

rtklib 深入解读

1 单站误差源处理 (rtkpos/zdres)

I opt : options

opt->exsats/opt->navsys: 需要排除的卫星/需要处理的 GNSS 系统

opt->elmin: 计算单站非差残差的最小卫星高度角

opt->pcvr: 基准站/流动站的 pco/pcv

opt->antdel: 基准站/流动站的天线参考点 (ARP) 相对于地面标识的偏移

opt->posopt[1]: 是否改正测站的 pcv (0:off,1:on)

(opt)->ionoopt: 观测值组合是否是无电离层类型, 如果是, 频率数量设为 1

opt->snrmask: 观测值单频的信噪比阈值

opt->tidecorr: (0:off,1:solid,2:solid+otl+pole)

I svh : sat health flags

用于筛选卫星, 卫星缺失(svh<0) 或者 QZSS 卫星标识不为 0

I nav : sat nav data

nav->lam[obs->sat-1]: 所有卫星各个频率的波长

1.1 Sagnac 效应改正

$$r + \text{OMGE} * (rs[0] * rr[1] - rs[1] * rr[0]) / \text{CLIGHT};$$

$$xs = xs_o + \delta xs \quad ys = ys_o + \delta ys \quad zs = zs_o + \delta zs$$

$$d_o = \sqrt{(xs_o - xr)^2 + (ys_o - yr)^2 + (zs_o - zr)^2}$$

$$\theta = w_e \cdot d / c \approx w_e \cdot d_o / c$$

$$\begin{bmatrix} xs \\ ys \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} xs_o \\ ys_o \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 1 & \theta \\ -\theta & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} xs_o \\ ys_o \end{bmatrix}$$

三处近似

$$\delta xs = \theta \cdot ys_o \quad \delta ys = -\theta \cdot xs_o$$

$$d = \sqrt{(xs - xr)^2 + (ys - yr)^2 + (zs - zr)^2}$$

$$\approx d_o + \frac{xs_o - xr}{d_o} \delta xs + \frac{ys_o - yr}{d_o} \delta ys + \frac{zs_o - zr}{d_o} \delta zs$$

$$= d_o + \theta \cdot \left(\frac{xs_o - xr}{d_o} \cdot ys_o - \frac{ys_o - yr}{d_o} \cdot xs_o \right)$$

$$= d_o + \frac{w_e}{c} \cdot (yr \cdot xs_o - xr \cdot ys_o)$$

1.2 方位角/高度角的计算

```
xyz2enu(pos,E);
```

```
matmul("NN",3,1,3,1.0,E,r,0.0,e);
```

方位角/高度角的计算需要计算当地水平 enu 坐标系下卫星的位置，目前已知有卫星在 ECEF 坐标系下的位置，因此，我们还需要计算 ECEF 坐标系到 enu 坐标系的**变换矩阵**。

由于变换矩阵涉及到 enu 坐标系三轴在空间的朝向，我们首先需要把测站的 xyz 坐标转换到某个参考椭球的经纬高，由经纬高得到的变换矩阵公式如下：

$$l := longitude \quad p := latitude$$

$$E = \begin{bmatrix} -\sin l & \cos l & 0 \\ -\sin p \cdot \cos l & -\sin p \cdot \sin l & \cos p \\ \cos p \cdot \cos l & \cos p \cdot \sin l & \sin p \end{bmatrix}$$

注意，rtklib 的矩阵存储方式为列优先，并且有配套的矩阵乘法运算。坐标变换公式如下：

$$r_{enu} = E \cdot r_{ECEF}$$

```
az=dot(enu,enu,2)<1E-12?0.0:atan2(enu[0],enu[1]);
```

```
if (az<0.0) az+=2*PI;
```

Tip: 此三目运算主要是考虑到卫星处于近天顶方向时, 方位角也就失去了其含义, 因此, 人为赋值为 0; 并且 atan2 函数中的变量顺序也说明了方位角的含义是与北方向的夹角, 从天顶看顺时针为正, 范围在【0~2π】。

1.3 卫星观测值的排除

1. 卫星星历缺失 $svh < 0$
2. 人为排除某颗卫星 $opt \rightarrow exsats[sat-1] == 1$
3. 不属于所选卫星系统 $!(sys \& opt \rightarrow navsys)$
4. 在选择 QZSS 的情况下, 星历标识不健康 ($\neq 0$) $if (sys == SYS_QZS) svh \&= 0 \times FE$
5. 用户距离精度 (URA) 标准差大于设定阈值 (300m)

URA INDEX		URA (meters)	
0	0.00	< URA ≤	2.40
1	2.40	< URA ≤	3.40
2	3.40	< URA ≤	4.85
3	4.85	< URA ≤	6.85
4	6.85	< URA ≤	9.65
5	9.65	< URA ≤	13.65
6	13.65	< URA ≤	24.00
7	24.00	< URA ≤	48.00
8	48.00	< URA ≤	96.00
9	96.00	< URA ≤	192.00
10	192.00	< URA ≤	384.00
11	384.00	< URA ≤	768.00

1.4 对流层误差的计算

1.4.1 标准大气值的计算

$$p = 1013.25 \times (1 - 2.2557 \times 10^{-5} h)^{5.2568}$$

$$T = 15.0 - 6.5 \times 10^{-3} h + 273.15$$

$$e = 6.108 \times \exp \left\{ \frac{17.15T - 4684.0}{T - 38.45} \right\} \times \frac{h_{rel}}{100}$$

1.4.2 Saas 模型天顶干延迟和湿延迟的计算

$$T_h = \frac{0.0022768p}{1.0 - 0.00266 \cos(2\phi) - 2.8h \times 10^{-7}} \times \frac{1}{\cos z}$$

$$T_w = 0.0022768 \left(\frac{1255.0}{T} + 0.05 \right) e \times \frac{1}{\cos z}$$

$$T_r = T_h + T_w$$

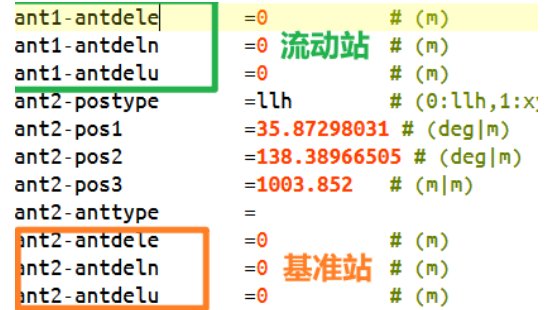
1.4.3 对流程延迟投影函数 NMF/GMF

1.5 接收机天线偏移的计算

- a) 天线相位偏移 (PCO) ARP → APC (天线参考点到天线平均相位中心)
- b) 天线相位变化 (PCV) APC → IPC (平均相位中心到瞬时相位中心)

$$l = P - (r_{pco} + PCV)$$

- c) 天线参考点 (ARP) 相对于地面标识的偏移



BLOCK	IIA	G06	G036	1994-016A	TYPE	SERIAL NO	
		GFZ/TUM	0	20-APR-05	METH / BY / # / DATE		
	0.0				DAZI		
	0.0	14.0	1.0		ZEN1 / ZEN2 / DZEN		
	2				# OF FREQUENCIES		
	1994	3	10	0	0	0.0000000	
						VALID FROM	
	IGS05_1627					SINEX CODE	
	G01					START OF FREQUENCY	
	279.00	0.00	2676.00			NORTH / EAST / UP	
	NOAZI	-0.80	-0.90	-0.90	-0.80	-0.40	0.20
		0.80	1.30	1.40	1.20	0.70	0.00
		-0.40	-0.70	-0.90			