



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105467415 B

(45)授权公告日 2017.09.29

(21)申请号 201610031717.1

(22)申请日 2016.01.18

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105467415 A

(43)申请公布日 2016.04.06

(73)专利权人 中国民航大学
地址 300300 天津市东丽区津北公路2898号

(72)发明人 陈万通 韩萍 吴仁彪

(74)专利代理机构 天津才智专利商标代理有限公司 12108
代理人 庞学欣

(51)Int. Cl.
G01S 19/41(2010.01)
G01S 19/44(2010.01)
G01S 19/51(2010.01)
G01C 5/06(2006.01)

(56)对比文件

CN 103383462 A, 2013.11.06,
CN 104931978 A, 2015.09.23,
CN 105158783 A, 2015.12.16,
US 2009/0102708 A1, 2009.04.23,
杜晓辉等. 基于地面移动通信基站的差分气压测高方法.《北京航空航天大学学报》.2013,第39卷(第1期),第83-88页.

胡正群等. 差分气压测高在室内定位系统中应用的性能分析.《传感技术学报》.2012,第25卷(第10期),第1643-1647页.

AI GuoXiang et al.. Barometric altimetry system as virtual constellation applied in CAPS.《Science in China Series G: Physics, Mechanics & Astronomy》.2009,第52卷(第3期),第376-383页.

审查员 陈曦

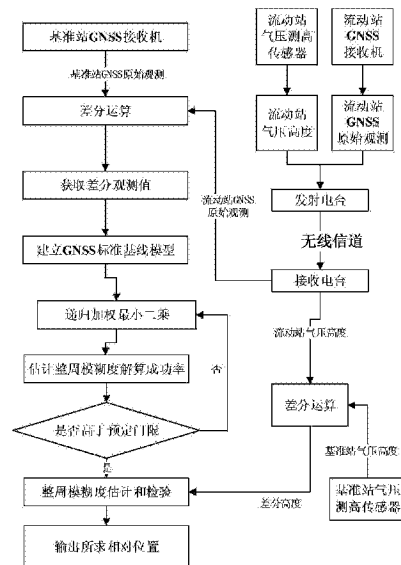
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种基于差分气压高度约束的小型无人机RTK相对定位方法

(57)摘要

一种基于差分气压高度约束的小型无人机RTK相对定位方法,其包括在基准站和流动站分别安装同型号GNSS接收机与天线、气压测高传感器和电台;流动站的GNSS原始观测值通过电台传输到基准站,与基准站原始观测值做差分递归处理;采用LAMBDA算法确定N个基线矢量固定值,分别计算与基线矢量浮点解的差值矢量并以其北、东分量的绝对值之和进行重新排序;流动站的气压高度通过电台传输到基准站,与基准站气压高度进行差分得到差分高度;依次检验基线矢量固定解的天向分量,若满足差分高度约束则为所求相对位置等步骤。本发明能够利用基准站和流动站的差分高度信息甄别正确的基线矢量固定解,不要求使用带有多路径抑制功能的测量型接收机,可用于低成本RTK应用。



CN 105467415 B

1. 一种基于差分气压高度约束的小型无人机RTK相对定位方法,其特征在于:所述的基于差分气压高度约束的小型无人机RTK相对定位方法包括按顺序进行的下列步骤:

1) 在基准站上安装GNSS接收机、GNSS天线、气压测高传感器和接收电台,其中GNSS天线和气压测高传感器处于同一高度,利用GNSS接收机和GNSS天线获取基准站GNSS原始观测值,同时利用气压测高传感器测量基准站气压高度;

2) 在流动站即小型无人机上安装与步骤1)所述的同种型号的GNSS接收机、GNSS天线、气压测高传感器和发射电台,其中GNSS天线和气压测高传感器处于同一高度,利用GNSS接收机和GNSS天线获取流动站GNSS原始观测值,同时利用气压测高传感器测量流动站气压高度;

3) 通过流动站上的发射电台将流动站GNSS原始观测值和气压高度信息发送至无线信道;

4) 利用基准站上的接收电台接收上述信息,并将其中的气压高度与基准站气压高度进行实时差分运算,得到差分高度;

5) 将流动站GNSS原始观测值与基准站GNSS原始观测值进行差分运算,得到差分观测值;

6) 基于上述差分观测值,利用递归加权最小二乘法,实时估计整周模糊度的浮点解 \hat{a} 及其方差协方差矩阵 $Q_{\hat{a}}$ 、基线矢量浮点解 \hat{b} 以及整周模糊度解算的成功率P;

7) 判断上述整周模糊度解算的成功率P是否高于预定门限值,若高于预定门限值,则进入步骤8),否则重复步骤4)-7);

8) 利用步骤4)所述差分高度和步骤6)所述整周模糊度的浮点解 \hat{a} 及其方差协方差矩阵 $Q_{\hat{a}}$ 、基线矢量浮点解 \hat{b} ,完成整周模糊度估计和检验。

2. 根据权利要求1所述的基于差分气压高度约束的小型无人机RTK相对定位方法,其特征在于:在步骤6)中,所述的基于上述差分观测值,利用递归加权最小二乘法,实时估计整周模糊度的浮点解 \hat{a} 及其方差协方差矩阵 $Q_{\hat{a}}$ 、基线矢量浮点解 \hat{b} 以及整周模糊度解算的成功率P的具体步骤如下:

6.1) 定义基准站和流动站之间的相对位置为基线矢量 b ,假定第 k 个历元的卫星可见数 m_k 大于4颗,基于步骤5)所述差分观测值,建立GNSS标准基线模型如下:

$$y_k = A_k a_k + B_k b_k + v_k, v_k \sim N(0, Q_{y_k}) \quad (b)$$

$$a_k \in Z^{m_k-1}, b_k \in R^3$$

其中, y 表示步骤5)所述差分观测值的矢量形式,维度为 $2m_k-2$; a 为整周模糊度矢量,其维度为 m_k-1 ; A 和 B 分别为整周模糊度矢量 a 和基线矢量 b 的系数矩阵,维度分别为 $(2m_k-2) \times (m_k-1)$ 和 $(2m_k-2) \times 3$; v 为差分观测值的矢量形式 y 的观测噪声矢量; Q_y 为其方差协方差矩阵,下标 k 表示所有观测向量和矩阵均属于第 k 个历元;

6.2) 基于式(b),利用递归加权最小二乘法,实时估计整周模糊度的浮点解 \hat{a} 及其方差协方差矩阵 $Q_{\hat{a}}$;

6.3) 利用递归加权最小二乘法,实时估计基线矢量浮点解 \hat{b} ;

$$\hat{\mathbf{b}} = \left(\mathbf{B}_k^T \mathbf{Q}_{y_k}^{-1} \mathbf{B}_k \right)^{-1} \mathbf{B}_k^T \mathbf{Q}_{y_k}^{-1} (\mathbf{y}_k - \hat{\mathbf{a}}) \quad (\text{c})$$

6.4) 利用步骤6.2) 所述方差协方差矩阵 \mathbf{Q}_a , 计算其模糊度精度因子ADOP:

$$ADOP = \left| \mathbf{Q}_a \right|^{\frac{1}{2n}} \quad (\text{d})$$

其中n为方差协方差矩阵 \mathbf{Q}_a 的维数, 然后计算整周模糊度解算的成功率P:

$$P = \left(2\Phi \left(\frac{1}{2ADOP} \right) - 1 \right)^n \quad (\text{e}).$$

3. 根据权利要求1所述的基于差分气压高度约束的小型无人机RTK相对定位方法, 其特征在于: 在步骤8) 中, 所述的利用步骤4) 所述差分高度和步骤6) 所述整周模糊度的浮点解 $\hat{\mathbf{a}}$ 及其方差协方差矩阵 \mathbf{Q}_a 、基线矢量浮点解 $\hat{\mathbf{b}}$, 完成整周模糊度估计和检验的具体步骤如下:

8.1) 基于步骤6) 所述整周模糊度的浮点解 $\hat{\mathbf{a}}$ 及其方差协方差矩阵 \mathbf{Q}_a , 采用LAMBDA算法筛选出N个优选整周模糊度候选值;

8.2) 针对步骤8.1) 所述N个优选整周模糊度候选值, 分别计算出每个模糊度候选值对应的基线矢量固定解, 包括北向分量、东向分量和天向分量, 对应有N个基线矢量固定解;

8.3) 分别求出步骤6) 所述基线矢量浮点解与步骤8.2) 所述N个基线矢量固定解之差, 对应得到N个差值矢量;

8.4) 针对步骤8.3) 所述N个差值矢量, 比较各个差值矢量的北向分量和东向分量的绝对值之和, 并对N个基线矢量固定解进行重新排序;

8.5) 依次检验步骤8.4) 重新排序后的N个基线矢量固定解, 如果第i个基线矢量固定解的天向分量满足步骤4) 所述差分高度, 则该基线矢量固定解为最终所求的相对位置, 如果N个基线矢量固定解的天向分量均不满足步骤4) 所述差分高度, 则当前历元无输出, 利用下一个历元的观测数据继续重复步骤3) -8)。

一种基于差分气压高度约束的小型无人机RTK相对定位方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于差分气压高度约束的小型无人机RTK相对定位方法,属于卫星导航定位技术领域。

背景技术

[0002] 目前,小型无人机已经在测绘、航拍、监控、侦查、通信中继等领域得到广泛应用,实时定位导航系统是小型无人机的一个关键系统。由于全球导航卫星系统(GNSS)具有全球性、全天候和连续的精密三维定位能力,因此近十余年,以GPS和北斗为代表的卫星导航系统已经广泛应用于各种领域。GNSS接收机采用单点定位技术,精度一般为3至10米,但其缺点是无法实现亚厘米级的高精度导航应用,从而限制了无人机在一些精密测量领域的应用。

[0003] GNSS不仅能够实现单点定位,还可以实现两个观测点之间的相对定位,精度可达亚厘米级,实时动态亚厘米级的相对定位技术,即RTK技术,目前主要应用在测绘领域。目前RTK技术具备基本三个典型特征:(1)采用差分技术削减GNSS观测量中的电离层和对流层误差、轨道误差、卫星和接收机时钟误差;(2)采用具有多径抑制功能的测量型接收机,削减多路径误差;(3)采用多个历元的数据进行递归估计,利用递归估计得到的整周模糊度浮点解及其方差协方差矩阵求解整周模糊度固定解,通常采用LAMBDA算法。

[0004] 但是,由于成本和体积的限制,小型无人机通常配备导航型接收机,而无法配备具有多径抑制功能的测量型接收机,因此无法削减多路径误差,进而导致采用LAMBDA算法求解整周模糊度的成功率大幅降低。整周模糊度一旦解算错误,将会导致米级的定位误差,无法有效保证RTK的定位精度。

发明内容

[0005] 为了解决上述问题,本发明的目的在于提供一种基于差分气压高度约束的小型无人机RTK相对定位方法。

[0006] 为了达到上述目的,本发明提供的基于差分气压高度约束的小型无人机RTK相对定位方法包括按顺序进行的下列步骤:

[0007] 1)在基准站上安装GNSS接收机、GNSS天线、气压测高传感器和接收电台,其中GNSS天线和气压测高传感器处于同一高度,利用GNSS接收机和GNSS天线获取基准站GNSS原始观测值,同时利用气压测高传感器测量基准站气压高度;

[0008] 2)在流动站即小型无人机上安装与步骤1)所述的同种型号的GNSS接收机、GNSS天线、气压测高传感器和发射电台,其中GNSS天线和气压测高传感器处于同一高度,利用GNSS接收机和GNSS天线获取流动站GNSS原始观测值,同时利用气压测高传感器测量流动站气压高度;

[0009] 3)通过流动站上的发射电台将流动站GNSS原始观测值和气压高度信息发送至无线信道;

[0010] 4) 利用基准站上的接收电台接收上述信息,并将其中的气压高度与基准站气压高度进行实时差分运算,得到差分高度;

[0011] 5) 将流动站GNSS原始观测值与基准站GNSS原始观测值进行差分运算,得到差分观测值;

[0012] 6) 基于上述差分观测值,利用递归加权最小二乘法,实时估计整周模糊度的浮点解 \hat{a} 及其方差协方差矩阵 Q_a 、基线矢量浮点解 \hat{b} 以及整周模糊度解算的成功率P;

[0013] 7) 判断上述整周模糊度解算的成功率P是否高于预定门限值,若高于预定门限值,则进入步骤8),否则重复步骤4) —7);

[0014] 8) 利用步骤4) 所述差分高度和步骤6) 所述整周模糊度的浮点解 \hat{a} 及其方差协方差矩阵 Q_a 、基线矢量浮点解 \hat{b} ,完成整周模糊度估计和检验。

[0015] 在步骤6) 中,所述的基于上述差分观测值,利用递归加权最小二乘法,实时估计整周模糊度的浮点解 \hat{a} 及其方差协方差矩阵 Q_a 、基线矢量浮点解 \hat{b} 以及整周模糊度解算的成功率P的具体步骤如下:

[0016] 6.1) 定义基准站和流动站之间的相对位置为基线矢量b,假定第k个历元的卫星可见数 m_k 大于4颗,基于步骤5) 所述差分观测值,建立GNSS标准基线模型如下:

$$[0017] \quad y_k = A_k a_k + B_k b_k + v_k, v_k \sim N(0, Q_y) \quad (b)$$

$$[0018] \quad a_k \in Z^{m_k-1}, b_k \in R^3$$

[0019] 其中,y表示步骤5) 所述差分观测值的矢量形式,维度为 $2m_k-2$;a为整周模糊度矢量,其维度为 m_k-1 ;A和B分别为整周模糊度矢量a和基线矢量b的系数矩阵,维度分别为 $(2m_k-2) \times (m_k-1)$ 和 $(2m_k-2) \times 3$;v为差分观测值的矢量形式y的观测噪声矢量; Q_y 为其方差协方差矩阵,下标k表示所有观测向量和矩阵均属于第k个历元;

[0020] 6.2) 基于式(b),利用递归加权最小二乘法,实时估计整周模糊度的浮点解 \hat{a} 及其方差协方差矩阵 Q_a ;

[0021] 6.3) 利用递归加权最小二乘法,实时估计基线矢量浮点解 \hat{b} ;

$$[0022] \quad \hat{b} = (B_k^T Q_{y_k}^{-1} B_k)^{-1} B_k^T Q_{y_k}^{-1} (y_k - \hat{a}) \quad (c)$$

[0023] 6.4) 利用步骤6.2) 所述方差协方差矩阵 Q_a ,计算其模糊度精度因子ADOP:

$$[0024] \quad ADOP = |Q_a|^{1/2n} \quad (d)$$

[0025] 其中n为方差协方差矩阵 Q_a 的维数,然后计算整周模糊度解算的成功率P:

$$[0026] \quad P = \left(2\Phi \left(\frac{1}{2ADOP} \right) - 1 \right)^n \quad (e)$$

[0027] 在步骤8) 中,所述的利用步骤4) 所述差分高度和步骤6) 所述整周模糊度的浮点解 \hat{a} 及其方差协方差矩阵 Q_a 、基线矢量浮点解 \hat{b} ,完成整周模糊度估计和检验的具体步骤如下:

[0028] 8.1) 基于步骤6) 所述整周模糊度的浮点解 \hat{a} 及其方差协方差矩阵 $Q_{\hat{a}}$, 采用LAMBDA算法筛选出N个优选整周模糊度候选值 (N为经验值, 一般可以取 $N > 10$);

[0029] 8.2) 针对步骤8.1) 所述N个优选整周模糊度候选值, 分别计算出每个模糊度候选值对应的基线矢量固定解, 包括北向分量、东向分量和天向分量, 对应有N个基线矢量固定解;

[0030] 8.3) 分别求出步骤6) 所述基线矢量浮点解与步骤8.2) 所述N个基线矢量固定解之差, 对应得到N个差值矢量;

[0031] 8.4) 针对步骤8.3) 所述N个差值矢量, 比较各个差值矢量的北向分量和东向分量的绝对值之和, 并对N个基线矢量固定解进行重新排序;

[0032] 8.5) 依次检验步骤8.4) 重新排序后的N个基线矢量固定解, 如果第i个基线矢量固定解的天向分量满足步骤4) 所述差分高度, 则该基线矢量固定解为最终所求的相对位置, 如果N个基线矢量固定解的天向分量均不满足步骤4) 所述差分高度, 则当前历元无输出, 利用下一个历元的观测数据继续重复步骤3) —8)。

[0033] 本发明与现有技术相比的优点在于: 第一, 传统RTK方法采用带有多路径抑制功能的测量型接收机, 本发明不需要接收机具有多路径抑制功能; 第二, 背景技术中所用的差分高度信息来源于同一类型的气压测高传感器, 在小型无人机作业的地理范围内, 通过差分运算可以削减公共的传感器系统误差以及环境误差, 差分观测值仅包含测量噪声, 利用高精度的气压测高传感器, 测量所得的相对高度与真值之间的误差可以达到分米级, 为整周模糊度候选值的识别提供了约束条件; 第三, 由于基线矢量浮点解的水平分量可以随时间更快速地逼近到正确的模糊度候选值对应的基线矢量, 多径主要影响在天向分量上, 利用最后一个步骤所述方法能够进一步减小多径影响。

附图说明

[0034] 图1为本发明提供的基于差分气压高度约束的小型无人机RTK相对定位方法流程图;

[0035] 图2为本发明方法中整周模糊度估计和检验方法流程图。

具体实施方式

[0036] 如图1所示, 本发明提供的基于差分气压高度约束的实时动态相对定位方法包括按顺序进行的下列步骤:

[0037] 1) 在基准站上安装GNSS接收机、GNSS天线、气压测高传感器和接收电台, 其中GNSS天线和气压测高传感器处于同一高度, 利用GNSS接收机和GNSS天线获取基准站GNSS原始观测值, 同时利用气压测高传感器测量基准站气压高度 H_{base} , 高度测量精度为 σ_H ;

[0038] 2) 在流动站即小型无人机上安装与步骤1) 所述的同种型号的GNSS接收机、GNSS天线、气压测高传感器和发射电台, 其中GNSS天线和气压测高传感器处于同一高度, 利用GNSS接收机和GNSS天线获取流动站GNSS原始观测值, 同时利用气压测高传感器测量流动站气压高度 H_{rover} , 高度测量精度为 σ_H ;

[0039] 3) 通过流动站上的发射电台将流动站GNSS原始观测值和气压高度信息发送至无线信道;

[0040] 4) 利用基准站上的接收电台接收上述信息,并将其中的气压高度与基准站气压高度进行实时差分运算,得到差分高度dH_k:

$$[0041] \quad dH_k = H_{\text{rover}} - H_{\text{base}} \quad (a)$$

[0042] 5) 将流动站GNSS原始观测值与基准站GNSS原始观测值进行差分运算,得到差分观测值;

[0043] 6) 基于上述差分观测值,利用递归加权最小二乘法,实时估计整周模糊度的浮点解 \hat{a} 及其方差协方差矩阵 $Q_{\hat{a}}$ 、基线矢量浮点解 \hat{b} 以及整周模糊度解算的成功率P,具体步骤如下:

[0044] 6.1) 定义基准站和流动站之间的相对位置为基线矢量b,假定第k个历元的卫星可见数m_k大于4颗,基于步骤5)所述差分观测值,建立GNSS标准基线模型如下:

$$[0045] \quad y_k = A_k a_k + B_k b_k + v_k, v_k \sim N(0, Q_{y_k}) \quad (b)$$

$$[0046] \quad a_k \in Z^{m_k-1}, b_k \in R^3$$

[0047] 其中,y表示步骤5)所述差分观测值的矢量形式,维度为2m_k-2;a为整周模糊度矢量,其维度为m_k-1;A和B分别为整周模糊度矢量a和基线矢量b的系数矩阵,维度分别为(2m_k-2) × (m_k-1)和(2m_k-2) × 3;v为差分观测值的矢量形式y的观测噪声矢量;Q_y为其方差协方差矩阵,下标k表示所有观测向量和矩阵均属于第k个历元;

[0048] 6.2) 基于式(b),利用递归加权最小二乘法,实时估计整周模糊度的浮点解 \hat{a} 及其方差协方差矩阵 $Q_{\hat{a}}$;

[0049] 6.3) 利用递归加权最小二乘法,实时估计基线矢量浮点解 \hat{b} ;

$$[0050] \quad \hat{b} = (B_k^T Q_{y_k}^{-1} B_k)^{-1} B_k^T Q_{y_k}^{-1} (y_k - \hat{a}) \quad (c)$$

[0051] 6.4) 利用步骤6.2)所述方差协方差矩阵 $Q_{\hat{a}}$,计算其模糊度精度因子ADOP:

$$[0052] \quad ADOP = |Q_{\hat{a}}|^{1/2n} \quad (d)$$

[0053] 其中n为方差协方差矩阵 $Q_{\hat{a}}$ 的维数,然后计算整周模糊度解算的成功率P:

$$[0054] \quad P = \left(2\Phi\left(\frac{1}{2ADOP}\right) - 1 \right)^n \quad (e)$$

[0055] 7) 判断上述整周模糊度解算的成功率P是否高于预定门限值(一般设定为0.9~0.999),若高于预定门限值,则进入步骤8),否则重复步骤4)~7);

[0056] 8) 利用步骤4)所述差分高度dH_k和步骤6)所述整周模糊度的浮点解 \hat{a} 及其方差协方差矩阵 $Q_{\hat{a}}$ 、基线矢量浮点解 \hat{b} ,完成整周模糊度估计和检验,具体步骤如下:

[0057] 8.1) 基于步骤6)所述整周模糊度的浮点解 \hat{a} 及其方差协方差矩阵 $Q_{\hat{a}}$,采用LAMBDA算法筛选出N个优选整周模糊度候选值(N为经验值,一般可取N>10);令a^j是第j个候选点,定义 $r^j = (\hat{a} - a^j)^T Q_{\hat{a}}^{-1} (\hat{a} - a^j)$, a^j ∈ Zⁿ,第j个候选点a^N满足下式 $r^1 < \dots < r^j < \dots < r^N$;

[0058] 8.2) 针对步骤8.1)所述N个优选整周模糊度候选值,分别计算出每个模糊度候选

值对应的基线矢量固定解,包括北向分量、东向分量和天向分量,对应有N个基线矢量固定解,即有:

$$[0059] \quad \tilde{\mathbf{b}}(\mathbf{a}_k^j) = (\mathbf{B}_k^T \mathbf{Q}_{y_k}^{-1} \mathbf{B}_k)^{-1} \mathbf{B}_k^T \mathbf{Q}_{y_k}^{-1} (\mathbf{y}_k - \mathbf{a}_k^j) \quad (\text{f})$$

[0060] 8.3) 分别求出步骤6) 所述基线矢量浮点解与步骤8.2) 所述N个基线矢量固定解之差,对应得到N个差值矢量:

$$[0061] \quad \delta \mathbf{b}_k^j = \hat{\mathbf{b}} - \tilde{\mathbf{b}}(\mathbf{a}_k^j) = (\delta \mathbf{b}_k^{j,E} \quad \delta \mathbf{b}_k^{j,N} \quad \delta \mathbf{b}_k^{j,U}) \quad (\text{g})$$

[0062] 8.4) 针对步骤8.3) 所述N个差值矢量,比较各个差值矢量的北向分量和东向分量的绝对值之和,即 $\|\delta \mathbf{b}_k^{j,E}\| + \|\delta \mathbf{b}_k^{j,N}\|$,并对N个基线矢量固定解进行重新排序;

[0063] 8.5) 依次检验步骤8.4) 重新排序后的N个基线矢量固定解,如果第i个基线矢量固定解的天向分量满足步骤4) 所述差分高度,则该基线矢量固定解为最终所求的相对位置,即判断式(h)是否成立:

$$[0064] \quad \left| \delta \mathbf{b}_k^{j,U} - dH_k \right| \leq 6\sigma_H \quad (\text{h})$$

[0065] 其中 σ_H 为步骤1) 所述高度测量精度;如果N个基线矢量固定解的天向分量均不满足步骤4) 所述差分高度,则当前历元无输出,利用下一个历元的观测数据继续重复步骤3) —8)。

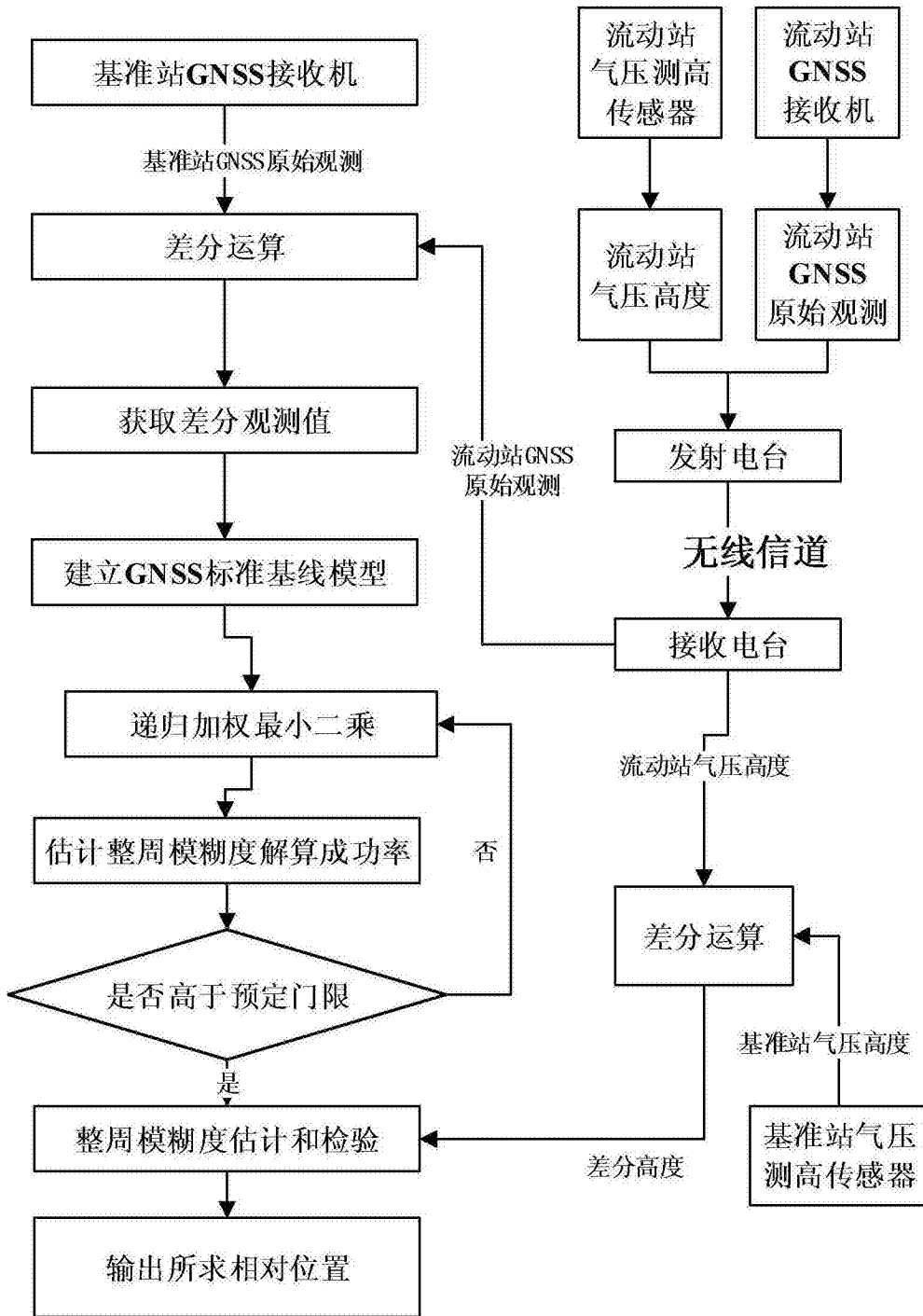


图1

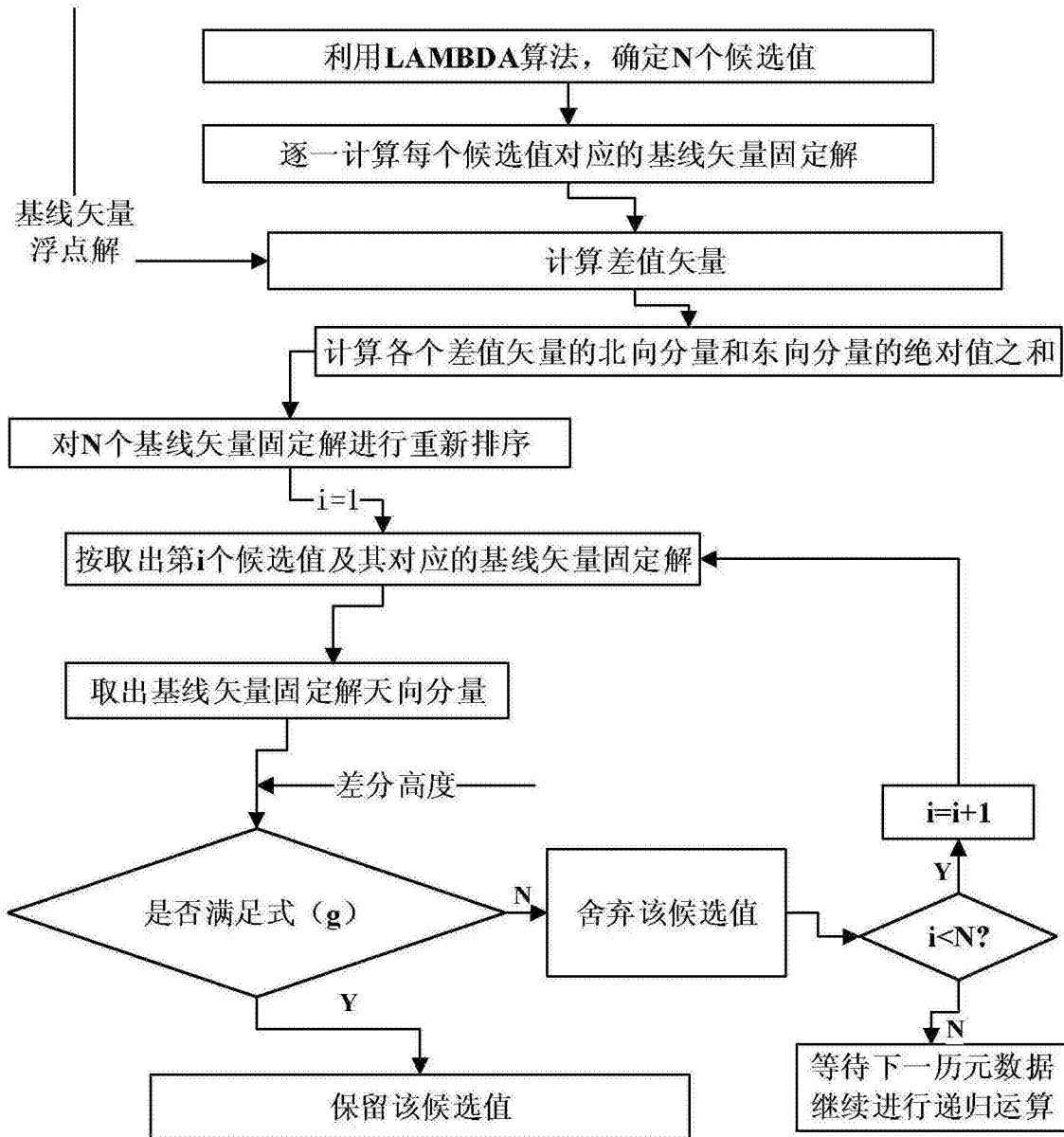


图2