

中国 GPS 增强系统性能分析及技术发展

陈刘成

(北京环球信息应用开发中心, 北京, 100094)

[摘要] 本文提出了一种 GPS 卫星导航增强系统技术性能分析方法, 即利用 IGS 提供的高精度 GPS 星历、卫星钟差数据和电离层数据作为外符和检测标准, 检验增强系统提供的卫星星历改正数据、卫星钟差改正数据和电离层改正数据的精度。通过实测数据分析表明, 我国 GPS 卫星导航增强系统目前的服务性能与国外同类系统具有一定的差距, 主要的技术薄弱环节在于 GPS 卫星的精密定轨与钟差解算技术。

[关键词] GPS; 广域增强系统; SNAS; EGNOS

[中图分类号] P228.4 [文献标识码] A [文章编号] 1001-8379(2006)02-0055-05

The Service Performance Analyze of China GPS WAAS and Its Development Overview

CHEN Liu-cheng

(The Beijing Global Information Application and Development Center,
Beijing 100094, China)

Abstract: A method to evaluate the performance of GPS wide area augment system is introduced in this article. By it, the performance of the Chinese GPS WAAS, so called SNAS, is examined. And more, the accuracies of GPS broadcast ephemeris, clock data and ionosphere delay corrected by the SNAS broadcast correcting data can be solved clearly in comparison with the high precise GPS ephemeris, GPS satellites clocks data from IGS, and the high precise global ionosphere delay correcting model from CODE. The facts show that the service performance of SNAS has dropped behind EGNOS, and the main weakness lies in the technologies of the precise orbit determination and the satellites clocks solvation.

Key words: GPS; WAAS; SNAS; EGNOS

1 问题的研究背景

广域 GPS 卫星导航增强系统 (WAAS) 是由美国 FAA 首先提出的, 目的是为民航飞行及其最终着陆阶段飞行提供精确的导航信息。广域增强系统可以有效改进单 GPS 系统在定位精度、系统完好性方面的不足。由于 WAAS 系统在导航定位应用中具有巨大的优势, 世界上许多国家都建立了自己的 WAAS 系统、如北美的 WAAS 系统、欧洲的 EGNOS 系统、日本的 MSAS 系统、中国的 SNAS 系统等。

广域差分技术的基本思想是通过一定数量的地面参考站对 GPS 观测量的误差源加以区分, 并对每个误差源加以模型化, 然后将计算出来的每一个误差源的修正值通过数据链路广播给用户, 对用户的 GPS 接收机的观测值进行误差修正, 以改善用户的

定位精度^[2]。

目前运行的所有 GPS 广域增强系统工作模式基本一致, 都是在中心站收集所有监测站的观测数据进行综合处理, 处理的主要内容是卫星的星历改正数、卫星钟差改正数和电离层改正数。

目前, 我国 GPS 增强系统一期工程已经建设完毕 (具体性能参数请见文献 3), 其性能与国外其他同类系统 (以欧洲 EGNOS 系统为例) 相比较具有一定的差距, 这些差距主要由哪些技术环节引起的, 我国卫星导航增强系统进一步发展的重点技术是什么, 都是需要认真分析研究的问题。

2 SNAS 系统与 EGNOS 定位精度比较

以参考站单点定位和广域差分定位精度来说明增强系统现在的服务性能。

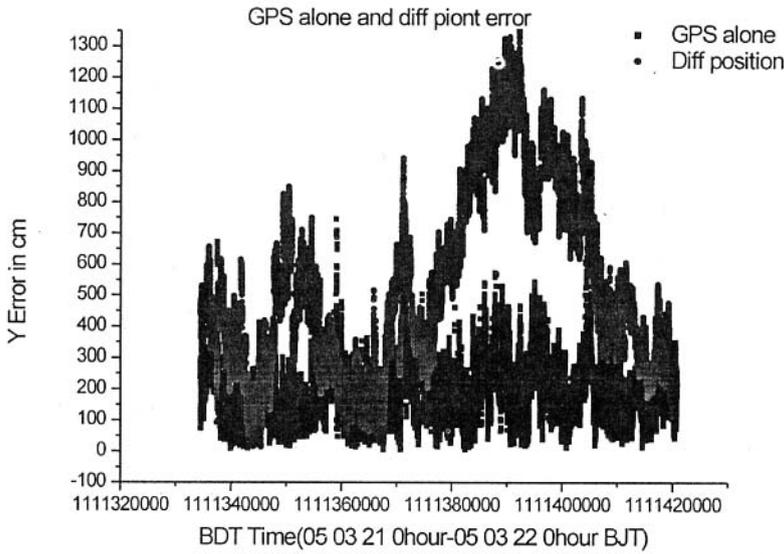


图 1 北京中心参考站单点、广域差分定位精度

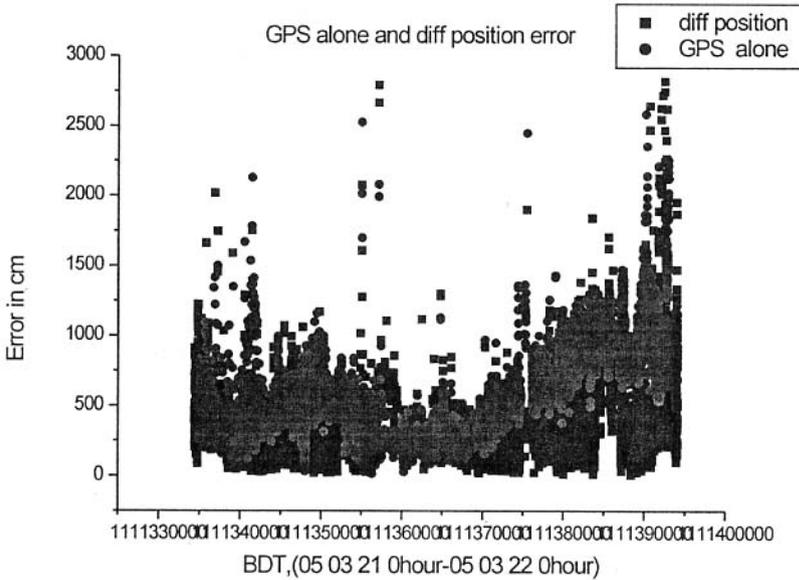


图 2 湛江参考站单点、广域差分定位精度

欧洲 EGNOS 系统在 2000 年 ~ 2003 年试运行期间,在全世界各个地区进行了多种系统性能测试,部分测试结果如下^[6]:

2.1 比利时军用直升机评估 EGNOS 增强性能

表 1 后处理结果: DGPS 和 EGNOS 在不同飞行方式下的精度 (单位: 米)

	GPS alone	DGPS	EGNOS + GPS	说明
平均误差	22.6382	2.0982	2.0658	三维
标准差	7.7615	0.6493	0.6696	三维
平均误差	1.3641	1.3442	1.2123	高程
标准差	0.9686	0.9567	0.9712	高程

2.2 陆地定位试验

表 2 2000-9-21 在 Toulouse 图卢兹静态测试结果 (单位: 米)

	GPS	EGNOS + GPS	备注
垂直精度	3.56 ± 2.48	-0.25 ± 2.53	静态
水平精度	2.74 ± 0.99	1.66 ± 0.73	静态

2.3 EGNOS 中国测试

2003 年底, EGNOS 在中国进行了测试, 在中国北京房山、武汉九峰 SLR 站、上海佘山布设了 3 个

RIMS 站, 在延津、繁昌、高密、泗县、宁津、临汾进行了静态测试。2003 年 12 月, 中国专家在长江武汉段对 EGNOS 进行了首次动态性能测试。

从测试结果来看, EGNOS 在中国地区正常的静态定位精度大约在 1 米到 2 米^[4], 动态测试精度在 1 米到 2.5 米^[6]。

3 增强系统性能检测方法

从上述 EGNOS 性能测试可以看出, 我国目前建立的卫星导航增强系统性能指标距离世界其他同类系统有一定的差距, 利用 IGS 全球观测数据解算的 GPS 精密轨道、卫星钟差、全球电离层数据作为外部检测标准, 与我国卫星导航增强系统生成相关数据进行比较, 可以分析我国 GPS 卫星导航增强系统技术薄弱所在。

表 3 IGS 最终数据产品的精度^[1]

GPS 精密星历	< 5cm
GPS 卫星钟差	< 0.1ns
网格点垂直方向电子总量	2 - 8 TECU (对 GPSLI, 0.3 - 1.2m)

从表 3 可以看出 IGS 所提供的数据最终产品精度, 在夜间 IGS 提供的电离层改正精度可达 0.1m 以上。完全可以作为检测我国 GPS 增强系统的外符和检测标准。

3.1 卫星轨道精度检测

(1) 利用 GPS 卫星广播星历, 计算对应时刻的位置 $X_b^i(t)$;

(2) 接收增强系统发播的广域差分改正信息, 计算位置改正量, 并结合 (1) 生成增强系统的精密星历;

$$X_w^i(t) = X_b^i(t) + \Delta X(t_0) + \Delta \dot{X}(t - t_0)$$

$\Delta X, \Delta \dot{X}, t_0$ 分别为增强系统发播的广播星历改正数、改正数变化率、数据参考历元。

(3) 比较同一时刻同一 GPS 卫星增强系统精密星历和 IGS 精密星历的偏差。

$$dX^i(t) = X_b^i(t) - X_{igs}^i(t)$$

3.2 钟差改正精度检测

(1) 从广播星历计算对应时刻的卫星钟差:

$$dClk_b^i(t) = A_{0b}^i + A_{1b}^i(t - t_{b0}) + A_{2b}^i(t - t_{b0})^2$$

$A_{0b}^i, A_{1b}^i, A_{2b}^i, t_{b0}$ 分别为广播星历中 i 卫星的钟偏、钟偏变化率、钟偏变化加速度、对应历元时刻。

(2) 综合卫星导航系统广播的钟差改正数和广播星历钟差信息, 解算增强系统钟差改正: $dClk_w^i(t) = dClk_b^i(t) + A_{0w}^i + A_{1w}^i(t - t_{w0}) + A_{2w}^i, A_{0w}^i, A_{1w}^i, A_{2w}^i, t_{w0}$ 分别为增强系统广播的 i 卫星钟差偏差、偏差变化率、钟差快变量、数据对应历元时刻。

(3) 比较增强系统卫星钟差改正与 IGS 解算的钟差改正数的偏差: $dClk^i(t) = dClk_w^i(t) - dClk_{igs}^i(t)$ 。

3.3 电离层改正精度检测

(1) IGS 电离层数据使用方法

IGS 将电离层虚拟成距地面高度为 450 公里的薄球层。在薄球层和太阳——地磁参考框架上, 将电离层 VTEC 利用式 (1) 所示的球谐函数展开式模拟。

$$VTEC(\varphi, \lambda) = \sum_{n=0}^{15} \sum_{m=0}^n \tilde{P}_{nm}(\sin \varphi) (\tilde{A}_{nm} \cos(m\lambda) + \tilde{B}_{nm} \sin(m\lambda)) \quad (1)$$

上式中 φ 为 IPP 点 (电离层刺穿点) 的纬度; λ

为 IPP 点的经度; n_{dmax} 为 SH 函数的最大度数; $\tilde{P}_{nm}(\sin \varphi) = MC(n, m) \cdot P_{nm}(\sin \varphi)$ 为 n 度 m 阶的归化的拉格朗日函数; $MC(n, m)$ 为归化函数, 即 $MC(n, m) = \sqrt{(n-m)!(2n+1)(2-\delta_{0m})(n+m)!}$; δ_{0m} 为 Kronecker 型 δ 函数; $P_{nm}(\sin \varphi)$ 为经典拉格朗日函数; \tilde{A}_{nm} 和 \tilde{B}_{nm} 为根据预报模型求得的 SH 系数, 即全球或区域性 VTEC 模型的预报参数。

(2) 因为 IGS 全球格网点划分在中国区域与增强系统格网点划分一致, 因此可以直接求出两种方法在同一时刻在相同网格点位置垂直的电离层延迟, 进行比较。

4 检测结果

通过实测数据的比较, 可以发现增强系统与 IGS 提供的对应数据, 星历、钟差偏差较大, 电离层改正比较接近。以 PRN2 的星历改正、卫星钟差改正偏差比较、东经 115 度北纬 40 度和东经 110 度北纬 20 度地区的格网点天顶电离层改正偏差为例:

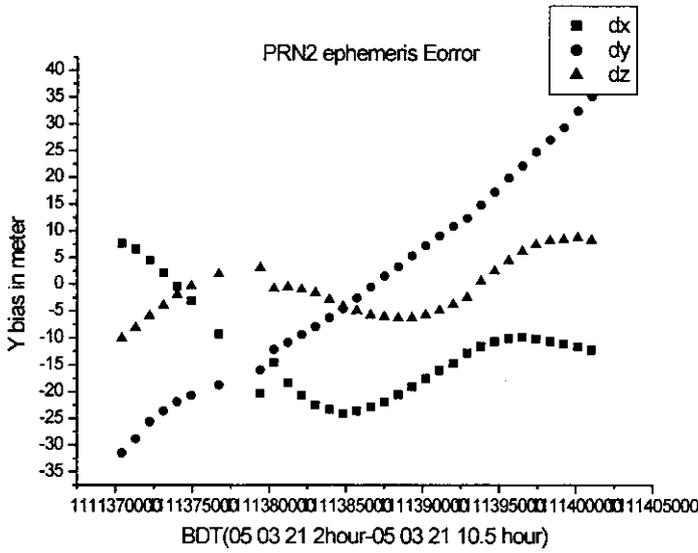


图 3 增强系统提供的 GPS PRN2 卫星与 IGS 星历偏差

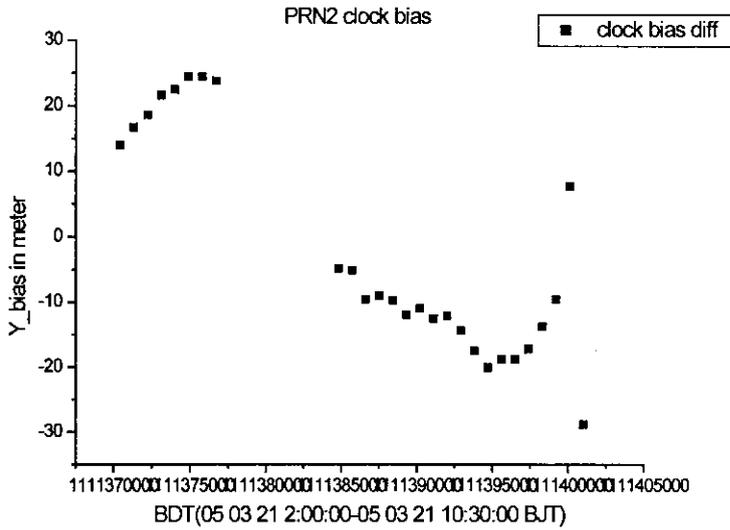


图 4 增强系统提供的 PRN2 卫星钟差与 IGS 钟差偏差

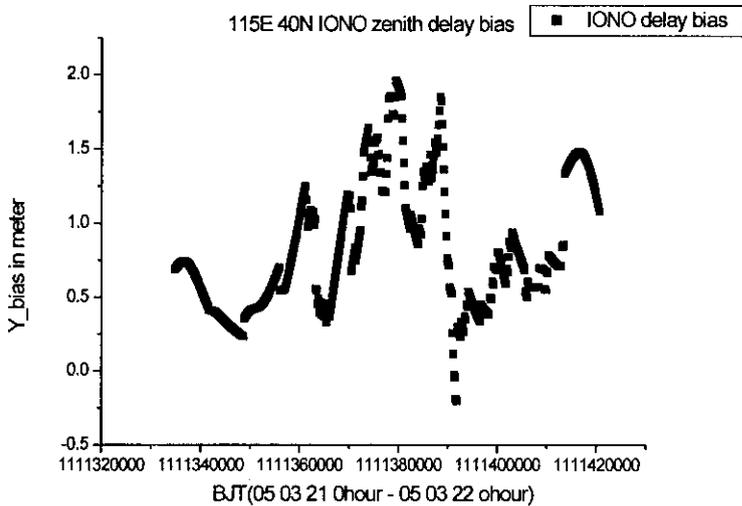


图 5 增强系统提供的东经 115°、北纬 40°垂直电离层延迟与 IGS 电离层偏差

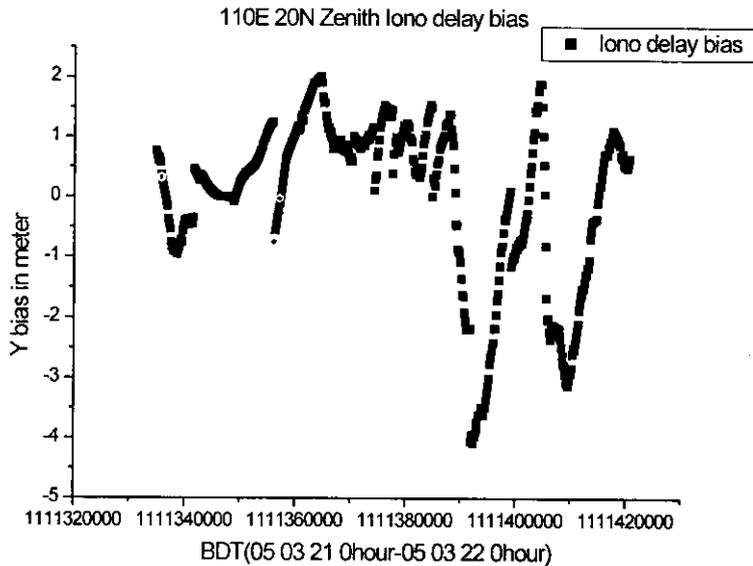


图 6 增强系统提供的东经 110°、北纬 20°
垂直电离层延迟与 IGS 电离层偏差

5 结论

通过实测数据的综合分析,可以看出增强系统对我国上空的电离层检测是有效的,提供的服务区内部格网点垂直电离层延迟改正量与 IGS 对应的电离层延迟相比较平均偏差约 1-2 米,电离层实时监测的精度有待进一步提高。

增强系统提供的卫星星历改正、卫星钟差改正值与 IGS 提供的精密星历与钟差相比较,偏差较大,不同卫星的偏差分别达到十几米到几十米。

从上述两点来看,目前制约我国增强系统性能进一步提高的技术弱点,主要是 GPS 卫星的精密轨道确定和钟差解算技术。

参考文献

[1] IGS website : <http://igsch.jpl.nasa.gov/components/prods.html>

- [2] 陈金平. GPS 完善性增强研究 [D]. 郑州: 中国人民解放军信息工程大学测绘学院, 2001.
- [3] 卫星导航系统测试报告 [R]. 中国人民解放军卫星定位总站, 2002.
- [4] 过静君等. 中欧 EGNOS 静态测试数据处理报告 [R]. 北京: 清华大学, 2003.
- [5] Stefan Schaer. how to use CODE 's Global Ionosphere Maps [M]. Astronomical Institute, University of Berne, May 1997.
- [5] 陈刘成. EGNOS 系统进展情况 [J]. 四川测绘, 2004, (4).

[收稿日期] 2006-03-28

[作者简介] 陈刘成 (1977-), 男, 汉族, 解放军信息工程大学测绘学院在读博士, 研究方向: 卫星导航、精密定轨。