

# GPS 周跳探测的两种方法研究

毋利娜<sup>1,2</sup>, 张书毕<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学 环境与测绘学院 江苏 徐州 221008; 2. 江苏省资源环境信息工程重点实验室 江苏 徐州 221008)

摘要:在 GPS 定位中,有时需要测站的高精度坐标,为此模糊度的解算和周跳的探测与修复成为关键问题,在周跳探测中,特别是小周跳的探测成为当今的热点问题。本文中利用接收机的双频观测值进行周跳的探测研究,通过实例分析,证明这两种方法可行。

关键词:GPS; 周跳探测; 双频载波相位法; 电离层残差法

中图分类号:P228.4 文献标识码:B 文章编号:1672-5867(2011)04-0150-03

## On Two Methods for GPS Cycle Slip Detection

WU Li-na<sup>1,2</sup> ZHANG Shu-bi<sup>1</sup>

(1. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Resources and Environmental Information Engineering, Xuzhou 221008, China)

Abstract: The high precision coordinates of survey station are required in GPS positioning. Therefore the integer ambiguity resolution and cycle slip detection and recovery become the core questions in GPS data processing. In cycle slip detection, the small cycle slip detection is becoming the hot issue nowadays. This paper studied the cycle slip detection using the dual frequency observations of GPS receiver. Based on the analysis on experiments, it verified the feasibility of the two methods.

Key words: GPS; cycle slip detection; dual frequency carrier phase method; Ionosphere residual method

### 0 引言

在 GPS 定位中, GPS 相位整周模糊度的解算和周跳的探测与修复是必须要解决的问题。接收机捕获卫星信号之后只要跟踪不中断,接收机便会给出在跟踪期间载波相位整周数的变化。但由于在现实环境中,信号很容易受到周围建筑物、树木等的遮挡,便引起了跟踪信号的中断,导致失锁的发生。尽管接收机在恢复跟踪之后所测的载波相位的小数部分不受失锁的影响,但整周计数由于失去在失锁期间的整周相位观测值,致使重新跟踪后的观测值均含有相同的整周误差,这个误差就是周跳。周跳的探测可通过几种方法来构造一个检验量进行检测。

### 1 利用双频观测值来进行检测

假设由测站  $T_u$  观测卫星  $G^s$ , 相位观测值为  $\varphi_u^s$ , 测相伪距观测方程通常可写为:

$$\varphi_u^s(t)\lambda = \rho_u^s(t) + c[\delta t_u(t) - \delta t^s(t)] - \lambda N_u^s(t_0) + \Delta_{u,I}^s(t) + \Delta_{u,T}^s(t)$$

其中  $\rho_u^s(t)$  为观测历元  $t$  测站  $T_u$  至卫星  $G^s$  的站星距离;  $\delta t_u(t)$ 、 $\delta t^s(t)$  分别为观测历元  $t$  的接收机钟差和卫星钟

差;  $N_u^s(t_0)$  为起始历元整周模糊度;  $\Delta_{u,I}^s(t)$ 、 $\Delta_{u,T}^s(t)$  为观测历元  $t$  的电离层、对流层对测向伪距的影响。

对观测历元  $t$  和  $t+1$  的相位观测值求差,如果不发生周跳,由于两个观测历元比较接近,大气的变化不大,电离层和对流层的影响可以消除<sup>[1]</sup>。因此可得:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_u^s\lambda &= [\varphi_u^s(t+1) - \varphi_u^s(t)]\lambda \\ &= \rho_u^s(t+1) - \rho_u^s(t) + c[(\delta t_u(t+1) - \delta t^s(t+1)) - (\delta t_u(t) - \delta t^s(t))] \\ &= \Delta\rho_u^s + c[\delta t_u(t+1) - \delta t^s(t+1) - (\delta t_u(t) - \delta t^s(t))] \end{aligned}$$

对于双频相位观测值可得:

$$u = \Delta\varphi_{u,L_1}^s\lambda_1 - \Delta\varphi_{u,L_2}^s\lambda_2 = 0$$

令:

$$v = \Delta\varphi_{u,L_1}^s - \frac{\lambda_2}{\lambda_1}\Delta\varphi_{u,L_2}^s$$

由于  $R = \varphi\lambda$ ,  $R$  为站星距离,所以双频伪距观测值可得:

$$v = \frac{\Delta R_{u,L_1}^s}{\lambda_1} - \frac{\Delta R_{u,L_2}^s}{\lambda_1}$$

如果  $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$  的中误差为 0.01, 则  $v$  的中误差为  $\sigma_v = 0.023$ 。因此可以根据双频载波相位观测解算  $v$  的值,如

收稿日期:2010-08-12

作者简介:毋利娜(1986-),女,山西晋城人,中国矿业大学大地测量学与测量工程专业硕士研究生,主要研究方向为 GPS 数据处理。

果  $|v| \leq 3\sigma_v = 0.07$  则可以判断历元  $t$  到  $t+1$  没有发生周跳。

实例分析:

1) 双频相位实际观测如图 1 所示,从图 1 中可以看出  $v(t) < 0.07$ ,因此可以判断在上述观测序列中不存在周跳。

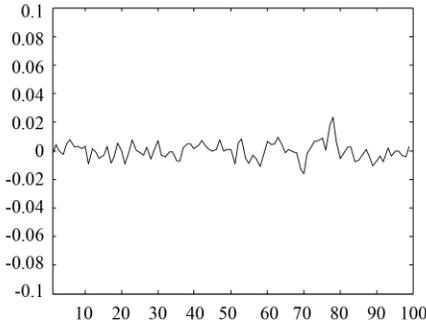


图 1 双频相位实际观测值  
Fig. 1 The practical observations of dual frequency phase

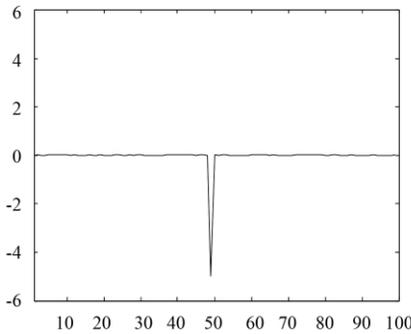


图 2 L1 上发生周跳观测值  
Fig. 2 The cycle slip observations in L1

2) 在 50 历元 L1 加入 -5 周跳(如图 2 所示) 在图 2 中第 50 历元处明显  $v(5)$  大于 0.07,这说明 L1(50) 处发生周跳。其他  $v$  值均小于 0.07,说明其他历元没有发生周跳。

3) 在第 60 历元 L1 加入 -5 周跳,L2 加入 -3 周跳(如图 3 所示),在图 3 中第 60 历元处明显  $v(6)$  大于 0.07,这说明 L1(60) 处发生周跳。其他  $v$  值均小于 0.07,说明其他历元没有发生周跳。

4) 在 50 历元 L1 加入 -5 周跳,60 历元 L2 加入 -3 周跳(如图 4 所示) 在图 4 中第 50,60 历元处明显  $v(50)$ 、 $v(60)$  大于 0.07,这说明在历元 50,60 处发生周跳。其他  $v$  值均小于 0.07,说明其他历元没有发生周跳。

由上面的实例分析可知,双频载波相位对小周跳的探测能力很强,但对接收机的要求是双频的。

## 2 电离层残差检测量

电离层残差检测量的表达式为<sup>[2]</sup>:

$$\varphi_{\text{gl}}(t) = \varphi_{L1}(t) - \frac{f_1}{f_2} \varphi_{L2}(t)$$

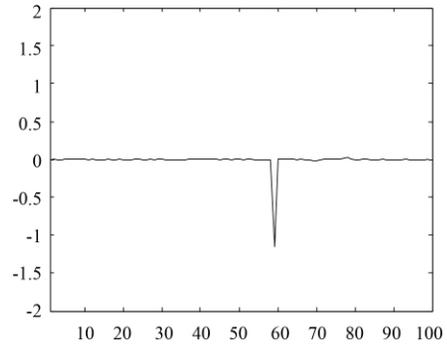


图 3 同一历元 L1 L2 上发生周跳观测值  
Fig. 3 The cycle slip observations in L1 L2 of the same epoch

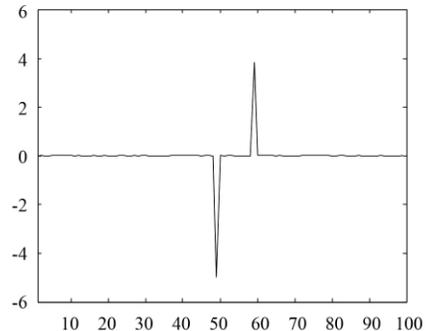


图 4 不同历元 L1 L2 上发生周跳观测值  
Fig. 4 The cycle slip observations in L1 L2 of the different epochs

$$= N_{L1}(t) - \frac{f_1}{f_2} N_{L2}(t) + C_1 \frac{f_1^2 - f_2^2}{f_1^2 f_2^2}$$

上式已把卫星测站间的距离项  $\rho^s(t)$  和卫星、接收机的钟差项  $\delta t^u(t)$ 、 $\delta t_r(t)$  消去,只剩下电离层折射的差分项:

$$\Delta_{\text{iono}}(t) = C_1 \frac{f_1^2 - f_2^2}{f_1^2 f_2^2}$$

如果观测历元间不存在周跳,对相邻历元间的检测量求差,可得:

$$\Delta \varphi_{\text{gl}}(t) = \varphi_{\text{gl}}(t+1) - \varphi_{\text{gl}}(t)$$

当电离层比较稳定、采样间隔较短时,电离层随时间的变化缓慢  $\Delta \varphi_{\text{gl}}(t)$  值的变化应当很平稳。若  $\Delta \varphi_{\text{gl}}(t)$  出现了跳变,则认为在  $t+1$  时刻 L1 或 L2 载波相位观测值可能存在周跳<sup>[3]</sup>。

如果  $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$  的中误差为 0.01,则由此引起的电离层残差检测量探测周跳的中误差为  $\sigma_{\Delta \varphi_{\text{gl}}} = 0.023$ ,按 3 倍的中误差为限差是 0.07。

实例分析:

1) 电离层残差的实际观测值如图 5 所示,由图 5 可观察所有的  $\Delta \varphi_{\text{gl}}$  均小于 0.07,故没有发生周跳。

2) 在第 50 历元 L1 加入 -1 周跳,L2 加入 -2 周跳(如图 6 所示),在图 6 中可观察到第 50 历元  $\Delta \varphi_{\text{gl}}$  大于

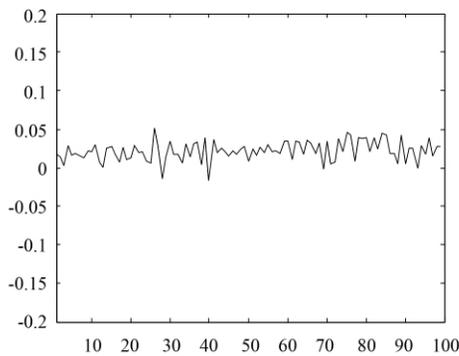


图5 电离层残差的实际观测值

Fig. 5 The practical observations of ionosphere residual

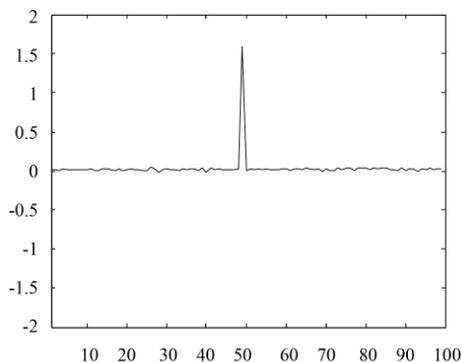


图6 同一历元 L1、L2 上发生周跳观测值

Fig. 6 The cycle slip observations in L1, L2 of the same epoch

0.07, 其余均小于 0.07, 所以第 50 历元处发生周跳。

3) 在第 50 历元 L1 加入 -1 周跳, 在第 60 历元 L2 加入 -2 周跳(如图 7 所示), 在图 7 中可观察到第 50, 60 历元的  $\Delta\varphi_{\text{rel}}$  大于 0.07, 其余均小于 0.07, 所以在第 50, 60 历元处发生周跳。

电离层残差法在探测过程中不需要测站信息, 也不需要卫星轨道信息, 并且基线长度对其没有影响, 只依赖于单个接收机的双频相位观测值, 只适合于双频接收

机<sup>[3]</sup>。电离层残差法能够很准确地探测到周跳的产生, 但是探测到的周跳具有多值性。

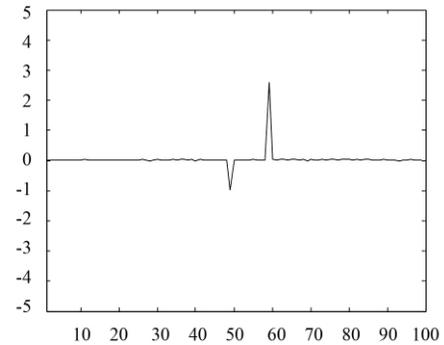


图7 不同历元 L1、L2 上发生周跳观测值

Fig. 7 The cycle slip observations in L1, L2 of the different epochs

### 3 结束语

通过以上的实例分析, 利用双频载波相位法和电离层残差法可以有效地探测出中心发生的小周跳, 这两种方法原理简单, 计算快速, 必须要求接收机是双频的。必须强调的是, 周跳的产生与接收机的质量及观测条件的好坏密切相关。因此, 必须从接收机选型、选点及组织观测时就加以注意, 以便能获得一组质量较好的观测值。这是解决周跳问题的根本途径<sup>[4]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 王仁谦, 朱建军. 利用双频载波相位观测值求差的方法探测与修复周跳[J]. 测绘通报, 2004(6): 9-11.
- [2] 彭秀英. GPS 周跳探测与修复的算法研究与实现[D]. 青岛: 中国石油大学硕士研究生学位论文, 2007.
- [3] 生仁军. 周跳探测方法的研究[D]. 南京: 东南大学硕士学位论文, 2006.
- [4] 李学逊. GPS 相位观测值中周跳的探测与修复[J]. 武汉科技, 1994(3): 14-21.

[编辑:宋丽茹]

(上接第 149 页)

机技术的有机结合, 充分利用 GIS 强大的空间功能以及互联网中的资源共享功能, 开发了相应的灾害管理系统, 实现了省级地质灾害信息管理以及部分应急指挥功能, 为建设管理部门及决策部门有效地控制与防治地质灾害、降低全省灾害损失提供科学依据。如果该系统能与计算机多媒体技术结合, 那么整个系统将会对地质灾害显示更加清晰直观, 同时具备远程会商等功能, 将更好地服务于政府部门开展防灾救灾工作。

### 参考文献:

- [1] 张春山, 吴满路, 张业成. 地质灾害风险评价方法及展望[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 96-102.

- [2] 李学举. 灾害应急管理[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2005.
- [3] 吴树仁, 董诚, 石菊松, 等. 地质灾害信息系统研究——以重庆市丰都县为例[J]. 第四纪研究, 2003, 23(6): 683-691.
- [4] 刘凯, 殷坤龙. 重庆市地质灾害信息数据库设计[J]. 安全与环境, 2002, 19(2): 4-8.
- [5] 殷坤龙, 朱良峰. 滑坡灾害空间区划及 GIS 应用研究[J]. 地学前缘, 2001, 8(2): 279-284.

[责任编辑:王丽欣]