

接收机原始观测数据质量分析

导出卫星导航地基增强地面参考接收机采集的观测数据文件，并进行格式转换，得到 RINEX 3 格式的观测数据（后缀为 o）。从观测值数据完整性与一致性、卫星空间几何分布、信噪比、周跳与粗差比率、伪距多路径效应、内部噪声水平等多项性能指标对卫星导航地基增强地面参考接收机的数据质量进行评估，并与相同时间段相同环境下其他厂家生产的地基增强地面参考接收机采集的观测数据的各项综合指标进行对比分析。

1) 完整性检测：数据完整性指标反映观测时段内数据的可用性与完好性，数据完整性不仅体现了接收机的优劣，同时也反映了观测环境的好坏。数据完整率的计算方法为：

$$Integrity = \frac{N_{\text{实际}}}{N_{\text{理论}}}$$

式中， $N_{\text{理论}}$ 为理论上应该存在的观测值个数， $N_{\text{实际}}$ 为实际观测所获得的观测值个数。

按公式(1)、公式(2)计算单频点观测数据完整率和单系统观测数据完整率。

$$DI_f = (\sum_{j=1}^n A^j / \sum_{j=1}^n B^j) \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

$$DI_s = (\sum_{j=1}^n C^j / \sum_{j=1}^n D^j) \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

DI_f ——单频点观测数据完整率，%；

n ——在观测时间段内，观测的卫星总数；

A^j ——在观测时间段内，第 j 颗卫星在某频点的实际观测历元总数；

B^j ——在观测时间段内，第 j 颗卫星在某频点的理论历元总数；

DI_s ——单系统观测数据完整率，%；

C^j ——在观测时间段内，第 j 颗卫星所有频点均有有效观测数据的历元数；

D^j ——在观测时间段内，第 j 颗卫星的理论历元总数。

2) 观测数据一致性检测：主要分析伪距、载波、多普勒观测值变化趋势的合理性。从伪距与载波的变化趋势是否一致、载波与多普勒观测值之间的变化趋

势是否一致、两者之间的变化范围、不同频率伪距之间的变化趋势（伪距之差）、观测值历元间电离层延迟的变化及变化率是否合理等多个角度进行分析，从而一定程度上反映所接收的伪距、载波和多普勒观测值是否正常。

3) 信噪比/载噪比分析：信号接收功率的强弱并不能完整地用来描述信号的清晰程度或者质量好坏，信号相对于噪声的强弱才能用于更好的评判。信噪比是指一个电子设备或者电子系统中信号与噪声的比例，定义为信号功率 P_R 与噪声功率 N 之间的比率，即

$$\text{SNR} = \frac{P_R}{N}$$

考虑到电路中带电粒子的热运动形成热噪声，我们通常将噪声功率 N 用一个大小相同的热噪声功率所对应的噪声温度 T 等价表示，两者之间的关系可以表示为

$$N = kTB_n$$

其中， N 的单位是瓦特（W）， T 的单位是开尔文（K）， B_n 是以赫兹为单位的噪声带宽，玻尔兹曼常数 k 等于 $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 。

由于噪声功率 N 以及相应的信噪比 SNR 与噪声带宽 B_n 的取值大小有关，因而每次给定一个信号比值，一般应当随即指出其所采用的噪声带宽值，这常常会给信噪比的应用带来不便。因而，GNSS 接收机一般采用载噪比 C/N_0 来描述观测信号质量，其大小与接收机所采用的噪声带宽 B_n 无关，有利于不同接收机之间性能的对比。载噪比越高，则观测信号的质量越好。

$$C/N_0 = \frac{P_R}{kT}$$

式中，接收机中的热噪声用大小相同的热噪声功率所对应的温度 T 等价表示。其中， C/N_0 的单位为 Hz (或 dB/Hz)。

根据 rinex 文件输出的观测值信噪比信息，结合卫星的高度角得出高度角/载噪比对比信息，并与其他厂家生产的地基增强地面参考接收机所采集的信号载噪比进行比较，重点关注低高度角卫星的载噪比变化。

4) 载波相位周跳探测分析：实际观测过程中，GNSS 载波相位观测值不可

避免地存在观测异常或粗差，若不对这些粗差进行剔除或控制，势必将会造成参数估值的扭曲。而周跳的发生会造成观测值序列的中断，影响模糊度的固定，最终导致定位性能的降低。针对周跳和粗差等问题，一方面，可以从观测值本身出发，对其进行粗差探测。例如，采用 MW 组合观测值或 GF 观测值作为检验量：

$$T_{MW} = (L_{WL} - P_{NL}) / \lambda_{WL}$$

$$T_{GF} = L_4 = L_1 - L_2$$

式中，检验量 T_{MW} 的单位为周，检验量 T_{GF} 的单位为米， L_{WL} 为宽巷相位值， P_{NL} 为窄巷伪距值， λ_{WL} 为宽巷相位波长。

一旦 MW 或 GF 检验量超过其设定的阈值，则判定该卫星的观测值存在粗差或发生了周跳；为了进一步区分粗差和周跳，采用后续历元继续检验，如果检验量连续超限，则将其标定为粗差，否则标记为周跳。对探测出的周跳则采用周跳比 $slps / o$ 反映观测数据中周跳发生的频繁情况，并给出周跳发生的具体信息及摘要分析。

5) 伪距多路径效应分析：多路径效应即是评价周围环境对观测值影响的重要指标之一，也是定位中对观测值进行定权的一个重要依据。在完成了周跳探测与修复后，需对各频点观测值上的多路径效应通过 GNSS 伪距和相位观测量以线性组合的方式加以分析。以 L1 (B1)、L2 (B2)、L3 (B3) 载波上的多路径效应为例，其对伪距影响的综合指标如下：

$$\begin{aligned} MP_1 &= -\frac{f_1^2 + f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \lambda_1 \phi_1 + \frac{2f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \lambda_2 \phi_2 + P_1 - N_{P1} \\ MP_2 &= -\frac{2f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \lambda_1 \phi_1 + \frac{f_1^2 + f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \lambda_2 \phi_2 + P_2 - N_{P2} \\ MP_3 &= -\lambda_1 \phi_1 + \frac{f_1^2 + f_3^2}{f_1^2 - f_2^2} \frac{f_2^2}{f_3^2} (\lambda_1 \phi_1 - \lambda_2 \phi_2) + P_3 - N_{P3} \end{aligned}$$

式中， MP_1 、 MP_2 、 MP_3 分别表示不同频率伪距的多路径效应； λ_1 、 λ_2 、 λ_3 为载波的波长； f_1 、 f_2 、 f_3 为载波的频率， ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 为载波相位观测值； P_1 、 P_2 、 P_3 为伪距观测值， N_{P1} 、 N_{P2} 、 N_{P3} 代表组合中的整周模糊度。从而伪距多路径误差可由伪距、载波相位观测值和整周模糊度来表示。通过逐历元处理伪距观测值和载波相位得出各历元伪距多路径误差。

同时，可通过卫星多路径效应的天空分布图分析不同方位角、高度角卫星观测值的多路径信息，并对不同观测站周围的环境进行分析比对，以便于进行多径特征分析。

6) 内部噪声水平分析：采用零基线法测试接收机内部噪声，其基本原理为，首先，将同一 GNSS 天线接收到的卫星信号，通过功分器分成相位和功率严格相同的两路信号，并分别送到两台地面参考接收机进行观测记录，其配置如图 4-3-4 所示。

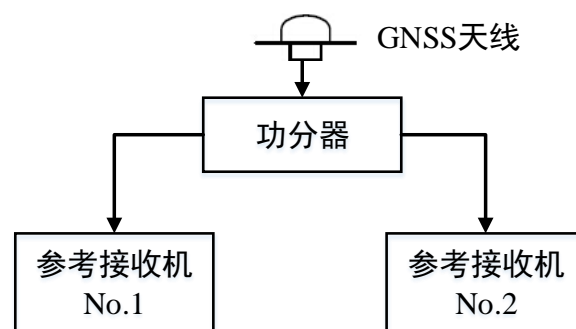


图 4-3-4 零基线示意图

然后，利用两台接收机的观测数据，按相对定位原理解算基线向量，双差观测方程可表示为：

$$\nabla \Delta P_{rb}^{ij} = \nabla \Delta \rho_{rb}^{ij} + \nabla \Delta I_{rb}^{ij} + \nabla \Delta T_{rb}^{ij} + \nabla \Delta M_{rb}^{ij} + \nabla \Delta \varepsilon_p$$

式中， $\nabla \Delta$ 代表双差算子，上标 i 和 j 代表卫星识别号，下标 r 和 b 代表测站或接收机识别号， P 为测码伪距观测值， ρ 为卫星至地面的几何距离， I 和 T 分别代表电离层延迟误差和对流层延迟误差， M 为多路径误差， ε 为接收机噪声。

由于两台接收机接收的信号来自同一接收天线，上式可有效地消除几何距离项、大气折射误差项、信号多路径误差，以及与卫星和接收机相关的其他误差项，即等式的右侧仅剩接收机噪声项。若不顾及接收机内部噪声，该零基线向量解的理论值应为零。如果基线向量解不等于零，其与理论值差异的大小，便反映了接收机内部噪声水平的大小。