



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108519614 A

(43)申请公布日 2018.09.11

(21)申请号 201810217695.7

(22)申请日 2018.03.16

(71)申请人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市四牌楼2号

(72)发明人 潘树国 高旺 王彦恒 高成发

王庆 张瑞成 张建 刘国良

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司

32200

代理人 刘莎

(51) Int. Cl.

G01S 19/45(2010.01)

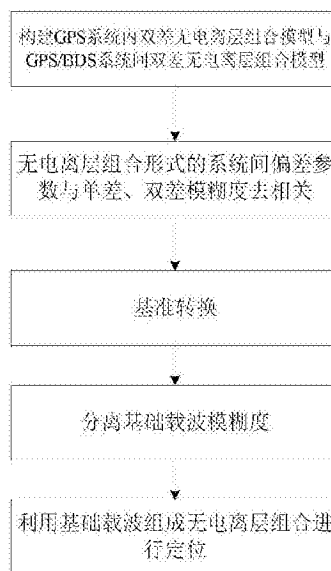
权利要求书5页 说明书10页 附图4页

(54)发明名称

一种GPS/BDS紧组合载波差分定位方法

(57)摘要

本发明公开了一种GPS/BDS紧组合载波差分定位方法,首先,以GPS为基准系统,构建GPS系统内双差无电离层组合模型与GPS/BDS系统间双无电离层组合差模型,然后选取BDS基准卫星,对GPS/BDS系统间双差无电离层组合模糊度重参化并进行参数去相关,实时估计无电离层组合载波差分系统间偏差,并在必要时刻对无电离层组合载波差分系统间偏差进行基准转换以实现无电离层组合载波差分系统间偏差的持续可估性,最后利用模糊度已固定的基础载波观测值形成无电离层组合并结合已估计的无电离层载波差分系统间偏差进行系统间双差无电离层组合紧组合定位。



1. 一种GPS/BDS紧组合载波差分定位方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,选择GPS基准卫星,构建GPS系统内双差无电离层组合模型与GPS/BDS系统间双差无电离层组合模型及GPS/BDS系统内双差宽巷模糊度解算模型;

步骤2,实现无电离层组合形式的系统间偏差参数与单差、双差模糊度去相关;

步骤3,进行基准转换,实现无电离层组合差分系统间偏差持续可估性;

步骤4,利用无电离层组合结合宽巷模糊度分离基础载波模糊度;

步骤5,利用基础载波组成无电离层组合进行定位。

2. 根据权利要求1所述的一种GPS/BDS紧组合载波差分定位方法,其特征在于,步骤1具体为:

步骤11,构建无电离层组合站间单差无电离层组合模型:

$$\Delta\phi_{IF,G}^s = \Delta\rho_G^s + \Delta dt + \lambda_{NL,G}(\Delta\delta_{IF,G} + \Delta N_{IF,G}^s) + \Delta T_G^s + \Delta\varepsilon_{IF,G}^s \quad (1)$$

$$\Delta P_{IF,G}^s = \Delta\rho_G^s + \Delta dt + \Delta d_{IF,G} + \Delta T_G^s + \Delta e_G^s \quad (2)$$

$$\Delta\phi_{IF,C}^q = \Delta\rho_C^q + \Delta dt + \lambda_{NL,C}(\Delta\delta_{IF,C} + \Delta N_{IF,C}^q) + \Delta T_C^q + \Delta\varepsilon_{IF,C}^q \quad (3)$$

$$\Delta P_{IF,C}^q = \Delta\rho_C^q + \Delta dt + \Delta d_{IF,C} + \Delta T_C^q + \Delta e_{IF,C}^q \quad (4)$$

$$\Delta\phi_{IF,G}^s = \frac{f_{1,G}^2 \Delta\phi_{1,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} - \frac{f_{2,G}^2 \Delta\phi_{2,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} \quad \Delta N_{IF,G}^s = \frac{f_{1,G}^2 \Delta N_{1,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} - \frac{f_{2,G}^2 \Delta N_{2,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} \quad (5)$$

$$\Delta\phi_{IF,C}^q = \frac{f_{1,C}^2 \Delta\phi_{1,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} - \frac{f_{2,C}^2 \Delta\phi_{2,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} \quad \Delta N_{IF,C}^q = \frac{f_{1,C}^2 \Delta N_{1,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} - \frac{f_{2,C}^2 \Delta N_{2,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} \quad (6)$$

$$\Delta P_{IF,G}^s = \frac{f_{1,G}^2 \Delta P_{1,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} - \frac{f_{2,G}^2 \Delta P_{2,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} \quad \Delta P_{IF,C}^q = \frac{f_{1,C}^2 \Delta P_{1,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} - \frac{f_{2,C}^2 \Delta P_{2,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} \quad (7)$$

其中,式(1)与式(2)分别是GPS站间单差无电离层组合载波观测方程和伪距观测方程,式(3)与式(4)分别是BDS站间单差无电离层组合子载波观测方程和伪距观测方程;式(5)是GPS站间单差载波观测值无电离层组合形式与站间单差模糊度无电离层组合形式,式(6)是BDS站间单差载波观测值无电离层组合形式与站间单差模糊度无电离层组合形式,式(7)是GPS与BDS的站间单差伪距无电离层组合形式;

式中, $s=1_G, 2_G, \dots, m_G, m_G$ 表示GPS卫星数, $\Delta\phi_{IF,G}^s$ 表示GPS卫星s站间单差无电离层组合载波观测值, $\Delta\rho_G^s$ 表示GPS卫星s站间单差站星距, Δdt 表示站间单差接收机钟差, $\lambda_{NL,G}$ 表示GPS卫星窄巷波长, $\Delta\delta_{IF,G}$ 表示GPS卫星接收机端站间单差无电离层组合载波硬件延迟, $\Delta N_{IF,G}^s$ 表示GPS卫星s站间单差无电离层组合模糊度, ΔT_G^s 表示GPS卫星站间单差对流层延迟, $\Delta\varepsilon_{IF,G}^s$ 表示GPS卫星合站间单差无电离层组测量噪声, $\Delta P_{IF,G}^s$ 表示GPS卫星s的站间单差无电离层组合伪距观测值, $\Delta d_{IF,G}$ 表示GPS卫星接收机端站间单差无电离层组合伪距硬件延迟, $\Delta e_{IF,G}^s$ 表示GPS卫星s站间单差无电离层组合伪距测量噪声; $q=1_C, 2_C, \dots, n_C, n_C$ 表示BDS卫星, $\Delta\phi_{IF,C}^q$ 表示BDS卫星q站间单差无电离层组合载波观测值, $\Delta\rho_C^q$ 表示BDS卫星q站间单差站星距, $\lambda_{NL,C}$ 表示BDS卫星窄巷波长, $\Delta\delta_{IF,C}$ 表示BDS卫星接收机端站间单差无电离层组合载波硬件延迟, $\Delta N_{IF,C}^q$ 表示BDS卫星q站间单差无电离层组合模糊度, ΔT_C^q 表示BDS卫星q站间单差对流层

延迟, $\Delta \varepsilon_{IF,C}^q$ 表示BDS卫星q站间单差无电离层组合测量噪声, $\Delta P_{IF,C}^q$ 表示BDS卫星q站间单差无电离层组合伪距观测值, $\Delta d_{IF,C}$ 表示BDS卫星接收机端站间单差无电离层组合伪距硬件延迟, $\Delta \varepsilon_{IF,C}^q$ 表示BDS卫星q站间单差无电离层组合伪距测量噪声; $\Delta \phi_{1,G}^s$ 表示GPS卫星s L1站间单差载波观测值, $\Delta \phi_{2,G}^s$ 表示GPS卫星s L2站间单差载波观测值, $\Delta N_{1,G}^s$ 表示GPS卫星s L1站间单差模糊度, $\Delta N_{2,G}^s$ 表示GPS卫星s L2站间单差模糊度, $\Delta P_{1,G}^s$ 表示GPS卫星s L1站间单差伪距观测值, $\Delta P_{2,G}^s$ 表示GPS卫星s L2站间单差伪距观测值, $f_{1,G}$ 表示GPS卫星L1的频率值, $f_{2,G}$ 表示GPS卫星L2的频率值; $\Delta \phi_{1,C}^q$ 表示BDS卫星q B1站间单差载波观测值, $\Delta \phi_{2,C}^q$ 表示BDS卫星q B2站间单差载波观测值, $\Delta N_{1,C}^q$ 表示BDS卫星q B1站间单差模糊度, $\Delta N_{2,C}^q$ 表示BDS卫星q B2站间单差模糊度, $\Delta P_{1,C}^q$ 表示BDS卫星q B1站间单差伪距观测值, $\Delta P_{2,C}^q$ 表示BDS卫星q B2站间单差伪距观测值, $f_{1,C}$ 表示BDS卫星B1的频率值, $f_{2,C}$ 表示BDS卫星B2的频率值;

步骤12, 选择GPS基准卫星, 根据步骤11所建站间单差无电离层组合模型, 建立GPS系统内双差无电离层组合模型及GPS/BDS系统间双差无电离层组合模型:

以GPS卫星 1_G 为基准卫星, 则式(8)与式(9)为GPS系统内双差无电离层组合模型, 式(10)与式(11)为GPS/BDS系统间双差无电离层组合模型:

$$\nabla \Delta \phi_{IF,G}^{1_G,s} = \nabla \Delta \rho_G^{1_G,s} + \lambda_{NL,G} \Delta N_{NL,G}^{1_G,s} + \nabla \Delta T_G^{1_G,s} + \nabla \Delta \varepsilon_{IF,G}^{1_G,s} \quad (8)$$

$$\nabla \Delta P_G^{1_G,s} = \nabla \Delta \rho_G^{1_G,s} + \nabla \Delta T_G^{1_G,s} + \nabla \Delta e_{IF,G}^{1_G,s} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \nabla \Delta \phi_{IF,GC}^{1_G,q} &= \Delta \phi_{IF,C}^q - \Delta \phi_{IF,G}^{1_G} \\ &= \nabla \Delta \rho_{GC}^{1_G,q} + \lambda_{NL,C} \nabla \Delta N_{IF,GC}^{1_G,q} + (\lambda_{NL,C} - \lambda_{NL,G}) \Delta N_{IF,G}^{1_G} \\ &\quad + \lambda_{NL,C} \nabla \Delta \delta_{IF,GC} + \nabla \Delta T_{GC}^{1_G,q} + \nabla \Delta \varepsilon_{IF,GC}^{1_G,q} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\nabla \Delta P_{IF,GC}^{1_G,q} = \Delta P_{IF,C}^q - \Delta P_{IF,G}^{1_G} = \nabla \Delta \rho_{GC}^{1_G,q} + \nabla \Delta d_{IF,GC} + \nabla \Delta T_{GC}^{1_G,q} + \nabla \Delta e_{IF,GC}^{1_G,q} \quad (11)$$

其中, $\nabla \Delta \phi_{IF,G}^{1_G,s}$ 表示GPS系统内双差无电离层组合载波观测值, $\nabla \Delta \rho_G^{1_G,s}$ 表示GPS系统内双差站星距, $\Delta N_{IF,G}^{1_G,s}$ 表示GPS系统内双差无电离层组合模糊度, $\nabla \Delta T_G^{1_G,s}$ 表示GPS系统内双差对流层延迟, $\nabla \Delta \varepsilon_{IF,G}^{1_G,s}$ 表示GPS系统内双差无电离层组合载波观测噪声, $\nabla \Delta P_{IF,G}^{1_G,s}$ 表示GPS系统内双差无电离层组合伪距观测值, $\nabla \Delta e_{IF,G}^{1_G,s}$ 表示GPS系统内双差无电离层组合载波观测噪声; $\nabla \Delta \phi_{IF,GC}^{1_G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差无电离层组合载波观测值, $\nabla \Delta \rho_{GC}^{1_G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差站星距, $\nabla \Delta N_{IF,GC}^{1_G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差无电离层组合模糊度, $\Delta N_{IF,G}^{1_G}$ 表示GPS基准卫星站间单差无电离层组合模糊度, $\nabla \Delta \delta_{IF,GC} = \Delta \delta_{IF,C} - \frac{\lambda_{NL,G}}{\lambda_{NL,C}} \Delta \delta_{IF,G}$ 表示GPS/BDS无电离层组合载波差分系统间偏差, $\nabla \Delta T_{GC}^{1_G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差对流层延迟, $\nabla \Delta \varepsilon_{IF,GC}^{1_G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差无电离层组合载波观测噪声, $\nabla \Delta P_{IF,GC}^{1_G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差无电离层组合伪距观测值, $\nabla \Delta d_{IF,GC} = \Delta d_{IF,C} - \Delta d_{IF,G}$ 表示GPS/BDS无电离层组合伪距差分系统间偏差, $\nabla \Delta e_{IF,GC}^{1_G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差无电离层组合伪距观测噪声;

步骤13, 选择BDS基准卫星, 构建GPS与BDS系统内双差宽巷模糊度解算模型:

以BDS卫星 $1c$ 为BDS的基准卫星,则GPS与BDS各自的系统内双差宽巷模糊度解算模型分别为:

$$\nabla\Delta N_{WL,G}^{1c,s} = \nabla\Delta\phi_{WL,G}^{1c,s} - \frac{f_{1,G}\nabla\Delta P_{1,G}^{1c,s} + f_{2,G}\nabla\Delta P_{2,G}^{1c,s}}{\lambda_{WL,G}(f_{1,G} + f_{2,G})} \quad (12)$$

$$\nabla\Delta N_{WL,C}^{1c,q} = \nabla\Delta\phi_{WL,C}^{1c,q} - \frac{f_{1,C}\nabla\Delta P_{1,C}^{1c,q} + f_{2,C}\nabla\Delta P_{2,C}^{1c,q}}{\lambda_{WL,C}(f_{1,C} + f_{2,C})} \quad (13)$$

式中, $\nabla\Delta N_{WL,G}^{1c,s}$ 表示GPS双差宽巷模糊度, $\nabla\Delta\phi_{WL,G}^{1c,s}$ 表示GPS双差宽巷载波观测值, $\nabla\Delta P_{1,G}^{1c,s}$ 表示GPS L1双差伪距观测值, $\nabla\Delta P_{2,G}^{1c,s}$ 表示GPS L2双差伪距观测值, $\lambda_{WL,G}$ 表示GPS宽巷波长; $\nabla\Delta N_{WL,C}^{1c,q}$ 表示BDS双差宽巷模糊度, $\nabla\Delta\phi_{WL,C}^{1c,q}$ 表示BDS双差宽巷载波观测值, $\nabla\Delta P_{1,C}^{1c,q}$ 表示BDS B1双差伪距观测值, $\nabla\Delta P_{2,C}^{1c,q}$ 表示BDS B2双差伪距观测值, $\lambda_{WL,C}$ 表示BDS宽巷波长。

对式(12)与式(13)进行多历元平滑四舍五入取整,得到双差宽巷整周模糊度:

$$\begin{aligned} \nabla\Delta\bar{N}_{WL,G}^{1c,s} &= \text{round}\left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \nabla\Delta N_{WL,G}^{1c,s}\right) \\ \nabla\Delta\bar{N}_{WL,C}^{1c,q} &= \text{round}\left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \nabla\Delta N_{WL,C}^{1c,q}\right) \end{aligned} \quad (14)$$

$$k \in N^+$$

式中, $\nabla\Delta\bar{N}_{WL,G}^{1c,s}$ 与 $\nabla\Delta\bar{N}_{WL,C}^{1c,q}$ 即分别为通过多历元平滑四舍五入取整得到的GPS与BDS双差宽巷整周模糊度,round表示四舍五入取整算子,k表示历个数。

3. 根据权利要求2所述的一种GPS/BDS紧组合载波差分定位方法,其特征在于,步骤2具体为:

步骤21,根据步骤13所选BDS基准卫星,将GPS/BDS系统间双差无电离层组合模糊度重参化:

根据步骤12, GPS/BDS系统间双差无电离层组合模糊度表示为:

$$\nabla\Delta N_{IF,GC}^{1c,q} = (\Delta N_{IF,C}^q - \Delta N_{IF,C}^{1c}) + (\Delta N_{IF,C}^{1c} - \Delta N_{IF,G}^{1c}) = \nabla\Delta N_{IF,C}^{1c,q} + \nabla\Delta N_{IF,GC}^{1c,c} \quad (15)$$

式中, $\Delta N_{IF,C}^{1c}$ 表示BDS基准卫星的站间单差无电离层组合模糊度, $\nabla\Delta N_{IF,C}^{1c,q}$ 表示BDS系统内双差无电离层组合模糊度, $\nabla\Delta N_{IF,GC}^{1c,c}$ 表示BDS基准卫星与GPS基准卫星的GPS/BDS系统间双差无电离层组合模糊度;

根据式(15),式10)表示为:

$$\begin{aligned} \nabla\Delta\phi_{IF,GC}^{1c,q} &= \nabla\Delta\rho_{GC}^{1c,q} + \lambda_{NL,C} \nabla\Delta N_{IF,C}^{1c,q} + \lambda_{NL,C} \nabla\Delta N_{IF,GC}^{1c,c} + (\lambda_{IF,C} - \lambda_{IF,G}) \Delta N_{IF,G}^{1c} \\ &\quad + \lambda_{NL,C} \nabla\Delta\delta_{IF,GC} + \nabla\Delta T_{GC}^{1c,q} + \nabla\Delta\varepsilon_{IF,GC}^{1c,q} \end{aligned} \quad (16)$$

式(10)中, $\nabla\Delta N_{IF,GC}^{1c,c}$ 、 $\Delta N_{IF,G}^{1c}$ 、 $\nabla\Delta\delta_{IF,GC}$ 为所有BDS卫星共有参数并且线性相关;

步骤22,合并共有参数,将无电离层组合载波差分系统间偏差重参化,实现参数去相关:

根据式(16),合并共有参数后的GPS/BDS系统间双差无电离层组合观测方程表示为:

$$\nabla\Delta\phi_{IF,GC}^{1c,q} = \nabla\Delta\rho_{GC}^{1c,q} + \lambda_{NL,C} \nabla\Delta N_{NL,C}^{1c,q} + \lambda_{NL,C} \nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC} + \nabla\Delta T_{GC}^{1c,q} + \nabla\Delta\varepsilon_{IF,GC}^{1c,q} \quad (17)$$

式中, $\nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC}$ 为重参化之后的无电离层组合载波差分系统间偏差,

$$\nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC} = \nabla\Delta N_{IF,GC}^{1G} + \nabla\Delta\delta_{IF,GC} + \left(1 - \frac{\lambda_{NL,C}}{\lambda_{NL,G}}\right) \Delta N_{IF,G}^{1G}。$$

4. 根据权利要求3所述的一种GPS/BDS紧组合载波差分定位方法,其特征在于,步骤3具体为:

步骤31,进行GPS基准转换:

假设在第t历元, GPS基准卫星从1c转换为i_c, 则对应的第t历元的无电离层组合载波差分系统间偏差 $\nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC}(t)$ 为:

$$\nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC}(t) = \nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC}(t-1) - \frac{\lambda_{NL,G}}{\lambda_{NL,C}} \Delta\nabla N_{IF,G}^{1G,iG} = \nabla\Delta\delta_{IF,GC} + \nabla\Delta N_{IF,GC}^{iG,1C} + \left(1 - \frac{\lambda_{NL,G}}{\lambda_{NL,C}}\right) \Delta N_{IF,G}^{iG} \quad (18)$$

式中, $\nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC}(t-1)$ 为第t-1历元的无电离层组合载波差分系统间偏差;

步骤32,进行BDS基准转换:

假设在第j历元, BDS基准卫星从1c转换为i_c, 而此时的GPS基准卫星为步骤31中的i_c, 则对应的第j历元的无电离层组合载波差分系统间偏差 $\nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC}(j)$ 为:

$$\nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC}(j) = \nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC}(j-1) + \nabla\Delta N_{IF,GC}^{1C,iC} = \nabla\Delta\delta_{IF,GC} + \nabla\Delta N_{IF,GC}^{iC,1C} + \left(1 - \frac{\lambda_{NL,G}}{\lambda_{NL,C}}\right) \Delta N_{IF,G}^{iG} \quad (19)$$

式中, $\nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC}(j-1)$ 为第j-1历元的无电离层组合差分载波系统间偏差;

至此,已实现无电离层组合载波差分系统间偏差的持续可估性。

5. 根据权利要求4所述的一种GPS/BDS紧组合载波差分定位方法,其特征在于,步骤4具体为:

步骤41,利用无电离层组合与宽巷组合相结合,根据步骤13所得的宽巷模糊度分离GPS L1模糊度与BDS B1模糊度:

$$\nabla\Delta N_{1,G}^{1G,s} = \nabla\Delta N_{IF,G}^{1G,s} - \frac{f_{2,G}}{f_{1,G} - f_{2,G}} \nabla\Delta\bar{N}_{WL,G}^{1G,s} \quad (20)$$

$$\nabla\Delta N_{1,C}^{1C,q} = \nabla\Delta N_{IF,C}^{1C,q} - \frac{f_{2,C}}{f_{1,C} - f_{2,C}} \nabla\Delta\bar{N}_{WL,C}^{1C,q} \quad (21)$$

式中, $\nabla\Delta N_{1,G}^{1G,s}$ 为分离出来的GPS L1模糊度浮点解, $\nabla\Delta N_{1,C}^{1C,q}$ 为分离出的BDS B1模糊度浮点解, $\nabla\Delta\bar{N}_{1,G}^{1G,s}$ 为GPS L1模糊度整数解, $\nabla\Delta\bar{N}_{1,C}^{1C,q}$ 为BDS B1模糊度整数解;

步骤42,根据步骤13所得的宽巷模糊度与步骤41所得的GPS L1模糊度与BDS B1模糊度,计算GPS L2模糊度整数解与BDS L2模糊度整数解:

$$\nabla\Delta\bar{N}_{2,G}^{1G,s} = \nabla\Delta\bar{N}_{1,G}^{1G,s} - \nabla\Delta\bar{N}_{WL,G}^{1G,s}, \quad \nabla\Delta\bar{N}_{2,C}^{1C,q} = \nabla\Delta\bar{N}_{1,C}^{1C,q} - \nabla\Delta\bar{N}_{WL,C}^{1C,q} \quad (22)$$

式中, $\nabla\Delta\bar{N}_{2,G}^{1G,s}$ 与 $\nabla\Delta\bar{N}_{2,C}^{1C,q}$ 分别为GPS L2与BDS B2的模糊度整数解。

6. 根据权利要求5所述的一种GPS/BDS紧组合载波差分定位方法,其特征在于,利用Lambda法搜索得到GPS L1与BDS B1模糊度整数解 $\nabla\Delta\bar{N}_{1,G}^{1G,s}$ 与 $\nabla\Delta\bar{N}_{1,C}^{1C,q}$ 。

7. 根据权利要求5所述的一种GPS/BDS紧组合载波差分定位方法,其特征在于,步骤5具

体为:根据步骤41与步骤42所得模糊度整数解及载波观测值按照步骤21所示组成双差无电离层组合,将所组无电离层组合与步骤2所得的无电离层组合载波差分系统间偏差带入式(5)与式(7)进行定位。

一种GPS/BDS紧组合载波差分定位方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种多系统融合导航定位技术,特别涉及一种GPS/BDS紧组合载波差分定位方法,属于GNSS(Global Navigation Satellite System)定位与导航技术领域。

背景技术

[0002] 在相对定位中,不同的卫星系统进行观测值融合处理时,通常采用两种模型:一种是各系统选择各自参考星的松组合模型,即系统内差分模型;另一种是不同系统选择共同参考星的紧组合模型,即系统间差分模型。对于CDMA(Code Division Multiple Access)系统,卫星进行系统内差分时能够消除接收机端的载波和伪距硬件延迟,而在进行系统间差分时,由于各系统采用的信号调制方式不同,硬件延迟通常难以消除,需要提取出差分系统间偏差作为先验信息来进行紧组合定位。

[0003] 目前针对紧组合定位的研究主要集中于不同系统的相同频率之间,其主要应用于单频定位模型。在多GNSS观测值融合处理中会更多地遇到不同频率的情况,例如GPS/BDS双系统没有共同频率。因此仅研究系统间相同频率的差分定位算法不利于更好地发挥多GNSS融合定位的优势。

[0004] 已有研究结果表明,不同系统间不同频率的载波差分系统间偏差呈现时域稳定性,这种特性为进行载波差分紧组合定位提供了技术基础。

发明内容

[0005] 为弥补现有研究的不足,更好地发挥多GNSS紧组合定位的优势,本发明提供一种GPS/BDS紧组合载波差分定位方法,利用GPS/BDS观测值构建系统间双差模型,通过引入BDS基准卫星进行参数去相关,通过基准转换保证载波差分系统间偏差的持续可估性,最后利用已固定的模糊度组成无电离层组合并结合已估计的载波差分系统间偏差进行紧组合定位。

[0006] 本发明为解决上述技术问题采用以下技术方案:

[0007] 本发明提供一种GPS/BDS紧组合载波差分定位方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤1,选择GPS基准卫星,构建GPS系统内双差无电离层组合模型与GPS/BDS系统间双差无电离层组合模型及GPS/BDS系统内双差宽巷模糊度解算模型;

[0009] 步骤2,实现无电离层组合形式的系统间偏差参数与单差、双差模糊度去相关;

[0010] 步骤3,进行基准转换,实现无电离层组合差分系统间偏差持续可估性;

[0011] 步骤4,利用无电离层组合结合宽巷模糊度分离基础载波模糊度;

[0012] 步骤5,利用基础载波组成无电离层组合进行定位。

[0013] 作为本发明的进一步技术方案,步骤1具体为:

[0014] 步骤11,构建无电离层组合站间单差无电离层组合模型:

$$[0015] \quad \Delta\phi_{IF,G}^s = \Delta\rho_G^s + \Delta dt + \lambda_{NL,G}(\Delta\delta_{IF,G} + \Delta N_{IF,G}^s) + \Delta T_G^s + \Delta\varepsilon_{IF,G}^s \quad (1)$$

$$[0016] \quad \Delta P_{IF,G}^s = \Delta\rho_G^s + \Delta dt + \Delta d_{IF,G} + \Delta T_G^s + \Delta\varepsilon_G^s \quad (2)$$

$$[0017] \quad \Delta\phi_{IF,C}^q = \Delta\rho_C^q + \Delta dt + \lambda_{NL,C}(\Delta\delta_{IF,C} + \Delta N_{IF,C}^q) + \Delta T_C^q + \Delta\varepsilon_{IF,C}^q \quad (3)$$

$$[0018] \quad \Delta P_{IF,C}^q = \Delta\rho_C^q + \Delta dt + \Delta d_{IF,C} + \Delta T_C^q + \Delta e_{IF,C}^q \quad (4)$$

$$[0019] \quad \Delta\phi_{IF,G}^s = \frac{f_{1,G}^2 \Delta\phi_{1,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} - \frac{f_{2,G}^2 \Delta\phi_{2,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} \quad \Delta N_{IF,G}^s = \frac{f_{1,G}^2 \Delta N_{1,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} - \frac{f_{2,G}^2 \Delta N_{2,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} \quad (5)$$

$$[0020] \quad \Delta\phi_{IF,C}^q = \frac{f_{1,C}^2 \Delta\phi_{1,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} - \frac{f_{2,C}^2 \Delta\phi_{2,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} \quad \Delta N_{IF,C}^q = \frac{f_{1,C}^2 \Delta N_{1,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} - \frac{f_{2,C}^2 \Delta N_{2,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} \quad (6)$$

$$[0021] \quad \Delta P_{IF,G}^s = \frac{f_{1,G}^2 \Delta P_{1,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} - \frac{f_{2,G}^2 \Delta P_{2,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} \quad \Delta P_{IF,C}^q = \frac{f_{1,C}^2 \Delta P_{1,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} - \frac{f_{2,C}^2 \Delta P_{2,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} \quad (7)$$

[0022] 其中,式(1)与式(2)分别是GPS站间单差无电离层组合载波观测方程和伪距观测方程,式3)与式(4)分别是BDS站间单差无电离层组合子载波观测方程和伪距观测方程;式(5)是GPS站间单差载波观测值无电离层组合形式与站间单差模糊度无电离层组合形式,式(6)是BDS站间单差载波观测值无电离层组合形式与站间单差模糊度无电离层组合形式,式(7)是GPS与BDS的站间单差伪距无电离层组合形式;

[0023] 式中, $s=1_G, 2_G, \dots, m_G, m_G$ 表示GPS卫星数, $\Delta\phi_{IF,G}^s$ 表示GPS卫星s站间单差无电离层组合载波观测值, $\Delta\rho_G^s$ 表示GPS卫星s站间单差站星距, Δdt 表示站间单差接收机钟差, $\lambda_{NL,G}$ 表示GPS卫星窄巷波长, $\Delta\delta_{IF,G}$ 表示GPS卫星接收机端站间单差无电离层组合载波硬件延迟, $\Delta N_{IF,G}^s$ 表示GPS卫星s站间单差无电离层组合模糊度, ΔT_G^s 表示GPS卫星站间单差对流层延迟, $\Delta\varepsilon_{IF,G}^s$ 表示GPS卫星合站间单差无电离层组测量噪声, $\Delta P_{IF,G}^s$ 表示GPS卫星s的站间单差无电离层组合伪距观测值, $\Delta d_{IF,G}$ 表示GPS卫星接收机端站间单差无电离层组合伪距硬件延迟, $\Delta e_{IF,G}^s$ 表示GPS卫星s站间单差无电离层组合伪距测量噪声; $q=1_C, 2_C, \dots, n_C, n_C$ 表示BDS卫星, $\Delta\phi_{IF,C}^q$ 表示BDS卫星q站间单差无电离层组合载波观测值, $\Delta\rho_C^q$ 表示BDS卫星q站间单差站星距, $\lambda_{NL,C}$ 表示BDS卫星窄巷波长, $\Delta\delta_{IF,C}$ 表示BDS卫星接收机端站间单差无电离层组合载波硬件延迟, $\Delta N_{IF,C}^q$ 表示BDS卫星q站间单差无电离层组合模糊度, ΔT_C^q 表示BDS卫星q站间单差对流层延迟, $\Delta\varepsilon_{IF,C}^q$ 表示BDS卫星q站间单差无电离层组合测量噪声, $\Delta P_{IF,C}^q$ 表示BDS卫星q站间单差无电离层组合伪距观测值, $\Delta d_{IF,C}$ 表示BDS卫星接收机端站间单差无电离层组合伪距硬件延迟, $\Delta e_{IF,C}^q$ 表示BDS卫星q站间单差无电离层组合伪距测量噪声; $\Delta\phi_{1,G}^s$ 表示GPS卫星s L1站间单差载波观测值, $\Delta\phi_{2,G}^s$ 表示GPS卫星s L2站间单差载波观测值, $\Delta N_{1,G}^s$ 表示GPS卫星s L1站间单差模糊度, $\Delta N_{2,G}^s$ 表示GPS卫星s L2站间单差模糊度, $\Delta P_{1,G}^s$ 表示GPS卫星s L1站间单差伪距观测值, $\Delta P_{2,G}^s$ 表示GPS卫星s L2站间单差伪距观测值, $f_{1,G}$ 表示GPS卫星L1的频率值, $f_{2,G}$ 表示GPS卫星L2的频率值; $\Delta\phi_{1,C}^q$ 表示BDS卫星q B1站间单差载波观测值, $\Delta\phi_{2,C}^q$ 表示BDS卫星q B2站间单差载波观测值, $\Delta N_{1,C}^q$ 表示BDS卫星q B1站间单差模糊度, $\Delta N_{2,C}^q$ 表示BDS卫星q B2站间单差模糊度, $\Delta P_{1,C}^q$ 表示BDS卫星q B1站间单差伪距观测值, $\Delta P_{2,C}^q$ 表示BDS卫星q B2站间单差伪距观测值, $f_{1,C}$ 表示BDS卫星B1的频率值, $f_{2,C}$ 表示BDS卫星B2的频率值;

[0024] 步骤12,选择GPS基准卫星,根据步骤11所建站间单差无电离层组合模型,建立GPS系统内双差无电离层组合模型及GPS/BDS系统间双差无电离层组合模型;

[0025] 以GPS卫星 1_G 为基准卫星,则式(8)与式(9)为GPS系统内双差无电离层组合模型,式(10)与式(11)为GPS/BDS系统间双差无电离层组合模型:

$$[0026] \quad \nabla\Delta\phi_{IF,G}^{1_G,s} = \nabla\Delta\rho_G^{1_G,s} + \lambda_{NL,G}\Delta N_{NL,G}^{1_G,s} + \nabla\Delta T_G^{1_G,s} + \nabla\Delta\varepsilon_{IF,G}^{1_G,s} \quad (8)$$

$$[0027] \quad \nabla\Delta P_G^{1_G,s} = \nabla\Delta\rho_G^{1_G,s} + \nabla\Delta T_G^{1_G,s} + \nabla\Delta e_{IF,G}^{1_G,s} \quad (9)$$

$$[0028] \quad \begin{aligned} \nabla\Delta\phi_{IF,GC}^{1_G,q} &= \Delta\phi_{IF,C}^q - \Delta\phi_{IF,G}^{1_G} \\ &= \nabla\Delta\rho_{GC}^{1_G,q} + \lambda_{NL,C}\nabla\Delta N_{IF,GC}^{1_G,q} + (\lambda_{NL,C} - \lambda_{NL,G})\Delta N_{IF,G}^{1_G} \\ &\quad + \lambda_{NL,C}\nabla\Delta\delta_{IF,GC} + \nabla\Delta T_{GC}^{1_G,q} + \nabla\Delta\varepsilon_{IF,GC}^{1_G,q} \end{aligned} \quad (10)$$

$$[0029] \quad \nabla\Delta P_{IF,GC}^{1_G,q} = \Delta P_{IF,C}^q - \Delta P_{IF,G}^{1_G} = \nabla\Delta\rho_{GC}^{1_G,q} + \nabla\Delta d_{IF,GC} + \nabla\Delta T_{GC}^{1_G,q} + \nabla\Delta e_{IF,GC}^{1_G,q} \quad (11)$$

[0030] 其中, $\nabla\Delta\phi_{IF,G}^{1_G,s}$ 表示GPS系统内双差无电离层组合载波观测值, $\nabla\Delta\rho_G^{1_G,s}$ 表示GPS系统内双差站星距, $\Delta N_{IF,G}^{1_G,s}$ 表示GPS系统内双差无电离层组合模糊度, $\nabla\Delta T_G^{1_G,s}$ 表示GPS系统内双差对流层延迟, $\nabla\Delta\varepsilon_{IF,G}^{1_G,s}$ 表示GPS系统内双差无电离层组合载波观测噪声, $\nabla\Delta P_{IF,G}^{1_G,s}$ 表示GPS系统内双差无电离层组合伪距观测值, $\nabla\Delta e_{IF,G}^{1_G,s}$ 表示GPS系统内双差无电离层组合载波观测噪声; $\nabla\Delta\phi_{IF,GC}^{1_G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差无电离层组合载波观测值, $\nabla\Delta\rho_{GC}^{1_G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差站星距, $\nabla\Delta N_{IF,GC}^{1_G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差无电离层组合模糊度, $\Delta N_{IF,G}^{1_G}$ 表示GPS基准卫星站间单差无电离层组合模糊度, $\nabla\Delta\delta_{IF,GC} = \Delta\delta_{IF,C} - \frac{\lambda_{NL,G}}{\lambda_{NL,C}}\Delta\delta_{IF,G}$ 表示GPS/BDS无电离层组合载波差分系统间偏差, $\nabla\Delta T_{GC}^{1_G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差对流层延迟, $\nabla\Delta\varepsilon_{IF,GC}^{1_G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差无电离层组合载波观测噪声, $\nabla\Delta P_{IF,GC}^{1_G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差无电离层组合伪距观测值, $\nabla\Delta d_{IF,GC} = \Delta d_{IF,C} - \Delta d_{IF,G}$ 表示GPS/BDS无电离层组合伪距差分系统间偏差, $\nabla\Delta e_{IF,GC}^{1_G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差无电离层组合伪距观测噪声;

[0031] 步骤13,选择BDS基准卫星,构建GPS与BDS系统内双差宽巷模糊度解算模型:

[0032] 以BDS卫星 1_C 为BDS的基准卫星,则GPS与BDS各自的系统内双差宽巷模糊度解算模型分别为:

$$[0033] \quad \nabla\Delta N_{WL,G}^{1_G,s} = \nabla\Delta\phi_{WL,G}^{1_G,s} - \frac{f_{1,G}\nabla\Delta P_{1,G}^{1_G,s} + f_{2,G}\nabla\Delta P_{2,G}^{1_G,s}}{\lambda_{WL,G}(f_{1,G} + f_{2,G})} \quad (12)$$

$$[0034] \quad \nabla\Delta N_{WL,C}^{1_C,q} = \nabla\Delta\phi_{WL,C}^{1_C,q} - \frac{f_{1,C}\nabla\Delta P_{1,C}^{1_C,q} + f_{2,C}\nabla\Delta P_{2,C}^{1_C,q}}{\lambda_{WL,C}(f_{1,C} + f_{2,C})} \quad (13)$$

[0035] 式中, $\nabla\Delta N_{WL,G}^{1_G,s}$ 表示GPS双差宽巷模糊度, $\nabla\Delta\phi_{WL,G}^{1_G,s}$ 表示GPS双差宽巷载波观测值, $\nabla\Delta P_{1,G}^{1_G,s}$ 表示GPS L1双差伪距观测值, $\nabla\Delta P_{2,G}^{1_G,s}$ 表示GPS L2双差伪距观测值, $\lambda_{WL,G}$ 表示GPS宽巷波长; $\nabla\Delta N_{WL,C}^{1_C,q}$ 表示BDS双差宽巷模糊度, $\nabla\Delta\phi_{WL,C}^{1_C,q}$ 表示BDS双差宽巷载波观测值, $\nabla\Delta P_{1,C}^{1_C,q}$ 表示BDS B1双差伪距观测值, $\nabla\Delta P_{2,C}^{1_C,q}$ 表示BDS B2双差伪距观测值, $\lambda_{WL,C}$ 表示BDS宽巷波长。

[0036] 对式(12)与式(13)进行多历元平滑四舍五入取整,得到双差宽巷整周模糊度:

$$\begin{aligned}
& \nabla \widehat{\Delta N}_{WL,G}^{1G,s} = \text{round} \left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \nabla \widehat{\Delta N}_{WL,G}^{1G,s} \right) \\
[0037] \quad & \nabla \widehat{\Delta N}_{WL,C}^{1C,q} = \text{round} \left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \nabla \widehat{\Delta N}_{WL,C}^{1C,q} \right) \quad (14)
\end{aligned}$$

$k \in N^+$

[0038] 式中, $\nabla \widehat{\Delta N}_{WL,G}^{1G,s}$ 与 $\nabla \widehat{\Delta N}_{WL,C}^{1C,q}$ 即分别为通过多历元平滑四舍五入取整得到的GPS与BDS双差宽巷整周模糊度, round表示四舍五入取整算子, k表示历个数。

[0039] 作为本发明的进一步技术方案, 步骤2具体为:

[0040] 步骤21, 根据步骤13所选BDS基准卫星, 将GPS/BDS系统间双差无电离层组合模糊度重参化:

[0041] 根据步骤12, GPS/BDS系统间双差无电离层组合模糊度表示为:

[0042]

$$\nabla \Delta N_{IF,GC}^{1G,q} = (\Delta N_{IF,C}^q - \Delta N_{IF,C}^{1C}) + (\Delta N_{IF,C}^{1C} - \Delta N_{IF,G}^{1G}) = \nabla \Delta N_{IF,C}^{1C,q} + \nabla \Delta N_{IF,GC}^{1G^{1C}} \quad (15)$$

[0043] 式中, $\Delta N_{IF,C}^{1C}$ 表示BDS基准卫星的站间单差无电离层组合模糊度, $\nabla \Delta N_{IF,C}^{1C,q}$ 表示BDS系统内双差无电离层组合模糊度, $\nabla \Delta N_{IF,GC}^{1G^{1C}}$ 表示BDS基准卫星与GPS基准卫星的GPS/BDS系统间双差无电离层组合模糊度;

[0044] 根据式(15), 式10) 表示为:

[0045]

$$\begin{aligned}
\nabla \Delta \phi_{IF,GC}^{1G,q} = & \nabla \Delta \rho_{GC}^{1G,q} + \lambda_{NL,C} \nabla \Delta N_{IF,C}^{1C,q} + \lambda_{NL,C} \nabla \Delta N_{IF,GC}^{1G^{1C}} + (\lambda_{IF,C} - \lambda_{IF,G}) \Delta N_{IF,G}^{1G} \\
& + \lambda_{NL,C} \nabla \Delta \delta_{IF,GC} + \nabla \Delta T_{GC}^{1G,q} + \nabla \Delta \varepsilon_{IF,GC}^{1G,q} \quad (16)
\end{aligned}$$

[0046] 式(10) 中, $\nabla \Delta N_{IF,GC}^{1G^{1C}}$ 、 $\Delta N_{IF,G}^{1G}$ 、 $\nabla \Delta \delta_{IF,GC}$ 为所有BDS卫星共有参数并且线性相关;

[0047] 步骤22, 合并共有参数, 将无电离层组合载波差分系统间偏差重参化, 实现参数去相关:

[0048] 根据式(16), 合并共有参数后的GPS/BDS系统间双差无电离层组合观测方程表示为:

$$\nabla \Delta \phi_{IF,GC}^{1G,q} = \nabla \Delta \rho_{GC}^{1G,q} + \lambda_{NL,C} \nabla \Delta N_{NL,C}^{1C,q} + \lambda_{NL,C} \nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC} + \nabla \Delta T_{GC}^{1G,q} + \nabla \Delta \varepsilon_{IF,GC}^{1G,q} \quad (17)$$

[0050] 式中, $\nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC}$ 为重参化之后的无电离层组合载波差分系统间偏差,

$$\nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC} = \nabla \Delta N_{IF,GC}^{1G^{1C}} + \nabla \Delta \delta_{IF,GC} + \left(1 - \frac{\lambda_{NL,C}}{\lambda_{NL,G}} \right) \Delta N_{IF,G}^{1G}$$

[0052] 作为本发明的进一步技术方案, 步骤3具体为:

[0053] 步骤31, 进行GPS基准转换:

[0054] 假设在第t历元, GPS基准卫星从 1_G 转换为 i_G , 则对应的第t历元的无电离层组合载波差分系统间偏差 $\nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC}(t)$ 为:

[0055]

$$\nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC}(t) = \nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC}(t-1) - \frac{\lambda_{NL,G}}{\lambda_{NL,C}} \Delta \nabla N_{IF,G}^{1G^{1C}} = \nabla \Delta \delta_{IF,GC} + \nabla \Delta N_{IF,GC}^{i_G^{1C}} + \left(1 - \frac{\lambda_{NL,G}}{\lambda_{NL,C}} \right) \Delta N_{IF,G}^{i_G} \quad (18)$$

[0056] 式中, $\nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC}(t-1)$ 为第 $t-1$ 历元的无电离层组合载波差分系统间偏差;

[0057] 步骤32, 进行BDS基准转换:

[0058] 假设在第 j 历元, BDS基准卫星从 $1c$ 转换为 i_c , 而此时的GPS基准卫星为步骤31中的 i_G , 则对应的第 j 历元的无电离层组合载波差分系统间偏差 $\nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC}(j)$ 为:

[0059]

$$\nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC}(j) = \nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC}(j-1) + \nabla\Delta N_{IF,GC}^{1c,i_c} = \nabla\Delta\delta_{IF,GC} + \nabla\Delta N_{IF,GC}^{i_G,i_c} + \left(1 - \frac{\lambda_{NL,G}}{\lambda_{NL,C}}\right) \Delta N_{IF,G}^{i_G} \quad (19)$$

[0060] 式中, $\nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC}(j-1)$ 为第 $j-1$ 历元的无电离层组合差分载波系统间偏差;

[0061] 至此, 已实现无电离层组合载波差分系统间偏差的持续可估性。

[0062] 作为本发明的进一步技术方案, 步骤4具体为:

[0063] 步骤41, 利用无电离层组合与结合, 根据步骤13所得的宽巷模糊度分离GPS L1模糊度与BDS B1模糊度:

$$\nabla\Delta N_{1,G}^{1c,s} = \nabla\Delta N_{IF,G}^{1c,s} - \frac{f_{2,G}}{f_{1,G} - f_{2,G}} \nabla\Delta\bar{N}_{WL,G}^{1c,s} \quad (20)$$

$$\nabla\Delta N_{1,C}^{1c,q} = \nabla\Delta N_{IF,C}^{1c,q} - \frac{f_{2,C}}{f_{1,C} - f_{2,C}} \nabla\Delta\bar{N}_{WL,C}^{1c,q} \quad (21)$$

[0066] 式中, $\nabla\Delta N_{1,G}^{1c,s}$ 为分离出来的GPS L1模糊度浮点解, $\nabla\Delta N_{1,C}^{1c,q}$ 为分离出的BDS B1模糊度浮点解, $\nabla\Delta\bar{N}_{1,G}^{1c,s}$ 为GPS L1模糊度整数解, $\nabla\Delta\bar{N}_{1,C}^{1c,q}$ 为BDS B1模糊度整数解;

[0067] 步骤42, 根据步骤13所得的宽巷模糊度与步骤41所得的GPS L1模糊度与BDS B1模糊度, 计算GPS L2模糊度整数解与BDS L2模糊度整数解:

$$\nabla\Delta\bar{N}_{2,G}^{1c,s} = \nabla\Delta\bar{N}_{1,G}^{1c,s} - \nabla\Delta\bar{N}_{WL,G}^{1c,s}, \quad \nabla\Delta\bar{N}_{2,C}^{1c,q} = \nabla\Delta\bar{N}_{1,C}^{1c,q} - \nabla\Delta\bar{N}_{WL,C}^{1c,q} \quad (22)$$

[0069] 式中, $\nabla\Delta\bar{N}_{2,G}^{1c,s}$ 与 $\nabla\Delta\bar{N}_{2,C}^{1c,q}$ 分别为GPS L2与BDS B2的模糊度整数解。

[0070] 作为本发明的进一步技术方案, 利用Lambda法搜索得到GPS L1与BDS B1模糊度整数解 $\nabla\Delta\bar{N}_{1,G}^{1c,s}$ 与 $\nabla\Delta\bar{N}_{1,C}^{1c,q}$ 。

[0071] 作为本发明的进一步技术方案, 步骤5具体为: 根据步骤41与步骤42所得模糊度整数解及载波观测值按照步骤21所示组成双差无电离层组合, 将所组无电离层组合与步骤2所得的无电离层组合载波差分系统间偏差带入式 (5) 与式 (7) 进行定位。

[0072] 本发明采用以上技术方案与现有技术相比, 具有以下技术效果:

[0073] (1) 本发明采用GNSS系统间不同频率观测值进行载波差分紧组合定位, 克服了现有研究中系统间观测值频率必须相同的缺点;

[0074] (2) 本发明可以减少待估参数, 有利于在遮挡环境下增强观测模型稳定性, 提高定位精度与可靠性。

附图说明

[0075] 图1是松组合N方向7天定位偏差图。

[0076] 图2是紧组合E方向7天定位偏差图。

- [0077] 图3是松组合N方向7天定位偏差图。
 [0078] 图4是紧组合E方向7天定位偏差图。
 [0079] 图5是松组合E方向7天定位偏差图。
 [0080] 图6是紧组合E方向7天定位偏差图。
 [0081] 图7是本发明的方法流程图。

具体实施方式

[0082] 下面结合附图和具体实施例,进一步阐明本发明,应理解这些实例仅用于说明本发明而并不用于限制本发明的范围,在阅读了本发明之后,本领域技术人员对本发明的各种等价形式的修改均落于本申请所附权利要求所限定的范围。

[0083] 本发明一种GPS/BDS紧组合载波差分定位算法,如图7所示,包括以下步骤:

[0084] 步骤1,选择GPS (Global Positioning System) 基准卫星,构建GPS系统内双差无电离层组合模型与GPS/BDS (Bei Dou Navigation Satellite System) 系统间双差无电离层组合模型及GPS/BDS系统内双差宽巷模糊度解算模型;

[0085] 步骤2,实现无电离层组合的系统间偏差参数与单差、双差模糊度去相关;

[0086] 步骤3,进行基准转换,实现差分系统间偏差持续可估性;

[0087] 步骤4,利用无电离层组合结合宽巷模糊度分离基础载波模糊度;

[0088] 步骤5,利用基础载波组成无电离层组合进行定位。

[0089] 所述步骤1中,构建GPS系统内双差模型与GPS/BDS系统间双差模型包括以下步骤:

[0090] 步骤11,构建无电离层组合站间单差无电离层组合模型:

[0091] 假设共观测到m颗GPS卫星和n颗BDS卫星,站间单差无电离层组合观测模型可以表示为:

$$[0092] \quad \Delta\phi_{IF,G}^s = \Delta\rho_G^s + \Delta dt + \lambda_{NL,G} (\Delta\delta_{IF,G} + \Delta N_{IF,G}^s) + \Delta T_G^s + \Delta\varepsilon_{IF,G}^s \quad (1)$$

$$[0093] \quad \Delta P_{IF,G}^s = \Delta\rho_G^s + \Delta dt + \Delta d_{IF,G} + \Delta T_G^s + \Delta e_G^s \quad (2)$$

$$[0094] \quad \Delta\phi_{IF,C}^q = \Delta\rho_C^q + \Delta dt + \lambda_{NL,C} (\Delta\delta_{IF,C} + \Delta N_{IF,C}^q) + \Delta T_C^q + \Delta\varepsilon_{IF,C}^q \quad (3)$$

$$[0095] \quad \Delta P_{IF,C}^q = \Delta\rho_C^q + \Delta dt + \Delta d_{IF,C} + \Delta T_C^q + \Delta e_{IF,C}^q \quad (4)$$

$$[0096] \quad \Delta\phi_{IF,G}^s = \frac{f_{1,G}^2 \Delta\phi_{1,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} - \frac{f_{2,G}^2 \Delta\phi_{2,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} \quad \Delta N_{IF,G}^s = \frac{f_{1,G}^2 \Delta N_{1,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} - \frac{f_{2,G}^2 \Delta N_{2,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} \quad (5)$$

$$[0097] \quad \Delta\phi_{IF,C}^q = \frac{f_{1,C}^2 \Delta\phi_{1,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} - \frac{f_{2,C}^2 \Delta\phi_{2,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} \quad \Delta N_{IF,C}^q = \frac{f_{1,C}^2 \Delta N_{1,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} - \frac{f_{2,C}^2 \Delta N_{2,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} \quad (6)$$

$$[0098] \quad \Delta P_{IF,G}^s = \frac{f_{1,G}^2 \Delta P_{1,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} - \frac{f_{2,G}^2 \Delta P_{2,G}^s}{f_{1,G}^2 - f_{2,G}^2} \quad \Delta P_{IF,C}^q = \frac{f_{1,C}^2 \Delta P_{1,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} - \frac{f_{2,C}^2 \Delta P_{2,C}^q}{f_{1,C}^2 - f_{2,C}^2} \quad (7)$$

[0099] 式(1)与式(2)分别是GPS站间单差无电离层组合子载波观测方程和伪距观测方程,式(3)与式(4)分别是BDS站间单差无电离层组合子载波观测方程和伪距观测方程;式(5)是GPS站间单差载波观测值无电离层组合形式与站间单差模糊度无电离层组合形式,式(6)是BDS站间单差载波观测值无电离层组合形式与站间单差模糊度无电离层组合形式,式(7)是GPS与BDS的站间单差伪距无电离层组合形式。式(5)(6)(7)所示无电离层组合形式同样适用于非差形式与双差形式。

[0100] 式中, $\Delta\phi_{IF,G}^s$ (上标 $s=1_G, 2_G, \dots, m_G$ 表示GPS卫星) 表示GPS卫星站间单差无电离层组合载波观测值(米), $\Delta\rho_G^s$ 表示GPS卫星站间单差站星距, Δdt 表示站间单差接收机钟差, $\lambda_{NL,G}$ 表示GPS卫星窄巷波长, $\Delta\delta_{IF,G}$ 表示GPS卫星接收机端站间单差无电离层组合载波硬件延迟, $\Delta N_{IF,G}^s$ 表示GPS卫星站间单差无电离层组合模糊度, ΔT_G^s 表示GPS卫星站间单差对流层延迟, $\Delta\varepsilon_{IF,G}^s$ 表示GPS卫星合站间单差无电离层组测量噪声, $\Delta P_{IF,G}^s$ 表示GPS卫星的站间单差无电离层组合伪距观测值, $\Delta d_{IF,G}$ 表示GPS卫星接收机端站间单差无电离层组合伪距硬件延迟, $\Delta e_{IF,G}^s$ 表示GPS卫星站间单差无电离层组合伪距测量噪声; $\Delta\phi_{IF,C}^q$ (上标 $q=1_C, 2_C, \dots, n_C$ 表示BDS卫星) 表示BDS卫星站间单差无电离层组合载波观测值(米), $\Delta\rho_C^q$ 表示BDS卫星站间单差站星距, $\lambda_{NL,C}$ 表示BDS卫星窄巷波长, $\Delta\delta_{IF,C}$ 表示BDS卫星接收机端站间单差无电离层组合载波硬件延迟, $\Delta N_{IF,C}^q$ 表示BDS卫星站间单差无电离层组合模糊度, ΔT_C^q 表示BDS卫星站间单差对流层延迟, $\Delta\varepsilon_{IF,C}^q$ 表示BDS卫星站间单差无电离层组合测量噪声, $\Delta P_{IF,C}^q$ 表示BDS卫星站间单差无电离层组合伪距观测值, $\Delta d_{IF,C}$ 表示BDS卫星接收机端站间单差无电离层组合伪距硬件延迟, $\Delta e_{IF,C}^q$ 表示BDS卫星站间单差无电离层组合伪距测量噪声。 $\Delta\phi_{1,G}^s$ 表示GPS L1站间单差载波观测值(米), $\Delta\phi_{2,G}^s$ 表示GPS L2站间单差载波观测值(米), $\Delta N_{1,G}^s$ 表示GPS L1站间单差模糊度, $\Delta N_{2,G}^s$ 表示GPS L2站间单差模糊度, $\Delta P_{1,G}^s$ 表示GPS L1站间单差伪距观测值, $\Delta P_{2,G}^s$ 表示GPS L2站间单差伪距观测值, $f_{1,G}$ 表示GPS L1的频率值, $f_{2,G}$ 表示GPS L2的频率值; $\Delta\phi_{1,C}^q$ 表示BDS B1站间单差载波观测值(米), $\Delta\phi_{2,C}^q$ 表示BDS B2站间单差载波观测值(米), $\Delta N_{1,C}^q$ 表示BDS B1站间单差模糊度, $\Delta N_{2,C}^q$ 表示BDS B2站间单差模糊度, $\Delta P_{1,C}^q$ 表示BDS B1站间单差伪距观测值, $\Delta P_{2,C}^q$ 表示BDS B2站间单差伪距观测值, $f_{1,C}$ 表示BDS B1的频率值, $f_{2,C}$ 表示BDS B2的频率值。

[0101] 步骤12, 选择GPS基准卫星, 根据步骤11所建站间单差无电离层组合模型, 建立GPS系统内双差无电离层组合模型及GPS/BDS系统间双差无电离层组合模型:

[0102] 假设以GPS卫星 1_G 为基准卫星, 则所建模型可表示为:

$$[0103] \quad \nabla\Delta\phi_{IF,G}^{1_G,s} = \nabla\Delta\rho_G^{1_G,s} + \lambda_{NL,G}\Delta N_{NL,G}^{1_G,s} + \nabla\Delta T_G^{1_G,s} + \nabla\Delta\varepsilon_{IF,G}^{1_G,s} \quad (8)$$

$$[0104] \quad \nabla\Delta P_G^{1_G,s} = \nabla\Delta\rho_G^{1_G,s} + \nabla\Delta T_G^{1_G,s} + \nabla\Delta e_{IF,G}^{1_G,s} \quad (9)$$

$$[0105] \quad \begin{aligned} \nabla\Delta\phi_{IF,GC}^{1_G,q} &= \Delta\phi_{IF,C}^q - \Delta\phi_{IF,G}^{1_G} \\ &= \nabla\Delta\rho_{GC}^{1_G,q} + \lambda_{NL,C}\nabla\Delta N_{IF,GC}^{1_G,q} + (\lambda_{NL,C} - \lambda_{NL,G})\Delta N_{IF,G}^{1_G} \\ &\quad + \lambda_{NL,C}\nabla\Delta\delta_{IF,GC} + \nabla\Delta T_{GC}^{1_G,q} + \nabla\Delta\varepsilon_{IF,GC}^{1_G,q} \end{aligned} \quad (10)$$

$$[0106] \quad \nabla\Delta P_{IF,GC}^{1_G,q} = \Delta P_{IF,C}^q - \Delta P_{IF,G}^{1_G} = \nabla\Delta\rho_{GC}^{1_G,q} + \nabla\Delta d_{IF,GC} + \nabla\Delta T_{GC}^{1_G,q} + \nabla\Delta e_{IF,GC}^{1_G,q} \quad (11)$$

[0107] 式(8)与式(9)即GPS系统内双差无电离层组合模型, 式(10)与式(11)即GPS/BDS系统间双差无电离层组合模型。

[0108] 其中, $\nabla\Delta\delta_{IF,GC} = \Delta\delta_{IF,C} - \frac{\lambda_{NL,G}}{\lambda_{NL,C}}\Delta\delta_{IF,G}$ 表示GPS/BDS无电离层组合载波差分系统间偏差, $\nabla\Delta d_{IF,GC} = \Delta d_{IF,C} - \Delta d_{IF,G}$ 表示GPS/BDS无电离层组合伪距差分系统间偏差, $\nabla\Delta\phi_{IF,G}^{1_G,s}$ 表

示GPS系统内双差无电离层组合载波观测值, $\nabla\Delta\rho_G^{1G,s}$ 表示GPS系统内双差站星距, $\Delta N_{IF,G}^{1G,s}$ 表示GPS系统内双差无电离层组合模糊度, $\nabla\Delta T_G^{1G,s}$ 表示GPS系统内双差对流层延迟, $\nabla\Delta\varepsilon_{IF,G}^{1G,s}$ 表示GPS系统内双差无电离层组合载波观测噪声, $\nabla\Delta P_{IF,G}^{1G,s}$ 表示GPS系统内双差无电离层组合伪距观测值, $\nabla\Delta e_{IF,G}^{1G,s}$ 表示GPS系统内双差无电离层组合载波观测噪声; $\nabla\Delta\phi_{IF,GC}^{1G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差无电离层组合载波观测值, $\nabla\Delta\rho_{GC}^{1G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差站星距, $\nabla\Delta N_{IF,GC}^{1G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差无电离层组合模糊度, $\Delta N_{IF,G}^{1G,q}$ 表示GPS基准卫星站间单差无电离层组合模糊度, $\nabla\Delta T_{GC}^{1G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差对流层延迟, $\nabla\Delta\varepsilon_{IF,GC}^{1G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差无电离层组合载波观测噪声, $\nabla\Delta P_{IF,GC}^{1G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差无电离层组合伪距观测值, $\nabla\Delta e_{IF,GC}^{1G,q}$ 表示GPS/BDS系统间双差无电离层组合伪距观测噪声。

[0109] 步骤13,选择BDS基准卫星,构建GPS与BDS系统内双差宽巷模糊度解算模型:

[0110] 假设以BDS卫星1c为BDS的基准卫星,则GPS与BDS各自的系统内双差宽巷模糊度解算模型如下所示:

$$[0111] \quad \nabla\Delta N_{WL,G}^{1G,s} = \nabla\Delta\phi_{WL,G}^{1G,s} - \frac{f_{1,G}\nabla\Delta P_{1,G}^{1G,s} + f_{2,G}\nabla\Delta P_{2,G}^{1G,s}}{\lambda_{WL,G}(f_{1,G} + f_{2,G})} \quad (12)$$

$$[0112] \quad \nabla\Delta N_{WL,C}^{1C,q} = \nabla\Delta\phi_{WL,C}^{1C,q} - \frac{f_{1,C}\nabla\Delta P_{1,C}^{1C,q} + f_{2,C}\nabla\Delta P_{2,C}^{1C,q}}{\lambda_{WL,C}(f_{1,C} + f_{2,C})} \quad (13)$$

[0113] 式12)与式13)分别为GPS系统内双差宽巷模糊度解算模型与BDSS系统内双差宽巷模糊度解算模型。

[0114] 式中, $\nabla\Delta N_{WL,G}^{1G,s}$ 表示GPS双差宽巷模糊度, $\nabla\Delta\phi_{WL,G}^{1G,s}$ 表示GPS双差宽巷载波观测值(周), $\nabla\Delta P_{1,G}^{1G,s}$ 表示GPS L1双差伪距观测值, $\nabla\Delta P_{2,G}^{1G,s}$ 表示GPS L2双差伪距观测值, $\lambda_{WL,G}$ 表示GPS宽巷波长; $\nabla\Delta N_{WL,C}^{1C,q}$ 表示BDS双差宽巷模糊度, $\nabla\Delta\phi_{WL,C}^{1C,q}$ 表示BDS双差宽巷载波观测值(周), $\nabla\Delta P_{1,C}^{1C,q}$ 表示BDS B1双差伪距观测值, $\nabla\Delta P_{2,C}^{1C,q}$ 表示BDS B2双差伪距观测值, $\lambda_{WL,C}$ 表示BDS宽巷波长。

[0115] 对式(12)与式(13)进行多历元平滑四舍五入取整可得到双差宽巷整周模糊度,如下式所示:

[0116]

$$\nabla\Delta\widehat{N}_{WL,G}^{1G,s} = \text{round}\left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \nabla\Delta N_{WL,G}^{1G,s}\right) \quad \nabla\Delta\widehat{N}_{WL,C}^{1C,q} = \text{round}\left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \nabla\Delta N_{WL,C}^{1C,q}\right) \quad k \in N^+ \quad (14)$$

[0117] 式中, $\nabla\Delta\widehat{N}_{WL,G}^{1G,s}$ 与 $\nabla\Delta\widehat{N}_{WL,C}^{1C,q}$ 即分别为通过多历元平滑四舍五入取整得到的GPS与BDS双差宽巷整周模糊度, round表示四舍五入取整算子, k表示历个数。

[0118] 所述步骤2中,实现无电离层组合系统间偏差参数与单差、双差模糊度去相关包括以下步骤:

[0119] 步骤21,根据步骤23所选BDS基准卫星,将GPS/BDS系统间双差无电离层组合模糊度重参化:

[0120] 根据步骤12, GPS/BDS系统间双差无电离层组合模糊度可表示为:

[0121]

$$\nabla \Delta N_{IF,GC}^{l_G,q} = (\Delta N_{IF,C}^{l_G,q} - \Delta N_{IF,C}^{l_C}) + (\Delta N_{IF,C}^{l_C} - \Delta N_{IF,G}^{l_G}) = \nabla \Delta N_{IF,C}^{l_G,q} + \nabla \Delta N_{IF,GC}^{l_C,l_C} \quad (15)$$

[0122] 式中, $\Delta N_{IF,C}^{l_C}$ 表示BDS基准卫星的站间单差无电离层组合模糊度, $\nabla \Delta N_{IF,C}^{l_G,q}$ 表示BDS系统内双差无电离层组合模糊度, $\nabla \Delta N_{IF,GC}^{l_C,l_C}$ 表示BDS基准卫星与GPS基准卫星的GPS/BDS系统间双差无电离层组合模糊度。

[0123] 根据式(15), 式10)可表示为:

[0124]

$$\begin{aligned} \nabla \Delta \phi_{IF,GC}^{l_G,q} = & \nabla \Delta \rho_{GC}^{l_G,q} + \lambda_{NL,C} \nabla \Delta N_{IF,C}^{l_C,q} + \lambda_{NL,C} \nabla \Delta N_{IF,GC}^{l_C,l_C} + (\lambda_{IF,C} - \lambda_{IF,G}) \Delta N_{IF,G}^{l_G} \\ & + \lambda_{NL,C} \nabla \Delta \delta_{IF,GC} + \nabla \Delta T_{GC}^{l_G,q} + \nabla \Delta \varepsilon_{IF,GC}^{l_G,q} \end{aligned} \quad (16)$$

[0125] 式(10)中, $\nabla \Delta N_{IF,GC}^{l_C,l_C}$, $\Delta N_{IF,G}^{l_G}$, $\nabla \Delta \delta_{IF,GC}$ 为所有BDS卫星共有参数并且线性相关。

[0126] 步骤22, 合并共有参数, 将无电离层组合载波差分系统间偏差重参化, 实现参数去相关:

[0127] 根据式(16), 合并共有参数后的GPS/BDS系统间双差无电离层组合观测方程可表示为:

[0128]

$$\nabla \Delta \phi_{IF,GC}^{l_G,q} = \nabla \Delta \rho_{GC}^{l_G,q} + \lambda_{NL,C} \nabla \Delta N_{NL,C}^{l_C,q} + \lambda_{NL,C} \nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC} + \nabla \Delta T_{GC}^{l_G,q} + \nabla \Delta \varepsilon_{IF,GC}^{l_G,q} \quad (17)$$

[0129] 式中, $\nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC} = \nabla \Delta N_{IF,GC}^{l_C,l_C} + \nabla \Delta \delta_{IF,GC} + (1 - \frac{\lambda_{NL,C}}{\lambda_{NL,G}}) \Delta N_{IF,G}^{l_G}$, $\nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC}$ 为重参化之后的无

电离层组合载波差分系统间偏差, 后文将以 $\nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC}$ 形式作为无电离层组合载波差分系统间偏差。

[0130] 所述步骤3中, 进行基准转换, 实现无电离层组合差分系统间偏差的持续可估性包括以下步骤:

[0131] 步骤31, 进行GPS基准转换:

[0132] 假设在第t历元, GPS基准卫星从 l_G 变为 i_G , 则对应的第t历元的无电离层组合载波差分系统间偏差 $\nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC}(t)$ 为:

[0133]

$$\nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC}(t) = \nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC}(t-1) - \frac{\lambda_{NL,G}}{\lambda_{NL,C}} \Delta N_{IF,G}^{l_G,i_G} = \nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC} + \nabla \Delta N_{IF,GC}^{i_G,l_C} + (1 - \frac{\lambda_{NL,G}}{\lambda_{NL,C}}) \Delta N_{IF,G}^{i_G} \quad (18)$$

[0134] 式中, $\nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC}(t-1)$ 为第t-1历元的无电离层组合载波差分系统间偏差。

[0135] 步骤32, 进行BDS基准转换:

[0136] 假设在第j历元, BDS基准卫星从 l_C 变为 i_C , 而此时的GPS基准卫星为步骤41中的 i_G , 则对应的第j历元的无电离层组合载波差分系统间偏差 $\nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC}(j)$ 为:

[0137]

$$\nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC}(j) = \nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC}(j-1) + \nabla \Delta N_{IF,GC}^{i_C,i_C} = \nabla \Delta \bar{\delta}_{IF,GC} + \nabla \Delta N_{IF,GC}^{i_G,i_C} + (1 - \frac{\lambda_{NL,G}}{\lambda_{NL,C}}) \Delta N_{IF,G}^{i_G} \quad (19)$$

[0138] 式中, $\nabla\Delta\bar{\delta}_{IF,GC}^{(j-1)}$ 为第j-1历元的无电离层组合差分载波系统间偏差。至此,已实现无电离层组合载波差分系统间偏差得持续可估性。

[0139] 所述步骤4中,利用无电离层组合结合宽巷模糊度分离基础载波模糊度包括以下步骤:

[0140] 步骤41,利用无电离层组合与结合根据步骤23所得的宽巷模糊度分离GPS L1模糊度与BDS B1模糊度:

$$[0141] \quad \nabla\Delta N_{1,G}^{1_{G,S}} = \nabla\Delta N_{IF,G}^{1_{G,S}} - \frac{f_{2,G}}{f_{1,G} - f_{2,G}} \nabla\Delta \bar{N}_{WL,G}^{1_{G,S}} \quad (20)$$

$$[0142] \quad \nabla\Delta N_{1,C}^{1_{C,q}} = \nabla\Delta N_{IF,C}^{1_{C,q}} - \frac{f_{2,C}}{f_{1,C} - f_{2,C}} \nabla\Delta \bar{N}_{WL,C}^{1_{C,q}} \quad (21)$$

[0143] 式中, $\nabla\Delta N_{1,G}^{1_{G,S}}$ 为分离出来的GPS L1模糊度浮点解, $\nabla\Delta N_{1,C}^{1_{C,q}}$ 为分离出的BDS B1模糊度浮点解。利用Lambda (Least-squares Ambiguity Decorrelation Adjustment) 搜索得到GPS L1与BDS B1模糊度整数解 $\nabla\Delta \bar{N}_{1,G}^{1_{G,S}}$ 与 $\nabla\Delta \bar{N}_{1,C}^{1_{C,q}}$ 。

[0144] 步骤42,根据步骤23所得的宽巷模糊度与步骤41所得的GPS L1模糊度与BDS B1模糊度计算GPS L2模糊度整数解与BDS L2模糊度整数解:

$$[0145] \quad \nabla\Delta \bar{N}_{2,G}^{1_{G,S}} = \nabla\Delta \bar{N}_{1,G}^{1_{G,S}} - \nabla\Delta \bar{N}_{WL,G}^{1_{G,S}} \quad \nabla\Delta \bar{N}_{2,C}^{1_{C,q}} = \nabla\Delta \bar{N}_{1,C}^{1_{C,q}} - \nabla\Delta \bar{N}_{WL,C}^{1_{C,q}} \quad (22)$$

[0146] 式中, $\nabla\Delta \bar{N}_{2,G}^{1_{G,S}}$ 与 $\nabla\Delta \bar{N}_{2,C}^{1_{C,q}}$ 分别为GPS L2与BDS B2的模糊度整数解。

[0147] 所述步骤5中,利用基础载波组成无电离层组合进行定位包括以下步骤:

[0148] 步骤61,根据步骤41与步骤42所得模糊度整数解及载波观测值按照步骤21所示组成双差无电离层组合,将所组无电离层组合与步骤2所得的无电离层组合载波差分系统间偏差带入式(5)与式(7)进行定位。需要注意的是,无电离层组合载波差分系统间偏差与式(5)与(7)的基准卫星须保持一致。

[0149] 定位偏差如图1-6所示,图1、3、5分别表示松组合N/E/U三方向定位偏差图,图2、4、5分别表示紧组合N/E/U三方向定位偏差图。

[0150] 本方法以GPS为基准系统,组成无电离层组合进行GPS/BDS系统间紧组合载波差分定位。实时估计载波无电离层组合形式的系统间偏差,并利用无电离层组合与宽巷组合分离出基础载波模糊度,最后利用基础载波组成无电离层组合进行紧组合差分定位。

[0151] 以上所述,仅为本发明中的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉该技术的人在本发明所揭露的技术范围内,可理解想到的变换或替换,都应涵盖在本发明的包含范围之内,因此,本发明的保护范围应该以权利要求书的保护范围为准。

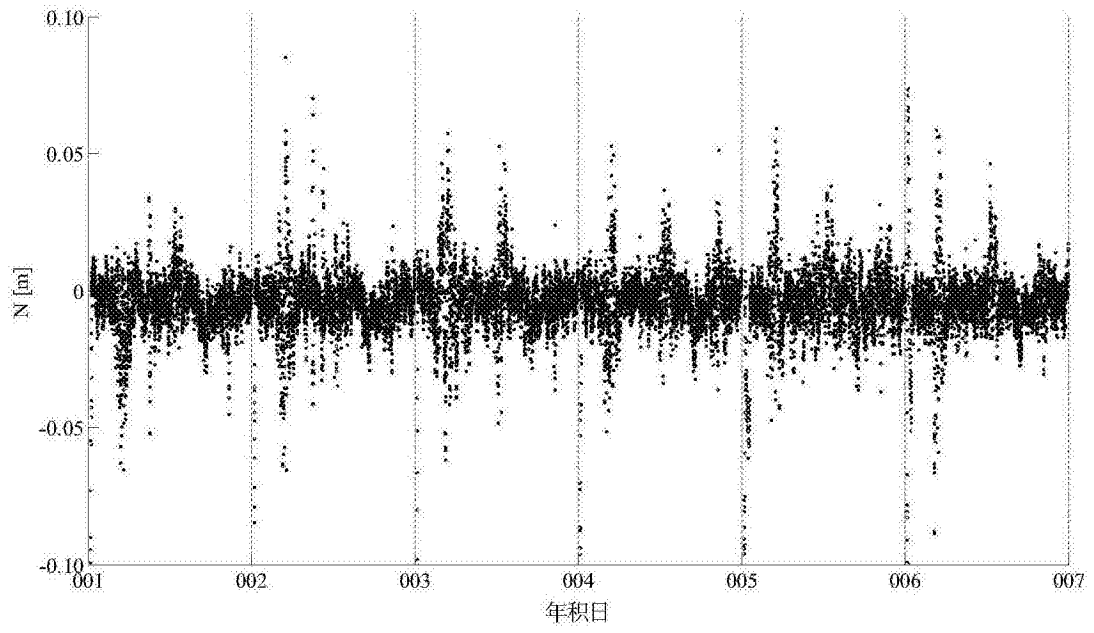


图1

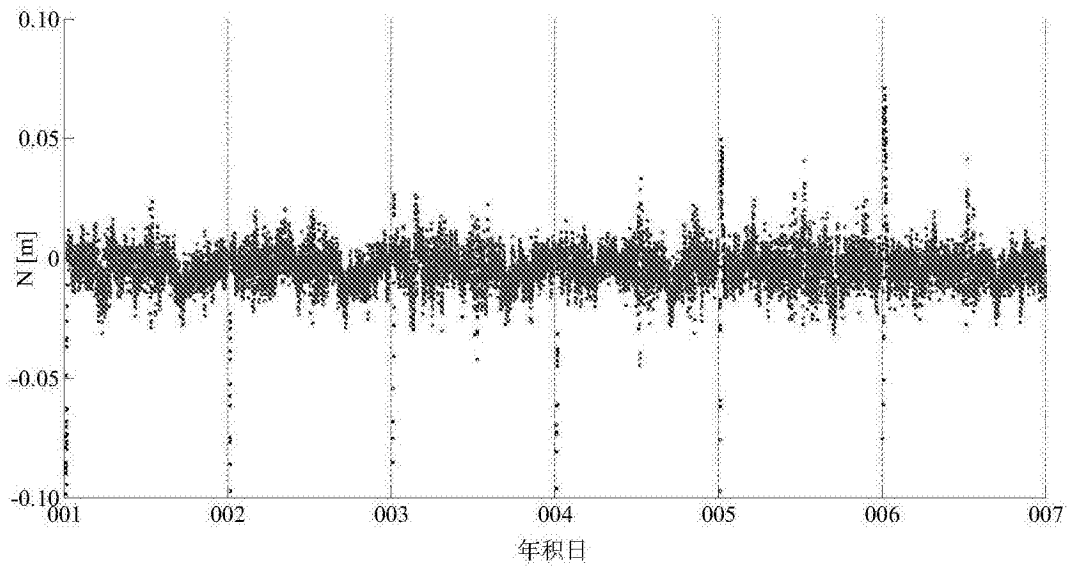


图2

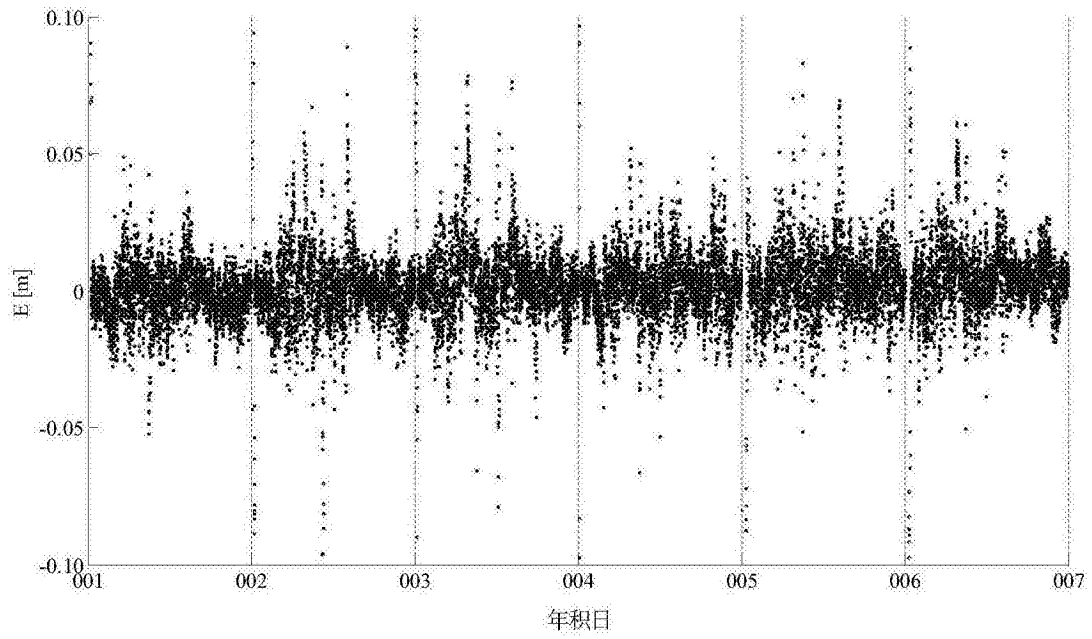


图3

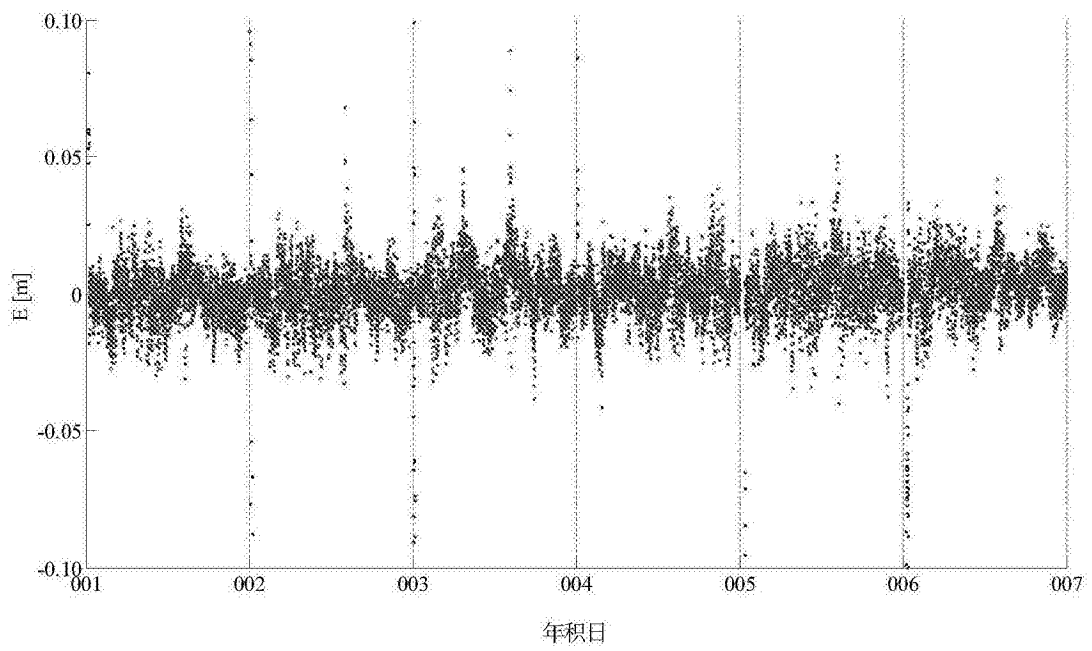


图4

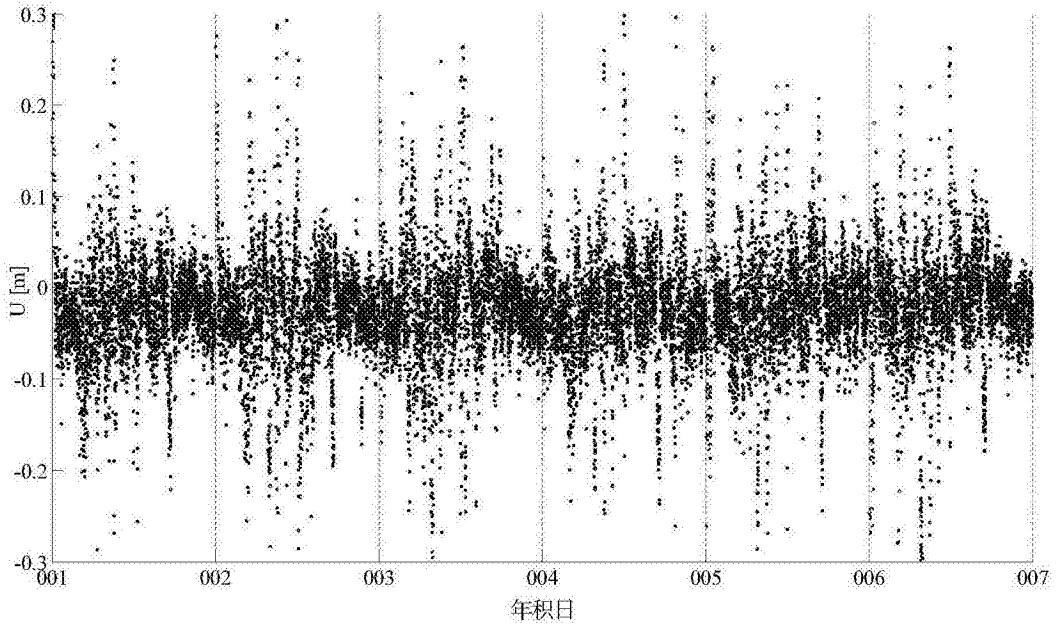


图5

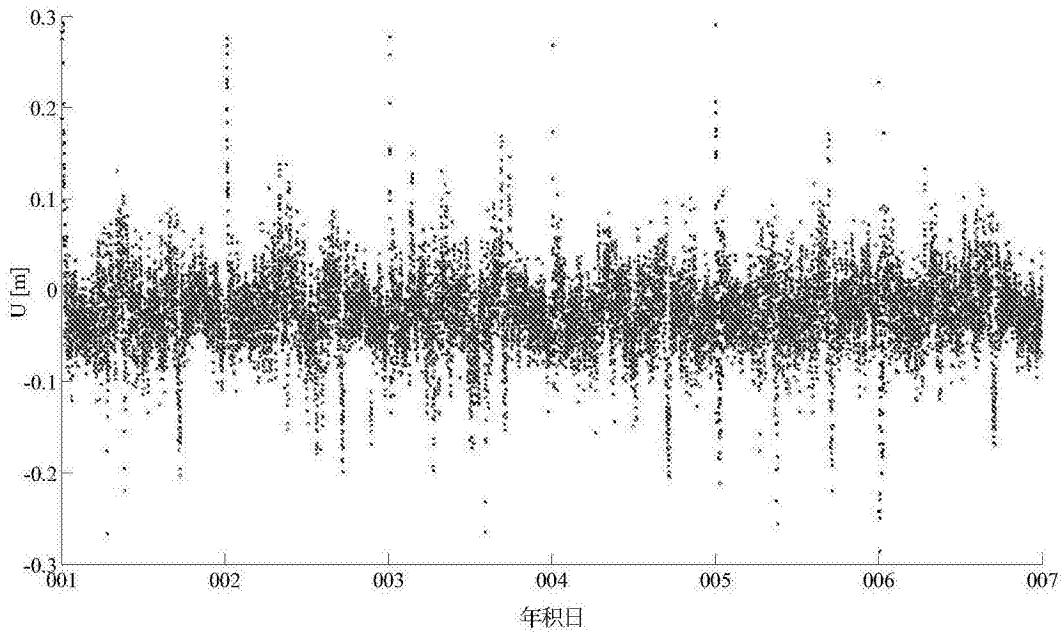


图6

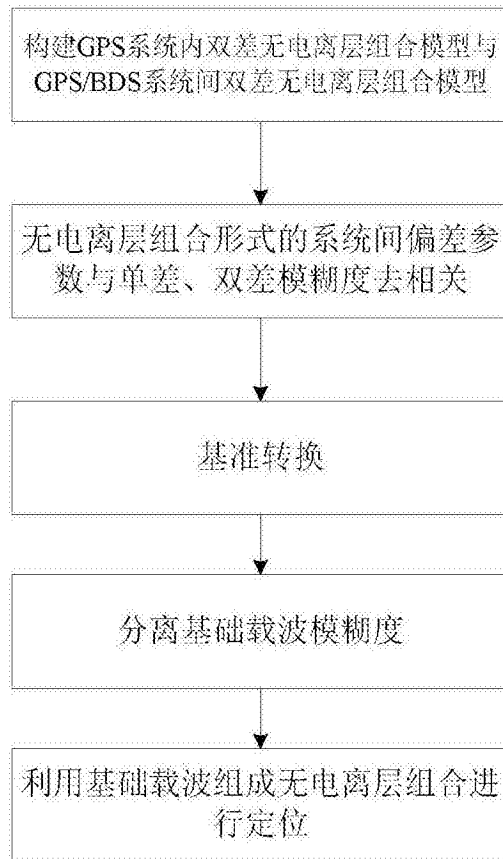


图7