

FENG Wei, HUANG Dingfa, ZHANG Xi. An OTF Fast Positioning Method Based on FirCAR Algorithm[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2012, 41(4): 529-535. (冯威, 黄丁发, 张熙. FirCAR 算法的 OTF 快速定位方法[J]. 测绘学报, 2012, 41(4): 529-535.)

FirCAR 算法的 OTF 快速定位方法

冯威, 黄丁发, 张熙

西南交通大学 地球科学与环境工程学院, 四川 成都 610031

An OTF Fast Positioning Method Based on FirCAR Algorithm

FENG Wei, HUANG Dingfa, ZHANG Xi

School of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

Abstract : On the basis of the relationship of integer ambiguities among different GNSS frequencies, a new ambiguity resolution algorithm is proposed, named FirCAR (dual-frequency integer relationship constrained ambiguity resolution), which gives a fast search time in determining the integer ambiguities of high-elevation satellites. As a subset of ambiguities fixed by FirCAR, these ambiguity-fixed observations act as precise ranges in the next ambiguity resolution procedure, to improve the precision of the new float ambiguities. The remaining unfixed ambiguities will be resolved by ambiguity search algorithm such as LAMBDA which provides an efficient ambiguity search progress with the new float solution. And finally the OTF fast positioning is accomplished as the ambiguities fixed. Experimental results from two short baselines show that, for the static and kinematics scenarios, the average number of epochs required to fix ambiguities with the proposed method is 1.04 and 1.10 respectively. Comparing with the conventional ambiguity search algorithm, combining FirCAR reduces the required epoch number by about 39% and 18% in the situation of static and kinematics respectively.

Key words : GNSS; integer ambiguity; FirCAR; search algorithm; OTF

摘要: 根据 GNSS 不同频率间整周模糊度的约束关系, 提出一种基于多频整周模糊度间关系约束的模糊度新算法 (dual-frequency integer relationship constrained ambiguity resolution, FirCAR)。FirCAR 可快速动态解算出高高度角卫星的整周模糊度, 将已经固定的整周模糊度视为高精度的伪距观测值应用到下一步的浮点解重算中。结合模糊度搜索算法, 如 LAMBDA, 在模糊度搜索方面的高效性, 根据重算后的浮点解进一步解算其他未固定的模糊度解。模糊度固定成功后, 即可实现 OTF (on the fly) 快速定位。实测数据表明, FirCAR 算法在静态和动态观测条件下, 模糊度初始化所用的平均观测历元数分别为 1.04 和 1.10。与常规的模糊度搜索算法的对比试验表明, 结合 FirCAR 算法模糊度固定所用的观测历元数分别减少了 39% 和 18%。

关键词: GNSS; 整周模糊度; FirCAR; 搜索算法; OTF

中图分类号: P237

文献标识码: A

文章编号: 1001-1595(2012)04-0529-07

基金项目: 国家自然科学基金(41104020; 40771173); 国家 863 计划(2007AA12Z315)

1 引言

整周模糊度的在航解算 (OTF) 一直以来是国内外 GNSS 研究的热点问题, 受到了广泛关注^[1-3]。文献[4—5]提出 LAMBDA 算法, 能在短时间内完成整周模糊度的分解, 实现模糊度的高效搜索。但它对模糊度浮点解的精度有一定的要求, 在浮点解精度较差的情况下, LAMBDA 固定模糊度所需要的时间会大大增加, 甚至导致错误结果。若能提高浮点解的精度, 则其固定模糊度所需的观测历元数还可进一步缩减, 甚至只利用单历元的观测数据即可固定整周模糊度^[6-7]。为

此, 不少学者将各类可用的先验约束信息应用到浮点模糊度的解算过程中^[8-10], 如姿态确定或定向中, 基线长度信息可事先已知^[11], 某些载体运动轨迹可事先确定^[12], 或是在形变监测中较为精确的基线信息可由前期的测量得到^[13-14]。基于经验模态分解的基线解算方法在小变形精密形变监测中取得了很好的效果^[15]。但这些方法有较强的针对性, 使用范围受到较大限制。

文献[16]用双频相位观测值的约束关系进行动态周跳探测修复, 对于小周跳有较好的修复效果。基于类似的思想, 在可以忽略电离层影响的情况下, 本文提出的 FirCAR 算法可快速解算出

高高度角卫星的模糊度。将 FirCAR 解算的整周模糊度作为已知值重新计算模糊度的浮点解,这类类似于增加了毫米级的伪距观测值,模糊度浮点解的精度将会得到改善,且 FirCAR 解算的模糊度越多,浮点解精度越高,对整体模糊度的固定越有利。本文将 FirCAR 和常规模糊度搜索算法相结合,充分发挥两者各自模糊度解算的优点,实现在无需其他约束信息的条件下快速初始化定位。最后通过静态和动态情况下的 GPS 数据验证方法的正确性,分析方法在不同测试环境情况下的有效性,以及 FirCAR 解算的模糊度个数对基线固定解的初始化时间的影响。

2 GNSS 频率间整周关系约束模糊度算法 (FirCAR)

2.1 算法基本思想

FirCAR 充分利用 GNSS 双频载波相位观测值之间的约束关系,实现高高度角卫星整周模糊度的快速解算。双频观测值可构建如下关系

$$F = (\nabla\Delta\Phi_1 - \nabla\Delta\Phi_2 \times f_1/f_2)_f \quad (1)$$

$$d = F - ((\nabla\Delta N_{20} \times f_1/f_2))_f \quad (2)$$

$$dn_2 = \text{round}((d - e)/(f_1/f_2 - 1)) \quad (3)$$

$$\nabla\Delta N_2 = dn_2 + \nabla\Delta N_{20} \quad (4)$$

$$\nabla\Delta N_1 = \text{round}(\nabla\Delta N_2 \times f_1/f_2 + (\nabla\Delta\Phi_2 \times f_1/f_2 - \nabla\Delta\Phi_1)) \quad (5)$$

式中, Φ 为相位观测值; f 为载波频率; N 为整周模糊度; $\epsilon_{\nabla\Delta}$ 为双差观测噪声; $\nabla\Delta N_{20}$ 为 L2 载波相位模糊度近似整数; dn_2 为 $\nabla\Delta N_{20}$ 的改正数; $e = 0$ 或 1 ; 下标 i 代表不同的频率; $\nabla\Delta$ 代表双差运算; $(x)_f$ 代表取 x 小数部分的运算; round 代表四舍五入运算。

FirCAR 无需测站位置信息,逐颗卫星进行解算,适用于动态情况下的实时模糊度解算。该方法对高高度角卫星的整周模糊度解算有较高的正确率。以 GPS 的 L1 和 L2 频率为例,当初始模糊度的精度较差时,计算出的 GPS 整周模糊度可能会在 L2 上有 7 周的偏差(从而导致 L1 上 9 周的偏差)。另外, FirCAR 解算错误的整周模糊度亦会对后面的解算带来负面的影响。采用 FirCAR 方法进行单历元模糊度解算,卫星截止高度角与解算结果关系如图 1 所示,基线 1 和基线 2 的长度分别约为 3.7 km 和 12.3 km。卫星截止高度角越高,由于电离层和多路径的影响减小,解算结果的正确率越高,错误率越低。基线 1 的解

算结果优于基线 2,卫星截止高度角大于 30° 时,基线 2 解算的错误率才接近于 0,其原因在于较长基线的观测值受电离层残差影响更大。

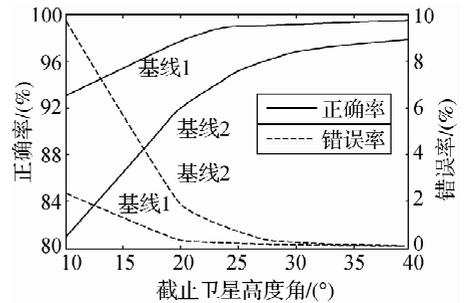


图 1 截止高度角与解算结果的关系

Fig. 1 Relationship between cutoff angle and resolution

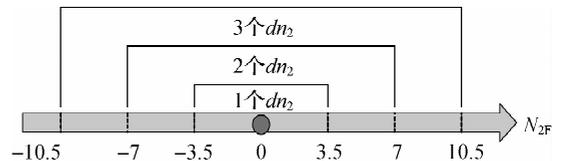


图 2 模糊度浮点解 N_{2F} 值精度与 dn_2 候选值个数的关系
Fig. 2 Relationship between the precision of float ambiguity N_{2F} and the number of dn_2 candidates

2.2 整周模糊度候选空间的确定

根据式(3)计算出的 dn_2 值只能是在一个局部的周期内,其周期对应的波长因不同的频率组合而异。表 1 列出了几种 GNSS 频率组合的 dn_2 值局部范围的近似周期关系。

表 1 GNSS 频率间局部范围的近似周期关系

Tab. 1 Approximate period relationship in local range between different GNSS frequencies

星座	频率组合	近似比例	近似周期
GPS	L1/ L2	9/7	7 个 L2 cycle
	L1/ L5	4/3	3 个 L2 cycle
Galileo	E1/ E6	11/9	9 个 E6 cycle
	E1/ E5a	4/3	3 个 E5a cycle
GLONASS	G1/ G2	9/7	7 个 G2 cycle

GLONASS 卫星 G1 和 G2 频率间的比例是 $9 : 7$, 对应 dn_2 值的周期为 G2 的 7 倍。而 Galileo 的 E1 和 E6 频率的近似关系使得对应 dn_2 值局部近似周期为 E6 的 9 倍, 波长约 2.11 m。GPS 的 L1 和 L2 组合的 dn_2 值近似周期为 L2 的 7 倍, 约 1.71 m。以 GPS 的 L1 和 L2 频率为例, 图 2 表示假定 L2 整周模糊度真值为 0 时, 不同精度的模糊度浮点解 N_{2F} 所产生的 dn_2 候选值个数的不同。

在此不考虑更大的近似周期,因为更大的近似周期将会使得相邻 d 值的间隔太小而不易区分,见图 3。

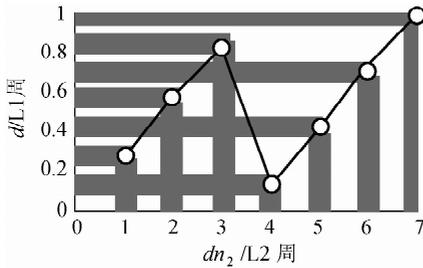


图 3 一个周期内 dn_2 在 d 上的投影分布

Fig. 3 dn_2 projection distribution on d within a cycle

若 N_{2F} 值的误差小于 3.5 周时,则 FirCAR 可直接计算出 L2 和 L1 的模糊度值,对应模糊度的候选值只有一个,即 $\Omega_2 = \{\nabla \Delta N_2\}, \Omega_1 = \{\nabla \Delta N_1\}$ 。

若 N_{2F} 值的误差小于 7 周,则 FirCAR 解算的模糊度的搜索空间有两个值,即

$$\Omega_2 = \{\nabla \Delta N_2, \nabla \Delta N_2 + 7K\} \quad (6)$$

$$\Omega_1 = \{\nabla \Delta N_1, \nabla \Delta N_1 + 9K\} \quad (7)$$

$$K = abs(\nabla \Delta N_2 - N_{2F}) / (\nabla \Delta N_2 - N_{2F}) \quad (8)$$

若 N_{2F} 值的误差小于 10.5 周,为包含正确的模糊度,FirCAR 解算的每个模糊度将有 3 个候选值,每个 L2 模糊度搜索空间 $\Omega_2 = \{\nabla \Delta N_2 - 7, \nabla \Delta N_2, \nabla \Delta N_2 + 7\}$,对应 L1 的模糊度搜索空间 $\Omega_1 = \{\nabla \Delta N_1 - 9, \nabla \Delta N_1, \nabla \Delta N_1 + 9\}$ 。

针对双频 GPS 接收机,在短基线的情况下,假定 L2 模糊度初始值 N_{2F} 的精度优于 7 周是较合适的,双频 GPS 接收机一般含有 P2 观测值,且 FirCAR 针对的是高高度角卫星的模糊度,观测数据质量相对较好。因此 FirCAR 方法解算出的 n 个模糊度(L1 的模糊度不需包含在内)的搜索空间有 2^n 个模糊度组合。当观测的卫星数较多时,甚至可认为 N_{2F} 的误差小于 3.5 周,此时 FirCAR 的解算结果只有一个候选值。

特别的,当基线较短且 FirCAR 解算的整周模糊度大于 3 个时,亦可根据模糊度之间的内符合精度来判断所解算的模糊度是否正确。此时由于只有流动站的三维测站坐标未知,FirCAR 解算出的模糊度个数大于 3 时,可解算出坐标参数,以及残差或中误差信息。由于各 L1 和 L2 模糊度候选值相差 9 周和 7 周,在所有的模糊度组合中,可认为中误差最小的一组为正确的模糊度组合。

2.3 错误模糊度剔除方法

FirCAR 解算结果有较高的正确率,但错误

的解算结果无法完全避免。图 1 显示了 GPS 卫星截止高度角与错误解算结果的关系,卫星截止高度角越高,模糊度解算错误的概率越小,高度角大于 30° 时,错误率接近于 0。因此,当判断有错误的模糊度时,可直接剔除 FirCAR 解算结果中对应卫星高度角最低的模糊度。

图 3 显示了一个近似周期内根据 d 值计算 dn_2 的对应关系,由于相邻的 d 值对应的 dn_2 相差 3 周或 4 周。因此常见的错误是由于计算得到的 d 值偏离到了其真值所在区间的相邻区间内,从而导致解算错误的模糊度的两个候选值与其真值相差一般为 3 周和 4 周。可见解算错误的模糊度的两个候选值偏离真值的大小相近,而解算正确的模糊度的两个候选值却和真值的偏离相对较大,可视为 0 周和 7 周,对每颗卫星的模糊度构造如式(9)的检验指标 T

$$T = F_{n_{sec}} / F_{n_{min}} \quad (9)$$

$$F_n = [\check{\mathbf{N}} - \hat{\mathbf{N}}]^T \mathbf{Q}_V^{-1} [\check{\mathbf{N}} - \hat{\mathbf{N}}] \quad (10)$$

式中, $\check{\mathbf{N}}$ 为初始模糊度向量,对应的协因数阵为 \mathbf{Q}_V ; $\hat{\mathbf{N}}$ 为将该卫星的候选模糊度视为已知值重新计算后得到的模糊度浮点解。 $F_{n_{sec}}$ 和 $F_{n_{min}}$ 分别表示根据该卫星模糊度候选值和式(10)计算出的 F_n 值的次小值和最小值。 T 值越小表明该模糊度的两个候选模糊度精度越接近,它们是解算错误的模糊度的概率就越大。因此,当判断有错误的模糊度时,可视对应 T 值最小的卫星的模糊度为解算错误的模糊度,将其从 FirCAR 的解算结果中剔除。

3 OTF 快速定位

使用各种约束条件来提高模糊度浮点解的精度是实现 OTF 快速固定模糊度的一种有效手段,FirCAR 所解算出的高高度角卫星模糊度亦是其中的一类约束条件。将成功解算的模糊度视为已知值,等同于观测到了毫米级的伪距观测值,将其增加到观测方程组中,再重新进行解算无疑会提高模糊度浮点解的精度。以常见的双频接收机观测值为例,一个历元的观测数据的观测方程如式(11)

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_{L1} \\ \mathbf{I}_{L2} \\ \mathbf{I}_{CA} \\ \mathbf{I}_{P2} \\ \mathbf{I}_{N1} \\ \mathbf{I}_{N2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_{L1} & \mathbf{I}_{L1} \lambda_1 & 0 \\ \mathbf{B}_{L2} & 0 & \mathbf{I}_{L2} \lambda_2 \\ \mathbf{B}_{CA} & 0 & 0 \\ \mathbf{B}_{P2} & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{B}_{N1} & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{B}_{N2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{n}_1 \\ \mathbf{n}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{L1} \\ \mathbf{v}_{L2} \\ \mathbf{v}_{CA} \\ \mathbf{v}_{P2} \\ \mathbf{v}_{N1} \\ \mathbf{v}_{N2} \end{bmatrix} \quad (11)$$

式中, \mathbf{B} 为对应观测值的系数矩阵; \mathbf{I} 为单位阵, 维数与对应观测值的个数相同; \mathbf{x} 为基线向量; \mathbf{n}_1 、 \mathbf{n}_2 分别为 L1 和 L2 模糊度向量; \mathbf{v} 为对应观测值的改正数; \mathbf{l}_{N1} 和 \mathbf{l}_{N2} 为虚拟观测值, 代表 FirCAR 方法解算的整周模糊度。采用卫星高度角定权的方式来定权^[17], 码与相位之间的权比可根据它们之间的标称精度确定, \mathbf{l}_{N1} 和 \mathbf{l}_{N2} 赋予一个相对较大的权, 且远大于其他观测值的权。由最小二乘法可求出模糊度浮点解 \mathbf{n} 和 \mathbf{Q}_n 。再结合模糊度搜索方法完成模糊度解算。最后通过 *ratio* 指标判断解算结果的正确性, 其值常设置为 2。

若 *ratio* 指标检验失败, 则认为 FirCAR 解算结果含有错误的值, 此时根据 1.3 节的方法剔除 FirCAR 中错误的模糊度, 重新进行模糊度解算。直到 FirCAR 解算结果中无模糊度, 且 *ratio* 指标检验失败时, 则结合下一个历元的观测数据重新进行解算。算法流程图如图 4。

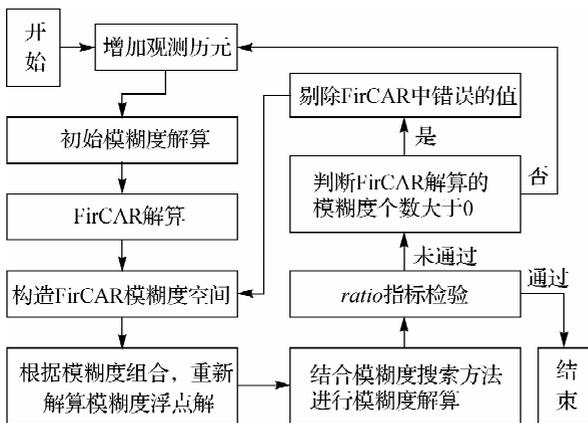


图 4 算法流程图

Fig. 4 Flow diagram of the proposed algorithm

4 试验分析

4.1 静态环境试验

试验数据选用 IGS 上两个相距约 3.8 km 的 CORS 站的 GPS 观测数据, 数据采样间隔为 15 s, 观测时间长约 14 h, 去掉卫星数小于等于 4 的观测历元, 卫星截止高度角为 10° , FirCAR 中设置卫星截止高度角为 25° 。图 5 显示了各历元的双差个数和 FirCAR 解算个数。

针对 FirCAR 解算个数的不同, 设计了 6 组试验方案, 方案 1 用常规的 LAMBDA 算法进行模糊度解算, 后 5 组方案采用 FirCAR 辅助算法, 并设置 FirCAR 解算的模糊度个数最大值为

1、2、3、4 和不限。由于基线较短且其分量信息可事先算得, 因此可根据精确的基线信息反算模糊度的值来检验 FirCAR 辅助算法的正确性。

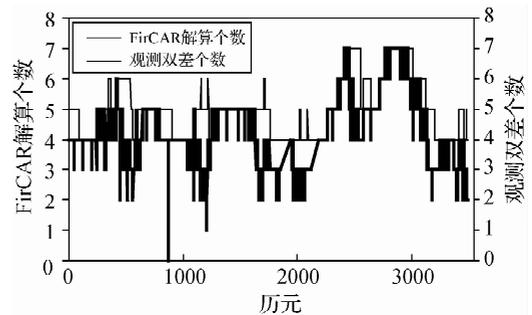


图 5 FirCAR 解算个数和双差观测值数序列

Fig. 5 Series of FirCAR resolved number and numbers of double-difference observation

采用动态模式进行模糊度解算, 流程见图 4。模糊度固定后, 后续的历元再重复该过程, 直到最后。试验统计不同方案中模糊度固定解算正确和错误的次数, 每次模糊度固定所用的观测历元数, 以及平均观测历元数等。试验数据总历元数为 3334, 统计结果见表 2。

表 2 模糊度解算结果统计

Tab. 2 Statistics of the ambiguity resolution results

方案	名称	正确次数	错误次数	平均历元数
1	常规算法	1919	2	1.71
2	FirCAR 辅助算法 a	2348	4	1.41
3	FirCAR 辅助算法 b	2588	6	1.29
4	FirCAR 辅助算法 c	3035	11	1.09
5	FirCAR 辅助算法 d	3197	7	1.04
6	FirCAR 辅助算法 e	3198	7	1.04

表 2 可以看出, FirCAR 算法可减少模糊度固定所用的平均历元数, FirCAR 辅助算法(方案 6)的平均历元数为 1.04, 与常规算法相比(方案 1)平均历元数减少了约 39%, 可见 FirCAR 可提高模糊度浮点解的精度。但模糊度解算错误的个数也有所增加, 表 3 列出了解算错误的模糊度信息, 可以看出错误的解算都发生在只有 5 颗卫星数的历元内, 且只用了 1 个或几个历元的数据, 其他方案也有类似的结论。其原因在于当可用卫星较少时, 由于单历元解算多余观测信息少, 解算结果的可靠性会降低。因此在卫星观测数较少时, 有必要适当增加观测值来验证解算结果的正确性。

表 3 模糊度错误解算的序列

Tab.3 Series of incorrect ambiguity resolution

序列	历元	卫星数	历元数
1	1764	5	1
2	2050	5	1
3	2074	5	3
4	2075	5	1
5	2118	5	1
6	3484	5	1
7	3497	5	1

图 6 显示了常规算法(方案 1)和 FirCAR 辅助算法(方案 6)模糊度固定所用历元数的频率分布。与常规算法相比,FirCAR 辅助算法的模糊度初始化时间更短,其分布的范围小,且分布在 1 个历元上的频率大。统计结果表明常规算法和 FirCAR 辅助算法两者模糊度固定所用历元数的最大值分别为 25 和 11,用 1、2 和 3 个历元固定模糊度的次数为分别为 1276、384、123 和 3113、72、14,占各自总固定次数的比例分别为 66.3%、19.9%、6.4%和 97.1%、2.2%、0.4%。

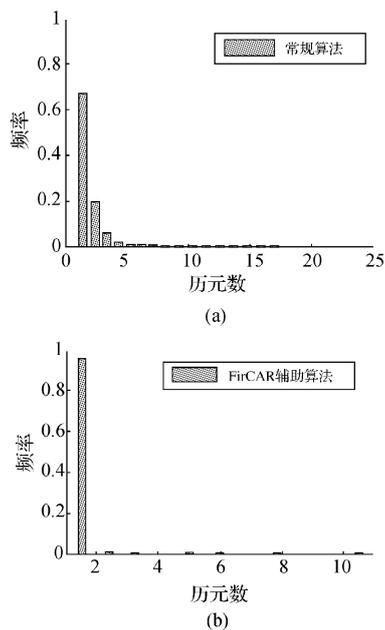


图 6 模糊度固定所用观测历元数的频率分布
Fig. 6 Frequency distribution of numbers of epochs required to fix ambiguities

4.2 动态环境试验

动态试验地点选择在校园内的一个花坛旁边,周边环境相对比较开阔,使用价格较为便宜的双频 GPS 接收机。采集数据时,参考站接收机放

置在旁边,手持流动站 GPS 接收机围绕花坛行走 5 周,采用率为 1 s,卫星截止高度角为 10°,总采集约 1300 个历元,观测到的卫星数保持在 7~8 颗,参考站位置和流动站的平面运动轨迹如图 7。数据处理过程中,设置 FirCAR 中卫星截止高度角为 25°,且不限其模糊度解算个数。

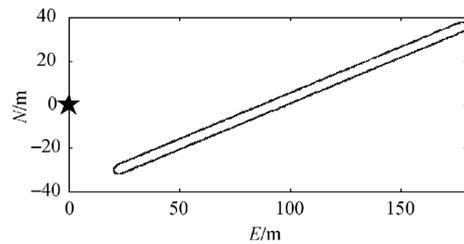


图 7 参考站位置与流动站运动轨迹
Fig. 7 Position of the base station and the rover's trace

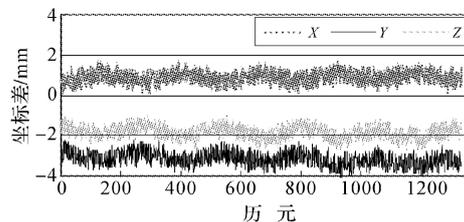


图 8 与 TRACK 解算结果的差值
Fig. 8 Differences compared with the solution obtained from TRACK

为检验解算结果的正确性,将 FirCAR 辅助算法的解算结果与 GAMIT 中 TRACK 模块^[18]解算结果进行比较,空间直角坐标 X、Y、Z 3 个分量的差值见图 8。可见两种方法计算出的结果的差值均在几毫米范围内,可见本文算法解算的模糊度都是正确的。图 8 同时也反映出有系统性偏差,主要是由于两种算法之间的模型不完全相同所造成。

图 9 对比了 FirCAR 辅助算法与常规算法模糊度固定所用的历元数,同时还给出了对应历元 FirCAR 解算的模糊度个数。FirCAR 辅助算法与常规算法模糊度固定在最坏情况下所需的历元数分别为 11 和 32,平均所用的历元数为 1.10 和 1.35,固定速度提高了 18.5%,两者单历元解算个数分别为 1138 和 808,占各自总数的 94%和 82.2%。结合 FirCAR 解算的模糊度个数可看出,当 FirCAR 的解算个数越大,模糊度固定所需

的观测历元数减少越明显。

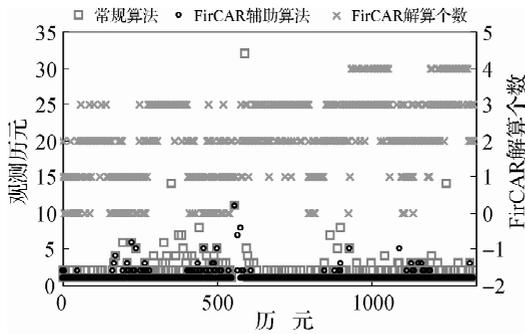


图9 2种方法模糊度固定所用的观测历元数

Fig. 9 Numbers of epochs required to fix ambiguities for the two methods

与图5的情况相比,动态试验中FirCAR解算个数不如静态试验中的好,一方面在于动态环境中的观测噪声较大,另外,价格较为便宜的接收机观测值质量可能会较差,也可能会影响FirCAR方法。FirCAR可加快模糊度OTF解算的速度,但效果改善程度要比静态的弱。

静态和动态试验结果表明,FirCAR可减少模糊度固定所需的观测历元数,且FirCAR解算出的模糊度越多,后续的模糊度固定所用的观测历元数越少,即模糊度固定的速度越快。

5 结论

(1) FirCAR与LAMBDA算法结合,实现了一种GNSS快速OTF定位方法。静态和动态观测环境下的实测GPS数据的试验结果证明,两种环境下FirCAR辅助算法模糊度初始化所用的平均观测历元分别为1.04和1.10,模糊度固定速度分别提高了约39%和18.5%,实现单历元模糊度固定的比例分别为97.1%和94%,显著提高了OTF模糊度固定的速度。

(2) 静态和动态环境试验结果表明,模糊度固定所用的最长观测历元数,常规算法分别为25和32,而FirCAR辅助算法都为11。可见当模糊度浮点解精度较差时,使用FirCAR方法可明显改善模糊度浮点解的精度,减少模糊度固定所需的观测历元数。

(3) FirCAR解算出的模糊度个数是影响解算速度的重要原因之一,因此当有更多的GNSS卫星可用时,FirCAR的效果将会得到进一步改善。一方面由于模糊度初始解精度的提高可减少

FirCAR的搜索空间,另一方面,更多的GNSS卫星还会使得FirCAR解算结果的个数增加。

需要注意的是FirCAR受电离层残差的影响显著,当基线长度为12 km时,卫星截止高度角需设置为 30° 以保证FirCAR有较低的错误率,对于更长基线的模糊度解算FirCAR方法将会受到更大的限制。因此如何通过多频数据来削弱电离层对FirCAR方法的影响将是下一步需要研究的内容。

参考文献:

- [1] FREI, BEUTLER E G. Rapid Static Positioning Based on the Fast Ambiguity Function Algorithm [J]. *Journal of Geodesy*, 1990, 15(4): 325-356.
- [2] CHEN D, LACHAPELLE G. A Comparison of the FASF and Least-square Search Algorithm for on the Fly Ambiguity Resolution [J]. *Navigation*, 1995, 42(2): 371-390.
- [3] REN Chao, OU Jikun, YUAN Yunbin. A New Method for GPS Ambiguity Resolution on-the-Fly Using Integer Whitening Filter Search [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2004, 29(11): 960-963. (任超, 欧吉坤, 袁运斌. 一种用于GPS整周模糊度OTF求解的整数白化滤波改进算法[J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2004, 29(11): 960-963.)
- [4] TEUNISSEN P J G. The Least-squares Ambiguity Decorrelation Adjustment: A Method for Fast GPS Integer Ambiguity Estimation [J]. *Journal of Geodesy*, 1995, 70(1): 65-82.
- [5] TEUNISSEN P J G. The Invertible GPS Ambiguity Transformation [J]. *Manuscripta Geodetic*, 1995, 20(6): 489-497.
- [6] QIU Lei, HUA Xianghong, CAI Hua, et al. Direct Calculation of Ambiguity Resolution in GPS Short Baseline [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(01): 98-104. (邱蕾, 花向红, 蔡华, 等. GPS短基线整周模糊度的直接解法[J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2009, 34(01): 98-104.)
- [7] HUANG Dingfa, ZHOU Letao, LI Chenggang, et al. *Theory of GPS Augmentation Reference Station Network* [M]. Beijing: Science Press, 2011: 98-108. (黄丁发, 周乐韬, 李成钢, 等. *GPS增强参考站网络理论* [M]. 北京: 科学出版社, 2011: 98-108.)
- [8] PARK C, KIM I, LEE J G, et al. Efficient Ambiguity Resolution Using Constraint Equation [C] // 1996: Position Location and Navigation Symposium. Atlanta: IEEE, 1996: 277-284.
- [9] HAN Baomin, OU Jikun. A GPS Single Epoch Phase Processing Algorithm with Constraints for Single-frequency Receiver [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2002, 31(4): 300-304. (韩保民, 欧吉坤. 一种附约束的单

- 频单历元 GPS 双差相位解算方法[J]. 测绘学报, 2002, 31(4):300-304.)
- [10] LI Bofeng, SHEN Yunzhong. Prior Baseline Information Based Fast GPS Ambiguity Resolution[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2008, 37(4):423-427. (李博峰, 沈云中. 顾及基线先验信息的 GPS 模糊度快速解算[J]. 测绘学报, 2008, 37(4):423-427.)
- [11] TANG Weiming, SUN Hongxing, LIU Jingnan. Ambiguity Resolution of Single Epoch Single Frequency Data with Baseline Length Constraint Using LAMBDA Algorithm [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2005, 30(5):444-446. (唐卫明, 孙红星, 刘经南. 附有基线长度约束的单频数据单历元 LAMBDA 方法整周模糊度确定[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2005, 30(5):444-446.)
- [12] YUAN Wei, XIONG Yongliang, HUANG Dingfa. A Fast Ambiguity Resolution Algorithm with Track Constraints on Moving Platform [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2009, 34(11):1316-1319. (袁伟, 熊永良, 黄丁发. 附有运动轨迹约束条件的整周模糊度快速分解算法[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2009, 34(11):1316-1319.)
- [13] XIONG Yongliang, HUANG Dingfa, ZHANG Xianzhou. A Reliable GPS Single Epoch Processing Algorithm with Known Deformation Interval Constraints [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2001, 26(1): 51-57. (熊永良, 黄丁发, 张献洲. 一和可靠的含约束条件的 GPS 变形监测单历元求解算法[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2001, 26(1):51-57.)
- [14] YU Xuexiang, XU shaoquan, LV Weicai. The Research of Single Epoch Algorithm for the GPS Deformation Monitor Information[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2002, 31(2):123-127. (余学祥, 徐绍铨, 吕伟才. GPS 变形监测信息的单历元解算方法研究[J]. 测绘学报, 2002, 31(2):123-127.)
- [15] WANG Jian, GAO Jingxiang, Wang Jinling. GPS Baseline Solution Based on Empirical Mode Decomposition [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2008, 37(1):10-14. (王坚, 高井祥, 王金岭. 基于经验模态分解的 GPS 基线解算模型[J]. 测绘学报, 2008, 37(1):10-14.)
- [16] DONG Xinggan, HUANG Dingfa, FENG Wei. Real-time Cycle Slip Detecting and Repairing for Single Station Observation [C]//Proceedings of CPGPS 2010 Navigation and Location Services. Shanghai:[s. n.], 2010.
- [17] HAN S. Quality-control Issues Relating to Instantaneous Ambiguity Resolution for Real-time GPS Kinematic Positioning [J]. Journal of Geodesy, 1997, 71(7): 351-361.
- [18] SU Xiaoning, MENG Guojie, HU Congwei. Single Epoch GPS Positioning Based on TRACK Module [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2009, 29(3):100-103. (苏小宁, 孟国杰, 胡丛玮, 等. 基于 TRACK 进行 GPS 单历元定位[J]. 大地测量与地球动力学, 2009, 29(3): 100-103.)

(责任编辑:丛树平)

收稿日期:2011-08-26

修回日期:2011-12-01

第一作者简介:冯威(1984—),男,博士生,研究方向为 GNSS 精密导航定位。

First author: FENG Wei (1984—), male, PhD candidate, majors in precise GNSS navigation and positioning.

E-mail: fengwei99@gmail.com

通讯作者:黄丁发

Corresponding author: HUANG Dingfa

E-mail: dfhuang@swjtu.edu.cn

《测绘学报》荣获第二届全国优秀测绘期刊奖

[本刊讯] 中国测绘学会于2011年开展了第二届全国优秀测绘期刊奖的评选活动,共评出第二届全国优秀测绘期刊奖12家、提名奖11家。《测绘学报》荣获第二届全国优秀测绘期刊奖。

中国测绘学会全国优秀测绘期刊奖是全国测绘地理信息行业期刊的最高奖项。2007年中国测绘学会组织开展了首届优秀测绘期刊奖的评选活动,《测绘学报》荣获首届全国优秀测绘期刊奖一等奖。近年来,《测绘学报》一直致力于测绘地理信息科学技术领域最新科研成果的跟踪报道,狠抓期刊质量建设,在不断提高国际影响力和核心竞争力上下工夫,先后被评为“中国第四届百种优秀学术期刊”,科技部第一、二届“中国精品科技期刊”,多次荣获新闻出版总署颁发的“印装质量优秀奖”,并被美国《工程索引》(EI)等多家国内外著名检索数据库收录。2006年起,《测绘学报》连续多年获得中国科协精品科技期刊工程项目资助。