



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113296135 B

(45) 授权公告日 2024.03.29

(21) 申请号 202010113099.1

(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 113296135 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  
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 101846746 A, 2010.09.29

CN 103017731 A, 2013.04.03

CN 103345145 A, 2013.10.09

CN 105182380 A, 2015.12.23

CN 110456388 A, 2019.11.15

JP 2010145179 A, 2010.07.01

JP 2013140049 A, 2013.07.18

US 2018231667 A1, 2018.08.16

WO 2016145723 A1, 2016.09.22

ZAVOROTNY V U et.al.《Scatter-ing of  
GPS signals from the ocean with wind  
remotesensing applicatio》.《IEEE Trans  
Geosci Rem Sen》.2000,第第38卷卷(第第2期  
期),第951-964页.

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,第第27  
卷卷(第第6期期),第1070-1075页.

审查员 王琳琳

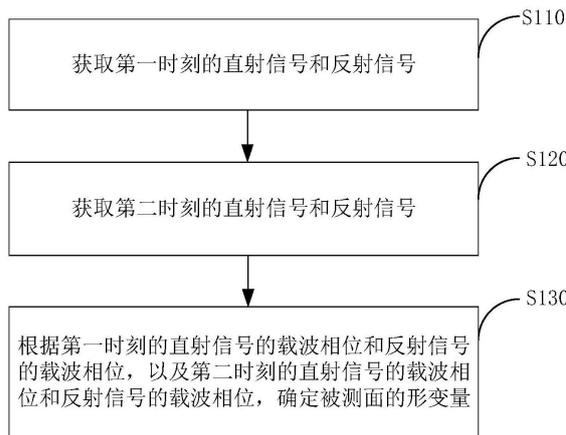
权利要求书3页 说明书12页 附图6页

(54) 发明名称

形变监测方法、装置和接收机

(57) 摘要

本申请提供一种形变监测方法、装置和接收机,涉及遥感测控技术领域,其中,该方法包括:首先获取第一时刻的直射信号和反射信号,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,然后获取第二时刻的直射信号和反射信号,最后根据第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,以及第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定被测面的形变量。本申请可以采用具有高测量精度的GNSS信号监测形变,可以省去遥感式监测仪器的信号发射端,从而在保证高测量精度的同时可以降低形变监测的使用成本。



1. 一种形变监测方法,其特征在于,包括:

获取第一时刻的直射信号和反射信号,所述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;

获取第二时刻的直射信号和反射信号;

利用建立的GNSS反射几何模型消除卫星移动的干扰;

根据所述第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,以及所述第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定被测面的形变量。

2. 根据权利要求1所述的形变监测方法,其特征在于,所述根据所述第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,以及所述第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定所述被测面的形变量,包括:

根据所述第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定第一时刻的第一载波相位差;

根据所述第一时刻的直射信号中的导航电文和预设的被测面数据,确定第一时刻的等效高度角,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;

根据所述第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定第二时刻的第一载波相位差;

根据所述第二时刻的直射信号中的导航电文和所述被测面数据,确定第二时刻的等效高度角;

根据所述第一时刻的第一载波相位差和所述第二时刻的第一载波相位差,确定第二载波相位差;

根据所述第二载波相位差、所述第一时刻的等效高度角和所述第二时刻的等效高度角,确定所述被测面的形变量。

3. 根据权利要求2所述的形变监测方法,其特征在于,所述根据所述第一时刻的直射信号中的导航电文和预设的被测面数据,确定第一时刻的等效高度角,包括:

根据所述第一时刻的直射信号中的导航电文和反射信号接收位置,确定第一时刻的卫星高度角和卫星方位角;

根据所述第一时刻的卫星高度角、卫星方位角和所述被测面数据,确定所述第一时刻的等效高度角;

所述根据所述第二时刻的直射信号中的导航电文和所述被测面数据,确定第二时刻的等效高度角,包括:

根据所述第二时刻的直射信号中的导航电文和所述反射信号接收位置,确定第二时刻的卫星高度角和卫星方位角;

根据所述第二时刻的卫星高度角、卫星方位角和所述被测面数据,确定所述第二时刻的等效高度角。

4. 根据权利要求3所述的形变监测方法,其特征在于,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,以及所述反射信号接收位置到所述被测面的垂直距离。

5. 根据权利要求4所述的形变监测方法,其特征在于,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。

6. 根据权利要求2-5任一项所述的形变监测方法, 其特征在于, 所述根据所述第二载波相位差、所述第一时刻的等效高度角和所述第二时刻的等效高度角, 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:

$$d_{def} = \frac{2d(\sin \beta - \sin \beta') - \frac{\varphi_{\Delta}'' \lambda}{2\pi}}{2 \sin \beta'}$$

其中,  $d_{def}$ 表示所述被测面的形变量,  $d$ 表示所述反射信号接收位置到所述被测面的垂直距离,  $\beta$ 表示所述第一时刻的等效高度角,  $\beta'$ 表示所述第二时刻的等效高度角,  $\varphi_{\Delta}''$ 表示所述第二载波相位差,  $\lambda$ 表示所述直射信号中的波长。

7. 一种形变监测装置, 其特征在于, 所述装置包括:

获取模块, 用于获取第一时刻的直射信号和反射信号, 以及获取第二时刻的直射信号和反射信号, 所述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;

确定模块, 用于利用建立的GNSS反射几何模型消除卫星移动的干扰;

所述确定模块还用于, 根据所述第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位, 以及所述第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位, 确定被测面的形变量。

8. 根据权利要求7所述的形变监测装置, 其特征在于, 所述确定模块具体用于:

根据所述第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位, 确定第一时刻的第一载波相位差;

根据所述第一时刻的直射信号中的导航电文和预设的被测面数据, 确定第一时刻的等效高度角, 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;

根据所述第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位, 确定第二时刻的第一载波相位差;

根据所述第二时刻的直射信号中的导航电文和所述被测面数据, 确定第二时刻的等效

高度角；

根据所述第一时刻的第一载波相位差和所述第二时刻的第一载波相位差，确定第二载波相位差；

根据所述第二载波相位差、所述第一时刻的等效高度角和所述第二时刻的等效高度角，确定所述被测面的形变量。

9. 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6任一项所述的方法。

10. 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6任一项所述的方法。

## 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,尤其涉及一种形变监测方法、装置和接收机。

### 背景技术

[0002] 形变监测广泛应用于地质测量、山体滑坡和建筑检测等领域,通过对大型建筑物或山体的形变监测,技术人员可以准确预测危险的发生并提前做好应对措施。

[0003] 通常形变监测分为两种方式,接触式监测和遥感式监测。接触式监测需要在被测物体上安装监测仪器,例如:倾斜传感器、静力水准仪、全球卫星导航系统接收机(Global Navigation Satellite System),当被测物体发生形变时监测仪器会随之发生位移,因此可以通过测量监测仪器的位移获得被测物体的形变量,但是接触式监测需要在被测物体上安装监测仪器,单台设备只能提供单点监测,因此该监测方式操作繁琐,人工成本高,且一旦被测物体突然出现滑坡或坍塌,技术人员的生命会受到威胁,故安全性较低。遥感式监测可以在被测物体上安装监测仪器,而是通过光学影像、激光、雷达等手段,将监测信号射向被测物体,当被测物体发生形变时反射回来的监测信号也会随之发生变化,通过分析反射回来的监测信号的变化,可以得到被测物体的形变量。

[0004] 虽然遥感式监测操作简单且安全,但是一整套具备高精度的信号发射和信号接收的仪器价格昂贵,因而成本较高。

### 发明内容

[0005] 有鉴于此,本申请实施例提供一种形变监测方法、装置和接收机,用于在保证形变监测的测量精度的同时,降低形变监测的使用成本。

[0006] 第一方面,本申请实施例提供一种形变监测方法,包括:

[0007] 获取第一时刻的直射信号和反射信号,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;

[0008] 获取第二时刻的直射信号和反射信号;

[0009] 根据第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,以及第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定被测面的形变量。

[0010] 可选的,根据第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,以及第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定被测面的形变量,包括:

[0011] 根据第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定第一时刻的第一载波相位差;

[0012] 根据第一时刻的直射信号中的导航电文和预设的被测面数据,确定第一时刻的等效高度角,等效高度角为直射信号在被测面的入射角的余角;

[0013] 根据第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定第二时刻的第一载波相位差;

[0014] 根据第二时刻的直射信号中的导航电文和被测面数据,确定第二时刻的等效高度

角；

[0015] 根据第一时刻的第一载波相位差和第二时刻的第一载波相位差,确定第二载波相位差；

[0016] 根据第二载波相位差、第一时刻的等效高度角和第二时刻的等效高度角,确定被测面的形变量。

[0017] 可选的,根据第一时刻的直射信号中的导航电文和预设的被测面数据,确定第一时刻的等效高度角,包括：

[0018] 根据第一时刻的直射信号中的导航电文和反射信号接收位置,确定第一时刻的卫星高度角和卫星方位角；

[0019] 根据第一时刻的卫星高度角、卫星方位角和被测面数据,确定第一时刻的等效高度角；

[0020] 根据第二时刻的直射信号中的导航电文和被测面数据,确定第二时刻的等效高度角,包括：

[0021] 根据第二时刻的直射信号中的导航电文和反射信号接收位置,确定第二时刻的卫星高度角和卫星方位角；

[0022] 根据第二时刻的卫星高度角、卫星方位角和被测面数据,确定第二时刻的等效高度角。

[0023] 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。

[0024] 可选的,采用如下公式确定被测面的等效高度角：

$$[0025] \quad \begin{cases} \sin \beta = \sin \beta'' \cos \alpha' \\ \beta'' = \pi - \theta' - \gamma \\ \tan \alpha' = \tan \alpha \cos \theta' \\ \tan \theta = \tan \theta' \cos \alpha \\ \alpha = \alpha_s - \alpha_r \end{cases}$$

[0026] 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。

[0027] 可选的,根据第二载波相位差、第一时刻的等效高度角和第二时刻的等效高度角,确定被测面的形变量,包括：

[0028] 采用如下公式确定被测面的形变量：

$$[0029] \quad d_{def} = \frac{2d(\sin \beta - \sin \beta') - \frac{\varphi_{\Delta}'' \lambda}{2\pi}}{2 \sin \beta'}$$

[0030] 其中, $d_{def}$ 表示被测面的形变量, $d$ 表示反射信号接收位置到被测面的垂直距离, $\beta$ 表示第一时刻的等效高度角, $\beta'$ 表示第二时刻的等效高度角, $\varphi_{\Delta}''$ 表示第二载波相位差, $\lambda$ 表

示直射信号中的波长。

[0031] 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:

[0032] 获取模块,用于获取第一时刻的直射信号和反射信号,以及获取第二时刻的直射信号和反射信号,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;

[0033] 确定模块,用于根据第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,以及第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定被测面的形变量。

[0034] 可选的,确定模块具体用于:

[0035] 根据第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定第一时刻的第一载波相位差;

[0036] 根据第一时刻的直射信号中的导航电文和预设的被测面数据,确定第一时刻的等效高度角,等效高度角为直射信号在被测面的入射角的余角;

[0037] 根据第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定第二时刻的第一载波相位差;

[0038] 根据第二时刻的直射信号中的导航电文和被测面数据,确定第二时刻的等效高度角;

[0039] 根据第一时刻的第一载波相位差和第二时刻的第一载波相位差,确定第二载波相位差;

[0040] 根据第二载波相位差、第一时刻的等效高度角和第二时刻的等效高度角,确定被测面的形变量。

[0041] 可选的,确定模块具体用于:

[0042] 根据第一时刻的直射信号中的导航电文和反射信号接收位置,确定第一时刻的卫星高度角和卫星方位角;

[0043] 根据第一时刻的卫星高度角、卫星方位角和被测面数据,确定第一时刻的等效高度角;

[0044] 根据第二时刻的直射信号中的导航电文和反射信号接收位置,确定第二时刻的卫星高度角和卫星方位角;

[0045] 根据第二时刻的卫星高度角、卫星方位角和被测面数据,确定第二时刻的等效高度角。

[0046] 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。

[0047] 可选的,确定模块具体用于:

[0048] 采用如下公式确定被测面的等效高度角:

$$[0049] \begin{cases} \sin \beta = \sin \beta'' \cos \alpha' \\ \beta'' = \pi - \theta' - \gamma \\ \tan \alpha' = \tan \alpha \cos \theta' \\ \tan \theta = \tan \theta' \cos \alpha \\ \alpha = \alpha_s - \alpha_r \end{cases}$$

[0050] 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。

[0051] 可选的, 确定模块具体用于:

[0052] 采用如下公式确定被测面的形变量:

$$[0053] \quad d_{def} = \frac{2d(\sin \beta - \sin \beta') - \frac{\varphi_{\Delta}'' \lambda}{2\pi}}{2 \sin \beta'}$$

[0054] 其中,  $d_{def}$  表示被测面的形变量,  $d$  表示反射信号接收位置到被测面的垂直距离,  $\beta$  表示第一时刻的等效高度角,  $\beta'$  表示第二时刻的等效高度角,  $\varphi_{\Delta}''$  表示第二载波相位差,  $\lambda$  表示直射信号中的波长。

[0055] 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。

[0056] 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。

[0057] 本申请提供了一种形变监测方法、装置和接收机, 可以获取第一时刻的直射信号和反射信号, 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, 然后获取第二时刻的直射信号和反射信号, 最后根据第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位, 以及第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位, 确定被测面的形变量。本申请可以采用具有高测量精度的GNSS信号监测形变, 可以省去遥感式监测仪器的信号发射端, 从而在保证高测量精度的同时可以降低形变监测的使用成本。

## 附图说明

[0058] 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。

[0059] 图1是本申请实施例提供的形变监测方法的示意性流程图;

[0060] 图2是本申请实施例提供的接收机应用场景的示意图;

[0061] 图3是本申请实施例提供的信号反射模型的二维示意图;

[0062] 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;

[0063] 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;

[0064] 图6是本申请实施例提供的确定被测面形变量的流程图;

[0065] 图7是本申请实施例提供的形变监测装置的结构框图;

[0066] 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

[0067] 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。

[0068] 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。

[0069] 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。

[0070] 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。

[0071] 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。

[0072] 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。

[0073] 图1是本申请实施例提供的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:

[0074] S110、获取第一时刻的直射信号和反射信号。

[0075] 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。

[0076] 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,产生反射信号并由接收机的左旋天线获取反射信号。

[0077] 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。

[0078] 在本申请实施例中,接收机可以直接获取卫星发射的GNSS信号,相比于现有的形变监测仪器,本申请的方法不需要设置对应的信号发射端,从而可以降低形变监测使用成本。

[0079] S120、获取第二时刻的直射信号和反射信号。

[0080] 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,所以接收机可以在被测面发生形变时,获取第二时刻的直射信号和反射信号,进而确定被测面的形变量。

[0081] 需要说明的是,本申请实施例中所说的第一时刻和第二时刻是相对于一次形变监测过程的信号获取时序关系定义的。

[0082] 例如,在监测爆破大型建筑时对周边建筑物的影响,可以使用接收机监测目标建筑物。爆破工作在13点开始,则可以在12点30分的时候,开始使用接收机获取直射信号和经目标建筑物反射的反射信号,并将12点30分记为第一时刻,然后接收机持续接收直射信号和反射信号直到13点30分爆破工作完全结束,然后将13点30分记为第二时刻,最后接收机可以根据第一时刻和第二时刻的数据计算目标建筑物的形变量。

[0083] S130、根据第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,以及第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定被测面的形变量。

[0084] 为了便于理解,先介绍本步骤中确定被测面形变量的原理。

[0085] 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:

$$[0086] \quad T(t) = A_T \cos(ft + \varphi_L) y(t) d(t) \quad (1)$$

[0087] 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。

[0088] 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:

$$[0089] \quad R_d(t) = A_d \cos((f + f_{Dd})(t - \tau_d) + \varphi_d) y(t - \tau_d) d(t - \tau_d) + n(t) \quad (2)$$

[0090] 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。

[0091] 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:

$$[0092] \quad R_r(t) = A_r \cos((f + f_{Dr})(t - \tau_r) + \varphi_r) y(t - \tau_r) d(t - \tau_r) + n(t) \quad (3)$$

[0093] 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。

[0094] 接收机在获取到直射信号和反射信号后,可以通过对多普勒频率在时间上进行积分确定出直射信号的载波相位 $\varphi_d$ ,和反射信号的载波相位 $\varphi_r$ ,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, $D_0$ 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)。

[0095] 传播路径差 $\Delta d$ 可以用下述公式表示:

$$[0096] \quad \Delta d = \frac{(\varphi_d - \varphi_r)\lambda}{2\pi} = N\lambda + \frac{\varphi_\Delta \lambda}{2\pi} \quad (4)$$

[0097] 其中,  $\lambda$ 表示GNSS信号的波长,  $N$ 表示整周模糊度,  $\varphi_\Delta$ 表示载波相位差的小数部分。需要说明的是, 载波相位可以分为整周数和小数部分, 整周数表示GNSS信号在移动距离内经过了多少个完整的周期, 小数部分表示GNSS信号在最后一个周期内具体的相位值。

[0098] 具体的, 通过图3可以看出当被测面发生形变时, 会导致传播路径差  $\Delta d$  发生变化, 因此, 通过传播路径差  $\Delta d$  接收机可以求出被测面的形变量, 但是, 卫星每时每刻都在移动, 卫星相对于被测面的位置也会时刻发生变化, 因此即使被测面没有发生形变, 传播路径差也不会是一个恒定值。所以直接用被测面发生形变前后的传播路径差  $\Delta d$  相减无法直接确定被测面的形变量。

[0099] 进一步的, 接收机可以建立GNSS反射几何模型, 通过反射几何模型消除卫星移动的干扰。

[0100] 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:

$$[0102] \quad \begin{cases} \Delta d = 2d \sin \beta = 2d \cos i \\ \sin \beta = \sin \beta'' \cos \alpha' \\ \beta'' = \pi - \theta' - \gamma \\ \tan \alpha' = \tan \alpha \cos \theta' \\ \tan \theta = \tan \theta' \cos \alpha \\ \alpha = \alpha_s - \alpha_r \end{cases} \quad (5)$$

[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 (5) 可以确定传播路径差  $\Delta d$ , 结合公式 (4) 和 (5) 可以得出被测面发生形变前后的传播路径差  $\Delta d$ :

$$[0105] \quad \begin{cases} \Delta d = 2d \sin \beta = N\lambda + \varphi_\Delta \frac{\lambda}{2\pi} \\ \Delta d' = 2(d + d_{def}) \sin \beta' = N\lambda + \varphi'_\Delta \frac{\lambda}{2\pi} \end{cases} \quad (6)$$

[0106] 其中,  $\Delta d'$ 表示被测面发生形变后的传播路径差,  $d_{def}$ 表示被测面的形变量,  $\beta'$ 表

示被测面发生形变后的等效高度角,  $\varphi'_{\Delta}$  表示被测面发生形变后的载波相位差的小数部分。

[0107] 进一步的, 将公式 (6) 的两公式相减, 可以得到下述公式:

$$[0108] \quad \frac{\varphi''_{\Delta}\lambda}{2\pi} = \frac{(\varphi_{\Delta}-\varphi'_{\Delta})\lambda}{2\pi} = 2d(\sin\beta - \sin\beta') - 2d\sin\beta' d_{def} \quad (7)$$

[0109] 其中,  $\varphi''_{\Delta}$  表示载波相位差的变化值。

[0110] 进一步的, 将公式 (7) 变形, 可以得到下述公式:

$$[0111] \quad d_{def} = \frac{2d(\sin\beta - \sin\beta') - \frac{\varphi''_{\Delta}\lambda}{2\pi}}{2\sin\beta'} \quad (8)$$

[0112] 最终, 通过公式 (8) 接收机可以消除卫星移动的干扰, 进而求出被测面的形变量  $d_{def}$ 。

[0113] 在经过上述理论分析后, 接收机可以根据被测面形变前 (也即是第一时刻) 的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位, 以及被测面形变后 (也即是第二时刻) 的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位, 确定被测面的形变量。

[0114] 具体的, 图6是本申请实施例提供的确定被测面形变量的流程图, 如图6所示, 接收机可以通过如下步骤确定被测面形变量:

[0115] S131、根据第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位, 确定第一时刻的第一载波相位差。

[0116] 接收机可以根据获取的第一时刻的直射信号和反射信号, 对直射信号和反射信号的多普勒频移进行积分得到第一时刻的第一载波相位差。其中, 第一载波相位差就是直射信号的载波相位与反射信号的载波相位之间的相位差。

[0117] S132、根据第一时刻的直射信号中的导航电文和预设的被测面数据, 确定第一时刻的等效高度角。

[0118] 接收机可以解析第一时刻的直射信号得到导航电文, 通过导航电文获取卫星的位置信息, 再根据卫星的位置信息和预设的被测面数据, 确定第一时刻的等效高度角, 等效高度角为直射信号在被测面的入射角的余角。

[0119] 具体的, 接收机可以根据第一时刻的直射信号中的导航电文和反射信号接收位置, 确定第一时刻的卫星高度角和卫星方位角, 其中, 被测面数据包括被测面的倾斜角、被测面的方位角, 以及反射信号接收位置到被测面的垂直距离。然后根据第一时刻的卫星高度角、卫星方位角、被测面数据和公式 (5) 得到第一时刻的等效高度角, 等效高度角为直射信号在被测面的入射角的余角。

[0120] 需要说明的是, 在实际应用中, 反射信号接收位置就是接收机的实际位置。

[0121] S133、根据第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位, 确定第二时刻的第一载波相位差。

[0122] 具体的, 第二时刻的第一载波相位差的确定过程与上述步骤S131中第一时刻的第一载波相位差的确定过程类似, 此处不再赘述。

[0123] 需要说明的是, 在确定第二时刻的第一载波相位差的时候, 可以根据第一时刻到第二时刻之间连续获取的直射信号和反射信号, 通过对其直射信号和反射信号的多普勒频

移进行积分确定。

[0124] S134、根据第二时刻的直射信号中的导航电文和被测面数据,确定第二时刻的等效高度角。

[0125] 具体的,接收机可以根据第二时刻的直射信号中的导航电文和反射信号接收位置,确定第二时刻的卫星高度角和卫星方位角,其中,被测面数据包括被测面的倾斜角、被测面的方位角,以及反射信号接收位置到被测面的垂直距离。然后根据第二时刻的卫星高度角、卫星方位角、被测面数据和公式(5)得到第二时刻的等效高度角,等效高度角为直射信号在被测面的入射角的余角。

[0126] S135、根据第一时刻的第一载波相位差和第二时刻的第一载波相位差,确定第二载波相位差。

[0127] 具体的,接收机可以将第一时刻的第一载波相位差减去第二时刻的第一载波相位差,得到第二载波相位差。

[0128] S136、根据第二载波相位差、第一时刻的等效高度角和第二时刻的等效高度角,确定被测面的形变量。

[0129] 具体的,当接收机得到了第二载波相位差、第一时刻的等效高度角和第二时刻的等效高度角后,可以根据第二载波相位差、第一时刻的等效高度角、第二时刻的等效高度角、GNSS信号的波长和公式(8),得到被测面的形变量。

[0130] 需要说明的是,在具体确定等效高度角时,可以根据公式(5)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。

[0131] 本申请实施例提供的形变监测方法,接收机首先获取第一时刻的直射信号和反射信号,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,然后获取第二时刻的直射信号和反射信号,最后根据第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,以及第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定被测面的形变量。本申请实施例通过采用具有高测量精度的GNSS信号监测形变,可以省去遥感式监测仪器的信号发射端,从而在保证高测量精度的同时可以降低形变监测的使用成本。

[0132] 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,而不应对本申请实施例的实施过程构成任何限定。

[0133] 图7是本申请实施例提供的形变监测装置的结构框图,如图7所示,该装置可以包括:

[0134] 获取模块110,用于获取第一时刻的直射信号和反射信号,以及获取第二时刻的直射信号和反射信号,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;

[0135] 确定模块120,用于根据第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,以及第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定被测面的形变量。

[0136] 可选的,确定模块120具体用于:

[0137] 根据第一时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定第一时刻的第一载波相位差;

[0138] 根据第一时刻的直射信号中的导航电文和预设的被测面数据,确定第一时刻的等效高度角,等效高度角为直射信号在被测面的入射角的余角;

[0139] 根据第二时刻的直射信号的载波相位和反射信号的载波相位,确定第二时刻的第一载波相位差;

[0140] 根据第二时刻的直射信号中的导航电文和被测面数据,确定第二时刻的等效高度角;

[0141] 根据第一时刻的第一载波相位差和第二时刻的第一载波相位差,确定第二载波相位差;

[0142] 根据第二载波相位差、第一时刻的等效高度角和第二时刻的等效高度角,确定被测面的形变量。

[0143] 可选的,确定模块120具体用于:

[0144] 根据第一时刻的直射信号中的导航电文和反射信号接收位置,确定第一时刻的卫星高度角和卫星方位角;

[0145] 根据第一时刻的卫星高度角、卫星方位角和被测面数据,确定第一时刻的等效高度角;

[0146] 根据第二时刻的直射信号中的导航电文和反射信号接收位置,确定第二时刻的卫星高度角和卫星方位角;

[0147] 根据第二时刻的卫星高度角、卫星方位角和被测面数据,确定第二时刻的等效高度角。

[0148] 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。

[0149] 可选的,确定模块120具体用于采用如下公式确定被测面的等效高度角:

$$[0150] \quad \begin{cases} \sin \beta = \sin \beta'' \cos \alpha' \\ \beta'' = \pi - \theta' - \gamma \\ \tan \alpha' = \tan \alpha \cos \theta' \\ \tan \theta = \tan \theta' \cos \alpha \\ \alpha = \alpha_s - \alpha_r \end{cases}$$

[0151] 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。

[0152] 可选的,确定模块120具体用于采用如下公式确定被测面的形变量:

$$[0153] \quad d_{def} = \frac{2d(\sin \beta - \sin \beta') - \frac{\varphi_{\Delta}'' \lambda}{2\pi}}{2 \sin \beta'}$$

[0154] 其中, $d_{def}$ 表示被测面的形变量, $d$ 表示反射信号接收位置到被测面的垂直距离, $\beta$ 表示第一时刻的等效高度角, $\beta'$ 表示第二时刻的等效高度角, $\varphi_{\Delta}''$ 表示第二载波相位差, $\lambda$ 表

示直射信号中的波长。

[0155] 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。

[0156] 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。

[0157] 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。

[0158] 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。

[0159] 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。

[0160] 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。

[0161] 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。

[0162] 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。

[0163] 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。

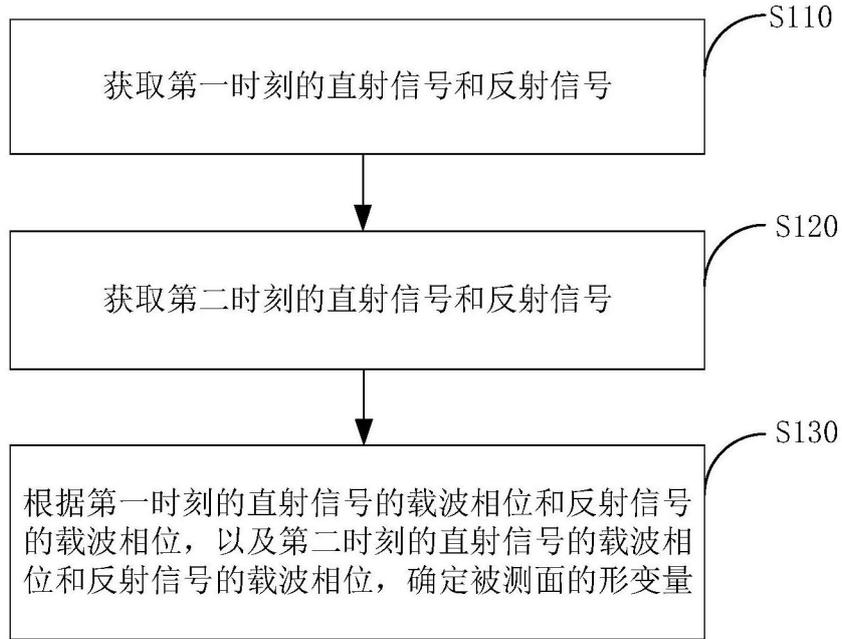


图1

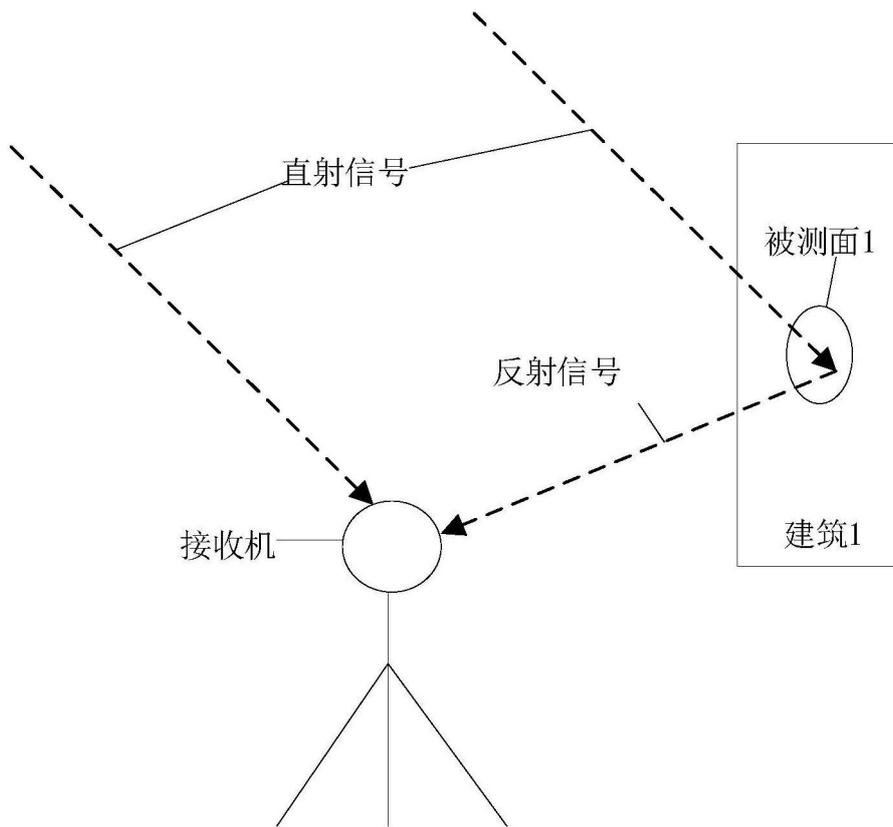


图2

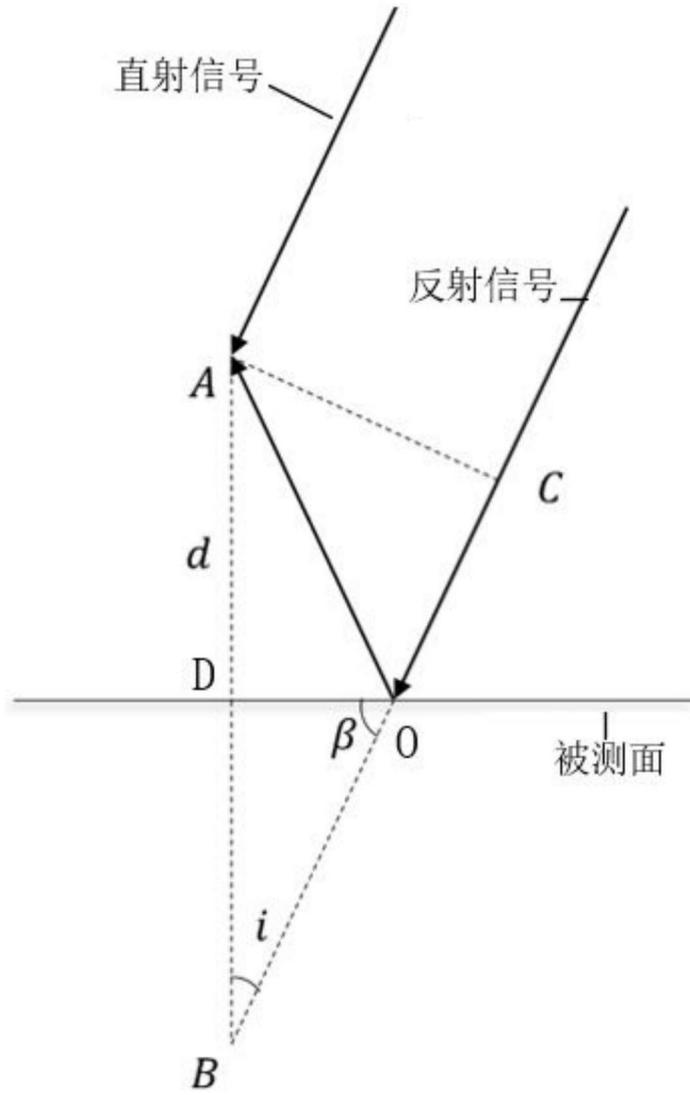


图3

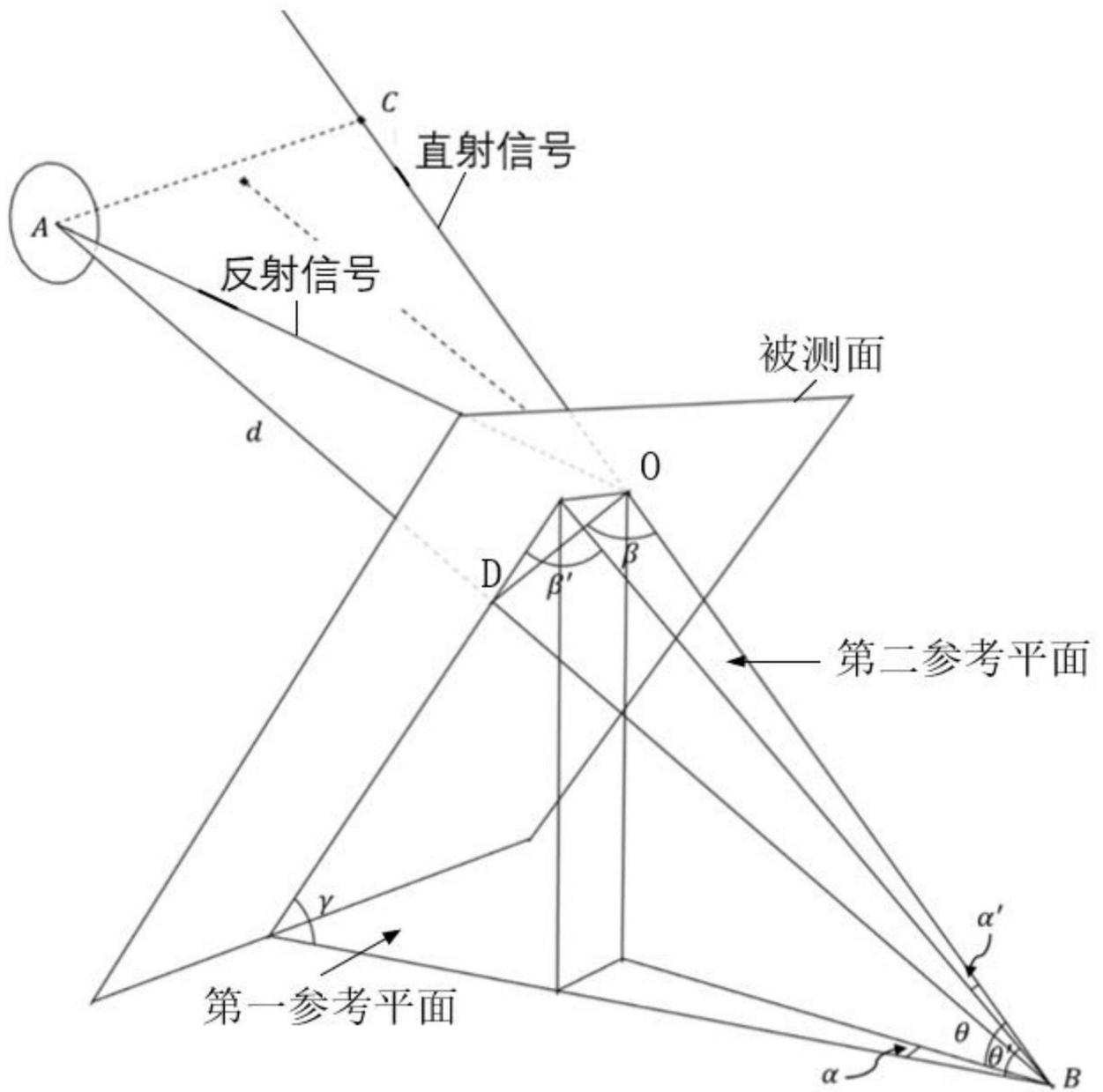


图4

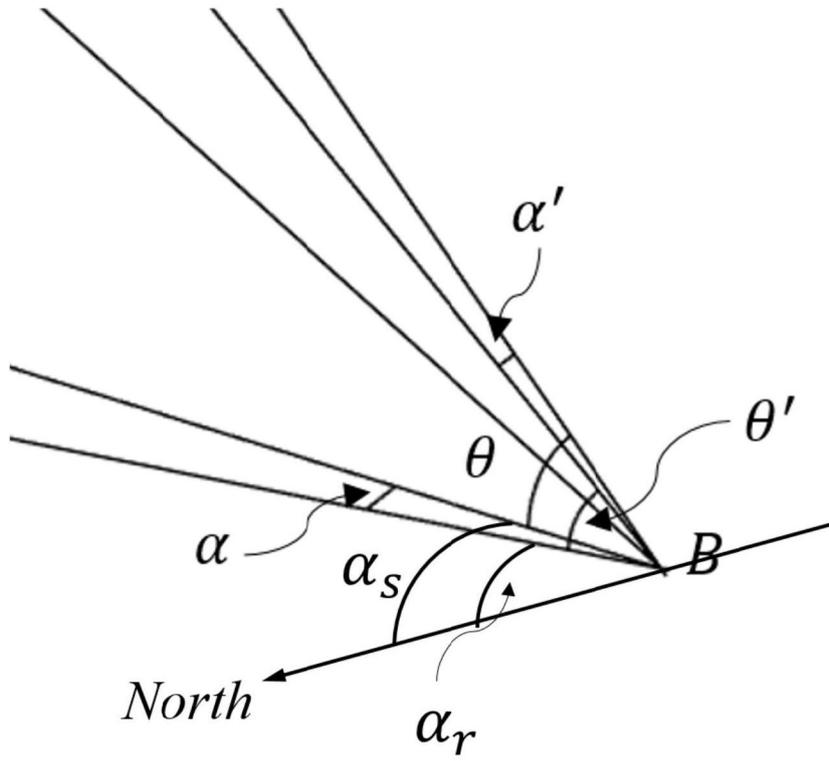


图5

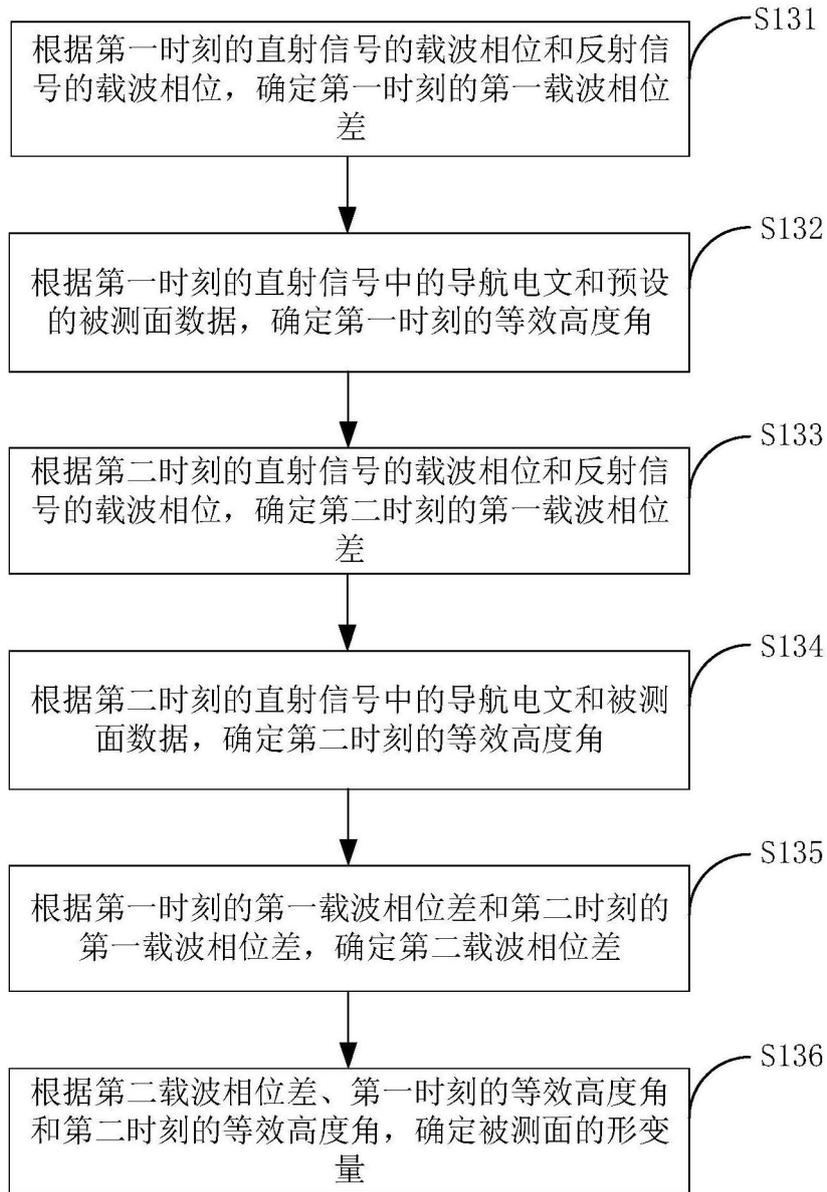


图6

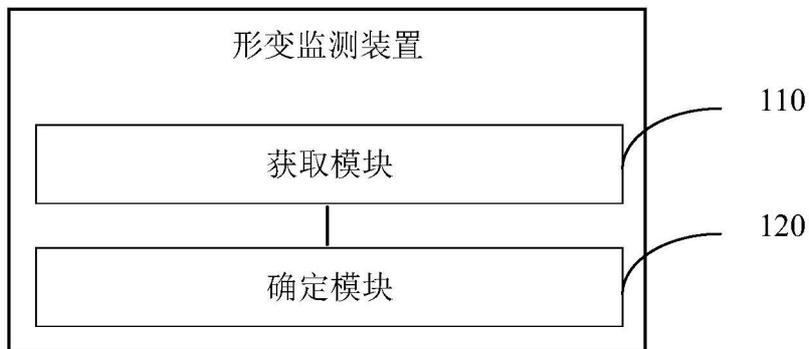


图7

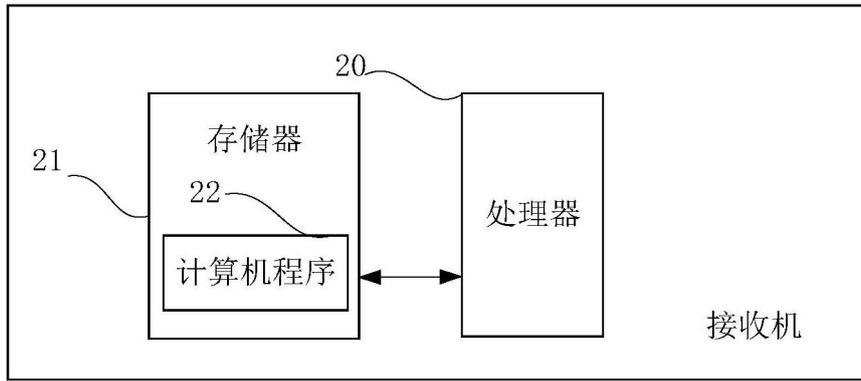


图8