



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116990850 B

(45) 授权公告日 2023. 12. 08

(21) 申请号 202311246024.0

G01S 19/46 (2010.01)

(22) 申请日 2023.09.26

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 111273687 A, 2020.06.12

申请公布号 CN 116990850 A

CN 111694037 A, 2020.09.22

CN 115932926 A, 2023.04.07

(43) 申请公布日 2023.11.03

US 10768312 B1, 2020.09.08

(73) 专利权人 中国科学院空天信息创新研究院

US 2010188285 A1, 2010.07.29

地址 100190 北京市海淀区北四环西路19号

郝雨时;徐爱功;隋心.GNSS/UWB高精度室内外组合定位方法.导航定位学报.2016,(04),第17-23页.

(72) 发明人 高铭 徐颖 房志博 陈夏兰
袁超 葛建

吴探涛.城市环境GPS/UWB组合系统定位精度研究.北京测绘.2020,(04),第547-550页.

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限公司 11251

审查员 毕重连

专利代理师 金怡

(51) Int. Cl.

G01S 19/44 (2010.01)

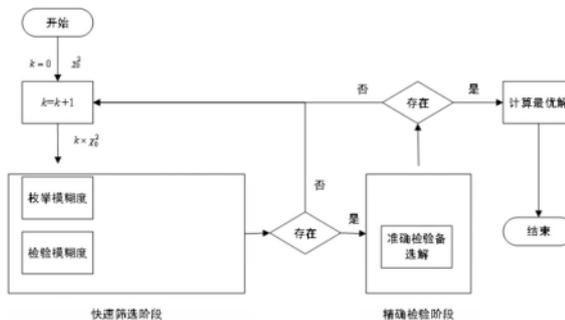
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种UWB测距辅助GNSS动对动基线模糊度固定方法

(57) 摘要

本发明提供一种UWB测距辅助GNSS动对动基线模糊度固定方法,属于卫星导航定位领域,能够基于UWB测距辅助GNSS基线模糊度固定,实现车辆间高精度相对定位。其中,相对运动的两个车辆上分别安装UWB,UWB测距系统测量车辆与车辆之间的相对距离,即基线长度,利用UWB测量的基线长度辅助GNSS动对动基线的单历元载波模糊度解算,基线长度约束的强度由UWB测距精度决定。本发明能够提高模糊度固定率,从而提高相对定位精度。



1. 一种UWB测距辅助GNSS动对动基线模糊度固定方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤(1)通过事先动态试验,在开阔环境下利用GNSS精确测定的差分基线长度,对UWB测距系统的测距误差和随机误差进行建模分析,确定系统误差模型参数,包括:

对UWB测距系统的测距误差进行建模获得测距误差模型,所述测距误差模型表示为:

$$l_{GNSS} = sf \cdot l_{uwb} + B + \varepsilon \quad (1)$$

其中, l_{GNSS} 为GNSS精确测定的差分基线长度, l_{uwb} 为UWB测距值, sf 为比例因子, B 为常值偏差, ε 为GNSS和UWB的测量噪声的总和,属于随机误差项;

确定系统误差模型参数包括将GNSS精确测定的差分基线长度 l_{GNSS} 、UWB测距值 l_{uwb} 带入卡尔曼滤波器中,估计状态参数,待估计的状态参数收敛后,将状态参数收敛值作为系统误差模型参数;

步骤(2)对UWB测距值进行实时的系统误差补偿,并且根据系统误差补偿后的UWB测距值的精度水平赋予UWB测距值以权重;

步骤(3)采用UWB测距系统测量的时变的基线长度进行GNSS基线的双差模糊度求解,辅助模糊度备选解的剔除和判别,实现GNSS基线的双差模糊度的快速准确固定,从而得到高精度的基线坐标的模糊度固定解。

2. 根据权利要求1所述的一种UWB测距辅助GNSS动对动基线模糊度固定方法,其特征在于,所述步骤(2)中,赋予UWB测距值以权重包括:

评估分析UWB测距值在系统误差补偿之后的残余误差的大小,将根据系统误差模型参数补偿后的UWB测距值与精确的距离参考真值做差,所述精确的距离参考真值通过同步观测的GNSS基线数据进行差分解算得到;

认为残差 dl_1, dl_2, \dots, dl_n 属于随机误差, n 为正整数,并统计残差的标准差 σ_l ,作为设置UWB测距值的权重的直接依据:

$$\sigma_l = \sqrt{\frac{(dl_1^2 + dl_2^2 + \dots + dl_n^2)}{n-1}} \quad (3)。$$

3. 根据权利要求2所述的一种UWB测距辅助GNSS动对动基线模糊度固定方法,其特征在于,所述步骤(3)中,在车辆实时运动过程中,UWB测距系统实时测量车辆间的距离,并进行UWB测距值的实时误差修正,将实时误差修正后的UWB测距值作为约束信息辅助GNSS动对动基线模糊度解算,包括:给出基线长度约束信息以及GNSS差分观测信息的观测模型;基于GNSS差分观测信息、实时误差修正后的UWB测距值,使用基线长度加权约束的整数最小二乘模糊度搜索方法,求解双差模糊度,并确定基线坐标的模糊度固定解;所述GNSS差分观测信息包括双差伪距观测值、双差载波观测值。

4. 根据权利要求3所述的一种UWB测距辅助GNSS动对动基线模糊度固定方法,其特征在于,所述基于上述GNSS差分观测信息、实时误差修正后的UWB测距值,使用基线长度加权约束的整数最小二乘模糊度搜索方法,求解双差模糊度,并确定基线坐标参数的模糊度固定解包括:

确定初始边界,包括使用bootstrap算法,确定获取的模糊度初值半径,即初始的模糊

度搜索边界；

快速筛选模糊度备选解,包括在初始的模糊度搜索边界内,利用SEVB算法枚举模糊度,将枚举的每一个模糊度备选解带入边界函数得到函数值,然后判断函数值是否超过初始的模糊度搜索边界,如果超过,则该模糊度备选解错误,进行剔除；

精确检验模糊度备选解,包括使用严格目标函数对快速筛选出来的模糊度备选解逐一进行精确判断；

固定模糊度得到基线坐标最优估值。

一种UWB测距辅助GNSS动对动基线模糊度固定方法

技术领域

[0001] 本发明属于卫星导航定位领域,具体涉及一种UWB测距辅助GNSS动对动基线模糊度固定方法。

背景技术

[0002] 城市智能交通、车辆编队形式、协同定位等应用场景,均需要车辆之间的高精度相对位置。为了解决上述问题,基于UWB(Ultra Wide Band,超宽带)测距的地面定位系统等方案被提出。通过大范围布设UWB地面基站,然后在车辆上布设UWB标签,从而实现车辆的高精度定位,进而实现车辆间的相对位置确定。但这种方式依赖于大范围提前布设的基准站,基础设施建设成本高。因此,如何有效平衡成本和精度需求,设计一种能够有效提高城市中车辆编队相对定位的方案十分迫切。

[0003] GNSS载波差分相对定位技术在移动载体上安装GNSS天线和接收机,并构建通讯数据链,将GNSS数据汇总进行载波差分定位解算,通过固定模糊度,可以实现厘米级精度的车辆间的相对位置测定。但在城市复杂环境中,城市高楼、树木等对GNSS信号存在遮挡、反射等影响,使得GNSS的观测质量不稳定,相对定位解算精度难以保障,严重影响城市中GNSS相对定位的应用效能。

[0004] UWB测距GNSS载波差分相对定位技术在移动载体上安装GNSS天线、接收机和UWB测距模块,并构建通讯数据链,将GNSS数据汇总进行载波差分定位解算,UWB测距值辅助位置参数解算,可以提高车辆间的相对定位精度。然而处理差分观测值实现厘米级相对定位的关键是模糊度得到固定,但该方法中,UWB的测距值未能充分辅助模糊度固定,当解算坐标的初始值精度较差时,还会给观测方程带来误差,当前方法难以避免这一问题。

发明内容

[0005] 为解决城市复杂环境中GNSS信号在受到遮挡、反射时,基于GNSS的相对定位技术难以保证精度,此时无法有效服务于车辆编队成员之间相对定位的问题,以及解决如何利用UWB测距辅助GNSS基线模糊度固定,实现车辆间高精度相对定位,改善在卫星数量稀少、伪距多路径误差较大时的GNSS动对动相对定位的模糊度固定困难、定位精度低的问题,本发明提供一种UWB测距辅助GNSS动对动基线模糊度固定方法,

[0006] 为达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种UWB测距辅助GNSS动对动基线模糊度固定方法,包括如下步骤:

[0008] 步骤(1)通过事先动态试验,在开阔环境下利用GNSS精确测定的差分基线长度,对UWB测距系统的测距误差和随机误差进行建模分析,确定系统误差模型参数;

[0009] 步骤(2)在使用阶段,对UWB测距值进行实时的系统误差补偿,并且根据系统误差补偿后的UWB测距值的精度水平赋予UWB测距值合适的权重;

[0010] 步骤(3)采用UWB测距系统测量的时变的基线长度进行GNSS基线的双差模糊度求解,辅助模糊度备选解的剔除和判别,实现GNSS基线的双差模糊度的快速准确固定,从而得

到高精度的基线坐标的模糊度固定解。

[0011] 对比传统的电离层闪烁监测方法,本发明具有以下有益效果:

[0012] (1) 本发明通过滤波估计UWB测距系统偏差,可以提高测距值精度;

[0013] (2) 本发明通过对UWB测距值赋权,能够合理利用UWB测距信息;

[0014] (3) 本发明采用基线长度约束的整数最小二乘模糊度搜索算法,能够严格利用距离约束辅助模糊度搜索,从而使得UWB/GNSS组合的相对定位系统能够充分利用观测信息,获得高可靠的解算结果。

附图说明

[0015] 图1为本发明的一种UWB测距辅助GNSS动对动基线模糊度固定方法的算法流程图。

具体实施方式

[0016] 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。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0017] 本发明提供一种UWB测距辅助GNSS动对动基线模糊度固定方法,能够基于UWB测距辅助GNSS基线模糊度固定,实现车辆间高精度相对定位。其中,相对运动的两个车辆上分别安装UWB,UWB采用TDOA(Time Difference Of Arrival,到达时间差)体制测量车辆与车辆之间的相对距离,即基线长度,利用UWB测量的基线长度辅助GNSS动对动基线的单历元载波模糊度解算,基线长度约束的强度由UWB测距精度决定。

[0018] 本发明实现高精度相对定位的关键是UWB测距辅助RTK((Real-time kinematic,实时动态)动对动基线模糊度解算技术。

[0019] 本发明的一种UWB测距辅助GNSS动对动基线模糊度固定方法包括如下步骤:

[0020] 步骤(1)通过事先动态试验,在开阔环境下利用GNSS精确测定的差分基线长度,对UWB测距系统的测距误差和随机误差进行建模分析,确定系统误差模型参数;

[0021] 步骤(2)在使用阶段,对UWB测距值进行实时的系统误差补偿,并且根据系统误差补偿后的UWB测距值的精度水平赋予UWB测距值合适的权重;

[0022] 步骤(3)采用UWB测距系统测量的时变的基线长度,参与GNSS基线的双差模糊度求解,辅助模糊度备选解的剔除和判别,实现GNSS基线的双差模糊度的快速准确固定,从而得到高精度的车辆相对位置坐标的模糊度固定解。

[0023] 具体地,所述步骤(1)中,对UWB测距系统的测距误差和随机误差进行建模分析包括误差参数建模、误差参数分析与确定两个方面。

[0024] 1)对UWB测距系统的测距误差进行建模,测距误差模型建立为:

$$[0025] \quad l_{GNSS} = sf \cdot l_{uwb} + B + \varepsilon \quad (1)$$

[0026] 其中, l_{GNSS} 为GNSS精确测定的差分基线长度, l_{uwb} 为UWB测距值, sf 为比例因子, B 为常值偏差, ε 为GNSS和UWB的测量噪声的总和,属于随机误差项。

[0027] 2)设计测距误差模型的参数分析与确定的流程:

[0028] 采用事先标定的方式,事先采集动态的UWB测距值,以及同步观测的GNSS基线数据,其中,GNSS基线数据用于进行差分解算得到精确的距离参考真值。根据公式(1),建立测距误差模型的参数的卡尔曼滤波器,量测信息采用GNSS精确测定的差分基线长度解算结果 l_{gps} 。

[0029] 建立的卡尔曼滤波器的状态参数为 $x = [sf \quad B]'$, $[A]'$ 表示 A 的转置, sf 、 B 的过程噪声均按实际传感器情况设置,构建状态预报模型。

[0030] 卡尔曼滤波器的量测方程为:

$$[0031] \quad l_{gps} = Hx \quad (2)$$

[0032] 其中, $H = [l_{uwb} \quad 1]$ 为量测系数阵。

[0033] 将GNSS精确测定的差分基线长度解算结果 l_{gps} 、UWB测距值 l_{uwb} 带入卡尔曼滤波器中,用来估计状态参数,待估的状态参数收敛后,将参数收敛值作为UWB测距系统的测距误差模型的参数。

[0034] 所述步骤(2)中,赋予UWB测距值合适的权重包括:

[0035] 为了合理确定UWB测距值的权重,评估分析UWB测距值在系统误差补偿之后的残余误差(含随机误差)的大小,将根据系统误差模型参数补偿后的UWB测距值与精确的距离参考真值做差,认为残差 dl_1, dl_2, \dots, dl_n (n 为正整数) 属于随机误差,并统计其残差的标准差 σ_l , 作为设置权重的直接依据:

$$[0036] \quad \sigma_l = \sqrt{\frac{(dl_1^2 + dl_2^2 + \dots + dl_n^2)}{n-1}} \quad (3)$$

[0037] 所述步骤(3)中,在车辆实时运动过程中,UWB测距系统实时测量车辆间的距离,并进行UWB测距值的实时误差修正,将修正的UWB测距值作为约束信息辅助GNSS动对动基线模糊度解算。

[0038] 首先,给出UWB测距值以及GNSS差分观测信息(GNSS双差伪距观测值、双差载波观测值)联合的观测模型。基线坐标真值记为 b , 修正的UWB测距值记为 \hat{l}_{uwb} , 残差的标准差记为 σ_l , 于是修正的UWB测距值的信息表示如下:

$$[0039] \quad E(\hat{l}_{uwb}) = \|b\|, D(\hat{l}_{uwb}) = \sigma_l^2 \quad (4)$$

[0040] 式中, $E(\cdot)$ 为期望算子, $\|\cdot\|$ 表示取向量的模长, $D(\cdot)$ 表示方差算子。

[0041] 联合GNSS差分观测信息(GNSS的双差伪距观测值、双差载波观测值)与UWB测距值信息,得到求解GNSS双差模糊度参数和基线坐标 b 的观测模型表示如下:

$$[0042] \quad \begin{aligned} E(y) &= Aa + Bb, a \in Z^n, b \in R^p, E(\hat{l}_{uwb}) = \|b\| \\ D(\hat{l}_{uwb}) &= \sigma_l^2, D(y) = Q_{yy}, \text{cov}(\hat{l}_{uwb}, y) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

[0043] 式中, $y = [\nabla\Delta P \quad \dots \quad \nabla\Delta\Phi \quad \dots]^T$ 为 m 维的GNSS量测向量,其中 $\nabla\Delta P$ 为双差

伪距观测值； $\nabla\Delta\Phi$ 为双差载波观测值； $E(\cdot)$ 为期望算子； \mathbf{a} 为双差模糊度参数 $\nabla\Delta N$ 组成的向量； \mathbf{b} 为基线坐标； \mathbf{A} 、 \mathbf{B} 分别为对应参数的设计矩阵； \mathbf{Z}^n 为n维度的整数向量集； \mathbf{R}^P 为P维度的实数向量集； $\text{cov}()$ 表示相关运算符； $\mathbf{D}(\cdot)$ 为方差算子； \mathbf{Q}_{yy} 为GNSS量测向量的方差协方差阵； \mathbf{P}_{yy} 为量测权阵。

[0044] 其次,基于GNSS的双差伪距观测值、双差载波观测值、修正的UWB测距值,使用长度加权约束的整数最小二乘模糊度搜索方法,求解双差模糊度,并确定基线坐标参数的模糊度固定解,如图1所示,分为四个步骤:

[0045] 步骤(3.1)、确定初始边界:使用bootstrap算法,确定获取的模糊度初值半径,即初始的模糊度搜索边界 χ_0^2 。

[0046] 步骤(3.2)、快速筛选模糊度备选解:

[0047] 在初始的模糊度搜索边界 χ_0^2 内,利用SEVB算法枚举模糊度,从中间值开始,左右震荡枚举模糊度备选解,对枚举的每一个备选解,采用边界函数 $F_1(\mathbf{a})$ 对其进行检核。具体检核方式为:将模糊度备选解带入边界函数 $F_1(\mathbf{a})$ 得到函数值,然后判断函数值是否超过初始的模糊度搜索边界 χ_0^2 ,如果超过,则该模糊度备选解错误,进行剔除。

[0048] 边界函数 $F_1(\mathbf{a})$ 表示如下:

$$[0049] \quad F_1(\mathbf{a}) = \|\hat{\mathbf{a}} - \mathbf{a}\|_{\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{a}}\hat{\mathbf{a}}}}^2 + \frac{1}{1/\lambda_{\min} + \sigma_l^2} (l_{uwb} - \|\hat{\mathbf{b}}(\mathbf{a})\|)^2 \quad (6)$$

[0050] 式中, λ_{\min} 为 $\hat{\mathbf{b}}(\mathbf{a})$ 的协方差阵的逆矩阵的最小特征值, $\hat{\mathbf{a}}$ 为模糊度序列 \mathbf{a} 的估计值, $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{a}}\hat{\mathbf{a}}}$ 为 $\hat{\mathbf{a}}$ 的协方差矩阵, $\|\mathbf{A}\|_{\mathbf{B}}$ 表示以B为权重的A的加权模长。

[0051] 从最小范围开始搜索模糊度备选解,在搜索空间 $F_1(\mathbf{a}) < k \times \chi_0^2$ 中获得n组模糊度备选解 $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_n$,k表示放大倍数,如果 $n = 0$,则增大一次搜索空间,然后再次使用SEVB算法重复上述步骤2(搜索边界不再是初始的模糊度搜索边界 χ_0^2 ,而是已经增大k倍的边界 $k \times \chi_0^2$),直至找到至少一组模糊度备选解。

[0052] 步骤(3.3)、精确检验模糊度备选解;

[0053] 通过边界函数 $F_1(\mathbf{a})$ 筛选保留下来的模糊度备选解大概率包含正确解,此时使用严格目标函数 $F(\mathbf{a})$ 对筛选出来的模糊度备选解逐一进行精确判断。

[0054] 严格目标函数 $F(\mathbf{a})$ 表示如下:

$$[0055] \quad F(\mathbf{a}) = \|\hat{\mathbf{a}} - \mathbf{a}\|_{\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{a}}\hat{\mathbf{a}}}}^2 + \min_{\mathbf{b} \in \mathbf{R}^3} \left(\|\hat{\mathbf{b}}(\mathbf{a}) - \mathbf{b}\|_{\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{b}}(\mathbf{a})\hat{\mathbf{b}}(\mathbf{a})}}^2 + \sigma_l^{-2} (l_{uwb} - \|\mathbf{b}\|)^2 \right) \quad (7)$$

[0056] 其中,将等式右侧的后半部分括号里的 $\left\| \hat{b}(a) - b \right\|_{Q_{\hat{b}(a)\hat{b}(a)}}^2 + \sigma_l^{-2} (l - \|b\|)^2$ 记为 $H(a, b)$, 于是得到严格目标函数 $F(a)$ 简化表示如下:

$$[0057] \quad F(a) = \left\| \hat{a} - a \right\|_{Q_{\hat{a}\hat{a}}}^2 + \min_{b \in R^3} H(a, b) \quad (8)$$

[0058] 将n组备选解 a_1, a_2, \dots, a_n 带入严格目标函数中, 逐个计算 $F(a)$ 值, 得到 $F(a_1), F(a_2), \dots, F(a_n)$ 。假如其中的 $F(a_m)$ 最小 ($m=1, 2, \dots, N$), 并且满足 $F(a_m) < k \times \chi_0^2$, 此时保证 $F(a_m)$ 是严格目标函数 $F(a)$ 的全局最小值, a_m 是模糊度最优解。

[0059] 步骤(3.4)、固定模糊度得到基线坐标最优估值:

[0060] 使得 $F(a)$ 最小的模糊度记为 \tilde{a} , 即为模糊度最优解; 使得 $H(\tilde{a}, b)$ 最小的坐标值记为 \tilde{b} , \tilde{b} 即为模糊度固定解坐标, 也可以记为 $\tilde{b}(\tilde{a})$, 指的是在 \tilde{a} 条件下求取的坐标值 \tilde{b} , 公式化表示:

$$[0061] \quad \tilde{a} = \arg \min_{a \in Z^n} F(a), \quad \tilde{b} = \tilde{b}(\tilde{a}) = \arg \min_{b \in R^p} H(\tilde{a}, b) \quad (9)$$

[0062] 式中, $\arg \min_{a \in Z^n} F(a)$ 表示求取使得 $F(a)$ 最小的 a , 要求 $a \in Z^n$; $\arg \min_{b \in R^p} H(\tilde{a}, b)$ 表示求取使得 $H(\tilde{a}, b)$ 最小的 b , $Q_{\hat{b}(\tilde{a})\hat{b}(\tilde{a})}$ 为 $\hat{b}(\tilde{a})$ 的协方差矩阵。

[0063] 自此, 完成基于UWB测距值辅助GNSS动对动基线的模糊度解算方法的实现。

[0064] 本领域的技术人员容易理解, 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已, 并不用以限制本发明, 凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

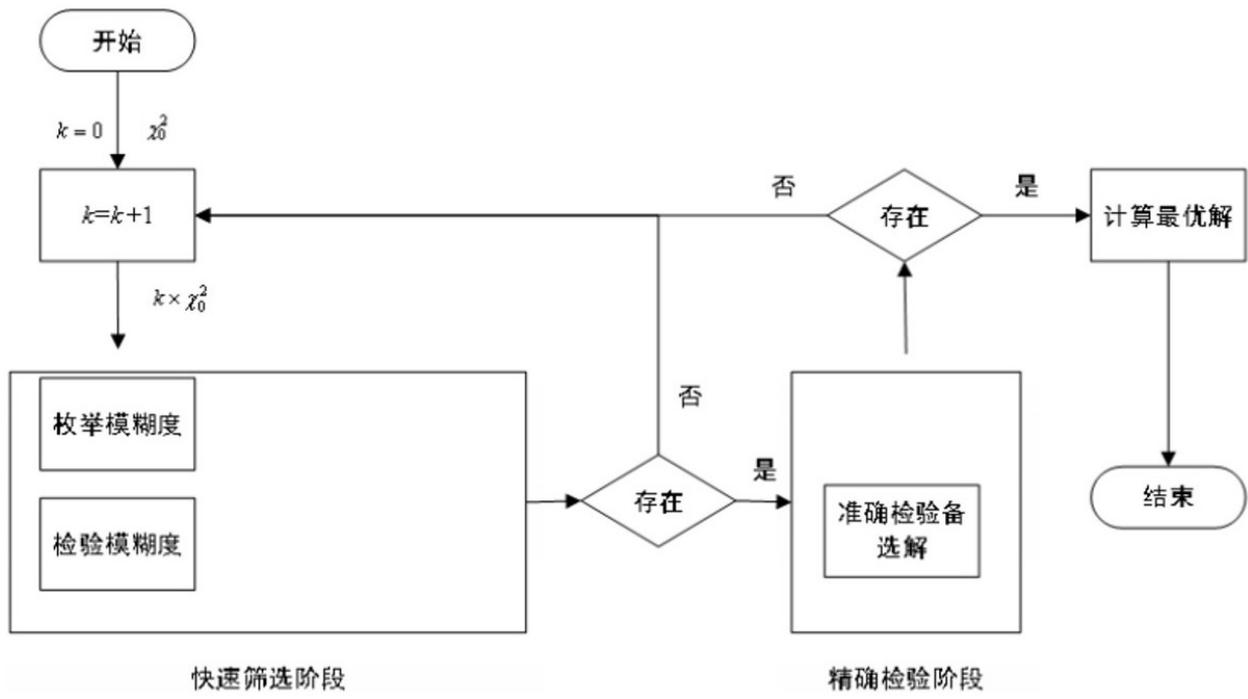


图 1