

利用历元间坐标差信息加快 动态定位中模糊度固定

陈源军¹ 易重海^{1,2} 匡翠林¹ 戴吾蛟¹

1 中南大学地球科学与信息物理学院,湖南 长沙,410083
2 现代城市测绘国家地理信息局重点实验室,北京,100044

摘 要:整周模糊度固定是高精度 GPS 定位的关键技术之一,加快模糊度的固定,可扩大 GPS 定位的应用范围和提高定位结果的可靠性。针对单频接收机动态定位的特点,提出了一种加快模糊度固定的新方法。该方法首先采用站际历元间二次差分定位模型获得高精度的流动站历元间坐标差信息,然后将该坐标差信息附加至模糊度叠加法方程中,以改善法方程的病态性,提高模糊度浮点解的精度,从而加快模糊度的固定。实验结果表明新方法可以加快动态相对定位中模糊度固定速度,具有较高的应用价值。

关键词:历元间差分;动态定位;模糊度固定

中图法分类号:P228.41 **文献标志码:**A

高精度 GPS 定位必须采用载波相位观测值进行数据处理,因此,获得高精度 GPS 定位结果的前提是整周模糊度的正确固定。在实时动态定位中,快速固定整周模糊度是扩展 GPS 实时应用、提高定位效率和可靠性的关键技术。对于载波相位定位,单个历元观测值组成的法方程是秩亏的,一般需要多个历元组合求解。由于卫星相对于接收机的几何结构变化缓慢,短时间内多个历元观测值组合获得的法方程病态性严重,其法方程矩阵的条件数一般在 10^6 以上,导致模糊度参数的浮点解精度很低,无法正确固定模糊度^[1]。为得到可靠的模糊度浮点解,一般需要较长时间的观测直至站星几何结构发生显著变化,这制约了 GPS 在实时动态定位中的应用。针对短时间内法方程病态性严重这一问题,众多学者进行了研究,提出和改进了很多方法用于处理方程病态问题,如岭估计^[2]、正则化方法^[3-4]、截断奇异值法^[5]、谱修正迭代法^[6]和遗传算法^[7]等。这些研究对改善定位法方程病态和加快模糊度固定具有一定的作用。与上述方法思路不同,本文提出一种利用历元间坐标差信息加快模糊度收敛的新方法,本文称其为“历元间坐标差法”,首先通过站际

历元间二次差分定位模型,获得相邻历元间的坐标差信息;然后将该信息融入到模糊度法方程中,提高模糊度浮点解精度,加快模糊度收敛。本文尝试挖掘观测数据中隐含的有用信息,改善法方程的病态性,达到加快模糊度固定的目的。显然上面提到这些方法可作为后续进一步加快模糊度收敛的技术手段,本文并未对其开展研究。

1 动态相对定位中模糊度固定方法

GPS 载波相位动态定位需要多个历元联合求解,将各历元的观测方程组合求解,每新增一个历元,法方程矩阵的阶数至少要增加 3,随着历元的累积阶数将会变得很大,法方程求逆运算量大,无法满足动态定位实时性的要求,所以在模糊度在航快速固定中,常用的方法是在定位法方程中消去坐标参数,仅保留模糊度参数^[8-11]。

1.1 分块最小二乘法的序贯解算^[8]

在 GPS 动态定位中,可将未知参数划分为 X_1 、 X_2 两类。 X_1 为时变参数,如位置参数; X_2 为时不变参数,如模糊度参数。载波相位双差观测法方程可表示如下:

收稿日期:2014-09-22

项目资助::国家自然科学基金(41204024);国家测绘地理信息局测绘基础研究基金(12-01-06);现代城市测绘国家测绘地理信息局重点实验室开放研究基金(20111202W)。

第一作者:陈源军,硕士生,主要从事 GPS 动态相对定位数据处理方面的研究。yjchen218@163.com

通讯作者:易重海,博士,讲师。yizhonghai@163.com

$$\begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} \\ N_{21} & N_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \end{bmatrix} \tag{1}$$

则法方程的解由下面两式解算得到:

$$X_1 = N_{11}^{-1} (\omega_1 - N_{12} X_2) \tag{2}$$

$$M_2 X_2 = R_2 \tag{3}$$

式中, $M_2 = N_{22} - N_{21} N_{11}^{-1} N_{12}$, $R_2 = \omega_2 - N_{21} N_{11}^{-1} \omega_1$ 。

对于 n 个历元, 对式(3)进行叠加获得叠加模糊度法方程:

$$\sum_{i=1}^n (M_2)_{t_i} X_2 = \sum_{i=1}^n (R_2)_{t_i} \tag{4}$$

n 个历元的模糊度参数 X_2 的组合解由式(4)解算。当 X_2 解算出后, 将 X_2 作为已知值根据式(2)可以计算出坐标参数 X_1 。

1.2 利用历元间坐标差信息加快模糊度固定

1.2.1 站际历元间二次差分模型

载波相位站际单差线性化模型可表示如下:

$$\lambda \Delta \varphi_i = \Delta \rho_i + A_i \cdot dx_i + \Delta c \delta t_i - \Delta \delta ion_i - \Delta \delta trop_i + \lambda \Delta N + \epsilon \tag{5}$$

式中, Δ 为站际单差算子; 下标 t 表示历元; φ 表示载波相位观测值; λ 为载波波长; ρ 为由坐标初值计算的站星距离; δion 、 $\delta trop$ 依次表示电离层, 对流层延迟量; dx 为流动站坐标改正数; 即基线向量改正数; $c \delta t$ 表示钟差; N 为模糊度; ϵ 表示载波相位测量噪声。

对于短基线, 站际单差模型消除了卫星钟差影响, 极大削弱了卫星轨道误差影响, 而高采样率观测条件下站际历元二次差分后的电离层延迟、对流层延迟残余误差很小, 因此, 可将残余误差影响计入观测值残差中^[12]。由式(5)在 t_1 、 t_2 相邻历元间差分可构建站际历元间二次差分模型:

$$v = A_{t_2} \cdot (dx_{t_2} - dx_{t_1}) + (A_{t_2} - A_{t_1}) \cdot dx_{t_1} + \Delta T - l \tag{6}$$

式中, $l = (\lambda \Delta \varphi_{t_2} - \lambda \Delta \varphi_{t_1}) - (\Delta \rho_{t_2} - \Delta \rho_{t_1})$; $\Delta T = \Delta c \delta t_{t_2} - \Delta c \delta t_{t_1}$ 。对于短时间相邻的两个历元, 站星相对位置变化很小, 设计矩阵 A 的变化量很小, 舍去 $(A_{t_2} - A_{t_1}) \cdot dx_{t_1}$ 项对站际历元间二次差分方程的影响可由下式进行估算:

$$|\gamma_{t_1, t_2}^p| \leq \sqrt{3} (|d\rho^p| + dS_{rov} + dS^p) / \rho_{t_2}^p \cdot \Delta R_{t_2} \tag{7}$$

式中, γ_{t_1, t_2}^p 为卫星 p 对应的二次差分方程中的舍去项; dS_{rov} 和 dS^p 依次表示流动站、卫星从 t_1 时刻到 t_2 时刻移动的距离; $d\rho^p$ 表示 t_1 时刻到 t_2 时刻流动站与卫星 p 的站星几何距离的变化量; $\rho_{t_2}^p$ 为 t_2 时刻流动站与卫星 p 的站星距离; ΔR_{t_2} 表示 t_2 时刻流动站近似坐标的坐标分量精度。上述变量的具体含义可参见文献[13]。考虑到站星距离 ρ

一般大于 20 000 km, 站星距离变化率小于 800 m/s, GPS 卫星运动速度小于 3 800 m/s, 而流动站坐标近似值由伪距差分定位给定时, 一般可保障 $\Delta R_{t_2} \leq 10$ m, 当流动站速度不大于 250 m/s 时, 有:

$$|\gamma_{t_1, t_2}^p| \leq 4.2 \times 10^{-3} \cdot (t_2 - t_1) \tag{8}$$

动态定位中采样间隔一般较小, $(t_2 - t_1)$ 分别取 0.1 s、1 s、5 s 时, 舍去 γ_{t_1, t_2}^p 项造成的极限误差依次为 0.42 mm、4.2 mm、21 mm, 而实际情况中舍入误差远小于极限误差, 所以当采样率较高时, $(A_{t_2} - A_{t_1}) \cdot dx_{t_1}$ 项相对于 l 是非常小的, 可将该项计入残余误差^[13-14]。令 $\Delta dx_{t_2} = dx_{t_2} - dx_{t_1}$, 则站际历元间二次差分模型可表示为:

$$v = A_{t_2} \cdot \Delta dx_{t_2} + \Delta T - l \tag{9}$$

对于上述历元差分模型还需考虑其随机模型, 可采用卫星高度角法定权^[15], 当共视卫星大于 4 颗时, 可通过最小二乘法解算出历元间坐标差 Δdx 及其协方差阵 $D_{\Delta dx}$ 。

1.2.2 历元间坐标差信息与模糊度法方程联合

考虑第 $t_i - 1$ 、 t_i 相邻两个历元, 由分块最小二乘平差可知,

$$(X_1)_{t_i-1} = (N_{11})_{t_i-1}^{-1} (\omega_1 - N_{12} X_2)_{t_i-1} \tag{10}$$

$$(X_1)_{t_i} = (N_{11})_{t_i}^{-1} (\omega_1 - N_{12} X_2)_{t_i} \tag{11}$$

考虑历元间坐标差, 可构造虚拟观测方程:

$$\Delta dx_{t_i} = (X_1)_{t_i} - (X_1)_{t_i-1}, P_{\Delta x} = D_{\Delta dx}^{-1} \tag{12}$$

式中, $D_{\Delta dx}$ 为历元间坐标差的协方差阵; $P_{\Delta x}$ 为虚拟观测方程权阵。将式(10)、式(11)代入式(12), 整理有:

$$\Delta dx_{t_i} = M_b - M_m X_2 \tag{13}$$

式中, $M_b = (N_{11})_{t_i}^{-1} (\omega_1)_{t_i} - (N_{11})_{t_i-1}^{-1} (\omega_1)_{t_i-1}$; $M_m = (N_{11})_{t_i}^{-1} (N_{12})_{t_i} - (N_{11})_{t_i-1}^{-1} (N_{12})_{t_i-1}$ 。令 $f = M_b - \Delta dx_{t_i}$, $M_x = M_m^T P_{\Delta dx} M_m$, $R_x = M_m^T P_{\Delta dx} f$, 则虚拟观测方程式(13)对应的法方程为:

$$M_x X_2 = R_x \tag{14}$$

现将式(14)与式(4)进行联合, 即将虚拟观测法方程与模糊度法方程合并构建新的模糊度法方程, 对于 n 个历元累加的法方程可表示如下:

$$\left(\sum_{i=1}^n (M_2)_{t_i} + \sum_{i=2}^n (M_x)_{t_i} \right) X_2 = \sum_{i=1}^n (R_2)_{t_i} + \sum_{i=2}^n (R_x)_{t_i} \tag{15}$$

2 实验分析

为了检验新方法的实际效果, 设计以下两种

数据处理方案。

方案 1 直接叠加模糊度法方程求解(常规方法)。

方案 2 将历元间差分模型解算的坐标差信息融入模糊度法方程中求解(新方法)。

方案 1 为常规的最小二乘法,方案 2 在方案 1 的基础上考虑了历元间坐标差信息。具体的数据处理流程如图 1 所示,模糊度搜索方法采用 LAMBDA 法^[16-19]。

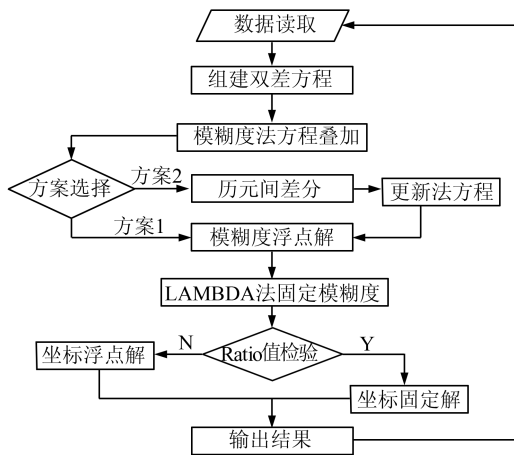


图 1 数据处理流程

Fig. 1 Flowchart of Data Processing

2.1 算例 1:静态数据模拟动态定位

选取了一段 20 min 的实测静态数据,基线长约为 5 m,数据采样间隔为 1 s,卫星截止高度角为 15°,卫星观测数为 7,卫星编号依次为 14、22、25、29、30、31、32,以高度角最大的 14 号卫星为参考星,用 rtklib 事后处理软件包 rtkpost 解算的基线解为 $[-4.942\ 6, 1.825\ 8, -0.952\ 2]$,6 个双差模糊度固定解为 $[-7\ 793\ 244, 516\ 140, -272\ 575, -725\ 277, -59\ 522, -566\ 697]$ 。下面的实验分析将以上述结果为参考解。

由于模糊度成功固定后,方案 2 与方案 1 解算的结果是相同的,所以下面只给出了方案 2 解算的基线长度固定解与参考基线长度的差值 ds 的分布情况,如图 2 所示。基线长度差异 ds 在 5 mm 范围内波动,其 RMS 值为 0.0 015 m,表明新方法解算的结果是可靠的。

图 3、图 4 依次为模糊度浮点解精度和 Ratio 值随观测时间的变化。图 3 中, $\hat{N}$ 表示模糊度浮点解, N 表示模糊度的参考解, $\|\cdot\|_2$ 表示向量的 2 范数,则 $DN2 = \|\hat{N} - N\|_2$ 表征模糊度浮点解的精度^[20]。从图 3 可以看出,双差模糊度浮点解的精度随着观测时间的增加而提高。当观测时间较短时,由于法方程病态性严重,模糊度浮点解

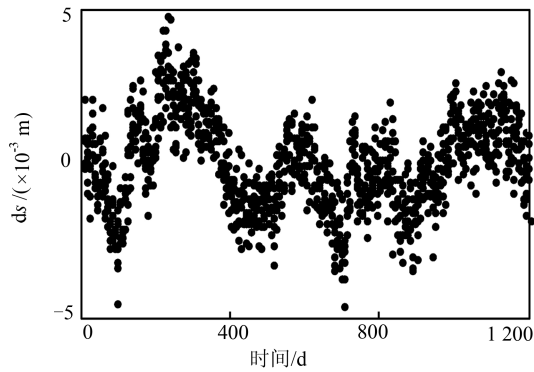


图 2 基线长度误差/m

Fig. 2 Accuracy of Baseline Length/m

精度较差。而将历元间坐标差信息加入到模糊度法方程中,短时间内可以改善方程的病态性,得到精度较高的浮点解。

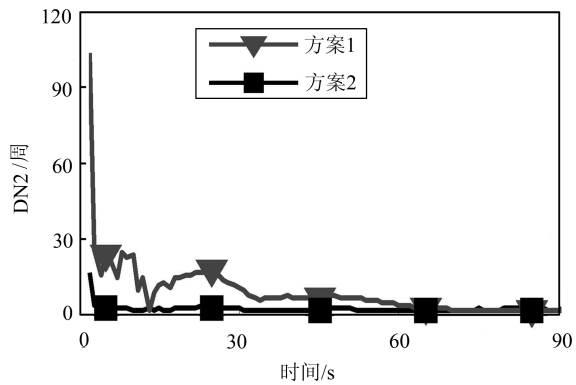


图 3 模糊度浮点解精度/周

Fig. 3 Accuracy of Float Ambiguity Solution/cycle

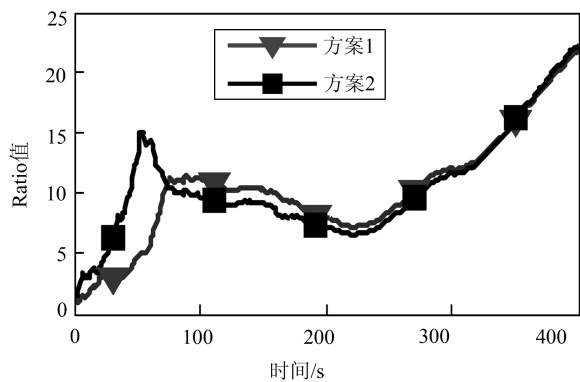


图 4 Ratio 值

Fig. 4 Value of Ratio

从图 4 中可以看出,在观测时间较短时,方案 2 计算得到 Ratio 值明显要大于方案 1 的 Ratio 值,表明方案 2 较之方案 1 模糊度固定的可靠性增强。但是随着观测时间的增加,两者的差异将会逐渐缩小,有时甚至会出现方案 1 优于方案 2 的情况。这是由于随着观测时间的增加,站星几何结构已发生较为显著的变化,即法方程的病态

性已得到改善。从图 3 可以看出,观测 70 s 后模糊度浮点解已具有较高的精度。在模糊度在航快速固定中,人们所关心的是在尽可能短的时间内成功固定模糊度,而新方法正是针对这一问题开展研究,因此新方法具有较高的应用价值。为了更直观的说明新方法在模糊度在航快速解算中的优点,对 Ratio 阈值依次设置为 2.5、3.0、3.5、4.0 时

模糊度固定成功所需要的观测时间进行统计,同时也对模糊度首次固定正确的时间和模糊度连续 10 个历元固定正确的首次固定时间进行统计,统计结果如表 1 所示。由表 1 可知,从达到模糊度固定的各个指标所需要的时间看,方案 2 较之方案 1 所需时间均少,并且其优化的比率是比较显著的,表明新方法有效加快了模糊度固定的速度。

表 1 模糊度固定所需时间/s
Tab. 1 Time Required to Fix Ambiguity/s

固定指标/s	算例 1						算例 2					
	Ratio 阈值				首次固定	连续固定	Ratio 阈值				首次固定	连续固定
	2.5	3.0	3.5	4.0			2.5	3.0	3.5	4.0		
方案 1	19	22	24	47	4	4	250	500	565	590	50	75
方案 2	4	6	14	22	2	2	190	210	270	500	15	15
差异	15	16	10	25	2	2	60	290	295	90	35	60
优化/%	79	73	42	53	50	50	24	58	52	15	70	80

2.2 算例 2: 航测动态数据解算

选取了一段 20 min 的飞机航测动态数据,采样间隔为 5 s,卫星截止高度角为 15°,卫星观测数为 7,卫星编号依次为 2、4、10、12、13、17、24,以高度角最大的 4 号卫星为参考星。6 个双差模糊度的正确解为 $[-2, 18, 1, 0, -2, -854\ 748]$ 。基线长度随观测时间的变化如图 5 所示。

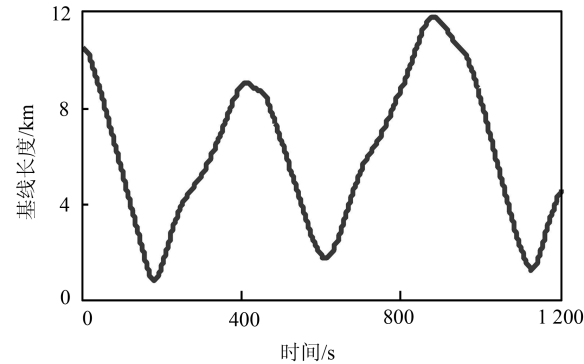


图 5 基线长度/km
Fig. 5 Baseline Length/km

同样,依次按照两种方案进行了计算。图 6、图 7 依次为模糊度浮点解精度,Ratio 值随观测历元的变化。采用与表 1 相同的方式,对模糊度固定所需时间进行了统计,如表 1 所示。从算例 2 的实验结果中,可以得出与算例 1 相同的结论,即历元间坐标差信息的使用可以有效改善短时间观测中法方程的病态性,进而得到较可靠的模糊度浮点解,从而提高模糊度固定的效率和可靠性。

3 结 语

本文提出了一种利用历元间坐标差信息加快

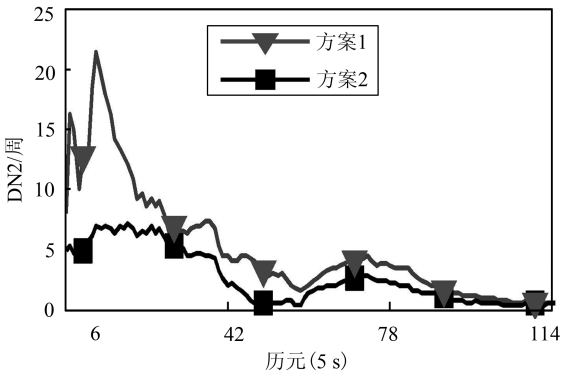


图 6 模糊度浮点解精度/周
Fig. 6 Accuracy of Float Ambiguity Solution/cycle

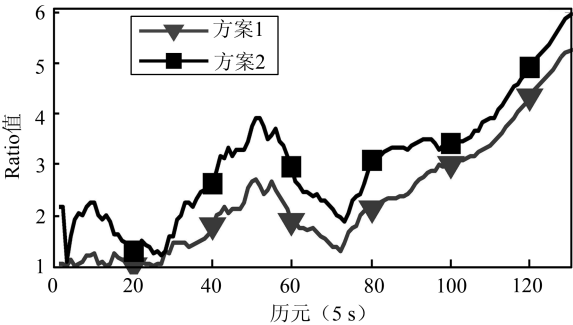


图 7 Ratio 值
Fig. 7 Value of Ratio

动态定位中模糊度固定的新方法。实验结果表明:在定位时加入历元间坐标差信息,可以改善模糊度法方程的病态性,提高模糊度浮点解的精度,从而加快模糊度固定,且模糊度固定的可靠性也得到了增强。虽然在动态定位中存在相邻历元间共同观测卫星数过少导致无法使用历元间坐标差信息的情况,此时可以在定位计算中略去历元间坐标差信息的叠加。考虑到目前多 GNSS 系统

的快速发展,可用卫星数逐步增多,本文提出的新方法具有较广的应用前景。如果与其他处理病态方程的方法相结合,有可能进一步加快模糊度的固定速度,这将是下一步需要开展的研究。

参 考 文 献

- [1] Wang Zhenjie. Research on the Regularization Solutions of Ill-Posed Problems in Geodesy[D]. Wuhan: Graduate University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Geodesy and Geophysics), 2003 (王振杰. 大地测量中不适定问题的正则化解法研究[D]. 武汉:中国科学院测量与地球物理研究所, 2003)
- [2] Hoerl A E, Kennard R W. Ridge Regression: Biased Estimation for Nonorthogonal Problems [J]. *Technometrics*, 1970, 12(1): 55-67
- [3] Wang ZheJie, Ou JiKun, Liu LinTao. Investigation on Solutions of Ill-conditioned Problems in Rapid Positioning Using Single Frequency GPS Receivers [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2005, 34(3): 196-201(王振杰, 欧吉坤, 柳林涛. 单频 GPS 快速定位中病态问题的解法研究[J]. 测绘学报, 2005, 34(3): 196-201)
- [4] Lu XiuShan, Wang Zhenjie, OU Ji-kun. Several-Epoch Algorithm in Short Baseline Rapid Positioning Using Single Frequency GPS Receivers [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(6): 1 147-1 151(卢秀山, 王振杰, 欧吉坤. 单频 GPS 短基线快速定位中的少数历元算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(6): 1 147-1 151)
- [5] Hansen P C. The Truncated SVD As a Method for Regularization[J]. *BIT Numerical Mathematics*, 1987, 27(4): 534-553
- [6] Wang Xinzhou, Liu Dingyou. Iteration Method by Correcting Characteristic Value for Ill-Conditioned Equations in the Least Square Estimations [J]. *Journal of Hubei Institute for Nationalities (Natural Sciences)*, 2002, 20(3): 1-4 (王新洲, 刘丁酉. 最小二乘估计中法方程的迭代解法[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2002, 20(3): 1-4)
- [7] Guo Qiuying, Hu Zhenqi. Application of Genetic Algorithm to Solve Ill-Conditioned Equations for GPS Rapid Positioning [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(2): 240-243(郭秋英, 胡振琪. 遗传算法在 GPS 快速定位病态方程解算中的应用[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(2): 240-243)
- [8] Xu Guochang. GPS Theory, Algorithms and Applications[M]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2011: 123-126(许国昌. GPS 理论、算法与应用[M]. 2 版. 北京:清华大学出版社, 2011: 123-126)
- [9] Chen W, Hu C, Li Z, et al. Kinematic GPS Precise Point Positioning for Sea Level Monitoring with GPS Buoy[J]. *Positioning*, 2004, 1(8): 302-307
- [10] Yu Wenbo, Gao Guojiang, Zhao Yan, et al. An Approach-Search Algorithm Used in GPS Single Frequency Kinematic Relative Positioning [J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2002, 28(2): 242-244 (俞文伯, 高国江, 赵刻等. 单频 GPS 动态相对定位的模糊度逼近/搜索解法[J]. 北京航空航天大学学报, 2002, 28(2): 242-244)
- [11] Liu Zhong, Huang Guanwen, Ding Xiaoguang. Sequential Adjustment Uniform Model for GPS Kinematics Positioning [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2008(3): 319-322 (刘忠, 黄观文, 丁晓光. GPS 动态定位序贯平差统一模型[J]. 地球科学与环境学报, 2008(3): 319-322)
- [12] Li Tianwen. GPS Principles and Applications [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2010: 94-98 (李天文. GPS 原理及应用[M]. 第二版. 北京:科学出版社, 2010: 94-98)
- [13] Yuan Hong, Wan Weixing, Ning Baiqi, et al. A New Cycle Slip Detection and Correction Method Using Triple Differences Solution [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 1998, 27(3): 3-8(袁洪, 万卫星, 宁百齐, 等. 基于三差解检测与修复 GPS 载波相位周跳新方法[J]. 测绘学报, 1998, 27(3): 3-8)
- [14] Chen Junping, Wang Jiexian. Kinematic Precise Orbit Determination of Low Earth Orbiter Based on Epoch-difference Strategy [J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2007, 29(4): 57-61(陈俊平, 王解先. 基于历元间差分的低轨卫星运动学精密定轨[J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 29(4): 57-61)
- [15] Jin S, Wang J. Impacts of Stochastic Modeling on GPS-Derived ZTD Estimations[C]. IONGNSS 17th International Technical Meeting of the Satellite Division, Long Beach, CA, 2004
- [16] Teunissen P J G. The Least-Squares Ambiguity Decorrelation Adjustment: A Method for Fast GPS Integer Ambiguity Estimation [J]. *Journal of Geodesy*, 1995, 70(1/2): 65-82
- [17] Teunissen P, de Jonge P, Tiberius C. The Volume of the GPS Ambiguity Search Space and Its Relevance for Integer Ambiguity Resolution [C]. Proceedings of Ion GPS, Institute of Navigation, Kansas City, MO, USA, 1996
- [18] Teunissen P J G, de Jonge P J, Tiberius C. The

Least-Squares Ambiguity Decorrelation Adjustment: Its Performance on Short GPS Baselines and Short Observation Spans[J]. *Journal of geodesy*, 1997, 71(10): 589-602

[19] Chang X W, Yang X, Zhou T. MLAMBDA: A Modified LAMBDA Method for Integer Least-Squares Estimation[J]. *Journal of Geodesy*, 2005, 79(9): 552-565

[20] Guo Qiuying. Data Processing of GPS Rapid Precise Positioning[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2011: 69-71 (郭秋英. GPS 快速精密定位数据处理[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2011: 69-71)

Accelerating Ambiguity Fixing in Kinematic Positioning Using Epoch-differenced Coordinate Information

CHEN Yuanjun¹ YI Zhonghai^{1,2} KUANG Cuilin¹ DAI Wujiao¹

1 School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China

2 Key Laboratory for Urban Geomatics of National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, Beijing 100044, China

Abstract: Ambiguity resolution is one of the key technologies for high precision GPS positioning. Accelerating ambiguity fixing can expand the application and improve the reliability of GPS positioning. Based on the characteristics of single-frequency GPS kinematic positioning, a new method to accelerate ambiguity fixing is proposed in this paper. First, a receiver and epoch double differenced approach was used to get the epoch-differenced coordinate information between neighbouring epochs. Then, the epoch-differenced coordinate information is combined with the ambiguity normal equation. Adding epoch-differenced coordinate information to the ambiguity normal equation can decrease the ill-posedness of the normal equation, so the accuracy of the floating ambiguity solution was improved and the convergence time of ambiguity was shortened. Experimental results show that the new method can accelerate ambiguity resolution in GPS relative kinematic positioning with good application value.

Key words: epoch difference; kinematic positioning; ambiguity resolution

First author: CHEN Yuanjun, postgraduate, specializes in GPS relative kinematic positioning. E-mail: yjchen218@163.com

Corresponding author: YI Zhonghai, PhD, lecturer. E-mail: yizhonghai@163.com

Foundation support: The National Nature Science Foundation of China, No. 41204024; the Basic Research Fund of National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, No. 12-01-06; the Funded by Key Laboratory for Urban Geomatics of National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, No. 20111202W.