

Chapter 5

GNSS Observations

GNSS观测量

- GNSS测量 GNSS Measurements
- 载波相位模糊度 Carrier Phase Ambiguity
- 周跳 Cycle Slips
- 观测组合 Observation Combinations
- 引入差分处理 Introduction to Differential Processing

GNSS Measurements

GNSS观测测量

GNSS测量的回顾

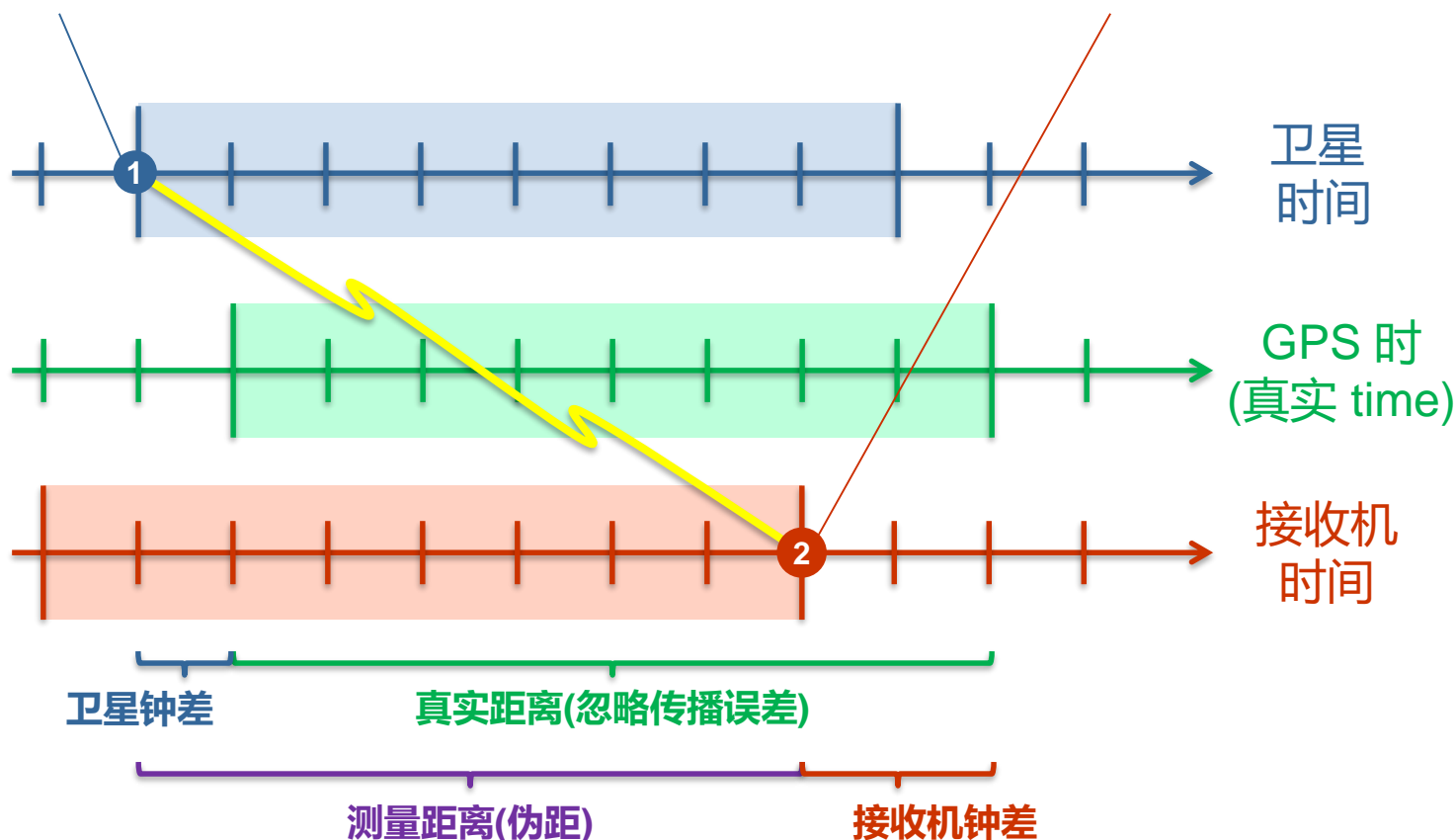
- GNSS测量的回顾
 - 伪距
 - 多普勒频移
 - 载波相位（也称为累积多普勒）
- 伪距和载波相位与用户和卫星之间的距离成正比，而多普勒位
移与用户和卫星之间的距离变率成正比。

钟差误差对伪距和载波相位观测的影响

阴影区域代表信号从卫星发出到接收器接收之间的时间，这一时间由不同的时钟测量

信号在基于（有误差的）卫星时间估计的某一时刻离开卫星

信号基于（有误差的）接收机时间被接受



伪距 (“码”) 测量

- 伪距的测量方程可以表示为：

$$P = \rho + d\rho + c(dT - dt) + d_{\text{iono}} + d_{\text{trop}} + m_p + n_p$$

P = Pseudorange 伪距

ρ = Geometric range 集合距离

$$= |\vec{r}_{\text{SV}} - \vec{r}_{\text{Rx}}| = \sqrt{(x_{\text{SV}} - x_{\text{Rx}})^2 + (y_{\text{SV}} - y_{\text{Rx}})^2 + (z_{\text{SV}} - z_{\text{Rx}})^2}$$

$d\rho$ = Orbit error 轨道误差

dT = Satellite clock error 卫星钟差

dt = Receiver clock error 接收机钟差

d_{iono} = Ionosphere error (dispersive) 电离层误差（色散性）

d_{trop} = Troposphere error 对流层误差

m_p = Pseudorange multipath error 伪距多径误差

n_p = Pseudorange noise 伪距噪声

第六章会详细讨论
更多的误差源的细节

载波相位测量

- 载波相位测量方程可以表示为：

$$\Phi = \phi\lambda = \rho + \lambda N + d\rho + c(dT - dt) - d_{\text{iono}} + d_{\text{trop}} + m_{\Phi} + n_{\Phi}$$

Φ = Carrier phase in units of length (e.g., m) 载波相位，以长度为单位表示

ϕ = Carrier phase in units of cycles 载波相位，以周期数表示

λ = Carrier wavelength 载波波长

ρ = Geometric range 几何距离

N = Carrier phase ambiguity (integer) 整周模糊度

$d\rho$ = Orbit error 轨道误差

dT = Satellite clock error 卫星钟差

dt = Receiver clock error 接收机钟差

d_{iono} = Ionosphere error (dispersive) 电离层误差（色散性）

d_{trop} = Troposphere error 对流层误差

m_{Φ} = Carrier phase multipath error 载波多路径误差

n_{Φ} = Carrier phase noise 载波相位误差

第六章会详细讨论
更多的误差源的细节

伪距和载波相位的差异

伪距和载波相位测量之间的主要差异：

载波相位因周期数整数倍的差异而具有模糊性，这种差异是在信号被重新获取时，接收器与卫星之间的差异。伪距测量则是“绝对”的

1. 伪距测量精度较低

- 多径
 - 伪距：通常在米级到十米级，取决于C/A码和接收环境
 - 载波相位：最大 $\lambda/4$ (~4.5 cm for L1)
- 噪声影响
 - 伪距：从厘米级到米级，取决于C/A码和接收器
 - 载波相位：通常小于一个周期的1%（毫米级）

2. 电离层误差的符号：讲到电离层将详细讨论

多普勒测量

- 多普勒测量方程可以表示为载波相位测量的时间导数（回想一下载波相位是积分多普勒）

$$\dot{\Phi} = \dot{\phi}\lambda = \dot{\rho} + d\dot{\rho} + c(d\dot{T} - d\dot{t}) - \dot{d}_{\text{iono}} + \dot{d}_{\text{trop}} + m_{\dot{\phi}} + n_{\dot{\phi}}$$

- 几何距离变化率为

$$\dot{\rho} = \frac{(\vec{v}_{\text{SV}} - \vec{v}_{\text{Rx}}) \cdot (\vec{r}_{\text{SV}} - \vec{r}_{\text{Rx}})}{|\vec{r}_{\text{SV}} - \vec{r}_{\text{Rx}}|}$$

- 能通过多普勒测量估计什么呢？

位置的相对变化：速度

Carrier Phase Ambiguity

载波相位模糊度

载波相位模糊度(1/3)

- 载波相位是通过接收机内的多普勒值积分来生成的。为方便起见，仅考虑几何范围项：

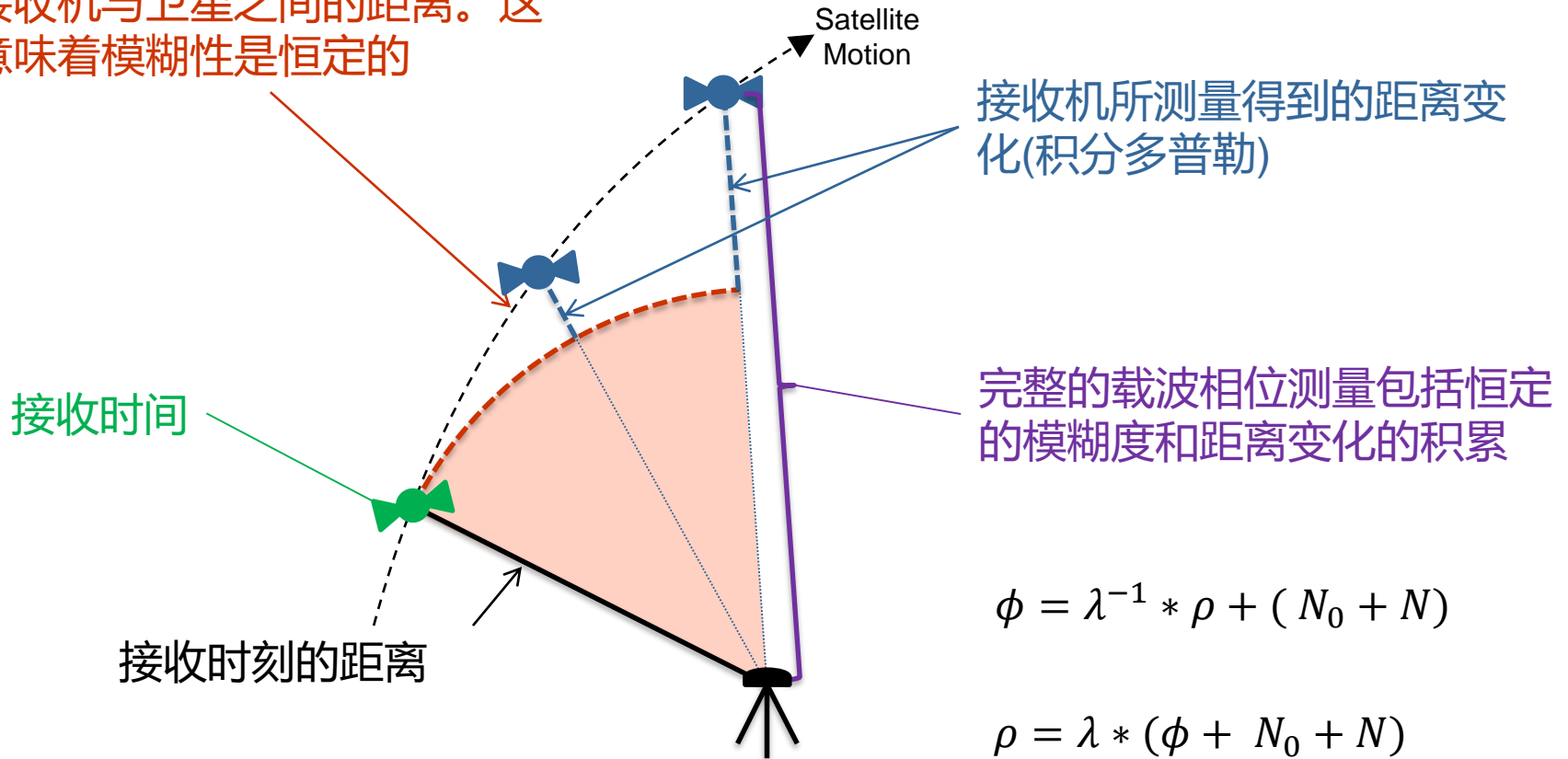
$$\begin{aligned}\Phi(t) &= \int_{t_0}^t \dot{\Phi}(t) \cdot dt \\ &\approx \int_{t_0}^t \dot{\rho}(t) \cdot dt \\ &= \Delta\rho(t_0, t) + \rho(t_0)\end{aligned}$$

- 积分常数, $\rho(t_0)$, 即信号首次捕获时卫星与接收器之间的距离。其中所包含的整数周期数即为载波相位的模糊度。

载波相位模糊度(2/3)

- 在信号捕获后，接收机与卫星之间的周期数（整数）是未知的。但是，**如果没有发生信号失锁**，这个值是**恒定的**。随着时间的推移，接收器会连续测量距离的变化。

接收机与卫星的距离在捕获时是固定的，这个距离是获取时接收机与卫星之间的距离。这意味着模糊性是恒定的



载波相位模糊度(3/3)

- 载波相位模糊度按定义是整数，并在捕获时定义。除非失锁，否则载波相位模糊度是恒定的，即使只有几分之一秒。
- 模糊度是任意的（例如，几个周期或数百万个周期；正或负），并且对于每个卫星接收器测量都是不同的。换句话说，它们的表现不像接收器时钟误差，接收器时钟误差对于所有卫星都是相同的。因此，估计模糊度要困难得多；本课程后面将对此进行详细介绍。
- 可以使用伪距和载波相位来推导出**近似**模糊度。为什么这只是近似的？

GPS 时 (s)	伪距 (m)	载波相位 (cycles)	模糊度 ($\phi - P/\lambda$)
387234	22441825.779	-975001.392	-118907592
387235	22441597.023	-976188.862	-118907577
387236	22441371.704	-977375.523	-118907580

Cycle Slips

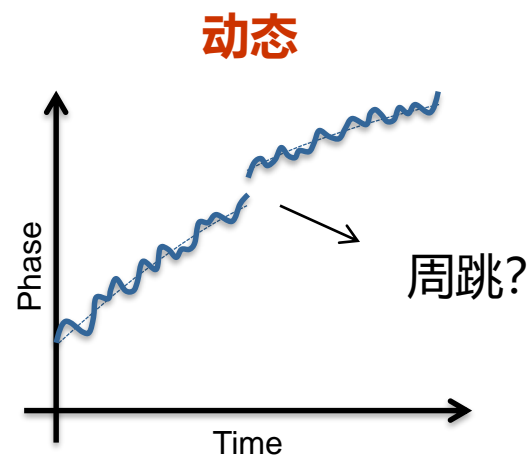
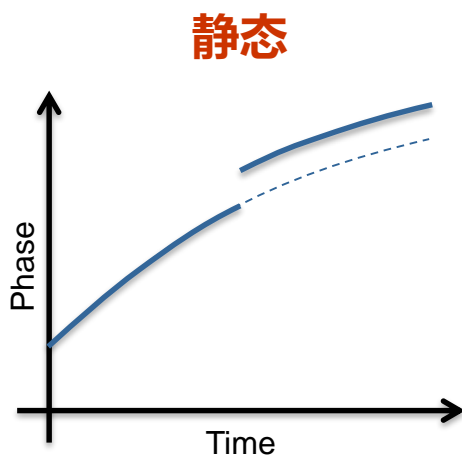
周跳

周跳的定义

- 如果接收机失去对载波的锁定（即使只是短暂的），载波相位模糊度就会发生变化。载波相位模糊度随时间的变化称为周跳。周跳的发生有多种原因
 - 信号弱
 - 信号衰减或阻塞
 - 缆线不佳或连接不佳
 - 多径效应
 - 高接收机动态（加速或猛冲）
 - 电离层引起的闪烁效应

周跳

- 探测载波相位周跳对于正确有效地使用载波相位数据至关重要。此外，在动态应用中探测周跳比在静态应用中更困难，因为用户运动会产生难以预测的额外多普勒频移。周跳探测选项取决于操作模式（静态与动态）和接收机类型（单频与双频）



单频周跳探测 (1/2)

- 探测周跳的最常用方法之一是使用**相速度趋势法 (phase velocity trend)**，或**相位时间差法**。在这种情况下，根据先前的相位测量预测给定时期的载波相位测量，并将预测值与测量值进行比较。如果预测值和测量值之间的差异超过阈值，则声明存在周跳。该方法可应用于任何频率（即 L1、L2、L5 等）

预测相位

$$\hat{\phi}_k = \phi_{k-1} + \frac{\dot{\phi}_k + \dot{\phi}_{k-1}}{2} \Delta t$$

与测量值比较

$$|\hat{\phi}_k - \phi_k| > T \Rightarrow \text{周跳}$$

- 哪些参数会影响阈值T的选择？

高动态；载波相位噪声大小

单频周跳探测(2/2)

使用相速度趋势计算周跳示例

GPS Time (s)	ϕ (cycles)	$\dot{\phi}$ (Hz)	$\hat{\phi}$ (cycles)	$ \hat{\phi} - \phi $ (cycles)	Cycles Slip?
154426	4847.073	146.266	N/A	N/A	N/A
154427	4992.748	144.844	4992.628	0.120	no
154428	5136.899	143.688	5137.014	0.115	no
154429	5280.325	143.156	5280.321	0.004	no
154430	5452.985	142.032	5422.919	30.066	yes

双频周跳探测-TurboEdit 电离层残差法 (1/3)

- 如果有双频数据（例如 L1 和 L2），则可以使用不同的方法。该方法首先形成两个相位测量值随时间变化的差值（用 δ 表示）

$$\begin{aligned}\delta\Phi_{L1} &= \Phi_{L1,k} - \Phi_{L1,k-1} \\ &= \delta\rho + \delta d\rho + \delta cdT - \delta cdt - \delta d_{\text{iono},L1} + \delta d_{\text{trop}} + \delta m_{L1} + \delta n_{L1} + \lambda_{L1}\delta N_{L1}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta\Phi_{L2} &= \Phi_{L2,k} - \Phi_{L2,k-1} \\ &= \delta\rho + \delta d\rho + \delta cdT - \delta cdt - \delta d_{\text{iono},L2} + \delta d_{\text{trop}} + \delta m_{L2} + \delta n_{L2} + \lambda_{L2}\delta N_{L2}\end{aligned}$$

- 对这两个值进行差分（几何无关组合）

$$\begin{aligned}\delta\Phi_{L1} - \delta\Phi_{L2} &= (\delta d_{\text{iono},L1} - \delta d_{\text{iono},L2}) + (\delta m_{L1} - \delta m_{L2}) \\ &\quad + (\delta n_{L1} - \delta n_{L2}) + (\lambda_{L1}\delta N_{L1} - \lambda_{L2}\delta N_{L2})\end{aligned}$$

双频周跳探测-TurboEdit电离层残差法(2/3)

- 在短时间间隔内（几秒），电离层的弥散效应可以忽略不计，即：

$$(\delta d_{\text{iono},L1} - \delta d_{\text{iono},L2}) \approx 0$$

- 此外，由于相位多径和噪声很小，我们可以写出

$$\delta\Phi_{L1} - \delta\Phi_{L2} \approx (\lambda_{L1}\delta N_{L1} - \lambda_{L2}\delta N_{L2})$$

- 相应地测试该值的大小是检测周跳的有效方法。但是，如果检测到周跳，则无法确定它是发生在 L1、L2 还是两者上（可能性不大，但有可能）
- 这种方法对于静态数据和动态数据同样有效。为什么？

$$L_{GF} = \delta\Phi_{L1} - \delta\Phi_{L2}$$

$$= (\Phi_{L1} - \Phi_{L2})_k - (\Phi_{L1} - \Phi_{L2})_{k-1} > T \Rightarrow \text{周跳}$$

双频周跳探测-TurboEdit电离层残差法(3/3)

使用双频法计算周跳示例

GPS Time (s)	ϕ_{L1} (cycles)	$\delta\Phi_{L1}$ (m)	ϕ_{L2} (cycles)	$\delta\Phi_{L2}$ (m)	$\delta\Phi_{L1} - \delta\Phi_{L2}$ (m)
154426	4847.073		3776.413		
		27.721		27.719	0.002
154427	4992.748		3889.917		
		27.431		27.431	0.000
154428	5136.899		4002.244		
		27.293		27.539	-0.246
154429	5280.325		4115.013		

Observation Combinations

观测值组合

多频观测值线性相位组合

- L1 和 L2 测量（伪距或载波相位）

$$\phi_1 = \lambda_1^{-1}(\rho + d\rho + c(dT - dt) - d_{\text{iono1}} + d_{\text{trop}}) + N_1 + n_\phi$$

$$\phi_2 = \lambda_2^{-1}(\rho + d\rho + c(dT - dt) - d_{\text{iono2}} + d_{\text{trop}}) + N_2 + n_\phi$$

线性组合：

$$\phi_{a,b} = a\phi_{L1} + b\phi_{L2}$$

其中a和b为可选系数。上述线性组合的波长为

$$\phi_{a,b} = \left(\frac{a}{\lambda_{L1}} + \frac{b}{\lambda_{L2}}\right)(\rho + d\rho + c(dT - dt) + d_{\text{trop}}) - \left(\frac{a}{\lambda_{L1}} + \frac{b\lambda_{L2}}{\lambda_{L1}^2}\right)I_{\text{ion1}} + N_{ab} + n_\phi$$

- 这种组合的总体目标是以某种方式改善相对于原始测量的测量结果。这一概念通常用于研究不同的误差源和解决模糊度问题。

多频观测值线性相位组合

- L1 和 L2 测量（伪距或载波相位）可以线性组合。对于载波相位，线性组合表示为

$$\phi_{a,b} = a\phi_{L1} + b\phi_{L2}$$

其中a和b为可选系数。上述线性组合的波长为

$$\lambda_{a,b} = \frac{c}{af_{L1} + bf_{L2}} = \frac{c}{a/\lambda_{L1} + b/\lambda_{L2}} = \frac{\lambda_{L1}\lambda_{L2}}{b\lambda_{L1} + a\lambda_{L2}}$$

- 这种组合的总体目标是以某种方式改善相对于原始测量的测量结果。这一概念通常用于研究不同的误差源和解决模糊度问题。

宽巷组合

- 由传统的L1和L2双频载波相位观测值 ϕ_1 和 ϕ_2 所组成的宽巷 ϕ_w

$$\phi_w = \phi_1 - \phi_2$$

- 宽巷波长(86cm,对于L1 L2组合)

$$\lambda_w = \frac{c}{f_1 - f_2} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

- 宽巷频率

$$f_w = f_1 - f_2$$

- 宽巷模糊度

$$N_w = N_1 - N_2$$

窄巷组合

- 由传统的L1和L2双频载波相位观测值 ϕ_1 和 ϕ_2 所组成的窄巷 ϕ_w

$$\phi_n = \phi_1 + \phi_2$$

- 窄巷波长(10cm,对于L1 L2组合)

$$\lambda_n = \frac{c}{f_1 + f_2} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 + \lambda_1}$$

- 窄巷频率

$$f_n = f_1 + f_2$$

- 窄巷模糊度

$$N_n = N_1 + N_2$$

消电离层组合

- L1和L2双频载波相位观测值 ϕ_1 和 ϕ_2 所组成的消电离层组合 ϕ_{IF}
- $$P_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} P_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} P_2$$
- $$\Phi_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \Phi_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \Phi_2$$
- 优点和缺点：
 - 消除电离层误差
 - 但是模糊度失去了整周特性

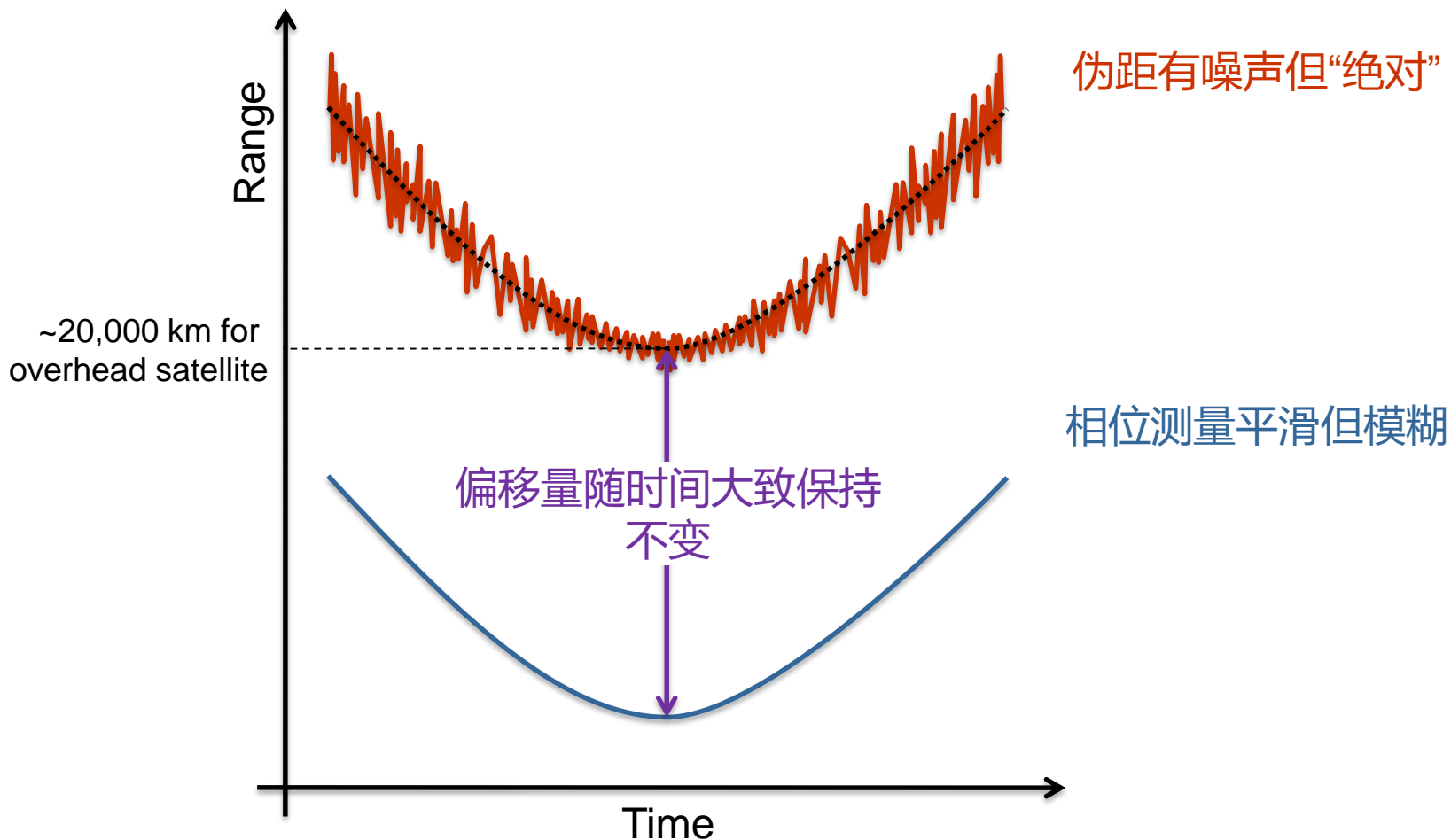
MW组合

- GNSS中的MW组合（Melbourne-Wübbena组合）是一种将不同频率上的伪距和相位观测值进行线性组合的方法。

$$\begin{aligned} L_{MW} &= \frac{1}{f_1 - f_2} (f_1 L_1 - f_2 L_2) - \frac{1}{f_1 + f_2} (f_1 P_1 + f_2 P_2) \\ &= \frac{c}{f_1 - f_2} (N_1 - N_2) \end{aligned}$$

- 优点和缺点
 - 同时消除几何项、电离层项
 - 模糊度的波长变大，方便解算模糊度
 - 噪声变大

载波平滑伪距的概念



伪距载波平滑的目的是为了获得每次测量的最佳质量

载波相位平滑(1/2)

- 载波平滑旨在将噪声大但绝对的伪距与精确但模糊的载波相位合并。这种方法为纯伪距观测提供了一种替代方案，几乎所有接收器都采用这种方法。
- 实现方法通常是一种递归算法，其中赋予载波相位的“权重”会随着时间的推移逐渐增加。该算法从第一个时期的伪距开始，在每个时期，平滑后的伪距由下式给出

平滑伪距
(首次测量时初始化)

测量的伪距

$$\tilde{P}_k = W_{P,k} \cdot P_k + W_{\Phi,k} \cdot [\tilde{P}_{k-1} + (\Phi_k - \Phi_{k-1})]$$

载波相位和伪距测量的权重

测量载波相位差 (即距离差, 如果没有周跳)

Detailed description: The diagram shows the recursive formula for carrier phase smoothing. The left side is labeled '平滑伪距 (首次测量时初始化)' with a blue arrow pointing to the \tilde{P}_k term. The right side consists of two parts: $W_{P,k} \cdot P_k$ and $W_{\Phi,k} \cdot [\tilde{P}_{k-1} + (\Phi_k - \Phi_{k-1})]$. A red arrow points from '测量的伪距' to the P_k term. A blue arrow points from the first part of the label to the $W_{P,k}$ term. A purple arrow points from the second part of the label to the $W_{\Phi,k}$ term. A green arrow points from the third part of the label to the $\Phi_k - \Phi_{k-1}$ term. The Φ_k and Φ_{k-1} terms are highlighted in green.

载波相位平滑(2/2)

- 伪距和相位测量的权重应随时间调整。典型的算法是

$$W_{P,k} = W_{P,k-1} - \Delta W$$

$$W_{P,\min} \leq W_{P,k} \leq 1$$

$$W_{P,0} = 1$$

$$W_{\Phi,k} = W_{\Phi,k-1} + \Delta W$$

$$0 \leq W_{\Phi,k} \leq W_{\Phi,\max}$$

$$W_{\Phi,0} = 0$$

$$W_{P,k} + W_{\Phi,k} = 1$$

- 随着载波相位权重的增加，伪距的权重会随着时间的推移而减小。一般来说，载波相位数据不会被赋予全部权重。上述参数的典型值为

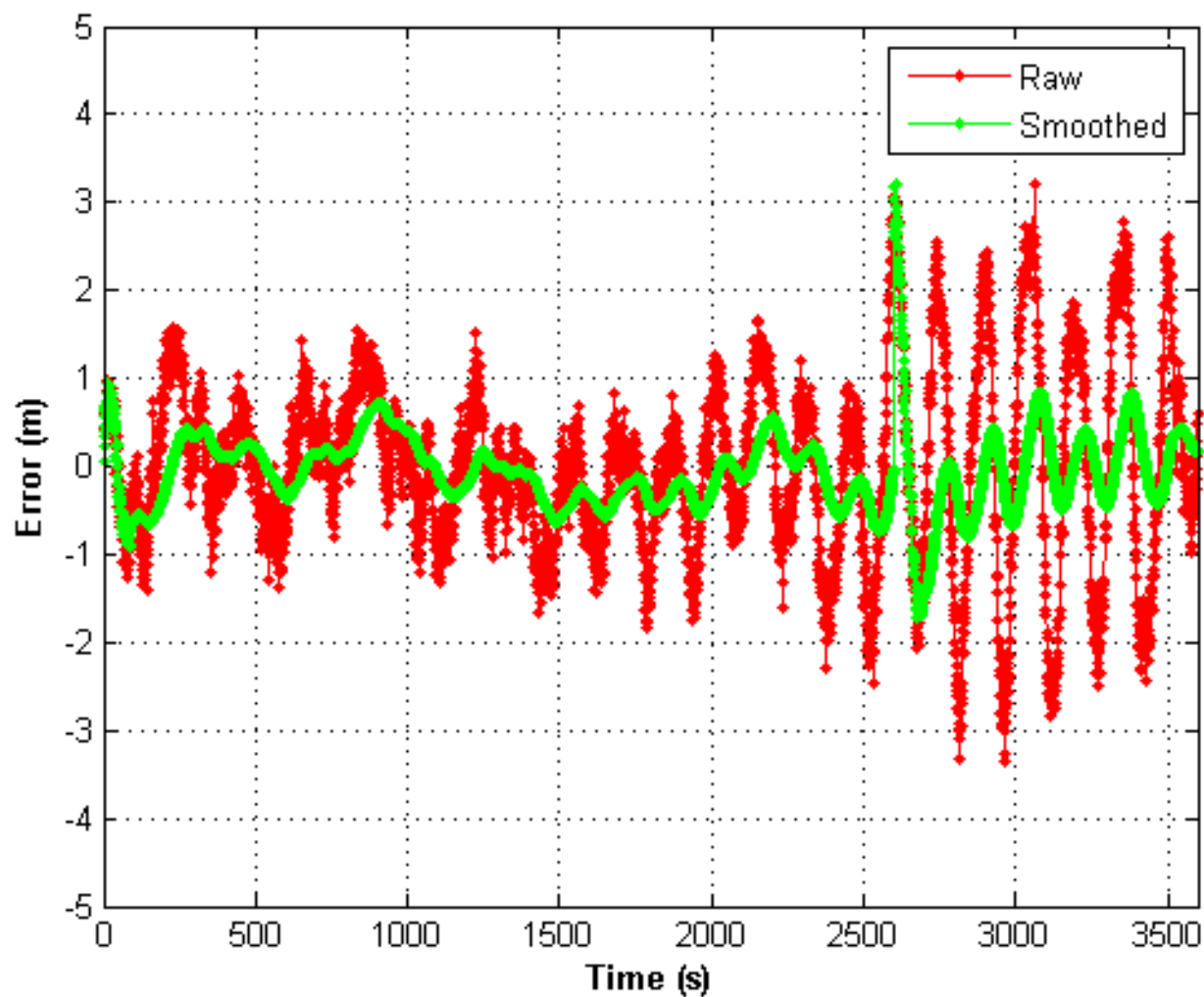
$$DW = 1\% / s = 0.01 / s$$

$$W_{P,\min} = 1\% = 0.01$$

$$W_{\Phi,\max} = 99\% = 0.99$$

- 当然，整个算法都假设没有周跳。当检测到周跳时，该过程将重新开始。

载波相位平滑示例



数据中是否存在周跳？如何判断？

评估伪距多路径

- 为了评估伪距多径和噪声（有或没有载波平滑）的性能，使用伪距减载波组合

$$P - \Phi = 2d_{\text{iono}} + m_P + n_P - m_\Phi - n_\Phi - \lambda N$$

- 由于载波相位多径和噪声与其他项相比较小，因此可以有效地忽略它们。电离层和模糊度项通过拟合数据中的多项式来建模，因为模糊度是恒定的（根据定义，如果没有发生周跳），并且电离层误差往往会随时间缓慢变化。一旦消除了这种趋势，您基本上就只剩下伪距多径和噪声了。

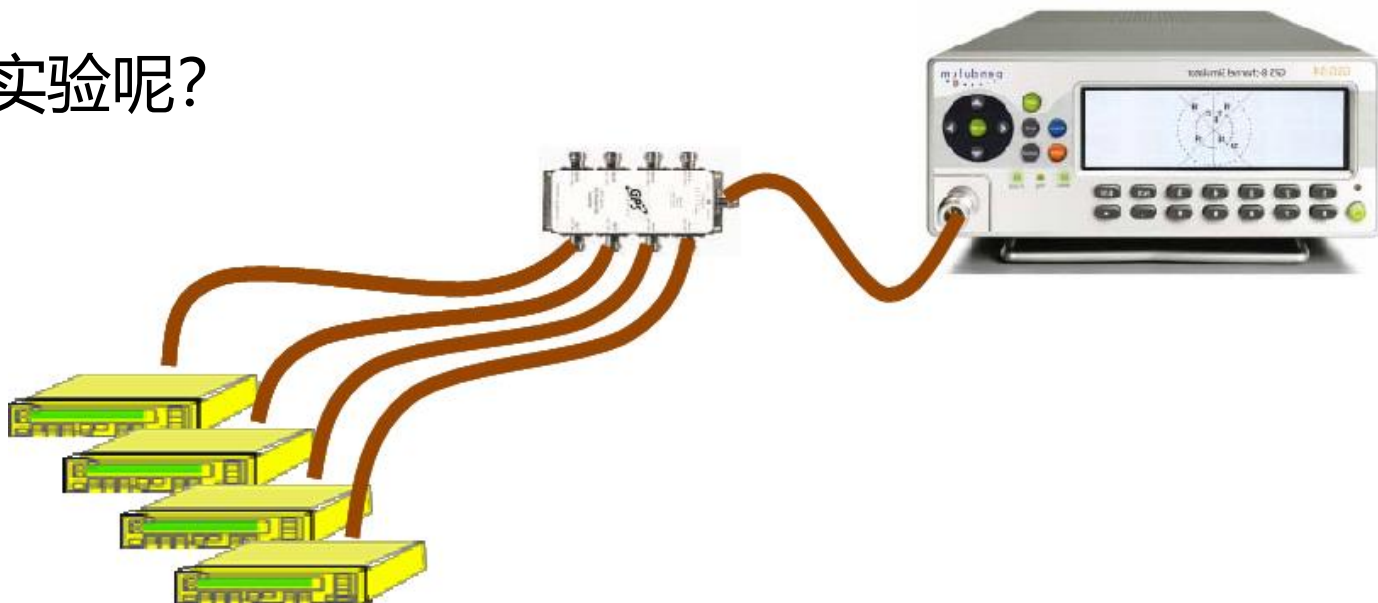
零基线实验

- 零基线，通过消除系统误差，可用来评估接收机的观测值噪声

$$\nabla \Delta P_{12}^{AB} = \nabla \Delta n_p$$

$$\nabla \Delta L_{12}^{AB} = \nabla \Delta n_L + \nabla \Delta N$$

- 那么，短基线实验呢？



Introduction to Differential Positioning

差分定位简介

差分是另一种观测值组合

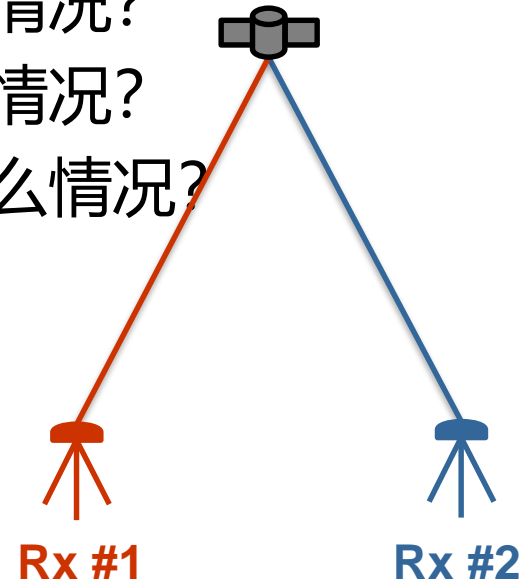
- 到目前为止，我们只考虑了从单个接收器对单个卫星的观测组合。但是，这个概念可以扩展到包括其他卫星和/或其他接收器。这种方法的主要动机是减少测量中的一些误差（我们将在下一章中讨论具体哪些误差）。
- 暂时，我们只考虑伪距测量的差分，但同样的概念也同样适用于载波相位和多普勒测量。
- 我们将在课程的后面再次讨论差分，但这个初步介绍将有助于解释为什么下一章中的一些信息如此重要。

接收机间单差

- 第一种情况是当我们有两个接收机和一颗卫星时。每个接收机的伪距测量结果的差分如下

$$\begin{aligned}\Delta P_{12} &= P_2 - P_1 \\ &= \Delta\rho + \Delta d\rho + c(\Delta dT - \Delta dt) + \Delta d_{\text{iono}} + \Delta d_{\text{trop}} + \Delta m_p + \Delta n_p\end{aligned}$$

- 如果两个接收机的误差相同，会发生什么情况？
- 如果两个接收机的误差相似，会发生什么情况？
- 如果接收机之间的误差不相关，会发生什么情况？
- 使用这种方法可以获得什么“类型”的位置？



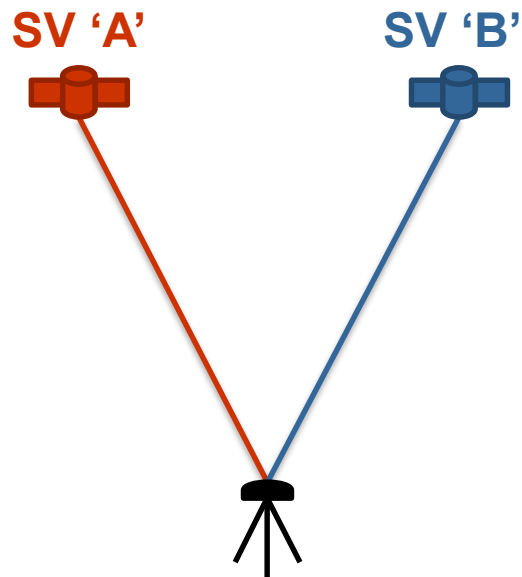
卫星间单差

- 第二种情况是当我们有一个接收机和两颗卫星时。对每颗卫星的伪距测量结果的差分如下

$$\nabla P^{AB} = P^B - P^A$$

$$= \nabla \rho + \nabla d\rho + c(\nabla dT - \nabla dt) + \nabla d_{\text{iono}} + \nabla d_{\text{trop}} + \nabla m_P + \nabla n_P$$

- 当考虑两颗以上卫星时，只形成独立的差异。例如，通常使用“基准卫星”，所有其他卫星的测量值都与基准卫星相差。

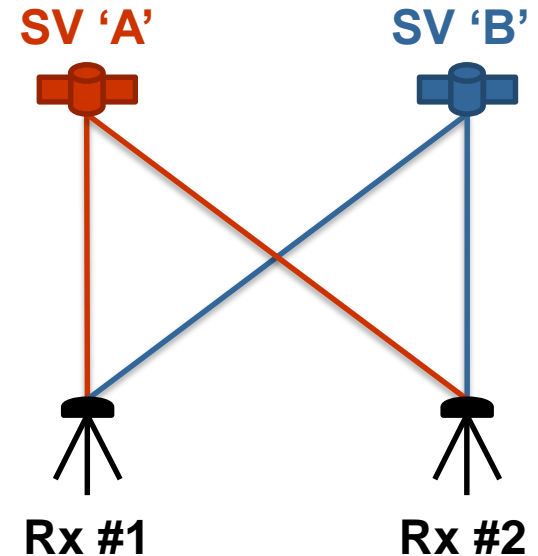


双差

- 最后一种情况涉及两个接收机和两颗卫星。通过扩展，我们结合了接收器间和卫星间的差分

$$\begin{aligned}\nabla\Delta P_{12}^{AB} &= \Delta P_{12}^B - \Delta P_{12}^A = \nabla P_2^{AB} - \nabla P_1^{AB} \\ &= \nabla\Delta\rho + \nabla\Delta d\rho + c(\nabla\Delta dT - \nabla\Delta dt) + \nabla\Delta d_{\text{iono}} + \nabla\Delta d_{\text{trop}} + \nabla\Delta m_p + \nabla\Delta n_p\end{aligned}$$

- 双差结合了两种单差分方法的优点。第 7 章将对此进行更详细的研究，但在下一章中研究不同的误差源时，这一概念将很重要。



接收机观测文件的标准格式-RINEX

接收机观测文件的标准格式-RINEX

- RINEX (**Receiver Independent EXchange format**) 是一种卫星定位普遍采用的标准数据格式，该格式存储数据的形式为文本文件，数据记录格式与接收机的型号和制造厂商无关。
- 如今，RINEX格式已成为了卫星定位测量应用中的**标准数据格式**，绝大多数的**卫星接收机厂商**都提供将其专有传输格式转化为RINEX格式的工具。同时RINEX格式的数据能够被大多数数据处理分析软件直接读取。
- 经过多年不断的修正与改善，如今应用最广泛的是RINEX的第三代版本
- 目前最常用的是RINEX **3.0x**版本，最新的到rinex4.0版本(2023)

观测文件的标准格式-RINEX

- 为了分别存放不同种类的信息，分成多种不同的文本文件。不同文件之间，以文件名的后缀来区分。RINEX3.02格式下的文件名，其具体形式如下：
 - 文件类型，本次设计所用到的文件类型分别有：
 - O —观测值文件
 - N —导航电文文件, GPS(N), Beidou (C)
- 短命名：aaaabbbbc.dde
 - dd: 年份
 - e.g. GXBY1650.21O

观测文件的标准格式-RINEX

- 长命名

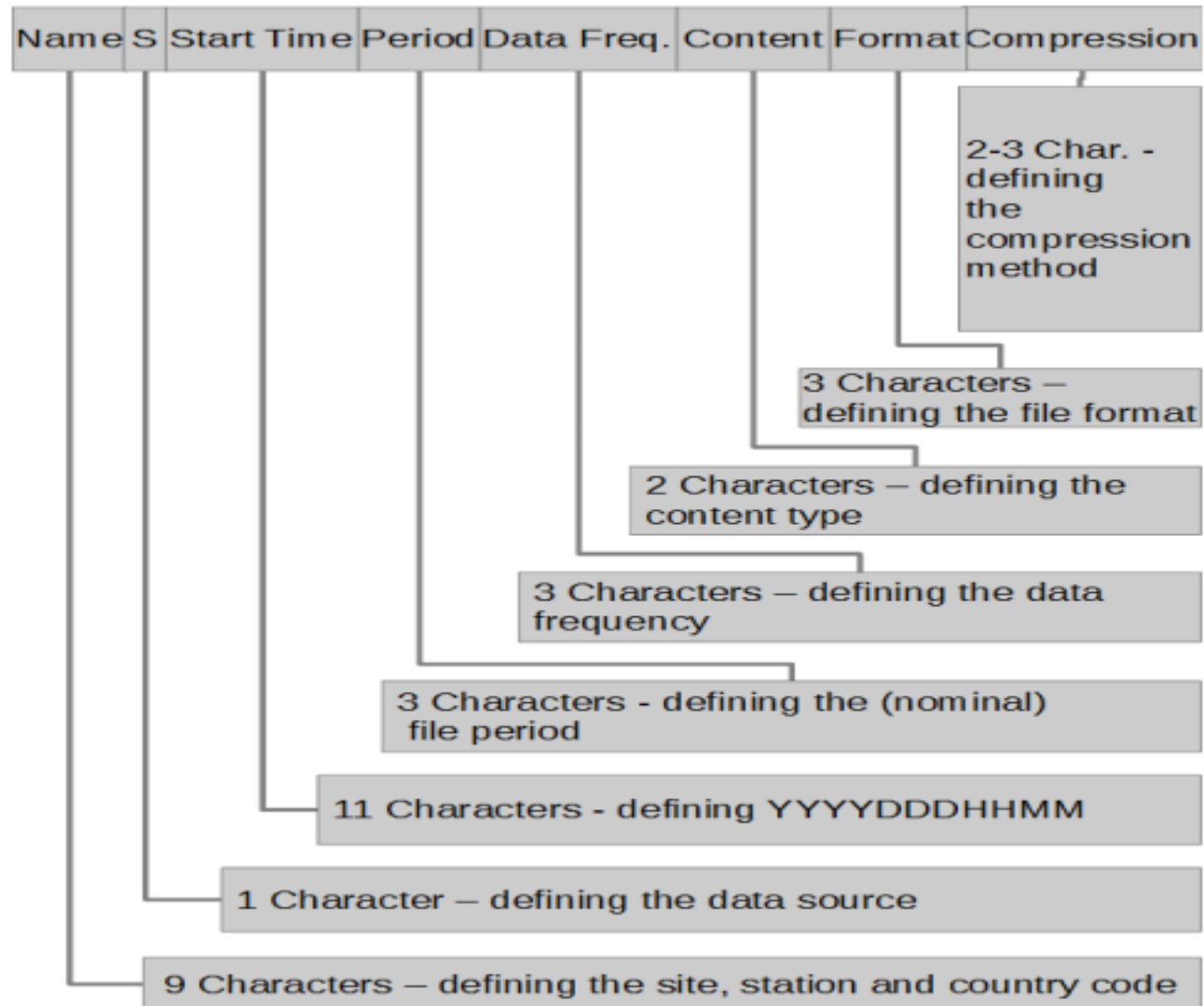


Figure 2: RINEX Long filename parameters.

eg: ALGO00CAN_R_20121601000_01H_01S_MO.rnx

头文件

```
3.02      OBSERVATION DATA      M (MIXED)      RINEX VERSION / TYPE
Convert 2.0      NovAtel      20170424 074543 UTC PGM / RUN BY / DATE
Rinex Version 3.02 Observation File      COMMENT
                                          MARKER NAME
                                          MARKER NUMBER
                                          OBSERVER / AGENCY
                                          REC # / TYPE / VERS
                                          ANI # / TYPE
                                          APPROX POSITION XYZ
                                          ANIENNA: DELIA H/E/N
G 12 C1C L1C D1C S1C C2W L2W D2W S2W C2C L2C D2C S2C SYS / # / OBS TYPES
R 12 C1C L1C D1C S1C C2P L2P D2P S2P C2C L2C D2C S2C SYS / # / OBS TYPES
C 8 C1I L1I D1I S1I C7I L7I D7I S7I SYS / # / OBS TYPES
DBHZ      SIGNAL STRENGTH UNIT
1.000      INTERVAL
2017 4 24 7 7 54.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
2017 4 24 7 37 52.0000000 GPS TIME OF LAST OBS
G L1C 0.00000 10 G16 G07 G23 G11 G09 G26 G27 G08 G30 G01 SYS / PHASE SHIFT
G L2W 0.00000 09 G16 G07 G23 G11 G09 G26 G27 G08 G01 SYS / PHASE SHIFT
G L2C -0.25000 06 G07 G09 G26 G27 G08 G01 SYS / PHASE SHIFT
R L1C 0.00000 06 R19 R09 R16 R15 R18 R20 SYS / PHASE SHIFT
R L2P 0.00000 06 R19 R09 R16 R15 R18 R20 SYS / PHASE SHIFT
R L2C 0.00000 06 R19 R09 R16 R15 R18 R20 SYS / PHASE SHIFT
C L1I 0.00000 10 C13 C11 C04 C07 C08 C02 C03 C01 C10 C12 SYS / PHASE SHIFT
C L7I 0.00000 10 C13 C11 C04 C07 C08 C02 C03 C01 C10 C12 SYS / PHASE SHIFT
6 R19 3 R09 -2 R16 -1 R15 0 R18 -3 R20 2 GLONASS SLOT / FRQ #
C1C -71.950 C2P -71.950 C2C -71.950 GLONASS COD/PHS/BIS
18 18 1929 7 LEAP SECONDS
END OF HEADER
> 2017 04 24 07 07 54.0000000 0 23 -0.000000000000000
G16 22260490.760 8 116979665.780 8 -1657.937 48.600 22260490.473 6 91152989.404 6 -1291.895 40.700
G07 22251473.520 6 116932281.590 6 2959.561 41.600 22251473.461 5 91116074.119 5 2306.158 32.300
```

- 文件头部分中包含的信息有：RINEX格式的版本号、文件类型、观测值所属卫星系统（G为GPS，R为GLONASS，C为BDS）、天线标志的名称、接收机相关信息、第一个和最后一个观测记录的时间等。
- 在数据记录部分中，每一秒是一个循环。循环的第一行显示了当前的时间信息，第二行开始为观测值信息，一颗卫星有一行数据，从GPS卫星开始到BDS卫星为止。

数据完整记录

年月日
时分秒

卫星数

接收机偏
差 (选项)

```
> 2006 03 24 13 10 36.000000 0 5 -0.123456789012
G06 23629347.915 .300 8 -.353 4 23629347.158 24.158
G09 20891534.648 -.120 9 -.358 6 20891545.292 38.123
G12 20607600.189 -.430 9 .394 5 20607600.848 35.234
E11 .324 8 .178 7
S20 38137559.506 335849.135 9
```

- 卫星编号
- m 个观测数据字段(F14.3) (与各 SYS / # / OBS TYPES 头记录中给出的顺序相同), 每个字段包含指定的观测数据, 例如: 伪距、相位、多普勒和信噪比。
- 锁定丢失指示器(I1) – LLI
- 信号强度指示器(I1) – SSI

RTCM

国际海运事业无线技术委员会

RTCM 3.x

- What is RTCM?
 - 国际海运事业无线技术委员会 (Radio Technical Commission for Maritime Services, 简称RTCM)
 - RTCM协议通过优化数据格式和传输方式, 显著提高了GNSS数据的传输效率, 增强了RTK/DGNSS系统的定位精度, 使其能够实现厘米级的定位精度, 满足高精度定位的需求。
 - 此外, RTCM协议具有较好的兼容性和扩展性, 能够适应不同的GNSS系统和应用场景, 如自动驾驶、无人机导航等
 - 最新版本是 **RTCM STANDARD 10403.2**

RTCM 3.2 数据帧结构

引导字	保留字	信息长度	可变信息长度	CRC校验
8bits	6bits	10bits	长度可变	24bits
11010011	000000	以比特为单 位	0-1023bytes	

- RTCM3.2标准包含应用层、表示层、传输层、数据链路层以及物理层。
- 每条RTCM3.2的电文都是以8位的引导字开头，其十六进制下内容为“D3”；之后是长6位的保留字，由0来填充；
- 然后是用来表示信息长度的字段，该段长达10位；
- 后面是电文中与卫星及接收机等有关的导航数据

RTCM 3.2

Table 3.1-1 Message Groups

Group Name	Sub-Group Name	Message Type
Observations	GPS L1	1001
		1002
	GPS L1 / L2	1003
		1004
	GLONASS L1	1009
		1010
	GLONASS L1 / L2	1011
		1012
	GPS MSMs	1071-1077
	GLONASS MSMs	1081-1087
GALILEO MSMs	1091-1097	
Station Coordinates		1005
		1006
		1032
Antenna Description		1007
		1008
Receiver and Antenna Description		1033
Network RTK Corrections	Network Auxiliary Station Data Message	1014
	GPS Ionospheric Correction Differences	1015
	GPS Geometric Correction Differences	1016
	Combined GPS Geometric and Ionospheric Correction Differences	1017
	GPS Network RTK Residual Message	1030
	GLONASS Network RTK Residual Message	1031

Group Name	Sub-Group Name	Message Type
	GPS Network FKP Gradient Message	1034
	GLONASS Network FKP Gradient Message	1035
	GLONASS Ionospheric Correction Differences	1037
	GLONASS Geometric Correction Differences	1038
	Combined GLONASS Geometric and Ionospheric Correction Differences	1039
Auxiliary Operation Information	System Parameters	1013
	Satellite Ephemeris Data	1019
		1020
	Unicode Text String	1029
	GLONASS bias information	1230
Transformation Parameter Information	Helmet/Abridged Molodenski Message	1021
	Molodenski-Badekas Message	1022
	Representation Residual Messages	1023
		1024
	Projection Parameters Messages	1025
		1026
	State Space Representation Parameters	GPS Orbit Correction
GPS Clock Correction		1058
GPS Code Bias		1059
GPS Combined Orbit and Clock		1060
GPS URA		1061
GPS High Rate Clock		1062

RTCM3.2解码举例

包含**GPS**观测值信息**MSM4**的**1074**电文

```
D3 00 8A 43 20 33 5B 36 96 02 00 00 00 0B 26 C0
00 00 00 00 20 20 00 00 7F FF A4 A6 A5 A1 A5 24
A3 26 9F 03 DF B3 2D 77 E1 90 52 78 99 56 36 0E
1E CC 4A 66 59 BC E7 9A AC B6 0C 1E E5 41 82 61
A0 CB C7 5A BE F5 FB 57 B8 7E 89 51 90 2C A8 30
48 F3 01 3D D9 7D 44 44 03 C1 2F C1 5F DF 2D F7
08 45 D2 24 27 80 73 4E C1 FC 7E 01 4C C6 15 6A
57 D8 28 A0 47 32 FF FF FF FF FF FF FF FF 80 00
63 05 6C 5E FE 74 58 CE 50 E7 35 8B 00
```



卫星号	C1	P2	L1	L2	SNR1	SNR2
12	21 957 571. 318	21 957 579. 056	115 388 103. 071	89 912 945. 876	49	32
14	23 120 064. 713	23 120 072. 021	121 497 013. 426	94 673 027. 973	43	24
15	22 772 688. 190	22 772 695. 642	119 671 655. 826	93 250 916. 032	47	31
18	20 262 242. 404	20 262 248. 801	106 478 938. 282	82 970 648. 637	51	40
21	22 465 545. 881	22 465 554. 387	118 057 293. 227	91 992 753. 403	44	25
22	21 899 599. 383	21 899 604. 244	115 083 277. 775	89 675 336. 714	50	33
24	20 997 428. 205	20 997 437. 426	110 342 603. 333	85 981 553. 098	51	38
25	23 154 490. 654	23 154 507. 219	121 677 878. 122	94 814 200. 931	44	22