



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114488233 A

(43) 申请公布日 2022. 05. 13

(21) 申请号 202111654776.1

(22) 申请日 2021.12.30

(71) 申请人 新纳传感系统有限公司

地址 214000 江苏省无锡市新吴区国家高
新技术产业开发区新辉环路2号

(72) 发明人 李一鹤

(74) 专利代理机构 苏州简理知识产权代理有限
公司 32371

专利代理师 庞聪雅

(51) Int. Cl.

G01S 19/44 (2010.01)

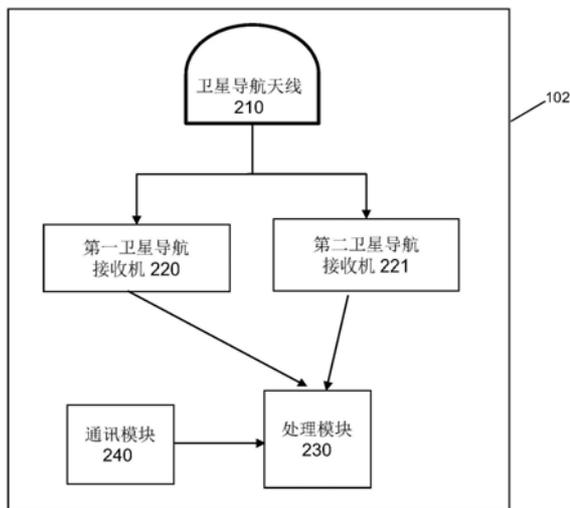
权利要求书4页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

全球卫星导航终端及其导航定位方法

(57) 摘要

本发明涉及一种全球卫星导航终端及其导航定位方法。所述全球卫星导航终端包括卫星导航天线、第一和第二卫星导航接收机；处理模块。处理模块执行如下操作：基于两个卫星导航接收机的卫星导航数据计算零基线双差观测值，基于所述零基线双差观测值计算观测值随机噪声矩阵；基于一个卫星导航接收机的卫星导航数据中的观测值和从导航服务器获取的改正数计算单差观测值，基于计算得到的单差观测值和所述观测值随机噪声矩阵进行抗差自适应滤波迭代估计自适应抗差参数向量；基于自适应抗差参数向量中的浮点模糊度搜索并固定整周模糊度，基于固定的模糊度重新解算所述自适应抗差参数向量。这样，可以基于更加可靠的观测值随机噪声模型实现高精度定位。



1. 一种全球卫星导航终端,其特征在于,其包括:

卫星导航天线;

与所述卫星导航天线相连的第一卫星导航接收机,其接收第一频段和第二频段的卫星导航数据,所述卫星导航数据包括星历数据和观测值,所述观测值包括伪距观测值、相位观测值和多普勒观测值;

与所述卫星导航天线相连的第二卫星导航接收机,其接收第一频段和第二频段的卫星导航数据;

与第一卫星导航接收机和第二卫星导航接收机相连的处理模块;和

与所述处理模块相连的通讯模块;

其中,所述处理模块执行如下操作:

基于一个卫星导航接收机的卫星导航数据计算单点定位解,将所述单点定位解发送给导航服务器,并接收所述导航服务器根据所述单点定位解获得的改正数;

基于两个卫星导航接收机的卫星导航数据计算零基线双差观测值,基于所述零基线双差观测值计算观测值随机噪声矩阵;

基于一个卫星导航接收机的卫星导航数据中的观测值和从所述导航服务器获取的改正数计算单差观测值,基于计算得到的单差观测值和所述观测值随机噪声矩阵进行抗差自适应滤波迭代估计自适应抗差参数向量,所述自适应抗差参数向量包括位置、速度、接收机钟差和浮点模糊度;

基于估计得到的自适应抗差参数向量中的浮点模糊度搜索并固定整周模糊度,基于固定的模糊度重新解算所述自适应抗差参数向量。

2. 如权利要求1所述的全球卫星导航终端,其特征在于,基于一个卫星导航接收机的卫星导航数据计算单点定位解包括:

基于一个卫星导航接收机的卫星导航星历数据计算得到卫星轨道钟差,结合该卫星导航接收机的卫星导航观测数据计算单点定位解。

3. 如权利要求1所述的全球卫星导航终端,其特征在于,所述基于两个卫星导航接收机的卫星导航数据计算零基线双差观测值包括:

使用第一卫星导航接收机和第二卫星导航接收机的相位观测值时间差分与多普勒观测值进行相位观测值周跳探测和修复;

计算第一卫星导航接收机和第二卫星导航接收机的单差观测值,按卫星系统选取卫星高度角最高的卫星为参考卫星,形成零基线双差观测值,其中使用无周跳的相位观测值进行零基线双差观测值的计算。

4. 如权利要求3所述的全球卫星导航终端,其特征在于,根据公式(1)-(3)计算零基线双差观测值:

$$\nabla\Delta P_{i,j,f}^{s,t} = (P_{j,f}^t - P_{i,f}^t) - (P_{j,f}^s - P_{i,f}^s) = \Delta P_{i,j,f}^t - \Delta P_{i,j,f}^s = \varepsilon_{\nabla\Delta P} \quad (1)$$

$$\lambda_j \nabla\Delta L_{i,j,f}^{s,t} = (\lambda_j L_{j,f}^t - \lambda_j L_{i,f}^t) - (\lambda_j L_{j,f}^s - \lambda_j L_{i,f}^s) = \lambda_j \Delta L_{i,j,f}^t - \lambda_j \Delta L_{i,j,f}^s = \lambda_j \nabla\Delta N_{i,j,f}^{s,t} + \varepsilon_{\nabla\Delta L} \quad (2)$$

$$\lambda_j \nabla\Delta D_{i,j,f}^{s,t} = (\lambda_j D_{j,f}^t - \lambda_j D_{i,f}^t) - (\lambda_j \Delta D_{j,f}^s - \lambda_j \Delta D_{i,f}^s) = \lambda_j \Delta D_{i,j,f}^t - \lambda_j \Delta D_{i,j,f}^s = \varepsilon_{\nabla\Delta D} \quad (3),$$

其中 $\nabla\Delta$ 为双差运算符,P,L和D分别代表卫星导航观测数据中的伪距,相位以及多普勒

观测值； $\nabla\Delta P$ 为伪距的零基线双差观测值， $\nabla\Delta L$ 为相位的零基线双差观测值， $\nabla\Delta D$ 为多普勒的零基线双差观测值； λ 为波长；下标*i*和*j*为接收机号；下标*f*为频率；上标是*s*,*t*分别卫星PRN号，*N*为模糊度， ε 为观测值误差。

5. 如权利要求1所述的全球卫星导航终端，其特征在于，所述基于所述零基线双差观测值计算观测值随机噪声矩阵包括：

假设移动时间窗口 $[t-t_n, t]$ 内有 n_i 个观测值且每个观测值噪声相同步，则在移动时间窗口内的非差伪距观测值、相位观测值以及多普勒观测值的单位权方差分别为：

$$\hat{\sigma}_{0,P_i}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{j=n_i} \varepsilon_{\nabla\Delta P_i}^T \varepsilon_{\nabla\Delta P_i}}{4(n_i - 1)}, i = (G, R, E, C) \quad (4)$$

$$\hat{\sigma}_{0,D_i}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{j=n_i} \varepsilon_{\nabla\Delta D_i}^T \varepsilon_{\nabla\Delta D_i}}{4(n_i - 1)}, i = (G, R, E, C) \quad (5)$$

$$\hat{\sigma}_{0,L_i}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{j=n_i} \varepsilon_{\nabla\Delta L_i}^T \varepsilon_{\nabla\Delta L_i}}{4(n_i - 1)}, i = (G, R, E, C) \quad (6)$$

其中*i*代表卫星导航系统，*j*代表观测历元序号， $\hat{\sigma}_0^2$ 为估计的观测值单位权中误差；采用基于高度角定权方法来对获取GNSS的观测值初始方差：

$$\sigma_{s,P}^2 = \frac{\sigma_{0,P}^2}{\sin^2(E_s)} \quad (7)$$

$$\sigma_{s,D}^2 = \frac{\sigma_{0,D}^2}{\sin^2(E_s)} \quad (8)$$

$$\sigma_{s,L}^2 = \frac{\sigma_{0,L}^2}{\sin^2(E_s)} \quad (9)$$

其中*s*表示卫星号， σ_i 表示卫星*i*的观测值噪声标准差， E_s 表示卫星*s*的高度角；观测值随机噪声矩阵 R_k 为

$$R_k = \begin{pmatrix} R_{P,k} & & \\ & R_{D,k} & \\ & & R_{L,k} \end{pmatrix}, R_{P,k} = \begin{pmatrix} \sigma_{1,P}^2 & & \\ & \ddots & \\ & & \sigma_{n,P}^2 \end{pmatrix}, R_{D,k} = \begin{pmatrix} 2\sigma_{1,D}^2 & & \\ & \ddots & \\ & & 2\sigma_{n,D}^2 \end{pmatrix}, R_{L,k} = \begin{pmatrix} 2\sigma_{1,L}^2 & & \\ & \ddots & \\ & & 2\sigma_{n,L}^2 \end{pmatrix}$$

其中，*k*为观测历元， $R_{P,k}$ ， $R_{D,k}$ ， $R_{L,k}$ 分别为伪距、多普勒、相位观测值的随机噪声矩阵。

6. 如权利要求1所述的全球卫星导航终端，其特征在于，根据公式(10)计算自适应抗差参数向量 \hat{x}_k ：

$$\hat{x}_k = (H_k^T \bar{P}_k H_k + a_k \bar{P}_{\bar{x}_k}) (H_k^T \bar{P}_k L_k + a_k \bar{P}_{\bar{x}_k} \bar{x}_k) \quad (10)$$

其中 \hat{x}_k 为自适应抗差参数向量，其中包含位置，速度，接收机钟差以及模糊度等参数， H_k 为观测值设计矩阵， L_k 为观测值向量， $\bar{P}_k = \bar{R}_k^{-1}$ 为观测量的等价权矩阵； \bar{x}_k 为预测状态向量， $\bar{P}_{\bar{x}_k}$ 为预测状态向量的权矩阵； $0 \leq a_k \leq 1$ 为自适应因子。

7. 如权利要求1所述的全球卫星导航终端，其特征在于，所述基于估计得到的自适应抗

差参数向量中的浮点模糊度搜索并固定整周模糊度包括：

将估计得到的自适应抗差参数向量中的浮点模糊度以及其协方差矩阵代入，使用 LAMBDA 方法搜索整周模糊度并验证是否通过检测，如通过模糊度检测，继续通过双频组合相位观测值、模糊固定残差值检验模糊度是否固定正确，剔除固定错误的模糊度。

8. 如权利要求1所述的全球卫星导航终端，其特征不在于，所述处理模块还执行如下操作：

利用计算得到的观测值随机噪声矩阵、抗差自适应滤波过程中计算得到的观测值向量计算当前历元观测值残差；

根据引入粗差后的当前历元观测值残差的分布计算不同参数的非中心性参数，所述不同参数包括位置和速度；

基于不同参数的非中心性参数，在当前置信区间下计算得到最小可探测粗差；

基于最小可探测粗差计算所述自适应抗差参数向量中各参数的保护级别；

根据计算得到的各个参数的保护级别与预设报警限值进行比较，当各个参数的保护级别小于预设报警限值时，认可所述自适应抗差参数向量中的定位结果，否则，不认可所述自适应抗差参数向量中的定位结果。

9. 如权利要求8所述的全球卫星导航终端，其特征不在于，

当前历元观测值残差 r_k 为：

$$r_k = C_r R_k^{-1} L_k \quad (11)$$

其中， $C_{r,k} = R_k - H_k (H_k^{-1} R^{-1} H_k)^{-1} H_k^{-1}$ 为观测值残差的方差， L_k 为观测值向量；

根据引入粗差后的当前历元观测值残差的分布计算不同参数的非中心性参数包括：

假设观测值中存在一个粗差 ∇ ，则(11)中 L_k 的改写为：

$$r_k = H_k \hat{x}_k + M \nabla - L_k \quad (12)$$

$$M_i = [0 \quad \dots \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0] \quad (13)$$

不考虑引入粗差，假设 r_k 是无偏 $r_k \sim N(0, C_r)$ ， M 为粗差与观测值的投影函数，残差 r_k 由于粗差存在引入的偏差为 Δr_k ，结合公式(11)可得引入粗差之后的残差分布为：

$$\Delta r_k \sim N(C_r R_k^{-1} M_i \nabla_i, C_r) \quad (14)$$

经过标准化后第 i 个观测值残差引入偏差服从正态分布如下：

$$\frac{\Delta r_i}{\sqrt{(C_r)_{ii}}} \sim N\left(\frac{\sqrt{(C_r)_{ii}}}{(R)_{ii}} \nabla_i, 1\right) \quad (15)$$

其中观测值残差均值 $\frac{\sqrt{(C_r)_{ii}}}{(R)_{ii}} \nabla_i$ 被称为中心性参数，表示正态分布的标准化残差平移

值，非中心性参数 δ_0 近似为：

$$\delta_0 = N_{1-\alpha/2} + N_{1-\beta} \quad (16)$$

其中 $N_{1-\alpha/2}$ 为I类错误的分位置, $N_{1-\beta}$ 为发生II类错误的分位置,给定一个置信区间得到两类错误的分位置,进而计算不同参数的非中心性参数;

基于不同参数的非中心性参数,在当前置信区间下根据公式(17)计算得到最小可探测粗差 ∇_{MDB_i} 为:

$$\nabla_{MDB_i} = \frac{(R)_{ii}}{\sqrt{(C_r)_{ii}}} \delta_0 \quad (17)$$

基于最小可探测粗差根据公式(18)计算计算所述自适应抗差参数向量中各参数的保护级别 $\Delta\hat{x}_k$:

$$\Delta\hat{x}_k = (H_k^T \bar{R}_k^{-1} H_k)^{-1} H_k^T \bar{R}_k^{-1} \nabla_{MDB_i} \quad (18)$$

$\Delta\hat{x}_k$ 包含位置、速度、接收机钟差以及模糊度的保护级别。

10. 一种全球卫星导航终端的导航定位方法,其特征在于,所述全球卫星导航终端包括:卫星导航天线;与所述卫星导航天线相连的第一卫星导航接收机,其接收第一频段和第二频段的卫星导航数据;所述导航方法包括:

基于一个卫星导航接收机的卫星导航数据计算单点定位解,将所述单点定位解发送给导航服务器,并接收所述导航服务器根据所述单点定位解获得的改正数;

基于两个卫星导航接收机的卫星导航数据计算零基线双差观测值,基于所述零基线双差观测值计算观测值随机噪声矩阵;

基于一个卫星导航接收机的卫星导航数据中的观测值和从所述导航服务器获取的改正数计算单差观测值,基于计算得到的单差观测值和所述观测值随机噪声矩阵进行抗差自适应滤波迭代估计自适应抗差参数向量,所述自适应抗差参数向量包括位置、速度、接受机钟差和浮点模糊度;

基于估计得到的自适应抗差参数向量中的浮点模糊度搜索并固定整周模糊度,基于固定的模糊度重新解算所述自适应抗差参数向量。

全球卫星导航终端及其导航定位方法

技术领域

[0001] 本发明涉及导航领域,尤其涉及一种全球卫星导航终端及其导航定位方法。

背景技术

[0002] 全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System,简称GNSS)的实时动态定位(Real Time Kinematic,即RTK)是一种低成本的高精度定位技术路线。全球卫星导航系统包含美国的GPS、俄罗斯的GLONASS(格洛纳斯)、中国的BEIDOU(北斗)以及欧盟的GALILEO(伽利略)。其中GPS,BEIDOU和GALILEO导航信号基于码分多址(Code Division Multiple Access,CDMA)。因此,不同卫星信号同一频段信号的频率相同。而GLONASS导航信号基于频分多址(Code Division Multiple Access,FDMA)。

[0003] GNSS RTK定位技术是当前自动驾驶领域广泛应用的高精度定位技术。和GNSS差分定位(DGNSS)相比较,RTK也是有赖于来自基站的观测数据,可有效的消除电离层误差、对流层误差、卫星时钟误差和接收机时钟误差;RTK同时采用了载波观测量进行位置解算。从伪距、载波的观测量建模开始,到线性优化求解float(浮点)解,然后采用流行的LAMBDA算法求解模糊度(ambiguity),最后可以得到模糊度固定解。

[0004] RTK定位的解算问题其实已经比较成熟,如果在空旷环境下,有着不错的接收机,其实解算RTK是比较可能获得固定解,因此采用一个EKF滤波(扩展卡尔曼滤波)的方式就可以获得可观的厘米级精度。但是关键的问题还是使用低成本的GNSS接收机(本文中也可以称为卫星导航接收机)在都市环境(GNSS信号遮挡严重)下,由于多路径效应导致原始观测量有明显的误差;另外相位观测值也会出现失锁和cycle slip(周跳)的问题。这些问题在低成本GNSS接收机上问题会更加严重。这也是RTK在都市环境下无法实现模糊度正确固定进而导致定位精度不理想的主要原因之一。而当下广泛研究的自动驾驶是另一个对安全性要求极高的应用,然而GNSS RTK定位技术又是自动驾驶非常关键的一个部分,因此如何有效的监测自动驾驶融合定位是否满足当下自动驾驶系统的要求,是一个非常重要的问题。这引出了GNSS RTK完好性的概念。

[0005] 完好性是用来衡量整个系统所提供信息是否可以被信任的标准。完好性系统需要在系统发出错误信息时及时发出报警信息告知用户该系统出错避免用户使用出错的信息。一个完整的GNSS接收机完好性系统包含错误的探测识别、排除以及导航结果的可用性检测。完好性系统的核心步骤是估计参数保护等级(Protection level)的计算,其具备以下三个特点。首先,当保护等级小于报警限值(Alert Limit)时,定位结果被认为可用,反之系统认定定位结果不可用。其次,保护等级要尽可能与真实误差相近且略大于真是误差,这样才可以保证实时完好性检测最大程度上反应真实的RTK定位结果。最后,位置的保护等级的计算通常基于GNSS定位的最小二乘或Kalman(卡尔曼)滤波残差来完成计算,这意味着GNSS完好性检测的准确性很大程度上也依赖于定位结果以及观测值随机噪声模型的准确性。传统的完好性系统基于传统RTK定位结果得到残差计算保护等级,在都市GNSS信号遮挡严重情况下,残差无法真实反映真实定位误差。

[0006] 因此,有必要提出一种方案来解决上述问题。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于提出一种全球卫星导航终端及其导航定位方法,其使用连接同一个卫星导航天线的两个卫星导航接收机,通过零基线解算实现周围环境对GNSS观测值质量影响的实时评估,可以建立更加可靠的观测值随机噪声模型。

[0008] 为解决上述技术问题,根据本发明的一个方面,本发明提出了一种全球卫星导航终端,其包括:卫星导航天线;与所述卫星导航天线相连的第一卫星导航接收机,其接收第一频段和第二频段的卫星导航数据,所述卫星导航数据包括星历数据和观测值,所述观测值包括伪距观测值、相位观测值和多普勒观测值;与所述卫星导航天线相连的第二卫星导航接收机,其接收第一频段和第二频段的卫星导航数据;与第一卫星导航接收机和第二卫星导航接收机相连的处理模块;和与所述处理模块相连的通讯模块。所述处理模块执行如下操作:基于一个卫星导航接收机的卫星导航数据计算单点定位解,将所述单点定位解发送给导航服务器,并接收所述导航服务器根据所述单点定位解获得的改正数;基于两个卫星导航接收机的卫星导航数据计算零基线双差观测值,基于所述零基线双差观测值计算观测值随机噪声矩阵;基于一个卫星导航接收机的卫星导航数据中的观测值和从所述导航服务器获取的改正数计算单差观测值,基于计算得到的单差观测值和所述观测值随机噪声矩阵进行抗差自适应滤波迭代估计自适应抗差参数向量,所述自适应抗差参数向量包括位置、速度、接收机钟差和浮点模糊度;基于估计得到的自适应抗差参数向量中的浮点模糊度搜索并固定整周模糊度,基于固定的模糊度重新解算所述自适应抗差参数向量。

[0009] 根据本发明的另一个方面,本发明提出了一种全球卫星导航终端的导航定位方法,所述全球卫星导航终端包括:卫星导航天线;与所述卫星导航天线相连的第一卫星导航接收机,其接收第一频段和第二频段的卫星导航数据;所述导航方法包括:基于一个卫星导航接收机的卫星导航数据计算单点定位解,将所述单点定位解发送给导航服务器,并接收所述导航服务器根据所述单点定位解获得的改正数;基于两个卫星导航接收机的卫星导航数据计算零基线双差观测值,基于所述零基线双差观测值计算观测值随机噪声矩阵;基于一个卫星导航接收机的卫星导航数据中的观测值和从所述导航服务器获取的改正数计算单差观测值,基于计算得到的单差观测值和所述观测值随机噪声矩阵进行抗差自适应滤波迭代估计自适应抗差参数向量,所述自适应抗差参数向量包括位置、速度、接收机钟差和浮点模糊度;基于估计得到的自适应抗差参数向量中的浮点模糊度搜索并固定整周模糊度,基于固定的模糊度重新解算所述自适应抗差参数向量。

[0010] 与现有技术相比,本发明使用连接同一个卫星导航天线的两个卫星导航接收机,通过零基线解算实现对周围环境对GNSS观测值质量影响(即观测值随机噪声)的实时评估,可以建立更加可靠的观测值随机噪声模型。

附图说明

[0011] 图1为本发明中的全球卫星导航系统在一个实施例中的结构示意图;

[0012] 图2为本发明中的全球卫星导航终端在一个实施例中的结构示意图;

[0013] 图3为图2中的全球卫星导航终端的导航方法在一个实施例中的流程示意图;和

[0014] 图4为第i个观测值残差引入偏差的正态分布示意图。

具体实施方式

[0015] 为更进一步阐述本发明为达成预定发明目的所采取的技术手段及功效,以下结合附图及较佳实施例,对依据本发明的具体实施方式、结构、特征及其功效,详细说明如下。

[0016] 图1为本发明中的全球卫星导航系统100在一个实施例中的结构示意图。所述全球卫星导航系统100包括全球卫星导航终端设备102和导航服务器106。

[0017] 所述导航终端设备102可以有很多个。所述导航终端设备102可以安装于机动车辆上,从而对所述机动车辆的驾驶导航,尤其是无人驾驶,进行高精度导航。所述导航终端设备102可以通过无线网络104与所述导航服务器106进行通讯。所述无线网络104可以是2G、3G、4G或5G网络,也可以是多个网络的组合,比如蓝牙+4G,Wifi+4G,Wifi+因特网+5G等等,本发明对于所述无线网络104的具体类型并无要求,只要能够支持稳定的通讯即可。

[0018] 图2为本发明中的全球卫星导航终端设备102在一个实施例中的结构示意图。所述全球卫星导航终端设备102包括卫星导航天线210、与所述卫星导航天线210相连的第一卫星导航接收机220、与所述卫星导航天线210相连的第二卫星导航接收机221、与第一卫星导航接收机220和第二卫星导航接收机221相连的处理模块230、与所述处理模块230相连的通讯模块240。

[0019] 第一卫星导航接收机220接收第一频段和第二频段的卫星导航数据。第二卫星导航接收机221,其接收第一频段和第二频段的卫星导航数据。GPS/Beidou/Galileo/GLONASS等卫星导航系统卫星端会同时在多个频段下播发不同码制式的信号。第一频段和第二频段可以是GNSS支持的多个频段中的两个频段。所述卫星导航数据包括卫星导航星历数据(简称星历数据)和卫星导航观测值(简称观测值,有时也被称为观测数据、卫星导航观测数据等)。所述观测值包括伪距观测值、相位观测值和多普勒观测值。所述通讯模块240可以是无线通讯模块,也可以是有线通讯模块。所述无线通讯模块可以通过移动通讯(比如5G,4G等)、Wifi无线通讯、蓝牙等网络进行通讯。所述通讯模块240可以通过无线网络104与所述导航服务器106通讯。

[0020] 所述处理模块230执行基于第一卫星导航接收机220和第二卫星导航接收机221接收到的第一频段和第二频段的卫星导航数据进行高精度的导航定位,即GNSS的实时动态定位RTK。

[0021] 图3为图2中的全球卫星导航终端的导航方法300在一个实施例中的流程示意图。所述处理模块230执行所述导航方法300。如图3所示的,所述导航方法300包括如下步骤。

[0022] 步骤310,基于其中一个卫星导航接收机的卫星导航数据计算单点定位解,将所述单点定位解发送给导航服务器106,并接收所述导航服务器106根据所述单点定位解获得的改正数(或称RTK改正数)。

[0023] 这里中的其中一个卫星导航接收机可以是第一卫星导航接收机220,也可以是第二卫星导航接收机221。具体的,基于所述卫星导航数据中的卫星导航星历数据计算得到卫星轨道钟差,结合卫星导航观测数据计算单点定位解。所述全球卫星导航终端102将得到的单点定位解发送至导航服务器106,所述导航服务器106根据得到的单点定位解提供RTK改正数。

[0024] 步骤320,基于两个卫星导航接收机220、221的卫星导航数据计算零基线双差观测值,基于所述零基线双差观测值计算观测值随机噪声矩阵。

[0025] 具体的,所述基于两个卫星导航接收机的卫星导航数据计算零基线双差观测值包括如下步骤:

[0026] 使用第一卫星导航接收机220和第二卫星导航接收机221的相位观测值时间差分与多普勒观测值进行相位观测值周跳探测和修复;

[0027] 计算第一卫星导航接收机和第二卫星导航接收机的单差观测值,按卫星系统选取卫星高度角最高的卫星为参考卫星,形成零基线双差观测值,其中使用无周跳的相位观测值进行零基线双差观测值的计算。

[0028] 更具体的,根据公式(1)-(3)计算零基线双差观测值:

$$[0029] \quad \nabla \Delta P_{i,j,f}^{s,t} = (P_{j,f}^t - P_{i,f}^t) - (P_{j,f}^s - P_{i,f}^s) = \Delta P_{i,j,f}^t - \Delta P_{i,j,f}^s = \varepsilon_{\nabla \Delta P} \quad (1)$$

$$[0030] \quad \lambda_f \nabla \Delta L_{i,j,f}^{s,t} = (\lambda_f L_{j,f}^t - \lambda_f L_{i,f}^t) - (\lambda_f L_{j,f}^s - \lambda_f L_{i,f}^s) = \lambda_f \Delta L_{i,j,f}^t - \lambda_f \Delta L_{i,j,f}^s = \lambda_f \nabla \Delta N_{i,j,f}^{s,t} + \varepsilon_{\nabla \Delta L} \quad (2)$$

$$[0031] \quad \lambda_f \nabla \Delta D_{i,j,f}^{s,t} = (\lambda_f D_{j,f}^t - \lambda_f D_{i,f}^t) - (\lambda_f \Delta D_{j,f}^s - \lambda_f \Delta D_{i,f}^s) = \lambda_f \Delta D_{i,j,f}^t - \lambda_f \Delta D_{i,j,f}^s = \varepsilon_{\nabla \Delta D} \quad (3),$$

[0032] 其中 $\nabla \Delta$ 为双差运算符, $\nabla \Delta P$ 为伪距的零基线双差观测值, $\nabla \Delta L$ 为相位的零基线双差观测值, $\nabla \Delta D$ 为多普勒的零基线双差观测值,P,L和D分别代表卫星导航观测数据中的伪距、相位以及多普勒观测值; λ 为波长;下标i和j为接收机号;下标f为频率;上标是s,t分别卫星PRN(pseudo random noise,伪随机噪声)号,N为模糊度, ε 为观测值误差。

[0033] 具体的,所述基于所述零基线双差观测值计算观测值随机噪声矩阵 R_k 包括:

[0034] 假设移动时间窗口 $[t-t_n, t]$ 内有 n_i 个观测值且每个观测值噪声相同步,则在移动时间窗口内的非差伪距观测值、相位观测值以及多普勒观测值的单位权方差 $\hat{\sigma}_0^2$ 分别为:

$$[0035] \quad \hat{\sigma}_{0,P_i}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{j=n_i} \varepsilon_{\nabla \Delta P_i}^T \varepsilon_{\nabla \Delta P_i}}{4(n_i - 1)}, i = (G, R, E, C) \quad (4)$$

$$[0036] \quad \hat{\sigma}_{0,D_i}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{j=n_i} \varepsilon_{\nabla \Delta D_i}^T \varepsilon_{\nabla \Delta D_i}}{4(n_i - 1)}, i = (G, R, E, C) \quad (5)$$

$$[0037] \quad \hat{\sigma}_{0,L_i}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{j=n_i} \varepsilon_{\nabla \Delta L_i}^T \varepsilon_{\nabla \Delta L_i}}{4(n_i - 1)}, i = (G, R, E, C) \quad (6)$$

[0038] 其中i代表卫星导航系统,j代表观测历元序号, $\hat{\sigma}_0^2$ 为估计的观测值单位权中误差;

[0039] 随后,采用基于高度角定权方法来对获取GNSS的观测值初始方差 σ^2 :

$$[0040] \quad \sigma_{s,P}^2 = \frac{\sigma_{0,P}^2}{\sin^2(E_s)} \quad (7)$$

$$[0041] \quad \sigma_{s,D}^2 = \frac{\sigma_{0,D}^2}{\sin^2(E_s)} \quad (8)$$

$$[0042] \quad \sigma_{s,L}^2 = \frac{\sigma_{0,L}^2}{\sin^2(E_s)} \quad (9)$$

[0043] 其中s表示卫星号, σ_i 表示卫星i的观测值噪声标准差, E_s 表示卫星s的高度角;

[0044] 最后,所述观测值随机噪声矩阵 R_k 为

$$[0045] \quad R_k = \begin{pmatrix} R_{P,k} & & & \\ & R_{D,k} & & \\ & & R_{L,k} & \\ & & & \end{pmatrix}, R_{P,k} = \begin{pmatrix} \sigma_{1,P}^2 & & & \\ & \ddots & & \\ & & \ddots & \\ & & & \sigma_{n,P}^2 \end{pmatrix}, R_{D,k} = \begin{pmatrix} 2\sigma_{1,D}^2 & & & \\ & \ddots & & \\ & & \ddots & \\ & & & 2\sigma_{n,D}^2 \end{pmatrix}, R_{L,k} = \begin{pmatrix} 2\sigma_{1,L}^2 & & & \\ & \ddots & & \\ & & \ddots & \\ & & & 2\sigma_{n,L}^2 \end{pmatrix}$$

[0046] 其中,k为观测历元, $R_{P,k}$, $R_{D,k}$, $R_{L,k}$ 分别为伪距、多普勒、相位观测值的随机噪声矩阵。所述观测值随机噪声矩阵就是所述观测值随机噪声模型。本发明中的基于2个低成本的双频卫星导航接收机,可通过零基线解算实现周围环境对GNSS观测值质量影响(观测值随机噪声)的实时评估,建立更加可靠的观测值随机噪声模型 R_k 。

[0047] 步骤330,基于一个卫星导航接收机的卫星导航数据中的观测值和从所述导航服务器获取的改正数计算单差观测值,基于计算得到的单差观测值和所述观测值随机噪声矩阵进行抗差自适应滤波迭代估计自适应抗差参数向量,所述自适应抗差参数向量包括位置、速度、接收机钟差和浮点模糊度。

[0048] 具体的,根据公式(10)计算自适应抗差参数向量 \hat{x}_k :

$$[0049] \quad \hat{x}_k = (H_k^T \bar{P}_k H_k + a_k \bar{P}_{\bar{x}_k}) (H_k^T \bar{P}_k L_k + a_k \bar{P}_{\bar{x}_k} \bar{x}_k) \quad (10)$$

[0050] 其中 \hat{x}_k 为自适应抗差参数向量,其中包含位置,速度,接收机钟差以及模糊度等参数, H_k 为观测值设计矩阵, L_k 为观测值向量, $\bar{P}_k = \bar{R}_k^{-1}$ 为观测量的等价权矩阵; \bar{x}_k 为预测状态向量, $\bar{P}_{\bar{x}_k}$ 为预测状态向量的权矩阵; $0 \leq a_k \leq 1$ 为自适应因子。

[0051] 步骤340,基于估计得到的自适应抗差参数向量中的浮点模糊度搜索并固定整周模糊度,基于固定的模糊度重新解算所述自适应抗差参数向量 \hat{x}_k 。

[0052] 具体的,所述基于估计得到的自适应抗差参数向量中的浮点模糊度搜索并固定整周模糊度包括:

[0053] 将估计得到的自适应抗差参数向量中的浮点模糊度以及其协方差矩阵代入,使用LAMBDA方法搜索整周模糊度并验证是否通过检测,如通过模糊度检测,继续通过双频组合相位观测值、模糊固定残差值检验模糊度是否固定正确,剔除固定错误的模糊度。

[0054] 基于重新解算的所述自适应抗差参数向量 \hat{x}_k 中的位置、速度可以实现定位和导航,至此本发明中的导航方法300已经可以实现RTK导航定位。

[0055] 如背景中所述的,为了更精准的评估所述导航方法300的完好性。本发明中的所述导航方法300还包括如下步骤。

[0056] 步骤350、利用计算得到的观测值随机噪声矩阵、抗差自适应滤波过程中计算得到的观测值向量计算当前历元观测值残差。

[0057] 具体的,当前历元观测值残差 r_k 为:

$$[0058] \quad r_k = C_r R_k^{-1} L_k \quad (11)$$

[0059] 其中, $C_{r,k} = R_k - H_k (H_k^{-1} R^{-1} H_k)^{-1} H_k^{-1}$ 为观测值残差的方差, L_k 为观测值向量;

[0060] 步骤360、根据引入粗差后的当前历元观测值残差的分布计算不同参数的非中心性参数,所述不同参数包括位置和速度。

[0061] 具体的,假设观测值中存在一个粗差 ∇ ,则(11)中 L_k 的改写为:

$$[0062] \quad r_k = H_k \hat{x}_k + M \nabla - L_k \quad (12)$$

$$[0063] \quad M_i = [0 \quad \cdots \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0] \quad (13)$$

[0064] 不考虑引入粗差,假设 r_k 是无偏 $r_k \sim N(0, C_r)$, M 为粗差与观测值的投影函数,残差 r_k 由于粗差存在引入的偏差为 Δr_k ,结合公式(11)可得引入粗差之后的残差分布为:

$$[0065] \quad \Delta r_k \sim N(C_r R_k^{-1} M_i \nabla_i, C_r) \quad (14)$$

[0066] 经过标准化后第 i 个观测值残差引入偏差服从正态分布如下:

$$[0067] \quad \frac{\Delta r_i}{\sqrt{(C_r)_{ii}}} \sim N\left(\frac{\sqrt{(C_r)_{ii}}}{(R)_{ii}} \nabla_i, 1\right) \quad (15)$$

[0068] 其中观测值残差均值 $\frac{\sqrt{(C_r)_{ii}}}{(R)_{ii}} \nabla_i$ 被称为中心性参数,表示正态分布的标准化残差

平移值,如下图4所示的,图4中 $\alpha/2$ 所指区域统称表示发生I类错误的区域(即错误地拒绝零假设),发生概率为 α , β 所指区域表示发生II类错误(即错误地接受零假设),发生概率为 β 。这样,非中心性参数 δ_0 近似为:

$$[0069] \quad \delta_0 = N_{1-\alpha/2} + N_{1-\beta} \quad (16)$$

[0070] 其中 $N_{1-\alpha/2}$ 为I类错误的分位置, $N_{1-\beta}$ 为发生II类错误的分位置,给定一个置信区间得到两类错误的分位置,进而计算不同参数的非中心性参数。

[0071] 步骤370、基于不同参数的非中心性参数,在当前置信区间下计算得到最小可探测粗差。

[0072] 具体的,基于不同参数的非中心性参数,在当前置信区间下根据公式(17)计算得到最小可探测粗差 ∇_{MDB_i} 为:

$$[0073] \quad \nabla_{MDB_i} = \frac{(R)_{ii}}{\sqrt{(C_r)_{ii}}} \delta_0 \quad (17)$$

[0074] 步骤380、基于最小可探测粗差计算所述自适应抗差参数向量中各参数的保护级别。

[0075] 具体的,基于最小可探测粗差根据公式(18)计算计算所述自适应抗差参数向量中各参数的保护级别 $\Delta \hat{x}_k$:

$$[0076] \quad \Delta \hat{x}_k = (H_k^T \bar{R}_k^{-1} H_k)^{-1} H_k^T \bar{R}_k^{-1} \nabla_{MDB_i} \quad (18)$$

[0077] $\Delta \hat{x}_k$ 包含位置、速度、接收机钟差以及模糊度的保护级别。 $\Delta \hat{x}_k$ 反映出在现有的滤波

当中无法探测出的粗差(最大的残差值)对各个参数的影响。

[0078] 步骤390、根据计算得到的各个参数的保护级别与预设报警限值进行比较,当各个参数的保护级别小于预设报警限值时,认可所述自适应抗差参数向量中的定位结果,否则,不认可所述自适应抗差参数向量中的定位结果,对用户发出报警。

[0079] 本发明通过GNSS双卫星导航接收机实现实时导航卫星观测数据随机噪声模型精化,在提高RTK定位结果精度的同时,通过双频组合相位观测值计算的残差以及优化的随机噪声模型计算更加精确的位置保护级别,从而提高完好性系统的准确性和可靠性。

[0080] 下面详细介绍自适应抗差卡尔曼滤波。

[0081] 抗差卡尔曼滤波是在标准卡尔曼滤波的基础上发展而来,着力于滤波估计的实际抗干扰性和可靠性,并且可以对应调整观测信息的权重,比较适合复杂动态环境下的定位解算。卡尔曼滤波状态模型和观测模型的误差方程如下:

$$[0082] \quad V_{\hat{x}_{k,k-1}} = \hat{X}_k - \hat{X}_{k,k-1} = \hat{X}_k - \Phi_{k,k-1} \hat{X}_{k-1} \quad (19)$$

$$[0083] \quad V_k = H_k \hat{X}_k - L_k \quad (20)$$

[0084] 上式中, $V_{\hat{x}_{k,k-1}}$, V_k 分别表示状态预测残差和观测残差,为了控制观测异常对滤波估计的影响,构造如下极值方程:

$$[0085] \quad \Omega = V_k^T \bar{P}_k V_k + a_k (\hat{x}_k - \bar{x}_k) \bar{P}_{\bar{x}_k} (\hat{x}_k - \bar{x}_k) = \min \quad (21)$$

[0086] 对状态参数向量求极值,可得抗差自适应滤波解为:

$$[0087] \quad \hat{x}_k = (H_k^T \bar{P}_k H_k + a_k \bar{P}_{\bar{x}_k})^{-1} (H_k^T \bar{P}_k L_k + a_k \bar{P}_{\bar{x}_k} \bar{x}_k) \quad (22)$$

[0088] 式中, $\bar{P}_k = \bar{R}_k^{-1}$ 为观测量的等价权矩阵; R_k 为步骤7计计算得到的导航卫星观测值随机噪声矩阵, $\bar{P}_{\bar{x}_k}$ 为预测状态向量的权矩阵; $0 \leq a_k \leq 1$ 为自适应因子。从上式可以看出,当观测量 L_k 中含有粗差观测量,通过等价权矩阵 \bar{P}_k 或等价协方差矩阵 \bar{R}_k 可以控制含有粗差的观测量对状态参数估值的影响;当状态预测信息存在异常,通过自适应因子 a_k 可以控制预测状态信息对状态参数估值的影响。因此,等价协方差矩阵 \bar{R}_k 和自适应因子 a_k 的构建是实现抗差自适应滤波的关键。

[0089] 在抗差自适应滤波中,通常对含有粗差的异常观测量进行降权处理,采用的等价协方差矩阵为:

$$[0090] \quad \bar{R}_k = R_k \cdot \bar{P} \quad (23)$$

[0091] 式中, \bar{P} 为对角矩阵,其对角线上元素 p_i 可由IGG-III三段权函数模型来确定,即

$$[0092] \quad p_i = \begin{cases} 1 & |\bar{v}_i| \leq k_0 \\ \frac{|\bar{v}_i|}{k_0} \left(\frac{k_1 - k_0}{k_1 - |\bar{v}_i|} \right)^2 & k_0 \leq |\bar{v}_i| \leq k_1 \\ \infty & |\bar{v}_i| \geq k_1 \end{cases} \quad (24)$$

[0093] 式中, k_0 和 k_1 为检验阈值,一般取值为 $k_0 = 1.0 \sim 2.5$, $k_1 = 3.5 \sim 8.0$; \bar{v}_i 为标准化残差,其计算方法为:

$$[0094] \quad \bar{v}_i = \frac{v_i}{\sigma_{v_i}}, \quad \sigma_{v_i} = \frac{\hat{\sigma}_0}{\sqrt{R_i^{-1}}}, \quad \hat{\sigma}_0^2 = \frac{(v^T R^{-1} v + v_{\bar{x}}^T)}{n} = \frac{\xi^T Q_{\xi}^T \xi}{n} \quad (25)$$

[0095] 式中, v_i 为观测残差; R_i 为第 i 个观测量的噪声方差; $\hat{\sigma}_0^2$ 为单位权方差因子的估值。

[0096] 对于自适应因子 a_k , 通常基于状态不符值统计量的三段函数来进行构造, 即:

$$[0097] \quad a_{x_i} = \begin{cases} 1 & |\Delta \tilde{X}_k| \leq c_0 \\ \frac{c_0}{|\Delta \tilde{X}_k|} \left(\frac{c_1 - |\Delta \tilde{X}_k|}{c_1 - c_0} \right)^2 & c_0 < |\Delta \tilde{X}_k| \leq c_1 \\ 0 & |\Delta \tilde{X}_k| > c_1 \end{cases} \quad (26)$$

[0098] 式中, c_0 和 c_1 为检测阈值, 一般取值为 $c_0 = 1.0 \sim 1.5$, $c_1 = 3.0 \sim 8.5$; $\Delta \tilde{X}_k$ 为状态不符统计量, 其计算公式为:

$$[0099] \quad \Delta \tilde{X}_k = \frac{\|\tilde{x}_k - \bar{x}_k\|}{\sqrt{\text{tr}(\Sigma_{\tilde{x}_k})}} = \sqrt{\frac{\Delta \tilde{x}_k^T \Delta \tilde{x}_k}{\text{tr}(\Sigma_{\tilde{x}_k})}} \quad (27)$$

[0100] 式中, $\|\cdot\|$ 表示模运算; tr 表示迹运算; \bar{x}_k 表示预测状态; \tilde{x}_k 是根据当前历元观测信息通过最小二乘求解, 即:

$$[0101] \quad \tilde{x}_k = (H_k^T \bar{R}_k^{-1} H_k)^{-1} H_k^T \bar{R}_k^{-1} L_k \quad (28)$$

[0102] 在执行抗差自适应滤波时, 首先对载体的运动模型信息进行诊断, 如果检测到运动模型存在异常, 则根据式三段函数公式构建自适应因子 a_k 对预测状态协方差矩阵进行调节; 然后对载体的观测信息进行诊断, 如果检测到某观测量中存在粗差, 则根据 IGG-III 三段权函数模型构建权值缩放因子来对观测量的权值进行调节。

[0103] 在本文中, 术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含, 除了包含所列的那些要素, 而且还可包含没有明确列出的其他要素。

[0104] 在本文中, 所涉及的前、后、上、下等方位词是以附图中零部件位于图中以及零部件相互之间的位置来定义的, 只是为了表达技术方案的清楚及方便。应当理解, 所述方位词的使用不应限制本申请请求保护的范围。

[0105] 在不冲突的情况下, 本文中上述实施例及实施例中的特征可以相互结合。

[0106] 以上所述仅为本发明的较佳实施例, 并不用以限制本发明, 凡在本发明的精神和原则之内, 所作的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

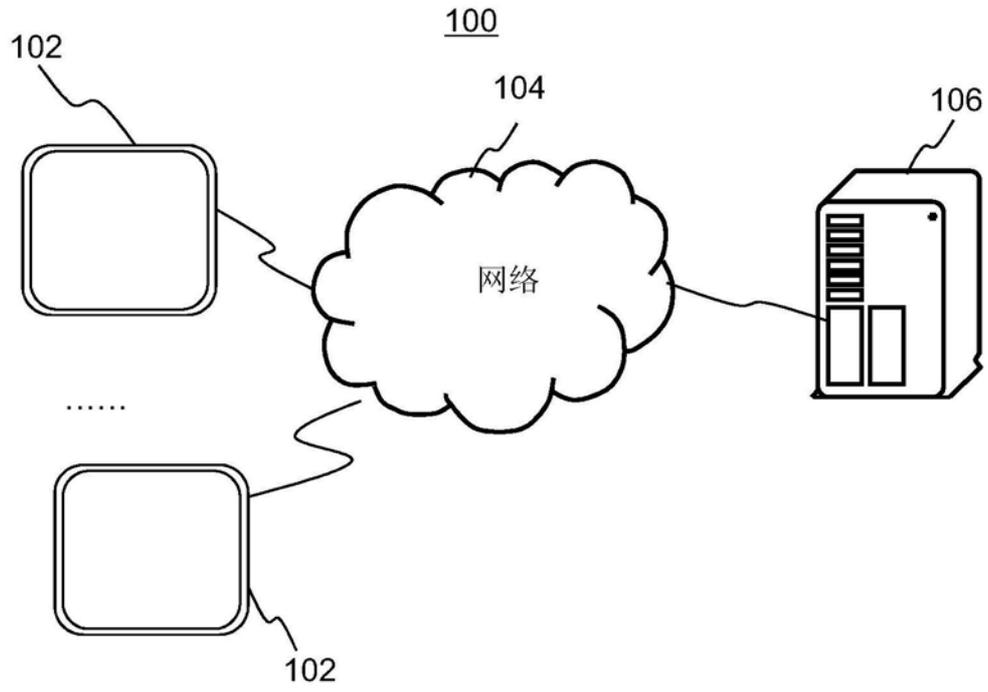


图1

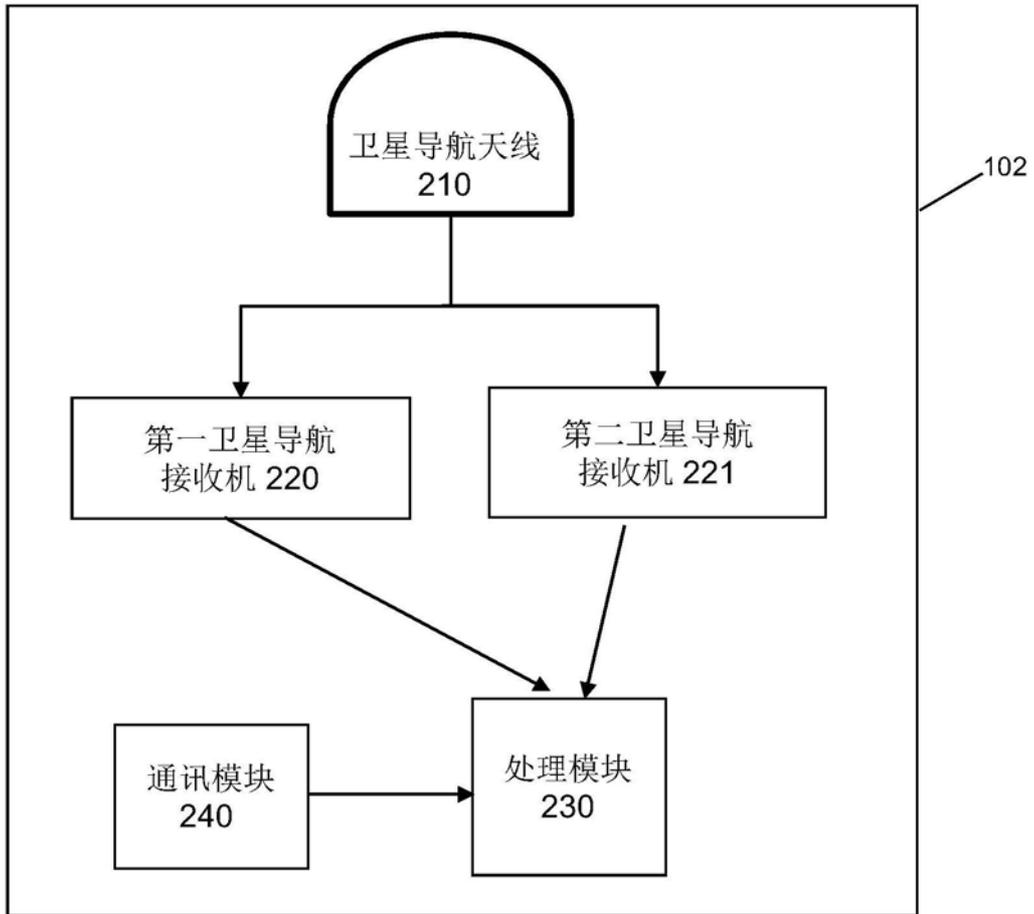


图2

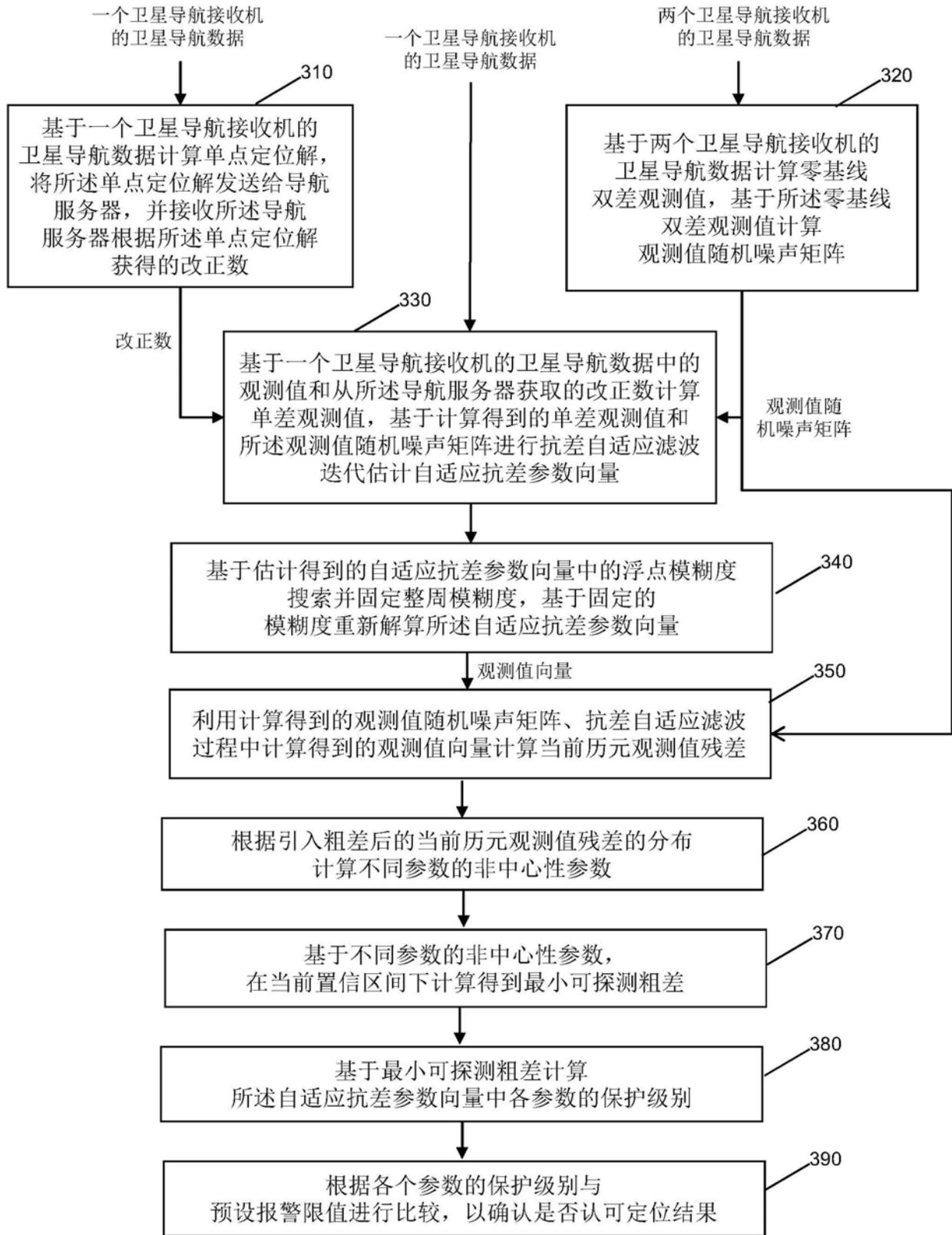


图3

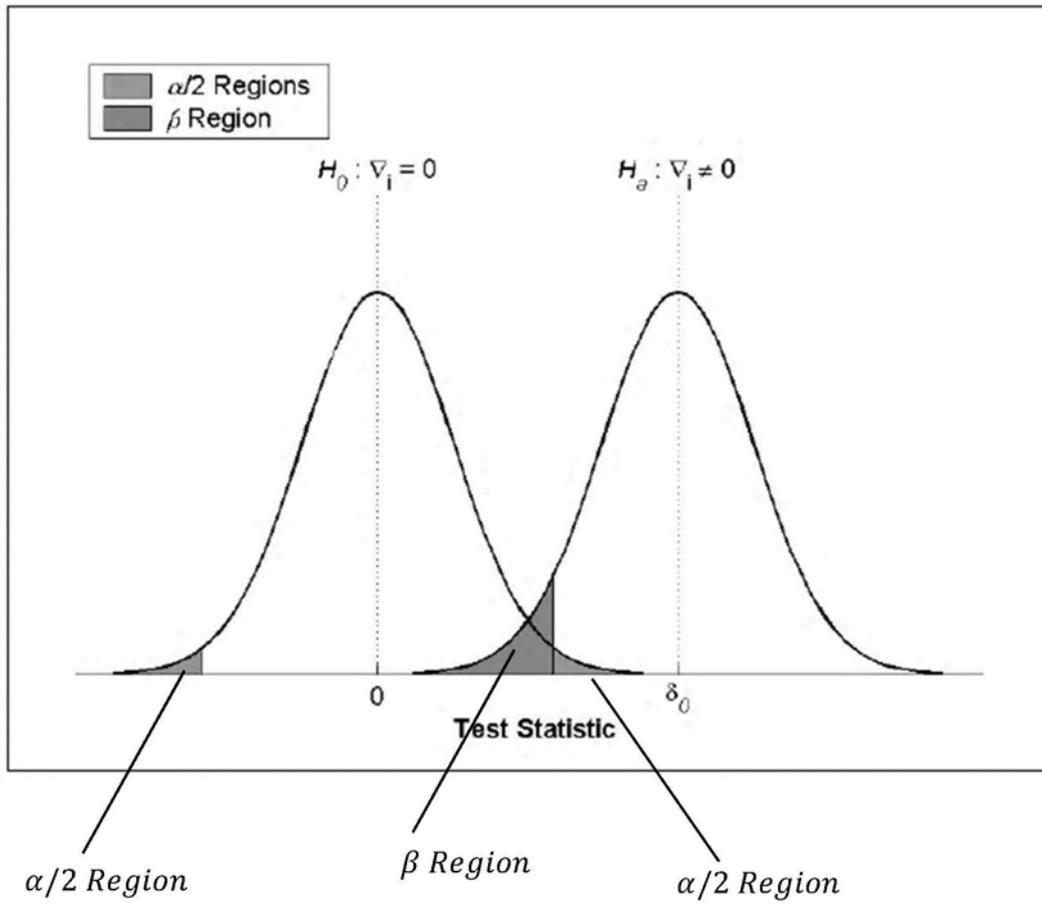


图4