

BD

中国第二代卫星导航系统重大专项标准

BD 420012—2015

北斗/全球卫星导航系统(GNSS)信号模拟器 性能要求及测试方法

Performance requirements and test methods of
BeiDou/Global Navigation Satellite System(GNSS) signal simulator



2015-10-19 发布

2015-11-01 实施

中国卫星导航系统管理办公室 批准

目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语、定义及缩略语.....	1
3.1 术语和定义.....	1
3.2 缩略语.....	1
4 要求.....	2
4.1 总则.....	2
4.2 系统组成.....	2
4.3 功能要求.....	3
4.4 性能要求.....	4
4.5 工作模式要求.....	5
4.6 接口要求.....	5
5 测试方法.....	6
5.1 测试项目.....	6
5.2 测试环境条件.....	6
5.3 测试仪器设备要求.....	6
5.4 功能测试.....	7
5.5 性能测试.....	13
5.6 接口测试.....	23
附录 A（规范性附录） 推荐测试场景及数据格式要求.....	24
A.1 测试所需场景说明.....	24
A.2 测试所需数据要求.....	25
A.3 输出数据文件命名、内容及格式要求.....	25
附录 B（资料性附录） 射频仿真信号动态范围性能指标的测试计算方法.....	28

前 言

为适应北斗卫星导航发展对标准的需要，由全国北斗卫星导航标准化技术委员会组织制定“北斗专项标准”，推荐有关方面参考采用。

本标准由中国卫星导航系统管理办公室提出。

本标准由全国北斗卫星导航标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：国防科学技术大学、中国卫星导航工程中心、中国航天标准化研究所、北京东方计量测试研究所、导航仪器湖南省工程研究中心、中国电子科技集团公司第五十四研究所、湖南矩阵电子科技有限公司、北京华力创通科技股份有限公司。

本标准主要起草人：杨俊、吴海玲、明德祥、王如龙、钟小鹏、周玉霞、王礼亮、张国柱、魏巍、刘莹、魏统、叶红军、刘春阳、郑瑞锋。

北斗/全球卫星导航系统（GNSS）信号模拟器

性能要求及测试方法

1 范围

本标准规定了支持北斗卫星导航系统的GNSS信号模拟器功能要求、性能要求、接口要求以及对应的测试方法等内容。

本标准适用于支持北斗卫星导航系统的 GNSS 信号模拟器（以下简称“GNSS 信号模拟器”）的研制、设计、生产和验收测试，可作为制定 GNSS 信号模拟器产品规范的依据。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JJF 1188—2008 无线电计量名词术语及定义

JJF 1471—2014 全球卫星导航系统(GNSS)信号模拟器校准规范

BD 110001—2015 北斗卫星导航术语

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

JJF 1188—2008、BD 110001-2015界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

GNSS 信号模拟器 GNSS signal simulator

能够按照BDS/GPS /GLONASS/Galileo卫星信号和用户定义仿真参数模拟产生与卫星导航信号原理特性一致的信号的一种设备。

3.1.2

仿真场景 scenarios

GNSS信号模拟器在进行仿真设置时定义的一组数据，用于表征卫星导航接收机观测到的卫星信号特征和信号环境特征。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AltBOC——Alternate Binary Offset Carrier，交替二进制偏移载波；

BDS——BeiDou Navigation Satellite System, 北斗卫星导航系统;
BDT——BeiDou Time, 北斗时;
BOC——Binary Offset Carrier, 二进制偏移载波;
BPSK——Binary Phase Shift Keying, 两相移键控调制;
CBOC——Composite Binary Offset Carrier, 复合二进制偏移载波;
ECEF——Earth-Centered, Earth-Fixed, 地心地固坐标系;
FDMA——Frequency Division Multiple Access, 频分多址;
GLONASS——Global Navigation Satellite System, 格洛纳斯卫星导航系统;
GNSS——Global Navigation Satellite System, 全球卫星导航系统;
GPS——Global Positioning System, 全球定位系统;
PPS——Pulse Per Second, 每秒脉冲数;
QPSK——Quadrature Phase Shift Keying, 四相移键控调制;
RMS——Root Mean Square, 均方根值;
UTC——Universal Time Coordinated, 协调世界时。

4 要求

4.1 总则

GNSS信号模拟器基本功能和性能要求与测试方法应以本标准为依据, 针对产品的特殊要求和详细要求可在产品规范中规定。

4.2 系统组成

GNSS信号模拟器由数学仿真模块、信号生成模块、时频基准模块、仿真控制模块、信号功率控制模块、校准接口模块等功能模块组成, 如图1所示。具体功能包括:

- a) 仿真控制模块用于实现仿真参数配置、仿真状态实时监测、仿真数据存储等功能;
- b) 数学仿真模块能够按照导航星座分布、轨道参数、空间环境和用户设定的仿真参数等计算生成导航数据, 为信号仿真模块提供数据源;
- c) 信号生成模块能够根据数学仿真模块计算得到的导航数据实时生成导航信号;
- d) 时频基准模块主要为 GNSS 信号模拟器提供时间和频率基准;
- e) 校准接口模块能对 GNSS 信号模拟器射频信号的功率、时延和各频点频率进行校准;
- f) 信号功率控制模块主要完成各个通道导航信号的功率控制。

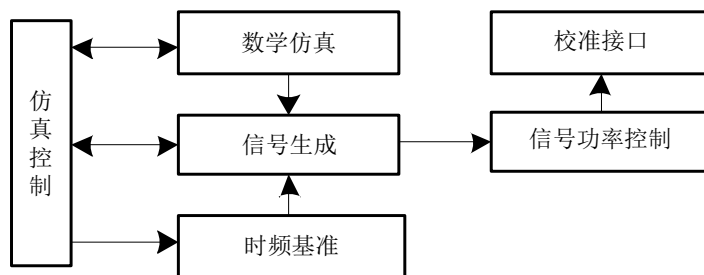


图 1 GNSS 模拟器系统组成框图

4.3 功能要求

4.3.1 覆盖频段及信号种类

GNSS 信号模拟器应能够模拟目前在轨运行的 BDS/GPS/GLONASS/Galileo 四大导航系统至少一个频点的公开导航信号。各频点信号中心频率、码速率、带宽及调制方式见表 1。

表 1 各频点信号中心频率、码速率、带宽及调制方式

系统	信号	中心频率 MHz	码速率 Mcps	带宽 MHz	调制方式
BDS	B1 I	1561.098	2.046	4.092	BPSK
	B2 I	1207.14	2.046	4.092	BPSK
GPS	L1 C/A _s	1575.42	1.023	2.046	BPSK
	L1 P(Y)	1575.42	10.23	20.46	BPSK
	L2 C	1227.60	1.023	2.046	BPSK
	L2 P(Y)	1227.60	10.23	20.46	BPSK
	L5	1176.45	10.23	20.46	QPSK
GLONASS	L1	$1602+0.5625*K$ $K=(-7\sim6)$	0.511	8.3345	FDMA
	L2	$1246+0.4375*K$ $K=(-7\sim6)$	0.511	6.7095	FDMA
Galileo	E1	1575.42	1.023	14.322	CBOC
	E5a	1176.45	10.23	20.46	QPSK
	E5b	1207.14	10.23	20.46	QPSK
	E5	1191.795	10.23	51.150	AltBOC

4.3.2 数学仿真功能

数学仿真功能应能完成星座仿真、大气传播仿真、用户轨迹仿真、天线建模仿真、特殊事件仿真、外部星历注入和多径仿真。具体包括：

- 星座仿真：应能完成 BDS、GPS、GLONASS、Galileo 导航卫星星座及其混合星座的仿真。
- 大气传播仿真：应能针对载体完成电离层延迟仿真和对流层延迟仿真。
- 用户轨迹仿真：应能模拟静态、动态载体的运动特性，仿真生成用户运动轨迹，

支持外部轨迹注入仿真。

- d) 天线建模仿真：应具备用户终端天线方向图的建模仿真功能。
- e) 特殊事件仿真：应包括闰秒调整、卫星故障、卫星伪距跳变、卫星功率跳变异常仿真。
- f) 外部星历注入：应能支持按外部输入的星历进行数学仿真。
- g) 多径仿真：应具备多径仿真功能，多径信号的时延、衰减可调。

4.3.3 射频信号校准功能

GNSS 信号模拟器的射频信号校准功能具体包括：

- a) 能够输出可通过通用仪器进行功率和零值标校测量的射频信号；
- b) 能够通过修改 GNSS 信号模拟器的配置文件修正输出射频信号的功率和零值。

4.4 性能要求

4.4.1 射频信号规模

射频信号规模要求具体包括：

- a) 每频点仿真信号通道数量： ≥ 12 ；
- b) 每频点仿真多径信号通道数量： ≥ 4 。

4.4.2 射频信号精度

射频信号精度要求具体包括：

- a) 伪距相位控制精度： $\leq 0.05\text{m}$ ；
- b) 伪距变化率精度： $\leq 0.01\text{m/s}$ ；
- c) 同频点同码通道间一致性： $\leq 0.03\text{m}$ ；
- d) 同频点码相位一致性偏差： $\leq 0.05\text{m}$ ；
- e) 不同频点码相位一致性偏差： $\leq 0.05\text{m}$ （一个频点情况下除外）；
- f) 同频点通道间载波相位一致性： $\leq 0.001\text{m}$ ；
- g) IQ 相位正交性： $< 1^\circ$ ；
- h) 零值偏差及稳定性：
 - 偏差 $\leq 0.05\text{m}$ (校准后)；
 - 开关机稳定性： $\leq 0.05\text{m(RMS)}$ ；
 - 24 小时稳定性： $\leq 0.1\text{m(MAX)}$ 。

4.4.3 射频信号质量

射频信号质量要求具体包括：

- a) 相位噪声：
 - -60 dBc/Hz @10Hz ；
 - -75 dBc/Hz @100Hz ；
 - -80 dBc/Hz @1KHz ；

- $-85 \text{ dBc/Hz @10KHz}$;
- $-95 \text{ dBc/Hz @100KHz}$ 。

- b) 谐波抑制:
- 谐波抑制 (二次) $\geq 40 \text{ dBc}$;
 - 杂波抑制 (带内) $\geq 50 \text{ dBc}$ 。
- c) 频率稳定度: $\pm 5 \times 10^{-11}/\text{秒}$;
- d) 频率准确度: $\leq 1 \times 10^{-10}$ 。

4.4.4 射频信号功率

射频信号功率要求具体包括:

- a) 分辨力: $\leq 0.2 \text{ dB}$;
- b) 绝对精度: $\leq 0.5 \text{ dB (RMS)}$;
- c) 线性度: $\leq 0.2 \text{ dB}$;
- d) 功率范围: 标称值 $\pm 30 \text{ dB}$, 提供大小功率信号输出, 大功率信号不低于 -25 dBm (单支路)。

4.4.5 射频信号动态

射频信号动态要求具体包括

- a) 高度: $\geq 100 \text{ km}$;
- b) 最大速度: $\geq 8000 \text{ m/s}$;
- c) 速度分辨力: $\leq 0.01 \text{ m/s}$;
- d) 最大加速度: $\geq 900 \text{ m/s}^2$;
- e) 加速度分辨力: $\leq 0.01 \text{ m/s}^2$;
- f) 最大加加速度: $\geq 900 \text{ m/s}^3$;
- g) 加加速度分辨力: $\leq 0.01 \text{ m/s}^3$ 。

4.5 工作模式要求

GNSS信号模拟器具备仿真和测试两种工作模式:

- a) 仿真模式: 在仿真模式下时, 可为卫星导航用户终端提供测试所需的 GNSS 卫星导航仿真信号;
- b) 测试模式: 在测试模式下时, 能够输出不低于 -25 dBm 的射频信号 (单频点、单颗卫星、单支路信号), 能够指定频点、指定卫星、指定支路条件下单独信号输出, 用于信号源/模拟器性能指标的测试和标定。

4.6 接口要求

4.6.1 信号接口

GNSS信号模拟器至少具有一个射频信号输出口和一个射频信号校准口, 两者物理上可

以为同一接口。推荐采用N型、TNC型或SMA型中的一种。

4.6.2 时钟接口

GNSS信号模拟器应具有外部参考时钟输入接口，包括10MHz/10.23 MHz和1PPS信号接口。推荐采用BNC型或SMA型。

GNSS信号模拟器应具有内部参考时钟输出接口，包括10MHz/10.23 MHz和1PPS信号接口。推荐采用BNC型或SMA型。

5 测试方法

5.1 测试项目

GNSS信号模拟器应开展的功能测试项目、性能测试项目及其制约条件如表2所示。

表2 功能/性能测试项目及相应制约条件

测试项目	性能要求	测试方法
覆盖频段及信号种类	4.3.1	5.4.2
数学仿真功能	4.3.2	5.4.3
射频信号校准功能	4.3.3	5.4.4
射频信号规模	4.4.1	5.5.1
射频信号仿真精度	4.4.2	5.5.2
射频信号质量	4.4.3	5.5.3
射频信号功率	4.4.4	5.5.4
射频信号动态	4.4.5	5.5.5
接口要求	4.6	5.6

5.2 测试环境条件

除非在产品规范中另有规定，所有测试应在下列测试用标准大气条件下进行：

- a) 温度：10℃～30℃；
- b) 相对湿度：25%～75%RH；
- c) 气压：86kPa～106kPa。

5.3 测试仪器设备要求

5.3.1 测试用仪器设备均应经过计量部门检定合格，并在有效期内。

5.3.2 测试用仪器设备应具有足够的分辨力、准确度和稳定性，其性能应满足被测试性能指标的要求。其精度应至少高于被测指标精度的三分之一量级。

表 3 测试所需设备清单

序号	仪器名称	仪器性能指标要求	数量
1	频谱分析仪	1) 频率测量范围 $\geq 5\text{GHz}$; 2) 频率分辨力 $\leq 1\text{Hz}$; 3) 输入信号电平范围 $-110\text{dBm}\sim+20\text{dBm}$; 4) 绝对幅度精度 $\pm 0.5\text{dB}$; 5) 本底噪声 $\leq -140\text{dBm/Hz}$; 6) 支持信号相位噪声测试 $\leq -100\text{dBc/Hz}$ (10KHz 偏置); 7) 基准频率: 频率准确度 $\leq 1\times 10^{-8}$ 。	1 台
2	高速数字示波器	1) 带宽 $\geq 4\text{GHz}$; 2) 通道数 ≥ 2 个; 3) 通道采样速率 $\geq 40\text{GSa/s}$ 。	1 台
3	时间间隔计数器	1) 频率范围 $225\text{MHz}\sim 3\text{GHz}$; 2) 频率分辨力 12bit/s 。	1 台
4	矢量信号分析仪	可对 BPSK/QPSK 格式的调制信号进行采样分析。	1 套
5	矢量网络分析仪	工作带宽范围 $10\text{MHz}\sim 20\text{GHz}$, 支持双端口信号测试。	1 台
6	GNSS 多系统标准接收机	能够支持 BDS/GPS/GLONASS/Galileo 导航系统, 多频点信号的捕获、跟踪、解算、定位。	1 套
7	标准信号发生器	输出信号频率范围 $3\text{Hz}\sim 3\text{GHz}$, 输出信号格式支持单载波、扫频、扩频等。	1 台
8	功率计(含功率传感器)	1) 频率范围: $\geq 6\text{GHz}$; 2) 功率测量范围: $20\text{dBm} \sim -140\text{dBm}$; 3) 绝对功率测量不确定度: $<0.1\text{dB}$; 4) 功率线性度为 $\pm 0.01\text{dB} \pm 0.005\text{dB per } 10\text{dB step}$ 。	1 套
9	原子钟	频率稳定度(秒稳): $\leq 1\times 10^{-12}$ 。	1 台
10	频率稳定度测试仪	1) 频率范围为 $1\text{Hz}\sim 30\text{MHz}$; 2) 频率稳定度为 $3\times 10^{-15}/\text{s}$ 。	1 台

5.4 功能测试

5.4.1 功能测试概述

本标准提供了 GNSS 信号模拟器的基本测试方法, 对 GNSS 信号模拟器的各功能项进行测试, 被测 GNSS 信号模拟器在测试前应进行 30min 设备预热。

5.4.2 覆盖频段及信号种类测试

覆盖频段及信号种类定位功能测试可验证 GNSS 信号模拟器是否如产品规范中所描述能够完成不同导航系统和信号体制的选择, 空间段、传播段和用户段的模型及参数设置, 正确生成并输出 BDS、GPS、GLONASS 和 Galileo 多系统、多体制的导航射频信号。其测试框图见图 2。

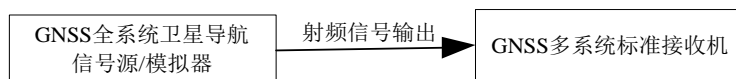


图 2 覆盖频段及信号种类定位功能测试框图

测试步骤为：

- a) 按图2连接测试设备。将被测GNSS信号模拟器输出的射频信号通过射频电缆连接到GNSS多系统标准接收机；
- b) 使用TestSim02测试场景（场景要求详见附录A.1），操作被测GNSS信号模拟器，设置输出其支持的所有导航系统/频点的信号；
- c) 设定GNSS信号模拟器工作在仿真模式下，输出所有仿真信号，操作GNSS接收机接收捕获GNSS信号模拟器输出的导航信号，待接收机定位后采集存储20min的定位数据。

测试结果分析包括：

- a) GNSS多系统标准接收机对模拟器射频端口输出的信号是否能够实现解算定位，分析所采集的20min数据，三维定位精度在10m（RMS）以内；
- b) GNSS多系统标准接收机定位后显示捕获使用的信号频点与GNSS信号模拟器输出信号的频点相同。

5.4.3 数学仿真软件功能测试

5.4.3.1 概述

数学仿真软件功能测试可验证 GNSS 信号模拟器的数学仿真软件是否具备星座仿真、大气传播仿真、用户轨迹仿真、天线建模仿真、特殊事件仿真、外部星历注入和多径仿真功能。

5.4.3.2 星座仿真测试

测试验证 GNSS 信号模拟器的数学仿真功能中星座仿真功能是否正确。星座仿真功能测试框图见图 2。

测试步骤为：

- a) 按图 2 所示将 GNSS 信号模拟器的射频信号输出端口与 GNSS 多系统标准接收机连接；
- b) 使用测试场景 TestSim02，操作被测 GNSS 信号模拟器，输出其支持的导航系统/频点的导航信号，设定模拟器工作在仿真模式下，存储测试周期内的可见卫星信号状态参数文件（存储数据格式详见附录 A.3）；
- c) 操作 GNSS 多系统标准接收机依次接收 GNSS 信号模拟器输出的各系统导航信号，并存储本测试周期内（测试时间不少于 20min）多系统接收机解算出的每颗卫星的导航电文数据和定位信息数据。

测试结果分析包括：

- a) GNSS 多系统标准接收机解算得到卫星的位置、钟差和 TGD 参数，与数学仿真软

件存储的星座仿真数据进行比较，卫星位置误差在 0.3m 以内，钟差和 TGD 参数与设定值误差在导航电文规定的量化误差范围以内，则判定 GNSS 信号模拟器数学仿真软件的星座仿真中的卫星轨道仿真、卫星钟差仿真、延时差分 TGD 仿真功能正常；

- b) 分析 GNSS 多系统标准接收机的定位结果数据，其三维定位精度在 10m (RMS) 以内，则判定 GNSS 信号模拟器数学仿真软件的星座仿真中的地球自转效应仿真和相对论效应仿真功能正常。

5.4.3.3 大气传播仿真测试

测试验证 GNSS 信号模拟器的数学仿真功能中大气传播仿真功能是否正确。大气传播仿真功能测试框图见图 2。

测试步骤为：

- a) 按图 2 所示将 GNSS 信号模拟器的射频信号输出端口与 GNSS 多系统标准接收机连接；
- b) 使用测试场景 TestSim02，操作被测 GNSS 信号模拟器，设置输出其支持的导航系统/频点的导航信号，并设定 GNSS 信号模拟器的数学仿真软件存储测试周期内的可见卫星信号状态参数文件（存储数据格式详见附录 A.3）；
- c) 操作 GNSS 多系统标准接收机依次接收 GNSS 信号模拟器输出的各系统导航信号，并存储本测试周期内（测试时间不少于 20min）接收机解算出的大气传播仿真参数数据。

测试结果分析：比较测试周期内 GNSS 信号模拟器仿真的电离层/对流层延迟与 GNSS 多系统标准接收机解算出的电离层/对流层延迟，仰角大于 10° 的所有卫星电离层误差小于 0.2m (RMS)，对流层小于 0.3m (RMS)，则判定该项功能正常。

5.4.3.4 用户轨迹仿真测试

测试验证 GNSS 信号模拟器的数学仿真软件是否具备各类载体的用户轨迹仿真功能。用户轨迹仿真功能测试框图见图 2。

测试步骤为：

- a) 操作被测 GNSS 信号模拟器，编辑该项功能所需的用户静态测试场景 TestSim02、用户低动态测试场景 TestSim03 和用户高动态测试场景 TestSim04（场景要求详见附录 A.1）。
- b) 按图 2 所示将 GNSS 信号模拟器的射频信号输出端口与 GNSS 多系统标准接收机连接。
- c) 依次使用各个测试场景，操作被测 GNSS 信号模拟器，设置输出其支持的导航系统/频点的导航信号，并设定 GNSS 信号模拟器的数学仿真软件存储测试周期内的载体运动轨迹文件（存储数据格式详见附录 A.3）；

- d) 操作 GNSS 多系统标准接收机接收 GNSS 信号模拟器输出的导航信号，并存储本测试周期内（测试时间不少于 20min）接收机解算出的定位结果数据。

测试结果分析：将 GNSS 多系统标准接收机实测数据与 GNSS 信号模拟器存储的理论用户轨迹数据进行比对，分析所采集的定位结果数据，满足三维定位精度在 10m（RMS）以内，测速精度在 0.2m/s（RMS）以内，则判定该项功能正常。

5.4.3.5 天线建模仿真测试

测试验证 GNSS 信号模拟器的数学仿真软件是否具备天线建模仿真功能。天线建模仿真测试框图见图 2。

测试步骤为：

- a) 操作被测 GNSS 信号模拟器，编辑在测试场景 TestSim02 上加载了天线方向图参数的测试场景 TestSim05（天线方向图参数设定详见附录 A.1 场景要求）；
- b) 按图 2 所示将模拟器的射频输出口与 GNSS 多系统标准接收机相连接；
- c) 使用测试场景 TestSim02，操作被测 GNSS 信号模拟器，设置模拟器工作在仿真模式下，输出导航信号；
- d) 操作 GNSS 多系统标准接收机接收 GNSS 信号模拟器输出的导航信号，并存储本测试周期内的接收机解算出的可见卫星信号状态参数文件测试时间为 20min；
- e) 使用测试场景 TestSim05，操作被测 GNSS 信号模拟器，设置输出导航信号；
- f) 操作 GNSS 多系统标准接收机接收 GNSS 信号模拟器输出的导航信号，并存储本测试周期内的接收机解算出的卫星状态信息数据，测试时间为 20min。

测试结果分析：分析 GNSS 多系统标准接收机先后 2 次所采集存储卫星状态信息数据，选取仰角大于 30°的可见卫星比对其两次卫星增益差值与天线方向图增益设置值，两者差值小于 0.5dB 则判该项功能正常。

5.4.3.6 特殊事件仿真测试

测试验证 GNSS 信号模拟器的数学仿真软件是否具备特殊事件仿真功能。特殊事件仿真功能测试框图见图 2。

测试步骤为：

- a) 操作被测 GNSS 信号模拟器，编辑该项目测试所需的加载特殊事件参数的测试场景 TestSim06（场景要求详见附录 A.1）；
- b) 按图 2 所示将 GNSS 信号模拟器的射频输出口与 GNSS 多系统标准接收机相连接；
- c) 使用 GNSS 多系统标准接收机解算 GNSS 信号模拟器输出的导航信号，并存储同时期解算出的导航电文，测试时间为 20min。

测试结果分析包括：

- a) 比对 GNSS 多系统标准接收机基于 GNSS 信号模拟器输出信号解算所得的闰秒调整参数、卫星故障参数与 GNSS 信号模拟器设定参数值，如果一致，则判定 GNSS 信号模拟器具备闰秒调整和卫星故障仿真功能正常；

- b) 比对 GNSS 多系统标准接收机解算输出的卫星伪距差值与 GNSS 信号模拟器存储的卫星伪距值误差不超过 10m(RMS), 则判定 GNSS 信号模拟器卫星伪距跳变异常仿真功能正常;
- c) 比对 GNSS 多系统标准接收机解算出的卫星载噪比变化值与 GNSS 信号模拟器设定卫星的功率跳变参数值, 如果一致, 则判定数学仿真软件仿真卫星功率跳变异常仿真功能正常。

5.4.3.7 外部星历注入仿真测试

测试验证 GNSS 信号模拟器的数学仿真软件是否具备外部星历注入功能。外部星历注入仿真功能测试框图见图 2。

测试步骤为:

- a) 操作被测 GNSS 信号模拟器, 编辑导入外部星历文件 (符合 RINEX3.02 格式星历文件) 的测试场景 TestSim07 (场景要求详见附录 A.1);
- b) 如图 2 所示, 将 GNSS 信号模拟器的射频输出口与 GNSS 多系统标准接收机连接, 存储接收机解算得到的各系统星历数据, 测试时间为 20min。

测试结果分析: GNSS 多系统标准接收机解算存储的星历数据与 GNSS 信号模拟器仿真所用的外部星历数据完全相同, 则判定该功能正常。

5.4.3.8 多径仿真测试

测试验证 GNSS 信号模拟器是否具备多径信号仿真功能, 且多径信号的时延、衰减可调。多径信号时延测试框图见图 3, 多径信号衰减测试框图见图 4。

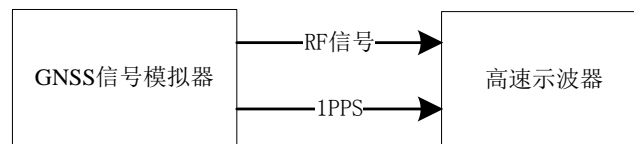


图 3 多径信号时延测试框图



图 4 多径信号衰减测试框图

测试步骤为:

- a) 如图 3 所示连接好测试设备, 操作 GNSS 信号模拟器, 使用 TestSim08 测试场景 (场景要求详见附录 A.1), 操作 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下, 设置单频点/单路 BPSK-I 信号最大功率输出;
- b) 操作高速示波器, 以 1PPS 信号作为触发信号, 对单颗卫星单频单支路的 BPSK 信号进行采集, 测量被测频点单路导航信号的相位翻转点和 1PPS 信号上升沿的时延

- 均值 T_1 ，每秒记录 1 次时延，记录时长 60s；
- c) 操作高速示波器，以 1PPS 信号作为触发信号，对单颗卫星单频单支路的 BPSK 信号进行采集，测量被测频点单路多径信号的相位翻转点和 1PPS 信号上升沿的时延均值 T_2 ，每秒记录 1 次时延，记录时长 60s；
 - d) 计算并记录导航信号和多径信号时延测试的平均值的差值 ΔT ；
 - e) 重复 b)到 d)中的测试步骤，测得不同频点的导航信号和多径信号的时延差值。
 - f) 如图 4 所示连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim09 测试场景（场景要求详见附录 A.1），操作 GNSS 信号模拟器工作在仿真模式下，设置单频点/单通道 BPSK-I 信号最大功率输出；
 - g) 操作设置功率计的测试频率为待测信号中心频率，测试带宽为发射信号带宽，测试模拟器输出单路导航信号的功率值 P_1 ；
 - h) 操作设置功率计的测试频率为待测信号中心频率，测试带宽为发射信号带宽，测试模拟器输出单路多径信号的功率值 P_2 ；
 - i) 计算并记录导航信号和多径信号功率测试的差值 ΔP ；
 - j) 重复 f)到 i)中的测试步骤，测得不同频点的导航信号和多径信号的衰减差值。

测试结果分析包括：

- a) 测试得到的GNSS信号模拟器输出导航信号和多径信号的时延差值 ΔT 与TestSim08 测试场景中设定的多径信号时延值之差优于1ns；
- b) 测试得到的GNSS信号模拟器输出导航信号和多径信号的功率差值 ΔP 与TestSim09 测试场景中设定的多径信号功率值之差优于0.5dB；
- c) 测试结果同时满足上述2条，则判定GNSS信号模拟器多径信号仿真功能正常。

5.4.4 射频信号校准功能测试

5.4.4.1 射频信号零值校准测试

测试验证 GNSS 信号模拟器是否具备校准接口，是否具备射频信号零值校准功能。射频信号零值校准功能测试框图见图 3。

测试步骤为：

- a) 如图 3 所示连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下，输出单频点/单通道 BPSK 的 I 路信号；
- b) 操作高速示波器，以 1PPS 信号作为触发信号，对单颗卫星单频单支路的 BPSK 信号进行采集，测量被测频点 BPSK 调制信号的相位翻转点和 1PPS 信号上升沿的时延均值 ΔT ，每秒记录 1 次时延，记录时长 60s；
- c) 停止 GNSS 信号模拟器信号仿真，将测得的零值修正到配置文件中；
- d) 重复 b)到 c)中的测试步骤，测得校准后的该系统频点零值。

测试结果分析：GNSS 信号模拟器具备零值修正接口，且修正校准后设备重新上电的频

点零值不大于 0.05m，则判定具备该功能。

5.4.4.2 射频信号功率校准测试

测试验证 GNSS 信号模拟器是否具备校准接口，是否具备射频信号功率校准功能。射频信号功率校准功能测试框图见图 5。



图 5 射频信号功率校准测试框图

测试步骤为：

- a) 如图 5 所示连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在仿真模式下，输出频点/单通道的最大功率功率信号，调制方式选择 BPSK-I；
- b) 操作频谱分析仪测量被测频点信号的功率，重复测量 5 次求均值；
- c) 计算 GNSS 信号模拟器被测频点的标称功率与测量功率值的差值 ΔP ；
- d) 停止 GNSS 信号模拟器信号仿真，将测得的功率修正到配置文件中；
- e) 重复 b)到 c)中的测试步骤，测得校准后的 GNSS 信号模拟器被测频点的标称功率与测量功率值的差值 ΔP 。

测试结果分析：GNSS 信号模拟器具备功率修正接口，且修正校准后的频点功率准确度 $\leq 0.2\text{dB}$ ，则判定具备该功能。

5.5 性能测试

5.5.1 射频信号规模测试

检验 GNSS 信号模拟器是否具备产品规范中描述用户及信号规模。射频信号规模测试框图见图 2。

测试步骤为：

- a) 如图 2 所示连接测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），将 GNSS 多系统标准接收机连接到被测 GNSS 信号模拟器输出的一个射频接口；
- b) 操作 GNSS 接收机处理解算 15min GNSS 信号模拟器被测射频接口的信号；
- c) 更换 GNSS 信号模拟器的射频输出口，按照步骤 b)进行测试操作。

测试结果分析包括：

- a) 对 GNSS 多系统标准接收机解算数据的后 10min 的数据进行分析，其频点三维定位精度在 10m (RMS) 以内，则每频点在该接口具备仿真一个用户信号；
- b) 对 GNSS 多系统标准接收机解算数据的后 10min 的数据进行分析，对于每频点

GNSS 多系统标准接收机能够捕获跟踪的卫星数量不小于 12，则证明每频点通道数量满足 4.4.1 的要求。

5.5.2 射频信号精度测试

5.5.2.1 伪距相位控制精度测试

检测 GNSS 信号模拟器射频导航信号仿真的伪距相位控制精度是否满足指标要求。伪距相位控制精度测试框图见图 3。

测试步骤为：

- 如图 3 所示连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下，输出单频点通道 1 的 BPSK-I 信号；
- 操作高速示波器，以 1PPS 信号作为触发信号，对单颗卫星单频单支路的 BPSK 信号进行采集，测量被测频点 BPSK 调制信号的相位翻转点和 1PPS 信号上升沿的时延均值 $\Delta T1$ ，每秒记录 1 次时延，记录时长 60s；
- 使用 TestSim10 测试场景（设定信号伪距为 n 米），设定 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下输出单频点单颗卫星单支路的 BPSK 信号；
- 操作高速示波器，以 1PPS 信号作为触发信号，对单频点单颗卫星单支路的 BPSK 信号进行采集，测量被测频点 BPSK 调制信号的相位翻转点和 1PPS 信号上升沿的时延差均值 $\Delta T2$ ，每秒记录 1 次时延，记录时长 60s。

测试结果分析：对两次测量结果的时延值做差得出 ΔT ，乘以 c （光速）算出变化的伪距值。比较测量所得伪距值和理论控制变化的伪距值即可得出被测频点伪距控制精度测量结果，若所测得伪距精度测量满足 4.4.2 的要求，即认为合格。

5.5.2.2 伪距变化率精度测试

检测 GNSS 信号模拟器射频导航信号仿真的伪距变化率精度是否满足指标要求。伪距变化率精度测试框图见图 6。

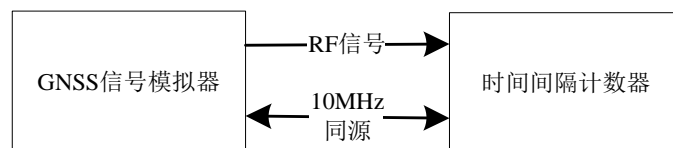


图 6 伪距变化率精度测试框图

测试步骤为：

- 如图 6 所示连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下输出单频点单颗卫星的单载波信号，信号功率根据时间间隔计数器测量要求确定，在不满足功率测量要求时应加低噪声放大器或信号衰减器；

- b) 操作时间间隔计数器，设置其门控时间为 10s，记录时长 60s。读出被测频点在该场景下的频率值 f_0 ；
- c) 使用 TestSim11 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下输出单频点单颗卫星的单载波信号，测量被测频点的频率值 f_1 。

测试结果分析：对两次测量结果的频率值做差得出 Δf ，除以被测频点频率 f_0 ，乘以光速 c 算出变化的伪距变化率值。计算公式为：

$$\rho_r = \frac{\Delta f \times c}{f_0} \dots\dots\dots(1)$$

其中 c 为光速，按照公式（1）计算所得射频信号伪距变化率值满足指标 4.4.2 的要求，即认为合格。

5.5.2.3 频点信号间码相位一致性测试

检测 GNSS 信号模拟器同一射频端口输出的同频点同通道、同频点不同通道及不同频点（包括同一星座内和不同星座间）同通道射频信号各信号分量之间的码相位误差是否符合指标要求。测试框图见图 3。

测试步骤为：

- a) 如图 3 所示连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下，输出被测频点的各个通道的 BPSK 的 I 路信号；
- b) 同频点同码通道间一致性和同频点码相位一致性测试时，操作高速示波器，以 1PPS 信号作为触发信号，对模拟器被测频点各通道的 BPSK 信号进行采集，测量被测频点 BPSK 调制信号的相位翻转点和 1PPS 信号上升沿的时延均值 $\Delta T_1 \sim T_n$ ，每秒记录 1 次时延，记录时长 60s；
- c) 不同频点间码相位一致性测试时，操作高速示波器，以 1PPS 信号作为触发信号，对 GNSS 信号模拟器不同频点的同一通道的 BPSK 信号进行采集，测量被测各个通道信号的巴克码翻转点和 1PPS 上升沿的时延均值 $\Delta T_1 \sim T_n$ ，每个通道均每秒记录 1 次时延，记录时长 60s。

测试结果分析：计算出所有被测频点的 $\Delta T_1 \sim T_n$ 中的最大值与最小值的差，如果该差值满足指标 4.4.2 要求，即认为合格。

5.5.2.4 同频点通道间载波相位一致性

检测 GNSS 信号模拟器射频导航信号仿真的伪距零值（设备群时延）及其稳定性是否满足指标要求。同频点通道间载波相位一致性测试框图见图 3。

测试步骤为：

- a) 如图 3 所示连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景

（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下，输出单频点通道的 BPSK 的 I 路信号；

- b) 操作高速示波器，以 1PPS 信号作为触发信号，对单频点单颗卫星单支路的 BPSK 信号进行采集，测量被测频点 BPSK 调制信号的巴克码翻转点和 1PPS 上升沿的时延均值 ΔT ，每秒记录 1 次时延，记录时长 60s；
- c) 分别测试不同通道的 ΔT 。

测试结果分析：对被测频点的不同通道信号 ΔT 进行互差取最大值，如果差值满足指标 4.4.2 要求，即认为合格。

5.5.2.5 IQ 相位正交性测试

测试验证 GNSS 信号模拟器所产生信号的 IQ 相位正交是否符合指标要求。IQ 相位正交性测试框图见图 7。



图 7 载波与伪码相干性测试框图

测试步骤为：

- a) 如图 7 所示连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使 GNSS 信号模拟器被测频点输出单颗卫星的 QPSK 信号，并设置功率最大；
- b) 操作矢量信号分析仪，设置 QPSK 调制模式，其它参数设置如频点、带宽、码速率和信号功率根据每个频点的实际值进行设置；
- c) 设置矢量信号分析仪内部的测量滤波器设为“off”，参考滤波器设为升余弦滤波器，系数设为 1；
- d) 矢量信号分析仪上设置取 10 次均值直接读取正交误差。

测试结果分析：所测频点信号的正交误差满足指标 4.4.2 要求，即认为合格。

5.5.2.6 零值偏差及稳定性测试

测试验证 GNSS 信号模拟器所产生信号零值偏差及稳定性是否符合指标要求。零值偏差及稳定性测试框图见图 3。

测试步骤为：

- a) 如图 3 所示连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下，输出单频点/通道 1 的 BPSK-I 信号；
- b) 操作高速示波器，以 1PPS 信号作为触发信号，对单频点/通道 1 的 BPSK-I 信号进行采集，测量被测频点 BPSK-I 调制信号的巴克码翻转点和 1PPS 上升沿的时延均值 ΔT ，每秒记录 1 次时延，记录时长 60s；

- c) 分别测量不同频点 1 通道 BPSK-I 调制信号的 ΔT 即为零值偏差；
- d) 操作 GNSS 信号模拟器，关机 5min 后，再开机 20min 后重复步骤 b)、c)，测量出 5 次 ΔT ；
- e) 对 5 次 ΔT 进行统计，记录开关机稳定性；
- f) 一次开机后长时间的零值稳定性，共进行 24 小时测量。

测试结果分析包括：

- a) 所测频点 1 通道信号时延值 ΔT 满足指标要求，即认为零值偏差合格；
- b) 所测频点开关机 5 次测量得的信号时延值与 5 次开关机时延均值的差满足指标要求，即认为开关机稳定性合格；
- c) 24 小时稳定性测试：24 小时的零值测试结果与均值的最大误差满足指标 4.4.2 要求，即认为合格。

5.5.3 射频信号质量测试

5.5.3.1 相位噪声测试

测试验证 GNSS 信号模拟器所产生信号的相位噪声特性是否符合指标要求。相位噪声测试框图见图 8。

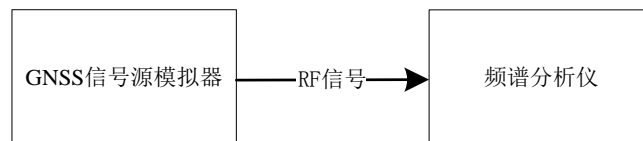


图 8 相位噪声测试框图

测试步骤为：

- a) 如图 8 所示连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下，输出单频点/通道 1 的单载波信号；
- b) 操作使用频谱分析仪的相位噪声测量模式，依次测试与信号中心频率偏差 10Hz、100Hz、1KHz、10KHz 和 100KHz 处的相位噪声值；
- c) 设置 GNSS 信号模拟器输出不同频点 I 通道单载波信号，分别测量不同频点的相位噪声。

测试结果分析：所测频点相位噪声满足指标 4.4.3 要求，即认为合格。

5.5.3.2 杂波抑制测试

测试验证 GNSS 信号模拟器所产生信号发射带宽内的最大杂波特性是否符合指标要求。杂波抑制测试框图见图 8。

测试步骤为：

- a) 如图 8 所示连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器输出被测频点的单颗卫星单载波信号，并设置功率最大；
- b) 设置频谱分析仪的中心频率为待测信号载波频点，测试带宽为信号发射带宽，平均 5 次读取发射带宽内杂波的最大功率；
- c) 杂波抑制为中心频率功率与杂波功率的差；

测试结果分析：所测频点相位中心频率功率与杂波功率的差值满足指标 4.4.3 要求，即认为合格。

5.5.3.3 谐波抑制测试

测试验证 GNSS 信号模拟器所产生信号的二次谐波功率是否符合指标要求。谐波抑制测试框图见图 8。

测试步骤为：

- a) 如图 8 连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器输出被测频点的单颗卫星单载波信号，并设置功率最大；
- b) 设置频谱分析仪的中心频率为待测信号载波频点，测试被测频点的二次谐波功率；
- c) 谐波抑制为中心频率功率与谐波功率的差。

测试结果分析：所测频点相位中心频率功率与二次谐波功率的差值满足指标 4.4.3 要求，即认为合格。

5.5.3.4 频率稳定度测试

测试验证 GNSS 信号模拟器参考频率源的频率稳定度（秒稳）是否符合要求。频率稳定度测试框图见图 9。

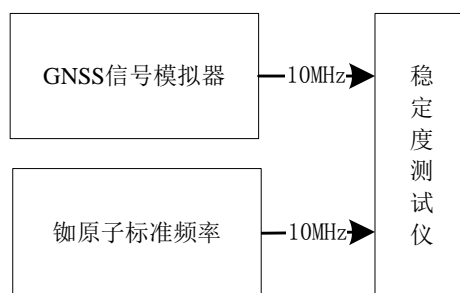


图 9 频率稳定度测试框图

测试步骤为：

- a) 如图 9 连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器输出内部参考时钟 10MHz 信号；
- b) 操作稳定度测试仪，设置为阿伦标准偏差测量模式；
- c) 测试时间不小于 100s，直接记录列表中取样时间 1s 对应的频率稳定度，结果保留两位有效数字。

测试结果分析：所测参考输出 10MHz 信号的频率稳定度满足指标 4.4.3 要求，即认为合格。

5.5.4 射频信号功率测试

5.5.4.1 分辨力测试

测试验证 GNSS 信号模拟器输出射频信号的功率控制分辨力是否符合指标要求。分辨力测试框图见图 4。

测试步骤为：

- a) 如图 4 所示连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器输出被测频点的单颗卫星单载波信号；
- b) 设置功率计的测试频率为待测信号中心频率；
- c) 设置输出功率控制值以分辨力指标作为步进，依次减小 5 次，将功率计测得的实际功率与设置理论功率值做差，其结果即为该测试频点的功率分辨力；
- d) 重复步骤 c) 测出各被测频点的功率分辨力。

测试结果分析：功率控制分辨力的实测结果为每个步进间隔下的两次功率实测值之差，结果保留两位小数即 $R_i = P_i - P_{i-1}$ ，（ $i=1,2,\dots,5$ ）。每一个实测结果均满足指标 4.4.4 要求，即认为合格。

5.5.4.2 绝对精度测试

测试验证 GNSS 信号模拟器输出射频信号的功率绝对精度是否符合指标要求。绝对精度测试框图见图 4。

测试步骤为：

- a) 如图 4 所示连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器输出被测频点的单颗卫星单载波信号；
- b) 设置功率计的测试频率为待测信号中心频率，测试带宽为发射信号带宽，测试模拟器输出被测频点的实际功率，测试 5 次求均方根值，即为被测频点的功率绝对精度；
- c) 重复步骤 b) 测出各被测频点的功率绝对精度。

测试结果分析：计算输出功率均方根误差，输出功率均方根误差满足指标 4.4.4 要求，即认为合格。

5.5.4.3 线性度测试

测试验证 GNSS 信号模拟器所产生单通道信号输出功率的线性度是否符合指标要求。线性度测试框图见图 4。

测试步骤为：

- a) 如图 4 所示连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器输出被测频点的单颗卫星单载波信号；
- b) 设置功率计的测试频率为待测信号中心频率，测试带宽为发射信号带宽，操作模拟器设置功率值从最大功率到最小功率变化，以 10dBm 为步进，测试出被测频点对应的实际输出功率；
- c) 设置的各测试点测试出的功率变化值与标称步进值作差，计算出被测频点的功率线性度；
- d) 重复步骤 b)、c) 测出的各被测频点的功率线性度。

测试结果分析：在功率范围内，以 10dBm 为步进，测得频点对应的实际输出功率与理论功率的差值满足指标 4.4.4 要求，即认为合格。

5.5.5 射频信号动态测试

5.5.5.1 高度测试

测试验证 GNSS 信号模拟器是否能仿真载体处于高空位置时接收到的导航信号。高度测试框图见图 2。

测试步骤为：

- a) 如图 2 所示连接好测试设备，使用编辑好的 TestSim12 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器输出对应的导航信号；
- b) 操作 GNSS 多系统标准接收机接收 GNSS 信号模拟器 15min 信号并对后 10min 信号进行定位测速解算，输出解算结果。

测试结果分析：对 GNSS 多系统标准接收机接收的后 10min 数据进行分析，解算出的高程均值与 GNSS 信号模拟器设置高程不小于 100km 做差不超过 ± 10 米即为合格。

5.5.5.2 最大速度测试

测试验证 GNSS 信号模拟器模拟的速度动态范围是否符合指标要求。最大速度测试框图见图 6。速度计算公式在附录 B 中给出。

测试步骤为：

- a) 操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下，输出被测频点的单颗卫星单载波信号；
- b) 如图 6 所示连接好测试设备，设置时间间隔计数器门控时间为 10s，记录时长 60s，操作时间间隔计数器测量被测频点输出信号频率 f_0 ；
- c) 操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim13 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下，输出被测频点的单颗卫星单载波信号；
- d) 如图 6 连接好测试设备，设置时间间隔计数器门控时间为 10s，记录时长 60s，操

作时间间隔计数器测量被测频点输出信号频率 f_1 ;

- e) 统计该频点与中心频率实际测量值 f_0 的偏差, $\Delta f = f_1 - f_0$, 依此计算出用户速度。

测试结果分析: 按照公式(B.1)计算测得频点信号的最大速度, 统计 10 次求均值满足指标 4.4.5 要求, 即认为合格。

5.5.5.3 速度分辨力测试

测试验证 GNSS 信号模拟器模拟的速度的分辨力是否符合指标要求。速度分辨力测试框图见图 6。速度计算公式在附录 B 中给出。

测试步骤为:

- 操作 GNSS 信号模拟器, 使用 TestSim01 测试场景(场景要求详见附录 A.1), 设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下, 输出被测频点的单颗卫星单载波信号;
- 如图 6 所示连接好测试设备, 设置时间间隔计数器门控时间为 10s, 记录时长 60s, 操作时间间隔计数器测量被测频点输出信号频率 f_0 ;
- 操作 GNSS 信号模拟器, 使用 TestSim14 测试场景(场景要求详见附录 A.1), 设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下, 输出被测频点的单颗卫星单载波信号;
- 如图 6 连接好测试设备, 设置时间间隔计数器门控时间为 10s, 记录时长 60s, 操作时间间隔计数器测量被测频点输出信号频率 f_1 ;
- 计算两个频率差值 $\Delta f = |f_1 - f_0|$, 依此计算用户速度分辨力;
- 统计 10 次测量结果, 取均值, 即为速度分辨力。

测试结果分析: 按照公式(B.1)计算测得频点信号的速度分辨力, 统计 10 次求均值判断其是否满足指标 4.4.5 要求, 若满足即认为合格。

5.5.5.4 最大加速度测试

测试验证 GNSS 信号模拟器模拟的加速度动态范围是否符合指标要求。最大加速度测试框图见图 6。加速度计算公式在附录 B 中给出。

测试步骤为:

- 操作 GNSS 信号模拟器, 使用 TestSim01 测试场景(场景要求详见附录 A.1), 设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下, 输出被测频点的单颗卫星单载波信号;
- 如图 6 连接好测试设备, 设置时间间隔计数器门控时间为 10s, 记录时长 60s, 操作时间间隔计数器测量被测频点输出信号频率 f_0 ;
- 操作 GNSS 信号模拟器, 使用 TestSim15 测试场景(场景要求详见附录 A.1), 设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下, 输出被测频点的单颗卫星单载波信号;
- 如图 6 连接好测试设备, 设置时间间隔计数器门控时间为 10s, 记录时长 60s 操作时间间隔计数器测量 GNSS 信号模拟器运行 Δt 秒后输出信号频率 f_1 ;
- 统计该频点在最大加速度动态场景下测得频率 f_1 与中心频率实际测量值 f_0 的偏差 $\Delta f = f_1 - f_0$, 依此计算出用户最大加速度值;

f) 重复步骤 a) 到 e) 测得被测 GNSS 信号模拟器各频点的最大加速度。

测试结果分析：按照公式 (B.2) 和 (B.3) 计算测得频点信号的最大加速度，统计 10 次求均值满足指标 4.4.5 要求，即认为合格。

5.5.5.5 加速度分辨力测试

测试验证 GNSS 信号模拟器模拟的加速度的分辨力是否符合指标要求。加速度分辨力测试框图见图 6。加速度计算公式在附录 B 中给出。

测试步骤为：

- a) 操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下，输出被测频点的单颗卫星单载波信号；
- b) 如图 6 连接好测试设备，设置时间间隔计数器门控时间为 10s，记录时长 60s，操作时间间隔计数器测量被测频点输出信号频率 f_0 ；
- c) 操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim16 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下，输出被测频点的单颗卫星单载波信号；
- d) 如图 6 连接好测试设备，设置计数器门控时间为 10s，记录时长 60s，操作时间间隔计数器测量 GNSS 信号模拟器运行 Δt 秒后输出信号频率 f_1 ；
- e) 统计该频点在 TestSim16 场景下测得的频率 f_1 与 TestSim01 测试场景下测得的中心频率实际测量值 f_0 的偏差， $\Delta f = f_1 - f_0$ ，依此计算出用户的加速度值；
- f) 统计 Δa 次数大于等于 10 次，取均值，即为被测 GNSS 信号模拟器的加速度分辨力。

测试结果分析：按照公式 (B.2) 和公式 (B.3) 计算测得频点信号的加速度分辨力，统计 10 次求均值若满足指标要求，即认为合格。

5.5.5.6 最大加加速度测试

测试验证 GNSS 信号模拟器模拟的加加速度动态范围是否符合指标要求。最大加加速度测试框图见图 6。加加速度计算公式在附录 B 中给出。

测试步骤为：

- a) 如图 6 连接好测试设备，操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下，输出被测频点的单颗卫星单载波信号；
- b) 设置计数器门控时间为 10s，记录时长 60s，操作时间间隔计数器测量被测频点输出信号频率 f_0 ；
- c) 使用 TestSim17 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下，输出被测频点的单颗卫星单载波信号；
- d) 设置计数器门控时间为 10s，记录时长 60s，操作时间间隔计数器测量被测频点输出信号 Δt 秒后频率 f_1 ，统计该频点与中心频率实际测量值 f_0 的偏差， $\Delta f = f_1 - f_0$ ，依此计算出用户加加速度；

e) 重复步骤 c)、d) 测得各被测频点最大加加速度。

测试结果分析：按照公式 (B.5) 和 (B.6) 计算测得频点信号的最大加加速度，统计 10 次求均值满足指标 4.4.5 要求，即认为合格。

5.5.5.7 加加速度分辨力测试

测试验证 GNSS 信号模拟器模拟的加加速度的分辨力是否符合指标要求。加加速度分辨力测试框图见图 6。加加速度计算公式在附录 B 中给出。

测试步骤为：

- a) 操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim01 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下，输出被测频点的单颗卫星单载波信号；
- b) 如图 6 所示连接好测试设备，设置计数器门控时间为 10s，记录时长 60s，操作时间间隔计数器测量被测频点输出信号频率 f_0 ；
- c) 操作 GNSS 信号模拟器，使用 TestSim18 测试场景（场景要求详见附录 A.1），设置 GNSS 信号模拟器工作在测试模式下，输出被测频点的单颗卫星单载波信号；
- d) 如图 6 所示连接好测试设备，设置计数器门控时间为 10s，记录时长 60s，操作时间间隔计数器测量 GNSS 信号模拟器运行 Δt 秒后输出信号频率 f_1 ；
- e) 统计该频点在 TestSim18 场景下测得的频率 f_1 与 TestSim01 测试场景下测得的中心频率实际测量值 f_0 的偏差， $\Delta f = f_1 - f_0$ ，依此计算出用户的加加速度值；
- f) 统计 ΔJ 次数大于等于 10 次，取均值，即为被测 GNSS 信号模拟器的加加速度分辨力。

测试结果分析：按照公式 (B.5) 和公式 (B.6) 计算测得频点信号的加加速度分辨力，统计 10 次求均值若满足指标要求，即认为合格。

5.6 接口测试

所有 GNSS 信号模拟器应按规定进行接口测试，具体测试项目包括：

- a) 用频谱分析仪测试 GNSS 信号模拟器的内部参考时钟输出接口输出的信号频率和功率，应符合产品规范要求；
- b) 给 GNSS 信号模拟器提供外部时钟信号，用示波器同时观测外部时钟信号和 GNSS 信号模拟器内部参考时钟输出接口输出信号，测试是否同步；
- c) 用示波器测试 GNSS 信号模拟器的内部参考秒脉冲输出接口，检查是否有秒脉冲输出，秒脉冲的上升沿稳定度、宽度及电平是否符合产品规范要求；
- d) 目测 GNSS 信号模拟器数据输出接头类型是否符合产品规范要求。

附录 A

(规范性附录)

推荐测试场景及数据格式要求

A.1 测试所需场景说明

测试所需场景的具体说明见表 A.1。

表 A.1 测试所需场景说明

序号	测试场景编号	场景说明
1	TestSim01	各导航系统仿真卫星的伪距为 0，伪距速度为 0、伪距加速度为 0 和伪距加加速度为 0，关闭电离层时延、对流层时延以及卫星钟差，使其为 0。
2	TestSim02	仿真用户轨迹为定点静态，卫星轨道、卫星钟差、电离层时延、对流层时延误差参数设置为无时变误差模式。
3	TestSim03	仿真用户轨迹为低动态（速度： $\leq 30\text{m/s}$ ，加速度： $\leq 10\text{m/s}^2$ ），卫星轨道、卫星钟差、电离层时延、对流层时延误差参数设置为无时变误差模式。
4	TestSim04	仿真用户轨迹为高动态（速度： $\geq 500\text{m/s}$ ，加速度： $\geq 50\text{m/s}^2$ ），卫星轨道、卫星钟差、电离层时延、对流层时延误差参数设置为无时变误差模式。
5	TestSim05	在仿真场景 TestSim02 的基础上加载天线方向图参数。
6	TestSim06	在仿真场景 TestSim02 的基础上设置各导航系统的闰秒参数，同时通过完好性参数设定每个系统一颗卫星为故障。
7	TestSim07	在仿真场景 TestSim02 的基础上，设定其所使用的星历文件为外部导入 RENIX 格式的星历。
8	TestSim08	各导航系统仿真卫星的伪距为 0，伪距速度为 0、伪距加速度为 0 和伪距加加速度为 0，关闭电离层时延、对流层时延以及卫星钟差，使其为 0；设定多径信号相对导航信号延迟 10ns。
9	TestSim09	仿真用户轨迹为定点静态，卫星轨道、卫星钟差、电离层时延、对流层时延误差参数设置为无时变误差模式；设定多径信号相对导航信号衰减 3dB。
10	TestSim10	各导航系统仿真卫星的伪距 n ($n \geq 0$) 米，伪距速度为 0、伪距加速度为 0 和伪距加加速度为 0，电离层、对流层误差参数模型关闭。
11	TestSim11	各导航系统仿真卫星的伪距初值为 0 米，伪距速度为 0.01m/s、伪距加速度为 0 和伪距加加速度为 0，关闭电离层时延、对流层时延以及卫星钟差，使其为 0。
12	TestSim12	设定场景仿真的用户坐标的高度为 100km，卫星轨道、卫星钟差、电离层时延、对流层时延误差参数设置为无时变误差模式
13	TestSim13	设定场景初始伪距固定 0，仿真所有卫星的径向速度固定为 8000m/s。
14	TestSim14	设定场景初始伪距固定 0，仿真所有卫星的径向速度固定为 0.01m/s。
15	TestSim15	设定场景初始伪距固定 0，仿真所有卫星的径向加速度固定为 900m/s^2 ，设定卫星在匀加速运行 Δt 秒后，加速度变为 0，保持匀速运动。

表 A.1 (续)

16	TestSim16	设定场景初始伪距固定 0, 仿真所有卫星的径向加速度固定为 0.01m/s^2 , 设定卫星在匀加速运行 Δt 秒后, 加速度变为 0, 保持匀速运动。
17	TestSim17	设定场景初始伪距固定 0, 仿真所有卫星的径向加加速度固定为 900m/s^3 , 设定卫星在匀加加速运行 Δt 秒后, 加加速度和加速度变为 0, 保持匀速运动。
18	TestSim18	设定场景初始伪距固定 0, 仿真所有卫星的径向加加速度固定为 0.01m/s^3 , 设定卫星在匀加加速运行 Δt 秒后, 加加速度和加速度变为 0, 保持匀速运动。

A.2 测试所需数据要求

GNSS 信号模拟器应具有仿真数据存储功能, 能够将数学仿真软件计算的各仿真历元时刻的下列信息按一定格式存成数据文件供测试比对和后处理分析, 具体包括:

- 各可见星位置、速度、方位角和仰角信息;
- 各可见星导航电文信息, 包括卫星轨道参数、星钟改正数、 T_{GD} 参数、UTC 参数等;
- 各信号状态参数信息, 包括伪距、载波多普勒、载波相位、信号功率等;
- 各距离误差项信息, 包括星钟误差、星历误差、电离层延迟、对流层延迟、 T_{GD} 参数等;
- 用户动态信息 (6 自由度), 包括位置、速度、加速度、俯仰角、横滚角、偏航角等;

能够读取按照指定格式提供的用户运动轨迹文件和姿态文件, 并按照这些文件定义的运动轨迹、姿态数据和天线增益参数仿真生成射频信号, 具体包括:

- 轨迹文件的基本数据格式为 $(t, x, y, z, vx, vy, vz, Ax, Ay, Az, Jx, Jy, Jz)$, 其中 t 为所需仿真的历元时刻(周计数+周内秒, BDT), 时间间隔 $20\text{ms} \sim 1\text{s}$ 可调(可事后储存); 位置(m)坐标 (x,y,z) 、速度(m/s)矢量 (vx,vy,vz) 、加速度 (m/s^2) 矢量 (Ax,Ay,Az) 、加加速度 (m/s^3) 矢量 (Jx,Jy,Jz) 均为 ECEF 坐标系下 (在同一坐标系下)。
- 姿态文件的基本格式为 $(t, \omega, A\omega, J\omega)$, 其中 t 为所需仿真的历元时刻(周计数+周内秒, BDT), 时间间隔 $20\text{ms} \sim 1\text{s}$ 可调 (可事后储存), (方位角)、(俯仰角)、(横滚角)、角速度 ω , 角加速度 $A\omega$, 角加加速度 $J\omega$ 。

A.3 输出数据文件命名、内容及格式要求

A.3.1 可见卫星信号状态参数文件的文件名具体说明见图 A.1, 输出文件格式见表 A.2。

SigParas_sig_ims.txt

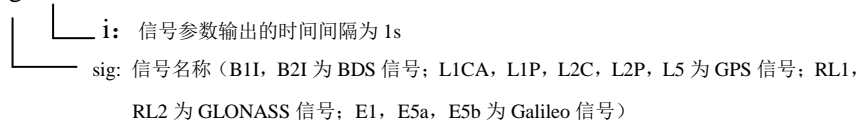


图 A.1 载体运动轨迹文件名说明

表 A.2 输出文件格式

序号	名称	内容	单位	数据类型	输出格式
1	Wn	整周计数 ^(a)	week	int	%d\t
2	R_tow	接收历元时刻对应的周内秒数 ^{a)}	s	double	%19.13lf\t
3	Pri	卫星 PRN 号	--	int	%3d\t
4	Elev	卫星仰角	rad	float	%8.5f\t
5	Azim	卫星方位角	rad	float	%8.5f\t
6	Anom_id	信号异常状态标识 ^(b)	--	int	%2d\t
7	Preu	伪距	m	double	%19.6lf\t
8	Dopp	载波多普勒频率	Hz	double	%16.6lf\t
9	Cp	载波相位	cycle	double	%19.6lf\t
10	Power	接收功率	-dBm	float	%7.3f\t
11	Iono	电离层延迟	m	double	%12.6lf\t
12	Tropo	对流层延迟	m	double	%12.6lf\t
13	Eph_err	星历误差	m	double	%12.6lf\t
14	Clk_err	星钟误差	m	double	%19.6lf\t
15	Mp_code_err	码多径误差	m	double	%12.6lf\t
16	Mp_carr_err	载波相位多径误差	m	double	%12.6lf\t
17	Mdr	多径-直达信号幅度比	dB	float	%9.3f\t
18	Sx	卫星位置坐标 x ^(c)	m	double	%19.6lf\t
19	Sy	卫星位置坐标 y ^(c)	m	double	%19.6lf\t
20	Sz	卫星位置坐标 z ^(c)	m	double	%19.6lf\t
21	Vx	卫星 x 轴速度 ^(c)	m/s	Double	%19.11lf\t
22	Vy	卫星 y 轴速度 ^(c)	m/s	Double	%19.11lf\t
23	Vz	卫星 z 轴速度 ^(c)	m/s	Double	%19.11lf\t
24	Ux	用户位置坐标 x ^(c)	m	Double	%19.6lf\t
25	Uy	用户位置坐标 y ^(c)	m	Double	%19.6lf\t
26	Uz	用户位置坐标 z ^(c)	m	Double	%19.6lf\t
27	Uvx	用户 x 轴速度 ^(c)	m/s	Double	%19.11lf\t
28	Uvy	用户 y 轴速度 ^(c)	m/s	Double	%19.11lf\t
29	Uvz	用户 z 轴速度 ^(c)	m/s	Double	%19.11lf\t

注：（a）以相应系统的时间基准为参照。对于 GLONASS 系统，可将历元时刻转换为从 1996 年 1 月 1 日开始的整周计数和周内秒数的形式。

（b）所仿真的信号异常状态标识：0）正常；1）卫星信号故障；2）卫星伪距跳变；3）卫星功率跳变。

（c）在相应系统的 ECEF 坐标系中的三维位置、速度。

A.3.2 载体运动轨迹的文件名说明见图 A.1，文件格式具体内容见表 A.3。

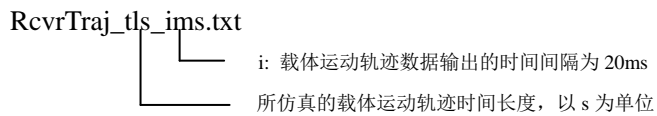


图 A.1 载体运动轨迹文件名说明

表 A.3 载体运动轨迹文件格式

序号	名称	内容	单位	数据类型	输出格式
1	Wn	整周计数 ^(a)	week	Int	%d\t
2	R_tow	接收历元时刻对应的周内秒 ^(a)	s	Double	%19.13lf\t
3	Rcvr_x	位置坐标 x ^(b)	m	Double	%19.6lf\t
4	Rcvr_y	位置坐标 y ^(b)	m	Double	%19.6lf\t
5	Rcvr_z	位置坐标 z ^(b)	m	Double	%19.6lf\t
6	Rcvr_vx	x 轴速度 ^(b)	m/s	Double	%19.11lf\t
7	Rcvr_vy	y 轴速度 ^(b)	m/s	Double	%19.11lf\t
8	Rcvr_vz	z 轴速度 ^(b)	m/s	Double	%19.11lf\t
9	Rcvr_ax	x 轴加速度 ^(b)	m/s ²	Double	%19.11lf\t
10	Rcvr_ay	y 轴加速度 ^(b)	m/s ²	Double	%19.11lf\t
11	Rcvr_az	z 轴加速度 ^(b)	m/s ²	Double	%19.11lf\t
12	Pitch	俯仰角	Rad	Float	%9.6f\t
13	Roll	横滚角	Rad	Float	%9.6f\t
14	Yaw	偏航角	rad	Float	%9.6f\t\n
15	Rcvr_a2x	x 轴加加速度 ^(b)	m/s ³	Double	%19.11lf\t
16	Rcvr_a2y	y 轴加加速度 ^(b)	m/s ³	Double	%19.11lf\t
17	Rcvr_a2z	z 轴加加速度 ^(b)	m/s ³	Double	%19.11lf\t

注：(a) 对于 GLONASS 系统，可将历元时刻转换为从 1996 年 1 月 1 日开始的整周计数和周内秒数的形式。

(b) 接收机天线相位中心在相应系统的 ECEF 坐标系中的三维位置、速度、加速度。

附录 B

(资料性附录)

射频仿真信号动态范围性能指标的测试计算方法

B.1 速度计算

记录在设定卫星静止状态下对应的单载波信号中心频率值 f_0 ；记录在设定速度参数下对应的单载波信号中心频率值 f_1 ；计算其中心频率的偏移量 $\Delta f = f_1 - f_0$ ，速度由公式 (B.1)

计算得出：

$$v = \frac{\Delta f \times c}{f_0} \dots\dots\dots(B.1)$$

式中：

v ——速度测量值；

c ——光速，其取值为 299792458.0m/s。

B.2 加速度计算：

记录在设定卫星静止状态下对应的单载波信号中心频率值 f_0 ；记录在所设定加速度参数下单载波信号中心频率在测试时间 Δt 内的偏移量 Δf ，加速度测量值由公式 B.2 和公式

B.3 得出：

$$a = \frac{v}{\Delta t} \dots\dots\dots(B.2)$$

$$v = \frac{\Delta f \times c}{f_0} \dots\dots\dots(B.3)$$

式中：

a ——加速度测量值；

Δf ——中心频率的偏移量。

B.3 加加速度计算：

记录在设定卫星静止状态下对应的单载波信号中心频率值 f_0 ；记录在所设定加加速度参数下单载波信号中心频率从信号发出后 Δt 内的偏移量 Δf ，加加速度测量值由公式 B.4

和公式 B.5 得出：

$$b = \frac{2 \times v}{\Delta t^2} \dots\dots\dots(B.4)$$

$$v = \frac{\Delta f \times c}{f} \dots\dots\dots(B.5)$$

式中：

b —— 加速度测量值；

Δf —— 中心频率的偏移量。
