

GREAT-PVT 用户指南

目录

第一章 概述	1
第二章 定位原理	2
2.1 PPP 模型	2
2.1.1 基本观测方程	2
2.1.2 双频 PPP 函数模型	3
2.1.3 多频多星座 PPP 函数模型	5
2.1.4 PPP 随机模型	7
2.2 RTK 模型	9
2.2.1 站间单差观测方程	9
2.2.2 站星间双差观测方程	10
2.2.3 中长基线站星间双差无电离层观测方程	10
2.2.4 多星座 RTK	11
第三章 环境要求和许可证	12
3.1 环境要求	12
3.2 许可证	12
3.3 Python 虚拟环境	12
第四章 编译与安装	14
4.1 Windows	15
4.2 Linux	17
第五章 软件和工具使用说明	19
5.1 数据下载	19
5.2 GREAT-PVT 软件	20
5.2.1 单天解算	20
5.2.2 多天解算	21
5.3 结果绘图和分析工具	24

5.3.1	PPP 结果绘制	24
5.3.2	RTK 结果绘制	26
第六章 算例数据处理说明		28
6.1	PPP 算例	28
6.1.1	数据准备	28
6.1.2	参数配置	28
6.1.3	数据解算	29
6.1.4	结果绘制	30
6.2	RTK 算例	33
6.2.1	数据准备	33
6.2.2	参数配置	33
6.2.3	数据解算	33
6.2.4	结果绘制	35
第七章 附录		37
7.1	GREAT-UPD	37
7.2	GREAT-IFCB	37
7.3	poleut1 文件说明	37
7.3.1	可执行程序与使用说明	37
7.3.2	产品文件说明	38
7.4	PPP XML 配置文件说明	39
7.5	RTK XML 配置文件说明	45
7.6	flt 结果文件说明	49

第一章 概述

GREAT (GNSS+ REsearch, Application and Teaching) 软件由武汉大学测绘学院设计开发, 是一个用于空间大地测量数据处理、精密定位和定轨以及多源融合导航的综合性软件平台。软件中, 核心计算模块使用 C++语言(C++17)编写, 辅助脚本模块使用 Python3 和 C-Shell 语言实现自动化数据处理。其中, 所有 C++模块的编写都遵循 Google 开源项目代码风格指南, 并且使用 GIT 工具进行版本控制。GREAT 软件使用 CMAKE 工具进行编译管理, 用户可以灵活选择 GCC、Clang、MSVC 等主流 C++编译器。目前软件提供了 Windows 和 Linux 平台的命令行应用程序。

GREAT-PVT 是 GREAT 软件中的一个重要模块, 主要用于精密定位解算。GREAT-PVT 由 2 个可移植程序库组成, 分别是 LibGREAT 和 LibGnut。LibGREAT 库主要用于 PPP、RTK 滤波解算, 包括滤波估计中涉及的数据解码、存储以及 PPP、PPP-AR、RTK 算法的实现, LibGnut 库来源于开源 GNSS 软件 G-nut, 包括 GNSS 数据的解码和存储以及基本参数配置模块。GREAT-PVT 主要特点包括:

- 支持 GPS、GLONASS、Galileo、BDS-2/3 系统
- 支持多频 PPP 浮点解与固定解
- 支持无电离层组合、非差非组合 PPP 观测值组合方式
- 支持多频率多系统 PPP 浮点解与固定解
- 支持双频、单双频混合 RTK 解算

此外, 软件包还提供批处理脚本和定位结果绘图脚本, 便于用户对多天数据进行解算与结果分析。

第二章 定位原理

2.1 PPP 模型

2.1.1 基本观测方程

原始的 GNSS 伪距 ($P_{r,n}^s$) 和相位 ($L_{r,n}^s$) 观测值可以表达为:

$$P_{r,n}^s = \rho_r^s + t_r - t^s + \gamma_n \cdot I_{r,1}^s + m_{r,w}^s Z_{r,w} + b_{r,n} - b_n^s + e_{r,n}^s \quad (2.1)$$

$$L_{r,n}^s = \rho_r^s + t_r - t^s - \gamma_n \cdot I_{r,1}^s + m_{r,w}^s Z_{r,w} + \lambda_n (N_{r,n}^s + B_{r,n} - B_n^s) + \varepsilon_{r,n}^s \quad (2.2)$$

其中,

ρ_r^s : 卫星天线相位中心 (s) 到接收天线相位中心 (r) 的几何距离, 单位为米;

t_r 和 t^s : 接收机和卫星钟差, 单位为米;

$Z_{r,w}$: 天顶对流层湿延迟, 单位为米;

$m_{r,w}^s$: 天顶对流层湿延迟对应的投影函数;

$I_{r,1}^s$: 第一个信号频率上的电离层延迟, 单位为米;

γ_n : 电离层映射因子 $\gamma_n = \lambda_n^2 / \lambda_1^2$;

$N_{r,n}^s$: 整周载波相位模糊度, 单位为周;

$b_{r,n}$ 和 b_n^s : 接收机端和卫星端的伪距硬件延迟, 单位为米, 通常认为其在一
天或一个连续弧段内较为稳定;

$B_{r,n}$ 和 B_n^s : 接收机和卫星端的相位延迟, 单位为周, 可分为常数部分与时变
部分, 其中常数部分可完全被模糊度参数吸收。

$e_{r,n}^s$ 和 $\varepsilon_{r,n}^s$: 伪距和相位观测值上的观测噪声与多路径的总和;

值得注意的是, 对于传播路径上的对流层延迟, 无论是湿分量还是干分量, 均可以表达为天顶对流层延迟与对应投影函数的乘积, 对流层延迟的干分量通常通过先验模型进行改正, 如萨斯塔莫宁模型等, 因此这里不再给出。而对流层湿分量由于具有较强的不确定性, 难以精确的模型化, 因此通常采用参数估计的方式获得对流层湿分量。其他误差如卫星和接收机端天线相位中心偏差 (Phase Center Offset, PCO) 与天线相位中心变化 (Phase Offset Variation, PCV)、相对论效应、固体潮和海潮、相位缠绕等都可以通过已有的误差模型进行改正。

2.1.2 双频 PPP 函数模型

从 GNSS 基本观测方程出发，可以构建不同的 PPP 函数模型。根据观测值组合方式的不同，常用的 PPP 模型可以分为无电离层组合模型和非差非组合模型。

(1) 无电离层组合模型

无电离层组合模型利用双频（多频）观测值构建无电离层组合（Ionosphere-free, IF）观测值，消除一阶电离层延迟影响。在双频情况下，假定两个频率分别为 i 和 j ，则伪距与相位的无电离层组合观测值 $P_{r,IF}^s$ 和 $L_{r,IF}^s$ 可以分别表示为：

$$\begin{aligned} P_{r,IF}^s &= \frac{f_i^2}{f_i^2 - f_j^2} P_{r,i}^s - \frac{f_j^2}{f_i^2 - f_j^2} P_{r,j}^s \\ L_{r,IF}^s &= \frac{f_i^2}{f_i^2 - f_j^2} L_{r,i}^s - \frac{f_j^2}{f_i^2 - f_j^2} L_{r,j}^s \end{aligned} \quad (2.3)$$

定义 α_{ij} 、 β_{ij} 为无电离层组合系数：

$$\alpha_{ij} = \frac{f_i^2}{f_i^2 - f_j^2} \quad \beta_{ij} = -\frac{f_j^2}{f_i^2 - f_j^2} \quad (2.4)$$

则双频无电离层组合观测值可以表示为：

$$\begin{cases} P_{r,IF}^s = \rho_r^s + t_r - t^s + m_{r,w}^s Z_{r,w} + b_{r,IF} - b_{IF}^s + e_{r,IF}^s \\ L_{r,n}^s = \rho_r^s + t_r - t^s + m_{r,w}^s Z_{r,w} + \lambda_{IF} (N_{r,IF}^s + B_{r,IF} - B_{IF}^s) + \varepsilon_{r,IF}^s \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\begin{cases} b_{r,IF} = \alpha_{ij} b_{r,i} + \beta_{ij} b_{r,j} \\ b_{IF}^s = \alpha_{ij} b_i^s + \beta_{ij} b_j^s \\ B_{r,IF} = (\alpha_{ij} \lambda_i B_{r,i} + \beta_{ij} \lambda_j B_{r,j}) / \lambda_{IF} \\ B_{IF}^s = (\alpha_{ij} \lambda_i B_i^s + \beta_{ij} \lambda_j B_j^s) / \lambda_{IF} \\ N_{r,IF}^s = (\alpha_{ij} \lambda_i N_{r,i}^s + \beta_{ij} \lambda_j N_{r,j}^s) / \lambda_{IF} \end{cases} \quad (2.6)$$

式中 $b_{r,IF}$ 与 b_{IF}^s 为伪距无电离层组合的接收机端与卫星端的组合硬件延迟； $B_{r,IF}$ 、 B_{IF}^s 与 $N_{r,IF}^s$ 分别为相位无电离层组合的接收机端与卫星端相位延迟以及对应的组合模糊度； $e_{r,IF}^s$ 、 $\varepsilon_{r,IF}^s$ 分别为伪距和相位无电离层组合观测值上的观测噪声与多路径效应。PPP 模型中卫星钟差(t_r)通过精密产品进行改正，值得注意的是，目前各分析中心播发的精密卫星钟差产品是通过无电离层组合估计得到，生成的卫星钟差改正数吸收了双频无电离层组合的伪距硬件延迟，因此，精密钟差产品 \bar{t}_F^s 与“真实”卫星钟差 t^s 的关系可以表达为：

$$\bar{t}_{IF}^s = t^s + (\alpha_{ij}b_i^s + \beta_{ij}b_j^s) \quad (2.7)$$

当前各 IGS 或 MGEX 分析中心生成精密钟差产品所使用的频率为：GPS 使用 L1 与 L2；GLONASS 使用 G1 与 G2；Galileo 使用 E1 与 E5a；BDS 除了欧洲定轨中心（CODE）使用 B1I 与 B2I，其余 MGEX 分析中心均使用 B1I 与 B3I。综合 (2.5) ~ (2.7)，可以得到线性化后的伪距与相位无电离层组合观测方程为：

$$\begin{cases} p_{r,IF}^s = \mu_r^s \cdot x + \hat{t}_{r,IF} - \bar{t}_{IF}^s + m_{r,w}^s Z_{r,w} + e_{r,IF}^s \\ l_{r,IF}^s = \mu_r^s \cdot x + \hat{t}_{r,IF} - \bar{t}_{IF}^s + m_{r,w}^s Z_{r,w} + \hat{N}_{r,IF}^s + \varepsilon_{r,IF}^s \end{cases} \quad (2.8)$$

其中， $p_{r,IF}^s$ 和 $l_{r,IF}^s$ 分别表示观测的减去计算的（Observed Minus Computed, OMC）无电离层组合伪距与相位观测值， μ_r^s 为从接收机到卫星的单位向量， x 为待估坐标改正数。 $\hat{t}_{r,IF}$ 表示估计的接收机钟差参数：

$$\hat{t}_{r,IF} = t_r + (\alpha_{ij}b_{r,i} + \beta_{ij}b_{r,j}) \quad (2.9)$$

其中接收机钟差参数吸收了接收机端伪距硬件延迟。由于在 PPP 解算过程中，相位观测值通用采用精密钟差产品改正卫星钟差，且与伪距观测值共用一个接收机钟差参数，因此相位观测方程中将引入伪距硬件延迟，这部分伪距硬件延迟将与相位延迟一起被待估模糊度参数 $\hat{N}_{r,IF}^s$ 吸收：

$$\hat{N}_{r,IF}^s = N_{r,IF}^s + [\alpha_{ij}(B_{r,i} - B_i^s + b_i^s - b_{r,i}) + \beta_{ij}(B_{r,j} - B_j^s + b_j^s - b_{r,j})] \quad (2.10)$$

值得注意的是，在双频无电离层组合 PPP 中，如使用与精密卫星钟差产品相同频率的观测值，则伪距无电离层组合中卫星端硬件延迟可以通过钟差产品完全消除；如使用与钟差产品不同频率的观测值，则还需要进一步进行伪距硬件延迟改正（如使用 CODE、DLR 或 IGG 发布的差分码偏差产品）。

双频无电离层组合 PPP 模型中的待估参数包括测站坐标、对流层延迟、接收机钟差与模糊度：

$$X = (\mathbf{x} \quad \hat{t}_{r,IF} \quad Z_{r,w} \quad \hat{N}_{r,IF}^s)^T \quad (2.5)$$

(2) 非差非组合模型

无电离层组合模型通过观测值的组合消除电离层延迟影响，而非差非组合模型则直接使用原始观测值进行 PPP 解算，除了估计测站坐标、对流层延迟、接收机钟差、相位模糊度参数外，还需要额外估计电离层参数。相较于无电离层组合模型，非差非组合在以下四个方面具有明显的优势，主要有：（1）避免了无电离层组合放大观测噪声；（2）模型可扩展性强，在多频环境下避免了无电离层组合

中的频率选择问题；(3) 估计了电离层参数，可以通过外部电离层约束（如全球电离层格网模型）来加速收敛；(4) 保留了电离层信息，估计得到的电离层信息可以用来进行电离层监测与建模等研究。

非差非组合模型中伪距与相位的基本函数模型如下：

$$\begin{cases} p_{r,n}^s = \mu_r^s \cdot x + t_r - \bar{t}_{IF}^s + \gamma_n \cdot I_{r,1}^s + m_{r,w}^s Z_{r,w} + b_{r,n} - b_n^s \\ \quad + (\alpha_{ij} b_i^s + \beta_{ij} b_j^s) + e_{r,n}^s \\ l_{r,n}^s = \mu_r^s \cdot x + t_r - \bar{t}_{IF}^s - \gamma_n \cdot I_{r,1}^s + m_{r,w}^s Z_{r,w} + \lambda_n (B_{r,n} - B_n^s + N_{r,n}^s) \\ \quad + (\alpha_{ij} b_i^s + \beta_{ij} b_j^s) + \varepsilon_{r,n}^s \end{cases} \quad (2.12)$$

需要指出的是，上式中的硬件延迟项与使用的频率有关。特别地，当使用无电离层钟差产品对应的频率（ $n = i$ 或 $n = j$ ）时，有：

$$\begin{cases} p_{r,i}^s = \mu_r^s \cdot x + \hat{t}_r - \bar{t}_{IF}^s + \hat{I}_{r,j}^s + m_{r,w}^s Z_{r,w} + e_{r,i}^s \\ p_{r,j}^s = \mu_r^s \cdot x + \hat{t}_r - \bar{t}_{IF}^s + \gamma_{ij} \hat{I}_{r,j}^s + m_{r,w}^s Z_{r,w} + e_{r,j}^s \\ l_{r,i}^s = \mu_r^s \cdot x + \hat{t}_r - \bar{t}_{IF}^s - \hat{I}_{r,i}^s + m_{r,w}^s Z_{r,w} + \hat{N}_{r,i}^s + \varepsilon_{r,i}^s \\ l_{r,j}^s = \mu_r^s \cdot x + \hat{t}_r - \bar{t}_{IF}^s - \gamma_{ij} \cdot \hat{I}_{r,j}^s + m_{r,w}^s Z_{r,w} + \hat{N}_{r,j}^s + \varepsilon_{r,j}^s \end{cases} \quad (2.13)$$

其中， \hat{t}_r 为待估接收机钟差参数，其表达形式与无电离层组合接收机钟差相同； $\hat{I}_{r,i}$ 、 $\hat{N}_{r,i}$ 、 $\hat{N}_{r,j}$ 分别为待估电离层参数与两个频率上的模糊度参数，表达形式分别为：

$$\begin{cases} \hat{I}_{r,i}^s = I_{r,i}^s + \beta_{ij} (b_{r,i} - b_{r,j}) - \beta_{ij} (b_i^s - b_j^s) \\ \hat{N}_{r,i}^s = N_{r,i}^s + [(B_{r,i} - B_i^s) - (b_{r,i} - b_i^s)] + 2\beta_{ij} [(b_{r,i} - b_i^s) - (b_{r,j} - b_j^s)] \\ \hat{N}_{r,j}^s = N_{r,j}^s + [(B_{r,j} - B_j^s) - (b_{r,j} - b_j^s)] + 2\beta_{ij} [(b_{r,j} - b_j^s) - (b_{r,i} - b_i^s)] \end{cases} \quad (2.14)$$

值得注意的是，当使用的观测值与估计无电离层钟差产品的观测数据频率一致时，卫星端的伪距硬件延迟（ $b_i^s - b_j^s$ ）可被电离层参数吸收，如若不一致，则卫星端伪距硬件延迟则需通过对应的伪距偏差产品（如差分码偏差）进行改正，这一部分内容将在多频非差非组合 PPP 函数模型中重点讨论。双频非差非组合模型中的待估参数包括：

$$X = (x \quad \hat{t}_r \quad Z_{r,w} \quad \hat{I}_{r,i}^s \quad \hat{N}_{r,i}^s \quad \hat{N}_{r,j}^s)^T \quad (2.15)$$

2.1.3 多频多星座 PPP 函数模型

(1) 多频 PPP 函数模型

当前大部分导航系统均可提供多频观测信号，如美国 GPS 从 Block IIF 卫星

开始提供三频信号（L1、L2、L5），欧盟 Galileo 系统提供五频观测信号（E1、E5a、E5b、E5a+b、E6）。我国北斗二号提供三频观测值（B1I、B2I、B3I），而北斗三号更是在二代信号 B1I 与 B3I 的基础上，新增了 B1C、B2a、B2b 与 B2a+b 信号。

多频非差非组合 PPP 时，第 k 个频率（ $k \neq i$ 且 $k \neq j$ ）上的伪距与相位观测值分别可以表示为：

$$\begin{cases} p_{r,k}^s = \mu_r^s \cdot x + \hat{t}_r - \bar{t}_{IF}^s + \gamma_{ik} \hat{l}_{r,j}^s + m_{r,w}^s Z_{r,w} + IFB + e_{r,k}^s \\ l_{r,k}^s = \mu_r^s \cdot x + \hat{t}_r - \bar{t}_{IF}^s - \gamma_{ik} \cdot \hat{l}_{r,i}^s + m_{r,w}^s Z_{r,w} + \hat{N}_{r,k}^s + \varepsilon_{r,k}^s \end{cases} \quad (2.16)$$

其中：

$$\begin{cases} IFB = [(b_{r,k} - b_k^s) - (b_{r,i} - b_i^s)] + \frac{\beta_{ij}}{\beta_{ik}} [(b_{r,i} - b_i^s) - (b_{r,j} - b_j^s)] \\ \hat{N}_{r,k}^s = N_{r,k}^s + [(B_{r,k} - B_k^s) - (b_{r,i} - b_i^s)] \\ \quad + \beta_{ij}(1 + \gamma_{i,k})[(b_{r,i} - b_i^s) - (b_{r,j} - b_j^s)] \end{cases} \quad (2.17)$$

式中接收机钟差、电离层参数的表达与前文相同， $\hat{N}_{r,k}^s$ 为频率 k 上的模糊度参数。在双频非差非组合模型中，当观测值频率采用与无电离层钟差相同的频率（ i 与 j ）时，电离层参数与伪距硬件延迟具有很强的相关性，电离层参数可以完全吸收伪距硬件延迟偏差的影响；然而对于第 k 个频率，由于硬件延迟偏差的影响在数值与前两个频率完全不同，电离层参数无法完全吸收该偏差的影响，因此需要引入一个 IFB 参数。在参数估计的过程中对 IFB 可以有两种处理方式：一种是对每颗卫星各估计一个 IFB 参数，估计的 IFB 参数同时包含卫星端和接收机端的硬件延迟项；另一种是对卫星端部分 $((b_i^s - b_k^s) + \frac{\beta_{ij}}{\beta_{ik}}(b_j^s - b_i^s))$ 通过差分码偏差产品改正，而接收机端部分作为额外参数进行估计，此时只需要估计一个接收机端的 IFB 参数即可。

（2）多星座 PPP 函数模型

本小节考虑 GPS、GLONASS、Galileo 及 BDS 四大系统观测条件下（其中 BDS-2 与 BDS-3 采用公共信号，不做区分）多星座 PPP 的函数模型。下面给出四大系统各自的伪距与相位观测方程：

$$\begin{cases} p_{r,n}^{s,G} = \mu_r^{s,G} \cdot x + t_r - t^{s,G} + \gamma_n^G \cdot I_{r,1}^{s,G} + m_{r,w}^{s,G} \cdot Z_{r,w} + (b_{r,n}^G - b_n^{s,G}) + e_{r,n}^{s,G} \\ p_{r,n}^{s,R} = \mu_r^{s,R} \cdot x + t_r - t^{s,R} + \gamma_n^{Rk} \cdot I_{r,1}^{s,R} + m_{r,w}^{s,R} \cdot Z_{r,w} + (b_{r,n}^{Rk} - b_n^{s,R}) + e_{r,n}^{s,R} \\ p_{r,n}^{s,E} = \mu_r^{s,E} \cdot x + t_r - t^{s,E} + \gamma_n^E \cdot I_{r,1}^{s,E} + m_{r,w}^{s,E} \cdot Z_{r,w} + (b_{r,n}^E - b_n^{s,E}) + e_{r,n}^{s,E} \\ p_{r,n}^{s,C} = \mu_r^{s,C} \cdot x + t_r - t^{s,C} + \gamma_n^C \cdot I_{r,1}^{s,C} + m_{r,w}^{s,C} \cdot Z_{r,w} + (b_{r,n}^C - b_n^{s,C}) + e_{r,n}^{s,C} \end{cases} \quad (2.18)$$

$$\begin{cases} l_{r,n}^{s,G} = \mu_r^{s,G} \cdot x + t_r - t^{s,G} - \gamma_n^G \cdot I_{r,1}^{s,G} + m_{r,w}^{s,G} \cdot Z_{r,w} + N_{r,n}^{s,G} + (B_{r,n}^G - B_n^{s,G}) + \varepsilon_{r,n}^{s,G} \\ l_{r,n}^{s,R} = \mu_r^{s,R} \cdot x + t_r - t^{s,R} - \gamma_n^{Rk} \cdot I_{r,1}^{s,R} + m_{r,w}^{s,R} \cdot Z_{r,w} + N_{r,n}^{s,R} + (B_{r,n}^{Rk} - B_n^{s,R}) + \varepsilon_{r,n}^{s,R} \\ l_{r,n}^{s,E} = \mu_r^{s,E} \cdot x + t_r - t^{s,E} - \gamma_n^E \cdot I_{r,1}^{s,E} + m_{r,w}^{s,E} \cdot Z_{r,w} + N_{r,n}^{s,E} + (B_{r,n}^E - B_n^{s,E}) + \varepsilon_{r,n}^{s,E} \\ l_{r,n}^{s,C} = \mu_r^{s,C} \cdot x + t_r - t^{s,C} - \gamma_n^C \cdot I_{r,1}^{s,C} + m_{r,w}^{s,C} \cdot Z_{r,w} + N_{r,n}^{s,C} + (B_{r,n}^C - B_n^{s,C}) + \varepsilon_{r,n}^{s,C} \end{cases} \quad (2.19)$$

式中,各符号中的上标G、E、C分别表示 GPS、Galileo 与 BDS 卫星。GLONASS 卫星由于使用频分多址技术,因此用 R_k 表示该卫星, k 为其频率因子,其余变量含义与前文相同。注意到各系统观测值的硬件延迟不同,由于伪距硬件延迟与接收机钟差具有强耦合关系,不同系统的伪距硬件延迟会被吸收到接收机钟差中,从而造成多系统 PPP 中不同系统之间的接收机钟差并不一致,因此需要额外引入系统间偏差 (Inter System Bias, ISB) 参数,通常选择 GPS 系统的接收机钟差作为基准,估计其它系统的接收机钟差相对于 GPS 接收机钟差的差值。对于 GLONASS,由于其频分多址特性,不同频率的卫星对应的硬件延迟也不相同,因此还需要引入频率间偏差 (Inter frequency bias, IFB) 参数。

2.1.4 PPP 随机模型

在确定了 Multi-GNSS PPP 的函数模型之后,还需要进一步确定随机模型,主要包括各类 GNSS 观测值的权比选取、各类待估参数的先验精度及过程噪声确定等。

(1) 观测值随机模型

观测值随机模型包括各伪距相位观测量的先验精度、观测值加权方式等。假定不同系统、不同频率的伪距或相位观测值的先验精度相等,分别为 σ_P 与 σ_L (常用的经验值有 $\sigma_P = 0.3m$, $\sigma_L = 3mm$),则基于原始观测值的方差协方差阵 (Σ_{UC}) 可以表达为:

$$\Sigma_{UC} = \text{diag}(\sigma_P^2, \sigma_L^2) \quad (2.20)$$

观测值定权有高度角加权法、载噪比加权法等。其中高度角加权方式最为常用,可以将伪距或相位观测值精度 (标准差) σ 表达为以高度角 e 为变量的函数,如下式:

$$\sigma^2 = f(e) \quad (2.21)$$

根据高度角函数的不同衍生出了多种高度角相关的随机模型，目前广泛使用的主要是基于指数函数模型与正余弦三角函数模型的随机模型。

如国际上知名的大地测量数据处理软件 Bernese 与 GAMIT 采用的函数模型分别为：

$$\begin{aligned} \text{Bernese: } \sigma^2 &= a^2 + b^2 \cos^2 e \\ \text{GAMIT: } \sigma^2 &= a^2 + b^2 / \sin^2 e \end{aligned} \quad (2.22)$$

式中卫星高度角 e 的单位为弧度， a 、 b 为待定系数，一般根据经验给定或者通过拟合方法确定。

本软件采用的随机模型是 PANDA 软件中的一种常用模型：

$$\sigma^2 = \sigma_0^2 a_0 \quad (2.23)$$

σ_0 为观测值的先验精度，本文取为伪距 0.3m，相位 3mm。 a_0 为与高度角 e 相关的函数，可以表达为：

$$a_0 = \begin{cases} 1 & e \geq 30 \text{ deg} \\ \frac{1}{2 \sin e} & e < 30 \text{ deg} \end{cases} \quad (2.24)$$

即当卫星高度角小于 30 度时，对观测值进行降权；当卫星高度角高于 30 度时则等权处理。除非特殊说明，各系统或各卫星的观测值之间一般等权。

(2) 参数随机模型

参数的随机模型主要包括：（分段）常数模型、（分段）线性模型、白噪声模型、随机游走模型、高斯-马尔科夫模型等。其中白噪声模型与随机游走模型可以看作是一阶高斯-马尔科夫模型的特殊情况。

离散形式的一阶高斯-马尔科夫过程可以表示为：

$$p(t_j) = p(t_i) e^{-\beta(t_j - t_i)} + u_k(t_i) \sqrt{\frac{\sigma^2}{2\beta} (1 - e^{-2\beta(t_j - t_i)})} \quad (2.25)$$

式中， $p(t)$ 表示随机过程； $u_k(t)$ 为高斯白噪声，其方差为 σ^2 ； $\beta = 1/\tau$ 为相关时间 τ 的倒数； t_i 、 t_j 为两个时刻。 $p(t_j)$ 与 $p(t_i)$ 的相关程度与参数 σ 和 β 的数值选择有关。

特别地，当 β 于 0 时，一阶高斯-马尔科夫模型退化为随机游走模型：

$$p(t_j) = p(t_i) + u_k(t_i)\sigma\sqrt{(t_j - t_i)} \quad (2.26)$$

当 β 趋于无穷时，一阶高斯-马尔科夫模型退化为白噪声模型：

$$p(t_j) = u_k(t_i)\sqrt{\frac{\sigma^2}{2\beta}} \quad (2.27)$$

PPP 中的待估参数包括测站三维坐标、接收机钟差、对流层延迟、相位模糊度。非差非组合中，待估参数还包括电离层延迟；多频多星座条件下还需要额外估计频间偏差、系统间偏差等偏差参数。其中测站坐标参数，在静态模式下作为常数估计，在动态模式下可认为是随机游走或白噪声过程逐历元估计；接收机钟差参数通常作为白噪声逐历元估计；对流层延迟参数可以作为分段常数、分段线性或随机游走过程估计，并同时估计对流层梯度参数；模糊度参数在未发生周跳的弧段内作为常数估计，若发生周跳则需要添加新的模糊度参数；电离层延迟一般也可认为是随机游走过程；各类偏差参数则需要具体分析其变化特性，选取相应的随机模型。

2.2 RTK 模型

2.2.1 站间单差观测方程

在 GNSS 差分定位测量中，站间单差一般指不同接收机在同一时段同一卫星的观测值之间求差。对于两个接收机的同一颗卫星，可以同时列出多个观测方程，取其中一个观测方程作为基准，其它方程与之相减，即可得到站间单差的线性观测方程：

$$\begin{aligned} \Delta\rho_{12}^j &= \Delta R_{12}^{j0} + l_1^j dX_1 - l_2^j dX_2 + m_1^j dY_1 - m_2^j dY_2 + n_1^j dZ_1 - n_2^j dZ_2 \\ &\quad + \Delta\delta t_{12} + \Delta d_{ion12}^j + \Delta d_{trop12}^j + \Delta\varepsilon_\rho \\ \lambda\Delta\varphi_{12}^j &= -\lambda\Delta N_{12}^j + \Delta R_{12}^{j0} + l_1^j dX_1 - l_2^j dX_2 + m_1^j dY_1 - m_2^j dY_2 + n_1^j dZ_1 - n_2^j dZ_2 \\ &\quad + \Delta\delta t_{12} - \Delta d_{ion12}^j + \Delta d_{trop12}^j + \Delta\varepsilon_\varphi \end{aligned} \quad (2.28)$$

其中：

Δ ：站间单差算子；

ΔR_{12}^{j0} ：站星近似空间距离之差，单位为米；

$\Delta\delta t_{12}$ ：接收机钟差之差，单位为米；

Δd_{ion12}^j : 电离层误差之差, 单位为米;

Δd_{trop12}^j : 对流层误差之差, 单位为米;

ΔN_{12}^j : 整周未知数之差, 单位为周;

$\Delta \varepsilon_\rho$: 伪距噪声之差, 单位为米;

$\Delta \varepsilon_\varphi$: 相位噪声之差, 单位为米。

由于电离层、对流层延迟在较小区域内具有较强的空间相关, 因而对于短基线 (15km 以内) 而言, 可认为单差大气误差近似为零。如果只考虑一个静态基站和一个流动站的定位情况, 则基站坐标改正数为 0。

2.2.2 站星间双差观测方程

在 2.1.1 节站间单差的基础上, 考虑静态基站的情况, 再对卫星间求差。对于同步观测的两颗卫星, 对两颗卫星的站间单差方程求差, 可得双差定位方程为:

$$\begin{aligned}\Delta \nabla \rho_{12}^j &= \Delta \nabla R_{12}^{ij0} + \nabla l^j dX + \nabla m^{ij} dY + \nabla n^{ij} dZ + \Delta \nabla \varepsilon_\rho \\ \lambda \Delta \nabla \varphi_{12}^j &= -\lambda \Delta \nabla N_{12}^{ij} + \Delta \nabla R_{12}^{ij0} + \nabla l^j dX + \nabla m^j dY + \nabla n^{ij} dZ + \Delta \nabla \varepsilon_\varphi\end{aligned}\quad (2.29)$$

其中:

∇ : 星间单差算子;

$\Delta \nabla$: 站星间双差算子;

其余符号与 2.1.1 节保持一致。双差消除了接收机钟差之差未知数, 不过观测值的个数也减少了一个。载波相位观测方程中, 初始相位模糊度只剩下整数部分, 为模糊度的解算提供了有利的整数条件。

2.2.3 中长基线站星间双差无电离层观测方程

电离层、对流层延迟在较小区域内具有较强的空间相关, 因而对于短基线 (15km 以内) 而言, 可认为单差大气误差近似为零。而对于超过 15-20km 的基线而言, 大气误差成为影响实时动态定位精度和收敛性能的重要因素。对中长基线可采用其 1、2 频点的同类型观测方程做无电离层组合消除中长基线未完全消除的双差电离层延迟误差, 模型如下:

$$\begin{cases} \Delta\nabla\rho_{12,IF}^{ij} = \Delta\nabla R_{12}^{ij0} + \nabla l^{ij}dX + \nabla m^{ij}dY + \nabla n^{ij}dZ + \Delta\nabla d_{trop12}^{ij} + \Delta\nabla\varepsilon_{\rho_{ij}} \\ \lambda\Delta\nabla\varphi_{12,IF}^{ij} = -\lambda\Delta\nabla N_{12,IF}^{ij} + \Delta\nabla R_{12}^{ij0} + \nabla l^{ij}dX + \nabla m^{ij}dY + \nabla n^{ij}dZ \\ \quad + \Delta\nabla d_{trop12}^{ij} + \Delta\nabla\varepsilon_{\varphi_{IF}} \end{cases} \quad (2.30)$$

对于双差对流层延迟，可在接收机端进行估计。

2.2.4 多星座 RTK

当实时动态定位算法中涉及到多系统 GNSS 信号时，由于时空系统的差异，若未精密考虑其中的误差，则会对定位结果带来不利的影响。对于时空间基准统一，可通过坐标、时间转换将其统一至 GPS 时空基准。

需要注意的是，每个卫星系统具有对应的接收机钟差，若统一至 GPS，则对其他系统的双差观测值，则需考虑系统间时间偏差（ISB）的影响。然而不失一般性和可靠性，本软件采用系统内双差的做法，即站星双差操作仅对同卫星系统的观测值进行，即可消除系统内的接收机钟差，与 2.1.2 节的观测方程无异。

第三章 环境要求和许可证

3.1 环境要求

安装包中的 Windows 可执行 CUI 应用程序是由 VS (Microsoft Visual Studio) 在 Windows 11 (64 位)上构建的。文件夹中包含了所有必需的动态链接库。此外还在 CentOS Linux release 7.7.1908 和 x64 CPU 上构建了 CUIAP 和 Linux 共享库并进行了测试。对于 Macintosh, CUI AP 和动态库是在 MacOS 10.15.3 上使用 AppleClang 11.0.3.11030032 构建的, 内核版本为 Darwin 19.3.0。

此外, 用户可以使用开源、跨平台的编译工具 CMake 在他们自己的操作系统(Windows、Linux 或 Macintosh)上构建可执行的二进制应用程序。

3.2 许可证

GREAT-PVT 是一个开源软件, 遵循 GNU 通用公共许可证(版本 3) (<https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html>)。

3.3 Python 虚拟环境

GREAT-PVT 提供了一些辅助 python 脚本, 这些脚本需要 python 3.7 (或更高版本)环境和一些 python 包。因此我们建议您创建一个运行这些脚本的虚拟环境 (venv)。有关 venv 的详细说明, 请参阅官方文件链接 (<https://docs.python.org/3/tutorial/venv.html>)。

3.4 版权

开发人员:

- 武汉大学 GREAT 团队, Wuhan University

三方库:

- GREAT-PVT 使用 G-Nut 库(<http://www.pecny.cz/>)Copyright (C) 2011-2016 GOP - Geodetic Observatory Pecny, RIGTC
- GREAT-PVT 使用 pugixml 库 (<http://pugixml.org>) Copyright (C) 2006-2014 Arseny Kapoulkine
- GREAT-PVT 使用 Newmat 库(http://www.robertnz.net/nm_intro.htm)Copyright (C) 2008: R B Davies

- GREAT-PVT 使用 spdlog 库 (<https://github.com/gabime/spdlog>) Copyright(c) 2015-present, Gabi Melman & spdlog contributors
- GREAT-PVT 使用 Eigen 库 (<https://eigen.tuxfamily.org>) Copyright (C) 2008-2011 Gael Guennebaud
- 脚本工具使用部分 FAST 源码 (<https://github.com/ChangChuntao/FAST>) Copyright (C) The GNSS Center, Wuhan University & Chinese Academy of Surveying and mapping

第四章 编译与安装

该软件包可以通过网站 <https://github.com/GREAT-WHU> 访问。将软件包 GREAT-PVT_<ver>.zip 解压到适当的目录 <install_dir>。GREAT-PVT 目录结构如下。

表 4.1 GREAT-PVT 软件目录结构

目录/文件	目录/文件	说明
./bin		可执行程序
	./Linux	Linux 系统可执行程序
	./Windows	Windows 系统可执行程序
./src		源代码
	./app	GREAT-PVT 主程序
	./LibGREAT	PPP、RTK 解算库
	./LibGnut	Gnut 库
	./third-party	三方库（Eigen）
	CMakeLists.txt	CMakeLists 文件
./ sample_data		算例数据
	./PPPFLT_2023304	PPP 算例
	./RTKFLT_2020351	RTK 算例
./util		脚本工具
	./ batch_process	PPP 批处理脚本
	./plot	画图脚本
	./poleut1	地球定向参数生成程序
./doc		文档文件
	GREAT_PPP.xml	PPP 配置文件模板
	GREAT_RTK.xml	RTK 配置文件模板
	GREAT-PVT_1.0.pdf	用户指南

4.1 Windows

您可以使用文件夹 `<install_dir>/GREAT-PVT_<ver>/bin/Windows` 下的现有程序，或者自行编译可执行程序。以下说明展示了如何在 Windows 上构建 GREAT-PVT 可执行程序。

(1) 通过网站 (<https://cmake.org/download/>) 获取并安装 CMake。请注意，CMake 版本的最低要求是 3.0.0。

(2) 执行 `cmake-gui`。

(3) 执行 “Browse Source...”，然后选择目录 `<install_dir>/GREAT-PVT_<ver>/src`，或者将目录 `<install_dir>/GREAT-PVT_<ver>/src` 中的 `CMakeList.txt` 拖放到 `cmake-gui` 界面。然后将属性 “Where to build the binaries” 修改为 `<install_dir>/GREAT-PVT_<ver>/src/build`。

(4) 执行 “Configure” 并为项目选择集成开发环境 (Integrated Development Environment, IDE) (仅在第一次单击 “Configure” 按钮时出现)。

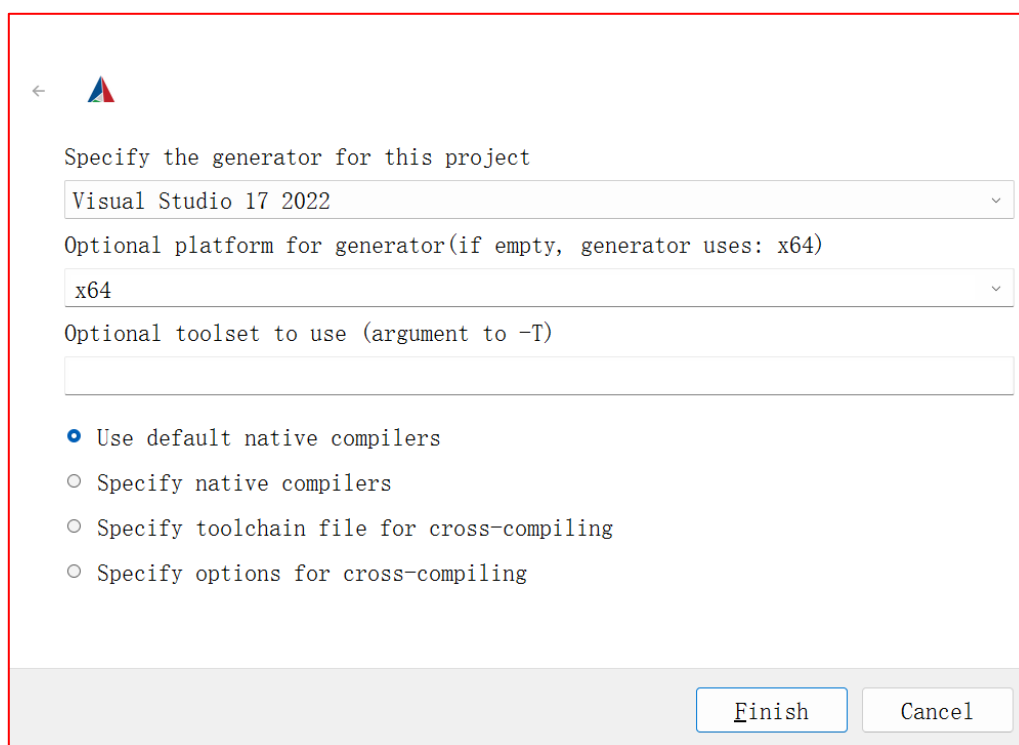


图 4.1 IDE 选择示例

(5) 配置三方库路径。

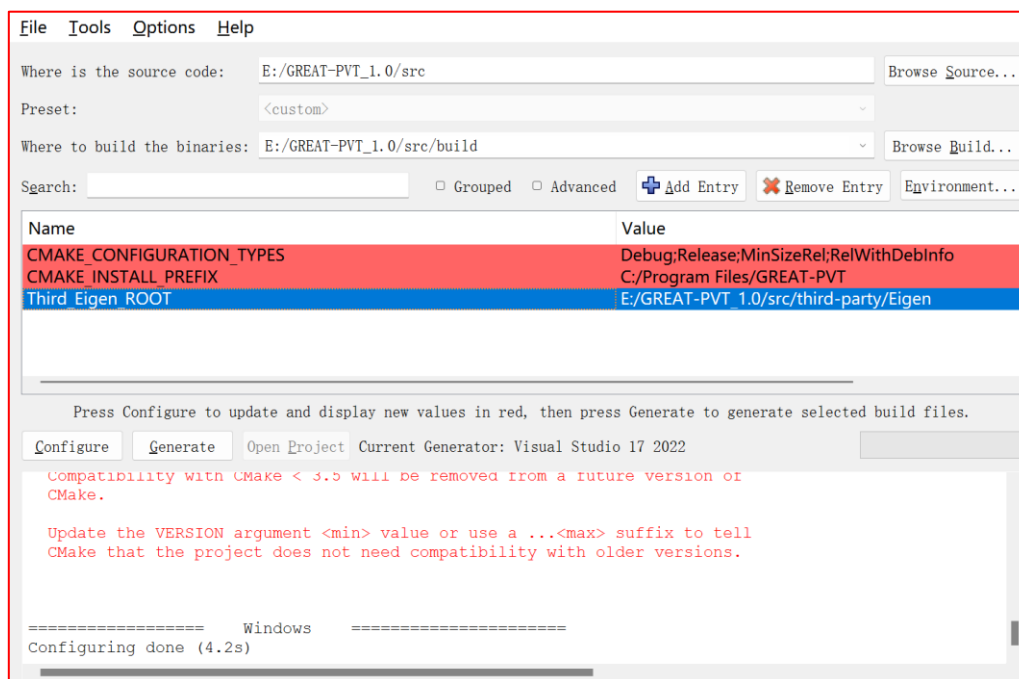


图 4.2 配置三方库路径

(6) 执行 “Generate” 将构建文件写入 `<install_dir>/GREAT-PVT_<ver>/src/build`。

(7) 执行 “Open Project”，然后在相应的 IDE 中编译源代码。

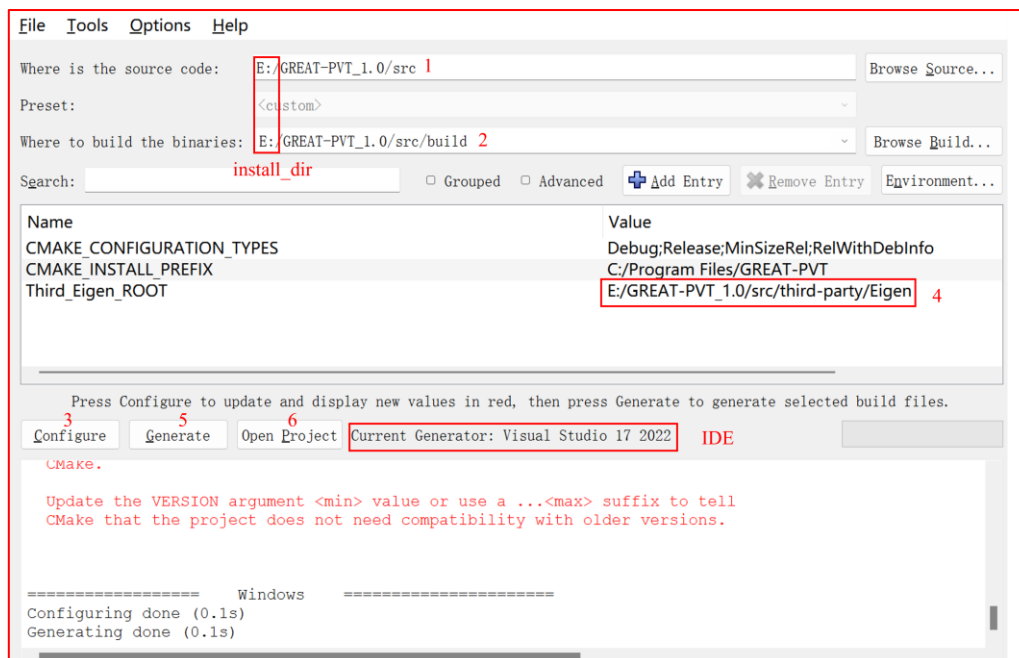


图 4.3 GREAT-PVT 在 Windows 环境下的编译过程

4.2 Linux

对于 Linux 环境，您可以使用文件夹 `<install_dir>/GREAT-PVT<ver>/bin/<platform> (Linux)` 下的现有程序。在此之前，请在终端中输入 `export LD_LIBRARY_PATH=<install_dir>/GREAT-PVT_<ver>/bin/Linux` 以加载相关的共享库。您也可以按照以下说明在 Linux 上重新构建 GREAT-PVT 可执行程序。

(1) 通过网站 (<https://cmake.org/download/>) 获取 CMake 并安装。请注意，CMake 的最低版本要求是 3.0.0。

(2) 在目录 `<install_dir>/GREAT-PVT_<ver>/src` 中创建 “build” 目录并切换到该目录。

1. mkdir build

2. cd build/

(3) 执行 `cmake3 ../` 然后执行 `make -j8` 以编译源代码。GREAT-PVT 的可执行程序可以在 `<install_dir>/GREAT-PVT_<ver>/src/build_Linux/Bin` 中找到。

3. cmake3 ..

4. make -j8

```

(base) [wanghao@new-c7-03 src]$ mkdir build
(base) [wanghao@new-c7-03 src]$ cd build/
(base) [wanghao@new-c7-03 build]$ cmake3 ..
-- The C compiler identification is GNU 4.8.5
-- The CXX compiler identification is GNU 4.8.5
-- Check for working C compiler: /usr/bin/cc
-- Check for working C compiler: /usr/bin/cc - works
-- Detecting C compiler ABI info
-- Detecting C compiler ABI info - done
-- Detecting C compile features
-- Detecting C compile features - done
-- Check for working CXX compiler: /usr/bin/c++
-- Check for working CXX compiler: /usr/bin/c++ - works
-- Detecting CXX compiler ABI info
-- Detecting CXX compiler ABI info - done
-- Detecting CXX compile features
-- Detecting CXX compile features - done
=====
-- .000000. 00000000. 00000000000 .0. 000000000000
-- d8P' `Y8b `888 `Y88. `888' `8 .888. 8' 888 `8
-- 888 888 `d88' 888 .8'888. 888
-- 888 88800088P' 88800008 .8' `888. 888
-- 888 00000 888'88b. 888 " .880008888. 888
-- `88. `88' 888 `88b. 888 o .8' `888. 888
-- `Y8b00d8P' o888o o888o o88800000d8 o88o o8888o o888o
=====
-- The GREAT (GNSS+ Research, Application and Teaching) software is designed and developed at Wuhan University for
-- scientific and engineering application and teaching in geodesy and navigation fields.
--
-- It is written in standard C++. GREAT-PVT supports multi-frequency multi-system PPP and RTK filtering solutions.
=====
-- Performing Test COMPILER_SUPPORTS_CXX11
-- Performing Test COMPILER_SUPPORTS_CXX11 - Success
-- Performing Test COMPILER_SUPPORTS_CXX0X
-- Performing Test COMPILER_SUPPORTS_CXX0X - Success
-- operation system is : Linux-5.4.0-170-generic
-- current platform is : Linux
-- CMake version is : 5.4.0-170-generic
-- C compiler is : /usr/bin/cc
-- C++ compiler is : /usr/bin/c++
-- Build directory is : /data02/lyxuan/test3/src/build_linux
-- The program main directory is : /data02/lyxuan/test3/src
spdlogexportgiogutisgcodersgmodelsгалldatagsetpugixmlgprocgprodgambfixnewmat
-- include path for LibGnut is : /data02/lyxuan/test3/src/third-party/Eigen
-- include path for is : /data02/lyxuan/test3/src/third-party/Eigen
-- include path for LibGREAT is : /data02/lyxuan/test3/src/LibGREAT
--
===== Not Windows =====
-- Configuring done
-- Generating done
-- Build files have been written to: /data02/lyxuan/test3/src/build
(base) [wanghao@new-c7-03 build]$ make -j8
Scanning dependencies of target LibGnut
[ 1%] Building CXX object ../build_linux/LibGnut/CMakeFiles/LibGnut.dir/gall/gallbias.cpp.o
[ 1%] Building CXX object ../build_linux/LibGnut/CMakeFiles/LibGnut.dir/gall/gallnav.cpp.o
[ 2%] Building CXX object ../build_linux/LibGnut/CMakeFiles/LibGnut.dir/gall/gallobj.cpp.o
[ 2%] Building CXX object ../build_linux/LibGnut/CMakeFiles/LibGnut.dir/gall/gallobs.cpp.o

```

图 4.4 Linux 系统 CMake 配置结果示例

在这里，CMake 将自动找到系统上的默认 C/C++ 编译器及其构建工具。如果 CMake 报告找不到编译器错误，如“CMake Error: CMAKE_C_COMPILER not set”，您应根据链接（<https://stackoverflow.com/questions/45933732/how-to-specify-a-compiler-in-cmake>）指定 C/C++ 编译器的路径。同样，您可以根据链接（<https://cmake.org/cmake/help/latest/manual/cmake-generators.7.html>）为 CMake 指定构建工具。

第五章 软件和工具使用说明

5.1 数据下载

GREAT-PVT 软件所需的输入文件包括观测值、广播星历、精密轨道、精密钟差、差分码偏差 (Differential Code Bias, DCB)、频率间钟偏差 (Inter-frequency Clock Bias, IFCB)、未校准相位硬件延迟 (Uncalibrated Phase Delay, UPD)、IGS 天线文件、行星星历文件、海潮文件、地球定向参数文件, 其中 GREAT-UPD 与 GREAT-IFCB 已经开源在 <https://github.com/GREAT-WHU> 上, 表 5.1 和表 5.2 分别列出了 GREAT-PVT 软件所需输入文件的格式说明和获取方式:

表 5.1 GREAT-PVT 输入文件及文件格式

输入文件	文件描述	文件格式说明
RINEXO	GNSS 观测值	https://files.igs.org/pub/data/format/rinex304.pdf
RINEXN	广播星历	https://files.igs.org/pub/data/format/rinex304.pdf
SP3	精密轨道	https://files.igs.org/pub/data/format/sp3d.pdf
RINEXC	精密钟差	https://files.igs.org/pub/data/format/rinex_clock304.txt
DCB	差分码偏差	https://files.igs.org/pub/data/format/sinex_bias_100.pdf
IFCB	频率间钟偏差	https://github.com/GREAT-WHU/GREAT-IFCB/blob/main/doc/GREAT-IFCB_1.0.pdf
UPD	未校准相位 硬件延迟	https://github.com/GREAT-WHU/GREAT-UPD/blob/main/doc/GREAT-UPD_1.0.pdf
jpleph_de405	行星星历	https://ssd.jpl.nasa.gov/planets/eph_export.html
oceanload	海潮文件	http://holt.oso.chalmers.se/loading/example_blq.html
poleut1	地球定向参数文件	参见附录 7.3
atx	天线文件	https://files.igs.org/pub/station/general/antex14.txt

表 5.2 GREAT-PVT 输入文件及数据获取方式

输入文件	文件描述	数据获取方式说明
RINEXO	GNSS 观测值	https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/data/daily/
RINEXN	广播星历	https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/data/daily/2024/brdc/
SP3	精密轨道	https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/
RINEXC	精密钟差	https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/
DCB	差分码偏差	https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/bias/
IFCB	频率间钟偏差	https://github.com/GREAT-WHU/GREAT-IFCB
UPD	未校准相位硬件延迟	https://github.com/GREAT-WHU/GREAT-UPD
jpleph_de405	行星星历	https://ssd.jpl.nasa.gov/ftp/eph/planets/Linux/
oceanload	海潮文件	http://holt.oso.chalmers.se/loading
poleut1	地球定向参数文件	参见附录 7.3
atx	天线文件	https://files.igs.org/pub/station/general/pcv_archive/

5.2 GREAT-PVT 软件

5.2.1 单天解算

在进行 GREAT-PVT 精密定位解算之前，用户需要生成 XML（Extensible Markup Language，可扩展标记语言）格式的配置文件，PPP 和 RTK 解算的配置文件的具体设置请参见附录 7.4 和 7.5。为方便参考和修改，分别为 PPP 和 RTK 解算提供了名为“GREAT_PPP.xml”和“GREAT_RTK.xml”的模板配置文件，该文件位于<install_dir>/GREAT-PVT_<ver>/doc 文件夹下。

要在单个项目中运行 GREAT-PVT，用户只需要输入命令行：

1. `cd <path_to_config>`
2. `<path_to_executable>/GREAT-PVT -x <CONFIG>.xml`

<path_to_config>、<path_to_executable>和<CONFIG>分别表示配置文件路径、GREAT-PVT 可执行程序的路径和 xml 配置文件名，PPP 与 RTK 解算的结果文件格式可参见附录 7.6。

5.2.2 多天解算

GREAT-PVT 提供了 PPP 批处理解算 python 脚本和示例数据，位于文件夹 <install_dir>/GREAT-PVT_<ver>/util/batch_process 中，文件目录结构如下：

表 5.3 PPP 批处理文件目录结构

目录/文件	说明
./data	批处理示例数据
./ini	配置文件
./project	批处理结果输出文件夹
./PythonScripts	Python 脚本文件
./sitelist	测站列表
./xml	批处理模板 xml

PythonScripts 文件夹下各脚本描述如下：

表 5.4 PPP 批处理脚本文件说明

Python 脚本	说明
run_cmd_pppflt_multi.py	PPP 批量解算主程序脚本
gnss_sitelist_io.py	提供 GNSS 测站文件的读取总接口
gnss_ini_tool.py	用于管理数据池，读取输入数据
gnss_print_tool.py	负责将解算过程的关键信息和状态实时输出到终端
gnss_run_tool.py	提供命令行的操作和执行功能
gnss_timestran_tool.py	负责 GNSS 数据处理中的时间格式转换与计算
gnss_xml_tool.py	对 XML 配置文件的解析与生成

表 5.5 给出 ./ini 文件下 run_pppflt.ini 配置文件说明，首先有以下定义：

YYYY: 4 位数的年份；**YY**: 2 位数的年份；**MM**: 2 位数月份；**DD**: 2 位数天；

DOY: 3 位数年积日；

hh: 2 位数小时；**mm**: 2 位数分钟；**ss**: 2 位数秒；

SITE：测站名。

表 5.5 PPP 批处理配置文件说明

配置节点	说明
beg_time	起始时间<YYYY DOY>
end_time	结束时间<YYYY DOY>
int_time	解算时间间隔（天）
site_path	测站列表路径
project_path	结果输出文件路径
great_pppflt	GREAT-PVT 可执行程序路径
great_pppflt_xml	批处理模板 xml 文件路径
rinexo_name	观测值文件名 例如<SITE><DOY>0.<YY>o
rinexc_name	精密钟差文件名 例如 COD0MGXFIN_<YYYY><DOY>0000_01D_30S_CLK.CLK
rinexn_name	广播星历文件名 例如 brdc <DOY>0.<YY>p
bia_name	差分码偏差文件名 例如 CAS0MGXRAP_<YYYY><DOY>0000_01D_01D_DCB.BSX
sp3_name	精密星历文件名 例如 COD0MGXFIN_<YYYY><DOY>0000_01D_05M_ORB.SP3
ifcb_name	频率间钟偏差文件名 例如 ifcb_<YYYY><DOY>
upd_name	未校准相位硬件延迟文件名 例如 upd_wl_<YYYY><DOY>_GREC upd_nl_<YYYY><DOY>_GREC
system_de	行星星历文件 jpleph_de405_great
system_atx	天线文件 igs20_2290.atx
system_blq	海潮文件 oceanload

配置节点	说明
system_eop	地球定向参数文件 poleut1
system_path	系统文件路径
rinexo_path	观测值文件路径
rinexc_path	精密钟差文件路径
rinexn_path	广播星历文件路径
bia_path	差分码偏差文件路径
sp3_path	精密星历文件路径
ifcb_path	频率间钟偏差文件路径
upd_path	未校准相位硬件延迟文件路径

将数据准备在 **./data** 文件夹下后，设置配置文件 “**run_pppflt.ini**”，如图 5.1 所示，在运行脚本前，用户首先通过以下命令安装依赖项包：

1. **pip install lxml**

进行多天 PPP 解算，用户需输入命令：

```
2. python3 <install_dir>/GREAT-PVT_<ver>/util/batch_process/PythonScripts/run_cmd_pppflt_multi.py -year <YYYY> -beg <DOY> -end <DOY> -ini <install_dir>/GREAT-PVT_<ver>/util/batch_process/ini/run_pppflt.ini
```

运行完毕后，“**project**”文件夹中会生成<YYYY>_<DOY>格式批处理结果文件夹，文件夹中包含每天的 xml 配置文件和 flt 结果文件。

```
[great_pppflt]
#起始时间
beg_time = 2023 305
#结束时间
end_time = 2023 306
#解算间隔
int_time = 1
#测站列表
site_path = /mnt/e/GREAT-PVT_1.0/util/batch_process/sitelist/site_list_ppp.txt
#结果输出文件
project_path = /mnt/e/GREAT-PVT_1.0/util/batch_process/project
#GREAT-PVT可执行程序
great_pppflt = /mnt/e/GREAT-PVT_1.0/bin/Linux/GREAT_PVT
#批处理模板xml
great_pppflt_xml = /mnt/e/GREAT-PVT_1.0/util/batch_process/xml/GREAT_PPP.xml

[data_pool]
#输入文件及路径
rinexo_name = <SITE><DOY>0.<YY>o
rinexc_name = COD0MGXFIN_<YYYY><DOY>0000_01D_30S_CLK.CLK
rinexn_name = brdc<DOY>0.<YY>p
bia_name = CAS0MGXRAP_<YYYY><DOY>0000_01D_01D_DCB.BSX
sp3_name = COD0MGXFIN_<YYYY><DOY>0000_01D_05M_ORB.SP3
ifcb_name = ifcb_<YYYY><DOY>
upd_name = upd_wl_<YYYY><DOY>_GREC~upd_n1_<YYYY><DOY>_GREC
system_de = jpleph_de405_great
system_atx = igs20_2290.atx
system_bllq = oceanload
system_eop = poleut1
system_path = /mnt/e/GREAT-PVT_1.0/util/batch_process/data/sys
rinexo_path = /mnt/e/GREAT-PVT_1.0/util/batch_process/data/obs/<YYYY><DOY>
rinexc_path = /mnt/e/GREAT-PVT_1.0/util/batch_process/data/clk
rinexn_path = /mnt/e/GREAT-PVT_1.0/util/batch_process/data/rinexn
bia_path = /mnt/e/GREAT-PVT_1.0/util/batch_process/data/bia
sp3_path = /mnt/e/GREAT-PVT_1.0/util/batch_process/data/sp3
ifcb_path = /mnt/e/GREAT-PVT_1.0/util/batch_process/data/ifcb
upd_path = /mnt/e/GREAT-PVT_1.0/util/batch_process/data/upd
```

图 5.1 PPP 批处理 ini 配置文件

5.3 结果绘图和分析工具

GREAT-PVT 提供了 python 脚本来绘制和分析 PPP 与 RTK 结算结果，这些脚本位于文件夹<install_dir>/GREAT-PVT_<ver>/util/plot 中，文件目录结构如下：

表 5.6 PPP 批处理文件目录结构

目录/文件	说明
./data_ppp	PPP 结果文件
./data_rtk	RTK 结果文件
./ PythonScripts	画图脚本
./output	PPP 绘图结果输出文件

5.3.1 PPP 结果绘制

(1) 在进行 PPP 结果绘制之前，确保已安装以下第三方库：

- [tqdm](#)
- [matplotlib](#)

- [numpy](#)

(2) 用户需要准备以下两类文件：

1. SINEX 文件，将其放入 `./data_ppp/snx/` 文件夹下；
2. GREAT-PVT 解算得到的浮点解与固定解的文件，浮点解文件放入 `./data_ppp/sta_float/` 文件夹下，固定解文件放入 `./data_ppp/sta_fix/` 文件夹下。

(3) 数据文件准备好后，首先使用“[snx_to_crd.py](#)”脚本将 sinex 文件转换为自定义测站精密坐标 crd 文件，打开“[snx_to_crd.py](#)”脚本，可在主函数中修改时间和文件路径，相关说明可见表 5.7。图 5.2 给出了配置示例，运行完毕后会 `./data_PPP/crd` 文件夹下输出 crd 文件。

表 5.7 `snx_to_crd.py` 配置说明

配置节点	说明
<code>year</code>	年<YYYY>
<code>day</code>	天<DOY>
<code>sinex_path</code>	sinex 文件路径（输入）
<code>crd_path</code>	crd 文件路径（输出）

```
# 年
year = 2023
# 年积日
day = 305
# snx 文件夹路径
sinex_path = rf"..\\data_ppp\\snx"
# crd 文件夹路径（输出目录）
crd_path = rf"..\\data_ppp\\crd"
```

图 5.2 `snx_to_crd.py` 配置示例

(4) 打开“[ppp_plot.py](#)”，可修改测站列表信息、时间和文件路径等，相关配置说明参见表 5.8。图 5.3 给出了配置示例，运行完毕后会 `./output` 文件夹下生成该日的结果文件，其中 png 文件为对应测站的误差序列图，sum 文件为相关统计数据。

表 5.8 `ppp_plot.py` 配置说明

配置节点	说明
siteList	测站列表<SITE>
year	年<YYYY>
day	天<DOY>
type1	数据类型 1（ppp-float）
type2	数据类型 2（ppp-fix）
fltPath1	对应 type1 的数据路径（输入）
fltPath2	对应 type2 的数据路径（输入）
savePath	保存的结果路径（输出）
crd_path	crd 文件路径（输入）

```

siteList = [
    "AC23", "AC24", "WUH2", "POTS", "GODN", "GODS",
    "MBAR", "SGOC", "ASCG", "PARK", "CPVG", "ALIC", "HERS"
]

# 数据的年份
year = 2023
# 数据的年积日
day = 305
# 设置数据类型: 浮点解(ppp-float)或者固定解(ppp-fixed)
type1 = "PPP-float"
type2 = "PPP-fixed"

# 对应 type1 的测站数据
fltPath1 = rf"..\data_ppp\sta_float"
# 对应 type2 的测站数据
fltPath2 = rf"..\data_ppp\sta_fix"
# 保存的结果目录
savePath = rf"..\output"
# gnss_crd_io.py 脚本输出的 crd 文件路径
crdPath = rf"..\data_ppp\crd\snx_igs_2023_305.crd"

```

图 5.3 ppp_plot.py 配置示例

5.3.2 RTK 结果绘制

- 在进行 PPP 结果绘制之前，确保已安装以下第三方库：
 - [pandas](#)
 - [matplotlib](#)
 - [numpy](#)
- 在 `./data_rtk` 文件夹中存放 GREAT-PVT 解算的 RTK 结果文件与参考真值文件。

- (3) 打开“**rtk_plot.py**”脚本，可修改 RTK 结果文件和参考坐标文件路径，相关说明参见表 5.9。图 5.5 给出了配置示例，运行“**rtk_plot.py**”即可得到 RTK 结果与参考值在 ENU 方向上的误差序列。

表 5.9 rtk_plot 配置说明

配置节点	说明
calc_result_file	RTK 结果坐标文件
true_value_file	参考真值坐标文件

```
# 文件路径
calc_result_file = r'../data_rtk/SEPT-RTK.flt'
true_value_file = r'../data_rtk/TC_CombinedtoGNSS.txt'
```

图 5.5 rtk_plot.py 配置

第六章 算例数据处理说明

6.1 PPP 算例

6.1.1 数据准备

PPP 算例数据在文件夹 <install_dir>/GREAT-IFCB_<ver>/sample_data/PPPFLT_2023305，选取 2023 年 11 月 1 日 HERS 站和 ALIC 站数据进行 PPP 解算，文件目录结构如下：

表 6.1 PPP 算例文件目录结构

目录/文件	说明
./gnss	GNSS 数据文件夹
./model	系统文件夹
./obs	观测值文件夹
./upd	upd 文件夹
./xml	xml 配置文件夹
./result	结果输出文件夹

6.1.2 参数配置

(1) 设置浮点解或固定解

若计算 PPP 浮点解则需要将 xml 文件中<fix_mode>节点设为“NO”，而计算 PPP 固定解则需要将<fix_mode>节点设为“SEARCH”，此外，计算固定解还需输入 UPD 文件，并且输入的精密轨道、钟差和 DCB 产品需要与 UPD 生成所使用产品保持一致。

(2) 设置静态解或动态解

若计算 PPP 静态解则需要将 xml 文件中<pos_kin>节点设为“false”，<noise_crd>节点设为 0；而计算 PPP 动态解则需要将<pos_kin>节点设为“true”，此外，将<noise_crd>节点设为 100。

(3) 设置双频、多频解

GREAT-PVT 支持无电离层组合、非差非组合 PPP 解算，其中无电离层组合支持双频解算，非差非组合支持双频与多频解算。在./xml 文件夹下分别提供了双频与多频 PPP 解算 xml 配置文件，xml 详细设置请参见附录 7.4。

6.1.3 数据解算

PPP 数据解算分为以下几步：

- (1) 在 Visual Studio 解决方案资源管理器中打开 app 文件夹，右键 GREAT_PVT，将 GREAT_PVT 设为启动项目。

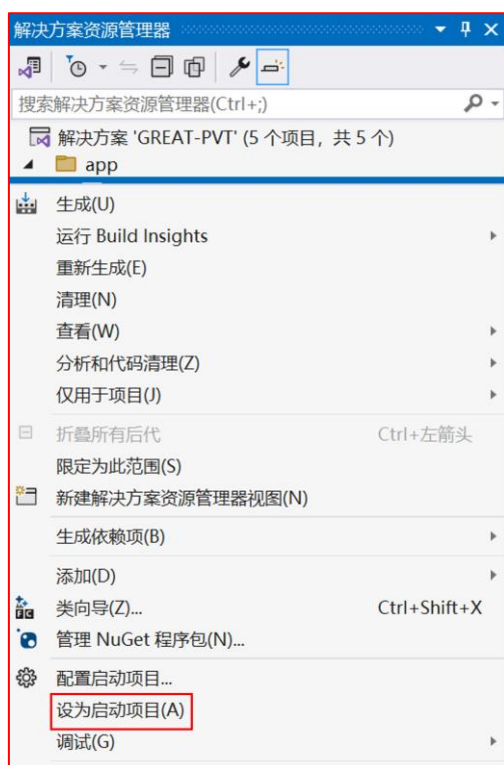


图 6.1 GREAT_PVT 设为启动项目

- (2) 右键 GREAT_PVT，选择属性，将算例所在目录设为工作目录，并设置命令参数。

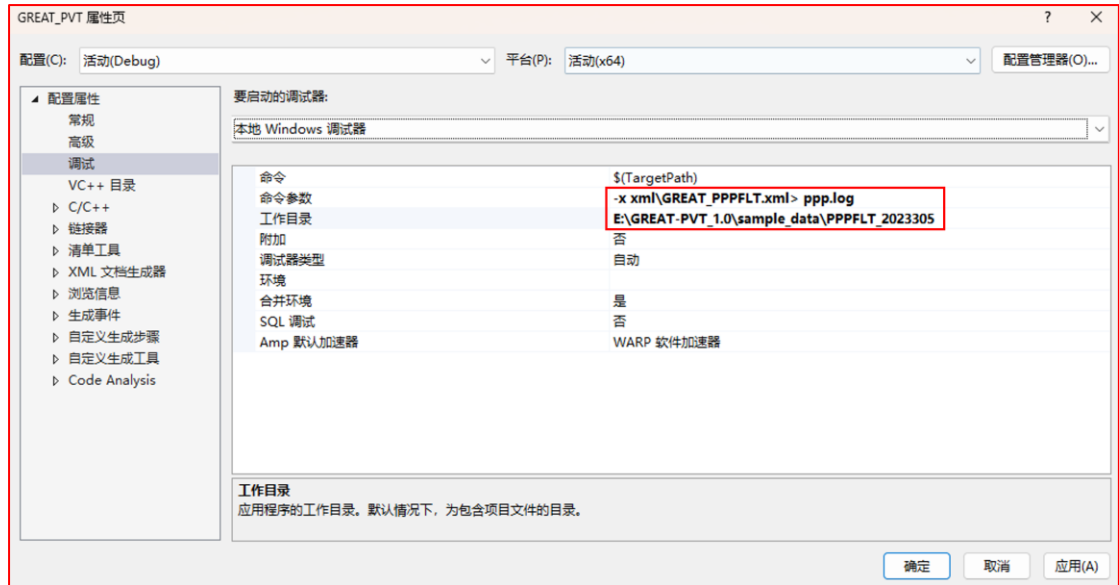


图 6.2 PPP 解算命令参数和工作目录设置

(3) 运行即可。

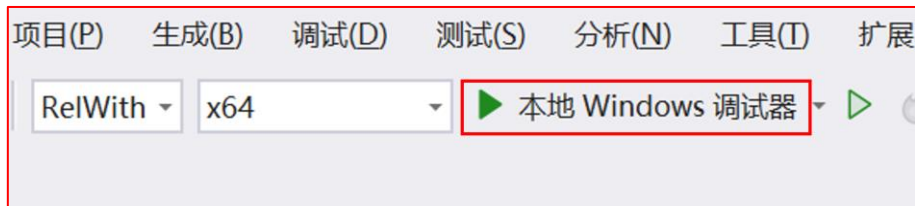


图 6.3 运行 GREAT-PVT

6.1.4 结果绘制

对于每一个站点，我们计算了 24 小时内的静态和仿动态 PPP 浮点解与固定解，为了评估结果的准确性，使用 IGS 日解坐标作为参考值，按照 5.3.1 小节绘制东、北、天（East、North、Up，ENU）方向上误差序列图，图 6.4、6.5 分别为 HERS 站和 ALIC 站四系统双频静态 PPP 结果，图 6.7、6.8 分别为 HERS 站和 ALIC 站四系统双频仿动态 PPP 结果。

计算 HERS 和 ALIC 测站 24 小时内 ENU 三个方向上误差的均方根值（Root Mean Square，RMS）和模糊度固定率，统计结果如表 6.2 和 6.3 所示，与 PPP 浮点解三个方向 RMS 相比，固定解 PPP 三个方向上 RMS 的统计分量有所减小，尤其在东方向上，HERS 站静态解和动态解分别减小了 31.6%和 44.4%，ALIC 站静态解和动态解分别减小了 26.3%和 28.6%。

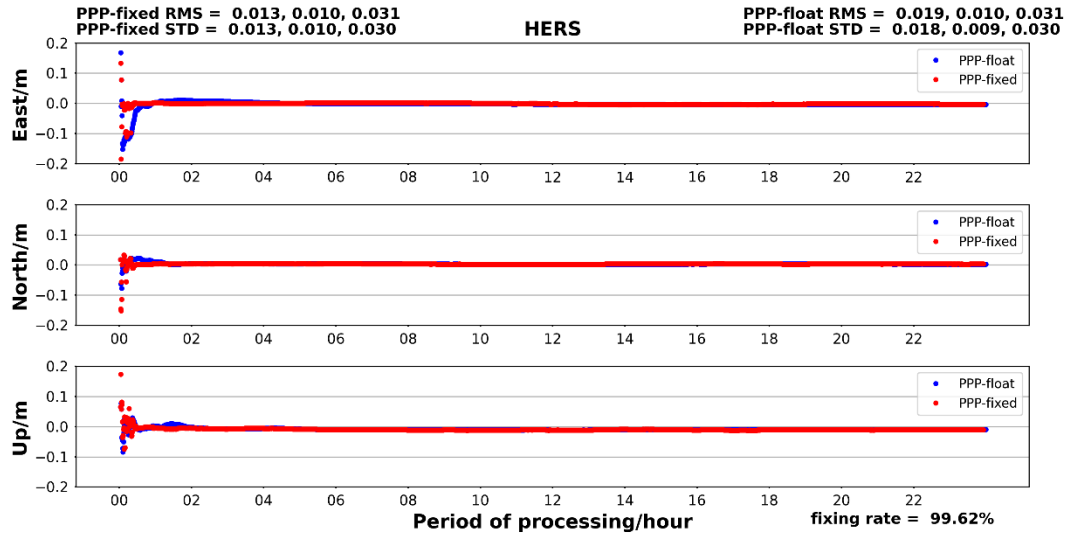


图 6.4 HERS 站静态 PPP 浮点解与固定解误差

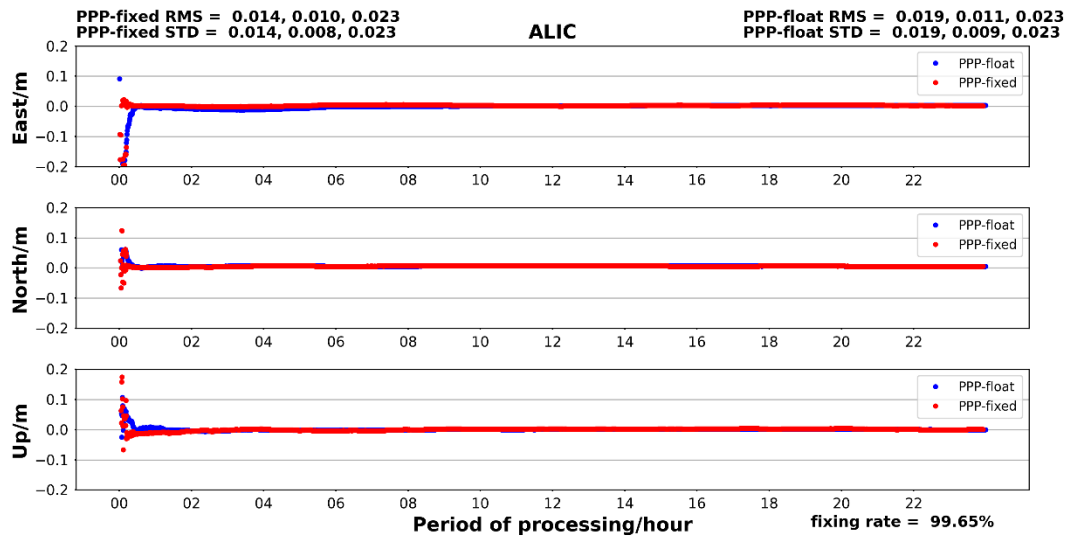


图 6.5 ALIC 站静态 PPP 浮点解与固定解误差

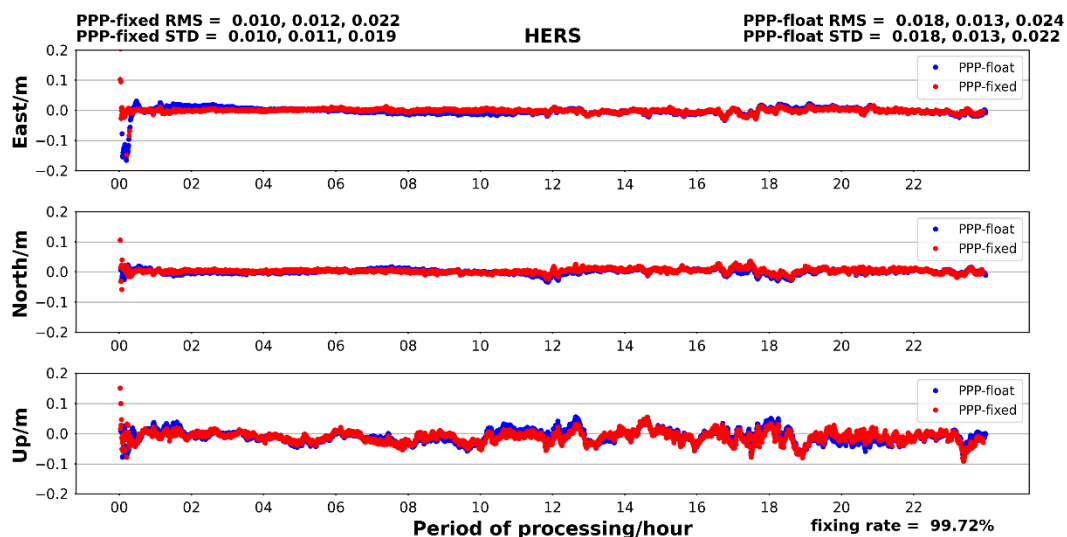


图 6.6 HERS 站仿动态 PPP 浮点解与固定解误差

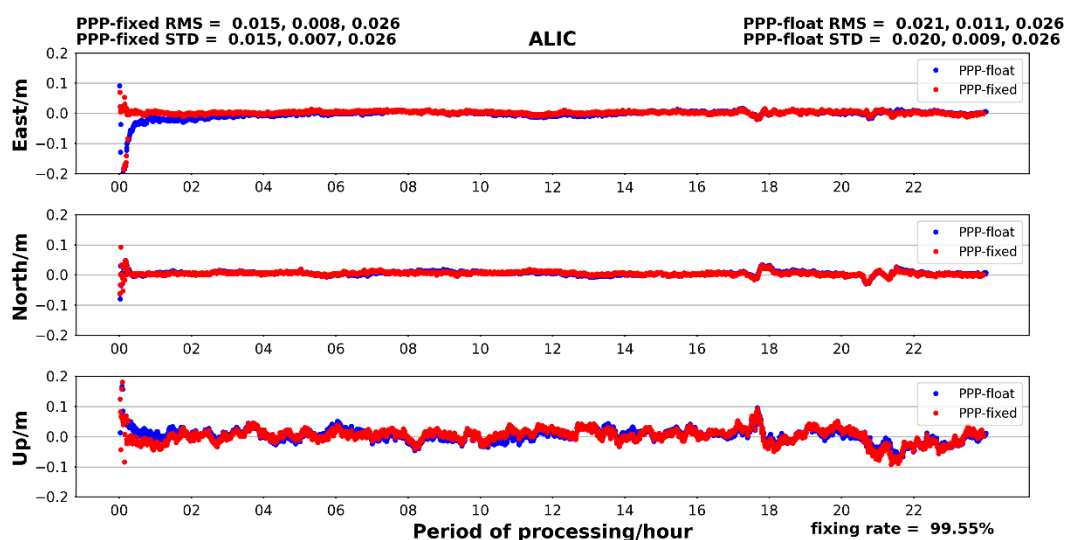


图 6.7 ALIC 站仿动态 PPP 浮点解与固定解误差

表 6.2 HERS 站 PPP 解算统计结果

解类型	RMS (cm)			固定率
	East	North	Up	
静态浮点解	1.9	1.0	3.1	-
静态固定解	1.3	1.0	3.1	99.62%
动态浮点解	1.8	1.3	2.4	-
动态固定解	1.0	1.2	2.2	99.72%

表 6.3 ALIC 站 PPP 解算统计结果

解类型	RMS (cm)			固定率
	East	North	Up	
静态浮点解	1.9	1.1	2.3	-
静态固定解	1.4	1.0	2.3	99.65%
动态浮点解	2.1	1.1	2.6	-
动态固定解	1.5	0.8	2.6	99.55%

6.2 RTK 算例

6.2.1 数据准备

RTK 算例数据在文件夹 <install_dir>/GREAT-IFCB_<ver>/sample_data/RTKFLT_2020351，该数据为城市环境下车载数据，GNSS 观测数据由 septentrio 接收机采集，流动站为 WUDA 站，参考真值为 IE 软件 RTK/INS 紧组合结果，文件目录结构如下：

表 6.4 RTK 算例文件目录结构

目录/文件	说明
./gnss	GNSS 数据文件夹
./model	系统文件夹
./obs	观测值文件夹
./reference	参考真值文件
./xml	xml 配置文件夹
./result	结果输出文件夹

6.2.2 参数配置

GREAT-PVT 支持单双频混合 RTK 解算，./xml 文件下提供了 RTK xml 示例配置文件“GREAT_RTKFLT.xml”，xml 详细设置请参见附录 7.5。

6.2.3 数据解算

RTK 数据解算分为以下几步：

- (1) 在 Visual Studio 解决方案资源管理器中打开 app 文件夹, 右键 GREAT_PVT, 将 GREAT_PVT 设为启动项目。

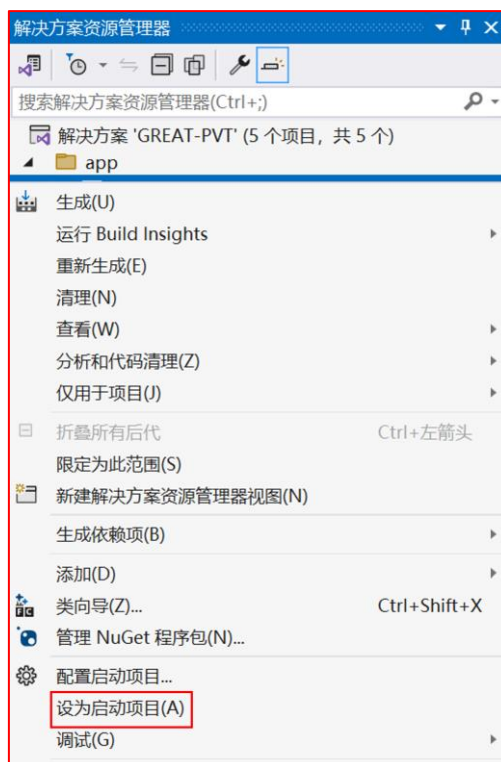


图 6.8 GREAT_PVT 设为启动项目

- (2) 右键 GREAT_PVT, 选择属性, 将算例所在目录设为工作目录, 并设置命令参数。

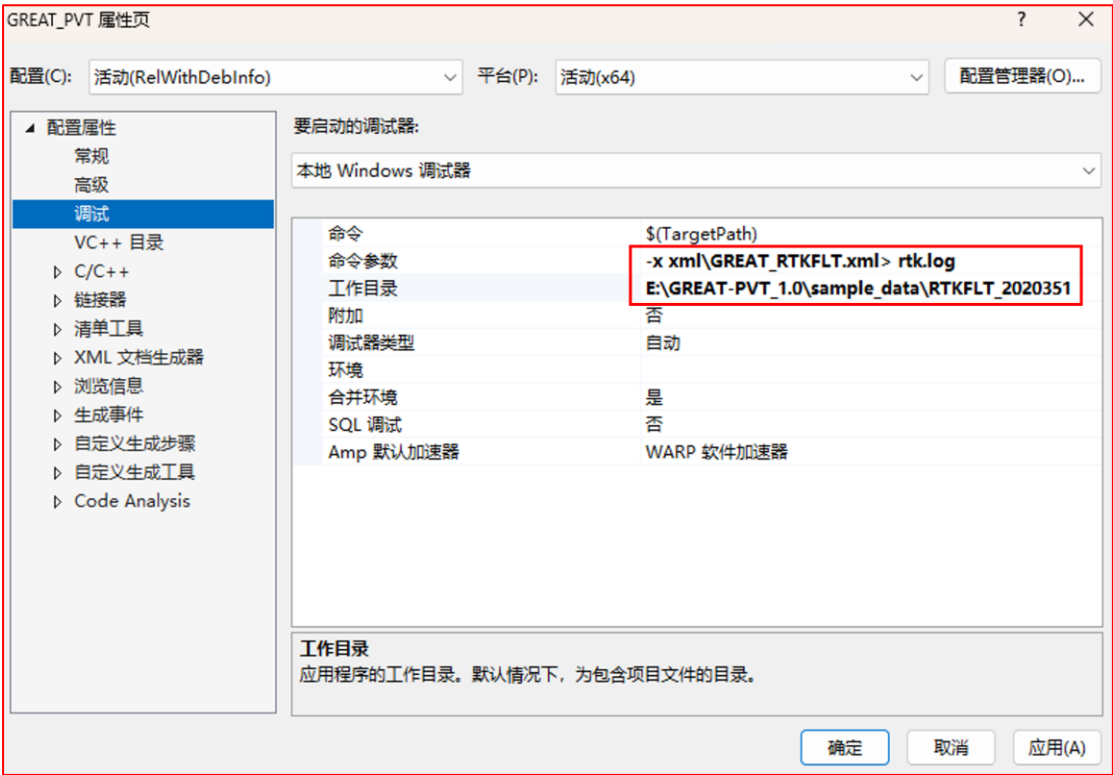


图 6.9 RTK 解算命令参数和工作目录设置

(3) 运行即可



图 6.10 运行 GREAT-PVT

6.2.4 结果绘制

将 GREAT-PVT 计算的 RTK 结果与参考真值结果按照 5.3.2 小节绘制 ENU 误差序列图，图 6.11 为示例数据 RTK 解算的 ENU 误差序列图，结果显示在观测环境较好的条件下，三个方向上的误差维持在 1 分米以内，ENU 方向上 RMS 统计结果为 (0.12, 0.30, 0.51) m。

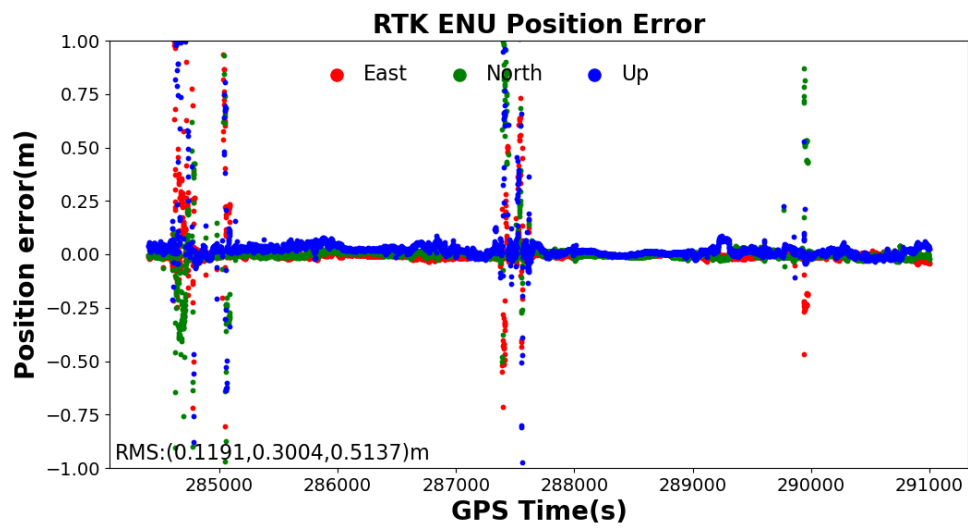


图 6.11 示例数据 RTK 结果 ENU 误差序列

第七章 附录

7.1 GREAT-UPD

GREAT-UPD 是 GREAT 软件中的一个重要模块，主要用于多频率多系统 UPD 估计。它可以为 GPS、GLONASS、Galileo 和 BDS (GREC) 卫星提供超宽巷 (Extra-Wide-Lane , EWL)、宽巷 (Wide-Lane , WL) 和窄巷 (Wide-Lane , NL) UPD，用于多频率多系统精密单点定位模糊度固定。开源的 GREAT-UPD 软件是用 c++ 11 语言编写的，遵循面向对象的原则，可以在 Windows、Linux 和 Macintosh 等几种流行的操作系统上编译和运行。软件包可从 <https://geodesy.noaa.gov/gps-toolbox/GREAT-UPD.htm> 获取，包括源代码、用户手册、批处理脚本、样例数据和一些辅助工具。相关出版物参见 <https://doi.org/10.1007/s10291-020-01070-2>。

7.2 GREAT-IFCB

频率间时钟偏差作为 GNSS 应用中的关键问题之一，近年来得到了广泛的研究。然而，由于缺乏公开可用的 IFCB 产品，用户无法充分利用多频 GNSS 观测结果。基于武汉大学 GREAT 软件平台，设计开发了一款开源软件 GREAT-IFCB，为多频段用户提供多 GNSS IFCB 产品。基于无几何距离和无电离层的多频观测组合，GREAT-IFCB 可以为 GPS、Galileo 和 BDS 卫星生成 IFCB 产品。开源的 GREAT-UPD 软件是用 c++ 11 语言编写的，遵循面向对象的原则，可以在 Windows、Linux 和 Macintosh 等几种流行的操作系统上编译和运行。软件包可从 <https://geodesy.noaa.gov/gps-toolbox/great-ifcb.shtml> 获取，包括源代码、用户手册、批处理脚本、样例数据和一些辅助工具。相关出版物参见 <https://doi.org/10.1007/s10291-023-01398-5>。

7.3 poleut1 文件说明

7.3.1 可执行程序与使用说明

在生成 poleut1 产品时，需要使用的可执行程序为 **conveop**，需要输入的命令行为：

```
./conveop $filename -inp $filename_old -out $filename_new -year <YYYY>
```

其中，**\$filename** 是需要下载的 finals2000A.data 文件，具体下载路径为

<https://cdsis.nasa.gov/archive/products/iers>

<https://datacenter.iers.org/data/10/finals2000A.data>

-inp 表示输入的 poleut1 产品，用于读取表头信息和文件格式，参数 **\$filename_old** 为旧的 poleut1 产品；

-out 表示输出的 poleut1 产品，不包含旧产品中的信息，参数 **\$filename_new** 为新生成的 poleut1 产品；

-year 用于控制生成 poleut1 产品的时间段。

此外，在工作目录下还应提供跳秒文件 leap_seconds。具体命令示例如下：

```
./conveop finals2000A.data -inp poleut1 -out poleut1_new -year 2024
```

7.3.2 产品文件说明

```
+poleut1
% UT1 type = UT1R
% Start&EndInterval =      60280      60625      1.00
% Num. of Vars&Units =      5      0.1D+01      0.1D+01      0.1D+01      0.1D+01      0.1D+01
% Format = (f9.2,1x,2f10.6,f15.7,2f10.3,6(1x,a1))
%% MJD      XPOLE      YPOLE      UT1-TAI      DPSI      DEPSI      PRED_ID
60280.00      0.224305      0.223935      -36.9884799      0.000      0.000      I I I - -
60281.00      0.222071      0.222430      -36.9884607      0.000      0.000      I I I - -
60282.00      0.219794      0.220875      -36.9884422      0.000      0.000      I I I - -
60283.00      0.217420      0.219115      -36.9884091      0.000      0.000      I I I - -
60284.00      0.214571      0.217536      -36.9883969      0.000      0.000      I I I - -
60285.00      0.211936      0.215746      -36.9884039      0.000      0.000      I I I - -
60286.00      0.208772      0.214113      -36.9884002      0.000      0.000      I I I - -
60287.00      0.205670      0.212065      -36.9883599      0.000      0.000      I I I - -
60288.00      0.203013      0.210473      -36.9883052      0.000      0.000      I I I - -
60289.00      0.199952      0.209451      -36.9882879      0.000      0.000      I I I - -
60290.00      0.196871      0.208244      -36.9883071      0.000      0.000      I I I - -
60291.00      0.193357      0.207726      -36.9883613      0.000      0.000      I I I - -
60292.00      0.189583      0.206787      -36.9884319      0.000      0.000      I I I - -
60293.00      0.185845      0.205745      -36.9884815      0.000      0.000      I I I - -
60294.00      0.181994      0.204722      -36.9885548      0.000      0.000      I I I - -
60295.00      0.178144      0.203403      -36.9886599      0.000      0.000      I I I - -
60296.00      0.174426      0.202336      -36.9887453      0.000      0.000      I I I - -
60297.00      0.170661      0.201214      -36.9888360      0.000      0.000      I I I - -
60298.00      0.167464      0.200619      -36.9889686      0.000      0.000      I I I - -
60299.00      0.164895      0.200433      -36.9891348      0.000      0.000      I I I - -
60300.00      0.162559      0.200456      -36.9893678      0.000      0.000      I I I - -
60301.00      0.160059      0.200780      -36.9896609      0.000      0.000      I I I - -
60302.00      0.157580      0.201308      -36.9899867      0.000      0.000      I I I - -
60303.00      0.155062      0.201492      -36.9903172      0.000      0.000      I I I - -
```

图 7.1 poleut1 文件示例

上图为生成的 poleut1 产品的示例，其中开始日期为命令行给出的 year 参数所代表年份的 1 月 1 日向前推 30 日，截止日期则是 year 参数所代表年份下一年

的 1 月 1 日向后推 30 日与所下载的 finals2000A.data 文件中的能够更新到的天数二者中的较小值。如果 year 参数为空，开始日期与截止日期则与输入的 poleut1 产品保持一致。产品的时间间隔为一天。需要用到的产品及单位从左到右依次为：

表 7.1 poleut1 文件说明

名称	说明
MJD	儒略日/天
XPOLE	极移 X 分量/arcsec
YPOLE	极移 Y 分量/arcsec
UT1-TAI	日长变化/seconds

此外，DPSI 和 DEPSI 是章动相关参数，PRED_ID 为标签值，I 表示 IERS，P 表示预测值。

7.4 PPP XML 配置文件说明

配置文件格式为 xml，其中包含了输入输出文件设置、处理方案、解算策略等信息。每行中以"<!--"开始并以"-->"结尾的部分为注释。下表展示了 PPP XML 文件的格式。

表 7.2 PPP xml 配置文件说明

项目	说明	XML 文件中的 标签或属性
GREAT_PPPFLT 的基础设置（一级节点）		<gen>
开始时刻	设置开始时刻的 GPS 时，格式为"YYYY-MM-DD hh:mm:ss"	<beg>
结束时刻	设置结束时刻的 GPS 时，格式为"YYYY-MM-DD hh:mm:ss"	<end>
卫星系统	设置参与解算的卫星系统	<sys>
测站列表	设置参与解算的测站列表，4 位字符	<rec>
采样频率	设置观测值的采样频率	<int>
估计方法	默认为滤波	<est>
GREAT_PPPFLT 的输入文件设置（一级节点）		<inputs>
RINEX 观测值文件	用于进行解算的 RINEX 观测值文件。支持 RINEX 2.10, 2.11, 2.12, 3.00, 3.01, 3.02, 3.03, 3.04 格式。	<rinexo>

项目	说明	XML 文件中的 标签或属性
RINEX 广播星历文件	用于进行解算的 RINEX 广播星历文件。支持 RINEX 2.10, 2.11, 2.12, 3.00, 3.01, 3.02, 3.03, 3.04 格式。	<rinexn>
精密钟差文件	用于进行解算的精密钟差文件。	<rinexc>
精密星历文件	用于进行解算的精密星历文件。	<sp3>
天线文件	用于天线相位中心改正的卫星天线信息文件	<atx>
海洋潮汐文件	用于潮汐改正的海洋潮汐文件	<blq>
行星星历文件	用于计算行星参数	<de>
EOP 参数文件	用于计算旋转矩阵的地球自转参数文件	<eop>
DCB 文件	用于进行差分码偏差改正的 DCB 文件	<bias>
IFCB 文件	频率间钟偏差文件	<ifcb>
UPD 文件	未校准的相位硬件延迟文件, 用于模糊度固定	<upd>
GREAT_PPPFLT 的输出文件设置 (一级节点)		<outputs>
日志文件	用于记录输出的日志信息	<log>
PPP 日志文件	用于记录 PPP 计算过程中输出的日志信息	<ppp>
计算结果	PPPFLT 的计算结果文件	<flt>
GREAT_PPPFLT 的解算设置 (一级节点)		<process>
相位观测值	是否使用载波相位观测值: --true: 使用 --false: 不使用	<phase>
对流层参数	是否估计对流层参数: --true: 估计 --false: 不估计	<tropo>
电离层参数	是否估计电离层参数: --true: 估计 --false: 不估计	<iono>
多普勒观测值	是否使用多普勒观测值 --true: 使用 --false: 不使用	<doppler>
对流层模型	使用的对流层模型	<tropo_model>
待估参数的先验 sigma	测站坐标	<sig_init_crd>
	测站速度	<sig_init_vel>

项目	说明	XML 文件中的 标签或属性
	对流层	<sig_init_ztd>
	模糊度	<sig_init_amb>
	Galileo 的系统间偏差和频率间偏差	<sig_init_gal>
	GLONASS 的系统间偏差和频率间偏差	<sig_init_glo>
	BDS 的系统间偏差和频率间偏差	<sig_init_bds>
	电离层	<sig_init_vion>
截止高度角	可用卫星观测值的最小高度角	<minimum_elev>
观测值组合	用于解算的观测值组合方式 --IONO_FREE: 无电离层组合, 支持双频 --RAW_ALL: 非差非组合, 支持双频和多频	<obs_combination>
最大验后残差	用于残差编辑的验后残差阈值	<max_res_norm>
坐标约束	坐标约束方法: --est: 估计值约束 --fix: 固定解约束 --kin: 动态约束	<crd_constr>
动态模式	是否为动态模式: --true: 是 --false: 不是	<pos_kin>
最小卫星个数	参与解算卫星个数的最小阈值	<min_sat>
观测值加权	确定观测值权重的方法	<obs_weight>
北斗卫星码偏差	是否改正北斗卫星的码偏差: --true: 是 --false: 不是	<bds_code_bias_corr>
周跳探测	周跳探测模型 --default 默认	<slip_model>
观测值频率	用于解算的观测值频率个数	<frequency>
GREAT_PPPFLT 的滤波设置 (一级节点)		<filter>
滤波算法	使用的滤波算法: --srcf: 平方根容积滤波 --kalman: 卡尔曼滤波	methodflt
待估参数的先验噪声	测站坐标白噪声	noise_crd
	测站速度白噪声	noise_vel
	接收机钟速白噪声	noise_dclk
	接收机钟差白噪声	noise_clk
	电离层白噪声	noise_vion
	对流层的随机游走噪声	rndwk_ztd

项目	说明	XML 文件中的 标签或属性
	模糊度的随机游走噪声	rndwk_amb
	GLONASS isb/ifb 的随机游走噪声	rndwk_glo
	Galileo isb/ifb 的随机游走噪声	rndwk_gal
	BDS isb/ifb 的随机游走噪声	rndwk_bds
	GPS ifb 的随机游走噪声	rndwk_gps
GREAT_PPPFLT 的模糊度固定设置（一级节点）		<ambiguity>
固定模式	是否进行模糊度固定： --NO：不进行模糊度固定 --SEARCH：进行模糊度固定	<fix_mode>
UPD 模式	使用 UPD 产品进行模糊度固定	<upd_mode>
部分模糊度 固定	是否进行部分模糊度固定： --NO：不进行 --YES：进行	<part_fix>
部分模糊度 固定的个数	部分模糊度固定模式下最小模糊度固定个数	<part_fix_num>
Ratio 值	LAMBDA 方法进行模糊度固定中 ratio 检验 的值	<ratio>
参考卫星	是否设置参考卫星 --NO：不设置 --YES：设置	<set_refsat>
最小共视时 间	进行模糊度固定时对同一颗卫星的最小共视 时间	<min_common_ti me>
超宽巷观测 值	对不同观测值组合进行模糊度固定的相关设 置：	<extra_widelane_ decision>
宽巷观测值	-- alpha&maxdev：置信区间参数 -- maxsig：最大 sigma 值	<widelane_decisi on>
窄巷观测值		<narrowlane_deci sion>
GREAT_PPPFLT 的卫星设置（一级节点）		<gps>/<bds> /<gal>/<glo>
观测值的先 验 sigma	伪距	sigma_C
	载波相位	sigma_L
频率	卫星频率，对应频段，可选值 1/2/3/4/5	<freq>
卫星	卫星 PRN 号	<sat>

项目	说明	XML 文件中的 标签或属性
频段	设置不同卫星系统对应频段的观测值 --GPS: 1->L1, 2->L2, 5->L5 --GAL: 1->E1, 5->E5a, 7->E5b, 8->E5, 6->E6 --BDS: 2->B1I, 7->B2I, 6->B3I, 1->B1C, 5->B2a, 9->B2b, 8->B2a+b --GLO: 1->G1, 2->G2	<band>

示例:

```
<gen>
  <beg> 2023-11-01 00:00:00 </beg>      <!-- begin time <!-->
  <end> 2023-11-01 23:59:30 </end>      <!-- end time <!-->
  <int> 30 </int>                      <!-- sampling interval <!-->
  <sys> GPS GAL BDS GLO </sys>         <!-- system ex: GPS GAL GLO QZS BDS SBS <!-->
  <rec> ALIC GODN </rec>               <!-- site (4-char upper) <!-->
  <est> FLT </est>                     <!-- Estimator : FLT <!-->
</gen>

<inputs>
  <rinexo> <!-- rinex obs file <!-->
    obs\alic3050.23o
    obs\godn3050.23o
  </rinexo>
  <rinexn> gnss\brdc3050.23p </rinexn> <!-- rinex nav file <!-->
  <rinexc> gnss\COD0MGXFIN_20233050000_01D_30S_CLK.CLK </rinexc> <!-- precise satellite clock offset file <!-->
  <sp3> gnss\COD0MGXFIN_20233050000_01D_05M_ORB.SP3 </sp3> <!-- precise orbit file <!-->
  <de> model\jpleph_de405_great </de> <!-- Planetary ephemeris file <!-->
  <atx> model\igs20_2290.atx </atx> <!-- Antenna correction file <!-->
  <blq> model\oceanload </blq> <!-- oceanload file <!-->
  <eop> model\poleut1 </eop> <!-- ERP file <!-->
  <bias> gnss\CAS0MGXRAP_20233050000_01D_01D_DCB.BSX </bias> <!-- DCB file <!-->
  <!--><ifcb> gnss\ifcb_2023305 </ifcb><!--> <!-- IFCB file, for GPS 3 frequency <!-->
  <upd> upd\upd_wl_2023305_GEC upd\upd_nl_2023305_GEC </upd> <!-- uncalibrated phase delay, for fixing ambiguity <!-->
</inputs>

<outputs append="false" verb="0"> <!-- output file: whether append & verb: the larger the value, the more detailed th
  <log type="CONSOLE" name="ppp" level="INFO"/> <!-- log file <!-->
  <ppp> .\result\$(rec)-PPP </ppp> <!-- ppp log file <!-->
  <flt> .\result\$(rec)-PPP.flt </flt> <!-- result file <!-->
</outputs>
```

图 7.2 PPP XML 配置文件示例 (a)

```
<gps sigma_C="0.6" sigma_L="0.01"> <!-- GPS pseudorange sigma & phase sigma <!-->
  <sat> <!-- satellite prn <!-->
    G01 G02 G03 G04 G05 G06 G07 G08 G09 G10
    G11 G12 G13 G14 G15 G16 G17 G18 G19 G20
    G21 G22 G23 G24 G25 G26 G27 G28 G29 G30
    G31 G32
  </sat>
  <band> 1 2 </band> <!-- the satellite frequency, for example, CSX, is represented as 5 <!-->
  <freq> 1 2 </freq> <!-- satellite frequency, corresponding to band, optional value 1/2/3/4/5 <!-->
</gps>
<glo sigma_C="0.6" sigma_L="0.01"> <!-- GLO pseudorange sigma & phase sigma <!-->
  <sat>
    R01 R02 R03 R04 R05 R06 R07 R08 R09 R10
    R11 R12 R13 R14 R15 R16 R17 R18 R19 R20
    R21 R22 R23 R24 <!-- R25 R26 -->
  </sat>
  <band> 1 2 </band>
  <freq> 1 2 </freq>
</glo>
<gal sigma_C="0.6" sigma_L="0.01"> <!-- GAL pseudorange sigma & phase sigma <!-->
  <sat>
    E01 E02 E03 E04 E05 E06 E07 E08 E09 E10
    E11 E12 E13 E14 E15 E16 E17 E18 E19 E20
    E21 E22 E23 E24 E25 E26 E27 E28 E29 E30
    E31 E32 E33 E34 E35 E36
  </sat>
  <band> 1 5 </band>
  <freq> 1 2 </freq>
</gal>
```

图 7.3 PPP XML 配置文件示例 (b)

```
<bds sigma_C="0.6" sigma_L="0.01"> <!--> BDS pseudorange sigma & phase sigma <!-->
<sat>
  <!-- C01 C02 C03 C04 C05 --> C06 C07 C08 C09 C10
  C11 C12 C13 C14 C15 C16 C17 C18 C19 C20
  C21 C22 C23 C24 C25 C26 C27 C28 C29 C30
  C31 C32 C33 C34 C35 C36 C37 C38 C39
  C41 C42 C43 C44 C45 C46 <!-- C47 C48 C49 C50
  C51 C52 C53 C54 C55 C56 C57 C58 C59 C60 -->
</sat>
<band> 2 6 </band>
<freq> 1 2 </freq>
</bds>
<qzs sigma_C="0.6" sigma_L="0.01"> <!--> QZS pseudorange sigma & phase sigma <!-->
<sat>
  J01 J02 J03 J04
</sat>
<band> 1 2 </band>
<freq> 1 2 </freq>
</qzs>
```

图 7.4 PPP XML 配置文件示例 (c)

```
<process>
  <phase> true </phase> <!--> use phase obs (true/false) <!-->
  <tropo> true </tropo> <!--> estimate trop param (true/false) <!-->
  <iono> true </iono> <!--> estimate iono param (true/false) <!-->
  <doppler> false </doppler> <!--> use doppler obs (true/false) <!-->
  <tropo_model> saastamoinen </tropo_model> <!--> trop model <!-->
  <sig_init_crd> 30 </sig_init_crd> <!--> initial sigma of coordinate <!-->
  <sig_init_vel> 10 </sig_init_vel> <!--> initial sigma of velocity <!-->
  <sig_init_ztd> 10 </sig_init_ztd> <!--> initial sigma of ztd <!-->
  <sig_init_amb> 30 </sig_init_amb> <!--> initial sigma of ambiguity <!-->
  <sig_init_gal> 10 </sig_init_gal> <!--> initial sigma of Galileo isb/ibf <!-->
  <sig_init_glo> 10 </sig_init_glo> <!--> initial sigma of GLONASS isb/ibf <!-->
  <sig_init_bds> 10 </sig_init_bds> <!--> initial sigma of BDS isb/ibf <!-->
  <sig_init_vion> 100 </sig_init_vion> <!--> initial sigma of slant iono <!-->
  <minimum_elev> 7 </minimum_elev> <!--> cut-off satellite elevation(deg) <!-->
  <obs_combination> RAW_ALL </obs_combination> <!--> obs comb type (IONO_FREE/RAW_ALL) <!-->
  <max_res_norm> 3 </max_res_norm> <!--> posterior residual threshold <!-->
  <crd_constr> est </crd_constr> <!--> coordinate constraint method (EST/FIX/KIN) <!-->
  <pos_kin> false </pos_kin> <!--> kinematic mode (true/false) <!-->
  <min_sat> 5 </min_sat> <!--> min satellite number <!-->
  <obs_weight> SINEL </obs_weight> <!--> weigh model of obs <!-->
  <bds_code_bias_corr> true </bds_code_bias_corr> <!--> whether to correct BDS codeBias (true/false) <!-->
  <slip_model> default </slip_model> <!--> cycle slip detect method <!-->
  <frequency> 2 </frequency> <!--> frequency number <!-->
</process>
```

图 7.5 PPP XML 配置文件示例 (d)

```
<filter
  method_flg="srcf"
  noise_crd="0"
  noise_vel="1"
  noise_clk="1000"
  noise_dclk="100"
  noise_vion="100"
  rndwk_ztd="6"
  rndwk_amb="0"
  rndwk_glo="20"
  rndwk_gal="20"
  rndwk_bds="20"
  rndwk_gps="20"
/>

<ambiguity>
  <fix_mode> NO </fix_mode> <!--> ambiguity fixed mode (NO/SEARCH) <!-->
  <upd_mode> UPD </upd_mode> <!--> upd mode <!-->
  <part_fix> YES </part_fix> <!--> part_fix (YES/NO) <!-->
  <part_fix_num> 4 </part_fix_num> <!--> threshold in partial ambiguity fixing <!-->
  <ratio> 2.0 </ratio> <!--> threshold in LAMBDA method <!-->
  <set_refsats> YES </set_refsats> <!--> set_refsats (YES/NO) <!-->
  <min_common_time> 1 </min_common_time> <!--> minimum common time/seconds <!-->
  <extra_widelane_decision maxdev="0.07" maxsig="0.10" alpha="1000" /> <!--> extra widelane setting, alpha&maxdev
  <widelane_decision maxdev="0.25" maxsig="0.12" alpha="1000" /> <!--> widelane setting, option: alpha&maxdev
  <narrowlane_decision maxdev="0.35" maxsig="0.12" alpha="1000" /> <!--> narrowlane setting, option: alpha&maxdev
</ambiguity>
```

图 7.6 PPP XML 配置文件示例 (e)

7.5 RTK XML 配置文件说明

配置文件格式为 xml，其中包含了输入输出文件设置、处理方案、解算策略等信息。每行中以"<!--"开始并以"-->"结尾的部分为注释。下表展示了 PPP XML 文件的格式。

表 7.3 RTK xml 配置文件说明

项目	说明	XML 文件中的 标签或属性
GREAT_RTKFLT 的基础设置（一级节点）		<gen>
开始时刻	设置开始时刻的 GPS 时。格式为"YYYY-MM-DD hh:mm:ss"。	<beg>
结束时刻	设置结束时刻的 GPS 时。格式为"YYYY-MM-DD hh:mm:ss"。	<end>
卫星系统	设置参与解算的卫星系统	<sys>
测站列表	设置参与解算的测站列表，4 位字符	<rec>
基准站	设置基准站，4 位字符	<base>
流动站	设置流动站，4 位字符	<rover>
采样频率	设置观测值的采样频率	<int>
GREAT_RTKFLT 的基站坐标设置（一级节点）		<receiver>
基站坐标	设置 RTK 基准站坐标 id: 基站名称 X、Y、Z: 基站坐标	<rec>
GREAT_RTKFLT 的输入文件设置（一级节点）		<inputs>
RINEX 观测值文件	用于进行解算的 RINEX 观测值文件。支持 RINEX 2.10, 2.11, 2.12, 3.00, 3.01, 3.02, 3.03, 3.04 格式。	<rinexo>
RINEX 广播星历文件	用于进行解算的 RINEX 广播星历文件。支持 RINEX 2.10, 2.11, 2.12, 3.00, 3.01, 3.02, 3.03, 3.04 格式。	<rinexn>
天线文件	用于天线相位中心改正的卫星天线信息文件	<atx>
海洋潮汐文件	用于潮汐改正的海洋潮汐文件	<blq>
行星星历文件	用于计算行星参数	<de>
EOP 文件	用于计算旋转矩阵的地球自转参数文件	<eop>
GREAT_RTKFLT 的输出文件设置（一级节点）		<outputs>
日志文件	用于记录输出的日志信息	<log>
RTK 日志文件	用于记录 RTK 计算过程中输出的日志信息	<ppp>

项目	说明	XML 文件中的 标签或属性
计算结果	RTKFLT 的计算结果文件	<flt>
GREAT_RTKFLT 的解算设置（一级节点）		<process>
相位观测值	是否使用载波相位观测值： --true: 使用 --false: 不使用	<phase>
对流层参数	是否估计对流层参数： --true: 估计 --false: 不估计	<tropo>
电离层参数	是否估计电离层参数： --true: 估计 --false: 不估计	<iono>
多普勒观测值	是否使用多普勒观测值 --true: 使用 --false: 不使用	<doppler>
对流层模型	使用的对流层模型	<tropo_model>
待估参数的 先验 sigma	测站坐标	<sig_init_crd>
	测站速度	<sig_init_vel>
	对流层	<sig_init_ztd>
	模糊度	<sig_init_amb>
	Galileo 的系统间偏差和频率间偏差	<sig_init_gal>
	GLONASS 的系统间偏差和频率间偏差	<sig_init_glo>
	BDS 的系统间偏差和频率间偏差	<sig_init_bds>
	电离层	<sig_init_vion>
截止高度角	可用卫星观测值的最小高度角	<minimum_elev>
观测值组合	用于解算的观测值组合方式 --RAW_MIX: 单双频混合	<obs_combination>
最大验后残差	用于残差编辑的验后残差阈值	<max_res_norm>
动态模式	是否为动态模式： --true: 是 --false: 不是	<pos_kin>
最小卫星个数	参与解算卫星个数的最小阈值	<min_sat>
观测值加权	确定观测值权重的方法	<obs_weight>
基准站坐标	基准站坐标确定方式： --CFILE: 从配置文件中读取 --spp: 单点定位	<basepos>

项目	说明	XML 文件中的 标签或属性
北斗卫星的 码偏差	是否改正北斗卫星的码偏差： --true: 是 --false: 不是	<bds_code_bias_c orr>
周跳探测	周跳探测模型 --default 默认	<slip_model>
观测值频率	用于解算的观测值频率个数	<frequency>
GREAT_RTKFLT 的滤波设置（一级节点）		<filter>
滤波算法	使用的滤波算法： --srcf: 平方根容积滤波 --kalman: 卡尔曼滤波	method_flt
待估参数的 先验噪声	测站坐标白噪声	noise_crd
	测站速度白噪声	noise_vel
	接收机钟差白噪声	noise_dclk
	对流层的随机游走噪声	rndwk_ztd
重置模糊度	模糊度参数的重置时间间隔	reset_amb
GREAT_RTKFLT 的模糊度固定设置（一级节点）		<ambiguity>
固定模式	是否进行模糊度固定： --NO: 不进行模糊度固定 --SEARCH: 进行模糊度固定	<fix_mode>
部分模糊度 固定	是否进行部分模糊度固定： --NO: 不进行 --YES: 进行	<part_fix>
部分模糊度 固定的个数	部分模糊度固定模式下最小模糊度固定个数	<part_fix_num>
Ratio 值	LAMBDA 方法进行模糊度固定中 ratio 检验 的值	<ratio>
最小共视时 间	进行模糊度固定时对同一颗卫星的最小共视 时间	<min_common_ti me>
超宽巷观测 值	对不同观测值组合进行模糊度固定的相关设 置：	<extra_widelane_ decision>
宽巷观测值	-- alpha&maxdev: 置信区间参数 -- maxsig: 最大的 sigema 值	<widelane_decisi on>
窄巷观测值		<narrowlane_deci sion>
GREAT_RTKFLT 的卫星设置（一级节点）		<gps>/<bds> /<gal>/<glo>
观测值的先 验 sigema	伪距	sigma_C
	载波相位	sigma_L

项目	说明	XML 文件中的 标签或属性
频率	卫星频率，对应频段，可选值 1/2/3/4/5	<freq>
波段	设置不同卫星系统对应频段的观测值 --GPS: 1->L1, 2->L2, 5->L5 --GAL: 1->E1, 5->E5a, 7->E5b, 8->E5, 6->E6 --BDS: 2->B1I, 7->B2I, 6->B3I, 1->B1C, 5->B2a, 9->B2b, 8->B2a+b --GLO: 1->G1, 2->G2	<band>

示例:

```
<gen>
  <beg> "2020-12-16 07:00:00" </beg> <!-- begin time <!-->
  <end> "2020-12-16 08:50:00" </end> <!-- end time <!-->
  <sys> GPS GAL BDS </sys> <!-- system ex: GAL GLO QZS BDS SBS <!-->
  <rec> SEPT WUDA </rec> <!-- site (4-char upper) <!-->
  <base> WUDA </base> <!-- base site (4-char upper) <!-->
  <rover> SEPT </rover> <!-- rover site (4-char upper) <!-->
  <int> 1 </int> <!-- sampling interval <!-->
</gen>

<receiver>
  <rec id="WUDA" X="-2267761.0442" Y="5009370.8908" Z="3220970.5961"/> <!-- base site coordinate <!-->
</receiver>

<inputs>
  <rinexo> obs\SEPT3510.200 obs\WUDA3510.200 </rinexo> <!-- rinex obs file <!-->
  <rinexn> gnss\brdm3510.20p </rinexn> <!-- rinex nav file <!-->
  <atx> model\igs20_2290.atx </atx> <!-- Antenna correction file <!-->
  <blq> model\oceanload </blq> <!-- oceanload file <!-->
  <de> model\jpleph_de405_great </de> <!-- Planetary ephemeris file <!-->
  <eop> model\poleut1 </eop> <!-- ERP file <!-->
</inputs>

<outputs>
  <log type="BASIC" level="INFO" /> <!-- log file <!-->
  <ppp> result/$(rec)-RTK </ppp> <!-- RTK log file <!-->
  <flt> result/$(rec)-RTK.flt </flt> <!-- result file <!-->
</outputs>
```

图 7.7 RTK XML 配置文件示例 (a)

```
<process>
  <phase> true </phase> <!-- use phase obs (true/false) <!-->
  <tropo> false </tropo> <!-- estimate trop param (true/false) <!-->
  <iono> false </iono> <!-- estimate iono param (true/false) <!-->
  <doppler> false </doppler> <!-- use doppler obs (true/false) <!-->
  <tropo_model> saastamoinen </tropo_model> <!-- trop model <!-->
  <sig_init_crd> 30 </sig_init_crd> <!-- initial sigma of coordinate <!-->
  <sig_init_vel> 10 </sig_init_vel> <!-- initial sigma of velocity <!-->
  <sig_init_ztd> 10 </sig_init_ztd> <!-- initial sigma of ztd <!-->
  <sig_init_amb> 30 </sig_init_amb> <!-- initial sigma of ambiguity <!-->
  <sig_init_gal> 10 </sig_init_gal> <!-- initial sigma of Galileo isb/ifb <!-->
  <sig_init_glo> 10 </sig_init_glo> <!-- initial sigma of GLONASS isb/ifb <!-->
  <sig_init_bds> 10 </sig_init_bds> <!-- initial sigma of BDS isb/ifb <!-->
  <sig_init_vion> 100 </sig_init_vion> <!-- initial sigma of slant iono <!-->
  <minimum_elev> 7 </minimum_elev> <!-- cut-off satellite elevation(deg) <!-->
  <obs_combination> RAW_MIX </obs_combination> <!-- obs comb type <!-->
  <max_res_norm> 3 </max_res_norm> <!-- posterior residual threshold <!-->
  <pos_kin> true </pos_kin> <!-- kinematic mode (true/false) <!-->
  <min_sat> 5 </min_sat> <!-- min satellite number <!-->
  <obs_weight> SINEL </obs_weight> <!-- weigh model of obs <!-->
  <basepos> CFIL </basepos> <!-- Base station coordinate acquisition method(CFILE/spp) <!-->
  <bds_code_bias_corr> true </bds_code_bias_corr> <!-- whether to correct BDS codeBias (true/false) <!-->
  <slip_model> default </slip_model> <!-- cycle slip detect method <!-->
  <frequency> 2 </frequency> <!-- frequency number <!-->
</process>
```

图 7.8 RTK XML 配置文件示例 (b)

```

<filter
  methodflt="kalman"
  noise_crd="30"
  noise_vel="1"
  noise_dclk="100"
  rndwk_ztd="6"
  reset_amb="0"
/>
<!--filter
  methodflt    filter method(srcf, kalman)
  noise_crd    noise of rec coordinate
  noise_vel    noise of rec velocity
  noise_dclk   noise of rec dclk
  rndwk_ztd    random walk of ztd
  reset_amb    time interval of ambiguity reset
/-->

<ambiguity>
  <fix_mode> SEARCH </fix_mode> <!--> ambiguity fixed mode (NO/SEARCH) <!-->
  <part_fix> YES </part_fix> <!--> part_fix (YES/NO) <!-->
  <part_fix_num> 3 </part_fix_num> <!--> threshold in partial ambiguity fixing <!-->
  <ratio> 2.5 </ratio> <!--> threshold in LAMBDA method <!-->
  <min_common_time> 0 </min_common_time> <!--> minimum common time/seconds <!-->
  <extra_widelane_decision maxdev = "0.1" maxsig = "0.10" alpha = "1000" /> <!--> extra widelane setting, alpha&maxdev(
  <widelane_decision maxdev = "0.275" maxsig = "0.10" alpha = "1000" /> <!--> widelane setting, option: alpha&maxdev(
  <narrowlane_decision maxdev = "0.375" maxsig = "0.10" alpha = "1000" /> <!--> narrowlane setting, option: alpha&maxdev(
</ambiguity>

```

图 7.9 RTK XML 配置文件示例 (c)

```

<bds sigma_C="3" sigma_L="0.03" > <!--> BDS pseudorange sigma & phase sigma <!-->
<freq> 1 2 </freq> <!--> the satellite frequency, for example, C5X, is represented as 5 <!-->
<band> 2 6 </band> <!--> satellite frequency, corresponding to band, optional value 1/2/3/4/5 <!-->
</bds>

<gps sigma_C="2" sigma_L="0.02" >
<freq> 1 2 </freq>
<band> 1 2 </band>
</gps>

<gal sigma_C="3" sigma_L="0.03" >
<freq> 1 2 </freq>
<band> 1 5 </band>
</gal>

<glo sigma_C="4" sigma_L="0.04" >
<freq> 1 2 </freq>
<band> 1 2 </band>
</glo>

```

图 7.10 RTK XML 配置文件示例 (d)

7.6 flt 结果文件说明

flt 文件记录了 PPP 或 RTK 定位解算结果及其精度指标，具体如下：

表 7.4 GREAT-PVT 结果文件说明

列号	列名(列 1-19)	列说明	单位	格式
1	Seconds of Week	GPS 周内秒	s	F10.4, 3X
2	X-ECEF	ECEF (地心地固系) 下 X 轴坐标	m	F12.4, 3X
3	Y-ECEF	ECEF (地心地固系) 下 Y 轴坐标	m	F12.4, 3X
4	Z-ECEF	ECEF (地心地固系) 下 Z 轴坐标	m	F12.4, 3X
5	Vx-ECEF	ECEF (地心地固系) 下 X 轴速度	m/s	F7.4, 3X
6	Vy-ECEF	ECEF (地心地固系) 下 Y 轴速度	m/s	F7.4, 3X
7	Vz-ECEF	ECEF (地心地固系) 下 Z 轴速度	m/s	F7.4, 3X
8	X-RMS	ECEF (地心地固系) 下 X 坐标 RMS	m	F6.4, 3X
9	Y-RMS	ECEF (地心地固系) 下 Y 坐标 RMS	m	F6.4, 3X
10	Z-RMS	ECEF (地心地固系) 下 Z 坐标 RMS	m	F6.4, 3X
11	Vx-RMS	ECEF (地心地固系) 下 X 轴方向解算速	m/s	F6.4, 3X

		度的 RMS		
12	Vy-RMS	ECEF (地心地固系) 下 Y 轴方向解算速度的 RMS	m/s	F6.4, 3X
13	Vz-RMS	ECEF (地心地固系) 下 Z 轴方向解算速度的 RMS	m/s	F6.4, 3X
14	NSat	可见卫星数量	#	I2, 3X
15	PDOP	PDOP 值	#	F3.2, 3X
16	sigma0	单位权中误差	m	F5.2, 3X
17	AmbStatus	模糊度固定情况(e.g., Float or Fix)	#	A5, 3X
18	Ratio	Ratio 值	#	F4.2, 3X
19	Quality	数据质量指标	#	I1

示例:

#Seconds of Week #	X-ECEF (m)	Y-ECEF (m)	Z-ECEF (m)	Vx-ECEF (m/s)	Vy-ECEF (m/s)	Vz-ECEF (m/s)	X-RMS (m)	Y-RMS (m)	Z-RMS (m)	Vx-RMS (m/s)	Vy-RMS (m/s)	Vz-RMS (m/s)	NSat (#)	PDOP (#)	sigma0 (m)	AmbStatus	Ratio	Quality
259260.0000	1130760.6201	-4831297.5510	3994154.7241	0.0000	0.0000	0.0000	0.6276	1.8155	1.4432	0.0000	0.0000	0.0000	30	0.89	1.03	Float	0.00	6
259290.0000	1130760.4998	-4831298.2487	3994154.8923	0.0000	0.0000	0.0000	0.0332	0.1301	0.1156	0.0000	0.0000	0.0000	29	0.94	0.49	Fixed	3.43	2
259320.0000	1130760.9377	-4831299.3549	3994155.5148	0.0000	0.0000	0.0000	0.3544	0.8252	0.6264	0.0000	0.0000	0.0000	29	0.94	0.90	Float	0.00	5
259350.0000	1130760.9385	-4831298.6322	3994155.2549	0.0000	0.0000	0.0000	0.0083	0.0525	0.0557	0.0000	0.0000	0.0000	28	0.96	1.12	Fixed	2.52	1
259380.0000	1130760.7413	-4831298.6283	3994155.3184	0.0000	0.0000	0.0000	0.2189	0.3677	0.2529	0.0000	0.0000	0.0000	29	0.93	1.09	Float	0.00	4
259410.0000	1130760.7440	-4831298.6474	3994155.5270	0.0000	0.0000	0.0000	0.1706	0.2727	0.1819	0.0000	0.0000	0.0000	29	0.93	1.15	Float	0.00	4
259440.0000	1130760.7860	-4831298.5354	3994155.2582	0.0000	0.0000	0.0000	0.1423	0.2121	0.1308	0.0000	0.0000	0.0000	29	0.91	0.87	Float	0.00	4
259470.0000	1130760.7474	-4831298.4749	3994155.1607	0.0000	0.0000	0.0000	0.1220	0.1738	0.1113	0.0000	0.0000	0.0000	30	0.89	1.51	Float	0.00	3
259500.0000	1130760.7249	-4831298.4856	3994155.1333	0.0000	0.0000	0.0000	0.1860	0.1470	0.0936	0.0000	0.0000	0.0000	30	0.89	1.61	Float	0.00	3
259530.0000	1130760.7569	-4831298.4493	3994155.1111	0.0000	0.0000	0.0000	0.0714	0.0628	0.0307	0.0000	0.0000	0.0000	30	0.89	0.89	Fixed	4.55	1
259560.0000	1130760.6777	-4831298.6190	3994155.1469	0.0000	0.0000	0.0000	0.0033	0.0190	0.0204	0.0000	0.0000	0.0000	30	0.89	1.63	Fixed	2.18	1
259590.0000	1130760.7895	-4831298.5126	3994155.1523	0.0000	0.0000	0.0000	0.0748	0.1026	0.0673	0.0000	0.0000	0.0000	30	0.88	1.38	Float	0.00	3
259620.0000	1130760.6789	-4831298.6169	3994155.1447	0.0000	0.0000	0.0000	0.0061	0.0244	0.0243	0.0000	0.0000	0.0000	30	0.88	0.91	Fixed	2.24	1
259650.0000	1130760.7365	-4831298.5791	3994155.1596	0.0000	0.0000	0.0000	0.0512	0.0542	0.0562	0.0000	0.0000	0.0000	30	0.88	1.52	Float	0.00	2
259680.0000	1130760.6771	-4831298.6125	3994155.1402	0.0000	0.0000	0.0000	0.0027	0.0122	0.0118	0.0000	0.0000	0.0000	29	0.93	1.20	Fixed	6.28	1
259710.0000	1130760.6771	-4831298.6123	3994155.1394	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0116	0.0112	0.0000	0.0000	0.0000	29	0.91	1.05	Fixed	10.15	1
259740.0000	1130760.6782	-4831298.6195	3994155.1455	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0143	0.0133	0.0000	0.0000	0.0000	29	0.91	0.86	Fixed	13.63	1
259770.0000	1130760.6777	-4831298.6138	3994155.1396	0.0000	0.0000	0.0000	0.0024	0.0106	0.0102	0.0000	0.0000	0.0000	30	0.90	1.30	Fixed	15.02	1
259800.0000	1130760.6777	-4831298.6122	3994155.1373	0.0000	0.0000	0.0000	0.0022	0.0100	0.0097	0.0000	0.0000	0.0000	30	0.90	1.15	Fixed	8.90	1
259830.0000	1130760.6738	-4831298.5924	3994155.1179	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0057	0.0055	0.0000	0.0000	0.0000	30	0.90	0.91	Fixed	2.16	1
259860.0000	1130760.6774	-4831298.6106	3994155.1358	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021	0.0091	0.0089	0.0000	0.0000	0.0000	30	0.90	0.91	Fixed	20.83	1

图 7.1 GREAT-PVT 结果输出文件示例