

时变性 DCB(C1-P1)在精密单点定位中的应用

晋军¹ 龚小丰²

1 中山市测绘工程有限公司 2 重庆市地质矿产勘查开发局607地质队

DOI:10.12238/gmsm.v3i5.855

[摘要] 精密单点定位数据处理中,要求对影响观测的误差进行细致地改正。DCB(C1-P1)是GPS伪距观测值C1与P1中存在的偏差,最新研究表明其具有时变性。本文采用IGS观测数据进行了时变性DCB(C1-P1)序列的求解,然后采用采集的数据进行了观测改正结果和精密单点定位应用分析,结果表明时变性DCB(C1-P1)对于精密单点定位结果提升有一定的作用。

[关键词] 精密单点定位; 伪距偏差; 导航定位

中图分类号: U666.1 **文献标识码:** A

前言

精密单点定位(Precise point positioning, PPP)^[1]是采用双频GNSS观测和高精度的卫星轨道和钟差产品进行的数据处理,要求对影响观测值精度的各种误差进行改正。精密单点定位自从1997年提出以来,经过了20多年的发展,已经较为成熟。目前在高精度的坐标框架维持、地球动力学研究、低轨卫星定轨以及全球性的科学考察等领域具有广泛应用^[2]。在GPS PPP双频后处理方面,相关研究使用双频非差相位观测值进行精密单点定位取得了较好的结果,以及许多研究人员都进行了精密单点定位研究,取得了丰硕的成果。包括Uofc模型、星间单差模型等的提出。PPP模糊度的固定是高精度定位的关键问题,也是目前研究的热点。模糊度的实数解依据一定的条件固定为模糊度整数解,往往需要采用搜索方法。由于原始模糊度的实数值之间存在较强的相关性,直接搜索会耗费较多的时间,对实时获得模糊度的固定解具有滞后性。为了提高模糊度的解算效率,国内外许多学者提出了多种模糊度解算方法,例如双频伪距法、模糊度函数法、最小二乘搜索法和模糊度协方差等方法。在实时PPP方面,主要有基于网络RTK技术的连续运行参考站系统(CORS)以及差分定位系统。鉴于实时PPP的广泛应用前景,国际GNSS服务组织

(IGS)^[3]在2007年启动了实时计划项目,利用IGS所提供的连续运行跟踪站的实时观测数据,可以实时估计并播发精密卫星钟差改正数及超快精密轨道产品。

虽然在目前的GPS双频PPP解算中,其中所涉及到的误差项都可采取措施进行消除、改正或补偿,但是不同的GPS信号会受到空间环境、卫星和接收机硬件延迟等影响,以及随着多频GPS的实施与应用,势必出现一些新的时变性偏差。由于对应特征与性能不同,这些时变性偏差无法采用现有的产品或数值进行替代计算。目前对于C1观测以及C1对应的组合观测值进行定位需要考虑到DCB(C1-P1)系统性偏差,相关研究表明DCB(C1-P1)不仅具有常数特性,还具有一定的时变性。在实际应用中,不同观测码以及不同频率的观测量之间都存在着系统性偏差,如C1/P1、C2/P2、P1/P2观测,都需要进行硬件延迟部分的改正。在采用双差模型的相对定位中,所有与卫星、接收机有关的公共偏差会被抵消,但是在非差定位中,这些系统偏差会影响其定位的精度以及解算的参数。本文将对系统性偏差DCB(C1-P1)进行研究,主要讨论其时变性特征,以及将其应用到PPP定位中进行深入探讨其对精密单点定位的影响。

1 精密单点定位

精密单点定位采用单站双频观测和

服务的高精度卫星轨道和钟差进行的数据处理。GPS双频观测写为:

$$\begin{aligned} L_1 &= \rho + N_1^1 \lambda_1 + UPD_r^1 - UPD_s^1 + \delta_r - \delta^s + I_r^s - T_r^s + \varepsilon_1 \\ P_1 &= \rho + b_r^1 - b_s^1 + \delta_r - \delta^s - I_r^s - T_r^s + \omega_1 \\ L_2 &= \rho + N_2^2 \lambda_2 + UPD_r^2 - UPD_s^2 + \delta_r - \delta^s + \frac{f_1^2}{f_2^2} I_r^s - T_r^s + \varepsilon_2 \\ P_2 &= \rho + b_r^2 - b_s^2 + \delta_r - \delta^s - \frac{f_1^2}{f_2^2} I_r^s - T_r^s + \omega_2 \end{aligned} \quad (1)$$

式中: L_1 、 L_2 、 P_1 、 P_2 分别为相位与伪距观测值; ρ 为卫星到用户间的距离; λ 为波长; f 为频率; N 为整周模糊度参数; UPD_r^i 和 UPD_s^i 分别为影响模糊度整数特性的接收机和卫星部分的相位偏差; δ_r 、 δ^s 、分别是接收机钟差和卫星钟差; I_r^s 、 T_r^s 、分别为电离层延迟与对流层延迟; b_r^i 、 b_s^i 分别是接收机硬件延迟和卫星硬件延迟; ω_1 、 ε_2 分别是无电离层相位、伪距组合观测噪声。

当采用 L_1 、 L_2 、 C_1 、 P_2 观测值时,对应的无电离层延迟观测方程 P_1 、 C_1 可表示如下:

$$\begin{aligned} P_1 &= \rho + b_r^p - b_s^p + \delta_r - \delta^s - I_r^s - T_r^s + \omega_p \quad (2) \\ C_1 &= \rho + b_r^c - b_s^c + \delta_r - \delta^s - I_r^s - T_r^s + \omega_c \end{aligned}$$

式中, P_1 、 C_1 为伪距观测值; b_r^p 、 b_s^p 分别为 P_1 、 C_1 观测值的接收机硬件延迟; b_r^c 、 b_s^c 分别为 P_1 、 C_1 观测值的卫星硬件延迟; ω_p 、 ω_c 分别为 P_1 、 C_1 观测值的无电离层组合观测噪声; 其他

与公式(1)含义相同。

一般情况下卫星钟差采用无电离层延迟组合进行求解^[4],对应的卫星与接收机钟差可由以上式子相减得到,分别可表示为:

$$\begin{aligned} \delta_r &= \delta_r + b_r = \delta_r + \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} b_1^s \\ -\frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} b_2^s &= \delta_r + b_1^s + \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} DCB(C1 - P1)^s \quad (3) \\ \delta^s &= \delta^s + b^s = \delta^s + \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} b_1^s \\ \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} b_2^s &= \delta^s + b_1^s + \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} DCB(C1 - P1)^s \quad (4) \end{aligned}$$

式中: δ_r 为接收机钟差结果; δ^s 为卫星钟差结果; b_1^s 、 b_2^s 分别为C1、P1观测对应的卫星硬件延迟; b_1^r 、 b_2^r 分别为C1、P1观测对应的接收机硬件延迟; $DCB(C1-P1)^r$ 是接收机对应的DCB; $DCB(C1-P1)^s$ 是卫星对应的DCB。由上式可以得到,卫星钟差中包含有卫星硬件偏差部分,并且其为伪距C1、P1观测对应的硬件偏差的组合值。当采用双频信号C1、P1观测定位时,对应钟差应为:

$$\overline{\delta_{c1/p1}} = \delta^s - \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} DCB(C1 - P1)^s \quad (5)$$

式中: $\overline{\delta_{c1/p1}}$ 为接收机钟差结果。

2 数据解算与分析

为了研究、分析时变性DCB(C1-P1)对PPP的影响,首先采用IGS站2020年10月8号24小时的数据进行时变性DCB(C1-P1)的解算。利用广州2020年10月8号采集的12小时数据进行时变性DCB(C1-P1)解算结果验证。采用观测数据时间间隔为30s,设置卫星截止高度角为7°;天线相位中心变化采用绝对天线相位中心(IGS14)模型;对潮汐影响、相对论效应、地球自转等采用模型改正;接收机钟差参数与卫星钟差参数当作白噪声处理;对流层影响采用Saastamoinen模型加以改正;时变性DCB(C1-P1)估计方法采用了文献^[5]的方法。PPP的数据处理策略如表1所示:

表1 PPP数据处理策略

| | 模型 | 设置 |
|-----|------------|---------------------|
| 观测量 | 无电离层组合 | |
| | 平差 | 最小二乘 |
| | 观测值加权 | 高度角函数 |
| 改正 | DCB(C1-P1) | 文中所提方法 |
| | 潮汐改正 | 固体潮、海洋潮汐 |
| | 相位中心变化 | IGS 14模型 |
| | 相对论改正 | 改正 |
| 参数 | 测站坐标 | 估计 |
| | 对流层 | 改正: Saastamoinen 模型 |
| | 接收机钟差 | 估计+白噪声 |

2.1时变性DCB(C1-P1)分析。采用广州采集的数据进行时变性DCB(C1-P1)验证,验证中,采用2中方法,方法1中C1、P1观测值差值与IGS发布的常数性DCB(C1-P1)的差值;方法2中C1、P1观测值差值与结算单的时变性DCB(C1-P1)的差值然后进行对应残差的统计,其中RMS由对应的残差计算得到,如表2-3所示。表2、3分别为方法1、方法2对应的结果,比较两种结果可以得到,当考虑DCB(C1-P1)的时变性时,C1与P1差值对应的残差明显较小。这就进一步验证了DCB(C1-P1)具有时变性

表2 方法1结果

| 卫星 | RMS(m) | 卫星 | RMS(m) | 卫星 | RMS(m) |
|-----|--------|-----|--------|-----|--------|
| G02 | 0.12 | G13 | 0.10 | G23 | 0.09 |
| G03 | 0.13 | G14 | 0.12 | G24 | 0.10 |
| G04 | 0.10 | G15 | 0.13 | G25 | 0.11 |
| G05 | 0.11 | G16 | 0.14 | G26 | 0.08 |
| G06 | 0.12 | G17 | 0.09 | G27 | 0.11 |
| G07 | 0.11 | G18 | 0.10 | G28 | 0.12 |
| G08 | 0.10 | G19 | 0.11 | G29 | 0.13 |
| G09 | 0.09 | G20 | 0.09 | G30 | 0.15 |
| G10 | 0.08 | G21 | 0.10 | G31 | 0.13 |
| G11 | 0.10 | G22 | 0.11 | G32 | 0.12 |

表3 方法2结果

| 卫星 | RMS(m) | 卫星 | RMS(m) | 卫星 | RMS(m) |
|-----|--------|-----|--------|-----|--------|
| G02 | 0.11 | G13 | 0.08 | G23 | 0.08 |
| G03 | 0.09 | G14 | 0.12 | G24 | 0.08 |
| G04 | 0.08 | G15 | 0.12 | G25 | 0.10 |
| G05 | 0.09 | G16 | 0.12 | G26 | 0.07 |
| G06 | 0.10 | G17 | 0.07 | G27 | 0.10 |
| G07 | 0.08 | G18 | 0.09 | G28 | 0.10 |
| G08 | 0.09 | G19 | 0.09 | G29 | 0.12 |
| G09 | 0.07 | G20 | 0.07 | G30 | 0.13 |
| G10 | 0.07 | G21 | 0.09 | G31 | 0.11 |
| G11 | 0.08 | G22 | 0.10 | G32 | 0.10 |

表4 各时段PPP结果

| 时段 | 方法 1 | | | | 方法 2 | | | |
|----|-----------|----------|------|------|-----------|----------|------|------|
| | 收敛时间(min) | 定位结果(cm) | | | 收敛时间(min) | 定位结果(cm) | | |
| | | 东 | 北 | 高 | | 东 | 北 | 高 |
| 1 | 31 | 2.11 | 3.12 | 4.20 | 30 | 2.10 | 3.11 | 4.19 |
| 2 | 32 | 2.08 | 2.33 | 4.12 | 30 | 2.07 | 2.33 | 4.10 |
| 3 | 31 | 1.13 | 2.14 | 3.22 | 30 | 1.10 | 2.14 | 3.21 |
| 4 | 30 | 2.09 | 3.13 | 4.22 | 28 | 2.10 | 3.12 | 4.19 |
| 5 | 22 | 2.14 | 3.12 | 4.23 | 20 | 2.12 | 3.11 | 4.23 |
| 6 | 12 | 2.10 | 3.09 | 4.21 | 10 | 2.10 | 3.09 | 4.19 |
| 7 | 17 | 2.15 | 3.08 | 4.24 | 16 | 2.13 | 3.07 | 4.22 |
| 8 | 18 | 2.12 | 3.12 | 4.27 | 17 | 2.10 | 3.11 | 4.26 |
| 9 | 21 | 2.13 | 3.07 | 4.23 | 20 | 2.12 | 3.06 | 4.22 |
| 10 | 20 | 2.10 | 3.14 | 4.19 | 18 | 2.10 | 3.13 | 4.18 |
| 11 | 23 | 2.09 | 3.15 | 4.17 | 21 | 2.08 | 3.14 | 4.16 |
| 12 | 19 | 2.08 | 3.17 | 4.19 | 17 | 2.07 | 3.16 | 4.16 |

2.2时变性DCB(C1-P1)在PPP中应用分析。对采集的12小时数据进行了PPP数据处理,数据处理中,同样采用两种方

法,方法1中采用IGS发布的常数性DCB(C1-P1)的差值;方法2中采用时变性DCB(C1-P1)。对12小时数据分成12个时段分别进行处理,定义参数收敛时间为定位结果三个方向同时由于10cm时所用的时间。对应的结果如下表4所示。表4表明当采用时变性DCB(C1-P1)时,PPP定位结果和对应的参数收敛时间都有所改善,这就进一步验证,时变性DCB(C1-P1)在PPP高精度定位中具有重要的作用。

3 结论

PPP就是采用双频观测和高精度的卫星轨道、钟差产品进行的高精度数据处理,PPP解算参数不受局域观测限制,具有广泛的应用前景。PPP的实现需要详细地考虑影响观测精度的各种误差,最新研究证明DCB(C1-P1)具有时变性特点,本文采用解算的时变性DCB(C1-P1)结果进行了PPP数据解算,验证了采用时变性DCB(C1-P1)进行数据处理的有效性。

[参考文献]

- [1] Zumberge, J.F., Hefflin, M.B., Jefferson, D.C., Watkins, M.M. and Webb, F.H. (1997) Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of Geophysical Research* 102(B3), 5005-5017.
- [2] 徐欢. GPS精密单点定位技术分析与研究[C]. 第三届中国卫星导航学术年会电子文集——S03精密定轨与精密定位, 广州, 2012.
- [3] Dow, J., Neilan, R., Rizos, C., 2009. The international GNSS service in a changing landscape of global navigation satellite systems. *J. Geod.* 83(3-4), 191-198
- [4] 李平力, 黄观文, 崔博斌, 等. 基于非差模型的GPS卫星实时钟差估计精度分析[J]. *导航定位与授时*, 2018, (1): 53.
- [5] Li Haojun, Xiao Jingxin, Yang Ling. Modeling and application of the time-varying GPS differential code bias between C1 and P1 observations. *Advances in Space Research*, 2020, 65(1): 552-559.

作者简介:

晋军(1982--),男,土家族,四川石柱人,本科,工程师,从事工程测量研究。