

基于 GPS 非差观测值进行精密单点定位研究

韩保民¹ 欧吉坤¹

(1 中国科学院测量与地球物理研究所动力大地测量学开放研究实验室, 武汉市徐东路 174 号, 430077)

摘要:介绍了精密单点定位所用的数学模型及解算方案,着重分析了基于 GPS 非差双频观测值进行精密单点定位的误差模型、数据质量控制方法、卫星钟差的估算和内插、数据和解的一致性及其精密单点定位能达到的精度等问题,并和双差结果作了比较。结果表明,利用精密星历及卫星钟改正参数的精密单点定位可达到 cm 级精度。

关键词:GPS 非差观测值;精密单点定位;精密星历;精密卫星钟差参数;数据处理
中图分类号:P228.41

GPS 单点定位的精度受到诸如卫星轨道误差、卫星钟差、大气层延迟、接收机钟差及多路径效应等多种误差的限制^[1]。为了消除或削弱这些误差的影响,人们采取了很多措施,差分 GPS 是其中最成功的一种。近年来,由于 IGS 及各分析中心纷纷提供精密星历及精密卫星钟差改正参数,人们对这种情况下能否实现 GPS 高精度单点定位产生了极大的兴趣。

国内外许多学者都对 GPS 精密单点定位 PPP (precise point positioning) 解算方案进行了广泛而深入的研究^[2~19]。用 IGS 提供的精密星历及卫星钟差进行精密单点定位时,由于各测站接收机之间没有共同的待估参数(如差分 GPS 中的基线向量和整周模糊度等参数),各测站之间是互不相关的,因此,它可以不需要基站,而直接对各个测站定位,这样就可以有效地避免少数观测值质量较差的测站对其他测站的影响。另外,在进行精密单点定位时,除能解算出测站的三维坐标外,还可同时解算出接收机钟差、卫星钟差、电离层和对流层延迟改正信息等参数,这些结果可以满足不同层次用户的需要(如研究授时、电离层、接收机钟差、卫星钟差及地球自转等)。因此,研究利用 IGS 的精密卫星轨道和精密卫星钟差改正信息的基于 GPS 非差观测值的精密单点定位技术具有重要意义。

1 精密单点定位解算方案

1.1 精密单点定位算法描述

基于 GPS 非差双频观测值的精密单点定位实质上是精密卫星轨道及精密卫星钟差改正信息,只需一台双频 GPS 接收机,就可以在全球任意地点以静态或动态方式进行高精度定位。为了消除电离层的影响,精密单点定位技术一般采用双频消电离层相位组合 L_3 及 P 码组合 P_3 作为基本观测值。精密单点定位解算的流程图(对流层延迟作为待求参数)如图 1 所示。

1.2 精密卫星钟差估计和内插

精密单点定位的前提之一是应用 IGS 的精密卫星钟差参数,但由于 IGS 及数据分析中心仅提供 15min 和 5min 间隔的精密卫星钟差参数,而在实际定位中, GPS 接收机的采样率一般为 30s、15s,甚至更密,因此,必须采取一定的措施对精密卫星钟差进行内插,以便和用户 GPS 接收机的采样率保持一致。最可靠的方法就是利用全球分布的 IGS 永久站的观测数据估计高采样率卫星钟差参数,其估计方法是先根据全球的数据求得精确的轨道参数、各测站精确的坐标值及对流层参数,然后把这些参数作为已知值,用双频伪距和相位观测值求出 30s 采样间隔的精密卫星钟差参数^[17]。这种做法的缺点是计算量大,而且计算

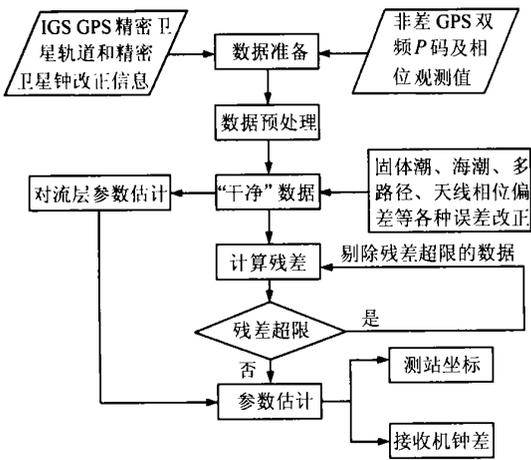
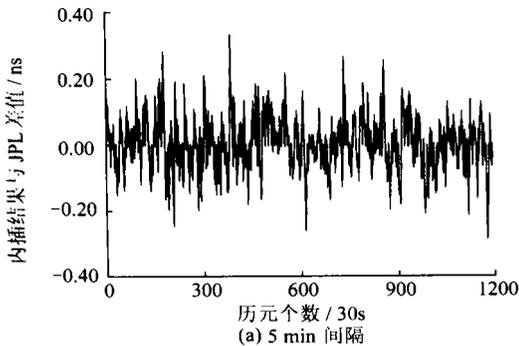
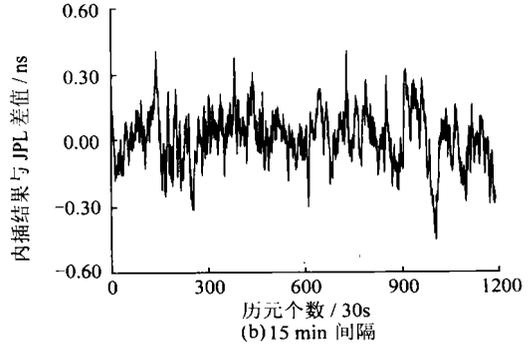


图1 精密单点定位解算方案流程图

Fig. 1 Data Processing Flowchart of PPP



(a) 5 min 间隔



(b) 15 min 间隔

图2 用JPL的钟差内插结果与真值的差值

Fig. 2 Differences Between Interpolation Values and Real Values Using JPL Satellite Clocks

1.3 考虑数据及解的参考框架的一致性

在固定精密星历和精密卫星钟差后,采用精密单点定位技术就可以直接得到 ITRF 参考框架下的坐标,这个参考框架是由精密星历和精密卫星钟差所采用的参考框架决定的。在实际定位时,可以选择使用某分析中心提供的精密星历和精密卫星钟差参数或 IGS 最终产品,但由于不同数据分析中心所采用的全球 IGS 站数据、误差模型、解算方案及采用的软件不尽相同,其基准不一定完全相同,最后求得的精密星历和精密卫星钟差也不尽相同,但同一分析中心在求解轨道和卫星钟差时的基准是一致的^[16]。最后,IGS 把各分析中心的精密星历及卫星钟差加权平均,求得 IGS 的最终结果。因此,在使用时应注意配套,即必须同时使用同一分析中心或 IGS 精密星历和精密卫星钟差改正参数。例如,由于不同分析中心所解算的钟差结果相对于不同的参考钟,由此引入了因参考基准不同的误差,不同分析中心估计

的卫星钟差的 RMS 的一致性大约在 0.1 ~ 0.2ns 或 3 ~ 6cm。

复杂。在 SA 政策取消以后,加在卫星钟差上的随机抖动部分也随之被取消,这样,卫星钟差变化趋于平缓,卫星钟差的内插成为可能^[18]。鉴于此,本文根据 IGS 提供的 15min 和 5min 的精密卫星钟差,用分段 3 次埃尔米特插值的方法对 2002 年 1 月 6 日的 PRN20 卫星的 12h 的钟差进行内插,得到 30s 采样率的卫星钟差,将 JPL 提供的 30s 间隔的卫星钟差作为真值,内插结果与真值的差值见图 2。结果表明,用 IGS 15min 精密卫星钟差内插得到的卫星钟差和 JPL 的结果的差值在 0 ~ 0.45ns 之间,用 IGS 5min 精密卫星钟差内插得到的 30s 间隔的卫星钟差,和 JPL 根据全球数据计算的 30s 间隔的卫星钟差的差值在 0 ~ 0.35ns 之间,因此,用内插方法得到的高采样率的卫星钟差可以应用于精密单点定位。

的卫星钟差的 RMS 的一致性大约在 0.1 ~ 0.2ns 或 3 ~ 6cm。

2 算例及精度分析

本文应用 2001 年 8 月 6 日武汉、上海、拉萨、乌鲁木齐、昆明等 5 个国内 IGS 站 24h 的数据进行了试验。在计算时,高度截止角都为 10° ,采样率为 30s。在采用差分模式定位时,将武汉作为基准站,精密单点定位和差分 GPS 都采用 JPL 的精密星历及卫星钟差改正信息。需要注意的是,为和各测站 GPS 接收机 30s 间隔的采样率保持一致,算例使用了 JPL 的 5min 间隔的精密卫星钟差内插出 30s 间隔的卫星钟差,以充分利用所有 GPS 观测值。在处理精密单点定位和差分定位技术时,都采用消电离层组合 L_3 ,以消除电离层影响。两者在处理时都采用相同的初始坐标,把差分定位得到的坐标转换到 ITRF2000 框架下,计算结果见表

1. 为了考察不同观测时段的精密单点定位所能达到的精度, 本文又用 2002 年 1 月 6 日的武汉站的不同时段的数据做了验证。为了更好地考察精密单点定位的精度, 在计算时直接采用了 JPL 提供的 30s 间隔的精密卫星钟差, 分别用 0.5、1、2、4、6、8、10、12、14、16、18、20、22、24h 的数据进行了精密单点定位的精度计算, 以上观测时段所能达到的精度见

表 1 精密单点定位的坐标改正与双差结果的比较

Tab. 1 Comparison of Coordinate Corrections Between Precise Point Positioning and Double Difference Results

测站	双差结果/m			精密单点定位结果/m			两者差值/cm		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
上海	-2 831 733.409 6	4 675 666.011 1	3 275 369.461 7	-2 831 733.406 9	4 675 666.030 9	3 275 369.481 4	-0.27	-1.98	-1.97
拉萨	106 937.892 7	5 540 269.602 9	3 139 215.819 9	106 937.871 8	5 549 269.607 6	3 139 215.849 7	2.09	-0.48	2.21
昆明	-1 281 255.632 1	5 640 746.083 4	2 682 880.024 7	-1 281 255.632 9	5 640 746.100 2	2 682 880.022 6	-0.08	-1.68	-0.21
乌鲁木齐	193 030.722 6	4 606 851.300 6	4 393 311.421 0	193 030.732 4	4 606 851.329 2	4 393 311.436 7	-0.98	-2.86	-1.57

注: 坐标是 ITRF2000 框架下的坐标; 在双差计算时, 武汉站为基准站; 时间为 GPS 1148 周第 6 天。

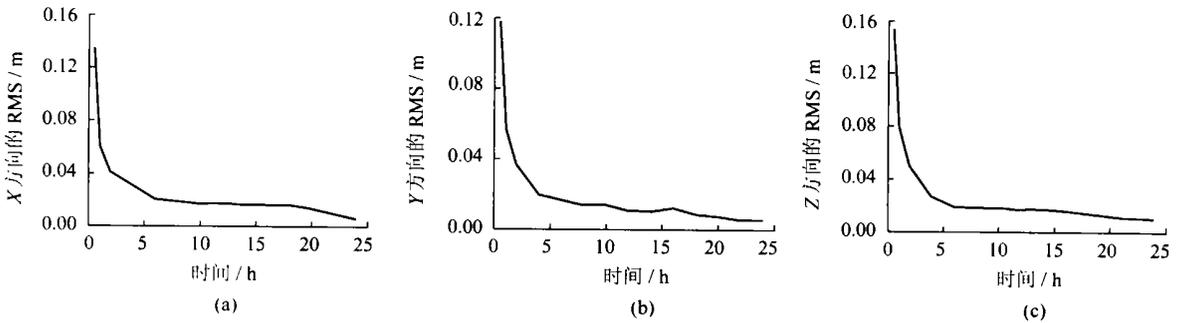


图 3 用精密单点定位解算不同观测时段的数据时 3 个方向 RMS 值

Fig. 3 Values of RMS Obtained by Using PPP Mode with the Different Observation-Period Data

3 结 语

借助 IGS 的精密星历和卫星钟差信息, 利用单站双频 P 码和双频相位非差观测值进行精密单点定位, 可以有效地减小卫星星历及卫星钟的误差对定位精度的影响。算例结果表明, 精密单点定位可达 cm 级的精度, 是代替广域差分 GPS 的一种有效的选择。另外, 精密单点定位技术在利用星载 GPS 接收机对低轨卫星进行定轨中也显示出诱人的前景。但应注意以下两个问题: ① 由于精密单点定位的关键技术在于卫星钟差的确定, 利用事后精密单点定位技术确定点的位置, 必须知道和观测值对应时刻的卫星钟差。国际 GPS 服务组织 (IGS) 提供的后处理精密卫星钟差是每 15min 一组, 15min 内任意时刻的卫星钟差必须通过估计或内插得到, 估计或内插钟差的精度将是成功应用事后精密单点定位的关键。因此, 充分研究卫星钟差的估计和内插方法很有必要。② 由于精密单点定位每一历元都要同时估计对流层参数及接收机钟差参数, 对单频接收机则还要估计电离层参数; 如

果要解算较早期的数据, 则还需要同时解算卫星轨道和卫星钟参数, 因此, 需要估计的参数数量很大, 为了减小参数估计量, 建立比较精确的格网电离层模型及对流层改正模型势在必行。

参 考 文 献

- 1 周忠谟, 易杰军, 周 琪. GPS 卫星测量原理与应用. 北京: 测绘出版社, 1995
- 2 Gao Y. GPS Positioning Accuracy Using Precise Real-Time Ephemeris and Clock Correction. Marine Geodesy, 1994, 7 (4): 279~288
- 3 Gao Y, James F M. Single-Point GPS Positioning Accuracy Using Precise GPS Data. The Australian Surveyor, 1997, 42 (4): 185~192
- 4 Heroux P, Kouba J, Collins P, et al. GPS Carrier Phase Point Positioning With Precise Orbit Products. The International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Banff, Canada, 2001
- 5 Heroux P, Kouba J. GPS Precise Point Positioning with a Difference. Geomatics' 95, Ottawa, Canada, 1995
- 6 Zumberge J F, Hellfin M B, Jefferson D C, et al. Precise Point Positioning for the Efficient and Robust Analysis of GPS

- Data Form Large Networks. *Journal of Geophysics Research*, 1997, 102(B3): 5 005 ~ 5 017
- 7 Lachapelle G, Klukas R, Qiu W. Single Point Satellite Navigation Accuracy—What the Future May Bring. *IEEE PLAS94*, Las Vegas, 1994
- 8 Lachapelle G, Cannon M E, Qiu W, et al. Precise Aircraft Single-point Positioning Using GPS Post-mission Orbits and Satellite Clock Corrections. *Journal of Geodesy*, 1996, 70 (9): 562 ~ 571
- 9 Satirapod C. General Report: Precise Single Point Positioning Software. School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales, 1998
- 10 Satirapod C, Rizos C, Wang J. GPS Single Point Positioning with SA Off: How Accurate Can We Get. *Survey Review*, 2001, 36(282): 255 ~ 262
- 11 Han S C, Kwon J H, Jekeli C. Accurate Absolute GPS Positioning Through Satellite Clock Error Estimation. *Journal of Geodesy*, 2001, 75(1): 33 ~ 43
- 12 Lichten S M, Bar-Sever Y E, Bertiger E I, et al. GIPSY-OASIS II: A High Precision GPS Data Processing System and General Orbit Analysis Tool. *Technology 2006*. Nasa Technology Transfer Conference, Chicago, 1995
- 13 Kouba J, Heroux P. Precise Point Positioning Using IGS Orbit and Clock Products. *GPS Solutions*, 2001, 5(2): 12 ~ 28
- 14 刘经南, 叶世榕. GPS 非差相位精密单点定位技术探讨. *武汉大学学报·信息科学版*, 2002, 27(3): 234 ~ 240
- 15 黄 斌, 胡小工, 程宗颐. 利用非差资料的精密点位方案解算区域. *GPS 网*. *天文学报*, 2001, 42(3): 248 ~ 258
- 16 叶世榕. GPS 非差相位精密单点定位理论与实现. [博士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2002
- 17 Kouba J. IGS Analysis Activities. *IGS Annual Report*, IGS Central Bureau, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, 1998
- 18 Zumberge J F, Gendt G. The Demise of Selective Availability and Implications for the International GPS Service Network. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2001, 26(A): 637 ~ 644
- 19 刘经南, 刘焱雄. GPS 卫星定位技术进展. *全球定位系统*, 2000, 25(2): 1 ~ 7
- 20 Hugentobler U, Schaer S, Fridez P. Documentation for Bemese GPS Software Version 4. 2. *Astronomical Institute*, University of Berne, Berne, Switzerland, 2001

第一作者简介: 韩保民, 博士生。现主要从事 GPS 快速定位、星载 GPS 低轨卫星精密定轨等研究。

E-mail: hanbm@hotmail.com

Precise Point Positioning Based on Undifferenced GPS Data

HAN Baomin¹ OU Jikun¹

(¹ Institute of Geodesy and Geophysics, Laboratory of Dynamical Geodesy, Chinese Academy of Sciences, 174 Xudong Road, Wuhan, China, 430077)

Abstract: This paper first introduces the code and phase models used in precise point positioning (PPP) method, then the principle and simple procedure of PPP processing algorithm are introduced, and the main error sources of PPP method are presented. A lot of attentions are paid to the methods of quality control for PPP method. What's more, the estimation and interpolation of satellite clock errors, the consistence of data and solution and the accuracy that PPP method can attain are discussed. Last, an example of PPP is processed and the corresponding results are compared with the results obtained by using GPS double difference observations. The results show that the accuracy of PPP can attain cm-precision and is approximately equal to that of double difference with long baselines ($> 1\ 000\text{km}$).

Key words: GPS undifferenced observations; precise point positioning; precise satellite ephemeris; precise satellite clock corrections; data processing

About the first author: HAN Baomin, Ph. D candidate. He is engaged in the research on rapid GPS positioning and GPS-based orbit determination for low-earth satellites.

E-mail: hanbm@hotmail.com

(责任编辑: 洪伟)