



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105676245 B

(45)授权公告日 2018.05.18

(21)申请号 201410663210.9

(22)申请日 2014.11.19

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105676245 A

(43)申请公布日 2016.06.15

(73)专利权人 香港理工大学

地址 中国香港九龙红磡

(72)发明人 陈武

(74)专利代理机构 深圳市顺天达专利商标代理

有限公司 44217

代理人 郭伟刚

(51)Int.Cl.

G01S 19/42(2010.01)

(56)对比文件

US 6397147 B1,2002.05.28,全文.

CN 103323888 A,2013.09.25,全文.

JP 特开2004-150901 A,2004.05.27,全文.

S. Kedar.The effect of the second order GPS ionospheric correction on receiver positions.《GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS》.2003,第30卷(第16期),1-4.

Schüler T.Impact of systematic errors on precise long baseline kinematic GPS positioning.《GPS Solut》.2006,108-125.

审查员 王晓琼

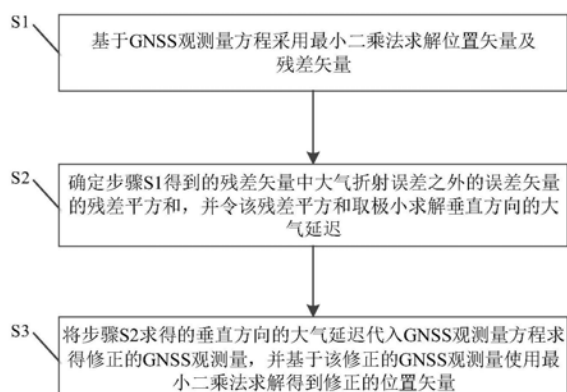
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种基于GNSS观测量的定位方法和系统

(57)摘要

本发明涉及一种基于GNSS观测量的定位方法和系统,该方法包括以下步骤:S1、基于GNSS观测量方程采用最小二乘法求解位置矢量及残差矢量;S2、确定残差矢量中大气折射误差之外的误差矢量的残差平方和,并令该残差平方和取极小求解垂直方向的大气延迟;S3、将求得的垂直方向的大气延迟代入GNSS观测量方程求得修正的GNSS观测量,并使用最小二乘法求解得到修正的位置矢量。本发明通过对大气折射误差之外的所有其他误差的残差平方和取极小求得大气延迟的估计值,再利用最小二乘法重新获得修正的位置矢量,其计算简单准确,解决了大气折射的实时估计问题,提高了GNSS定位的定位精度以及模糊度的收敛速度。



1. 一种基于GNSS观测量的定位方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、基于GNSS观测量方程采用最小二乘法求解位置矢量及残差矢量;

S2、确定所述步骤S1得到的残差矢量中大气折射误差之外的误差矢量的残差平方和,并令该残差平方和取极小求解垂直方向的大气延迟;

S3、将步骤S2求得的垂直方向的大气延迟代入GNSS观测量方程求得修正的GNSS观测量,并基于该修正的GNSS观测量使用最小二乘法求解得到修正的位置矢量。

2. 根据权利要求1所述的基于GNSS观测量的定位方法,其特征在于,所述步骤S1中通过以下公式求解位置矢量:

$$\hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T L;$$

其中,A为卫星的系数矩阵,由卫星位置坐标和接收机初始坐标决定;L为GNSS观测量;所述步骤S1中通过以下公式求解残差矢量:

$$\hat{V} = (I - A(A^T A)^{-1} A^T) (M(\alpha)V_t + e) = (I - H)M(\alpha)V_t + (I - H)e;$$

其中,M(α)为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; V_t 为垂直方向的大气延迟;e是GNSS观测量的所有其他误差矢量; $H = A(A^T A)^{-1} A^T$ 。

3. 根据权利要求2所述的基于GNSS观测量的定位方法,其特征在于,所述步骤S2中通过以下公式求解垂直方向的大气延迟 V_t :

$$V_t = \frac{\hat{V}^T (I - H)M(\alpha)}{M^T(\alpha)(I - H)M(\alpha)};$$

其中, $\hat{V}$ 为残差矢量;M(α)为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量;

$$H = A(A^T A)^{-1} A^T。$$

4. 根据权利要求3所述的基于GNSS观测量的定位方法,其特征在于,所述步骤S3中通过以下公式求得修正的GNSS观测量:

$$L_c = AX = L - M(\alpha)V_t = L_0 + e;$$

其中, L_c 为修正的GNSS观测量;A为卫星的系数矩阵,L为GNSS观测量,M(α)为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; V_t 为垂直方向的大气延迟; L_0 为无误差观测量。

5. 根据权利要求4所述的基于GNSS观测量的定位方法,其特征在于,所述步骤S3中通过以下公式求解修正的位置矢量:

$$\hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T L_c;$$

其中,A为卫星的系数矩阵; L_c 为修正的GNSS观测量。

6. 一种基于GNSS观测量的定位系统,其特征在于,包括:

模型建立单元,用于基于GNSS观测量方程采用最小二乘法求解位置矢量及残差矢量;

大气延迟计算单元,确定模型建立单元得到的残差矢量中大气折射误差之外的误差矢量的残差平方和,并令该残差平方和取极小求解垂直方向的大气延迟;

位置修正单元,用于将所述垂直方向的大气延迟代入GNSS观测量方程求得修正的GNSS观测量,并基于该修正的GNSS观测量使用最小二乘法求解得到修正的位置矢量。

7. 根据权利要求6所述的基于GNSS观测量的定位系统,其特征在于,所述模型建立单元通过以下公式求解位置矢量:

$$\hat{\mathbf{X}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{L};$$

其中, $\mathbf{A}$ 为卫星的系数矩阵, 由卫星位置坐标和接收机初始坐标决定; $\mathbf{L}$ 为 GNSS 观测量; 所述步骤 S1 中通过以下公式求解残差矢量:

$$\hat{\mathbf{V}} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T) (\mathbf{M}(\alpha) \mathbf{V}_t + \mathbf{e}) = (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{V}_t + (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{e};$$

其中, $\mathbf{M}(\alpha)$ 为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; $\mathbf{V}_t$ 为垂直方向的大气延迟; $\mathbf{e}$ 是 GNSS 观测量的所有其他误差矢量; $\mathbf{H} = \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T$ 。

8. 根据权利要求 7 所述的基于 GNSS 观测量的定位系统, 其特征在于, 所述大气延迟计算单元通过以下公式求解垂直方向的大气延迟 $\mathbf{V}_t$:

$$\mathbf{V}_t = \frac{\hat{\mathbf{V}}^T (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha)}{\mathbf{M}^T(\alpha) (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha)};$$

其中, $\hat{\mathbf{V}}$ 为残差矢量; $\mathbf{M}(\alpha)$ 为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量;
 $\mathbf{H} = \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T$ 。

9. 根据权利要求 8 所述的基于 GNSS 观测量的定位系统, 其特征在于, 所述位置修正单元通过以下公式求得修正的 GNSS 观测量:

$$\mathbf{L}_c = \mathbf{A} \hat{\mathbf{X}} = \mathbf{L} - \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{V}_t = \mathbf{L}_0 + \mathbf{e};$$

其中, $\mathbf{L}_c$ 为修正的 GNSS 观测量; $\mathbf{A}$ 为卫星的系数矩阵, $\mathbf{L}$ 为 GNSS 观测量, $\mathbf{M}(\alpha)$ 为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; $\mathbf{V}_t$ 为垂直方向的大气延迟; $\mathbf{L}_0$ 为无误差观测量。

10. 根据权利要求 9 所述的基于 GNSS 观测量的定位系统, 其特征在于, 所述位置修正单元通过以下公式求解修正的位置矢量:

$$\hat{\mathbf{X}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{L}_c;$$

其中, $\mathbf{A}$ 为卫星的系数矩阵; $\mathbf{L}_c$ 为修正的 GNSS 观测量。

一种基于GNSS观测量的定位方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及GNSS(全球导航卫星系统)技术领域,更具体地说,涉及一种基于GNSS观测量的定位方法和系统。

背景技术

[0002] GNSS(全球导航卫星系统)的载波相位信号测量精度可达毫米量级,其中大气折射为主要误差来源之一,尤其是由于水汽引起的延迟,难以用模型来进行描述。目前,高精度GNSS定位方法中,主要将大气延迟量作为未知数,利用GNSS载波相位观测量来直接估计大气延迟。但是这种方法的主要缺点在于,估计大气延迟的时间需要较长。这样使得GNSS实时定位方法(RTK)受到制约,基线长度不能太长。

[0003] 因此,亟待提供一种定位方法能够快速对大气延迟进行估值,并保证最终定位的准确性。

发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题在于,针对现有基于GNSS的定位方法耗时长的缺陷,提供了一种简单易行的基于GNSS观测量的定位方法。

[0005] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:构造一种基于GNSS观测量的定位方法,包括以下步骤:

[0006] S1、基于GNSS观测量方程采用最小二乘法求解位置矢量及残差矢量;

[0007] S2、确定所述步骤S1得到的残差矢量中大气折射误差之外的误差矢量的残差平方和,并令该残差平方和取极小求解垂直方向的大气延迟;

[0008] S3、将步骤S2求得的垂直方向的大气延迟代入GNSS观测量方程求得修正的GNSS观测量,并基于该修正的GNSS观测量使用最小二乘法求解得到修正的位置矢量。

[0009] 在根据本发明所述的基于GNSS观测量的定位方法中,所述步骤S1中通过以下公式求解位置矢量:

$$[0010] \quad \hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T L;$$

[0011] 其中,A为卫星的系数矩阵,由卫星位置坐标和接收机初始坐标决定;L为GNSS观测量;

[0012] 所述步骤S1中通过以下公式求解残差矢量:

$$[0013] \quad \hat{V} = (I - A(A^T A)^{-1} A^T) (M(\alpha) V_t + e) = (I - H) M(\alpha) V_t + (I - H) e;$$

[0014] 其中,M(α)为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; V_t 为垂直方向的大气延迟; e 是GNSS观测量的所有其他误差矢量; $H = A(A^T A)^{-1} A^T$ 。

[0015] 在根据本发明所述的基于GNSS观测量的定位方法中,所述步骤S2中通过以下公式求解垂直方向的大气延迟 V_t :

$$[0016] \quad V_t = \frac{\hat{V}^T(I-H)M(\alpha)}{M^T(\alpha)(I-H)M(\alpha)};$$

[0017] 其中, $\hat{V}$ 为残差矢量; $M(\alpha)$ 为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; $H = A(A^T A)^{-1} A^T$ 。

[0018] 在根据本发明所述的基于GNSS观测量的定位方法中, 所述步骤S3中通过以下公式求得修正的GNSS观测量:

$$[0019] \quad L_c = AX = L - M(\alpha) V_t = L_0 + e;$$

[0020] 其中, A 为卫星的系数矩阵, L 为GNSS观测量, $M(\alpha)$ 为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; V_t 为垂直方向的大气延迟。

[0021] 在根据本发明所述的基于GNSS观测量的定位方法中, 所述步骤S3中通过以下公式求解修正的位置矢量:

$$[0022] \quad \hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T L_c;$$

[0023] 其中, A 为卫星的系数矩阵; L_c 为修正的GNSS观测量。

[0024] 本发明还提供了一种基于GNSS观测量的定位系统, 包括:

[0025] 模型建立单元, 用于基于GNSS观测量方程采用最小二乘法求解位置矢量及残差矢量;

[0026] 大气延迟计算单元, 确定模型建立单元得到的残差矢量中大气折射误差之外的误差矢量的残差平方和, 并令该残差平方和取极小求解垂直方向的大气延迟;

[0027] 位置修正单元, 用于将所述垂直方向的大气延迟代入GNSS观测量方程求得修正的GNSS观测量, 并基于该修正的GNSS观测量使用最小二乘法求解得到修正的位置矢量。

[0028] 在根据本发明所述的基于GNSS观测量的定位系统中, 所述模型建立单元通过以下公式求解位置矢量:

$$[0029] \quad \hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T L;$$

[0030] 其中, A 为卫星的系数矩阵, 由卫星位置坐标和接收机初始坐标决定; L 为GNSS观测量;

[0031] 所述步骤S1中通过以下公式求解残差矢量:

$$[0032] \quad \hat{V} = (I - A(A^T A)^{-1} A^T) (M(\alpha) V_t + e) = (I - H) M(\alpha) V_t + (I - H) e;$$

[0033] 其中, $M(\alpha)$ 为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; V_t 为垂直方向的大气延迟; e 是GNSS观测量的所有其他误差矢量; $H = A(A^T A)^{-1} A^T$ 。

[0034] 在根据本发明所述的基于GNSS观测量的定位系统中, 所述大气延迟计算单元通过以下公式求解垂直方向的大气延迟 V_t :

$$[0035] \quad V_t = \frac{\hat{V}^T(I-H)M(\alpha)}{M^T(\alpha)(I-H)M(\alpha)};$$

[0036] 其中, $\hat{V}$ 为残差矢量; $M(\alpha)$ 为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; $H = A(A^T A)^{-1} A^T$ 。

[0037] 在根据本发明所述的基于GNSS观测量的定位系统中, 所述位置修正单元通过以下公式求得修正的GNSS观测量:

$$[0038] \quad L_c = AX = L - M(\alpha) V_t = L_0 + e;$$

[0039] 其中,A为卫星的系数矩阵,L为GNSS观测量, $M(\alpha)$ 为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; V_t 为垂直方向的大气延迟。

[0040] 在根据本发明所述的基于GNSS观测量的定位系统中,所述位置修正单元通过以下公式求解修正的位置矢量:

$$[0041] \quad \hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T L_c;$$

[0042] 其中,A为卫星的系数矩阵; L_c 为修正的GNSS观测量。

[0043] 实施本发明的基于GNSS观测量的定位方法和系统,具有以下有益效果:本发明通过最小二乘法求解位置矢量和残差矢量,并将其中所有其他误差的残差平方和取极小求得大气延迟的估计值,再利用最小二乘法重新获得修正的位置矢量,其计算简单准确,解决了大气折射的实时估计问题,提高了GNSS定位的定位精度以及模糊度的收敛速度。

附图说明

[0044] 下面将结合附图及实施例对本发明作进一步说明,附图中:

[0045] 图1为根据本发明优选实施例的基于GNSS观测量的定位方法的流程图;

[0046] 图2为根据本发明优选实施例的基于GNSS观测量的定位系统的模块图。

具体实施方式

[0047] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。

[0048] 请参阅图1,为根据本发明优选实施例的基于GNSS观测量的定位方法的流程图,如图1所示,该实施例提供的基于GNSS观测量的定位方法包括以下步骤:

[0049] 本发明以GNSS观测量方程为基础。该GNSS观测量方程为:

$$[0050] \quad AX + M(\alpha) V_t = L = L_0 + e; \quad (1)$$

[0051] 式中A为卫星的系数矩阵,由卫星位置坐标和接收机初始坐标决定。 X 为接收机的位置矢量,L为GNSS观测量(例如伪距或载波相位),其中 L_0 为无误差观测量。 $M(\alpha) V_t$ 为大气折射误差,式中 $M(\alpha)$ 是与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量: $M(\alpha) = (m(\alpha_1), m(\alpha_2), \dots, m(\alpha_n))^T$, $m(\alpha_i)$ 为第*i*个卫星观测量的大气映射函数,与该卫星的天顶角 α_i 有关。 V_t 是垂直方向的大气延迟值。 e 是GNSS观测量的所有其他误差矢量。

[0052] 其中,矩阵A的系数中的卫星位置坐标可以由GNSS卫星发布的卫星星历计算。GNSS观测量L为线性化的观测量,可以由GNSS接收机测量后根据GNSS接收机的初始位置计算得到。

[0053] 因此,在步骤S1中,基于GNSS观测量方程采用最小二乘法求解位置矢量及残差矢量。

[0054] 首先,利用卫星坐标和初始接收机位置建立上述线性化的GNSS观测量方程,即公式(1);

[0055] 随后,采用最小二乘法,可以得到位置矢量 $\hat{X}$ 和残差矢量 $\hat{V}$:

$$[0056] \quad \hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T L; \quad (2)$$

[0057] 其中,A为卫星的系数矩阵,由卫星位置坐标和接收机初始坐标决定;L为GNSS观测

量。

$$[0058] \quad \hat{\mathbf{V}} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T) (\mathbf{M}(\alpha) \mathbf{V}_t + \mathbf{e}) = (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{V}_t + (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{e}; \quad (3)$$

[0059] 其中, $\mathbf{M}(\alpha)$ 为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; $\mathbf{V}_t$ 为垂直方向的大气延迟; $\mathbf{e}$ 是GNSS观测量的所有其他误差矢量; $\mathbf{H} = \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T$ 。

[0060] 随后, 在步骤S2中, 确定所述步骤S1得到的残差矢量中大气折射误差之外的误差矢量的残差平方和, 并令该残差平方和取极小求解垂直方向的大气延迟。其中, 所述大气折射误差之外的误差矢量是指GNSS观测量的误差中除了大气折射误差外的所有其它误差矢量。

[0061] 具体地, 其中 (3) 式的残差矢量中除了大气折射误差之外的所有其它误差矢量的残差部分为:

$$[0062] \quad \hat{\mathbf{V}}_e = (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{e}; \quad (4)$$

[0063] 由其引起的残差平方和为:

$$[0064] \quad \hat{\mathbf{V}}_e^T \hat{\mathbf{V}}_e = \hat{\mathbf{V}}^T \hat{\mathbf{V}} + \mathbf{M}^T(\alpha) (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{V}_t^2 - 2 \hat{\mathbf{V}}^T (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{V}_t; \quad (5)$$

[0065] 让 $\hat{\mathbf{V}}_e^T \hat{\mathbf{V}}_e$ 取极小, 即使:

$$[0066] \quad \frac{\partial \hat{\mathbf{V}}_e^T \hat{\mathbf{V}}_e}{\partial \mathbf{V}_t} = 0; \quad (6)$$

[0067] 从而可以得出:

$$[0068] \quad \mathbf{M}^T(\alpha) (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{V}_t - \hat{\mathbf{V}}^T (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha) = 0; \quad (7)$$

[0069] 通过公式变换可以得出, 步骤S2中可直接通过以下公式求解垂直方向的大气延迟 $\mathbf{V}_t$:

$$[0070] \quad \mathbf{V}_t = \frac{\hat{\mathbf{V}}^T (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha)}{\mathbf{M}^T(\alpha) (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha)}; \quad (8)$$

[0071] 其中, $\hat{\mathbf{V}}$ 为残差矢量; $\mathbf{M}(\alpha)$ 为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; $\mathbf{H} = \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T$ 。

[0072] 最后, 在步骤S3中, 将步骤S2求得的垂直方向的大气延迟 $\mathbf{V}_t$ 代入GNSS观测方程求得修正的GNSS观测量 $\mathbf{L}_c$, 并基于该修正的GNSS观测量使用最小二乘法求解得到修正的位置矢量。

[0073] 也就是说, 可以将公式 (8) 求得的垂直方向的大气延迟 $\mathbf{V}_t$ 代入公式 (1), 即由以下公式 (9) 计算修正的GNSS观测量 $\mathbf{L}_c$:

$$[0074] \quad \mathbf{L}_c = \mathbf{A} \mathbf{X} = \mathbf{L} - \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{V}_t = \mathbf{L}_0 + \mathbf{e}; \quad (9)$$

[0075] 其中, $\mathbf{A}$ 为卫星的系数矩阵, $\mathbf{L}$ 为GNSS观测量, $\mathbf{M}(\alpha)$ 为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; $\mathbf{V}_t$ 为垂直方向的大气延迟。

[0076] 随后, 重新利用最小二乘法求解位置矢量 $\mathbf{X}$, 即通过以下公式求解修正的位置矢量:

$$[0077] \quad \hat{\mathbf{X}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{L}_c; \quad (10)$$

[0078] 其中, $\mathbf{A}$ 为卫星的系数矩阵; $\mathbf{L}_c$ 为修正的GNSS观测量。

[0079] 本发明采用以上方法就能够直接消除大气折射对GNSS观测量的影响, 从而提高定

位的精度。

[0080] 请参阅图2,为根据本发明优选实施例的基于GNSS观测量的定位系统的模块图。如图2所示,该实施例提供的系统包括:模型建立单元10、大气延迟计算单元20和位置修正单元30。

[0081] 其中,模型建立单元10用于基于GNSS观测量方程采用最小二乘法求解位置矢量及残差矢量。模型建立单元10与前述基于GNSS观测量的定位方法中步骤S1的原理和实现过程一致。

[0082] 首先,利用卫星坐标和初始接收机位置建立上述线性化的GNSS观测量方程,即公式(1);

[0083] 随后,采用最小二乘法,可以得到位置矢量 $\hat{\mathbf{X}}$ 和残差矢量 $\hat{\mathbf{V}}$:

$$[0084] \quad \hat{\mathbf{X}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{L}; \quad (2)$$

[0085] 其中, $\mathbf{A}$ 为卫星的系数矩阵,由卫星位置坐标和接收机初始坐标决定; $\mathbf{L}$ 为GNSS观测量。

$$[0086] \quad \hat{\mathbf{V}} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T) (\mathbf{M}(\alpha) \mathbf{V}_t + \mathbf{e}) = (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{V}_t + (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{e}; \quad (3)$$

[0087] 其中, $\mathbf{M}(\alpha)$ 为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; $\mathbf{V}_t$ 为垂直方向的大气延迟; $\mathbf{e}$ 是GNSS观测量的所有其他误差矢量; $\mathbf{H} = \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T$ 。

[0088] 大气延迟计算单元20用于确定模型建立单元10得到的残差矢量中大气折射误差之外的误差矢量的残差平方和,并令该残差平方和取极小求解垂直方向的大气延迟。其中,所述大气折射误差之外的误差矢量是指GNSS观测量的误差中除了大气折射误差外的所有其它误差矢量。大气延迟计算单元20与前述基于GNSS观测量的定位方法中步骤S2的原理和实现过程一致。

[0089] 具体地,其中(3)式的残差矢量中所有其它误差矢量的残差部分为:

$$[0090] \quad \hat{\mathbf{V}}_e = (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{e}; \quad (4)$$

[0091] 由其引起的残差平方和为:

$$[0092] \quad \hat{\mathbf{V}}_e^T \hat{\mathbf{V}}_e = \hat{\mathbf{V}}^T \hat{\mathbf{V}} + \mathbf{M}^T(\alpha) (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{V}_t^2 - 2 \hat{\mathbf{V}}^T (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{V}_t; \quad (5)$$

[0093] 让 $\hat{\mathbf{V}}_e^T \hat{\mathbf{V}}_e$ 取极小,即使:

$$[0094] \quad \frac{\partial \hat{\mathbf{V}}_e^T \hat{\mathbf{V}}_e}{\partial \mathbf{V}_t} = 0; \quad (6)$$

[0095] 从而可以得出:

$$[0096] \quad \mathbf{M}^T(\alpha) (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{V}_t - \hat{\mathbf{V}}^T (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha) = 0; \quad (7)$$

[0097] 通过公式变换可以得出,步骤S2中可直接通过以下公式求解垂直方向的大气延迟 $\mathbf{V}_t$:

$$[0098] \quad \mathbf{V}_t = \frac{\hat{\mathbf{V}}^T (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha)}{\mathbf{M}^T(\alpha) (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{M}(\alpha)}; \quad (8)$$

[0099] 其中, $\hat{\mathbf{V}}$ 为残差矢量; $\mathbf{M}(\alpha)$ 为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; $\mathbf{H} = \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T$ 。

[0100] 位置修正单元30用于大气延迟计算单元20求得的垂直方向的大气延迟 $\mathbf{V}_t$ 代入GNSS观测量方程求得修正的GNSS观测量 $\mathbf{L}_c$,并基于该修正的GNSS观测量使用最小二乘法求

解得到修正的位置矢量。位置修正单元30与前述基于GNSS观测量的定位方法中步骤S3的原理和实现过程一致。

[0101] 也就是说,可以将公式(8)求得的垂直方向的大气延迟 V_t 代入公式(1),即由以下公式(9)计算修正的GNSS观测量 L_c :

$$[0102] \quad L_c = AX = L - M(\alpha) V_t = L_0 + e; \quad (9)$$

[0103] 其中, A 为卫星的系数矩阵, L 为GNSS观测量, $M(\alpha)$ 为与卫星天顶角 α 有关的大气映射函数矢量; V_t 为垂直方向的大气延迟。

[0104] 随后,重新利用最小二乘法求解位置矢量 X ,即通过以下公式求解修正的位置矢量:

$$[0105] \quad \hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T L_c; \quad (10)$$

[0106] 其中, A 为卫星的系数矩阵; L_c 为修正的GNSS观测量。

[0107] 本发明是根据特定实施例进行描述的,但本领域的技术人员应明白在不脱离本发明范围时,可进行各种变化和等同替换。此外,为适应本发明技术的特定场合或材料,可对本发明进行诸多修改而不脱离其保护范围。因此,本发明并不限于在此公开的特定实施例,而包括所有落入到权利要求保护范围的实施例。

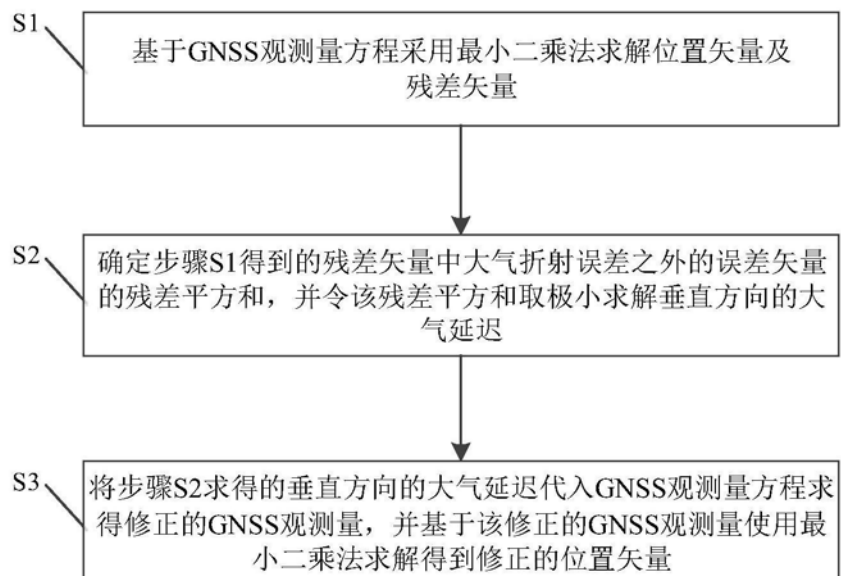


图1

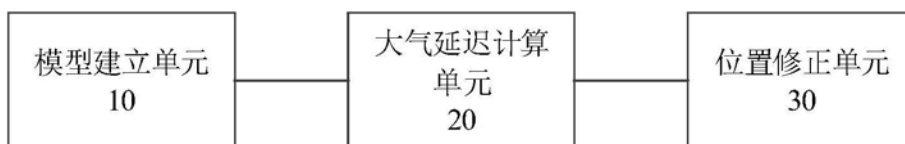


图2