

文章编号:1005-0523(2016)04-0098-05

基于 PANDA 软件的框架网坐标解算可靠性分析

马飞虎¹, 饶志强¹, 李 胜², 姜珊珊¹

(1. 华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013; 2. 新疆维吾尔自治区测绘科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要:应用高精度定位解算软件 PANDA 对框架网进行解算, 并与 Bernese 解进行比较, 探讨不同软件模型下框架网的点位坐标解算方法及其精度; 通过算例表明 PANDA 软件的定位解算结果与 Bernese 的解有较好的一致性, 表明 PANDA 软件有较高的可靠性和稳定性。

关键词:框架网坐标; 精度比较分析; Bernese; PANDA

中图分类号:P228

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.04.016

目前, 国内外开发出了很多的高精度定位解算软件, 其中具有代表性的有瑞士伯尔尼大学天文研究所研制的 Bernese 软件^[1], 美国喷气动力实验室(JPL)研制的 GIPSY 软件和我国武汉大学卫星导航定位技术研究中心研制的 PANDA 软件^[2]。Bernese 软件既能用非差方法进行单点定位, 又可用双差方法进行整网平差, 而且它能同时将多 GPS 数据和 GLONASS 数据进行处理。而 PANDA 软件基于非差处理模式, 能实现对 GNSS/SLR/DORIS/VLBI 等多类观测数据的后处理与实时处理分析, 目前主要应用于导航卫星精密定轨与时间同步, 对地观测卫星精密定轨和大网数据处理与高精度 PPT 定位^[3-4]等领域, 且可用于实时和动态定位中。

本文以 Bernese 软件为参照, 比较分析了 PANDA 和 Bernese 软件解算精度及可靠性, 以框架网为基础, 进行定位解算, 通过对框架网的点位坐标及其精度指标进行分析。结果表明 PANDA 和 Bernese 软件解算结果具有较高的一致性, 间接说明了 PANDA 软件坐标解算的可靠性及稳定性。

1 Bernese 软件定位解算流程

Bernese 软件是由 Bernese University 和 Astronomical Institute 研究开发的 GPS 数据 (包括 GLONASS 数据、GPS 和 GLONASS 混合数据) 处理软件, 该软件界面友好, 模块条理清晰, 并且内嵌有图形软件, 功能强大, 它用双差相位观测进行高精度的测地应用, 可以实现精密定轨, 有 L1 和 L2 不同的线性组合, 可以利用非差观测进行钟差估计, 并实现多种类型参数的估计。其精度高, 数据处理模型严密, 使得它很适合长基线 GPS 网的数据处理。

1.1 软件解算策略

1.1.1 数据预处理

Bernese 采用 M-W 组合和 LG 组合进行周跳探测与粗差剔除^[5-6], 以卫星弧段为单位, 首先计算一弧段

收稿日期: 2016-03-09

基金项目: 测绘地理信息行业科研专项(201512027, 201512021); 江西省数字国土重点实验室开放研究基金资助项目(DLLJ201605)

作者简介: 马飞虎(1973—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为 3S 技术集成、工程测量、智能交通等。

M-W 组合宽巷模糊度 N_{Δ} 的时间序列及其中误差 σ , 如果 σ 超出指定阈值, 则认为此弧段可能有周跳, 需进行周跳探测。探测的结果要使得该弧段中误差满足指定阈值。利用 LG 组合对 M-W 组合探测到的周跳进行检测并确定周跳大小。选择周跳发生历元的前后各 10 个历元(默认值)的 LG 组合观测值, 分别进行线性拟合, 两拟合多项式的中误差及其在周跳发生历元的差值的小数部分均满足指定的阈值, 则此历元发生周跳并计算 L1、L2 上周跳的大小^[7]。

1.1.2 参数估计

Bernese 使用最小二乘参数估计法对非差精密单点定位中的参数进行估计, 采用参数消除法对多余参数(坐标参数、钟差参数、对流层参数、电离层参数^[8]和模糊度等参数)进行等价消除^[5,9], 以减少法方程维数, 提高计算的速度及效率。对于被消除的参数, 其信息并未被消除, 仍保留在法方程中, 可通过参数恢复进行求解^[10]。

1.2 数据处理流程

数据处理分为 4 大步: 数据的准备, 标准轨道的生成, 数据预处理, 参数估计。

1) 数据准备: 包括观测数据和星历数据的准备;

2) 生成标准轨道: 通过星历文件来生成标准轨道, 以备下一步使用;

3) 数据的预处理: 主要完成对观测数据的预处理工作, 进行周跳探测、剔除质量差的数据并形成单差文件等;

4) 参数估计: 实现对大气层延迟的参数估计、点位坐标 (X, Y, Z) 的估计等。

本文使用双差计算所获得数据, 因此下述就以 GPS 数据双差处理模式精确求解点位坐标^[11]来说明 Bernese 软件的数据处理方法。Bernese 软件的数据处理方法, 即定位解算流程如图 1 所示。

2 PANDA 软件数据处理策略

2.1 精密静态定位数学模型

精密静态单点定位中使用的是载波相位观测值, 观测方程为^[12-13]

$$\lambda_{\varphi_i} = \sqrt{(X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2 + (Z_i - Z)^2} - cV_{t_k} - \lambda N_i + cV_{t_i}^s - (V_{ion})_i - (V_{trop})_i \quad (1)$$

式中: (X_i, Y_i, Z_i) 为根据卫星星历求得的卫星在空间的位置; (X, Z) 为接收机观测瞬间卫星在空间的位置; V_{t_k} 为接收机的钟差改正; $V_{t_i}^s$ 为第 i 颗卫星的卫星钟差改正; $(V_{ion})_i$ 为第 i 颗卫星在传播路径上的电离层延迟改正; $(V_{trop})_i$ 为第 i 颗卫星在传播路径上的对流层延迟改正。经过线性化之后的观测方程为^[14]

$$\lambda_{\varphi_i} = -l_i V_x - m_i V_y - n_i V_z - cV_{t_k} - \lambda N_i + cV_{t_i}^s + \rho_i^0 - (V_{ion})_i - (V_{trop})_i + \sum \delta_i \quad (2)$$

式中: $l_i = \frac{X_i - X_0}{\rho_i^0}$, $m_i = \frac{Y_i - Y_0}{\rho_i^0}$, $n_i = \frac{Z_i - Z_0}{\rho_i^0}$, 为从测站的近似位置至第 i 颗卫星间的距离; φ_i 为卫星 i 的载波相位观测值, 由整周计数 $\text{Int}(\varphi)_i$ 和不足一周的部分 $F_i(\varphi)_i$ 组成; λ 为载波的波长; N_i 为与 φ_i 相应的整周模糊度;

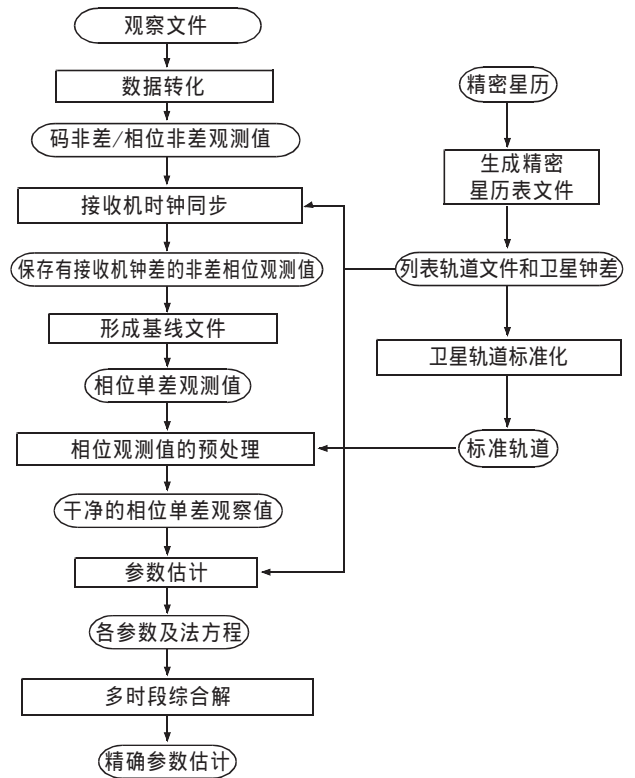


图1 Bernese 软件定位解算流程示意图

Fig.1 Bernese software positioning solution process diagram

$\sum \delta_i$ 为定位计算时必须考虑到的各种改正数,如天线相位中心偏差改正、引力延迟改正、海潮负荷改正、地球固体潮改正等;其余符号的含义同式(1)。由于根据导航电文得出的卫星钟差精度过低,故在精密单点定位中其不能作为已知值采用,必须另行设法解决。电离层延迟 $(V_{ion})_i$ 可通过双频观测来予以消除,接收机钟差改正 V_{tr} 可通过在卫星间求单差来予以消除,采用非差观测值时需作为未知参数来加以估计。在数据处理过程中需用到接收机钟差的近似值则由测码伪距单点定位来提供^[15]。

2.2 数据处理策略

PANDA 软件在进行定位解算时加入了武汉大学建立的覆盖亚太及欧非地区的北斗/GPS 观测网络数据和武汉大学提供的北斗精密星历。

PANDA 软件采用非差处理模式,软件从读取 GPS 标准数据格式 RINEX 开始,软件的数据编辑模块采取与 Blewitt 一致的单站数据自动处理方法,尽可能地发现和修复周跳,并剔除异常观测值,输出干净数据,进入参数估计模块。参数估计模块采用均方根信息滤波与最小二乘两个并置的估计器,均方根信息滤波包括前向均方根信息滤波器(SRIF)和后向均方根信息平滑器(SRIS),在利用非差观测值定轨时的参数估计过程中,SRIF 能有效克服滤波器的发散,具有较高的数值稳健性和计算高效性^[16-17]。最小二乘估计器主要应用于事后处理,这有利于节省计算时间和基于观测值残差的数据再编辑。软件考虑尽可能多的改正项,未能精确模型化的误差因素通过参数估计吸收。同时为了灵活应用于实时和动态定位^[18],软件采用逐个历元地建立观测方程的方法^[19]。PANDA 软件采用的观测值模型、摄动力模型以及数据处理流程详细内容可参见文献[20]。图 2 为 PANDA 软件数据处理的策略。

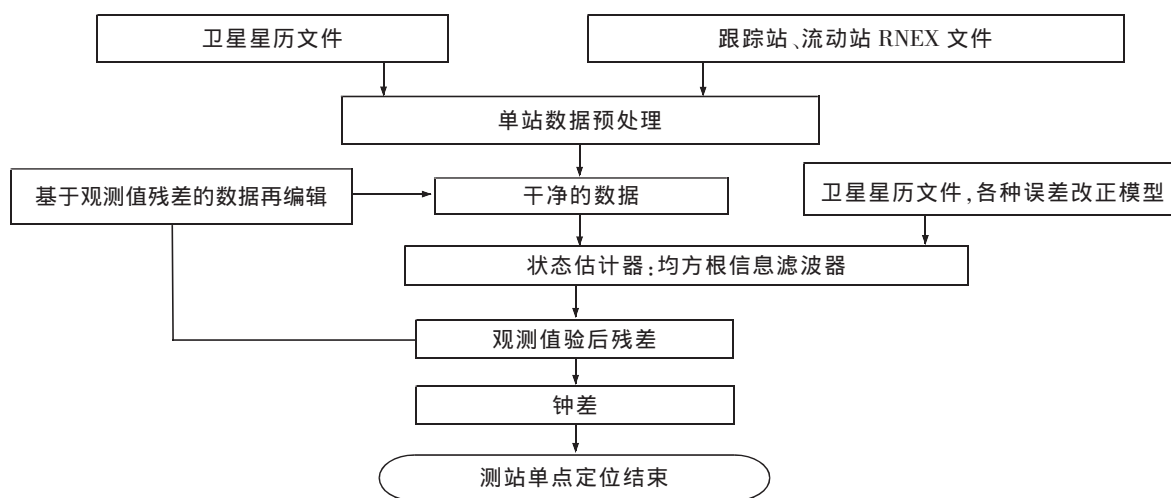


图 2 PANDA 数据处理策略

Fig.2 PANDA data processing strategy

3 算例及精度分析

对在新疆地区建立的 6 个 GNSS 基准站(站点分布图如图 3 所示)进行了连续观测,采用了观测日期为 2014 年 2 月 1 日—2014 年 2 月 7 日,共 7 天数据,解算时加入 2 个 IGS 站(乌鲁木齐和拉萨)作为基准站。用 Bernese 和 PANDA 软件对 GPS 数据进行处理时,所采用的参数(见表 1)是一致的。2 种软件的具体解算策略如上 2、3 节所述。Bernese 和 PANDA 软件解算坐标的精度在 X、Y、Z 方向的比较结果如图 4 所示。

图 4(a)表明在 X 方向上 PANDA 解算精度最大值为白杨沟站 7 mm, Bernese 解算精度最大值同样也是白杨沟站 5 mm,但是解算精度最好的站点 PANDA 软件为昌吉站 2 mm, Bernese 软件解算精度最好的站点

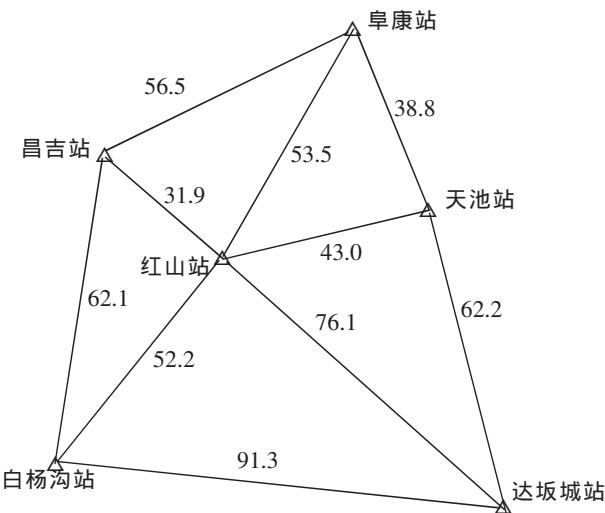


图 3 站点分布图(单位:km)
Fig.3 Site distribution map

为红山站。2 种软件在 X 方向上解算精度相差最大的为 3 mm。图 4(b)表明在 Y 方向上 PANDA 解算精度最大值为昌吉站 19 mm, Bernese 解算精度最大值是白杨沟站 19 mm, 解算精度最好的站点 PANDA 软件为红山站 13 mm, Bernese 软件解算精度最好的站点同样也为红山站 11 mm。2 种软件在 X 方向上解算精度相差最大的为 4 mm。图 4(c) 表明在 Z 方向上 PANDA 解算精度最大值为天池站 17 mm, Bernese 解算精度最大值是白杨沟站 17 mm, 解算精度最好的站点 PANDA 软件为昌吉站 10 mm, Bernese 软件解算精度最好的站点同样也为红山站 8 mm。2 种软件在 X 方向上解算精度相差最大的为 3 mm。结果表明, 两者的精密单点定位精度在 X, Y, Z 方向只存在 mm 级差异, 说明了两者的解算结果有较好的一致性。而用 2 种软件对 GPS 数据进行整网解算时, 测站的解算精度 Y, Z 方向都在 2 cm 以内, 在 X 方向上精度较好都在 1 cm 以内。

4 结论

通过本文的分析可知, 采用 IGS 提供的精密星历和精密钟差产品, 利用 Bernese 和 PANDA 软件进行单点定位解算, 虽然两者所采用的算法和策略存在不同, 但结果表明两者解算结果有很好的 consistency, 说明了 PANDA 软件具有很高的稳定性和可靠性, 其已经具备了实时精密单点定位的能力, 有着广泛的应用价值(如高精度动态导航、低轨卫星的定轨等)。

表 1 PANDA 与 Bernese 处理策略
Tab. 1 Processing strategies of PANDA and Bernese

解算策略	PANDA/Bernese
固体潮模型	IERS 2003 convention
海潮模型	FES04 modle
极潮模型	IERS 2003 convention
卫星轨道	固定为 IGS 的 UlmBRD 星历
对流层改正	Saastamoinen 模型+过程噪声
天线模型	绝对 IGS 相位中心
相位缠绕	考虑
EOP	固定为 IERS 结果

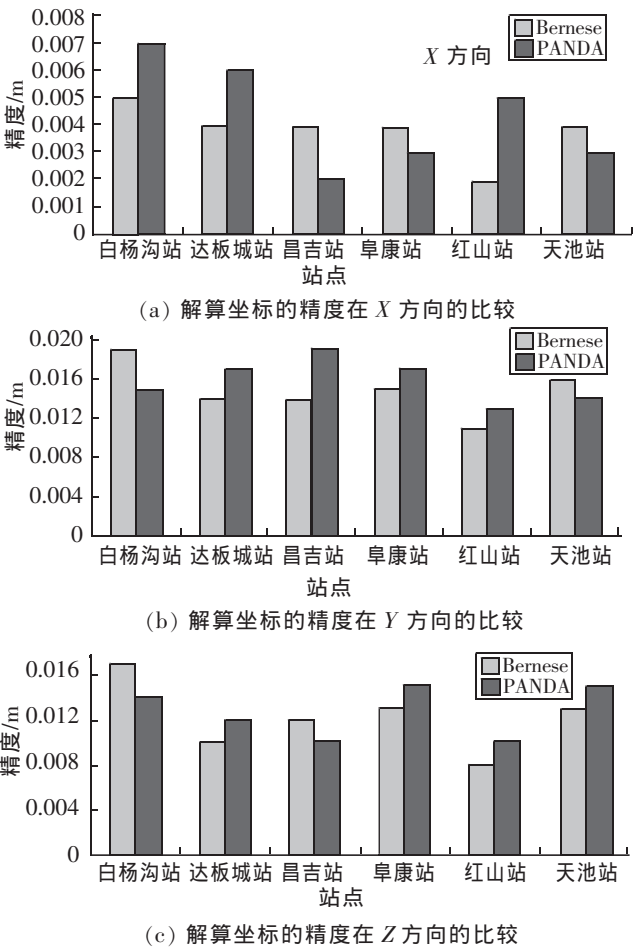


图 4 Bernese 和 PANDA 软件解算坐标的精度在 X, Y, Z 方向的比较结果
Fig.4 Comparison results of the coordinate accuracy calculation by Bernese and PANDA in X, Y, Z direction

参考文献:

- [1] HUGENTOBLE U, SCHAER S, FRIDEZ P. Bernese GPS software Version 4.2[CP]. Astronomical Institute, University of Bern, 2001.
- [2] 施闯, 赵齐乐, 李敏, 等. 北斗卫星导航系统的精密定轨与定位研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(6): 854–861.
- [3] 姜卫平, 邹璇, 唐卫明. 基于 CORS 网络的单频 GPS 实时精密单点定位新方法[J]. 地球物理学报, 2012, 55(5): 1549–1556.
- [4] 张小红, 左翔, 李盼, 等. BDS/GPS 精密单点定位收敛时间与定位精度的比较[J]. 测绘学报, 2015, 44(3): 250–256.
- [5] DACH R, HUGENTOLBER U, FRIDEZ P, et al. Bernese GPS Software Version 5.0 [CP]. Astronomical Institute, University of Bern, 2007.
- [6] TEFERL F N, ORLIAC E J, BINGLEY R M. An assessment of Bernese GPS software precise point positioning using IGS final products for global site velocities[J]. GPS solutions, 2007, 11(3): 205–213.
- [7] 谭争光, 郭金运, 宗干, 等. PANDA 和 Bernese 软件的 PPP 比较分析[J]. 全球定位系统, 2013, 38(5): 60–64.
- [8] 许艳, 杨元喜, 许国昌, 等. 南极 GPS 定位中的电离层延迟分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2013, 39(10): 1370–1375.
- [9] GE M, GENDT G, DICK G, et al. A new data processing strategy for huge GNSS global networks [J]. Journal of Geodesy, 2006, 80(4): 199–203.
- [10] 方荣新, 施闯. 高采样率 GPS 数据非差精密处理方法及其在地震学中的应用研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2010.
- [11] 胡辉, 方玲, 雷明东, 等. GPS 接收机 C/A 码跟踪算法及环路控制策略[J]. 华东交通大学学报, 2013, 30(1): 64–70.
- [12] 徐爱功, 赵亮, 周阳. 基于 PANDA 软件的 GPS 静态精密单点定位精度分析[J]. 测绘通报, 2013(10): 5–7.
- [13] 赵鑫, 秦红磊, 郎荣玲. 基于优化理论的 GPS 定位解算算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2012, 38(9): 1219–1223.
- [14] 袁丰波. 半参数模型在 GPS 高程拟合和单点定位中的应用[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2012.
- [15] 刘精攀. GPS 非差相位精密单点定位方法与实践[D]. 河海大学, 2007.
- [16] BIERMAN G J. Factorization methods for discrete sequential estimation[M]. New York: Academic Press, 1972: 27–1972.
- [17] 赵齐乐, 刘经南, 葛茂荣, 等. 用 PANDA 对 GPS 和 CHAMP 卫星精密定轨[J]. 大地测量与地球动力学, 2005, 25(2): 113–117.
- [18] 陈克杰, 方荣新, 李敏, 等. PANDA 软件在高频数据 PPP 动态定位中的应用研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2011, 31(4): 132–135.
- [19] 耿涛, 赵齐乐, 刘经南, 等. 基于 PANDA 软件的实时精密单点定位研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2007, 32(4): 312–315.
- [20] 赵齐乐. GPS 导航星座及低轨卫星的精密定轨理论和软件研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004.

Reliability Analysis of Framework Coordinate Solution Based on PANDA Software

Ma Feihu¹, Rao Zhiqiang¹, Li Sheng², Jiang Shanshan¹

(1.School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2.Xinjiang Academy of Surveying & Mapping, Urumqi 830002, Xinjiang)

Abstract: This paper discusses GPS framework data processing with high-precision data post-processing software PANDA, and then compares with the solution of Bernese. It explores the strategy of point coordinate solution and related accuracy evaluation. The examples show that there is a good consistency between Bernese and PANDA solution, which indicates PANDA software has high reliability and stability.

Key words: GPS framework; accuracy analysis; Bernese; PANDA

(责任编辑 姜红贵)