



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111308528 B

(45) 授权公告日 2023.02.14

(21) 申请号 201911258226.0

(22) 申请日 2019.12.10

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111308528 A

(43) 申请公布日 2020.06.19

(73) 专利权人 哈尔滨工程大学
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

(72) 发明人 李慧 高爽 李南 程建华 赵琳

(51) Int. Cl.
G01S 19/44 (2010.01)
G01S 19/42 (2010.01)

(56) 对比文件
US 2010066603 A1, 2010.03.18
CN 110095796 A, 2019.08.06
CN 108519614 A, 2018.09.11
CN 110208835 A, 2019.09.06

CN 109581455 A, 2019.04.05

Wang Gao, et al. Inter-System
Differencing between GPS and BDS
for Medium-Baseline RTK Positioning.
《remote sensing》. 2017,

Hui Li, et al. Real Time Precise
Relative Positioning with Moving Multiple
Reference Receivers. 《sensors》. 2018,

Sun, J., et al. Tightly Combined BDS
and GPS Method for RTK Positioning with
Triple-Frequency Widelane Combinations.
《China Satellite Navigation Conference
(CSNC) 2019 Proceedings》. 2019,

高旺. 多系统多频GNSS融合快速精密定位关
键技术研究. 《中国博士学位论文全文数据库 基
础科学辑》. 2018,

李慧等. 一种双频非组合实时精密定位方
法. 《哈尔滨工业大学学报》. 2017,

审查员 吕玉婷

权利要求书2页 说明书7页 附图1页

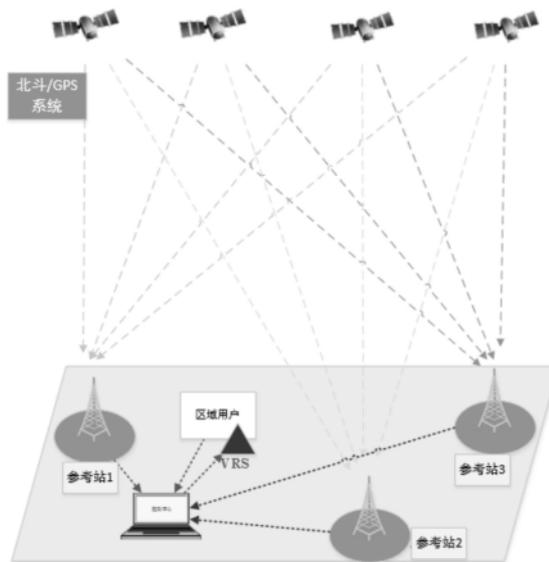
(54) 发明名称

一种北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位方法

(57) 摘要

本发明公开一种北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位方法,包括:建立伪距与载波相位紧组合双差观测方程,确立北斗/GPS系统间偏差表达式;构建MW紧组合模型,构建几何相关模式下窄巷整周模糊度解算模型,解算出各频率的双差整周模糊度;建立双差电离层延迟误差及与电离层无关的其它误差提取模型;确定虚拟观测站位置坐标,求出虚拟参考站位置处各误差值,得到虚拟参考站观测量;构建虚拟参考站和用户的短基线北斗/GPS紧组合双差观测方程,估计用户位置。本发明提高了高仰角环境下基于虚拟参考站方法的定位可用性,改善了用户定位性能,为多参考站定位技术在森林、峡谷、市区等高仰角环境中的应用奠定了基础。

CN 111308528 B



1. 一种北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:选择主参考站,以及北斗/GPS双系统的参考卫星,建立各参考站与主参考站间伪距与载波相位双差观测方程,根据双差模糊度变换,得到北斗/GPS系统间偏差表达式及北斗/GPS双系统紧组合双差伪距与载波相位观测方程;

步骤2:利用北斗/GPS双系统紧组合双差伪距与载波相位观测方程及MW组合模型得到参考站间宽巷整周模糊度浮点解,通过直接取整法估计宽巷整周模糊度;

步骤3:利用几何无关组合估计参考站间紧组合双差宽巷电离层延迟,利用载波相位宽巷组合和窄巷组合之间的关系,构建几何相关模式下窄巷整周模糊度解算模型,解算出各频率的双差整周模糊度;

步骤4:根据影响北斗/GPS紧组合导航终端定位精度主要误差源时空变化规律,重新整合误差源,构建各个参考站间包含北斗/GPS系统间偏差的误差矢量表达形式;

步骤5:结合各参考站间的误差矢量表达形式,通过反距离加权,形成包含主参考站偏差的面向北斗/GPS紧组合虚拟参考站的误差改正数;

步骤6:构建主参考站和虚拟参考站北斗/GPS紧组合双差观测方程,结合步骤5中求出的误差改正数,生成基于北斗/GPS的虚拟参考站观测值;

步骤7:构建虚拟参考站和用户的北斗/GPS紧组合双差观测方程,形成短基线RTK,估计用户位置。

2. 根据权利要求1所述的一种北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位方法,其特征在于:步骤1所述的北斗/GPS系统间偏差表达式为:

$$ISB_{\rho_i} = c \left(\Delta b_{mr,i}^{C_i} - \Delta b_{mr,i}^{G_0} \right)$$

$$ISB_{\Phi_i} = c \left(\Delta B_{mr,i}^{C_i} - \Delta B_{mr,i}^{G_0} \right) + \lambda_i^C \Delta \nabla N_{mr,i}^{G_0 C_0}$$

其中 ISB_{ρ_i} 代表伪距表达式, ISB_{Φ_i} 为载波相位表达式, c 为电磁波传播速度, 下标 m 、 r 分别代表主参考站接收机和其他参考站接收机, i 代表卫星信号频率, 上标 C_i 、 G_0 分别代表北斗系统非参考星和北斗系统参考星, G_0 代表GPS系统参考星; $\Delta b_{mr,i}^{C_i}$ 、 $\Delta b_{mr,i}^{G_0}$ 分别代表北斗系统卫星 C_i 和GPS系统卫星 G_0 的接收机码硬件延迟偏差站间单差, $\Delta B_{mr,i}^{C_i}$ 、 $\Delta B_{mr,i}^{G_0}$ 分别代表北斗系统卫星 C_i 和GPS系统卫星 G_0 的接收机载波相位硬件延迟偏差站间单差, λ_i^C 代表北斗系统信号频率为 i 的波长, $\Delta \nabla N_{mr,i}^{G_0 C_0}$ 为站间星间双差整周模糊度;

步骤1所述的主参考站与各参考站间北斗/GPS双系统紧组合双差伪距与载波相位观测方程为:

$$\Delta \nabla P_{mr,i}^{G_0 G_i} = \Delta \nabla \rho_{mr}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla I_{mr,i}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla T_{mr}^{G_0 G_i} + \varepsilon_{\Delta \nabla P}^G$$

$$\Delta \nabla \Phi_{mr,i}^{G_0 G_i} = \Delta \nabla \rho_{mr}^{G_0 G_i} - \Delta \nabla I_{mr,i}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla T_{mr}^{G_0 G_i} + \lambda_i^G \Delta \nabla N_{mr,i}^{G_0 G_i} + \varepsilon_{\Delta \nabla \Phi}^G$$

$$\Delta \nabla P_{mr,i}^{G_0 C_i} = \Delta \nabla \rho_{mr}^{G_0 C_i} + c \left(\Delta b_{mr,i}^{C_i} - \Delta b_{mr,i}^{G_0} \right) + \Delta \nabla I_{mr,i}^{G_0 C_i} + \Delta \nabla T_{mr}^{G_0 C_i} + \varepsilon_{\Delta \nabla P}^C$$

$$\Delta \nabla \Phi_{mr,i}^{G_0 C_i} = \Delta \nabla \rho_{mr}^{G_0 C_i} + c \left(\Delta B_{mr,i}^{C_i} - \Delta B_{mr,i}^{G_0} \right) - \Delta \nabla I_{mr,i}^{G_0 C_i} + \Delta \nabla T_{mr}^{G_0 C_i} + \lambda_i^C \Delta \nabla N_{mr,i}^{C_i} - \lambda_i^G \Delta \nabla N_{mr,i}^{G_0} + \varepsilon_{\Delta \nabla \Phi}^C$$

其中, $\Delta \nabla P_{mr,i}^{G_0 G_i}$ 、 $\Delta \nabla \Phi_{mr,i}^{G_0 G_i}$ 分别代表GPS系统伪距和载波相位双差观测量, $\Delta \nabla P_{mr,i}^{G_0 C_i}$ 、

$\Delta\nabla\Phi_{mr,i}^{G_0C_i}$ 分别代表北斗系统伪距和载波相位双差观测量, Δ 、 $\Delta\nabla$ 分别代表单差和双差符号, 上标 G_i 代表GPS系统非参考星, ρ 代表卫星和参考站接收机间距离, I 为电离层延迟误差, T 为对流层延迟误差, λ_i^G 为GPS系统信号频率为 i 的波长, N 代表整周模糊度, $\varepsilon_{\Delta\nabla P}^G$ 、 $\varepsilon_{\Delta\nabla\Phi}^G$ 分别为GPS系统伪距和载波相位双差观测量噪声, $\varepsilon_{\Delta\nabla P}^C$ 、 $\varepsilon_{\Delta\nabla\Phi}^C$ 分别为北斗系统伪距和载波相位双差观测量噪声。

3. 根据权利要求1所述的一种北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位方法, 其特征在于: 步骤4中参考站间包含北斗/GPS系统间偏差的误差矢量表达形式:

$$\nabla\Delta I_{mr}^{G_0C_i} = \left(\frac{(f_2^C)^2}{(f_1^C)^2 - (f_2^C)^2} \right) \left[(\Delta\nabla\Phi_{mr,1}^{G_0C_i} - \Delta\nabla\Phi_{mr,2}^{G_0C_i}) - (\lambda_1^C \nabla\Delta N_{mr,1}^{C_0C_i} - \lambda_2^C \nabla\Delta N_{mr,2}^{C_0C_i}) \right. \\ \left. + (\text{ISB}_{\phi_1} - \text{ISB}_{\phi_2}) + (\lambda_1^C - \lambda_1^G) \Delta N_{mr,1}^{G_0} - (\lambda_2^C - \lambda_2^G) \Delta N_{mr,2}^{G_0} \right]$$

$$\Delta\nabla S_{mr}^{G_0C_i} = \Delta\nabla\Phi_{mr,i}^{G_0C_i} - \Delta\nabla\rho_{mr}^{G_0C_i} - \lambda_i^C \Delta\nabla N_{mr,i}^{G_0C_i} + \Delta\nabla I_{mr,i}^{G_0C_i}$$

其中, $\nabla\Delta I_{mr}^{G_0C_i}$ 代表双差电离层延迟误差, $\Delta\nabla S_{mr}^{G_0C_i}$ 代表与电离层无关的误差, f 代表信号频率, 上标 G 、 C 分别代表GPS系统和北斗系统, 下标1、2 分别代表不同载波, $\Delta\nabla\Phi_{mr,i}^{G_0C_i}$ 代表北斗系统载波相位双差观测量。

4. 根据权利要求1所述的一种北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位方法, 其特征在于: 步骤6中生成基于北斗/GPS紧组合虚拟参考站观测值:

$$\begin{cases} \Delta P_{v,i}^{G_0G_i} = \Delta P_{m,i}^{G_0G_i} + \Delta\nabla\rho_{mr}^{G_0G_i} + \Delta\nabla I_{mv,i}^{G_0G_i} + \Delta\nabla S_{mv}^{G_0G_i} + \varepsilon_{\Delta\nabla P_i}^G \\ \Delta\Phi_{v,i}^{G_0G_i} = \Delta\Phi_{m,i}^{G_0G_i} + \Delta\nabla\rho_{mr}^{G_0G_i} - \Delta\nabla I_{mv,i}^{G_0G_i} + \Delta\nabla S_{mv}^{G_0G_i} + \lambda_i^G \Delta\nabla N_{mv,i}^{G_0G_i} + \varepsilon_{\Delta\nabla\Phi_i}^G \\ \Delta P_{v,i}^{G_0C_i} = \Delta P_{m,i}^{G_0C_i} + \Delta\nabla\rho_{mr}^{G_0C_i} + \text{ISB}_{P_i} + \Delta\nabla I_{mv,i}^{G_0C_i} + \Delta\nabla S_{mv}^{G_0C_i} + \varepsilon_{\Delta\nabla P_i}^C \\ \Delta\Phi_{v,i}^{G_0C_i} = \Delta\Phi_{m,i}^{G_0C_i} + \Delta\nabla\rho_{mr}^{G_0C_i} + \text{ISB}_{\Phi_i} + \lambda_i^C \nabla\Delta N_{mv,i}^{C_0C_i} + (\lambda_i^C - \lambda_i^G) \Delta N_{mv,i}^{G_0} \\ \quad - \Delta\nabla I_{mv,i}^{G_0C_i} + \Delta\nabla S_{mv}^{G_0C_i} + \varepsilon_{\Delta\nabla\Phi_i}^C \end{cases}$$

其中, $\Delta P_{v,i}^{G_0G_i}$ 、 $\Delta\Phi_{v,i}^{G_0G_i}$ 分别为GPS系统包含主参考站偏差的虚拟参考站伪距和载波相位星间单差观测量, $\Delta P_{v,i}^{G_0C_i}$ 、 $\Delta\Phi_{v,i}^{G_0C_i}$ 分别为北斗系统包含主参考站偏差的虚拟参考站伪距和载波相位星间单差观测量。

一种北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位方法

技术领域

[0001] 本发明属于卫星定位、导航技术领域,具体地说,涉及一种北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位方法。

背景技术

[0002] 分布全球的地面参考站是快速高精度获取空间地理特征的基础设施,扩大了卫星定位的应用范围。为进一步拓展其在复杂环境中的应用,亟需开展为森林、峡谷、市区等高仰角环境提供高精度定位方法的研究。基于多参考站多模多频定位方法,以观测量冗余度高、作用范围广等优点成为有效实现复杂环境下卫星定位的方法之一。作为多参考站定位核心技术之一,虚拟参考站定位技术以其定位精度高,可靠性强的优势,被Trimble、Topcon等公司采用。传统的多系统虚拟参考站定位技术采用松组合模式,需要在较为开阔的收星场合应用,要求每系统可视卫星均不小于2颗才能进行位置解算,难以应对复杂环境下卫星信号遮挡的问题,极大限制了多基站定位技术在导航定位相关产业中应用潜力的释放。

[0003] 考虑到高仰角环境下,可有效利用的卫星数少,北斗/GPS观测量松组合观测模型强度较弱,进而影响用户的定位性能,因此,如何在收星受限的环境下,提高观测模型强度,是提高高仰角环境下卫星定位可用性和定位精度的关键。

发明内容

[0004] 针对上述现有技术,本发明要解决的技术问题是提供一种增加观测模型的冗余度、提高复杂环境下卫星定位的精度北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位方法,利用若干个分布全球的地面参考站的北斗/GPS原始观测信息和导航信息,生成北斗/GPS紧组合虚拟参考站观测值,结合用户原始观测信息,构建用户和虚拟参考站间北斗/GPS紧组合双差非组合观测模型,解算得到用户高精度位置信息。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明的一种北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤1:选择主参考站,以及北斗/GPS双系统的参考卫星,建立各参考站与主参考站间伪距与载波相位双差观测方程,根据双差模糊度变换,得到北斗/GPS系统间偏差表达式及北斗/GPS双系统紧组合双差伪距与载波相位观测方程;

[0007] 步骤2:利用北斗/GPS双系统紧组合双差伪距与载波相位观测方程及MW组合模型得到参考站间宽巷整周模糊度浮点解,通过直接取整法估计宽巷整周模糊度;

[0008] 步骤3:利用几何无关组合估计参考站间紧组合双差宽巷电离层延迟,利用载波相位宽巷组合和窄巷组合之间的关系,构建几何相关模式下窄巷整周模糊度解算模型,解算出各频率的双差整周模糊度;

[0009] 步骤4:根据影响北斗/GPS紧组合导航终端定位精度主要误差源时空变化规律,重新整合误差源,构建各个参考站间包含北斗/GPS系统间偏差的误差矢量表达形式;

[0010] 步骤5:结合各参考站间的误差矢量表达形式,通过反距离加权,形成包含主参考

站偏差的面向北斗/GPS紧组合虚拟参考站的误差改正数。

[0011] 步骤6:构建主参考站和虚拟参考站北斗/GPS紧组合双差观测方程,结合步骤5中求出的误差改正数,生成基于北斗/GPS的虚拟参考站观测值。

[0012] 步骤7:构建虚拟参考站和用户的北斗/GPS紧组合双差观测方程,形成短基线RTK,估计用户位置。

[0013] 本发明还包括:

[0014] 1.步骤1中北斗/GPS系统间偏差表达式为:

$$[0015] \quad ISB_{p_i} = c(\Delta b_{mr,i}^{C_i} - \Delta b_{mr,i}^{G_0})$$

$$[0016] \quad ISB_{\Phi_i} = c(\Delta B_{mr,i}^{C_i} - \Delta B_{mr,i}^{G_0}) + \lambda_i^C \Delta \nabla N_{mr,i}^{G_0 C_0}$$

[0017] 其中 ISB_{p_i} 代表伪距表达式, ISB_{Φ_i} 为载波相位表达式, c 为电磁波传播速度, 下标 m 、 r 分别代表主参考站接收机和其他参考站接收机, i 代表卫星信号频率, 上标 C_i 、 G_0 分别代表北斗系统非参考星和北斗系统参考星, G_0 代表GPS系统参考星。 $\Delta b_{mr,i}^{C_i}$ 、 $\Delta b_{mr,i}^{G_0}$ 分别代表北斗系统卫星 C_i 和GPS系统卫星 G_0 的接收机码硬件延迟偏差站间单差, $\Delta B_{mr,i}^{C_i}$ 、 $\Delta B_{mr,i}^{G_0}$ 分别代表北斗系统卫星 C_i 和GPS系统卫星 G_0 的接收机载波相位硬件延迟偏差站间单差, λ_i^C 代表北斗系统信号频率为 i 的波长, $\Delta \nabla N_{mr,i}^{G_0 C_0}$ 为站间星间双差整周模糊度;

[0018] 步骤1中主参考站与各参考站间北斗/GPS双系统紧组合双差伪距与载波相位观测方程为:

$$[0019] \quad \Delta \nabla P_{mr,i}^{G_0 G_i} = \Delta \nabla \rho_{mr}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla I_{mr,i}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla T_{mr}^{G_0 G_i} + \varepsilon_{\Delta \nabla P}^G$$

$$[0020] \quad \Delta \nabla \Phi_{mr,i}^{G_0 G_i} = \Delta \nabla \rho_{mr}^{G_0 G_i} - \Delta \nabla I_{mr,i}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla T_{mr}^{G_0 G_i} + \lambda_i^G \Delta \nabla N_{mr,i}^{G_0 G_i} + \varepsilon_{\Delta \nabla \Phi}^G$$

$$[0021] \quad \Delta \nabla P_{mr,i}^{G_0 C_i} = \Delta \nabla \rho_{mr}^{G_0 C_i} + c(\Delta b_{mr,i}^{C_i} - \Delta b_{mr,i}^{G_0}) + \Delta \nabla I_{mr,i}^{G_0 C_i} + \Delta \nabla T_{mr,i}^{G_0 C_i} + \varepsilon_{\Delta \nabla P,C}^G$$

$$[0022] \quad \Delta \nabla \Phi_{mr,i}^{G_0 C_i} = \Delta \nabla \rho_{mr}^{G_0 C_i} + c(\Delta B_{mr,i}^{C_i} - \Delta B_{mr,i}^{G_0}) - \Delta \nabla I_{mr,i}^{G_0 C_i} + \Delta \nabla T_{mr,i}^{G_0 C_i} + \lambda_i^C \Delta \nabla N_{mr,i}^{C_i} - \lambda_i^G \Delta \nabla N_{mr,i}^{G_0} + \varepsilon_{\Delta \nabla \Phi,C}^G$$

[0023] 其中, $\Delta \nabla P_{mr,i}^{G_0 G_i}$ 、 $\Delta \nabla \Phi_{mr,i}^{G_0 G_i}$ 分别代表GPS系统伪距和载波相位双差观测量, $\Delta \nabla P_{mr,i}^{G_0 C_i}$ 、 $\Delta \nabla \Phi_{mr,i}^{G_0 C_i}$ 分别代表北斗系统伪距和载波相位双差观测量, Δ 、 $\Delta \nabla$ 分别代表单差和双差符号, 上标 G_i 代表GPS系统非参考星, ρ 代表卫星和参考站接收机间距离, I 为电离层延迟误差, T 为对流层延迟误差, λ_i^G 为GPS系统信号频率为 i 的波长, N 代表整周模糊度, $\varepsilon_{\Delta \nabla P}^G$ 、 $\varepsilon_{\Delta \nabla \Phi}^G$ 分别为GPS系统伪距和载波相位双差观测量噪声, $\varepsilon_{\Delta \nabla P}^C$ 、 $\varepsilon_{\Delta \nabla \Phi}^C$ 分别为北斗系统伪距和载波相位双差观测量噪声。

[0024] 2.步骤4中参考站间包含北斗/GPS系统间偏差的误差矢量表达形式:

$$[0025] \quad \nabla \Delta I_{mr}^{G_0 C_i} = \left[\frac{(f_2^C)^2}{(f_1^C)^2 - (f_2^C)^2} \right] \left[(\Delta \nabla \Phi_{mr,1}^{G_0 C_i} - \Delta \nabla \Phi_{mr,2}^{G_0 C_i}) - (\lambda_1^C \nabla \Delta N_{mr,1}^{C_0 C_i} - \lambda_2^C \nabla \Delta N_{mr,2}^{C_0 C_i}) \right. \\ \left. + (ISB_{a_1} - ISB_{a_2}) + (\lambda_1^C - \lambda_1^G) \Delta N_{mr,1}^{G_0} - (\lambda_2^C - \lambda_2^G) \Delta N_{mr,2}^{G_0} \right]$$

$$[0026] \quad \Delta \nabla S_{mr}^{G_0 C_i} = \Delta \nabla \Phi_{mr,i}^{G_0 C_i} - \Delta \nabla \rho_{mr}^{G_0 C_i} - \lambda_i^C \Delta \nabla N_{mr,i}^{G_0 C_i} + \Delta \nabla I_{mr,i}^{G_0 C_i}$$

[0027] 其中, $\nabla \Delta I_{mr}^{G_0 C_i}$ 代表双差电离层延迟误差, $\Delta \nabla S_{mr}^{G_0 C_i}$ 代表与电离层无关的误差, f 代表信号频率, 上标G、C分别代表GPS系统和北斗系统频率, 下标1、2分别代表不同载波。。

[0028] 3. 步骤6中生成基于北斗/GPS紧组合虚拟参考站观测值:

$$[0029] \quad \begin{cases} \Delta P_{v,i}^{G_0 G_i} = \Delta P_{m,i}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla \rho_{mv,i}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla I_{mv,i}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla S_{mv,i}^{G_0 G_i} + \varepsilon_{\Delta \nabla P_i}^G \\ \Delta \Phi_{v,i}^{G_0 G_i} = \Delta \Phi_{m,i}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla \rho_{mv,i}^{G_0 G_i} - \Delta \nabla I_{mv,i}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla S_{mv,i}^{G_0 G_i} + \lambda_i^G \Delta \nabla N_{mv,i}^{G_0 G_i} + \varepsilon_{\Delta \nabla \Phi_i}^G \\ \Delta P_{v,i}^{G_0 C_i} = \Delta P_{m,i}^{G_0 C_i} + \Delta \nabla \rho_{mv,i}^{G_0 C_i} + \text{ISB}_{P_i} + \Delta \nabla I_{mv,i}^{G_0 C_i} + \Delta \nabla S_{mv,i}^{G_0 C_i} + \varepsilon_{\Delta \nabla P_i}^C \\ \Delta \Phi_{v,i}^{G_0 C_i} = \Delta \Phi_{m,i}^{G_0 C_i} + \Delta \nabla \rho_{mv,i}^{G_0 C_i} + \text{ISB}_{\Phi_i} + \lambda_i^C \nabla \Delta N_{mv,i}^{C_0 C_i} + (\lambda_i^C - \lambda_i^G) \Delta N_{mv,i}^{G_0} \\ \quad - \Delta \nabla I_{mv,i}^{G_0 C_i} + \Delta \nabla S_{mv,i}^{G_0 C_i} + \varepsilon_{\Delta \nabla \Phi_i}^C \end{cases}$$

[0030] 其中, $\Delta P_{v,i}^{G_0 G_i}$ 、 $\Delta \Phi_{v,i}^{G_0 G_i}$ 分别为GPS系统包含主参考站偏差的虚拟参考站伪距和载波相位星间单差观测值, $\Delta P_{v,i}^{G_0 C_i}$ 、 $\Delta \Phi_{v,i}^{G_0 C_i}$ 分别为北斗系统包含主参考站偏差的虚拟参考站伪距和载波相位星间单差观测值。

[0031] 本发明的有益效果: 本发明提供一种北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位方法, 充分利用北斗及GPS有效可视卫星, 选取同一颗卫星作为参考星, 基于系统间偏差的时域稳定性消除其对整周模糊度固定的影响, 实现北斗/GPS系统多参考站间整周模糊度的解算并生成虚拟参考站观测值。该方法增加了观测模型的冗余度, 提高了复杂环境下卫星定位的精度。本发明基于北斗/GPS双系统紧组合方法, 生成虚拟参考站观测值, 进而改善卫星定位性能。

[0032] 本发明研究通过分析北斗和GPS系统的差异性, 提出北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位模型, 实现中长基线网络参考站下主要误差源的抑制。为提高参考站间整周模糊度固定率, 引入MW紧组合辅助固定参考站间紧组合双频整周模糊度, 基于系统间偏差的时域稳定性消除其对整周模糊度固定的影响, 生成北斗/GNSS紧组合条件下的虚拟参考站观测值, 实现用户的短基线紧组合定位。本方法提高了高仰角环境下基于虚拟参考站方法的定位可用性, 改善了用户定位性能, 为多参考站定位技术在森林、峡谷、市区等高仰角环境中的应用奠定了基础。

附图说明

[0033] 图1是运用本发明的北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位方法的实施例示意图。

具体实施方式

[0034] 下面结合附图对本发明具体实施方式做进一步说明。

[0035] 本发明集成卫星定位、误差处理、计算机处理等技术, 利用多个位置坐标精确已知的地面参考站, 通过对其北斗/GPS双系统原始观测值进行紧组合, 最终生成虚拟参考站观测值, 有效缩短用户和参考站间距离, 提高用户定位精度, 本发明结合森林、峡谷、市区等高仰角复杂环境对载波相位差分精密定位的需求, 利用若干个地面参考站的原始观测信息和导航信息, 借鉴紧组合的基本思想, 研究北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位新方法, 以期显著提升复杂环境下载波相位差分定位性能, 为高仰角收星受限环境下的精密定位应用奠定基

础。本发明方法是：选择主参考站及参考卫星，建立各参考站与主参考站间伪距与载波相位紧组合双差观测方程，确立北斗/GPS系统间偏差表达式；构建MW紧组合模型，通过就近取整法实现几何无关型双差MW组合观测量整周模糊度固定，利用载波相位宽巷组合和窄巷组合之间的关系，构建几何相关模式下窄巷整周模糊度解算模型，最终解算出各频率的双差整周模糊度；根据观测量误差区域时空变化规律，建立各参考站间包含北斗/GPS系统间偏差在内的双差电离层延迟误差及与电离层无关的其它误差提取模型；确定虚拟观测站位置坐标，利用反距离加权法求出虚拟参考站位置处各误差值，进而得到虚拟参考站观测量；构建虚拟参考站和用户的短基线北斗/GPS紧组合双差观测方程，估计用户位置。本发明研究了基于北斗/GPS紧组合的虚拟参考站技术，提高了高仰角环境下基于虚拟参考站方法的定位可用性，改善了用户定位性能，为多参考站定位技术在森林、峡谷、市区等高仰角环境中的应用奠定了基础。包括以下步骤：

[0036] 步骤1：选择主参考站，以及北斗/GPS双系统的参考卫星，建立各参考站与主参考站间伪距与载波相位双差观测方程，根据双差模糊度变换，得到北斗/GPS系统间偏差表达式及北斗/GPS双系统紧组合双差伪距与载波相位观测方程。

[0037] 步骤2：基于北斗/GPS双系统紧组合双差伪距与载波相位观测方程及MW组合模型得到参考站间宽巷整周模糊度浮点解，通过直接取整法估计宽巷整周模糊度。

[0038] 步骤3：基于几何无关组合估计参考站间紧组合双差宽巷电离层延迟，利用载波相位宽巷组合和窄巷组合之间的关系，构建几何相关模式下窄巷整周模糊度解算模型，最终解算出各频率的双差整周模糊度。

[0039] 步骤4：根据影响北斗/GPS紧组合导航终端定位精度主要误差源时空变化规律，重新梳理、整合误差源，构建各个参考站间包含北斗/GPS系统间偏差的误差矢量表达形式。

[0040] 步骤5：结合各参考站间的误差矢量表达形式，通过反距离加权，形成包含主参考站偏差的面向北斗/GPS紧组合虚拟参考站的误差改正数。

[0041] 步骤6：构建主参考站和虚拟参考站北斗/GPS紧组合双差观测方程，结合步骤5中求出的误差改正数，生成基于北斗/GPS的虚拟参考站观测量。

[0042] 步骤7：构建虚拟参考站和用户的北斗/GPS紧组合双差观测方程，形成短基线RTK，估计用户位置。

[0043] 步骤2、3中，参考站间宽巷和窄巷双差整周模糊度的固定均基于北斗/GPS紧组合双差观测方程，通过处理跨系统整周模糊度，增加了方程的冗余度；

[0044] 3. 如权利要求1所述的一种北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位方法，其特征在于，步骤4中生成包含北斗/GPS系统间偏差的误差矢量表达形式，为虚拟参考站观测值的生成提供了基础参数；

[0045] 步骤5、6中虚拟参考站位置已知，能够计算获得其相关误差项，进而生成包含主参考站偏差的基于北斗/GPS紧组合的虚拟参考站观测量；

[0046] 步骤7中利用基于北斗/GPS紧组合双差观测方程生成的虚拟参考站观测量与用户观测量进行短基线RTK，可有效增强用户观测模型，进而提高高仰角条件下虚拟参考站方法定位的可用性，改善用户的定位性能。

[0047] 下面通过实施例，并结合附图1，对本发明的技术方案作进一步具体的说明。

[0048] 实施例：

[0049] 本发明是基于北斗/GPS紧组合虚拟参考站定位方法,具体步骤包括:

[0050] 步骤1:参考站间北斗/GPS系统紧组合双差观测方程的确立及北斗/GPS系统间偏差表达式确定

[0051] 考虑系统间偏差的伪距和载波相位非差观测方程可以表示为:

$$\begin{aligned} P_{r,i}^s &= \rho_r^s + cdt_r - cdt^s + cb_{r,i} + cb_i^s + I_{r,i} + T_r + \varepsilon_p \\ \Phi_{r,i}^s &= \rho_r^s + cdt_r - cdt^s + cB_{r,i} + cB_i^s - I_{r,i} + T_r + \lambda_i N_{r,i}^s + \varepsilon_\Phi \end{aligned} \quad (0.1)$$

[0053] 其中, $P_{r,i}^s$ 、 $\Phi_{r,i}^s$ 分别代表伪距和载波相位观测量,上标s代表卫星,下标r、i分别代表参考站接收机和卫星信号频率, cdt_r 为接收机钟差, cdt^s 代表卫星钟差, $cb_{r,i}$ 、 cb_i^s 分别为接收机码硬件延迟偏差和卫星码硬件延迟偏差, $cB_{r,i}$ 、 cB_i^s 分别为接收机相位硬件延迟偏差和卫星相位硬件延迟偏差, I为电离层延迟误差, T为对流层延迟误差, λ_i 为卫星信号波长, N为整周模糊度, ε_p 、 ε_Φ 分别为伪距和载波相位噪声。

[0054] 将参考站m设置为主参考站,将GPS系统卫星 G_0 设置为北斗和GPS卫星的参考星,则主参考站与参考站间北斗/GPS双系统紧组合站间-星间双差观测方程:

$$\begin{aligned} \Delta\nabla P_{mr,i}^{G_0G_i} &= \Delta\nabla \rho_{mr}^{G_0G_i} + \Delta\nabla I_{mr,i}^{G_0G_i} + \Delta\nabla T_{mr}^{G_0G_i} + \varepsilon_{\Delta\nabla P}^G \\ \Delta\nabla \Phi_{mr,i}^{G_0G_i} &= \Delta\nabla \rho_{mr}^{G_0G_i} - \Delta\nabla I_{mr,i}^{G_0G_i} + \Delta\nabla T_{mr}^{G_0G_i} + \lambda_i^G \Delta\nabla N_{mr,i}^{G_0G_i} + \varepsilon_{\Delta\nabla \Phi}^G \\ \Delta\nabla P_{mr,i}^{G_0C_i} &= \Delta\nabla \rho_{mr}^{G_0C_i} + c(\Delta b_{mr,i}^{C_i} - \Delta b_{mr,i}^{G_0}) + \Delta\nabla I_{mr,i}^{G_0C_i} + \Delta\nabla T_{mr,i}^{G_0C_i} + \varepsilon_{\Delta\nabla P}^C \\ \Delta\nabla \Phi_{mr,i}^{G_0C_i} &= \Delta\nabla \rho_{mr}^{G_0C_i} + c(\Delta B_{mr,i}^{C_i} - \Delta B_{mr,i}^{G_0}) - \Delta\nabla I_{mr,i}^{G_0C_i} + \Delta\nabla T_{mr,i}^{G_0C_i} + \lambda_i^C \Delta\nabla N_{mr,i}^{C_i} - \lambda_i^G \Delta\nabla N_{mr,i}^{G_0} + \varepsilon_{\Delta\nabla \Phi}^C \end{aligned} \quad (0.2)$$

[0056] 其中 $\Delta\nabla P_{mr,i}^{G_0G_i}$ 、 $\Delta\nabla \Phi_{mr,i}^{G_0G_i}$ 分别代表GPS系统伪距和载波相位双差观测量, $\Delta\nabla P_{mr,i}^{G_0C_i}$ 、 $\Delta\nabla \Phi_{mr,i}^{G_0C_i}$ 分别代表北斗系统伪距和载波相位双差观测量, Δ 、 $\Delta\nabla$ 分别代表单差和双差符号,上标 G_i 、 G_0 分别代表GPS系统非参考星和参考星, C_i 代表北斗系统卫星, λ_i^G 为GPS系统信号频率为i的波长, $\Delta b_{mr,i}^{C_i}$ 、 $\Delta b_{mr,i}^{G_0}$ 分别代表北斗系统卫星 C_i 和GPS系统卫星 G_0 的接收机码硬件延迟偏差站间单差, $\Delta B_{mr,i}^{C_i}$ 、 $\Delta B_{mr,i}^{G_0}$ 分别代表北斗系统卫星 C_i 和GPS系统卫星 G_0 的接收机载波相位硬件延迟偏差站间单差, $\varepsilon_{\Delta\nabla P}^G$ 、 $\varepsilon_{\Delta\nabla \Phi}^G$ 分别为GPS系统伪距和载波相位双差观测量噪声, $\varepsilon_{\Delta\nabla P}^C$ 、 $\varepsilon_{\Delta\nabla \Phi}^C$ 分别为北斗系统伪距和载波相位双差观测量噪声。

[0057] 由于两系统参考星选取的是GPS系统卫星,因此,对于GPS系统,站间星间双差消掉了接收机码和相位硬件延迟偏差及卫星码和相位硬件延迟偏差,对于北斗系统,紧组合星间差并不能消除与接收机码和相位的硬件延迟偏差。GPS系统的参考卫星使得北斗系统载波相位双差观测方程中的整周模糊度项变成跨系统模糊度,通过引入北斗系统 C_0 卫星整周模糊度,有:

$$\begin{aligned} \Delta\nabla \Phi_{mr,i}^{G_0C_i} &= \Delta\nabla \rho_{mr}^{G_0C_i} + c(\Delta B_{mr,i}^{C_i} - \Delta B_{mr,i}^{G_0}) - \Delta\nabla I_{mr,i}^{G_0C_i} + \Delta\nabla T_{mr,i}^{G_0C_i} \\ &+ \lambda_i^C \Delta\nabla N_{mr,i}^{G_0C_0} + \lambda_i^C \Delta\nabla N_{mr,i}^{C_0C_i} + (\lambda_i^C - \lambda_i^G) \Delta\nabla N_{mr,i}^{G_0} + \varepsilon_{\Delta\nabla \Phi}^C \end{aligned} \quad (0.3)$$

[0059] 定义北斗/GPS系统间偏差:

$$[0060] \quad ISB_{p_i} = c(\Delta b_{mr,i}^{C_i} - \Delta b_{mr,i}^{G_0})$$

$$[0061] \quad ISB_{\phi_i} = c \left(\Delta B_{mr,i}^{C_i} - \Delta B_{mr,i}^{G_0} \right) + \lambda_i^C \Delta \nabla N_{mr,i}^{G_0 C_0}$$

[0062] 步骤2:参考站间双差宽巷整周模糊度固定

[0063] 在得到包含北斗/GPS系统间偏差的主参考站与其它参考站间的双差观测方程后,利用MW组合固定参考站间宽巷整周模糊度。

$$[0064] \quad \begin{aligned} & \Delta \nabla L_{MW}^{G_0 C_i} = \Delta \nabla \Phi_{WL}^{G_0 C_i} - \Delta \nabla P_{WL}^{G_0 C_i} \\ & \frac{f_1^C \Delta \nabla \Phi_{mr,1}^{G_0 C_i} - f_2^C \Delta \nabla \Phi_{mr,2}^{G_0 C_i}}{f_1^C - f_2^C} - \frac{f_1^C \Delta \nabla P_{mr,1}^{G_0 C_i} + f_2^C \Delta \nabla P_{mr,2}^{G_0 C_i}}{f_1^C + f_2^C} \end{aligned} \quad (0.5)$$

[0065] 其中 $\Delta \nabla L_{MW}^{G_0 C_i}$ 为北斗/GPS系统紧组合双差MW组合观测量, $\Delta \nabla \Phi_{WL}^{G_0 C_i}$ 、 $\Delta \nabla P_{WL}^{G_0 C_i}$ 分别为北斗系统双差宽巷载波相位和伪距观测量, f 代表信号频率,上标G、C分别代表GPS系统和北斗系统频率,下标1、2分别代表不同载波。

[0066] 带入伪距和载波相位北斗/GPS紧组合双差观测方程,利用直接取整的方法固定双差宽巷整周模糊度。

[0067] 步骤3:参考站间双差整周模糊度固定

[0068] 双差宽巷整周模糊度确定后,估计宽巷组合中的双差电离层延迟

$$[0069] \quad \begin{aligned} & \Delta \nabla I_{WL}^{G_0 C_i} = \Delta \nabla \Phi_{WL}^{G_0 C_i} - \Delta \nabla \rho_{mr}^{G_0 C_i} - \Delta \nabla T_{mr}^{G_0 C_i} - \frac{f_1^C \cdot ISB_{\phi_1} - f_2^C \cdot ISB_{\phi_2}}{f_1^C - f_2^C} \\ & -c \frac{(f_1^G f_2^G - f_1^C f_2^C) \cdot \Delta N_{mr,1}^{G_0} - (f_1^G f_2^G - f_1^C f_2^C) \cdot \Delta N_{mr,2}^{G_0}}{f_1^G f_2^G \cdot (f_1^C - f_2^C)} \end{aligned} \quad (0.6)$$

[0070] 双差宽巷组合与双差窄巷组合中的电离层延迟大小相等,符号相反,因此根据估计的双差电离层延迟及双差宽巷整周模糊度可以确定双差窄巷整周模糊度

$$[0071] \quad \Delta \nabla N_{NL}^{G_0 C_i} = \text{round} \left[\frac{\left[\begin{aligned} & \Delta \nabla \Phi_{NL}^{G_0 C_i} - \Delta \nabla \rho_{mr}^{G_0 C_i} - \Delta \nabla T_{mr}^{G_0 C_i} + \Delta \nabla I_{WL}^{G_0 C_i} - \frac{f_1^C \cdot ISB_{\phi_1} + f_2^C \cdot ISB_{\phi_2}}{f_1 + f_2} \\ & -c \frac{(f_1^G f_2^G - f_1^C f_2^C) \cdot \Delta N_{mr,1}^{G_0} + (f_1^G f_2^G - f_1^C f_2^C) \cdot \Delta N_{mr,2}^{G_0}}{f_1^G f_2^G \cdot (f_1^C + f_2^C)} \end{aligned} \right]}{\lambda_{NL}} \right] \quad (0.7)$$

[0072] 其中, $\Delta \nabla \Phi_{NL}^{G_0 C_i}$ 为北斗系统双差窄巷载波相位观测量。

[0073] 参考站间双差整周模糊度可由双差宽巷整周模糊度和双差窄巷整周模糊度确定。

[0074] 步骤4:参考站间双差电离层延迟确定

[0075] 基于公式(1.2),建立北斗/GPS紧组合几何无关双差观测方程,将步骤3得到的每个频率信号的双差整周模糊度代入公式(1.2),估计各参考站与主参考站间电离层延迟

$$[0076] \quad \begin{aligned} \nabla \Delta I_{mr}^{G_0 C_i} = & \left(\frac{(f_2^C)^2}{(f_1^C)^2 - (f_2^C)^2} \right) \left[\left(\Delta \nabla \Phi_{mr,1}^{G_0 C_i} - \Delta \nabla \Phi_{mr,2}^{G_0 C_i} \right) - \left(\lambda_1^C \nabla \Delta N_{mr,1}^{C_0 C_i} - \lambda_2^C \nabla \Delta N_{mr,2}^{C_0 C_i} \right) \right. \\ & \left. + (ISB_{\phi_1} - ISB_{\phi_2}) + (\lambda_1^C - \lambda_1^G) \Delta N_{mr,1}^{G_0} - (\lambda_2^C - \lambda_2^G) \Delta N_{mr,2}^{G_0} \right] \end{aligned} \quad (0.8)$$

[0077] 步骤5:参考站间其它误差确定

[0078] 将北斗/GPS紧组合双差观测方程中除电离层外的误差统一看做其它误差,在得到各参考站与主参考站间电离层延迟后,作差可求出参考站间其它误差

$$[0079] \quad \Delta \nabla S_{mr}^{G_0 C_i} = \Delta \nabla \Phi_{mr,i}^{G_0 C_i} - \Delta \nabla \rho_{mr}^{G_0 C_i} - \lambda_i^C \Delta \nabla N_{mr,i}^{G_0 C_i} + \Delta \nabla I_{mr,i}^{G_0 C_i} \quad (0.9)$$

[0080] 步骤6:虚拟参考站误差确定

[0081] 根据单点定位计算用户概略位置,作为虚拟参考站接收机位置坐标,结合步骤4和步骤5中估计的主参考站与各参考站间紧组合双差电离层延迟以及与电离层无关的误差,通过反距离加权法,得到虚拟参考站与主参考站间的误差。

[0082] 步骤7:虚拟参考站观测量生成

[0083] 建立主基站与虚拟参考站间的北斗/GPS紧组合双差观测方程,通过移项变换,结合步骤6中求得的误差,计算生成虚拟参考站观测量,需要注意的是,里面包含了主站的偏差。

$$[0084] \quad \begin{cases} \Delta P_{v,i}^{G_0 G_i} = \Delta P_{m,i}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla \rho_{mv,i}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla I_{mv,i}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla S_{mv,i}^{G_0 G_i} + \varepsilon_{\Delta \nabla P_i}^G \\ \Delta \Phi_{v,i}^{G_0 G_i} = \Delta \Phi_{m,i}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla \rho_{mv,i}^{G_0 G_i} - \Delta \nabla I_{mv,i}^{G_0 G_i} + \Delta \nabla S_{mv,i}^{G_0 G_i} + \lambda_i^G \Delta \nabla N_{mv,i}^{G_0 G_i} + \varepsilon_{\Delta \nabla \Phi_i}^G \\ \Delta P_{v,i}^{G_0 C_i} = \Delta P_{m,i}^{G_0 C_i} + \Delta \nabla \rho_{mv,i}^{G_0 C_i} + \text{ISB}_{P_i} + \Delta \nabla I_{mv,i}^{G_0 C_i} + \Delta \nabla S_{mv,i}^{G_0 C_i} + \varepsilon_{\Delta \nabla P_i}^C \\ \Delta \Phi_{v,i}^{G_0 C_i} = \Delta \Phi_{m,i}^{G_0 C_i} + \Delta \nabla \rho_{mv,i}^{G_0 C_i} + \text{ISB}_{\Phi_i} + \lambda_i^C \Delta \nabla N_{mv,i}^{G_0 C_i} + (\lambda_i^C - \lambda_i^G) \Delta \nabla N_{mv,i}^{G_0} \\ \quad - \Delta \nabla I_{mv,i}^{G_0 C_i} + \Delta \nabla S_{mv,i}^{G_0 C_i} + \varepsilon_{\Delta \nabla \Phi_i}^C \end{cases} \quad (0.10)$$

[0085] 其中, $\Delta P_{v,i}^{G_0 G_i}$ 、 $\Delta \Phi_{v,i}^{G_0 G_i}$ 分别为GPS系统包含主参考站偏差的虚拟参考站伪距和载波相位星间单差观测量, $\Delta P_{v,i}^{G_0 C_i}$ 、 $\Delta \Phi_{v,i}^{G_0 C_i}$ 分别为北斗系统包含主参考站偏差的虚拟参考站伪距和载波相位星间单差观测量。

[0086] 步骤8:用户位置解算

[0087] 由步骤7中得到的虚拟参考站观测量结合用户实际观测量,建立用户虚拟参考站之间的短基线双差观测方程,利用最小二乘估计用户位置坐标。

[0088] 当然,本发明还可有其他多种实施例,在不偏离本发明精神及其实质的情况下,熟悉本领域的技术人员当可根据本发明做出各种相应的调整,但这些相应的调整都应属于本发明所附的权利要求的保护范围。

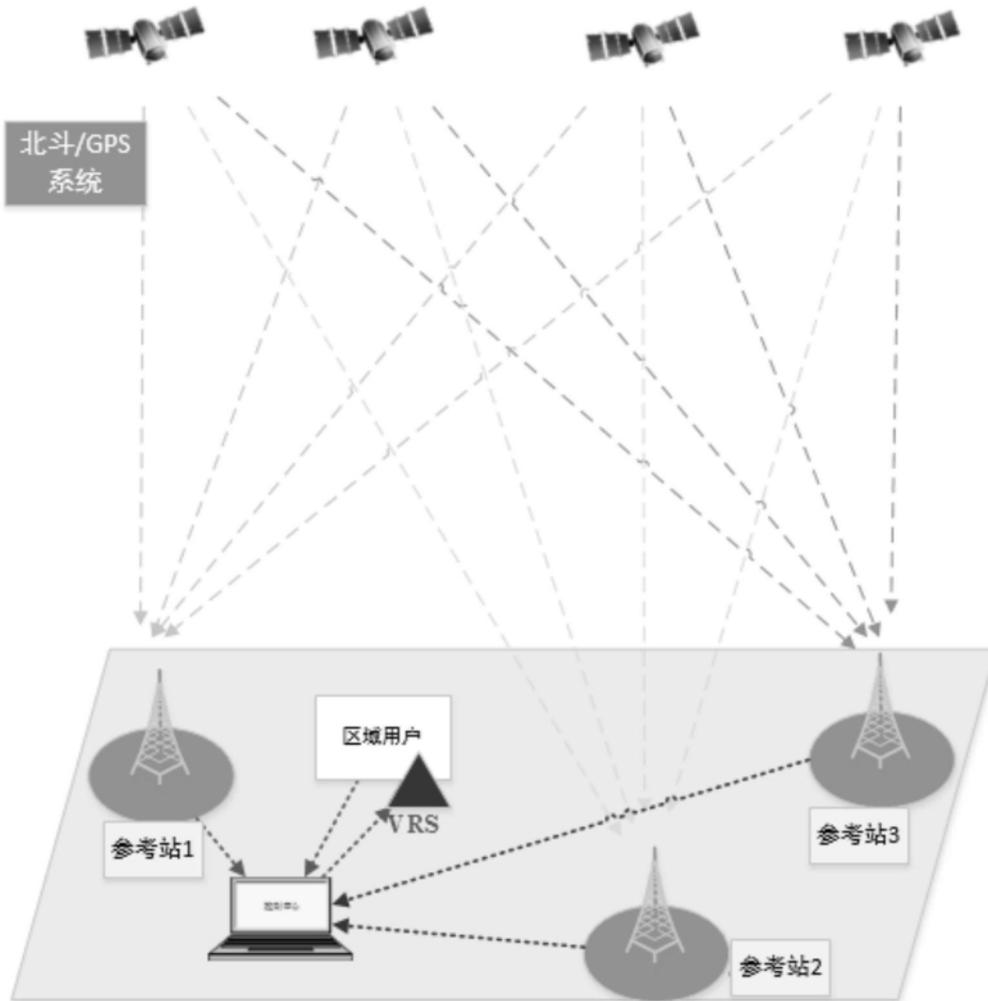


图1