号。

[0068] 在一个实施例中,接收机可以通过右旋天线接收GNSS的直射信号,通过左旋天线接收GNSS的反射信号。图2是本申请实施例提供的接收机应用场景的示意图,如图2所示,两个直射信号由同一卫星发送,其中一个直射信号射到建筑1的被测面,再经被测面1反射,产生反射信号。在获取直射信号和反射信号的情况下,接收机可以通过合路器将直射信号和反射信号组合成干涉信号。

[0069] 需要说明的是,接收机可以从空中存在的众多电磁波中,选出自己需要的频率成分,抑制或滤除不需要的信号、噪声或干扰信号,然后经过放大、解调得到原始的有用信息。因此,在本申请实施例中接收机可以从获取到的GNSS信号解析得到载波信息、伪距码信息和导航电文等信息,具体的解析步骤本申请不再赘述。

[0070] S120、获得第二干涉信号。

[0071] 接收机可以在获得第一干涉信号之后,在形成第一干涉信号的直射信号的发射角度和形成第二干涉信号的直射信号的发射角度相同时,获得第二干涉信号。

[0072] 在本申请实施例中,由于反射信号是经被测面反射产生的,因此被测面的形变会导致反射信号产生相应的变化,所以接收机可以通过干涉信号得到被测面发生形变的变化。

[0073] 具体的,在卫星、被测面和接收机组成的监测模型中,由于卫星距离被测面和接收机太远,所以卫星相对于被测面的位置变化可以近似认为是直射信号发射角度相对于被测面的变化。进一步的,卫星是以一个固定的周期绕地球运动,因此直射信号发射角度的变化相对于被测面也是周期性变化的,所以在不同周期的相同时刻,直射信号发射角度相对于被测面的也是相同的。其中,在不同的卫星系统中,卫星的运动周期也不同:GLONASS卫星的重访周期为8天,Galileo卫星的重访周期为10天,北斗系统的倾斜地球同步轨道(IGSO)卫星重访周期为1天,中圆轨道(MEO)卫星重访周期为7天。

[0074] 例如,卫星的重访周期是24小时,接收机在第一天的中午12点至12点半之间获得了第一干涉信号,则接收机可以在第三天的中午12点至12点半之间获取第二干涉信号,因为直射信号在第一天的中午12点至12点半之间相对于被测面的发射角度,与在第三天的中

午12点至12点半之间相对于被测面的发射角度是相同的。

[0075] 需要说明的是,本申请实施例中所述的第一干涉信号和第二干涉信号是相对于一次形变监测过程的信号获取时序关系定义的。

[0076] 在本申请实施例中,没有使用到干涉信号的载波相位,因此不需要连续获得干涉信号,使得接收机可以获得到足够的干涉信号后即可停止接收信号,从而可以降低对接收机的信号跟踪能力的要求和监测时间,有效提高接收机的可靠性。

[0077] S130、根据第一干涉信号的第一载噪比序列和第二干涉信号的第二载噪比序列,确定被测面的形变量。

[0078] 为了便于理解,先介绍本步骤中确定被测面形变量的原理。

[0079] 首先,每颗卫星发射出的GNSS信号 $T(t)$ 都可以用下述公式表示:

$$[0080] \quad T(t) = A_T \cos(ft + \varphi_L) y(t) d(t) \quad (1)$$

[0081] 其中, $A_T$ 表示发射信号的幅值, $f$ 表示GNSS信号的载波频率, $\varphi_L$ 表示GNSS信号的载波, $y(t)$ 表示伪距码, $d(t)$ 表示导航电文。

[0082] 卫星发射出的GNSS信号经过大气层最终被接收机获取后(这里是指直射信号 $R_d(t)$ ),可以用下述公式表示:

$$[0083] \quad R_d(t) = A_d \cos((f + f_{Dd})(t - \tau_d) + \varphi_d) y(t - \tau_d) d(t - \tau_d) + n(t) \quad (2)$$

[0084] 其中, $\tau_d$ 表示直射信号从卫星到接收机的传输时间, $f(t - \tau_d)$ 表示直射信号的载波频率, $f_{Dd}(t - \tau_d)$ 表示直射信号的多普勒频移, $\varphi_d$ 表示接收到的直射信号的载波, $A_d$ 表示直射信号的幅度, $n(t)$ 表示观测噪声。

[0085] 直射信号经被测面反射产生反射信号,反射信号 $R_r(t)$ 可以用下述公式表示:

$$[0086] \quad R_r(t) = A_r \cos((f + f_{Dr})(t - \tau_r) + \varphi_r) y(t - \tau_r) d(t - \tau_r) + n(t) \quad (3)$$

[0087] 其中 $\tau_r$ 表示反射信号从卫星到接收机的传输时间, $f(t - \tau_r)$ 表示反射信号的载波频率, $f_{Dr}(t - \tau_r)$ 表示反射信号的多普勒频移, $\varphi_r$ 表示反射信号的载波相位, $A_r$ 表示反射信号的幅度。

[0088] 直射信号和反射信号可以通过合路器生成干涉信号,直射信号和反射信号均来自同一卫星,因此直射信号和反射信号之间的频率可以看作是一样的,所以根据正弦波叠加原理可知,干涉信号依然可以用单一正弦波的形式表示。干涉信号 $R_i(t)$ 可以用下述公式表示:

$$[0089] \quad R_i(t) = R_d(t) + R_r(t) = A_i \cos(f(t - \tau_i) + \varphi_i) y(t) d(t) + n(t) \quad (4)$$

[0090] 其中, $A_i$ 表示干涉信号的幅值, $f(t - \tau_i)$ 表示干涉信号的载波频率, $\varphi_i$ 表示干涉信号的载波相位,且 $d(t) = d(t - \tau_d) d(t - \tau_r)$ , $y(t) = y(t - \tau_d) y(t - \tau_r)$ 。

[0091] 进一步的,干涉信号的幅值 $A_i$ 可以用下述公式表示:

$$[0092] \quad A_i^2 = A_d^2 + (A_r C_\Delta(\tau_d - \tau_r))^2 + 2A_d A_r C_\Delta(\tau_d - \tau_r) \cos \Delta\varphi \quad (5)$$

[0093] 其中, $C_\Delta(\tau_d - \tau_r)$ 表示自相关函数, $\Delta\varphi = \varphi_d - \varphi_r$ 表示直射信号和反射信号的载波相位差。

[0094] 因为卫星的运动,直射信号和反射信号的载波相位差会一直变化,通过公式(5)可

知,干涉信号的幅值 $A_i^2$ 的大小与 $A_d^2$ 、 $(A_r C_\Delta (\tau_d - \tau_r))^2$ 以及 $2A_d A_r C_\Delta (\tau_d - \tau_r)$ 有关系,而幅值 $A_i^2$ 的震荡波形则与载波相位差 $\Delta\varphi$ 有关系,由于在短时间内 $A_d^2$ 、 $(A_r C_\Delta (\tau_d - \tau_r))^2$ 以及 $2A_d A_r C_\Delta (\tau_d - \tau_r)$ 可看作是常量,因此接收机可以根据幅值 $A_i^2$ 的震荡波形确定载波相位差 $\Delta\varphi$ 。

[0095] 进一步的,在接收机中信号的幅值也即是信号的强度,通常由载噪比 $C/N_0$ 表示,单位是dB-Hz,表示信号的强度水平与噪声的强度水平在1Hz带宽下的比值。具体的,接收机距离被测面具有一定的距离,所以直射信号和反射信号的伪距码并不一样,因此接收机可以根据自相关函数分辨出直射信号和反射信号的伪距码相位,接收机可以通过锁相环确定干涉信号的峰值,并计算得到载噪比序列,也即是幅值的震荡波形。

[0096] 进一步的,根据相位、距离和波长的关系,接收机可以用直射信号经过的距离减去反射信号经过的距离,确定出反射信号比直射信号多经过的距离。图3是本申请实施例提供的信号反射模型的二维示意图。如图3所示,A点是接收机的位置,直射信号与反射信号平行,DO表示被测面,直射信号在O点经被测面反射后到达A点,B点是A点的镜像点,因此COA就是反射信号比直射信号多经过的距离(可以称为传播路径差)。

[0097] 传播路径差 $\Delta d$ 可以用下述公式表示:

$$[0098] \quad \Delta d = \frac{(\varphi_d - \varphi_r)\lambda}{2\pi} = \frac{\Delta\varphi\lambda}{2\pi} \quad (6)$$

[0099] 其中, $\lambda$ 表示GNSS信号的波长。

[0100] 进一步的,接收机可以建立GNSS反射几何模型。图4是本申请实施例提供的GNSS反射几何模型的三维示意图,图5是本申请实施例提供的GNSS反射几何模型的局部放大图,如图4和图5所示,卫星、接收机和被测面之间具有一定的几何关系,通过分析卫星、接收机和被测面之间几何关系同样可以计算出传播路径差 $\Delta d$ 的变化。其中, $d$ 表示接收机到被测面的垂直距离, $\beta$ 表示被测面的等效高度角, $\beta''$ 表示被测面的等效高度角在第一参考平面上的投影角, $\theta'$ 表示卫星高度角在第一参考平面上的投影角, $\gamma$ 表示被测面的倾斜角, $\alpha$ 表示卫星方位角与被测面的方位角之差, $\alpha'$ 表示卫星方位角与被测面的方位角之差在第二参考平面上的投影角, $\theta$ 表示卫星高度角, $\alpha_s$ 表示卫星方位角, $\alpha_r$ 表示被测面的方位角,第一参考平面分别与被测面和地面垂直,且反射信号接收位置位于第一参考平面中,第二参考平面分别与被测面和第一参考平面垂直,且被测面反射位置位于第二参考平面中。

[0101] 具体的,结合图3、图4和图5,经过几何分析可得下述公式:

$$[0102] \quad \begin{cases} \Delta d = 2d \sin \beta = 2d \cos i \\ \sin \beta = \sin \beta'' \cos \alpha' \\ \beta'' = \pi - \theta' - \gamma \\ \tan \alpha' = \tan \alpha \cos \theta' \\ \tan \theta = \tan \theta' \cos \alpha \\ \alpha = \alpha_s - \alpha_r \end{cases} \quad (7)$$

[0103] 其中,卫星高度角 $\theta$ 和卫星方位角 $\alpha_s$ 可以通过GNSS信号中的导航电文以及接收机的位置通过计算得到,被测面的倾斜角 $\gamma$ 、被测面的方位角 $\alpha_r$ 和垂直距离 $d$ 可以事先通过测量得到。

[0104] 因此,通过公式(7)可以确定传播路径差 $\Delta d$ ,结合公式(6)和(7)可以得下述公式:

$$[0105] \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta d}{\lambda} = \frac{4\pi d \sin\beta}{\lambda} \quad (8)$$

[0106] 等效高度角也会影响直射信号和反射信号的载波相位差 $\Delta\varphi$ ,并且对于同一个被侧面,当卫星等效高度角相同时,直射信号和反射信号的载波相位差 $\Delta\varphi$ 也相同,所以干涉信号的载噪比序列也相同。

[0107] 当被侧面发生形变时,直射信号的发射角度与被侧面未发生形变时相同,则可以将公式(8)变形得下述公式:

$$[0108] \quad \Delta\varphi' = \frac{4\pi(d+d_{def}) \sin\beta}{\lambda} \quad (9)$$

[0109] 其中, $\Delta\varphi'$ 表示在被侧面发生形变后的直射信号和反射信号的载波相位差, $d_{def}$ 表示被侧面的形变量。

[0110] 进一步的,将公式(8)和公式(9)相减,并结合公式(5),可得下述公式:

$$[0111] \quad \Delta\Phi = \Delta\varphi - \Delta\varphi' = \frac{4\pi d_{def} \sin\beta}{\lambda} \quad (10)$$

[0112] 其中, $\Delta\Phi$ 为被侧面发生形变前的载噪比序列与被侧面发生形变后的载噪比序列的相位差。需要说明的是,当接收机得到两个载噪比序列时,可以直接得到两个载噪比序列的相位差,进一步简化计算步骤。

[0113] 进一步的,将公式(10)变形,可得下述公式:

$$[0114] \quad d_{def} = \frac{\Delta\Phi}{2 \sin\beta} \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \quad (11)$$

[0115] 在经过上述理论分析后,接收机可以在获取到两个直射信号发射角度相同的干涉信号的情况下,得到干涉信号的载噪比序列,通过对比两个载噪比序列得到相位差,最后将相位差、等效高度角和直射信号的波长输入公式(11),得到被侧面的形变量。

[0116] 具体的,图6是本申请实施例提供的确定被侧面形变量的流程图,如图6所示,接收机可以通过如下步骤确定被侧面形变量:

[0117] S131、根据第一载噪比序列和第二载噪比序列,确定第一相位差。

[0118] 接收机可以在获取到第一干涉信号情况下,通过锁相环确定第一干涉信号的峰值,并计算得到第一载噪比序列。同理,接收机还可以得到第二载噪比序列。然后接收机可以根据第一载噪比序列和第二载噪比序列,确定第一相位差,其中第一相位差为第一载噪比序列和第二载噪比序列之间的相位差。

[0119] 具体的,因为载噪比序列有较大噪声,接收机可以先用正交拟合法对两个载噪比序列分别拟合出正弦波,再通过傅立叶变换求得正弦波的相位谱,最后做差得相位差,也就是第一相位差。

[0120] S132、根据预设的导航电文和预设的被侧面数据,确定被侧面的等效高度角。

[0121] 通常卫星在发射直射信号时会在直射信号中携带最新导航电文,但是最新的导航电文往往没有做修正,因此与真实情况具有一定的误差。而卫星相关机构在接收到导航电文后,会对其进行修正,提高导航电文的准确度,因此使用卫星相关机构发布的导航电文可以提高监测结果的准确性。

[0122] 在本申请实施例中,由于不接收的信号有连续性的要求,因此接收机可以在获

得多天的干涉信号之后,再通过网络或其他方式获取到更加准确的导航电文。

[0123] 具体的,接收机可以根据导航电文和直射信号的接收位置,确定被测面的卫星高度角和卫星方位角。其中,在实际应用中,直射信号接收位置就是接收机的实际位置。

[0124] 进一步的,接收机可以根据被测面的卫星高度角、卫星方位角和被测面数据,确定被测面的等效高度角。其中,被测面数据包括被测面的倾斜角、被测面的方位角,以及直射信号接收位置到被测面的垂直距离。

[0125] 具体的,接收机可以将被测面的卫星高度角、卫星方位角以及被测面数据输入到公式(7),得到被测面的等效高度角,等效高度角为直射信号在被测面的入射角的余角。

[0126] 需要说明的是,在具体确定等效高度角时,可以根据公式(7)确定等效高度角的具体角度值,也可以直接确定等效高度角的sin值,而不进行角度值的计算。

[0127] S133、根据第一相位差和被测面的等效高度角,确定被测面的形变量。

[0128] 接收机在获得第一相位差和被测面的等效高度角之后,可以将上述数据输入至公式(11),得到被测面的形变量。

[0129] 本申请实施例提供的干涉式形变监测方法,可以获得第一干涉信号,然后获得第二干涉信号,其中,第一干涉信号和第二干涉信号都是由直射信号和直射信号对应的反射信号形成的,直射信号对应的反射信号为直射信号经被测面反射后的信号,直射信号为全球导航卫星系统GNSS信号,形成第一干涉信号的直射信号的发射角度和形成第二干涉信号的直射信号的发射角度相同,发射时间不同,最后根据第一干涉信号的第一载噪比序列和第二干涉信号的第二载噪比序列,确定被测面的形变量。本申请可以通过干涉信号的载噪比序列与直射信号和反射信号的载波相位差之间的关系,确定被测面的形变量,由于不需要连续检测干涉信号,因此可以有效提高接收机的可靠性。

[0130] 应理解,上述实施例中各步骤的序号的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,而不对本申请实施例的实施过程构成任何限定。

[0131] 图7是本申请实施例提供的干涉式形变监测装置的结构框图,如图7所示,该装置可以包括:

[0132] 获取模块110,用于获得第一干涉信号,以及获得第二干涉信号,其中,第一干涉信号和第二干涉信号都是由直射信号和直射信号对应的反射信号形成的,直射信号对应的反射信号为直射信号经被测面反射后的信号,直射信号为全球导航卫星系统GNSS信号,形成第一干涉信号的直射信号的发射角度和形成第二干涉信号的直射信号的发射角度相同,发射时间不同;

[0133] 确定模块110,用于根据第一干涉信号的第一载噪比序列和第二干涉信号的第二载噪比序列,确定被测面的形变量。

[0134] 可选的,确定模块110具体用于:

[0135] 根据第一载噪比序列和第二载噪比序列,确定第一相位差,第一相位差为第一载噪比序列和第二载噪比序列之间的相位差;

[0136] 根据预设的导航电文和预设的被测面数据,确定被测面的等效高度角,等效高度角为直射信号在被测面的入射角的余角;

[0137] 根据第一相位差和被测面的等效高度角,确定被测面的形变量。

[0138] 可选的,确定模块110具体用于:

[0139] 根据导航电文和直射信号接收位置,确定被测面的卫星高度角和卫星方位角;

[0140] 根据被测面的卫星高度角、卫星方位角和被测面数据,确定被测面的等效高度角。

[0141] 可选的,被测面数据包括被测面的倾斜角、被测面的方位角,以及反射信号接收位置到被测面的垂直距离。

[0142] 可选的,确定模块110具体用于:

[0143] 采用如下公式确定被测面的等效高度角:

$$[0144] \begin{cases} \sin \beta = \sin \beta'' \cos \alpha' \\ \beta'' = \pi - \theta' - \gamma \\ \tan \alpha' = \tan \alpha \cos \theta' \\ \tan \theta = \tan \theta' \cos \alpha \\ \alpha = \alpha_s - \alpha_r \end{cases}$$

[0145] 其中, $\beta$ 表示被测面的等效高度角, $\beta''$ 表示被测面的等效高度角在第一参考平面上的投影角, $\theta'$ 表示卫星高度角在第一参考平面上的投影角, $\gamma$ 表示被测面的倾斜角, $\alpha$ 表示卫星方位角与被测面的方位角之差, $\alpha'$ 表示卫星方位角与被测面的方位角之差在第二参考平面上的投影角, $\theta$ 表示卫星高度角, $\alpha_s$ 表示卫星方位角, $\alpha_r$ 表示被测面的方位角,第一参考平面分别与被测面和地面垂直,且反射信号接收位置位于第一参考平面中,第二参考平面分别与被测面和第一参考平面垂直,且被测面反射位置位于第二参考平面中。

[0146] 可选的,确定模块110具体用于:

[0147] 采用如下公式确定被测面的形变量:

$$[0148] d_{def} = \frac{\Delta \Phi}{2 \sin \beta} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

[0149] 其中, $d_{def}$ 表示被测面的形变量, $\beta$ 表示被测面的等效高度角, $\Delta \Phi$ 表示第一相位差, $\lambda$ 表示直射信号中的波长。

[0150] 图8是本申请实施例提供的接收机的结构示意图,如图8所示,该实施例的接收机包括:至少一个处理器20(图8中仅示出一个)、存储器21以及存储在存储器21中并可在至少一个处理器20上运行的计算机程序22,处理器20执行计算机程序22时实现上述任意各个接收机控制方法实施例中的步骤。

[0151] 接收机可以是软件接收机、硬件接收机、单频接收机或双频接收机等接收机。本领域技术人员可以理解,图8仅仅是接收机的举例,并不构成对接收机的限定,可以包括比图示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者不同的部件,例如还可以包括输入输出设备、网络接入设备等。

[0152] 所称处理器20可以是中央处理单元(Central Processing Unit,CPU),该处理器20还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor,DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)、现成可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

[0153] 存储器21在一些实施例中可以是接收机的内部存储单元,例如接收机的硬盘或内存。存储器21在另一些实施例中也可以是接收机的外部存储设备,例如接收机上配备的插接式硬盘,智能存储卡(Smart Media Card,SMC),安全数字(Secure Digital,SD)卡,闪存卡(Flash Card)等。进一步地,存储器21还可以既包括接收机的内部存储单元也包括外部存储设备。存储器21用于存储操作系统、应用程序、引导装载程序(BootLoader)、数据以及其他程序等,例如计算机程序的程序代码等。存储器21还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

[0154] 本申请实施例还提供了一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现可实现上述各个方法实施例中的步骤。

[0155] 需要说明的是,上述装置/单元之间的信息交互、执行过程等内容,由于与本申请方法实施例基于同一构思,其具体功能及带来的技术效果,具体可参见方法实施例部分,此处不再赘述。

[0156] 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,即将所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,并不用于限制本申请的保护范围。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。

[0157] 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示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申请的范围。

[0158] 以上所述实施例仅用以说明本申请的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本申请进行了详细的说明,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申请各实施例技术方案的精神和范围,均应包含在本申请的保护范围之内。

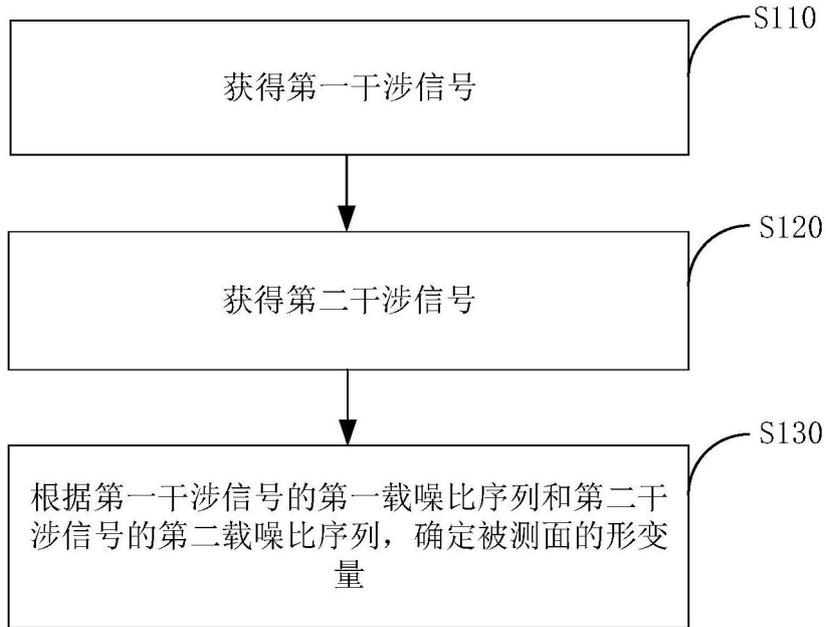


图1

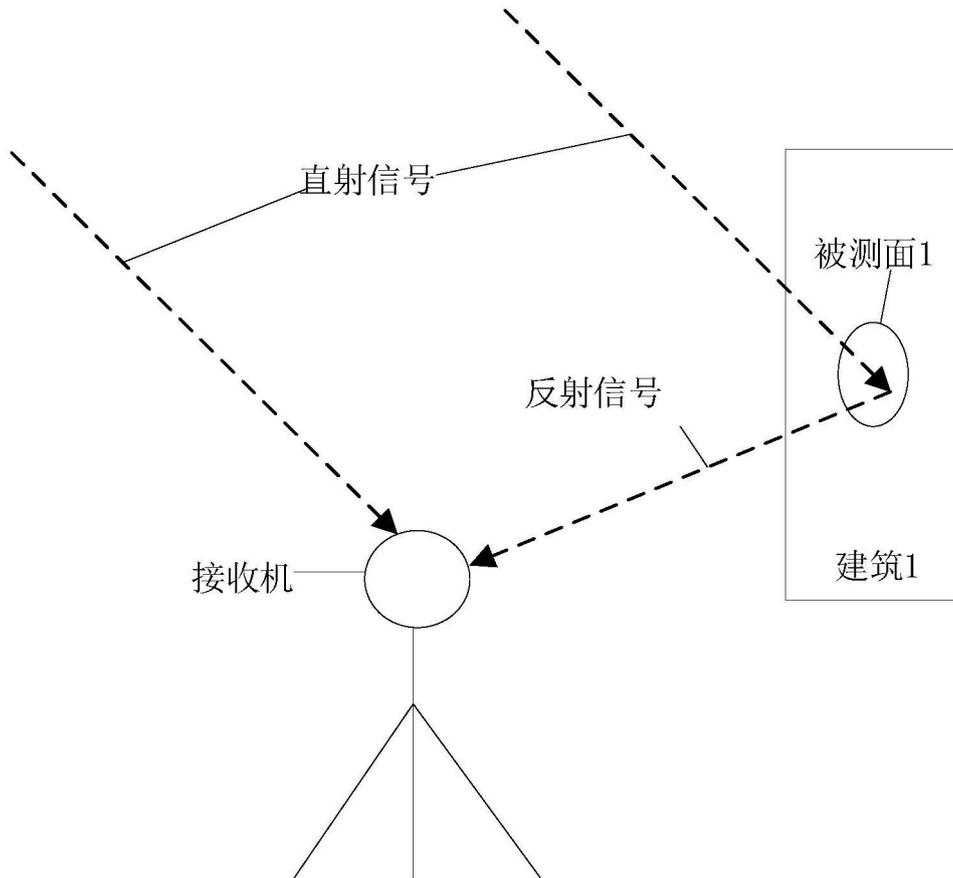


图2

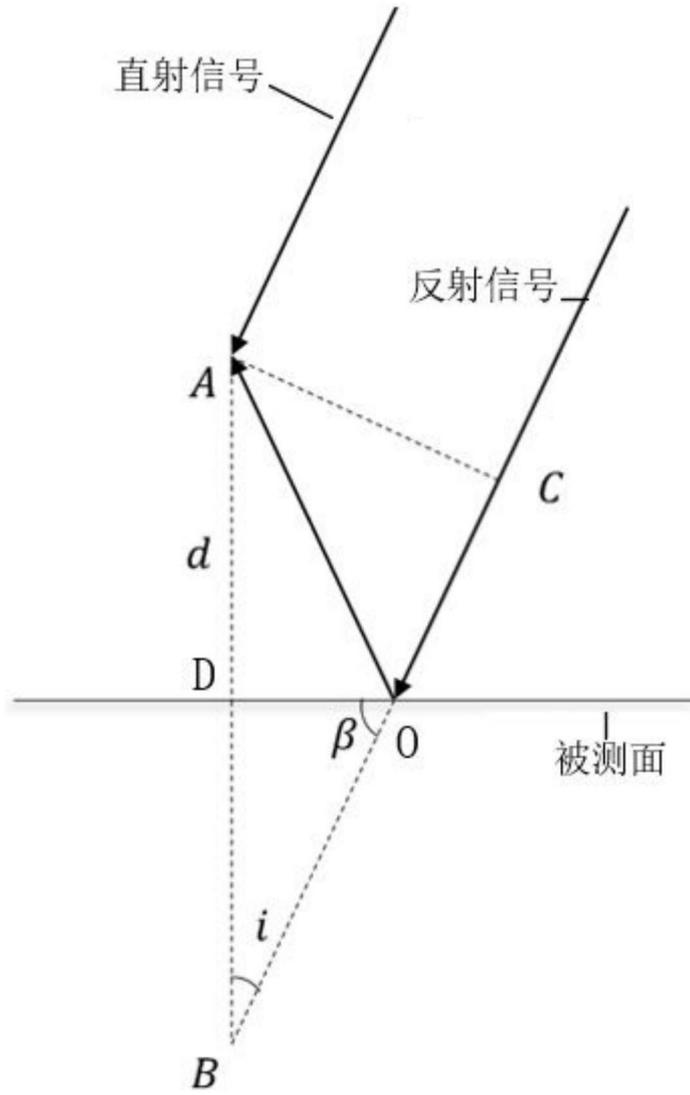


图3

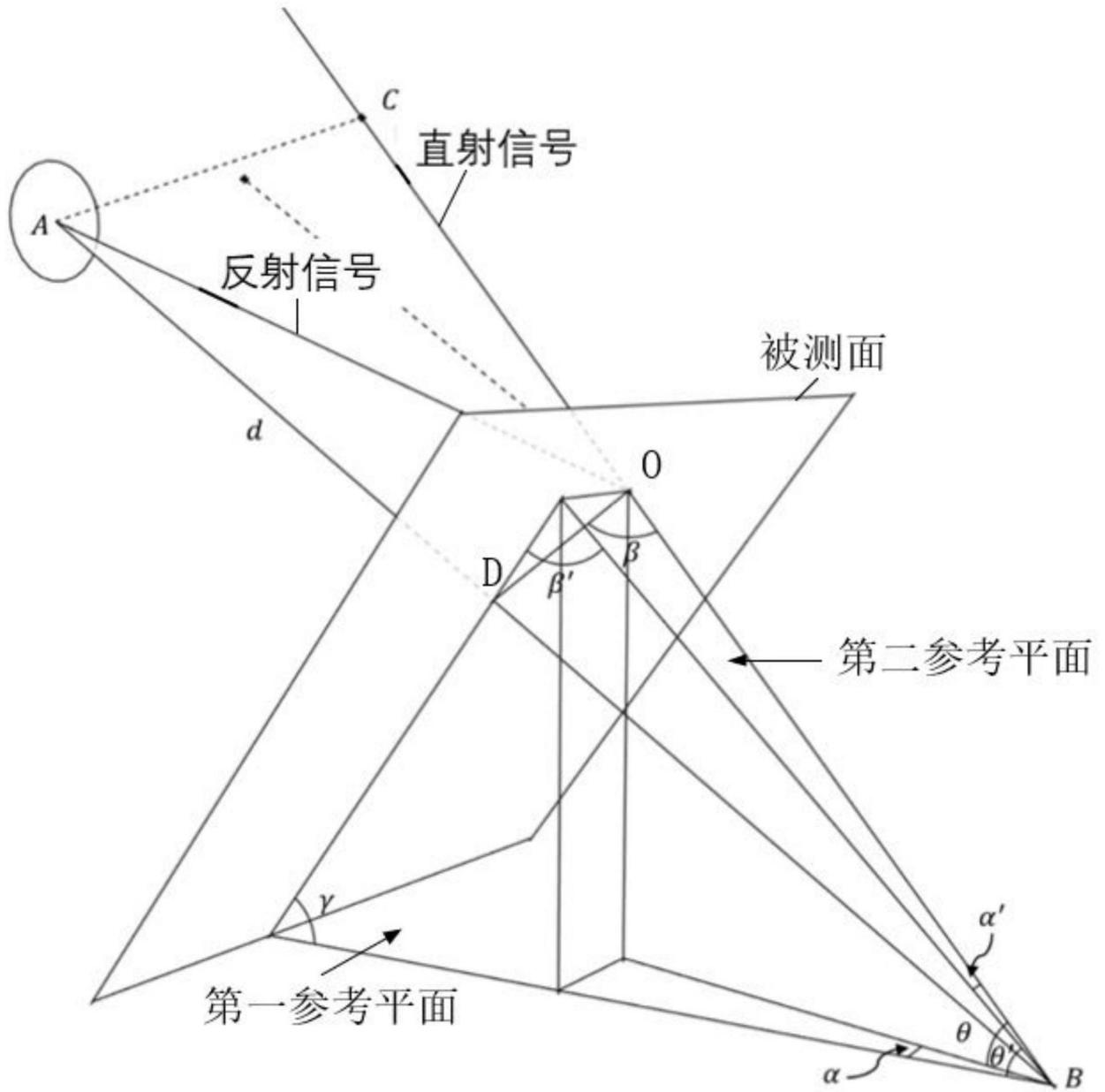


图4

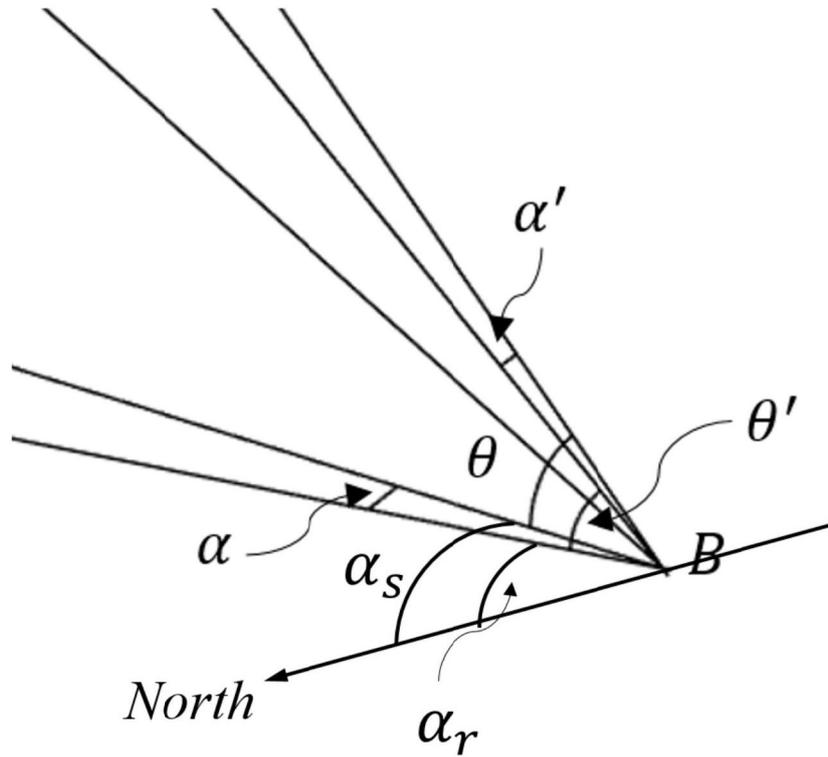


图5

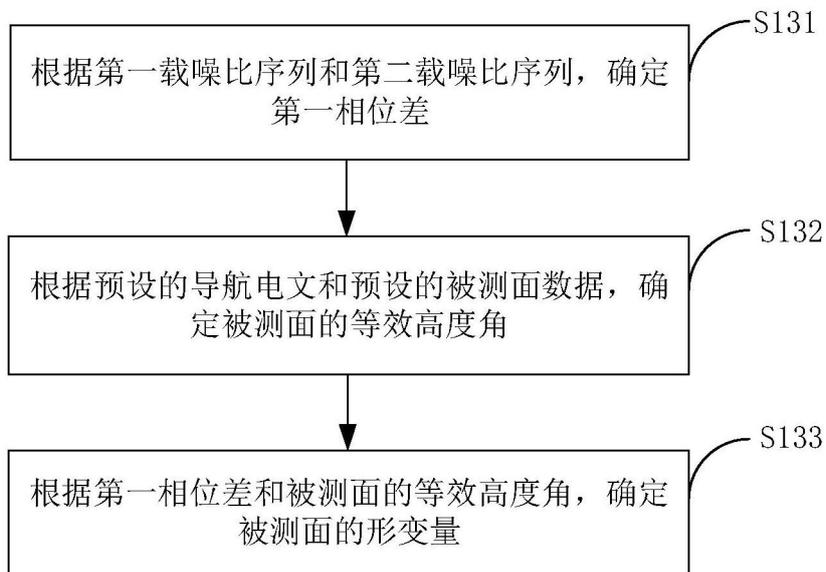


图6

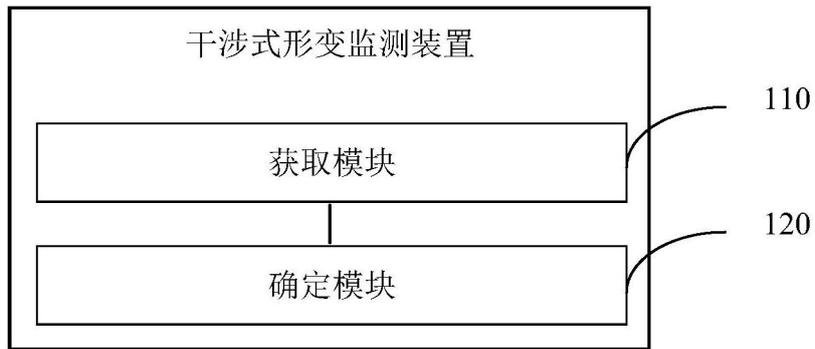


图7

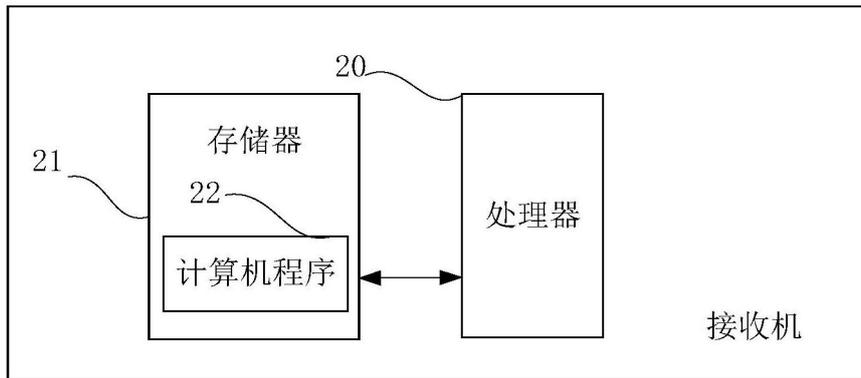


图8