

# The Application of System Bias in GPS/GLONASS Combined Positioning

Yize Zhang<sup>1,2</sup>, Junping Chen<sup>2</sup>, Jiexian Wang<sup>1</sup>

1. College of Surveying and Geo-Informatics, Tongji University, Shanghai, China
  2. Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Science, Shanghai, China
1. zhyize@163.com

**Abstract:** We discussed the pseudorange point positioning results of GPS, GLONASS and GPS/GLONASS. The IGS/IGL and the SHA precise products provided by SHAO GNSS AC are used in pseudorange point positioning, and the results are compared. By using the GPS/GLONASS system time offset provided by SHAO GNSS AC, we discussed its use in improving pseudorange point positioning.

**Key Words:** pseudorange point positioning, root mean square, system bias

## 系统偏差在GPS/GLONASS组合单点定位中的应用

张益泽<sup>1,2</sup>, 陈俊平<sup>2</sup>, 王解先<sup>1</sup>

1. 同济大学测绘与地理信息学院, 上海, 200092
  2. 中国科学院上海天文台, 上海, 200030
- zhyize@163.com

**【摘要】** 本文研究了GPS、GLONASS以及GPS/GLONASS组合分别对伪距单点定位结果的影响, 比较了IGS/IGL精密星历和上海天文台GNSS分析中心提供的SHA精密星历对伪距单点定位的影响, 同时利用上海天文台GNSS分析中心提供的GPS/GLONASS系统偏差, 将其作为已知值, 研究其对伪距定位结果的影响。

**【关键词】** 伪距单点定位; 均方根误差; 系统偏差

### 1 引言

GNSS(Global Navigation Satellite System)系统主要由GPS、GLONASS、GALILEO、COMPASS组成, 目前GPS和GLONASS系统已经进入正常工作状态, GALILEO和COMPASS还处于建设和试验阶段。

GLONASS是前苏联于1976年开始建立的第二代卫星导航定位系统, 现由俄罗斯负责管理和维持。GLONASS采用前苏联自己维持的UTC时间(UTC(SU)), 坐标系统采用PZ90坐标系统, 并采用频分多址(FDMA)的技术来确定卫星信号频率。GLONASS卫星分布在3个轨道面上, 轨道倾角为64.8°, 相邻轨道面的升交点赤经之差为120°, 卫星的平均高度为19390km, 运行周期为11h15min44s<sup>[1]</sup>。图1显示了正常提供服务的GLONASS卫星数在过

去十年的变化。截至2012年12月28日, GLONASS在轨卫星已经达到29颗, 其中有24颗卫星正常提供服务<sup>[2]</sup>。

得益于GLONASS卫星数量在近几年的增加和相关研究的投入, GLONASS导航定位的精度在过去三年提高了近5倍, 截至2010年4月1日, GLONASS的导航定位精度达到了5~7m, 并预计在2012年前达到2.5m<sup>[3]</sup>。在未来的几年, 随着GLONASS系统的进一步完善, GLONASS有望与GPS相媲美, 因此, 研究GPS/GLONASS的组合定位具有现实意义。目前许多学者都对GPS/GLONASS组合定位进行了相关研究<sup>[4-9]</sup>, 但GPS和GLONASS仍然有许多亟须研究的问题, 如GPS/GLONASS的系统时差、兼容性问题。

基于以上背景, 本文对GPS/GLONASS组合伪距单点定位进行了相关研究。

资助信息: 中科院百人计划资助; 国家高技术研究发展计划(863计划, 2013AA122402); 国家自然科学基金(40974018, 11273046); 上海市科学技术委员会资助(12DZ2273300)

## 2 GPS/GLONASS 双频伪距单点定位

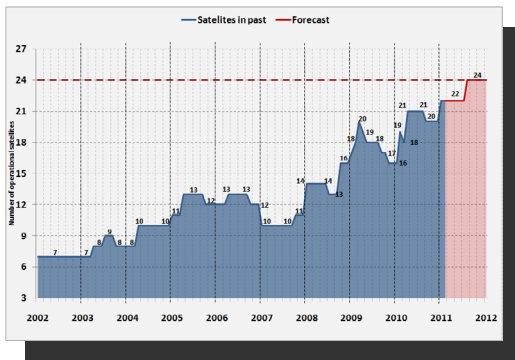


Figure 1. Total satellites in operation of GLONASS in recent ten years

图 1 近十年 GLONASS 运行卫星数量变化

### 2.1 GPS/GLONASS双频伪距定位原理

与GPS的码分多址(CDMA)的形式不同, GLONASS采用频分多址(FDMA)技术, 每一颗卫星的信号频率与卫星编号有关<sup>[2]</sup>:

$$\begin{cases} f_1 = 1602 \text{ MHz} + K \cdot 0.5625 \text{ Mhz} \\ f_2 = 1246 \text{ MHz} + K \cdot 0.4375 \text{ Mhz} \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中,K的取值可在GLONASS bulletin 中查取。

GLONASS与GPS伪距定位原理类似, 二者的组合定位模型为:

$$\begin{cases} P_j^G = \rho_j^G + c \cdot \delta_{j,G} - c \cdot \delta^G + \delta_{trop,j}^G + \frac{1}{f^2} \cdot \delta_{iono,j}^G + \varepsilon_j^G \\ P_j^R = \rho_j^R + c \cdot \delta_{j,R} - c \cdot \delta^R + \delta_{trop,j}^R + \frac{1}{f^2} \cdot \delta_{iono,j}^R + \varepsilon_j^R \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $P_j^G$ 、 $P_j^R$  表示测站k的GPS、GLONASS卫星的伪距观测值,  $\rho_j^G$ 、 $\rho_j^R$  为站星距,  $\delta_{j,G}$ 、 $\delta_{j,R}$  为测站对GPS和GLONASS信号的接收机钟差,  $\delta^G$ 、 $\delta^R$  为卫星钟差,  $\delta_{trop,j}^G$ 、 $\delta_{trop,j}^R$  为对流层延迟,  $\delta_{iono,j}^G$ 、 $\delta_{iono,j}^R$  为电离层延迟,  $\varepsilon_j^G$ 、 $\varepsilon_j^R$  为潮汐改正及其它未被模型化的误差,  $c$  为光速,  $f$  为相应信号频率。

对于双频观测数据, 一般采用 Ionosphere-Free组合消除电离层延迟误差:

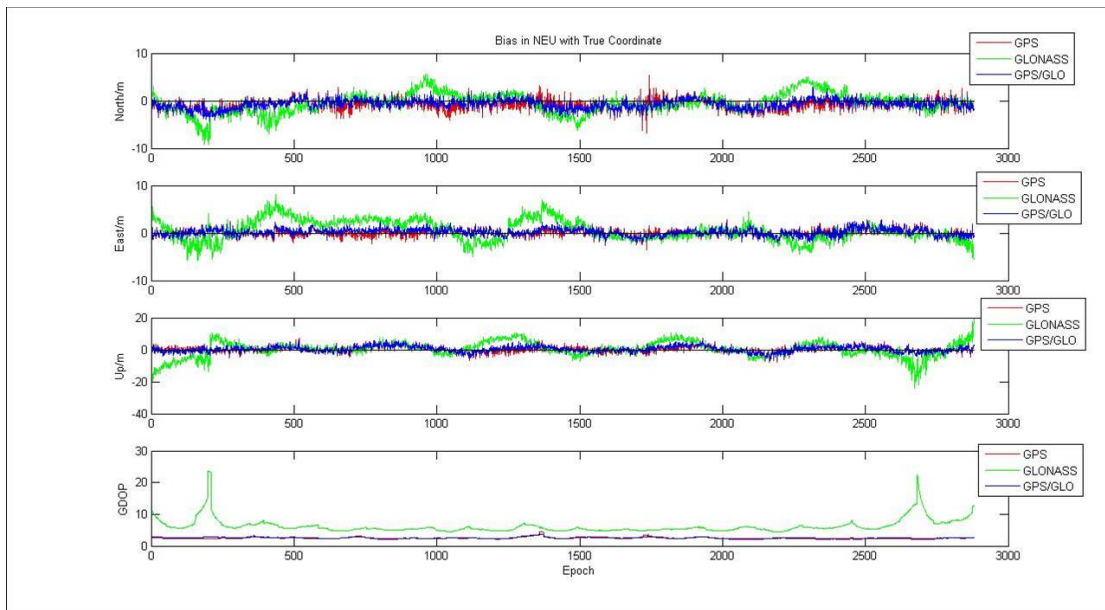
$$P_{IF} = \frac{1}{f_1^2 - f_2^2} (f_1^2 P_1 - f_2^2 P_2) \quad (3)$$

结合(2)、(3)式, 就可以进行GPS/GLONASS组合伪距单点定位。在定位时, 对测站坐标( $X_k, Y_k, Z_k$ )和接收机钟差 $\delta_{j,G}$ 、 $\delta_{j,R}$ 等五个参数进行最小二乘估计。

### 2.2 GPS/GLONASS伪距定位结果

本文选择IGS站中POTS站2011年年积日为200的数据, 根据2.1中的定位模型对其进行GPS/GLONASS组合伪距动态定位, 由于GLONASS信号的噪声较大, 根据文献9的结论对GPS和GLONASS按照4:1进行定权, 同时依高度角进行定权。对流层延迟采用无气象参数的EGNOS模型, 由于伪距精度较低, 潮汐改正、卫星相位中心和质量中心偏差等其他误差可以忽略, 在每个历元估计了测站坐标和接收机对GPS和GLONASS信号的钟差。将定位结果与IGS提供的测站最终坐标进行比较。为了分析GPS/GLONASS组合定位的精度, 同时也进行GPS和GLONASS单独定位, 对三者的定位结果进行比较。

图2显示了GPS、GLONASS单独定位和GPS/GLONASS组合定位的结果在N、E、U方向与真实坐标的差异, 以及三种定位方法的GDOP变化, 表1是三种不同定位方法的RMS统计。



**Figure 2. Positioning error and GDOP for GPS, GLONASS and combined GPS/GLONASS**  
**图 2 GPS、GLONASS 和 GPS/GLONASS 伪距单点定位结果和 GDOP 比较**

**Table 1. Positioning RMS for GPS, GLONASS and combined GPS/GLONASS**

**表 1 GPS、GLONASS 和 GPS/GLONASS 伪距单点定位的 RMS 统计**

RMS	N/m	E/m	U/m
GPS	1.410	0.796	2.006
GLONASS	2.070	2.154	4.741
GPS/GLONASS	1.233	0.772	1.902

从图 2 和表 1 可以看出，GLONASS 的 GDOP 均大于 GPS 和 GPS/GLONASS 组合的 GDOP，最大时达到了 20，这是由于 GLONASS 卫星数量的限制。GLONASS 的定位精度最差，在天顶方向达到了近 5m，而 GPS 和 GPS/GLONASS 在各方向的定位精度约为 1~2m，GPS/GLONASS 组合定位的精度略好于 GPS 单独定位的精度。

### 3 IGS/IGL和SHA精密星历对 GPS/GLONASS伪距单点定位的影响

#### 3.1 SHA精密星历

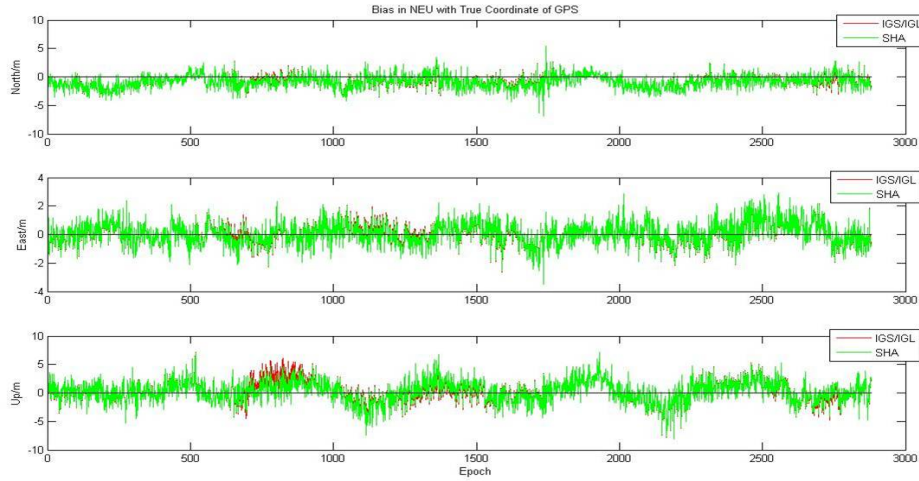
IGS 分析中心通过对 GPS 和 GLONASS

进行分别定轨得到 GPS 和 GLONASS 的精密星历，二者的轨道数据存在一些系统性差异，同时由于 GLONASS 在定轨中未进行模糊度固定，因此 IGS 给出的 GLONASS 轨道 (IGL\*\*\*\*.sp3) 精度较 GPS 的差一些。

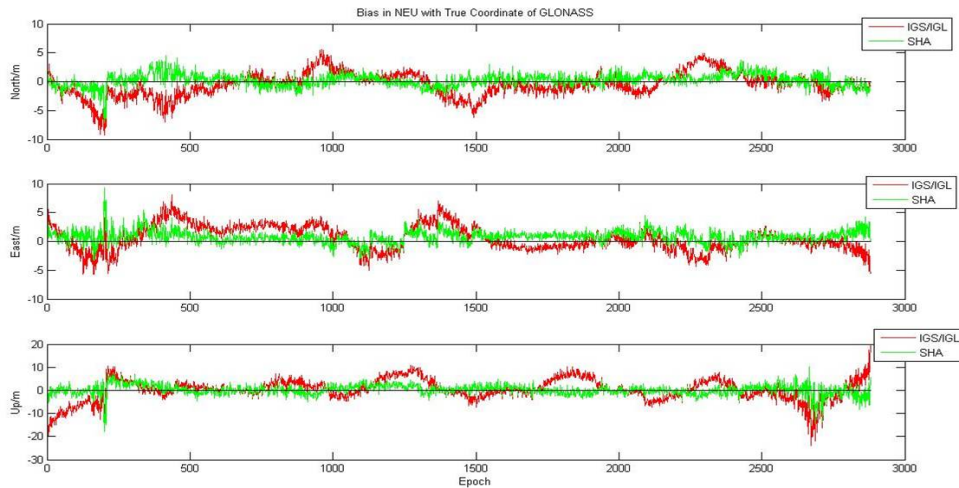
上海天文台 GNSS 数据分析中心[11]通过对 GPS 和 GLONASS 进行联合定轨，同时得到了 GPS 和 GLONASS 的轨道信息 (SHA\*\*\*\*.sp3)，二者的轨道的一致性较好。因此在本文中笔者尝试采用上海天文台 GNSS 数据分析中心提供的精密星历，进行伪距动态定位。

#### 3.2 IGS/IGL和SHA精密星历定位结果比较

为了比较 IGS 和上海天文台 GNSS 分析中心提供的精密星历的精度，将 IGS/IGL 精密星历和 SHA 精密星历分别用于 GPS、GLONASS 单独定位和 GPS/GLONASS 组合定位中，图 3、4、5 给出了定位结果在 N、E、U 方向上的误差。表 2 给出了伪距动态定位的 RMS 统计。



**Figure 3. GPS positioning error for IGS/IGL and SHA precise orbits**  
**图3 IGS/IGL 和 SHA 精密星历对 GPS 伪距定位的影响**



**Figure 4. GLONASS positioning error for IGS/IGL and SHA precise orbits**  
**图4 IGS/IGL 和 SHA 精密星历对 GLONASS 伪距定位的影响**

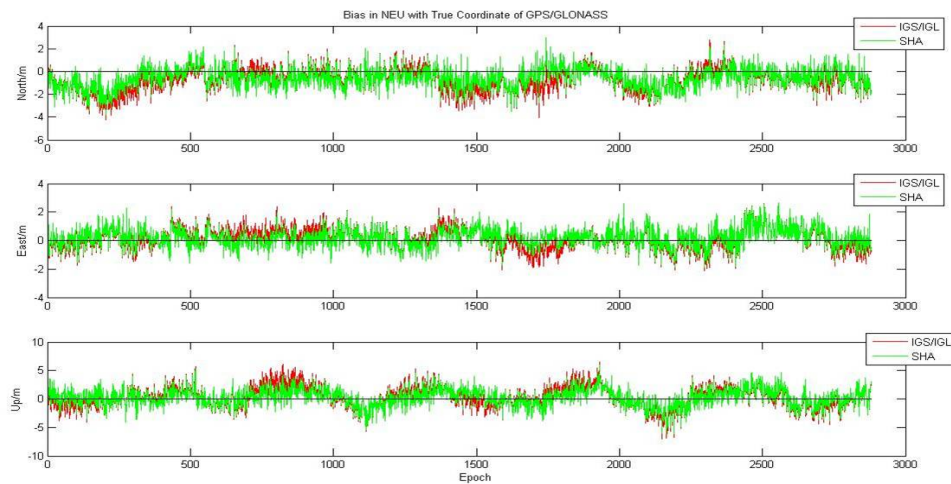


Figure 3. Combined GPS/GLONASS positioning error for IGS/IGL and SHA precise orbits

图 5 IGS/IGL 和 SHA 精密星历对 GPS/GLONASS 伪距定位的影响

Table 2. GPS, GLONASS and combined GPS/GLONASS positioning error for IGS/IGL and SHA precise orbits

表 2 GPS、GLONASS 和 GPS/GLONASS 伪距单点定位结果的 RMS 统计

RMS	IGS/IGL			SHA		
	N/m	E/m	U/m	N/m	E/m	U/m
GPS	1.410	0.796	2.006	1.434	0.801	1.945
GLONASS	2.070	2.154	4.741	1.121	1.338	2.269
GPS/GLONASS	1.233	0.772	1.902	1.074	0.701	1.616

从图 3、4、5 和表 2 中可以看出，两种精密星历对 GPS 伪距定位的影响差不多，但是 SHA 精密星历与 IGL 精密星历相比，能大大改善 GLONASS 的定位精度，对 GPS/GLONASS 的定位精度也有一些提高，这说明 SHA 精密星历的 GLONASS 轨道精度比较高。

## 4 GPS/GLONASS 系统时差对伪距单点定位的影响

### 4.1 GPS/GLONASS 系统时差

由于 GLONASS 与 GPS 的信号频率不同，且不同 GLONASS 卫星的频率也不同，因此 GLONASS 各卫星在接收机中的硬件延迟各不相同，通常在进行 GPS/GLONASS 组合定位时，将接收机对 GPS 和 GLONASS 的钟差当成两个独立参数进行解算。如果通过整体处理 GPS/GLONASS 观测数据，就可以监测两个系统之间延迟的差异，称为系统时差。如果已知系统时差，就可以利用系统时差，将接收机对两种信号的差异简化成一个参数，方便 GPS/GLONASS 的组合数据处理。

上海天文台 GNSS 数据分析中心通过 GPS/GLONASS 数据整体解算，计算出了 GPS

和 GLONASS 之间的系统时差，图 6 列出了 SHA 估计的 GPS/GLONASS 系统时差以及从广播星历中得到的系统时差，从图中可以看出二者之间存在着很好的一致性。

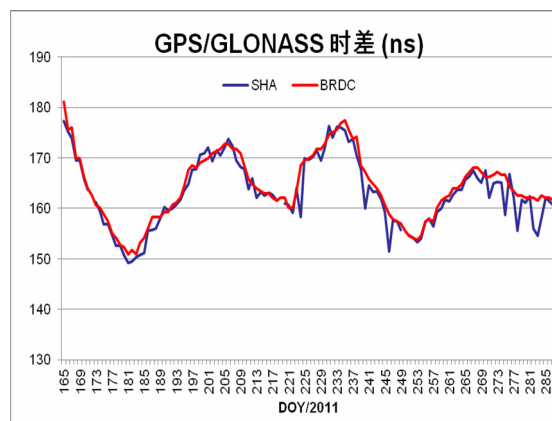


Figure 6. GPS/GLONASS system time offset comparison

图 6 GPS/GLONASS 系统时差与广播星历系统时差比较

若已知 GPS/GLONASS 系统时差，对 GPS/GLONASS 数据进行处理，则式 (2) 可变为：

$$\begin{cases} P_j^G = \rho_j^G + c \cdot \delta_{j,G} - c \cdot \delta^G + \delta_{trop,j}^G + \frac{1}{f^2} \cdot \delta_{iono,j}^G + \varepsilon_j^G \\ P_j^R = \rho_j^R + c \cdot (\delta_{j,G} + \Delta\delta_{R-G}) - c \cdot \delta^R + \delta_{trop,j}^R + \frac{1}{f^2} \cdot \delta_{iono,j}^R + \varepsilon_j^R \end{cases} \quad (4)$$

式 (4) 中  $\Delta\delta_{R-G}$  表示 GPS/GLONASS 系统时差。

### 4.2 系统时差对伪距单点定位的影响

笔者采用上海天文台 GNSS 分析中心提供的 GPS/GLONASS 系统时差，将其当成已

知值，根据式 (4) 解算测站位置  $(X_j, Y_j, Z_j)$  和接收机钟差  $\delta_{j,G}$  等四个参数。同样以上一节中的数据为例，比较这种处理方法对定位结果的影响。

图 7 给出了利用 IGS/IGL 精密星历、SHA

精密星历以及 SHA 精密星历+GPS/GLONASS 系统时差三种不同方法对 GPS/GLONASS 组合伪距定位结果的影响。表 3 是三种方法的定

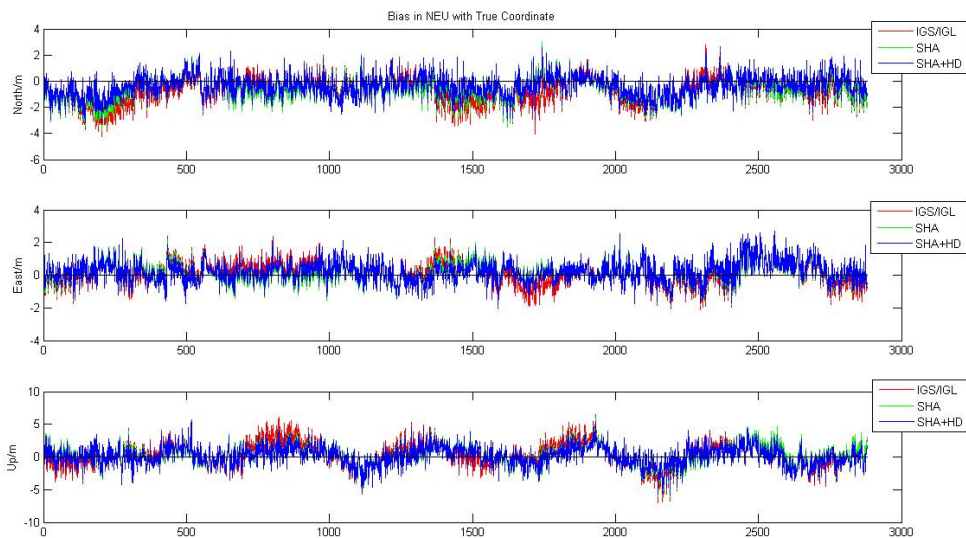


Figure 3. The Application of system bias in GPS/GLONASS combined positioning

图 7 GPS/GLONASS 系统时差对 GPS/GLONASS 组合伪距定位的影响

Table 3. GPS, GLONASS and combined GPS/GLONASS positioning error statistics

表 3 GPS、GLONASS 和 GPS/GLONASS 伪距单点定位 RMS 统计

RMS	N/m	E/m	U/m
IGS/IGL	0.998	0.752	1.873
SHA	0.903	0.671	1.597
SHA+GPS/GLO时差	0.854	0.667	1.533

从图 7 和表 3 中可以看出，采用 SHA 精密星历，可以提高伪距定位精度，如果采用 GPS/GLONASS 系统时差，则可以进一步提高定位精度。因此监测 GPS/GLONASS 系统时差对定位有着重要意义。

## 5 结论

(1) 本文分析了 GPS、GLONASS 和 GPS/GLONASS 组合对伪距定位的影响，利用试验数据证明了 GPS/GLONASS 组合能提高伪距定位结果的精度，但由于 GLONASS 的卫星数量和轨道精度等原因的限制，组合定位精度的提高较 GPS 还没有太大优势，但在 GPS 卫星数较少的情况下，GPS/GLONASS 组合定位

能改善定位效果。

(2) 通过比较证明了 SHA 精密星历 GPS 和 GLONASS 的一致性较好，与 IGS 提供的 GLONASS 轨道数据相比，其轨道精度较好，能大大改善 GLONASS 的伪距定位精度。但对相位的改善还有待进一步研究。

(3) 通过比较证明了 GPS/GLONASS 系统时差的监测对定位具有现实意义，但如何实现 GPS/GLONASS 系统时差的预报，以用于实时导航定位中，是今后需要继续研究的内容。

## 参考文献

[1] Li Zhenghang, Huang Jingsong. GPS surveying and processing[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2005.  
李征航, 黄劲松. GPS 测量与数据处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005.

[2] GLONASS IAC.  
<http://www.glonass-iac.ru/en>

[3] <http://www.beidou.gov.cn>

[4] Gao Xingwei, Ge Maorong. The Analysis of GPS/GLONASS single point positioning[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 1994(4):8:14.  
高星伟, 葛茂荣. GPS/GLONASS 单点定位

- 的数据处理[J]. 测绘通报, 1994(4) : 8-14
- [5] Hu Guorong, Cui Weihong. Method of weighted GPS+GLONASS single point positioning[J]. *Acta ARMAMENTARII*. 2002,23(1):59-63.  
胡国荣, 崔伟宏. 组合GPS/GLONASS加权单点定位方法[J]. 兵工学报, 2002,23(1): 59-63.
- [6] Sun Hongrui, Shen Yunzhong. Integrated GPS/GLONASS point positioning model and its accuracy analysis[J]. *Engineering of Surveying and Mapping*. 2009,18(1):8-11.  
孙洪瑞, 沈云中等. GPS/GLONASS组合点定位模型及其精度分析[J]. 测绘工程, 2009, 18(1): 8-11.
- [7] Sun Hongrui, Shen Yunzhong, et al. Research on GPS/GLONASS integrated positioning algorithm based on difference carrier phase [J]. *Engineering of Surveying and Mapping*, 2010,19(6):20-23.  
孙洪瑞, 沈云中等. 基于相位差分的GPS/GLONASS组合定位算法研究[J]. 测绘工程, 2010,19(6): 20-23.
- [8] Meng Xiangguang, Guo Jiming. GPS-GLONASS and Their Combined Precise Point Positioning[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2010,35(2): 1409-1413.  
孟祥广, 郭际明. GPS/GLONASS及其组合精密单点定位研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010,35(12): 1409-1413.
- [9] Duan Juju, Shen Yunzhong. GPS/GLONASS Combined Point Positioning Using Variance Component Estimation [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2011(4):4-6.  
段举举, 沈云中. 基于方差分量估计的GPS/GLONASS组合定位[J]. 测绘通报, 2011(4): 4-6.
- [10] International GNSS Service (IGS).  
[igsb.jpl.nasa.gov](http://igsb.jpl.nasa.gov)
- [11] Shanghai Astronomical Observatory  
GNSS Analysis center.  
[http://www.shao.ac.cn/shao\\_gnss\\_ac/](http://www.shao.ac.cn/shao_gnss_ac/)