

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2022.02.04

结合电子地图的卫星导航动态定位轨迹测试方法研究

梁炜, 黄艳, 吴晓昱, 许原, 谢立冬

(北京市计量检测科学研究院, 北京 100049)

摘要: 在使用卫星导航模拟器测试导航终端动态定位精度时,测试场景一般为在坐标系内用运动方程简单描述的直线或圆周曲线运动,存在测试轨迹缺乏随机性、不规则性的问题,与终端实际应用不符;且定位轨迹与电子地图不匹配。本文提出依据电子地图中具体道路,随机在道路上连续选取坐标点规划轨迹,用导出的轨迹坐标点插入变化的速度、高程,制作模拟器动态场景对终端进行测试。通过制作实际道路动态测试场景对接收机终端进行了测试,测试结果表明:可以用带有随机坐标点的不规则道路轨迹测试场景评估导航终端动态定位精度,终端在急转弯情况下动态定位偏差较大,通过在电子地图上导入标准轨迹与终端轨迹,可以匹配道路直观显示动态定位轨迹偏差。本方法可应用于车载导航仪、可穿戴产品等结合电子地图应用的卫星导航终端动态定位测试。

关键词: 卫星导航; 电子地图; 动态定位; 轨迹

中图分类号: TB921 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5795(2022)02-0032-08

Research on test method of satellite navigation dynamic positioning track combined with electronic map

LIANG Wei, HUANG Yan, WU Xiaoyu, XU Yuan, XIE Lidong

(Beijing Institute of Metrology, Beijing 100049, China)

Abstract: When using the satellite navigation simulator to test the dynamic positioning accuracy of the navigation terminals, the test scene is generally a straight line or circular curve motion simply described by the motion equation in the coordinate system. There are problems of lacking randomness and irregularity in the test track, which is inconsistent with the actual application of the terminals, and the positioning track does not match the electronic map. This paper proposes to randomly and continuously select coordinate points on the road to plan the track according to the specific road in the electronic map, insert the changing speed and elevation with the derived track coordinate points, and create a dynamic scene of the simulator to test the terminals. The receiver terminal is tested by making an actual road dynamic test scene. The test results show that the dynamic positioning accuracy of the navigation terminal can be evaluated by using the irregular road track test scene with random coordinate points. The dynamic positioning deviation of the terminal is relatively large in a tight turn. By importing the standard track and the terminal track on the electronic map, the dynamic positioning track deviation can be visually displayed by matching the road. This method can be applied to dynamic positioning test of satellite navigation terminals combined with electronic map application, such as vehicle navigation instrument and wearable products.

Key words: satellite navigation; electronic map; dynamic positioning; track

收稿日期: 2022-01-11; 修回日期: 2022-04-02

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFF0217302)

引用格式: 梁炜, 黄艳, 吴晓昱, 等. 结合电子地图的卫星导航动态定位轨迹测试方法研究 [J]. 计量技术, 2022, 42 (2): 32-39.

Citation: LIANG W, HUANG Y, WU X Y, et al. Research on test method of satellite navigation dynamic positioning track combined with electronic map [J]. Metrology and measurement technology, 2022, 42 (2): 32-39.



0 引言

随着北斗三代卫星导航的全球组网成功,以GPS、北斗为代表的卫星导航能全天候提供覆盖全球的定位服务,且成本越来越低,被广泛应用在智慧交通、智慧城市、消费电子等领域。这些应用中,车载导航产品、无人机、可穿戴卫星导航定位产品所占比重最大,一般结合电子地图来显示其动态定位轨迹,所以,对其进行动态定位性能测试,需要结合具体的位置^[1-3]。

目前涉及卫星导航动态定位的计量技术规范有JJF 1403-2013《全球导航卫星系统(GNSS)接收机(时间测量型)校准规范》、JJF 1921-2021《GNSS行驶记录仪校准规范》。对导航终端的定位偏差要求比较宽泛,通常状况下小于15 m,测试场景一般只对可见星、运动类型有总体要求,具体场景根据实际测试需要配置,多采用仿真匀速直线动或者匀加速运动的动态场景对终端进行测试^[4-12]。具体方法:卫星导航模拟器仿真从任意坐标点出发,轨迹设定为符合直线、圆周曲线等运动方程的匀速、匀加速测试场景,输出仿真导航信号使终端解算定位,计算带有时间戳的终端定位结果与模拟器标准定位结果偏差,统计多个偏差得到整体动态定位精度。

此方法存在两个问题:一是测试场景缺乏随机性、不规则性,与实际情况存在偏差。导航终端实际应用中的轨迹并不是简单的直线和圆周运动的组合,车辆直线行驶过程中有随机性变道、加减速,佩戴可穿戴产品运动过程中有随机性方向、速度的变化,这些实际动态轨迹很难用运动方程来描述;二是定位结果为偏差统计值,没有在电子地图中匹配道路显示过程的结果。原场景轨迹直接在大地图坐标系或者地心地固直角坐标系中建立,没有参考电子地图中的实际位置、道路,所以定位轨迹与电子地图不匹配。

本文提出结合电子地图位置、道路规划轨迹,按路线随机选取坐标点并连接成轨迹线,导出轨迹坐标点后,在坐标点之间配置不同的运动速度、加速度、高程等参数,生成模拟仿真测试场景。用此场景测试导航终端,可以计算终端动态定位偏差,定位轨迹可导入电子地图中匹配道路显示。

通过不规则取点和多变运动状态解决复杂动态轨迹测试场景问题,使模拟仿真测试更接近真实的动态应用。

1 动态仿真测试方法

动态仿真测试的总体方案如图1所示,在电子地图上规划轨迹的起始点和运动路径,依据规划的路径在地图上随机选取坐标点连接成轨迹,导出轨迹坐标点数据。按导航模拟器场景格式要求整理出经度、纬度、高度的数据,在部分坐标点之间配置速度、加速度、高程等动态参数,其配置参数可参考实际导航终端动态应用的典型情况。把场景文件导入到模拟器并配置测试场景,仿真场景测试导航终端,模拟器和导航终端分别记录定位轨迹数据。用软件评估终端的动态定位性能,定量分析不同参数结果,定位轨迹导入电子地图,显示与道路相匹配的两条轨迹实时偏差,分析动态运动过程中变化的定位偏差。

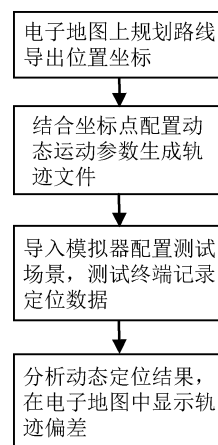


图1 总体测试方案流程图

Fig.1 Overall test scheme flow chart

1.1 结合电子地图规划轨迹

在电子地图上选择规划路径的大致区域,设计路线的起始点、终止点和运动路线,从起始点开始按一定间隔随机选取坐标点连接成轨迹路线。选取坐标点时的间隔可根据需要调整,如果轨迹较短且对轨迹变化细节要求高,可适当减小取点间距,如果轨迹较长且过程变化不明显,可扩大取点间距。例如:直线路段运动方向性不变,坐标点可以选择较大间隔;转弯路段运动方向实时变化,选取坐标点较小间隔,可使路线轨迹相对

平滑。生成轨迹路线后导出坐标点和轨迹文件。

1.2 利用轨迹坐标制作动态测试场景

利用坐标点制作轨迹有两种模式：时空状态模式和空间状态模式。时空状态模式在连续时间轴上描述不同时刻的载体位置、姿态信息，每条语句按固定格式包括载体时间、位置、姿态、加速度、加加速度等信息，连续语句载体状态满足运动方程关系，最终形成满足时间、空间的动态轨迹；空间状态模式没有时间标签，位置语句描述载体坐标点位置，状态语句描述坐标点之间的载体运动动态特性，一般为加速、减速、爬坡等，通过一系列位置语句和状态语句形成动态轨迹。

1.2.1 时空状态模式

时空状态模式主要用语句描述载体的时间、位置、状态，用一系列语句构成完整的运动轨迹，一般语句配置内容为相对时间、三轴位置、三轴速度、三轴加速度、三轴加加速度。

“时间”为从仿真开始时间算起的相对时间，可以非等间隔配置，其最小识别时间分辨率与模拟器更新率有关，如更新率为1000 Hz，理论上最小识别时间为1 ms。

“位置”为三轴位置坐标，可以用地心地固直角坐标系 (x, y, z) 表示，也可以用大地坐标系纬度、经度、高程 (B, L, H) 表示，二者转换关系^[13]为

$$x = (N + H) \cos B \cdot \cos L \quad (1)$$

$$y = (N + H) \cos B \cdot \sin L \quad (2)$$

$$z = [N(1 - e^2) + H] \cos B \quad (3)$$

式中： N 为基准椭球体的卯西圈曲率半径； e 为椭球偏心率，与基准椭球体长半径 a 和短半径 b 的关系满足

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (4)$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} \quad (5)$$

其它配置参数还有三轴速度、三轴加速度和三轴加加速度，配置方法与三轴位置坐标相同，参数值不配置可为空。

此模式根据时间空间状态描述载体运动轨迹，按时间顺序语句描述的状态必须符合运动方程规律，否则会出现错误。如：在前一位置上，通过

速度、加速度和持续时间，推算出的位置要与下一条语句位置坐标对应，若两者存在较大偏差则会出现位置不重叠错误。在只保留时间、位置参数，不考虑运动方程的情况下，其状态为随时间变换的坐标点，无速度、加速度等运动状态，可满足一定的测试需求，但由于轨迹只有时间和位置坐标点，若终端解算需要除位置以外的其它运动参数，则此类模式不适用。

1.2.2 空间状态模式

空间状态模式主要用语句描述载体的位置和位置变化过程中的状态，连续的位置和状态语句构成完整的运动轨迹。其中，位置语句只描述载体位置，运动状态语句描述经多长时间后速度达到终值。

“位置语句”中，三轴位置坐标一般用大地坐标系纬度、经度、高程表示，即 (B, L, H) ，也可以用地心地固直角坐标系 (x, y, z) 表示，若需要坐标转换同式(1)~式(3)。模拟器对大地坐标系中经度、纬度、高程表示形式的定义，可用度或弧度^[14-15]表示，二者转换关系为

$$\varphi_{\text{弧度}} = \frac{\varphi_{\text{度}}}{180^\circ} \cdot \pi \quad (6)$$

“状态语句”包括速度变化语句、高度变化语句等。速度变化语句参数包括持续时间和最终速度。持续时间表示由前一个速度变化到新的速度持续多长时间；达到最终速度后速度保持恒定。通过时间与速度变化关系可计算加速度。高度变化参数与速度类似。

场景文件包括一系列的位置语句和状态语句，且状态语句插入在位置语句中。状态语句的多少和改变速度大小可根据需要进行配置，形成的运动轨迹包含位置和速度参数。在某些被测终端需要计算轨迹里程的场合，里程采取速度和时间积分计算得到，此空间状态模式场景满足需求；但若采用简易时间空间位置模式，只有坐标点没有速度，终端得不到里程值。

1.3 模拟器利用制作场景对终端测试评估

把制作的测试场景文件导入模拟器，并设置测试时间和测试信号频点及功率。模拟器信号输出端连接终端信号输入端，仿真测试场景对终端测试。若终端为接收机、天线一体机，可采用在

暗室/暗箱内通过发射天线空间辐射的方式对终端测试。通过软件记录终端解算导航数据,同时记录模拟器仿真轨迹导航数据,用软件分析二者导航数据计算定位偏差(包括三轴分别定位偏差,总定位偏差,标准差等),从而得到终端动态定位精度的统计结果。同时,把定位轨迹导航数据转换成KML格式文件,导入到电子地图中,可以得到与电子地图道路匹配的两条轨迹的实时偏差结果。

2 仿真测试实验及结果

实验选用Spirent公司9000高精度卫星导航模拟器和Septentrio公司高精度接收机作为实验设备,仿真测试系统如图2所示。模拟器支持外轨迹场景制作功能,接收机有定位数据记录软件,也可通过串口记录NMEA0183格式导航数据,电子地图和定位偏差评估软件使用第三方公开软件。



图2 仿真测试系统

Fig.2 Simulation test system

动态测试轨迹路线规划为:以北京北苑路街道作为起点,沿北苑路经安远路到奥体中心东南角,沿奥体中路、北辰路、北四环辅路,经安定路后返回奥体中心东南角。打开电子地图,找到轨迹所在区域,沿规划轨迹随机点击选取位置坐标点,坐标点之间直线连接,最后形成轨迹,直线路段坐标点间隔约为15 m,转弯路段为3~5 m。轨迹生成后导出GPX格式和KML格式数据。

根据模拟器对不同模式文件格式的定义,制作动态仿真场景文件,对时空状态模式MOTB语句

定义为: timestamp, MOTB, lat, long, height, vel_n, vel_e, vel_d, acc_n, acc_e, acc_d, jerk_n, jerk_e, jerk_d。代码依次表示:时间戳, s; 语句符号; 纬度, rad; 经度, rad; 高程, m; 速度北, m/s; 速度东, m/s; 速度下, m/s; 加速度北, m/s^2 ; 加速度东, m/s^2 ; 加速度下, m/s^2 ; 加加速度北, m/s^3 ; 加加速度东, m/s^3 ; 加加速度下, m/s^3 。使用时间戳和从轨迹导出的GPX格式坐标点数据制作场景,部分数据见表1。第一列为时间/s,第二列为纬度/rad,第三列为经度/rad,其它参数设为无,时间间隔设为5 s,导出的GPX坐标数据为度,用式(6)转换为弧度,平原高度变化很小,统一设为50 m,最终场景文件有258条语句,持续时间1365 s。

表1 时空模式部分场景数据

Tab.1 Spatio-temporal mode partial scene data

时间/s	纬度/rad	经度/rad
0	0.69784889	2.03168076
90	0.69784889	2.03168076
95	0.69784886	2.03167769
100	0.36484889	2.03167455
105	0.69784886	2.03167144
110	0.69784886	2.03166830
1360	0.69781575	2.03157994
1365	0.69781437	2.03157898

空间状态模式位置语句被定义为CAR_WAYPOINT: (B, L, H), 纬度, rad; 经度, rad; 高程, m。状态语句TERR_ACC定义为t, FINAL_SPEED, 持续时间, ms; 最终速度, m/s。用导出的GPX弧度纬、经度坐标和高度50 m设为连续位置语句,其中第一个位置点设为起始点,在位置语句中间插入状态语句,第2位置点后加速2 s,速度由0 m/s变为2 m/s,第8位置点后加速2 s,速度由2 m/s变为4 m/s,依次做加减速变化,最后持续减速1 s,速度降为0 m/s,最终场景文件有264条语句,部分数据见表2。

终端测试实验使用空间状态模式测试场景,在模拟器仿真软件建立新测试项目,把制作的场景导入到模拟器仿真软件相应车辆场景文件中,

表2 空间状态模式部分场景数据
Tab.2 Spatial state mode partial scenario data

数据编号	指令	纬度/rad	经度/rad	高程/m	持续时间/ms	最终速度/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
1	TERR_REF	0.697848886	2.031680761	50		
2	CAR_WAYPOINT	0.697848857	2.031677693	50		
3	TERR_ACC				2000	2
4	CAR_WAYPOINT	0.697848887	2.031674547	50		
5	CAR_WAYPOINT	0.697848875	2.031671441	50		
6	CAR_WAYPOINT	0.697848858	2.031681297	50		
7	CAR_WAYPOINT	0.697848770	2.031665268	50		
8	CAR_WAYPOINT	0.697848770	2.031662007	50		
9	TERR_ACC				2000	4
10	CAR_WAYPOINT	0.6978488	2.031658826	50		
						
265	CAR_WAYPOINT	0.697814366	2.031578984	50		
266	TERR_ACC				1000	0

设置测试场景日期, 选择 GPS 的 L1 频点和 BDS 的 B1I 频点, 每个频点配置 12 颗星, 信号功率为 -120 dBm 。仿真输出导航信号对高精度接收机进行测试, 同时记录场景的 NMEA0183 格式中的 GGA 语句, 接收机连接软件, 待定位后开始记录定位数据, 数据包含 NMEA0183 格式中的 GGA 语句, 仿真场景如图 3 所示。



图3 模拟仿真测试场景

Fig.3 Simulation test scenario

用后处理软件导入模拟器和接收机 GGA 数据文件, 分析定位偏差, 整个轨迹内有效定位 1986 个结果, 计算相同时间戳下 x , y , z 轴单独定位偏

差和三轴总定位偏差, 纵坐标为定位偏差, 横坐标为时间, 如图 4 所示。

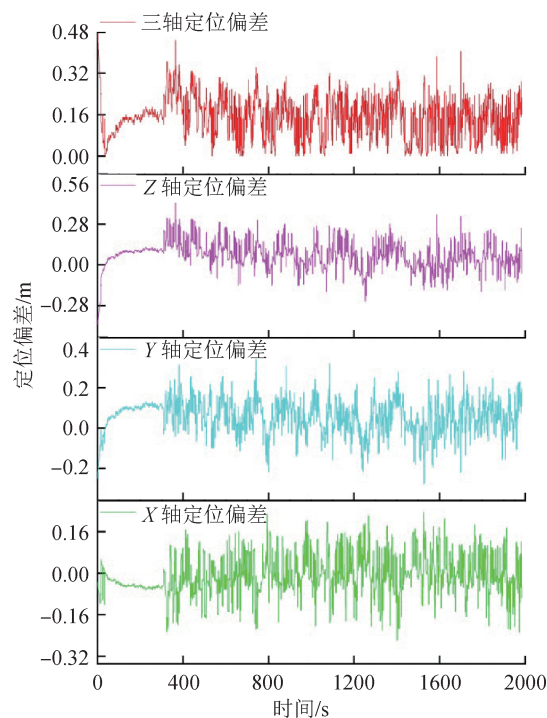


图4 接收机定位偏差曲线

Fig.4 Receiver positioning deviation curve

定位偏差中前 300 s 为静态定位偏差,其后为动态定位偏差,静态定位偏差波动较小,收敛后趋于稳定,稳定后波动小于 0.1 m,动态定位偏差均值较平滑,随机波动,波动小于 0.5 m。 x , y , z 三个轴向定位精度方均根约 0.1 m,三轴总定位精度 0.17 m,单轴与总方差均小于 0.01,见表 3。

表 3 模拟器空间状态模式测试接收机定位精度

Tab.3 Receiver positioning accuracy tested in simulator spatial state mode

定位精度	方均根/m	方差
X轴	0.077552	0.005928
Y轴	0.099333	0.006536
Z轴	0.109929	0.008223
三轴	0.167229	0.006279

仿真场景的卫星导航信号质量可通过分析接收机可见星的精度因子(DOP)和信号载噪比来评估,如图 5、图 6 所示,PDOP 均值 1.6,HDOP 均值 0.9,VDOP 均值 1.3,各卫星信号载噪比在 37 ~ 40 dBc 之间,场景卫星导航信号处于较好状态。

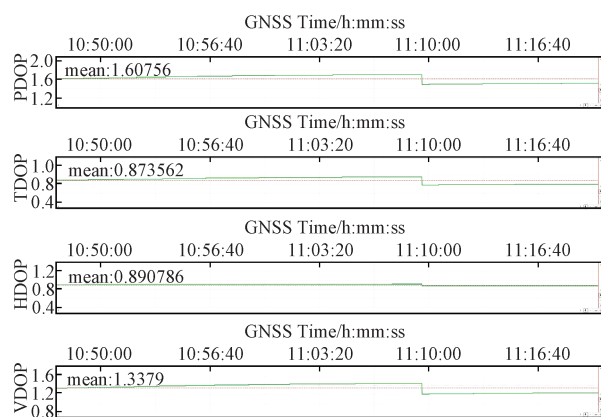


图 5 可见星分布精度因子(DOP)曲线

Fig.5 Visible star distribution factor of precision (DOP) curve

传统评估定位点轨迹如图 7 所示,只有经纬度数据,没有在电子地图中显示,也没有与标准轨迹的比较。

把接收机导航数据转换为 KML 格式文件,与标准轨迹文件一起导入电子地图中,可直观显示匹配地图道路轨迹偏差,绿色轨迹为在地图上规划的标准轨迹,红色轨迹为通过仿真测试后接收

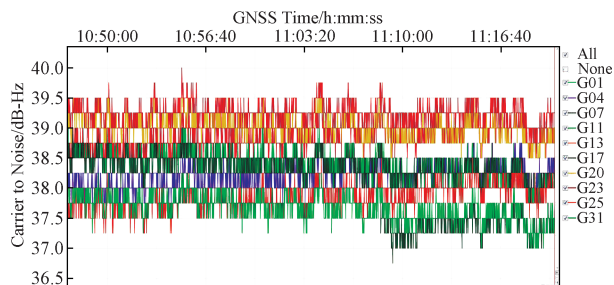


图 6 不同卫星信号载噪比

Fig.6 Carrier to noise ratio of different satellite signal

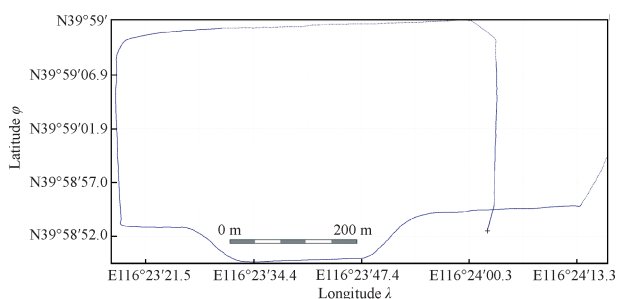


图 7 接收机定位坐标点轨迹

Fig.7 Receiver positioning coordinate point track

机导出轨迹,如图 8 所示,两条轨迹偏离很小,验证了之前定位精度统计数据结果,同时又直观显示了轨迹偏差的变化情况。

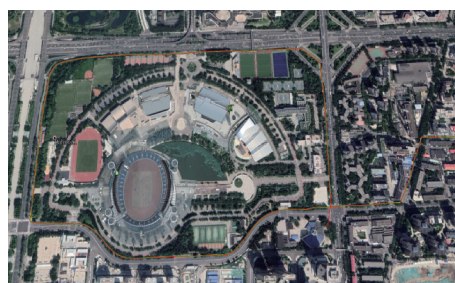


图 8 电子地图下接收机动态定位轨迹偏差

Fig.8 Receiver dynamic positioning track deviation under electronic map

地图放大后可显示局部轨迹偏差,如图 9 与图 10 所示,在直线路段轨迹偏差较小,接收机轨迹围绕标准轨迹上下波动,但在转弯路段偏差较大,说明动态仿真测试中,运动方向变化较大会对定位精度造成影响。

3 结论

提出结合电子地图规划接近实际运动的轨迹,提取轨迹坐标点并依据模拟器定义的模式制作成动态测试场景,仿真测试评估导航终端定位精度



图9 局部轨迹放大图

Fig.9 Partial enlarged view of track



图10 局部转弯轨迹放大图

Fig.10 Partial enlarged view of turning track

的同时,还可以在电子地图上显示匹配道路的轨迹偏差变化。该方法可以根据需要任意规划动态测试轨迹路线,解决一般模拟器利用运动方程制作的动态测试轨迹单一、缺少随机性的问题。此外,终端测试结果除可以评估动态定位精度外,定位轨迹偏差可在电子地图上匹配道路显示,对于车载导航仪、运动手表等导航定位与电子地图密切关联的导航终端,其测试结果更直观,更接近实际。

参考文献

- [1] 杨军,张力,李新良. 动态计量技术发展中的几个关键问题[J]. 计测技术,2021,41(2):8-21.
YANG J,ZHANG L,LI X L. Several primary problems in the development of dynamic metrology [J]. Metrology and measurement technology, 2021, 41 (2) : 8-21. (in Chinese)
- [2] 梁志国,李新良,王宇等. 计量量子化变革对我国工业计量的影响[J]. 计测技术,2020,40(3):1-6.
LIANG Z G, LI X L, WANG Y, et al. Impact of revision of SI on China's industrial measurement [J]. Metrology and measurement technology, 2020, 40 (3) : 1-6. (in Chinese)
- [3] 梁志国,张大治. 复杂系统的计量性设计与评估[J]. 计测技术,2017,37(5):1-6.
LIANG Z G,ZHANG D Z. Metrology design and evaluation of complex systems [J]. Metrology and measurement technology, 2017, 37 (5) : 1-6. (in Chinese)
- [4] 叶剑锋,彭军,李娜娜. 基于卫星导航信号模拟法的北斗接收机导航精度校准测试[J]. 计测技术,2016,36(6):30-36.
YE J F, PENG J, LI N N. Research on simulation and calibration of Beidou receiver on GNSS simulator [J]. Metrology and measurement technology, 2016, 36 (6) : 30-36. (in Chinese)
- [5] 马志超,陆瑾,戴丹,等. 卫星导航接收机动态性能评估方法[J]. 上海计量测试,2016,43(4):6-10.
MA Z C, LU J, DAI D, et al. Evaluation method for dynamic performance of satellite navigation receiver [J]. Shanghai measurement and testing, 2016, 43 (4) : 6-10. (in Chinese)
- [6] 李祺,陈学军,焦月,等. 卫星导航终端设备在真实卫星信号下的动态定位精度测试方法研究[J]. 宇航计测技术,2019,39(3):90-96.
LI Z, CHEN X J, JIAO Y, et al. Research on dynamic positioning accuracy test method of satellite navigation terminal equipment under real satellite signal [J]. Journal of astronautic metrology and measurement, 2019, 39 (3) : 90-96. (in Chinese)
- [7] 王阿昊,陈俊平,张益泽,等. 基于分区综合改正数的北斗卫星导航系统和GPS组合的动态精密单点定位[J]. 同济大学学报(自然科学版),2020,48(3):447-455.
WANG A H, CHEN J P, ZHANG Y Z, et al. BDS/GPS combined kinematic precise point positioning based on zone corrections [J]. Journal of Tongji university (natural science), 2020, 48 (3) : 447-455. (in Chinese)
- [8] 张丰兆,刘瑞华,倪育德,等. 北斗卫星导航系统动态定位精度测试与分析[J]. 全球定位系统,2018,43(1):43-48.
ZHANG F Z, LIU R H, NI Y D, et al. Measurement and analysis of dynamic positioning accuracy of Beidou satellite navigation system [J]. GNSS world of China, 2018, 43 (1) : 43-48. (in Chinese)
- [9] 窦汝鹏,孙佳骏,吴飞燕. 车载导航接收机性能测试与分析[J]. 汽车电器,2019:7-10.
DOU R P, SUN J J, WU F Y. Testing and analysis of vehicle navigation receiver performance [J]. Vehicle elec-

- tronic, 2019: 7-10. (in Chinese)
- [10] 梁志国. 基于移动通信网络的导航定位体系的探讨[J]. 计测技术, 2021, 41(2): 124-129.
- LIANG Z G. Discussion on building a navigation and positioning system based on mobile communication networks [J]. Metrology and measurement technology, 2021, 41(2): 124-129. (in Chinese)
- [11] 陈黎明. 城市道路环境下无人车自主定位与导航技术研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2021.
- CHEN L M. Research on autonomous positioning and navigation technology of unmanned vehicle in urban road environment [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2021. (in Chinese)
- [12] 郭楠. 基于GNSS/IMU的行人组合导航定位技术研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2021.
- GUO N. Research on pedestrian integrated navigation and positioning technology based on GNSS/IMU [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2021. (in Chinese)
- [13] 卡普兰. GPS原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- KAPLAN E D. GPS principle and application [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002. (in Chinese)
- [14] 梁志国. 正弦波形同步采样条件的识别与判定[J]. 计测技术, 2021, 41(4): 18-22.
- LIANG Z G. Recognition and judgment of simultaneous sampling condition of sine wave [J]. Metrology and measurement technology, 2021, 41(4): 18-22. (in Chinese)
- [15] 梁志国. 12 Bit量化误差对正弦参数拟合影响的误差界[J]. 计测技术, 2020, 40(5): 1-9.
- LIANG Z G. Bounds of least-square four-parameter sine-fit errors due to 12 bit quantization [J]. Metrology and measurement technology, 2020, 40(5): 1-9. (in Chinese)

(本文编辑: 郑燕)



第一作者: 梁炜(1979—), 男, 汉族, 高级工程师, 主要从事无线电、时间频率计量工作, 重点研究方向为卫星导航, 主持或参加多项国家标准、计量检定和校准规范的编制工作。