



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113296136 B

(45) 授权公告日 2024.03.19

(21) 申请号 202010113167.4

(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 113296136 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

专利代理人 高星

(51) Int.Cl.

G01S 19/43 (2010.01)

G01B 15/06 (2006.01)

(54) 发明名称

多目标形变监测方法、装置和接收机

(57) 摘要

本申请提供一种多目标形变监测方法、装置和接收机，涉及遥感测控技术领域，其中，该方法包括：获取由多个反射子信号叠加形成的复合信号，其中多个反射子信号中包括一个经目标被测面反射的目标反射子信号，反射子信号为全球导航卫星系统GNSS信号，然后根据复合信号的多个峰值，确定目标被测面的形变量。本申请可以根据复合信号的峰值与反射子信号的载波相位的关系，在复合信号的峰值变化时，反演得到目标反射子信号的载波相位变化，从而确定目标被测面的形变量，保证在同时接收到多个反射信号的情况下，接收机依然可以准确的得到被测面的形变量。

(56) 对比文件

CN 101975959 A, 2011.02.16

CN 106093938 A, 2016.11.09

CN 107037460 A, 2017.08.11

CN 107438398 A, 2017.12.05

CN 1689191 A, 2005.10.26

KR 20180080004 A, 2018.07.11

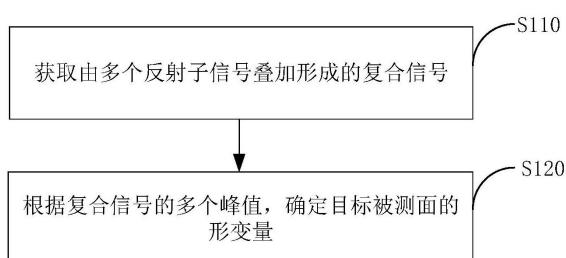
US 6163946 A, 2000.12.26

Devendra Kumar Yadav et.al.《Design of Real-Time Slope Monitoring System Using Time-Domain Reflectometry With Wireless Sensor Network》.《IEEE Sensors Letters》  
.2019, 第3卷(第2期), 第1-4页.

李公全; 赖涛; 靳科; 赵拥军. FMCW雷达周期非线性相位估计与矫正. 系统工程与电子技术  
.2017, (第3期), 第55-62页.

审查员 王琳琳

权利要求书3页 说明书14页 附图7页



1. 一种多目标形变监测方法,其特征在于,包括:

获取由多个反射子信号叠加形成的复合信号,所述多个反射子信号中包括一个经目标被测面反射的目标反射子信号,所述反射子信号为全球导航卫星系统GNSS信号;

根据所述复合信号的多个峰值,确定所述目标被测面的形变量;

所述根据所述复合信号的多个峰值,确定所述目标被测面的形变量,包括:

将除所述目标反射子信号外的任一个所述反射子信号确定为参考反射子信号;

根据所述复合信号的多个峰值,确定所述目标反射子信号与所述复合信号的第一载波相位差,以及所述参考反射子信号与所述复合信号的第二载波相位差;

根据所述第一载波相位差和所述第二载波相位差,确定目标载波相位差之和;

根据所述复合信号中的导航电文和预设的被测面数据,确定所述目标被测面的等效高度角,以及标准载波相位差之和,所述标准载波相位差之和为在所述目标被测面未发生形变的情况下,所述第一载波相位差和所述第二载波相位差的载波相位差之和;

根据所述目标载波相位差之和、所述标准载波相位差之和以及所述目标被测面的等效高度角,确定所述目标被测面的形变量。

2. 根据权利要求1所述的多目标形变监测方法,其特征在于,所述根据所述复合信号的多个峰值,确定所述目标反射子信号与所述复合信号的第一载波相位差,以及所述参考反射子信号与所述复合信号的第二载波相位差,包括:

根据所述复合信号的多个峰值,确定所述多个峰值之间的伪距码相位差;

根据所述复合信号的多个峰值、所述伪距码相位差、预设的采样点值、预设的所述复合信号的每个峰值对应的最大值、以及预设的所述复合信号的每个峰值对应的最小值,确定所述目标反射子信号与所述复合信号的第一载波相位差,以及所述参考反射子信号与所述复合信号的第二载波相位差。

3. 根据权利要求1所述的多目标形变监测方法,其特征在于,所述根据所述复合信号中的导航电文和预设的被测面数据,确定所述目标被测面的等效高度角,以及标准载波相位差之和,包括:

根据所述复合信号中的导航电文和复合信号接收位置,确定所述目标反射子信号对应的卫星高度角和卫星方位角,以及所述参考反射子信号对应的卫星高度角和卫星方位角;

根据所述目标反射子信号对应的卫星高度角、卫星方位角和所述目标反射子信号对应的被测面数据,确定所述目标反射子信号对应的被测面的等效高度角,所述等效高度角为直射信号在所述被测面的入射角的余角;

根据所述参考反射子信号对应的卫星高度角、卫星方位角和所述参考反射子信号对应的被测面数据,确定所述参考反射子信号对应的被测面的等效高度角;

根据所述目标反射子信号对应的被测面的等效高度角、所述参考反射子信号对应的被测面的等效高度角,以及预设的被测面数据,确定所述标准载波相位差之和。

4. 根据权利要求3所述的多目标形变监测方法,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,以及所述复合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所述的多目标形变监测方法,其特征在于,采用如下公式确定任一个所述反射子信号对应的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,  $\beta$  表示所述反射子信号对应的被测面的等效高度角,  $\beta''$  表示所述反射子信号对应的被测面的等效高度角在第一参考平面上的投影角,  $\theta'$  表示所述反射子信号对应的卫星高度角在第一参考平面上的投影角,  $\gamma$  表示所述反射子信号对应的被测面的倾斜角,  $\alpha$  表示所述反射子信号对应的卫星方位角与所述反射子信号对应的被测面的方位角之差,  $\alpha'$  表示所述反射子信号对应的卫星方位角与所述反射子信号对应的被测面的方位角之差在第二参考平面上的投影角,  $\theta$  表示所述反射子信号对应的卫星高度角,  $\alpha_s$  表示所述反射子信号对应的卫星方位角,  $\alpha_r$  表示所述反射子信号对应的被测面的方位角, 所述第一参考平面分别与所述被测面和地面垂直, 且所述复合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1-5任一项所述的多目标形变监测方法, 其特征在于, 所述根据所述目标载波相位差之和、所述标准载波相位差之和以及所述目标被测面的等效高度角, 确定所述目标被测面的形变量, 包括:

采用如下公式确定所述目标被测面的形变量:

$$d_{def} = \frac{\Delta\Phi' - \Delta\Phi}{2 \sin \beta_m} * \frac{\lambda}{2\pi}$$

其中,  $d_{def}$  表示所述目标被测面的形变量,  $\beta_m$  表示所述目标被测面的等效高度角,  $\Delta\Phi'$  表示所述目标载波相位差之和,  $\Delta\Phi$  表示所述标准载波相位差之和,  $\lambda$  表示所述反射信号中的波长。

7. 一种多目标形变监测装置, 其特征在于, 所述装置包括:

获取模块, 用于获取由多个反射子信号叠加形成的复合信号, 所述多个反射子信号中包括一个经目标被测面反射的目标反射子信号, 所述反射子信号为全球导航卫星系统GNSS信号;

确定模块, 用于根据所述复合信号的多个峰值, 确定所述目标被测面的形变量;

确定模块具体用于:

将除目标反射子信号外的任一个反射子信号确定为参考反射子信号;

根据复合信号的多个峰值, 确定目标反射子信号与复合信号的第一载波相位差, 以及参考反射子信号与复合信号的第二载波相位差;

根据第一载波相位差和第二载波相位差, 确定目标载波相位差之和;

根据复合信号中的导航电文和预设的被测面数据, 确定目标被测面的等效高度角, 以及标准载波相位差之和, 标准载波相位差之和为在目标被测面未发生形变的情况下, 第一载波相位差和第二载波相位差的载波相位差之和;

根据目标载波相位差之和、标准载波相位差之和以及目标被测面的等效高度角,确定目标被测面的形变量。

8.一种接收机,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。

9.一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。

## 多目标形变监测方法、装置和接收机

### 技术领域

[0001] 本申请属于遥感测控技术领域，尤其涉及一种多目标形变监测方法、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，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处理，得到被测面的形变量。但是在某些复杂场景下，例如高楼林立的城市中心，接收机会同时接收到来自不同建筑物反射的多个反射信号；在同时接收到多个反射信号的情况下，接收机输出的反射信号的载波相位会有很大的误差，导致被测面的形变量无法计算。

### 发明内容

[0004] 有鉴于此，本申请实施例提供一种多目标形变监测方法、装置和接收机，用于在同时接收到多个反射信号的情况下，接收机依然可以准确的得到被测面的形变量。

[0005] 第一方面，本申请实施例提供一种多目标形变监测方法，包括：

[0006] 获取由多个反射子信号叠加形成的复合信号，多个反射子信号中包括一个经目标被测面反射的目标反射子信号，反射子信号为全球导航卫星系统GNSS信号；

[0007] 根据复合信号的多个峰值，确定目标被测面的形变量。

[0008] 可选的，根据复合信号的多个峰值，确定目标被测面的形变量，包括：

[0009] 将除目标反射子信号外的任一个反射子信号确定为参考反射子信号；

[0010] 根据复合信号的多个峰值，确定目标反射子信号与复合信号的第一载波相位差，以及参考反射子信号与复合信号的第二载波相位差；

[0011] 根据第一载波相位差和第二载波相位差，确定目标载波相位差之和；

[0012] 根据复合信号中的导航电文和预设的被测面数据，确定目标被测面的等效高度角，以及标准载波相位差之和，标准载波相位差之和为在目标被测面未发生形变的情况下，第一载波相位差和第二载波相位差的载波相位差之和；

[0013] 根据目标载波相位差之和、标准载波相位差之和以及目标被测面的等效高度角，确定目标被测面的形变量。

[0014] 可选的，根据复合信号的多个峰值，确定目标反射子信号与复合信号的第一载波相位差，以及参考反射子信号与复合信号的第二载波相位差，包括：

[0015] 根据复合信号的多个峰值，确定多个峰值之间的伪距码相位差；

[0016] 根据复合信号的多个峰值、伪距码相位差、预设的采样点值、预设的复合信号的每个峰值对应的最大值、以及预设的复合信号的每个峰值对应的最小值，确定目标反射子信

号与复合信号的第一载波相位差,以及参考反射子信号与复合信号的第二载波相位差。

[0017] 可选的,根据复合信号中的导航电文和预设的被测面数据,确定目标被测面的等效高度角,以及标准载波相位差之和,包括:

[0018] 根据复合信号中的导航电文和复合信号接收位置,确定目标反射子信号对应的卫星高度角和卫星方位角,以及参考反射子信号对应的卫星高度角和卫星方位角;

[0019] 根据目标反射子信号对应的卫星高度角、卫星方位角和目标反射子信号对应的被测面数据,确定目标反射子信号对应的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;

[0020] 根据参考反射子信号对应的卫星高度角、卫星方位角和参考反射子信号对应的被测面数据,确定参考反射子信号对应的被测面的等效高度角;

[0021] 根据目标反射子信号对应的被测面的等效高度角、参考反射子信号对应的被测面的等效高度角,以及预设的被测面数据,确定标准载波相位差之和。

[0022] 可选的,被测面数据包括被测面的倾斜角、被测面的方位角,以及复合信号接收位置到被测面的垂直距离。

[0023] 可选的,采用如下公式确定任一个反射子信号对应的被测面的等效高度角:

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

[0025] 其中,  $\beta$  表示反射子信号对应的被测面的等效高度角,  $\beta''$  表示反射子信号对应的被测面的等效高度角在第一参考平面上的投影角,  $\theta'$  表示反射子信号对应的卫星高度角在第一参考平面上的投影角,  $\gamma$  表示反射子信号对应的被测面的倾斜角,  $\alpha$  表示反射子信号对应的卫星方位角与反射子信号对应的被测面的方位角之差,  $\alpha'$  表示反射子信号对应的卫星方位角与反射子信号对应的被测面的方位角之差在第二参考平面上的投影角,  $\theta$  表示反射子信号对应的卫星高度角,  $\alpha_s$  表示反射子信号对应的卫星方位角,  $\alpha_r$  表示反射子信号对应的被测面的方位角, 第一参考平面分别与被测面和地面垂直,且复合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。

[0026] 可选的,根据目标载波相位差之和、标准载波相位差之和以及目标被测面的等效高度角,确定目标被测面的形变量,包括:

[0027] 采用如下公式确定目标被测面的形变量:

$$d_{def} = \frac{\Delta \Phi' - \Delta \Phi}{2 \sin \beta_m} * \frac{\lambda}{2\pi}$$

[0029] 其中,  $d_{def}$  表示目标被测面的形变量,  $\beta_m$  表示目标被测面的等效高度角,  $\Delta \Phi'$  表示目标载波相位差之和,  $\Delta \Phi$  表示标准载波相位差之和,  $\lambda$  表示反射信号中的波长。

[0030] 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:

[0031] 获取模块,用于获取由多个反射子信号叠加形成的复合信号,多个反射子信号中

包括一个经目标被测面反射的目标反射子信号,反射子信号为全球导航卫星系统GNSS信号;

- [0032] 确定模块,用于根据复合信号的多个峰值,确定目标被测面的形变量。
- [0033] 可选的,确定模块具体用于:
- [0034] 将除目标反射子信号外的任一个反射子信号确定为参考反射子信号;
- [0035] 根据复合信号的多个峰值,确定目标反射子信号与复合信号的第一载波相位差,以及参考反射子信号与复合信号的第二载波相位差;
- [0036] 根据第一载波相位差和第二载波相位差,确定目标载波相位差之和;
- [0037] 根据复合信号中的导航电文和预设的被测面数据,确定目标被测面的等效高度角,以及标准载波相位差之和,标准载波相位差之和为在目标被测面未发生形变的情况下,第一载波相位差和第二载波相位差的载波相位差之和;
- [0038] 根据目标载波相位差之和、标准载波相位差之和以及目标被测面的等效高度角,确定目标被测面的形变量。
- [0039] 可选的,确定模块具体用于:
- [0040] 根据复合信号的多个峰值,确定多个峰值之间的伪距码相位差;
- [0041] 根据复合信号的多个峰值、伪距码相位差、预设的采样点值、预设的复合信号的每个峰值对应的最大值、以及预设的复合信号的每个峰值对应的最小值,确定目标反射子信号与复合信号的第一载波相位差,以及参考反射子信号与复合信号的第二载波相位差。
- [0042] 可选的,确定模块具体用于:
- [0043] 根据复合信号中的导航电文和复合信号接收位置,确定目标反射子信号对应的卫星高度角和卫星方位角,以及参考反射子信号对应的卫星高度角和卫星方位角;
- [0044] 根据目标反射子信号对应的卫星高度角、卫星方位角和目标反射子信号对应的被测面数据,确定目标反射子信号对应的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;
- [0045] 根据参考反射子信号对应的卫星高度角、卫星方位角和参考反射子信号对应的被测面数据,确定参考反射子信号对应的被测面的等效高度角;
- [0046] 根据目标反射子信号对应的被测面的等效高度角、参考反射子信号对应的被测面的等效高度角,以及预设的被测面数据,确定标准载波相位差之和。
- [0047] 可选的,被测面数据包括被测面的倾斜角、被测面的方位角,以及复合信号接收位置到被测面的垂直距离。
- [0048] 可选的,确定模块具体用于:
- [0049] 采用如下公式确定任一个反射子信号对应的被测面的等效高度角:

$$\begin{aligned} [0050] \left\{ \begin{array}{l} \sin \beta = \sin \beta'' \cos \alpha' \\ \beta'' = \pi - \theta' - \gamma \\ \tan \alpha' = \tan \alpha \cos \theta' \\ \tan \theta = \tan \theta' \cos \alpha \\ \alpha = \alpha_s - \alpha_r \end{array} \right. \end{aligned}$$

- [0051] 其中,  $\beta$  表示反射子信号对应的被测面的等效高度角,  $\beta''$  表示反射子信号对应的被测面的等效高度角在第一参考平面上的投影角,  $\theta'$  表示反射子信号对应的卫星高度角在第

一参考平面上的投影角,  $\gamma$  表示反射子信号对应的被测面的倾斜角,  $\alpha$  表示反射子信号对应的卫星方位角与反射子信号对应的被测面的方位角之差,  $\alpha'$  表示反射子信号对应的卫星方位角与反射子信号对应的被测面的方位角之差在第二参考平面上的投影角,  $\theta$  表示反射子信号对应的卫星高度角,  $\alpha_s$  表示反射子信号对应的卫星方位角,  $\alpha_r$  表示反射子信号对应的被测面的方位角, 第一参考平面分别与被测面和地面垂直, 且复合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。

[0052] 可选的, 确定模块具体用于:

[0053] 采用如下公式确定目标被测面的形变量:

$$[0054] d_{def} = \frac{\Delta\Phi' - \Delta\Phi}{2 \sin \beta_m} * \frac{\lambda}{2\pi}$$

[0055] 其中,  $d_{def}$  表示目标被测面的形变量,  $\beta_m$  表示目标被测面的等效高度角,  $\Delta\Phi'$  表示目标载波相位差之和,  $\Delta\Phi$  表示标准载波相位差之和,  $\lambda$  表示反射信号中的波长。

[0056] 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。

[0057] 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。

[0058] 本申请提供了一种多目标形变监测方法、装置和接收机, 可以获取由多个反射子信号叠加形成的复合信号, 其中多个反射子信号中包括一个经目标被测面反射的目标反射子信号, 反射子信号为全球导航卫星系统GNSS信号, 然后根据复合信号的多个峰值, 确定目标被测面的形变量。本申请可以根据复合信号的峰值与反射子信号的载波相位的关系, 在复合信号的峰值变化时, 反演得到目标反射子信号的载波相位变化, 从而确定目标被测面的形变量, 保证在同时接收到多个反射信号的情况下, 接收机依然可以准确的得到被测面的形变量。

## 附图说明

[0059] 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。

[0060] 图1是本申请实施例提供的多目标形变监测方法的示意性流程图;

[0061] 图2是本申请实施例提供的接收机应用场景的示意图;

[0062] 图3是本申请实施例提供的复合信号的幅值示意图;

[0063] 图4是本申请实施例提供的复合信号的相关函数图;

[0064] 图5是本申请实施例提供的信号反射模型的二维示意图;

[0065] 图6是本申请实施例提供的GNSS反射几何模型的三维示意图;

[0066] 图7是本申请实施例提供的GNSS反射几何模型的局部放大图;

- [0067] 图8是本申请实施例提供的确定目标被测面形变量的流程图；
- [0068] 图9是本申请实施例提供的多目标形变监测装置的结构框图；
- [0069] 图10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

[0070] 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。

[0071] 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。

[0072] 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。

[0073] 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。

[0074] 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。

[0075] 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。但是在某些复杂场景下,例如高楼林立的城市中心,接收机会同时接收到来自不同建筑物反射的多个反射子信号,也即是由多个反射子信号叠加形成的复合信号。在同时接收到多个反射信号的情况下,接收机输出的反射信号的载波相位会有很大的误差,导致被测面的形变量无法计算。

[0076] 有鉴于此,本申请实施例提供一种多目标形变监测方法、用于在同时接收到多个反射信号的情况下,接收机依然可以准确的得到被测面的形变量。

[0077] 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。

[0078] 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。

[0079] 图1是本申请实施例提供的多目标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:

- [0080] S110、获取由多个反射子信号叠加形成的复合信号。

[0081] 在本申请实施例中,在目标被测面发生形变后,接收机可以直接获取由多个反射子信号叠加形成的复合信号,多个反射子信号中包括一个经目标被测面反射的目标反射子信号。

[0082] 具体的,接收机可以通过左旋天线接收由多个反射子信号叠加形成的复合信号。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,两个直射信号分别射到建筑1的被测面和建筑2的被测面,再分别经被测面1和被测面2反射,产生两个不同的反射子信号。反射子信号在传播的过程中相互叠加形成新的复合信号,并由接收机的左旋天线获取复合信号,其中,被测面1为需要监测的目标被测面,被测面2为不需要监测的干扰被测面。

[0083] 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。

[0084] S120、根据复合信号的多个峰值,确定目标被测面的形变量。

[0085] 为了便于理解,先介绍本步骤中确定目标被测面形变量的原理。

[0086] 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:

$$[0087] T(t) = A_T \cos(ft + \varphi_L) y(t)d(t) \quad (1)$$

[0088] 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。

[0089] 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:

$$[0090] R_d(t) = A_d \cos((f + f_{Dd})(t - \tau_d) + \varphi_d) y(t - \tau_d)d(t - \tau_d) + n(t) \quad (2)$$

[0091] 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。

[0092] 直射信号经被测面反射产生反射子信号,反射子信号 $R_r(t)$ 可以用下述公式表示:

$$[0093] R_r(t) = A_r \cos((f + f_{Dr})(t - \tau_r) + \varphi_r) y(t - \tau_r)d(t - \tau_r) + n(t) \quad (3)$$

[0094] 其中, $\tau_r$ 表示反射子信号从卫星到接收机的传输时间, $f(t - \tau_r)$ 表示反射子信号的载波频率, $F_{Dr}(t - \tau_r)$ 表示反射子信号的多普勒频移, $\varphi_r$ 表示反射子信号的载波相位, $A_r$ 表示反射子信号的幅度。

[0095] 在复杂场景下,多个反射子信号叠加形成复合信号,多个反射子信号均来自同一卫星,且反射子信号到达接收机的时间几乎一样,因此反射子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,复合信号依然可以用单一正弦波的形式表示。复合信号 $R_c(t)$ 可以用下述公式表示:

$$[0096] R_c(t) = \sum_{i=1}^m A_i \cos(ft + \varphi_i) y_i(t)d_i(t) + n(t) \quad (4)$$

[0097] 其中, $m$ 是子信号个数,对于第*i*子信号: $A_i$ 表示第*i*子信号的信号振幅, $\varphi_i$ 表示第*i*子信号的载波, $y_i(t)$ 表示第*i*子信号的伪距码; $d_i(t)$ 表示第*i*子信号的导航电文。

[0098] 作为举例,下述内容均假设复合信号是由两个反射子信号(反射子信号1和反射子信号2)叠加形成的。参照图3,图3是本申请实施例提供的复合信号的幅值示意图,S表示复合信号, $S_1$ 表示反射子信号1, $S_2$ 表示反射子信号2, $A_1$ 表示 $S_1$ 的幅值, $A_2$ 表示 $S_2$ 的幅值, $A_1^\perp$ 表示 $S_1$ 在S上的投影幅值, $A_2^\perp$ 表示 $S_2$ 在S上的投影幅值, $\varphi_1$ 表示 $S_1$ 的载波相位角, $\varphi_2$ 表示 $S_2$ 的载波相位角, $\varphi_{1\Delta}$ 表示 $S_1$ 与S的载波相位差, $\varphi_{2\Delta}$ 表示 $S_2$ 与S的载波相位差,其中, $\varphi_2 - \varphi_1 = \varphi_{1\Delta} + \varphi_{2\Delta}$ 。因此分析可得下述公式:

$$[0099] \begin{cases} A_1^\perp = A_1 \cos \varphi_{1\Delta} \\ A_2^\perp = A_2 \cos \varphi_{2\Delta} \end{cases} \quad (5)$$

[0100] 其中, $\varphi_{1\Delta}$ 表示反射子信号1与复合信号的载波相位差, $\varphi_{2\Delta}$ 表示反射子信号2与复合信号的载波相位差, $A_1$ 表示反射子信号1的幅值, $A_2$ 表示反射子信号2的幅值, $A_1^\perp$ 表示反射子信号1在复合信号上的投影幅值, $A_2^\perp$ 表示反射子信号2在复合信号上的投影幅值。

[0101] 因为反射子信号的伪距码不同,所以接收机在获取到复合信号后,可以根据自相关函数分辨出不同反射子信号的伪距码相位,并输出复合信号的相关函数图,图4是本申请实施例提供的复合信号的相关函数图。图4中,横坐标是伪距码延时(通过伪距码延时可以转换为伪距码相位),纵坐标是信号的相关值(相关值可以转换为幅值),线段1是复合信号的相关函数,线段2是反射子信号1的相关函数,线段3是反射子信号2的相关函数, $P_A$ 点和 $P_B$ 点是复合信号的两个峰值, $A_1^\perp$ 点是反射子信号1的峰值, $A_2^\perp$ 点是反射子信号2的峰值。其中,线段1是接收机可以直接输出的线段,线段2和线段3是为了解释说明增加的线段,在实际应用中接收机并不会输出线段2和线段3。

[0102] 由图4分析可得下述公式:

$$[0103] \begin{cases} P_A = A_1^\perp + \Delta c \cdot A_2^\perp \\ P_B = A_2^\perp + \Delta c \cdot A_1^\perp \end{cases} \quad (6)$$

[0104] 其中, $P_A$ 点和 $P_B$ 点是复合信号的两个峰值, $A_1^\perp$ 点是反射子信号1的峰值, $A_2^\perp$ 点是反射子信号2的峰值, $\Delta c = (1 - \frac{\Delta y}{N})$ , $\Delta y$ 表示两个峰值之间的伪距码相位差,N表示接收机的采样点值。

[0105] 进一步的,将公式(5)代入公式(6)可得如下公式:

$$[0106] \begin{cases} P_A = A_1 \cos \varphi_{1\Delta} + \Delta c \cdot A_2 \cos \varphi_{2\Delta} \\ P_B = A_2 \cos \varphi_{2\Delta} + \Delta c \cdot A_1 \cos \varphi_{1\Delta} \end{cases} \quad (7)$$

[0107] 由于卫星的运动,反射子信号之间的载波相位差会不断变化,由公式(7)可知,反射子信号之间的载波相位差的变化会导致复合信号的峰值也随之改变。因此,在经过一段时间的监测后可以得到,反射子信号之间的载波相位差接近零时(也就是复合信号的峰值最大时)的最大值,以及反射子信号之间的载波相位差接近180度时,也就是复合信号的峰值最小时的最小值,如下述公式表示:

[0108]  $\begin{cases} P'_A = A_1 + \Delta c \cdot A_2 \\ P'_B = A_2 + \Delta c \cdot A_1 \end{cases}$   $\begin{cases} P''_A = A_1 - \Delta c \cdot A_2 \\ P''_B = A_2 - \Delta c \cdot A_1 \end{cases}$  (8)

[0109] 其中,  $P'_A$  和  $P'_B$  表示复合信号的峰值最大时的最大值,  $P''_A$  和  $P''_B$  表示复合信号的峰值最小时的最小值。

[0110] 进一步的, 将公式(8)代入公式(7)可得如下公式:

[0111]  $\begin{cases} P_A = \frac{P'_A + P''_A}{2} \cos\varphi_{1\Delta} + \Delta c \cdot \frac{P'_A - P''_A}{2} \cos\varphi_{2\Delta} \\ P_B = \frac{P'_B + P''_B}{2} \cos\varphi_{2\Delta} + \Delta c \cdot \frac{P'_B - P''_B}{2} \cos\varphi_{1\Delta} \end{cases}$  (9)

[0112] 在公式(9)中,  $\Delta c = (1 - \frac{\Delta y}{N})$ , 其中,  $\Delta y$  可以由接收机直接获取,  $N$  是接收机的设备参数,  $P'_A$ 、 $P'_B$ 、 $P''_A$  和  $P''_B$  可以由接收机提前监测复合信号获取, 因此, 将上述数据代入公式(9)我们可以得出任意时刻复合信号的峰值  $P_A$  和  $P_B$ 。

[0113] 假设反射子信号之间的载波相位差为  $\Delta\Phi = \varphi_2 - \varphi_1$ , 根据图3可得  $\Delta\Phi = \varphi_2 - \varphi_1 = \varphi_{1\Delta} + \varphi_{2\Delta}$ 。此时我们可以根据复合信号的多个峰值, 确定载波相位差。

[0114] 然后通过载波相位差和GNSS信号的波长, 我们就可以确定出反射子信号之间经过的距离差, 同时我们也可以通过建立信号反射模型计算出反射子信号之间经过的距离差。

[0115] 具体的, 对于任一个反射子信号都有一个直射信号和反射子信号的信号反射模型。参照图5, 图5是本申请实施例提供的信号反射模型的二维示意图。如图5所示,  $Z$  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  $Z$  点,  $W$  点是  $Z$  点的镜像点, 因此  $C_0Z$  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)。

[0116] 传播路径差  $\Delta d$  可以用下述公式表示:

[0117]  $\Delta d = \frac{(\varphi_d - \varphi_r)\lambda}{2\pi} = N\lambda + \frac{\varphi_d\lambda}{2\pi}$  (10)

[0118] 其中,  $\lambda$  表示GNSS信号的波长,  $N$  表示整周模糊度,  $\varphi_d$  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。

[0119] 进一步的, 图6是本申请实施例提供的GNSS反射几何模型的三维示意图, 图7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6和图7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, 且复合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。

[0120] 具体的, 结合图5、图6和图7, 经过几何分析可得下述公式:

$$[0121] \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta d = 2d \sin \beta = 2d \cos i \\ \sin \beta = \sin \beta'' \cos \alpha' \\ \beta'' = \pi - \theta' - \gamma \\ \tan \alpha' = \tan \alpha \cos \theta' \\ \tan \theta = \tan \theta' \cos \alpha \\ \alpha = \alpha_s - \alpha_r \end{array} \right. \quad (11)$$

[0122] 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。

[0123] 因此,通过公式(11)可以确定传播路径差 $\Delta d$ ,结合公式(10)和(11)可以得出如下公式:

$$[0124] \quad \Delta d = 2d \sin \beta = N\lambda + \varphi_d \frac{\lambda}{2\pi} \quad (12)$$

[0125] 进一步的,将反射子信号1和反射子信号2的等效高度角分别代入公式(12)并相减:

$$[0126] \quad 2d_1 \sin \beta_1 - 2d_2 \sin \beta_2 = N_1 \lambda - N_2 \lambda + (\varphi_d - \varphi_1 - \varphi_d + \varphi_2) \frac{\lambda}{2\pi}$$

[0127] 由于反射子信号1和反射子信号2由同一卫星发射,可得下述公式:

$$[0128] \quad 2d_1 \sin \beta_1 - 2d_2 \sin \beta_2 = N_\Delta \lambda + (\varphi_2 - \varphi_1) \frac{\lambda}{2\pi} \quad (13)$$

[0129] 其中, $N_\Delta$ 表示两反射子信号的整周数之差, $d_1$ 表示反射子信号1对应的接收机到被测面的垂直距离, $\beta_2$ 表示反射子信号2对应的被测面的等效高度角, $\varphi_1$ 表示反射子信号1的载波相位, $\varphi_2$ 表示反射子信号2的载波相位。

[0130] 进一步的,将 $\Delta\Phi = \varphi_2 - \varphi_1 = \varphi_{1\Delta} + \varphi_{2\Delta}$ 代入公式(13),可得下述公式:

$$[0131] \quad 2d_1 \sin \beta_1 - 2d_2 \sin \beta_2 = N_\Delta \lambda + \Delta\Phi \frac{\lambda}{2\pi} \quad (14)$$

[0132] 假设在同一时刻,反射子信号1对应的被测面发生了形变,由于在同一时刻,等效高度角并不会改变,所以同理可得此时反射子信号1对应的被测面发生形变后的公式:

$$[0133] \quad 2(d_1 + d_{def}) \sin \beta_1 - 2d_2 \sin \beta_2 = N_\Delta \lambda + \Delta\Phi' \frac{\lambda}{2\pi} \quad (15)$$

[0134] 其中, $d_{def}$ 表示反射子信号1对应的被测面的形变量, $\Delta\Phi'$ 表示反射子信号1对应的被测面发生形变后的反射子信号1与反射子信号2之间的载波相位差。

[0135] 最后,将公式(15)与公式(14)相减,可得下述公式:

$$[0136] \quad d_{def} = \frac{\Delta\Phi' - \Delta\Phi}{2 \sin \beta_1} \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \quad (16)$$

[0137] 在经过上述理论分析后,我们可以根据复合信号的多个峰值,确定目标被测面发生形变时载波相位差,并根据几何关系确定目标被测面没有发生形变时的理论载波相位差,通过将同一时刻的实际值与理论值相减,最终得到目标被测面的形变量。

[0138] 进一步的,在复合信号由2个以上的反射子信号叠加形成的情况下,公式(7)可以表示为:

$$[0139] P_M = A_M \cos \varphi_{M\Delta} + \sum_{i=1}^n \Delta c_i A_i \cos \varphi_{i\Delta} \quad (17)$$

[0140] 其中,M表示某反射子信号,n表示其余的反射子信号, $\Delta c = (1 - \frac{\Delta y_i}{N})$ , $\Delta y_i$ 表示该反射子信号与其余的反射子信号的伪距码相位差。

[0141] 公式(8)可以表示为:

$$[0142] P'_M = A_M + \sum_{i=1}^n \Delta c_i A_i \cos \varphi_{i\Delta} \quad P''_M = A_M - \sum_{i=1}^n \Delta c_i A_i \cos \varphi_{i\Delta} \quad (18)$$

[0143] 其中, $P'_M$ 表示复合信号的峰值最大时的最大值, $P''_M$ 表示复合信号的峰值最小时的最小值。

[0144] 公式(9)可以表示为:

$$[0145] P_M = \frac{P'_M + P''_M}{2} \cos \varphi_{M\Delta} + \sum_{i=1}^n \Delta c_i \frac{P'_i + P''_i}{2} A_i \cos \varphi_{i\Delta} \quad (19)$$

[0146] 根据公式(19)可以确定任一个反射子信号与复合信号的载波相位差,最终,我们可以将目标反射子信号与复合信号的载波相位差,以及任一个反射子信号与复合信号的载波相位差,代入公式(16)确定目标被测面的形变量。

[0147] 具体的,图8是本申请实施例提供的确定目标被测面形变量的流程图,如图8所示,接收机可以通过如下步骤确定目标被测面形变量:

[0148] S121、将除目标反射子信号外的任一个反射子信号确定为参考反射子信号。

[0149] 复合信号由多个反射子信号叠加形成的,多个反射子信号中包括一个经目标被测面反射的目标反射子信号和其余的经非目标被测面反射的反射子信号。在后续的某些步骤中并不需要用到所有的经非目标被测面反射的反射子信号,因此,为了节约计算量,接收机可以首先将除目标反射子信号外的任一个反射子信号确定为参考反射子信号。

[0150] S122、根据复合信号的多个峰值,确定目标反射子信号与复合信号的第一载波相位差,以及参考反射子信号与复合信号的第二载波相位差。

[0151] 接收机可以通过锁相环锁定复合信号的多个峰值以及多个峰值对应伪距码相位,然后输出复合信号的多个峰值和每个峰值对应的伪距码相位,并根据复合信号的多个峰值,确定多个峰值之间的伪距码相位差。

[0152] 具体的,若复合信号由N个反射子信号叠加形成,则复合信号应有N个峰值。例如,参照图4,复合信号由反射子信号1和反射子信号2叠加形成,则复合信号有2个峰值。

[0153] 同时,接收机还可以根据自相关函数分辨出每个峰值对应的反射子信号。例如,参照图4,峰值 $P_A$ 对应的是反射子信号1,峰值 $P_B$ 对应的是反射子信号2。

[0154] 进一步的,根据公式(19),接收机可以根据复合信号的多个峰值、伪距码相位差、预设的采样点值、预设的复合信号的每个峰值对应的最大值、以及预设的复合信号的每个峰值对应的最小值,确定每个反射子信号与复合信号的载波相位差,为了减小计算量,在此步骤中,接收机可以仅确定目标反射子信号与复合信号的第一载波相位差,以及参考反射子信号与复合信号的第二载波相位差。

[0155] 其中,采样点值是接收机的设备参数,可以预先设置在接收机的软件中。由于卫星

的运动,反射子信号之间的载波相位差会不断变化,在反射子信号之间的载波相位差接近零时,复合信号的每个峰值会达到理论上的最大值;在反射子信号之间的载波相位差接近180度时,复合信号的每个峰值会达到理论上的最小值。在正式监测目标被测面之前,我们可以通过接收机采集复合信号的每个峰值对应的最大值以及复合信号的每个峰值对应的最小值,并将最大值和最小值预先设置在接收机的软件中。

[0156] 例如,复合信号由反射子信号1和反射子信号2叠加形成,且反射子信号1为目标反射子信号,反射子信号2为参考反射子信号,可以将复合信号的2个峰值、伪距码相位差、预设的采样点值、预设的复合信号的每个峰值对应的最大值以及预设的复合信号的每个峰值对应的最小值代入公式(9),确定反射子信号1与复合信号的第一载波相位差,以及反射子信号2与复合信号的第二载波相位差。

[0157] S123、根据第一载波相位差和第二载波相位差,确定目标载波相位差之和。

[0158] 接收机可以将第一载波相位差与第二载波相位差相加,得到目标载波相位差之和,需要说明的是,此时的目标载波相位差之和为目标被测面发生形变后的一系列真实数据值测量出来的。

[0159] S124、根据复合信号中的导航电文和预设的被测面数据,确定目标被测面的等效高度角,以及标准载波相位差之和。

[0160] 在本申请实施例中,在步骤S123中已经得到了由一系列真实数据值测量出来的目标载波相位差之和,接下来通过几何模型确定在同一时刻,假设目标被测面在未发生形变的情况下,第一载波相位差和第二载波相位差的载波相位差之和,也就是标准载波相位差之和。

[0161] 首先,接收机可以解析任一个反射子信号得到导航电文,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,确定任一个反射子信号的等效高度角。

[0162] 具体的,接收机可以根据复合信号中的导航电文和复合信号接收位置,确定目标反射子信号对应的卫星高度角和卫星方位角,以及参考反射子信号对应的卫星高度角和卫星方位角。进一步的,接收机可以将目标反射子信号对应的卫星高度角、卫星方位角和目标反射子信号对应的被测面数据输入到公式(11),得到目标反射子信号对应的被测面的等效高度角;以及将参考反射子信号对应的卫星高度角、卫星方位角和参考反射子信号对应的被测面数据输入到公式(11),得到参考反射子信号对应的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,以及复合信号接收位置到被测面的垂直距离。其中,在实际应用中,复合信号接收位置就是接收机的实际位置。

[0163] 需要说明的是,在具体确定等效高度角时,可以根据公式(11)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。

[0164] 然后,接收机可以将目标反射子信号对应的被测面的等效高度角、参考反射子信号对应的被测面的等效高度角,以及预设的被测面数据输入至公式(14),得到标准载波相位差之和。

[0165] S125、根据目标载波相位差之和、标准载波相位差之和、以及目标被测面的等效高度角,确定目标被测面的形变量。

[0166] 接收机在获得目标载波相位差之和、标准载波相位差之和,以及目标被测面的等

效高度角之后,可以将上述数据输入至公式(16),得到目标被测面的形变量。

[0167] 本申请实施例提供的多目标形变监测方法,接收机可以获取由多个反射子信号叠加形成的复合信号,其中多个反射子信号中包括一个经目标被测面反射的目标反射子信号,反射子信号为全球导航卫星系统GNSS信号,然后根据复合信号的多个峰值,确定目标被测面的形变量。本申请可以根据复合信号的峰值与反射子信号的载波相位的关系,在复合信号的峰值变化时,反演得到目标反射子信号的载波相位变化,从而确定目标被测面的形变量,保证在同时接收到多个反射信号的情况下,接收机依然可以准确的得到被测面的形变量。

[0168] 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。

[0169] 图9是本申请实施例提供的多目标形变监测装置的结构框图,如图9所示,该装置可以包括:

[0170] 获取模块110,用于获取由多个反射子信号叠加形成的复合信号,多个反射子信号中包括一个经目标被测面反射的目标反射子信号,反射子信号为全球导航卫星系统GNSS信号;

[0171] 确定模块120,用于根据复合信号的多个峰值,确定目标被测面的形变量。

[0172] 可选的,确定模块120具体用于:

[0173] 将除目标反射子信号外的任一个反射子信号确定为参考反射子信号;

[0174] 根据复合信号的多个峰值,确定目标反射子信号与复合信号的第一载波相位差,以及参考反射子信号与复合信号的第二载波相位差;

[0175] 根据第一载波相位差和第二载波相位差,确定目标载波相位差之和;

[0176] 根据复合信号中的导航电文和预设的被测面数据,确定目标被测面的等效高度角,以及标准载波相位差之和,标准载波相位差之和为在目标被测面未发生形变的情况下,第一载波相位差和第二载波相位差的载波相位差之和;

[0177] 根据目标载波相位差之和、标准载波相位差之和以及目标被测面的等效高度角,确定目标被测面的形变量。

[0178] 可选的,确定模块120具体用于:

[0179] 根据复合信号的多个峰值,确定多个峰值之间的伪距码相位差;

[0180] 根据复合信号的多个峰值、伪距码相位差、预设的采样点值、预设的复合信号的每个峰值对应的最大值、以及预设的复合信号的每个峰值对应的最小值,确定目标反射子信号与复合信号的第一载波相位差,以及参考反射子信号与复合信号的第二载波相位差。

[0181] 可选的,确定模块120具体用于:

[0182] 根据复合信号中的导航电文和复合信号接收位置,确定目标反射子信号对应的卫星高度角和卫星方位角,以及参考反射子信号对应的卫星高度角和卫星方位角;

[0183] 根据目标反射子信号对应的卫星高度角、卫星方位角和目标反射子信号对应的被测面数据,确定目标反射子信号对应的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;

[0184] 根据参考反射子信号对应的卫星高度角、卫星方位角和参考反射子信号对应的被

测面数据,确定参考反射子信号对应的被测面的等效高度角;

[0185] 根据目标反射子信号对应的被测面的等效高度角、参考反射子信号对应的被测面的等效高度角,以及预设的被测面数据,确定标准载波相位差之和。

[0186] 可选的,被测面数据包括被测面的倾斜角、被测面的方位角,以及复合信号接收位置到被测面的垂直距离。

[0187] 可选的,确定模块120具体用于:

[0188] 采用如下公式确定任一个反射子信号对应的被测面的等效高度角:

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

[0190] 其中,  $\beta$  表示反射子信号对应的被测面的等效高度角,  $\beta''$  表示反射子信号对应的被测面的等效高度角在第一参考平面上的投影角,  $\theta'$  表示反射子信号对应的卫星高度角在第一参考平面上的投影角,  $\gamma$  表示反射子信号对应的被测面的倾斜角,  $\alpha$  表示反射子信号对应的卫星方位角与反射子信号对应的被测面的方位角之差,  $\alpha'$  表示反射子信号对应的卫星方位角与反射子信号对应的被测面的方位角之差在第二参考平面上的投影角,  $\theta$  表示反射子信号对应的卫星高度角,  $\alpha_s$  表示反射子信号对应的卫星方位角,  $\alpha_r$  表示反射子信号对应的被测面的方位角, 第一参考平面分别与被测面和地面垂直, 且复合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。

[0191] 可选的,确定模块120具体用于:

[0192] 采用如下公式确定目标被测面的形变量:

$$d_{def} = \frac{\Delta \Phi' - \Delta \Phi}{2 \sin \beta_m} * \frac{\lambda}{2\pi}$$

[0194] 其中,  $d_{def}$  表示目标被测面的形变量,  $\beta_m$  表示目标被测面的等效高度角,  $\Delta \Phi'$  表示目标载波相位差之和,  $\Delta \Phi$  表示标准载波相位差之和,  $\lambda$  表示反射信号中的波长。

[0195] 图10是本申请实施例提供的接收机的结构示意图。如图10所示,该实施例的接收机包括:至少一个处理器20(图10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。

[0196] 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10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。

[0197] 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。

[0198] 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。

[0199] 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。

[0200] 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。

[0201] 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。

[0202] 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。

[0203] 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。

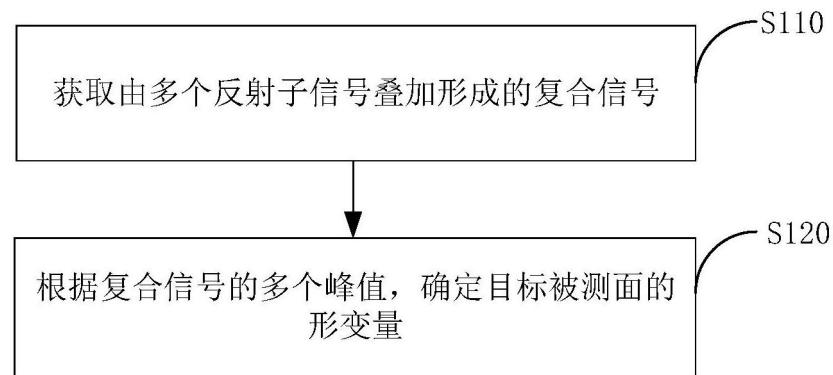


图1

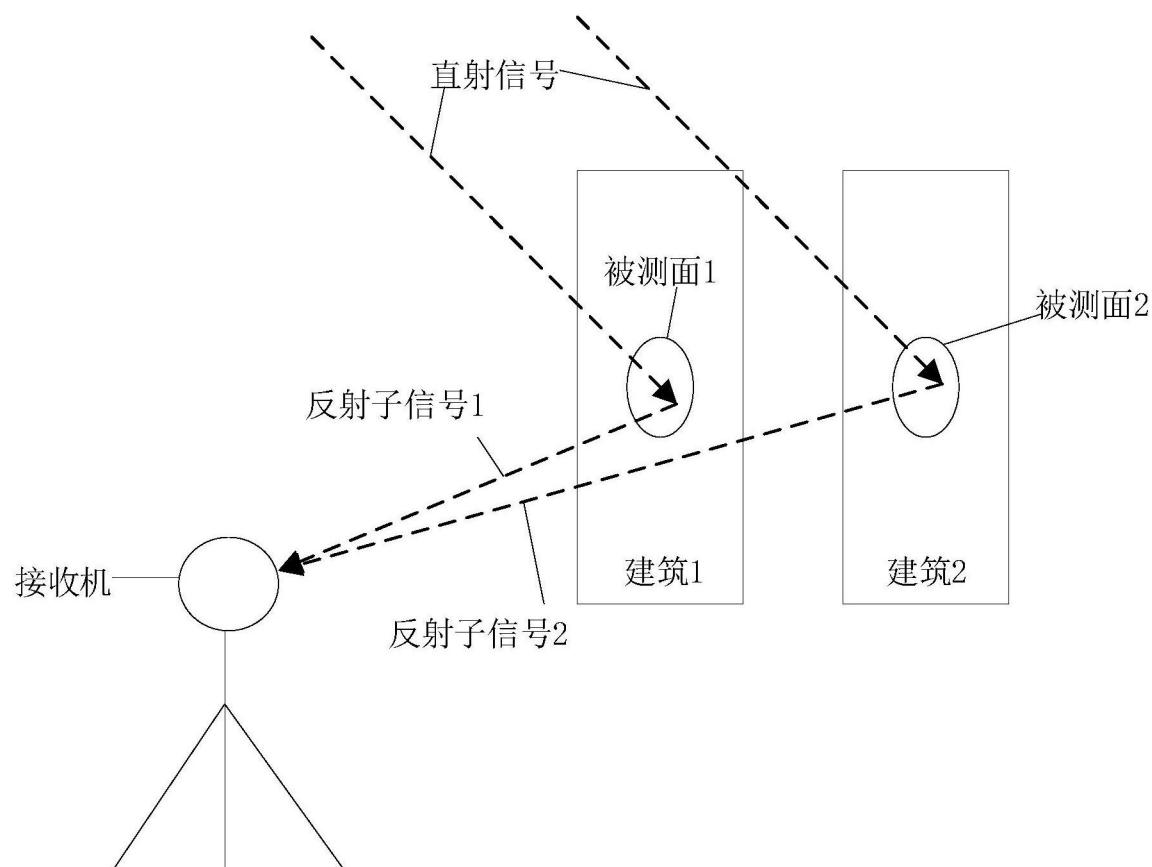


图2

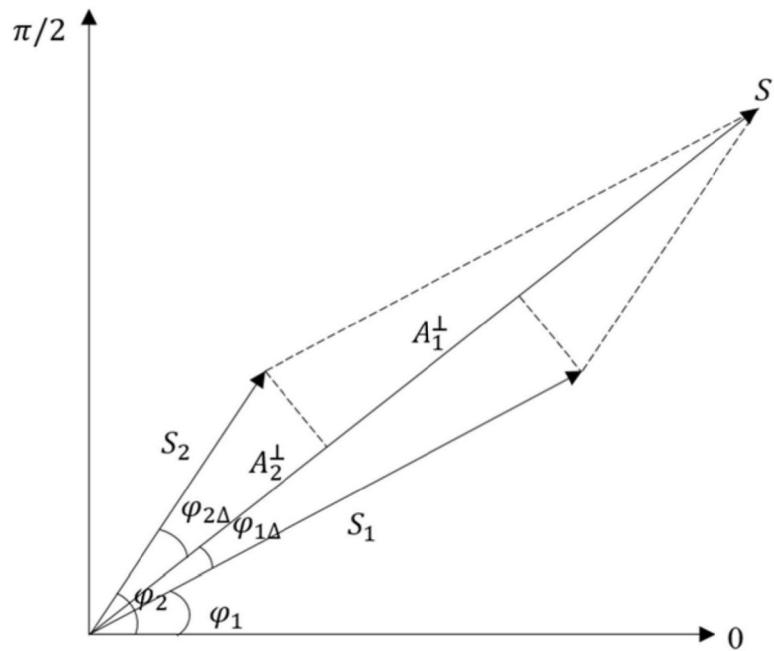


图3

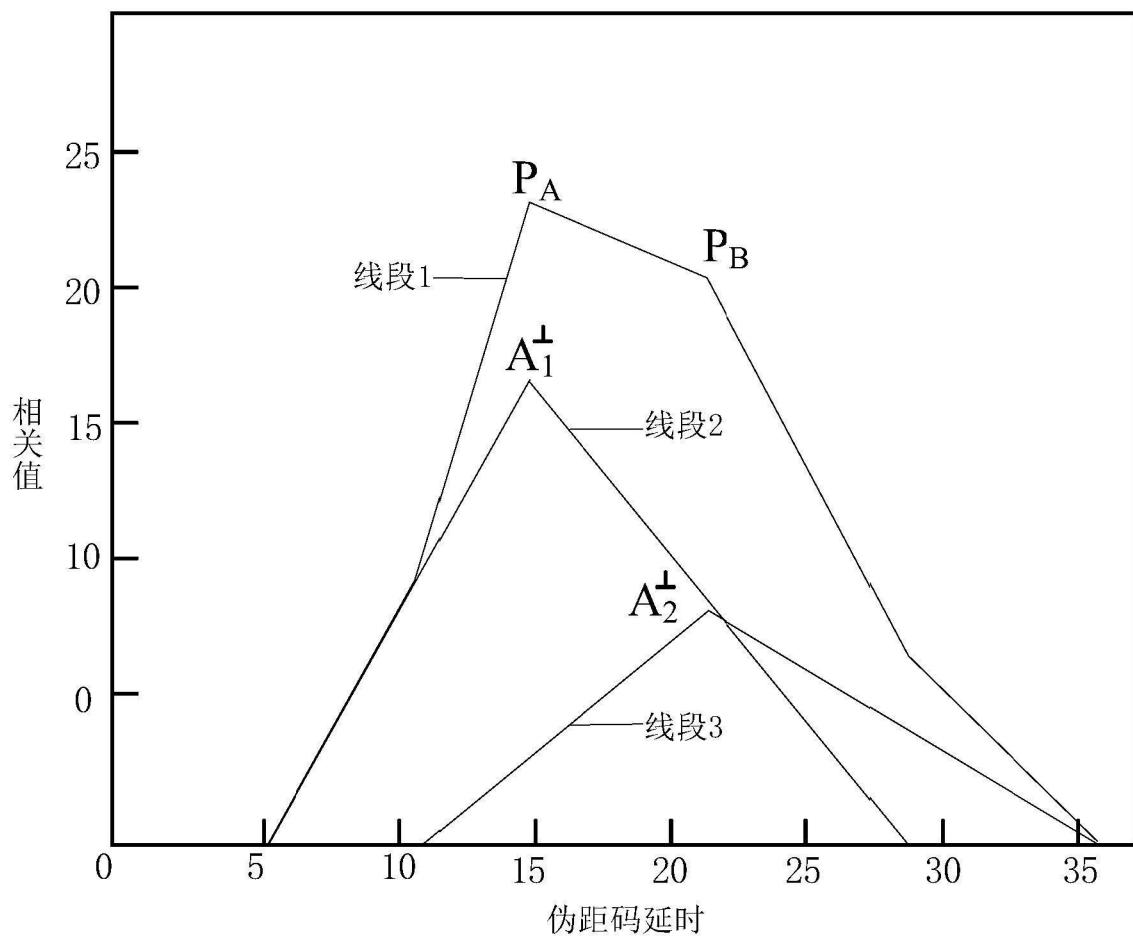


图4

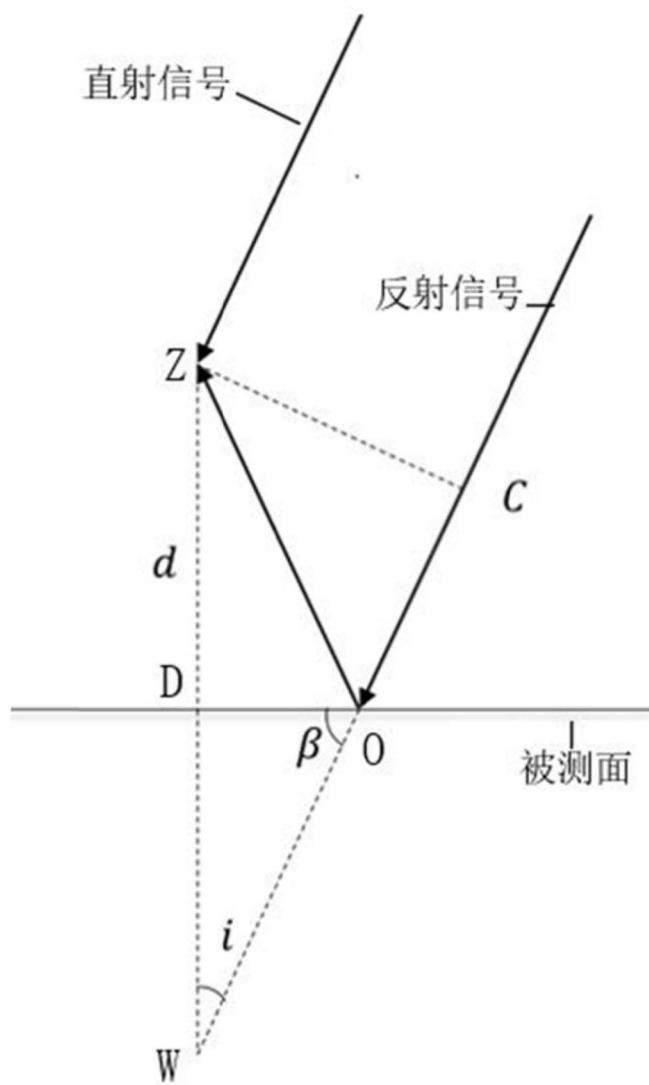


图5

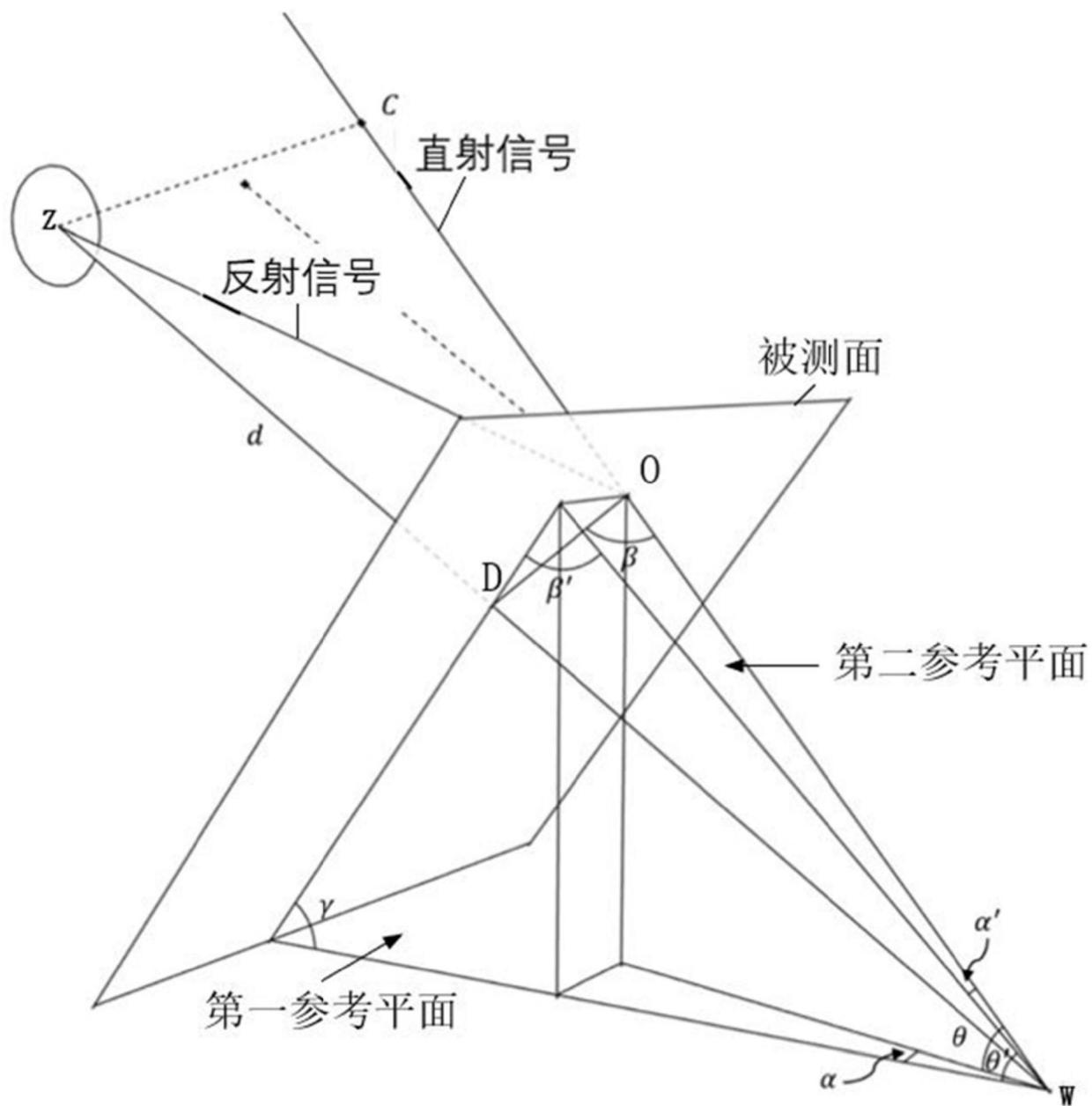


图6

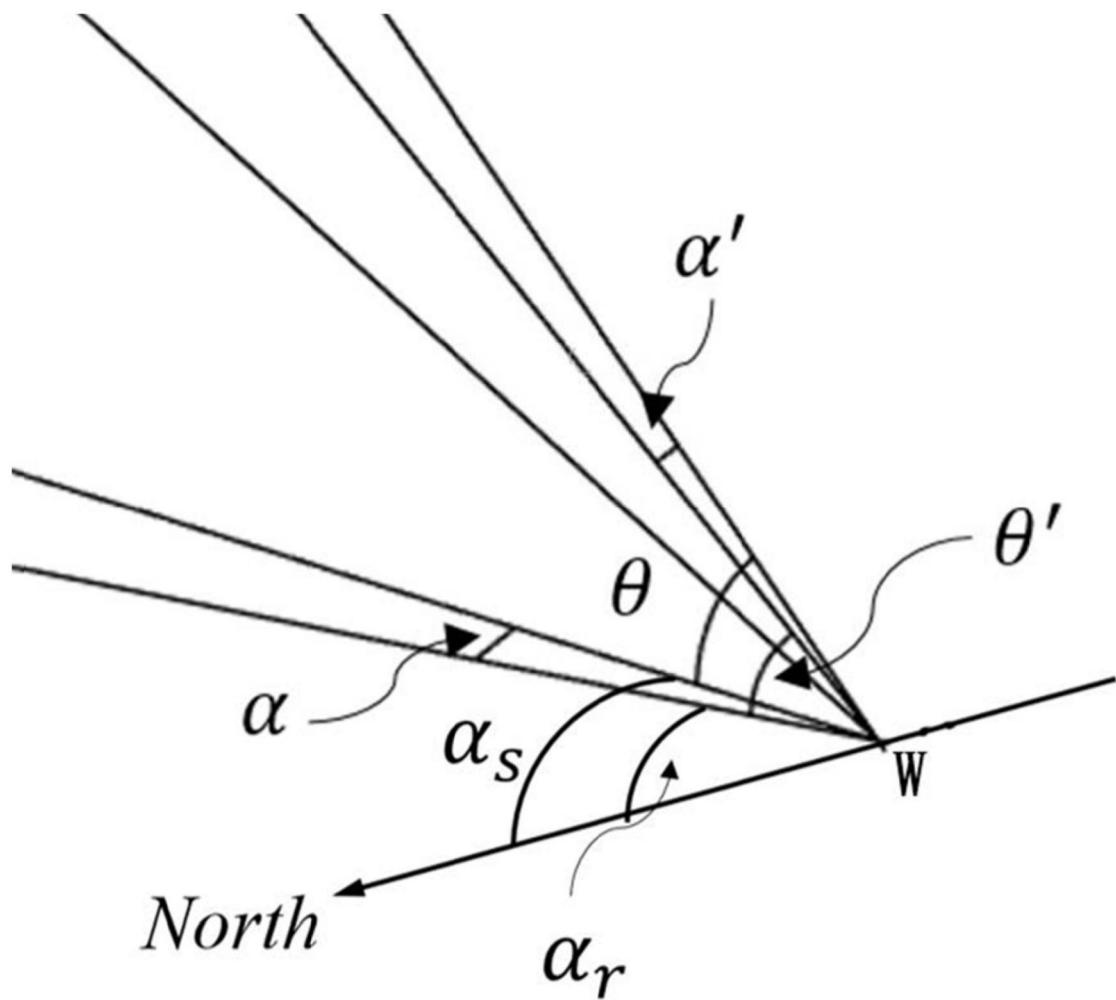


图7

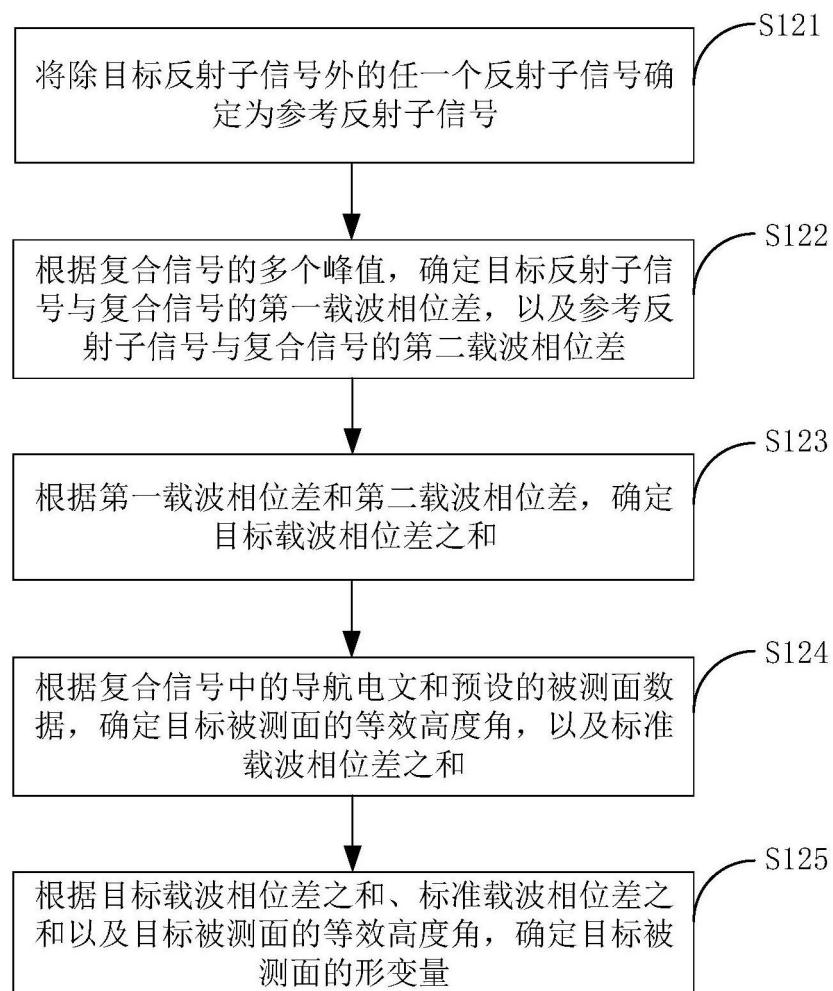


图8

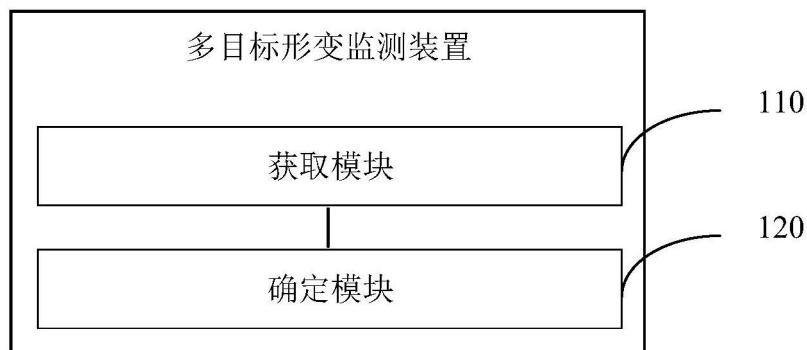


图9

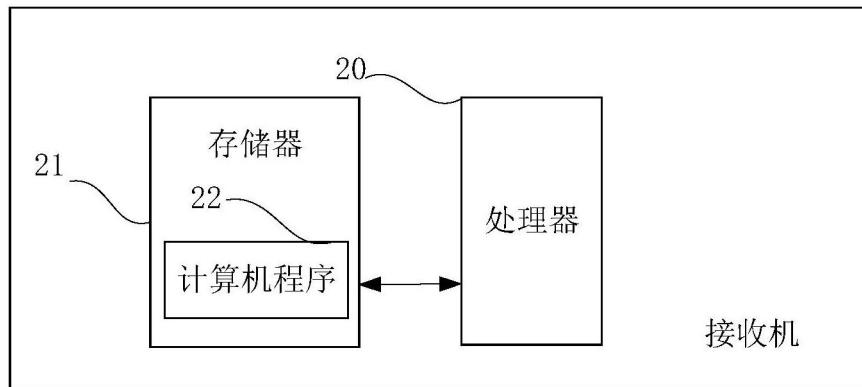


图10