



# PRIDE PPP-AR III

## 用户手册

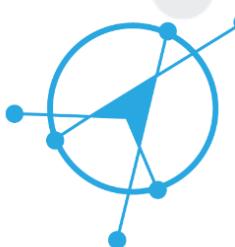
多系统精密单点定位-模糊度固定

PRIDELab 发布

网 站: [pride.whu.edu.cn](http://pride.whu.edu.cn)

邮 箱: [pride@whu.edu.cn](mailto:pride@whu.edu.cn)

Q Q 群: 971523302

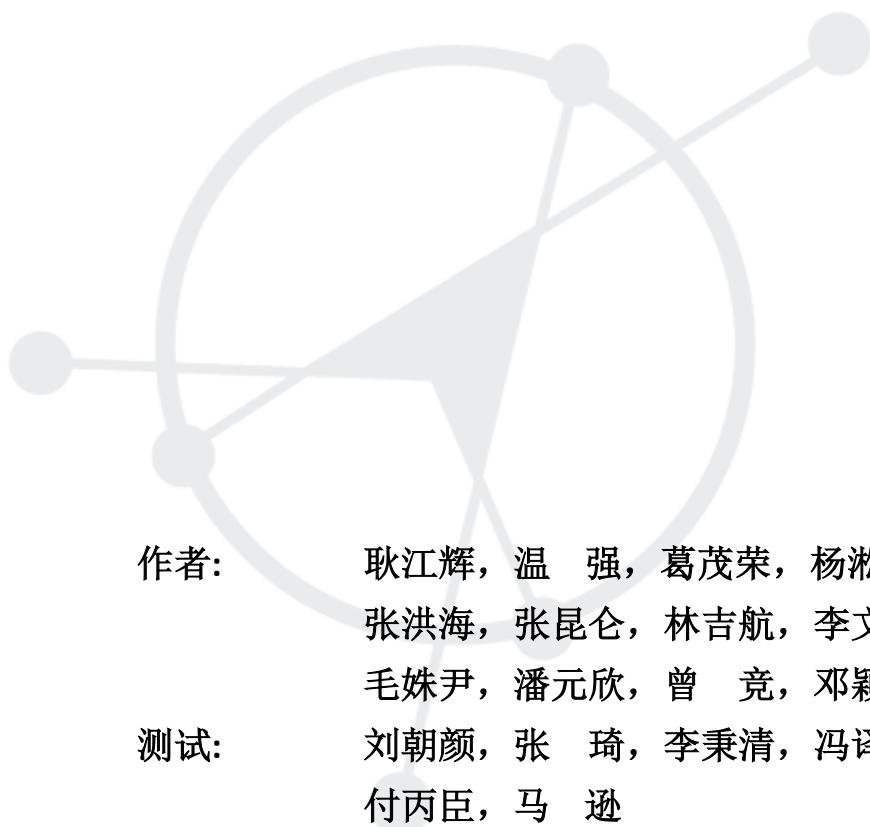


PRIDE  
Positioning  
Racers to Image  
& Decipher the Earth  
Lab

2024-12-22

武汉大学卫星导航定位技术研究中心

## 献给致力于高精度 GNSS 的人



作者:

耿江辉, 温 强, 葛茂荣, 杨淞锋,  
张洪海, 张昆仑, 林吉航, 李文溢  
毛姝尹, 潘元欣, 曾 竞, 邓颖达

测试:

刘朝颜, 张 琦, 李秉清, 冯译苇,  
付丙臣, 马 逊

# 目录

1 概述 .....	1
1.1 用户须知 .....	1
1.2 主要特点 .....	1
1.3 联系方式 .....	2
2 版本变更 .....	3
3 基础原理 .....	5
3.1 PPP 的数学模型 .....	5
3.2 PPP 的误差改正 .....	6
3.2.1 与卫星有关的误差 .....	6
3.2.2 与信号传播路径有关的误差 .....	7
3.2.3 与接收机和测站有关的误差 .....	8
3.3 非差模糊度固定 .....	9
4 程序结构与算法 .....	11
4.1 程序结构 .....	11
4.2 PRIDE PPP-AR 的模块 .....	11
4.3 pdp3 批处理脚本 .....	14
4.4 各模块算法 .....	17
4.4.1 spp .....	17
4.4.2 otl .....	17
4.4.3 mhm .....	18
4.4.4 tedit .....	18
4.4.5 lsq .....	20
4.4.6 redig .....	21
4.4.7 arsig .....	22
5 软件使用 .....	23
5.1 用户要求 .....	23
5.1.1 系统要求 .....	23
5.1.2 许可证 .....	24
5.2 安装引导 .....	24
5.2.1 PRIDE PPP-AR 的软件结构 .....	24
5.2.2 安装与验证 .....	26
5.3 文件规范 .....	27
5.3.1 结果文件 .....	27
5.3.2 数据分析脚本/程序的使用 .....	33
5.3.3 表文件 .....	37
5.4 快速启动与软件运行 .....	38
5.4.1 pdp3 使用方法 .....	38
5.4.2 配置文件 .....	41
5.4.3 一般操作步骤 .....	44

5.4.4 练习算例.....	45
<b>6 PRIDE PPP-AR GUI 版.....</b>	<b>52</b>
<b>6.1 概述 .....</b>	<b>52</b>
6.1.1 GUI 版和 CUI 版的区别 .....	52
6.1.2 软件简介.....	52
6.1.3 软件特性.....	52
6.1.4 软件主界面 .....	53
<b>6.2 使用步骤 .....</b>	<b>53</b>
<b>6.3 选项 .....</b>	<b>54</b>
6.3.1 General 选项 .....	55
6.3.2 产品选项.....	55
6.3.3 大气延迟参数选项 .....	57
6.3.4 模糊度参数选项.....	57
6.3.5 测站参数选项 .....	58
6.3.6 其他功能.....	58
<b>6.4 绘图 .....</b>	<b>59</b>
6.4.1 绘图主界面 .....	59
6.4.2 绘图方法.....	60
6.4.3 辅助功能.....	62
<b>附录 A. 所需外部文件 .....</b>	<b>64</b>
A.1 精密产品.....	64
卫星轨道产品 .....	64
钟差产品 .....	64
地球自转参数产品 .....	65
偏差产品 .....	66
四元数产品.....	67
电离层格网产品.....	68
对流层格网产品.....	68
周解产品 .....	69
A.2 表文件 .....	70
跳秒文件 .....	70
卫星参数文件 .....	70
天线改正文件 .....	71
<b>附录 B. 经典算例 .....</b>	<b>73</b>
B.1 单天解 .....	73
B.2 超高频数据 (50Hz) .....	74
B.3 大动态移动平台 .....	74
<b>附录 C. SA 时期的 GPS 数据处理 .....</b>	<b>76</b>
<b>附录 D. 武汉大学日界对齐的快速产品使用说明 .....</b>	<b>77</b>

# 1 概述

## 1.1 用户须知

PRIDE PPP-AR 源于葛茂荣教授在 PPP-AR 领域所做的研究，后来由耿江辉教授团队进一步开发完善。这是一款基于武汉大学卫星导航定位技术研究中心众多科研人员共同工作成果的开源软件，我们在此感谢所有为该软件做出奠基性贡献的人。这一版本的软件不再使用任何保护性模块，软件完全开放且更为简化，功能更加强大，性能更加稳定。我们将其开源，希望为高精度 GNSS 研究人员提供一个基础支撑平台，同时也可以促进 PPP-AR 在大地测量和地球科学领域的应用。PRIDE PPP-AR 软件受国家自然科学基金（42025401）的资助和国际大地测量学会 4.2 分委员会的支持。

本文所介绍的开源软件 PRIDE PPP-AR 可以在网站 <https://github.com/PrideLab/PRIDE-PPPAR> 下载。软件所需要使用到的精密产品可以在 <ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/whu/phasebias/> 下载。有关支持、培训课程和常见问题的最新更新可以访问 <https://pride.whu.edu.cn> 网站。此软件包的版权受 GNU General Public License (version 3) 的保护。相关出版物有：

- [Geng J, Zhang Q, Li G, et al. Observable-specific phase biases of Wuhan multi-GNSS experiment analysis center's rapid satellite products\[J\]. Satellite Navigation, 2022, 3\(1\): 1-15. doi:10.1186/s43020-022-00084-0](#)
- [Geng J, Wen Q, Zhang Q, Li G, Zhang K \(2022\). GNSS observable-specific phase biases for all-frequency PPP ambiguity resolution. Journal of Geodesy, 96\(11\):1-18. doi:10.1007/s00190-022-01602-3](#)
- [Geng J, Chen X, Pan Y, Zhao Q \(2019\). A modified phase clock/bias model to improve PPP ambiguity resolution at Wuhan University. Journal of Geodesy, 93\(10\):2053-2067. doi:10.1007/s00190-019-01301-6](#)
- [Geng J, Chen X, Pan Y, Mao S, Li C, Zhou J, Zhang K \(2019\). PRIDE PPP-AR: an open-source software for GPS PPP ambiguity resolution. GPS Solutions, 23\(91\):1-10. doi:10.1007/s10291-019-0888-1](#)
- [Geng J, Yang S, Guo J \(2021\). Assessing IGS GPS/Galileo/BDS-2/BDS-3 phase bias products with PRIDE PPP-AR. Satellite Navigation, 2\(1\):1-15. doi:10.1186/s43020-021-00049-9](#)
- [Geng J, Mao S. Massive GNSS network analysis without baselines: Undifferenced ambiguity resolution. J. Geophys. Res. 2021, 126\(10\), e2020JB021558. doi:10.1029/2020JB021558](#)
- [ZENG J, GENG J, LI G, et al. Improving cycle slip detection in ambiguity-fixed precise point positioning for kinematic LEO orbit determination\[J/OL\]. GPS Solutions, 2024, 28\(3\): 135. doi:10.1007/s10291-024-01639-1.](#)
- [Geng, J., Zhang, H., Li, G. et al. Multipath mitigation for GPS/Galileo/BDS-3 precise point positioning with overlap-frequency signals. Satell Navig 5, 22 \(2024\). <https://doi.org/10.1186/s43020-024-00144-7>](#)

## 1.2 主要特点

PRIDE PPP-AR 能够对多系统 GNSS 数据进行后处理，可应用于大地测量、地震、摄影测量、重力测量等方面的研究。PRIDE PPP-AR 的主要特点包括：

- 1) 支持 GPS、GLONASS、Galileo、BDS-2/3 和 QZSS;
- 2) 支持全频率任意双频无电离层组合 PPP-AR;
- 3) 可处理高达 50Hz 的 GNSS 高频数据;
- 4) 可应用于大动态移动平台，适用于航空摄影测量、船载重力测量等;
- 5) 支持低轨卫星运动学定轨;
- 6) 支持最多 108 天无日不连续性的多天连续处理;
- 7) 支持基于 IPPP 钟差估计的时频传递;
- 8) 支持基于维也纳映射函数 (VMF1/VMF3) 的对流层建模;

- 9) 支持基于 GIM 产品的二阶电离层改正;
- 10) 支持接收机钟跳探测与修复;
- 11) 与 IGS 最新协议一致: Bias-SINEX 偏差文件格式, IGS20 参考框架, ORBEX 姿态文件格式, RINEX4, 等;
- 12) 附加绘图功能的 Windows 和 Mac GUI 版本, 便于早期科研人员;
- 13) 可处理 2000 年以前有 SA 时的 GPS 数据;
- 14) 同时支持快速产品 (RAP) 和实时产品 (RTS), 更具时效性;
- 15) 使用中国测绘科学研究院海潮改正模块, 支持无海潮系数情况下的海潮负载改正;
- 16) 根据 bias-SINEX 文件 DOCB 模块判断跨天模糊度是否需要截断。
- 17) 支持静态测站的多路径建模与补偿

### 1.3 联系方式

如果您在软件使用过程中发现问题, 可以通过发送电子邮件联系我们提交 **bug**, 并取得帮助。

电子邮件: pride@whu.edu.cn

网站: pride.whu.edu.cn

对于中国用户, 我们建立了 **QQ 交流群**用以交流软件使用相关问题。群号码:  
**971523302**。申请入群时请留下您的机构和姓名。

## 2 版本变更

1. 2019-03-21 (v1.0)
  - 发布 PRIDE PPP-AR v1.0
2. 2019-04-03 (v1.1)
  - 支持 RINEX-3
  - 修复高动态计算的 bug
  - 支持 Linux-32 系统(src/lib/shard/linux-32)
  - 支持 Mac OS 系统(src/lib/shard/mac)
3. 2019-05-01 (v1.2)
  - 支持 VMF1
4. 2019-05-23 (v1.3)
  - 自动选择 IGS ATX
  - 从 2020 年起将 SP3 产品从 COD 切换至 WHU
5. 2019-06-01 (v1.3)
  - 添加 src/utils/xyz2enu
6. 2019-07-12 (v1.3)
  - 支持快速相位偏差产品
7. 2019-07-16 (v1.4)
  - 添加功能：接收机钟跳探测与修复
  - pride\_pppar 输出表文件有效时间
  - 修复 pride\_pppar.sh 的兼容性问题
8. 2019-09-05 (v1.4)
  - 更新 igs14.atx
9. 2019-12-15 (v1.4)
  - install.sh: 增加 src/lib/libpridepppar.so 的安装提示
  - pride\_pppar.sh: 修复已知 bug 并向屏幕输出错误信息便于调试
  - table: 更新 jpleph\_de405 (有效期至 2040-007)
  - table: 更新 IGS14.atx (igs14\_2082.atx)
10. 2021-05-21 (v2.0)
  - 发布 PRIDE PPP-AR v2.0
11. 2021-09-06 (v2.1)
  - 支持四元数产品
12. 2022-04-07 (v2.2)
  - 批处理脚本名由 “pride\_pppar” 更改为 “pdp3”，相应的命令行参数也进行修改
  - 支持多天处理
  - 不再需要 DCB 产品
  - 2020 年后的默认产品切换至由武汉大学发布的多系统产品
  - 表文件 “leap.sec” 需要下载，由 “sat\_parameters” 代替 “glonass\_chn” 文件
  - 附带绘图功能的 GUI 版本
13. 2024-8-15 (v3.0)
  - 发布 PRIDE PPP-AR v3.0

- 支持在任意双频无电离层组合上实现“全频率 PPP-AR”
- 使用 武汉 大学 最新的 快速 全 频率 相 位 钟 / 相 位 偏 差 产 品 实 现 L5/E6/E5b/E5/B1C/B2a/B2 等新信号的模糊度固定
- 新增 GRACE/GRACE-FO 低轨卫星的运动学定轨模式
- 提升多天处理的能力和长期一致性，提供无日不连续的解算方案
- 提供更多的参数估计模型和命令行选项
- 兼容最新的 IGS 数据和产品扩展格式，支持 RINEX 4 格式的观测文件和广播星历
- 细化结果文件的数据记录，精化程序运行的输出信息
- 添加中国测绘科学研究院海潮改正模块，支持无海潮系数情况下的海潮负载改正
- 新增 P 模式下位置历元间约束功能
- 新增根据 bias-SINEX 文件 DOCB 模块判断跨天模糊度是否需要截断功能

14. 2025-01-06 (v3.1.0)

- 发布 PRIDE PPP-AR v3.1.0
- 新增 mhmm 模块及相应的命令行选项，支持多星座全频率的多路径延迟建模与补偿



### 3 基础原理

精密单点定位（Precise Point Positioning, PPP）是一种利用外部提供的精密产品（如卫星轨道、钟差等），综合考虑各项误差并对其精细建模，通过非差方式处理单台接收机观测数据的技术。软件致力于减轻网络解算因海量数据而带来的巨大计算负担，自提出之后便迎来了快速发展和应用。与相对定位相比，PPP 不需要搭建的密集的参考站网络，用户只需一台接收机就可以实现高精度定位。此外，与基于广播星历和伪距的标准单点定位（Standard Point Positioning, SPP）相比，PPP 的优势在于同时利用了伪距观测和载波相位观测，以及更精确的卫星相关参数。

PPP 综合了 SPP 和相对定位的优点，并在一定程度上克服了它们的缺点。但是，PPP 并不能通过差分来消除或削弱各种观测误差的影响，因此必须对所有误差项进行精细的考虑并加以改正。但由于需要平差计算的参数数量过多，需要引入外部文件。此外，卫星端和接收端的硬件延迟引起的相位偏差会被吸收在模糊度中，相位偏差由整数部分和小数部分组成，整数部分不影响模糊度的固定，但小数部分导致模糊度失去整数特性。因此，PPP 的难点在于如何将小数部分从模糊度中分离出来，进而实现 PPP 模糊度固定（PPP Ambiguity Resolution, PPP-AR）。

#### 3.1 PPP 的数学模型

对于从测站 $r$ 到卫星 $s$ 的双频 GNSS 数据，其以长度为单位，对应与第 $i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) 频率的伪距和载波相位原始观测方程为

$$\begin{cases} P_{r,i}^s = \rho_r^s + c(\delta t_r - \delta t^s) + \frac{A}{f_i^2} + d_{r,i} - d_i^s \\ L_{r,i}^s = \rho_r^s + c(\delta t_r - \delta t^s) - \frac{A}{f_i^2} + \lambda_i N_{r,i}^s + b_{r,i} - b_i^s \end{cases} \quad (3-1)$$

式中， $P_{r,i}^s$  为伪距观测值； $L_{r,i}^s$  为载波相位观测值； $\rho_r^s$  表示站星几何距离； $c$  为真空中光速； $\delta t_r$  和  $\delta t^s$  分别表示接收机钟差和卫星钟差； $\frac{A}{f_i^2}$  表示一阶电离层延迟； $f_1$  和  $f_2$  为  $L_1$  和  $L_2$  的频率； $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  为其相应的波长； $N_1$  和  $N_2$  表示对应的整周模糊度； $d_{r,i}$  和  $d_i^s$  表示第  $i$  频率上由硬件延迟引起的接收机端伪距偏差和卫星端伪距偏差； $b_{r,i}$  和  $b_i^s$  表示第  $i$  频率上由硬件延迟引起的接收机端的相位偏差和卫星端的相位偏差。该式中省略了高阶电离层延迟，对流层延迟，多路径效应以及观测噪声等。

式 (3-1) 中的站星几何距离可表示为

$$\rho_r^s = |\mathbf{X}^s(t_s) - \mathbf{X}_r(t_r)| \quad (3-2)$$

式中， $t_s$  和  $t_r$  表示信号发射时刻和信号接收时刻； $\mathbf{X}^s(t_s)$  和  $\mathbf{X}_r(t_r)$  为信号发射时刻的卫星坐标向量和信号接收时刻的接收机坐标向量， $|\cdot|$  表示向量模长。

式 (3-1) 中的一阶电离层延迟，可由双频观测值的线性组合消除。无电离层组合观测值为

$$\begin{cases} P_{r,0}^s = \alpha P_{r,1}^s - \beta P_{r,2}^s \\ \quad = \rho_r^s + c(\delta t_r - \delta t^s) + d_{r,0} - d_0^s \\ L_{r,0}^s = \alpha L_{r,1}^s - \beta L_{r,2}^s \\ \quad = \rho_r^s + c(\delta t_r - \delta t^s) + \alpha \lambda_1 N_{r,1}^s - \beta \lambda_2 N_{r,2}^s + b_{r,0} - b_0^s \end{cases} \quad (3-3)$$

式中

$$\begin{cases} \alpha = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \\ \beta = \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \\ \alpha - \beta = 1 \end{cases}$$

且

$$\begin{cases} d_{r,0} = \alpha d_{r,1} - \beta d_{r,2} \\ d_0^s = \alpha d_1^s - \beta d_2^s \\ b_{r,0} = \alpha b_{r,1} - \beta b_{r,2} \\ b_0^s = \alpha b_1^s - \beta b_2^s \end{cases}$$

$P_{r,0}^s$  和  $L_{r,0}^s$  为无电离层组合的伪距观测值和载波相位观测值；相应地， $d_{r,0}$  和  $d_0^s$  为其接收机端伪距偏差和卫星端伪距偏差； $b_{r,0}$  和  $b_0^s$  为其接收机端相位偏差和卫星端相位偏差。

## 3.2 PPP 的误差改正

如上所述，PPP 使用非差数据处理模式，没有通过差分消除或削弱各种观测误差的影响。因此，必须对所有误差项进行精细的考虑，并尽可能地进行改正。通常情况下，有两种类型的误差修正方法。（1）对于可以精细建模的误差采用模型修正，如卫星天线相位中心偏移/相位中心变化（Phase Center Offset/Variation, PCO/PCV）；（2）对于不能精细建模的误差，可以作为参数估计或利用组合观测消除，如经过模型修正后的对流层延迟仍需通过增加参数估计，电离层延迟误差的低阶项可以通过组合观测消除。

在 PPP 中，主要的误差源可以分为三类：（1）与卫星有关的误差，（2）与信号传播路径有关的误差，（3）与接收机和测站有关的误差。

### 3.2.1 与卫星有关的误差

#### (1) 卫星星历误差和卫星钟差

卫星星历误差是指卫星星历所表示的轨道与实际轨道之间的差异。对于式（3-2）中的卫星坐标矢量  $\mathbf{X}^s(t_s)$ ，国际 GNSS 服务组织（International GNSS Service, IGS）提供的事后精密星历的标称精度已优于 2.5cm。用户可以使用拉格朗日插值法来计算信号发射时刻的卫星坐标。信号发射时刻时间的计算公式为：

$$t_s = t^r + \delta t_r - \tau \quad (3-4)$$

式中， $\tau$  为信号传播时间。它可以通过改正各项误差后的站星几何距离来计算，而站星几何距离与卫星坐标有关，所以这个过程需要迭代计算。

卫星钟差可以通过引入卫星钟差产品来消除，即将其作为已知值代入观测方程。目前，IGS 事后钟差产品的精度已经达到 75ps，完全可以满足 PPP 的需要。

#### (2) 地球自转改正

由于地固坐标系随着地球的旋转而旋转，所以信号发射时刻和信号接收时刻所对应的地固坐标系是不同的。因此，有必要考虑这一修正来计算地球固定坐标中从卫星到接收器的几何距离。设  $\omega$  为地球自转角速度，由此产生的卫星坐标变化为

$$\mathbf{X}^{s'} = \mathbf{R} \cdot \mathbf{X}^s \quad (3-5)$$

式中， $\mathbf{R}$  为旋转矩阵

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos\omega\tau & \sin\omega\tau & 0 \\ -\sin\omega\tau & \cos\omega\tau & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

相应的几何距离改正为

$$\Delta\rho = \frac{\omega}{c} [\mathbf{Y}^s(\mathbf{X}_r - \mathbf{X}^s) - \mathbf{X}^s(\mathbf{Y}_r - \mathbf{Y}^s)] \quad (3-6)$$

### (3) 相对论效应

相对论效应是由卫星钟和接收机钟所处的状态不同（运动速度和引力位）而引起的。由不同的速度引起的时钟频率变化被称为狭义相对论效应，由不同的重力势能引起的时钟频率变化被称为广义相对论效应。在狭义相对论效应和广义相对论效应的共同影响下，卫星钟和接收钟之间发生相对的时钟误差，卫星钟比接收钟运动得更快。它的常数部分在产生卫星时钟时可以降低其标准频率。但是，卫星钟和接收钟之间的频率差与卫星的运行速度和它与地心的距离有关，所以经过上述修正后仍有残差，可按以下公式进行修正。

$$\Delta\rho_{rel} = -\frac{2}{c} \mathbf{X}^s \cdot \dot{\mathbf{X}}^s \quad (3-7)$$

式中， $\mathbf{X}^s$ 为卫星坐标矢量， $\dot{\mathbf{X}}^s$ 为卫星速度矢量。除卫星钟频率漂移外，广义相对论效应还包括地球引力场引起的几何距离的延迟，称为引力延迟，其相应改正可参考相关文献。

### (4) 卫星端 PCO/PCV

卫星端 PCO 是指卫星质心与卫星天线相位中心之间的偏差。PPP 中使用的卫星轨道产品是以卫星质心为基础的，而卫星播发信号是基于其天线相位中心。对于单个卫星来说，PCO 可以被看作是一个固定的偏差向量。

因为相位中心在实际发射和接收信号的过程中随时间变化，所以会与平均相位中心相比有一个偏差，这个偏差被称为 PCV。在高精度的应用中，有必要对 PCV 进行修正。

### (5) 相位缠绕

GNSS 卫星信号采用的是极化波。当卫星天线或接收天线围绕自己的纵轴旋转时，载波相位观测值将发生变化，其数值可达一个周期。当发射天线和接收天线之间发生相对旋转时，载波相位观测值将包含误差。在定位时，接收器的天线指向发生变化后，其误差会自动吸收到接收器的钟差中，所以不需要考虑。由于卫星上的太阳能电池板需要始终对准太阳，卫星天线会缓慢旋转。进入日食期后，卫星会加速旋转，导致载波相位观测值包含误差。相位缠绕对 PPP 的影响是非常明显的，这个误差必须被考虑在内。

## 3.2.2 与信号传播路径有关的误差

### (1) 电离层延迟

电离层是一种色散性介质，主要位于地球表面以上约 70 公里至 1000 公里的大气区域。在这个区域，一些中性气体分子被电离，产生大量的电子和正离子，从而形成电离区。在色散介质中，波的传播速度是其频率的函数。电磁波在电离层中传播的相速度（单一频率的电磁波的相位速度）将超过群速度（一组不同频率的电磁波信号作为一个整体的传播速度）。因此，在 GNSS 信号中，伪距码被延迟，载波相位被提前。

如上所述，为了消除和减弱电离层延迟的影响，可以采用电离层校正模型和电离层网格模型。此外，还可以采用双频校正，通过线性组合观测来消除电离层延迟误差。在利用双频观测消除一阶电离层影响后，其余高阶项对 PPP 的影响非常小，可以忽略不计。

### (2) 对流层延迟

对流层是大气的低层部分，对于其频率在 15GHz 以上的电磁波来说是非色散介质。对流层延迟一般分为干分量和湿分量考虑。PPP 中对流层延迟改正的常用方法是将模型作为先验值，将残余的对流层延迟估计为分段常数或随机游走噪声估计，并通过投影函数投影至信号传播方向。对流层延迟可以表示为：

$$\Delta\rho_{trop} = ZTD_{dry} \cdot M_{dry} + ZTD_{wet} \cdot M_{wet} \quad (3-8)$$

式中,  $ZTD_{dry/wet}$  天顶对流层延迟的干/湿分量,  $M_{dry/wet}$  为其对应的干/湿投影函数。

### (3) 多路径效应

多径效应是指如果被测站附近的反射面反射的卫星信号(反射波)进入接收机天线,就会与直接来自卫星的信号(直射波)发生干扰,使观测值偏离真值。多路径误差变化很大,取决于接收机环境、卫星仰角、接收机信号处理方法、天线增益类型和信号特性等。

削弱多径误差的主要措施有:选择合适的站址,为接收机配备直径抑制板或圆环,适当延长观测时间,估计附加参数等。由于低高度角的卫星信号更容易产生多路径效应,在数据预处理时也可以设置截止高度角,通过长时间的观测和平滑,可以弱化多路径效应对高精度的影响。

目前补偿多路径延迟的算法主要有恒星日滤波法和 MHM 半天球模型法。前者利用卫星轨道的重复性,在时间域上对观测值进行滤波,其所需观测时间较长,且需要对每颗卫星各自建立模型,计算较为复杂。MHM 半天球模型法也是利用卫星轨道的重复性,但还考虑到来自同一方向同一频率的卫星信号多路径延迟应当相同这一点,建立起一个以高度角和方位角为自变量的半天球空间模型,且同一频率的卫星可以采用同一个 MHM 模型,计算较为简单,更适于应用。

## 3.2.3 与接收机和测站有关的误差

### (1) 接收机钟差

由于接收机一般采用石英钟,其稳定性比卫星的原子钟较差,所以一般不适用多项式拟合方法。所以将每个历元的接收机钟差作为参数估计,在处理过程中,接收器钟差通常被视为一组白噪声。需要注意的是,与计算卫星位置不同,原始观测方程式(3-1)中的接收机钟差需要严密计算,因为在计算卫星位置时,测量误差要乘以 3.9km/s 的卫星运行速度,而测量误差对几何距离的影响则需要乘以真空光速。

### (2) 潮汐改正

在月球和太阳的引力作用下,富有弹性的地球表面会产生周期性的变化,这就是所谓的固体潮。它使地球在地心与天体的连线上被拉长,在垂直方向上趋于平坦。固体潮对测站的影响包括与纬度有关的长周期项和主要由日周期和亚日周期组成的短周期项。对于 PPP 单天解,虽然周期性误差可以基本消除,但残余影响在水平方向可以达到 5cm,在垂直方向可以达到 12cm。

海潮是来自于海洋潮汐对地壳的载荷。海潮引起的位移比固体潮小一个数量级。在 PPP 单天解中,当测站距离海岸线超过 1000 公里时,其影响为毫米级。其影响可以忽略不计,对单历元的影响可以达到 5 厘米。

### (3) 接收机端 PCO/PCV

当使用 GNSS 接收机进行测量时,天线高度一般是测量到天线参考点(Antenna Reference Point, ARP)的位置。其与天线相位中心一般不重合。这种偏差被称为接收机天线 PCO,对于不同频率的信号,PCO 也是不一致的。在 PPP 数据处理中必须考虑它。

接收器天线的相位中心不是固定的,它的瞬时相位中心随着接收信号的仰角、方位角和信号强度的变化而变化。同样,接收天线的瞬时相位中心和平均相位中心之间的差异被称为天线相位中心变化,同卫星端 PCV 一样也需要进行改正。

### 3.3 非差模糊度固定

式 (3-1) 中的硬件延迟包括两部分, 时不变部分与时变部分, 即

$$\begin{cases} d_{r,*} = \Delta d_{r,*} + \delta d_{r,*} \\ d_*^s = \Delta d_*^s - \delta d_*^s \\ b_{r,*} = \Delta b_{r,*} - \delta b_{r,*} \\ b_*^s = \Delta b_*^s - \delta b_*^s \end{cases} \quad (3-9)$$

式中, \* 为表示不同频率观测值及其组合观测值的通配符。

在 PPP 中, 另一个常用的组合观测值为 M-W 组合

$$\begin{aligned} L_{r,m}^s &= \lambda_w \left( \frac{L_{r,1}^s}{\lambda_1} - \frac{L_{r,2}^s}{\lambda_2} \right) - \lambda_n \left( \frac{P_{r,1}^s}{\lambda_1} - \frac{P_{r,2}^s}{\lambda_2} \right) \\ &= \lambda_w \left( N_{r,w}^s + \frac{b_{r,1} - b_1^s}{\lambda_1} - \frac{b_{r,2} - b_2^s}{\lambda_2} \right) - \lambda_n \left( \frac{d_{r,1} - d_1^s}{\lambda_1} + \frac{d_{r,2} - d_2^s}{\lambda_2} \right) \end{aligned} \quad (3-10)$$

$\lambda_w = \frac{c}{f_1 - f_2}$  和  $\lambda_w = \frac{c}{f_1 + f_2}$  分别表示宽巷波长和窄巷波长;  $N_{r,w}^s = N_{r,1}^s - N_{r,2}^s$  为宽巷模糊度。M-W 组合消除了电离层延迟、卫星到接收器的几何距离、卫星钟差和接收器钟差。只受多路径效应、测量噪声和硬件延迟的影响。由于宽巷的波长  $\lambda_w$  高达 86 厘米, 因此很容易确定其整周模糊度, 也就是说, 宽巷模糊度通过 M-W 组合  $L_{r,m}^s$  来求解固定。其相应的接收机端相位偏差和卫星端相位偏差为

$$\begin{cases} b_{r,w} = \lambda_w \left( \frac{b_{r,1}}{\lambda_1} - \frac{b_{r,2}}{\lambda_2} \right) - \lambda_n \left( \frac{d_{r,1}}{\lambda_1} + \frac{d_{r,2}}{\lambda_2} \right) \\ b_w^s = \lambda_w \left( \frac{b_1^s}{\lambda_1} - \frac{b_2^s}{\lambda_2} \right) - \lambda_n \left( \frac{d_1^s}{\lambda_1} + \frac{d_2^s}{\lambda_2} \right) \end{cases} \quad (3-11)$$

通过 M-W 组合固定宽巷模糊度之后, 将  $N_{r,2}^s = N_{r,1}^s - \tilde{N}_{r,w}^s$  代入无电离层组合观测方程式 (3-3) 中, 可得

$$\begin{cases} P_{r,0}^s = \alpha P_{r,1}^s - \beta P_{r,2}^s = \rho_r^s + c(\delta t_r - \delta t^s) + d_{r,0} - d_0^s \\ \bar{L}_{r,0}^s = L_{r,0}^s - \beta \lambda_2 \tilde{N}_{r,w}^s = \rho_r^s + c(\delta t_r - \delta t^s) + \lambda_n N_{r,1}^s + b_{r,0} - b_0^s \end{cases} \quad (3-12)$$

式中,  $\tilde{N}_{r,w}^s$  表示已固定的宽巷模糊度; 该式中的  $N_{r,1}^s$  也称为窄巷模糊度;  $\bar{L}_{r,0}^s$  为附加宽巷整周模糊度后的无电离层组合相位观测值。

在 GNSS 数据的处理过程中, 连续弧段的模糊度一般被约束为常数, 而钟差一般作为白噪声估计。这样一来, 硬件延迟的常数部分被模糊度参数吸收, 而时变部分则被钟差参数吸收。因此, 无论硬件延迟是恒定的还是随时间变化的, 对模糊度的影响是引入一个恒定的偏差。修复非差模糊度的关键是将恒定偏差与整数模糊度分离。

有几种方法可以固定非差模糊度: 整数钟模型、钟差去耦模型、UPD (uncalibrated phase delay) 模型和 phase clock/bias 模型。

#### (1) 整数钟模型和钟差去耦模型

整数钟模型的基本思路是假设宽巷相位偏差在一天内保持恒定, 通过 M-W 组合估计宽巷模糊度, 从宽道模糊度估值中提取其小数部分作为宽巷相位偏差, 整数部分为宽巷整数模糊度。然后将固定的宽巷模糊带入无电离层组合, 以固定窄巷道模糊度。通过对固定的窄巷模糊度进行取整, 相应的窄道相位偏差被吸收到钟差参数中。钟差去耦模型与整数钟模型类似, 只是宽巷的相位偏差是逐历元估计的。整数钟模型的定位精度很高, 但卫星钟差产品与 IGS 事后钟差产品和差分码偏差 (Differential Code bias, DCB) 产品不兼容。钟差去耦模型需要估计两套时钟产品, 很少有分析中心或科研机构采用。

#### (2) UPD 模型

在 UPD 模型中，宽巷相位偏差的处理与整数钟模型相同，窄巷相位偏差的计算过程与宽巷相位偏差的处理过程一致。UPD 模型直接使用 IGS 事后钟差产品，但其窄道相位偏差不稳定，经验上需要每十分钟估算一次，且定位精度低于整数钟模型。

需要注意的是，IGS 的事后钟差产品被定义为双频无电离层组合钟差。因此，在其事后产品中，除了实际的卫星钟差外，还包括无电离层组合的硬件偏差部分。考虑到伪距观测量和载波相位观测量之间的权重差异，该钟差包括伪距偏差的时不变部分和相位偏差的时变化部分。其理论形式为

$$\begin{cases} \delta t_{r,F} = \delta t_r + \frac{\Delta d_{r,0} + \delta b_{r,0}}{c} \\ \delta t_F^s = \delta t^s + \frac{\Delta d_0^s + \delta b_0^s}{c} \end{cases} \quad (3-13)$$

### (3) Phase clock/bias 模型

UPD 模型中窄巷相位偏差的不稳定性被认为是由于卫星轨道/钟差模型误差和残余大气误差的影响；基于整数钟模型和 UPD 模型，Phase clock/bias 模型计算出 UPD 模型中单天窄巷模糊度的均值并在后续数据处理中加以固定，然后重新估计钟差参数，并将相对于窄巷模糊度均值的残余窄巷相位偏差吸收到钟差参数中。因此，所需的窄巷整数模糊度及其偏差部分分别为窄巷子模糊度均值的整数部分和分数部分。重新估计的钟差为该模型中的相位钟。在 UPD 模型中，接收器和卫星之间的窄巷相位偏差为

$$\begin{cases} b_{r,n} = \Delta b_{i,0} - \Delta d_{i,0} \\ b_n^s = \Delta b_0^s - \Delta d_0^s \end{cases} \quad (3-14)$$

在根据 UPD 模型计算出窄巷模糊度的单天均值及其相位偏差后，考虑到式 (3-13)，在无电离层组合中重新估计钟差（式 (3-12)），即

$$\begin{cases} P_{r,0}^s = \rho_r^s + c(\delta t_{r,F} - \delta t_F^s) + (\Delta d_{r,0} - \Delta d_0^k - \Delta b_{i,0} + \Delta b_0^k) \\ \bar{L}_{r,0}^s - \lambda n \bar{N}_{r,1}^s + \hat{b}_n^s = \rho_r^s + c(\delta t_{r,F} - \delta t_F^s) + b_{r,n} \end{cases} \quad (3-15)$$

式中， $\delta t_{r,F}$  和  $\delta t_F^s$  为待估计的接收机钟差和卫星钟差， $(\Delta d_{r,0} - \Delta d_0^k - \Delta b_{i,0} + \Delta b_0^k)$  为残差项，会被伪距残差吸收从而忽略；接收机端窄巷相位偏差  $b_{r,n}$  将会被接收机钟差  $\delta t_{r,F}$  吸收。

因此，用户使用 phase bias/clock 模型进行 PPP-AR 的数学模型如下：

$$\begin{cases} L_{r,m}^s + \hat{b}_w^s = \lambda_w N_{r,w}^s + b_{r,w} \\ P_{r,0}^s + c \hat{t}_F^s \approx \rho_r^s + c t_{r,F} \\ L_{r,0}^s + c \hat{t}_F^s - \beta \lambda_2 \bar{N}_{r,w}^s + \hat{b}_n^s = \rho_r^s + c t_{r,F} + \lambda n N_{r,1}^s + b_{r,n} \end{cases} \quad (3-16)$$

式中， $\hat{b}_w^s$  和  $\hat{b}_n^s$  为卫星端宽巷相位偏差和窄巷相位偏差产品； $\hat{t}_F^s$  为卫星钟差产品；在此忽略式 (3-15) 无电离层组合钟残差项( $\Delta d_{r,0} - \Delta d_0^k - \Delta b_{i,0} + \Delta b_0^k$ )。接收机端窄巷相位偏差  $b_{r,n}$  会被接收机钟差  $\delta t_{r,F}$  所吸收。

在数据处理中，首先将宽巷相位偏差带入 M-W 组合以计算宽巷整周模糊度，然后将固定后的宽巷整数模糊度、卫星钟差和窄巷相位偏差带入无电离层组合以固定窄巷模糊度。

## 4 程序结构与算法

### 4.1 程序结构

PRIDE PPP-AR 的运行结构如图 4-1，其流程分为三部分：数据准备与预处理、最小二乘估计、以及整周模糊度固定。第一部分，数据准备与预处理部分为后续数据处理准备表文件和精密产品。**spp** 模块用于计算测站初始坐标。**sp3orb** 将 SP3 轨道转换为自定义的二进制轨道文件便于软件更有效的读取精密轨道产品。若进行多路径改正，**mhm** 将生成对应的“mhm\_”文件，以在最小二乘估计部分提供多路径改正数。在最小二乘估计部分，**tedit** 用于数据预处理并将 RINEX 质量信息输出至“log\_”文件中。**lsq** 基于 **tedit** 生成的“log\_”文件进行参数估计并输出结果。后调用 **redig** 模块进行残差编辑并更新“log\_”文件，通过 **lsq** 和 **redig** 迭代来完成数据清理。如果不进行模糊度固定，结束计算得到浮点解。否则调用 **arsig** 模块进行模糊度固定。在下一步 **lsq** 中，将已固定的整周模糊度作为强约束附加到法方程中来实现固定解。

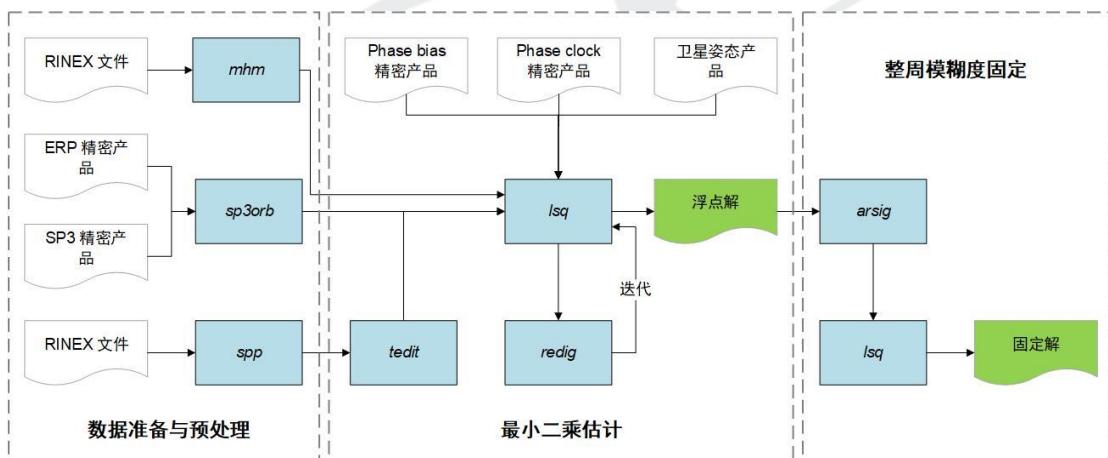


图 4-1 PRIDE PPP-AR 程序运行结构

### 4.2 PRIDE PPP-AR 的模块

PRIDE PPP-AR 的各个模块的功能和使用方法如下所示。

- **spp** 用于计算测站初始坐标，如果定位模式为“S”，用初始位置将输出到“sit.xyz”文件。

否则，如果定位模式为“K/P/L”，**spp** 将生成“kin\_”文件来记录初始坐标时间序列。

请注意，如果定位模式为“F”，测站坐标将被固定为 IGS 日解。

①S/F 模式：

```
spp -elev 10 -trop saas -ts ${ts} -te ${te} -ti ${interval} ${rinexobs} ${rinexnav}
```

②K/P 模式：

```
spp -elev 10 -trop saas -ts ${ts} -te ${te} -ti ${interval} -o
kin_${ydoys[0]}${ydoys[1]}_${site} ${rinexobs} ${rinexnav}
```

③L 模式：

```
spp -elev 0 -trop non -ts ${ts} -te ${te} -ti ${interval} -o
kin_${ydoys[0]}${ydoys[1]}_${site} ${rinexobs} ${rinexnav}
```

其中，(注：符号\${}表示对变量取值)

**[-elev]** 可选，截至高度角（单位： $^{\circ}$ ）

**[-trop]** 可选，对流层改正模型。默认为 **saas**；**non**:不改正；**saas:saastamoinen** 模型

**[-ts]** 可选，起始时刻（格式：年/月/日 时:分:秒）

<b>[-te]</b>	可选，结束时刻（格式：年/月/日 时:分:秒）
<b>[-ti]</b>	可选，采样率（单位：s）
<b>[-o]</b>	可选，输出文件。不指定为静态解算；指定为动态解算，并将结果输出到指定文件中
<b>`\${rinexobs}</b>	RINEX 观测文件
<b>`\${rinexnav}</b>	广播星历
<b>[-?/-h]</b>	可选，输出帮助信息

若想单独调用 **spp** 模块，则可根据如下示例操作编写命令

**例：**（注意：文件夹下须有相应 O, N 文件，且 **ts** 和 **te** 参数需在观测文件时间范围内）

①S/F 模式：

输入（命令行）：

```
spp -elev 10 -trop saas -ts 2023/06/30 00:00:00 -te 2023/06/30 23:59:59  
-ti 30 abmf1810.23o brdm1810.23p
```

输出（命令行）：

```
Position : 2919786.1342 -5383745.6171 1774604.6673  
Duration : 2023 06 30 00 00 0.00 86370.00
```

②K/P 模式：

输入（命令行）：

```
spp -elev 10 -trop saas -ts 2023/06/30 00:00:00 -te 2023/06/30 23:59:59  
-ti 30 abmf1810.23o brdm1810.23p -o kin_2023181_abmf
```

输出：kin\_2023181\_abmf 文件，其中记载了所有历元的解算结果

③L 模式：同②K/P 模式，不再赘述。

- **otl** 用于计算测站的海潮改正分量，该模块所使用的计算代码为章传银研究员所提供的方法（<https://www.zcphygeodesy.com/>），在此将其模块化为一个单独的可执行程序。其用法如下。（注：此模块生成的结果为二进制文件）

**otl -b \${lat} -l \${lon} -h \${hgt} -s \${ts} -e \${te} -i \${ti} -o \${outfile}**  
其中，（注：符号\${}表示对变量取值）

<b>[-b]</b>	测站纬度（单位：°）
<b>[-l]</b>	测站经度（单位：°）
<b>[-h]</b>	测站椭球高（单位：米）
<b>[-ts]</b>	开始时刻（格式：年/月/日 时:分:秒）
<b>[-te]</b>	结束时刻（格式：年/月/日 时:分:秒）
<b>[-ti]</b>	采样率（单位：s）
<b>`\${outfile}</b>	指定输出文件名称

- **sp3orb** 将 SP3 轨道文件转换为自定义的二进制文件。然后，该软件可以更高效地访问精确的轨道产品。

**sp3orb \${sp3} -cfg \${ctrl\_file}**

其中，（注：符号\${}表示对变量取值）

**`\${sp3}** SP3 精密轨道文件  
-cfg **`\${ctrl\_file}** 配置文件

- **tedit** 模块用于探测周跳和接收机钟跳，删除短弧段数据并识别大的数据间隔。该模块可以生成“log\_”文件用于反映 RINEX 文件的质量情况。需要注意的是，该模块并不修复周跳，而只是在“log\_”文件中进行记录，以便后续处理。

①S/F 模式:

```
tedit ${rinexobs} -time ${ymd[*]} ${hms[*]} -len ${session} -int
${interval} -xyz ${xyz[*]} -short 1200 -lc_check only -rhd ${rhd_file}
-pc_check 300 -elev ${cutoff_elev} -rnxn ${rinexnav} -freq ${freq_cmb}
-trunc_dbd ${tct_opt}
```

②P/K/L 模式:

```
tedit ${rinexobs} -time ${ymd[*]} ${hms[*]} -len ${session} -int
${interval} -xyz kin_${year}${doy}_${site} -short 120 -lc_check no -
elev ${cutoff_elev} -rhd ${rhd_file} -rnxn ${rinexnav} -freq
${freq_cmb} -trunc_dbd ${tct_opt}
```

其中, (注: 符号\${}表示对变量取值)

**`\${rinexobs}`** RINEX 观测文件

**`\${rinexnav}`** 广播星历

**[-time]** 可选, 起始时刻 (格式:年/月/日 时:分:秒)。默认为 **rinexobs** 文件的起始时间。

**[-len]** 可选, 数据处理时间 (单位: s)。

**[-int]** 可选, 数据处理间隔 (单位: s)。默认为 30s。

**-xyz** S/F 模式: 初始坐标; P/K/L 模式: 初始 “kin\_\*” 文件

**[-short]** 可选, 移除短于该值的数据弧段。默认为 600s

**-lc\_check** 周跳探测方法组合。可选项有 yes/no/only/lm (LEO)

**-pc\_check** 检核接收机钟差一致性

**[-elev]** 可选, 截止高度角 (单位: °)。默认为 0

**[-rhd]** 可选, 输出的 rhd 文件

**[-freq]** 可选, 选择合适的频率组合。默认为 G12 R12 E15 C26 J12

**[-trunc\_dbd]** 可选, 是否在日界处截断模糊度。可选项有 yes/no, 默认值为 no

● **mhm** 模块用于构建 MHM 半天球模型。首先, 判断 mhm 文件夹下的 “res\_”文件是否是通过 F/S 模式生成及其是否属于同一测站。其次, 将每一个 “res\_”文件中每颗卫星的残差按对应的高度角和方位角将其划分到  $1^\circ \times 1^\circ$  的格网中, 构建一个  $90 \times 360$  的格网。最后, 对每个  $1^\circ \times 1^\circ$  格网中的残差进行质量控制, 剔除粗差, 并将剔除后的平均值作为该格网的多径改正数输出至 “mhm\_”文件。

**mhm \${resdir}**

其中, (注: 符号\${}表示对变量取值)

**`\${resdir}`** 用于建模的残差文件夹

● **lsq** 是基于最小二乘的估计器。在这个模块中使用无电离层组合来消除一阶电离层延迟。

**lsq** 模块用于处理原始观测值并估计未知参数, 如位置参数、接收器钟差、对流层延迟和模糊度参数。**lsq** 是 PRIDE PPP-AR 的核心部分, 经过最小二乘平差, 我们可以得到 “pos\_” 文件 (或 “kin\_” 文件)、“rck\_” 文件、“ztd\_” 文件、“htg\_” 文件、“res\_” 文件和 “amb\_” 文件。

**lsq \${config} \${rinexobs}**

其中, (注: 符号\${}表示对变量取值)

**`\${config}`** 当前项目的配置文件

**`\${rinexobs}`** RINEX 观测文件

● **redig** 模块可以根据历元间周跳设立新的模糊度 (类似于 **tedit** 模块)。此外, **redig** 能够移除较大的残差并删除短弧段数据。**redig** 通过读取 **lsq** 模块生成的 “res\_” 文件进行残

差编辑更新“log\_”文件。为了更好地清理数据，**lsq** 和 **redig** 需要迭代进行。

**redig res\_\${year}\${doy} -jmp \$jump -sht \$short -pce**

其中，（注：符号\${}表示对变量取值）

**res\_\${year}\${doy}** **lsq** 后生成的残差文件

**[-jmp \$jump]** 可选，如果相邻历元间的残差大于 **jump**，则将其标记为新模糊度

**[-sht \$short]** 可选，如果模糊度有效时间小于 **short**，相应的观测数据将被剔除

**[-pce]** 可选，针对星载数据进行质量控制

- **arsig** 模块用于实现宽巷和窄巷模糊度固定。首先，利用取整法将 **lsq** 模块生成的宽巷浮点模糊度固定为最近的整数。其次，基于无电离层组合模糊度和宽巷整周模糊度。处理时段较短时窄巷模糊度可以通过 LAMBDA (Least-squares Ambiguity Decorrelation Adjustment) 方法进行固定，否则像宽巷一样采用取整法固定。最后，获取宽巷整周模糊度和窄巷整周模糊度之后，将其作为强约束附加到法方程中，由 **lsq** 再次进行平差即可获得固定解。（这些约束信息记录在“cst\_”文件中），用户可以使用 **lsq** 模块实现模糊度固定的 PPP 解。

**arsig \${config}**

其中，（注：符号\${}表示对变量取值）

**\${config}** 当前项目的配置文件

## 4.3 pdp3 批处理脚本

**pdp3** 是 PRIDE PPP-AR 进行 PPP 数据处理的批处理脚本，根据命令行参数自动处理 GNSS 数据。用户需要确保正确输入命令行参数并根据需要修改配置文件。**pdp3** 包含了处理程序的相关信息，你可以阅读脚本了解更多软件相关细节。

用户可以根据需要修改脚本“Basic Setting”块中的三个基础配置参数。

### 1. 调试设置

**DEBUG=NO** 是否在程序执行失败时保留结果文件

**YES** 程序执行失败时保留结果文件

**NO(默认)** 程序执行失败时删除结果文件

### 2. 离线设置

**OFFLINE=NO** 是否跳过更新/下载文件的请求，以在离线模式下节省处理时间

**YES** 跳过请求，不能自动下载广播星历和精密产品等

**NO(默认)** 不跳过请求，可自动下载广播星历和精密产品等

### 3. 产品设置

**USECACHE=YES** 是否使用本地路径下的精密产品和一些表文件

**YES(默认)** 如果在产品目录/表目录中有相应的文件，则将其复制到工作目录中，否则将下载相应的文件

**NO** 直接下载相应的文件，不在本地路径下进行匹配

- **main()** 函数是脚本的入口，其流程如下：

1. 分析命令行参数，检查可执行程序和所需的系统工具；

2. 定义并初始化变量；

3. 将配置信息输出到屏幕上；

4. 由输入的时间跨度决定工程目录结构；

5. 由设置决定是否调用 **PrepareMhmModel()** 函数生成多路径模型文件；

6. 根据输入参数调用 **ProcessSingleSession()** 函数开始解算。

- **PrepareMhmModel()** 函数用于生成测站的多路径模型文件，其流程如下：

1. 获取卫星星座，根据配置文件判断建模时段长度；
2. 检查建模时段的 **res** 文件是否存在；若不存在，则利用建模时段的 **Rinex-OBS** 文件及配置文件计算 **s** 模式下的 **res** 文件；
3. 调用 **mhm** 模块计算得到多路径模型文件。

● **ProcessSingleSession()** 函数用于处理单独一节的观测数据，其流程如下：

1. 初始化，包括变量定义和赋值，将配置文件复制到当前目录等；
2. 调用 **PrepareTables()** 函数，准备所需的表文件；检查 **Rinex-OBS** 文件的观测系统以及频率；调用 **PrepareRinexNav()** 函数，准备广播星历，并进行广播星历的检查；调用 **PrePareProducts()** 函数，准备所需的精密产品；
3. 若定位模式为低轨卫星定轨，则准备低轨所需的低轨卫星天线数据；
4. 调用 **sp3orb** 模块将精密轨道产品转换成二进制文件；
5. 调用 **ProcessSingleSite()** 函数进行单站数据处理。

● **PrepareTables()** 函数用于准备表文件，其流程如下：

1. 链接表目录中的本地文件至工作目录；
2. 检查并准备跳秒文件 “**leap.sec**”：
  - (1) 检查当前目录下的跳秒文件是否与软件相匹配（在第一行标有\*）；
  - (2) 如果不匹配或当前目录中不存在跳秒文件，则下载跳秒文件；
  - (3) 如果下载失败，将表目录中的跳秒文件复制到当前目录中；
  - (4) 如果下载成功且与表目录中的跳秒文件不匹配，用下载的跳秒文件替换表目录中的跳秒文件；
3. 检查并准备卫星参数文件 “**sat\_parameters**”。
  - (1) 检查当前目录下的卫星参数文件是否滞后；
  - (2) 如果滞后或在当前目录中不存在卫星参数文件，则下载卫星参数文件；
  - (3) 如果下载失败，将表目录中的卫星参数文件复制到当前目录中；
  - (4) 如果下载成功且与表目录中的卫星参数文件不匹配，用下载的卫星参数文件替换表目录中的卫星参数文件。

● **PrepareRinexNav()** 函数用于准备多系统 RINEX 格式的广播星历，其流程如下：

1. 如果处理今天的数据，下载并合并 **GPS** 小时广播星历和 **GLONASS** 小时广播星历；
2. 如果数据目录下没有短命名格式的广播星历，则匹配以 “**BRDC00IGS\_R\_**”、“**BRDC00IGN\_R\_**” 和 “**BRDM00DLR\_S\_**” 开头的长命名格式广播星历；
3. 如果短名格式和长名格式都没有，则下载广播星历；
  - (1) 若为 2016 年以后，下载多系统广播星历；
  - (2) 若下载失败或处理 2016 年以前的数据，下载 **GPS** 星历和 **GLONASS** 星历并将其合并；
4. 检查广播星历中是否有所需的卫星系统。

● **PrepareProducts()** 函数用于准备精密产品，其流程如下：

1. 根据配置文件中 “**Product directory**” 确定精密产品所在目录，若未修改即 **Default**，在工作目录年目录下创建 “**product**” 目录。其中精密产品位于 “**common**” 子目录。**VMF1/VMF3** 所需格网文件位于 “**vmf**” 子目录，电离层格网文件位于 “**ion**” 子目录，解文件位于 “**ssc**” 子目录，低轨卫星产品位于 “**leo**” 子目录；
2. 准备精密轨道、精确钟差和 **ERP** 产品，多天处理将它们合并为一个文件；
  - (1)如果不使用默认产品，将产品目录中的相应产品复制到当前目录中；
  - (2)如果是默认产品，并且在产品目录下有相应的文件，将它们复制到当前目录；
  - (3)如果是默认产品，且产品目录中没有相应的文件，则下载相应的文件；2020 年 001 天后默认下载武汉大学快速产品 (**WUM0MGXRAP**)；2019 年及以前默认下载 **IGS** 第三次重处理合并产品 (**IGS2R03FIN**)；
  - (4)如果没有武汉大学快速产品 (**WUM0MGXRAP**)，则下载武汉大学实时存档产品 (**WUM0MGXRTS**)；武汉大学实时存档产品的更新频率为 3 小时，小于快速产品的 24 小时，但精度略低，且暂时不提供四元数产品和相位偏差产品。
3. 准备四元数产品和相位偏差产品，多天处理将其合并为一个文件；

- (1)如果不使用默认产品，将产品目录中的相应产品复制到当前目录中；
- (2)如果是默认产品，并且在产品目录下有相应的文件，将它们复制到当前目录；
- (3)如果使用默认产品，且产品目录中没有相应的文件，则下载相应的文件；在 2020 年 001 天后默认下载武汉大学的快速四元数和相位偏差产品（WUM0MGXRAP），2019 年及以前默认下载 IGS 第三次重处理合并产品（IGS2R03FIN）。
- 4. 检查低轨姿态文件（只在定位模式 L 中存在）：
  - (1)如果不使用默认产品，将产品目录中的相应产品复制到当前目录中；
  - (2)如果是默认产品，并且在产品目录下有相应的文件，将它们复制到当前目录；
  - (3)若处理 GRACE/GRACE-FO 没有相应的文件，则需要手动调用 `prepare_leodata.sh` 下载低轨产品。
- 5. 准备天线改正文件（The Antenna Exchange Format, ANTEX）：
  - (1)天线改正文件与所使用的精密产品有关；
  - (2)若使用的为普通精密产品，则使用钟差头文件中“SYS / PCVS APPLIED”中定义的 ANTEX 文件；
  - (3)若为 CODE 在 IGS14 框架下的精密产品（COD0MGXRAP/COM），则根使用 M14.ATX 或 M20.ATX；
  - (4)如果都不是，则默认使用最新的 IGS ANTEX 文件。
- 6. 如果定位模式为 F，则复制或下载解文件；如果进行高阶电离层校正，则复制或下载 IONEX 文件；如果使用 VMF1/VMF3 投影函数，则下载相应的对流层格网文件。

● `ProcessSingleSite()` 函数用于处理单个测站的数据，其流程如下：

1. 初始化，包括变量定义和赋值，获取配置选项等；
2. 调用 `ComputeInitialPos()` 函数计算一个初始坐标，并将得到的坐标输出到 “`sit.xyz`” 中；
3. 若定位模式不为 L，则调用 `xyz2b1h()` 函数检查 “`sit.xyz`” 结果中，测站的 h 坐标是否在距地表-4km~20km 范围内，范围内为正常的地面测站坐标；
4. 根据定位模式和相关配置信息，调用 `tedit` 进行数据预处理；
5. 调用 `lsq` 和 `redig` 迭代进行残差编辑，以识别残留的周跳，直到没有新增模糊度且没有观测值删去；
6. 若要改正多路径，则调用 `ApplyMhmModel()` 函数，进行一遍多径补偿下的 `lsq`；
7. 如果命令行参数未指定为浮点解，且存在信号偏差产品，则调用 `arsig` 进行模糊度固定，然后调用 `lsq` 再次平差得到固定解；否则，结束计算，只得到浮点解。

此外，对于不能联网解决的用户，可以参考 `PrepareTables()`、`PrepareRinexNav()` 和 `PrepareProducts()`，其中有所需外部文件的下载地址。你可以参考这三个函数，把它们修改为下载文件的脚本。用户需要下载这些文件并把它们放在相应的目录中。关于这些所需的外部文件的简要说明，见附录 A。

● 需要放在数据目录下的文件：

1) 广播星历

小时: [ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/gps/data/hourly/](http://igs.gnsswhu.cn/pub/gps/data/hourly/)

单天: [ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/gps/data/daily/](http://igs.gnsswhu.cn/pub/gps/data/daily/) 或 [ftp://igs.ign.fr/pub/igs/data/](http://igs.ign.fr/pub/igs/data/)

● 需要放在产品目录下“common”子目录的文件：

1) 默认“WUM0MGXRAP\_”产品和“WUM0MGXRTS\_”产品：[ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/whu/phasebias/](http://igs.gnsswhu.cn/pub/whu/phasebias/)

● 需要放在产品目录下“ion”子目录的文件：

1) IONEX 文件：[ftp://ftp.aiub.unibe.ch/CODE](http://ftp.aiub.unibe.ch/CODE)

● 需要放在产品目录下“vmf”子目录的文件：

1) 对流层格网文件：

VMF1: [http://vmf.geo.tuwien.ac.at/trop\\_products/GRID/2.5x2/VMF1/VMF1\\_OP](http://vmf.geo.tuwien.ac.at/trop_products/GRID/2.5x2/VMF1/VMF1_OP)

VMF3: [http://vmf.geo.tuwien.ac.at/trop\\_products/GRID/1x1/VMF3/VMF3\\_OP](http://vmf.geo.tuwien.ac.at/trop_products/GRID/1x1/VMF3/VMF3_OP)

- 需要放在产品目录下“ssc”子目录的文件:

- 1) 周解文件(Solution Independent Exchange Format, SINEX):

<ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/gps/products/>

或 <ftp://nfs.kasi.re.kr/gps/products/> 或 <ftp://gssc.esa.int/cddis/gnss/products/>

- 需要放在产品目录下“leo”子目录的文件:

- 1) ORBEX 格式的低轨姿态文件, 命名格式为 lat\_\${year}\${doy}\_\${site}

- 2) 精密科学轨道(可选), 用于 GRACE/GRACE-FO 卫星坐标初值以及绘制轨道精度时序图, 命名格式为 pso\_\${year}\${doy}\_\${site}

**注:** GRACE/GRACE-FO 卫星的产品可以使用 `prepare_leodata.sh` 脚本自动下载; 其他低轨卫星产品需自己下载准备, 并正确命名。

- 需要放在表目录下的文件:

- 1) ANTEX 文件: [https://files.igs.org/pub/station/general/pcv\\_archive/](https://files.igs.org/pub/station/general/pcv_archive/)

- 2) 跳秒文件: <ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/whu/phasebias/table/>

- 3) 卫星参数文件: <ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/whu/phasebias/table/>

需要注意的是, 以 "WUMMGXRAP\_" 开头的默认精密产品, 其中卫星钟差产品位于 "\${year}/clock" 目录下, 偏差产品位于 "\${year}/bias" 目录下, 而卫星轨道、四元数文件文件和 ERP 文件位于 "\${year}/orbit" 目录下。如果进行高阶电离层校正, 需要单独下载 IONEX 文件; 如果投影函数是 VM1/VM3, 需要下载当日及前后各一个对流层格网文件用于插值; 与默认精密产品匹配的 ANTEX 文件记录在卫星钟差产品文件头。如果使用外部产品, 默认使用软件发布时最新的 IGS14 天线文件。F 模式下需要下载 SINEX 文件。

## 4.4 各模块算法

### 4.4.1 spp

**spp** 用于计算测站初始坐标, 是 PRIDE PPP-AR 软件处理数据最先调用的模块, 是展开数据预处理等工作必不可少的一步。**spp** 可以根据用户输入的观测文件与广播星历文件计算出测站的初始坐标, 并将计算结果输出到命令行或者以文件的形式输出。且在使用该模块的时候, 假如同一路径下有相同测站的多天观测文件与对应的广播星历文件, 则软件将自动进行多天的标准单点定位解算。同时, 输出的结果文件中将包含多天结果。

关于 **spp** 模块的算法实现, 是由开源软件 RTKLIB 改编而来, 若对算法实现感兴趣, 用户可访问链接: <https://github.com/tomojitarasu/RTKLIB> 了解详细信息。在此, 非常感谢作者 Tomoji Takasu 的贡献。

### 4.4.2 otl

**otl** 用于计算测站的海潮改正分量, 海潮改正是进行高精度 PPP 定位解算所必须要考虑的, 海潮改正对于沿海测站的影响很大, 其分量在 U 方向上最高可到 5cm 的级别, 因此需要在解算时对其进行消除。

软件目前有两种海潮改正计算方法。一种是常规的 Scherneck 方法(模型为 **FES2004**), 但这种方法需要在 table 目录下的 oceanload 文件中有对应测站坐标的海潮改正系数, oceanload 文件存有一些常用测站的海潮改正系数, 但仍存在某些测站没有海潮改正系数的情况, 若用户想要继续使用常规的 Scherneck 方法计算海潮改正分量, 则需要参考提 5.4.3 节的方式获取测站的海潮改正系数(需要在网站上提交坐标, 然后以邮件的方式获取海潮改正系数), 并将获取到的系数添加到 table 目录下的 oceanload 文件中, 操作较繁琐; 另一

种方式我们借鉴了中国测绘科学研究院章传银研究员开发的地球物理大地测量大型科学计算平台 ([www.zcphygeodesy.com](http://www.zcphygeodesy.com)) 中海潮分量计算方法。

本模块为章传银研究员的海潮分量计算方法的融合模块，以适配 PRIDE PPP-AR 软件的海潮改正方法。在此，非常感谢作者中国测绘科学研究院章传银研究员的贡献。

#### 4.4.3 mhm

**mhm** 用于计算测站的多路径改正数，多路径延迟是高精度 PPP 的重要误差源之一，难以通过差分方式或观测值组合进行消除或削弱，制约着多系统 GNSS 精密定位的精度。

软件目前采用的是 MHM 模型法对多路径延迟进行改正，其主要过程分为两部分：首先检查用于建模的残差文件的文件头信息是否符合要求，然后获取每个星座的信号频率并判断是否属于共频信号，再将卫星残差按方位角和高度角划分至  $360^\circ \times 90^\circ$  的格网中。其次计算每个  $1^\circ \times 1^\circ$  的格网中的平均值与标准差，并进行质量控制剔除粗差，最后计算整个模型改正数的 RMS 值与平均 STD 值作为模型指标输出。

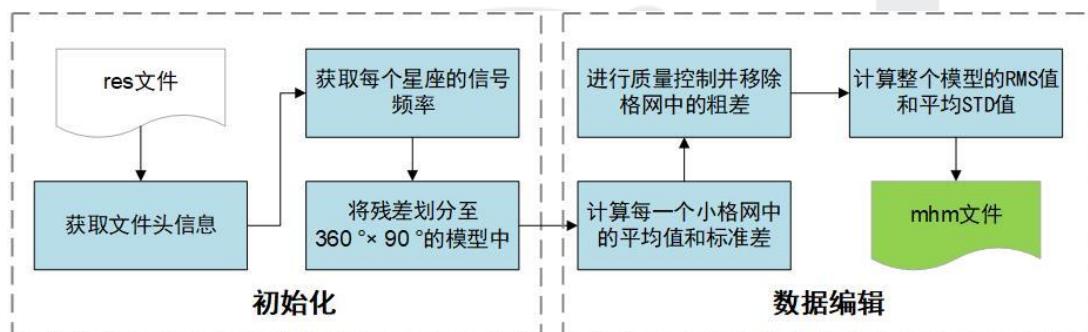


图 4-2 **mhm** 算法流程

#### 4.4.4 tedit

作为 PRIDE PPP-AR 的数据预处理模块，**tedit** 主要用于检查原始观测文件，探测周跳和异常值。主要过程可分为两部分：首先检查原始观测文件并构建检验量，然后识别检验量中的离群值并判断是否发生周跳。最后，将检查信息输出到 “log\_” 文件中。其数据处理流程如下图所示

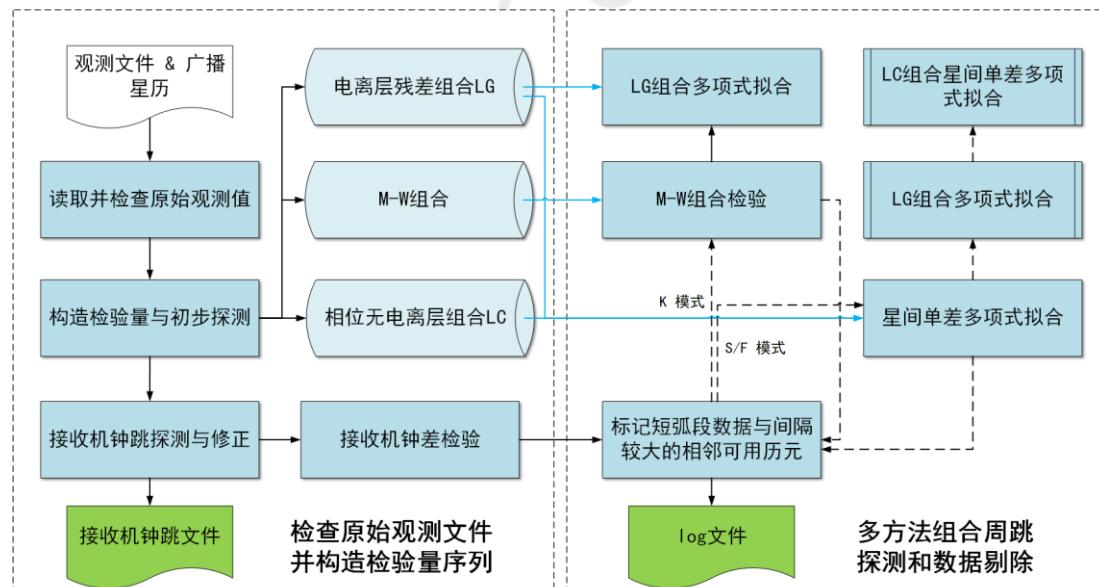


图 4-3 **tedit** 算法流程。浅蓝色圆柱表示构建的检验量；蓝线表示每个检验量的输入；黑色虚线表示由 **pdp3** 脚本控制的运行过程，该过程只执行一次；SDBS 表示星间单差

## 1. 检查观测文件并构建检验量

逐历元读取原始双频观测数据。根据广播星历计算卫星高度角、站星距以及卫星钟差。然后构建电离层残差组合  $L_G = \frac{L_1 - L_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$ 。在这个过程中，对  $L_G$  进行初步的检查，以判断是否有电离层异常情况并探测是否发生周跳。然后根据数据的可用性和卫星高度角等来删除数据。

由于接收机钟的不稳定性，需要提前检查接收机钟差，包括钟跳探测和粗差剔除。构建接收机钟跳测试量如下：

$$R_{i,k} = (P_{i,k} - P_{i,k-1}) - (L_{i,k} - L_{i,k-1}) \quad (4-1)$$

其中， $i = 1, 2$  表示频率号； $k$  和  $k - 1$  相邻可用的当前历元和上一历元。由当前历元所有卫星的钟跳检验量的数值大小判断是否在该历元发生接收机钟跳，若存在，计算接收机钟跳改正至原始观测值中并记录下来方便后续数据处理。

S/F 模式下需要进行接收机钟差检验。接收机钟差检验量构造形式如下：

$$\bar{P}_{0,k} = P_{0,k} - (\rho - c\Delta T^s) \quad (4-2)$$

其中， $\rho$  和  $\Delta T^s$  分别为由广播星历计算出的站星距和卫星钟差。此检验量中消去了站星几何距离、卫星钟差以及电离层延迟，且对于伪距来说不存在周跳，只剩下了接收机钟差和多路径效应等，因而被用来检查接收机钟差中的粗差。通过基于中位数的抗差最小二乘求出该检验量的加权均值，与给定阈值比较可定位接收机钟差中存在的粗差并予以剔除。

构造 M-W 组合和相位无电离层组合 LC，并根据相邻历元 M-W 组合变化率初步探测其中存在的周跳。根据上述数据剔除和周跳探测的结果找出短弧段数据或间隔较大相邻未被剔除历元做出标记方便后续检验。

## 2. 根据检验量进行周跳探测和数据剔除

**pdp3** 脚本根据定位模式给 **tedit** 传入不同的控制参数，在 **tedit** 采用不同的组合方法进行数据预处理，S/F 模式下只进行星间单差多项式拟合检验，而 K 模式只进行 M-W 组合检验。

对于星间单差多项式拟合，其拟合值选用历元间差分结果，便于更好地定位周跳与粗差。其流程大致分为两部分：首先对各卫星 LG 组合进行拟合，计算其拟合后的残差与均方根（Root Mean Square, RMS）并标记不能成功拟合的卫星，统计拟合弧段内各卫星的可用历元数，以可用历元数最多的卫星作为参考卫星。其次如下式构造星间单差拟合项

$$L_{c,k} = (L_{0,k}^{si} - (\rho^{si} - c\Delta T^{si})) - (L_{0,k}^{sr} - (\rho^{sr} - c\Delta T^{sr})) \quad (4-3)$$

其中， $si$  和  $sr$  分别表示当前卫星和参考卫星。该检验量消除了接收机钟差、卫星钟差和站星几何距离的影响，只剩对流层延迟、模糊度、多路径效应和观测噪声等，在历元间差分可消去模糊度且削弱对流层延迟。对其历元间差分结果进行拟合计算残差与 RMS，根据残差判断是否发生周跳并作标记。最后由拟合结果进行统计：(1) 根据 LC 组合星间单差拟合结果判断当前卫星是否发生周跳；(2) 由 LG 组合拟合结果和 LC 组合星间单差拟合结果判定参考卫星是否发生周跳。

在对 M-W 组合进行检验时，递推计算 M-W 组合均值及其方差，根据当前历元与均值的差值大小判断 M-W 组合是否发生周跳并做标记。**tedit** 中还有对于 LG 组合进行多项式拟合的过程，根据拟合残差与 RMS 判断是否发生周跳，目前并未使用。

在上述流程运行完毕后，再次检查短弧段数据与间隔较大的相邻可用历元。最后将探测结果和数据剔除结果写入“log\_”文件，包括被删去观测值与新增模糊度等相关信息。

#### 4.4.5 lsq

*lsq* 基于参数消去-恢复法的广义最小二乘原理进行参数估计。如图 4-所示，其数据处理流程可分为三部分：（1）初始化，获取配置信息、变量赋值以及统计参数个数等；（2）构建函数模型，逐历元构建平差数学模型且填充矩阵，在此过程中消去过程参数（如接收机钟差等）与状态参数（模糊度参数）并根据需要压缩法方程矩阵；（3）平差解算，平差求解未被消去参数，恢复被消去参数并计算残差，输入结果到不同结果文件中。

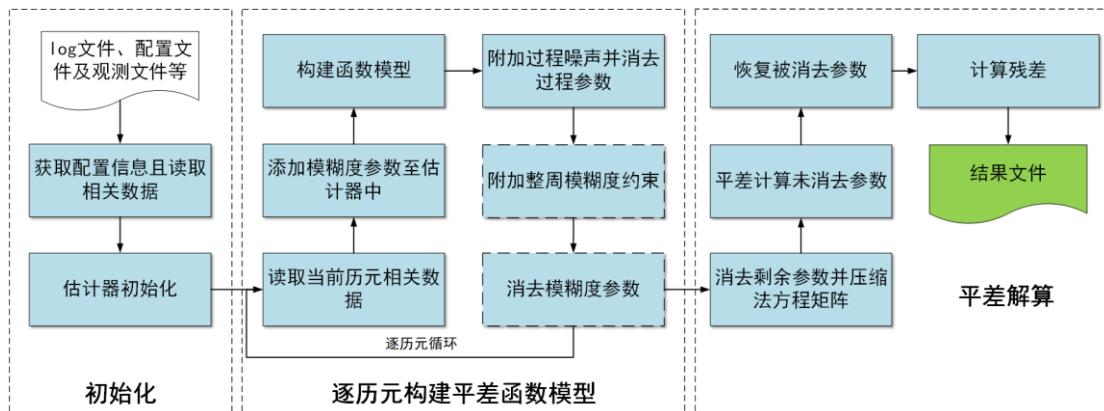


图 4-4 *lsq* 算法流程。只有消去模糊度参数时才执行虚线框部分

##### 1. 初始化

首先从配置文件中获取 *lsq* 所需的配置信息，如卫星列表、先验约束以及过程噪声等，S/F 模式从“pos\_”文件或者“sit.xyz”文件中读取测站初始坐标；读取相关文件中数据，如接收机端与卫星端 PCO/PCV 与测站天线参考点坐标等。

根据定位模式与相关配置信息确定参数与法方程相关信息，将参数分为三类估计：常数参数、过程参数以及状态参数。S/F 模式中测站坐标作为常数参数估计，过程参数包括 K 模式下测站位置参数、接收机钟差、天顶对流层延迟参数以及水平对流层梯度参数，状态参数为模糊度参数。若模糊度固定方法为取整法，则后续需要消去模糊度参数；否则，若模糊度固定方法为如 LAMBDA 等搜索算法，在平差前需要保留模糊度参数以求得其方差-协方差矩阵用于模糊度固定。因而根据不同的固定策略赋值不同的矩阵维数。

初始化参数向量与法方程矩阵。基于随机过程，将随机游走噪声或分段常数的状态转移矩阵赋值为单位阵，白噪声状态转移矩阵为零矩阵。此外，将法方程矩阵赋初值为零矩阵。根据广义最小二乘原理，将法方程中参数对角线元素赋值为其先验权

$$N_{b,b} = \text{diag}([P_x \ P_y \ P_z \ \cdots \ 0]) \quad (4-4)$$

其中模糊度参数部分等待后续填充

##### 2. 逐历元构建平差函数模型

基于已初始化的最小二乘估计器，逐历元构建平差函数模型并填充矩阵，在此过程中在估计器中消去部分参数。首先读取当前历元的观测数据及与之对应观测值偏差；读取“log\_”文件对应历元删去的卫星与新增模糊度信息；若定位模式为 K 模式，需读取“kin\_”文件中当前历元的初始坐标；若当前历元存在接收机钟跳，读取 *tedit* 中生成的接收机钟跳文件并在当前历元观测值中进行改正。同常数参数与过程参数，将当前历元模糊度参数相关信息更新至估计器中。

根据配置文件中选用的卫星星座与观测文件中存在的卫星星座建立原始观测方程对应的函数模型，包括设计矩阵、观测值减去计算值（Observed Minus Computed, OMC）及观

测值对应的权重等。在此过程中进行各项系统误差改正，将计算得到的接收机钟差作为接收机钟差参数的初值。基于原始观测方程的函数模型构建无电离层组合观测方程的函数模型，并组成 M-W 组合计算宽巷模糊度初值，进而计算无电离层组合模糊度初值。计算法方程矩阵元素并将其填充为上三角矩阵，计算无电离层组合函数模型中 OMC 加权平方和用于计算残差平方和。

将 PPP 中的状态方程扩展虚拟观测方程如式(4-5), 其中状态向量即为过程参数。

$$V = X_k - \Phi X_{k-1} + \omega_k, P_w) \quad (4-5)$$

消去上一历元的过程参数，根据状态方程将当前历元的过程参数相关信息添加至估计器中。若模糊度固定方法为取整法，则需要消去模糊度参数。若为 *arsig* 之后进行的 *lsq*，读取在 *arsig* 中生成的星间单差模糊度“cst\_”文件，将其作为强约束附加至估计器中。

### 3. 平差解算

在历元循环结束后，附加剩余的整周模糊度约束并消去过程参数，若模糊度固定方法为取整法也要消去剩余的模糊度参数，压缩法方程矩阵。平差解算未被消去的参数，计算单位权中误差以及未被消去参数的验后方差。

恢复被消去参数并计算残差，将不同结果输出至对应的结果文件中。S 模式将位置估值等信息写入“pos\_”文件。统计可解算的模糊度并将其写入“amb\_”文件，若模糊度固定方法为 LAMBDA 方法，将平差后协因数矩阵、残差平方和与自由度等信息写入“neq\_”文件中用于 LAMBDA 方法固定窄巷模糊度。

#### 4.4.6 redig

**redig** 基于 **tedit** 中生成的“log\_”文件和 **lsq** 中生成的“res\_”文件进行残差编辑，删除粗差并探测残余的小周跳，其数据处理流程如图 4-4 所示。

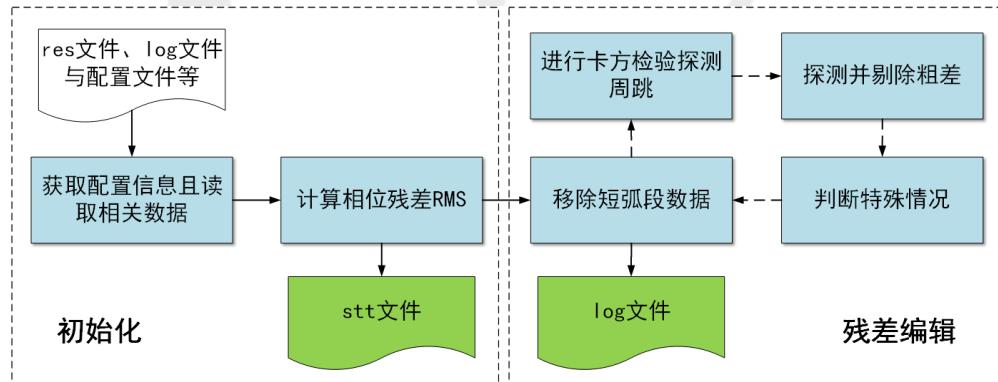


图 4-5 *redig* 算法流程。黑色虚线指向流程只执行一次

初始化部分首先获取 **redig** 所需的配置信息，如历元数、包含的卫星等和命令行输入参数等。其次读取残差文件中的相位残差，已有观测值状态标识(是否已经设立模糊度，被删去观测值等)。分别计算各卫星相位残差的 RMS 将其写入“stt\_”文件头部，以及输出至屏幕，并且将各卫星相位残差时间序列写入“stt ”文件。

在初始化结束后逐卫星进行残差编辑，首先检查是否有短弧段数据并将其删除。其次检查残差时间序列是否存在残余周跳或粗差：（1）计算相邻可用历元间的残差差值及其均值与标准差，同时计算去掉绝对值最大残差差值后的均值与标准差基于上述计算量进行卡方检验探测周跳。重复上述过程直到通过卡方检验且最大残差差值未超过阈值；（2）若相邻可用历元间均探测周跳，则根据残差差值区分周跳与粗差；（3）处理特殊情况，如最后

可用历元探测出周跳即将其删去。最后移除残差编辑后的短弧段数据，并根据残差编辑结果更新“log\_”文件。

#### 4.4.7 arsig

*arsig* 采用星间单差的方式消除接收机端硬件延迟，固定宽巷和窄巷模糊度，其中宽巷模糊度采用取整的方法固定，当数据处理时长较长时，窄巷模糊度可同样采用取整的方法固定，否则应该采用 LAMBDA 方法进行固定。其数据处理流程如图 4-5 所示。

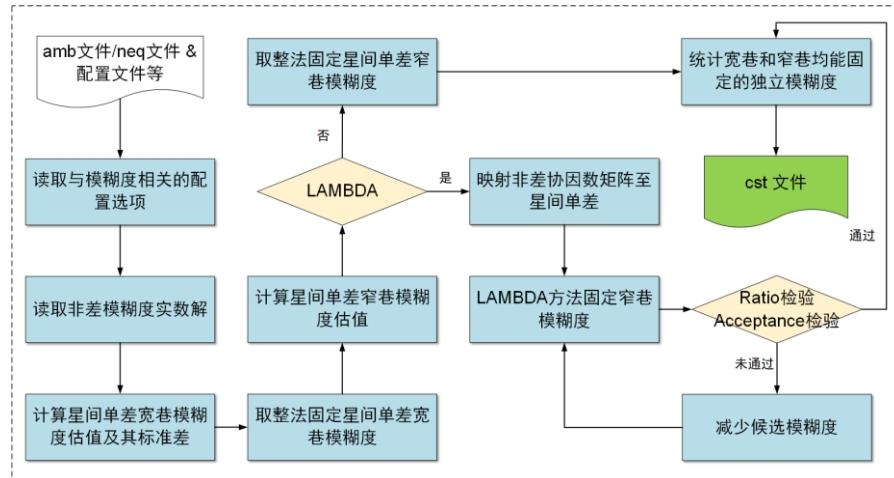


图 4-6 *arsig* 算法流程

由图可知，*arsig* 中的关键就是窄巷模糊度固定方法，后续所述模糊度固定方法均指窄巷模糊度固定方法。首先进行初始化，读取配置文件中与模糊度固定相关的参数。若模糊度固定方法为取整，则读取“amb\_”文件；若为 LAMBDA 方法，则读取 lsq 中生成的“neq\_”文件。根据已有信息定义所有的卫星对用于星间单差，计算星间单差模糊度实数值及其标准差。并且计算星间单差窄巷模糊度的标准差：LAMBDA 方法由平差后协因数矩阵和单位权方差计算，取整方法为经验值。

基于星间单差模糊度值及其标准差，用取整法固定所有星间单差宽巷模糊度。基于已经固定的宽巷模糊度和无电离层组合模糊度计算窄巷模糊度的实数值，同宽巷模糊度，采用取整法固定所有星间单差窄巷模糊度。其次统计独立模糊度信息，根据固定情况排列独立模糊度，依次为：宽巷模糊度和窄巷模糊度均能固定、只能固定窄巷模糊度和两者均不能固定。若模糊度固定方法为取整法，保存宽巷和窄巷均能固定的独立模糊度用于输出固定结果至 cst\_文件中；若为 LAMBDA 方法，保存能固定宽巷的独立模糊度用于固定窄巷模糊度。

若模糊度固定方法为 LAMBDA 方法，首先将非差协因数矩阵映射至对应的星间单差协因数矩阵。其次根据 LAMBDA 算法进行窄巷模糊度固定，在 LAMBDA 算法结束后进行 Acceptance 检验和 Ratio 检验。若未通过检验，则减少候选模糊度数量再次进行模糊度固定，直到能够通过检验以及满足一定的模糊度数量。在固定成功后更新窄巷模糊度相关信息，将已固定的星间单差宽巷和窄巷模糊度输出至“cst\_”文件中。

## 5 软件使用

### 5.1 用户要求

#### 5.1.1 系统要求

PRIDE PPP-AR 由命令行用户界面应用程序接口（Command User Interface Application Programs, CUI Apps）组成。软件包中包含的可执行二进制 CUI APs 需要 Linux 环境。所有的代码都是用 Fortran 编写的。我们在不同的操作系统上使用不同的 gfortran 版本进行了一系列测试。测试结果如表 5-1 所示。请注意：您还可以尝试其他 Linux 发行版和 Fortran 编译器，如果有任何问题，请告诉我们。

在安装 PRIDE PPP-AR 之前，需要先安装 Fortran 编译器 gfortran。

表 5-1 PRIDE PPP-AR 在不同操作系统中的测试结果

平台版本	gfortran 版本	测试结果	备注
Ubuntu14.04.4 (x64)	4.8.4	通过	1. 安装前预安装' gfortran '; 2. 测试结果与参考结果一致
Ubuntu14.04.4 (x32)	4.8.4	通过	1. 安装前预安装' gfortran '; 2. 测试结果与参考结果一致
Ubuntu16.04.11 (x64)	5.4.0	通过	测试结果与参考结果一致
Ubuntu16.04.11 (x32)	5.4.0	通过	测试结果与参考结果一致
Ubuntu18.04(x64)	7.3.0	通过	1. 安装前预安装' gfortran '; 2. 测试结果与参考结果一致
Ubuntu20.04.4(x64)	4.8.4	通过	测试结果与参考结果一致
Ubuntu20.04.4(x32)	4.8.4	通过	测试结果与参考结果一致
Arch Linux (x64)	8.2.1	通过	测试结果与参考结果一致
CentOS 6.5 (x64)	4.4.7	通过	测试结果与参考结果一致
CentOS 7 (x64)	4.8.5	通过	测试结果与参考结果一致
Debian 9.6 (x64)	6.3.0	通过	测试结果与参考结果一致
Debian 8.11 (x64)	4.9.2	通过	1. 安装前预安装' gfortran '; 2. 测试结果与参考结果一致
MacOS 10.14	10.2.0	通过	1. 安装前预安装' gfortran '; 2. 测试结果与参考结果一致

## 5.1.2 许可证

Copyright (C) 2022 by Wuhan University, All rights reserved.

This program is open-source software: you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License (version 3) as published by the Free Software Foundation. This program is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License (version 3) for more details. You should have received a copy of the GNU General Public License along with this program. If not, see <<https://www.gnu.org/licenses/>>.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT HOLDER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

## 5.2 安装引导

### 5.2.1 PRIDE PPP-AR 的软件结构

PRIDE PPP-AR 的结构如表 5-2 所示。我们在"example/"文件夹中提供了一套完整的算例帮助用户熟悉软件。该程序将自动执行，用户不需要单独使用其他文件夹中的文件。然而，为了让用户更好地了解软件结构，下面给出了进一步的说明。

表 5-2 PRIDE PPP-AR 软件结构

目录/文件	目录/文件	说明
<b>\bin</b>		可执行程序
	<b>arsig</b>	模糊度固定
	<b>get_ctrl</b>	获取配置信息
	<b>lsq</b>	最小二乘估计器
	<b>otl</b>	海潮改正量计算
	<b>pboPOS</b>	将“pos_”文件转为 PBO 格式
	<b>redig</b>	残差编辑
	<b>sp3orb</b>	卫星轨道格式和坐标系转换
	<b>spp</b>	伪距单点定位
	<b>tedit</b>	观测数据预处理
	<b>xyz2enu</b>	将 “kin_” 文件中的地固坐标转至站心坐标
<b>\scripts</b>		便于数据处理的脚本

<b>lat2obx.py</b>	将 LEO 姿态产品转为 ORBEX 格式
<b>leoatx.py</b>	LEO 天线信息
<b>merge2brdm.py</b>	合并 GPS 广播星历和 GLONASS 广播星历
<b>pdp3.sh</b>	批处理脚本
<b>plotkin2ps0.py</b>	绘制低轨卫星时间序列
<b>plotkin.py</b>	绘制位移时间序列（Python 版）
<b>plotkin.sh</b>	绘制位移时间序列（GMT 版）
<b>plotmhm.py</b>	绘制 MHM 模型（Python 版）
<b>plotmhm.sh</b>	绘制 MHM 模型（GMT 版）
<b>plotres.py</b>	绘制残差（Python 版）
<b>plotres.sh</b>	绘制残差（GMT 版）
<b>plottrack.py</b>	绘制运动轨迹（Python 版）
<b>plotztd.py</b>	绘制 ZTD 时间序列（Python 版）
<b>prepare_leodata.py</b>	下载低轨卫星所需数据
<b>\src</b>	源代码
<b>arsig/</b>	模糊度固定
<b>header/</b>	头文件
<b>lib/</b>	库函数
<b>lsq/</b>	最小二乘平差
<b>mhm/</b>	MHM 模型构建
<b>otl/</b>	海潮负载改正
<b>orbit/</b>	卫星轨道格式和坐标系转换
<b>redig/</b>	残差编辑
<b>spp/</b>	伪距单点定位
<b>tedit/</b>	观测数据预处理
<b>utils/</b>	通用工具
<b>Makefile</b>	编译命令
<b>\table</b>	独立表文件
<b>FES2004S1.dat</b>	海潮负荷球谐系数模型
<b>Love_load_cm.dat</b>	负荷勒夫数文件
<b>config_template</b>	配置文件模板
<b>file_name</b>	文件名定义
<b>gpt3_1.grd</b>	GPT3 的外部格网文件（1 度*1 度）
<b>leap.sec</b>	跳秒文件
<b>oceanload</b>	海潮负荷文件
<b>orography_ell</b>	VMF1 的全球地形文件（2.5 度*2.5 度）
<b>orography_ell_1x1</b>	VMF3 的全球地形文件（1 度*1 度）
<b>sat_parameters</b>	卫星参数

ANTEX 文件		天线文件
<b>install.sh</b>		安装脚本
<b>ChangeLog.txt</b>		软件变更日志
<b>README.md</b>		软件相关信息
<b>LICENSE.txt</b>		GPL3 协议
<b>\doc</b>		文件
<b>logo</b>		安装成功时，屏幕上打印的图标
<b>Manual</b>		软件手册
<b>\example</b>		算例
<b>test.sh</b>		测试脚本
<b>\data</b>		算例数据
<b>\results_ref</b>		算例参考结果

### **5.2.2 安装与验证**

**步骤 1:** 确保你已经提前安装了一些必要的程序

例如：**bash, make, gfortran, wget** 等

**步骤 2:** 运行脚本 `./install.sh` 自动安装软件。(该脚本执行 Makefile 构建 CUI Apps，并将 CUI Apps 添加到系统路径 (`~/.PRIDE_PPPAR_BIN/*`))

如果你看到下图所示的提示，说明安装已经正常完成。

图 5-1 软件成功安装输出信息

**步骤 3:** 输入 y/Y 运行算例

“/example” 目录中的脚本 **test.sh** 用来验证安装和执行的正确性和有效性。在成功运行 **test.sh** 后，将运行 PPP 算例。在进行数据处理程序，一些过程信息被打印到屏幕上。运行完成后比较结果和参考结果之间的结果文件，以确保软件安装是正确和有效的。

总共包含五个算例，“**static**” 模式表示我们将该站视为静态站，在整个观测期内只估计一组坐标。“**kinematic**” 表示我们将该站视为动态观测，在每个历元中估计一组坐标。

“**highrate**” 表示我们使用高频数据，每一个历元估计一组坐标。“**PPP-AR**” 表示通过取整法来进行模糊度固定。“**PPP-AR LAMBDA**” 表示通过 LAMBDA 方法进行模糊度固定。

表 5-3 PRIDE PPP-AR 测试算例

算例	说明
static-24h-fixed	单天静态固定解
kinematic-24h-fixed	单天动态固定解
kinematic-1h-fixed-LAMBDA	动态小时解，使用 LAMBDA 方法固定模糊度
highrate-1h-fixed-LAMBDA	高动态小时解，使用 LAMBDA 方法固定模糊度
tropo-24h-fixed	单天对流层固定解

## 5.3 文件规范

### 5.3.1 结果文件

成功运行测试脚本后，结果文件将被移动到 “/example/result” 目录，如表 5-3 所示。其中，“static-24h-fixed”的结果文件如图 5-2 所示。

**注意：**对于定位结果，静态解将其存储在 “pos\_” 文件中，而动态解将以时间序列的形式存储在 “kin\_” 文件中。其他结果文件动态解与静态解一致。

amb_2020001_abmf	浮点模糊度
cst_2020001_abmf	整周模糊度约束（固定解）
htg_2020001_abmf	水平对流层梯度
log_2020001_abmf	RINEX质量信息
pos_2020001_abmf	静态测站坐标
rck_2020001_abmf	接收机钟差
res_2020001_abmf	观测值残差
stt_2020001_abmf	相位残差
ztd_2020001_abmf	天顶对流层延迟



图 5-2 “static-fixed-24h”的结果文件

部分结果文件的头部记录了基本配置和相应的文件内容描述，如图 5-3 结果文件 “pos\_\*” 头部所示。用户可打开相应文件核对配置信息。

```

posf
Static      10.000000 10.000000 10.000000
YES
2024 6 26 0 0 0.00
2024 6 26 23 59 30.00
30.00
7.00
0.30
0.01
MUMOMOXPAP_20241780000 010_05M_ORB_SP3
MUMOMOXPAP_20241780000 010_05M_ORB_SP3_K
MUMOMOXPAP_20241780000 010_01D_ERP_ERP
MUMOMOXPAP_20241780000 010_30S_ATT_OBX
MUMOMOXPAP_20241780000 010_01D_OSB_BIA
SEPT POLARDS
SEPHCKKE_B3E5    SPK
0.00000   0.00000   0.00000   0.00000
G L1 1   -0.59   0.94   127.35
G L2 2   -0.35   0.22   141.43
R G1 1   0.69   -0.06   126.32
R G2 2   -0.41   0.18   141.11
E L1 1   -0.59   0.94   127.35
E Es3 5   0.45   0.11   141.26
C BII 2   -0.43   0.15   128.98
C B3I 6   -0.51   0.19   139.98
J L1 1   -0.59   0.94   127.35
J L2 2   -0.35   0.22   141.43
IGS20_2317
MNO
STO
PWC:720
NO
SOLID_POLE OCEAN(Zhang)
YES GPS 42 GAL 27 BDS2 2 BDS3 33 QZSS 0
600.00
15.00
0.29 0.15 1000.00
0.15 0.15 1000.00
3 4 1.89 3.00
AMB FIXING
AMB DURATION (sec)
AMB CUTOFF (deg)
AMB WIDELANE
AMB SEARCH ANE
AMB SEARCH
AMB AT DAT-BOUNDARY
COMMENT
STATION NAME
MONTEVIDEO, URUGUAY
X COORDINATE (meter)
Y COORDINATE (meter)
Z COORDINATE (meter)
DIAGONAL COFACTOR OF X COORDINATE
DIAGONAL COFACTOR OF Y COORDINATE
DIAGONAL COFACTOR OF Z COORDINATE
OFF-DIAGONAL COFACTOR OF X AND Y COORDINATES
OFF-DIAGONAL COFACTOR OF X AND Z COORDINATES
OFF-DIAGONAL COFACTOR OF Y AND Z COORDINATES
SQUARE ROOT OF VARIANCE FACTOR (meter)
NUMBER OF OBSERVATIONS
COMMENT

```

图 5-3 结果文件“pos\_\*”头部

### amb 文件

'amb'文件记录了浮点模糊度。运行 **arsig** 将调用'amb'文件以获得模糊度的初值。“amb”文件中的结果分别是：伪随机噪声码（Pseudo Random Noise code, PRN），无电离层浮点模糊度，宽巷浮点模糊度，有效时间，无电离层浮点模糊度与宽巷浮点模糊度各自的 RMS，模糊度有效时间内的平均高度角。

### ionosphere-free(IF) ambiguity

PRN	IFamb	WLamb	MjdS	MjdE	RMS(IF/WL)		
			MjdS	MjdE	SigIF	SigWL	Elev
G01	2.306695	-18.409229	58849.0000000000	58849.2135416667	0.0395	0.0092	48.1
G07	5.622805	11.709663	58849.0000000000	58849.2194444444	0.0662	0.0073	41.3
G08	1.508260	-30.286978	58849.0000000000	58849.1663194444	0.0813	0.0148	31.0
G09	14.717519	4.598100	58849.0000000000	58849.1211805556	0.1138	0.0207	21.7
G11	-5.935466	-23.334870	58849.0000000000	58849.2177083333	0.0573	0.0084	47.5
G16	-2.598334	-40.271059	58849.0000000000	58849.0899305556	0.0742	0.0200	16.3
G23	13.192038	12.697517	58849.0000000000	58849.0927083333	0.0837	0.0166	22.9
G26	4.669495	-42.405466	58849.0000000000	58849.0270833333	0.0811	0.0662	9.9
G27	0.970959	-28.319515	58849.0000000000	58849.0711805556	0.0735	0.0234	22.4
R09	11.930558	-7.498517	58849.0000000000	58849.1850694444	0.0327	0.0124	46.2
R16	16.718429	-34.077357	58849.0000000000	58849.0923611111	0.0462	0.0203	32.8
R19	31.859371	-26.898176	58849.0000000000	58849.0690972222	0.0568	0.0324	37.5
R20	-4.151642	-46.309943	58849.0000000000	58849.1555555556	0.0658	0.0152	49.1
E01	17.832845	-51.689214	58849.0000000000	58849.2482638889	0.0289	0.0050	47.2

图 5-4 浮点模糊度文件“amb\_”

### cst 文件

运行 **arsig**, 将产生“cst\_”文件。“cst\_”文件记录了整数模糊度相关信息。其头文件中包含了所用系统的总观测值数、宽巷模糊度固定观测数、窄巷模糊度固定观测数等。其内容分别为：单差卫星对、有效时间、单差宽巷与窄巷整周模糊度。

Single-Difference Ambiguity Constraint abmf											
SD											COMMENT
311 308 271											TYPE OF CONSTRAINT
40 40 40											G AMB FIXING (T/W/N)
ROUNDING											IND AMB FIXING (T/W/N)
											END OF HEADER
G16 G27 2020	1	1	0	0	0.000000	2020	1	1	1	42	30.000000
G09 G16 2020	1	1	0	0	0.000000	2020	1	1	2	9	30.000000
G23 G17 2020	1	1	1	22	0.000000	2020	1	1	2	13	30.000000
G23 G22 2020	1	1	0	3	0.000000	2020	1	1	2	13	30.000000
G08 G09 2020	1	1	0	0	0.000000	2020	1	1	2	54	30.000000
G08 G03 2020	1	1	1	50	0.000000	2020	1	1	3	59	30.000000
G01 G28 2020	1	1	1	56	30.000000	2020	1	1	5	7	30.000000
G01 G09 2020	1	1	4	12	0.000000	2020	1	1	5	7	30.000000
G11 G06 2020	1	1	2	58	0.000000	2020	1	1	5	13	30.000000
G11 G22 2020	1	1	0	3	0.000000	2020	1	1	5	13	30.000000
G07 G02 2020	1	1	4	44	30.000000	2020	1	1	5	16	0.000000
G07 G30 2020	1	1	0	49	30.000000	2020	1	1	5	16	0.000000
G30 G05 2020	1	1	6	7	30.000000	2020	1	1	6	28	0.000000
G17 G03 2020	1	1	1	50	0.000000	2020	1	1	6	33	0.000000

Constrained satellite  
single-difference(SD) satellites

SD WL/NL ambiguity

图 5-5 整周模糊度约束文件 “cst\_”

#### htg 文件

水平对流层梯度 (Horizontal Tropospheric Gradient, HTG) “htg\_” 文件中的记录内容包括：开始时间（GPS 时），结束时间（GPS 时），初始南北对流层梯度（单位：m），南北对流层梯度改正值（单位：m），初始东西对流层梯度（单位：m），东西对流层梯度改正值（单位：m）。

YearS	MonS	DayS	HourS	MinS	SecS	YearE	MonE	DayE	HourE	MinE	SecE	HTGCin1	HTGccor	HTGSin1	HTGScor
2020	1	1	0	0	0.000000	2020	1	1	12	0	0.000000	0.000000	0.000110	0.000000	-0.000063
2020	1	1	12	0	0.000000	2020	1	2	0	0	0.000000	0.000000	0.000351	0.000000	-0.000452

图 5-6 水平对流层梯度文件 “htg\_”

#### log 文件

RINEX 健康诊断的结果被记录在 “log\_” 文件中。在文件头的部分，注释 “INTERVAL” 表示采样率；注释 “AMB AT DAT-BOUNDARY” 表示在日界处模糊度的处理方式；注释 “AMB MAX/TOT/NEW” 分别表示单历元最大模糊数、所有历元总模糊数和新增模糊数；注释 “EPO AVA/REM/NEW” 分别表示可用的历元数、删除的历元数和新增加的历元数；注释 “RES TIME BEG/LEN” 表示文件的起始时间与持续时间（单位：s）；注释 “SYS / FREQUENCY BAND” 表示解算所使用的导航系统及其频率。

在文件主体部分，以 “TIM” 开头的一行记录了健康诊断数据对应历元。然后接下来的几行记录当前历元质量情况。注释 “AMB” 表示添加新的模糊度参数。内容包括卫星 PRN 和结束时间，开始时间是在 “TIM” 所在行中给出的时间。注释 “DEL” 表示将对应卫星的数据因质量被删除。

```

1 RINEX health Logfile      abmf           COMMENT
2      30.00                  INTERVAL
3 TRUNCATED
4      34       163          0   AMB AT DAT-BOUNDARY
5      84537     19834          0   AMB MAX/TOT/NEW
6 2023 6 14 0 0 0.0000000 86370.00   EPO AVA/REM/NEW
7 GPS    L1    L2           RES TIME BEG/LEN
8 GLO    G1    G2           SYS / FREQUENCY BAND
9 GAL    E1    E5a          SYS / FREQUENCY BAND
10 BDS   B1I   B3I          SYS / FREQUENCY BAND
11 QZS   L1    L2           SYS / FREQUENCY BAND
12                               END OF HEADER
13 TIM 2023 6 14 0 0 0.0000000
14 G05                      2023 6 14 1 7 0.0000000 AMB
15 G10                      DEL_SHORTPIECE
16 G12                      2023 6 14 3 38 0.0000000 AMB
17 G13                      DEL_LOWELEVATION
18 G15                      2023 6 14 2 26 0.0000000 AMB
19 G18                      2023 6 14 3 17 0.0000000 AMB
20 G20                      DEL_LOWELEVATION
21 G23                      2023 6 14 4 20 0.0000000 AMB
22 G24                      2023 6 14 2 35 30.0000000 AMB
23 G25                      2023 6 14 5 20 0.0000000 AMB
24 G29                      2023 6 14 0 38 0.0000000 AMB
25 G32                      2023 6 14 7 51 30.0000000 AMB

```

图 5-7 RINEX 质量诊断文件 “log\_”

### pos 文件

静态位置结果记录在“pos\_”文件中，只有一组坐标。“pos\_”文件中的参数有：测站名、参考时刻（简化儒略日 MJD、天内秒 SOD）、X/Y/Z 坐标（单位：m）、X/Y/Z 的方差、XY/XZ/YZ 的协方差、单位权中误差（单位：m）、使用的观测值个数。该文件只出现在静态解的结果中。此外，可以使用 **pbo** (表 5-2) 将“pos\_”文件转换成 PBO 格式。

*Name	Mjd	X	Y	Z	Sx	Sy	Sz
abmf	58849.4997	2919785.7904	-5383744.9574	1774604.8600	0.45205365580695E-08	0.12554067299805E-07	0.19373651212222E-08
		Rxy	Rxz	Ryz	Sig0	Nobs	
		-0.62544711497610E-08	0.19899133644847E-08	-0.37287323791219E-08	0.27449728760266E+01	84244	

图 5-8 静态测站位置文件 “pos\_”

### rck 文件

接收机钟差结果被记录在“rck\_”文件中，其中记录了历元时间和对应的接收机钟差（单位：m）。

Year	Mon	Day	Hour	Min	Sec	RCK(GPS)	RCK(GLONASS)	RCK(Galileo)	RCK(BDS-2)	RCK(BDS-3)	RCK(QZSS)
2020	1	1	0	0	0.000000	-13728.219285	-13730.034491	-13731.471963	0.000000	-13746.530497	0.000000
2020	1	1	0	0	30.000000	-13727.067230	-13728.085589	-13730.321139	0.000000	-13745.383727	0.000000
2020	1	1	0	1	0.000000	-13727.246335	-13729.069158	-13730.501720	0.000000	-13745.550421	0.000000
2020	1	1	0	1	30.000000	-13726.937017	-13728.758679	-13730.189960	0.000000	-13745.245852	0.000000
2020	1	1	0	2	0.000000	-13728.667761	-13730.492376	-13731.922825	0.000000	-13746.980878	0.000000
2020	1	1	0	2	30.000000	-13728.559983	-13730.380884	-13731.812973	0.000000	-13746.871488	0.000000
2020	1	1	0	3	0.000000	-13728.001029	-13729.817134	-13731.253874	0.000000	-13746.311310	0.000000
2020	1	1	0	3	30.000000	-13728.093986	-13729.914880	-13731.346298	0.000000	-13746.402189	0.000000
2020	1	1	0	4	0.000000	-13728.265477	-13730.091647	-13731.518927	0.000000	-13746.577134	0.000000
2020	1	1	0	4	30.000000	-13727.215732	-13729.040363	-13730.468355	0.000000	-13745.528666	0.000000
2020	1	1	0	5	0.000000	-13728.426294	-13730.250553	-13731.738652	0.000000	-13746.738652	0.000000
2020	1	1	0	5	30.000000	-13728.220995	-13730.046238	-13731.475552	0.000000	-13746.534211	0.000000
2020	1	1	0	6	0.000000	-13728.279183	-13730.106420	-13731.534766	0.000000	-13746.594715	0.000000
2020	1	1	0	6	30.000000	-13728.178399	-13730.005375	-13731.434205	0.000000	-13746.492892	0.000000
2020	1	1	0	7	0.000000	-13727.633369	-13729.456718	-13730.890063	0.000000	-13745.949818	0.000000
2020	1	1	0	7	30.000000	-13728.394478	-13730.212014	-13731.649080	0.000000	-13746.709727	0.000000
2020	1	1	0	8	0.000000	-13727.999439	-13729.816943	-13731.253353	0.000000	-13746.311681	0.000000
2020	1	1	0	8	30.000000	-13728.020207	-13729.830883	-13731.277005	0.000000	-13746.333749	0.000000

Epoch time

RCK

Year/Mon/Day/Hour/Min/GPS/GLONASS/Galileo/BDS-2/BDS-3/QZSS

/Sec

图 5-9 接收机钟差文件 “rck\_”

### res 文件

作为 **lsq** 的输出，“res\_”文件中记录了观测值残差。其中记录的内容为：PRN 码，相

位残差（单位：m），伪距残差（单位：m），伪距/相位在观测方程中的权值，数据状态标识（0 表示已存在卫星，1 表示新加入卫星），卫星高度角（单位： $^{\circ}$ ），方位角（单位： $^{\circ}$ ），以及使用的观测量类型。

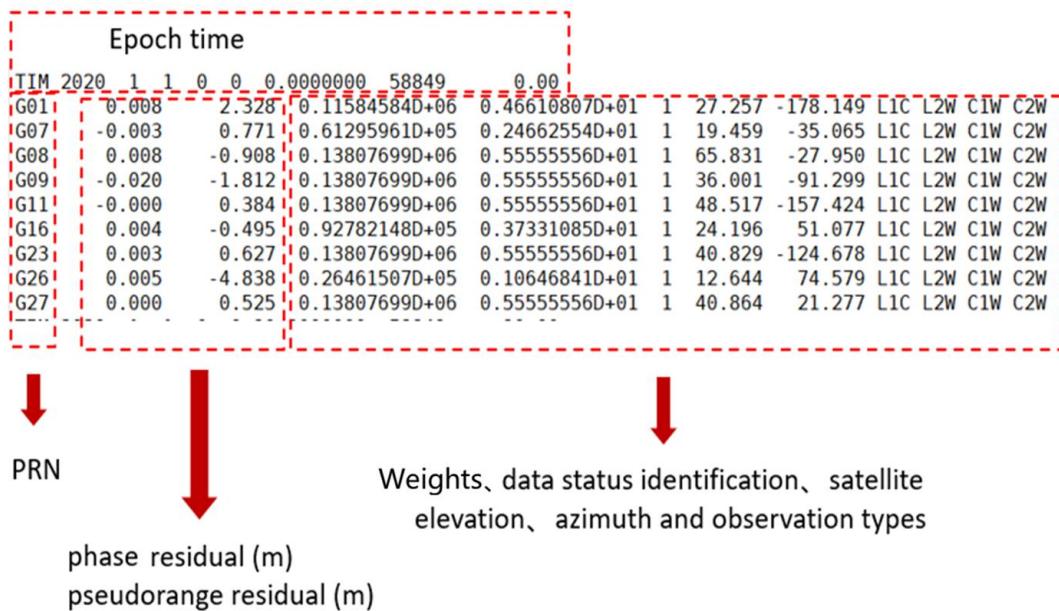


图 5-10 观测值残差文件 “res”

stt 文件

“stt\_”文件中记录了相位残差及其统计值，你可以检查这个文件以评估 PPP 的质量。

“stt\_”文件中记录的内容有：相位残差的 RMS（单位：mm）及其时间序列。

图 5-11 相位残差文件 “stt”

ztd 文件

“ztd\_”文件中记录了天顶对流层延迟 (Zenith Troposphere Delay, ZTD)。其中内容包括：历元、对流层干延迟和湿延迟的值（单位：m）。最后一列记录对流层延迟湿分量改正值（单位：m）。

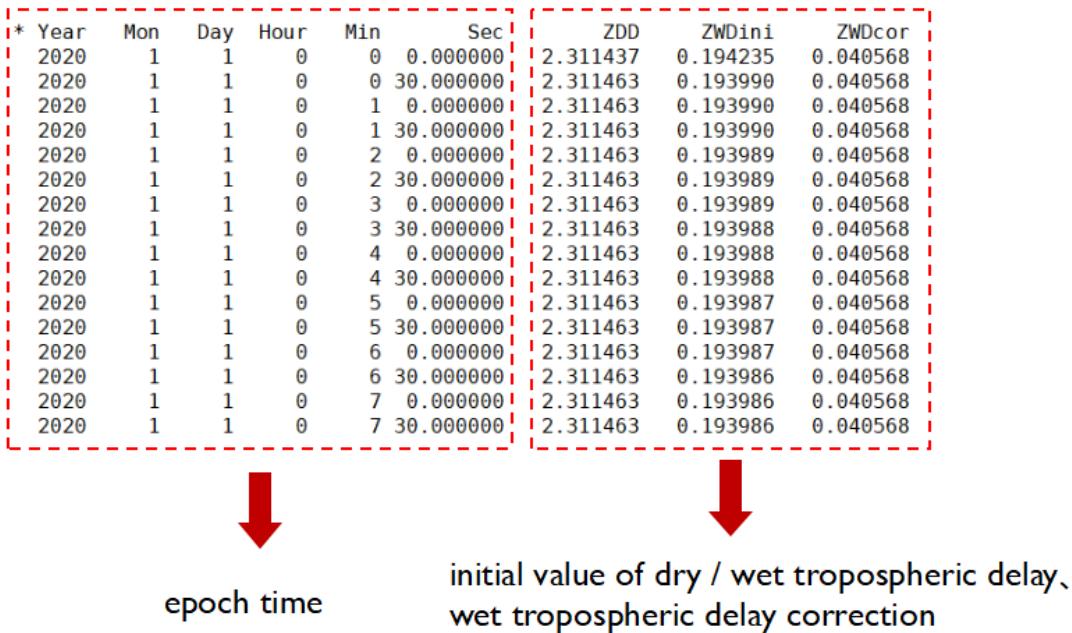


图 5-12 天顶对流层文件 “ztd\_”

### kin 文件

“P/K/L” 模式下测站坐标被逐历元记录在 “kin\_” 文件中。其中记录的内容有：简化儒略日和天内秒表示的历元时间、位置坐标 X/Y/Z（单位：m）、位置坐标 B/L/H（单位：°/‰m）、卫星数、PDOP。此外，你可以运行 **xyz2enu** 将 XYZ 坐标转换至以平均坐标作为原点的站心坐标。

* Mjd	Sod	X	Y	Z	Latitude	Longitude	Height	Nsat/GRECC3J	PDOP
60488	0.00	-2420721.4502	-3439856.1394	4778532.7214	48.83532001146	234.86489406238	10.8113	20 06 03 06 01 04 00	1.22
60488	30.00	-2420721.4502	-3439856.1340	4778532.7185	48.83532002447	234.86489402080	10.8061	21 07 03 06 01 04 00	1.16
60488	60.00	-2420721.4478	-3439856.1331	4778532.7152	48.83532001992	234.86489403992	10.8023	21 07 03 06 01 04 00	1.16
60488	90.00	-2420721.4558	-3439856.1375	4778532.7194	48.83532798884	234.86489398559	10.8108	21 07 03 06 01 04 00	1.16
60488	120.00	-2420721.4693	-3439856.1398	4778532.7349	48.83532001526	234.86489398525	10.8288	21 07 03 06 01 04 00	1.16
60488	150.00	-2420721.4586	-3439856.1377	4778532.7307	48.83532004597	234.86489396179	10.8203	21 07 03 06 01 04 00	1.16
60488	180.00	-2420721.4372	-3439856.1283	4778532.7135	48.83532007686	234.86489412008	10.7944	21 07 03 06 01 04 00	1.15
60488	210.00	-2420721.4457	-3439856.1326	4778532.7168	48.83532004851	234.86489406123	10.8037	21 07 03 06 01 04 00	1.15
60488	240.00	-2420721.4514	-3439856.1364	4778532.7310	48.83532008053	234.86489402614	10.8173	21 07 03 06 01 04 00	1.15
60488	270.00	-2420721.4427	-3439856.1333	4778532.7224	48.83532008100	234.86489409805	10.8059	20 07 03 06 01 03 00	1.22
60488	300.00	-2420721.4425	-3439856.1282	4778532.7171	48.83532007824	234.86489406014	10.7991	20 07 03 06 01 03 00	1.22
60488	330.00	-2420721.4449	-3439856.1294	4778532.7268	48.83532001296	234.86489404242	10.8091	20 07 03 06 01 03 00	1.22
60488	360.00	-2420721.4398	-3439856.1247	4778532.7211	48.83532001326	234.86489406586	10.7991	20 07 03 06 01 03 00	1.22
60488	390.00	-2420721.4490	-3439856.1276	4778532.7151	48.83532004453	234.864893998424	10.7997	20 07 03 06 01 03 00	1.22
60488	420.00	-2420721.4552	-3439856.1391	4778532.7295	48.83532004216	234.86489404049	10.8191	20 07 03 06 01 03 00	1.22
60488	450.00	-2420721.4661	-3439856.1473	4778532.7393	48.83532009040	234.86489399346	10.8353	21 07 03 06 01 04 00	1.12
60488	480.00	-2420721.4661	-3439856.1407	4778532.7398	48.83532004703	234.86489389507	10.8312	21 07 03 06 01 04 00	1.12
60488	510.00	-2420721.4688	-3439856.1422	4778532.7382	48.83532002328	234.86489387748	10.8324	21 07 03 06 01 04 00	1.12

X(m)	Y(m)	Z(m)	B(°)	L(°)	H(m)
------	------	------	------	------	------

Number of satellites(All/GPS/GLONASS/Galileo/BDS2/BDS3/QZSS)/PDOP
---

图 5-13 动态测站坐标文件 “kin\_”

**注意：**P 模式下，天内秒将以“坐标参数有效时间段的中点”的形式记录；K/L 模式下，天内秒将以“观测记录所在时刻”的形式记录。

### mhmm 文件

建立的 MHM 模型记录在 “mhmm\_” 文件中。在文件头的部分，“STATION” 表示模型的所属测站；注释 “MODELING DURATION” 表示建模的时间长度；“DAY LIST” 表示有那些天的数据参与了建模；注释 “SYS / FREQUENCY BAND / RMS (meter) / MEAN STD (meter)” 表示模型中存在的星座，对应的频率，该星座模型对应的 RMS 值和格网平均 STD 值。每一个模型中记录的数据有：方位角、高度角、格网伪距多径改正数（单位：m）、格网中伪距点数、格网伪距多径标准差、格网载波多径改正数（单位：m）、格网中载波点

数、格网载波多径标准差。

MHM Model								FILE TYPE		
wuh2								STATION		
10								MODELING DURATION (DAY)		
2024286 2024287 2024288 2024289 2024290								DAY LIST		
2024291 2024292 2024293 2024294 2024295								DAY LIST		
GPS L1/L2 0.0132 0.0046								SYS / FREQUENCY BAND / RMS (meter) / MEAN STD (meter)		
GAL E1/E5a 0.0097 0.0033								SYS / FREQUENCY BAND / RMS (meter) / MEAN STD (meter)		
BDS B1I/B3I 0.0081 0.0023								SYS / FREQUENCY BAND / RMS (meter) / MEAN STD (meter)		
Start Field Description								COMMENT		
AZ								AZIMUTH (deg)		
EL								ELEVATION (deg)		
P_COR								PSEUDORANGE MULTIPATH CORRECTION (meter)		
P_POI								PSEUDORANGE MULTIPATH POINTS		
P_STD								PSEUDORANGE MULTIPATH STANDARD DEVIATION (meter)		
P_ELI								PSEUDORANGE MULTIPATH ELIMINATION RATE (%)		
L_COR								CARRIER PHASE MULTIPATH CORRECTION (meter)		
L_POI								CARRIER PHASE MULTIPATH POINTS		
L_STD								CARRIER PHASE MULTIPATH STANDARD DEVIATION (meter)		
L_ELI								CARRIER PHASE MULTIPATH ELIMINATION RATE (%)		
End Field Description								COMMENT		
								END OF HEADER		
								START OF GPS L1/L2 QZS L1/L2		
AZ	EL	P_COR	P_POI	P_STD	P_ELI	L_COR	L_POI	L_STD	L_ELI	
0 56	0.0862	18	0.3247	5.2632	0.0003	18	0.0023	5.2632		
0 57	0.2422	12	0.3950	0.0000	0.0015	11	0.0012	8.3333		
0 58	0.5425	68	0.3669	1.4493	0.0021	64	0.0025	7.2464		
0 59	0.5646	49	0.3762	3.9216	0.0023	48	0.0028	5.8824		
0 61	0.4843	39	0.6371	0.0000	-0.0025	39	0.0056	0.0000		
0 62	0.6290	28	0.3682	0.0000	0.0008	27	0.0060	3.5714		
0 63	0.0807	15	0.2075	11.7647	0.0005	16	0.0018	5.8824		
0 64	-0.1440	6	0.2309	0.0000	-0.0005	6	0.0023	0.0000		
0 68	1.0923	19	0.1904	5.0000	0.0083	20	0.0027	0.0000		
0 69	-0.0112	22	0.2905	4.3478	-0.0009	22	0.0029	4.3478		
0 72	0.0728	15	0.2277	0.0000	-0.0011	15	0.0039	0.0000		
0 73	0.0162	4	0.0655	0.0000	-0.0000	4	0.0038	0.0000		

图 5-14 MHM 模型文件 “mhmm\_”

### 5.3.2 数据分析脚本/程序的使用

#### 注意事项

如表 5-2,所示, 在 “scripts/” 目录下有一些有用的脚本方便用户处理结果。注意, 如果你的 Python 3 的路径不是 “/usr/bin/python3”, 你可以使用 **which** 命令找到你电脑中的 python3 的路径。

```
which python3
/usr/local/bin/python3
```

然后, 修改 python 脚本的头部

```
#!/usr/bin/env python
#!/usr/local/bin/python3
```

将修改后的 python 脚本复制到软件环境变量所在路径 (~/.PRIDE\_PPPAR\_BIN/)。然后你就可以在任意目录下直接使用这些 python 脚本。

```
cp plotkin.py ~/.PRIDE_PPPAR_BIN/
```

此外, Python 脚本需要 Python 的一些模块, 即 NumPy 和 Matplotlib。GMT 脚本需要的 GMT 版本是 GMT5。

#### pbopos 用法

**pbopos** 用于将 PRIDE-PPPAR 静态位置 “pos\_” 文件转换成 PBO 格式。**pbopos** 的用法如下:

```
pbopos site path [x_ref y_ref z_ref]
```

其中,

**site** 表示测站名

**path** 表示附加路径的 “pos\_” 文件

[x\_ref y\_ref z\_ref] 为可选参数, 表示参考坐标

#### xyz2enu 用法

**xyz2enu** 用于将地心坐标转换至站心坐标 (单位: m)。**xyz2enu** 用法如下:

```
xyz2enu kin_fl enu_fl [x_ref y_ref z_ref]
```

其中，

**kin\_fl** 为 “**kin\_**” 文件

**enu\_fl** 为用户定义的输出文件名

**[x\_ref y\_ref z\_ref]** 为可选参数，表示站心原点坐标。默认为 “**kin\_**” 文件中坐标均值  
绘制定位时序图

**plotkin.py** 脚本和 **plotkin.sh** 脚本用于绘制 K/P 模式的定位时序图，其运行方式如下：

```
plotkin.py kin_filename png_filename [x_ref y_ref z_ref]
```

```
plotkin.sh kin_filename png_filename [x_ref y_ref z_ref]
```

其中，

**kin\_filename** 为 “**kin\_**” 文件

**png\_filename** 待保存为 **PNG** 格式的图名

**[x\_ref y\_ref z\_ref]** 为可选参数，表示参考坐标。缺省值为 “**kin\_**” 文件中坐标均值

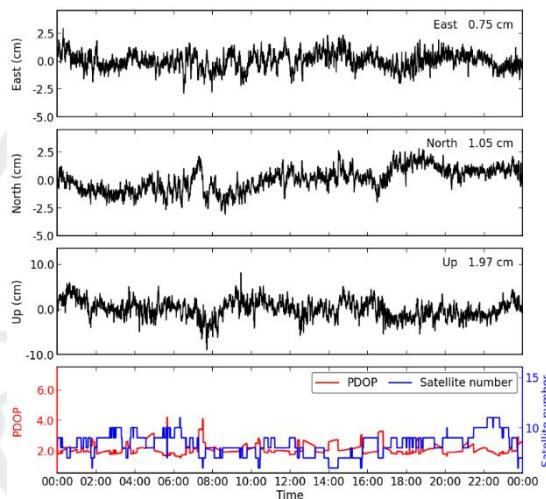


图 5-14 **plotkin.py** 运行举例

绘制残差图

**plotres.py** 和 **plotres.sh** 用于绘制残差，其调用方式如下：

```
plotres.py res_filename PRN
```

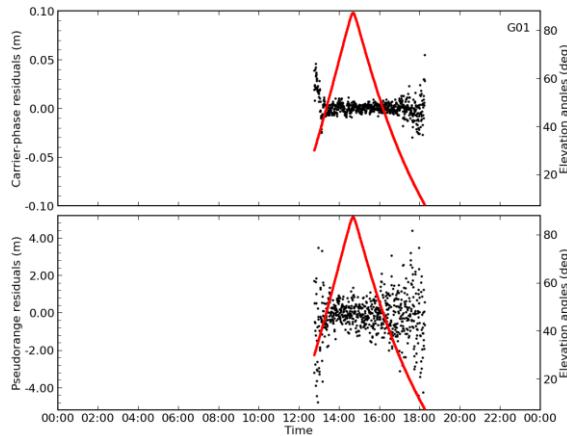
```
plotres.sh res_filename png_filename
```

其中，

**res\_filename** 为 “**res\_**” 文件

**PRN** 表示 **plotres.py** 绘制残差的对应卫星，结果图名为 “**PRN.png**”

**png\_filename** 表示 **plotres.sh** 将要保存的 **PNG** 格式图名，**plotres.sh** 会绘制  
“**res\_**” 文件中包含的所有卫星

图 5-15 *plotres.py* 运行举例

### 绘制轨迹图

通过“kin\_”文件可以绘制轨迹图，即通过 *plottrack.py* 进行绘制，其调用方法如下：

```
plottrack.py kin_filename png_filename
```

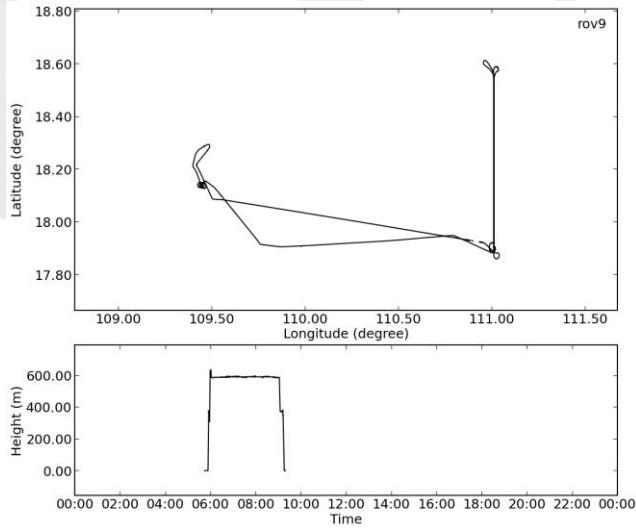
其中，

**kin\_filename**

为“kin\_”文件

**png\_filename**

待保存的 PNG 格式图名

图 5-16 *plottrack.py* 运行举例

### 绘制 ZTD

*plotztd.py* 用于绘制 ZTD，其用法如下：

```
plotztd.py ztd_filename png_filename
```

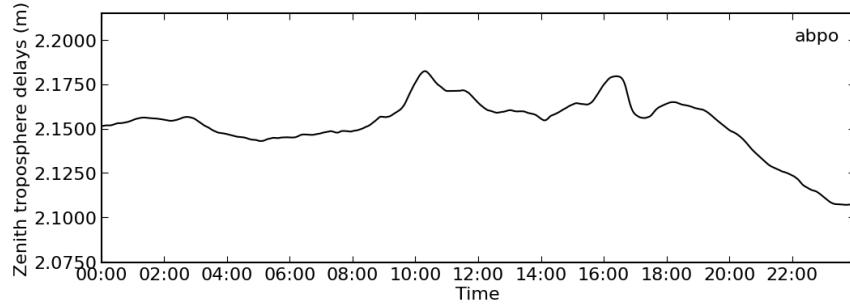
其中，

**ztd\_filename**

为“ztd\_”文件

**png\_filename**

待保存的 PNG 格式图名

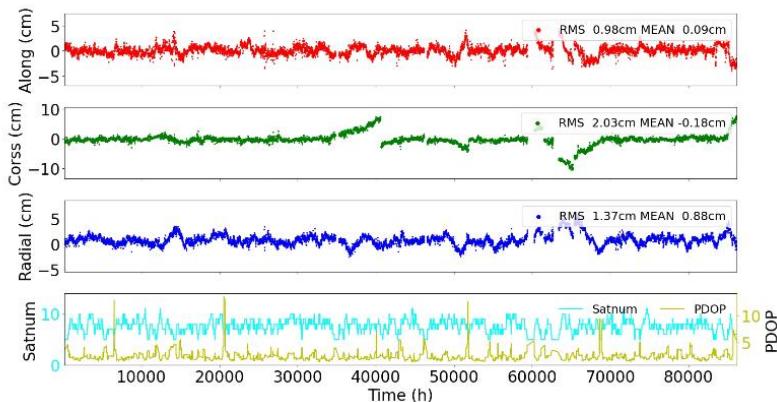
图 5-17 *plotztd.py* 运行举例

绘制 LEO 卫星切径法三向时序图

*plotkin2psos.sh* 用于绘制 LEO 卫星 (Low Orbit Satellite, LEO) 的切向、径向、法向三个方向的时序图，其用法如下

```
plotkin2psos.py kin_file pso_file png_file
```

其中，  
**kin\_file** 解算后得到的低轨卫星 “**kin\_**” 文件  
**pso\_file** 所下载的低轨科学轨道 “**pso\_**” 文件  
**png\_file** 保存的结果图片名

图 5-18 *plotkin2psos.py* 运行举例

下载 LEO 卫星相关数据及产品

*prepare\_leodata.sh* 用于下载 LEO 卫星的观测数据及产品，其用法如下

```
prepare_leodata.sh leo_name date
```

其中，

**leo\_name** 所下载 LEO 卫星数据的名称，如 **GRACE-FO**、**GRACE**

**date** 所下载数据的日期，格式为 **year/month/day** 或 **year/doy(day of year)**

**注意：** 下载数据会用到格式转换功能，脚本会调用 *lat2obx.py* 将各 LEO 卫星自定义格式转为 ORBEX 格式。其中，GRACE-FO 卫星相关文件为 ASCII 文件，不需要进行格式转；GRACE 卫星相关文件为自定义二进制文件，需要使用对应软件 (*GraceReadSW\_L1\_2010-03-31*) 进行转换。

绘制 MHM 模型图

*plotmhm.py* 用于绘制 MHM 模型的图像，其用法如下

```
plotmhm.py mhm_file [png_file]
```

其中，

**mhm\_name** 建模生成的“**mhm\_**”文件

**png\_name** 保存的结果图片名

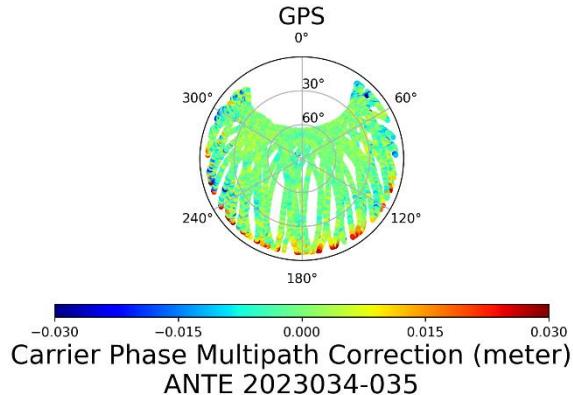


图 5-19 *plotmhm.py* 运行举例

### 5.3.3 表文件

海潮负荷文件

如 4.4.2 节所示，软件目前的海潮改正有两种策略，一种是常规的 Scherneck 方法（模型为 **FES2004**），表文件中的 oceanload 为第一种方法所需要的文件；第二种为引用章传银研究员的计算方法，表文件中的 Love\_load\_cm.dat、FES2004S1.dat 为第二种方法所需要的文件。

第一种方法需要获取海潮系数信息，部分测站可能存在缺失，如需获取海潮系数信息，可根据需要向网站 (<http://holt.oso.chalmers.se/loading/>) 提交站点坐标。然后将获取的数据复制到本地的海潮系数文件 oceanload 中。**sit.xyz** 中的站点坐标可用于获取海潮系数信息。网站上介绍了这些文件的参数和格式，提交方式参考 5.4.3 节。

文件名定义文件

PRIDE PPP-AR 的文件名定义在 **file\_name** 文件中。第一列记录输出文件的关键字，后面是文件名的格式。在格式中，YYYY 表示处理年份，DDD 表示一年中的某一天。SNAM 表示站点名称。例如，“res\_2020001\_abmf”表示 2020 年 1 月 1 日 abmf 站的残差。

**file\_name** 的格式如下（图 5-19）：

amb	amb_-YYYY--DDD-
cst	cst_-YYYY--DDD-
fcb	fcb_-YYYY--DDD-
htg	htg_-YYYY--DDD-
kin	kin_-YYYY--DDD-_--SNAM-
neq	neq_-YYYY--DDD-
orb	orb_-YYYY--DDD-
pos	pos_-YYYY--DDD-_--SNAM-
rck	rck_-YYYY--DDD-
res	res_-YYYY--DDD-
log	log_-YYYY--DDD-_--SNAM-
rnxo	-SNAM--DDD-0.-YY-o
rnxm	-SNAM--DDD-0.-YY-m
rnxn	auto-DDD-0.-YY-n
sck	sck_-YYYY--DDD-
stt	stt_-YYYY--DDD-
ztd	ztd_-YYYY--DDD-
vmf	vmf_-YYYY--DDD-
tec	tec_-YYYY--DDD-
rck	rck_-YYYY--DDD-
att	att_-YYYY--DDD-

图 5-19 “**file\_name**”文件命名格式

全球地形文件

为了校正地形对结果的影响，采用了包含地形校正系数的全球地形校正文件 **orography\_ell**，网格精度为 2.5 度\*2.5 度。名为 **orography\_ell\_1x1** 的文件的内容与

**orography\_ell** 类似，但网格精度为 1 度\*1 度。

格网文件

GPT3 格网系数的年变化、半年度变化均为平均值，并有正弦、余弦振幅，网格精度为 1 度\*1 度。

配置文件模板

配置文件模板记录了数据处理策略，是软件运行的基础，文件的具体详细内容及配置方式参考 5.4.2 节。

## 5.4 快速启动与软件运行

软件安装完成后，相应的可执行程序与数据处理脚本将会存放于系统路径“`~/.PRIDE_PPPAR_BIN/*`”中。考虑到之前批处理脚本 **pdp3** 的命令行形式和配置文件比较复杂，为了便于用户使用 PRIDE PPP-AR，我们做了一些调整，但软件运行的基础还是配置文件。在开始之前，需知一些注意事项：

- 1) 改变 **pdp3** 脚本的运行方式，用户可以根据自己的需要输入命令行参数。
- 2) 如 5.2.2 节所述，默认使用软件安装目录下的配置文件“`~/.PRIDE_PPPAR_BIN/config_template`”。如果用户需要修改配置文件中其余选项，以“table”目录下配置文件模板为基础进行修改，或者将 config 文件拷贝到运行目录下并指定 **pdp3** 所使用的配置文件。

在该节中约定：软件包所在目录为 path-to-software；工作目录为 path-to-project；RINEX 观测文件与广播星历所在目录的路径为 path-to-data；配置文件的路径为 path-to-config；观测文件、广播星历与配置文件分别为：RINEXo、RINEXn 与 config。

### 5.4.1 pdp3 使用方法

**pdp3** 脚本的部分使用方法如图 5-20 所示。更多详细信息可在终端输入 **pdp3** 以查看。

```
Usage: pdp3 [options] <obs-file>
        All character type arguments could be upper-case or lower-case

Start up:
  -V, --version                         display version of this script
  -H, --help                            print this help

Common options:
  -cfg <file>, --config <file>          configuration file for PRIDE PPP-AR 2
  -sys <char>, --system <char>           GNSS to be processed, select one or more from "GREGC23J":
  +-----+-----+-----+
  | G | GPS      | R | GLONASS
  | E | Galileo   | C | BeiDou-2 and BeiDou-3
  | Z | BeiDou-2 only | 3 | BeiDou-3 only
  | J | QZSS     |
  +-----+-----+-----+
  * default: all GNSS

  -frq <char>, --frequency <char>       frequencies to form ionosphere-free combination, select from:
  +-----+-----+-----+-----+-----+-----+
  | 1 | 2 | 5 | 6 | 7 | 8 |
  +-----+-----+-----+-----+-----+-----+
  | G | L1 | L2 | L5 |
  | R | L1 | L2 |      |
  | E | E1 |      | E5a | E6 | E5b | E5
  | C | B1C | B1I | B2a | B3I | B2b | B2
  | J | L1 | L2 | L5 | L6 |
  +-----+-----+-----+-----+-----+-----+
  input as: "G12 R12 E15 C26 J12" (default setting)

  -m <char>, --mode <char>             positioning mode, select one from "K/S/F/L":
  +-----+-----+-----+-----+
  | S | static  | K | kinematic | F | fixed    | L | LEO sat
  +-----+-----+-----+-----+
```

图 5-20 **pdp3** 脚本的部分帮助信息

**pdp3** 脚本参数除“obs-file”外其余皆为可选项，优先级顺序为：命令行参数>配置文件>缺省值。选项名需正确输入，输入参数大小写均可，其中<>表示需要输入参数，[ ]表示输入参数为可选项。选项可分为三类，(1) 必选项；(2) 通用配置选项；(3) 高阶配置

选项。各选项含义如下：

(1) 必选项：

- **obs-file:** 附加路径的 RINEX 观测文件，可以是相对路径或绝对路径。注意，广播星历需要与 RINEX 观测文件在同一目录下。多天处理时将所有观测文件存放于同一目录下，然后输入第一天的观测文件名。多天处理观测文件匹配方式包括：(1) 标准命名格式的观测文件的搜寻；(2) 支持多天直接合并的观测文件。

(2) 通用配置选项：

- **-V 或--version:** 输出软件版本。
- **-H 或--help:** 输出 *pdp3* 脚本帮助信息。
- **-cfg <file>或--config <file>:** 附有路径的配置文件，可以是相对路径或绝对路径。若未输入该选项，默认匹配安装目录下的配置文件（`~/.PRIDE_PPPAR_BIN/config_template`）。
- **-sys <char>或--system <char>:** 选择参与数据处理的 GNSS 系统，输入为“GREC23J”其中一个或多个，分别表示“GPS/GLONASS/Galileo/BDS/BDS-2/BDS-3/QZSS”。未输入该选项时默认使用全部卫星。
- **-frq <char>或--frequency <char>:** 频率选择配置。指定频率组成无电离层组合观测值。GPS 系统可选频率有 L1/L2/L5，GLONASS 系统可选频率有 L1/L2，Galileo 系统可选频率有 E1/E5a/E6/E5b/E5，BDS 系统可选频率有 B1C/B1I/B2a/B3/B2b/B2，QZSS 系统可选的频率有 L1/L2/L5/L6。使用时遵循“系统标号 + 频率标号 1 + 频率标号 2”规则。标号与系统频率的对应关系如表 5-4 所示。

表 5-4 全频率选项标号与系统频率的对应关系

系统 标号	1	2	5	6	7	8
G	L1	L2	L5			
R	L1	L2				
E	E1		E5a	E6	E5b	E5
C	B1C	B1I	B2a	B3	B2b	B2
J	L1	L2	L5	L6		

**注意：**频率选择时，需要考虑所选频率的频率间距，这会影响其组成的线性组合的定位性能。默认选择为“G12 R12 E15 C26 J12”。

- **-m <char[length]>或--mode <char[length]>:** 定位模式配置，可选项有“S/P/K/F/L”。其中，S 表示静态解，P 表示分段处理，K 表示动态解，F 表示固定测站坐标，L 表示低轨卫星解算（需要相应产品）。若未输入该选项，并指定了配置文件，将读取配置文件中的定位模式，否则默认为 K 模式。

**注意：**-L 模式下，由于 GRACE/GRACE-FO 卫星搭载超稳振荡器，若要解算该低轨卫星，则可在进行低轨卫星轨道解算时添加“-r s”配置来指定接收机钟差为随机游走噪声估计以提高解算坐标精度。-P 模式下，默认处理时长为 300s，若要设置不同的分段处理时长，需以秒为单位；P 模式下还可以设置位置历元间约束，单位为 m/sqrt(s)，默认约束大小为 0.01m/sqrt(s);且位置历元间约束仅适用于 P 模式。-F 模式下，需要测站的先验坐标，若解算数据为 IGS 测站，则默认使用周解文件中的坐标；若为用户自测数据或想用自己设置的

固定坐标，则需要手动在工作目录下新建“sit.xyz”文件，并在文件中中添加“staname posx posy posz”数据，数据含义分别为“测站名（与 O 文件中同名）固定的 X 坐标 固定的 Y 坐标 固定的 Z 坐标”。

- **-s <date [time]>或--start <date [time]>**: 数据处理的起始时间，格式为“yyyy/mm/dd hh:MM:ss”，表示年月日和时分秒，其中“hh:MM:ss”为可选项。也可以采用 yyyy/doy（年和年积日）的输入形式。若未输入该选项，默认使用观测文件的第一个历元作为起始时间。
- **-e <date [time]>或--end <date [time]>**: 数据处理的结束时间，格式。“yyyy/mm/dd hh:MM:ss”，表示年月日和时分秒，其中“hh:MM:ss”为可选项。也可以采用 yyyy/doy（年和年积日）的输入形式。若未输入该选项，默认使用观测文件的最后一个历元作为结束时间。
- **-n <char>或--site <char>**: 四位数字和字母组合的站名。若未输入该选项，读取观测文件头中“MARKER NAME”对应的测站名称；如果未读取到站名，则取观测文件名的前四个字符（需符合标准命名格式）。
- **-i <num>或--interval <num>**: 采样率，取值范围是 0.02s 到 30s。若未输入该选项，并且指定了配置文件，将读取配置文件中的采样间隔，否则默认使用观测文件的采样率。

### (3) 高阶配置选项:

- **-aoff 或--wapc-off**: 在组成 M-W 组合时不改正 PCO。若未输入该选项时则进行该项改正。  
注意该项改正应与对应产品计算策略一致，在使用非“WUMMGX0RAP\_\*”之外的其它产品时，倘若不了解对应产品计算策略且宽巷固定率较低可尝试在命令行输入该参数。
- **-c <num>或--cutoff-elev <num>**: 截止高度角，范围为 0°~60°。若未输入该选项，默认为 7°。
- **-f 或--float**: 不进行模糊度固定，计算浮点解。若未输入该选项，且存在偏差产品的情况下将计算固定解。
- **-h <char[length] [num]>或--htg <char[length] [num]>**: 配置水平对流层梯度。可选模式有“S”、“P”、“N”，其中，S 表示选择 STO 模型，P 表示选择 PWC 模型，N 表示无模型，默认为 PWC 模型。**[length]**表示 PWC 模式的估计时长，可选值有 60、720，默认为 720min。**[num]**表示过程噪声参数，若未设置该参数，则 P 模式取 0.002m/sqrt(h)，S 模式取 0.0004m/sqrt(s)。
- **-hion 或--high-ion**: 进行高阶电离层改正。未输入该选项时不进行高阶电离层改正。
- **-mp [num]或--multipath [num]**: 进行多路径改正。未输入该选项时不进行多路径改正。  
[num]表示在一个恒星日周期外额外进行建模的天数，num 为正数时代表用该天以前的数据进行建模，num 为负数时代表用该天以后的数据进行建模，若未设置该参数，则默认采取一个恒星日周期进行建模。
- **-l 或--loose-edit**: 禁用严格编辑模式，采用较为宽松的数据编辑模式，当高动态数据质量较差时应使用该选项。若未输入该选项，默认为严格编辑。严格编辑模式下短于十分钟的弧段将被剔除，否则为两分钟。
- **-p <char>或--mapping-func <char>**: 对流层投影函数。可选项包括：(1) G: 使用 GMF 投影函数；(2) N: 使用 NMF 投影函数；(3) V1: 使用 VMF1 投影函数；(4) V3: 使用 VMF3 投影函数。未输入该选项默认为使用 GMF 投影函数。

- **-r [num]或--rck [num]:** 使用随机游走模式估计接收机钟差。接收机钟差估计默认使用白噪声模式，但当指定“-r”选项后，改用随机游走模式估计接收机钟差。[num]可选项可设置为“.0040”，表示过程噪声为 0.0040m/sqrt(s)，否则为默认值 0.001m/sqrt(s)。
- **-toff <char>或--tide-off <char>:** 关闭某项潮汐改正，输入为“SOP”其中一个或多个，分别表示“SOLID/OCEAN/POLE”，即固体潮、海潮和极潮。未输入该选项时默认进行全部潮汐改正。
- **-twnd <num>或 -time-window <num>:** 观测值文件中观测值接收时刻距离标准时刻容许的时间偏差，单位秒，取值范围 0.0001~1。
- **-v 或--verbose:** 恢复其他模糊度输出，输出更多的模糊度固定细节。
- **-x <num>或--fix-method <num>:** 模糊度固定方法。可选项包括：(1) 取整法；(2) LAMBDA 方法。默认当处理时长小于 6 小时时模糊度固定方法为 LAMBDA 方法，否则为取整法。在处理时段较短时应使用 LAMBDA 方法，否则应采用取整法。
- **-z <char[length] [num]>或--ztd <char[length] [num]>:** 天顶对流层延迟模型和相应的过程噪声参数（可选）。天顶对流层延迟模型可选项包括：(1) p60/P60: PWC:60，每 1h 估计一次，其中估计时长 (60) 可自定义（需大于等于 60）；(2) s/S: STO，随机游走噪声，该选项的默认设置为 STO。对应的过程噪声参数单位为 m/sqrt(s) 和 m/sqrt(h)，未输入过程噪声参数时 STO 对应缺省值为 0.0004，PWC 对应缺省值为 0.02m/sqrt(h)。

**注意：**多天处理时需使用-s（--start）和-e（--end）指定数据处理时段，使用多天未合并的观测文件需将其放于同一目录下，**obs-file** 指定第一天的观测文件。此外，当处理高动态数据时，由于数据量较大，所以 **pdp3** 在刚开始匹配相关信息会相对较为耗时，请耐心等待。

## 5.4.2 配置文件

如上所述，在“path-to-software/table”目录下有一个配置文件模板，用于记录 PRIDE PPP-AR 的数据处理策略。5.4.1 节所述的命令行参数实际相当于指定了配置文件中的配置选项，用户可以通过配置文件修改配置信息。未输入命令行参数且指定了配置文件时，将匹配配置文件中相应的配置选项。配置文件使用“**Keyword = Value**”格式记录各种选项。对于枚举值，可选值是一个枚举标签（NO, YES 等）。在一行中“!”之后的文字被视为注释。主要分为以下几个部分：全局处理选项和文件路径设置、参数模型选项、模糊度固定选项、卫星列表及其权重和测站处理选项。.

### 全局处理选项和文件路径设置

该部分各配置选项与之对应的命令行选项包括：

- **Frequency combination = Default**

频率组合，对应的 **pdp3** 命令行参数为**-frq** 或**--frequency**。指定频率组成无电离层组合观测值。“Default”表示使用缺省值“G12 R12 E15 C26 J12”，若想设置不同的频率组合，可参考表 5-4。

- **Interval = Default**

采样率，对应命令行参数为**-i** 或**--interval**。“Default”表示使用缺省值，即观测文件中对应的采样率。

- **Session time = -YYYY- -MM- -DD- -HH- -MI- -SS- -SE-**

数据处理起始时刻与处理时长，依次为年月日时分秒和以秒为单位的处理时长。注意修改在使用 **pdp3** 脚本时该部分不生效，若用户想要指定处理时段，输入对应的命令行参数即可，对应于命令行参数为**-s** 或**--start** 和**-e** 或**--end**。

- Table directory = /home/username/path-to-table/table/

指定表文件所在的目录。

**注意：**在软件安装成功后，“Table directory” 将被改为软件包目录下的 “table/” 目录，用户不必修改。即 Table directory= /home/username/path-to-software/table/

- Product directory = Default

指定精密产品所在的目录。对于 “Product directory” 目录，若用户未进行修改，即 “Default”，将在 “path-to-project/year” 目录下创建 “product” 目录中，如处理 2022 年的数据时为：Product directory = /home/username/path-to-project/2022/product/

所需的精密产品分类存储于 “product” 目录的子目录下，包括 “common”、“ssc”、“vmf” 和 “ion” 四个子目录。这些目录是最容易出错的地方，通常保持默认值即可。

注意之前版本配置文件中的 Rinex directory 由 pdp3 最后一个选项代替，存放观测文件和广播星历，故用户需确保输入正确的路径与观测文件名（在输入路径时可使用 Tab 键进行补齐防止输入错误）。

之后是产品名称部分，分别为精密星历/卫星钟差/ERP 产品/四元数产品/偏差产品，Default 表示使用默认产品，相关信息可以参考 4.3 节末尾和附录 A。如果你想使用其他产品，你需要将它们解压并放在 “Product directory/common” 目录下。然后把配置文件中相应的产品名称从 “Default” 改为实际的文件名称。若无四元数产品，可将 Quaternions 改为 none；若不进行模糊度固定，可不需要偏差产品，同样将 Code/phase bias 改为 none 即可。注意，多日处理应包括所有天的产品文件名，用空格隔开。

#### 参数模型选项

该部分各配置选项与之对应的命令行选项包括：

- Strict editing = Default

数据编辑模式，对应命令行参数为 -l 或 --loose-edit。“Default” 表示缺省值，即 YES。当数据质量较差时，应修改为 NO，意味着一个更宽松的编辑阈值和更少的数据清理迭代次数。

- RCK model = Default

接收机钟差估计模型，对应命令行参数为 -r 或 --rck。“Default” 表示默认，即 WNO (White Noise)，表示白噪声估计模型。

- ZTD model = Default

天顶对流层延迟过程噪声模型 (PWC:60 分段常数，每 60 分钟估计一次；STO 表示随游走噪声)，对应命令行参数为 -z 或 --ztd。“Default” 表示缺省值，即 STO。

- HTG model = PWC:720

水平对流层梯度过程噪声模型 (PWC/NON，NON 表示不估计)。“Default” 表示缺省值，即 S/F 模式下使用 PWC:720，K 模式为 NON。

ZTD model 和 HTG model 修改建议：(1) S/F 模式：PWC: 60 和 PWC: 720；(2) K 模式：STO 和 NON。

- Iono 2nd = Default

是否改正 2 阶电离层延迟，对应命令行参数为 -hion 或 --hgh-ion。“Default” 表示缺省值，即 NO。无电离层组合观测值中残余的高阶电离层延迟对 PPP 的影响可忽略不计，一般不用进行该项改正。进行该项改正时对应的电离层格网文件将存放于 “Product directory/ion” 目录中。

- Tides = Default

潮汐改正（固体潮/海潮/极潮），对应命令行参数为-**t-off** 或--**tide-off**。默认全部都进行改正，删除任何一个以关闭相应的改正，如果不进行潮汐改正，则改为 NON。其中海潮改正需要根据 [Table directory](#) 下的 oceanload 文件进行插值计算，如果在 **lsq** 屏幕输出中提示“**##WARNING(oceanload\_coef): no oceanload coefficients for**”或在结果文件头部显示未进行海潮改正，则按照 5.4.3 节**步骤 3**更新 oceanload 文件再次进行解算。

- Multipath = Default

多路径改正，对应命令行参数为-**mp** 或--**multipath**。“Default”表示缺省值，即 NO。修改为 YES 则开启多路径补偿，改进效果与测站环境有关。

#### 模糊度固定选项

在这一部分中，有两个主要的配置选项需要注意，其余保留其默认值即可：

- Ambiguity co-var = Default

模糊度固定方法，对应的命令行参数为-**x** 或--**fix-method**。“Default”表示缺省值，即时长小于 6h 时为 YES，使用 LAMBDA 方法进行模糊度固定，否则采用取整法。当处理时长较短时（如小于 6 小时），建议使用 LAMBDA 方法。

- Ambiguity duration =600

固定模糊度所需的单差卫星对共视时段长。

- Cutoff elevation =15

固定模糊度所需的截止高度角。

- PCO on wide-lane = YES

是否在 M-W 组合观测值中进行 PCO 校正，对应的命令行参数为-**aoff** 或--**wapc-off**。

- Widelane decision = 0.20 0.15 1000

取整法对应于宽巷模糊度的决策参数，分别为偏差、标准差与阈值，单位为周。

- Narrowlane decision = 0.15 0.15 1000

取整法对应于窄巷模糊度的决策参数，分别为偏差、标准差与阈值，单位为周。

- Critical search = 3 4 1.8 3.0

LAMBDA 方法对应于窄巷模糊度的决策参数，四个参数依次是 LAMBDA 算法中剔除模糊度最大数量、保留模糊度最少数量、模糊度搜索的 ratio 最小值及阈值。当使用 LAMBDA 方法窄巷模糊度不能固定时，即 **arsig** 中 LAMBDA 固定率部分输出“*no more can be fixed*”，可适当逐步调大第一个数值（剔除模糊度最大数量）然后再次进行解算。

- Truncate at midnight = Default

是否在午夜截断模糊度，用于解决在日界处的不连续问题，默认设置为 Default，即根据 bias-SINEX 文件中的 DOCB 模块通过简单的计算判断模糊度在午夜处是否截断，当 bias-SINEX 文件中不存在 DOCB 模块，在午夜处将强制截断模糊度；当设置为 YES，在午夜处将强制截断模糊度；当设置为 CON，模糊度在午夜处将强制连续。

- Verbose output =NO

是否展示分系统的全部模糊度固定率

#### 卫星列表及其权重

卫星列表由卫星 PRN 和相应的权重系数组成，权重系数越大，权重越低。用户可以在单个 GNSS PRN 的开头插入="#"禁用该卫星，对应于命令行参数为-**sys** 或--**system**（注意这两个命令行参数表示选用对应输入系统的所有卫星，其它系统的卫星将被禁用）。由于 BDS-2 GEO 卫星（C01-C05）轨道精度较低，若定位结果较差时可将其禁用。

## 测站处理选项

测站列表处除与命令行选项对应的配置选项外，其余保留默认值即可。注意：(1) 在测站列表中只能保留一行；(2) 该部分中 x/X 为通配符，表示对应的缺省值；(3) 若要进行修改，注意保持与原缩进一致。

```
NAME TP MAP CLKm PoDm EV ZTDm PoDm HTGm PoDm RAGm PHSc PoLns PoXEm PoYNm PoZHm
xxxx X XXX 9000 xxxx xx 0.20 xxxx .005 xxxx 0.30 0.01 xxxx 10.00 10.00 10.00
```

<b>NAME</b>	测站名
<b>TP</b>	定位模式
<b>MAP</b>	对流层投影函数
<b>CLKm / PoDm</b>	接收机钟差先验约束（单位：m）以及过程噪声（单位：m/sqrt(s)）
<b>EV</b>	截止高度角
<b>ZTDm / PoDm</b>	天顶对流层延迟（ZTD）先验约束（单位：m）以及过程噪声（单位：m/sqrt(s)）
<b>HTGm / PoDm</b>	水平对流层梯度（HTG）先验约束（单位：m）以及过程噪声（单位：m/sqrt(s)）
<b>RAGm</b>	伪距观测噪声（单位：m）
<b>PHSc</b>	相位先验约束（单位：cycle）
<b>PoLns</b>	位置参数 PWC 模式的参数时长（单位：s）
<b>PoXEm</b>	X 坐标的先验约束（单位：m）
<b>PoYNm</b>	Y 坐标的先验约束（单位：m）
<b>PoZHm</b>	Z 坐标的先验约束（单位：m）

### 5.4.3 一般操作步骤

在安装和验证之后，让我们开始 PPP 数据的处理！在使用 PRIDE PPP-AR 进行数据处理时一般的操作步骤为：

**步骤 1：**确保你已经成功安装了软件，软件安装方法见 5.2.2 节。

**步骤 2：**准备好观测文件，软件运行方法参考 5.4.1 节和 5.4.2 节，如果你想修改除命令行选项外的其他配置选项，基于软件包中“table”目录下的配置文件模板修改配置文件。

**步骤 3：**在未联网解算的情况下，需要事先准备需要下载的外部文件并将其放置于对应的目录下。包括精密产品、部分表文件与广播星历，参考 pdp3 批处理脚本 4.3 节最后部分和附录 A。

**步骤 4：[靠近海岸的测站可能需要]** 根据网站 (<http://holt.oso.chalmers.se/loading/>)，使用 **sit.xyz** 中的坐标获取海潮负荷参数，或者你可以通过 **spp** 计算测站坐标，如：

```
spp -trop saas path-to-data/RINEXo path-to-data/RINEXn
```

选择模型 **FES2004** (图 5-21)，并保留其余选项为默认值

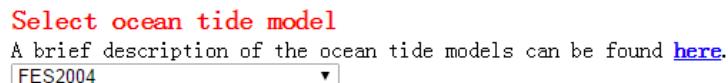


图 5-21 海潮模型

然后通过在网站上添加测站坐标来提交任务，如下所示。当您通过电子邮件获得海潮负荷系数时，按照它们的原始格式附加到“Table directory”下/oceanload 中 (图 5-22)。

Name of station_____	Longitude (deg)	Latitude (deg)	Height (m)	OR
Name of station_____	X (m)	Y (m)	Z (m)	
//sala	11.9264	57.3958	0.0000	
//ruler.....b.....<.....<.....				
// Records starting with // are treated as comments				

图 5-22 提交任务

**步骤 5:** 调用 *pdp3* 进行数据处理，根据需要调整命令行参数

**pdp3 [-cfg path-to-config/config .....] path-to-data/RINEXo**

**步骤 6:** 数据处理结束后，结果文件将会存储于 path-to-project 下的“年/年积日”目录中，查看定位结果与其它结果文件。

#### 5.4.4 练习算例

如果你已经知道如何用 *pdp3* 处理数据，你可以开始处理你自己的数据。或者你可以用“path-to-software/example”目录下的数据进行练习。在“path-to-software/example”目录下建立“Practice”文件夹，用于程序的执行（如果你对 Linux 很熟悉，可以根据需要改变目录）。本节主要说明常见数据处理场景下的参数选择与输入，可作为参考，用户在处理数据时可根据需要适当调整相关处理策略。注意在结果目录（年/年积日目录）下会生成相应补充完整的配置文件，用户可查看该文件以核对配置信息。

**例一：静态单天解**

静态单天解需输入-m 或--mode 选项指定定位模式为 S 模式，输入-z 或--ztd 选项来指定 ZTD model 为 PWC:60，其余保持默认配置即可。

- 1) 在“Prcatice”录下创建并切换至“Practice1”目录；
- 2) 打开终端，运行 *pdp3* 脚本，在“Practice/Practice1”目录下开始数据处理；

**pdp3 -m s -z p60 ../../data/2020/001/abmf0010.20o**

- 3) 结果文件将输出至“2020/001”目录，切换至“2020/001”目录；
- 4) 对于静态解，用户可以使用 *pbopos* 将“pos\_”文件转为 PBO 格式；

**pbopos abmf pos\_2020001\_abmf**

- 5) 绘制残差分析结果。

**plotres.py res\_2020001\_abmf G01**

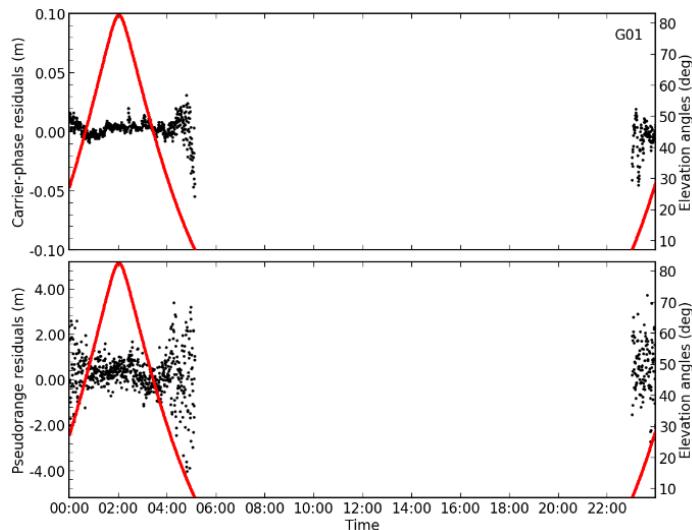


图 5-23 ambf 站 2020 年 001 天残差图

### 例二：动态解

处理动态解时各配置参数保持默认即可，若数据质量较差时可输入 **-l** 或 **--lose-edit** 参数。

- 1) 回到“Practice”目录，创建并切换至“Practice2”目录；
- 2) 打开终端，运行 pdp3 脚本，在“Practice/Practice2”目录下开始数据处理；  
`pdp3 ../../data/2021/210/ccj22100.210`
- 3) 结果文件将输出至“2021/210”目录，切换至“2021/210”目录；
- 4) 对于动态解，用户可以使用 **xyz2enu** 将 XYZ 转换为 ENU，如果参考坐标为空，将使用“kin\_”文件里的坐标均值；  
`xyz2enu kin_2021210_ccj2 enu_2021210_ccj2`
- 5) 绘制定位时序图。  
`plotkin.py kin_2021210_ccj2 enuts_ccj2`

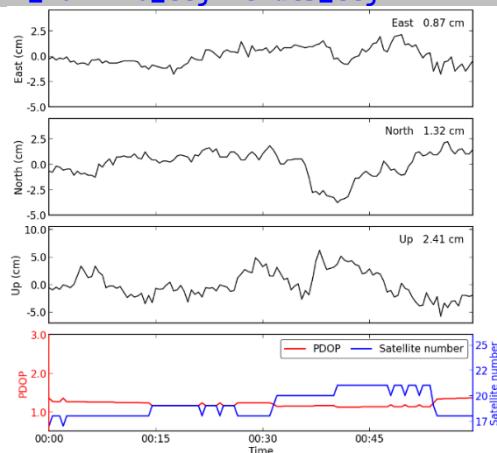


图 5-24 ccj2 站 2021 年 210 天定位时序图

### 例三：地震数据

地震数据同动态解，各配置参数保持默认即可。

- 1) 回到“Practice”目录，创建并切换至“Practice3”目录；
- 2) 在这个例子中，使用 Alaska M8.1 地震期间的数据，数据来源 UNAVCO (<https://www.unavco.org>)；

- 3) 打开终端运行 pdp3 脚本，在“Practice/Practice3”目录下开始数据处理；

```
pdp3 ../../data/2021/210/ac122100.21o
```

- 4) 结果文件将输出至“2021/210”目录，切换至“2021/210”目录；

- 5) 绘制定位时序图。

```
plotkin.py kin_2021210_ac12 enuts_ac12
```

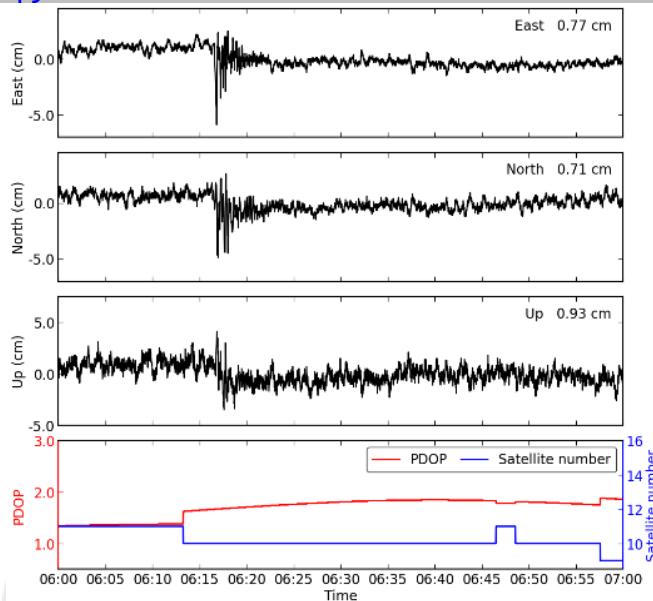


图 5-25 ac12 站 2021 年 210 天定位时序图

#### 例四：使用其它产品

使用其它产品时需要注意是否在构建 M-W 组合加入 PCO 改正，倘若不确定的情况下可对比输入与不输入-aoff 或--wapc-apc 参数，然后选择宽巷固定率较高的方案。为了不修改原来的配置文件模板，将“path-to-software/example/config\_template”复制到该算例目录下。

- 1) 回到“Practice”目录，创建并切换至“Practice4”目录；
- 2) 在这个例子中，将使用 CODE 发布的多系统精密产品（COM），对应的 GPS 周为 2168，周内天为 4，下载链接为 [http://ftp.aiub.unibe.ch/CODE\\_MGEX/CODE/2021/](http://ftp.aiub.unibe.ch/CODE_MGEX/CODE/2021/)；
- 3) 下载完成后创建“2021/product/common”目录，将下载好的精密产品解压后存放于该目录下；
- 4) 切换至“Practice4”目录，拷贝“Table directory”目录下的配置文件模板至当前目录，修改配置文件中产品名称：

<i>Satellite orbit</i>	= COM21684.EPH
<i>Satellite clock</i>	= COM21684.CLK
<i>ERP</i>	= COM21684.ERP
<i>Quaternions</i>	= COM21684.OBX
<i>Code/phase bias</i>	= COM21684.BIA

**注意：**在多天处理时需将所有产品文件名写入，以空格为分割符；或自行合并后写入单个合并后的文件名，如：

```
Satellite orbit = COM21684.EPH COM21685.EPH
```

- 5) 打开终端运行脚本，在“Practice/Practice4”目录下开始数据处理；

```
pdp3 -cfg config_template -aoff ../../data/2021/210/ccj22100.21o
```

- 6) 结果文件将输出至“2021/210”目录，切换至“2020/210”目录；
- 7) 绘制定位时序图。

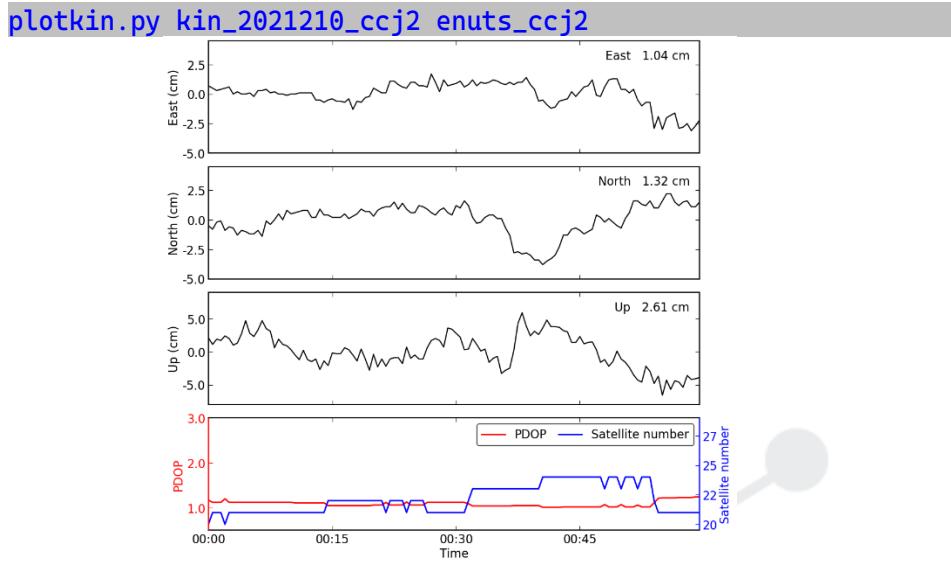


图 5-26 ccj2 站 2021 年 210 天定位时序图

#### 例五：离线模式下准备外部文件

在离线模式下处理数据需要事先准备外部文件，下载链接参考 4.3 节末尾部分。同例四，下载到的精密产品需分类存放于对应的子目录：

##### 必需外部文件：

- 精密产品：下载后存放于“[Product directory/common](#)”目录。
- 广播星历：下载后存放于观测文件所在目录。
- 跳秒文件（leap.sec）：由于两次跳秒发生时间间隔较长，在跳秒发生后更新该文件即可，下载后存放于“[Table directory](#)”目录。
- 卫星参数文件（sat\_parameters）：该文件主要用于读取 GLONASS 卫星频道号，在处理包含 GLONASS 卫星的数据时需要更新该文件，下载后存放于“[Table directory](#)”目录。
- ANTEX 文件：钟差产品的“SYS / PCVS APPLIED”字段中记录了对应的天线文件，若“[Table directory](#)”目录下无该文件，需下载后存放于“[Table directory](#)”目录。

##### 可选外部文件：

- IGS 解文件：定位模式为 F 模式时需要，表示固定测站坐标以提高 ZTD 估计精度，下载后存放于“[Product directory/ssc](#)”目录。
- 对流层格网文件：投影函数为 VMF1 或 VMF3 时需要，下载后存放于“[Product directory/vmf](#)”目录
- 电离层格网文件：进行高阶电离层改正时需要，下载后存放于“[Product directory/ion](#)”目录。

本例以 F 模式为例，下载相应的精密产品、广播星历与解文件

- 1) 回到“Practice”目录，创建并切换至“Practice5”目录，下载 2021 年 220 天 F 模式所需的外部文件：

精密产品：<ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/whu/phasebias/2021>

广播星历：

[ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/gps/data/daily/2021/220/21p/BRDC00IGS\\_R\\_20212200000\\_01D\\_MN.rnx.gz](ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/gps/data/daily/2021/220/21p/BRDC00IGS_R_20212200000_01D_MN.rnx.gz)

ANTEX 文件：该例中钟差文件头部记录的天线文件为“igs14\_2148.atx”

[https://files.igs.org/pub/station/general/pcv\\_archive/igs14\\_2148.atx](https://files.igs.org/pub/station/general/pcv_archive/igs14_2148.atx)

卫星参数文件：[ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/whu/phasebias/table/sat\\_parameters](ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/whu/phasebias/table/sat_parameters)

解文件：<ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/gps/products/2170/igs21P21700.ssc.Z>

- 2) 按相应目录存放对应的外部文件；
- 3) 打开终端运行脚本，在'Practice/Practice5'目录下开始数据处理；  
`pdp3 -m f ../../data/2021/220/BAK000IDN_R_20212200000_01D_30S_MO.rnx`
- 4) 结果文件将输出至"2021/220"目录，切换至 "2020/220"目录；
- 5) 绘制 ZTD 时序图；

`plotztd.py ztd_2021220_bako ztdts_2021220_bako`

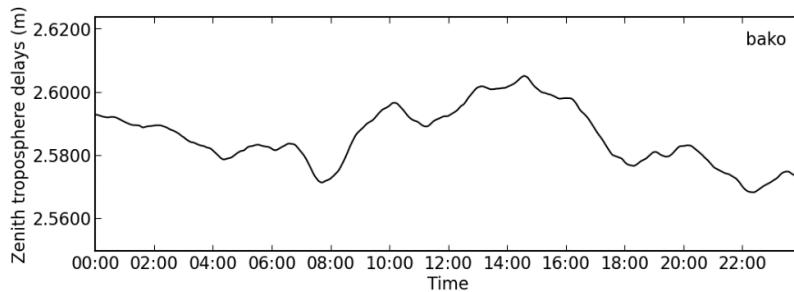


图 5-27 bako 站 2021 年 220 天 ZTD 时序图

#### 例六：低轨卫星轨道解算

软件仅支持 GRACE/GRACE-FO 卫星的运动学定轨，若需处理其它卫星，需要用户添加相应的天线改正信息并且准备对应的姿态文件（ORBEX 格式）。低轨卫星轨道解算同动态解，各配置参数保持默认即可。

- 1) 回到 “Practice ” 目录，创建并切换至 “Practice6” 目录；
- 2) 数据准备：打开终端，运行如下脚本。该脚本下载数据有①低轨卫星的观测 O 文件②低轨卫星的姿态文件③低轨卫星的科学轨道文件；  
`prepare_leodata.sh grace-fo 2023/001`
- 3) 低轨卫星位置解算：输入如下 `pdp3` 脚本，在 “Practice/Practice6” 目录下开始数据处理；  
`pdp3 -m l ./data/2023/grac0010.23o`

- 4) 结果文件将输出至 “2023/001” 目录，切换至 “2023/001” 目录；
- 5) 绘制径向、切向、法向 RMS 图：在结果文件夹下新建终端，输入如下命令绘制定位精度时序图，并将结果保存到 rms\_enu；  
`potkin2ps0.py kin_2023001_grac ../product/leo/ps0_2023001_grac rms_enu`

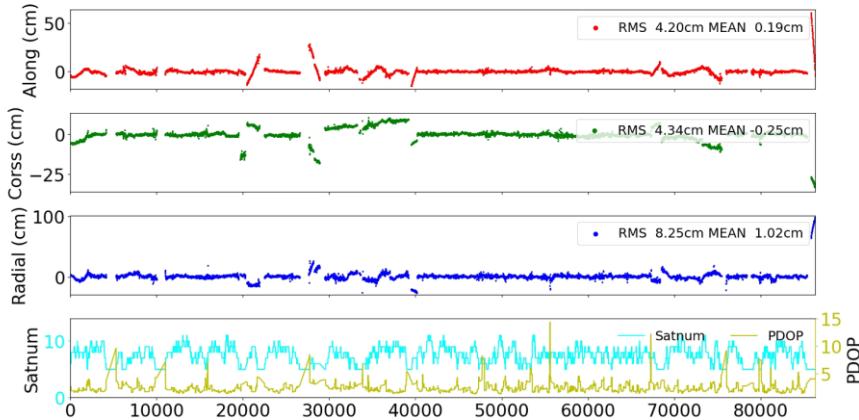


图 5-28 grac 卫星 2023 年 001 天解算精度时序图

#### 例七：解算添加位置的历元间约束

若要在解算过程中添加位置的历元间约束，则必须需要使用软件的 P 模式（其他模式不支持）。其使用方法如下：

```
pdp3 -m <p[length] [constraint]>
```

其中，-m 为模式设置，length 为时间长度，constraint 为约束的量级，单位为 m/sqrt(s)，默认认为 0.01m/sqrt(s)。pdp3 命令各项参数的具体用法参考节 5.4.1。

针对 30s 采样率的文件，一个常见的设置为 **-m p30 0.0001**，该设置的具体含义为，采用 P 模式进行解算，解算长度为 30s，附加历元间约束的量级为 0.0001 m/sqrt(s)。

- 1) 回到“Practice”目录，创建并切换至“Practice7”目录；
  - 2) 数据准备。请用户自行准备 2024 年年积日为 001 采样率为 30 秒的 abpo 测站观测的数据，并放在在 Pratice7 文件夹下。观测数据有多种渠道可以获得，在此给出一个 ftp 链接 [ftps://igs.gnsswhu.cn/pub/gps/data/daily/2024/001/24o/abpo0010.24o.gz](https://igs.gnsswhu.cn/pub/gps/data/daily/2024/001/24o/abpo0010.24o.gz)；
  - 3) 打开终端，切换至“Practice/Practice7”目录下，输入如下命令开始数据处理；
- ```
pdp3 -m P30 0.0001 abpo0010.24o
```
- 4) 输入命令绘制历元间约束定位时序图；
- ```
plotkin.sh 2024/001/kin_2024001_abpo_abpo_P30
```
- 5) 比较默认 K 模式的定位时序图。

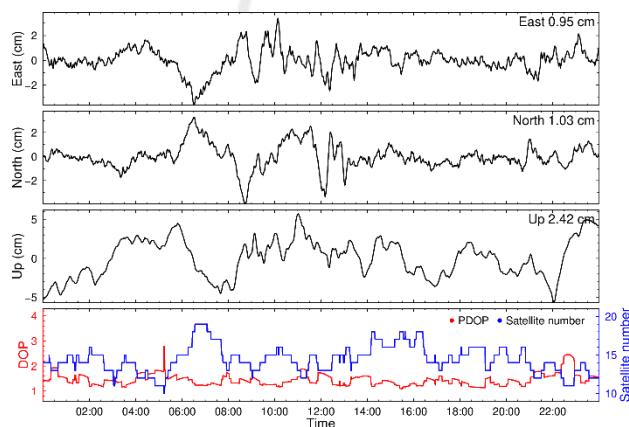


图 5-29 abpo 测站 2024 年 001 天历元间约束（量级为 0.0001 m/sqrt(s)）解算定位时序图

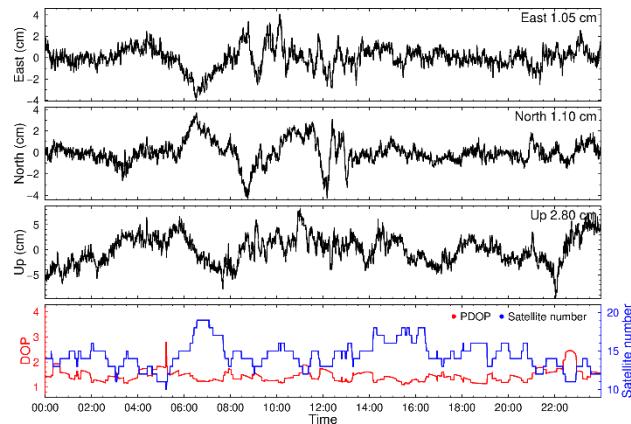


图 5-30 abpo 测站 2024 年 001 天默认解算 (K 模式) 定位时序图

#### 例八：跨天解算及 docb 产品效果测试

软件目前支持跨天解算，使用方法为通过-s 与-e 参数设置起始与结束时间，并准备相应的观测文件，即可实现数据的跨天解算。跨天解算时，不可避免会遇到跨天模糊度是否截断的问题，WUMOMGXRAP 的 OSB 产品提供了 docb 这项指标来辅助判断是否进行跨天模糊度截断，本示例将介绍跨天解算，步骤如下：

- 1) 回到“Practice”目录，创建并切换至“Practice8”目录；
  - 2) 数据准备。请用户自行准备 2024 年年积日为 178 与 179 的采样率为 30 秒的 bamf 测站观测的数据，并放在在 Practice8 文件夹下；
  - 3) 打开终端，切换至“Practice/Practice8”目录下，输入如下命令开始数据处理（命令的具体解释参照节 5.4.1）；
- ```
pdp3 -s 2024/178 20:00:00 -e 2024/179 04:00:00 -sys GEC bamf1780.24o
```
- 4) 输入命令绘制定位时序图。

```
plotkin.sh 2024/178-179/kin_2024178_bamf_bamf_docb
```

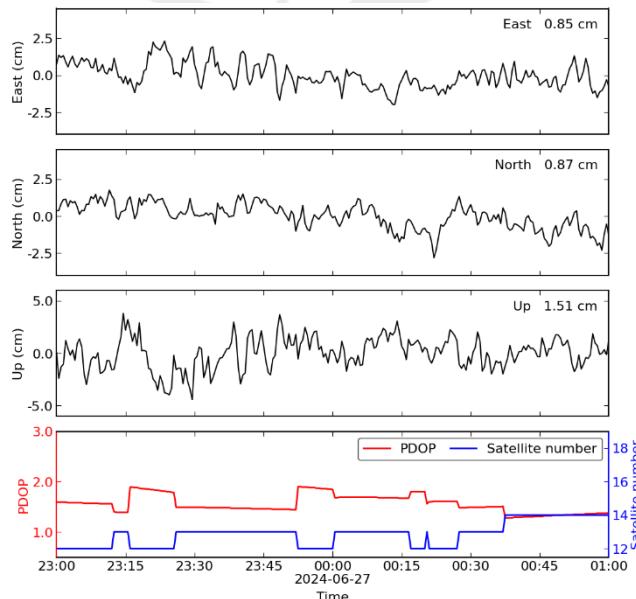


图 5-31 bamf 测站 2024 年 178-179 天跨天解算定位时序图（截取日界前后半小时结果）

## 6 PRIDE PPP-AR GUI 版

### 6.1 概述

#### 6.1.1 GUI 版和 CUI 版的区别

- 5) GUI 版本不能处理 1Hz 以上的高频数据;
- 6) GUI 仅能识别标准命名格式的观测文件;
- 7) GUI 版本不能下载 RTS 产品、GLONASS 广播星历和小时广播星历;
- 8) 对于 2020 年前的数据，GUI 版能够自动下载 IGS 第三次重处理的产品进行处理，但不能下载 2020 年前的 COD/COM 产品，若想测试 COD/COM 产品，用户可自行下载并修改相应配置，见 6.3.2 节;
- 9) GUI 版不支持多天处理;
- 10) 与 5.4.3 节步骤 3 一致，部分靠近海岸的站点需要进行海潮改正。GUI 版本的 [Table directory](#) 位于安装目录下;
- 11) GUI 版本与 v2.2 版本的软件功能保持一致，所以某些 3.0 版本添加的新功能，GUI 版本并不适用。

#### 6.1.2 软件简介

PRIDE PPP-AR GUI 软件是根据 PRIDE PPP-AR Linux 版改写而得，软件所使用的 bin 文件与 Linux 版相一致，产品准备过程和数据处理步骤也与 Linux 版相一致。该软件能很友好地帮助用户在 Mac 系统及 Windows 系统上使用 PRIDE PPP-AR。

本款软件能实现绝大部分 Linux 版所拥有的功能，一次能处理单天内单站的观测数据。但由于 Windows 系统对内存的限制，如有处理高于 1Hz 的高频动态数据解算、连续多天数据处理、大批量观测数据解算等需求仍然需要使用 Linux 版。

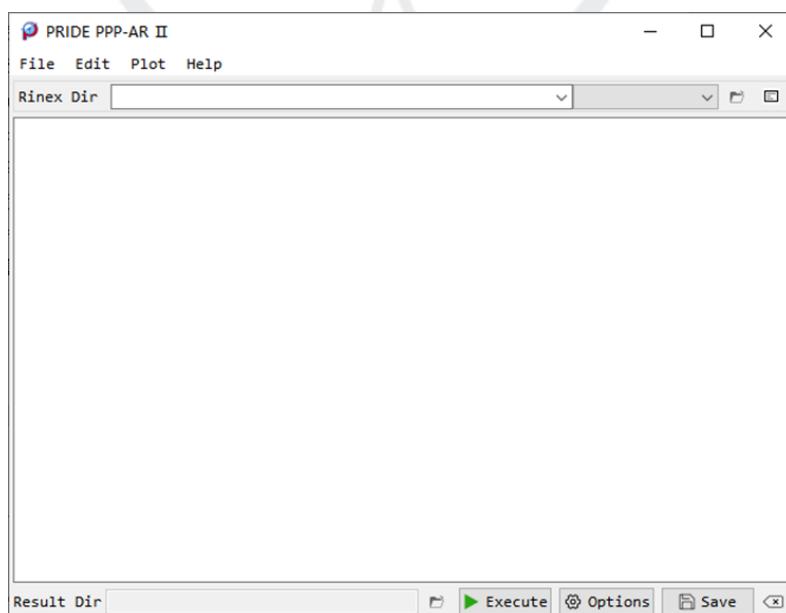


图 6-1 软件 PRIDE PPP-AR 主界面

#### 6.1.3 软件特性

PRIDE PPP-AR GUI 版具有以下特性：

- (1) 界面友好，适合不擅长操作Linux系统的用户；
- (2) 支持多种结果文件的绘图，并且支持缩放、游标等辅助功能；
- (3) 计算结果与Linux版一致；
- (4) 继承了Linux版绝大部分的数据处理功能，如采样间隔 $\geq 1\text{s}$ 的小时动态数据处理，单天观测数据动态/静态解算等；
- (5) 保持了与Linux版绝大部分的解算选项，如支持GRECJ等五种卫星系统解算、支持LAMBDA算法、支持多种对流层延迟估计模型等，但并不具备3.0新增功能。

#### 6.1.4 软件主界面

如图，软件主界面主要有以下几个部分：

- (1) 菜单栏：在第1项菜单栏中，通过File栏可以选择执行计算的RINEX文件目录，保存输出消息区的执行步骤，也可以加载config文件等等；Edit栏中的Options可以用于解算参数设置；Plot中的Plot Figure选项可以用于解算之后的绘图；Help中的选项可以转到本软件的官方网站。
- (2) 工作区：主要有第2项查看config文件的按钮、第3项工作区目录设置的相关控件、第4项消息输出区、第5项结果文件目录显示区、第6项参数设置与计算按钮、第7项保存或清除输出消息的按钮。

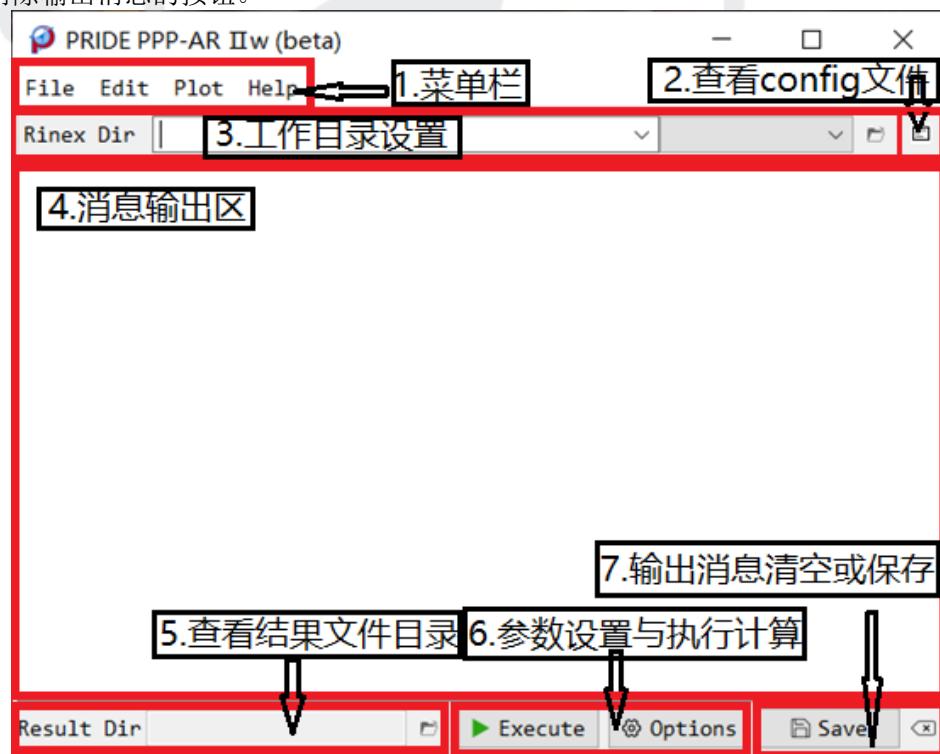


图 6-2 软件主界面主要组成部分

#### 6.2 使用步骤

- (1) 选择处理的观测文件：先点击主界面的文件夹图标，并在弹出的文件路径选项框中选

择所要处理的观测文件所在的路径；接着文件夹图标左侧的组合框会有观测文件名可供选择，根据文件名从组合框选择需要处理的观测文件，或者选择ALL处理该路径下的所有观测文件；

- (2) 选择所需的解算参数：点击Options按钮，在Options选项框中准确设置采样间隔、动态或静态、模糊度固定策略和参与解算的卫星系统等参数，另外可根据需要修改对流层估计参数和产品选项等其他选项。这一步会生成与Linux版等价的config文件，可以通过点击文件夹图标右侧的图标进行查看。
- (3) 开始解算：点击Execute按钮，即可对第一步所选择的观测文件，按照第二步所选择的解算参数进行PPP解算；解算过程中，此GUI版PRIDE PPP-AR程序会与Linux版本一致地按顺序执行spp、sp3orb、redig、tedit、lsq和arsig等可执行程序，进行PPP或PPPAR的一系列操作。解算过程大约需要等待数十秒，此过程中中间的白板文本框会同步将解算步骤显示出来，另外可以通过主界面右下角Save按钮保存文本框中的内容到文本文件，Save按钮右侧的按钮是清除文本框中的所有内容。
- (4) 访问结果文件：可以点击主界面正下方的文件夹图标访问结果文件夹，也可以点击主界面上方菜单栏的Plot下的Plot Figure选项，即可根据结果文件进行绘图；除此之外，也可以选择保存并清除文本框中的现有内容，再进行另一个观测文件的解算。

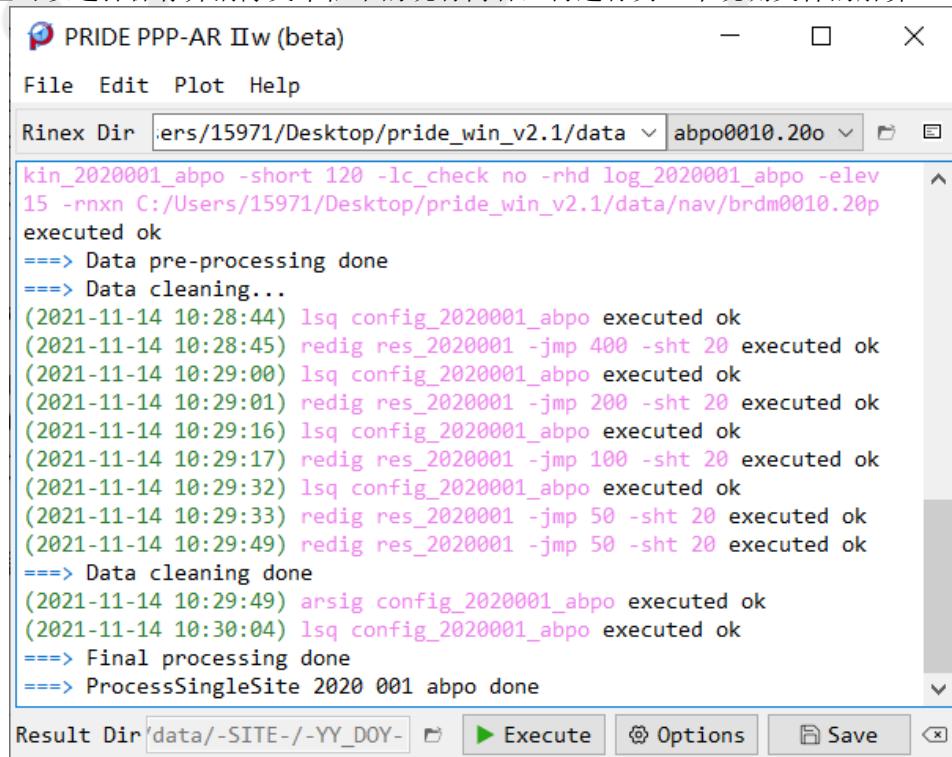


图 6-3 解算结果输出

### 6.3 选项

Options选项框中的参数均与Linux版中的命令行参数和config文件参数相对应。Linux版

软件中的example里的模板config也可以直接用于本版软件。软件启动时，默认会在系统用户文件夹下创建.PRIDE\_PPPAR\_config文件夹，并进一步在其下创建模板 config文件 config\_template，Options的各个选项参数也是据此而来。

### 6.3.1 General 选项

- (1) Interval: 采样间隔，可选30s、1s、2s、5s、10s、15s等作为观测数据采样间隔，用户需要按照所计算的观测文件实际选择。
- (2) Strict Editing: 精细化编辑选项，可选YES和NO。
- (3) Positioning mode: 分为Kinematic、Static和Fixed三种，即动态模式计算各历元测站位置，最后会记录在kin文件中；静态模式计算各历元平均位置并给出方差，最后会记录在pos文件中；固定位置模式参考IGS的SNX文件参考坐标解算，最后计算可以得到平均位置和方差，记录在pos文件中，需要注意的是仅有IGS的观测站可以采用这种方法解算。
- (4) Satellite system: 参与解算的卫星系统。
- (5) Excluded satellites: 在参与解算的各系统卫星列表中剔除的卫星。
- (6) Downweighted satellites: 降低一些卫星（如GEO卫星）在定位解算时的权重。

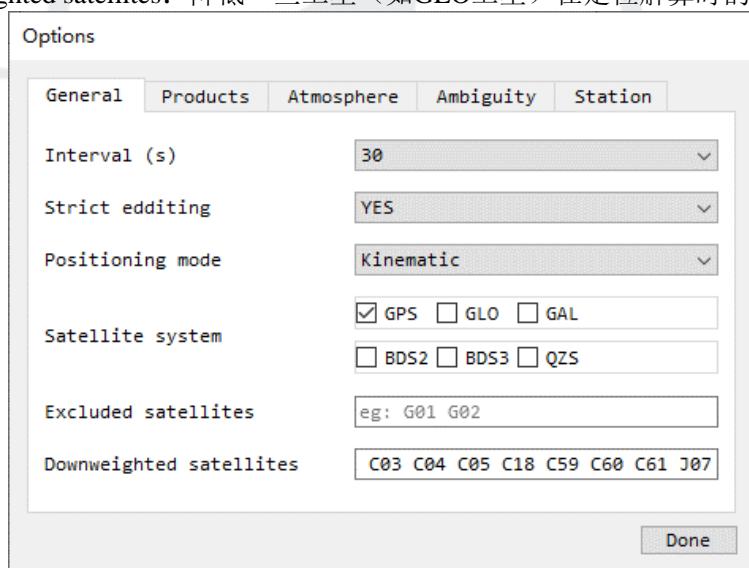


图 6-4 常用选项

### 6.3.2 产品选项

Product dir是存放产品的目录，默认在选定观测文件目录后会自动指定为其下一级的 product 目录；也可以鼠标点击其右侧文件夹图标自定义路径。

产品选项：有卫星轨道产品、钟差产品、ERP 产品、四元数产品（可选）和相位偏差产品（可选）等；默认均为 Default，即前缀为 WUM0MGXRAP 的武汉大学 IGS 产品，如 product 目录缺少该产品，软件会自动地下载解压相关产品到观测文件所在目录下的 product 目录。另外，对于武大的 RTS 产品，本软件 GUI 版不能自动下载，需要用户手动配置，而本软件 Linux 版能自动下载 RTS 产品进行解算。

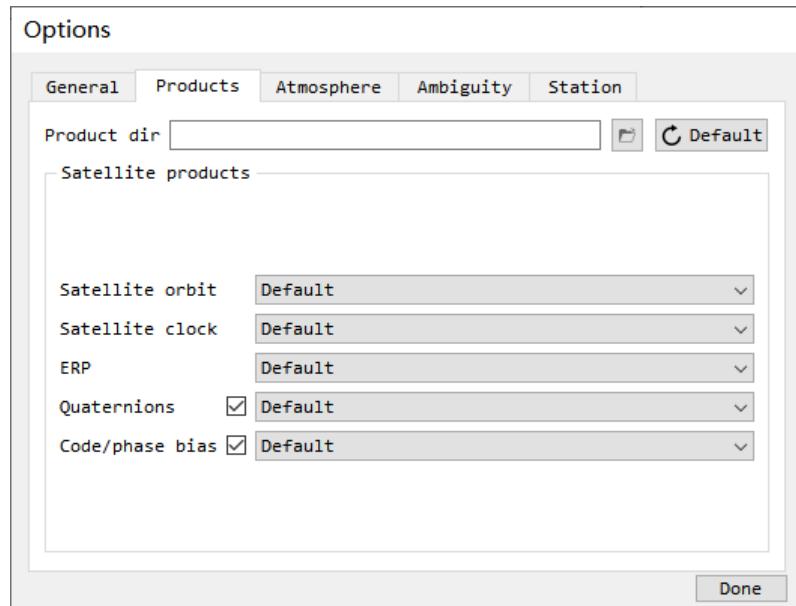


图 6-5 产品选项

如果想选用其他分析中心的产品，也可以自定义地更改Default为文件名，例如图 6-6。其中，卫星姿态产品和相位偏差产品如果缺少可以取消勾选。

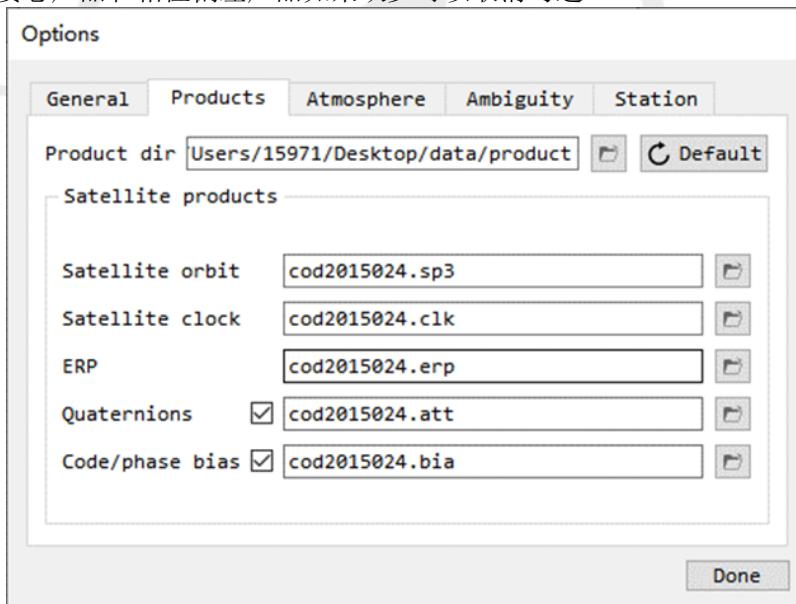


图 6-6 使用其他 AC 的产品

广播星历文件会自动地被下载并解压到自动创建的nav目录中，不需要用户设置。联网状态下如缺少广播星历brdm文件，软件会自动下载；如是非联网状态，则需用户预先下载好所需的当天的广播星历brdm文件，新建nav文件夹并放入其中。由于早期2015年及以前多系统广播星历brdm文件并不存在，软件会选择GPS系统的brdc文件进行计算。

**软件工作目录：**在软件主界面所选择的RINEX观测文件目录必须是包含观测文件的；接着nav目录下存放brdm广播星历；product内存放卫星产品文件；然后在工作目录下的多级目录如“2020/001/abpo”内会生成结果文件。

> PRIDE-PPPAR > pride\_win\_v2.1 > data

| 名称           | 修改日期             | 类型     | 大小        |
|--------------|------------------|--------|-----------|
| 2020         | 2021/11/16 15:49 | 文件夹    |           |
| 2021         | 2021/11/11 10:42 | 文件夹    |           |
| nav          | 2021/11/17 15:19 | 文件夹    |           |
| product      | 2021/11/16 15:50 | 文件夹    |           |
| abpo0010.20o | 2021/8/12 18:23  | 200 文件 | 22,245 KB |
| abpo0010.21o | 2021/10/5 19:03  | 210 文件 | 23,886 KB |
| abpo2200.20o | 2021/11/14 22:47 | 200 文件 | 21,940 KB |
| ac122100.21o | 2021/10/6 19:57  | 210 文件 | 4,390 KB  |
| alic0010.21o | 2021/10/3 20:57  | 210 文件 | 24,299 KB |
| ccj2100.21o  | 2021/10/6 19:57  | 210 文件 | 698 KB    |
| jfng2420.20o | 2021/10/5 19:00  | 200 文件 | 27,839 KB |

图 6-7 软件工作目录

### 6.3.3 大气延迟参数选项

- (1) 2nd-order ionosphere correction: 是否二阶电离层改正。
- (2) Troposphere mapping function: 有GMF、NIE、VM1、VM3四种选项。
- (3) ZTD model: 天顶对流层估计方法，主要有PWC（Piece-Wise Constant，常以60分钟估计）、STO（STOchastic process）两种方法。
- (4) HTG model: 对流层水平梯度估计方法，主要有PWC（Piece-Wise Constant，常以720分钟估计）、STO（STOchastic process）、NON三种方法

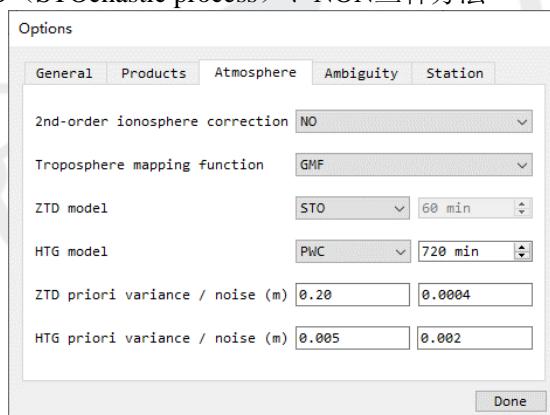


图 6-8 大气延迟选项

### 6.3.4 模糊度参数选项

- (1) AR mode/Ambiguity co-var: 前者是模糊度固定与否，即计算采用固定解或浮点解；后者为“YES”即采用LAMBDA算法固定模糊度，“NO”即采用Rounding方法固定模糊度。
- (2) Ambiguity cut-off: 用于判断固定模糊度是否有效的截止平均高度角。
- (3) Ambiguity duration: 模糊度固定的有效时间，单位为秒。
- (4) PCO on wide-lane: 是否在MW组合上进行PCO改正。
- (5) Widelane round-off: 判断宽巷模糊度固定的偏差、标准差以及阈值，单位为周。
- (6) Narrowlane round-off: 判断窄巷模糊度固定的偏差、标准差以及阈值，单位为周。
- (1) Critical search: 四个参数依次是LAMBDA算法中剔除模糊度最大数量、保留模糊度最

少数量、模糊度搜索的ratio最小值及阈值。

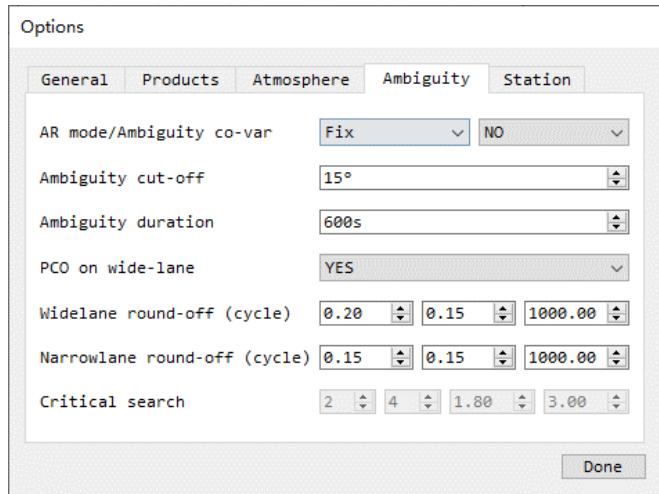


图 6-9 Ambiguity Options

### 6.3.5 测站参数选项

- (1) Pseudorange noise: 伪距噪声，单位为m。
- (2) Phase noise: 相位噪声，单位为周。
- (3) Tides: 固体潮改正、海潮负荷、地球极移等改正。
- (4) Observationcut-off: 数据预处理的截止高度角。
- (5) A priori coordinate constraint: 先验三维坐标约束。

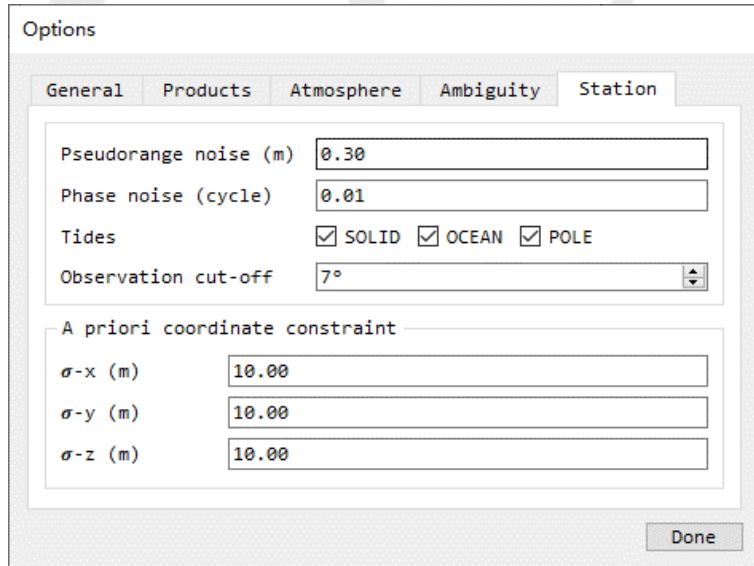


图 6-10 测站参数选项

### 6.3.6 其他功能

点击 File 菜单栏下的 Load config file 选项，即可将 config 文件重新定向选择，软件 Options 里的设置参数也会同步更新，后续解算也会依照这一步所选定的 config 文件作为模板。其中，config 文件中的 RINEX 文件目录、广播星历文件目录和产品目录等均会按照主窗口所设置的目录重置。

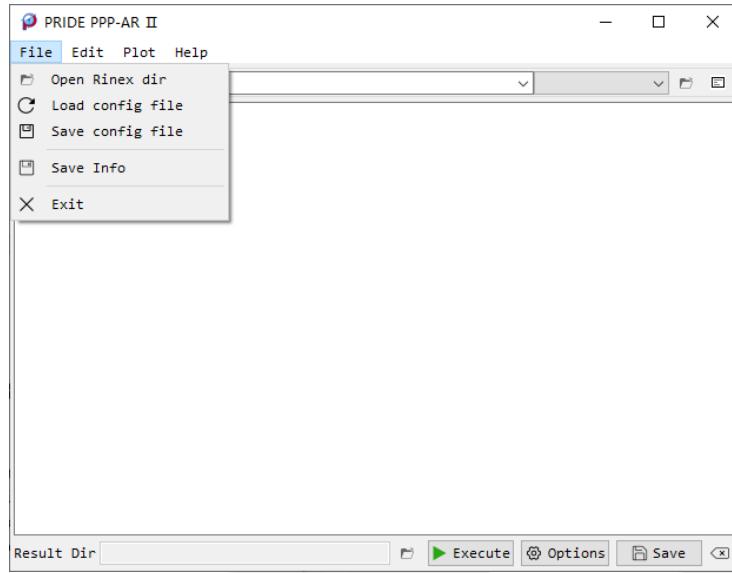


图 6-11 菜单栏 File 栏

## 6.4 绘图

### 6.4.1 绘图主界面

- (1) 菜单栏：主界面最上方是菜单栏，通过File栏的选项可以导入结果文件绘图，或者保存绘图；
- (2) 工具栏：在菜单栏的下方是工具栏，通过这些图标可以调整绘图的样式，数据显示的时间区间，以及可以打开游标功能等；
- (3) 文件导入区：在工具栏下方是关于文件导入的功能区，通过点击按钮kin、res、ztd等结果文件可以绘制ENU、res、elev、track、DOP、Nsats、Skyview、ztd等图。
- (4) 绘图区：在文件导入功能区下面是绘图区，这是由ENU、res、elev、track、DOP、Nsats、Skyview、ztd等多个选项卡组成的，通过点击选项卡可以切换显示的绘图。

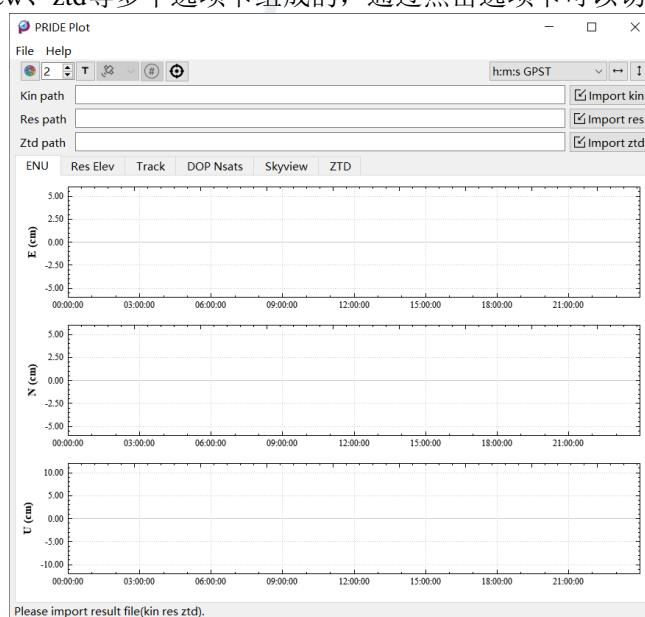


图 6-12 绘图界面

## 6.4.2 绘图方法

### 绘制 ENU, Track, DOP, Nsats 图

导入 kin 文件后，软件将自动生成 ENU、Track、DOP、Nsats 等图，用户如需查看各类图，只需点击 ENU、Track 和 DOP Nsats 等选择相应的选项卡页。kin 文件中包含测站坐标定位结果、各历元 DOP 值、各星座卫星数，利用这些信息可以绘制定位结果 ENU 偏差-t 图、位置平面轨迹图、DOP-t 图及 Nsats-t 图。

ENU-t 图显示的是 kin 文件中动态定位结果 XYZ 坐标转换至站心坐标系 ENU 方向偏差随时间变化的情况。

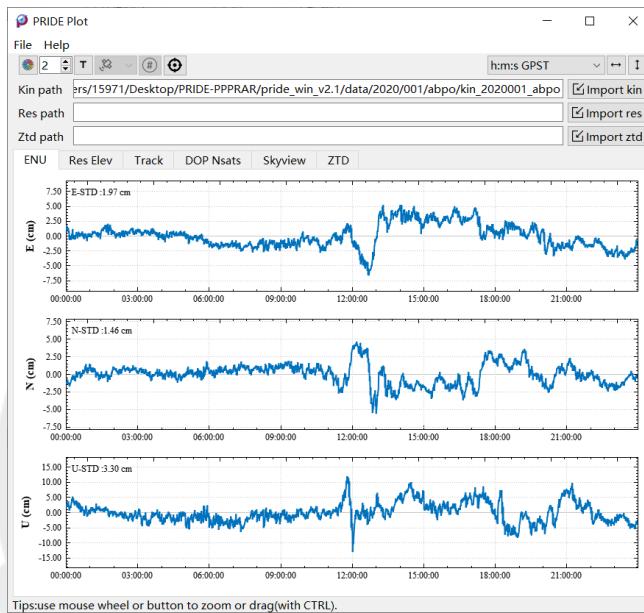


图 6-13 ENU-t 图

位置平面轨迹图显示的是动态定位结果的平面轨迹，即动态定位坐标点转换到站心坐标系上并按历元时刻相连接形成的轨迹图。

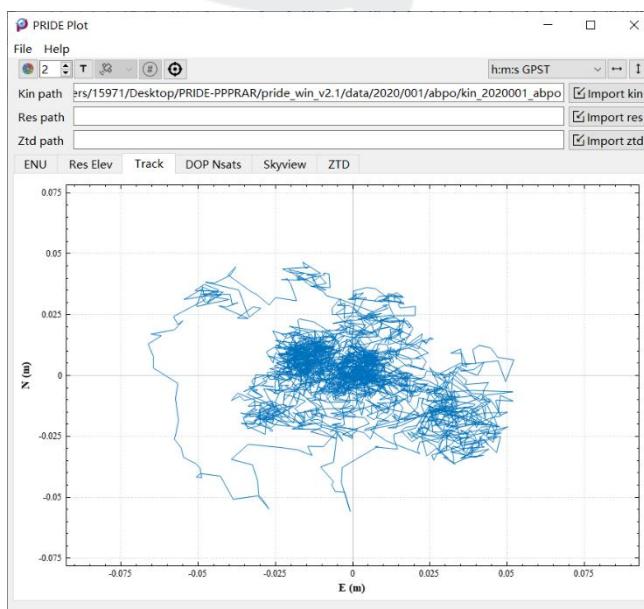


图 6-14 位置平面轨迹图

图 6-15 上方是 DOP-t 图, DOP-t 图表示 PDOP 值随时间的变化; 图 6-15 下方是 Nsats-t 图, Nsats-t 图表示参与解算的卫星数量随时间的变化。

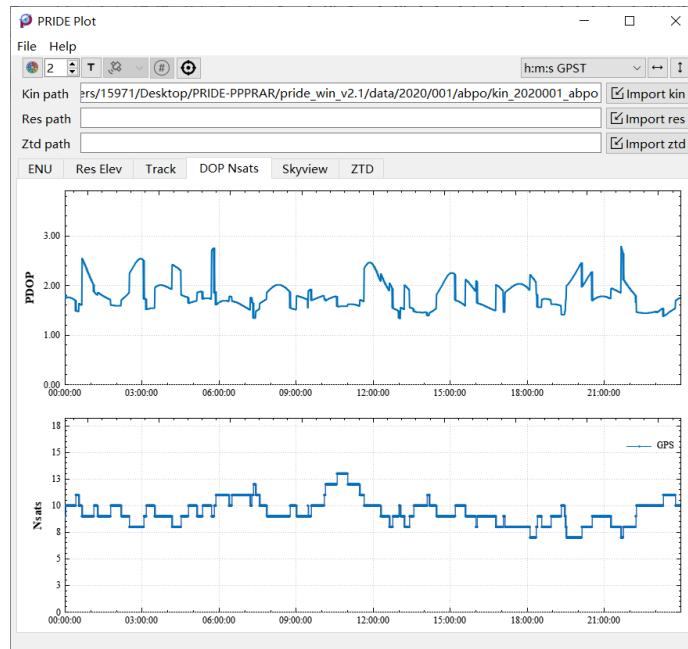


图 6-15 DOP Nsats-t 图

#### 绘制残差、卫星高度角图

导入 res 文件后, 点击工具栏卫星图标的组合框, 选择相应的卫星系统或 PRN 即可查看某卫星系统的总体残差图或单颗卫星的残差图, 对应的卫星高度角同样会显示在下方。

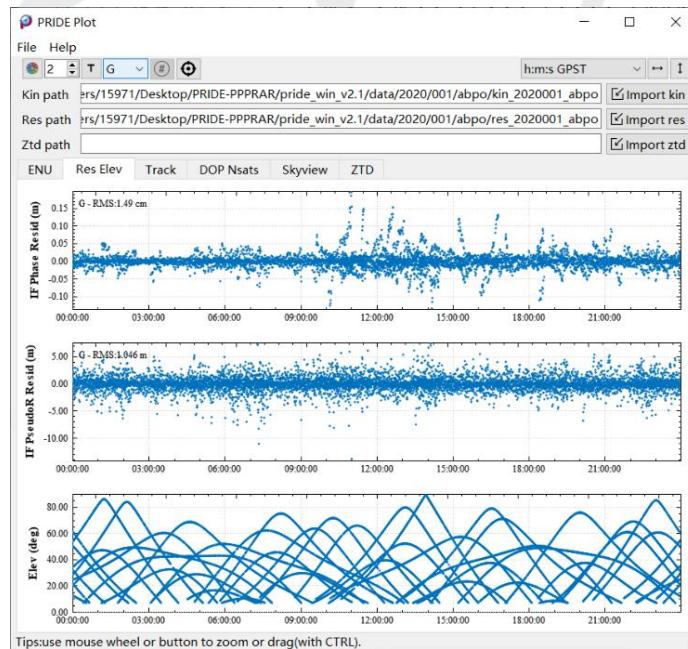


图 6-16 res elev-t 图

#### 绘制卫星天空图

导入 res 文件后, 选择 Skyview 的选项卡页, 点击工具栏卫星图标的组合框, 选择相应的卫星系统或 PRN 即可查看卫星天空视图, 另外可以点击工具栏 “#” 图标显示或隐藏卫星 prn。.

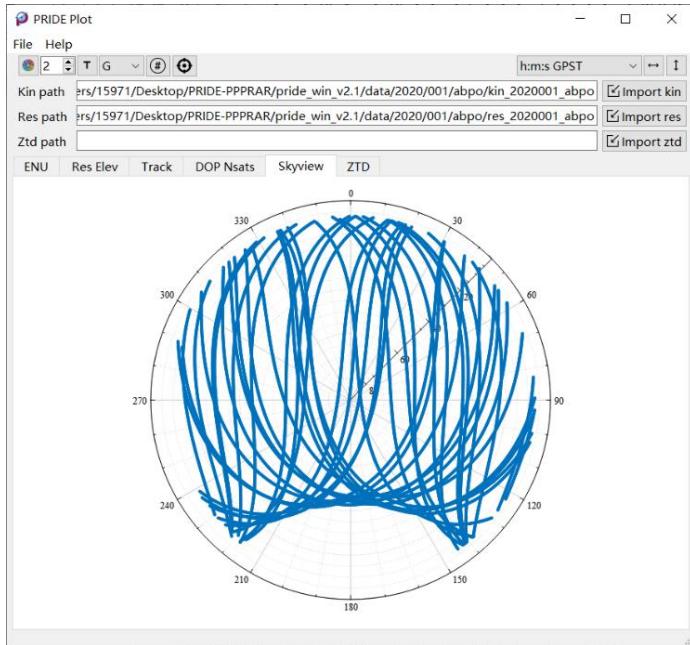


图 6-17 卫星天空视图

#### 绘制 ztd-t 图

导入 ztd 文件，软件将自动生成 ZTD 图，其中包含 ztd 文件中的 ZDD、ZWD 以及二者之和 ZTD 随时间变化的图。

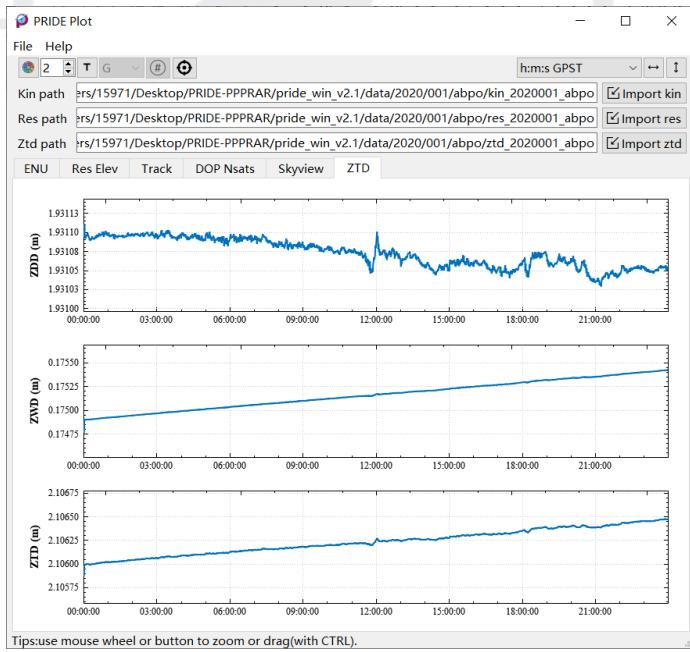


图 6-18 ztd-t 图

### 6.4.3 辅助功能

- (1) 游标：点击工具栏游标开关按钮，然后当鼠标移入绘图区时，游标会跟随鼠标移动，同时显示横轴和纵轴数值。若再次点击游标按钮，就会隐藏游标。特别地，这项功能不适用于卫星天空视图。

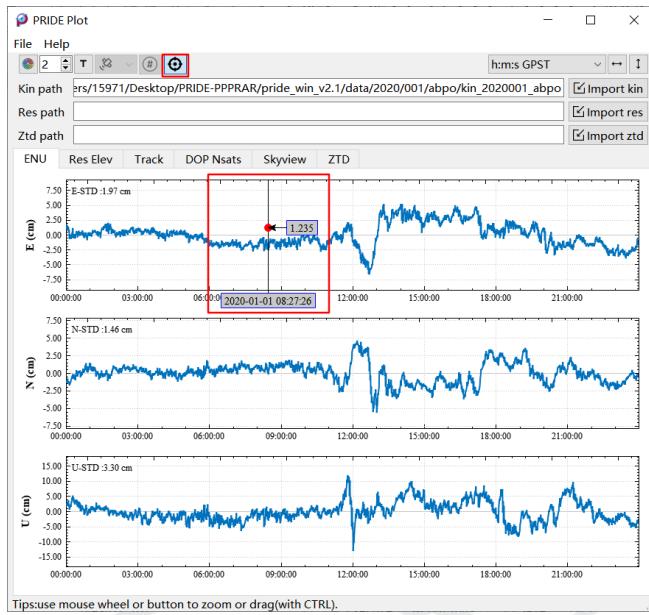


图 6-19 游标功能展示

- (2) 框选或移动数据区间：利用鼠标左键框选图中部分数据区间可以实现局部放大，利用鼠标滚轮也可以鼠标指针位置为中心局部放大；如同时按住键盘的ctrl键，并按住鼠标左键移动可以左右移动鼠标指针所在的图。另外，工具栏最右侧有横轴和纵轴方向的数据显示区间复原按钮，点击即可分别重置视图中的数据显示区间，而敲击键盘空格键等价于横轴和纵轴方向同时复原。

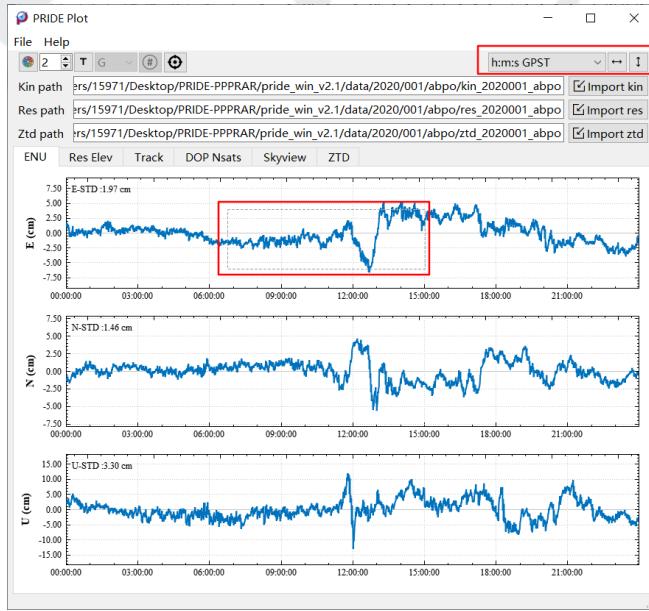


图 6-20 局部放大功能展示

- (3) 更改图的样式：工具栏按钮的最左边三个控件作用分别是改变绘图线色、线宽和刻度文字字体等，另外也可以根据右侧第一个组合框选择“h:m:s”等时间格式。

## 附录 A. 所需外部文件

本节简要介绍了需要下载的外部文件。有关这些文件的更多信息，请参考 IGS 的官方网站 (<https://igs.org/>)，IERS 的官方网站 ([IERS](https://iers.ipsl.jussieu.fr/)) 等。

### A.1 精密产品

#### 卫星轨道产品

精确星历产品给出了 GNSS 卫星在一定时间间隔内的轨道信息，包括卫星坐标、卫星钟差，以及可选的三维运动速度、三维坐标标准差和卫星钟差标准差等。目前采用的标准格式为 SP3 (Standard Product 3)，一共有 SP3-a、SP3-c 和 SP3-d 三个版本。SP3-d 的简要格式说明如下，其具体文件格式可以查看 [sp3d.pdf\(igs.org\)](https://sp3d.pdf(igs.org).)。

##### 1. 文件头

- 第一行以 “#a”、“#c” 或 “#d” 开头，表明 SP3 文件类型；第三个字符为 “P” 或 “V”，标志位置或速度；倒数第三个数据为参考框架。需要注意的是，PRIDE PPP-AR 无法识别 “#a” 版本的 sp3 文件；
- 第二行以 “##” 开头，记录了对应天的 GPS 周、周内秒、采样间隔、简化儒略日的整数部分和小数部分。

##### 2. 数据块

- 以 “\*” 开头的行标志着历元开始，随后为相应的历元时间；
- 数据行第一个字符若为 “P” 或者 “V”，则后三个字符为卫星 PRN；
- 若第一个字母为 “P”，则后续将记录了卫星的三维坐标及卫星钟差；
- 若第一个字母为 “V”，则后续记录了卫星三维速度及钟差的变化速率；
- 文件结束标志为 “EOF”。

```
#dP2021 1 1 0 0 0.00000000 1440 u+U IGS14 FIT WHU
## 2138 432000.0000000 60.0000000 59215 0.000000000000
+ 108 G01G02G03G04G05G06G07G08G09G10G12G13G14G15G16G17G18
+ G19G20G21G22G23G24G25G26G27G28G29G30G31G32R01R02R03
+ R04R05R07R08R09R12R13R14R15R16R17R18R19R20R21R22R24
+ E01E02E03E04E05E07E08E09E11E12E13E14E15E18E19E21E24
+ E25E26E27E30E31E33E36C01C02C03C04C05C06C07C08C09C10
+ C11C12C13C14C16C19C20C21C22C23C24C25C26C27C28C29C30
+ C32C33C34C35C36C37 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 6 5 4 4 4 5 6 5 5 5 4 3 6 6 3 6 4
++ 5 5 6 5 4 5 4 4 4 6 5 6 6 6 5 5 5 3
++ 4 6 6 6 5 6 7 6 4 6 5 6 7 7 5 6 6
++ 6 5 6 6 4 5 5 6 5 6 5 6 6 6 4 6
++ 5 6 5 5 5 6 7 10 11 9 10 11 10 9 7 9 9
++ 7 6 7 8 9 5 7 6 7 5 7 6 5 6 6 6 7
++ 6 7 6 6 6 7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%c M cc GPS ccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc
%c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc
%f 1.2500000 1.025000000 0.00000000000 0.000000000000000
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
/* PCV:igs14_2148 OL/AL:FES2014b NONE YY ORB:CoN CLK:CoN
* 2021 1 1 0 0 0.0000000
PG01 13686.913718 -22099.331874 -4728.984961 787.523386
PG02 -19186.667008 9880.628187 -14824.322870 -560.896820
PG03 8561.424035 -13533.185254 -21253.783348 -44.532118
PG04 3793.780406 -21261.175099 -15424.276996 -169.081492
```

图 A-1 SP3-d 文件举例

#### 钟差产品

卫星钟差产品中记录了卫星时间相对于标准时间的钟差改正。目前最新的文件格式为 clock RINEX 3.04，相应简要格式说明如下，其文件具体格式可以查看 [https://files.igs.org/pub/data/format/rinex\\_clock304.txt](https://files.igs.org/pub/data/format/rinex_clock304.txt)。

##### 1. 文件头

- “TIME SYSTEM ID” 所在行记录了采用的时间系统;
- “SYS / DCBS APPLIED” 所在行记录了输入的偏差文件;
- “SYS / PCVS APPLIED” 所在行记录了输入的天线文件;
- “LEAP SECONDS” 所在行记录了跳秒值;
- “SOLN STA NAME / NUM” 所在行记录了测站名、接收机标识号及测站坐标。

## 2. 数据块

- 第一列：钟差数据类型：“AS” 表示卫星钟差；“AR” 表示接收机钟差（通常为测站）；
- 第二列：卫星或者测站的名称：“AS” 则为卫星 PRN；“AR” 则为测站名称；
- 第三-八列：数据所对应历元，共占六列（yyyy mm dd hh MM ss）；
- 第九列：本行的钟差数据数量（通常为 1 或 2。为 1 则只有钟差值；为 2 则增加钟差标准差）；
- 第十列：钟差值（单位：s）；
- 第十一列：为可选项，当第九列的值为 2 时表示钟差标准差（单位：s）。

```
Clock information consistent with
WUM0MGXRAP_2021010000_01D_60S_ORB.SP3
WUM0MGXRAP_2021010000_01D_01D_ERP.ERP
Satellite clock values at intervals of 30 sec
Contact pride@whu.edu.cn
Website pride.whu.edu.cn
GPS
 18
G PANDA WUM0MGXRAP_2021010000_01D_01D_OSB.BIA SYS / DCBS APPLIED
R PANDA WUM0MGXRAP_2021010000_01D_01D_OSB.BIA SYS / DCBS APPLIED
E PANDA WUM0MGXRAP_2021010000_01D_01D_OSB.BIA SYS / DCBS APPLIED
C PANDA WUM0MGXRAP_2021010000_01D_01D_OSB.BIA SYS / DCBS APPLIED
G PANDA IGS14_2148_ATX SYS / PCVS APPLIED
R PANDA IGS14_2148_ATX SYS / PCVS APPLIED
E PANDA IGS14_2148_ATX SYS / PCVS APPLIED
C PANDA IGS14_2148_ATX SYS / PCVS APPLIED
  1 AS # / TYPES OF DATA
WHU GNSS RESEARCH CENTER, WUHAN UNIVERSITY, P.R.CHINA ANALYSIS CENTER
  1 # OF CLK REF
CEDU 50130W001 ANALYSIS CLK REF
  159 IGS14 # OF SOLN STA / TRF
ABPO 33302M001 4097216530 4429119220 -206577116550LN STA NAME / NUM
.....
ZIMM 14001M004 4331296843 567556166 463313412350LN STA NAME / NUM
 108 # OF SOLN SATS
G01 G02 G03 G04 G05 G06 G07 G08 G09 G10 G12 G13 G14 G15 G16 PRN LIST
G17 G18 G19 G20 G21 G22 G23 G24 G25 G26 G27 G28 G29 G30 G31 PRN LIST
G32 R01 R02 R03 R04 R05 R07 R08 R09 R12 R13 R14 R15 R16 R17 PRN LIST
R18 R19 R20 R21 R22 R24 E01 E02 E03 E04 E05 E07 E08 E09 E11 PRN LIST
E12 E13 E14 E15 E18 E19 E21 E24 E25 E26 E27 E30 E31 E33 E36 PRN LIST
C01 C02 C03 C04 C05 C06 C07 C08 C09 C10 C11 C12 C13 C14 C16 PRN LIST
C19 C20 C21 C22 C23 C24 C25 C26 C27 C28 C29 C30 C32 C33 C34 PRN LIST
C35 C36 C37 PRN LIST
END OF HEADER
AS G01 2021 1 1 0 0 0.000000 1 0.787523386303E-03
AS G02 2021 1 1 0 0 0.000000 1 -0.560896819699E-03
AS G03 2021 1 1 0 0 0.000000 1 -0.445321176114E-04
AS G04 2021 1 1 0 0 0.000000 1 -0.169081492236E-03
AS G05 2021 1 1 0 0 0.000000 1 -0.298033841277E-04
AS G06 2021 1 1 0 0 0.000000 1 -0.458443554921E-05
AS G07 2021 1 1 0 0 0.000000 1 0.420676890748E-05
AS G08 2021 1 1 0 0 0.000000 1 -0.494992603914E-05
```

图 A-2 clock RINEX 3.04 文件举例

## 地球自转参数产品

当固定卫星轨道，在惯性系下进行数据处理时需要考虑 ERP 参数。ERP 文件记录了地球自转参数，包括极移参数及 UT1-UTC 等。ERP 产品目前版本为 version 2。相应简要格式说明如下，其文件具体格式可以查看[\[IGSMail-1943\] New IGS ERP Format \(version 2\)](#)。

- MJD: 简化儒略日；
- Xpole 和 Ypole: 极移值在 X 轴和 Y 轴的分量；
- UT1-UTC: 世界时与协调世界时之间的差值；
- LOD: 天文观测得到一天的时间长度与 86400 秒之间的差值。

```
version 2
DAY 1, YEAR 2021
-----
MJD      Xpole    Ypole   UT1-UTC   LOD   Xsig   Ysig   UTsig   LODsig   Nr Nf Nt   Xrt   Yrt   Xrtsig   Yrtsig
          (10**-6")     (0.1 usec) (10**-6")     (0.1 usec)          (10**-6"/d)   (10**-6"/d)
59215.50  68274  304714 -1750491 -5274      8       9       7       5  159 159  77  -766  1633     10     13
```

图 A-3 Example of an ERP file

## 偏差产品

偏差产品目前的版本为 Bias-SINEX V1.00。PRIDE PPP-AR 默认产品中记录了码/相位原始观测值的绝对偏差 OSB (Observable-specific Signal Bias)。相应简要格式说明如下，其文件具体格式可以查看 [sinex\\_bias\\_100.dvi \(igs.org\)](#)。

### 1. 文件头

- 第一行倒数第二个参数为偏差模型，“A”表示绝对偏差，“R”表示相对偏差；
- “OBSERVATION\_SAMPLING”所在行表示采样间隔；
- “PARAMETER\_SPACING”所在行表示偏差有效时间跨度；
- “TIME\_SYSTEM”所在行表示对应的时间系统；
- “APC\_MODEL”表示偏差产品应用的天线改正模型。

```
%BIA 1.00 WHU 2021:23:39318 WHU 2021:001:00000 2021:001:86400 A 00001063
*-----
* Bias Solution INdependent EXchange Format(Bias-SINEX)
*-----
+FILE/REFERENCE
*INFO_TYPE INFO
DESCRIPTION PRIDE Lab, GNSS Research Center, Wuhan University
INPUT IGS14_2148.ATX
OUTPUT WHU 1-day rapid bias products in Bias-SINEX format
CONTACT pride@whu.edu.cn
SOFTWARE PANDA
HARDWARE Centos: Linux, x86_64
-FILE/REFERENCE
*-----
+FILE/COMMENT
*PRODUCT_REFERENCE
GPS phase biases and phase clocks are estimated with the same stations
Published by PRIDE Lab, GNSS Research Center, Wuhan University
URL: ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/whu/phasebias
URL: pride.whu.edu.cn
Overview of the satellite biases included in the file
GPS C1C, C1W
GPS C2C, C2W, C2L, C2S, C2X
GPS C5Q, C5X
GLONASS C1C, C1P
GLONASS C2C, C2P
GALILEO C1C, C1X
GALILEO C5Q, C5X
GALILEO C6C
GALILEO C7Q, C7X
GALILEO C8Q, C8X
BDS-2 C2I
BDS-2 C7I
BDS-2 C6I
BDS-3 C1X, C1P
BDS-3 C2I
BDS-3 C5X, C5P
BDS-3 C6I
BDS-3 C7Z
BDS-3 C8X
QZSS C1C, C1X
QZSS C2L, C2X
QZSS C5Q, C5X
-FILE/COMMENT
*-----
+BIAS/DESCRIPTION
*KEYWORD          VALUE (S)
OBSERVATION_SAMPLING          30
PARAMETER_SPACING             86400
DETERMINATION_METHOD          CO-ESTIMATED
BIAS_MODE                     ABSOLUTE
TIME_SYSTEM                   G
RECEIVER_CLOCK_REFERENCE_GNSS G
SATELLITE_CLOCK_REFERENCE_OBSERVABLES G C1W C2W
SATELLITE_CLOCK_REFERENCE_OBSERVABLES R C1P C2P
SATELLITE_CLOCK_REFERENCE_OBSERVABLES E C1X C5X C1C C5Q
SATELLITE_CLOCK_REFERENCE_OBSERVABLES C C2I C6I
SATELLITE_CLOCK_REFERENCE_OBSERVABLES J C1X C2X
```

图 A-4 偏差文件头举例

### 2. 数据块

- 依次为偏差类型、卫星的空间飞行器编号 (Space Vehicle Number, SVN)、卫星 PRN 号、观测数据类型、起止时间、单位、偏差值及其标准差；

一般来说，偏差类型有如下三种，且三种偏差值可以根据公式互相转换。需要注意的是，PRIDE PPP-AR 只能处理 OSB 类型的偏差文件。

- 差分信号偏差 (DSB, Differential Signal Bias)
- 无电离层组合信号偏差 (ISB, Ionosphere-free Signal Bias)
- 观测量特定信号偏差 (OSB, Observable-specific Signal Bias)

对于观测值类型，通常是由三个字符组成。第一个字符表示观测值类型，通常为 C

(码伪距) 或 L (载波相位); 第二个字符为频数编号, 不同频率具有不同的编号, 频率与编号的对应关系可以查看表 5-4 全频率选项标号与系统频率的对应关系; 第三个字符为观测值属性, 主要是根据信道 (支路) 或码类型区分的。

- 文件结束标志为 “%ENDBIA”。

```
+BIAS/SOLUTION
+BIAS SVN PRN STATION_ OBS1 0BS2 BIAS START_ BIAS END_ UNIT_ ESTIMATED_VALUE_ STD_DEV_ ESTIMATED_SLOPE_ STD_DEV_
OSB G063 G01 C1C 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns 0.9563900000000000E+01 -172800E-01
OSB G063 G01 C1W 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns 0.1873350000000000E+02 .501000E-03
OSB G063 G01 C2L 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns 0.1621360000000000E+02 .416600E-01
OSB G063 G01 C2S 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns 0.1621850000000000E+02 .496600E-01
OSB G063 G01 C2W 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns 0.1767750000000000E+02 .709000E-03
OSB G063 G01 C2X 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns 0.1646550000000000E+02 .619800E+00
OSB G063 G01 C50 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns 0.1646550000000000E+02 .519800E+01
OSB G063 G01 C5X 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns 0.6725000000000000E+01 .753800E-01
OSB G063 G01 L1C 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns -.12469503930645E+01 .116424E-01
OSB G063 G01 L1W 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns -.12469503930645E+01 .116424E-01
OSB G063 G01 L2W 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns -.193179422306557E+01 .188925E-01
OSB G063 G01 L2S 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns -.193179422306557E+01 .188925E-01
OSB G063 G01 L2L 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns -.193179422306557E+01 .188925E-01
OSB G061 G02 C1C 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns -.1118710000000000E+02 .732000E-01
OSB G061 G02 C1W 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns -.1274450000000000E+02 .150000E-02
OSB G061 G02 C2L 2021:001:00000E 2021:001:06400 ns -.2109210000000000E+02 .155670E+01
```

图 A-5 偏差产品数据块举例

## 四元数产品

姿态文件中记录了卫星姿态相关的四元数, 可转换为 3 维的旋转方阵用于地固系向卫星星固系转换。目前文件版本为 ORBXEX 0.09 (ORBit EXchange format), 相应简要格式说明如下。

### 1. 文件头

- “TIME\_SYSTEM” 表示相应的时间系统, 与对应的卫星轨道/钟差文件一致;
- “EPOCH\_INTERVAL” 表示采样间隔;
- “COORD\_SYSTEM” 表示对应的坐标系统;
- “FRAME\_TYPE” 表示对应的参考框架。

```
%ORBX 0.09
%
+FILE/DESCRIPTION
DESCRIPTION Satellite attitude quaternions of WHU GNSS rapid solution
CREATED_BY PRIDE Lab, GNSS Research Center, Wuhan University
CREATION_DATE 2021 09 01 15 03 00
INPUT_DATA u+U
CONTACT pride@whu.edu.cn
TIME_SYSTEM IGP
START_TIME 2021 1 1 0 0 0.000000000000
END_TIME 2021 1 2 0 0 0.000000000000
EPOCH_INTERVAL 30.000
COORD_SYSTEM IGS14
FRAME_TYPE ECEF
LIST_OF_REC_TYPES ATT
+FILE/DESCRIPTION
+SATELLITE/ID_AND_DESCRIPTION
G01
G02
G03
G04
G05
G06
```

图 A-6 四元数文件头举例

### 2. 数据块

数据行由 “+EPHEMERIS/DATA” 和 “-EPHEMERIS/DATA” 标明;

- 当前历元所在行标识为 “##”, 随后为相应的历元时间和该历元的卫星数;
- 数据行以 “ATT” 标识, 随后为卫星 PRN、数据个数及对应的四元数。

```
*ATT RECORDS: TRANSFORMATION FROM TERRESTRIAL FRAME COORDINATES (T) TO SAT.
* (0,B) = q.(0,T).trans(q)
*REC ID_ N q0_scalar_ _q1_x_ _q2_y_ _q3_z_
## 2024 06 26 00 00 00 110
ATT G02 4 -0.2765636 -0.1003112 0.9492132 -0.1115550
ATT G03 4 0.1846167 0.5439692 -0.5465095 0.6093780
ATT G04 4 0.0088224 0.4420089 -0.0474806 0.8957097
ATT G05 4 0.0189251 -0.4035999 0.0098024 0.9146975
ATT G06 4 -0.2177449 0.0587376 -0.6431927 0.7317378
ATT G07 4 -0.0829491 0.1961168 -0.4721345 0.8554219
ATT G08 4 -0.1842088 0.6866250 0.3863796 0.5876428
ATT G09 4 -0.0346432 0.2205293 -0.2245400 0.9485507
ATT G10 4 0.0862312 0.1085061 0.9265881 0.3496070
ATT G11 4 -0.2635273 -0.1352910 -0.4223488 0.8561691
ATT G12 4 0.5501343 -0.0591299 0.7905605 0.2624309
ATT G13 4 0.5332482 0.1093869 0.7017999 0.4595189
ATT G14 4 -0.0357125 -0.2062997 0.8830935 -0.4198940
ATT G15 4 0.6185201 0.0120480 0.7825779 -0.0697098
ATT G16 4 0.0098452 0.3610054 0.0966427 0.9274904
ATT G17 4 0.1067423 -0.1069445 0.9295085 -0.3364268
ATT G18 4 0.2306192 -0.0072881 0.5145227 0.8258499
```

图 A-7 四元数文件数据块举例

## 电离层格网产品

IONEX-Format (Ionosphere map Exchange format) 是全球电离层产品，由 IGS 利用 GNSS 站的观测数据每天计算。它主要为 IGS 电离层产品提供一个通用接口，支持在地理网格中给出的 2 或 3 维 TEC 图。以下是相应格式的简要描述，文件具体格式可以查看 [ionex1.pdf \(igs.org\)](#)。

### 1. 文件头

- 标有 "DESCRIPTION" 的行给出了算法、模型等的简要描述；
- "INTERVAL" 表示 TEC 图之间的间隔，单位是秒（整数）；
- "# OF MAPS IN FILE" 表示 TEC/RMS/HGT 的总数；
- "ELEVATION CUTOFF" 表示最低高度角；
- "BASE RADIUS" 表示平均地球半径或高度网格的底部（单位：公里）；
- "HGT1 / HGT2 / DHGT" 定义了等距高度网格；
- "LAT1 / LAT2 / DLAT" 定义了等距纬度网格；
- "LON1 / LON2 / DLON" 定义了等距经度网格。

### 2. 数据块

单个历元的数据块由“START OF TEC MPA”和“END OF TEC MAP”、“START OF RMS MAP”和“END OF RMS MAP”围住。

- “EPOCH OF CURRENT MAP”表示当前历元时间；
- “LAT/LON1/LON2/DLON/H”对于纬度为“LAT”和高度为“H (GT)”初始化一个新的 TEC/RMS/HGT 数据块，从“LON1”至“LON2”。

| 1                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | START OF TEC MAP               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 2021             |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | EPOCH OF CURRENT MAP           |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 87.5-180.0 180.0 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | LAT/LON1/LON2/DLON/H           |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 13               | 13 | 14 | 14 | 15 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16                             | 16 | 16 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 14               | 14 | 13 | 13 | 12 | 11 | 11 | 10 | 9  | 8  | 8  | 7  | 7                              | 6  | 6  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  |
| 4                | 4  | 3  | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2                              | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| 2                | 3  | 3  | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  | 5  | 5  | 5  | 6  | 6                              | 7  | 7  | 7  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  |
| 8                | 9  | 9  | 10 | 10 | 11 | 12 | 12 | 13 |    |    |    |                                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 85.0-180.0 180.0 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 5.0 450.0 LAT/LON1/LON2/DLON/H |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 15               | 16 | 17 | 19 | 20 | 21 | 21 | 22 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23                             | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 22 | 21 | 21 |
| 20               | 19 | 18 | 16 | 15 | 13 | 12 | 10 | 8  | 7  | 5  | 4  | 3                              | 2  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0                              | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 0                | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 2  | 2  | 3  | 3  | 4  | 4                              | 5  | 5  | 5  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  |
| 7                | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |    |    |    |                                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 82.5-180.0 180.0 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 5.0 450.0 LAT/LON1/LON2/DLON/H |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 16               | 17 | 19 | 21 | 23 | 24 | 25 | 27 | 28 | 28 | 29 | 29 | 29                             | 29 | 29 | 28 | 27 | 27 | 27 | 27 | 26 |    |    |    |
| 25               | 23 | 21 | 19 | 16 | 14 | 11 | 9  | 7  | 4  | 2  | 0  | 0                              | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0                              | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 2  | 2  | 2  | 3                              | 3  | 3  | 4  | 4  | 5  | 5  | 5  | 6  |    |    |    |
| 5                | 6  | 7  | 8  | 10 | 11 | 13 | 14 | 16 |    |    |    |                                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 80.0-180.0 180.0 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 5.0 450.0 LAT/LON1/LON2/DLON/H |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 16               | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 32 | 32                             | 32 | 32 | 31 | 30 | 29 |    |    |    |    |    |    |
| 27               | 25 | 22 | 19 | 16 | 13 | 10 | 7  | 4  | 2  | 0  | 0  | 0                              | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0                              | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  |
| 1                | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2                              | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 4  | 4  |
| 5                | 5  | 6  | 8  | 9  | 10 | 12 | 14 | 16 |    |    |    |                                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

图 A-8 IONEX maps 文件举例

## 对流层格网产品

VMF1 和 VMF3 为两种对流层投影函数。任意地点的 VMF1/VMF3 值可以通过网格化的 VMF1/VMF3 数据插值来确定。下文对相应的格式做了简要说明，具体的文件格式可查阅 [VMF Data Server - Products \(tuwien.ac.at\)](#)。

### 1. 文件头

- “! Epoch:” 所在行记录了对应的历元时间;
- “! Range/resolution” 表示经纬度范围及其增量;

## 2. 数据块

- 纬度（单位：°）；
- 经度（单位：°）；
- 干分量系数；
- 湿分量系数；
- 干分量天顶延迟（单位：m）；
- 湿分量天顶延迟（单位：m）；

```
! Version:          1.0
! Source:           J. Boehm, TU Vienna (created: 2021-03-22)
! Data_types:       VMF1 (lat lon ah aw zhd zwd)
! Epoch:            2021 01 01 00 00 0.0
! Scale_factor:     1.e+00
! Range_resolution: -90 90 0 360 2 2.5
! Comment:          http://vmf.geo.tuwien.ac.at/trop_products/GRID/2.5x2/VMF1/VMF1_OP/
90.0  0.0 0.00118018 0.00051471 2.3070 0.0296
90.0  2.5 0.00118018 0.00051471 2.3070 0.0296
90.0  5.0 0.00118018 0.00051471 2.3070 0.0296
90.0  7.5 0.00118018 0.00051471 2.3070 0.0296
90.0  10.0 0.00118018 0.00051471 2.3070 0.0296
90.0  12.5 0.00118018 0.00051471 2.3070 0.0296
90.0  15.0 0.00118018 0.00051471 2.3070 0.0296
90.0  17.5 0.00118018 0.00051471 2.3070 0.0296
90.0  20.0 0.00118018 0.00051471 2.3070 0.0296
90.0  22.5 0.00118018 0.00051471 2.3070 0.0296
90.0  25.0 0.00118018 0.00051471 2.3070 0.0296
```

图 A-9 VMF1 格网文件举例

```
! Version:          1.0
! Source:           D. Landskron, TU Vienna (created: 2021-01-02)
! Data_types:       VMF3 (lat lon ah aw zhd zwd)
! Epoch:            2021 01 01 00 00 0.0
! Scale_factor:     1.e+00
! Range_resolution: -89.5 89.5 0.5 359.5 1 1
! Comment:          vmf.geo.tuwien.ac.at/trop_products/GRID/1x1/VMF3/VMF3_OP/2021/
89.5  0.5 0.00117105 0.00066185 2.3072 0.0338
89.5  1.5 0.00117107 0.00066421 2.3073 0.0338
89.5  2.5 0.00117108 0.00066495 2.3073 0.0337
89.5  3.5 0.00117110 0.00066328 2.3074 0.0337
89.5  4.5 0.00117113 0.00065998 2.3074 0.0336
89.5  5.5 0.00117115 0.00065458 2.3075 0.0336
89.5  6.5 0.00117116 0.00064727 2.3075 0.0335
89.5  7.5 0.00117118 0.00063827 2.3075 0.0334
89.5  8.5 0.00117120 0.00062723 2.3076 0.0333
89.5  9.5 0.00117123 0.00061520 2.3076 0.0331
89.5  10.5 0.00117125 0.00060236 2.3077 0.0330
89.5  11.5 0.00117127 0.00058876 2.3077 0.0329
89.5  12.5 0.00117131 0.00057491 2.3078 0.0327
89.5  13.5 0.00117133 0.00056083 2.3078 0.0326
89.5  14.5 0.00117135 0.00054727 2.3079 0.0324
89.5  15.5 0.00117138 0.00053527 2.3079 0.0323
```

图 A-10 VMF3 格网文件举例

## 周解产品

SINEX 文件记录了测站的位置和速度。后缀为 “.snx” 的 SINEX 文件记录了测站位置/速度，后缀为 “.ssc” 的 SINEX 文件记录了站位坐标。软件所需的是 SOLUTION/ESTIMATE 数据块，由 “ +SOLUTION/ESTIMATE Block ” 和 “ -SOLUTION/ESTIMATE Block ” 括起来。这一部分的简要格式介绍如下，具体的文件格式可以查看 [Microsoft Word - sinex\\_v202.doc \(iers.org\)](#).

- Index: 估计参数的索引，数值从 1 到参数的数量；
- \_TYPE\_: 参数类型的标识；

- CODE: 估算参数的测站名;
- PT: 估算参数的点的代码;
- SOLN: 估计参数站/点代码的解 ID;
- \_REF\_EPOCH\_\_: 参数估计所处的历元;
- UNIT: 用于估算的单位;
- S: 附加至参数的约束条件;
- \_\_ESTIMATED\_VALUE\_\_: 参数的估值;
- \_\_STD\_DEV\_\_: 参数估值的标准差。

```
+SOLUTION/ESTIMATE
*INDEX _TYPE_ CODE PT SOLN _REF_EPOCH_ UNIT S __ESTIMATED_VALUE__ __STD_DEV__
 1 STAX AB01 A    1 21:335:43200 m    2 -3.89656321430101e+06 2.19449e-03
 2 STAY AB01 A    1 21:335:43200 m    2 -3.95471543079333e+05 9.29684e-04
 3 STAZ AB01 A    1 21:335:43200 m    2 5.01714162850610e+06 2.54759e-03
 4 STAX AB07 A    3 21:335:43200 m    2 -3.42575038202844e+06 1.81464e-03
 5 STAY AB07 A    3 21:335:43200 m    2 -1.21468607197146e+06 1.03099e-03
 6 STAZ AB07 A    3 21:335:43200 m    2 5.22366245316521e+06 2.47390e-03
 7 STAX AB09 A    1 21:335:43200 m    2 -2.58361493551525e+06 1.33789e-03
 8 STAY AB09 A    1 21:335:43200 m    2 -5.46237009535480e+05 8.93759e-04
 9 STAZ AB09 A    1 21:335:43200 m    2 5.78650166876350e+06 2.61165e-03
10 STAX AB51 A    1 21:335:43200 m    2 -2.38374983293552e+06 1.28158e-03
```

图 A- 11 SINEX 文件举例

## A.2 表文件

### 跳秒文件

UTC 和 UT1 之间的时刻差按规定需保持在 0.9s 以内，否则将采取跳秒的形式进行调整。软件所需的跳秒文件可在 <ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/whu/phasebias/table/leap.sec> 下载。跳秒文件（leap.sec）记录了跳秒发生前一天的简化儒略日及其跳秒值。需要注意的是该跳秒文件第一行尾部为“\*”号，用于区分其它同样命名格式的文件。用户在未联网解算的情况下需事先下载该文件并放于配置文件中指定的 table 目录下。

```
+leap sec *
 45151 21
 45516 22
 46247 23
 47161 24
 47892 25
 48257 26
 48804 27
 49169 28
 49534 29
 50083 30
 50630 31
 51179 32
 53736 33
 54832 34
 56109 35
 57204 36
 57754 37
 59761 38
-leap sec
```

图 A-12 leap.sec 文件举例

## 卫星参数文件

卫星参数（sat\_parameters）文件记录了所有卫星的参数信息。相应文件格式的简要说

明如下。

- PRN: 卫星的 PRN;
- SVN: 卫星的 SVN;
- LAUNCHED: 卫星的发射时间, 格式为 YYYYDDD:SSSSS;
- DECOMMISSIONED: 卫星的退役时间, 格式为 YYYYDDD:SSSSS;
- COSPAR-ID: 国际卫星标识符;
- MASS: 卫星的质量, 单位为 kg;
- MAX\_YAW: 设计之初卫星旋转的最大速度;
- FID: 卫星的频率 ID;
- BLOCK-TYPE: 卫星型号。

| #            |      | LAUNCHED      | DECOMMISSIONED | MASS      | MAX_YAW |       |     |             |
|--------------|------|---------------|----------------|-----------|---------|-------|-----|-------------|
| #PRN         | SVN  | YYYYDDD:SSSSS | YYYYDDD:SSSSS  | COSPAR-ID | [KG]    | [DEG] | FID | BLOCK-TYPE  |
| <hr/>        |      |               |                |           |         |       |     |             |
| +prn_indexed |      |               |                |           |         |       |     |             |
| G01          | G032 | 1992327:00000 | 2008290:86399  | 1992-079A | 930.00  | 0.000 | 0   | BLOCK IIA   |
| G01          | G037 | 2008297:00000 | 2009006:86399  | 1993-032A | 930.00  | 0.000 | 0   | BLOCK IIA   |
| G01          | G049 | 2009083:00000 | 2011126:86399  | 2009-014A | 1080.00 | 0.000 | 0   | BLOCK IIR-M |
| G01          | G035 | 2011153:00000 | 2011193:86399  | 1993-054A | 930.00  | 0.000 | 0   | BLOCK IIA   |
| G01          | G063 | 2011197:00000 | 0000000:00000  | 2011-036A | 1633.00 | 0.000 | 0   | BLOCK IIF   |
| G02          | G013 | 1989161:00000 | 2004133:86399  | 1989-044A | 843.00  | 0.000 | 0   | BLOCK II    |
| G02          | G061 | 2004311:00000 | 0000000:00000  | 2004-045A | 1080.00 | 0.000 | 0   | BLOCK IIR-B |
| G03          | G011 | 1985282:00000 | 1994107:86399  | 1985-093A | 455.00  | 0.000 | 0   | BLOCK I     |
| G03          | G033 | 1996088:00000 | 2014230:86399  | 1996-019A | 930.00  | 0.000 | 0   | BLOCK IIA   |
| G03          | G035 | 2014248:00000 | 2014293:86399  | 1993-054A | 930.00  | 0.000 | 0   | BLOCK IIA   |
| G03          | G069 | 2014302:00000 | 0000000:00000  | 2014-068A | 1633.00 | 0.000 | 0   | BLOCK IIF   |
| G04          | G001 | 1978053:00000 | 1985198:86399  | 1978-020A | 455.00  | 0.000 | 0   | BLOCK I     |
| G04          | G034 | 1993299:00000 | 2015313:86399  | 1993-068A | 930.00  | 0.000 | 0   | BLOCK IIA   |
| G04          | G049 | 2016033:00000 | 2016257:86399  | 2009-014A | 1080.00 | 0.000 | 0   | BLOCK IIR-M |
| G04          | G032 | 2016259:00000 | 2016340:86399  | 1992-079A | 930.00  | 0.000 | 0   | BLOCK IIA   |

图 A- 13 sat\_parameters 文件举例

## 天线改正文件

天线改正文件用于记录卫星端和接收机端的 PCO/PCV, 它存储在 “igsXX.atx” 文件中, 与当前 igsXX 参考框架一致。目前 ANTEX 文件的版本是 1.4 版。对应的文件格式简述如下, 具体的文件格式可以查看 <https://files.igs.org/pub/data/format/antex14.txt>.

### 1. 文件头

- “ANTEX VERSION /SYST” 表示文件版本和文件中包括的卫星系统;
- “PCV TYPE / REFANT” 表示相位中心变化类型, “A”: 绝对值; “R”: 相对值。

### 2. 数据块

数据块包含卫星天线和接收机天线, 全部以分层排序的方式组织, 单个数据块由 “START OF ANTENNA” 和 “END OF ANTENNA” 围住。卫星天线部分: 首先根据卫星系统进行排序, 然后根据卫星代码 “sNN” 进行排序, 最后根据 “VALID FROM” 进行排序。

- “TYPE / SERIAL NO” 表示天线类型、卫星 PRN 号、卫星 SVN 号和 COSPLAY-ID;
- “DAZI” 表示方位角增量, “0.0” 表示与方位角无关的相位中心变化;
- “ZEN1 / ZEN2 / DZEN” 表示天顶角 “ZEN1” 到 “ZEN2”, 增量为 “DZEN”;
- “VALID FROM” 和 “VALID FROM” 分别代表有效期的开始和有效期的结束, 以 GPS 时间表示;
- “START OF FREQUENCY” 和 “END OF FREQUENCY” 分别表示一个新频率段的开

始和结束；

- “NORTH / EAST / UP” 表示相对于卫星质心的 X、Y、Z 方向的平均天线相位中心（单位：mm）；
  - “NOAZI” 表示与方位角无关的 PCV 值，随后记录从“ZEN1”到“ZEN2”的 PCV 值。

图 A-14 ANTEX 文件中卫星部分举例

接收器天线部分：先按天线类型排序，再按接收器天线罩类型排序，最后按“SERIAL NO”排序。

- “TYPE / SERIAL NO” 表示天线类型和序列号;
  - “NORTH / EAST / UP” 表示相对于天线参考点 (ARP) 的平均天线相位中心北、东和高的分量 (单位: mm);
  - 如果 “DAZI” >0.0, 则在 “NOAZI” 所在的行后记录与 “DAZI” 增量的方位角相对应的 PCV 值。

|                           |                         |                    |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|---------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| TWIVSP6037L               | NONE                    | START OF ANTENNA   |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| ROBOT                     | Geo++ GmbH              | TYPE / SERIAL NO   |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|                           |                         | METH / BY # / DATE |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| 5.0                       |                         | DAZI               |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| 0.0 90.0                  | 5.0                     | ZEN1 / ZEN2 / DZEN |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| 21                        |                         | # OF FREQUENCIES   |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| IGS14_2163                |                         | SINEX CODE         |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|                           |                         | COMMENT            |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| Freq. [MHz]   Freq. Codes |                         | COMMENT            |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| ----- ----- -----         |                         | COMMENT            |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| 1602.000                  | R01 R04                 | COMMENT            |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| 1575.420                  | G01 E01 J01 S01 C01     | COMMENT            |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| 1561.098                  | C02                     | COMMENT            |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| 1278.750                  | E06 J06                 | COMMENT            |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| 1268.520                  | C06                     | COMMENT            |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| 1246.000                  | R02 R06                 | COMMENT            |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| 1227.600                  | G02 J02                 | COMMENT            |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| 1207.140                  | E07 C07                 | COMMENT            |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| 1202.025                  | R03                     | COMMENT            |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| 1191.795                  | E08 C08                 | COMMENT            |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| 1176.450                  | G05 E05 J05 C05 S05 I05 | COMMENT            |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| G01                       |                         | COMMENT            |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| 0.35                      | -0.70                   | 48.82              | START OF FREQUENCY |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|                           |                         |                    | NORTH / EAST / UP  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| NOAZI                     | 0.00                    | -0.10              | -0.35              | -0.64 | -0.85 | -0.88 | -0.73 | -0.50 | -0.32 | -0.34 | -0.63 | -1.08 | -1.48 | -1.57 | -1.14 | -0.19 | 1.00 | 1.93 | 2.02 |
| 0.0                       | 0.00                    | -0.02              | -0.25              | -0.61 | -0.99 | -1.27 | -1.35 | -1.23 | -1.00 | -0.76 | -0.62 | -0.61 | -0.61 | -0.47 | -0.01 | 0.77  | 1.66 | 2.28 | 2.17 |
| 5.0                       | 0.00                    | -0.01              | -0.23              | -0.57 | -0.94 | -1.20 | -1.28 | -1.17 | -0.96 | -0.76 | -0.68 | -0.72 | -0.76 | -0.63 | -0.15 | 0.66  | 1.57 | 2.15 | 1.91 |
| 10.0                      | 0.00                    | 0.00               | -0.21              | -0.54 | -0.89 | -1.13 | -1.20 | -1.10 | -0.93 | -0.77 | -0.76 | -0.86 | -0.94 | -0.81 | -0.29 | 0.59  | 1.55 | 2.10 | 1.72 |
| 15.0                      | 0.00                    | 0.00               | -0.19              | -0.58 | -0.83 | -1.05 | -1.10 | -1.01 | -0.88 | -0.78 | -0.84 | -1.02 | -1.15 | -1.01 | -0.44 | 0.52  | 1.57 | 2.13 | 1.64 |

图 A-15 ANTEX 文件中接收机部分举例

## 附录 B. 经典算例

### B.1 单天解

我们测试了 2020 年全年的 IGS 站静态解。然后我们将静态 PPP-AR 结果与 IGS SINEX 解进行比较。图 B-1 分别记录了我们的结果文件与 IGS SINEX 的结果文件在 E/N/U 方向上的差异。X 轴表示一年中的某一天，范围从 1 到 366。Y 轴表示不同的测站。热力图的范围从蓝色到红色，以厘米为单位表示差异值。

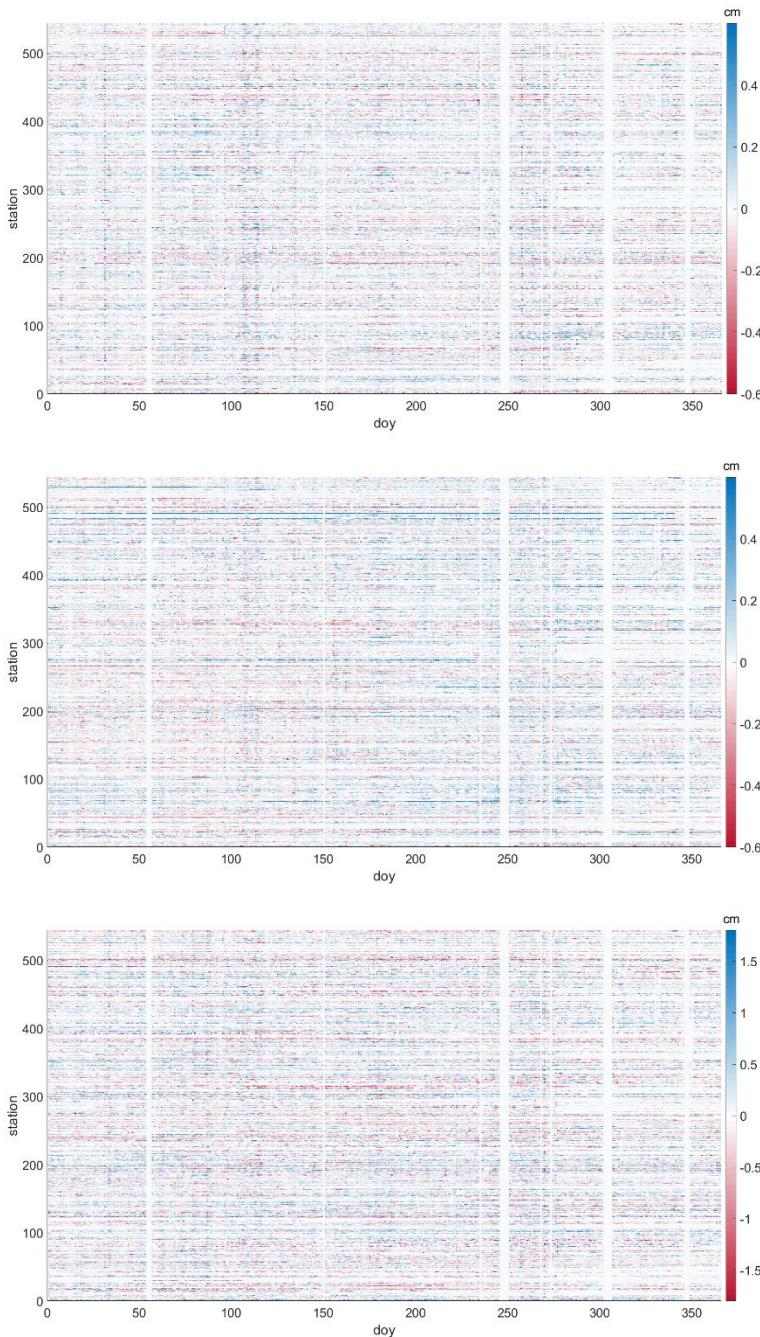


图 B-1 不同站点的 PRIDE PPP-AR 单天解和 IGS SINEX 解之间的差异

## B.2 超高频数据 (50Hz)

PRIDE PPP-AR 可以处理高达 50Hz 的超高频数据。我们使用 PRIDE PPP-AR 软件对距震中 1300 公里的 HLFY 站进行了定位实验，展示了 2011 年 3 月 11 日 05:46:24 (UTC 时间) 发生的日本大地震（震级为 9.0）带来的影响。如图 B-2 所示，黑框区域显示出明显的水平方向的振动，约 10 厘米。

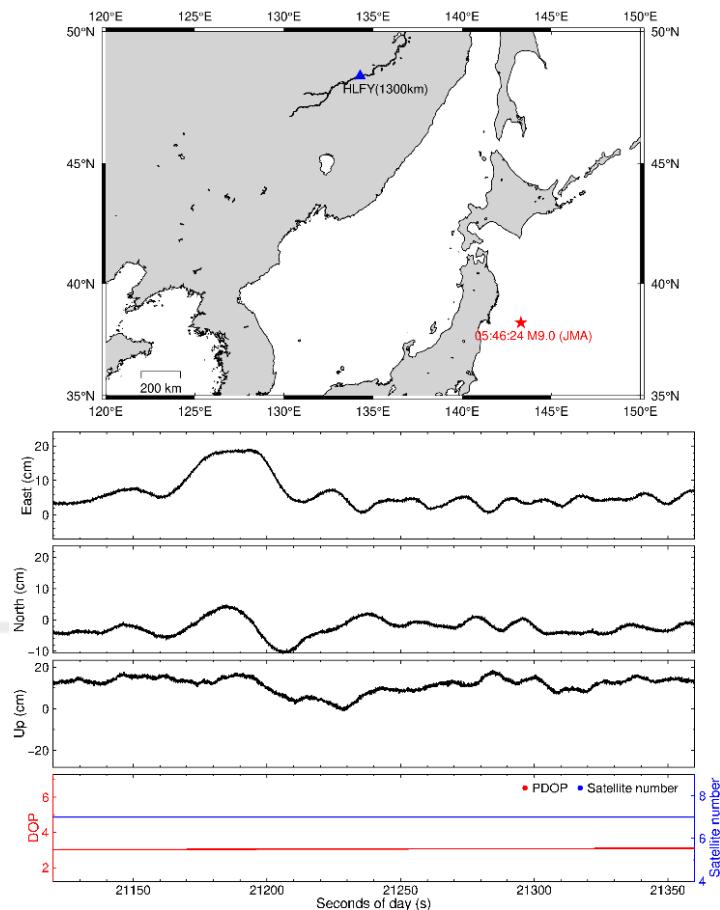


图 B-2 HLFY 站在东、北、高三个方向的位置时间序列 (cm)

## B.3 大动态移动平台

在航空摄影测量实验中，PRIDE PPP-AR III 可以实现大动态 PPP。实验观测时间为 2017 年 11 月 27 日，观测时间约 5 小时，采样率为 0.5 秒。飞机的轨迹如图 B-30 所示。并以 WayPoint 软件（一款商用定位软件）的相对定位结果作为参考解，其最大基线长度可达 170 公里。如图 B-4 所示，在遮挡较少的机载实验中，PRIDE PPP-AR III 定位精度与商用相对定位软件基本相同。另外，在大动态数据解算中，模糊度固定也能显著提高定位精度。

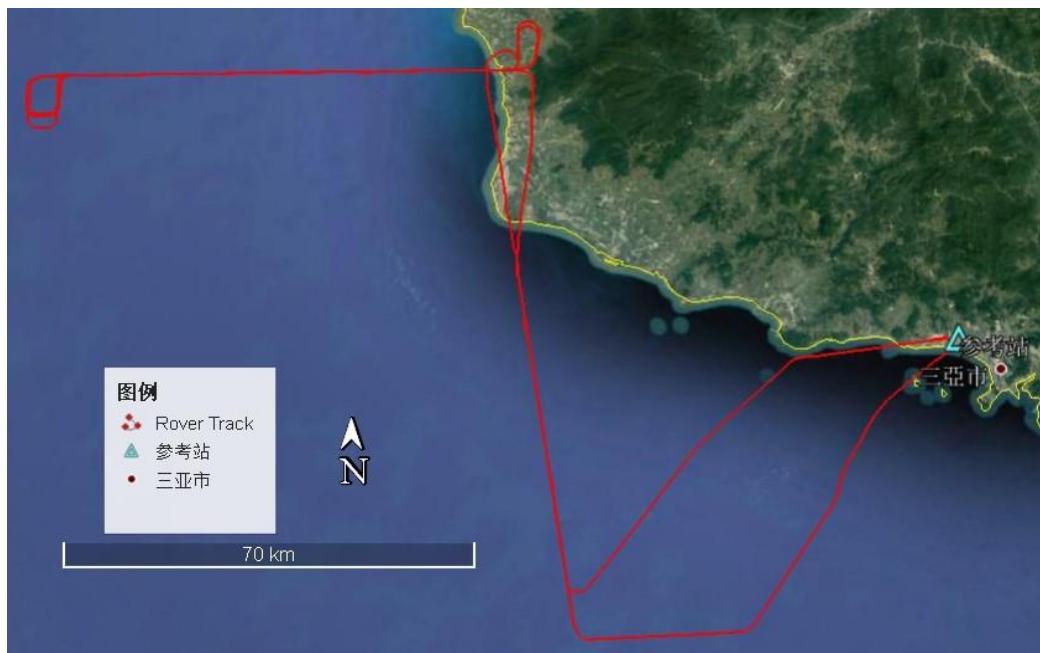


图 B-3 大动态航空摄影测量实验中飞行轨迹

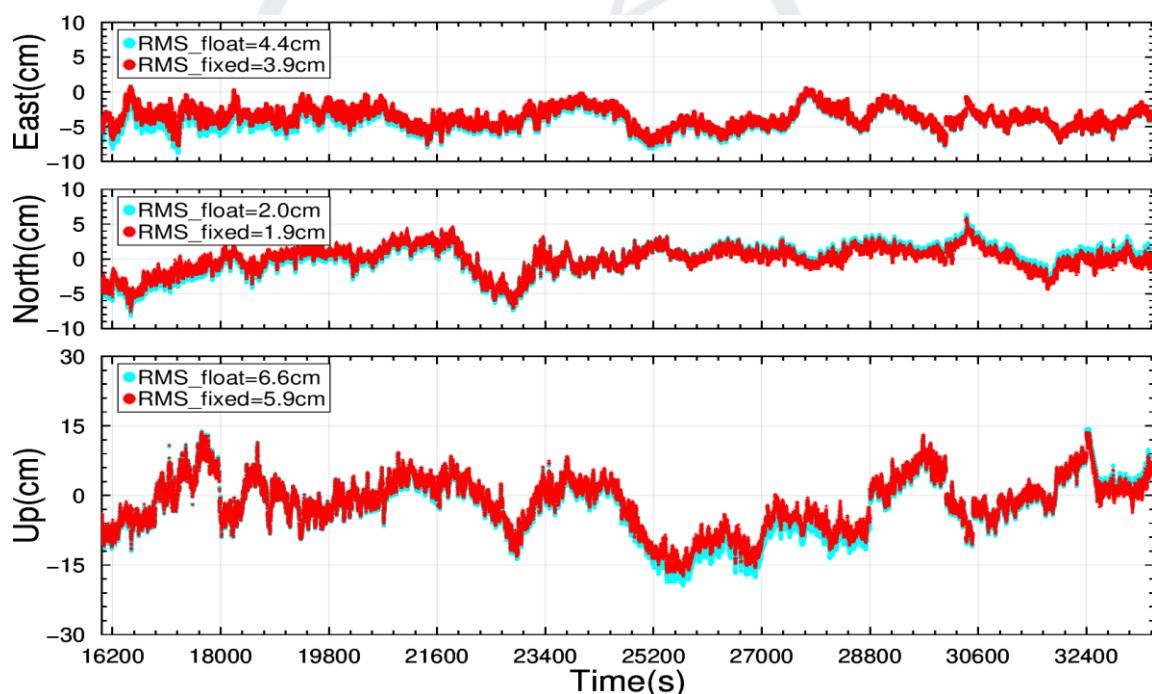


图 B-4 PRIDE PPP-AR 和 WayPoint 软件的位置差异

## 附录 C. SA 时期的 GPS 数据处理

在 SA 政策实行时期，GPS 广播星历精度较低，所以在这些时期使用广播星历需要非常谨慎。为了方便用户处理这些 GPS 数据，我们在 `tedit` 模块中设置了一些配置，以避免从广播星历中获取卫星钟差改正。此外，用户应该把配置文件中的“**Strict editing**”模式从“**YES**”改为“**NO**”。并改变配置文件中的产品名称。

作为一个例子，我们选择 JPL 的精密钟差/轨道/ERP 第二次重处理产品来处理 SA 政策实行时的 GPS 数据。我们在测试了一个 1995 年的 IGS 站（ALBH）。下图（图 C-1）分别记录了东/北/高方向的位置时间序列。X 轴表示年积日，范围是 1 到 365，Y 轴表示位置的变化。

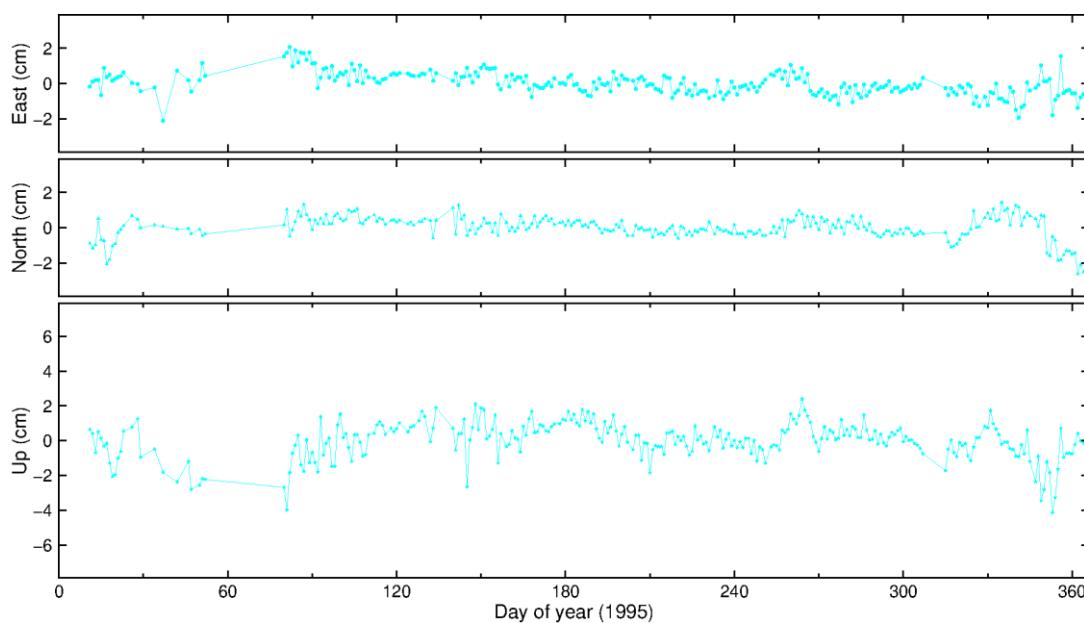
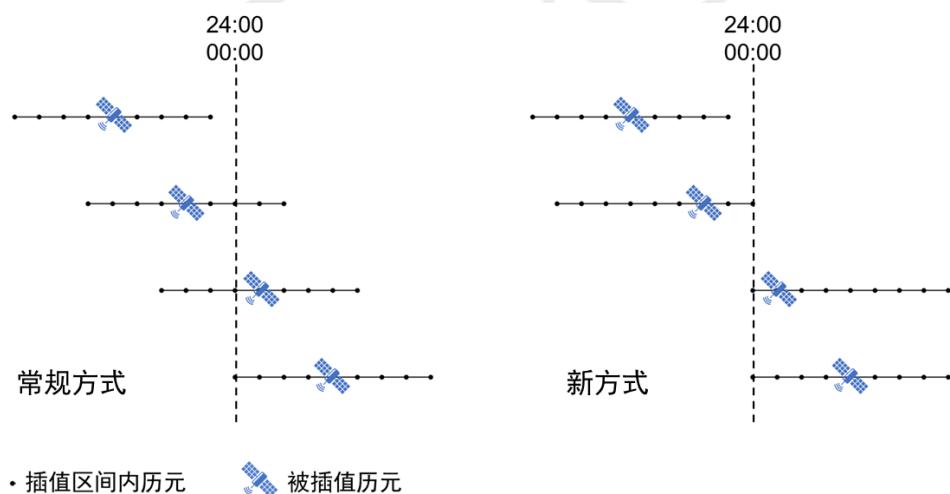


图 C-1 1995 年 ALBH 站的位置时间序列

## 附录 D. 武汉大学日界对齐的快速产品使用说明

本产品和常规 IGS 产品相比，分别在 SP3 文件和 CLK 文件中，为每颗 GPS、Galileo 和 BDS 卫星提供了次日零点（即 24:00:00）历元的轨道和钟差估计值，同时在 SINEX-Bias 文件中定义和提供了该零点处的连续性数值指标“DOCB（Discontinuity of Orbit, Clocks and Biases）”。为保证最优的连续解算的效果，在跨日界的数据处理中，用户软件必须：

1) 读入前一天产品的 24:00:00 历元和后一天产品的 00:00:00 历元的估计值，调整轨道和钟差的插值区间，保证其不跨越零点（24:00:00 或 00:00:00）。调整插值区间的机制可以用如下示意图来描述，以轨道插值为例，常规方式（左图）往往将被插值点置于插值区间的中部。而本文推荐的方式（右图）会限制插值区间的范围，前一天的插值使用前一天产品的 24:00:00 历元，后一天的插值使用后一天产品的 00:00:00 历元。由于轨道和钟差的插值方式不同，插值区间中轨道和钟差各自在零点的不连续会破坏其插值结果整体的一致性，从而影响到连续解算的效果。若只在天内进行插值，则可避免上述问题。



2) 读入 SINEX-Bias 文件中的伪距和相位 DOCB 值，按照选择的信号通道计算各卫星的连续性指标，如果大于指定阈值（如 0.10 周），则该卫星在该信号通道上的观测值不能支持跨日界连续解算，需在日界（零点）处将对应的模糊度参数强行重置（断开）。SINEX-Bias 中的伪距和相位 DOCB 值的格式定义如下：

| +DAY BOUNDARY DISCONTINUITY |      |     |         |                |                |              |                 |         |
|-----------------------------|------|-----|---------|----------------|----------------|--------------|-----------------|---------|
| *TERM                       | SVN  | PRN | STATION | OBS1           | OBS2           | DISCON_START | DISCON_END      |         |
|                             |      |     |         |                |                | UNIT         | ESTIMATED_VALUE | STD_DEV |
| DOCB                        | G061 | G02 | C1C     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | 0.07754         | 0.00000 |
| DOCB                        | G061 | G02 | C1W     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | 0.07294         | 0.00000 |
| DOCB                        | G061 | G02 | C2W     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | 0.12011         | 0.00000 |
| DOCB                        | G061 | G02 | L1C     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | -0.04260        | 0.00000 |
| DOCB                        | G061 | G02 | L1W     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | -0.04260        | 0.00000 |
| DOCB                        | G061 | G02 | L2W     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | -0.08099        | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | C1C     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | 0.06434         | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | C1W     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | 0.06084         | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | C2X     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | 0.11051         | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | C2S     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | 0.12501         | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | C2L     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | 0.10821         | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | C2W     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | 0.10021         | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | C5X     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | 0.10153         | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | C50     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | 0.11978         | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | L1C     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | -0.08316        | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | L1W     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | -0.08316        | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | L2X     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | -0.13920        | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | L2S     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | -0.13920        | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | L2L     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | -0.13920        | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | L2W     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | -0.13920        | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | L5X     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | -0.16318        | 0.00000 |
| DOCB                        | G069 | G03 | L5Q     | 2024:099:86400 | 2024:100:00000 | ns           | -0.16318        | 0.00000 |

其各列的内容和含义与“OSB”相似，从左至右分别是缩写“DOCB”、卫星的 SVN 号、卫星的 PRN 号、观测量类型标号、日界所处的时刻（两个时间事实上相同，如此定义为了特别强调日界处）、DOCB 的单位、DOCB 的估计值，以及 DOCB 估计值的标准差。

当用户选用如 G02 卫星的“L1W”“L2W”“C1W”“C2W”观测量并组成双频无电离层组合时，可将对应观测量上的 DOCB 数值  $d_{L1W}$ 、 $d_{L2W}$ 、 $d_{C1W}$  和  $d_{C2W}$  分别按照观测量的组成方式形成宽巷、窄巷组合：

$$d_{WL} = (f_1 \cdot d_{L1W} - f_2 \cdot d_{L2W}) - \frac{f_1 - f_2}{f_1 + f_2} \cdot (f_1 \cdot d_{C1W} + f_2 \cdot d_{C2W})$$

$$d_{NL} = \frac{f_1^2 \cdot d_{L1W} + f_2^2 \cdot d_{L2W}}{f_1 - f_2}$$

其中， $f_1$  和  $f_2$  为所选双频观测量的频率， $d_{L1W}$ 、 $d_{L2W}$ 、 $d_{C1W}$  和  $d_{C2W}$  的单位为秒， $d_{WL}$ 、 $d_{NL}$  的单位为周。随后，分别判定  $d_{WL}$  和  $d_{NL}$  是否大于指定阈值（如 0.1 周，凭用户经验）。若大于指定阈值，则可视作该卫星的模糊度参数在该时刻存在“周跳”，将其重设或断开，以避免模糊度参数的估计受到产品中日界不连续的影响。