



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114894271 B

(45) 授权公告日 2025. 03. 25

(21) 申请号 202210388619.9

(22) 申请日 2022.04.14

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 114894271 A

(43) 申请公布日 2022.08.12

(73) 专利权人 武汉理工大学  
地址 430063 湖北省武汉市珞狮路122号

(72) 发明人 席瑞杰 徐东升 秦月 范小春

(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有  
限公司 44205  
专利代理师 黎扬鹏

(51) Int. Cl.  
G01F 23/22 (2006.01)

(56) 对比文件

AU 2020103449 A4, 2021.01.28

CN 107796484 A, 2018.03.13

审查员 朱思韦

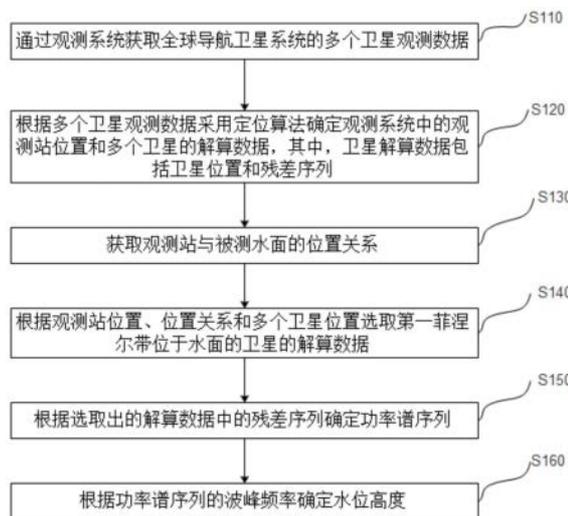
权利要求书3页 说明书9页 附图6页

## (54) 发明名称

水位高度测量方法、系统、装置及存储介质

## (57) 摘要

本发明公开一种水位高度测量方法、系统、装置及存储介质,涉及工程测量技术领域。本申请通过定位解算得到观测站位置和卫星的解算数据,再通过计算第一菲涅尔带选择合适的卫星的解算数据,利用相应的解算数据中残差序列进行反演得到水位高度。本申请利用定位解算后的残差序列去除与定位位置信息相关的电离层和对流层延迟、潮汐等误差影响,验后残差序列中剩余有经水面的反射信号,能够较为准确地实现水位高度测量。



1. 一种水位高度测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

通过观测系统获取全球导航卫星系统的多个卫星观测数据;

根据多个所述卫星观测数据采用定位算法确定所述观测系统中的观测站位置和多个卫星的解算数据,其中,所述解算数据包括卫星位置和残差序列;

获取观测站与被测水面的位置关系;

根据所述观测站位置、所述位置关系和多个所述卫星位置选取第一菲涅尔带位于水面的卫星的解算数据;

根据选取出的所述解算数据中的残差序列确定功率谱序列;

根据所述功率谱序列的波峰频率确定水位高度;

其中,所述卫星位置包括高度角序列和方位角序列,所述根据所述观测站位置、所述位置关系和多个所述卫星位置选取第一菲涅尔带位于水面的卫星的解算数据包括以下步骤:

针对每一个卫星,选取所述高度角序列中高度角在预设区间对应的方位角作为第一待处理数据,根据多个所述第一待处理数据的方位角确定方位角平均值,根据所述方位角平均值和预设高度角确定卫星的第一菲涅尔带;

根据所述观测站位置和所述位置关系选取第一菲涅尔带位于水面的卫星的解算数据;

所述第一菲涅尔带表示为:

$$\begin{cases} x = \sin(\bar{A})x' - \cos(\bar{A})y' \\ y = \sin(\bar{A})x' + \cos(\bar{A})y' \end{cases};$$

其中, $\bar{A}$ 表示方位角平均值, $\begin{cases} x' = a \cos \vartheta + R \\ y' = b \sin \vartheta \end{cases}$ ,参数a、参数b、参数R通过以下方式计算:

$$\begin{cases} d = \frac{\lambda}{2} \\ R = \frac{H}{\tan e} + \frac{(d/\sin e)}{\tan e} \\ b = \left( \frac{2dH}{\sin e} + \left( \frac{d}{\sin e} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \\ a = \frac{b}{\sin e} \end{cases};$$

其中, $\lambda$ 为卫星观测数据的波长,H为预设的观测站接收机天线距水面的第一垂直距离,e为预设高度角。

2. 根据权利要求1所述的水位高度测量方法,其特征在于,所述根据选取出的所述解算数据中的残差序列确定功率谱序列包括以下步骤:

截取所述高度角序列中高度角在预设区间对应的残差项作为第二待处理数据;

将截取出的所述第二待处理数据按照对应的高度角升序顺序进行排列;

剔除高度角重复的对应第二待处理数据,得到新的残差序列;

根据新的残差序列确定功率谱序列。

3. 根据权利要求2所述的水位高度测量方法,其特征在于,所述功率谱序列通过以下公式确定:

$$P_N(\omega) = \frac{1}{2\sigma^2} \left\{ \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h}) \cos \omega(t_i - \tau) \right]^2}{\sum_{i=1}^N \cos^2 \omega(t_i - \tau)} + \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h}) \sin \omega(t_i - \tau) \right]^2}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \omega(t_i - \tau)} \right\};$$

其中, $P_N(\omega)$ 表示功率谱序列, $t$ 为时间, $T$ 为周期, $\tau$ 为时间偏移量,新的残差序列在时间点 $t_i$ 处的值为 $h(t) = h_i, i = 1, \dots, N$ , $\bar{h}$ 表示每一个角频率 $\omega$ 和时间偏移量 $\tau$ 对应的平均值, $\sigma^2$ 表示每一个角频率 $\omega$ 和时间偏移量 $\tau$ 对应的方差。

4. 根据权利要求1所述的水位高度测量方法,其特征在于,所述根据所述功率谱序列的波峰频率确定水位高度包括以下步骤:

确定所述功率谱序列中波峰频率对应的功率谱值;

选取位于预设功率区间的所述功率谱值作为第三候选数据,并根据多个所述第三候选数据确定功率谱平均值;

根据所述功率谱平均值确定功率阈值;

确定数值最大的所述第三候选数据大于所述功率阈值;

根据数值最大的所述第三候选数据对应的波峰频率确定水位高度。

5. 根据权利要求4所述的水位高度测量方法,其特征在于,所述根据数值最大的所述第三候选数据对应的波峰频率确定水位高度包括以下步骤:

根据数值最大的所述第三候选数据对应的波峰频率确定实际的观测站接收机天线距水面的第二垂直距离;

根据所述第二垂直距离和观测站的高程确定水位高度。

6. 一种水位高度测量系统,其特征在于,包括:

第一模块,用于通过观测系统获取全球导航卫星系统的多个卫星观测数据;

第二模块,用于根据多个所述卫星观测数据采用定位算法确定所述观测系统中的观测站位置和多个卫星的解算数据,其中,所述解算数据包括卫星位置和残差序列;

第三模块,用于获取观测站与被测水面的位置关系;

第四模块,用于根据所述观测站位置、所述位置关系和多个所述卫星位置选取第一菲涅尔带位于水面的卫星的解算数据;

第五模块,用于根据选取出的所述解算数据中的残差序列确定功率谱序列;

第六模块,用于根据所述功率谱序列的波峰频率确定水位高度;

其中,所述卫星位置包括高度角序列和方位角序列,所述第四模块具体用于执行以下步骤:

针对每一个卫星,选取所述高度角序列中高度角在预设区间对应的方位角作为第一待处理数据,根据多个所述第一待处理数据的方位角确定方位角平均值,根据所述方位角平均值和预设高度角确定卫星的第一菲涅尔带;

根据所述观测站位置和所述位置关系选取第一菲涅尔带位于水面的卫星的解算数据;

所述第一菲涅尔带表示为:

$$\begin{cases} x = \sin(\bar{A})x' - \cos(\bar{A})y' \\ y = \sin(\bar{A})x' + \cos(\bar{A})y' \end{cases};$$

其中,  $\bar{A}$  表示方位角平均值,  $\begin{cases} x' = a \cos \vartheta + R \\ y' = b \sin \vartheta \end{cases}$ , 参数a、参数b、参数R通过以下方式计算:

$$\begin{cases} d = \frac{\lambda}{2} \\ R = \frac{H}{\tan e} + \frac{(d/\sin e)}{\tan e} \\ b = \left( \frac{2dH}{\sin e} + \left( \frac{d}{\sin e} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \\ a = \frac{b}{\sin e} \end{cases};$$

其中,  $\lambda$  为卫星观测数据的波长, H 为预设的观测站接收机天线距水面的第一垂直距离, e 为预设高度角。

7. 一种水位高度测量装置, 其特征在于, 包括:

至少一个处理器;

至少一个存储器, 用于存储至少一个程序;

当所述至少一个程序被所述至少一个处理器执行, 使得至少一个所述处理器实现如权利要求1至5任一项所述的水位高度测量方法。

8. 一种计算机可读存储介质, 其中存储有处理器可执行的程序, 其特征在于, 所述处理器可执行的程序被由所述处理器执行时用于实现如权利要求1至5任一项所述的水位高度测量方法。

## 水位高度测量方法、系统、装置及存储介质

### 技术领域

[0001] 本发明涉及工程测量技术领域,尤其涉及一种水位高度测量方法、系统、装置及存储介质。

### 背景技术

[0002] 目前,在基于GNSS-R技术(GNSS Reflectometry,全球导航卫星系统遥感技术)的水库水位高度反演应用中,主要使用的观测值有GNSS的信噪比观测值(Signal-to-Noise ratio,SNR)、双频载波相位组合观测值和多频载波相位组合观测值。虽然,基于SNR观测值的水位反演技术已证实可以应用于水库的水位高度反演,但并不是所有的RINEX格式原始观测文件均将SNR作为观测值输出,很多历史数据无法用于水库的水位高度反演,水位测量精度差。基于双频载波相位组合观测值方法由于受到电离层误差的影响,反演效果较差。基于多频载波相位组合观测值的水位反演方法需要多个频率支持,不适用于历史数据的处理,进而难以实现水位测量。

### 发明内容

[0003] 本发明旨在至少解决现有技术中存在的技术问题之一。为此,本发明提出一种水位高度测量方法、系统、装置及存储介质,能够提高基于GNSS水位高度测量的准确性。

[0004] 一方面,本发明实施例提供了一种水位高度测量方法,包括以下步骤:

[0005] 通过观测系统获取全球导航卫星系统的多个卫星观测数据;

[0006] 根据多个所述卫星观测数据采用定位算法确定所述观测系统中的观测站位置和多个卫星的解算数据,其中,所述解算数据包括卫星位置和残差序列;

[0007] 获取观测站与被测水面的位置关系;

[0008] 根据所述观测站位置、所述位置关系和多个所述卫星位置选取第一菲涅尔带位于水面的卫星的解算数据;

[0009] 根据选取出的所述解算数据中的残差序列确定功率谱序列;

[0010] 根据所述功率谱序列的波峰频率确定水位高度。

[0011] 根据本发明一些实施例,所述卫星位置包括高度角序列和方位角序列,所述根据所述位置关系和多个所述卫星位置选取第一菲涅尔带位于水面的卫星的解算数据包括以下步骤:

[0012] 针对每一个卫星,选取所述高度角序列中高度角在预设区间对应的方位角作为第一待处理数据,根据多个所述第一待处理数据的方位角确定方位角平均值,根据所述方位角平均值和预设高度角确定卫星的第一菲涅尔带;

[0013] 根据所述观测站位置和所述位置关系选取第一菲涅尔带位于水面的卫星的解算数据。

[0014] 根据本发明一些实施例,所述第一菲涅尔带表示为:

$$[0015] \quad \begin{cases} x = \sin(\bar{A})x' - \cos(\bar{A})y' \\ y = \sin(\bar{A})x' + \cos(\bar{A})y' \end{cases};$$

[0016] 其中,  $\bar{A}$ 表示方位角平均值,  $\begin{cases} x' = a \cos \vartheta + R \\ y' = b \sin \vartheta \end{cases}$ , 参数a、参数b、参数R通过以下方式计算:

$$[0017] \quad \begin{cases} d = \frac{\lambda}{2} \\ R = \frac{H}{\tan e} + \frac{(d/\sin e)}{\tan e} \\ b = \left( \frac{2dH}{\sin e} + \left( \frac{d}{\sin e} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \\ a = \frac{b}{\sin e} \end{cases};$$

[0018] 其中,  $\lambda$ 为卫星观测数据的波长,  $H$ 为预设的观测站接收机天线距水面的第一垂直距离,  $e$ 为预设高度角。

[0019] 根据本发明一些实施例,所述根据选取出的所述解算数据中的残差序列确定功率谱序列包括以下步骤:

[0020] 截取所述高度角序列中高度角在预设区间对应的残差项作为第二待处理数据;

[0021] 将截取出的所述第二待处理数据按照对应的高度角升序顺序进行排列;

[0022] 剔除高度角重复的对应第二待处理数据,得到新的残差序列;

[0023] 根据新的残差序列确定功率谱序列。

[0024] 根据本发明一些实施例,所述功率谱序列通过以下公式确定:

$$[0025] \quad P_N(\omega) = \frac{1}{2\sigma^2} \left\{ \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h}) \cos \omega(t_i - \tau) \right]^2}{\sum_{i=1}^N \cos^2 \omega(t_i - \tau)} + \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h}) \sin \omega(t_i - \tau) \right]^2}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \omega(t_i - \tau)} \right\};$$

[0026] 其中,  $P_N(\omega)$ 表示功率谱序列,  $t$ 为时间,  $T$ 为周期,  $\tau$ 为时间偏移量,新的残差序列在时间点  $t_i$  ( $i=1, \dots, N$ ) 处的值为  $h(t) = h_i$ ,  $\bar{h}$ 表示每一个角频率  $\omega$  和时间偏移量  $\tau$  对应的平均值,  $\sigma^2$ 表示每一个角频率  $\omega$  和时间偏移量  $\tau$  对应的方差。

[0027] 根据本发明一些实施例,所述根据所述功率谱序列的波峰频率确定水位高度包括以下步骤:

[0028] 确定所述功率谱序列中波峰频率对应的功率谱值;

[0029] 选取位于预设功率区间的所述功率谱值作为第三候选数据,并根据多个所述第三候选数据确定功率谱平均值;

[0030] 根据所述功率谱平均值确定功率阈值;

- [0031] 确定数值最大的所述第三候选数据大于所述功率阈值；
- [0032] 根据数值最大的所述第三候选数据对应的波峰频率确定水位高度。
- [0033] 根据本发明一些实施例,所述根据数值最大的所述第三候选数据对应的波峰频率确定水位高度包括以下步骤:
- [0034] 根据数值最大的所述第三候选数据对应的波峰频率确定实际的观测站接收机天线距水面的第二垂直距离;
- [0035] 根据所述第二垂直距离和观测站的高程确定水位高度。
- [0036] 另一方面,本发明实施例还提供一种水位高度测量系统,包括:
- [0037] 第一模块,用于通过观测系统获取全球导航卫星系统的多个卫星观测数据;
- [0038] 第二模块,用于根据多个所述卫星观测数据采用定位算法确定所述观测系统中的观测站位置和多个卫星的解算数据,其中,所述解算数据包括卫星位置和残差序列;
- [0039] 第三模块,用于获取观测站与被测水面的位置关系;
- [0040] 第四模块,用于根据所述观测站位置、所述位置关系和多个所述卫星位置选取第一菲涅尔带位于水面的卫星的解算数据;
- [0041] 第五模块,用于根据选取出的所述解算数据中的残差序列确定功率谱序列;
- [0042] 第六模块,用于根据所述功率谱序列的波峰频率确定水位高度。
- [0043] 另一方面,本发明实施例还提供一种水位高度测量装置,包括:
- [0044] 至少一个处理器;
- [0045] 至少一个存储器,用于存储至少一个程序;
- [0046] 当所述至少一个程序被所述至少一个处理器执行,使得至少一个所述处理器实现如前面所述的水位高度测量方法。
- [0047] 另一方面,本发明实施例还提供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可执行指令,所述计算机可执行指令用于使计算机执行如前面所述的水位高度测量方法。
- [0048] 本发明上述的技术方案至少具有如下优点或有益效果之一:本申请通过定位解算得到观测站位置和卫星的解算数据,再通过计算第一菲涅尔带选择合适的卫星的解算数据,利用相应的解算数据中残差序列进行反演得到水位高度。本申请利用定位解算后的残差序列去除与定位位置信息相关的电离层和对流层延迟、潮汐等误差影响,验后残差序列中剩余有经水面的反射信号,能够较为准确地实现水位高度测量。

#### 附图说明

- [0049] 图1是本发明实施例提供的水位高度测量方法流程图;
- [0050] 图2是本发明实施例提供的水位高度测量系统示意图;
- [0051] 图3是本发明实施例提供的水位高度测量装置示意图;
- [0052] 图4是本发明实施例的提供的水库观测站和监测站分布示意图;
- [0053] 图5是本发明实施例中提供的S191观测站和多颗卫星之间的第一菲涅尔带示意图;
- [0054] 图6是本发明实施例中提供的S171观测站和多颗卫星之间的第一菲涅尔带示意图;

- [0055] 图7是本发明实施例中提供的S071观测站和多颗卫星之间的第一菲涅尔带示意图；
- [0056] 图8是本发明实施例中提供的卫星分别在两个频段上的残差序列示意图；
- [0057] 图9是图8中的残差序列对应的功率谱序列与天线距水面高度示意图；
- [0058] 图10是本发明实施例提供的采用本发明实施例方法的水位测量结果和真实水位比较示意图；
- [0059] 图11是本发明实施例提供的采用本发明实施例方法与SNR方法和载波相位方法的功率谱值的比较示意图。

### 具体实施方式

[0060] 下面详细描述本发明的实施例,所述实施例的示例在附图中示出,其中自始至终相同或者类似的标号表示相同或者类似的原件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,仅用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。

[0061] 在本发明的描述中,需要理解的是,涉及到方位描述,例如上、下、左、右等指示的方位或者位置关系为基于附图所示的方位或者位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或者暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0062] 本发明的描述中,除了第一菲涅尔带,如果有描述到第一、第二等只是用于区分技术特征为目的,而不能理解为指示或者暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量或者隐含指明所指示的技术特征的先后关系。

[0063] 本发明实施例提供了一种水位高度测量方法,参照图1,本发明实施例的一种水位高度测量方法包括但不限于步骤S110、步骤S120、步骤S130、步骤S140、步骤S150和步骤S160。

[0064] 步骤S110,通过观测系统获取全球导航卫星系统的多个卫星观测数据；

[0065] 步骤S120,根据多个卫星观测数据采用定位算法确定观测系统中的观测站位置和多个卫星的解算数据,其中,卫星解算数据包括卫星位置和残差序列；

[0066] 步骤S130,获取观测站与被测水面的位置关系；

[0067] 步骤S140,根据观测站位置、位置关系和多个卫星位置选取第一菲涅尔带位于水面的卫星的解算数据；

[0068] 步骤S150,根据选取出的解算数据中的残差序列确定功率谱序列；

[0069] 步骤S160,根据功率谱序列的波峰频率确定水位高度。

[0070] 在一些实施例中,全球导航卫星系统可以是全球定位系统(GPS)、格洛纳斯卫星导航系统(GLONASS)、伽利略卫星导航系统(GALILEO)或者中国的北斗卫星导航系统(BDS)等。

[0071] 在一些实施例中,卫星观测数据可以包括GNSS原始观测文件、广播星历文件、精密星历文件、钟差文件及所需的表文件等。

[0072] 在一些实施例中,定位算法可以采用非差非组合精密单点定位算法、双差定位算法等精密算法。

[0073] 在一些实施例中,每一个观测站可以通过精密定位算法,根据获取的多个卫星观测数据确定该观测站位置,观测站位置可以包括观测站坐标和观测站高程。卫星解算数据

可以包括卫星各个历元的残差项、方位角和高度角,多个历元的残差项、方位角和高度角分别表示为残差序列、方位角序列和高度角序列。

[0074] 在本实施例中,通过布设在水库周围的多个观测站形成的观测系统获取全球导航卫星系统的多个卫星观测数据,根据多个卫星观测数据采用定位算法确定观测系统中的观测站位置和多个卫星的解算数据,然后获取观测站与被测水面的位置关系,根据观测站位置、位置关系和多个卫星位置选取第一菲涅尔带位于水面的卫星的解算数据以利用该卫星、当前观测站和水面之间的几何关系求解水位高度。通过根据选取出的解算数据中的残差序列确定功率谱序列,再根据功率谱序列的波峰频率确定水位高度,利用定位解算后的残差序列去除与定位位置信息相关的电离层和对流层延迟、潮汐等误差影响,验后残差序列中剩余有经水面的反射信号,能够较为准确地实现水位高度测量。

[0075] 根据本发明一些具体实施例,卫星位置包括高度角序列和方位角序列,步骤S140包括以下步骤:

[0076] 步骤210,针对每一个卫星,选取高度角序列中高度角在预设区间对应的方位角作为第一待处理数据,根据多个第一待处理数据的方位角确定方位角平均值,根据方位角平均值和预设高度角确定卫星的第一菲涅尔带;

[0077] 步骤220,根据观测站位置和位置关系选取第一菲涅尔带位于水面的卫星的解算数据。

[0078] 在一些实施例中,低高度角范围内的残差序列可有效反应水位高度变化信号,因此,发明实施例通过设置高度角的预设区间截取高度角在预设区间内的高度角序列,以及对应的方位角序列和残差序列。示例性地,卫星定位通常设置高度角为10度以上,因此本发明实施例的预设区间可以设置在高度角10度至20度之间。

[0079] 在一些实施例中,在截取出方位角序列之后,求取方位角序列的平均值,然后根据各颗卫星的方位角平均值求取各颗卫星在预设高度角的第一菲涅尔带以判断该卫星在预设高度角时的点轨迹是否落于水体范围内,其中,预设高度角可以取预设区间的两个端点值,例如10度和20度,从而全面判断卫星在最小高度角和最大高度角时的点轨迹是否落于水体范围内。

[0080] 具体地,确定第一菲涅尔带的椭圆轨迹参数如下:

$$[0081] \begin{cases} d = \frac{\lambda}{2} \\ R = \frac{H}{\tan e} + \frac{(d/\sin e)}{\tan e} \\ b = \left( \frac{2dH}{\sin e} + \left( \frac{d}{\sin e} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \\ a = \frac{b}{\sin e} \end{cases};$$

[0082] 其中, $\lambda$ 为卫星观测数据的波长,在实际应用中可以根据所用的卫星系统及频率确定波长,例如GPS系统的L1和L2频率对应的波长分别为 $\lambda_1=19.03\text{cm}$ , $\lambda_2=24.42\text{cm}$ ,北斗系统的B1和B2频率分别对应的波长分别为 $\lambda_1=19.20\text{cm}$ , $\lambda_2=24.83\text{cm}$ ;H为预设的观测站接收机

天线距水面的第一垂直距离,  $e$  为预设高度角。示例性地, 第一垂直距离可以为 10m 或者 15m 等, 预设高度角根据预设区间取值, 例如 10 度、15 度和 20 度。

[0083] 在内角为  $\theta \in [0, 2\pi]$  范围内, 椭圆轨迹表示为:

$$[0084] \quad \begin{cases} x' = a \cos \vartheta + R \\ y' = b \sin \vartheta \end{cases};$$

[0085] 将上述椭圆轨迹变换到卫星相对于观测站的第一菲涅尔带为:

$$[0086] \quad \begin{cases} x = \sin(\bar{A})x' - \cos(\bar{A})y' \\ y = \sin(\bar{A})x' + \cos(\bar{A})y' \end{cases};$$

[0087] 其中,  $\bar{A}$  表示方位角平均值。

[0088] 在一些实施例中, 在得到各颗卫星在预设高度角的第一菲涅尔带之后, 结合观测站位置、水面和观测站的位置关系, 选取第一菲涅尔带位于水面的多个卫星对应的解算数据。

[0089] 根据本发明一些具体实施例, 步骤 S150 包括但不限于以下步骤:

[0090] 步骤 S310, 截取高度角序列中高度角在预设区间对应的残差项作为第二待处理数据;

[0091] 步骤 S320, 将截取出的第二待处理数据按照对应的高度角升序顺序进行排列;

[0092] 步骤 S330, 剔除高度角重复的对应第二待处理数据, 得到新的残差序列;

[0093] 步骤 S340, 根据新的残差序列确定功率谱序列。

[0094] 在一些实施例中, 功率谱序列通过以下公式确定:

$$[0095] \quad P_N(\omega) = \frac{1}{2\sigma^2} \left\{ \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h}) \cos \omega(t_i - \tau) \right]^2}{\sum_{i=1}^N \cos^2 \omega(t_i - \tau)} + \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h}) \sin \omega(t_i - \tau) \right]^2}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \omega(t_i - \tau)} \right\};$$

[0096] 其中,  $P_N(\omega)$  表示功率谱序列,  $t$  为时间,  $T$  为周期,  $\tau$  为时间偏移量, 新的残差序列在时间点  $t_i$  ( $i=1, \dots, N$ ) 处的值为  $h(t) = h_i$ ,  $\bar{h}$  表示每一个角频率  $\omega$  和时间偏移量  $\tau$  对应的平均值,  $\sigma^2$  表示每一个角频率  $\omega$  和时间偏移量  $\tau$  对应的方差。

[0097] 其中,  $t = \sin(e_x)$ ,  $e_x$  表示残差项对应的高度角。

[0098] 其中, 平均值  $\bar{h}$  和方差  $\sigma^2$  通过以下公式计算:

$$[0099] \quad \tan(2\omega\tau) = \frac{\sum_{i=1}^N \sin 2\omega t_i}{\sum_{i=1}^N \cos 2\omega t_i}$$

$$[0100] \quad \bar{h} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_i$$

$$[0101] \quad \sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h})^2$$

[0102] 根据本发明一些具体实施例,步骤S160包括但不限于以下步骤:

[0103] 步骤S410,确定功率谱序列中波峰频率对应的功率谱值;

[0104] 步骤S420,选取位于预设功率区间的功率谱值作为第三候选数据,并根据多个第三候选数据确定功率谱平均值;

[0105] 步骤S430,根据功率谱平均值确定功率阈值;

[0106] 步骤S440,确定数值最大的第三候选数据大于功率阈值;

[0107] 步骤S450,根据数值最大的第三候选数据对应的波峰频率确定水位高度。

[0108] 在一些实施例中,提取功率谱序列中的各波峰频率 $f_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ), $n$ 为峰值个数及各波峰频率对应的功率谱值 $p_i$ ,然后通过设置预设功率区间剔除全部功率谱值中明显不在水位正确范围的功率谱值从而得到多个第三候选数据。进一步地,计算筛选得到的全部第三候选数据的平均值,得到功率谱平均值 $p$ ,再判断数值最大的第三候选数据,即最大功率谱值 $\max(p_i)$ 是否大于 $n$ 倍的功率谱平均值 $p$ ,若是,则输出该最大功率谱值对应的波峰频率并记为 $f_p$ ,反之,则根据下一颗第一菲涅尔带位于水面的卫星的解算数据进行判断,以得到符合要求的波峰频率 $f_p$ 。在本实施例中,对各波峰频率对应的功率谱值进行数据质量控制从而确定有效的最大功率谱值对应的波峰频率进行水面高度测量。

[0109] 根据本发明一些具体实施例,步骤S450包括但不限于以下步骤:

[0110] 步骤S510,根据数值最大的所述第三候选数据对应的波峰频率确定实际的观测站接收机天线距水面的第二垂直距离;

[0111] 步骤S520,根据第二垂直距离和观测站的高程确定水位高度。

[0112] 在本实施例中,实际的观测站接收机天线距水面的第二垂直距离通过以下公式计算:

$$[0113] \quad h = \frac{\lambda \cdot f_p}{2};$$

[0114] 其中, $h$ 为第二垂直距离, $\lambda$ 为卫星观测数据的波长。

[0115] 水面高度通过以下公式计算:

$$[0116] \quad H_w = H_s - h;$$

[0117] 其中, $H_w$ 为水面高度, $H_s$ 为观测站高程。

[0118] 下面结合实际应用场景说明本发明实施例:

[0119] 参照图4,某水库表面GPS变形监测网主要由2个基准站(TN01、TN02)和5个连续观测站(L022、L132、S171、S191、S071)组成。S191、S171和S071环绕水库建于断面靠近水体一侧。各观测站GPS接收机天线安装并固定于观测墩顶的强制对中基座上,GPS接收机采样频率设置为5s,并采用24小时全天候不间断观测模式。系统中S191、S171和S071三个监测站靠近水面,适用于进行水面高度测量。

[0120] 本发明实施例的真实的水位数据由为实际测量的当地时间每日8点的水库水位高度测量值,精度已知为厘米量级。图5~图7分别为S191、S171和S071三个观测站各卫星在 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 和 $20^\circ$ 的第一菲涅尔带,其中, $G_x$ 表示GPS卫星, $x$ 表示卫星编号,观测站预设接收机天线高度为15m。图8和图9中展示的是G10卫星、G11卫星和G24卫星通过观测站与水体相对位置比较后确定的可用于水位反演的卫星。图8为采用非差非组合精密单点定位解算后,得到的双频伪距的残差序列(C1表示GPS第一频段伪距信号,P2表示GPS第二频段伪距信号),

从残差序列中可以看出由明显的振荡信号存在。图9是对图8的残差序列进行LSP谱估计后得到的功率谱序列与水位高度的关系,从图9可以看出,接收机的两个观测值频率上都在高差为11.42m处显著,表明此时GPS天线距离水面的垂直距离为11.42m。图10为采用GPS伪距残差反演得到的水库水位高度与真实的水位高度比较,从图10可以看出反演得到水位高度和实际测量的水位高度吻合,相关性达到0.96。图11为第79-99天内分别采用伪距残差方法(图中P1线条所示)、SNR方法(图中S1线条所示)和载波相位方法(图中L1线条所示)进行水位反演中得到的波峰频率对应的功率谱值比较,从图11中可以看出,采用本发明实施例的伪距残差方法的波峰频率对应的功率谱值明显大于SNR方法和载波相位方法,因此,在水位高度的反演过程中,本发明实施例能得到较为准确的水位测量结果。

[0121] 本发明实施例具有以下有益效果:

[0122] 本发明实施例采用GNSS精密定位解算消除电离层和对流层延迟、潮汐等误差,残差信息中仅包含来自于水面或其他反射面的多路径效应,结合残差信息进行水位高度反演准确性高。

[0123] 本申请将定位解算后的验后残差应用于水位高度反演,仅通过一次定位解算可以实现水库水位高度监测,此外还适合于环水体类水工构筑物的变形监测应用。

[0124] 另一方面,本发明实施例还提供一种水位高度测量系统,参照图2,包括:

[0125] 第一模块,用于通过观测系统获取全球导航卫星系统的多个卫星观测数据;

[0126] 第二模块,用于根据多个卫星观测数据采用定位算法确定观测系统中的观测站位置和多个卫星的解算数据,其中,卫星的解算数据包括卫星位置和残差序列;

[0127] 第三模块,用于获取观测站与被测水面的位置关系;

[0128] 第四模块,用于根据观测站位置、位置关系和多个卫星位置选取第一菲涅尔带位于水面的卫星的解算数据;

[0129] 第五模块,用于根据选取出的解算数据中的残差序列确定功率谱序列;

[0130] 第六模块,用于根据功率谱序列的波峰频率确定水位高度。

[0131] 可以理解的是,上述水位高度测量方法实施例中的内容均适用于本系统实施例中,本系统实施例所具体实现的功能与上述水位高度测量方法实施例相同,并且达到的有益效果与上述水位高度测量方法实施例所达到的有益效果也相同。

[0132] 参照图3,图3是本发明一个实施例提供的水位高度测量装置的示意图。本发明实施例的水位高度测量装置包括一个或多个控制处理器和存储器,图3中以一个控制处理器及一个存储器为例。

[0133] 控制处理器和存储器可以通过总线或者其他方式连接,图3中以通过总线连接为例。

[0134] 存储器作为一种非暂态计算机可读存储介质,可用于存储非暂态软件程序以及非暂态性计算机可执行程序。此外,存储器可以包括高速随机存取存储器,还可以包括非暂态存储器,例如至少一个磁盘存储器件、闪存器件、或其他非暂态固态存储器件。在一些实施方式中,存储器可选包括相对于控制处理器远程设置的存储器,这些远程存储器可以通过网络连接至该水位高度测量装置。上述网络的实例包括但不限于互联网、企业内部网、局域网、移动通信网及其组合。

[0135] 本领域技术人员可以理解,图3中示出的装置结构并不构成对水位高度测量装置

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,或者不同的部件布置。

[0136] 实现上述实施例中应用于水位高度测量装置的水位高度测量方法所需的非暂态软件程序以及指令存储在存储器中,当被控制处理器执行时,执行上述实施例中应用于水位高度测量装置的水位高度测量方法。

[0137] 此外,本发明的一个实施例还提供了一种计算机可读存储介质,该计算机可读存储介质存储有计算机可执行指令,该计算机可执行指令被一个或多个控制处理器执行,可使得上述一个或多个控制处理器执行上述方法实施例中的水位高度测量方法。

[0138] 本领域普通技术人员可以理解,上文中所公开方法中的全部或某些步骤、系统可以被实施为软件、固件、硬件及其适当的组合。某些物理组件或所有物理组件可以被实施为由处理器,如中央处理器、数字信号处理器或微处理器执行的软件,或者被实施为硬件,或者被实施为集成电路,如专用集成电路。这样的软件可以分布在计算机可读介质上,计算机可读介质可以包括计算机存储介质(或非暂时性介质)和通信介质(或暂时性介质)。如本领域普通技术人员公知的,术语计算机存储介质包括在用于存储信息(诸如计算机可读指令、数据结构、程序模块或其他数据)的任何方法或技术中实施的易失性和非易失性、可移除和不可移除介质。计算机存储介质包括但不限于RAM、ROM、EEPROM、闪存或其他存储器技术、CD-ROM、数字多功能盘(DVD)或其他光盘存储、磁盒、磁带、磁盘存储或其他磁存储装置、或者可以用于存储期望的信息并且可以被计算机访问的任何其他的介质。此外,本领域普通技术人员公知的是,通信介质通常包含计算机可读指令、数据结构、程序模块或者诸如载波或其他传输机制之类的调制数据信号中的其他数据,并且可包括任何信息递送介质。

[0139] 上面结合附图对本发明实施例作了详细说明,但是本发明不限于上述实施例,在所属技术领域普通技术人员所具备的知识范围内,还可以在不脱离本发明宗旨的前提下作出各种变化。

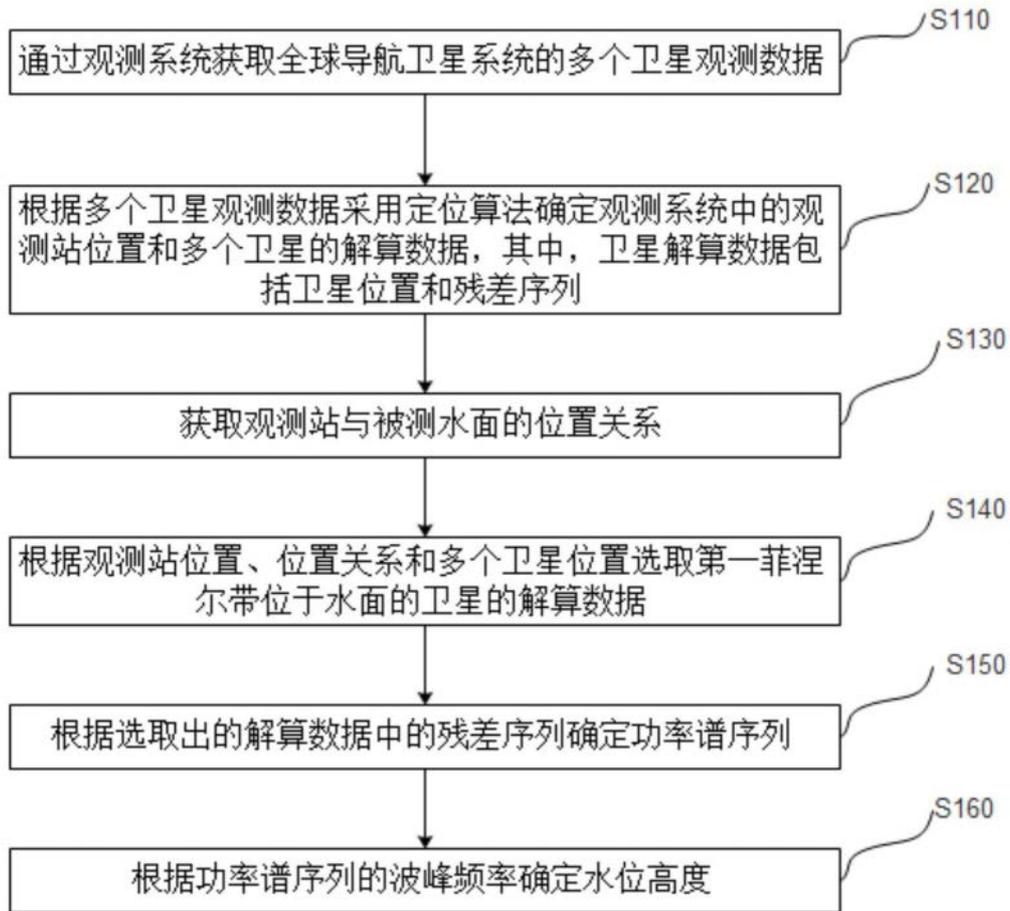


图1



图2

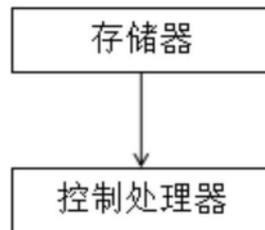


图3

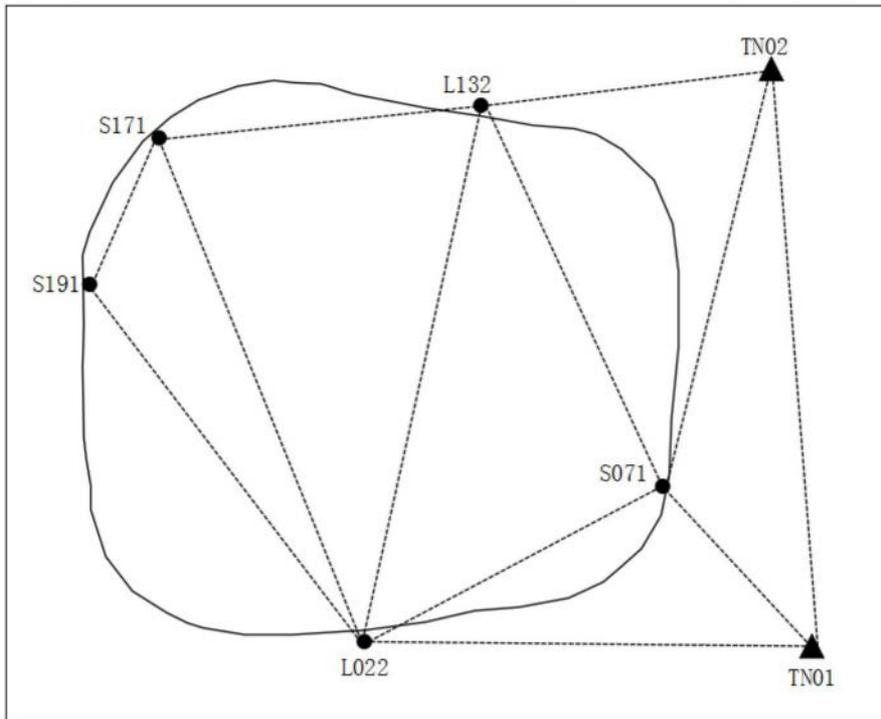


图4

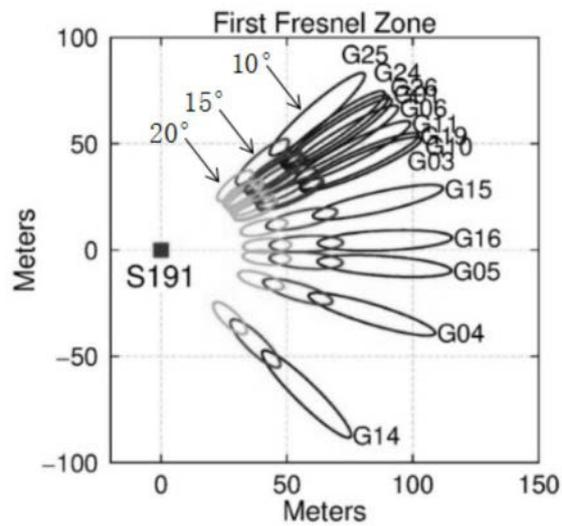


图5

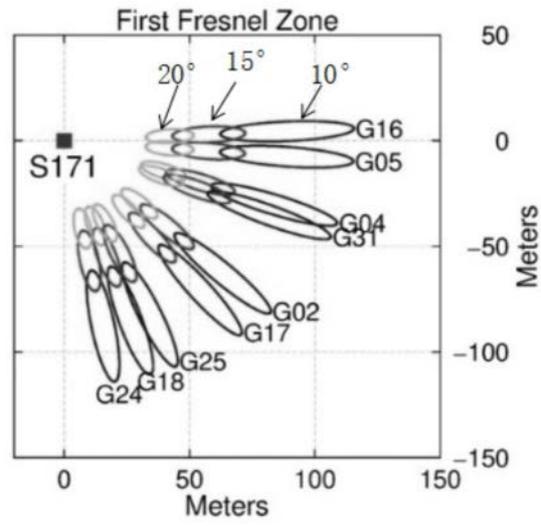


图6

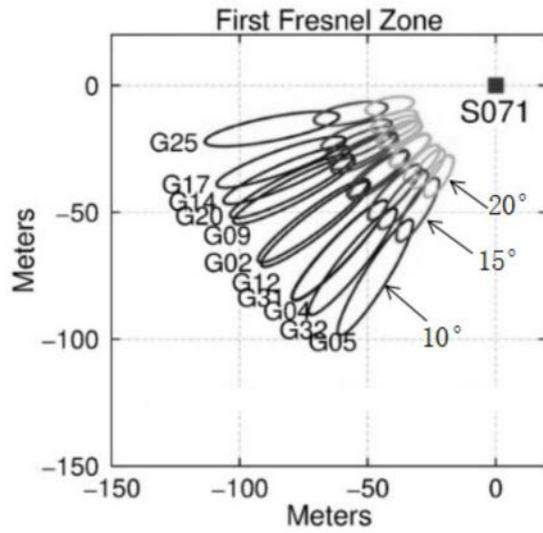


图7

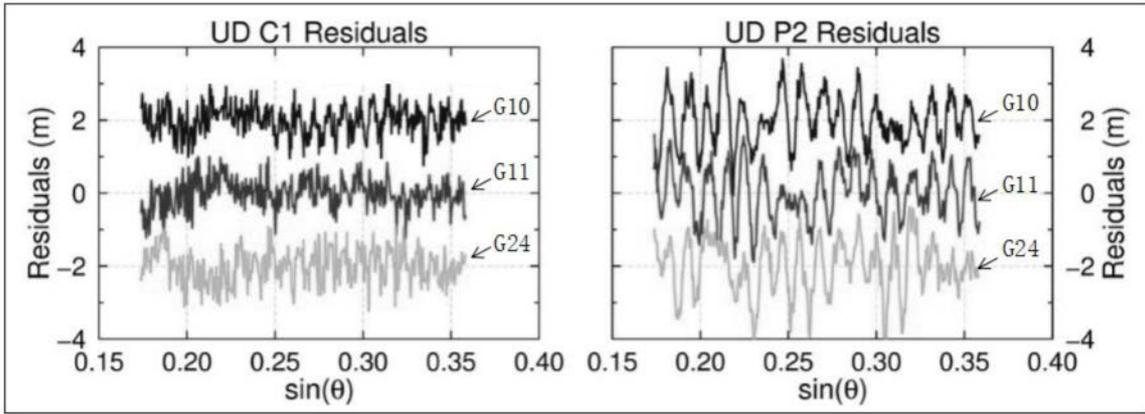


图8

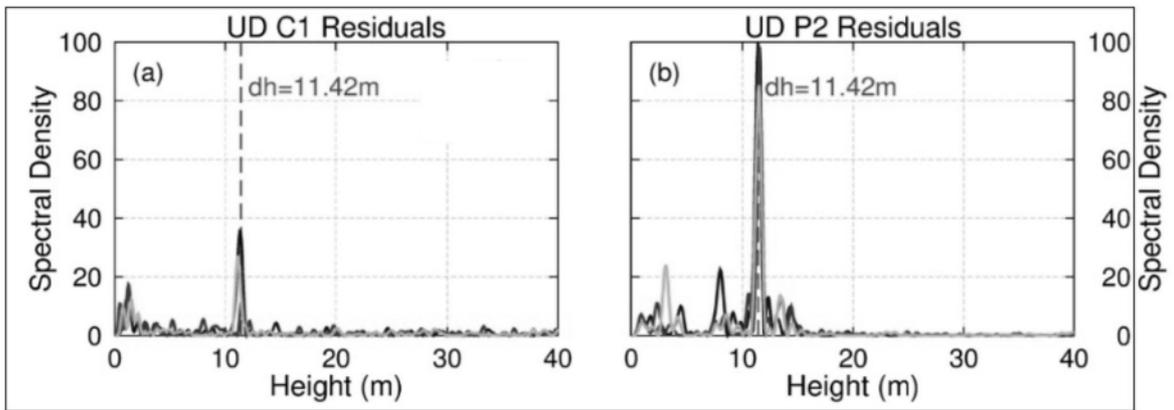


图9

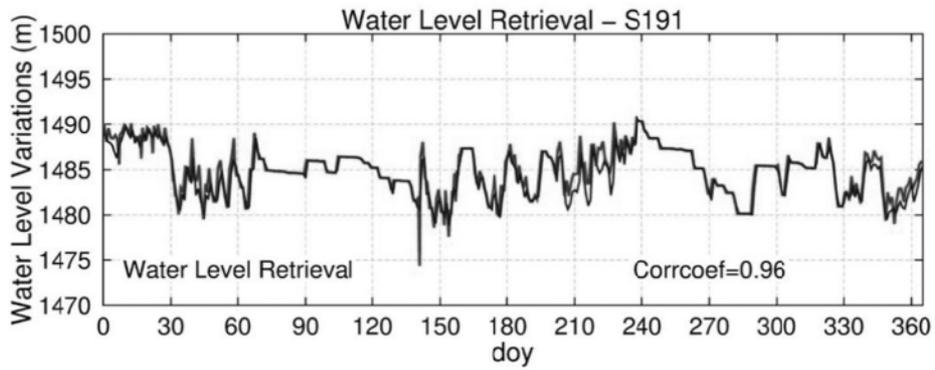


图10

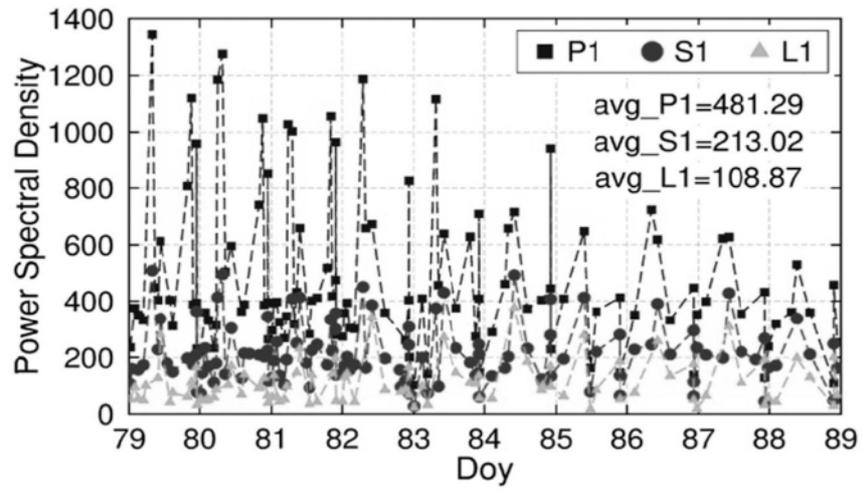


图11