

# GPS 参考站观测与记录时间不一致问题的解决方法<sup>\* 1</sup>

张 勇<sup>1,2)</sup> 朱丽强<sup>1,2)</sup> 王 建<sup>3)</sup>  
(1)苏州工业园区格网信息科技有限公司,苏州 215027  
(2)江苏 CORS 苏州分中心,苏州 215027  
(3)四川省第一测绘工程院,成都 610100

**摘 要** 在对 GPS 参考站数据的周跳探测中,发现 Rinex 文件中的记录时刻与观测时间不一致,记录时间的不一致导致利用不同方法探测周跳的结果出现矛盾。针对该问题,提出了采用组合周跳探测与观测历元修复等两种解决方法,并验证了两种方法的可行性与有效性。

**关键词** GPS 参考站;周跳探测;观测与记录时刻不一致;电离层无关组合;WM 组合观测值  
**中图分类号**:P207 **文献标识码**:A

## SOLUTION OF INCONSISTENCY BETWEEN GPS REFERENCE STATION OBSERVING AND RECORDING TIME

Zhang Yong<sup>1,2)</sup>, Zhu Liqiang<sup>1,2)</sup> and Wang Jian<sup>3)</sup>

(1) Suzhou Industrial Park Geone Information Technology Co., Ltd., Suzhou 215027  
(2) Suzhou Branch of Jiangsu Province CORS, Suzhou 215027  
(3) Sichuan No. 1 Institute of Surveying and Mapping Engineering, Chengdu 610100

**Abstract** The inconsistency of time recorded in Rinex file with real observation time was discovered in cycle slip detection of GPS reference station data, and the inconsistency leads to the difference between cycle slip. Two methods to solve the inconsistency was proposed. The first one is “combined cycle clip detection method”, and the second one is “Observation epoch repair method”. Simulation calculating proves each of the methods is feasible and effective.

**Key words**: GPS reference station; cycle slip detection; inconsistency between observation and recording time; ionosphere-independent combination; WM combination observation

## 1 引言

为提高 GPS 定位精度及可靠性,在利用 GPS 定位时,要探测和修复 GPS 载波相位的周跳。探测周跳的方法有多种<sup>[1-6]</sup>,如多项式拟合法、高次差法、电离层残差法等,基于移动窗口的抗差 Chebyshev 多项式的拟合探测<sup>[1]</sup>、基于抗差 Chebyshev 多项式

的相位伪距探测等。

本文采用这些方法对 GPS 参考站数据进行周跳探测,结果其中某个 GPS 参考站数据的周跳探测结果出现了矛盾,经过分析,发现该参考站数据的观测时刻与记录时刻不一致,针对该问题,提出了两种解决方法。

\* 收稿日期:2013-09-06

基金项目:精密工程与工业测量国家测绘地理信息局重点实验室开放基金(PF2011—2)

作者简介:张勇,男,1988年生,硕士,主要研究方向为 GNSS 精密定位技术与大地测量学。E-mail:zhangyong1361@163.com.

## 2 问题的发现与证明

### 2.1 问题的发现

对 SCIGN 网中 VTIS 参考站 2012 年 7 月 18 日的观测数据进行周跳探测,采用不同的方法得到的结果互相矛盾,经过分析发现是在该接收机 Rinex 观测文件中,观测数据的记录时间(2012.07.18 00:23:30)与观测时间(00:23:29.999,两者相差 1 ms)不一致,导致计算与观测的有关数据发生错误,在采用以观测间隔为参数的多项式拟合法和高次差法探测周跳时,使模糊度固定错误。

如图 1,选取 SCIGN 网中的 4 个参考站 WMAP、PSDM、WRHS、VTIS,构成 6 条基线。对 6 条基线进行计算,发现含有 VTIS 站的基线存在异常。

以 WMAP-VTIS 基线为例,采用抗差 Chebyshev 多项式探测周跳,发现第 95 个历元所有观测的双差相位观测值均发生周跳,采用高次差法与常规多项式法进行周跳探测,周跳同样存在(图 2)。

以 G04-02 双差卫星为例,采用 WM 组合观测值求宽巷模糊度并进行滤波,其结果见图 3。

由图 3 可见,WM 组合观测值未发现周跳。按卡尔曼滤波方式求得的滤波解见图 4。从图 4 可以

看出, $\Delta \nabla N_1$  在 95 历元处发生了跳变,说明之前的周跳修复有误,周跳探测结果存在错误。

图 5 是利用观测值直接计算的每个历元的  $\Delta \nabla N_1$ 。由图 5 可以看出,在第 95 个历元处存在 -3 周的周跳,这与之之前修复的 -3 周周跳数值一样,说明第 95 历元处的观测数据可能不存在周跳,而错误地进行了 -3 周的修复。

再利用电离层残差法对第 95 历元附近数据进行周跳探测,结果见表 1。从表 1 可以看出,各差值均小于阈值 0.07,表明第 95 历元没有发生周跳。

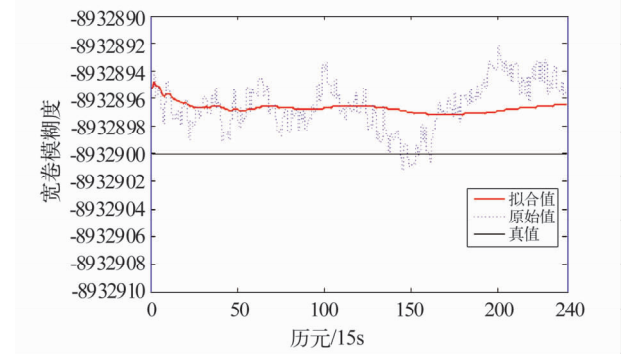


图 3 利用 WM 组合(真实站星距)求得的宽巷模糊度  
Fig. 3 Ambiguity of wide lane got by WM combination (real station distance)

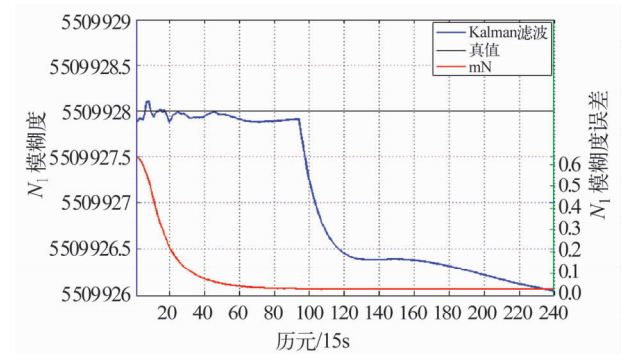


图 4 卡尔曼滤波求取的  $\Delta \nabla N_1$   
Fig. 4  $\Delta \nabla N_1$  by Kalman filter

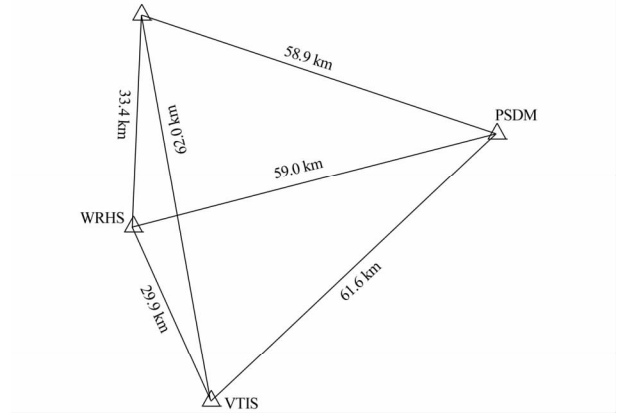


图 1 参考站分布图  
Fig. 1 Distribution of reference stations

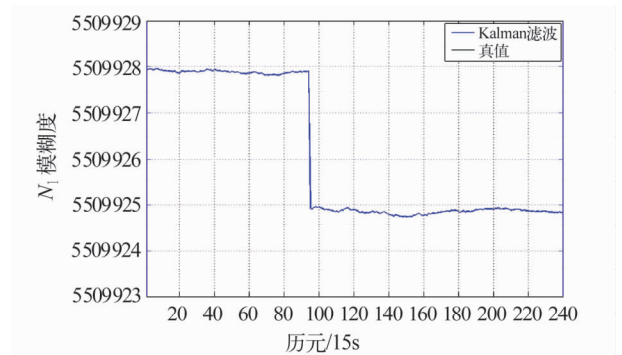


图 2 周跳探测结果  
Fig. 2 Results of cycle slip detection

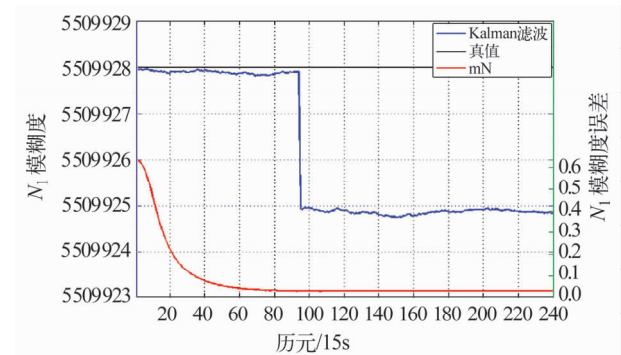


图 5 直接计算得到的  $\Delta \nabla N_1$   
Fig. 5  $\Delta \nabla N_1$  by observation data

表 1 电离层残差法周跳探测结果

Tab.1 Cycle slip detection results with ionosphere residual method

历元	GPS 周内秒(s)	L1(周)	L2(周)	组合值	差值
93	260 580.000	-5 347 844.632	-5 294 300.281	1 446 507.411	
94	260 595.000	-5 347 847.999	-5 294 302.903	1 446 507.409	-0.002
95	260 610.000	-5 347 855.538	-5 294 308.785	1 446 507.419	0.010
96	260 625.000	-5 347 861.917	-5 294 313.771	1 446 507.439	0.020
97	260 640.000	-5 347 869.865	-5 294 319.960	1 446 507.433	-0.005

注:阈值取组合观测值的 3 倍中误差,即  $\phi_{\text{Limit}} = 3 \times 0.023 = 0.07$

对原始观测数据不进行周跳修复直接进行宽巷模糊度固定并分解  $\Delta \nabla N_1$ ,结果如图 6。从图 6 可以看出, $\Delta \nabla N_1$  的滤波过程很平稳,固定于 5 509 928。

根据计算与分析,可以认为原始数据中不含周跳,采用与时间相关的抗差多项式法和高次差法进行周跳探测,探测结果是错误的。

为验证抗差多项式法和高次差法探测周跳的能力,在第 51 历元处  $L_1$  的双差相位观测值上人为地加入 1 周的周跳,再进行周跳探测实验,周跳得到了准确的发现,修复后得到与图 6 一致的固定的  $\Delta \nabla N_1$ 。如果不加以修复,其结果见图 7。实验表明,抗差多项式法和高次差法探测双差观测值周跳的能力为 1 周,与文献[1]中的结论一致。说明这两种探测方法本身没有问题。

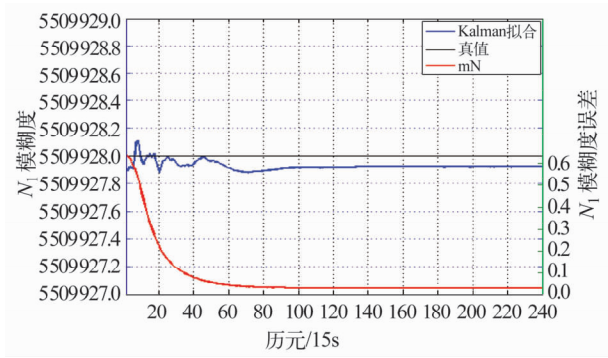


图 6 正确固定  $\Delta \nabla N_1$

Fig.6 Correct fixed  $\Delta \nabla N_1$

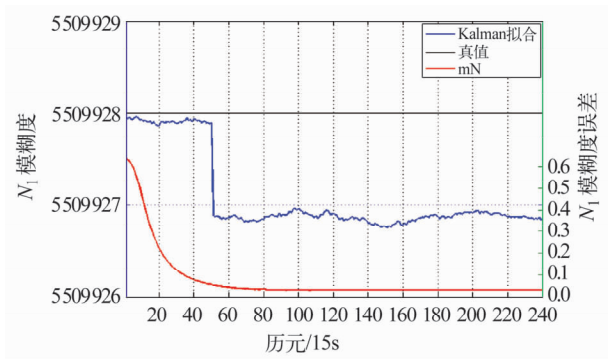


图 7 加入 1 周周跳而不进行修复得到的  $\Delta \nabla N_1$

Fig.7 The  $\Delta \nabla N_1$  with 1 cycle slip

由于得出 VTIS 参考站接收机的真实观测间隔与所设置的固定观测间隔不一致,使得抗差多项式法和高次差法无法获得正确的周跳探测结果。

2.2 证明

每个历元卫星信号的发生时刻为

$$t_s = t_k + V_{ir} - \Delta T_i \tag{1}$$

$$\Delta T_i = \frac{\rho_i}{c} \tag{2}$$

式中  $t_k$  为记录时间,  $V_{ir}$  为观测时刻接收机钟差改正数,  $\Delta T_i$  为信号从卫星  $i$  传播至接收机所需的时间。

由于计算卫星位置时需要用到卫星信号的发生时刻  $t_s$ ,而计算  $t_s$  又需要用到卫星位置  $\rho_i$  ( $\rho_i$  根据卫星坐标和测站坐标反算),所以需要进行迭代计算。

虽然观测文件中的记录时间  $t_k$  可能有误,但 Rinex 观测文件中的记录时间起到计算信号发射初始值的作用,在多次迭代中便会得到真实的卫星信号发射时刻,与记录时间的微小偏差量无关。由于卫星在一段时间内的运行轨迹的变化比较平缓,且观测是等采样率的,那么卫星发射时刻的时间差约等于采样间隔,如果哪个历元卫星信号发射时刻的间隔发生了跳变,就说明该历元的实际观测时间和观测文件中记录的整数秒时间存在差异。现计算 G04 号卫星第 81—100 个历元的信号发射时刻间隔,结果见表 2。

表 2 G04 卫星信号发射时间间隔表(单位:s)

Tab.2 Signal emission interval of satellite G04 (unit: s)

历元	文件中记录时间 (GPS 周内秒)	G04 卫星信号 发射时刻	卫星信号 发射时刻间隔
91	260 550.000	260 549.931 762 372	15.000
92	260 565.000	260 564.931 755 361	15.000
93	260 580.000	260 579.931 748 260	15.000
94	260 595.000	260 594.931 741 071	15.000
95	260 610.000	260 609.930 733 789	14.999
96	260 625.000	260 624.930 726 414	15.000
97	260 640.000	260 639.930 718 954	15.000
98	260 655.000	260 654.930 711 401	15.000
99	260 670.000	260 669.930 703 758	15.000
100	260 685.000	260 684.930 696 027	15.000

由表 2 可见,第 95 历元信号发射时刻的间隔发生了 1 ms 的跳变。所以,第 95 个历元的实际观测时刻为 120 718 002 329. 999,且后面历元的真正观测时间均应在记录的时间上减掉 1 ms。由于 GPS 参考站是连续观测的,会不断更换双差参考星,因此只有在包含跳变时刻的计算时段内才会出现异常。

3 解决方法

3.1 方法 1

利用多种方法进行组合探测。表 2 表明,记录时间与观测时间相差 1 ms,造成约 4 周的假周跳,在利用多项式等方法探测时,设置探测的最小周跳为 4 周,再利用电离层残差法探测小于 4 周的周跳。采用该方法对实验数据再次进行计算,得到  $\Delta \nabla N_1$  的计算结果如图 8。可以看出,图 8 和图 6 是一致的,表明组合周跳探测的结果是正确的。

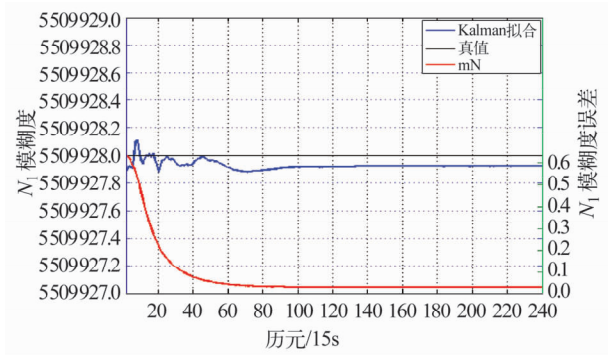


图 8 经方案 1 正确固定的  $\Delta \nabla N_1$   
Fig. 8 Correct fixed  $\Delta \nabla N_1$  by method 1

采用方法 1 如果遇到两种时刻不一致时,需要设置多大的周跳值,则需要综合多种方法进行探测。

3.2 方法 2

在数据预处理时对每个历元的信号发射时刻进行计算,检查是否出现跳变,如果出现跳变,则对 Rinex 观测文件中的观测时刻进行整 ms 数的修正。

对实验数据进行探测后发现在 95 历元处存在跳变。计算结果见表 3。

表 3 修正后的观测时间表(单位:s)

Tab.3 The adjusted observation schedule (unit: s)				
历元	文件中记录时间 (GPS 周内秒)	G04 卫星信号 发射时刻	卫星信号 发射时刻间隔	
91	260 550.000	260 549.931 762 372	15.000	
92	260 565.000	260 564.931 755 361	15.000	
93	260 580.000	260 579.931 748 260	15.000	
94	260 595.000	260 594.931 741 071	15.000	
95	260 609.999	260 609.930 733 789	14.999	
96	260 624.999	260 624.930 726 414	15.000	
97	260 639.999	260 639.930 718 954	15.000	
98	260 654.999	260 654.930 711 401	15.000	
99	260 669.999	260 669.930 703 758	15.000	
100	260 684.999	260 684.930 696 027	15.000	

利用修正后的时间再采用抗差多项式法计算  $\Delta \nabla N_1$ ,其结果如图 9。可以看出,图 9 与图 6 一致,表明经过修复后得到的实际观测时间是正确的。

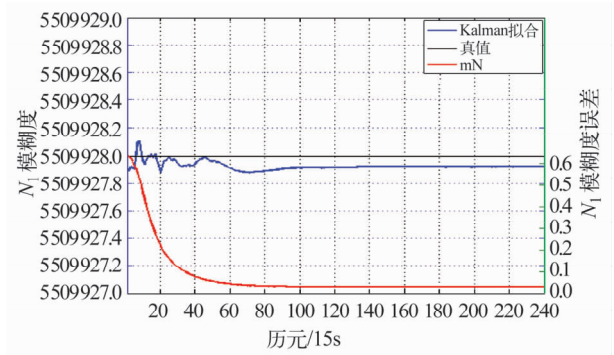


图 9 经方法 2 修正后的  $\Delta \nabla N_1$   
Fig. 9 Correct fixed  $\Delta \nabla N_1$  by method 2

4 结论

- 1) 当接收机观测值的记录时间与观测时间不一致时,采用与时间相关的周跳探测方法会使探测结果产生错误,严重时将导致模糊度固定失败和定位错误;
- 2) GPS 周跳探测不能只采用一种类型的方法,需采用多种类型的组合探测法,确保周跳探测结果的可靠性;
- 3) 建议使用第 2 种方法对观测数据进行预处理,以便发现并解决问题。

参 考 文 献

1 刘宁,熊永良,徐韶光. 基于移动窗口的抗差 Chebyshev 多项式拟合探测与修复单频 GPS 周跳[J]. 大地测量与地球动力学,2011,(2): 94-98. (Liu Ning,Xiong Yongliang and Xu Shaoguang. Cycle slip detection and correction for single-frequency GPS data based on sliding window of Chebyshev polynomial fitting of robust estimation[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2011,(2):94-98)

2 王建,张献州,李伟. 基于抗差 Chebyshev 多项式的相位伪距周跳探测与修复算法[J]. 测绘与空间地理信息,2012,(9):26-28. (Wang Jian,Zhang Xianzhou and Li Wei. Cycle slip detection and correction based on Chebyshev polynomial of robust estimation[J]. Geomatics & Spatial Information Technology,2012,(9):26-28)

3 李明,高星伟,徐爱功. 一种改进的周跳多项式拟合方法[J]. 测绘科学,2008,(4):82-83,99. (Li Ming,Gao Xingwei and Xu Aigong. A modified polynomial fitting for cycle-slip processing[J]. Science of Surveying and Mapping,2008,(4):82-83,99)

4 石双忠,冯尊德. 利用多项式拟合预测残差修正法估算周跳值[J]. 测绘科学,2013,(1):33-35. (Shi Shuangzhong and Feng Zunde. Estimation of GPS carrier cycle slips value using correction of residuals predicted by polynomial fitting[J]. Science of Surveying and Mapping,2013,(1):33-35)

5 蔡诗响,等. 一种基于多项式拟合的单频周跳探测改进方

法[J]. 测绘信息与工程,2009,34(5):1-3. (Cai Shixiang, et al. A modified method for cycle slip detection based on polynomial fitting[J]. Journal of Geomatics, 2009, 34(5):1-3)

6 罗峰,姚宜斌,宋伟伟. 综合利用多项式拟合和载波相位变化率探测单频 GPS 周跳[J]. 全球定位系统,2007,(05):9-13. (Luo Feng, Yao Yi bin and Song Weiwei. Detecting cycle slip using polynomial fitting and carrier phase rate method[J]. GNSS Word of CHina,2007,(5):9-13)

7 杨剑,等. GPS 接收机钟跳研究[J]. 大地测量与地球力学,2007,(3):123-127. (Yang Jian, et al. On clock jumps of GPS receiver[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2007,(3):123-127)

8 熊永良,等. 虚拟参考站技术中对流层误差建模方法研究[J]. 测绘学报,2006,(2):118-121,132. (Xiong Yongliang, et al. Study on modeling tropospheric delay in virtual reference station[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2006,(2):118-121,132)

(上接第 147 页)

4 Julien M, et al. A generalized frequency domain reflectometry modeling technique for soil electrical properties determination[J]. Vadose Zone Journal, 2010, 9(4): 1 063 - 1 072.

5 Puryear C I and Castagna J P. Layer-thickness determination and stratigraphic interpretation using spectral inversion: Theory and application[J]. Geophysics, 2008, 73(2): 37-48.

6 黄忠来, 张建中. 探地雷达薄层信号的谱反演算法[J]. 大地测量与地球动力学, 2011,(4): 154-159. (Huang Zhonglai and Zhang Jianzhong. A spectral inversion algorithm

for GPR signals of thin layers[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2011,(4): 154-159)

7 黄忠来, 张建中. 利用探地雷达频谱反演层状介质几何与电性参数[J]. 地球物理学报, 2013, 56(4): 1 381 - 1 391. (Huang Zhonglai and Zhang Jianzhong. An inversion method for inverting geometric and electric parameters of layered media using spectrum of GPR signal[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2013, 56(4): 1 381-1 391.

8 Giannopoulos A. Modeling ground penetrating radar by GprMax[J]. Construction and Building Materials, 2005, 19: 755-762.