

The Positioning Performance Analysis of the Beidou Navigation Satellite on the Maritime Silk Road

Kunpeng Zuo¹, Houpu Li^{1*}, Jie Xu¹, Huidong Zhang¹, Yuansheng Hua²

¹Department of Navigation, Naval University of Engineering, Wuhan Hubei

²92330 Troops, Qingdao Shandong

Email: z821461704@vip.qq.com, lihoup1985@126.com

Received: Oct. 4th, 2018; accepted: Oct. 18th, 2018; published: Oct. 25th, 2018

Abstract

In order to master the positioning performance of Beidou navigation satellite system, the satellite visibility, GDOP value and navigation accuracy of Beidou at the nine important strategic pivots on the Maritime Silk Road are analyzed using the STK software. The results show that the number of visible satellites of Beidou-2 system is about 10, the GDOP is 2 to 3, and the navigation accuracy is about 10 m, which could not provide continuous and reliable service in some areas. The number of visible satellites of Beidou-3 system is about 17, the GDOP is 1 to 2, and the navigation accuracy is about 8 m, which could provide continuous and reliable positioning service on the Maritime Silk Road.

Keywords

Maritime Silk Road, Beidou Navigation Satellite System, Positioning Performance, STK

北斗卫星导航系统海上丝绸之路定位性能分析

左坤鹏¹, 李厚朴^{1*}, 许杰¹, 张会东¹, 华远胜²

¹海军工程大学, 导航工程系, 湖北 武汉

²92330部队, 山东 青岛

Email: z821461704@vip.qq.com, lihoup1985@126.com

收稿日期: 2018年10月4日; 录用日期: 2018年10月18日; 发布日期: 2018年10月25日

*通讯作者。

文章引用: 左坤鹏, 李厚朴, 许杰, 张会东, 华远胜. 北斗卫星导航系统海上丝绸之路定位性能分析[J]. 测绘科学技术, 2018, 6(4): 343-350. DOI: 10.12677/gst.2018.64041

摘要

为了掌握北斗卫星导航系统在海上丝绸之路的定位性能,本文利用STK仿真软件,对重点选取的海上丝绸之路九个战略支点的可见星数、GDOP值以及导航精度进行了系统分析,结果表明北斗二号系统在海上丝绸之路大部分地区可见星数可达到10颗左右,GDOP值在2~3之间,导航精度在10 m左右,但在部分地区还无法提供连续可靠的定位服务;北斗三号系统在海上丝绸之路可见星数可达到17颗左右,GDOP值在1~2之间,导航精度在8 m左右,可提供连续可靠的定位服务。

关键词

海上丝绸之路,北斗卫星导航系统,定位性能,STK

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2017年11月5日,随着北斗三号系统的第一、二颗卫星的成功入轨,北斗三号系统的建设工作正式展开,预计于2020年前后具备全球服务能力。现在北斗卫星导航系统的“三步走”发展战略[1]已经进行到第三步,诸多学者对其性能进行了全面的分析。杨元喜[2]对北斗卫星导航系统的建设原则和建设步骤做了详细介绍,并对北斗导航验证系统的重要应用和面临的主要挑战做了简要说明。杨鑫春[3]以星座结构为切入点分析了北斗卫星导航系统的星座性能指标,初步分析表明北斗卫星导航系统能向全球用户提供理想的卫星可见性、GDOP值以及定位精度。郁聪冲[4]对卫星可见性、GDOP值和定位误差三个参数进行了详尽的仿真分析,结果表明北斗二号系统在其重点服务区域具有较高的定位精度和稳定性。王尔申[5]利用STK软件构建了北斗三号系统的空间星座,对该系统的可见星数、几何分布和导航精度进行了分析,数据表明北斗卫星导航系统具有全球服务能力,但与其他三大卫星系统相比仍有不足之处,可通过星基、陆基增强系统来弥补。

中国秉承共商、共建、共享原则,于2013年提出“一带一路”倡议。其目的不仅在于完善中国对外贸易投资布局,更实现了与沿线各国共同发展,共同繁荣的宏伟目标。“海上丝绸之路”自中国出发,途经南海和印度洋,最后抵达欧洲,涵盖了东亚、东南亚、南亚以及中东欧地区[6]。沿线国家人口众多,经济发展水平各异,并由此导致了一系列海洋权益问题,其中不仅包括海洋资源、海域划界、岛礁主权等比较复杂的争端,也包括海洋污染治理、海上交通权益、海洋科学研究等海洋利益的争议。作为目前便捷、可靠的导航手段,卫星导航在海上丝绸之路得到了越来越多的应用,利用其高精度的导航定位能力可以很好的为丝路沿线提供定位服务保障,对整个丝路建设的影响也越来越大。因此,本文运用卫星导航仿真软件[7] STK10.0对北斗二号、北斗三号系统在海上丝绸之路地区的定位性能进行分析,以期海上丝绸之路舰船安全航行和经济带建设以及北斗卫星导航相关教学科研提供参考。

2. 定位性能分析

卫星导航系统的定位性能衡量指标主要包括卫星系统可见星数、GDOP值以及导航精度[8][9]。设置仿真区域为 -8°S 至 60°N , 0°E 至 120°E ,STK软件中的覆盖品质参数以GDOP值为例。观测时间为24小时,仿真时间为2018年5月21日04:00~2018年5月22日04:00。选取海上丝绸之路有代表性的九个

战略支点：泉州(24.54°N, 118.37°E)、河内(21.01°N, 105.53°E)、吉隆坡(3.08°N, 101.42°E)、雅加达(6.08°S, 106.45°E)、科伦坡(6.55°N, 79.52°E)、加尔各答(22.34°N, 88.2°E)、内罗毕(1.17°S, 36.49°E)、雅典(38.02°N, 23.44°E)、威尼斯(45.26°N, 12.19°E)。仿真中高度截止角设置为 10° 。利用该软件的报表输出和动态视频输出的功能，可分析北斗二号系统和北斗三号系统在海上丝绸之路的定位性能。

2.1. 可见星数分析

卫星导航系统实现定位导航的首要条件是同一时间定位点可见卫星数在四颗以上。北斗二号系统和北斗三号系统在各站点的可见星数如图 1 和图 2 所示，仿真截图见图 3 及图 4。各站点可见星数具体情况如表 1 所示。

由图 1~图 4 及表 1 可以看出：

1) 北斗二号系统在海上丝绸之路大部分地区可见星数平均值在 9.5~12 之间，但部分区域如雅典、威尼斯等，平均值在 3.5~5 之间。北斗三号系统在海上丝绸之路沿线地区的可见星数平均值在 10~19 之间。在同时间同站点可见星数的对比中，北斗二号系统整体次于北斗三号系统，甚至在局部地区出现可见星数很低的情况。

2) 北斗二号系统可见星数的标准差在 1.1~1.5 之间，北斗三号系统可见星数的标准差在 0.5~1.9 之间，后者可见星数的标准差整体小于前者。

3) 我国北斗二号系统还不能为海上丝绸之路所有地带进行服务；北斗三号系统完全可以保证海上丝绸之路的定位要求，提供连续实时的导航。

2.2. 几何精度因子分析

一般利用几何精度因子(GDOP)来评价系统精度，其代表误差的放大倍数[10]。本文研究了高度截止角为 10° ，24 小时内九个站点北斗二号系统及北斗三号系统的 GDOP 值的变化情况。各站点 GDOP 值曲线如图 5 及图 6 所示，具体情况如表 2。

由图 5、图 6 及表 2 可以看出：

1) 北斗二号系统在海上丝绸之路大部分地区 GDOP 平均值在 2~3 之间，最小值在 1.5~2.0 之间，但个别地区如雅典 GDOP 值过大。北斗三号系统在海上丝绸之路地区 GDOP 平均值在 1~2 之间，最小值也在 1~2 之间，在各个地区的波动并不大。

2) 北斗二号系统在海上丝绸之路大部分地区 GDOP 值的标准差在 0.3~0.8 之间，但部分达到 40 以上。北斗三号系统在海上丝绸之路地区 GDOP 值的标准差在 0.1~0.3 之间，稳定性优于北斗二号系统。

3) 北斗二号系统在海上丝绸之路大部分区域可以达到基本的导航定位要求，但部分地区 GDOP 值偏大，无法达到要求；而北斗三号系统在海上丝绸之路地区的 GDOP 值均可满足定位要求。

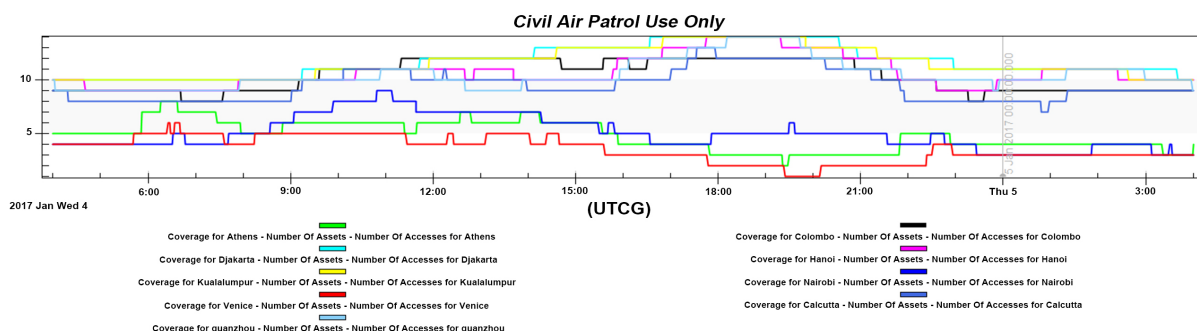


Figure 1. Variations in the numbers of visible satellites at each site of the Beidou-2 system throughout the day
图 1. 北斗二号系统各站点全天可见星数变化

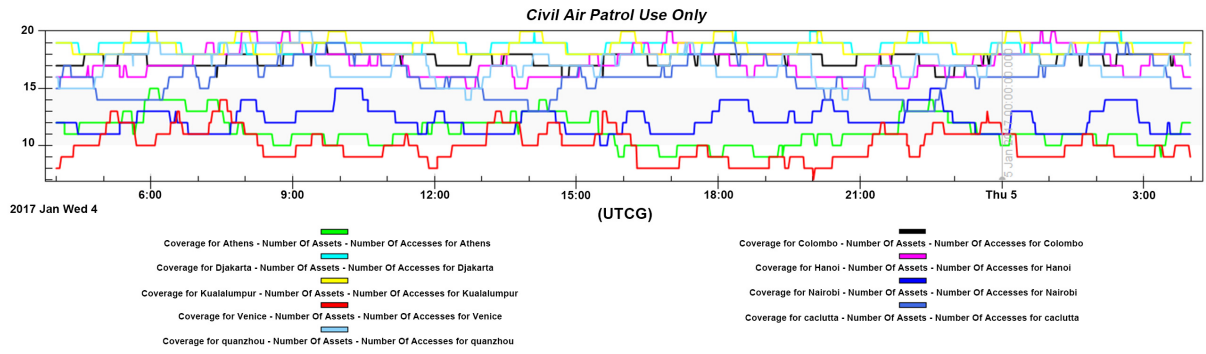


Figure 2. Variations in the numbers of visible satellites at each site of the Beidou-3 system throughout the day
图 2. 北斗三号系统各站点全天可见星数变化

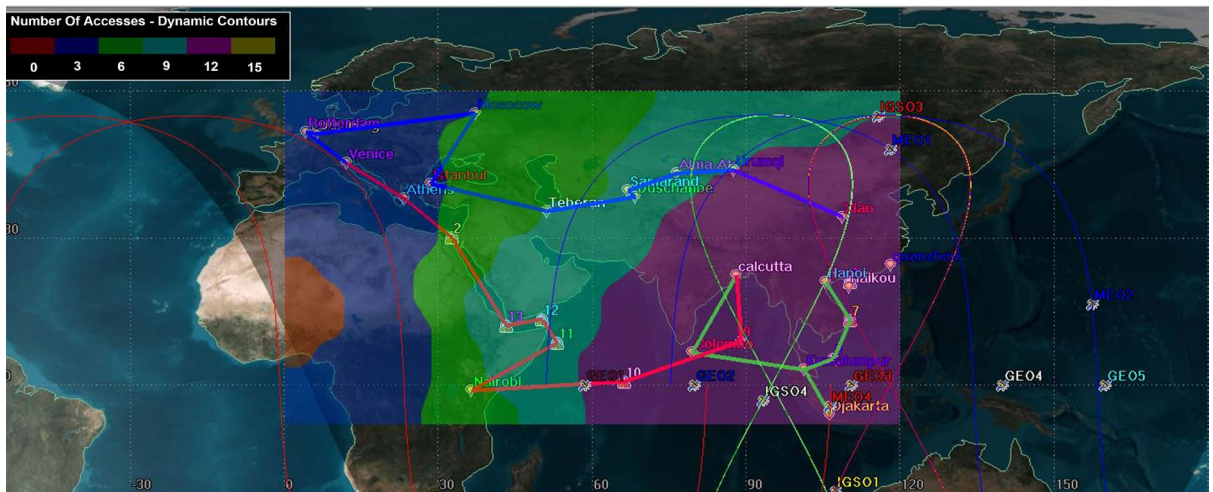


Figure 3. Dynamic video screenshots showing the numbers of visible satellites of the Beidou-2 systems along the Maritime Silk Road
图 3. 北斗二号系统海上丝绸之路可见星数动态视频截屏

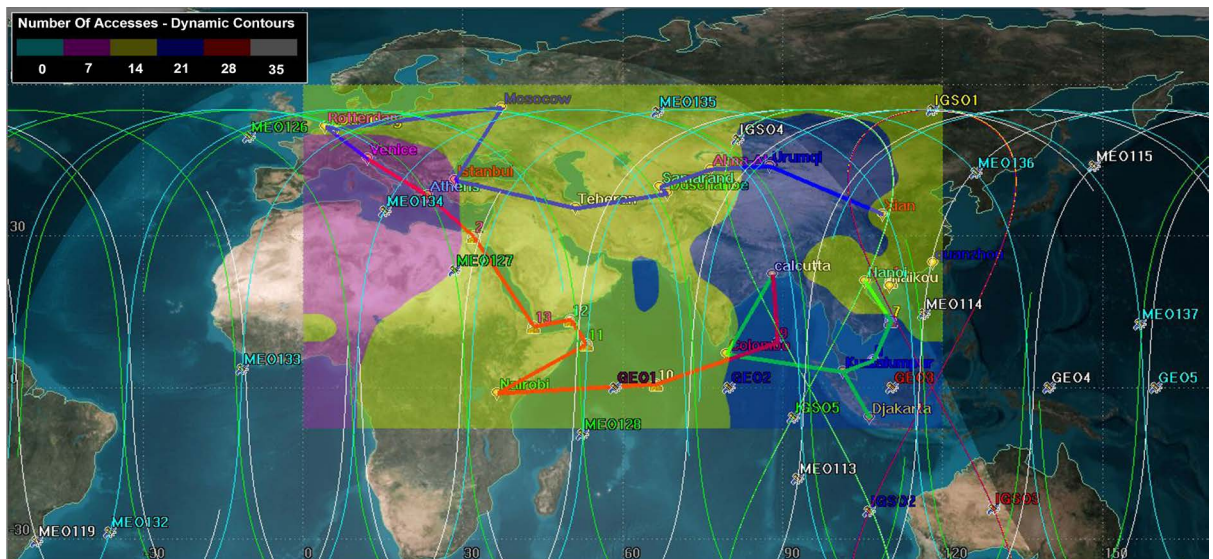


Figure 4. Dynamic video screenshots showing the visibility of regions along the Maritime Silk Road in the Beidou-3 system
图 4. 北斗三号系统海上丝绸之路地区可见性动态视频截屏

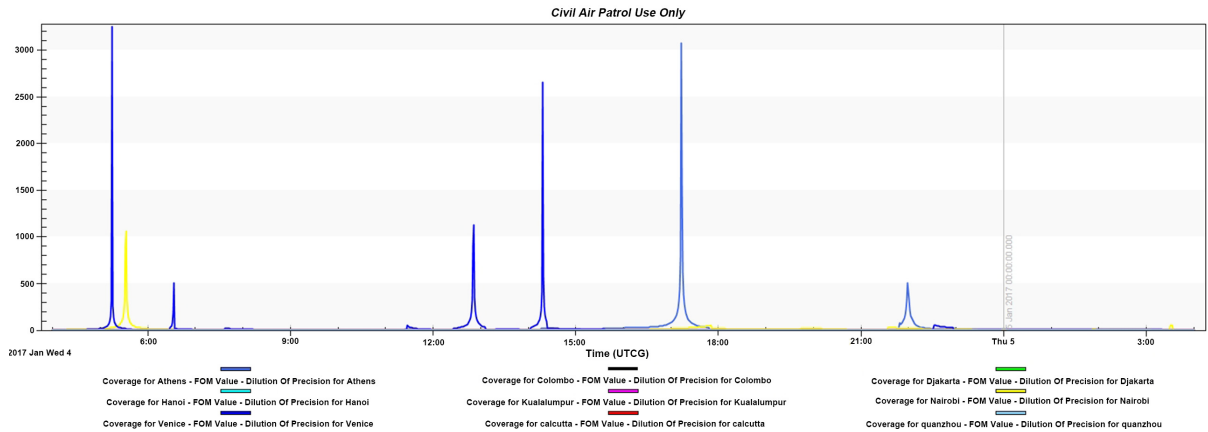


Figure 5. Curve of GDOP along the Maritime Silk Road in the Beidou-2 system
 图 5. 北斗二号系统海上丝绸之路 GDOP 值变化曲线

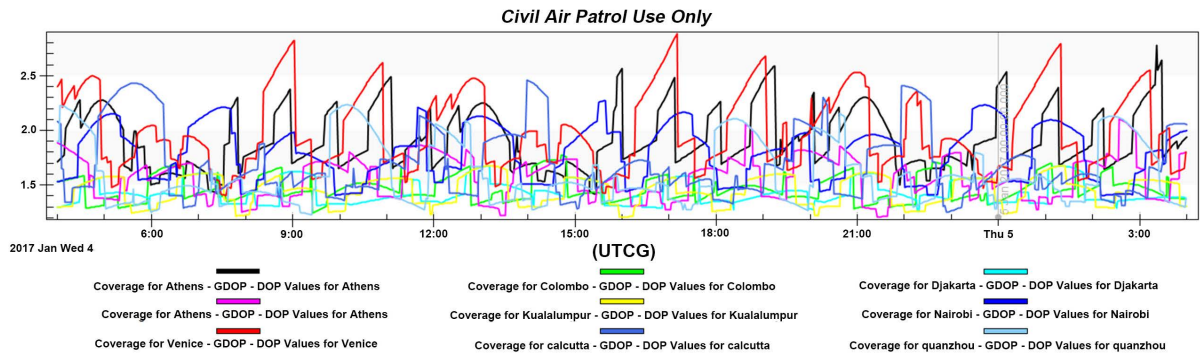


Figure 6. Curve of GDOP along the Maritime Silk Road in the Beidou-3 system
 图 6. 北斗三号系统海上丝绸之路 GDOP 值变化曲线

Table 1. The numbers of visible satellites at each site along the Maritime Silk Road in satellite navigation system
 表 1. 卫星导航系统海上丝绸之路各站点的可见星数

地面站	北斗二号系统				北斗三号系统			
	平均值	最大值	最小值	标准差	平均值	最大值	最小值	标准差
泉州	10.50	14	9	1.37	17.05	20	14	1.21
河内	10.72	14	9	1.44	17.26	20	15	1.91
吉隆坡	11.55	14	10	1.37	18.67	20	13	0.67
雅加达	11.68	14	10	1.38	18.71	20	18	0.47
科伦坡	10.34	12	8	1.41	17.6	19	16	0.56
加尔各答	9.47	13	7	1.41	16.13	19	13	1.56
内罗毕	5.01	9	3	1.50	12.21	15	10	1.12
雅典	4.80	8	2	1.31	11.25	15	9	1.27
威尼斯	3.55	6	1	1.14	10.01	14	7	1.33

2.3. 导航精度分析

将 STK 中的覆盖品质参数(FOM)选择为 Navigation Accuracy, 可得到所研究区域定位精度的变化情况。北斗二号系统及北斗三号系统在海上丝绸之路区域的导航精度动态视频截屏和导航精度变化曲线如图 7~图 10 所示。两种系统在各站点导航精度具体情况如表 3 所示。

Table 2. GDOP of each site along the Maritime Silk Road
表 2. 海上丝绸之路各站点的 GDOP 值

地面站	北斗二号系统				北斗三号系统			
	平均值	最大值	最小值	标准差	平均值	最大值	最小值	标准差
泉州	2.58	3.33	1.89	0.34	1.59	2.23	1.22	0.28
河内	2.50	3.30	1.76	0.33	1.56	2.10	1.20	0.18
吉隆坡	2.22	2.98	1.51	0.33	1.45	1.67	1.20	0.13
雅加达	2.16	2.97	1.44	0.33	1.43	1.67	1.26	0.10
科伦坡	2.61	4.86	1.58	0.69	1.46	1.24	1.77	0.11
加尔各答	3.22	5.03	1.81	0.80	1.68	2.46	1.24	0.30
内罗毕	10.78	1060.1	0	40.48	1.79	2.26	1.40	0.24
雅典	17.54	3077.2	0	100.3	1.91	2.78	1.41	0.26
威尼斯	15.33	3249.3	0	121.2	1.99	2.88	1.40	0.32

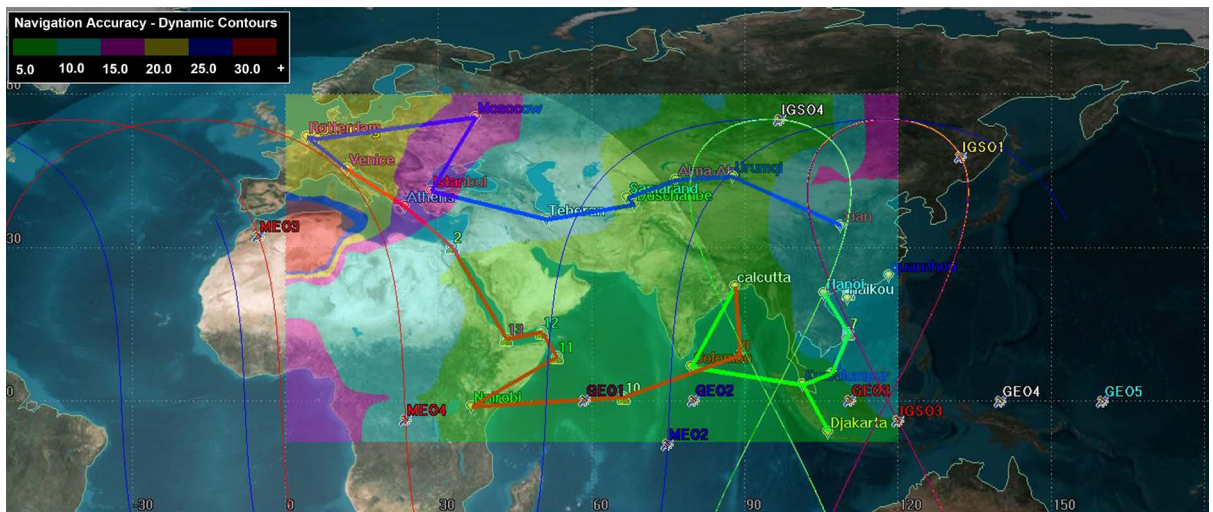


Figure 7. Dynamic video screenshots of Navigation Accuracy along the Maritime Silk Road in the Beidou-2 system
图 7. 北斗二号系统海上丝绸之路导航精度动态视频截屏

由图 7~图 10 及表 3 可以看出：

1) 号系统在海上丝绸之路部分地区导航精度较差，最大偏差达到几千米，甚至上万米，无法进行定位。北斗三号系统在海上丝绸之路的信号可连续覆盖区域具有较好的导航精度，定位精度平均值在 10 m 左右。

2) 在海上丝绸之路大部分地区，北斗二号系统导航精度的标准差在 1.6~4 之间，但部分地区达到 200 以上，其导航精度稳定性较差。北斗三号系统在沿线地区导航精度的标准差在 0.5~1.8 之间，导航精度稳定性较好。

(3)北斗三号系统有着较高的精度和稳定的定位能力，可以为丝路沿线提供较高的服务保障。

3. 结束语

本文主要研究了北斗二号和北斗三号系统在海上丝绸之路地区的定位性能，并对利用 STK 软件仿真得到的系统可见星数、GDOP 值以及导航精度等相关数据进行了分析。研究表明：

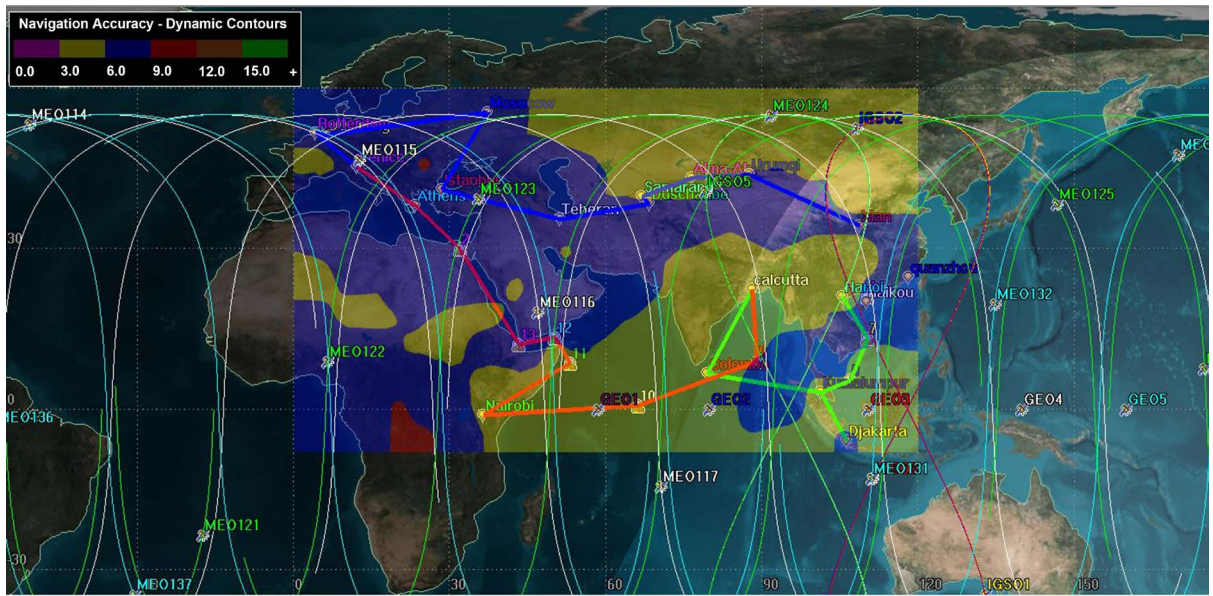


Figure 8. Dynamic video screenshots of Navigation Accuracy along the Maritime Silk Road in the Beidou-3 system
 图 8. 北斗三号系统海上丝绸之路导航精度动态视频截图

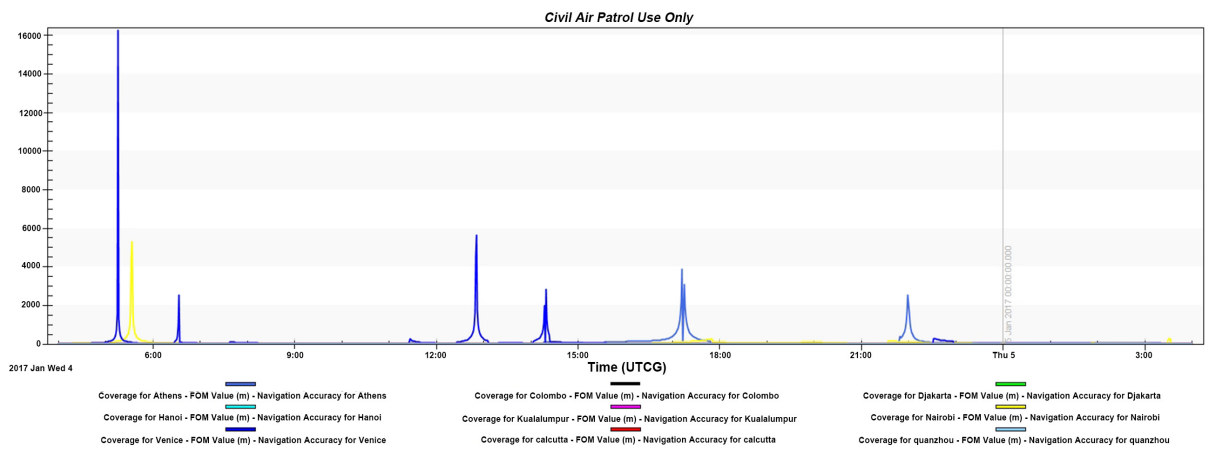


Figure 9. Curve of Navigation Accuracy along the Maritime Silk Road in the Beidou-2 system
 图 9. 北斗二号系统海上丝绸之路导航精度变化曲线

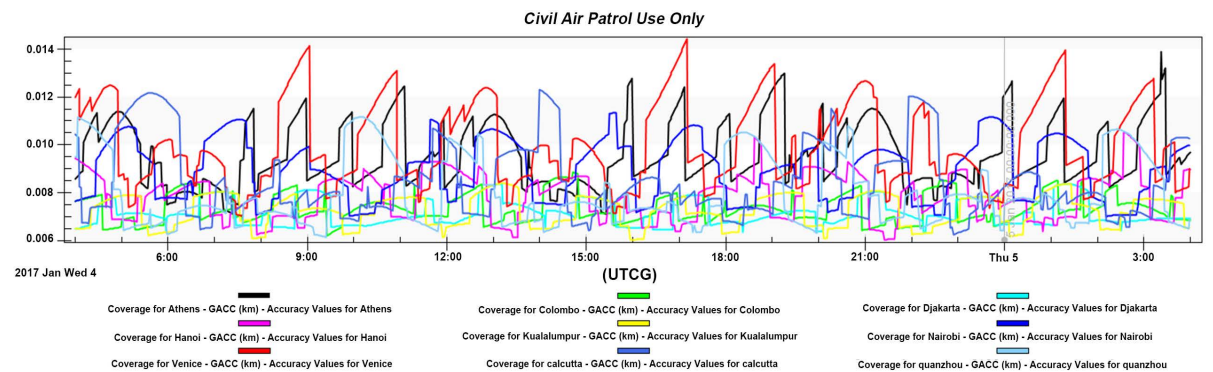


Figure 10. Curve of Navigation Accuracy along the Maritime Silk Road in the Beidou-3 system
 图 10. 北斗三号系统海上丝绸之路导航精度变化曲线

Table 3. Navigation Accuracy of each site along the Maritime Silk Road
表 3. 海上丝绸之路各站点的导航精度

地面站	北斗二号系统				北斗三号系统			
	平均值	最大值	最小值	标准差	平均值	最大值	最小值	标准差
泉州	12.92	16.69	9.46	1.73	7.97	11.16	6.14	1.40
河内	12.53	16.54	8.84	1.69	7.83	10.53	6.03	0.91
吉隆坡	11.14	14.94	7.59	1.68	7.25	8.38	6.01	0.65
雅加达	10.81	14.88	7.22	1.68	7.17	8.37	6.40	0.53
科伦坡	13.09	24.30	7.94	3.47	7.31	8.81	6.21	0.58
加尔各答	16.13	25.18	9.08	4.03	8.42	12.31	6.24	1.52
内罗毕	53.92	5300.9	0	202.3	8.96	11.34	7.01	1.24
雅典	71.68	3872.8	0	220.8	9.57	13.90	7.06	1.32
威尼斯	67.47	16246	0	496.3	9.99	14.43	7.01	1.76

1) 北斗二号系统在海上丝绸之路大部分区域的可见星数在 10 颗左右, 可以实现连续定位, 精度误差为 10~20 m 级, GDOP 平均值都在 2~3 左右, 但在部分地区和部分时间可见星数少于 4 颗, 不能实现连续定位, 精度误差较大, 在千米级左右, GDOP 值超过 10, 因此北斗二号系统在海上丝绸部分区域无法提供定位服务。

2) 北斗三号系统在海上丝绸之路大部分区域的可见星数在 17 颗左右, 精度平均值保持在 8 m 左右, GDOP 值保持在 1.6 左右, 能提供稳定的定位服务。

3) 海上丝绸之路地区北斗三号系统相对于北斗二号系统有较大优势, 建成后的北斗三号系统将完全满足“海上丝绸之路”需求。

基金项目

国家自然科学基金(41771487, 41631072, 41571441)。

参考文献

- [1] 边少锋, 纪兵, 李厚朴. 卫星导航系统概论(第二版) [M]. 北京: 测绘出版社, 2016.
- [2] 杨元喜. 北斗卫星导航系统的进展、贡献与挑战[J]. 测绘学报, 2010, 39(1): 1-6.
- [3] 杨鑫春, 徐必礼, 胡杨. 北斗卫星导航系统的星座性能分析[J]. 测绘科学, 2013, 38(2): 8-11.
- [4] 郁聪冲, 邢旺. 北斗区域卫星导航系统定位精度分析[J]. 舰船电子工程, 2016, 36(5): 56-59.
- [5] 王尔申, 岳孝东, 何赫, 等. “北斗”卫星导航系统仿真与全球覆盖分析[J]. 电讯技术, 2016, 56(8): 919-922.
- [6] 黎鑫, 张韧, 卢扬, 等. “海上丝绸之路”自然环境风险分析[J]. 海洋通报, 2016(6): 609-616.
- [7] 杨颖, 王琦. STK 在计算机仿真中的应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [8] Montenbruck, O., Hauschild, A., Steigenberger, P., *et al.* (2013) Initial Assessment of the COMPASS/BeiDou-2 Regional Navigation Satellite System. GPS Solutions, 17, 211-222. <https://doi.org/10.1007/s10291-012-0272-x>
- [9] 张小红, 李征航, 乔俊军, 等. 导航学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2017.
- [10] 王坚, 张安兵. 卫星定位原理与应用[M]. 北京: 测绘出版社, 2017.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2329-549X，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：gst@hanspub.org