(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109444935 A
(43)申请公布日 2019.03.08

(21)申请号 201811205995.X

(22)申请日 2018.10.17

(71)申请人 桂林电子科技大学
地址 541004 广西壮族自治区桂林市七星区金鸡路1号

(72)发明人 纪元法 贾茜子 孙希延 严素清

(74)专利代理机构 桂林市华杰专利商标事务所有限责任公司 45112
代理人 刘梅芳

(51)Int.Cl.
G01S 19/44(2010.01)

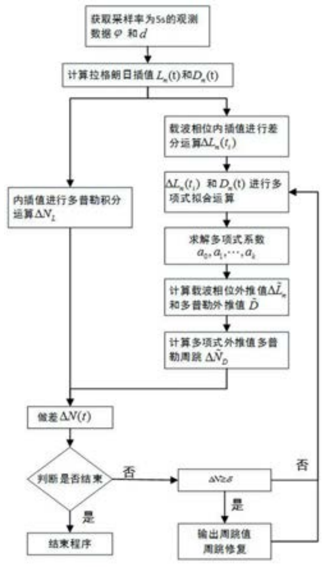
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种低采样率的多普勒周跳探测和修复方法

(57)摘要

本发明公开了一种低采样率的多普勒周跳探测和修复方法,其特征在于,包括如下步骤:1)获取L1频段的观测数据;2)计算拉格朗日内插值;3)载波相位内插值进行差分运算;4)载波载波相位差值进行多项式拟合运算;5)求解多项式系数;6)计算载波相位外推值;7)获得多普勒外推值;8)获得多项式外推值多普勒周跳;9)获得拉格朗日内插多普勒周跳;10)多项式外推多普勒周跳与拉格朗日内插多普勒周跳做差;11)设置门限;12)判断周跳;13)周跳修复。这种方法不仅可以探测出小周跳,并且在采样率比较低的情况下能提高探测周跳的精度。



CN 109444935 A

1.一种低采样率的多普勒周跳探测和修复方法，其特征在于，包括如下步骤：

1)获取L1频段的观测数据：分别获取T个GPS系统中采样率为5s的L1频段信号的载波相位观测值φ和多普勒观测值d；

2)计算拉格朗日内插值：采用拉格朗日插值方程将采样率为5s的载波相位观测值插值到1s采样间隔，获得载波相位内插值为公式(1)：

$$L_n(\mathrm{t})=\sum_{i=1}^{n}(\varphi_i\bullet\prod_{j=1,j\neq i}^{n}\frac{t-t_j}{t_i-t_j}),(\mathrm{i}=0,1,\cdots,n,t_i\neq t_j,\text{当}i\neq j)\qquad(1),$$

式中，在选取的观测历元区间$[t_i,t_j]$中，t为插值历元，φ_i为观测历元t_i对应的载波相位观测值，L_n为插值历元t对应的载波相位内插值，n为拉格朗日插值阶数，同理，采用拉格朗日插值方程将采样率为5s的多普勒观测值插值到1s采样间隔，获得多普勒内插值为公式(2)：

$$D_n(\mathrm{t})=\sum_{i=1}^{n}(d_i\bullet\prod_{j=1,j\neq i}^{n}\frac{t-t_j}{t_i-t_j}),(i=0,1,\cdots,n,t_i\neq t_j,\text{当}i\neq j)\qquad(2),$$

式中，d_i为观测历元t_i对应的多普勒观测值，D_n为插值历元t对应的多普勒内插值；

3)载波相位内插值进行差分运算：对载波相位内插值的相邻两个观测历元按照公式(3)进行历元间的差分运算：

$\Delta L_n(t_i)=L_n(t_{i+1})-L_n(t_i),(i=0,1,\cdots,n)$　(3)，

式中，ΔL_n为历元t_i对应的载波相位差值；

4)载波载波相位差值进行多项式拟合运算：将步骤3)中的载波相位差值$\Delta L_n(t)$进行多项式拟合运算，按照公式(4)将无周跳的m个内插值拟合成一个k阶多项式：

$$\begin{aligned}&\Delta L_n(t_i)=a_0+a_1(t_i-t_0)+a_2(t_i-t_0)^2+\cdots+a_k(t_i-t_0)^k,\\&(i=1,2,\cdots,m;m>k+1)\end{aligned}\qquad(4),$$

式中，t_i为拟合历元的观测时间，t_0为初始时间，$a_0,a_1,\cdots,a_k$为多项式系数；

5)求解多项式系数：采用最小二乘法求解多项式系数$a_0,a_1,\cdots,a_k$，公式(4)的矩阵形式可表示为：

$\beta=t\bullet\alpha$　(5)，

其中：

$$t=\begin{bmatrix}1&0&0&\cdots&0\\1&t_1-t_0&(t_1-t_0)^2&\cdots&(t_1-t_0)^k\\1&t_2-t_0&(t_2-t_0)^2&\cdots&(t_2-t_0)^k\\\vdots&\vdots&\vdots&\ddots&\vdots\\1&t_i-t_0&(t_i-t_0)^2&\cdots&(t_i-t_0)^k\end{bmatrix},\quad\alpha=\begin{bmatrix}a_0\\a_1\\a_2\\\vdots\\a_k\end{bmatrix},\quad\beta=\begin{bmatrix}\Delta L_n(t_0)\\\Delta L_n(t_1)\\\Delta L_n(t_2)\\\vdots\\\Delta L_n(t_k)\end{bmatrix}\qquad(6),$$

则：

$\alpha=(t^{T}t)^{-1}t^{T}\beta$　(7)，

式中，α为多项式系数$a_0,a_1,\cdots,a_k$的矩阵形式，β为载波相位差值$\Delta L_n(t)$的矩阵形式；

6)计算载波相位外推值：依据步骤5)获得的多项式系数外推出第m+1历元的载波相位外推值，如公式(8)：

$$\Delta\tilde{L}_n(t_{m+1}) = a_0 + a_1(t_{m+1}-t_0) + a_2(t_{m+1}-t_0)^2 + \cdots + a_k(t_{m+1}-t_0)^k \quad (8),$$

式中，$\Delta\tilde{L}_n$ 为历元 t_{m+1} 对应的载波相位外推值；

7)获得多普勒外推值：对步骤2)获得的多普勒内插值 D_n 进行多项式拟合，并外推第m+1历元的多普勒外推值，重复步骤4)获得多普勒外推值多项式拟合方程，如公式(9)：

$$D_n(t_i) = a_0 + a_1(t_i-t_0) + a_2(t_i-t_0)^2 + \cdots + a_k(t_i-t_0)^k,\quad (i=1,2,\cdots,m;m>k+1) \quad (9).$$

重复步骤5)和步骤6)，获得多普勒外推值，其中多项式外推方程为公式(10)：

$$\tilde{D}(t_{m+1}) = a_0 + a_1(t_{m+1}-t_0) + a_2(t_{m+1}-t_0)^2 + \cdots + a_k(t_{m+1}-t_0)^k \quad (10),$$

式中，$\tilde{D}$ 为历元 t_{m+1} 对应的多普勒外推值；

8)获得多项式外推值多普勒周跳：将载波相位外推值和多普勒外推值按照公式(11)进行多普勒积分运算：

$$\Delta\tilde{N}_D(t) = \Delta\tilde{L}_n(t) + (\tilde{D}(t) + \tilde{D}(t+1)) \bullet \frac{1}{2} \quad (11),$$

式中，$\Delta\tilde{N}_D$ 为多项式外推多普勒周跳；

9)获得拉格朗日内插多普勒周跳：依据步骤2)中的载波相位内插值和多普勒内插值按照公式(12)进行多普勒积分运算：

$$\Delta N_L(t) = \Delta L_n(t) + (D(t) + D(t+1)) \bullet \frac{1}{2} \quad (12)$$

式中，ΔN_L 为拉格朗日内插多普勒周跳；

10)多项式外推多普勒周跳与拉格朗日内插多普勒周跳按照公式(13)做差：

$$\Delta N(t) = \Delta\tilde{N}_D(t) - \Delta N_L(t) \quad (13)$$

式中，ΔN 为差后估计值；

11)设置门限：设置门限值 δ；

12)判断周跳：若 $\Delta N < \delta$，则第t历元没有发生周跳；若 $\Delta N > \delta$，则第t历元发生周跳，发生周跳后，对 ΔN 取整，输出取整后的周跳值 $\Delta\tilde{N}$；

13)周跳修复：对取整后的周跳值 $\Delta\tilde{N}$ 进行修复，将修复后的载波相位值和多普勒值返回步骤4)，进行下一个历元的周跳计算和判断，直至所有数据全部判断完，并对产生的周跳修复完毕。

2.根据权利要求1所述的低采样率的多普勒周跳探测和修复方法，其特征在于，步骤2)中所述的拉格朗日插值方程的阶数n为7阶。

3.根据权利要求1所述的低采样率的多普勒周跳探测和修复方法，其特征在于，步骤4)中k阶多项式中，m取值为14，k取值为4。

4.根据权利要求1所述的低采样率的多普勒周跳探测和修复方法，其特征在于，步骤11)中门限值 $\delta = 0.5$。

一种低采样率的多普勒周跳探测和修复方法

技术领域

[0001] 本发明应用于北斗未定导航定位领域，具体针对于滑坡形变监测高精度定位的改进周跳检测方法，尤其是一种低采样率的多普勒周跳探测和修复方法。

背景技术

[0002] 目前，周跳问题广泛存在于卫星导航定位等工程测量中，周跳会破坏卫星至接收机的距离观测值的变化规律，对定位产生影响，并且在高精度定位中，电离层、对流层、伪距和多路径效应等误差也会对周跳的探测产生很大的影响。一直以来，提出有效且实用的周跳探测方法是载波相位数据处理中周跳探测的难点，只有有效地探测出周跳，才能保证载波相位周跳修复以及整周模糊度固定的精确性。在卫星导航定位的周跳探测与修复中，多普勒观测值免受周跳的影响，是一种非常稳定并独立于载波相位的观测值，可辅助载波相位数据进行周跳探测。但随着采样率的降低，历元间各项误差的相关性也降低，周跳探测能力显著减小。

发明内容

[0003] 本发明的目的是针对现有技术的不足，而提供一种低采样率的多普勒周跳探测和修复方法。这种方法不仅可以探测出小周跳，并且在采样率比较低的情况下能提高探测周跳的精度。

[0004] 实现本发明目的的技术方案是：

[0005] 一种低采样率的多普勒周跳探测和修复方法，与现有技术不同在于，包括如下步骤：

[0006] 1)获取L1频段的观测数据：分别获取T个GPS系统中采样率为5s的L1频段信号的载波相位观测值φ和多普勒观测值d；

[0007] 2)计算拉格朗日内插值：采用拉格朗日插值方程将采样率为5s的载波相位观测值插值到1s采样间隔，获得载波相位内插值为公式(1)：

[0008] $$L_n(\mathrm{t})=\sum_{i=1}^{n}(\varphi_i\bullet\prod_{j=1,j\neq i}^{n}\frac{t-t_j}{t_i-t_j}),(\mathrm{i}=0,1,\cdots,n,t_i\neq t_j,\text{当}i\neq j)\qquad(1),$$

[0009] 式中，在选取的观测历元区间$[t_i,t_j]$中，t为插值历元，φ_i为观测历元t_i对应的载波相位观测值，L_n为插值历元t对应的载波相位内插值，n为拉格朗日插值阶数；

[0010] 同理，采用拉格朗日插值方程将采样率为5s的多普勒观测值插值到1s采样间隔，获得多普勒内插值为公式(2)：

[0011] $$D_n(\mathrm{t})=\sum_{i=1}^{n}(d_i\bullet\prod_{j=1,j\neq i}^{n}\frac{t-t_j}{t_i-t_j}),(i=0,1,\cdots,n,t_i\neq t_j,\text{当}i\neq j)\qquad(2),$$

[0012] 式中，d_i为观测历元t_i对应的多普勒观测值，D_n为插值历元t对应的多普勒内插值；

[0013] 3)载波相位内插值进行差分运算：对载波相位内插值的相邻两个观测历元按照公式(3)进行历元间的差分运算：

[0014]　$\Delta L_n(t_i)=L_n(t_{i+1})-L_n(t_i),(i=0,1,\cdots,n)$　(3)，

[0015]　式中，ΔL_n为历元t_i对应的载波相位差值；

[0016]　4)载波载波相位差值进行多项式拟合运算：将步骤3)中的载波相位差值$\Delta L_n(t)$进行多项式拟合运算，按照公式(4)将无周跳的m个内插值拟合成一个k阶多项式：

[0017]　$$\Delta L_n(t_i)=a_0+a_1(t_i-t_0)+a_2(t_i-t_0)^2+\cdots+a_k(t_i-t_0)^k,\quad (i=1,2,\cdots,m;m>k+1) \qquad (4),$$

[0018]　式中，t_i为拟合历元的观测时间，t_0为初始时间，$a_0,a_1,\cdots,a_k$为多项式系数；

[0019]　5)求解多项式系数：采用最小二乘法求解多项式系数$a_0,a_1,\cdots,a_k$，公式(4)的矩阵形式可表示为：

[0020]　$\beta=t\cdot\alpha$　(5)，

[0021]　其中：

[0022]　$$t=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & \cdots & 0\\ 1 & t_1-t_0 & (t_1-t_0)^2 & \cdots & (t_1-t_0)^k\\ 1 & t_2-t_0 & (t_2-t_0)^2 & \cdots & (t_2-t_0)^k\\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ 1 & t_i-t_0 & (t_i-t_0)^2 & \cdots & (t_i-t_0)^k\end{bmatrix},\ \alpha=\begin{bmatrix}a_0\\ a_1\\ a_2\\ \vdots\\ a_k\end{bmatrix},\ \beta=\begin{bmatrix}\Delta L_n(t_0)\\ \Delta L_n(t_1)\\ \Delta L_n(t_2)\\ \vdots\\ \Delta L_n(t_k)\end{bmatrix} \qquad (6),$$

[0023]　则：

[0024]　$\alpha=(t^Tt)^{-1}t^T\beta$　(7)，

[0025]　式中，α为多项式系数$a_0,a_1,\cdots,a_k$的矩阵形式，β为载波相位差值$\Delta L_n(t)$的矩阵形式；

[0026]　6)计算载波相位外推值：依据步骤5)获得的多项式系数外推出第m+1历元的载波相位外推值，如公式(8)：

[0027]　$$\Delta\tilde{L}_n(t_{m+1})=a_0+a_1(t_{m+1}-t_0)+a_2(t_{m+1}-t_0)^2+\cdots+a_k(t_{m+1}-t_0)^k \qquad (8),$$

[0028]　式中，$\Delta\tilde{L}_n$为历元t_{m+1}对应的载波相位外推值；

[0029]　7)获得多普勒外推值：对步骤2)获得的多普勒内插值D_n进行多项式拟合，并外推第m+1历元的多普勒外推值，重复步骤4)获得多普勒外推值多项式拟合方程，如公式(9)：

[0030]　$$D_n(t_i)=a_0+a_1(t_i-t_0)+a_2(t_i-t_0)^2+\cdots+a_k(t_i-t_0)^k,\quad (i=1,2,\cdots,m;m>k+1) \qquad (9).$$

[0031]　重复步骤5)和步骤6)，获得多普勒外推值，其中多项式外推方程为公式(10)：

[0032]　$$\tilde{D}(t_{m+1})=a_0+a_1(t_{m+1}-t_0)+a_2(t_{m+1}-t_0)^2+\cdots+a_k(t_{m+1}-t_0)^k \qquad (10),$$

[0033]　式中，$\tilde{D}$为历元t_{m+1}对应的多普勒外推值；

[0034]　8)获得多项式外推值多普勒周跳：将载波相位外推值和多普勒外推值按照公式(11)进行多普勒积分运算：

[0035]　$$\Delta\tilde{N}_D(t)=\Delta\tilde{L}_n(t)+(\tilde{D}(t)+\tilde{D}(t+1))\cdot\frac{1}{2} \qquad (11),$$

[0036]　式中，$\Delta\tilde{N}_D$为多项式外推多普勒周跳；

[0037] 9)获得拉格朗日内插多普勒周跳:依据步骤2)中的载波相位内插值和多普勒内插值按照公式(12)进行多普勒积分运算:

[0038] $$\Delta N_L(t)=\Delta L_n(t)+(D(t)+D(t+1))\bullet\frac{1}{2} \tag{12}$$

[0039] 式中,ΔN_L为拉格朗日内插多普勒周跳;

[0040] 10)多项式外推多普勒周跳与拉格朗日内插多普勒周跳按照公式(13)做差:

[0041] $$\Delta N(t)=\Delta\tilde{N}_D(t)-\Delta N_L(t) \tag{13}$$

[0042] 式中,ΔN为差后估计值;

[0043] 11)设置门限:设置门限值δ;

[0044] 12)判断周跳:若ΔN<δ,则第t历元没有发生周跳;若ΔN>δ,则第t历元发生周跳,发生周跳后,对ΔN取整,输出周跳值$\Delta\tilde{N}$;

[0045] 13)周跳修复:对取整后的周跳值$\Delta\tilde{N}$进行修复,将修复后的载波相位值和多普勒值返回步骤4),进行下一个历元的周跳计算和判断,直至所有数据全部判断完,并对产生的周跳修复完毕。

[0046] 步骤2)中所述的拉格朗日插值方程的阶数n为7阶,阶数太高或者太低都会引起插值精度的降低,并且阶数为7拉格朗日多项式在很多场合使用较多。

[0047] 步骤3)中,载波相位差值历元间做差,运用了差分的思想,使得到的观测值中的电离层延迟和对流层延迟基本被消除,其他各种误差的变化值也非常小,了削弱观测误差。

[0048] 步骤4)中k阶多项式中,m取值为14,k取值为4,多项式拟合的阶数选择中,由于星地距离对时间的四阶导数或者五阶导数一般已趋近于零了,其变化规律是随机的,无法再用多项式拟合了,因此阶数取4阶;拟合窗宽度越大,虽然外推值越准确,同时拟合后的中误差会很小,但导致计算量增大,但是当拟合窗宽度越小,外推的值会越粗糙。

[0049] 步骤11)中门限值δ=0.5,门限值是根据情况而设定的,当δ较大时,表示只有当观测值偏离外推值很大的时候才认为它是异常的;当δ较小时,表示当观测值离外推值较小的时候就认为它是异常值了,一般δ取0.2到0.9之间的数。

[0050] 本技术方案的优点在于:

[0051] 本技术方案提出低采样率的多普勒周跳探测和修复方法,主要包括拉格朗日插值和多项式拟合两部分。利用拉格朗日插值法将采样率较大的多普勒观测值内插到1s的采样间隔中,并对内插值进行多项式拟合,外推出噪声较小的多普勒值,最后将多项式拟合外推多普勒值与内插多普勒值相减得到周跳值。与现有技术相比,步骤3)中载波相位差值历元间做差,运用了差分的思想,使得到的观测值中的电离层延迟和对流层延迟基本被消除,其他各种误差的变化值也非常小,了削弱观测误差。而对于采样频率的问题,利用拉格朗日插值法将低采样频率的载波相位观测值插值到较高的采样频率,有助于提高拟合精度。因此本技术方案不仅可以消除电离层与几何距离产生的噪声干扰,减小对周跳产生的影响,同时提高了多普勒观测值的采样率和周跳的检测精度。

[0052] 这种方法不仅可以探测出小周跳,并且在采样率比较低的情况下能提高探测周跳的精度。

附图说明

[0053] 图1为实施例的方法流程示意图。

具体实施方式

[0054] 下面结合附图和实施例对本发明内容作进一步的阐述，但不是对本发明的限定。

[0055] 实施例：

[0056] 参照图1，一种低采样率的多普勒周跳探测和修复方法，包括如下步骤：

[0057] 1)获取L1频段的观测数据：分别获取T个GPS系统中采样率为5s的L1频段信号的载波相位观测值φ和多普勒观测值d；

[0058] 2)计算拉格朗日内插值：采用拉格朗日插值方程将采样率为5s的载波相位观测值插值到1s采样间隔，获得载波相位内插值为公式(1)：

[0059] $$L_n(\mathrm{t})=\sum_{i=1}^{n}(\varphi_i\bullet\prod_{j=1,j\neq i}^{n}\frac{t-t_j}{t_i-t_j}),(\mathrm{i}=0,1,\cdots,n,t_i\neq t_j,当i\neq j)\qquad(1),$$

[0060] 式中，在选取的观测历元区间$[t_i,t_j]$中，t为插值历元，φ_i为观测历元t_i对应的载波相位观测值，L_n为插值历元t对应的载波相位内插值，n为拉格朗日插值阶数，同理，采用拉格朗日插值方程将采样率为5s的多普勒观测值插值到1s采样间隔，获得多普勒内插值为公式(2)：

[0061] $$D_n(\mathrm{t})=\sum_{i=1}^{n}(d_i\bullet\prod_{j=1,j\neq i}^{n}\frac{t-t_j}{t_i-t_j}),(i=0,1,\cdots,n,t_i\neq t_j,当i\neq j)\qquad(2),$$

[0062] 式中，d_i为观测历元t_i对应的多普勒观测值，D_n为插值历元t对应的多普勒内插值；

[0063] 3)载波相位内插值进行差分运算：对载波相位内插值的相邻两个观测历元按照公式(3)进行历元间的差分运算：

[0064] $$\Delta L_n(t_i)=L_n(t_{i+1})-L_n(t_i),(i=0,1,\cdots,n)\qquad(3),$$

[0065] 式中，ΔL_n为历元t_i对应的载波相位差值；

[0066] 4)载波载波相位差值进行多项式拟合运算：将步骤3)中的载波相位差值$\Delta L_n(t)$进行多项式拟合运算，按照公式(4)将无周跳的m个内插值拟合成一个k阶多项式：

[0067] $$\Delta L_n(t_i)=a_0+a_1(t_i-t_0)+a_2(t_i-t_0)^2+\cdots+a_k(t_i-t_0)^k,\\(i=1,2,\cdots,m;m>k+1)\qquad(4),$$

[0068] 式中，t_i为拟合历元的观测时间，t_0为初始时间，$a_0,a_1,\cdots,a_k$为多项式系数；

[0069] 5)求解多项式系数：采用最小二乘法求解多项式系数$a_0,a_1,\cdots,a_k$，公式(4)的矩阵形式可表示为：

[0070] $$\beta=t\bullet\alpha\qquad(5),$$

[0071] 其中：

[0072] $$t=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & \cdots & 0\\ 1 & t_1-t_0 & (t_1-t_0)^2 & \cdots & (t_1-t_0)^k\\ 1 & t_2-t_0 & (t_2-t_0)^2 & \cdots & (t_2-t_0)^k\\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ 1 & t_i-t_0 & (t_i-t_0)^2 & \cdots & (t_i-t_0)^k\end{bmatrix},\ \alpha=\begin{bmatrix}a_0\\ a_1\\ a_2\\ \vdots\\ a_k\end{bmatrix},\ \beta=\begin{bmatrix}\Delta L_n(t_0)\\ \Delta L_n(t_1)\\ \Delta L_n(t_2)\\ \vdots\\ \Delta L_n(t_k)\end{bmatrix}\qquad (6),$$

[0073] 则：

[0074] $\alpha=(t^Tt)^{-1}t^T\beta$ (7)，

[0075] 式中，α为多项式系数$a_0,a_1,\cdots,a_k$的矩阵形式，β为载波相位差值$\Delta L_n(t)$的矩阵形式；

[0076] 6)计算载波相位外推值：依据步骤5)获得的多项式系数外推出第m+1历元的载波相位外推值，如公式(8)：

[0077] $$\Delta\tilde{L}_n(t_{m+1})=a_0+a_1(t_{m+1}-t_0)+a_2(t_{m+1}-t_0)^2+\cdots+a_k(t_{m+1}-t_0)^k\qquad (8),$$

[0078] 式中，$\Delta\tilde{L}_n$为历元t_{m+1}对应的载波相位外推值；

[0079] 7)获得多普勒外推值：对步骤2)获得的多普勒内插值D_n进行多项式拟合，并外推第m+1历元的多普勒外推值，重复步骤4)获得多普勒外推值多项式拟合方程，如公式(9)：

[0080] $$D_n(t_i)=a_0+a_1(t_i-t_0)+a_2(t_i-t_0)^2+\cdots+a_k(t_i-t_0)^k,\quad (i=1,2,\cdots,m;m>k+1)\qquad (9).$$

[0081] 重复步骤5)和步骤6)，获得多普勒外推值，其中多项式外推方程为公式(10)：

[0082] $$\tilde{D}(t_{m+1})=a_0+a_1(t_{m+1}-t_0)+a_2(t_{m+1}-t_0)^2+\cdots+a_k(t_{m+1}-t_0)^k\qquad (10),$$

[0083] 式中，$\tilde{D}$为历元t_{m+1}对应的多普勒外推值；

[0084] 8)获得多项式外推值多普勒周跳：将载波相位外推值和多普勒外推值按照公式(11)进行多普勒积分运算：

[0085] $$\Delta\tilde{N}_D(t)=\Delta\tilde{L}_n(t)+(\tilde{D}(t)+\tilde{D}(t+1))\cdot\frac{1}{2}\qquad (11),$$

[0086] 式中，$\Delta\tilde{N}_D$为多项式外推多普勒周跳；

[0087] 9)获得拉格朗日内插多普勒周跳：依据步骤2)中的载波相位内插值和多普勒内插值按照公式(12)进行多普勒积分运算：

[0088] $$\Delta N_L(t)=\Delta L_n(t)+(D(t)+D(t+1))\cdot\frac{1}{2}\qquad (12)$$

[0089] 式中，ΔN_L为拉格朗日内插多普勒周跳；

[0090] 10)多项式外推多普勒周跳与拉格朗日内插多普勒周跳按照公式(13)做差：

[0091] $$\Delta N(t)=\Delta\tilde{N}_D(t)-\Delta N_L(t)\qquad (13)$$

[0092] 式中，ΔN为差后估计值；

[0093] 11)设置门限：设置门限值δ；

[0094] 12)判断周跳：若ΔN＜δ，则第t历元没有发生周跳；若ΔN＞δ，则第t历元发生周跳，发生周跳后，对ΔN取整，输出取整后的周跳值$\Delta\tilde{N}$；

[0095] 13)周跳修复:对取整后的周跳值$\Delta\tilde{N}$进行修复,将修复后的载波相位值和多普勒值返回步骤4),进行下一个历元的周跳计算和判断,直至所有数据全部判断完,并对产生的周跳修复完毕。

[0096] 本例步骤2)中所述的拉格朗日插值方程的阶数n为7阶,阶数太高或者太低都会引起插值精度的降低。

[0097] 步骤3)中,载波相位差值历元间做差,运用了差分的思想,使得到的观测值中的电离层延迟和对流层延迟基本被消除,其他各种误差的变化值也非常小,了削弱观测误差。

[0098] 步骤4)中k阶多项式中,m取值为14,k取值为4,多项式拟合的阶数选择中,由于星地距离对时间的四阶导数或者五阶导数一般已趋近于零了,其变化规律是随机的,无法再用多项式拟合了,因此阶数取4阶;拟合窗宽度越大,虽然外推值越准确,同时拟合后的中误差会很小,但导致计算量增大,但是当拟合窗宽度越小,外推的值会越粗糙,本例中,通过取不同的值进行试验,确定在周跳探测时取m=14比较合适。

[0099] 步骤11)中门限值δ=0.5,门限值是根据情况而设定的,当δ较大时,表示只有当观测值偏离外推值很大的时候才认为它是异常的;当δ较小时,表示当观测值离外推值较小的时候就认为它是异常值了,一般δ取0.2到0.9之间的数,本例中,经多次取值试验,确认δ=0.5可行。

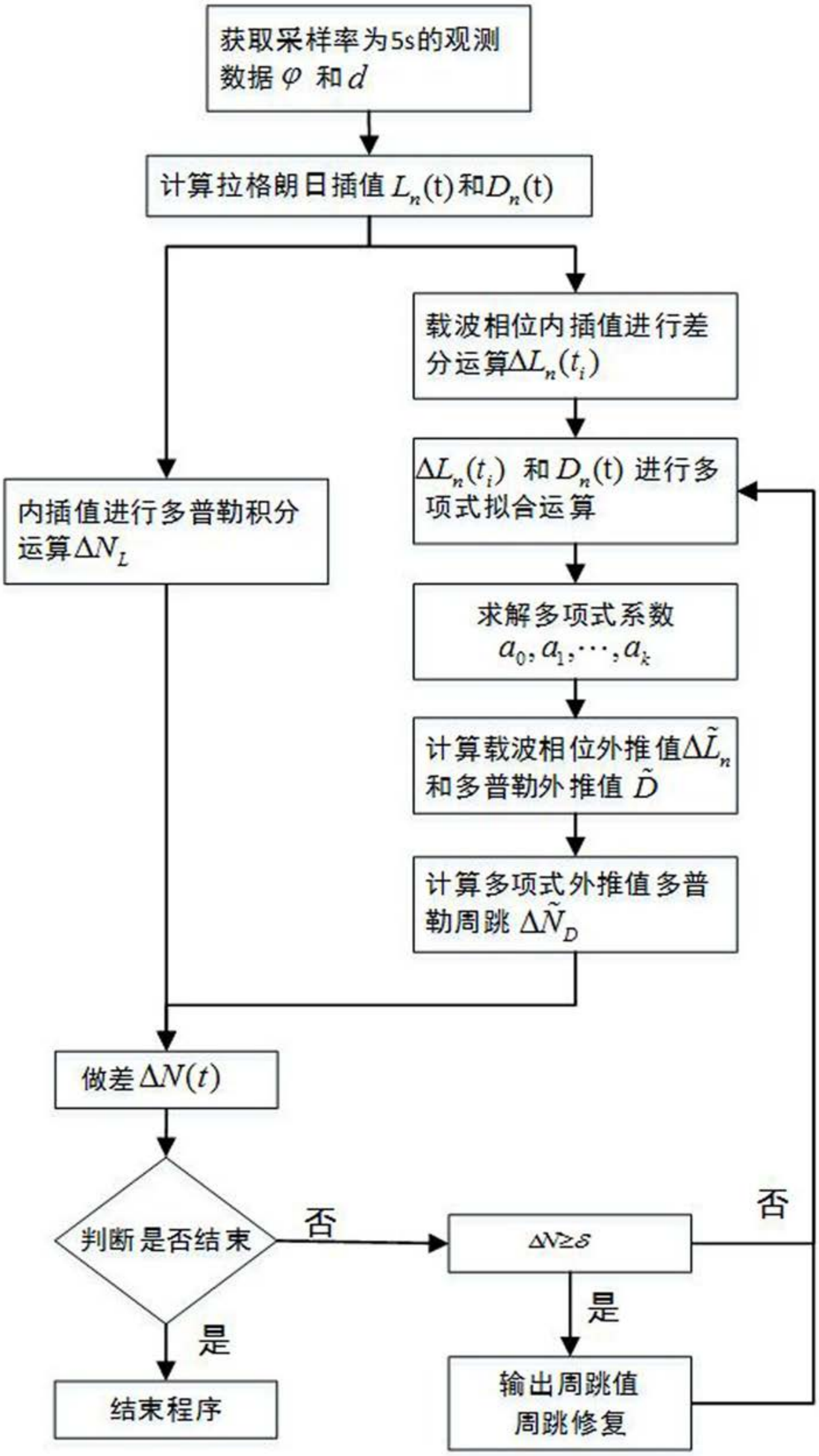

获取采样率为5s的观测数据φ 和d
计算拉格朗日插值$L_n(t)$和$D_n(t)$
载波相位内插值进行差分运算$\Delta L_n(t_i)$
$\Delta L_n(t_i)$ 和$D_n(t)$ 进行多项式拟合运算
内插值进行多普勒积分运算ΔN_L
求解多项式系数$a_0, a_1, \cdots, a_k$
计算载波相位外推值$\Delta\tilde{L}_n$和多普勒外推值$\tilde{D}$
计算多项式外推值多普勒周跳$\Delta\tilde{N}_D$
做差$\Delta N(t)$
判断是否结束
否
$\Delta N \geq \delta$
否
是
是
结束程序
输出周跳值周跳修复

图1