

文章编号: 1000-050X(2000)05-0396-99

利用事后广域差分 GPS 方法处理北极 GPS 数据

鄂栋臣¹ 刘经南² 叶世榕³

(1 武汉测绘科技大学中国南极测绘研究中心, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 武汉测绘科技大学校长办公室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(3 武汉测绘科技大学 GPS 研究中心, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要 提出利用事后广域差分 GPS 方法对在北极北冰洋浮冰上观测的 GPS 数据进行处理, 对其结果分析表明, 平面定位内符合精度优于 1m(1 σ)。测定出北冰洋浮冰的平均运动速率为 420m/h。

关键词 广域差分 GPS; 亚米级定位; 北极海冰运动

分类号 P228.4 文献标识码 A

在我国首次北极科学考察中, 测绘学为多学科进行北冰洋夏季间的冰、海、气能量交换过程等综合考察研究提供了海冰运动状态依据, 在浮冰上进行了 GPS 定位观测。由于北极考察条件的限制, 科考人员只能利用单台 Geotracer 3220 型的双频 GPS 接收机, 直接置于北冰洋浮冰上, 在低温环境多变的恶劣气候中接收卫星数据。

由于接收机采用静态模式进行观测, 而海冰又处于不断运动状态中, 因此, 即使利用 GAMIT、BERNESE 这样高精度的静态处理软件, 采用常规静态基线解算的方法也无法处理这些 GPS 数据。如果使用动态相位解算软件处理, 由于只有单台接收机进行观测, 动态定位所需的基准站只能采用国际 GPS 服务(IGS), 在北冰洋附近地区设置 IGS 跟踪站, 而可利用的 IGS 跟踪站与浮冰上的动态观测站之间的距离有数百 km, 在这种条件下, 动态处理软件固定 GPS 整周模糊度是非常困难的, 或者说几乎不可能。因此, 动态相位处理方法也不可行。相比之下, 采用广域差分 GPS 后处理的方法, 利用 IGS 跟踪站作为广域差分 GPS 基准站, 能在一两千 km 内实现 m 级甚至更高精度的动态定位, 可以达到提高定位精度的目的, 并能较准确地测定出浮冰的运动速度。

数据观测时段从 1999 年 8 月 5 日 13:58:30 到 1999 年 8 月 6 日 01:46:30。测区概略地理位置为: 经度为西经 165° ~ 165° 10', 纬度为北纬 73° 24' ~ 73° 30'。

1 数据处理方法

1.1 数据处理流程

基准站数据流程图如图 1 所示, 流动站数据流程图如图 2 所示。

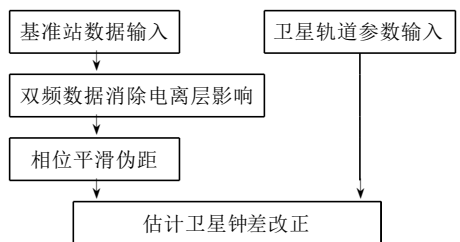


图 1 基准站数据流程图

Fig. 1 The Flow Chart of Processing Base Station's Data

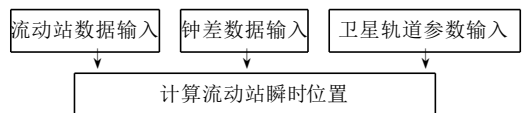


图 2 流动站数据流程图

Fig. 2 The Flow Chart of Processing Roving Station's Data

1.2 相关数学模型

一般实时广域差分 GPS 改正包括钟差改正、轨道参数改正和电离层改正 3 部分。在事后处理中, 由于采用 IGS 事后精密星历和利用双频观测值消除电离层影响, 故基准站只生成钟差改正。下面简单介绍钟差改正的数学模型, 详细情况见文献 [1]。

单个观测值的钟差误差方程为:

$$v_k^j(i) = \Delta t_k(i) - \Delta t^j(i) + \rho_k^j(i)/c + \Delta t - P_k^j(i)/c \quad (1)$$

式中, k 为测站号; j 为卫星号; i 为相应的观测历元; c 为真空中光速; $\Delta t_k(i)$ 为接收机钟差; $\Delta t^j(i)$ 为卫星钟差; Δt 为电离层、对流层和相对论时延等影响; $P_k^j(i)$ 为相应卫星、测站和历元的伪距观测值, 而 v_k^j 为其观测误差; ρ_k^j 为信号发射时刻的卫星位置到信号接收时刻接收机位置之间的几何距离。

m 个基准站同步跟踪 n 颗卫星, 钟差的误差方程式一般表示为:

$$V(i) = AX(i) + L(i) \quad (2)$$

设 I 为 n 阶单位矩阵, A 为确定接收机和卫星钟差时的设计矩阵, 为 $mn(m+n)$ 阶矩阵, 一般形式为:

$$A = \begin{bmatrix} e_1 & -I \\ e_2 & -I \\ \dots & \dots \\ e_m & -I \end{bmatrix}, e_i = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 1 & \dots & 0 \\ \dots & & \dots & & \dots \\ 0 & \dots & 1 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

第 i 列

$$X(i) = [\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_m, \Delta t^1, \Delta t^2, \dots, \Delta t^n] \quad (4)$$

$$L(i) = [l_1^1, \dots, l_1^n, l_2^1, \dots, l_2^n, \dots, l_m^1, \dots, l_m^n] \quad (5)$$

$$l_k^j(i) = \rho_k^j(i)/c + \Delta t - P_k^j(i)/c \quad (6)$$

e_i 为 $n \times m$ 阶矩阵; $X(i)$ 为 $(m+n) \times 1$ 阶矩阵; $L(i)$ 为 $mn \times 1$ 阶矩阵。最终钟差解为:

$$X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (7)$$

钟差精度评定为:

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{L^T P L - L^T P A X}{m+n-1}} \quad (8)$$

1.3 数据处理策略

因为采用的是数据后处理方式、静态观测模式和 15s 采样率, 基准站和动态站均具有双频载波相位和双 P 码观测值, 这与实时广域差分 GPS 中基准站配置双频 P 码接收机, 而动态站一般为单频接收机的情况有所不同, 因此在数据处理上也与实时广域差分 GPS 所用的方法略有差别。

1) 多 IGS 基准站估计钟差

在数据处理中, 为了增加基准站和动态站共视卫星数以及增强用于估计卫星钟差的卫星分布图形强度, 采用较均匀的分布在测区周围的 4 个基准站。基准站的地心坐标精度为 2~3cm。

2) IGS 事后精密星历

IGS 精密星历是由 IGS 综合其各个分析中心

的定轨结果得出的, 提供 900s 间隔的卫星轨道参数和卫星钟差, 精度优于 0.1m。

3) 处理历元间隔的选取

动态站的观测采样率为 15s, 基准站的观测采样率为 30s。既有研究表明, 由于 SA 的影响, 利用 30s 采样率的基准站数据估计卫星钟差, 然后进行内插或拟合是不可行的。因此在处理中, 将动态站的处理历元间隔选取为 30s, 和基准站保持同步, 直接将基准站估计的瞬时卫星钟差提供动态站使用, 不估计卫星钟差变化率。

4) 双频观测值消除电离层延迟

利用格网法消除电离层延迟的精度为 $\pm 1m$ 左右, 而利用双频观测值消除电离层影响, 并且利用相位观测值平滑伪距, 其精度可达 $\pm 0.5m$ 。因此, 在基准站和流动站均采用双频观测值消除电离层延迟。

消除电离层影响的伪距和相位观测值为:

$$P_i = \frac{P_{1i} - g^2 P_{2i}}{1 - g^2} \quad (9)$$

$$\varphi_i = \frac{1}{1 - g^2} \varphi_{1i} - \frac{g}{1 - g^2} \varphi_{2i} \quad (10)$$

式中, i 为卫星号; P_{1i} 、 P_{2i} 分别为各卫星的 P_1 和 P_2 码观测值; φ_{1i} 、 φ_{2i} 分别为各卫星的 L_1 和 L_2 相位观测值; P_i 、 φ_i 分别为各卫星消除电离层影响后的伪距和相位观测值。

5) 相位平滑伪距

在基准站和流动站, 均利用消除电离层影响的观测值进行相位平滑伪距处理。其递推公式为:

$$\langle \lambda_1 n_c \rangle_i = \frac{i-1}{i} \langle \lambda_1 n_c \rangle_{i-1} + \frac{1}{i} (P_i - \lambda_1 \varphi_i) \quad (11)$$

则平滑后的伪距为:

$$P_i = \lambda_1 \varphi_i + \langle \lambda_1 n_c \rangle_i \quad (12)$$

式中, λ_1 为 L_1 的波长; n_c 为 L_1 的整周模糊度参数; 其他符号含义同上。

6) 数据质量控制

利用 GPS 图形几何强度因子 (PDOP 值) 对定位结果质量进行控制, 对 PDOP 大于 10.0 的定位结果进行剔除。

2 结果分析

2.1 运动轨迹图

根据数据处理结果, 绘出浮冰在观测期间 (1999 年 8 月 5 日 13:58:30 到 1999 年 8 月 6 日

01:46:30)的运动轨迹图,如图3所示。从运动轨迹图可看出,海冰的运动方向为西北向,并且在大部分时间内具有相对一致的运动趋势。

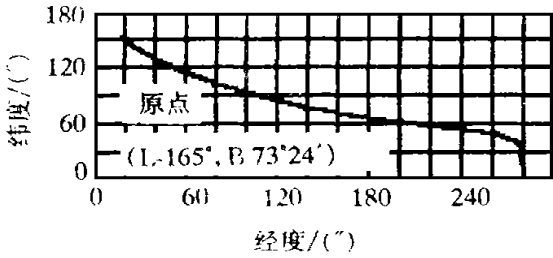


图3 浮冰运动轨迹图

Fig.3 The Trajectory of the Ice Sheet Moving

2.2 精度

数据处理时,估计每一历元的内符合定位精度,整个观测时段的内符合精度统计表1。从统计结果得出, X 方向和 Y 方向的内符合精度均优于 1m (1σ)。

表1 内符合精度统计表/m

Tab.1 Statistics of the Internal Precision/m

方向	最大 RMS 值	平均 RMS 值
X	0.957	0.273
Y	0.878	0.283

根据处理结果绘出每一瞬时历元 X 方向和 Y 方向的内符合精度图(图4),图中数据比较稀疏的时段是由于在处理时程序自动将数据剔除。

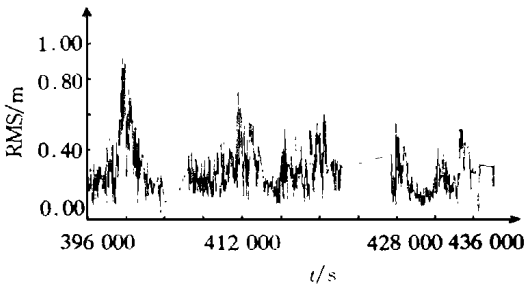
2.3 浮冰运动速度推算

利用相邻有效历元的定位结果,推算浮冰的瞬时运动速度。整个时段的速度统计见表2, X 方向和 Y 方向的瞬时速度图见图5,速度为负值表示反向运动。

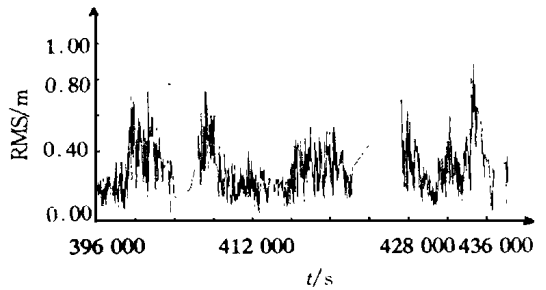
表2 浮冰运动速度统计表/(m·s⁻¹)

Tab.2 The Velocity of the Ice Sheet Moving/(m·s⁻¹)

方向	最大速度值	平均速度值
X	0.164	0.068
Y	0.211	0.102



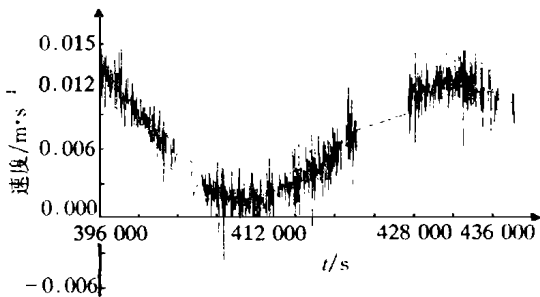
(a) X 方向



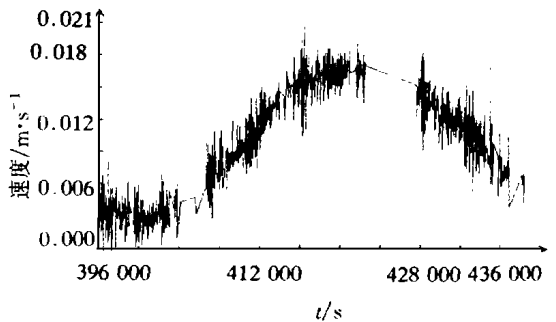
(b) Y 方向

图4 历元内符合精度图

Fig.4 Epoch's Internal Precision



(a) X 方向



(b) Y 方向

图5 瞬时速度图

Fig.5 The Instantaneous Velocity

3 结 论

根据结果分析可以得出, 在北冰洋浮冰上进行单机接收卫星数据时, 利用广域差分 GPS 事后处理结果的内符合精度达到亚米级, 能较可靠地反映海冰的运动状态。但由于只有单台接收机较短时间的观测值, 无法进行结果检核。若以后能利用多台接收机进行较长时间的观测, 通过比较不同接收机、不同时间段的解算结果, 可提高观测的可靠性, 进

一步发现和研究北冰洋海冰的运动规律, 对于探索极区冰、海、气能量交换规律是很有意义的。

参 考 文 献

- 1 刘经南, 陈俊勇, 张燕平, 等. 广域差分 GPS 原理和方法. 北京: 测绘出版社, 1999

鄂栋臣, 男, 61岁, 教授, 博士生导师。现主要从事南极测绘研究。代表成果: 南极地区测绘与遥感应用研究;《南极现代地壳运动和遥感成图研究》等。

E-mail: qhwang@wtusm.edu.cn

Using Post processing WADGPS Methods to Process Arctic GPS Data

*E Dongchen*¹ *LIU Jingnan*² *YE Shirong*³

(1 China Center for Antarctic Surveying and Mapping, WTUSM, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

(2 Presidential Secretariat, WTUSM, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

(3 GPS Research Center, WTUSM, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

Abstract Over the past few years, OTF integer ambiguity resolution for GPS has proven to be successful for short baseline (< 20 km). However, the challenge still exists when the baseline is long. This paper provides a method to process the kinematic GPS data in which the distance is hundreds of kilometers between the reference station and the mobile receiver. The method is to estimate satellite clock offsets using IGS precise ephemeris and the observation data of the IGS tracking stations every epoch, then transfer them to the mobile receiver for positioning. The method is used to process GPS data of the Arctic, and the results show that the precision in the horizontal component is better than 1 meter (1σ) and the deduced velocity of the ice sheet is 420 meters per hour.

Key words WADGPS; sub meter position; Arctic ice sheet movement

E Dongchen, male, 61, professor, Ph. D supervisor. His major research orientation is Antarctic surveying and mapping. His typical achievements are application and research of surveying and mapping, remote sensing in Antarctic region; "Current Crustal Movement and Remote Sensing Mapping Research in Antarctica", etc.

Email: qhwang@wtusm.edu.cn