

A1组合导航板卡对比测试报告

COMPETITIVE ANALYSIS

概述

本报告将湖南北云科技有限公司的GNSS/INS组合导航板卡A1（以下简称A1）与竞品在八种典型场景下进行了对比测试。测试结果表明，A1在各种复杂场景中均可提供实时、连续、可信的厘米级定位结果，能够为智能汽车、人工智能提供精确的时空基准。

介绍

全球卫星导航系统（GNSS）可以提供长期的厘米级高精度定位，但是定位结果输出频率低，而且GNSS信号容易被遮挡或干扰。

惯性导航系统（INS）能提供有效的角速率和加速度，能够在短期内测量出精确的相对位移，但是惯性导航系统的误差会随时间快速增长。

GNSS/INS组合导航系统结合了GNSS和INS两者的优势，一方面利用GNSS抑制INS的长期漂移，一方面利用INS平滑GNSS的短期误差，从而提供实时、连续、可信的厘米级高精度定位。

A1是一款GNSS/INS高精度组合导航板卡，具有以下技术特点：

- 深耦合组合导航算法
- 双天线RTK定位定向
- 板载战术级惯性导航IMU
- 支持串口、以太网、CAN等多种接口
- 支持全系统多频点RTK解算
- 支持 BDS-3、Galileo 等现代化信号体制
- 支持GNSS/IMU原始数据输出与后处理
- 超低定位解算延迟

根据实际应用，我们选取以下八种典型场景进行测试：

- 开阔天空
- 城市峡谷
- 林荫道路
- 卫星信号干扰
- 地下停车场
- 高架桥
- 高架辅道
- 隧道

运动状态：

由于组合导航系统的性能表现与运动状态相关，因此在各场景的测试中随机增加了高速、低速、急停、急转弯、倒车、上下坡等特殊运动状态。

测试结果采用以下指标进行评判：

- RMS——水平位置误差、合速度误差或方位角误差的均方根
- 可用性——水平定位误差小于0.29m，垂直定位误差小于1.4m，方向误差小于 1.5° 的比例
- CEP95——95%的定位结果的误差小于此门限

测试设备和方法

本测试为组合导航性能对比测试，测试设备连接如图1，不同型号的组合导航整机为测试的唯一变量，测试平台保证以下条件：

- 所有测试使用相同的GNSS天线；
- 所有组合导航整机接收相同差分数据；
- 若有信号失锁，所有组合导航整机接收的卫星信号同时中断；
- 电源输出在组合导航整机适应范围，所有组合导航整机的电源同时通断；
- 对所有需要配置的组合导航参数，采用同种方式获取。

A1

A1是一款高度集成的GNSS/INS高精度组合导航板卡，测试时安装在组合导航系统X1中，如图2。其主要参数如表1所示。其主要误差参数如表2所示。（为与竞品对比，本次测试中没有开启标记为*的系统）

GNSS天线

使用BY300小型化高精度测量型天线，如图3。典型增益为 40 ± 2 dB，工作频率支持GPS(L1/L2/L5)、BDS(B1/B2)、GLONASS(G1/G2)、Galileo(E1/E5b)。

基准站

使用NovAtel 718D搭建基准站，如图4。

测试平台

按照图1所示设备连接方法搭建车载测试平台，如图5。

测试基准

利用商业软件Inertial Explorer，对GNSS/INS原始数据进行双向平滑后处理，得到的定位结果可近似为真实轨迹。

图1 测试设备及连接

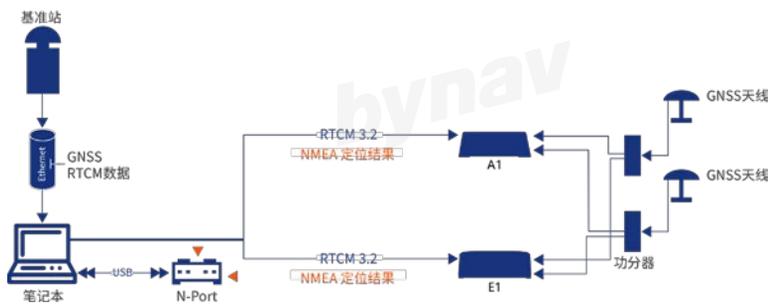


图2 A1实物图

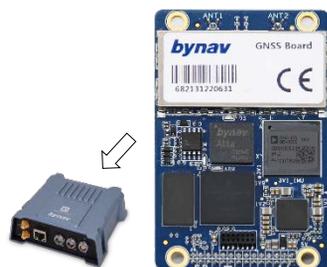


表1 A1参数

尺寸	71*46*10.6 mm
重量	25 g
功耗	1.9 W
工作温度	-40~+85 °C
卫星信号	GPS, GLONASS, BDS, QZSS, Galileo*, BDS-3*, NavIC*, SBAS*

图3 GNSS天线



表2 IMU误差参数

参数		型号	A1
陀螺仪	量程(°/s)		500
	零偏重复性(°/s)		0.14(1.4X)
	零偏稳定性(°/h)		2.7
	角度随机游走(°/√h)		0.15(0.2Z)
加速度计	量程(g)		8
	零偏重复性(mg)		2
	零偏稳定性(μg)		2.7(4.4Z)
	速度随机游走(m/s/√h)		0.009(0.012Z)
IMU	原始数据输出频率(Hz)		100

图4 基准站



图5 车载测试平台



1. 开阔天空测试

本场景模拟车载用户在视野开阔地带正常行驶，周围环视无明显障碍物或信号干扰。为验证导航结果的准确性和一致性，在行驶过程中沿同一路线反复行驶。本次测试总时长13m26s。

图1.1 道路环境



图1.2 轨迹图

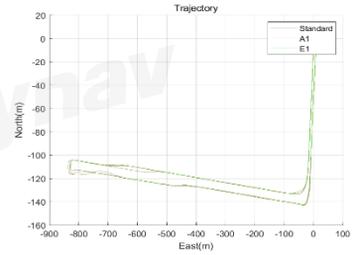


表1.1 定位结果及精度统计

型号	可用性 (%)	CEP95 (m)	水平位置偏差RMS (m)	合速度偏差RMS (m/s)	方位角偏差RMS (deg)
E1	100	0.064	0.037	0.028	0.646
A1	100	0.047	0.027	0.025	0.403

图1.3 局部轨迹图

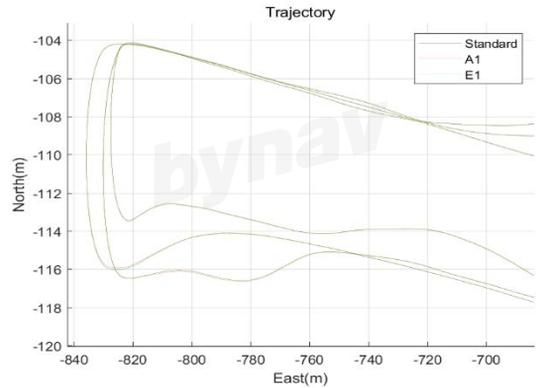


图1.4 水平位置偏差

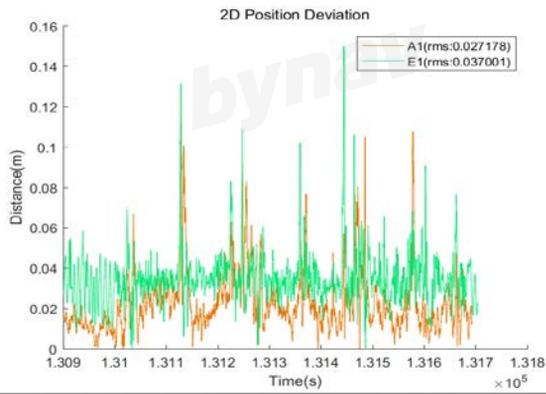


图1.5 合速度偏差

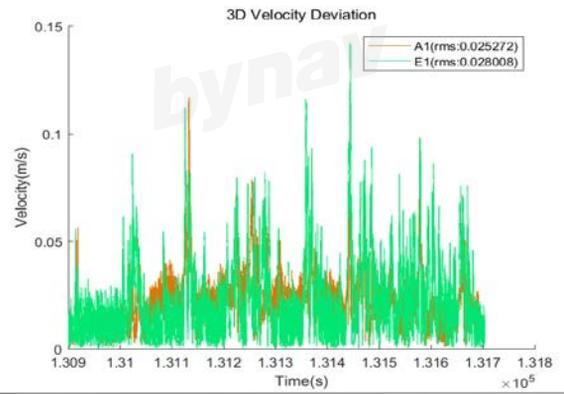


图1.6 方位角偏差

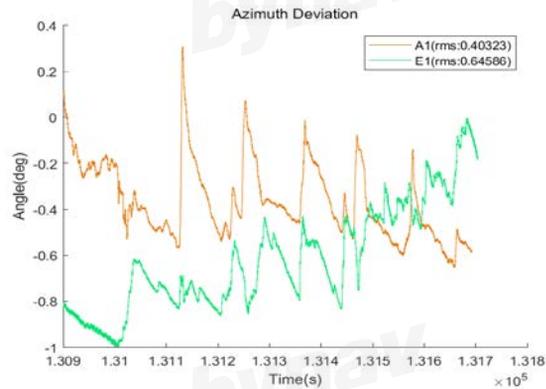
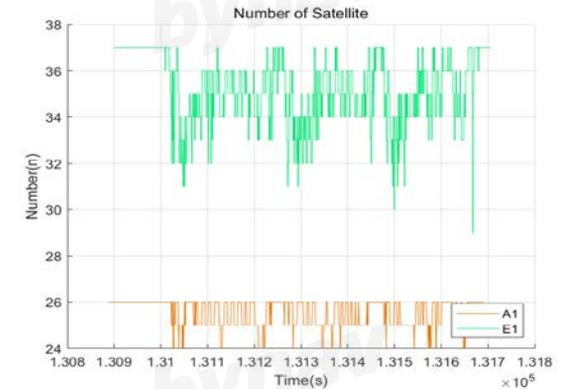


图1.7 卫星数



小结

在开阔条件下，A1的CEP95指标达到4.7cm，水平位置精度达到2.7cm，体现出明显优于竞品的位置精度和方向精度。由于A1在测试中未开启Galileo和BDS-3，因此卫星数相对较少。

2.城市峡谷测试

本场景模拟车载用户在城区高大的建筑物之间穿行，视野可观测天空范围受限。为增加测试难度，本次测试在高楼遮挡条件下开机和初始化对准。本次测试总时长11m32s，其中高楼遮挡时长约占50%。

图2.1 道路环境



图2.2 轨迹图

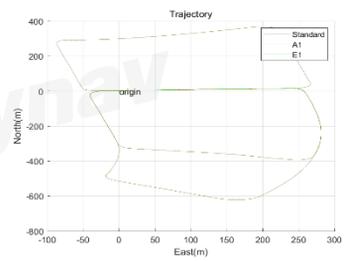


表2.1 定位结果及精度统计

型号	可用性 (%)	CEP95 (m)	水平位置偏差RMS (m)	合速度偏差RMS (m/s)	方位角偏差RMS (deg)
E1	97.1	0.223	0.134	0.042	0.612
A1	99.2	0.196	0.113	0.035	0.334

图2.3 局部轨迹图

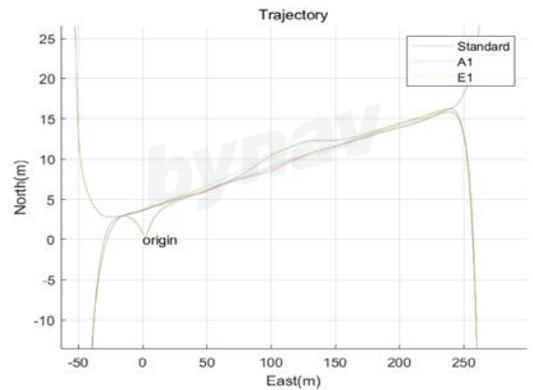


图2.4 水平位置偏差

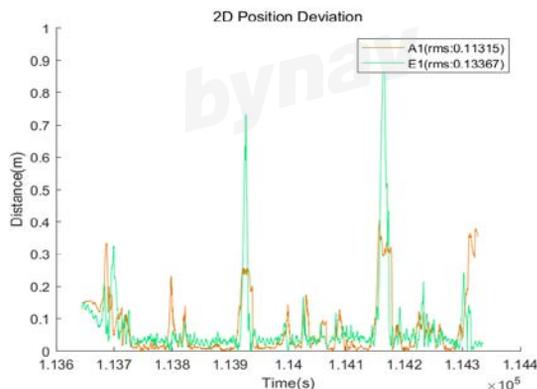


图2.5 合速度偏差

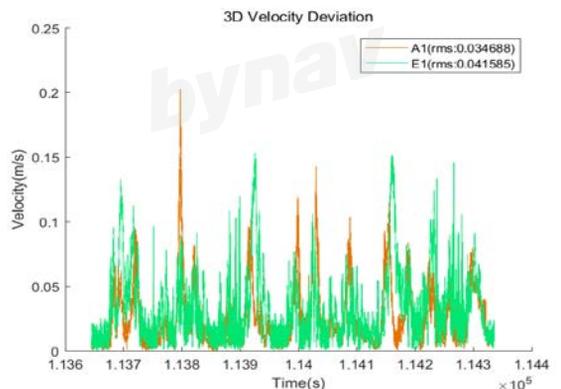


图2.6 方位角偏差

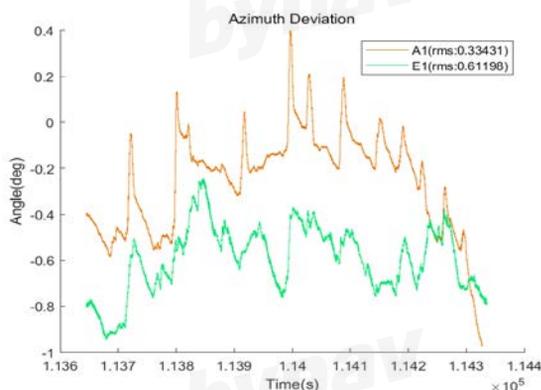
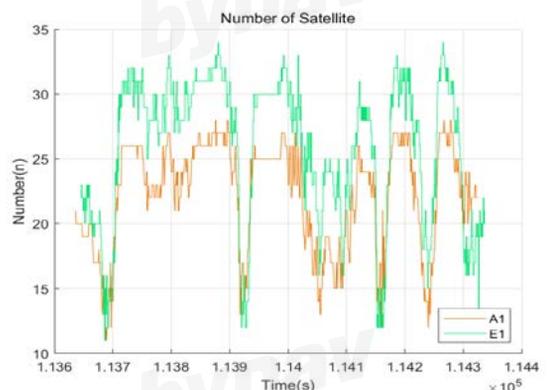


图2.7 卫星数



小结

A1在城市峡谷中的可用性略高于竞品，并具有较高的位置精度和方向精度，其CEP95指标优于竞品一倍左右。

3.林荫道路测试

本场景模拟车载用户驶过树木遮挡严重地段。为验证导航结果的准确性，测试中在树木遮挡的小路上反复行驶，并检查往返轨迹是否重叠或交叉。测试总时长11m12s，遮挡严重时长约占80%。

图3.1 道路环境



图3.2 轨迹图

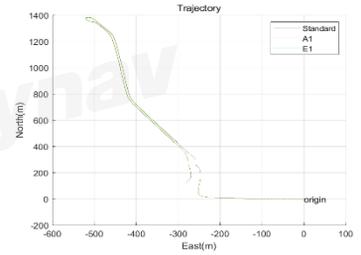


表3.1 定位结果及精度统计

型号	可用性 (%)	CEP95 (m)	水平位置偏差RMS (m)	合速度偏差RMS (m/s)	方位角偏差RMS (deg)
E1	85.0	0.393	0.226	0.047	0.287
A1	95.7	0.298	0.176	0.030	0.372

图3.3 局部轨迹图

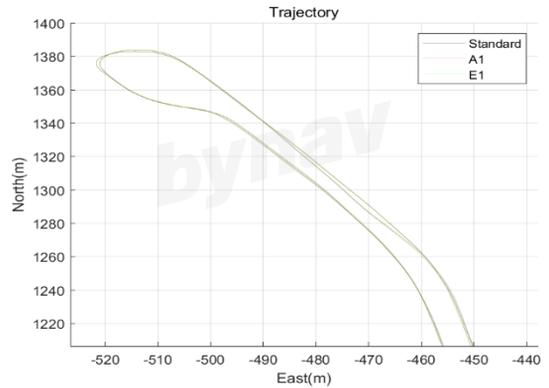


图3.4 水平位置偏差

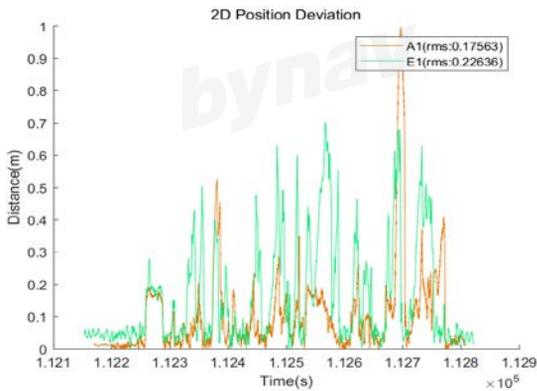


图3.5 合速度偏差

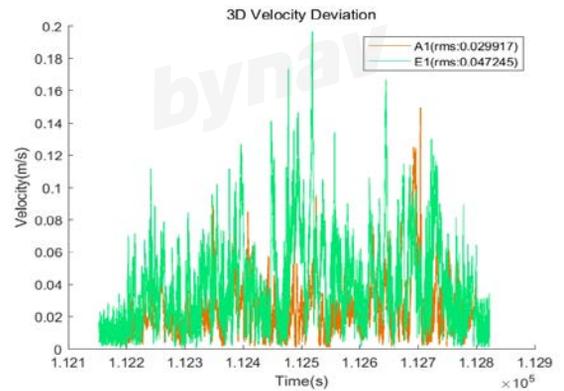


图3.6 方位角偏差

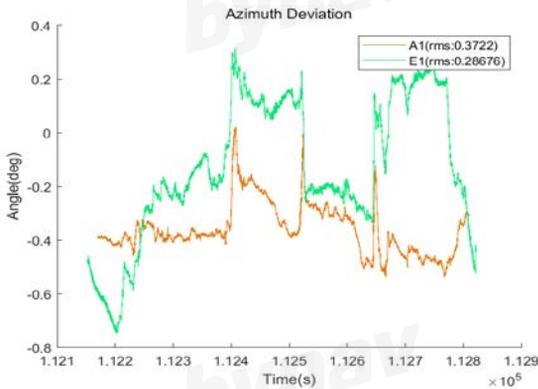
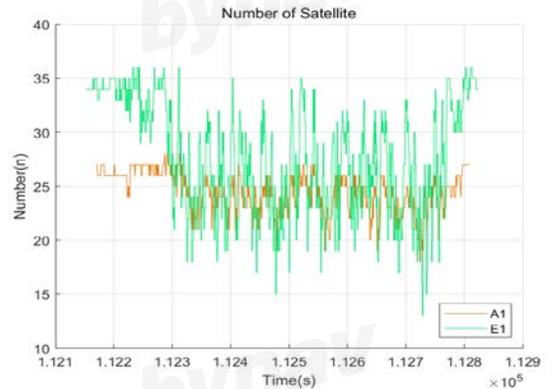


图3.7 卫星数



小结

由于反复在卫星信号半遮挡、遮挡中切换，所以位置和速度偏差都表现出明显的波动，但A1的卫星数未受到过多影响，相比竞品更为稳定。

4.信号干扰测试

为保证车载用户能够应对当前复杂的电磁环境，获得可靠的导航结果，本测试在专用测试区内利用信号干扰仪进行1.5G-1.6GHz频段范围内的信号干扰，干扰B1/L1/G1频点信号的接收，信号干扰时长5m。

图4.1 信号干扰仪



图4.2 道路环境



表4.1 定位结果及精度统计

型号	可用性 (%)	CEP95 (m)	水平位置偏差RMS (m)	合速度偏差RMS (m/s)	方位角偏差RMS (deg)
E1	69.4	5.707	3.417	0.115	0.744
A1	71.5	6.517	3.829	0.085	0.714

图4.3 轨迹图

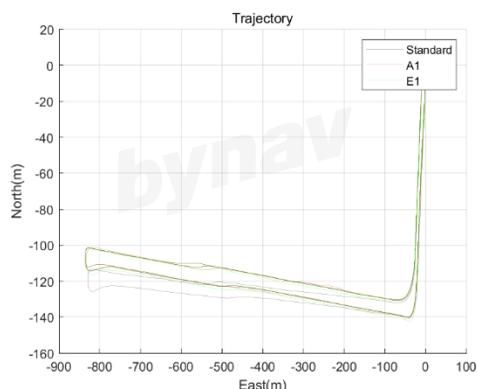


图4.4 水平位置偏差

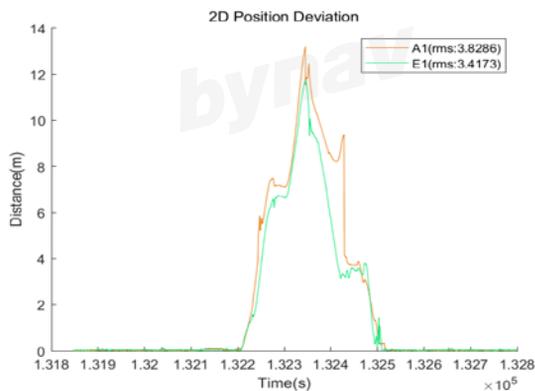


图4.5 合速度偏差

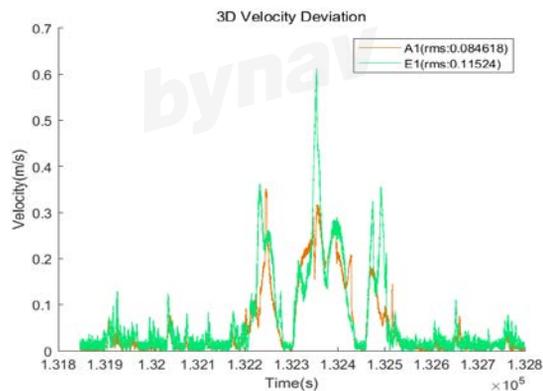


图4.6 方位角偏差

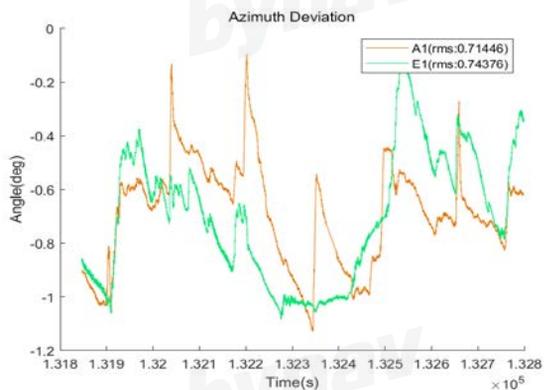
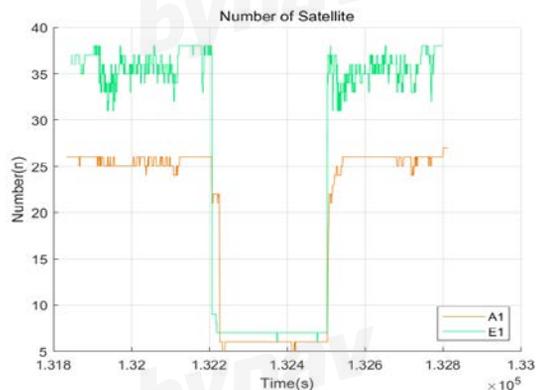


图4.7 卫星数



小结

在卫星信号干扰期间，A1的位置精度与竞品基本相当。A1接收的卫星数在卫星信号干扰期间仍然能够保持在5颗左右，与竞品基本一致。

5.地下停车场测试

本场景模拟车载用户地下停车场泊车及驶出。在室外完成初始化对准后进入地下停车场，行驶方式涵盖转圈，倒车入库，出库，调头等，地下车库运动时长5m8s，之后驶出停车场到达室外，恢复卫星信号接收。

图5.1 道路环境



图5.2 轨迹图

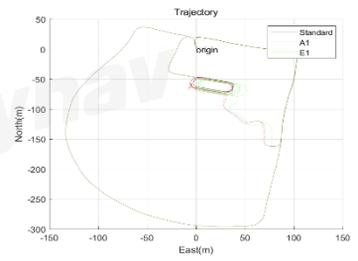


表5.1 定位结果及精度统计

型号	可用性 (%)	CEP95 (m)	水平位置偏差RMS (m)	合速度偏差RMS (m/s)	方位角偏差RMS (deg)
E1	62.8	10.776	6.644	0.131	0.661
A1	58.1	2.898	1.763	0.124	0.784

图5.3 局部轨迹图

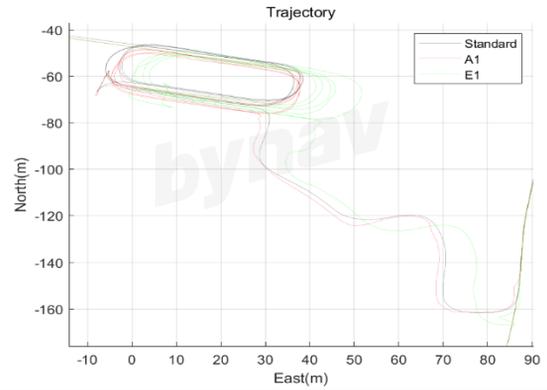


图5.4 水平位置偏差

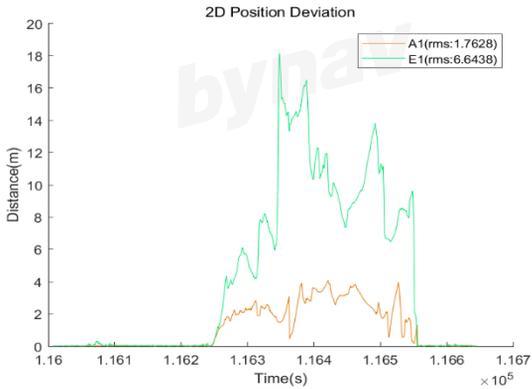


图5.5 合速度偏差

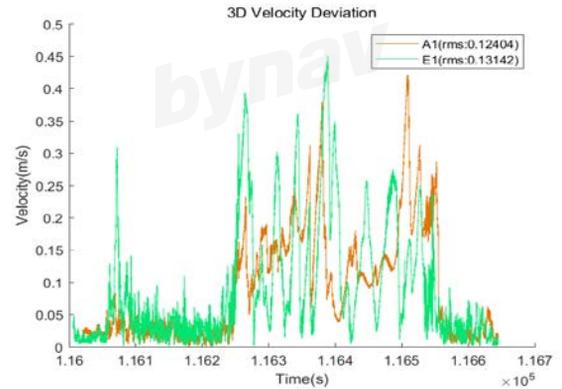


图5.6 方位角偏差

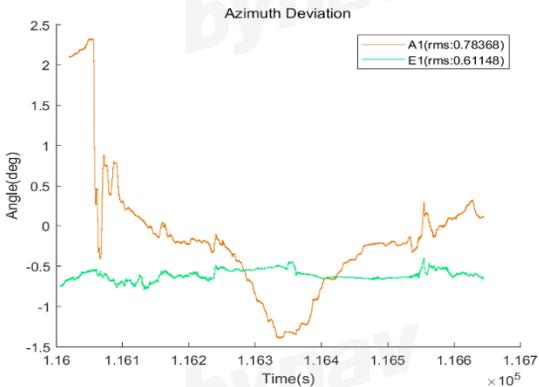
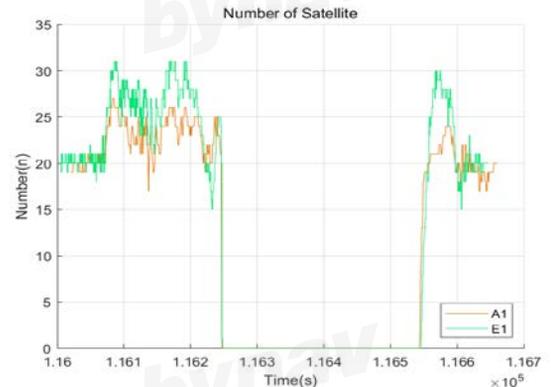


图5.7 卫星数



小结

在地下停车场行驶期间，卫星信号完全失锁。在此条件下，A1水平位置偏差和CEP95指标明显优于竞品。

6. 隧道测试

本场景模拟车载用户高速行驶过隧道。在完成初始化对准后驶入高速公路，在驶过隧道后调头，从同一隧道返回，行驶速度 80-100km/h，隧道全长约 4.33km。之后驶出高速公路，恢复正常行驶状态。

图6.1 道路环境



图6.2 轨迹图

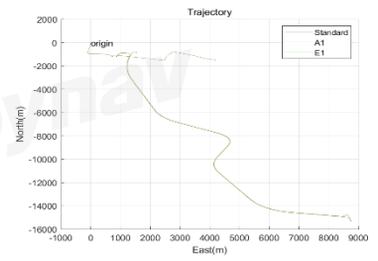


表6.1 定位结果及精度统计

型号	可用性 (%)	CEP95 (m)	水平位置偏差RMS (m)	合速度偏差 RMS (m/s)	方位角偏差 RMS (deg)
E1	86.8	24.211	14.145	0.275	0.466
A1	85.5	24.091	13.991	0.398	0.261

图6.3 局部轨迹图

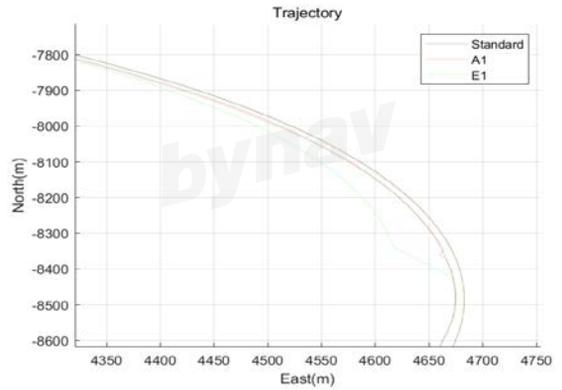


图6.4 水平位置偏差

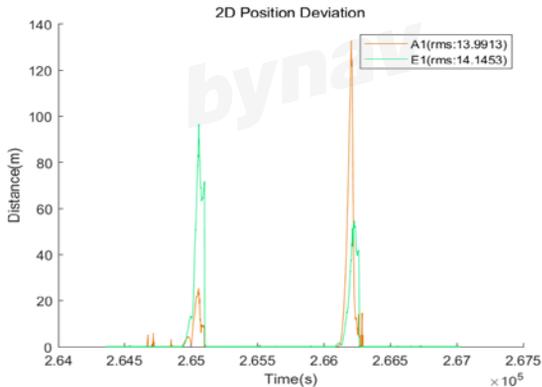


图6.5 合速度偏差

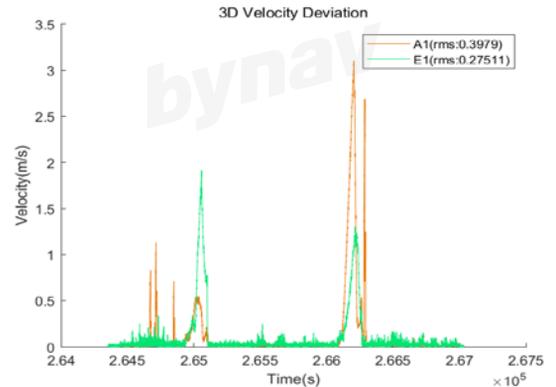


图6.6 方位角偏差

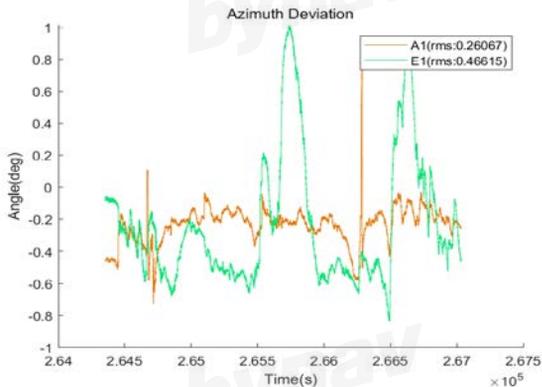
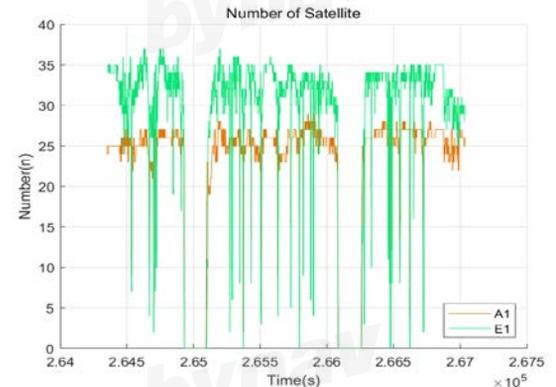


图6.7 卫星数



小结

在经过隧道时，卫星数减少为0，各组合导航系统都出现不同程度的位置、速度和方向偏差，但A1的性能与竞品基本相当。

7.高架桥测试

本场景模拟车载用户行驶经过高架桥下。为增加测试难度，考验组合导航性能，本测试在完成初始化对准后，采用在高架桥下绕圈的方式，使卫星信号被反复遮挡，绕圈时长约7m30s，而后恢复正常行驶状态。

图7.1 道路环境



图7.2 轨迹图

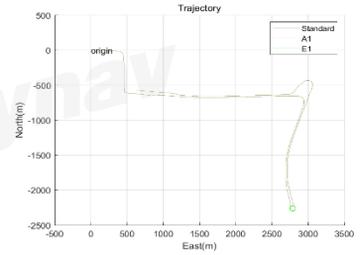


表7.1 定位结果及精度统计

型号	可用性 (%)	CEP95 (m)	水平位置偏差RMS (m)	合速度偏差RMS (m/s)	方位角偏差RMS (deg)
E1	87.3	0.431	0.249	0.044	0.461
A1	85.4	0.543	0.321	0.058	0.451

图7.3 局部轨迹图

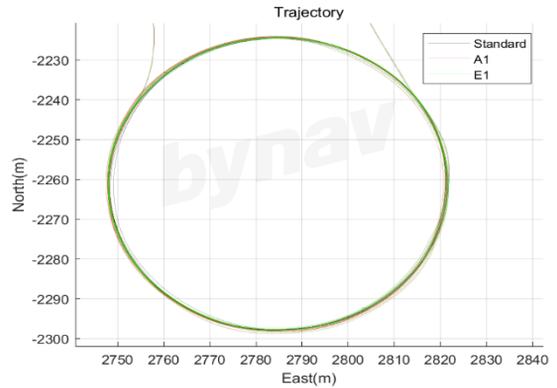


图7.4 水平位置偏差

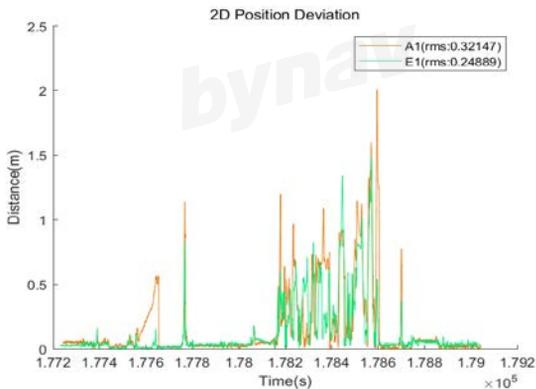


图7.5 合速度偏差

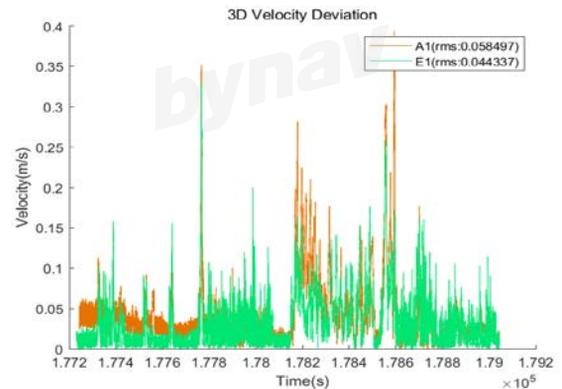


图7.6 方位角偏差

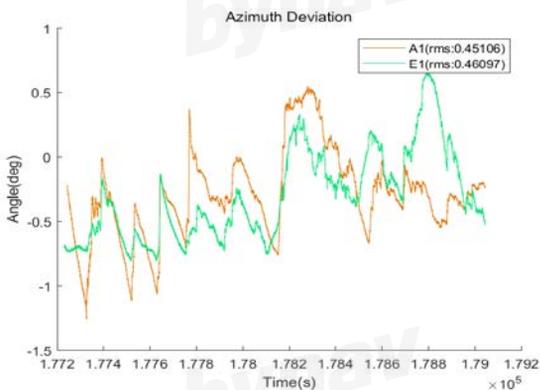
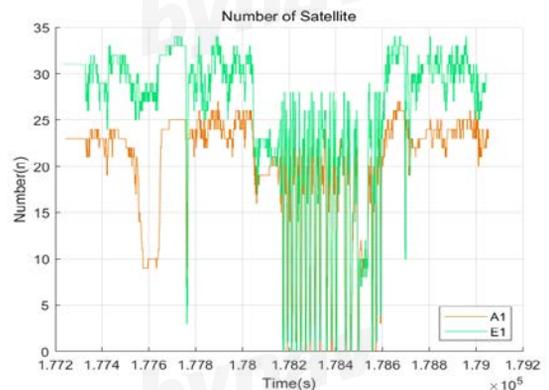


图7.7 卫星数



小结

在高架桥下绕圈过程中，信号受到周期性遮挡，导致位置、速度和卫星数都出现有规律的波动。A1的各项指标与竞品基本相当。

8.高架辅道测试

本场景模拟车载用户长时间沿高架辅道行驶，卫星信号长期被大部分遮挡。在完成初始化对准后驶入高架辅道，并沿同一条辅道反复绕圈，时长约17m45s，而后恢复正常行驶状态。

图8.1 道路环境



图8.2 轨迹图

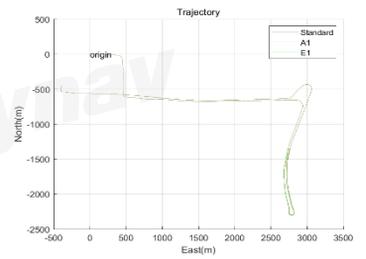


表8.1 定位结果及精度统计

型号	可用性 (%)	CEP95 (m)	水平位置偏差RMS (m)	合速度偏差RMS (m/s)	方位角偏差RMS (deg)
E1	90.5	0.442	0.259	0.047	0.507
A1	89.0	0.824	0.475	0.053	0.292

图8.3 局部轨迹图

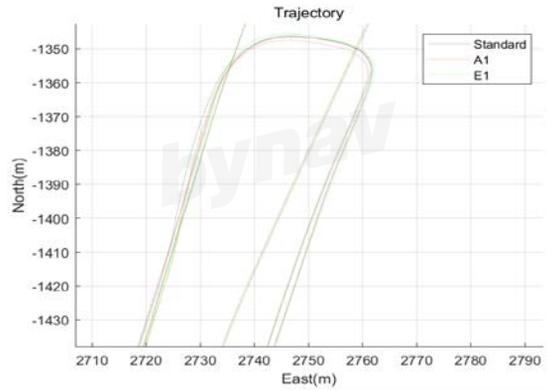


图8.4 水平位置偏差

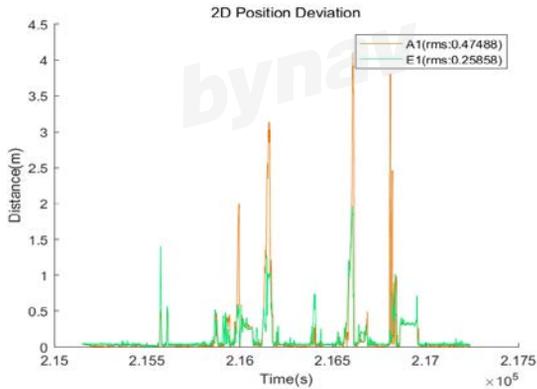


图8.5 合速度偏差

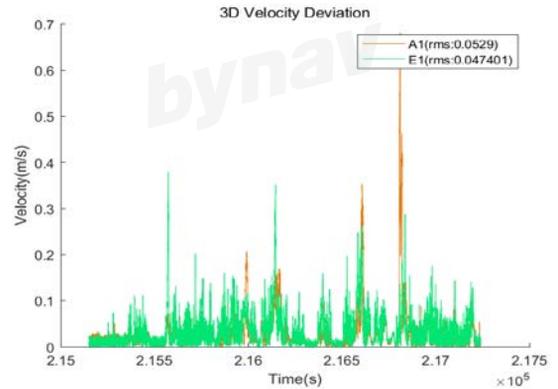


图8.6 方位角偏差

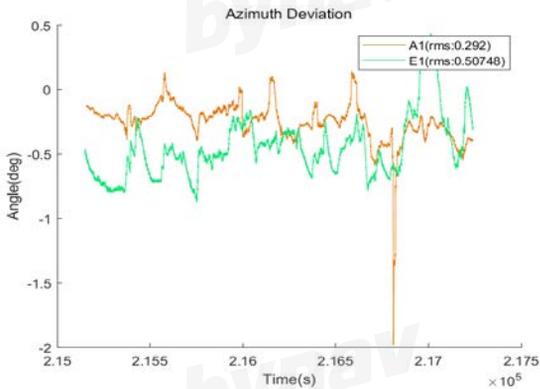
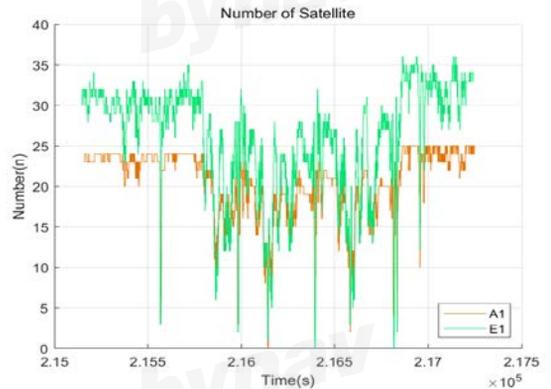


图8.7 卫星数



小结

在高架辅道行驶过程中，信号受到持续遮挡，导致卫星数普遍减少5-10颗。在此场景中，A1的性能与竞品基本相当。

总结

统计测试结果，并绘制各指标在不同测试条件下的变化曲线。

- 可用性统计值：所有场景中符合可用性要求的数据量与数据总量的比值
- CEP95统计值：对所有场景的数据进行CEP95计算
- 水平位置偏差RMS统计值：对所有场景的数据进行水平位置偏差RMS计算
- 合速度偏差RMS统计值：对所有场景的数据进行合速度偏差RMS计算
- 方位角偏差RMS统计值：对所有场景的数据进行方位角偏差RMS计算

表3 定位结果及精度统计

型号	可用性 (%)	CEP95 (m)	水平位置偏差RMS (m)	合速度偏差RMS (m/s)	方位角偏差RMS (deg)
E1	86.1	13.248	7.738	0.157	0.533
A1	85.9	13.061	7.576	0.219	0.427

图6 水平位置偏差RMS

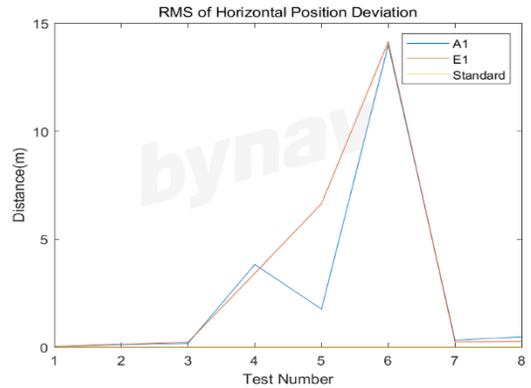


图7 合速度偏差RMS

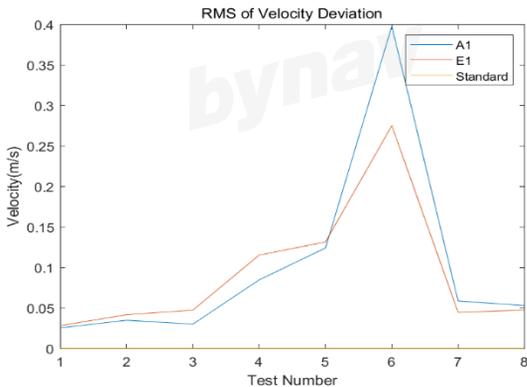


图8 方位角偏差RMS

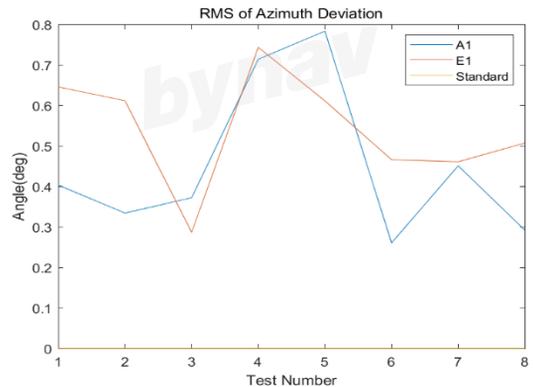


图9 可用性

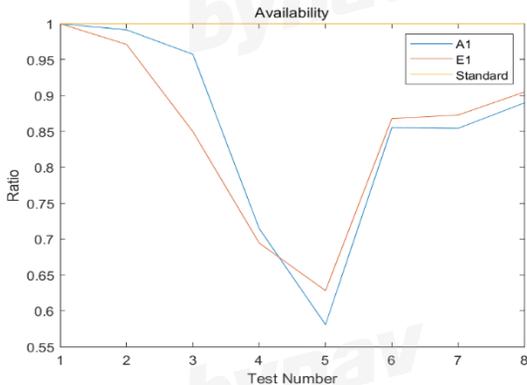
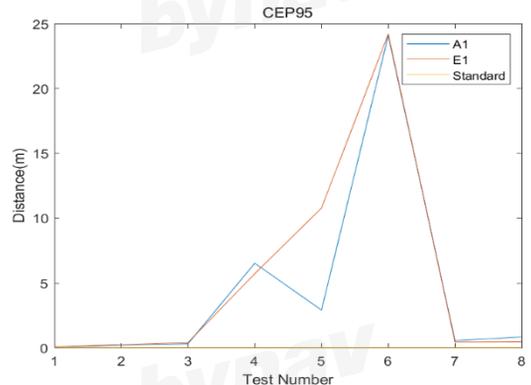


图10 CEP95



本文针对以下场景，选取可用性、CEP95和RMS作为评判指标，对比测试了各组合导航系统的性能差别：

- 开阔天空
- 城市峡谷
- 林荫道路
- 卫星信号干扰
- 地下停车场
- 高架桥
- 高架辅道
- 隧道

统计结果表明：

A1在开阔天空、城市峡谷、林荫道路环境中，相比竞品能够提供更加真实、可信的定位结果。

同时，A1和E1受环境的影响比较明显，遇到长时间信号遮挡的环境时（如高架辅道、隧道），位置、速度与方向的误差发散较快。

综上所述，A1的综合性能略优于E1。

本次测试的原始数据下载：

<http://www.bynav.com/cn/resource/bywork/geek-observation/rawdata.html>

参考文献：

[1] T. G. Reid, S. E. Houts, R. Cammarata, G. Mills, S. Agarwal, A. Vora, and G. Pandey, "Localization requirements for autonomous vehicles," SAE International Journal of Connected and Automated Vehicles, vol. 2, Sep 2019.

bynav北云

湖南北云科技有限公司
HUNAN BYNAV TECHNOLOGY CO.,LTD

www.bynav.com

长沙市高新区中电软件园12栋
Tel: +86-731-85058117
mail: sales@bynav.com

