



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109765589 B

(45) 授权公告日 2022. 12. 02

(21) 申请号 201910131040.2

CN 102650692 A, 2012.08.29

(22) 申请日 2019.02.21

CN 109358350 A, 2019.02.19

(65) 同一申请的已公布的文献号

WO 2006108227 A1, 2006.10.19

申请公布号 CN 109765589 A

CN 106772512 A, 2017.05.31

US 2006164297 A1, 2006.07.27

(43) 申请公布日 2019.05.17

Fuxin Yang, et al. Ionosphere-

(73) 专利权人 哈尔滨工程大学

Constrained Triple-Frequency Cycle Slip Fixing Method for the Rapid Re-Initialization of PPP.《sensors》.2018,

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街145号哈尔滨工程大学科技处知识产权办公室

Qile Zhao, et al. Real-time detection and repair of cycle slips in triple-frequency GNSS measurements.《GPS Solut》.2014,

(72) 发明人 杨福鑫 李亮 赵琳 程建华 贾春

高杰等.一种改进的基于BDS三频非差观测的周跳实时探测与修复模型.《测绘工程》.2016, 李慧等.基于贝叶斯压缩感知的周跳探测与修复方法.《物理学报》.2016,

(51) Int. Cl.

G01S 19/41 (2010.01)

G01S 19/44 (2010.01)

审查员 吕玉婷

(56) 对比文件

CN 107132558 A, 2017.09.05

CN 107607966 A, 2018.01.19

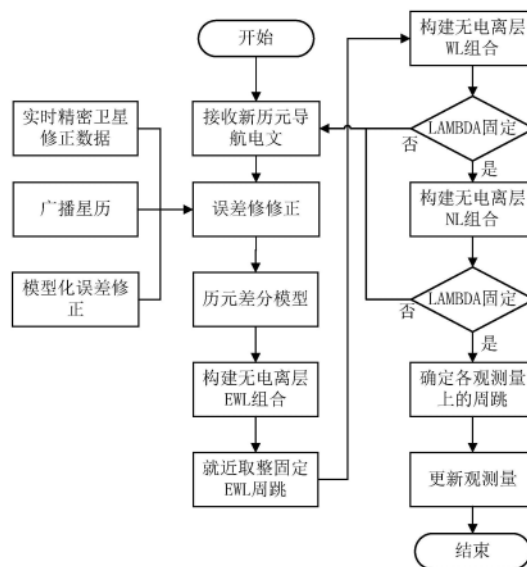
权利要求书3页 说明书9页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定技术

(57) 摘要

本发明属于卫星导航定位技术研究领域,具体涉及一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定技术,包括以下步骤:接收广播星历电文、实时精密卫星修正电文和导航电文并解析;根据实时精密卫星轨道和钟差的修正量及主要误差的模型化修正,提高伪距和载波相位观测量的测距精度;在第k-1和第k个历元间进行原始观测量差分;构建无电离层EWL组合;基于固定的超宽项周跳,构建无电离层WL组合;基于固定的超宽项和宽巷周跳,构建无电离层NL组合;本发明简化了传统多频组合周跳探测和修复的步骤,提高了计算效率以及周跳在电离层扰动情况下的固定成功率。



1. 一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 实时接收广播星历电文、实时精密卫星修正电文和导航电文并解析;

(2) 根据实时精密卫星轨道和钟差的修正量及主要误差的模型化修正,提高伪距和载波相位观测量的测距精度;

(3) 在第k-1和第k个历元间进行原始观测量差分;

(4) 构建无电离层EWL组合;

(5) 基于固定的EWL周跳,构建无电离层WL组合;

(6) 基于固定的EWL和WL周跳,构建无电离层NL组合;所述无电离层NL组合具体包括:

$$\begin{cases} \Delta \hat{L}_{NL1}^j = \Delta L_{NL1}^j - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \frac{c}{f_2} \Delta \hat{N}_{WL}^j = \Delta \bar{\rho}^j + \frac{c}{f_1 + f_2} \Delta N_{NL}^j + \Delta \xi_{\hat{L}_{NL1}}^j \\ \Delta \hat{L}_{NL2}^j = \Delta L_{NL2}^j - \frac{f_3^2}{f_1^2 - f_3^2} \cdot \frac{c}{f_3} (\Delta \hat{N}_{WL}^j + \Delta \hat{N}_{EWL}^j) = \Delta \bar{\rho}^j + \frac{c}{f_1 + f_3} \Delta N_{NL}^j + \Delta \xi_{\hat{L}_{NL2}}^j \end{cases}$$

式中, ΔL_{NL1}^j 和 ΔL_{NL2}^j 分别为 f_1 、 f_2 和 f_1 、 f_3 的历元间无电离层窄巷载波相位组合; f_1 、 f_2 和 f_3 分别代表1频、2频和3频对应的频率; $\Delta \xi_{\hat{L}_{NL1}}^j$ 和 $\Delta \xi_{\hat{L}_{NL2}}^j$ 分别表示在无电离层NL组合的 $\Delta \hat{L}_{NL1}^j$ 和 $\Delta \hat{L}_{NL2}^j$ 载波相位观测量噪声; c 为光速; j 表示卫星号; $\bar{\rho}$ 为修正后站星距离; $\Delta \hat{N}_{WL}^j$ 为卫星号为 j 的固定后的WL周跳; $\Delta \hat{N}_{EWL}^j$ 为卫星号为 j 的固定后的EWL周跳; Δ 表示相邻历元的差值;

(7) 如果步骤(5)或步骤(6)固定周跳失败,则等待到下一历元,进行多历元累积,直到步骤(5)和步骤(6)固定成功为止;

(8) 利用EWL、WL和NL周跳的线性关系计算各原始观测量中的周跳值。

2. 根据权利要求1所述的一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定方法,其特征在于,所述实时接收广播星历电文、实时精密卫星修正电文和导航电文并解析,包括:

接收卫星的个数为 n , 且接收卫星的个数满足如下条件:

$$n > 3 + \text{sys}$$

其中, sys 表示系统个数。

3. 根据权利要求1所述的一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定方法,其特征在于,所述在第k-1和第k个历元间进行原始观测量差分,包括:

历元差分的伪距及载波相位观测量为:

$$\Delta P_g^j = \Delta \bar{\rho}^j + \gamma_g \cdot \Delta I_1^j + \Delta \varepsilon_g$$

$$\Delta L_g^j = \Delta \bar{\rho}^j - \gamma_g \cdot \Delta I_1^j + \lambda_g \cdot \Delta N_g^j + \Delta \xi_g$$

其中, Δ 表示相邻历元的差值, P 和 L 分别表示伪距和载波相位观测量, j 表示卫星号, g 的取值为1, 2, 3, 表示频段 f 的编号; $\bar{\rho}$ 为修正后的站星距离, I_1 表示在 f_1 频段上的电离层延迟, $\gamma_g = f_1^2 / f_g^2$ 为电离层系数, λ_g 表示在 f_g 频段上的载波相位波长, ε_g 和 ξ_g 分别表示在 f_g 频段上的伪距和载波相位观测量噪声。

4. 根据权利要求3所述的一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定方法,其特征在于,所述构建无电离层EWL组合,包括:

$$\Delta L_{EWL}^j = \frac{f_2 \cdot \Delta L_2^j - f_3 \cdot \Delta L_3^j}{f_2 - f_3} - \frac{f_2 \cdot \Delta P_2^j + f_3 \cdot \Delta P_3^j}{f_2 + f_3}$$

其中, Δ 表示相邻历元的差值, L_{EWL}^j 为无电离层EWL载波相位观测量组合;

通过就近取整方法实现EWL周跳的固定, EWL周跳表示为:

$$\Delta \hat{N}_{EWL} = \Delta \hat{N}_2 - \Delta \hat{N}_3;$$

EWL周跳的浮点解为:

$$\Delta N_{EWL}^j = \Delta L_{EWL}^j / \lambda_{EWL}$$

其中, $\lambda_{EWL} = c / (f_2 - f_3)$ 为EWL周跳组合的波长, c 为光速;

采用就近取整的方式完成EWL周跳的固定:

$$\Delta \hat{N}_{EWL}^j = \text{round}(\Delta N_{EWL}^j)$$

其中, round表示就近取整; Δ 表示相邻历元的差值。

5. 根据权利要求4所述的一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定方法,其特征在于,所述基于固定的EWL周跳,构建无电离层WL组合,包括:

$$\begin{cases} \Delta P_{IF}^j = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \Delta P_1^j - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \Delta P_2^j \\ \Delta L_{WL}^j = \frac{f_1}{f_1 - f_3} \cdot \frac{f_1 \cdot \Delta L_1^j - f_2 \cdot \Delta L_2^j}{f_1 - f_2} - \frac{f_3}{f_1 - f_3} \cdot \frac{f_2 \cdot \Delta L_2^j - f_3 \cdot \Delta L_3^j}{f_2 - f_3} \end{cases}$$

其中, Δ 表示相邻历元的差值, P_{IF}^j 为无电离层伪距观测量组合, L_{WL}^j 为无电离层WL载波相位组合;

由最小二乘输出的协方差矩阵和WL模糊度的浮点解,通过LAMBDA算法进行WL模糊度的固定, WL周跳表示为:

$$\Delta \hat{N}_{WL} = \Delta \hat{N}_1 - \Delta \hat{N}_2$$

结合EWL周跳和无电离层WL组合得:

$$\begin{cases} \Delta P_{IF}^j = \Delta \bar{\rho}^j + \Delta \varepsilon_{P_{IF}}^j \\ \Delta \hat{L}_{WL}^j = \Delta L_{WL}^j + \frac{f_3}{f_1 - f_3} \cdot \frac{c}{f_2 - f_3} \cdot \Delta \hat{N}_{EWL}^j = \Delta \bar{\rho}^j + \frac{f_1}{f_1 - f_3} \cdot \frac{c}{f_1 - f_2} \Delta N_{WL}^j + \Delta \xi_{\hat{L}_{WL}}^j \end{cases}$$

联立 n 卫星的观测量, 进行加权最小二乘求解, 获得状态信息为: $X = (\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta dt, \Delta N_{WL}^1, \Delta N_{WL}^2, \dots, \Delta N_{WL}^n)$ 及其协方差矩阵, 其中 $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ 为三维位置变化量, Δdt 为接收机钟差变化量, $(\Delta N_{WL}^1, \Delta N_{WL}^2, \dots, \Delta N_{WL}^n)$ 为WL周跳浮点解;

通过WL周跳浮点解及其方差协方差阵采用LAMBDA的方法进行固定, 采用比率检验的方法检验最优解;

其中, Δ 表示相邻历元的差值; c 为光速; $\varepsilon_{P_{IF}}$ 和 $\xi_{L_{WL}}^j$ 分别表示在无电离层WL组合的伪距和载波相位观测量噪声。

6. 根据权利要求5所述的一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定方法, 其特征在于, 构建无电离层NL组合时, 包括:

$$\begin{cases} \Delta L_{NL1}^j = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \Delta L_1^j - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \Delta L_2^j \\ \Delta L_{NL2}^j = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_3^2} \cdot \Delta L_1^j - \frac{f_3^2}{f_1^2 - f_3^2} \cdot \Delta L_3^j \end{cases}$$

其中, Δ 表示相邻历元的差值; L_{NL1}^j 和 L_{NL2}^j 分别为 f_1 、 f_2 和 f_1 、 f_3 的无电离层窄巷载波相位组合。

7. 根据权利要求6所述的一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定方法, 其特征在于, 所述利用EWL、WL和NL周跳的线性关系计算各原始观测量中的周跳值, 包括:

$$\begin{cases} \Delta \hat{N}_1^j = \Delta \hat{N}_{NL}^j \\ \Delta \hat{N}_2^j = \Delta \hat{N}_{NL}^j - \Delta \hat{N}_{WL}^j \\ \Delta \hat{N}_3^j = \Delta \hat{N}_{NL}^j - \Delta \hat{N}_{WL}^j - \Delta \hat{N}_{EWL}^j \end{cases}。$$

一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定技术

技术领域

[0001] 本发明属于卫星导航定位技术研究领域,具体涉及一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定技术。

背景技术

[0002] 随着全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System,GNSS)现代化的发展,提供实时高精度的定位服务是GNSS未来发展的主要方向。载波相位观测量对于高精度GNSS定位至关重要,例如实时动态(Real-time Kinematic,RTK)差分定位技术和精密单点定位(Precise Point Positioning,PPP)技术,因为它的量测精度可达mm级。在实际应用中,由于信号失锁等原因而导致的载波相位观测量中出现整周模糊度不连续(即周跳)的现象,该现象可造成PPP定位精度以及RTK模糊度固定收敛时间的增加,进而降低高精度GNSS定位的性能。因此,周跳的探测与修复对于基于载波相位的高精度GNSS定位技术至关重要。

[0003] 电离层延迟的处理是实现周跳探测与修复的关键因素之一,特别是在电离层闪烁或低采样率情况下。目前,在周跳探测与修复方法中电离层抑制的手段包括:(1)引入外部修正信息,但受限于电离层模型精度,导致周跳探测与修复的可靠性降低,同时引入了通信的负担。(2)将电离层延迟作为参数待估项,但该方法通常需要几分钟的时间才能获取到相对准确的电离层延迟误差,难以满足实时性的要求。(3)引入差分技术,但电离层闪烁将导致电离层延迟项的弱相关性,使得电离层修正后的残差较大。(4)随着GNSS现代化的发展,三频及以上信号的播发为多频观测量组合的电离层抑制周跳探测与修复方法提供了便利,但现有的多频观测量组合方法通常假设在高采样率下历元间的电离层延迟可以忽略,而随着历元间隔的增加,势必降低周跳探测与修复的可靠性。综上所述,设计一种新型可解决电离层扰动的三频周跳探测与修复技术具有相当的迫切性。

发明内容

[0004] 为解决上述问题,本发明提供了一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定方法,本方法同时采用实时精密卫星轨道及钟差修正信息、广播星历信息以及模型化修正的方法对原始伪距和载波相位观测量中的主要误差源进行修正。在此基础上将修正后的三频原始观测量进行历元差分,完成无电离层超宽巷(Extra-wide Lane,EWL)、宽巷(Wide Lane,WL)以及窄巷(Narrow Lane,NL)组合的构建,并通过EWL、WL和NL周跳的线性关系,最终实现原始观测量中周跳的确定。

[0005] 一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定技术,包括以下步骤:

[0006] (1) 实时接收广播星历电文、实时精密卫星修正电文和导航电文并解析;

[0007] (2) 根据实时精密卫星轨道和钟差的修正量及主要误差的模型化修正,提高伪距和载波相位观测量的测距精度;

[0008] (3) 在第k-1和第k个历元间进行原始观测量差分;

[0009] (4) 构建无电离层EWL组合;

- [0010] (5) 基于固定的超宽项周跳,构建无电离层WL组合;
- [0011] (6) 基于固定的超宽项和宽巷周跳,构建无电离层NL组合;
- [0012] (7) 如果步骤(5)或步骤(6)固定周跳失败,则等待到下一历元,进行多历元累积,直到步骤(5)和步骤(6)固定成功为止;

[0013] (8) 利用EWL、WL和NL周跳的线性关系计算各原始观测量中的周跳值。

[0014] 所述实时接收广播星历电文、实时精密卫星修正电文和导航电文并解析,包括:

[0015] 接收卫星的个数为n,且接收卫星的个数满足如下条件:

$$[0016] \quad n > 3 + \text{sys}$$

[0017] 其中,sys表示系统个数。

[0018] 所述在第k-1和第k个历元间进行原始观测量差分,包括:

[0019] 历元差分的伪距及载波相位观测量为:

$$[0020] \quad \Delta P_g^j = \Delta \bar{\rho}^j + \gamma_g \cdot \Delta I_1^j + \Delta \varepsilon_g$$

$$[0021] \quad \Delta L_g^j = \Delta \bar{\rho}^j - \gamma_g \cdot \Delta I_1^j + \lambda_g \cdot \Delta N_g^j + \Delta \xi_g$$

[0022] 其中, Δ 表示相邻历元的差值,P和L分别表示伪距和载波相位观测量,j表示卫星号,g表示频率,g的取值为1,2,3, $\bar{\rho}$ 为修正后站星距离, I_1 表示在 f_1 频段上的电离层延迟, $\gamma_g = f_1^2 / f_g^2$ 为电离层系数, λ_g 表示在 f_g 频段上的载波相位波长, ε_g 和 ξ_g 分别表示在 f_g 频段上的伪距和载波相位观测量噪声。

[0023] 所述构建无电离层EWL组合,包括:

$$[0024] \quad \Delta L_{EWL}^j = \frac{f_2 \cdot \Delta L_2^j - f_3 \cdot \Delta L_3^j}{f_2 - f_3} - \frac{f_2 \cdot \Delta P_2^j + f_3 \cdot \Delta P_3^j}{f_2 + f_3}$$

[0025] 其中, L_{EWL}^j 为无电离层超宽巷载波相位观测量组合;

[0026] 通过就近取整方法实现超宽巷周跳的固定,超宽项周跳表示为:

$$[0027] \quad \Delta \hat{N}_{EWL} = \Delta \hat{N}_2 - \Delta \hat{N}_3;$$

[0028] EWL周跳的浮点解为:

$$[0029] \quad \Delta N_{EWL}^j = \Delta L_{EWL}^j / \lambda_{EWL}$$

[0030] 其中, $\lambda_{EWL} = c / (f_2 - f_3)$ 为超宽巷周跳组合的波长,c为光速;

[0031] 采用就近取整的方式完成超宽巷周跳的固定:

$$[0032] \quad \Delta \hat{N}_{EWL}^j = \text{round}(\Delta N_{EWL}^j)$$

[0033] 其中,round表示就近取整。

[0034] 所述基于固定的超宽项周跳,构建无电离层WL组合,包括:

$$[0035] \quad \begin{cases} \Delta P_{IF}^j = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \Delta P_1^j - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \Delta P_2^j \\ \Delta L_{WL}^j = \frac{f_1}{f_1 - f_3} \cdot \frac{f_1 \cdot \Delta L_1^j - f_2 \cdot \Delta L_2^j}{f_1 - f_2} - \frac{f_3}{f_1 - f_3} \cdot \frac{f_2 \cdot \Delta L_2^j - f_3 \cdot \Delta L_3^j}{f_2 - f_3} \end{cases}$$

[0036] 其中, P_{IF}^j 为无电离层伪距观测量组合, L_{WL}^j 为无电离层宽巷载波相位组合;

[0037] 由最小二乘输出的协方差矩阵和宽巷模糊度的浮点解,通过LAMBDA算法进行宽巷模糊度的固定,宽项周跳表示为:

$$[0038] \quad \Delta \hat{N}_{WL} = \Delta \hat{N}_1 - \Delta \hat{N}_2$$

[0039] 结合超宽项周跳和无电离层EWL组合得:

$$[0040] \quad \begin{cases} \Delta P_{IF}^j = \Delta \bar{\rho}^j + \Delta \varepsilon_{P_{IF}}^j \\ \Delta \hat{L}_{WL}^j = \Delta L_{WL}^j + \frac{f_3}{f_1 - f_3} \cdot \frac{c}{f_2 - f_3} \cdot \Delta \hat{N}_{EWL}^j = \Delta \bar{\rho}^j + \frac{f_1}{f_1 - f_3} \cdot \frac{c}{f_1 - f_2} \cdot \Delta N_{WL}^j + \Delta \xi_{\hat{L}_{WL}}^j \end{cases}$$

[0041] 其中, $\varepsilon_{P_{IF}}^j$ 和 $\xi_{\hat{L}_{WL}}^j$ 分别表示在无电离层WL组合的伪距和载波相位观测量噪声;

[0042] 联立 n 卫星的观测量,进行加权最小二乘求解,获得状态信息为:

$X = (\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta dt, \Delta N_{WL}^1, \Delta N_{WL}^2, \dots, \Delta N_{WL}^n)$ 及其协方差矩阵,其中 $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ 为三维位置变化量, Δdt 为接收机钟差变化量, $(\Delta N_{WL}^1, \Delta N_{WL}^2, \dots, \Delta N_{WL}^n)$ 为宽巷周跳浮点解;

[0043] 通过宽巷周跳浮点解及其方差协方差阵采用LAMBDA的方法进行固定,采用比率检验的方法检验最优解。

[0044] 所述基于固定的超宽项和宽巷周跳,构建无电离层NL组合,包括:

$$[0045] \quad \begin{cases} \Delta L_{NL1}^j = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \Delta L_1^j - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \Delta L_2^j \\ \Delta L_{NL2}^j = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_3^2} \cdot \Delta L_1^j - \frac{f_3^2}{f_1^2 - f_3^2} \cdot \Delta L_3^j \end{cases}$$

[0046] 其中, L_{NL1}^j 和 L_{NL2}^j 分别为 f_1, f_2 和 f_1, f_3 的无电离层窄巷载波相位组合。

[0047] 所述利用EWL、WL和NL周跳的线性关系计算各原始观测量中的周跳值,包括:

$$[0048] \quad \begin{cases} \Delta \hat{N}_1^j = \Delta \hat{N}_{NL}^j \\ \Delta \hat{N}_2^j = \Delta \hat{N}_{NL}^j - \Delta \hat{N}_{WL}^j \\ \Delta \hat{N}_3^j = \Delta \hat{N}_{NL}^j - \Delta \hat{N}_{WL}^j - \Delta \hat{N}_{EWL}^j \end{cases}。$$

[0049] 本发明的有益效果在于:

[0050] 针对传统周跳探测和修复方法在电离层扰动情况下成功率不高的问题,本发明充分利用多频观测量组合的优势,构建了无电离层EWL、WL以及NL组合,并利用不同观测量组

合下的周跳间线性关系,逐次完成无电离层EWL、WL以及NL组合的周跳固定,即满足了在周跳固定过程中对电离层的抑制。本发明所提出的基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定方法,简化了传统多频组合周跳探测和修复的步骤,提高了计算效率以及周跳在电离层扰动情况下的固定成功率。

附图说明

[0051] 图1是本发明的工作流程图;

具体实施方式

[0052] 下面结合附图对本发明做进一步描述。

[0053] 实施例:

[0054] 一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定方法,具体步骤为:

[0055] 步骤1,

[0056] 广播星历电文、实时精密卫星修正电文和导航电文并解析;假设接收卫星个数为 n ($n > 3 + \text{sys}$),其中,sys表示系统个数。实时精密卫星修正电文格式遵循RTCM 3.02标准中的状态空间表示(State Space Representation,SSR)。

[0057] 步骤2,误差修正;

[0058] a.修正卫星轨道与钟差;由于SSR修正信息对星轨与星钟的校正是基于广播星历的,因而需要先利用广播星历解算出卫星位置和卫星钟差,然后根据SSR广播的卫星轨道及钟差改正量对卫星轨道及钟差误差进行校正。

[0059] b.模型化误差;如地球自旋转、天线相位缠绕以及地场位移效应等采用经验模型修正

[0060] 步骤3,历元差分观测量构建;

[0061] 在第 $k-1$ 和第 k 个历元间进行GNSS原始观测量差分后,消除了随时间变化缓慢的误差,例如,码硬件延迟偏差,未校准相位延迟偏差以及对流层湿分量等。此时,历元差分的伪距及载波相位观测量如式1所示,包含了历元间的三维位置变化量、钟差变化量、电离层变化量以及噪声变化量。

[0062] 步骤4,无电离层EWL组合构建;

[0063] a.通过式3的EWL组合消除了电离层误差和几何相关项,则EWL周跳的浮点解可表示为,

$$[0064] \quad \Delta N_{EWL}^j = \Delta L_{EWL}^j / \lambda_{EWL}$$

[0065] 其中, $\lambda_{EWL} = c / (f_2 - f_3)$ 为超宽巷周跳组合的波长, c 为光速。

[0066] b.式6采用就近取整的方式完成超宽巷周跳的固定。

$$[0067] \quad \Delta \hat{N}_{EWL}^j = \text{round}(\Delta N_{EWL}^j)$$

[0068] 其中,round表示就近取整。

[0069] 步骤5,无电离层WL组合构建;

[0070] a.结合式6求得的超宽项周跳和式4可得,

$$[0071] \quad \begin{cases} \Delta P_{IF}^j = \Delta \bar{\rho}^j + \Delta \varepsilon_{P_{IF}}^j \\ \Delta \hat{L}_{WL}^j = \Delta L_{WL}^j + \frac{f_3}{f_1 - f_3} \cdot \frac{c}{f_2 - f_3} \cdot \Delta \hat{N}_{EWL}^j = \Delta \bar{\rho}^j + \frac{f_1}{f_1 - f_3} \cdot \frac{c}{f_1 - f_2} \cdot \Delta N_{WL}^j + \Delta \xi_{\hat{L}_{WL}}^j \end{cases}$$

[0072] 式中, $\varepsilon_{P_{IF}}$ 和 $\xi_{\hat{L}_{WL}}$ 分别表示在无电离层WL组合的伪距和载波相位观测量噪声。

[0073] b. 联立 n 卫星的观测量, 进行加权最小二乘求解, 获得状态信息为: $X = (\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta dt, \Delta N_{WL}^1, \Delta N_{WL}^2, \dots, \Delta N_{WL}^n)$ 及其协方差矩阵, 其中 $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ 为三维位置变化量, Δdt 为接收机钟差变化量, $(\Delta N_{WL}^1, \Delta N_{WL}^2, \dots, \Delta N_{WL}^n)$ 为宽巷周跳浮点解。

[0074] c. 通过 b 中求解的宽巷周跳浮点解及其方差协方差阵采用 LAMBDA 的方法进行固定, 采用比率检验 (ratio-test) 的方法检验最优解, 检验次优解与最优解之间比率的门限值设为 3。

[0075] d. 如固定不成功, 则进入下一历元, 联立第 k-1 与第 k 个历元差分观测量和第 k-1 与第 k+1 个历元差分观测量, 重复步骤 1。反之, 获得固定的宽巷周跳 $\Delta \hat{N}_{WL}^j$, 进行一步。

[0076] 步骤 6, 无电离层 NL 组合构建;

[0077] a. 结合式 6 和式 7 求得的超宽项和宽巷周跳与式 5 得,

$$[0078] \quad \begin{cases} \Delta \hat{L}_{NL1}^j = \Delta L_{NL1}^j - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \frac{c}{f_2} \Delta \hat{N}_{WL}^j = \Delta \bar{\rho}^j + \frac{c}{f_1 + f_2} \cdot \Delta N_{NL}^j + \Delta \xi_{\hat{L}_{NL1}}^j \\ \Delta \hat{L}_{NL2}^j = \Delta L_{NL2}^j - \frac{f_3^2}{f_1^2 - f_3^2} \cdot \frac{c}{f_3} \cdot (\Delta \hat{N}_{WL}^j + \Delta \hat{N}_{EWL}^j) = \Delta \bar{\rho}^j + \frac{c}{f_1 + f_3} \cdot \Delta N_{NL}^j + \Delta \xi_{\hat{L}_{NL2}}^j \end{cases}$$

[0079] 式中, $\Delta \xi_{\hat{L}_{NL1}}^j$ 和 $\Delta \xi_{\hat{L}_{NL2}}^j$ 分别表示在无电离层 NL 组合的载波相位观测量噪声。

[0080] b. 联立 n 卫星的观测量, 进行加权最小二乘求解, 获得状态信息为: $X = (\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta dt, \Delta N_{NL}^1, \Delta N_{NL}^2, \dots, \Delta N_{NL}^n)$ 及其协方差矩阵, 其中 $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ 为三维位置变化量, Δdt 为接收机钟差变化量, $(\Delta N_{NL}^1, \Delta N_{NL}^2, \dots, \Delta N_{NL}^n)$ 为宽巷周跳浮点解。

[0081] c. 通过 b 中求解的窄巷周跳浮点解及其方差协方差阵采用 LAMBDA 的方法进行固定, 采用比率检验的方法检验最优解, 检验次优解与最优解之间比率的门限值设为 3。

[0082] d. 如固定不成功, 则进入下一历元, 联立第 k-1 与第 k 个历元差分观测量和第 k-1 与第 k+1 个历元差分观测量, 重复步骤 1。反之, 获得固定的窄巷周跳 $\Delta \hat{N}_{NL}^j$, 进行一步。

[0083] 步骤 7, 利用 EWL、WL 和 NL 周跳的线性关系计算各原始观测量中的周跳值。

$$[0084] \quad \begin{cases} \Delta \hat{N}_1^j = \Delta \hat{N}_{NL}^j \\ \Delta \hat{N}_2^j = \Delta \hat{N}_{NL}^j - \Delta \hat{N}_{WL}^j \\ \Delta \hat{N}_3^j = \Delta \hat{N}_{NL}^j - \Delta \hat{N}_{WL}^j - \Delta \hat{N}_{EWL}^j \end{cases}$$

[0085] 步骤 8, 根据固定的周跳对载波相位观测量进行修正。

[0086] 整体执行流程图如图1所示。

[0087] 随着全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System,GNSS)现代化的发展,提供实时高精度的定位服务是GNSS未来发展的主要方向。载波相位观测量对于高精度GNSS定位至关重要,例如实时动态(Real-time Kinematic,RTK)差分定位技术和精密单点定位(Precise Point Positioning,PPP)技术,因为它的量测精度可达mm级。在实际应用中,由于信号失锁等原因而导致的载波相位观测量中出现整周模糊度不连续(即周跳)的现象,该现象可造成PPP定位精度以及RTK模糊度固定收敛时间的增加,进而降低高精度GNSS定位的性能。因此,周跳的探测与修复对于基于载波相位的高精度GNSS定位技术至关重要。

[0088] 电离层延迟的处理是实现周跳探测与修复的关键因素之一,特别是在电离层闪烁或低采样率情况下。目前,在周跳探测与修复方法中电离层抑制的手段包括:(1)引入外部修正信息,但受限于电离层模型精度,导致周跳探测与修复的可靠性降低,同时引入了通信的负担。(2)将电离层延迟作为参数待估项,但该方法通常需要几分钟的时间才能获取到相对准确的电离层延迟误差,难以满足实时性的要求。(3)引入差分技术,但电离层闪烁将导致电离层延迟项的弱相关性,使得电离层修正后的残差较大。(4)随着GNSS现代化的发展,三频及以上信号的播发为多频观测量组合的电离层抑制周跳探测与修复方法提供了便利,但现有的多频观测量组合方法通常假设在高采样率下历元间的电离层延迟可以忽略,而随着历元间隔的增加,势必降低周跳探测与修复的可靠性。综上所述,设计一种新型可解决电离层扰动的三频周跳探测与修复技术具有相当的迫切性。

[0089] 本发明的一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定方法包括:

[0090] 步骤1,实时接收广播星历电文、实时精密卫星修正电文和导航电文并解析;

[0091] 步骤2,根据实时精密卫星轨道和钟差的修正量及主要误差的模型化修正,提高伪距和载波相位观测量的测距精度;

[0092] 步骤3,在第k-1和第k个历元间进行原始观测量差分,

$$[0093] \quad \Delta P_g^j = \Delta \bar{\rho}^j + \gamma_g \cdot \Delta I_1^j + \Delta \varepsilon_g$$

$$[0094] \quad \Delta L_g^j = \Delta \bar{\rho}^j - \gamma_g \cdot \Delta I_1^j + \lambda_g \cdot \Delta N_g^j + \Delta \xi_g$$

[0095] 式中, Δ 表示相邻历元的差值,P和L分别表示伪距和载波相位观测量,j表示卫星号,g表示频率($g=1,2,3$), $\bar{\rho}$ 修正后站星距离, I_1 表示在 f_1 频段上的电离层延迟, $\gamma_g = f_1^2 / f_g^2$ 为电离层系数, λ_g 表示在 f_g 频段上的载波相位波长, ε_g 和 ξ_g 分别表示在 f_g 频段上的伪距和载波相位观测量噪声。

[0096] 步骤4,构建无电离层EWL组合,

$$[0097] \quad \Delta L_{EWL}^j = \frac{f_2 \cdot \Delta L_2^j - f_3 \cdot \Delta L_3^j}{f_2 - f_3} - \frac{f_2 \cdot \Delta P_2^j + f_3 \cdot \Delta P_3^j}{f_2 + f_3}$$

[0098] 式中, L_{EWL}^j 为无电离层超宽巷载波相位观测量组合,并通过就近取整方法实现超宽巷周跳的固定,超宽项周跳表示为 $\Delta \hat{N}_{EWL} = \Delta \hat{N}_2 - \Delta \hat{N}_3$ 。

[0099] 步骤5,基于固定的超宽项周跳,构建无电离层WL组合,

$$[0100] \quad \begin{cases} \Delta P_{IF}^j = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \Delta P_1^j - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \Delta P_2^j \\ \Delta L_{WL}^j = \frac{f_1}{f_1 - f_3} \cdot \frac{f_1 \cdot \Delta L_1^j - f_2 \cdot \Delta L_2^j}{f_1 - f_2} - \frac{f_3}{f_1 - f_3} \cdot \frac{f_2 \cdot \Delta L_2^j - f_3 \cdot \Delta L_3^j}{f_2 - f_3} \end{cases}$$

[0101] 式中, P_{IF}^j 为无电离层伪距观测量组合, L_{WL}^j 为无电离层宽巷载波相位组合。由最小二乘输出的协方差矩阵和宽巷模糊度的浮点解, 通过LAMBDA (The Least-squares AMBiguity Decorrelation Adjustment) 算法进行宽巷模糊度的固定, 宽项周跳表示为 $\Delta \hat{N}_{WL} = \Delta \hat{N}_1 - \Delta \hat{N}_2$ 。

[0102] 步骤6, 基于固定的超宽项和宽巷周跳, 构建无电离层NL组合,

$$[0103] \quad \begin{cases} \Delta L_{NL1}^j = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \Delta L_1^j - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \Delta L_2^j \\ \Delta L_{NL2}^j = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_3^2} \cdot \Delta L_1^j - \frac{f_3^2}{f_1^2 - f_3^2} \cdot \Delta L_3^j \end{cases}$$

[0104] 式中, L_{NL1}^j 和 L_{NL2}^j 分别为 f_1 、 f_2 和 f_1 、 f_3 的无电离层窄巷载波相位组合。由最小二乘输出的协方差矩阵和宽巷模糊度的浮点解, 通过LAMBDA算法进行宽巷模糊度的固定, 窄巷周跳表示为 $\Delta \hat{N}_{NL} = \Delta \hat{N}_1$ 。

[0105] 步骤7, 根据步骤4、步骤5和步骤6得到的超宽巷、宽巷和窄巷周跳最终确定三频观测量上的周跳值。

[0106] 步骤8, 如步骤5或步骤6固定周跳失败, 则等待到下一历元, 进行多历元累积, 直到步骤5和步骤6固定成功为止。

[0107] 针对传统周跳探测和修复方法在电离层扰动情况下成功率不高的问题, 本发明充分利用多频观测量组合的优势, 构建了无电离层EWL、WL以及NL组合, 并利用不同观测量组合下的周跳间线性关系, 逐次完成无电离层EWL、WL以及NL组合的周跳固定, 即满足了在周跳固定过程中对电离层的抑制。本发明所提出的基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定方法, 简化了传统多频组合周跳探测和修复的步骤, 提高了计算效率以及周跳在电离层扰动情况下的固定成功率。

[0108] 一种基于无电离层组合的三频GNSS实时周跳固定技术, 包括:

[0109] 步骤1, 实时接收广播星历电文、实时精密卫星修正电文和导航电文并解析;

[0110] 步骤2, 根据实时精密卫星轨道和钟差的修正量及主要误差的模型化修正, 提高伪距和载波相位观测量的测距精度;

[0111] 步骤3, 在第k-1和第k个历元间进行原始观测量差分,

$$[0112] \quad \Delta P_g^j = \Delta \bar{\rho}^j + \gamma_g \cdot \Delta I_1^j + \Delta \varepsilon_g$$

$$[0113] \quad \Delta L_g^j = \Delta \bar{\rho}^j - \gamma_g \cdot \Delta I_1^j + \lambda_g \cdot \Delta N_g^j + \Delta \xi_g$$

[0114] 式中, Δ 表示相邻历元的差值, P和L分别表示伪距和载波相位观测量, j表示卫星

号, g 表示频率 ($g = 1, 2, 3$), $\bar{\rho}$ 修正后站星距离, I_1 表示在 f_1 频段上的电离层延迟, $\gamma_g = f_1^2 / f_g^2$ 为电离层系数, λ_g 表示在 f_g 频段上的载波相位波长, ε_g 和 ξ_g 分别表示在 f_g 频段上的伪距和载波相位观测量噪声。

[0115] 步骤4, 构建无电离层EWL组合,

$$[0116] \quad \Delta L_{EWL}^j = \frac{f_2 \cdot \Delta L_2^j - f_3 \cdot \Delta L_3^j}{f_2 - f_3} - \frac{f_2 \cdot \Delta P_2^j + f_3 \cdot \Delta P_3^j}{f_2 + f_3}$$

[0117] 式中, L_{EWL}^j 为无电离层超宽巷载波相位观测量组合, 并通过就近取整方法实现超宽巷周跳的固定, 超宽项周跳表示为 $\Delta \hat{N}_{EWL} = \Delta \hat{N}_2 - \Delta \hat{N}_3$ 。

[0118] 步骤5, 基于固定的超宽项周跳, 构建无电离层WL组合,

$$[0119] \quad \begin{cases} \Delta P_{IF}^j = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \Delta P_1^j - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \Delta P_2^j \\ \Delta L_{WL}^j = \frac{f_1}{f_1 - f_3} \cdot \frac{f_1 \cdot \Delta L_1^j - f_2 \cdot \Delta L_2^j}{f_1 - f_2} - \frac{f_3}{f_1 - f_3} \cdot \frac{f_2 \cdot \Delta L_2^j - f_3 \cdot \Delta L_3^j}{f_2 - f_3} \end{cases}$$

[0120] 式中, P_{IF}^j 为无电离层伪距观测量组合, L_{WL}^j 为无电离层宽巷载波相位组合。由最小二乘输出的协方差矩阵和宽巷模糊度的浮点解, 通过LAMBDA算法进行宽巷模糊度的固定, 宽项周跳表示为 $\Delta \hat{N}_{WL} = \Delta \hat{N}_1 - \Delta \hat{N}_2$ 。

[0121] 步骤6, 基于固定的超宽项和宽巷周跳, 构建无电离层NL组合,

$$[0122] \quad \begin{cases} \Delta L_{NL1}^j = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \Delta L_1^j - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \Delta L_2^j \\ \Delta L_{NL2}^j = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_3^2} \cdot \Delta L_1^j - \frac{f_3^2}{f_1^2 - f_3^2} \cdot \Delta L_3^j \end{cases}$$

[0123] 式中, L_{NL1}^j 和 L_{NL2}^j 分别为 f_1 、 f_2 和 f_1 、 f_3 的无电离层窄巷载波相位组合。由最小二乘输出的协方差矩阵和宽巷模糊度的浮点解, 通过LAMBDA算法进行宽巷模糊度的固定, 窄巷周跳表示为 $\Delta \hat{N}_{NL} = \Delta \hat{N}_1$ 。

[0124] 步骤7, 根据步骤4、步骤5和步骤6得到的超宽巷、宽巷和窄巷周跳最终确定三频观测量上的周跳值。

[0125] 步骤8, 如步骤5或步骤6固定周跳失败, 则等待到下一历元, 进行多历元累积, 直到步骤5和步骤6固定成功为止。

[0126] 步骤4构建了无电离层EWL组合, 如式3所示, 周跳固定的方法不仅限于就近取整法。

[0127] 步骤5、6中构建了无电离层WL和NL组合, 且在构建无电离层WL和NL组合时, 不仅限于式4和式5的组合形式, 其它根据电离层频率特性组成的无电离层组合观测量进行周跳固

定方法仍属于本专利权利范围。

[0128] 步骤5、6中的周跳固定采用LAMBDA方法,但门限值不仅限于3。

[0129] 步骤4、5、6中的周跳固定方法仅采用了历元差分。

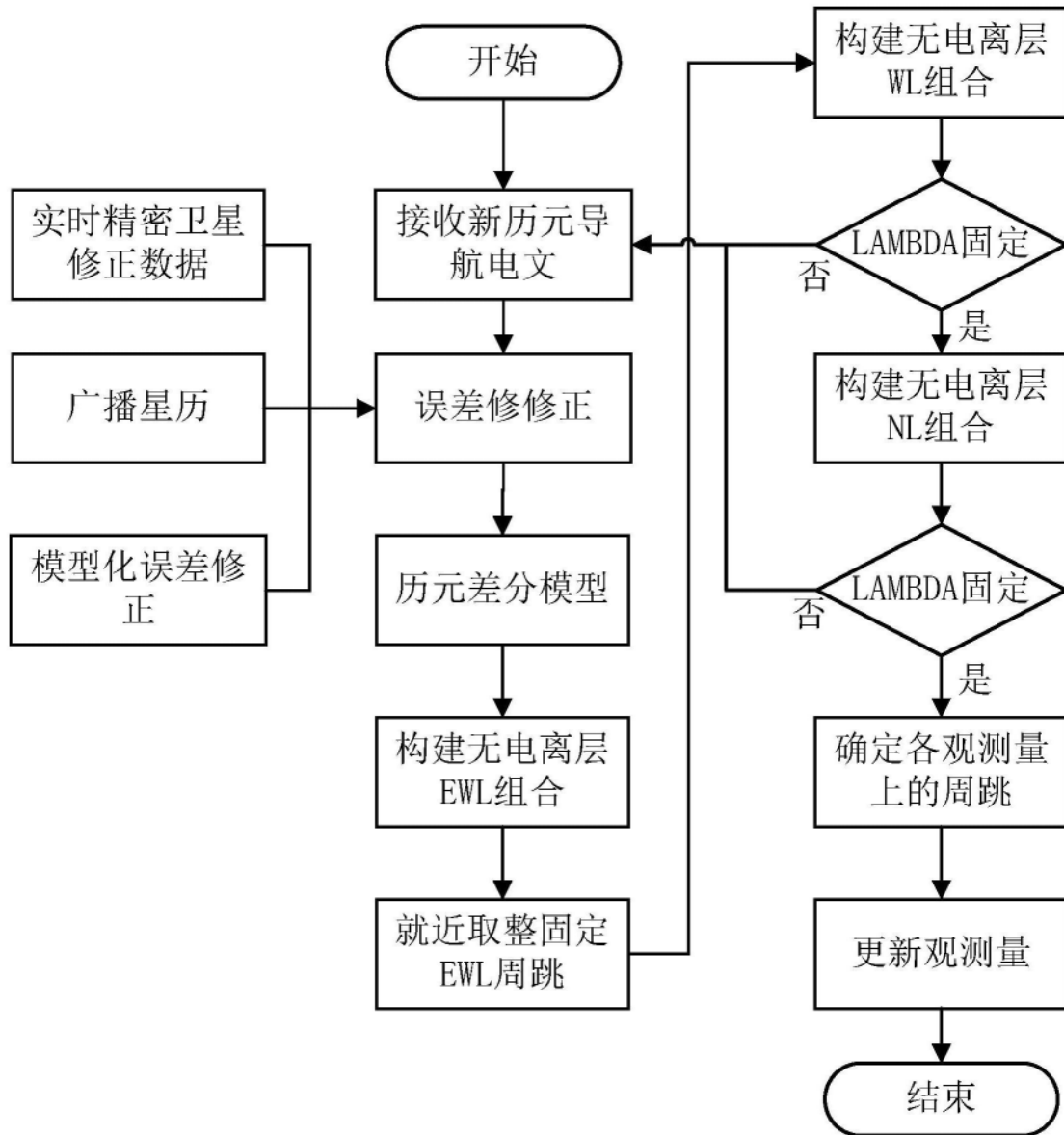


图1