

中长基线的 BDS 三频线性组合观测量优化

谢建涛¹ 郝金明¹ 刘伟平¹ 田英国¹ 于合理¹

1 信息工程大学导航与空天目标工程学院,河南 郑州,450052

摘 要:基于几何无关(geometry-free,GF)和电离层无关(ionosphere-free,IF)的三频原始载波线性组合观测量,由于消除了一阶电离层延迟项以及同卫星与测站间几何距离相关误差项的影响,可有效应用于中长基线模糊度解算。对适用于北斗卫星导航系统(BDS)中长基线模糊度解算的 GF 和 IF 线性组合观测量进行了研究和优化,通过对载波观测量与伪距观测量组合,得到噪声最小且基于 GF 和 IF 的宽巷组合观测量,然后将模糊度得到固定的两个载波组合观测量与原始载波观测量进行最优线性组合,得到具有最低噪声的基于 GF 和 IF 的窄巷组合观测量。该方法充分利用了所有载波及伪距观测量信息,并根据其噪声水平进行了加权优化,公式推导具有普遍性和代表性。通过三频实测基线数据进行了论证分析。结果表明,经过一段时间的平滑之后,宽巷和窄巷模糊度浮点解的偏差能收敛到 0.5 周以内,从而实现模糊度的快速准确固定。

关键词:BDS;TCAR; RTK;模糊度解算;几何无关组合;电离层无关组合

中图法分类号:P228.41 **文献标志码:**A

基于几何无关(geometry-free,GF)和电离层无关(ionosphere-free,IF)的原始载波相位线性组合观测量消除了一阶电离层延迟项以及同卫星与测站间几何距离相关误差项的影响,可有效应用于长基线的相对定位解算。为了能够成功解算模糊度参数,需要 3 个线性无关的虚拟组合观测量。近些年来,就如何得到第三个线性无关的 GF 和 IF 虚拟线性组合观测量,国内外学者进行了大量的研究^[1-8],得到了许多有益的结论。基于模糊度参数改正的载波相位观测量相较伪距观测量具有更低的观测噪声,可用于观测量的线性组合^[5]。Li 等选取了 3 组几何相关(GB)的组合观测量以获取几何无关的线性组合观测量。此外,Li 等通过 GF 和 IF 的方法进行窄巷模糊度的解算。Wang^[6]等通过两个 GF 和 IF 组合观测量对第三个线性无关的组合观测量进行了研究,并采用 GPS 和 Galileo 三频实测数据进行了分析。本文针对 BDS 三频信号的特性,对适用于长基线解算的 GF 和 IF 线性组合观测量进行了研究,并结合 BDS 三频实测数据进行了验证分析。结果表明,经过一段时间的平滑之后,能实现模糊度的快速准确固定。

1 GF 和 IF 三频线性组合解算方法

许多研究都表明,三频观测条件下, $\varphi_{(0,-1,1)}$ 作为超宽巷(extra-wide-lane,EWL),具有长波长、低噪声和低电离层延迟等优良特性,长基线条件下极易进行模糊度固定^[2,3]。需要指出的是, $\varphi_{(0,-1,1)}$ 既不是 GF 也不是 IF,采用式(1)能够有效固定模糊度参数^[1]:

$$\begin{cases} N_{(0,-1,1)} = |(P_{(0,0,1)} - \varphi_{(0,-1,1)})/\lambda_{(0,-1,1)}| \\ \bar{\varphi}_{(0,-1,1)} = \varphi_{(0,-1,1)} + \lambda_{(0,-1,1)} N_{(0,-1,1)} \end{cases} \quad (1)$$

式中, $\lambda_{(0,-1,1)}$ 表示虚拟波长,对于北斗卫星导航系统(BDS), $\lambda_{(0,-1,1)} = 4.884 \text{ m}$; $|\cdot|$ 是取整算子; $\bar{\varphi}_{(0,-1,1)}$ 表示模糊度得到固定的超宽巷观测量,可用于下一步中 GF 和 IF 组合观测量的选取和优化。

1.1 基于 $\bar{\varphi}_{(0,-1,1)}$ 的第二个 GF 和 IF 最优观测量选取方法

通过式(2)构造新的虚拟观测量(单位:m):

$$\varphi_x = a_1 \cdot L_1 + a_2 \cdot L_2 + a_3 \cdot L_3 + b_0 \cdot \bar{\varphi}_{(0,-1,1)} + b_1 \cdot P_3 \quad (2)$$

由于 BDS 的伪距观测量 P_3 具有较高的精度,因此将其同 $\tilde{\varphi}_{(0,-1,1)}$ 以及 3 个原始载波观测量 L_1 、 L_2 和 L_3 一起进行线性组合,组合观测量的模糊度参数 N_x 为:

$$N_x=a_x\cdot N_1+b_x\cdot N_2+c_x\cdot N_3\tag{3}$$

式中, a_x 、 b_x 和 c_x 为整数,其中 $a_1=\frac{a_x\cdot f_1}{f_x}$,
 $a_2=\frac{b_x\cdot f_2}{f_x},a_3=\frac{c_x\cdot f_3}{f_x}$; f_x 为虚拟组合频点;
 N_1 、 N_2 、 N_3 分别表示 L_1 、 L_2 、 L_3 上的整固模糊度参数。为满足 GF 和 IF 以及组合之后的观测

$$\sigma_x=\sqrt{((\frac{a_x\cdot f_1}{f_x})^2+(\frac{b_x\cdot f_2}{f_x}-\frac{b_0\cdot f_2}{f_{\varphi(0,-1,1)}})^2+(\frac{c_x\cdot f_3}{f_x}+\frac{b_0\cdot f_3}{f_{\varphi(0,-1,1)}})^2\cdot\sigma_L^2+b_1^2\cdot\sigma_{p_3}^2}\tag{6}$$

式中, $f_{\varphi(0,-1,1)}=f_3-f_2$;
 $b_0=\frac{k_1\cdot a_x+k_2\cdot b_x+k_3\cdot c_x}{f_x}$;
 $b_1=\frac{m_1\cdot a_x+m_2\cdot b_x+m_3\cdot c_x}{f_x}$;
 $m_1=\frac{f_1-\beta_{(0,-1,1)}\cdot f_1}{M_1};k_1=\frac{f_1+\frac{f_1^2}{f_3^2}}{M_2};$

将 σ_x 转换成以周为单位得到:

$$\sigma_x^c=\frac{\sigma_x}{\lambda_x}=\frac{1}{f_x\cdot\lambda_x}\cdot[(a_x^2\cdot f_1^2+(b_x-\frac{k_1\cdot a_x+k_2\cdot b_x+k_3\cdot c_x}{f_{\varphi(0,-1,1)}})^2\cdot f_2^2+(c_x+\frac{k_1\cdot a_x+k_2\cdot b_x+k_3\cdot c_x}{f_{\varphi(0,-1,1)}})^2\cdot f_3^2)\cdot\sigma_L^2+(m_1\cdot a_x+m_2\cdot b_x+m_3\cdot c_x)^2\cdot\sigma_{p_3}^2]^{\frac{1}{2}}\tag{7}$$

式中 $f_x\cdot\lambda_x=c$ 为光速; k_1 、 k_2 、 k_3 为构造 b_0 表达式的标量系数。可以看出, σ_x^c 是关于 a_x 、 b_x 和 c_x 的函数,与 f_x 无关。假定观测噪声 σ_x^c 服从正态分布,且忽略多路径效应造成的影响,理论上模糊度固定成功率可通过式(8)计算^[6]:

$$P_s=P(|z|<\frac{1}{2\sigma_{dd}^c})\tag{8}$$

式中, $\sigma_{dd}^c=\frac{2\sigma_x^c}{\sqrt{n}}$; n 为观测历元数。 a_x 、 b_x 和 c_x 的取值空间设置为 $[-10,10]$,计算得到 σ_x^c 的最小值以及对应的 a_x 、 b_x 和 c_x ,具体见表 1。

表 1 最优组合

Tab.1 Optimal Combination

(a_x,b_x,c_x)	σ_x^c /周	P_c /%	
		$n=1$	$n=10$
$(1,-(v+1),v)$	0.339 2	53.89	98.02

表 1 中 $v\in[0,9]$,可知,只要 (a_x,b_x,c_x) 满足形式 $(1,-(v+1),v)$,各种不同组合观测量的噪声理论上都为 0.339 2 周。本文取第二个 GF 和 IF 组合观测量为 $\varphi_{(1,-1,0)}$,即 $(a_x,b_x,c_x)=$

噪声最小,构造约束条件(4)、(5):

$$\frac{a_x\cdot f_1+b_x\cdot f_2+c_x\cdot f_3}{f_x}+b_0+b_1=0\tag{4}$$
$$\frac{f_1\cdot(a_x+b_x\cdot\frac{f_1}{f_2}+c_x\cdot\frac{f_1}{f_3})}{f_x}+b_0\cdot\beta_{(0,-1,1)}=b_1\cdot\frac{f_1^2}{f_3^2}\tag{5}$$

式中, $\beta_{(0,-1,1)}$ 为 $\varphi_{(0,-1,1)}$ 的电离层延迟系数,取值为 -1.59,具体推导过程参照文献[4]。依据误差传播定律,组合之后的总噪声 σ_x (单位:m)为:

$$m_2=\frac{\frac{f_1^2}{f_2}-\beta_{(0,-1,1)}\cdot f_2}{M_1};k_2=\frac{\frac{f_1^2}{f_2}+\frac{f_1^2\cdot f_2}{f_3^2}}{M_2};$$
$$m_3=\frac{\frac{f_1^2}{f_3}-\beta_{(0,-1,1)}\cdot f_3}{M_1};k_3=\frac{\frac{f_1^2}{f_3}+\frac{f_1^2\cdot f_3}{f_3^2}}{M_2};$$
$$M_1=\frac{f_1^2}{f_3}+\beta_{(0,-1,1)};M_2=-\frac{f_1^2}{f_3^2}-\beta_{(0,-1,1)}。$$

$(1,-1,0)$,由于噪声水平与组合频率以及组合波长无关,取组合频率 $f_x=a_x\cdot f_1+b_x\cdot f_2+c_x\cdot f_3$,计算得到 $\lambda_{(1,-1,0)}=0.847$ m,显然, $\varphi_{(1,-1,0)}$ 为宽巷(wide-lane, WL)组合观测量。组合观测量的各个系数见表 2。

表 2 组合系数

Tab.2 Combination Coefficients

(a_x,b_x,c_x)	a_1	a_2	a_3	b_0	b_1
$(1,-1,0)$	4.410 4	-3.410 4	0	2.873 1	-3.873 1

由表 1 可以看出,经过 10 个历元的平滑之后,模糊度固定成功率会非常高,优于 98%。表 2 中 a_x 、 b_x 、 c_x 三者之和都为零,另外 $N_{(0,-1,1)}$ 的系数之和也为零,因此,对于所有组合系数 a_x 、 b_x 、 c_x 三者之和为零的情况,其模糊度都可通过 $N_{(0,-1,1)}$ 与 N_x 进行线性组合计算得到。因此,要想对 3 个原始载波相位模糊度进行解算,需要第三个线性无关的组合观测量。

1.2 第三个 GF 和 IF 最优观测量选取方法

假设前两个线性组合观测量解算得到的模糊度参数为 N_x 、 N_y ,第三个组合观测量解算得到

的模糊度参数为 N_z , 得到:

$$\begin{cases} N_x = a_x N_1 + b_x N_2 + c_x N_3 \\ N_y = a_y N_1 + b_y N_2 + c_y N_3 \\ N_z = a_z N_1 + b_z N_2 + c_z N_3 \end{cases} \quad (9)$$

将式(9)进行整理得到:

$$\begin{cases} N_z = \frac{b_z c_y - c_z b_y}{b_x c_y - c_x b_y} n_x + \frac{b_z c_x - c_z b_x}{b_y c_x - c_y b_x} n_y + K \cdot n_1 \\ K = a_z - a_x \frac{b_z c_y - c_z b_y}{b_x c_y - c_x b_y} - a_y \frac{b_z c_x - c_z b_x}{b_y c_x - c_y b_x} \end{cases} \quad (10)$$

由 $a_x + b_x + c_x = 0, a_y + b_y + c_y = 0$ 可得到 $K = a_z + b_z + c_z$, 因此, 若使 N_z 与 N_x, N_y 线性无关, 则 $K \neq 0$. N_x, N_y 得到固定后, 可得到:

$$\begin{cases} \tilde{L}_x = \frac{a_x f_1}{f_x} L_1 + \frac{b_x f_2}{f_x} L_2 + \frac{c_x f_3}{f_x} L_3 + N_x \lambda_x \\ \tilde{L}_y = \frac{a_y f_1}{f_y} L_1 + \frac{b_y f_2}{f_y} L_2 + \frac{c_y f_3}{f_y} L_3 + N_y \lambda_y \end{cases} \quad (11)$$

对 L_z 形式进行整理得到:

$$\begin{aligned} L_z = & \left(\frac{a_z f_1}{f_z} + \frac{a_x f_1}{f_x} + \frac{a_y f_1}{f_y} \right) \cdot L_1 + \left(\frac{b_z f_2}{f_z} + \frac{b_x f_2}{f_x} + \frac{b_y f_2}{f_y} \right) \cdot L_2 + \\ & \left(\frac{c_z f_3}{f_z} + \frac{c_x f_3}{f_x} + \frac{c_y f_3}{f_y} \right) \cdot L_3 + b_0 \cdot N_x \cdot \lambda_x + b_1 \cdot N_y \cdot \lambda_y \end{aligned} \quad (16)$$

对组合之后的总噪声(单位:周)计算得到:

$$\sigma_z^c = \frac{\sigma_L^c \sqrt{P_a + P_b + P_c}}{\text{abs}(K)} \quad (17)$$

式中, abs 表示取绝对值。

由 $a_x + b_x + c_x = 0, a_y + b_y + c_y = 0$ 可得到:

$$\sigma_z^c = \frac{\sigma_L^c \sqrt{f_1^2 \cdot (f_2^2 - f_3^2)^2 + f_2^2 \cdot (f_1^2 - f_3^2)^2 + f_3^2 \cdot (f_1^2 - f_2^2)^2}}{\text{abs}((f_1 - f_2)(f_1 - f_3)(f_2 - f_3))} \quad (19)$$

由式(19)可以看出, 第三个 GF 和 IF 组合观测量的观测噪声与 f_x, f_y 和 f_z 无关, 相较于 σ_L^c 其放大系数是一个常量。取 $\sigma_L^c = 0.01$ 周, 将 BDS 的 3 个基准频点 f_1 (1 561.098 MHz), f_2 (1 207.14 MHz), f_3 (1 268.520 MHz) 代入式(19), 计算得到 $\sigma_z^c = 1.912\ 3$ 周, 由式(8)计算得到最优组合见表 3。

表 3 最优组合

Tab.3 Optimal Combination

σ_z^c /周	$n=1$	$n=10$	$n=100$	$n=200$
1.912 3	10.40	32.07	80.89	93.55

由表 3 可知, 对于窄巷(narrow-lane, NL)模糊度的准确固定, 需要一个较长时间的平滑过程, 由于组合观测量的噪声与组合频率以及组合波长

由于 $\tilde{L}_x, \tilde{L}_y$ 的噪声要远远低于伪距观测量, 因此, 可通过式(12)构造新的观测量:

$$L_z = a_1 L_1 + a_2 L_2 + a_3 L_3 + b_0 \tilde{L}_x + b_1 \tilde{L}_y \quad (12)$$

通过 GF 和 IF 构造约束条件:

$$\begin{cases} \frac{g_z}{f_z} + b_0 \frac{g_x}{f_x} + b_1 \frac{g_y}{f_y} = 0 \\ \frac{h_z}{f_z} + b_0 \frac{h_x}{f_x} + b_1 \frac{h_y}{f_y} = 0 \end{cases} \quad (13)$$

式中:

$$\begin{cases} g_i = a_i f_1 + b_i f_2 + c_i f_3, i = x, y, z \\ h_i = a_i + b_i \frac{f_1}{f_2} + c_i \frac{f_1}{f_3}, i = x, y, z \end{cases} \quad (14)$$

计算得到:

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{f_x (g_y h_z - g_z h_y)}{f_z (g_x h_y - g_y h_x)} \\ b_1 &= -\frac{f_y (g_x h_z - g_z h_x)}{f_z (g_x h_y - g_y h_x)} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{cases} P_a = (a_z + a_x \frac{g_y h_z - g_z h_y}{g_x h_y - g_y h_x} - a_y \frac{g_x h_z - g_z h_x}{g_x h_y - g_y h_x})^2 \\ P_b = (b_z + b_x \frac{g_y h_z - g_z h_y}{g_x h_y - g_y h_x} - b_y \frac{g_x h_z - g_z h_x}{g_x h_y - g_y h_x})^2 \\ P_c = (c_z + c_x \frac{g_y h_z - g_z h_y}{g_x h_y - g_y h_x} - c_y \frac{g_x h_z - g_z h_x}{g_x h_y - g_y h_x})^2 \end{cases} \quad (18)$$

无关, 取组合频率 $f_z = a_z \cdot f_1 + b_z \cdot f_2 + c_z \cdot f_3$, 本文取第三个 GF 和 IF 组合观测量为 $\varphi_{(0,0,1)}$, 即 $(a_z, b_z, c_z) = (0, 0, 1), \varphi_{(0,0,1)}$ 为 NL 组合观测量。组合观测量各个系数为 $(a_z, b_z, c_z) = (1, -1, 0), a_1 = 0, a_2 = 0, a_3 = 1, b_0 = 9.413\ 2, b_1 = -10.413\ 2$ 。

2 实例验证与分析

2.1 实例验证

为了验证优化模型的可行性, 选取一条长度为 53 km、观测时长为 24 h, 采样间隔为 30 s 的 BDS 三频静态基线数据进行实验论证, 卫星高度

截至角设置为 15°,选取 5 组卫星对:C01-C02、C03-C04、C03-C06、C03-C09、C07-C10, 分别对 EWL、WL 和 NL 模糊度浮点解进行数理统计,实验结果如图 1~5 所示。图 1~5 中的红色线条代表多个历元的浮点解平滑之后的偏差。

2.2 实例分析

由图 1~5 可以看到,就 EWL 观测量而言,单历元条件下模糊度偏差均小于 0.5 周,因此能够实现单历元模糊度的准确固定。就 WL 观测量而言,通常情况下,经过少量历元的平滑,偏差都能收敛到 0.5 周以内,但是某些情况下,收敛时间会较长,如图 4 所示。这主要是因为多路径效应对伪距影响很大,使得伪距观测量的精度大大降低,直接影响了 WL 模糊度解算。就 NL 观测量而言,其偏差波动要比 WL 大,这是因为 NL 波

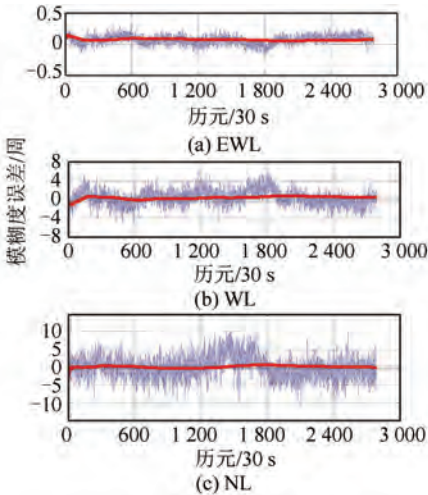


图 3 模糊度误差时序图(C01-C02)
Fig.3 Time Sequence Diagram of Ambiguity Error(C01-C02)

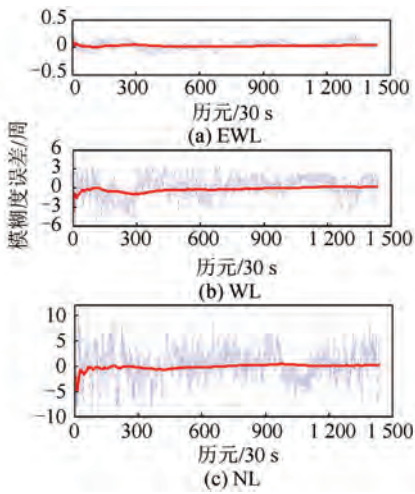


图 1 模糊度误差时序图(C03-C09)
Fig.1 Time Sequence Diagram of Ambiguity Error(C03-C09)

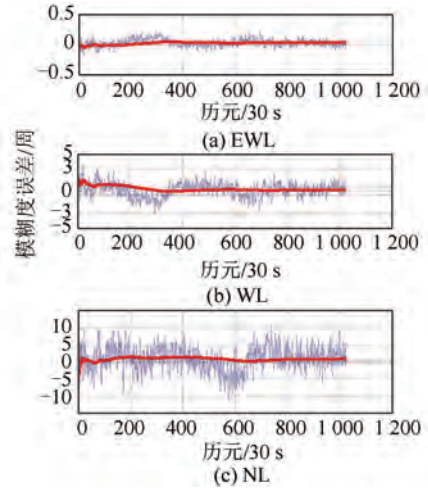


图 4 模糊度误差时序图(C03-C06)
Fig.4 Time Sequence Diagram of Ambiguity Error(C03-C06)

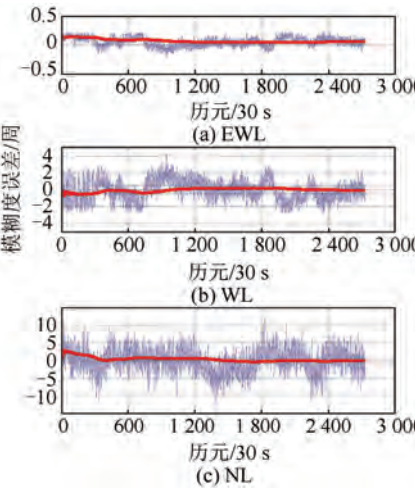


图 2 模糊度误差时序图(C03-C04)
Fig.2 Time Sequence Diagram of Ambiguity Error(C03-C04)

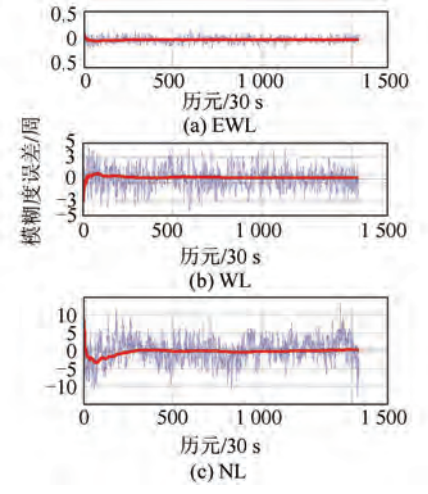


图 5 模糊度误差时序图(C07-C10)
Fig.5 Time Sequence Diagram of Ambiguity Error(C07-C10)

长较小,GF 和 IF 组合之后噪声放大,且受到多路径效应影响,不利于 NL 模糊度解算,因此需要经过一段时间的平滑其偏差才能收敛到 0.5 周以内。

由表 4~6 可以看出,EWL 模糊度的解算误差都很小,其 RMS 均小于 0.1 周,最大偏差均小于 0.5 周,因此极易得到固定;对于 WL 模糊度,RMS 均大于理论值 0.339 2 周,小于 2 周,这主要是因为 WL 模糊度解算使用了伪距观测量,而多路径效应造成伪距观测量精度变差,使得实际解算过程中,WL 模糊度的 RMS 相较于理论值偏大,解算效果较差。但是总体来看,WL 模糊度能够通过较短时间的平滑得到准确的固定解。对于 NL 模糊度解算,其 RMS 均大于 3 周小于 4 周,略大于理论值 1.912 3 周,最大偏差小于 15 周,这是由于多路径效应造成原始载波相位观测量的精度要逊于理论值 0.01 周,一定程度上影响了 NL 模糊度的解算。

表 4 EWL 模糊度浮点解误差统计

Tab.4 Error Statistics of EWL Ambiguity Float Solution

卫星对	RMS/周	最大值/周	最小值/周
C01-C02	0.074 9	0.328 2	-0.191 8
C03-C04	0.077 5	0.229 3	-0.222 6
C03-C06	0.062 3	0.235 9	-0.175 6
C03-C09	0.072 3	0.267 7	-0.187 1
C07-C10	0.050 7	0.156 3	-0.155 3

表 5 WL 模糊度浮点解误差统计

Tab.5 Error Statistics of WL Ambiguity Float Solution

卫星对	RMS/周	最大值/周	最小值/周
C01-C02	1.666 9	6.315 7	-5.194 2
C03-C04	1.203 2	4.186 6	-2.797 3
C03-C06	0.971 0	3.450 1	-2.981 4
C03-C09	1.576 3	4.214 5	-5.162 7
C07-C10	1.402 0	4.230 5	-4.314 7

表 6 NL 模糊度浮点解误差统计

Tab.6 Error Statistics of NL Ambiguity Float Solution

卫星对	RMS/周	最大值/周	最小值/周
C01-C02	3.232 1	11.172 0	-10.916 1
C03-C04	3.388 1	12.297 8	-14.257 4
C03-C06	3.501 9	10.925 7	-10.986 4
C03-C09	3.075 7	11.539 1	-10.485 8
C07-C10	3.388 8	13.305 8	-12.925 5

3 结 语

本文充分采用所有的载波和伪距观测信息,依据其各自的噪声水平进行加权优化,依次得到了第二个和第三个 GF 和 IF 最优组合观测量,使

其适用于中长基线模糊度的快速解算。通过实验论证表明,EWL 模糊度可以实现单历元可靠固定,而经过较短时间的平滑处理,WL 也能精确得到固定解。而对于 NL,其组合波长较小,组合之后噪声放大,且观测量受到多路径效应影响,使得浮点解偏差波动较大,需要经过相对较长时间的平滑过程方能得到可靠解。总体来看,本文提出的方法能够实现模糊度的快速准确解算。

参 考 文 献

[1] Li Jinlong. BDS/GPS Multi-frequency Real-Time Kinematic Positioning Theory and Algorithms[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2014:119-164(李金龙. 北斗/GPS 多频实时精密定位理论与算法[D].郑州:信息工程大学,2014:119-164)

[2] Zhao Qile,Dai Zhiqiang,Hu Zhigang,et al. Three-Carrier Ambiguity Resolution Using the Modified TCAR Method [J].*GPS Solution*,2015,19(4):589-599

[3] Shen Junfei,He Haibo,Guo Hairong,et al. Application Research of Linear Combination Based on Triple Frequency Observation [J].*GNSS World of China*,2012,37(6):37-40(申俊飞,何海波,郭海荣,等.三频观测量线性组合在北斗导航中的应用[J].*全球定位系统*,2012,37(6):37-40)

[4] Feng Y. GNSS Three Carrier Ambiguity Resolution Using Ionosphere-Reduced Virtual Signals [J]. *J Geod*,2008,82(12):847-862

[5] Li B, Feng Y, Shen Y. Three Carrier Ambiguity Resolution: Distance-Independent Performance Demonstrated Using Semi Generated Triple Frequency GPS Signals [J]. *GPS Solution*,2010,14(2):177-184

[6] Wang K, Rothacher M. Ambiguity Resolution for Triple Frequency Geometry-Free and Ionosphere-Free Combination Tested with Real Data [J]. *J Geod*,2013,87(6):539-553

[7] Yang Yuanxi, Li Jinlong, Wang Aibing, et al. Preliminary Assessment of the Navigation and Positioning Performance of BeiDou Regional Navigation Satellite System [J]. *Science China: Earth Sciences*,2014,57:144-152, doi: 10.1007/s11430-013-4769-0

[8] Tang W, Deng C, Shi C, et al. Triple-Frequency Carrier Ambiguity Resolution for Beidou Navigation Satellite System [J]. *GPS Solutions*,2014,18(3):335-344

BDS Triple Frequency Linear Combination Observation Optimization for Medium-Long Baseline

XIE Jiantao¹ HAO Jinming¹ LIU Weiping¹ TIAN Yingguo¹ YU Heli¹

¹ Institute of Navigation and Space Target Engineering, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China

Abstract: Linear combination of the triple original carrier based on geometry-free (GF) and ionosphere-free (IF) can eliminate the first-order ionospheric-delay item and some other error terms influenced by geometric-distance between the satellite and station, thus it can be effectively applied to ambiguity-resolution for medium-long baseline. In this paper, the GF and the IF linear combination observations were studied and optimized for BDS long-baseline ambiguity resolution. Carrier and pseudorange observations were used to get the combination observation with minimum noise and based on GF and IF character, and considering that the ambiguity-correct carrier phase observation has lower noise compared with pseudorange observation, two carrier combinations with ambiguity-fixed and original carriers were applied to get the third optimal GF and IF combination with the minimum noise. Observations including all pseudoranges and carriers were applied in different weight according to their noises. Finally, real data of BDS triple frequencies were applied to verify the feasibility of model in the experiment. The result showed that the deviation of WL and NL float ambiguity resolutions can be under 0.5 cycle after smoothed, then the fast and accurate ambiguity resolution is realized.

Key words: BDS; TCAR; RTK; ambiguity resolution; geometry-free; ionosphere-free

First author: XIE Jiantao, PhD, lecturer, specializes in GNSS precision data processing. E-mail: xiejiantao0911@sina.com