



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116819585 A

(43) 申请公布日 2023. 09. 29

(21) 申请号 202311111619.5

G01S 19/40 (2010.01)

(22) 申请日 2023.08.31

G01S 19/41 (2010.01)

G01S 19/52 (2010.01)

(71) 申请人 长沙金维信息技术有限公司

地址 410000 湖南省长沙市高新开发区青山路662号芯城科技园二期14栋6楼601室

(72) 发明人 孙德安 王锦山 蒋云翔 满小三 肖永平 唐谦

(74) 专利代理机构 长沙永星专利商标事务所 (普通合伙) 43001

专利代理师 周咏 米中业

(51) Int. Cl.

G01S 19/42 (2010.01)

G01S 19/37 (2010.01)

G01S 19/39 (2010.01)

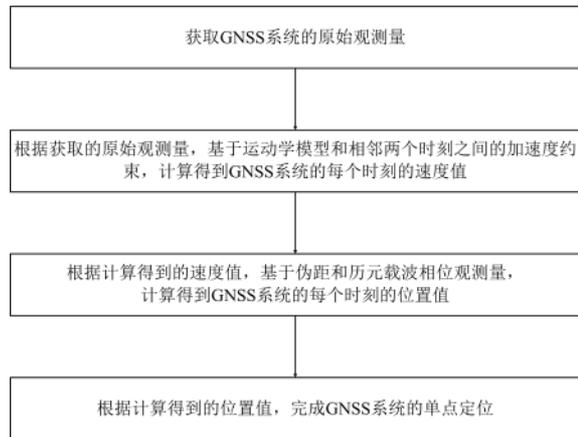
权利要求书3页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

基于非线性优化的GNSS单点定位方法及导航方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于非线性优化的GNSS单点定位方法,包括获取GNSS系统的原始观测量;计算得到GNSS系统的每个时刻的速度值;计算得到GNSS系统的每个时刻的位置值;根据位置值完成GNSS系统的单点定位。本发明还公开了一种包括所述基于非线性优化的GNSS单点定位方法的导航方法。本发明基于多普勒观测量和运动学模型构建系统速度优化器,优化系统每个时刻的速度;同时本发明基于伪距观测量、历元载波相位观测量、优化的速度和接收机频漂构建位置优化器,优化系统每个时刻的位置,得到高可靠和准确性好的导航定位结果;因此本发明的可靠性高、精确性好且持续性好。



1. 一种基于非线性优化的GNSS单点定位方法,其特征在于包括如下步骤:

S1. 获取GNSS系统的原始观测量;

S2. 根据步骤S1获取的原始观测量,基于运动学模型和相邻两个时刻之间的加速度约束,计算得到GNSS系统的每个时刻的速度值;

S3. 根据步骤S2计算得到的速度值,基于伪距和历元载波相位观测量,计算得到GNSS系统的每个时刻的位置值;

S4. 根据步骤S3计算得到的位置值,完成GNSS系统的单点定位。

2. 根据权利要求1所述的基于非线性优化的GNSS单点定位方法,其特征在于所述的步骤S2,具体包括如下内容:

根据获取的GNSS系统的原始观测量和接收机自身的数据,计算得到多普勒残差值;

根据运动学模型和相邻两个时刻之间的加速度约束,计算得到第一运动学残差值;

根据得到的多普勒残差值和第一运动学残差值,计算得到GNSS系统的每个时刻的速度值。

3. 根据权利要求2所述的基于非线性优化的GNSS单点定位方法,其特征在于所述的步骤S2,具体包括如下步骤:

采用如下算式计算得到*i*时刻的多普勒残差值 $r_{dopp,i}$:

$$r_{dopp,i} = \frac{I_i^{(s)}(v_{s_i}^e - v_{r_i}^e) + (\delta f_i^{(s)} - \delta f_i)}{\lambda} + f_{d,i} \quad \text{式中 } I_i^{(s)} \text{ 为 } i \text{ 时刻的卫星观测矢量};$$

$v_{s_i}^e$ 为*i*时刻的卫星的速度值; $v_{r_i}^e$ 为*i*时刻的接收机的速度值; $\delta f_i^{(s)}$ 为*i*时刻的卫星钟漂; δf_i 为*i*时刻的接收机频漂; $f_{d,i}$ 为*i*时刻的多普勒观测量; λ 为波长;

采用如下算式计算得到*i*时刻的第一运动学残差值 $r_{v,i}$: $r_{v,i} = \frac{v_{r_i}^e - v_{r_{i-1}}^e}{t_i - t_{i-1}} - a_i$ 式中

$v_{r_i}^e$ 为*i*时刻的接收机的速度值; $v_{r_{i-1}}^e$ 为*i-1*时刻的接收机的速度值; t_i 为*i*时刻的时间; t_{i-1} 为*i-1*时刻的时间; a_i 为*i*时刻接收机的加速度值;

采用如下算式作为速度非线性优化模型: $\text{arc min}_X \left(\sum_{i=1}^n \|r_{dopp,i}\|^2 + \|r_{v,i}\|^2 \right)$ 式中*X*为待

优化的第一参数值,包括*i*时刻的接收机的速度值和*i*时刻的接收机频漂; arc min 为求最小值;*n*为多普勒观测量的数量; $\| \cdot \|$ 为马氏范数;

对构建的速度非线性优化模型进行求解,得到GNSS系统的*i*时刻的速度值。

4. 根据权利要求3所述的基于非线性优化的GNSS单点定位方法,其特征在于所述的步骤S3,具体包括如下内容:

根据得到的伪距观测量和接收机自身的数据,计算得到伪距残差值;

根据历元载波相位观测量和历元载波相位差分约束,计算得到历元载波相位差分残差值;

根据运动学模型和相邻两个时刻之间的速度约束,计算得到第二运动学残差值;

根据接收机钟差和接收机频漂,计算得到接收机频漂残差值;

根据得到的伪距残差值、历元载波相位差分残差值、第二运动学残差值和接收机频漂残差值,计算得到GNSS系统的每个时刻的接收机位置值。

5.根据权利要求4所述的基于非线性优化的GNSS单点定位方法,其特征在于所述的步骤S3,具体包括如下步骤:

采用如下算式计算得到j时刻的伪距残差值 $r_{psr,j}$:

$r_{psr,j} = \left\| p_{s_j}^e - p_{r_j}^e \right\| + \delta t_j - \delta t_j^{(s)} + I_j + T_j - \rho_j$ 式中 $p_{s_j}^e$ 为j时刻的卫星位置; $p_{r_j}^e$ 为j时刻的接收机位置; δt_j 为j时刻的接收机钟差; $\delta t_j^{(s)}$ 为j时刻的卫星钟差; I_j 为j时刻的电离层延时; T_j 为j时刻的对流层延时; ρ_j 为j时刻的伪距观测量; $\left\| \right\|$ 为马氏范数;

判断载波相位是否发生周跳:

若发生周跳,则不使用历元载波相位差分约束;

若未发生周跳,则添加历元载波相位差分约束,根据历元载波相位观测量,采用如下算式计算得到j时刻的历元载波相位差分残差 $r_{pha,j}$:

$r_{pha,j} = -I_j^{(s)}(p_{r_j}^e - p_{r_{j-1}}^e) + \delta f_j - \lambda \Delta \phi_j - I_j^{(s)}(p_{s_j}^e - p_{s_{j-1}}^e) - I_{j-1}^{(s)}(p_{s_{j-1}}^e - p_{r_{j-1}}^e) - \Delta \delta t_j^{(s)} + \Delta T_j - \Delta I_j$ 式中 $I_j^{(s)}$ 为j时刻的卫星观测矢量; $p_{r_j}^e$ 为j时刻的接收机位置; $p_{r_{j-1}}^e$ 为j-1时刻的接收机位置; δf_j 为j时刻的接收机频漂; λ 为波长; $\Delta \phi_j$ 为j时刻与j-1时刻的载波相位差分值; $p_{s_j}^e$ 为j时刻的卫星位置; $I_{j-1}^{(s)}$ 为j-1时刻的卫星观测矢量; $p_{s_{j-1}}^e$ 为j-1时刻的卫星位置; $\Delta \delta t_j^{(s)}$ 为j时刻与j-1时刻的接收机钟差差分值; ΔT_j 为j时刻与j-1时刻的对流层延时差分值; ΔI_j 为j时刻与j-1时刻的电离层延时差分值;

采用如下算式计算得到j时刻的第二运动学残差值 $r_{p,j}$: $r_{p,j} = \frac{p_{r_j}^e - p_{r_{j-1}}^e}{t_j - t_{j-1}} - v_j$ 式中 t_j 为j时刻的时间; t_{j-1} 为j-1时刻的时间; v_j 为j时刻的接收机速度;

采用如下算式计算得到j时刻的接收机频漂残差值 $r_{\delta f_j}$: $r_{\delta f_j} = \frac{\delta t_j - \delta t_{j-1}}{t_j - t_{j-1}} - \delta f_j$

式中 δt_j 为 j 时刻的接收机钟差; δt_{j-1} 为 $j-1$ 时刻的接收机钟差; δf_j 为 j 时刻的接收机频漂;

采用如下算式作为位置非线性优化模型:

$$\mathop{\text{arc min}}_{XX} \left(\sum_{j=1}^{nn} \|r_{psr,j}\|^2 + \sum_{j=1}^{mm} \|r_{pha,j}\|^2 + \|r_{p,j}\|^2 + \|r_{\delta f_j}\|^2 \right)$$

式中 XX 为待优化的第二参数

值,包括 j 时刻的接收机的位置值和 j 时刻的接收机的钟差; nn 为伪距观测量的数量; mm 为历元载波相位差分数量;

对构建的位置非线性优化模型进行求解,得到GNSS系统的 j 时刻的位置值。

6. 一种包括了权利要求1~5之一所述的基于非线性优化的GNSS单点定位方法的导航方法,其特征在于还包括如下步骤:

S5. 根据步骤S4得到的GNSS系统的单点定位结果,进行实时导航。

基于非线性优化的GNSS单点定位方法及导航方法

技术领域

[0001] 本发明属于定位及导航技术领域,具体涉及一种基于非线性优化的GNSS单点定位方法及导航方法。

背景技术

[0002] 随着经济技术的发展和人们生活水平的提高,定位及导航技术已经广泛应用于人们的生产和生活当中,给人们的生产和生活带来了无尽的便利。因此,保障定位及导航过程的精确性和可靠性,就成为了定位及导航过程中最重要的任务之一。

[0003] 目前,在导航定位的过程中,传统的定位技术一般采用的是基于卡尔曼滤波估计的方案进行实时定位结果的估计。在这一基于卡尔曼滤波的技术方案过程中,需要精确的确定GNSS(Global Navigation Satellite System,全球导航卫星系统)观测量的方差。但是,在现实的城市复杂环境中,GNSS的观测量的不确定性非常大;而且,在单点定位场景中,系统很难确定GNSS观测量的方差。因此,这些实际问题将直接导致定位和导航过程中的状态预测精度的降低,使得定位跳变较大。而且,如果定位或导航终端持续处于复杂环境下,此时系统中卡尔曼滤波的状态量和预测精度将持续降低,最终将导致系统滤波器的发散,使得定位过程不可用,进而无法提供定位及导航功能。

发明内容

[0004] 本发明的目的之一在于提供一种可靠性高、精确性好且持续性好的基于非线性优化的GNSS单点定位方法。

[0005] 本发明的目的之二在于提供一种包括了所述基于非线性优化的GNSS单点定位方法的导航方法。

[0006] 本发明提供的这种基于非线性优化的GNSS单点定位方法,包括如下步骤:

S1. 获取GNSS系统的原始观测量;

S2. 根据步骤S1获取的原始观测量,基于运动学模型和相邻两个时刻之间的加速度约束,计算得到GNSS系统的每个时刻的速度值;

S3. 根据步骤S2计算得到的速度值,基于伪距和历元载波相位观测量,计算得到GNSS系统的每个时刻的位置值;

S4. 根据步骤S3计算得到的位置值,完成GNSS系统的单点定位。

[0007] 所述的步骤S2,具体包括如下内容:

根据获取的GNSS系统的原始观测量和接收机自身的数据,计算得到多普勒残差值;

根据运动学模型和相邻两个时刻之间的加速度约束,计算得到第一运动学残差值;

根据得到的多普勒残差值和第一运动学残差值,计算得到GNSS系统的每个时刻的速度值。

[0008] 所述的步骤S2,具体包括如下步骤:

采用如下算式计算得到*i*时刻的多普勒残差值 $r_{dopp,i}$:

$$r_{dopp,i} = \frac{I_i^{(s)}(v_{s_i}^e - v_{r_i}^e) + (\delta f_i^{(s)} - \delta f_i)}{\lambda} + f_{d,i} \quad \text{式中 } I_i^{(s)} \text{ 为 } i \text{ 时刻的卫星观测矢量;}$$

$v_{s_i}^e$ 为*i*时刻的卫星的速度值; $v_{r_i}^e$ 为*i*时刻的接收机的速度值; $\delta f_i^{(s)}$ 为*i*时刻的卫星钟漂; δf_i 为*i*时刻的接收机频漂; $f_{d,i}$ 为*i*时刻的多普勒观测量; λ 为波长;

$$\text{采用如下算式计算得到 } i \text{ 时刻的第一运动学残差值 } r_{v,i}: r_{v,i} = \frac{v_{r_i}^e - v_{r_{i-1}}^e}{t_i - t_{i-1}} - a_i$$

式中 $v_{r_i}^e$ 为*i*时刻的接收机的速度值; $v_{r_{i-1}}^e$ 为*i-1*时刻的接收机的速度值; t_i 为*i*时刻的时间; t_{i-1} 为*i-1*时刻的时间; a_i 为*i*时刻接收机的加速度值;

$$\text{采用如下算式作为速度非线性优化模型: } \underset{X}{\text{arc min}} \left(\sum_{i=1}^n \|r_{dopp,i}\|^2 + \|r_{v,i}\|^2 \right) \quad \text{式中}$$

X 为待优化的第一参数值,包括*i*时刻的接收机的速度值和*i*时刻的接收机频漂; arc min 为求最小值; n 为多普勒观测量的数量; $\| \cdot \|$ 为马氏范数;

对构建的速度非线性优化模型进行求解,得到GNSS系统的*i*时刻的速度值。

[0009] 所述的步骤S3,具体包括如下内容:

根据得到的伪距观测量和接收机自身的数据,计算得到伪距残差值;

根据历元载波相位观测量和历元载波相位差分约束,计算得到历元载波相位差分残差值;

根据运动学模型和相邻两个时刻之间的速度约束,计算得到第二运动学残差值;

根据接收机钟差和接收机频漂,计算得到接收机频漂残差值;

根据得到的伪距残差值、历元载波相位差分残差值、第二运动学残差值和接收机频漂残差值,计算得到GNSS系统的每个时刻的接收机位置值。

[0010] 所述的步骤S3,具体包括如下步骤:

采用如下算式计算得到*j*时刻的伪距残差值 $r_{psr,j}$:

$$r_{psr,j} = \|p_{s_j}^e - p_{r_j}^e\| + \delta t_j - \delta t_j^{(s)} + I_j + T_j - \rho_j$$

[0011] 式中 $p_{s_j}^e$ 为*j*时刻的卫星位置; $p_{r_j}^e$ 为*j*时刻的接收机位置; δt_j 为*j*时刻的接收机钟差; $\delta t_j^{(s)}$ 为*j*时刻的卫星钟差; I_j 为*j*时刻的电离层延时; T_j 为*j*时刻的对流层延时;

ρ_j 为 j 时刻的伪距观测量; $\| \cdot \|$ 为马氏范数;

判断载波相位是否发生周跳:

若发生周跳, 则不使用历元载波相位差分约束;

若未发生周跳, 则添加历元载波相位差分约束, 根据历元载波相位观测量, 采用如下算式计算得到 j 时刻的历元载波相位差分残差 $r_{pha,j}$:

$$r_{pha,j} = -I_j^{(s)}(p_{r_j}^e - p_{r_{j-1}}^e) + \delta f_j - \lambda \Delta \phi_j - I_j^{(s)}(p_{s_j}^e - p_{r_j}^e) - I_{j-1}^{(s)}(p_{s_{j-1}}^e - p_{r_{j-1}}^e) - \Delta \delta t_j^{(s)} + \Delta T_j - \Delta I_j$$

式中 $I_j^{(s)}$ 为 j 时刻的卫

星观测矢量; $p_{r_j}^e$ 为 j 时刻的接收机位置; $p_{r_{j-1}}^e$ 为 $j-1$ 时刻的接收机位置; δf_j 为 j 时刻的接收机频漂; λ 为波长; $\Delta \phi_j$ 为 j 时刻与 $j-1$ 时刻的载波相位差分值; $p_{s_j}^e$ 为 j 时刻的卫星位置; $I_{j-1}^{(s)}$ 为 $j-1$ 时刻的卫星观测矢量; $p_{s_{j-1}}^e$ 为 $j-1$ 时刻的卫星位置; $\Delta \delta t_j^{(s)}$ 为 j 时刻与 $j-1$ 时刻的接收机钟差差分值; ΔT_j 为 j 时刻与 $j-1$ 时刻的对流层延时差分值; ΔI_j 为 j 时刻与 $j-1$ 时刻的电离层延时差分值;

采用如下算式计算得到 j 时刻的第二运动学残差值 $r_{p,j}$:
$$r_{p,j} = \frac{p_{r_j}^e - p_{r_{j-1}}^e}{t_j - t_{j-1}} - v_j$$

式中 t_j 为 j 时刻的时间; t_{j-1} 为 $j-1$ 时刻的时间; v_j 为 j 时刻的接收机速度;

采用如下算式计算得到 j 时刻的接收机频漂残差值 $r_{\delta f_j}$:
$$r_{\delta f_j} = \frac{\delta t_j - \delta t_{j-1}}{t_j - t_{j-1}} - \delta f_j$$

式中 δt_j 为 j 时刻的接收机钟差; δt_{j-1} 为 $j-1$ 时刻的接收机钟差; δf_j 为 j 时刻的接收机频漂;

采用如下算式作为位置非线性优化模型:

$$\text{arc min}_{XX} \left(\sum_{j=1}^{nn} \|r_{psr,j}\|^2 + \sum_{j=1}^{mm} \|r_{pha,j}\|^2 + \|r_{p,j}\|^2 + \|r_{\delta f_j}\|^2 \right)$$

式中 XX 为待优化的第二参数

值, 包括 j 时刻的接收机的位置值和 j 时刻的接收机的钟差; nn 为伪距观测量的数量; mm 为历元载波相位差分的数量;

对构建的位置非线性优化模型进行求解, 得到 GNSS 系统的 j 时刻的位置值。

[0012] 本发明还公开了一种包括了所述基于非线性优化的 GNSS 单点定位方法的导航方法, 还包括如下步骤:

S5. 根据步骤 S4 得到的 GNSS 系统的单点定位结果, 进行实时导航。

[0013] 本发明提供的这种基于非线性优化的 GNSS 单点定位方法及导航方法, 基于多普勒

观测量和运动学模型构建系统速度优化器,优化系统每个时刻的速度;同时本发明基于伪距观测量、历元载波相位观测量、优化的速度和接收机频漂构建位置优化器,优化系统每个时刻的位置,得到高可靠和准确性好的导航定位结果;因此本发明的可靠性高、精确性好且持续性好。

附图说明

- [0014] 图1为本发明定位方法的方法流程示意图。
 [0015] 图2为本发明定位方法的实施例的东向误差统计示意图。
 [0016] 图3为本发明定位方法的实施例的北向误差统计示意图。
 [0017] 图4为本发明定位方法的实施例的天向误差统计示意图。
 [0018] 图5为本发明导航方法的方法流程示意图。

具体实施方式

[0019] 如图1所示为本发明定位方法的方法流程示意图:本发明提供的这种基于非线性优化的GNSS单点定位方法,包括如下步骤:

S1. 获取GNSS系统的原始观测量;

S2. 根据步骤S1获取的原始观测量,基于运动学模型和相邻两个时刻之间的加速度约束,计算得到GNSS系统的每个时刻的速度值;具体包括如下内容:

根据获取的GNSS系统的原始观测量和接收机自身的数据,计算得到多普勒残差值;

根据运动学模型和相邻两个时刻之间的加速度约束,计算得到第一运动学残差值;

根据得到的多普勒残差值和第一运动学残差值,计算得到GNSS系统的每个时刻的速度值;

具体实施时,具体包括如下步骤:

采用如下算式计算得到*i*时刻的多普勒残差值 $r_{dopp,i}$:

$$r_{dopp,i} = \frac{I_i^{(s)}(v_{s_i}^e - v_{r_i}^e) + (\delta f_i^{(s)} - \delta f_i)}{\lambda} + f_{d,i} \quad \text{式中 } I_i^{(s)} \text{ 为 } i \text{ 时刻的卫星观测矢量;}$$

$v_{s_i}^e$ 为*i*时刻的卫星的速度值; $v_{r_i}^e$ 为*i*时刻的接收机的速度值; $\delta f_i^{(s)}$ 为*i*时刻的卫星钟漂; δf_i 为*i*时刻的接收机频漂; $f_{d,i}$ 为*i*时刻的多普勒观测量; λ 为波长;

$$\text{采用如下算式计算得到 } i \text{ 时刻的第一运动学残差值 } r_{v,i}: r_{v,i} = \frac{v_{r_i}^e - v_{r_{i-1}}^e}{t_i - t_{i-1}} - a_i$$

式中 $v_{r_i}^e$ 为*i*时刻的接收机的速度值; $v_{r_{i-1}}^e$ 为*i-1*时刻的接收机的速度值; t_i 为*i*时刻的时间; t_{i-1} 为*i-1*时刻的时间; a_i 为*i*时刻接收机的加速度值;

采用如下算式作为速度非线性优化模型： $\text{arc min}_X(\sum_{i=1}^n \|r_{dopp,i}\|^2 + \|r_{v,i}\|^2)$ 式中 X 为待优化的第一参数值，包括 i 时刻的接收机的速度值和 i 时刻的接收机频漂，其中， i 时刻的接收机的速度值包括 i 时刻的 x 轴方向的速度 $v_{x,i}$ ， i 时刻的 y 轴方向的速度 $v_{y,i}$ 和 i 时刻的 z 轴方向的速度 $v_{z,i}$ ， i 时刻的接收机频漂则表示为 δf_i ； arc min 为求最小值； n 为多普勒观测的数量； $\| \ \|$ 为马氏范数；

对构建的速度非线性优化模型进行求解，得到GNSS系统的 i 时刻的速度值；

S3. 根据步骤S2计算得到的速度值，基于伪距和历元载波相位观测量，计算得到GNSS系统的每个时刻的位置值；具体包括如下内容：

根据得到的伪距观测量和接收机自身的数据，计算得到伪距残差值；

根据历元载波相位观测量和历元载波相位差分约束，计算得到历元载波相位差分残差值；

根据运动学模型和相邻两个时刻之间的速度约束，计算得到第二运动学残差值；

根据接收机钟差和接收机频漂，计算得到接收机频漂残差值；

根据得到的伪距残差值、历元载波相位差分残差值、第二运动学残差值和接收机频漂残差值，计算得到GNSS系统的每个时刻的接收机位置值；

具体实施时，包括如下步骤：

采用如下算式计算得到 j 时刻的伪距残差值 $r_{psr,j}$ ：

$$r_{psr,j} = \|p_{s_j}^e - p_{r_j}^e\| + \delta t_j - \delta t_j^{(s)} + I_j + T_j - \rho_j$$

式中 $p_{s_j}^e$ 为 j 时刻的卫星位置； $p_{r_j}^e$

为 j 时刻的接收机位置； δt_j 为 j 时刻的接收机钟差； $\delta t_j^{(s)}$ 为 j 时刻的卫星钟差； I_j 为 j 时刻的电离层延时； T_j 为 j 时刻的对流层延时； ρ_j 为 j 时刻的伪距观测量； $\| \ \|$ 为马氏范数；

判断载波相位是否发生周跳：

若发生周跳，则不使用历元载波相位差分约束；

若未发生周跳，则添加历元载波相位差分约束，根据历元载波相位观测量，采用如下算式计算得到 j 时刻的历元载波相位差分残差 $r_{pha,j}$ ：

$$r_{pha,j} = -I_j^{(s)}(p_{r_j}^e - p_{r_{j-1}}^e) + \delta f_j - \lambda \Delta \phi_j - I_j^{(s)}(p_{s_j}^e - p_{r_j}^e) - I_{j-1}^{(s)}(p_{s_{j-1}}^e - p_{r_{j-1}}^e) - \Delta \delta t_j^{(s)} + \Delta T_j - \Delta I_j$$

式中 $I_j^{(s)}$ 为 j 时刻的卫

星观测矢量； $p_{r_j}^e$ 为 j 时刻的接收机位置； $p_{r_{j-1}}^e$ 为 $j-1$ 时刻的接收机位置； δf_j 为 j 时刻的接收机频漂； λ 为波长； $\Delta \phi_j$ 为 j 时刻与 $j-1$ 时刻的载波相位差分值； $p_{s_j}^e$ 为 j 时刻的卫星位

置； $I_{j-1}^{(s)}$ 为 $j-1$ 时刻的卫星观测矢量； $p_{s,j-1}^e$ 为 $j-1$ 时刻的卫星位置； $\Delta\delta t_j^{(s)}$ 为 j 时刻与 $j-1$ 时刻的接收机钟差差分； ΔT_j 为 j 时刻与 $j-1$ 时刻的对流层延时差分； ΔI_j 为 j 时刻与 $j-1$ 时刻的电离层延时差分；

$$\text{采用如下算式计算得到 } j \text{ 时刻的第二运动学残差值 } r_{p,j} : r_{p,j} = \frac{p_{r_j}^e - p_{r_{j-1}}^e}{t_j - t_{j-1}} - v_j$$

式中 t_j 为 j 时刻的时间； t_{j-1} 为 $j-1$ 时刻的时间； v_j 为 j 时刻的接收机速度；

$$\text{采用如下算式计算得到 } j \text{ 时刻的接收机频漂残差值 } r_{\delta f_j} : r_{\delta f_j} = \frac{\delta t_j - \delta t_{j-1}}{t_j - t_{j-1}} - \delta f_j$$

式中 δt_j 为 j 时刻的接收机钟差； δt_{j-1} 为 $j-1$ 时刻的接收机钟差； δf_j 为 j 时刻的接收机频漂；

采用如下算式作为位置非线性优化模型：

$$\text{arc min}_{XX} \left(\sum_{j=1}^{nn} \|r_{psr,j}\|^2 + \sum_{j=1}^{mm} \|r_{pha,j}\|^2 + \|r_{p,j}\|^2 + \|r_{\delta f_j}\|^2 \right) \text{ 式中 } XX \text{ 为待优化的第二参数}$$

值，包括 j 时刻的接收机的位置值和 j 时刻的接收机的钟差，其中， j 时刻的接收机的位置值包括 j 时刻 x 轴方向的位置 $P_{x,j}$ 、 j 时刻 y 轴方向的位置 $P_{y,j}$ 和 j 时刻 z 轴方向的位置 $P_{z,j}$ ， j 时刻的接收机的钟差则表示为 δt_j ； nn 为伪距观测量的数量； mm 为历元载波相位差分的数量；

对构建的位置非线性优化模型进行求解，得到GNSS系统的 j 时刻的位置值；

S4. 根据步骤S3计算得到的位置值，完成GNSS系统的单点定位。

[0020] 以下结合一个具体实施例，对本发明的定位方法进行进一步说明：

本实例基于现有的基带芯片板卡，将GNSS外置天线连接到板卡上，并将本发明定位方法对应的程序烧录上板卡上，基于串口方式实时将定位解算结果以GGA协议方式输出。具体以跑车进行验证测试，将两块板卡、GNSS接收机、天线等安装在车上，围绕长沙市岳麓区麓谷片区进行跑车测试，一块板卡烧录本发明定位方法的程序，另一块烧录基于卡尔曼滤波的定位方法的程序，并用高精度RTK作为真值进行精度统计对比，在东、北、天方向的误差统计如下图所示，从图2、图3、图4可以看出本发明定位方法比基于卡尔曼滤波的定位方法，在东、北、天三个方向的误差均更小、精度均更高。

[0021] 分别计算本发明定位方法和基于卡尔曼滤波的定位方法的RMS指标、CEP95精度指标和最大值指标，如下表1所示；

表1 基于非线性优化和基于卡尔曼滤波方法精度指标示意表

定位方法		本发明定位方法	基于卡尔曼滤波的定位方法
水平	RMS 指标	1.089	2.285
	CEP95 精度指标	2.322	6.874
	最大值指标	8.554	88.526
高程	RMS 指标	2.107	3.623
	CEP95 精度指标	4.125	15.683
	最大值指标	7.388	75.042

[0022] 从表中可以看出,相比于基于卡尔曼滤波方法,本发明定位方法在水平和高程方向的定位精度上,均具有显著的提升。

[0023] 如图5所示为本发明导航方法的方法流程示意图:本发明提供的这种包括了所述基于非线性优化的GNSS单点定位方法的导航方法,具体包括如下步骤:

- S1. 获取GNSS系统的原始观测量;
- S2. 根据步骤S1获取的原始观测量,基于运动学模型和相邻两个时刻之间的加速度约束,计算得到GNSS系统的每个时刻的速度值;
- S3. 根据步骤S2计算得到的速度值,基于伪距和历元载波相位观测量,计算得到GNSS系统的每个时刻的位置值;
- S4. 根据步骤S3计算得到的位置值,完成GNSS系统的单点定位;
- S5. 根据步骤S4得到的GNSS系统的单点定位结果,进行实时导航。

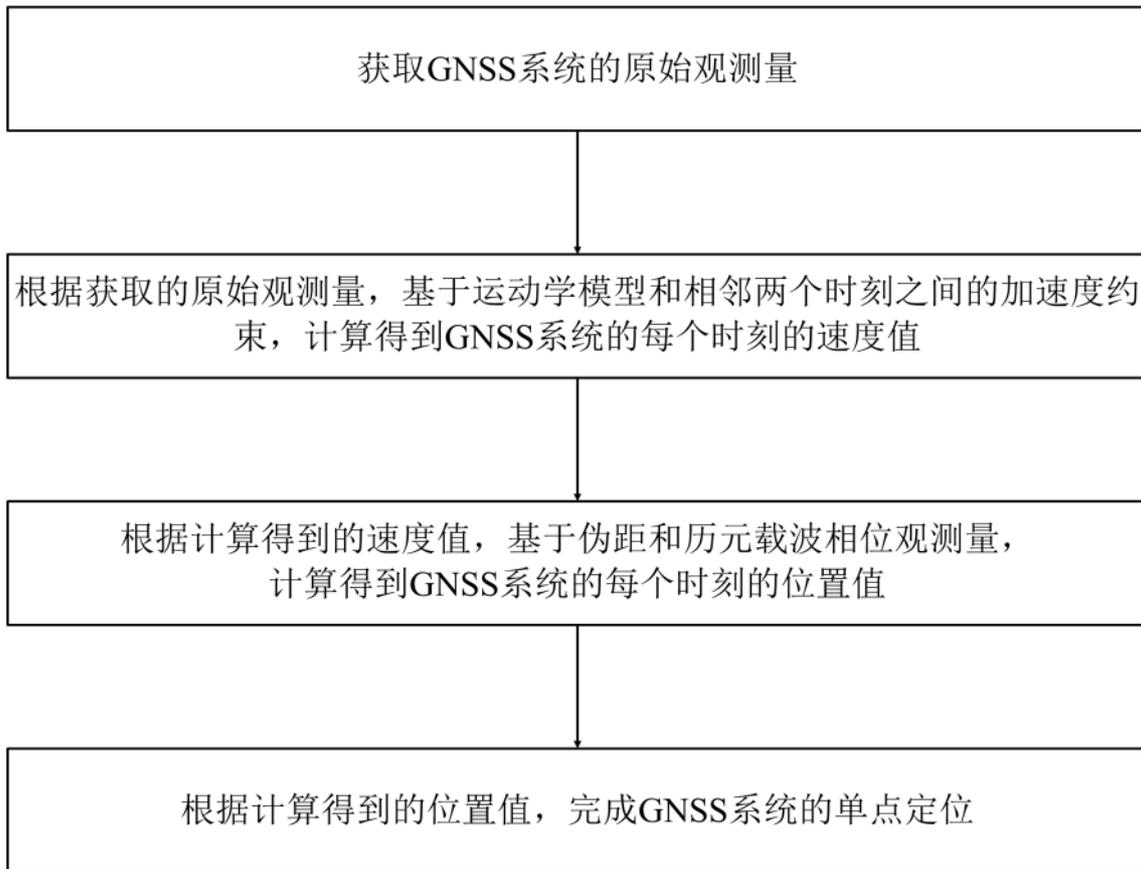


图 1

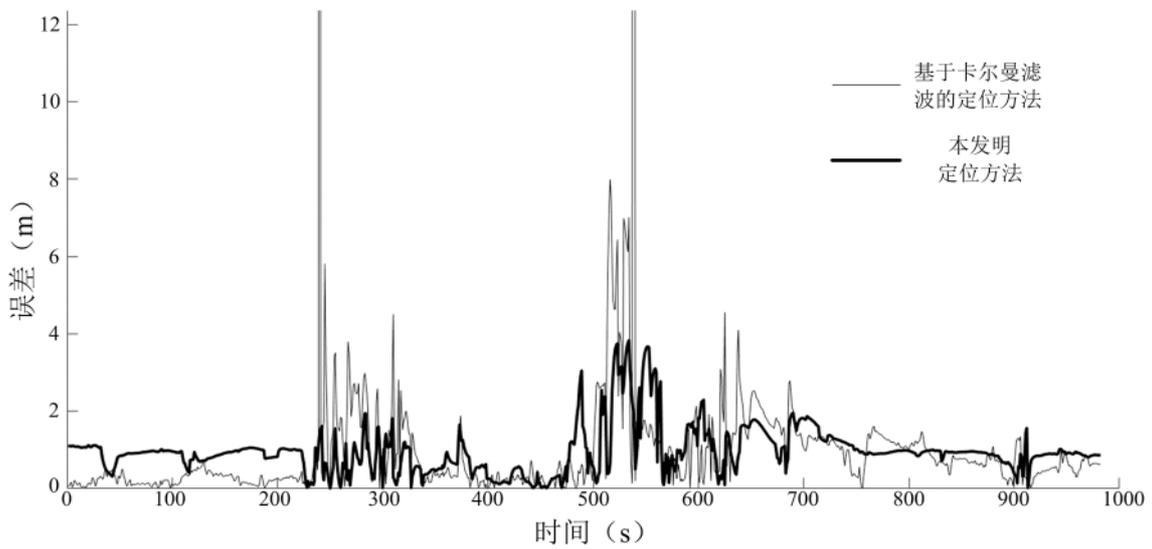


图 2

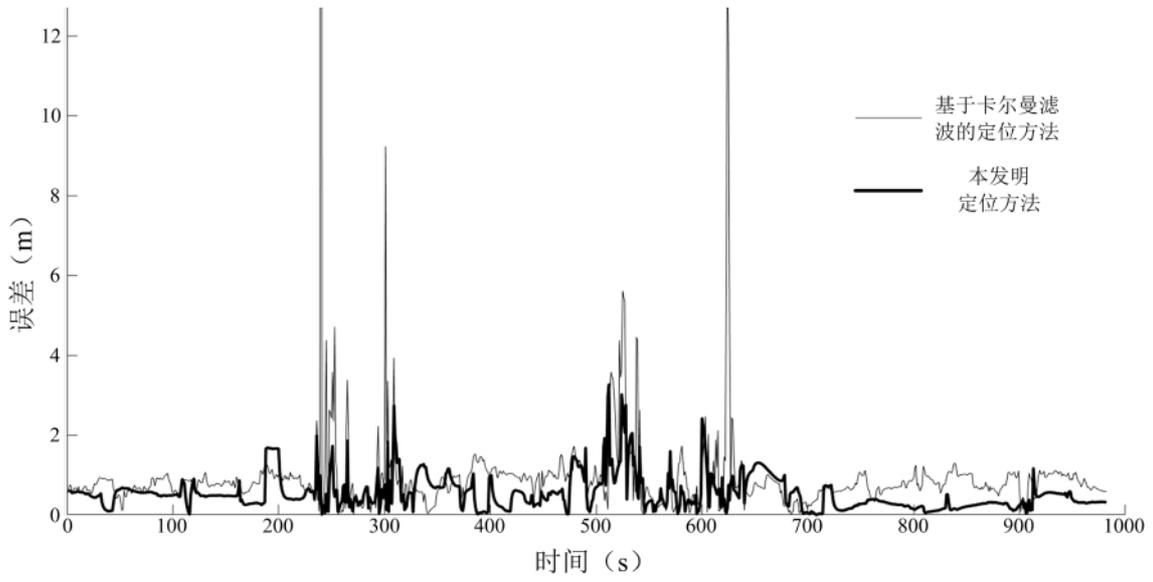


图 3

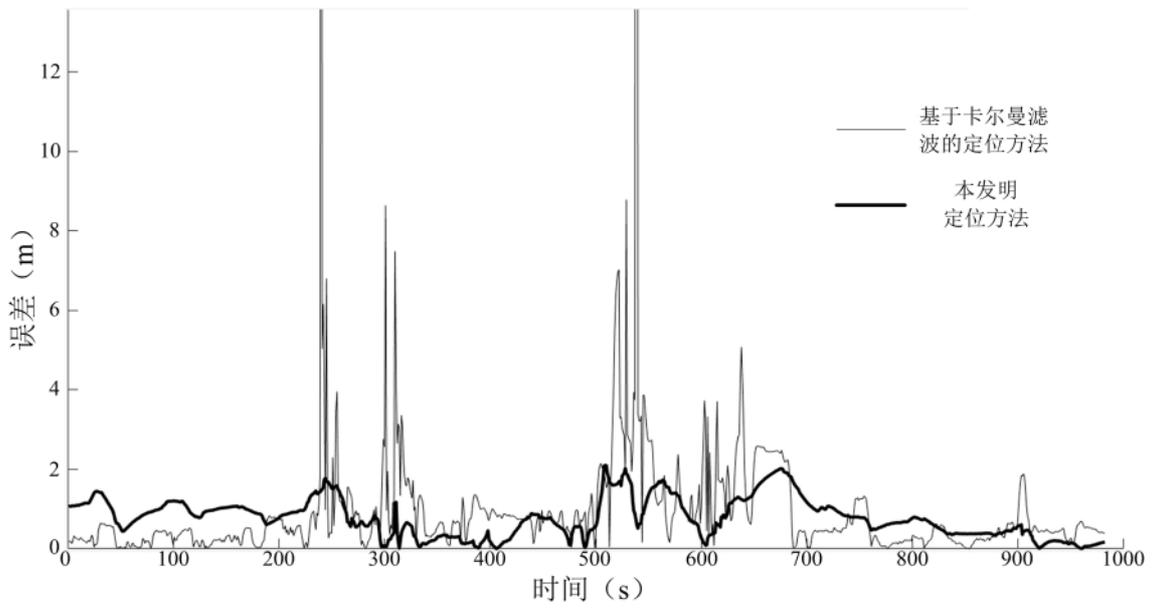


图 4

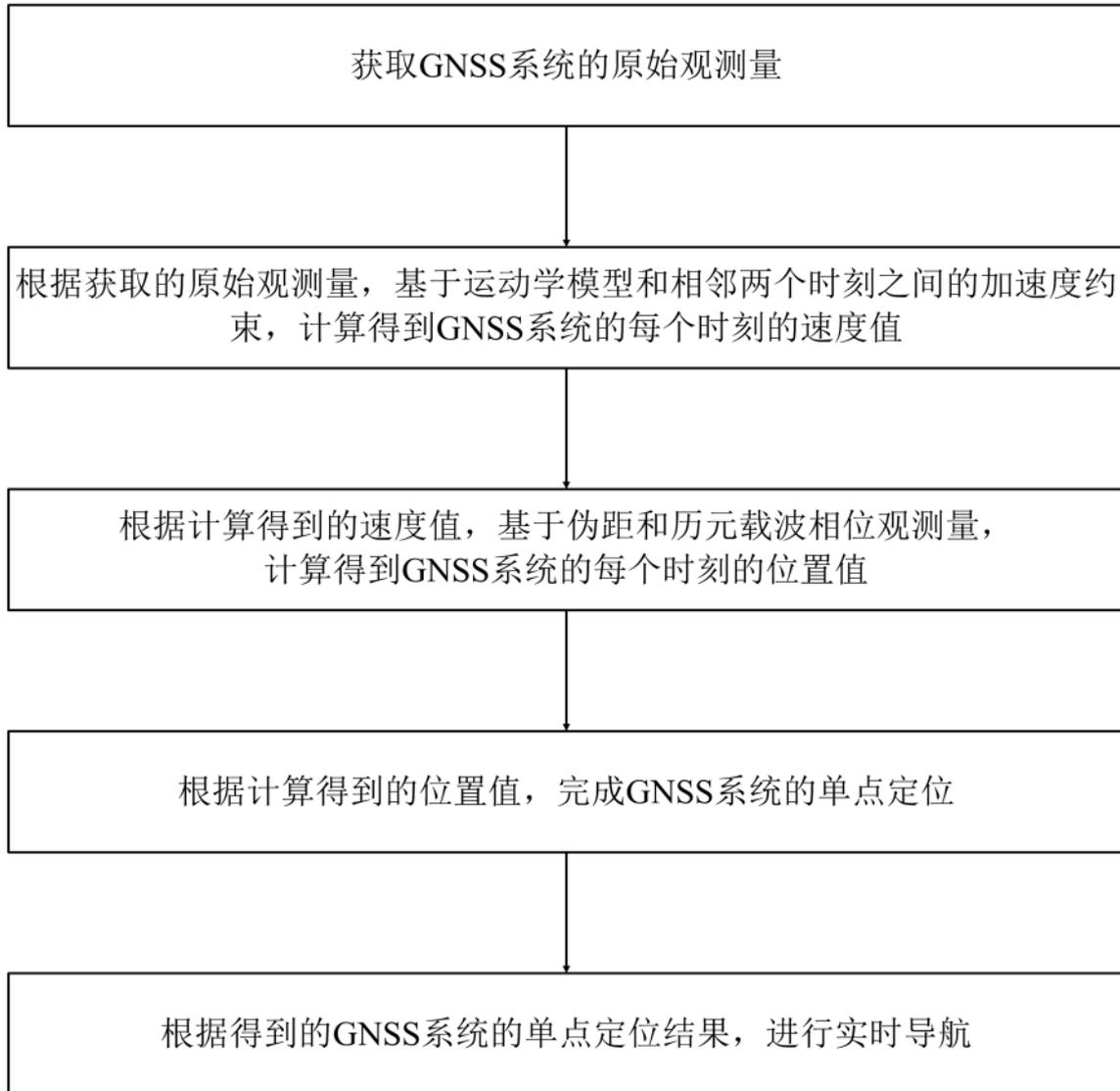


图 5