



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106842256 B

(45)授权公告日 2019.03.12

(21)申请号 201611141011.7

G01S 19/42(2010.01)

(22)申请日 2016.12.12

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106842256 A

CN 105527642 A, 2016.04.27,  
CN 101464506 A, 2009.06.24,  
CN 103576166 A, 2014.02.12,  
CN 106019346 A, 2016.10.12,

(43)申请公布日 2017.06.13

(73)专利权人 西安空间无线电技术研究所  
地址 710100 陕西省西安市长安区西街150号

谷超 等. 应急型单星测距定位技术精度分析.《Proceedings of 2016 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference》.2016,

(72)发明人 雷文英 边朗 郝博 吴国春 蒙艳松

张计全 等. 用户终端单星定位时定位精度问题的研究.《2008年船舶通信导航学术年会论文集》.2008,

(74)专利代理机构 中国航天科技专利中心  
11009

审查员 李二翠

代理人 陈鹏

(51)Int. Cl.

G01S 19/37(2010.01)

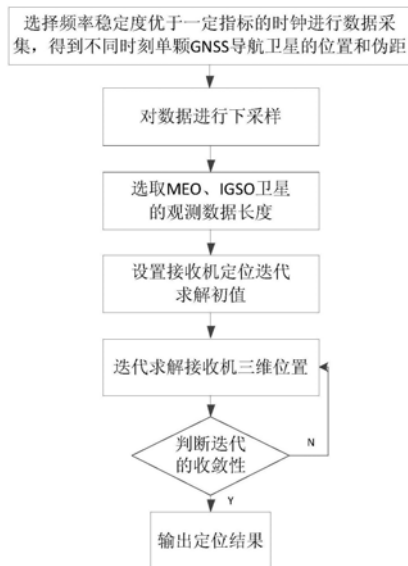
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54)发明名称

一种利用GNSS单星信号的导航定位方法

(57)摘要

本发明一种利用GNSS单星信号的导航定位方法。首先选择频率稳定度优于一定指标的时钟进行数据采集,得到不同时刻单颗GNSS导航卫星的位置和伪距;其次,对数据进行下采样,选取用于导航位置解算的MEO卫星或IGSO卫星的观测数据长度;最后,通过迭代求解计算接收机自身的位置并输出定位结果。本发明克服了GNSS导航定位方法在小于四颗观测卫星时无法使用的缺点,实现了仅观测单颗GNSS信号的高精度导航定位。本发明方法需要观测的GNSS卫星数少、定位精度高,可解决月球接收机仅测量一颗GNSS卫星信号时的自身导航定位难题,同时可实现地球上多径、多遮挡环境下,接收机的导航定位。



1. 一种利用GNSS单星信号的导航定位方法,其特征在于包括以下步骤:

1) 选择频率稳定度优于预设指标的时钟进行数据采集,得到不同时刻单颗GNSS导航卫星的位置和伪距;令  $\Omega_{x,y,z}$  和  $\Omega_\rho$  分别为  $t_1$  到  $t_N$  时刻内能观测到GNSS导航卫星的坐标集合和伪距集合,按式 (1) 和式 (2) 分别记录  $t_i, i=1,2,\dots,N$  时刻所有可见的GNSS导航卫星的位置和伪距;所述预设指标为:阿伦标准差在1s优于  $2.42 \times 10^{-11}$ ,100s优于  $1.24 \times 10^{-11}$ ,1000s优于  $2.93 \times 10^{-12}$ ;

$$\Omega_{x,y,z} = \Omega_{x,y,z} \cup \mathbf{x}_{t_i}^{(1)} \cup \mathbf{x}_{t_i}^{(2)} \cup \mathbf{x}_{t_i}^{(3)}, t_i, i=1,2,\dots,N \quad (1)$$

$$\Omega_\rho = \Omega_\rho \cup \rho_{t_i}^{(1)} \cup \rho_{t_i}^{(2)} \cup \rho_{t_i}^{(3)}, t_i, i=1,2,\dots,N \quad (2)$$

式中  $\mathbf{x}_{t_i}^{(1)}, \mathbf{x}_{t_i}^{(2)}, \mathbf{x}_{t_i}^{(3)}$  分别是第一、第二、第三颗卫星时分可见时的地心地固坐标位置;  
 $\rho_{t_i}^{(1)}, \rho_{t_i}^{(2)}, \rho_{t_i}^{(3)}$  分别是测量获得的第一、第二、第三颗卫星时分可见时经过电离层和对流层误差修正后的伪距,当  $t_i$  时刻的卫星  $j$  不可见时  $\mathbf{x}_{t_i}^{(j)} = \emptyset, \rho_{t_i}^{(j)} = \emptyset, j=1,2,3$ ;

在  $t_i$  时刻,卫星  $j$  在地心地固坐标系下的坐标为  $\mathbf{x}^{(j)} = (x^{(j)}, y^{(j)}, z^{(j)})^T$ ,接收机钟差  $\delta t_u$ ,接收机的真实位置  $(u_x, u_y, u_z)^T$  以及经过电离层和对流层误差修正后的伪距  $\rho_{t_i}^{(j)}$  之间的关系如式 (3) 所示

$$\sqrt{(x_{t_i}^{(j)} - u_x)^2 + (y_{t_i}^{(j)} - u_y)^2 + (z_{t_i}^{(j)} - u_z)^2} + c\delta t_u = \rho_{t_i}^{(j)} \quad (3)$$

其中  $c$  为光速;

2) 对单颗GNSS导航卫星的位置和伪距进行下采样,得到下采样后的卫星位置和伪距;

3) 选取合适的MEO卫星或IGSO卫星的观测数据长度

对于MEO或IGSO卫星,令定位结果优于100m,其数据观测时间长度大于48分钟;

4) 设置接收机定位迭代求解初值

设置接收机初始位置位于  $\mathbf{u}_0 = (0, 0, 0, 0)^T$ ,其中  $\mathbf{u}_0$  的前三个分量表示接收机的位置,第四个分量为接收机钟差;

5) 迭代求解获得接收机三维位置

51) 设置迭代收敛阈值  $\varepsilon$  以及单次迭代需要的数据长度  $n$

迭代收敛阈值  $\varepsilon$  设置为不大于1的正值,下采样后的数据长度  $B$  按  $B = \lfloor (SOW_2 - SOW_1) / 20 \rfloor$  计算获得,其中  $SOW_1$  为数据采集起始时刻的周内秒,  $SOW_2$  为数据采集结束时刻的周内秒,  $\lfloor \cdot \rfloor$  表示向下取整;

52) 设置最大迭代次数  $Q_{\max}$ 、初始迭代次数  $q$  以及初始接收机位置更新值的二范数  $\|\Delta \mathbf{u}\|_2$ ;

53) 设置Huber阈值  $\eta$  为  $\eta \in [80, 150]$ ;

54) 判断迭代的收敛性

当  $\|\Delta \mathbf{u}\|_2 \leq \varepsilon$  或  $q > Q_{\max}$  时终止迭代,并跳转到步骤6),否则继续执行步骤55);

55) 求解Huber估计模型下接收机位置的更新值

将下采样后的n个伪距观测数据 $\hat{\rho}_1 \dots \hat{\rho}_n$ 排列成 $n \times 1$ 的列向量 $\hat{\rho}$ ,接收机位置估计值 $u$ 分别到下采样后n个卫星坐标 $\hat{x}_1 \dots \hat{x}_n$ 的距离为 $l_1 = \|u - \hat{x}_1\|_2 \dots l_n = \|u - \hat{x}_n\|_2$ ;将 $l_1$ 到 $l_n$ 排列为 $n \times 1$ 列向量 $l$ ;定义 $n \times 4$ 的矩阵 $A$ 为

$$A = \begin{bmatrix} \frac{(u_x - \tilde{x}_1)}{l_1} & \frac{(u_y - \tilde{y}_1)}{l_1} & \frac{(u_z - \tilde{z}_1)}{l_1} & 1 \\ \frac{(u_x - \tilde{x}_2)}{l_2} & \frac{(u_y - \tilde{y}_2)}{l_2} & \frac{(u_z - \tilde{z}_2)}{l_2} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & 1 \\ \frac{(u_x - \tilde{x}_n)}{l_n} & \frac{(u_y - \tilde{y}_n)}{l_n} & \frac{(u_z - \tilde{z}_n)}{l_n} & 1 \end{bmatrix}$$

其中 $u_x, u_y, u_z$ 为 $u$ 的三个坐标分量, $\tilde{x}_k, \tilde{y}_k, \tilde{z}_k$ 为 $\hat{x}_k$ 的三个坐标分量, $k=1, \dots, n$ ;

求解优化问题(4)的最优解 $\Delta u$ ,式(4)中 $\phi(\zeta)$ 是Huber罚函数,其具体表达式由(5)给出,式(5)中 $\zeta$ 表示自变量;

$$\min_{\Delta u} \sum_{k=1}^{i+n-1} \phi((A\Delta u - \hat{\rho} + l)_k) \quad (4)$$

$$\phi(\zeta) = \begin{cases} |\zeta|^2, & \left| \frac{\zeta}{\eta} \right| \leq 1 \\ 2\eta^2 \left| \frac{\zeta}{\eta} \right| - \eta^2, & \left| \frac{\zeta}{\eta} \right| > 1 \end{cases} \quad (5)$$

式中 $(A\Delta u - \hat{\rho} + l)_k$ 表示 $(A\Delta u - \hat{\rho} + l)$ 的第 $k$ 行;

56) 更新接收机位置估计值 $u_q = u_{q-1} + \Delta u$ ;

57) 更新 $q$ 的值 $q = q + 1$ 并转到步骤54);

6) 输出接收机定位结果;

将步骤5)中迭代收敛后的输出结果 $u_q$ 作为最终的地心地固坐标系下的定位结果 $\hat{u}$ ,或将输出结果 $u_q$ 转换为经度、纬度、高度坐标系下的坐标。

## 一种利用GNSS单星信号的导航定位方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于卫星导航技术领域,涉及一种利用GNSS单星信号的导航定位方法。

### 背景技术

[0002] 在“月球导航信号接收机工程样机研制”项目任务中,月球探测器在月球表面需要对其自身位置进行定位,然而月球距地球较远,月球接收机无法对GNSS信号进行有效捕获和跟踪,因此无法通过接收四颗以上GNSS导航卫星信号实现对其自身的导航定位。月球接收机自身的导航定位是探月工程中亟待解决的问题之一。在“基于XX单星导航定位技术”863项目任务中,针对应急响应单星导航定位的任务需求,需要研究基于单星测量的导航定位关键技术、研究原理样机并开展地面验证试验。在GNSS系统收到干扰或失效时,采用单星进行应急导航实现自身定位,具有较强的军用需求和研究价值。此外,当地面上GNSS接收机位于城市、山区、山谷、峡谷、密林等多径、多遮挡环境中,由于不能同时接收到四颗以上的GNSS卫星信号,从而导致其定位功能的失效。因此,亟需研究多径、多遮挡环境下接收小于四颗观测GNSS卫星信号时接收机自身的导航定位方法,其在密林等隐蔽环境下车辆的自身定位、山区环境下人员的导航定位等方面具有重要意义和价值。

### 发明内容

[0003] 本发明解决的技术问题是:克服现有技术的不足,提供一种利用GNSS单星信号的导航定位方法,解决了GNSS接收机在仅接收单颗GNSS卫星信号时,对其自身的导航定位问题。

[0004] 本方法的技术方案是:一种利用GNSS单星信号的导航定位方法,包括以下步骤:

[0005] 1) 选择频率稳定度优于预设指标的时钟进行数据采集,得到不同时刻单颗GNSS导航卫星的位置和伪距;令  $\Omega_{x,y,z}$  和  $\Omega_{\rho}$  分别为  $t_1$  到  $t_N$  时刻内能观测到GNSS导航卫星的坐标集合和伪距集合,按式(1)和式(2)分别记录  $t_i, i=1,2,\dots,t_N$  时刻所有可见的GNSS导航卫星的位置和伪距;

$$[0006] \quad \Omega_{x,y,z} = \Omega_{x,y,z} \cup \mathbf{x}_{t_i}^{(1)} \cup \mathbf{x}_{t_i}^{(2)} \cup \mathbf{x}_{t_i}^{(3)}, t_i, i=1,2,\dots,t_N \quad (1)$$

$$[0007] \quad \Omega_{\rho} = \Omega_{\rho} \cup \rho_{t_i}^{(1)} \cup \rho_{t_i}^{(2)} \cup \rho_{t_i}^{(3)}, t_i, i=1,2,\dots,t_N \quad (2)$$

[0008] 式中  $\mathbf{x}_{t_i}^{(1)}, \mathbf{x}_{t_i}^{(2)}, \mathbf{x}_{t_i}^{(3)}$  分别是第一、第二、第三颗卫星时分可见时的地心地固坐标位置;  $\rho_{t_i}^{(1)}, \rho_{t_i}^{(2)}, \rho_{t_i}^{(3)}$  分别是测量获得的第一、第二、第三颗卫星时分可见时经过电离层和对流层误差修正后的伪距,当  $t_i$  时刻的卫星  $j$  不可见时  $\mathbf{x}_{t_i}^{(j)} = \emptyset, \rho_{t_i}^{(j)} = \emptyset, j=1,2,3$ ;

[0009] 在  $t_i$  时刻,卫星  $j$  在地心地固坐标系下的坐标为  $\mathbf{x}^{(i)} = (x^{(i)}, y^{(i)}, z^{(i)})^T$ , 接收机钟差  $\delta t_u$ , 接收机的真实位置  $(u_x, u_y, u_z)^T$  以及经过电离层和对流层误差修正后的伪距  $\rho_{t_i}^{(j)}$  之间的关系如式(3)所示

$$[0010] \quad \sqrt{(x_{t_i}^{(j)} - u_x)^2 + (y_{t_i}^{(j)} - u_y)^2 + (z_{t_i}^{(j)} - u_z)^2} + c\delta t_u = \rho_{t_i}^{(j)} \quad (3)$$

[0011] 其中c为光速；

[0012] 2) 对单颗GNSS导航卫星的位置和伪距进行下采样,得到下采样后的卫星位置和伪距；

[0013] 3) 选取合适的MEO卫星或IGSO卫星的观测数据长度

[0014] 对于MEO或IGSO卫星,令定位结果优于100m,其数据观测时间长度大于48分钟；

[0015] 4) 设置接收机定位迭代求解初值

[0016] 设置接收机初始位置位于 $u_0 = (0, 0, 0, 0)^T$ ,其中 $u_0$ 的前三个分量表示接收机的位置,第四个分量为接收机钟差；

[0017] 5) 迭代求解获得接收机三维位置

[0018] 51) 设置迭代收敛阈值 $\varepsilon$ 以及单次迭代需要的数据长度n

[0019] 迭代收敛阈值 $\varepsilon$ 设置为不大于1的正值,下采样后的数据长度B按

$B = \lfloor (SOW_2 - SOW_1) / 20 \rfloor$ 计算获得,其中 $SOW_1$ 为数据采集起始时刻的周内秒, $SOW_2$

为数据采集结束时刻的周内秒, $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示向下取整；

[0020] 52) 设置最大迭代次数 $Q_{max}$ 、初始迭代次数q以及初始接收机位置更新值的二范数 $\|\Delta u\|_2$ ；

[0021] 53) 设置Huber阈值 $\eta$ 为 $\eta \in [80, 150]$ ；

[0022] 54) 判断迭代的收敛性

[0023] 当 $\|\Delta u\|_2 \leq \varepsilon$ 或 $q > Q_{max}$ 时终止迭代,并跳转到步骤6),否则继续执行步骤55)；

[0024] 55) 求解Huber估计模型下接收机位置的更新值

[0025] 将下采样后的n个伪距观测数据 $\rho_1 \dots \rho_n$ 排列成 $n \times 1$ 的列向量 $\hat{\rho}$ ,接收机位置估计

值u分别到下采样后n颗卫星坐标 $\tilde{x}_1 \dots \tilde{x}_n$ 的距离为 $l_1 = \|u - \tilde{x}_1\|_2 \dots l_n = \|u - \tilde{x}_n\|_2$ ；将 $l_1$ 到 $l_n$ 排

列为 $n \times 1$ 列向量l；定义 $n \times 4$ 的矩阵A为

$$[0026] \quad A = \begin{bmatrix} \frac{(u_x - \tilde{x}_1)}{l_1} & \frac{(u_y - \tilde{y}_1)}{l_1} & \frac{(u_z - \tilde{z}_1)}{l_1} & 1 \\ \frac{(u_x - \tilde{x}_2)}{l_2} & \frac{(u_y - \tilde{y}_2)}{l_2} & \frac{(u_z - \tilde{z}_2)}{l_2} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & 1 \\ \frac{(u_x - \tilde{x}_n)}{l_n} & \frac{(u_y - \tilde{y}_n)}{l_n} & \frac{(u_z - \tilde{z}_n)}{l_n} & 1 \end{bmatrix}$$

[0027] 其中 $u_x, u_y, u_z$ 为u的三个坐标分量, $\tilde{x}_k, \tilde{y}_k, \tilde{z}_k$ 为 $\tilde{x}_k$ 的三个坐标分量, $k=1, \dots, n$ ；

[0028] 求解优化问题(4)的最优解 $\Delta u$ ,式(4)中 $\phi(\zeta)$ 是Huber罚函数,其具体表达式由

(5) 给出,式(5)中 $\zeta$ 表示自变量;

$$[0029] \quad \min_{\Delta u} \sum_{k=i}^{i+n-1} \phi((A\Delta u - \hat{p} + l)_k) \quad (4)$$

$$[0030] \quad \phi(\zeta) = \begin{cases} |\zeta|^2, & \left| \frac{\zeta}{\eta} \right| \leq 1 \\ 2\eta^2 \left| \frac{\zeta}{\eta} \right| - \eta^2, & \left| \frac{\zeta}{\eta} \right| > 1 \end{cases} \quad (5)$$

[0031] 式中 $(A\Delta u - \hat{p} + l)_k$ 表示 $(A\Delta u - \hat{p} + l)$ 的第k行;

[0032] 56) 更新接收机位置估计值 $u_q = u_{q-1} + \Delta u$ ;

[0033] 57) 更新q的值 $q = q + 1$ 并转到步骤54);

[0034] 6) 输出接收机定位结果;

[0035] 将步骤5)中迭代收敛后的输出结果 $u_q$ 作为最终的地心地固坐标系下的定位结果 $\hat{u}$ ,或将输出结果 $u_q$ 转换为经度、纬度、高度坐标系下的坐标。

[0036] 本发明与现有技术相比的优点在于:

[0037] 1、本发明首先选择频率稳定度优于一定指标的时钟进行数据采集,得到不同时刻单颗GNSS导航卫星的位置和伪距;其次,对数据进行下采样,选取用于导航位置解算的MEO卫星或IGSO卫星的观测数据长度;最后,通过迭代求解计算接收机自身的位置并输出定位结果。

[0038] 2、本发明克服了GNSS导航定位方法在小于四颗观测卫星时无法使用的缺点,实现了最少仅观测单颗GNSS信号的高精度导航定位。

[0039] 3、本发明方法需要观测的GNSS卫星数少、定位精度高、具有良好实时性,可解决月球接收机仅测量一颗GNSS卫星信号时的自身导航定位难题,同时可实现地球上多径、多遮挡环境下,接收机观测GNSS卫星数量小于四颗时的高精度导航定位。

## 附图说明

[0040] 图1是本发明的应用场景图;

[0041] 图2是本发明利用GNSS单星信号的导航定位流程图;

[0042] 图3是GPS接收机的定位输出结果;

[0043] 图4是在单星定位数据记录时间段内接收机的钟差和频率稳定度;

[0044] 图5是利用本发明方法计算的接收机定位误差随数据记录时间的变化;

[0045] 图6是应用本发明实测数据处理实验的接收机位置估计的三维收敛图,图中五角星代表接收机的真实位置;

[0046] 图7是应用本发明在GPS实测数据实验中x、y、z坐标估计值与观测时间段内GPS接收机输出结果均值的误差。图7(a)是本发明单星计算x坐标与GPS计算结果均值的变化曲线图,图7(b)是本发明单星计算y坐标与GPS计算结果均值的变化曲线图,图7(c)是本发明单星计算z坐标与GPS计算结果均值的变化曲线图。

### 具体实施方式

[0047] 步骤1,选择频率稳定度优于预设指标的时钟进行数据采集,得到不同时刻单颗GNSS导航卫星的位置和伪距。本实施例采用的接收机钟差如图4(a)所示,由钟差计算的时钟稳定度如图4(b)所示。由图4(b)可得到本实施例接收机需要满足的频率稳定度指标为:阿伦标准差在1s优于 $2.42 \times 10^{-11}$ ,100s优于 $1.24 \times 10^{-11}$ ,1000s优于 $2.93 \times 10^{-12}$ 。

[0048] 令 $\Omega_{x,y,z}$ 和 $\Omega_\rho$ 分别为 $t_1$ 到 $t_N$ 时刻内能观测到GNSS导航卫星的坐标集合和伪距集合,按式(1)和式(2)分别记录 $t_i, i=1,2,\dots,t_N$ 时刻所有可见的GNSS导航卫星的位置和伪距;

$$[0049] \quad \Omega_{x,y,z} = \Omega_{x,y,z} \cup \mathbf{x}_{t_i}^{(1)} \cup \mathbf{x}_{t_i}^{(2)} \cup \mathbf{x}_{t_i}^{(3)}, t_i, i=1,2,\dots,t_N \quad (1)$$

$$[0050] \quad \Omega_\rho = \Omega_\rho \cup \rho_{t_i}^{(1)} \cup \rho_{t_i}^{(2)} \cup \rho_{t_i}^{(3)}, t_i, i=1,2,\dots,t_N \quad (2)$$

[0051] 式中 $\mathbf{x}_{t_i}^{(1)}, \mathbf{x}_{t_i}^{(2)}, \mathbf{x}_{t_i}^{(3)}$ 分别是第一、第二、第三颗卫星时分可见时的地心地固坐标位置; $\rho_{t_i}^{(1)}, \rho_{t_i}^{(2)}, \rho_{t_i}^{(3)}$ 分别是测量获得的第一、第二、第三颗卫星时分可见时经过电离层和对流层误差修正后的伪距,当 $t_i$ 时刻的卫星j不可见时 $\mathbf{x}_{t_i}^{(j)} = \emptyset, \rho_{t_i}^{(j)} = \emptyset, j=1,2,3$ ;

[0052] 在 $t_i$ 时刻,卫星j在地心地固坐标系下的坐标为 $\mathbf{x}^{(i)} = (x^{(i)}, y^{(i)}, z^{(i)})^T$ ,接收机钟差 $\delta t_u$ ,接收机的真实位置 $(u_x, u_y, u_z)^T$ 以及经过电离层和对流层误差修正后的伪距 $\rho_{t_i}^{(j)}$ 之间的关系如式(3)所示

$$[0053] \quad \sqrt{(x_{t_i}^{(j)} - u_x)^2 + (y_{t_i}^{(j)} - u_y)^2 + (z_{t_i}^{(j)} - u_z)^2} + c\delta t_u = \rho_{t_i}^{(j)} \quad (3)$$

[0054] 其中c为光速;

[0055] 步骤2,对单颗GNSS导航卫星的位置和伪距进行下采样,得到下采样后的卫星位置和伪距。为了降低数据处理复杂度,同时保证用户定位精度,需要对观测记录数据进行必要的下采样。经过多次数值试验,可按照20s的采样间隔进行下采样。

[0056] 步骤3,选取合适的MEO卫星或IGSO卫星的观测数据长度。

[0057] 利用单颗GNSS卫星信号进行导航定位,其需要采集足够多的导航卫星伪距值,以保证对接收机定位结果的精度。对于MEO或IGSO卫星,要令定位结果优于100m,其数据观测时间长度需要大于48分钟。

[0058] 步骤4,设置接收机定位迭代求解初值。

[0059] 设置接收机初始位置位于 $\mathbf{u}_0 = (0, 0, 0, 0)^T$ ,其中 $\mathbf{u}_0$ 的前三个分量表示接收机的位置,第四个分量为接收机钟差;

[0060] 步骤5,迭代求解接收机三维位置。

[0061] 5.1) 设置迭代收敛阈值 $\varepsilon$ 以及单次迭代需要的数据长度n

[0062] 迭代收敛阈值 $\varepsilon$ 设置为不大于1的正值,下采样后的数据长度B按 $B = \lfloor (SOW_2 - SOW_1) / 20 \rfloor$ 计算获得,其中 $SOW_1$ 为数据采集起始时刻的周内秒, $SOW_2$ 为数据采集结束时刻的周内秒, $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示向下取整。

[0063] 5.2) 设置最大迭代次数 $Q_{\max}$ 、初始迭代次数q以及初始接收机位置更新值的二范数

$\|\Delta u\|_2$

[0064] 5.3) 设置Huber阈值 $\eta$

[0065] Huber阈值 $\eta$ 设置为 $\eta \in [80, 150]$ 。

[0066] 5.4) 判断迭代的收敛性

[0067] 当 $\|\Delta u\|_2 \leq \epsilon$ 或 $q > Q_{\max}$ 时终止迭代,并跳转到步骤6),否则继续执行步骤5.5);

[0068] 5.5) 求解Huber估计模型下接收机位置的更新值

[0069] 将下采样后的 $n$ 个伪距观测数据 $\hat{\rho}_1 \dots \hat{\rho}_n$ 排列成 $n \times 1$ 的列向量 $\hat{\rho}$ ,接收机位置估计值 $u$ 分别到下采样后 $n$ 颗卫星坐标 $\hat{x}_1 \dots \hat{x}_n$ 的距离为 $l_1 = \|u - \hat{x}_1\|_2 \dots l_n = \|u - \hat{x}_n\|_2$ ;将 $l_1$ 到 $l_n$ 排列为 $n \times 1$ 列向量 $l$ ;定义 $n \times 4$ 的矩阵 $A$ 为

$$[0070] \quad A = \begin{bmatrix} \frac{(u_x - \tilde{x}_1)}{l_1} & \frac{(u_y - \tilde{y}_1)}{l_1} & \frac{(u_z - \tilde{z}_1)}{l_1} & 1 \\ \frac{(u_x - \tilde{x}_2)}{l_2} & \frac{(u_y - \tilde{y}_2)}{l_2} & \frac{(u_z - \tilde{z}_2)}{l_2} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & 1 \\ \frac{(u_x - \tilde{x}_n)}{l_n} & \frac{(u_y - \tilde{y}_n)}{l_n} & \frac{(u_z - \tilde{z}_n)}{l_n} & 1 \end{bmatrix}$$

[0071] 其中 $u_x, u_y, u_z$ 为 $u$ 的三个坐标分量, $\tilde{x}_k, \tilde{y}_k, \tilde{z}_k$ 为 $\hat{x}_k$ 的三个坐标分量, $k=1, \dots, n$ ;

[0072] 求解优化问题(4)的最优解 $\Delta u$ ,式(4)中 $\phi(\zeta)$ 是Huber罚函数,其具体表达式由(5)给出,式(5)中 $\zeta$ 表示自变量。

$$[0073] \quad \min_{\Delta u} \sum_{k=i}^{i+n-1} \phi((A\Delta u - \hat{\rho} + l)_k) \quad (4)$$

$$[0074] \quad \phi(\zeta) = \begin{cases} |\zeta|^2, & \left| \frac{\zeta}{\eta} \right| \leq 1 \\ 2\eta^2 \left| \frac{\zeta}{\eta} \right| - \eta^2, & \left| \frac{\zeta}{\eta} \right| > 1 \end{cases} \quad (5)$$

[0075] 式中 $(A\Delta u - \hat{\rho} + l)_k$ 表示 $(A\Delta u - \hat{\rho} + l)$ 的第 $k$ 行;

[0076] 5.6) 更新接收机位置估计值

[0077]  $u_q = u_{q-1} + \Delta u$

[0078] 5.7) 更新 $q$ 的值 $q = q + 1$ 并转到5.4

[0079] 步骤6,输出接收机定位结果。

[0080] 将步骤5中迭代收敛后的输出结果 $u_i$ 作为最终的地心地固坐标系下的定位结果 $\hat{u}$ ,或将其转换为经度、纬度、高度坐标系下的坐标。

[0081] 本发明的效果结合以下实测数据处理的实验结果进一步说明及验证。

[0082] 通过接收单颗GPS卫星信号对接收机的定位。利用诺瓦泰GPS接收机接收了约50分



钟的数据,选取其中的G14号卫星,作为单星观测值。20s为一个采样点观测数据长度选取为 $n=144$ 。GPS接收机输出的定位结果如图3所示,取其均值为接收机在地心地固坐标系的坐标真值 $u = (-1718.823864459562, 4996.741515865431, 3560.871613825784)^T$  km。令接收机位置初值为 $u_0 = (0, 0, 0, 0)^T$ ,最大迭代次数 $N_{\max} = 50$ ,设置初始接收机位置更新向量的二范数 $\|\Delta u\|_2 = 100$ ,Huber阈值 $\eta = 80$ 。本发明定位方法的定位误差与定位所需观测时间的关系如图5所示。接收机定位的三维迭代收敛过程如图6所示,其地心地固坐标系下X、Y、Z三个坐标的计算收敛结果如图7所示。计算得收敛后的定位结果 $\hat{u}$ ,  $\|\hat{u} - u\|_2 = 78.4689\text{m}$ 。

#### [0083] 2. 实测GPS数据单星定位实验结果分析

[0084] 从图3可看出,GPS接收机输出的地心地固坐标下的位置集中在目标附近,其准确度较高。由图5中可看出,仅利用一颗GPS卫星的观测数据,通过增加观测时间可提高定位精度,当观测时间大于48分钟后,定位误差优于100米。从图6和图7可看出,利用本发明方法,接收机位置估计值从零初始位置迅速收敛到其真值附近。这表明本发明方法在仅接收单颗GPS卫星信号时,对接收机定位的收敛速度快、估计精度高,该方法可行、正确、有效。

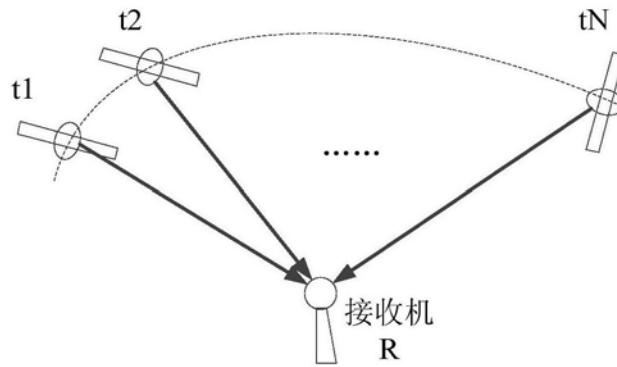


图1

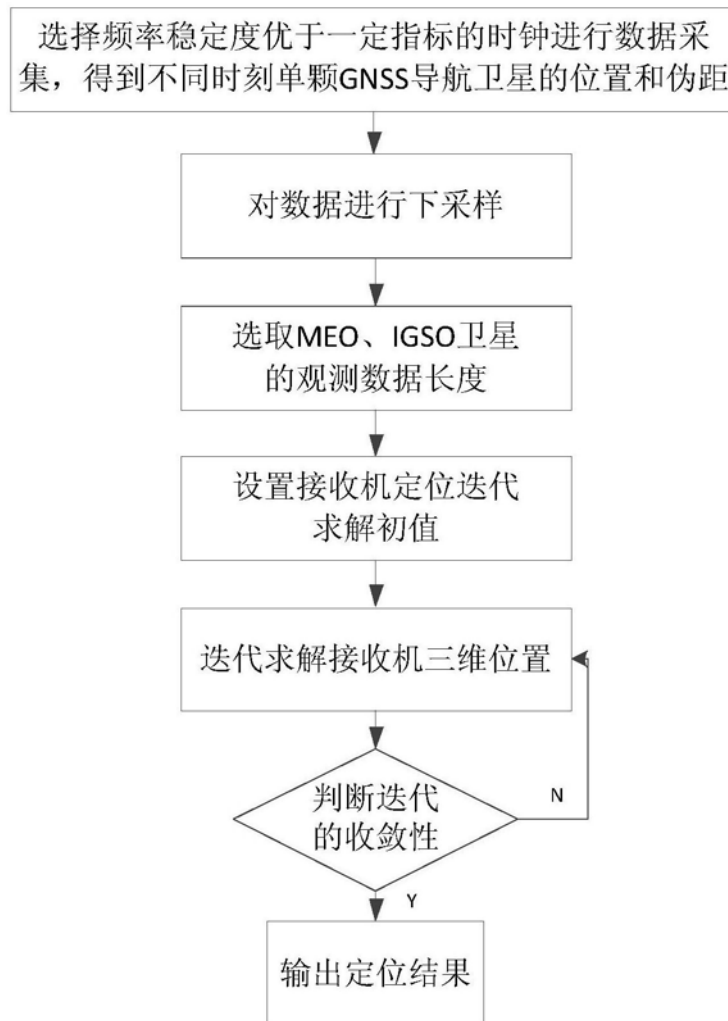


图2

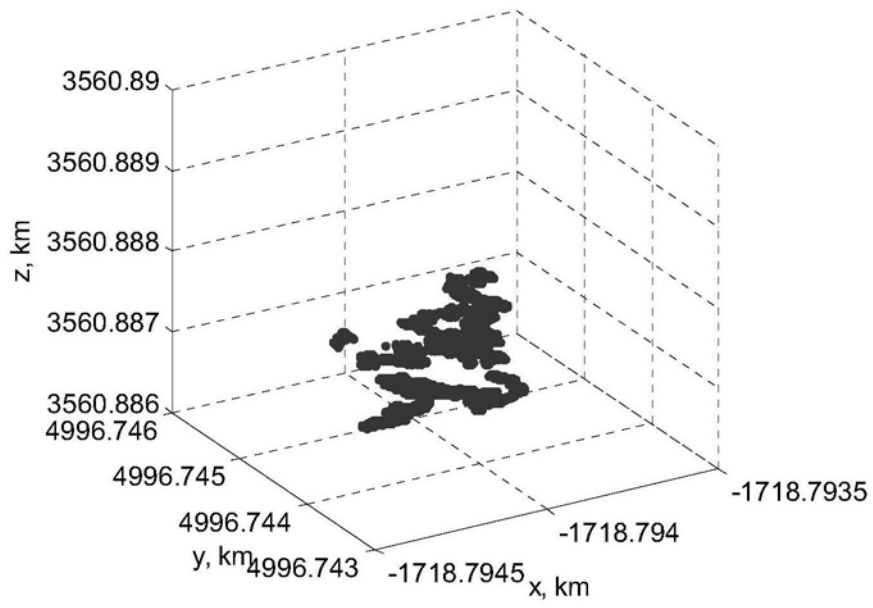
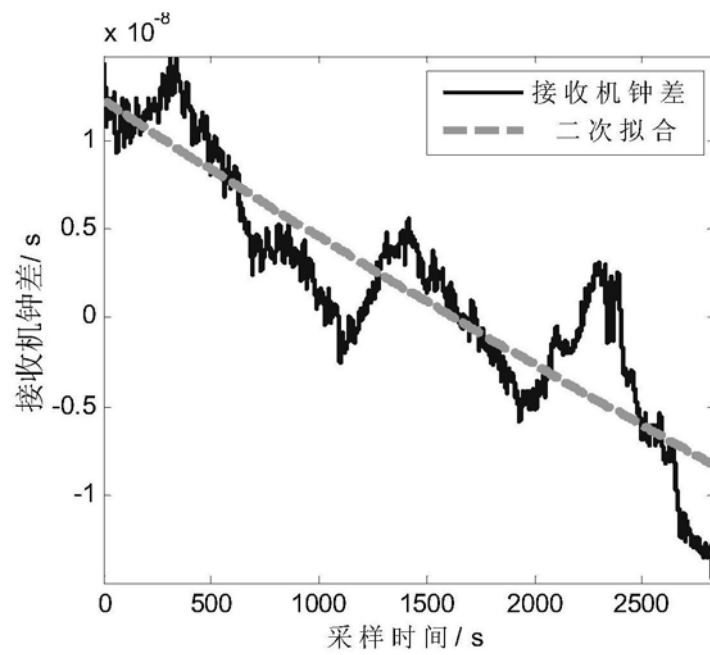
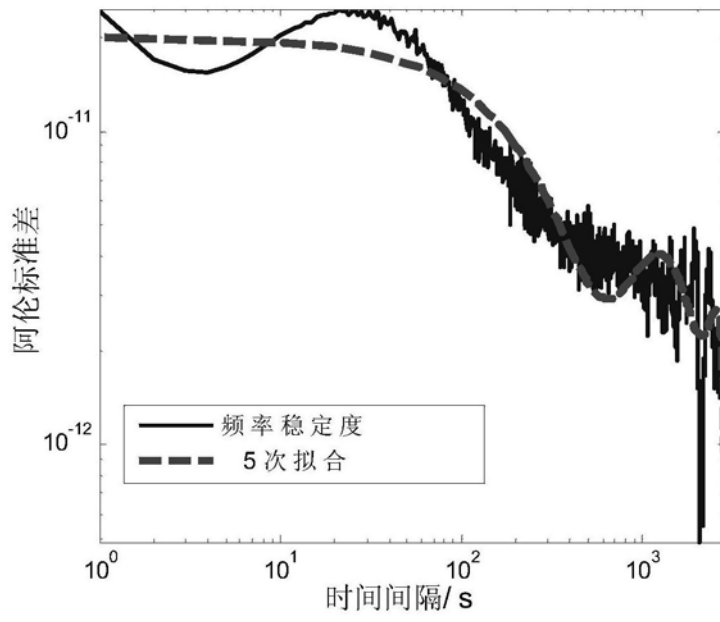


图3



(a)



(b)

图4

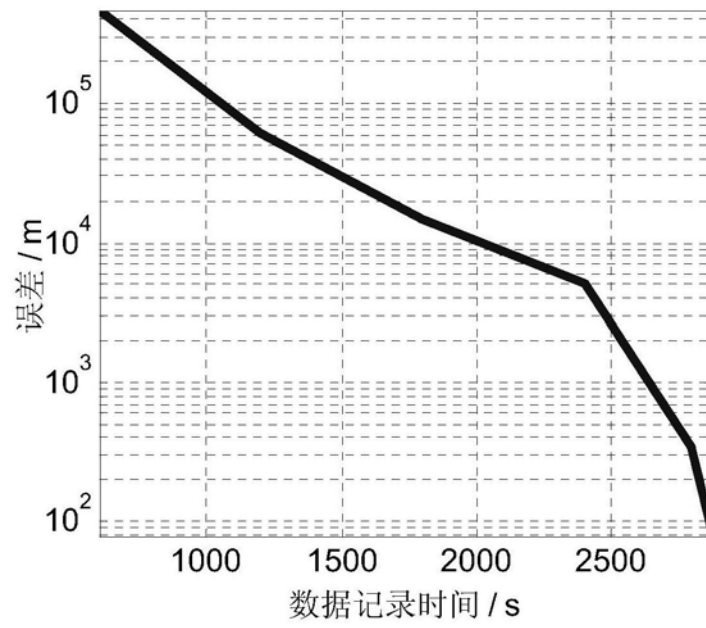


图5

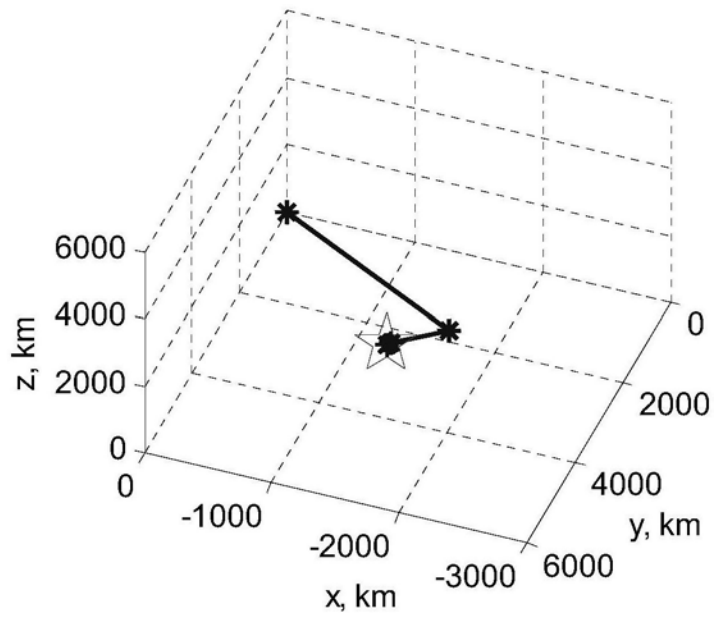
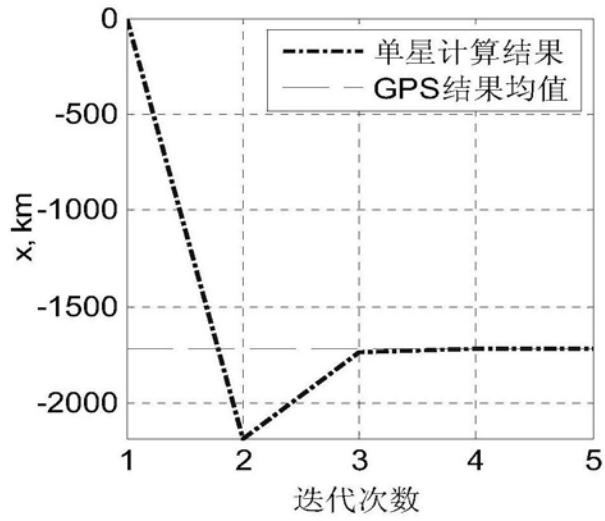
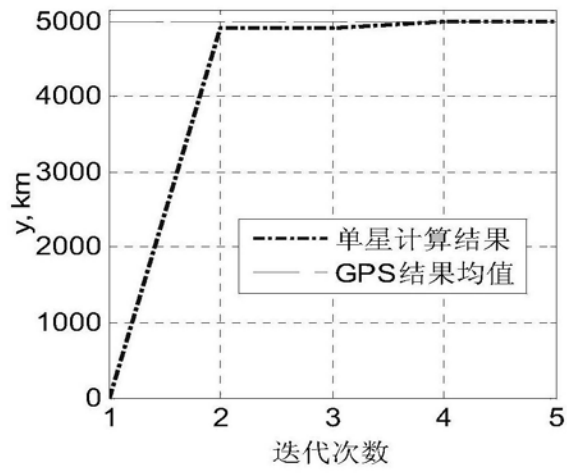


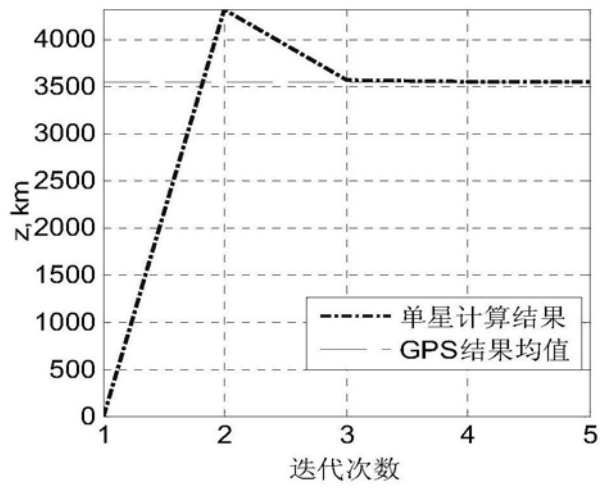
图6



(a)



(b)



(c)

图7