

北海区 MSAS 单点定位精度分析

雷 艳^{1,2}, 高延铭², 王金磊², 谭 萌^{1,2}, 陈 烽²

(1 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室, 青岛 266061;

2 国家海洋局北海信息中心, 青岛 266061)

摘 要:以青岛 GPS 标定站为参考, 利用 GetacZ710 三防便携平板(含 GPS 接收器)对试验点采用单一 GPS 和启用 MSAS 辅助定位两种方式, 采集多历元单点定位信息, 获得试验点 CGCS2000 高斯投影平面坐标(x, y, h), 对不同历元次数、不同采集方式、不同静态精密解算方法求取的坐标值进行分析与评价。研究表明, 在北海区 MSAS 对 GPS 单点定位精准度具有一定增强效果, 稳定性比较可靠。

关键词: GPS; MSAS; 密度中位法; 精度

中图分类号: P228

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2016.12010

随着海洋防灾、维权执法、海洋调查等业务工作的开展, 有大量现场测绘工作需要即时完成。在过去, 出于时间和成本的考虑, 此工作通常是先通过目测或简单尺量, 模糊描述记录现场状况, 然后在此基础上有针对性地筛选部分进行 GPS 的载波相位实时差分定位(RTK, Real-Time Kinematic), 确认测绘成果, 费时费力、高耗低效。GPS 接收机是接收全球卫星定位系统卫星信号, 并解算接收机所在点位 WGS84 三维空间坐标的设备, 自 2000 年美国取消 SA 政策后单点定位精度大约为 ± 20 m^[1], 现在大部分 GPS 接收机精度为 ± 5 m。作为一个低成本高成效的现场空间数据采集解决方案, GPS 接收机在电力巡线、国土调查、城市管理、矿山监测、林业调查、农业生产等各行各业得到了广泛应用。然而在实测中, 受到环境影响, GPS 接收机的精度还可能低于其标定值。在需求推动下, 提高 GPS 单点定位精度一直是业内一个研究热点。

日本的多功能卫星增强系统(MSAS: Multi-functional Satellite Augmentation System)是卫星信号覆盖我国海陆且可免费接收的 GPS 星基增强系统(SBAS: Space Based Augmentation System), 在华南、华东、东北地区, 双频 GPS 接收器接收 MSAS 广播信号的可用性达 90% 以上, 北海区在 95% 以上, 并且遵守统一的电文格式, 具有可靠的互操作性^[2]。

MSAS 空间部分包括 2 颗定点位置分别在 140°E 和 145°E 的地球静止同步卫星(GEO): MTSAT-1R\MTSAT-2。卫星使用 Ku 波段用于通信和气象数据播报, L 波段用于定位导航服务; 地面主体包括位于神户和常陆太田的 2 个主控站(MCS: Master Control Station), 位于福冈、东京、札幌和那霸的 4 个监控站(GMS: Ground Monitor Station), 以及位于堪培拉和夏威夷设的标定站(MRS: Monitor and Ranging Station); 系统在地面站监测 GPS 信号的电离层垂直延迟量, 并通过双线性插值法, 计算 IPP(Ionospheric Pierce Point)所在 5 度间隔的 IGP(Ionospheric Grid Point)格网的电离层垂直改正推算值。由监控站通过积累的大量冗余数据和先验模型经过复杂计算, 编制出由三维星历误差、每颗卫星的钟差和电

收稿日期: 2016-06-02

基金项目: 山东省防灾减灾重点实验室项目(2012014)

作者简介: 雷 艳(1978—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事 3S 技术在国土资源管理方面的应用研究工作。E-mail: yandylei@163.com

离层广域微分改正信息组成的误差校正矢量,并通过卫星广播。从文献[3]和文献[4]可知,我国华南、华东、东北大部分地区在 MSAS 电离层校正的有效覆盖范围内但由于缺乏国内 IPP 监测站,校正能力受限^[3,4]。

本研究采用单一 GPS 和启用 MSAS 辅助定位 2 种方式采集多历元单点定位信息,采用直接均值法和密度中位法求取静态精密解,分析在我国北海区利用日本的 MSAS 对 GPS 的增强效果及其稳定性,并将研究成果应用于海洋执法便携工具中,提高空间定位精度,促进海洋管理向着高时效、高精度、低成本、连续性的方向发展。

1 数据采集

从上百台设备中,随机选择 5 台启用 MSAS 信号接收处理模块,另选择 5 台不启用 MSAS 信号接收处理模块,以同一点面对面立置的 2 台为一个对照组,同时记录 5 个对照组的定位信息。

所用设备: GetacZ710 三防便携平板;

10 台设备的分组标识: GPS_2、GPS_9、GPS_30、GPS_34、GPS_37; MSAS_7、MSAS_12、MSAS_14、MSAS_17、MSAS_31。

SiRFstarIV™ GPS 芯片水平定位精度(标定值):

自动(单点定位): 2.5 m;

DGPS(启用 MSAS): 2.0 m;

采集时间: 2013 年 4 月 17 日上午 9:30—11:20, 下午 12:30—15:30。

采集环境: 开阔无遮蔽; 上午晴天, 微风; 下午多云转阴, 风力约为 5 级。

GPS 标定站坐标 P : $L=120^{\circ}21'45.356\ 63''$; $B=36^{\circ}05'55.143\ 40''$; $H=76.16\ \text{m}$

计算软件: 自主开发, 坐标及投影转换调用 ArcObject 模块。

2 算法与评价指标

在长时间的静态观测中, 观测数据中基本都会出现收敛或发散现象, 在处理具有收敛或发散等漂移规律的定位数据时, 常使用的方法有直接均值法、中位均值法和密度中位法等, 具体算法参

见文献[5]。本试验中, 对于多历元观测数据采用直接均值法和密度中位法求取静态精密解 $P_{\text{静}}(x_{\text{静}}, y_{\text{静}}, h_{\text{静}})$ 。对坐标解的评价则主要采用以下指标:

(1) 内符合精度分析

内符合精度表达所接收的多历元的定位坐标值的离散程度, 是反映接收机单点定位的稳定性的主要精度指标, 内符合精度可按式(1)计算。试验中, 对 MSAS 和 GPS 对照组的内符合精度分析可反映 MSAS 对 GPS 增强的稳定性。

$$\begin{aligned}\delta_{\text{内}}^x &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{\text{静}})^2}{n-1}} \\ \delta_{\text{内}}^y &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{\text{静}})^2}{n-1}} \\ \delta_{\text{内}}^h &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_{\text{静}})^2}{n-1}}\end{aligned}\quad (1)$$

式中: i 为历元次数;

n 为历元总数;

$\delta_{\text{内}}$ 为内估计精度。

(2) 外符合精度分析

外符合精度表达所接收的定位坐标值与标定站的参考值相比较的离散程度是评价接收机的外部精度的主要指标。本研究的参考值为 GPS 校正站 $P_{\text{校}}(x_0, y_0, h_0)$, 外符合精度的计算方法如式(2)。试验中对 MSAS 和 GPS 对照组的内符合精度分析可反应 MSAS 对 GPS 外部精度的增强效果。

$$\begin{aligned}\delta_{\text{外}}^x &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2}{n-1}} \\ \delta_{\text{外}}^y &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_0)^2}{n-1}} \\ \delta_{\text{外}}^h &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_0)^2}{n-1}}\end{aligned}\quad (2)$$

式中: i 为历元次数;

n 为历元总数;

$\delta_{\text{外}}$ 为外估计精度。

(3) 不同时间段单点定位精度分析

在定点的长时间静态观测时, 该点对应 GPS 星座分布状况在不断变化中, 因而有必要考察不同时段的 GPS/MSAS 的动态单点定位精度。本试验

在 GPS 标定站上不同时间段连续观测,获得的 N 条观测数据,将其分为 2 个时间段:上午(9:30—11:20),下午(12:30—15:30),按公式(3) 计算不同时间段的 DRMS(Distance Root Mean Squared),分析不同时间段对单点定位精度的影响,并对照 MSAS 和 GPS 在不同时间段的定位精度。

$$d_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2};$$

$$\Delta x_i = x_i - x_{\text{静}}; \Delta y_i = y_i - y_{\text{静}} \quad (3)$$

式中: i 为历元次数;

d_i 为距离均方根。

3 结果分析与评估

(1) 启用 MSAS 对定位精度的影响

将采集的全部历元的原始观测数据,运用均值法,比较 MSAS 与 GPS 对照组的误差绝对值(表 1)、内符合精度与外符合精度(表 2)。

表 1 MSAS 与 GPS 对照组误差绝对值比较

Table 1 Comparison of the absolute errors of GPS with MSAS

	$\Delta x/m$	$\Delta y/m$	$\Delta h/m$	d/m
GPS_2	0.98	1.42	1.57	1.73
GPS_9	0.81	0.55	7.43	0.98
GPS_30	0.44	0.59	1.16	0.73
GPS_34	1	1.09	-0.26	1.48
GPS_37	1.33	1.38	2.55	1.92
GPS_均	0.91	1.01	2.6	1.37
MSAS_7	0.32	1.82	-3.31	1.85
MSAS_12	0.67	0.23	1.41	0.71
MSAS_14	1.03	0.54	1.17	1.16
MSAS_17	-0.06	0.09	2.5	0.11
MSAS_31	0.83	0.53	-1.26	0.99
MSAS_均	0.58	0.64	1.93	0.96

采集数据分 2 个时段(上午 9:30—11:20,下午 12:30—15:30)运用均值法,比较 MSAS 与 GPS 对照组的误差及 DRMS 见表 3。

采集数据每 60、120、180、300、600 个历元运用均值法求取静态精密解,其中以 300 历元为例,MSAS 与 GPS 对照组 DRMS 均值比较见图 1、2。

表 2 MSAS 与 GPS 对照组内、外符合精度比较

Table 2 Comparison of internal and external coincident precisions of GPS with MSAS

	内符合精度/m			外符合精度/m		
	$\delta_{\text{内}}$	$\delta_{\text{内}}$	$\delta_{\text{内}}$	$\delta_{\text{外}}$	$\delta_{\text{外}}$	$\delta_{\text{外}}$
GPS_2	1.75	1.53	3.27	2.00	2.08	3.63
GPS_9	1.92	1.91	2.91	2.09	1.99	7.99
GPS_30	1.34	1.70	1.87	1.41	1.80	2.20
GPS_34	1.15	1.77	2.90	1.52	2.08	2.91
GPS_37	1.12	1.05	4.14	1.74	1.73	4.86
GPS_均	1.46	1.59	3.02	1.75	1.94	4.32
MSAS_7	1.36	0.80	1.63	1.40	1.99	3.69
MSAS_12	1.48	1.32	3.93	1.63	1.34	4.18
MSAS_14	1.99	1.01	3.40	2.24	1.15	3.60
MSAS_17	1.18	1.69	3.32	1.18	1.69	4.15
MSAS_31	1.75	1.76	3.34	1.94	1.84	3.57
MSAS_均	1.55	1.31	3.13	1.68	1.60	3.84

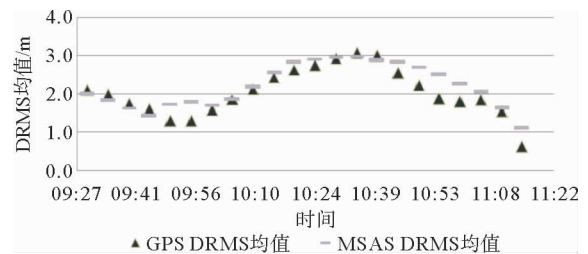


图 1 GPS 和 MSAS 对照组的 DRMS 均值比较(上午)

Fig. 1 Comparison of the DRMS of GPS and MSAS (in morning)

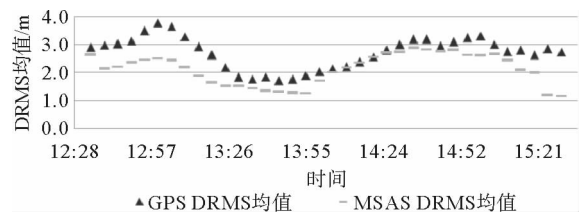


图 2 GPS 和 MSAS 对照组的 DRMS 均值比较(下午)

Fig. 2 Comparison of the DRMS of GPS and MSAS (in afternoon)

从表 1~3,图 1、2 可以看出,MSAS 对 GPS 定位精度总体上有一定的提高,时间段以 12:30—13:30、15:00—15:30 增强效果明显;三维各向(x , y , h)的增强效果都较为明显、稳定。

表 3 MSAS 与 GPS 对照组采集数据均值法误差及 DRMS 比较(分时段)

Table 3 Comparison of the errors of DRMS of GPS and MSAS (two periods)

	上午				下午			
	$\Delta x/m$	$\Delta y/m$	$\Delta h/m$	d/m	$\Delta x/m$	$\Delta y/m$	$\Delta h/m$	d/m
GPS_2	1.96	0.07	-0.30	1.96	0.36	2.35	2.99	2.38
GPS_9	0.66	-1.03	8.12	1.22	0.90	1.61	7.16	1.85
GPS_30	0.87	-1.35	-0.03	1.61	0.13	1.81	1.95	1.82
GPS_34	1.71	-0.56	1.84	1.80	0.52	2.20	-1.43	2.26
GPS_37	1.46	0.71	3.74	1.62	1.18	1.93	1.72	2.26
GPS_均	1.33	0.74	2.81	1.64	0.62	1.98	3.05	2.11
MSAS_7	/	/	/	/	0.32	1.82	-3.31	1.85
MSAS_12	-0.02	-0.93	-2.60	0.93	1.15	1.01	4.13	1.53
MSAS_14	3.15	-0.36	0.52	3.17	-0.06	1.08	1.15	1.09
MSAS_17	0.19	-1.69	5.94	1.71	-0.23	1.12	0.54	1.14
MSAS_31	1.64	-0.71	-2.91	1.79	0.29	1.24	-0.18	1.27
MSAS_均	1.25	0.92	2.99	1.90	0.41	1.26	1.86	1.38

(2) 算法对水平定位精度的影响

对 10 台设备采集的全部历元的原始观测数据应用直接均值法和密度中位法求取静态精密解,在 3 个空间维度(x, y, h)上(图 3~5)可以看到,除了个别例外,密度中位法的精度明显好于直接均值法。

而任意一台设备(以 MSAS_31 为例)用短时段(5 min;300 个历元)的观测数据分别采用均值法与密度中位法求取静态精密解后进行精度比较(以 x 坐标为例,图 6、7),可以发现,对短时间的观测数据共采用何种算法求解对于定位精度影响不大。

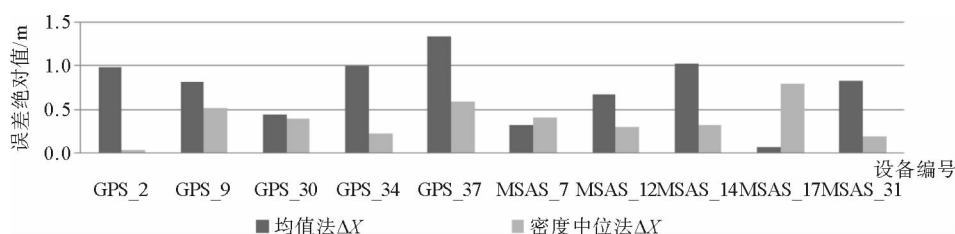


图 3 均值法与密度中位法 X 静态解误差绝对值比较

Fig. 3 Comparison of the absolute errors of X static solution by mean-value and density-median methods

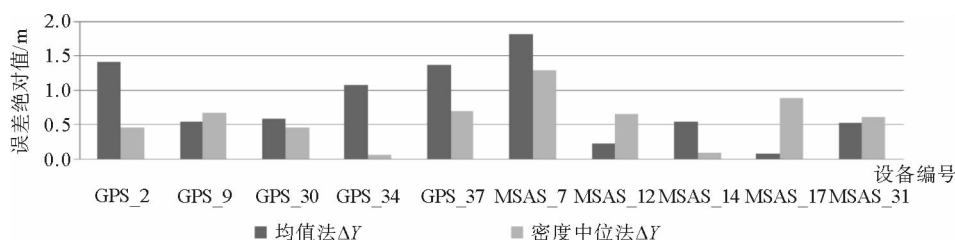


图 4 均值法与密度中位法 Y 静态解误差绝对值比较

Fig. 4 Comparison of absolute errors of Y static solution by mean-value and density-median methods

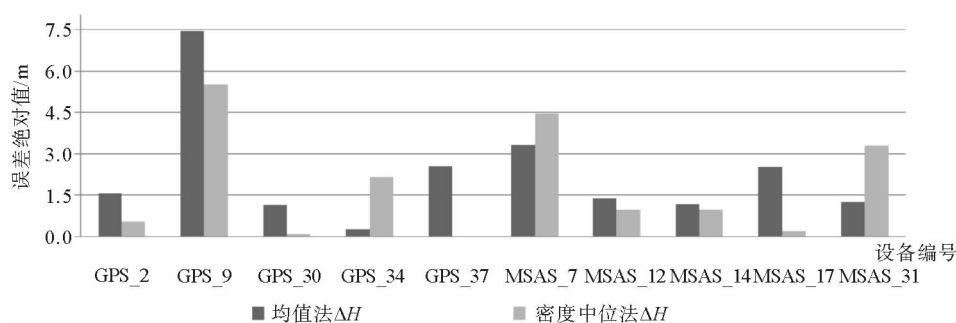


图 5 均值法与密度中位法 H 静态解误差绝对值比较

Fig. 5 Comparison of the absolute errors of H static solution by mean-value and density-median methods

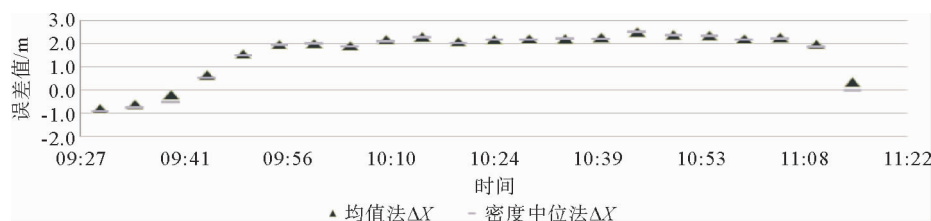


图 6 均值法与密度中位法 X 300 个历元误差值比较 (MSAS_31, 上午)

Fig. 6 Comparison of the error value of X per 300 epoch by mean-value and density-median methods (MSAS_31, in morning)

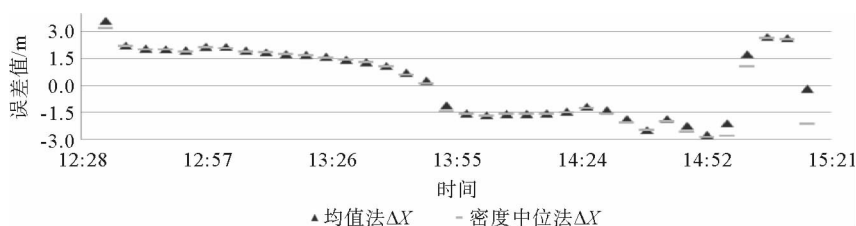


图 7 均值法与密度中位法 X 300 个历元误差值比较 (MSAS_31, 下午)

Fig. 7 Comparison of error value of X per 300 epoch by mean-value and density-median method MSAS_31, in afternoon)

4 结论

分析结果表明,整体上,MSAS 对 GPS 的定位精度有一定程度的提高,DRMS 平均提高 0.5 m 左右,与设备标定值基本相符,个别时间段可以达到 1.5 m。而从单个历元的直接观测值看,MSAS 对 GPS 的增强效果不稳定,误差具有一定的随机性。建议采用多个历元求取静态精密解以获得较高的定位精度。

求取静态精密解所应采用的算法,与参与计算的历元数具有一定相关性:当参与计算的观测数据历时足够长(数小时/数千历元观测值),采用密度中位法求解精度更好;而参与观测时长不足

时(数分钟/数百历元观测值),则 2 种算法的误差相当,密度中位法不具有优势。

目前,MSAS 信号接收处理和基于均值算法/密度中位法获取静态精密解的算法模块,已在各级海监队伍配发的专用便携设备中启用,提高了其现场 GPS 定位数据采集的精准度和稳定性,对于充分发挥了设备工作效能起到了重要作用。

参考文献:

- [1] 蔡昌盛,李征航,张小红. SA 取消前后 GPS 单点定位精度对比分析[J]. 测绘信息与工程,2002,27(3):24-25.
- [2] Walter T, Blanch J, Enge P. Coverage Improvement for Dual Frequency SBAS [EB/OL]. [2010]. http://gps.stanford.edu/papers/Walter_IONITM_2010.pdf

- [3] Keisuke M, Kazuaki H, Kiyoshi I. Observation and analysis of ionospheric scintillation on GPS signals in Japan[J]. Electronic Navigation Research, ISSN 1341-9102, No. 111, Jan. 2004.
- [4] Sakai T, Fukushima S, Takeichi N, et al. Impact of changing grid spacing of ionospheric corrections on the performance of the wide-area differential GPS[J]. Electronic Navigation Research, ISSN 1341-9102, No. 119, Jan. 2008.
- [5] 张飞舟, 杨泽民, 程 鹏, 等. GPS 与北斗电离层延迟误差对比分析[J]. 计算机工程与科学, 2014, 36(2): 270-274.
- [6] 杜 强, 陆秀平, 肖振坤, 等. 基于 StarFire 星站差分 GPS 系统的精密静态解研究[J]. 海洋测绘, 2011, 31(5): 4-7.
- [7] 冯晓娜, 徐文兵, 汤孟平, 等. 集思宝 G330 手持全球定位系统接收机在林区单点定位的精度分析[J]. 浙江农林大学学报, 2013, 30(5): 640-647.
- [8] 王春瑞, 邓志军, 任宪伟, 等. 星基广域差分 GPS 的应用与精度分析[J]. 海洋测绘, 2010, 30(4): 54-56.
- [9] 裴彦良, 解秋红, 华清峰, 等. 差分导航定位系统及其在海洋工程地震勘察中的应用[J]. 海洋技术学报, 2014, 33(3): 113-118.
- [10] 帅 平, 曲广吉, 向开恒. 现代卫星导航系统技术的研究进展[J]. 中国空间科学技术, 2004, 24(3): 45-53.
- [11] 陈俊勇, 党亚明, 程鹏飞. 全球导航卫星系统的进展[J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 27(5): 1-4.
- [12] 赵 静, 曹 冲. GNSS 系统及其技术的发展研究[J]. 全球定位系统, 2008, 33(5): 27-31.
- [13] 刘文焯, 谢金石. MSAS 基带信号处理关键技术[J]. 时间频率学报, 2009, 32(2): 129-134.

PRECISION OF MSAS SINGLE-POINT POSITIONING IN NORTHERN CHINA SEAS

LEI Yan^{1,2}, GAO Yanming², WANG Jinlei², TAN Meng^{1,2}, CHEN Feng²

(1 Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Environment and Disaster Prevention and Mitigation, Qingdao 266061, China; 2 North China Sea Data and Information Service, SOA, Qingdao 266061, China)

Abstract: Upon the comparison to the Qingdao GPS calibration station, the precision and accuracy of single point positioning by Getac Z710 (with GPS and MSAS receiver) are evaluated and analyzed. The dynamic solution is calculated based on two kinds of sample data, the GPS signals only, or both the GPS and MSAS signals. And the static solution of multi-epoch is calculated by two solution methods: the mean-value method, or the density-median method. Result shows that MSAS is appropriate for enhancing position accuracy in the Bohai, North Yellow Seas and their coastal zones, and there is a positive correlation between sample size and advantage of density-median and it is better than density-median method.

Key words: GPS; MSAS; density median; precision