



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112444832 A

(43) 申请公布日 2021.03.05

(21) 申请号 202011395808.6

(22) 申请日 2020.12.03

(71) 申请人 深圳大学

地址 518060 广东省深圳市南山区南海大道3688号

(72) 发明人 李清泉 刘炎炎 张德津 陈智鹏 余建伟

(74) 专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事务所(普通合伙) 44268

代理人 陈专

(51) Int.Cl.

G01S 19/37(2010.01)

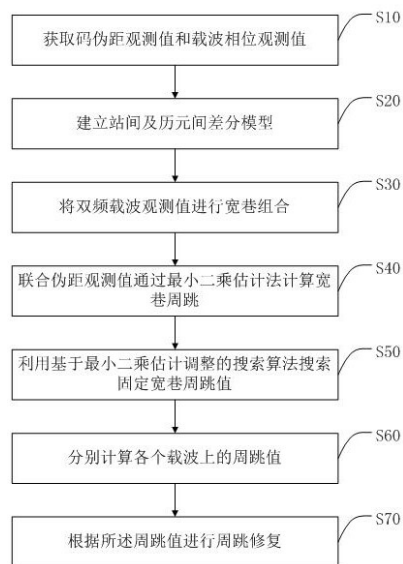
权利要求书5页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种一机多天线接收机的周跳修复方法

(57) 摘要

本发明公开了一机多天线接收机的周跳修复方法,所述方法包括:获取码伪距观测值和载波相位观测值;建立站间及历元间差分模型;将双频载波观测值进行宽巷组合;联合伪距观测值通过最小二乘估计法计算宽巷周跳值;利用基于最小二乘估计调整的搜索算法搜索固定宽巷周跳值;分别计算各个载波上的周跳值;根据所述周跳值进行周跳修复。本发明在观测环境较差的情况下,即使某个系统只观测了一颗卫星,也可以进行周跳探测与修复,对某颗卫星进行周跳探测与修复的过程不受其他观测卫星的影响,避免了观测质量较差卫星的污染,从而大大提高了周跳修复的效率及可靠性。



1. 一种一机多天线接收机的周跳修复方法,其特征在于,所述一机多天线接收机的周跳修复方法包括:

- 获取码伪距观测值和载波相位观测值;
- 建立站间及历元间差分模型;
- 将双频载波观测值进行宽巷组合;
- 联合伪距观测值通过最小二乘估计法计算宽巷周跳值;
- 利用基于最小二乘估计调整的搜索算法搜索固定宽巷周跳值;
- 分别计算各个载波上的周跳值;
- 根据所述周跳值进行周跳修复。

2. 根据权利要求1所述的一机多天线接收机的周跳修复方法,其特征在于,所述获取码伪距观测值和载波相位观测值,具体包括:

获取第一测站接收机的第一码伪距观测值 P_1 和第一载波相位观测值 ϕ_1 ,以及第二测站接收机的第二码伪距观测值 P_2 和第二载波相位观测值 ϕ_2 。

3. 根据权利要求2所述的一机多天线接收机的周跳修复方法,其特征在于,所述获取码伪距观测值和载波相位观测值,之后还包括:

获取多系统GNSS双频伪距和载波原始观测方程为:

$$\begin{aligned}
 P_{r,i}^s &= \rho_r^s + c(dt_G - dt^s) + T_i^s + I_i^s + \varepsilon_{Pi}^s \\
 \lambda_i^s \phi_{r,i}^s &= \rho_r^s + c(dt_G - dt^s) + T_i^s - I_i^s + \lambda_i^s N_i^s + \varepsilon_{Li}^s \\
 P_{r,i}^k &= \rho_r^k + c(dt_R - dt^k) + T_i^k + I_i^k + \text{IFB}_P^k + \varepsilon_{Pi}^k \\
 \lambda_i^k \phi_{r,i}^k &= \rho_r^k + c(dt_R - dt^k) + T_i^k - I_i^k + \text{IFB}_L^k + \lambda_i^k N_i^k + \varepsilon_{Li}^k ; (1) \\
 P_{r,i}^m &= \rho_r^m + c(dt_C - dt^m) + T_i^m + I_i^m + \varepsilon_{Pi}^m \\
 \lambda_i^m \phi_{r,i}^m &= \rho_r^m + c(dt_C - dt^m) + T_i^m - I_i^m + \lambda_i^m N_i^m + \varepsilon_{Li}^m
 \end{aligned}$$

其中,上标 s 表示GPS卫星; k 表示GLONASS卫星; m 表示BDS卫星;下标 i 为载波频率($i=1, 2$), P 表示码伪距观测值, ϕ 表示载波相位观测值, λ 为载波波长, ρ 为几何距离, c 为光速, dt_G 为接收机GPS系统时钟钟差, dt_R 为GLONASS系统时钟钟差, dt_C 为BDS系统时钟钟差, dt^s 为GPS卫星钟差, dt^k 为GLONASS卫星钟差, dt^m 为BDS卫星钟差, T 为对流层延迟, I 为电离层延迟, N 为载波整周模糊度, IFB_P 为GLONASS伪距频间偏差, IFB_L 为GLONASS载波频间偏差, ε_P 为伪距观测值噪声, ε_L 为相位观测值噪声。

4. 根据权利要求3所述的一机多天线接收机的周跳修复方法,其特征在于,所述获取多系统GNSS双频伪距和载波原始观测方程,之后还包括:

在接收机端,GPS与GLONASS系统钟差之间的关系为:

$$dt_R = dt_G + \text{ISB}_{R-G}; (2)$$

在接收机端,GPS与BDS系统钟差之间的关系为

$$dt_C = dt_G + \text{ISB}_{C-G}; \quad (3)$$

其中, ISB_{R-G} 表示GPS与GLONASS的系统间偏差值, ISB_{C-G} 表示GPS与BDS的系统间偏差值;

将第一测站接收机和第二测站接收机的码伪距观测值和载波相位观测值进行站间差分, 得到站间单差伪距和载波方程为:

$$\begin{aligned} \Delta P_i^s &= \Delta \rho^s + c \Delta dt_G + \varepsilon_{\Delta P_i}^s \\ \Delta \lambda_i^s \varphi_i^s &= \Delta \rho^s + c \Delta dt_G + \lambda_i^s \Delta N_i^s + \varepsilon_{\Delta L_i}^s \\ \Delta P_i^k &= \Delta \rho^k + c(\Delta dt_G + \Delta \text{ISB}_{R-G}) + \Delta \text{IFB}_P^k + \varepsilon_{\Delta P_i}^k \\ \Delta \lambda_i^k \varphi_i^k &= \Delta \rho^k + c(\Delta dt_G + \Delta \text{ISB}_{R-G}) + \Delta \text{IFB}_L^k + \lambda_i^k \Delta N_i^k + \varepsilon_{\Delta L_i}^k; \quad (4) \\ \Delta P_i^m &= \Delta \rho^m + c(\Delta dt_G + \Delta \text{ISB}_{C-G}) + \varepsilon_{\Delta P_i}^m \\ \Delta \lambda_i^m \varphi_i^m &= \Delta \rho^m + c(\Delta dt_G + \Delta \text{ISB}_{C-G}) + \lambda_i^m \Delta N_i^m + \varepsilon_{\Delta L_i}^m \end{aligned}$$

其中, Δ 表示站间单差因子。

5. 根据权利要求4所述的一机多天线接收机的周跳修复方法, 其特征在于, 所述将第一测站接收机和第二测站接收机的码伪距观测值和载波相位观测值进行站间差分, 得到站间单差伪距和载波方程, 之后还包括:

对站间单差伪距和载波方程进行历元间差分, 得到站间及历元间差分伪距和载波观测方程为:

$$\begin{aligned} \Delta \nabla P_i^s &= \Delta \nabla \rho^s + c \Delta \nabla dt_G + \varepsilon_{\Delta \nabla P_i}^s \\ \tilde{\lambda}_i^s \Delta \nabla \varphi_i^s &= \Delta \nabla \rho^s + c \Delta \nabla dt_G + \tilde{\lambda}_i^s \Delta \nabla N_i^s + \varepsilon_{\Delta \nabla L_i}^s \\ \Delta \nabla P_i^k &= \Delta \nabla \rho^k + c(\Delta \nabla dt_G + \Delta \nabla \text{ISB}_{R-G}) + \varepsilon_{\Delta \nabla P_i}^k \\ \tilde{\lambda}_i^k \Delta \nabla \varphi_i^k &= \Delta \nabla \rho^k + c(\Delta \nabla dt_G + \Delta \nabla \text{ISB}_{R-G}) + \tilde{\lambda}_i^k \Delta \nabla N_i^k + \varepsilon_{\Delta \nabla L_i}^k; \quad (5) \\ \Delta \nabla P_i^m &= \Delta \nabla \rho^m + c(\Delta \nabla dt_G + \Delta \nabla \text{ISB}_{C-G}) + \varepsilon_{\Delta \nabla P_i}^m \\ \tilde{\lambda}_i^m \Delta \nabla \varphi_i^m &= \Delta \nabla \rho^m + c(\Delta \nabla dt_G + \Delta \nabla \text{ISB}_{C-G}) + \tilde{\lambda}_i^m \Delta \nabla N_i^m + \varepsilon_{\Delta \nabla L_i}^m \end{aligned}$$

其中, $\Delta \tilde{N}$ 为站间及历元间双差因子; $\Delta \tilde{N} N_i^s$ 为频率 i 上GPS卫星的模糊度变化量, $\Delta \tilde{N} N_i^k$ 为频率 i 上GLONASS卫星的模糊度变化量, $\Delta \tilde{N} N_i^m$ 为频率 i 上BDS卫星的模糊度变化量, 三种模糊度变化量表示周跳值, 如果历元间不发生周跳, 其值为0, 如果历元间发生周跳, 则其值为大于1周的整数;

ISB_{R-G} 和 ISB_{C-G} 在一天中的变化中误差值小于2.5ns, 其值稳定, 在历元间差分中, ISB的值均被消除, 即 $\Delta \nabla \text{ISB}_{R-G} = \Delta \nabla \text{ISB}_{C-G} = 0$, 根据公式(2)和公式(3), 得到:

$$\Delta \nabla dt_G = \Delta \nabla dt_R = \Delta \nabla dt_C; \quad (6)$$

6. 根据权利要求5所述的一机多天线接收机的周跳修复方法, 其特征在于, 所述对站间单差伪距和载波方程进行历元间差分, 得到站间及历元间差分伪距和载波观测方程, 之后

还包括:

ISB消除后,公式(5)的观测方程中将GPS卫星(上标s)、GLONASS卫星(上标k)和BDS卫星(上标m)统一用上标q表示,q代表三个系统的卫星,站间及历元间差分伪距和载波观测方程重写为:

$$\Delta\nabla P_i^q = \Delta\nabla\rho^q + c\Delta\nabla dt_G + \varepsilon_{\Delta\nabla P_i}^q; (7)$$

$$\lambda_i^q \Delta\nabla\varphi_i^q = \Delta\nabla\rho^q + c\Delta\nabla dt_G + \lambda_i^q \Delta\nabla N_i^q + \varepsilon_{\Delta\nabla L_i}^q; (8)$$

将公式(8)中等式两边同时除以 λ_i^q ,然后将双频载波观测值进行宽巷组合,即将两个频率上的载波观测值进行相减,得到:

$$\Delta\nabla\varphi_1^q - \Delta\nabla\varphi_2^q = (\Delta\nabla\rho^q + c\Delta\nabla dt_G)\left(\frac{1}{\lambda_1^q} - \frac{1}{\lambda_2^q}\right) + \Delta\nabla N_1^q - \Delta\nabla N_2^q + \left(\frac{1}{\lambda_1^q} - \frac{1}{\lambda_2^q}\right)\varepsilon_{\Delta\nabla L_i}^q; (9)$$

公式(9)两边同时除以 $\left(\frac{1}{\lambda_1^q} - \frac{1}{\lambda_2^q}\right)$,联立伪距观测方程(7),得到差分伪距观测方程和差分宽巷载波观测方程分别为:

$$\Delta\nabla P_i^q = \Delta\nabla\rho^q + c\Delta\nabla dt_G + \varepsilon_{\Delta\nabla P_i}^q; (10)$$

$$\lambda_{wl}^q \Delta\nabla\varphi_{1,2}^q = \Delta\nabla\rho^q + c\Delta\nabla dt_G + \lambda_{wl}^q \Delta\nabla N_{wl}^q + \varepsilon_{\Delta\nabla L_{wl}}^q; (11)$$

其中, $\Delta\nabla\varphi_{1,2}^q = \Delta\nabla\varphi_1^q - \Delta\nabla\varphi_2^q$ 为两个载波观测量的宽巷组合值, $\lambda_{wl}^q = 1/\left(\frac{1}{\lambda_1^q} - \frac{1}{\lambda_2^q}\right)$

为宽巷载波波长, $\varepsilon_{\Delta\nabla L_{wl}}^q = \varepsilon_{\Delta\nabla L_1}^q - \varepsilon_{\Delta\nabla L_2}^q$ 为宽巷组合噪声, $\Delta\nabla N_{wl}^q = \Delta\nabla N_1^q - \Delta\nabla N_2^q$ 为固定整数宽巷周跳值,即为两个频率上周跳的差值。

7.根据权利要求6所述的一机多天线接收机的周跳修复方法,其特征在于,所述得到差分伪距观测方程和差分宽巷载波观测方程,之后还包括:

通过联立差分伪距观测方程(10)和差分宽巷载波观测方程(11),利用最小二乘方法估计出宽巷周跳值 $\Delta\tilde{N}_{wl}^q$,并计算宽巷周跳值的方差-协方差矩阵 $Q_{\hat{N}_{wl}}$,然后利用LAMBDA方法根据浮点宽巷周跳值 $\Delta\tilde{N}_{wl}^q$ 及其方差-协方差矩阵 $Q_{\hat{N}_{wl}}$ 来搜索固定整数宽巷周跳值 $\Delta\nabla\tilde{N}_{wl}^q$,通过LAMBDA方法固定后,采用ratio-test进行验证,ratio-test表征了浮点解与最优整数向量的接近程度,计算公式为:

$$ratio = \frac{\|\hat{N} - \tilde{N}_2\|_{Q_{\hat{N}}}^2}{\|\hat{N} - \tilde{N}\|_{Q_{\hat{N}}}^2}; (12)$$

其中, \hat{N} 为浮点解, $Q_{\hat{N}}$ 为浮点解的方差协方差矩阵, \tilde{N}_2 为次优整数解, \tilde{N} 为最优整数解, 设定阈值为3, 当ratio值超过阈值时, 即认为宽巷周跳值固定正确。

8. 根据权利要求7所述的一机多天线接收机的周跳修复方法, 其特征在于, 所述分别计算各个载波上的周跳值, 根据所述周跳值进行周跳修复, 具体包括:

当每颗卫星上的浮点宽巷周跳值被正确计算和搜索固定后, 然后逐卫星将固定整数宽巷周跳值 $\Delta\nabla\tilde{N}_{wl}^q$ 代入公式(10), 计算几何距离及接收机钟差的和 $G(x)$ 为:

$$G(x) = \Delta\nabla\rho^q + c\Delta\nabla dt_G = -\lambda_{wl}^q \Delta\nabla\phi_{1,2}^q + (\lambda_{wl}^q \Delta\nabla\tilde{N}_{wl}^q - \varepsilon_{\Delta\nabla Lwl}^q); \quad (13)$$

其中, $\Delta\nabla\tilde{N}_{wl}^q$ 为固定的整数宽巷周跳值; $\varepsilon_{\Delta\nabla Lwl}^q$ 为宽巷组合噪声, 其值较小忽略不计;

将公式(13)中的 $G(x)$ 的值代入公式(8), 得到:

$$\lambda_i^q \Delta\nabla\phi_i^q = -\lambda_{wl}^q \Delta\nabla\phi_{1,2}^q + \lambda_{wl}^q \Delta\nabla\tilde{N}_{wl}^q + \lambda_i^q \Delta\nabla N_i^q + \varepsilon_{\Delta\nabla Li}^q; \quad (14)$$

其中, $\varepsilon_{\Delta\nabla Li}^q$ 为载波 i 上的站间及历元间差分组合噪声, 其值较小忽略不计; 将公式

(14) 中等式右边的 $\lambda_i^q \Delta\nabla N_i^q$ 项移到等式左边, 两边同时除以 λ_i^q , 得到L1载波浮点周跳值 $\Delta\nabla\hat{N}_1^q$ 和L2载波浮点周跳值 $\Delta\nabla\hat{N}_2^q$ 的值:

$$\Delta\nabla\hat{N}_i^q = \Delta\nabla\phi_i^q - \eta_i (\Delta\nabla\phi_{1,2}^q - \Delta\nabla\tilde{N}_{wl}^q) + \zeta_{\Delta\nabla Li}^q / \lambda_i^q; \quad (15)$$

其中, $\eta_1 - \eta_2 = 1$, $\eta_i = \lambda_{wl}^q / \lambda_i^q$ 为宽巷波长与频率 i 的波长比, $\zeta_{\Delta\nabla Li}^q = \varepsilon_{\Delta\nabla Lwl}^q - \varepsilon_{\Delta\nabla Li}^q$ 为组合观测值噪声, 其值较小忽略不计; 通过公式(15)能分别计算出L1载波浮点周跳值 $\Delta\nabla\hat{N}_1^q$ 和L2载波浮点周跳值 $\Delta\nabla\hat{N}_2^q$ 的值;

求出L1载波浮点周跳值 $\Delta\nabla\hat{N}_1^q$ 和L2载波浮点周跳值 $\Delta\nabla\hat{N}_2^q$ 的值后, 通过四舍五入得到L1载波整周周跳值 $\Delta\nabla\tilde{N}_1^q$ 和L2载波上整周周跳值 $\Delta\nabla\tilde{N}_2^q$ 分别为:

$$\begin{aligned} \Delta\nabla\tilde{N}_1^q &= \text{round}[\Delta\nabla\hat{N}_1^q] \\ \Delta\nabla\tilde{N}_2^q &= \text{round}[\Delta\nabla\hat{N}_2^q] \end{aligned}; \quad (16)$$

其中, $\text{round}[\cdot]$ 表示四舍五入。

9. 一种终端, 其特征在于, 所述终端包括: 存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的基于一机多天线接收机的周跳修复程序, 所述基于一机多天线接收机的周跳修复程序被所述处理器执行时实现如权利要求1-8任一项所述的一机多天线接收

机的周跳修复方法的步骤。

10. 一种存储介质,其特征在于,所述存储介质存储有基于一机多天线接收机的周跳修复程序,所述基于一机多天线接收机的周跳修复程序被处理器执行时实现如权利要求1-8任一项所述的一机多天线接收机的周跳修复方法的步骤。

一种一机多天线接收机的周跳修复方法

技术领域

[0001] 本发明涉及GNSS一机多天线精密变形监测技术领域,尤其涉及一种一机多天线接收机的周跳修复方法。

背景技术

[0002] GNSS(Global Navigation Satellite System,全球导航卫星系统)是能在地球表面或近地空间的任何地点为用户提供全天候的三维坐标和速度以及时间信息的空基无线电导航定位系统。

[0003] 多系统GNSS能够提供更多的可视卫星、更均匀的卫星空间覆盖率以及更丰富的频率和信号,将进一步提高GNSS的定位精度和可靠性,特别是在城市峡谷、露天矿坑和沟壑等受阻环境中,多系统融合是GNSS定位的发展趋势。相对定位通过组成差分观测值来消除接收机钟差、卫星钟差等公共误差以及削弱对流层延迟、电离层延迟等相关性强的误差影响,是目前GNSS定位中精度最好的一种方法,在大地测量领域扮演了重要的角色,广泛应用于大地测量、精密工程测量、地球动力学研究、精密导航等。

[0004] GNSS接收机相对定位也有不足之处,如随着流动站与基准站距离的增加,空间相关误差的相关性严重减弱,导致精度逐渐降低,甚至无法初始化,而且需要两台或两台以上接收机同步观测卫星,作业效率低、成本高,用于高精度变形监测的GNSS设备的昂贵费用,极大地限制了GNSS技术的应用,并且仅用少量的GNSS接收机也无法在监测过程中获得变形体整体的、连续的变形信息。一机多天线接收机的出现,解决了高精度GNSS接收机成本过高的问题,可以使得一台接收机能够连接多个天线并保证信号的完整可靠。整个监测系统的成本将大幅下降,而没有影响到监测系统的精度,而且一机多天线技术已经广泛应用到大坝监测,滑坡监测,桥梁监测等领域。因此,一机多天线接收机的GNSS实时精密定位可以降低GNSS监测系统成本,实现对变形体的连续监测。但是针对于一机多天线接收机进行精密定位,存在如下问题:

一机多天线接收机连接到天线上只进行几个历元的观测,时间间隔为1秒或者5秒,然后切换到下一个天线,这种方式在切转天线开关的过程中,几乎每次切转均会发生周跳。为满足对变形点的实时监测,不仅需要进行准确的探测周跳,还需要实时的修复周跳,因此对于周跳探测与修复的成功率要求较高,难度较大。

[0005] 因此,现有技术还有待于改进和发展。

发明内容

[0006] 本发明的主要目的在于提供一种一机多天线接收机的周跳修复方法,旨在解决现有技术中对于周跳探测与修复的成功率要求较高,难度较大的问题;本发明既适应于GNSS一机多天线接收机设备,也适应于普通双频GNSS接收机周跳探测与修复,例如适用于堆石坝外观变形监测的GNSS一机多天线系统周跳修复。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供一种一机多天线接收机的周跳修复方法,所述一机

多天线接收机的周跳修复方法包括如下步骤：

- 获取码伪距观测值和载波相位观测值；
- 建立站间及历元间差分模型；
- 将双频载波观测值进行宽巷组合；
- 联合伪距观测值通过最小二乘估计法计算宽巷周跳值；
- 利用基于最小二乘估计调整的搜索算法搜索固定宽巷周跳值；
- 分别计算各个载波上的周跳值；
- 根据所述周跳值进行周跳修复。

[0008] 此外,为实现上述目的,本发明还提供一种终端,其中,所述终端包括:存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的基于一机多天线接收机的周跳修复程序,所述基于一机多天线接收机的周跳修复程序被所述处理器执行时实现如上所述的一机多天线接收机的周跳修复方法的步骤。

[0009] 此外,为实现上述目的,本发明还提供一种存储介质,其中,所述存储介质存储有基于一机多天线接收机的周跳修复程序,所述基于一机多天线接收机的周跳修复程序被处理器执行时实现如上所述的一机多天线接收机的周跳修复方法的步骤。

[0010] 本发明通过获取码伪距观测值和载波相位观测值;建立站间及历元间差分模型;将双频载波观测值进行宽巷组合;联合伪距观测值通过最小二乘估计法计算宽巷周跳值;利用基于最小二乘估计调整的搜索算法搜索固定宽巷周跳值;分别计算各个载波上的周跳值;根据所述周跳值进行周跳修复。本发明在观测环境较差的情况下,即使某个系统只观测了一颗卫星,也可以进行周跳探测与修复,对某颗卫星进行周跳探测与修复的过程不受其他观测卫星的影响,避免了观测质量较差卫星的污染,从而大大提高了周跳修复的效率及可靠性。

附图说明

[0011] 图1是本发明一机多天线接收机的周跳修复方法的较佳实施例的流程图;
图2为本发明终端的较佳实施例的运行环境示意图。

具体实施方式

[0012] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚、明确,以下参照附图并举实施例对本发明进一步详细说明。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。

[0013] 本发明较佳实施例所述的一机多天线接收机的周跳修复方法,如图1所示,所述一机多天线接收机的周跳修复方法包括以下步骤:

- 步骤S10、获取码伪距观测值和载波相位观测值;
- 步骤S20、建立站间及历元间差分模型;
- 步骤S30、将双频载波观测值进行宽巷组合;
- 步骤S40、联合伪距观测值通过最小二乘估计法计算宽巷周跳值;
- 步骤S50、利用基于最小二乘估计调整的搜索算法搜索固定宽巷周跳值;
- 步骤S60、分别计算各个载波上的周跳值;

步骤S70、根据所述周跳值进行周跳修复。

[0014] 本发明利用两个测站接收机的RINEX观测值数据(RINEX是一种在GPS测量应用中普遍采用的标准数据格式),通过建立站间及历元间差分模型,将双频载波观测值进行宽巷组合,联合伪距观测值通过最小二乘估计方法计算宽巷周跳值,然后利用LAMBDA算法(LAMBDA算法是一种基于最小二乘估计调整的搜索算法,是当前广泛应用的基于GPS载波相位进行定位,测姿和定向的算法)搜索固定宽巷周跳值,分别计算各个载波上的周跳值,进行周跳修复。本发明既适应于GNSS一机多天线接收机设备,也适应于普通双频GNSS接收机的周跳探测与修复。

[0015] 本发明具体包括如下步骤:

步骤一:获取第一测站接收机的第一码伪距观测值 P_1 和第一载波相位观测值 φ_1 ,以及第二测站接收机的第二码伪距观测值 P_2 和第二载波相位观测值 φ_2 ;对于一机多天线接收机则为其中一个天线的观测数据。

[0016] 步骤二:获取多系统GNSS双频伪距和载波原始观测方程为:

$$\begin{aligned} P_{r,i}^s &= \rho_r^s + c(dt_G - dt^s) + T_i^s + I_i^s + \varepsilon_{Pi}^s \\ \lambda_i^s \varphi_{r,i}^s &= \rho_r^s + c(dt_G - dt^s) + T_i^s - I_i^s + \lambda_i^s N_i^s + \varepsilon_{Li}^s \\ P_{r,i}^k &= \rho_r^k + c(dt_R - dt^k) + T_i^k + I_i^k + \text{IFB}_P^k + \varepsilon_{Pi}^k \\ \lambda_i^k \varphi_{r,i}^k &= \rho_r^k + c(dt_R - dt^k) + T_i^k - I_i^k + \text{IFB}_L^k + \lambda_i^k N_i^k + \varepsilon_{Li}^k ; (1) \\ P_{r,i}^m &= \rho_r^m + c(dt_C - dt^m) + T_i^m + I_i^m + \varepsilon_{Pi}^m \\ \lambda_i^m \varphi_{r,i}^m &= \rho_r^m + c(dt_C - dt^m) + T_i^m - I_i^m + \lambda_i^m N_i^m + \varepsilon_{Li}^m \end{aligned}$$

其中,上标 s 表示GPS卫星; k 表示GLONASS卫星; m 表示BDS卫星;下标 i 为载波频率($i=1, 2$), P 表示码伪距观测值, ϕ 表示载波相位观测值, λ 为载波波长, ρ 为几何距离, c 为光速, dt_G 为接收机GPS系统时钟钟差, dt_R 为GLONASS系统时钟钟差, dt_C 为BDS系统时钟钟差, dt^s 为GPS卫星钟差, dt^k 为GLONASS卫星钟差, dt^m 为BDS卫星钟差, T 为对流层延迟, I 为电离层延迟, N 为载波整周模糊度, IFB_P 为GLONASS伪距频间偏差, IFB_L 为GLONASS载波频间偏差, ε_P 为伪距观测值噪声, ε_L 为相位观测值噪声。

[0017] 步骤三:在接收机端,GPS与GLONASS系统钟差之间的关系为:

$$dt_R = dt_G + \text{ISB}_{R-G}; (2)$$

在接收机端,GPS与BDS系统钟差之间的关系为

$$dt_C = dt_G + \text{ISB}_{C-G}; (3)$$

其中, ISB_{R-G} 表示GPS与GLONASS的系统间偏差值, ISB_{C-G} 表示GPS与BDS的系统间偏差值。

[0018] 步骤四:将第一测站接收机和第二测站接收机的码伪距观测值和载波相位观测值进行站间差分,得到站间单差伪距和载波方程为:

$$\begin{aligned}
\Delta P_i^s &= \Delta \rho^s + c\Delta dt_G + \varepsilon_{\Delta P_i}^s \\
\Delta \lambda_i^s \varphi_i^s &= \Delta \rho^s + c\Delta dt_G + \lambda_i^s \Delta N_i^s + \varepsilon_{\Delta L_i}^s \\
\Delta P_i^k &= \Delta \rho^k + c(\Delta dt_G + \Delta \text{ISB}_{R-G}) + \Delta \text{IFB}_P^k + \varepsilon_{\Delta P_i}^k \\
\Delta \lambda_i^k \varphi_i^k &= \Delta \rho^k + c(\Delta dt_G + \Delta \text{ISB}_{R-G}) + \Delta \text{IFB}_L^k + \lambda_i^k \Delta N_i^k + \varepsilon_{\Delta L_i}^k \\
\Delta P_i^m &= \Delta \rho^m + c(\Delta dt_G + \Delta \text{ISB}_{C-G}) + \varepsilon_{\Delta P_i}^m \\
\Delta \lambda_i^m \varphi_i^m &= \Delta \rho^m + c(\Delta dt_G + \Delta \text{ISB}_{C-G}) + \lambda_i^m \Delta N_i^m + \varepsilon_{\Delta L_i}^m
\end{aligned} ; (4)$$

其中, Δ 表示站间单差因子。

[0019] 步骤五:对站间单差伪距和载波方程进行历元间差分,得到站间及历元间差分伪距和载波观测方程为:

$$\begin{aligned}
\Delta \nabla P_i^s &= \Delta \nabla \rho^s + c\Delta \nabla dt_G + \varepsilon_{\Delta \nabla P_i}^s \\
\lambda_i^s \Delta \nabla \varphi_i^s &= \Delta \nabla \rho^s + c\Delta \nabla dt_G + \lambda_i^s \Delta \nabla N_i^s + \varepsilon_{\Delta \nabla L_i}^s \\
\Delta \nabla P_i^k &= \Delta \nabla \rho^k + c(\Delta \nabla dt_G + \Delta \nabla \text{ISB}_{R-G}) + \varepsilon_{\Delta \nabla P_i}^k \\
\lambda_i^k \Delta \nabla \varphi_i^k &= \Delta \nabla \rho^k + c(\Delta \nabla dt_G + \Delta \nabla \text{ISB}_{R-G}) + \lambda_i^k \Delta \nabla N_i^k + \varepsilon_{\Delta \nabla L_i}^k \\
\Delta \nabla P_i^m &= \Delta \nabla \rho^m + c(\Delta \nabla dt_G + \Delta \nabla \text{ISB}_{C-G}) + \varepsilon_{\Delta \nabla P_i}^m \\
\lambda_i^m \Delta \nabla \varphi_i^m &= \Delta \nabla \rho^m + c(\Delta \nabla dt_G + \Delta \nabla \text{ISB}_{C-G}) + \lambda_i^m \Delta \nabla N_i^m + \varepsilon_{\Delta \nabla L_i}^m
\end{aligned} ; (5)$$

其中, $\Delta \tilde{N}$ 为站间及历元间双差因子; $\Delta \tilde{N} N_i^s$ 为频率 i 上 GPS 卫星的模糊度变化量, $\Delta \tilde{N} N_i^k$ 为频率 i 上 GLONASS 卫星的模糊度变化量, $\Delta \tilde{N} N_i^m$ 为频率 i 上 BDS 卫星的模糊度变化量, 三种模糊度变化量表示周跳值, 如果历元间不发生周跳, 其值为 0, 如果历元间发生周跳, 则其值为大于 1 周的整数。

[0020] 步骤六: ISB_{R-G} 和 ISB_{C-G} 在一天中的变化中误差值小于 2.5ns, 其值稳定, 在历元间差分中, ISB 的值均被消除, 即 $\Delta \nabla \text{ISB}_{R-G} = \Delta \nabla \text{ISB}_{C-G} = 0$, 根据公式 (2) 和公式 (3), 得到:

$$\Delta \nabla dt_G = \Delta \nabla dt_R = \Delta \nabla dt_C ; (6)。$$

[0021] 步骤七: ISB 消除后, 公式 (5) 的观测方程中将 GPS 卫星 (上标 s)、GLONASS 卫星 (上标 k) 和 BDS 卫星 (上标 m) 统一用上标 q 表示, q 代表三个系统的卫星, 站间及历元间差分伪距和载波观测方程重写为:

$$\Delta \nabla P_i^q = \Delta \nabla \rho^q + c\Delta \nabla dt_G + \varepsilon_{\Delta \nabla P_i}^q ; (7)$$

$$\lambda_i^q \Delta \nabla \varphi_i^q = \Delta \nabla \rho^q + c\Delta \nabla dt_G + \lambda_i^q \Delta \nabla N_i^q + \varepsilon_{\Delta \nabla L_i}^q ; (8)$$

建立站间及历元间差分伪距观测方程 (7) 和载波观测方程 (8), 消除了卫星钟差、差分系统间偏差及频间偏差, 削弱了卫星轨道误差、电离层延迟和对流层延迟的空间相关误差, 保持了模型中周跳值的整数特性; 同时, 建立站间及历元间差分伪距观测方程 (7) 和载波观

测方程(8),将GPS、GLONASS和BDS三个系统融合到一个观测模型中,不需要分别处理各个系统,在卫星严重遮挡的观测环境中很有利。

[0022] 步骤八:将公式(8)中等式两边同时除以 λ_i^q ,然后将双频载波观测值进行宽巷组合,即将两个频率上的载波观测值进行相减,得到:

$$\Delta\nabla\varphi_1^q - \Delta\nabla\varphi_2^q = (\Delta\nabla\rho^q + c\Delta\nabla dt_G) \left(\frac{1}{\lambda_1^q} - \frac{1}{\lambda_2^q} \right) + \Delta\nabla N_1^q - \Delta\nabla N_2^q + \left(\frac{1}{\lambda_1^q} - \frac{1}{\lambda_2^q} \right) \varepsilon_{\Delta\nabla L_i}^q; \quad (9)$$

公式(9)两边同时除以 $\left(\frac{1}{\lambda_1^q} - \frac{1}{\lambda_2^q} \right)$,联立伪距观测方程(7),得到差分伪距观测方程和差分宽巷载波观测方程分别为:

$$\Delta\nabla P_i^q = \Delta\nabla\rho^q + c\Delta\nabla dt_G + \varepsilon_{\Delta\nabla P_i}^q; \quad (10)$$

$$\lambda_{wl}^q \Delta\nabla\varphi_{1,2}^q = \Delta\nabla\rho^q + c\Delta\nabla dt_G + \lambda_{wl}^q \Delta\nabla N_{wl}^q + \varepsilon_{\Delta\nabla L_{wl}}^q; \quad (11)$$

其中, $\Delta\nabla\varphi_{1,2}^q = \Delta\nabla\varphi_1^q - \Delta\nabla\varphi_2^q$ 为两个载波观测值的宽巷组合值, $\lambda_{wl}^q = 1 / \left(\frac{1}{\lambda_1^q} - \frac{1}{\lambda_2^q} \right)$

为宽巷载波波长, $\varepsilon_{\Delta\nabla L_{wl}}^q = \varepsilon_{\Delta\nabla L_1}^q - \varepsilon_{\Delta\nabla L_2}^q$ 为宽巷组合噪声, $\Delta\nabla N_{wl}^q = \Delta\nabla N_1^q - \Delta\nabla N_2^q$ 为固定整数宽巷周跳值,即为两个频率上周跳的差值。

[0023] 将两个频率上的差分载波观测值进行宽巷组合,得到差分宽巷载波观测方程(11),由于宽巷波长较长,其他误差项的影响相对于宽巷波长可以忽略不计,所以宽巷周跳值 $\Delta\tilde{N} N_{wl}^q$ 比较容易固定。

[0024] 步骤九:通过联立差分伪距观测方程(10)和差分宽巷载波观测方程(11),利用最小二乘方法估计出宽巷周跳值 $\Delta\tilde{N} N_{wl}^q$,并计算宽巷周跳值的方差-协方差矩阵 $Q_{\hat{N}_{wl}}$,然后利用LAMBDA方法根据浮点宽巷周跳值 $\Delta\tilde{N} \hat{N}_{wl}^q$ 及其方差-协方差矩阵 $Q_{\hat{N}_{wl}}$ 来搜索固定整数宽巷周跳值 $\Delta\tilde{N} \check{N}_{wl}^q$,通过LAMBDA方法固定后,采用ratio-test进行验证,ratio-test表征了浮点解与最优整数向量的接近程度,计算公式为:

$$ratio = \frac{\| \hat{N} - \check{N}_2 \|^2_{Q_{\hat{N}}}}{\| \hat{N} - \check{N} \|^2_{Q_{\hat{N}}}}; \quad (12)$$

其中, \hat{N} 为浮点解, $Q_{\hat{N}}$ 为浮点解的方差协方差矩阵, \check{N}_2 为次优整数解, \check{N} 为最优整数解,设定阈值为3,当ratio值超过阈值时,即认为宽巷周跳值固定正确。

[0025] 步骤十:当每颗卫星上的浮点宽巷周跳值被正确计算和搜索固定后,然后逐卫星

将宽巷周跳值 $\Delta\tilde{N}_{wl}^q$ 代入公式(10),计算几何距离及接收机钟差的和 $G(x)$ 为:

$$G(x) = \Delta\nabla\rho^q + c\Delta\nabla dt_G = -\lambda_{wl}^q\Delta\nabla\varphi_{1,2}^q + (\lambda_{wl}^q\Delta\nabla\tilde{N}_{wl}^q - \varepsilon_{\Delta\nabla Lwl}^q); \quad (13)$$

其中, $\Delta\nabla\tilde{N}_{wl}^q$ 为固定整数宽巷周跳值; $\varepsilon_{\Delta\nabla Lwl}^q$ 为宽巷组合噪声,其值较小忽略不计。

[0026] 步骤十一:将公式(13)中的 $G(x)$ 的值代入公式(8),得到:

$$\lambda_i^q\Delta\nabla\varphi_i^q = -\lambda_{wl}^q\Delta\nabla\varphi_{1,2}^q + \lambda_{wl}^q\Delta\nabla\tilde{N}_{wl}^q + \lambda_i^q\Delta\nabla N_i^q + \varepsilon_{\Delta\nabla Li}^q; \quad (14)$$

其中, $\varepsilon_{\Delta\nabla Li}^q$ 为载波 i 上的站间及历元间差分组合噪声,其值较小忽略不计;将公式

(14)中等式右边的 $\lambda_i^q\Delta\tilde{N}N_i^q$ 项移到等式左边,两边同时除以 λ_i^q ,得到L1载波浮点周跳

值 $\Delta\tilde{N}\hat{N}_1^q$ 和L2载波浮点周跳值 $\Delta\tilde{N}\hat{N}_2^q$ 的值:

$$\Delta\nabla\hat{N}_i^q = \Delta\nabla\varphi_i^q - \eta_i(\Delta\nabla\varphi_{1,2}^q - \Delta\nabla\tilde{N}_{wl}^q) + \zeta_{\Delta\nabla Li}^q / \lambda_i^q; \quad (15)$$

其中, $\eta_1 - \eta_2 = 1$, $\eta_i = \lambda_{wl}^q / \lambda_i^q$ 为宽巷波长与频率 i 的波长比, $\zeta_{\Delta\nabla Li}^q = \varepsilon_{\Delta\nabla Lwl}^q - \varepsilon_{\Delta\nabla Li}^q$ 为组合观测值噪声,其值较小忽略不计;通过公式(15)能分别计算出L1载波浮点周跳值 $\Delta\tilde{N}\hat{N}_1^q$ 和L2载波浮点周跳值 $\Delta\tilde{N}\hat{N}_2^q$ 的值。

[0027] 通过式(15)利用差分载波观测值 $\Delta\tilde{N}\varphi_i^q$,差分宽巷载波观测值 $\Delta\tilde{N}\varphi_{1,2}^q$ 及宽巷周跳值 $\Delta\tilde{N}N_{wl}^q$ 计算L1载波浮点周跳值 $\Delta\tilde{N}\hat{N}_1^q$ 和L2载波浮点周跳值 $\Delta\tilde{N}\hat{N}_2^q$,由于组合载波噪声较小,可以忽略不计。

[0028] 步骤十二:求出L1载波浮点周跳值 $\Delta\tilde{N}\hat{N}_1^q$ 和L2载波浮点周跳值 $\Delta\tilde{N}\hat{N}_2^q$ 的值

后,通过四舍五入得到L1载波整周周跳值 $\Delta\nabla\tilde{N}_1^q$ 和L2载波上整周周跳值 $\Delta\nabla\tilde{N}_2^q$ 分别为:

$$\begin{aligned} \Delta\nabla\tilde{N}_1^q &= \text{round}[\Delta\nabla\hat{N}_1^q] \\ \Delta\nabla\tilde{N}_2^q &= \text{round}[\Delta\nabla\hat{N}_2^q] \end{aligned}; \quad (16)$$

其中, $\text{round}[\cdot]$ 表示四舍五入。

[0029] 对所求的L1载波浮点周跳值 $\Delta\tilde{N}\hat{N}_1^q$ 和L2载波浮点周跳值 $\Delta\tilde{N}\hat{N}_2^q$,进行四舍五入,得到L1载波整周周跳值 $\Delta\nabla\tilde{N}_1^q$ 和L2载波上整周周跳值 $\Delta\nabla\tilde{N}_2^q$ 。

[0030] 本发明的有益效果是:在观测环境较差的情况下,即使某个系统只观测了一颗卫

星,也可以进行周跳探测与修复,对某颗卫星进行周跳探测与修复的过程不受其他观测卫星的影响,避免了观测质量较差卫星的污染,从而大大提高了周跳修复的效率及可靠性。

[0031] 通过整数宽巷周跳值分别固定两个载波上的周跳的过程中,消除了几何距离及接收机钟差变化的影响,仅受到较小观测噪声的影响,可以直接对求得的载波周跳值进行四舍五入,计算的周跳值较为精确可靠。这种方法能分别探测出L1和L2载波上1周及以上的周跳,并且当两个载波上发生相同的周跳时,也可以正确的探测与修复。

[0032] 进一步地,如图2所示,基于上述一机多天线接收机的周跳修复方法,本发明还相应提供了一种终端,所述终端包括处理器10、存储器20及显示器30。图2仅示出了终端的部分组件,但是应理解的是,并不要求实施所有示出的组件,可以替代的实施更多或者更少的组件。

[0033] 所述存储器20在一些实施例中可以是所述终端的内部存储单元,例如终端的硬盘或内存。所述存储器20在另一些实施例中也可以是所述终端的外部存储设备,例如所述终端上配备的插接式硬盘,智能存储卡(Smart Media Card, SMC),安全数字(Secure Digital, SD)卡,闪存卡(Flash Card)等。进一步地,所述存储器20还可以既包括所述终端的内部存储单元也包括外部存储设备。所述存储器20用于存储安装于所述终端的应用软件及各类数据,例如所述安装终端的程序代码等。所述存储器20还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。在一实施例中,存储器20上存储有基于一机多天线接收机的周跳修复程序40,该基于一机多天线接收机的周跳修复程序40可被处理器10所执行,从而实现本申请中一机多天线接收机的周跳修复方法。

[0034] 所述处理器10在一些实施例中可以是一中央处理器(Central Processing Unit, CPU),微处理器或其他数据处理芯片,用于运行所述存储器20中存储的程序代码或处理数据,例如执行所述一机多天线接收机的周跳修复方法等。

[0035] 所述显示器30在一些实施例中可以是LED显示器、液晶显示器、触控式液晶显示器以及OLED(Organic Light-Emitting Diode,有机发光二极管)触摸器等。所述显示器30用于显示在所述终端的信息以及用于显示可视化的用户界面。所述终端的部件10-30通过系统总线相互通信。

[0036] 在一实施例中,当处理器10执行所述存储器20中基于一机多天线接收机的周跳修复程序40时实现如上一机多天线接收机的周跳修复方法的步骤。

[0037] 本发明还提供一种存储介质,其中,所述存储介质存储有基于一机多天线接收机的周跳修复程序,所述基于一机多天线接收机的周跳修复程序被处理器执行时实现如上所述的一机多天线接收机的周跳修复方法的步骤。

[0038] 综上所述,本发明提供一种一机多天线接收机的周跳修复方法,所述方法包括:获取码伪距观测值和载波相位观测值;建立站间及历元间差分模型;将双频载波观测值进行宽巷组合;联合伪距观测值通过最小二乘估计法计算宽巷周跳值;利用基于最小二乘估计调整的搜索算法搜索固定宽巷周跳值;分别计算各个载波上的周跳值;根据所述周跳值进行周跳修复。本发明在观测环境较差的情况下,即使某个系统只观测了一颗卫星,也可以进行周跳探测与修复,对某颗卫星进行周跳探测与修复的过程不受其他观测卫星的影响,避免了观测质量较差卫星的污染,从而大大提高了周跳修复的效率及可靠性。

[0039] 当然,本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程,

是可以通过计算机程序来指令相关硬件(如处理器,控制器等)来完成,所述的程序可存储于一计算机可读的存储介质中,所述程序在执行时可包括如上述各方法实施例的流程。其中所述的存储介质可为存储器、磁碟、光盘等。

[0040] 应当理解的是,本发明的应用不限于上述的举例,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

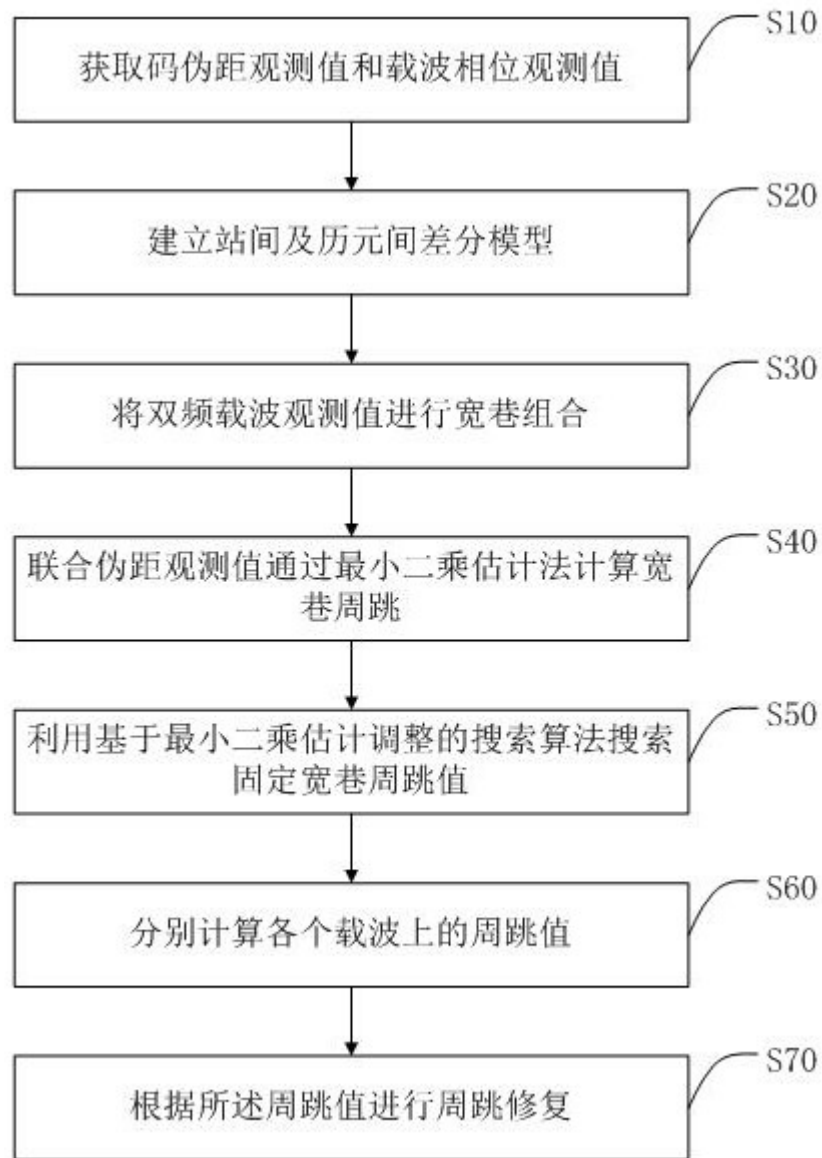


图1

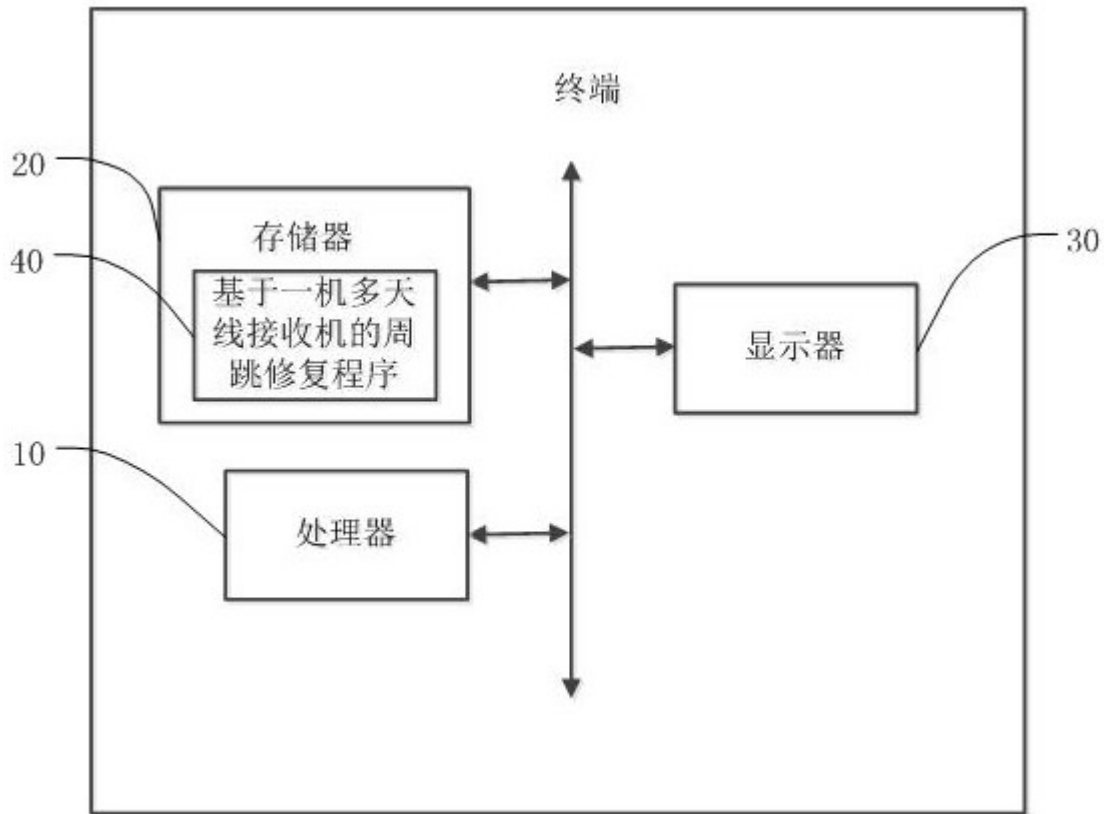


图2