



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 39413—2020

---

## 北斗卫星导航系统信号模拟器 性能要求及测试方法

Performance requirements and test methods for BeiDou navigation  
satellite system signal simulator

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

目 次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义、缩略语..... 1

    3.1 术语和定义 ..... 1

    3.2 缩略语 ..... 1

4 概述 ..... 2

5 要求 ..... 2

    5.1 功能要求 ..... 2

    5.2 性能要求 ..... 3

6 测试条件 ..... 4

    6.1 测试环境 ..... 4

    6.2 测试设备 ..... 4

    6.3 测试模式 ..... 5

7 测试方法 ..... 6

    7.1 功能测试 ..... 6

    7.2 性能测试 ..... 10

附录 A（资料性附录） 各卫星导航系统信号频点、中心频率、码速率 ..... 18

附录 B（规范性附录） 导航信号模拟器测试场景要求 ..... 19

附录 C（资料性附录） 存储数据文件内容、格式说明 ..... 21

附录 D（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 ..... 24

参考文献 ..... 25



## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中央军委装备发展部提出。

本标准由全国北斗卫星导航标准化技术委员会(SAC/TC 544)归口。

本标准起草单位：国防科技大学、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、测控与导航技术国家地方联合工程研究中心、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、长沙北斗产业安全技术研究院、北京华力创通科技股份有限公司。

本标准主要起草人：杨俊、明德祥、刘莹、钟小鹏、吴海玲、许冬彦、王礼亮、魏巍、叶红军、刘春阳、刘志俭、唐大泉、孙东、李东俊。

# 北斗卫星导航系统信号模拟器 性能要求及测试方法

## 1 范围

本标准规定了北斗卫星导航系统信号模拟器的概述、要求、测试条件和测试方法。

本标准适用于北斗卫星导航系统信号模拟器(以下简称“导航信号模拟器”)的研制、设计、生产和验收测试,可作为制定导航信号模拟器技术文件的依据。

## 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。

GB/T 39267—2020 北斗卫星导航术语

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

## 3 术语和定义、缩略语

### 3.1 术语和定义

GB/T 39267—2020、JJF 1188—2008、JJF 1471—2014 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1.1

**导航信号模拟器 navigation signal simulator**

能够按照 BDS/GPS/GLONASS/Galileo 等导航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一种标准信号生成设备。

#### 3.1.2

**仿真场景 simulation scenarios**

导航信号模拟器为表征卫星导航用户终端观测到的卫星信号特征和信号环境特征而定义的一组数据。

#### 3.1.3

**零值 time delay**

在任一仿真接收历元时刻,导航信号模拟器射频端口输出导航信号的码相位对应伪距值与导航信号模拟器在该历元时刻的伪距记录值之间的差值。

#### 3.1.4

**BOC 调制 binary offset carrier**

一种在 BPSK 调制基础上增加一个二进制副载波的调制方式。

### 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

- BDS:北斗卫星导航系统(BeiDou Navigation Satellite System)  
BOC:二进制偏移载波(Binary Offset Carrier)  
BPSK:二进制相移键控(Binary Phase Shift Keying)  
ECEF:地心地固坐标系(Earth-Centered,Earth-Fixed)  
GALILEO:伽利略卫星导航系统(Galileo Navigation Satellite System)  
GLONASS:格洛纳斯卫星导航系统(Global Navigation Satellite System)  
GNSS:全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System)  
GPS:全球定位系统(Global Positioning System)  
ICD:接口控制文件(Interface Control Document)  
PPS:每秒脉冲数(Pulse Per Second)  
QPSK:四相移键控调制(Quadrature Phase Shift Keying)  
RMS:均方根(Root Mean Square)  
TGD:群延迟时间改正(Time Correction of Group Delay)  
UTC:协调世界时(Universal Time Coordinated)

4 概述

导航信号模拟器是一种高精度的标准信号生成设备,可为卫星导航用户终端的研制开发、测试检验提供仿真环境,其主要包含仿真控制、数学仿真、信号生成、时频基准、信号功率控制 5 类基本功能模块:

- a) 仿真控制模块实现参数配置、状态监测功能;
- b) 数学仿真模块按照仿真参数计算生成导航数据;
- c) 信号生成模块根据数学仿真模块计算的导航数据生成射频信号;
- d) 时频基准模块提供时间和频率基准;
- e) 信号功率控制模块完成输出导航信号的功率控制。

各模块连接关系见图 1 所示。

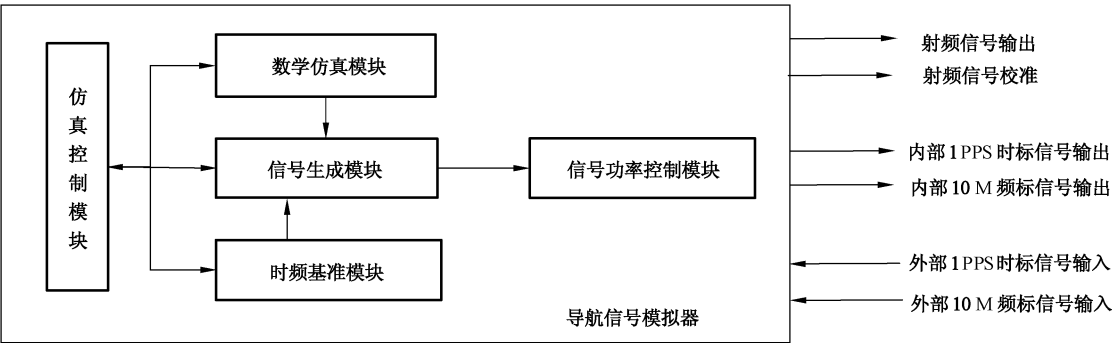


图 1 导航信号模拟器设备功能框图

5 要求

5.1 功能要求

5.1.1 信号种类

导航信号模拟器应能模拟 GNSS 全球导航卫星系统中至少一个 BDS 的公开服务信号,各卫星导航

系统信号频点、中心频率、码速率参见附录 A,具体信号结构、信号特性等详细信息参见其空间信号接口控制文件(ICD)。

### 5.1.2 数学仿真功能

应能完成卫星星座仿真、大气传播仿真、用户轨迹仿真、天线建模仿真、特殊事件仿真、外部星历注入和多路径仿真功能。具体要求应包括:

- a) 卫星星座仿真:应具备 BDS 星座或 BDS 与其他星座的混合仿真功能,具体包括卫星轨道仿真、卫星钟差仿真、设备时延 TGD 仿真、地球自转效应仿真和相对论效应仿真;
- b) 大气传播仿真:应具备电离层延迟仿真和对流层延迟仿真功能;
- c) 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;
- d) 天线建模仿真:应具备用户终端天线方向图的参数自配置和参数外部导入建模仿真功能;
- e) 特殊事件仿真:应具备闰秒调整、卫星故障、卫星伪距跳变仿真功能;
- f) 外部星历注入:应支持按外部输入的星历进行仿真的功能;
- g) 多路径仿真:应具备多路径仿真功能,多路径信号的时延、衰减可调。

### 5.1.3 射频信号校准功能

导航信号模拟器所输出射频信号功率和零值应具备可校准功能,能够通过参数配置进行修正。

## 5.2 性能要求

### 5.2.1 射频信号规模

射频信号规模具体要求应包括:

- a) 每频点主路径信号通道数量: $\geq 12$ ;
- b) 每频点多路径信号通道数量: $\geq 4$ 。

### 5.2.2 射频信号精度

射频信号精度具体要求应包括:

- a) 伪距相位误差: $\leq 0.05$  m;
- b) 伪距变化率误差: $\leq 0.01$  m/s;
- c) 码相位通道间一致性: $\leq 0.05$  m;
- d) IQ 支路载波相位调制正交性: $< 3^\circ (1\sigma)$ ;
- e) 零值误差: $\leq 0.1$  m(校准后)。

### 5.2.3 射频信号质量

射频信号质量具体要求应包括:

- a) 相位噪声:指标要求应符合表 1 的规定;
- b) 杂波抑制(带内): $\leq -40$  dBc;
- c) 谐波抑制(二次): $\leq -35$  dBc。

表 1 相位噪声指标要求

偏移中心频率 Hz	相位噪声 dBc/Hz
10	—60
100	—75
1 k	—80
10 k	—85
100 k	—95

#### 5.2.4 时间频率基准

时间频率基准具体要求应包括：

- a) 频率稳定度： $\leq 5 \times 10^{-11}/\text{s}$ ；
- b) 频率准确度： $\leq 5 \times 10^{-8}$ 。

#### 5.2.5 射频信号功率

射频信号功率具体要求应包括：

- a) 功率绝对误差： $\leq 2 \text{ dB}$ ；
- b) 功率线性度： $\leq 1 \text{ dB}/10 \text{ dB}$ ；
- c) 功率范围：
  - 动态范围： $\geq 60 \text{ dB}$ ；
  - 最大输出功率： $\geq -90 \text{ dBm}$ 。

#### 5.2.6 射频信号动态

射频信号动态具体要求应包括：

- a) 最大高度： $\geq 100 \text{ km}$ ；
- b) 最大速度： $\geq 8\,000 \text{ m/s}$ ；
- 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： $\leq 0.01 \text{ m/s}^3$ 。

### 6 测试条件

#### 6.1 测试环境

除非在技术文件中另有规定，所有测试应在满足如下环境条件下进行：

- a) 温度： $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；
- b) 相对湿度： $\leq 80\%$ 。

#### 6.2 测试设备

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。具体测试设备清单见表 2。测试设

备和被测导航信号模拟器均需按各自技术文件要求进行预热。

表 2 测试所需设备清单及其指标要求

序号	仪器名称	仪器性能指标要求
1	频谱分析仪 (含测量接收机插件)	a) 频率测量范围: $\geq 5$ GHz b) 频率分辨力: $\leq 1$ Hz c) 输入信号电平范围: $-110$ dBm $\sim$ $+20$ dBm d) 显示平均噪声电平: $\leq -140$ dBm/Hz e) 支持信号相位噪声测试: $\leq -100$ dBc/Hz(10 kHz 偏置) f) 绝对功率电平误差: $\pm 0.2$ dB g) 功率电平线性: $\pm 0.01$ dB/10 dB
2	高速示波器	a) 带宽: $\geq 3$ GHz b) 通道数: $\geq 2$ 个 c) 通道采样速率: $\geq 20$ GSa/s
3	时间间隔计数器	a) 频率范围: 225 MHz $\sim$ 3 GHz b) 频率分辨力: 12 bit/s
4	矢量网络分析仪	a) 频率范围: 10 MHz $\sim$ 3 GHz b) 解调分析带宽: 120 MHz c) 支持对 BPSK/QPSK 格式的调制信号进行采样分析
5	GNSS 接收机	a) 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 b) 定位精度: $\leq 5$ m c) 测速精度: $\leq 0.1$ m/s d) 高程测量范围: $> 100$ km
6	功率计 (含功率传感器)	a) 频率范围: 10 MHz $\sim$ 3 GHz b) 测量范围: $-70$ dBm $\sim$ $+20$ dBm c) 最小分辨力: 0.01 dB
7	测量接收机	a) 频率范围: 100 kHz $\sim$ 3.6 GHz b) 测量范围: $-140$ dBm $\sim$ 10 dBm c) 最小分辨力: 0.01 dB
8	原子频率标准	a) 频率稳定度(秒稳): $\leq 1 \times 10^{-12}$ b) 频率准确度: $\leq 1 \times 10^{-9}$
9	频标比对器	a) 测量范围: 10 MHz b) 对比不确定度: 优于 $1 \times 10^{-12}$ /s

6.3 测试模式

导航信号模拟器包含用户模式和标定模式：

- a) 用户模式: 输出卫星导航用户终端能够正常工作的导航信号；
- b) 标定模式: 输出指定频点、指定卫星、指定支路且功率不低于  $-25$  dBm 的大功率射频信号(必



要时可配合使用低噪声放大器)输出模式,主要用于导航信号模拟器的自测试与自校准。

注:在标定模式下,利用示波器观测 BOC 调制信号时域相位翻转点时,可关闭副载波进行采样。

## 7 测试方法

### 7.1 功能测试

#### 7.1.1 信号种类

信号种类测试连接框图见图 2。

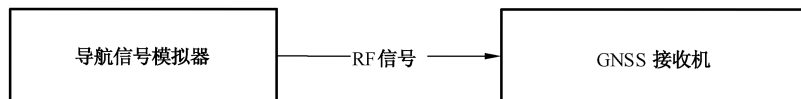


图 2 信号种类测试框图

测试步骤包括:

- 按图 2 所示将导航信号模拟器与 GNSS 接收机连接;
- 操作导航信号模拟器,加载 TestSim01 测试场景(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在用户模式下,输出所支持的所有导航系统/频点的信号;
- 操作 GNSS 接收机接收捕获导航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 20 min)GNSS 接收机所解算信息数据。

测试结果分析步骤包括:

- GNSS 接收机定位后显示捕获使用的信号频点与导航信号模拟器输出信号的频点相同;
- GNSS 接收机三维定位精度在 10 m(RMS)以内;
- a)、b)两项都满足,则判定该功能具备。

#### 7.1.2 数学仿真功能

##### 7.1.2.1 卫星星座仿真

卫星星座仿真功能测试连接框图见图 2。测试步骤包括:

- 按图 2 所示将导航信号模拟器与 GNSS 接收机连接;
- 操作导航信号模拟器,加载测试场景 TestSim02(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在用户模式下,单频点导航信号输出,并存储可见卫星信号状态参数文件(存储数据格式参见附录 C);
- 操作 GNSS 接收机接收导航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 20 min)GNSS 接收机所解算信息数据;
- 更换所支持其他星座频点,重复 b)、c)测试步骤。

测试结果分析步骤包括:

- 导航信号模拟器存储卫星参数与理论数据三维误差 $\leq 0.1$  m;
- GNSS 接收机能够实现解算定位,三维定位精度在 10 m(RMS)以内;
- a)、b)两项都满足,则判定该功能具备。

##### 7.1.2.2 大气传播仿真

大气传播仿真功能测试连接框图见图 2。测试步骤包括:

- a) 按图 2 所示将导航信号模拟器与 GNSS 接收机连接；
- b) 操作导航信号模拟器,加载测试场景 TestSim01(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在用户模式下,单频点导航信号输出,并存储可见卫星信号状态参数文件(存储数据格式参见附录 C)；
- c) 操作 GNSS 接收机接收导航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 20 min)GNSS 接收机所解算信息数据；
- d) 更换所支持其他星座频点,重复 b)、c)测试步骤。

测试结果分析:比对导航信号模拟器存储的理论电离层/对流层延迟与 GNSS 接收机解算出的电离层/对流层延迟,若仰角大于  $10^\circ$  的所有卫星电离层误差小于 0.2 m(RMS),对流层小于 0.3 m(RMS),则判定该项功能正常。

### 7.1.2.3 用户轨迹仿真

用户轨迹仿真功能测试连接框图见图 2。测试步骤包括：

- a) 按图 2 所示将导航信号模拟器与 GNSS 接收机连接；
- b) 操作导航信号模拟器,依次加载用户静态测试场景 TestSim01、用户低动态测试场景 TestSim03 和用户高动态测试场景 TestSim04(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在用户模式下,单频点导航信号输出,并存储载体运动轨迹文件(存储数据格式参见附录 C)；
- c) 操作 GNSS 接收机接收导航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 20 min)GNSS 接收机解算出的定位结果数据。

测试结果分析:比对 GNSS 接收机实测数据与导航信号模拟器存储的理论数据,若满足定位精度小于 10 m(RMS),测速精度小于 0.2 m/s(RMS),则判定该项功能正常。

### 7.1.2.4 天线建模仿真

天线建模仿真测试连接框图见图 2。测试步骤包括：

- a) 按图 2 所示将导航信号模拟器与 GNSS 接收机连接；
- b) 操作导航信号模拟器,加载测试场景 TestSim01(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在用户模式下,单频点导航信号输出；
- c) 操作 GNSS 接收机接收导航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 20 min)的 GNSS 接收机解算出的卫星状态信息数据 Data1；
- d) 导航信号模拟器更换场景 TestSim05(场景要求见附录 B),操作 GNSS 接收机存储本测试周期内(测试时间不少于 20 min)的 GNSS 接收机解算出的卫星状态信息数据 Data2；
- e) 导航信号模拟器更换场景 TestSim06(场景要求见附录 B),操作 GNSS 接收机存储本测试周期内(测试时间不少于 20 min)的 GNSS 接收机解算出的卫星状态信息数据 Data3。

测试结果分析步骤包括：

- a) 将 Data1 和 Data2 中任意一颗相同卫星的增益值作差,然后将该差值与导航信号模拟器设定的天线增益值作差比对；
- b) 将 Data1 和 Data3 中任意一颗相同卫星的增益值作差,然后将该差值与导航信号模拟器设定的天线增益值作差比对；
- c) a)、b)两项中,与模拟器设定值之差都小于 1 dB,则判定该功能具备。

### 7.1.2.5 特殊事件仿真

#### 7.1.2.5.1 闰秒调整及卫星故障仿真测试

闰秒调整及卫星故障仿真功能测试连接框图见图 2。测试步骤包括：

- a) 按图 2 所示将导航信号模拟器与 GNSS 接收机相连接；
- b) 操作导航信号模拟器,加载测试场景 TestSim07(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在用户模式下,单频点导航信号输出；
- c) 操作 GNSS 接收机接收导航信号模拟器输出的导航信号,并存储本测试周期(测试时间不少于 20 min)解算出的星历数据。

测试结果分析:比对 GNSS 接收机解算的闰秒调整参数、卫星故障参数与导航信号模拟器的设定参数值,如果一致,则判定导航信号模拟器闰秒调整及卫星故障仿真功能正常。

7.1.2.5.2 卫星伪距跳变仿真功能测试

卫星伪距跳变仿真功能测试连接框图见图 2。测试步骤包括:

- a) 按图 2 所示将导航信号模拟器与 GNSS 接收机相连接；
- b) 操作导航信号模拟器,加载测试场景 TestSim08(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在用户模式下,单频点导航信号输出,并存储可见卫星状态参数文件(存储数据格式参见附录 C)；
- c) 操作 GNSS 接收机接收导航信号模拟器输出的导航信号,并存储本测试周期(测试时间不少于 20 min)解算出的伪距值。

测试结果分析:比对 GNSS 接收机解算输出的卫星伪距值与导航信号模拟器存储的卫星伪距值,若误差不超过 10m(RMS),则判定导航信号模拟器卫星伪距跳变异常仿真功能正常。

7.1.2.6 外部星历注入仿真

外部星历注入仿真功能测试连接框图见图 2。测试步骤包括:

- a) 按图 2 所示将导航信号模拟器与 GNSS 接收机相连接；
- b) 操作导航信号模拟器,加载测试场景 TestSim09(场景要求见附录 B,文件格式符合 RINEX3.03 格式星历文件),导航信号模拟器工作在用户模式下,单频点导航信号输出；
- c) 操作 GNSS 接收机接收导航信号模拟器输出的导航信号,并存储本测试周期(测试时间不少于 20 min)解算得到的系统星历数据。

测试结果分析:GNSS 接收机解算存储的星历参数与导航信号模拟器仿真所用的星历参数一致,则判定该功能正常。

7.1.2.7 多路径仿真

多路径信号时延测试连接框图见图 3,多路径信号衰减测试连接框图见图 4。

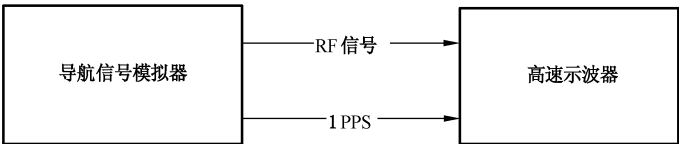


图 3 多路径信号时延测试框图

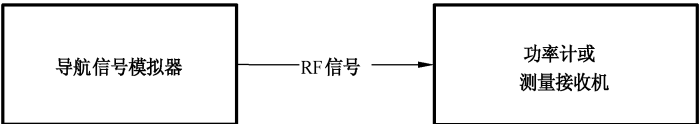


图 4 多路径信号衰减测试框图

测试步骤包括：

- a) 按图 3 所示将导航信号模拟器与高速示波器相连接；
- b) 操作导航信号模拟器，加载 TestSim10 测试场景(场景要求见附录 B)，导航信号模拟器工作在标定模式下，设置测试频点为单颗卫星最大信号功率输出，调制方式设置为 BPSK 或 BOC；
- c) 操作高速示波器，以 1PPS 信号作为触发信号，测量测试频点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 60 s；
- d) 操作高速示波器，以 1PPS 信号作为触发信号，测量测试频点多路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 60 s；
- e) 计算并记录导航信号和多路径信号时延测试的平均值的差值  $\Delta T$ ；
- f) 更换多路径通道，重复 d)、e) 测试步骤；
- g) 按图 4 所示将导航信号模拟器与功率计或测量接收机相连接；
- h) 操作导航信号模拟器，加载 TestSim11 测试场景(场景要求见附录 B)，设定导航信号模拟器工作在标定模式下，设置测试频点为单颗卫星最大信号功率输出，调制方式设置为 BPSK 或 BOC；
- i) 设置功率计或测量接收机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  $P_1$ ；
- j) 设置功率计或测量接收机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路径信号的功率值  $P_2$ ；
- k) 计算并记录导航信号和多路径信号功率测试的差值  $\Delta P$ ；
- l) 更换多路径通道，重复 j)、k) 测试步骤；
- m) 更换测试频点，重复 b)～l) 测试步骤。

测试结果分析步骤包括：

- a) 导航信号和多路径信号的时延差值  $\Delta T$  与 TestSim10 测试场景中设定的多路径信号时延值之差优于 1 ns；
- b) 导航信号和多路径信号的功率差值  $\Delta P$  与 TestSim11 测试场景中设定的多路径信号功率值之差优于 0.5 dB；
- c) a)、b) 两项同时满足，则判定该功能正常。

### 7.1.3 射频信号校准功能

#### 7.1.3.1 射频信号零值校准

射频信号零值校准功能测试连接框图见图 3。测试步骤包括：

- a) 按图 3 所示将导航信号模拟器与高速示波器相连接；
- b) 操作导航信号模拟器，加载 TestSim12 测试场景(场景要求见附录 B)，导航信号模拟器工作在标定模式下，设置测试频点为单颗卫星最大信号功率输出，调制方式设置为 BPSK 或 BOC；
- c) 操作高速示波器，以 1PPS 信号作为触发信号，测量测试频点导航信号的相位翻转点和 1PPS 信号上升沿的时延均值  $T$ ，每秒记录 1 次时延，记录时长 60 s；
- d) 更换测试频点，重复 b)、c) 测试步骤；
- e) 停止信号仿真，参照技术文件要求，将所测零值校准到导航信号模拟器中；
- f) 模拟器断电重启，重复步骤 b)～d) 测试步骤，测得校准后的各频点零值。

测试结果分析：导航信号模拟器具备零值校准接口，且校准后各频点零值  $\leq 0.1$  m，即判定具备该功能。

### 7.1.3.2 射频信号功率校准

射频信号功率校准功能测试连接框图见图 5。

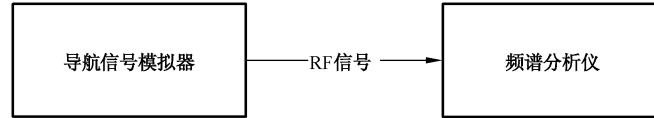


图 5 射频信号功率校准测试框图

测试步骤包括：

- 按图 5 所示将导航信号模拟器与频谱分析仪相连接；
- 操作导航信号模拟器，加载 TestSim12 测试场景（场景要求见附录 B），导航信号模拟器工作在标定模式下，设置测试频点为单颗卫星最大功率信号输出，调制方式设置为 BPSK 或 BOC；
- 操作频谱分析仪测量测试频点信号的功率，重复测量 5 次求均值；
- 计算导航信号模拟器测试频点的标称功率与测量功率值的差值；
- 停止信号仿真，将测得的功率差值修正到导航信号模拟器中；
- 重复 b)、c) 中的测试步骤，测得校准后的导航信号模拟器测试频点的标称功率  $P_0$ ；
- 参照技术文件要求，重新修正功率参数至超出功率标称值指标要求，重复 b)～f) 中的测试步骤，测得校准后的导航信号模拟器测试频点的标称功率  $P_1$ 。

测试结果分析步骤包括：

- $P_0$  与技术文件要求中的标称功率指标差值  $\leq 2$  dB；
- $P_1$  与技术文件要求中的标称功率指标差值  $\leq 2$  dB；
- 若 a)、b) 皆满足，则判定具备该功能。

## 7.2 性能测试

### 7.2.1 射频信号规模

射频信号规模测试连接框图见图 2。测试步骤包括：

- 按图 2 所示将导航信号模拟器与 GNSS 接收机相连接；
- 操作导航信号模拟器，加载 TestSim12 测试场景（场景要求见附录 B），导航信号模拟器工作在标定模式下，输出所支持的所有导航系统/频点的信号；
- 操作 GNSS 接收机接收导航信号模拟器信号；存储本测试周期内（测试时间不少于 20 min）GNSS 接收机解算数据；
- 多路径信号规模测试方法见 7.1.2.7。

测试结果分析：

- 对 GNSS 接收机解算数据的后 10 min 的数据进行分析，每频点能够捕获跟踪的卫星数量  $\geq 12$ ；
- 多路径信号数量  $\geq 4$  路；
- 若 a)、b) 皆满足，则判定具备该功能。

### 7.2.2 射频信号精度

#### 7.2.2.1 伪距相位误差

伪距相位误差测试连接框图见图 3。测试步骤包括：

- a) 按图 3 所示将导航信号模拟器与高速示波器相连接；
- b) 操作导航信号模拟器,加载 TestSim12 测试场景(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在标定模式下,设置测试频点为单颗卫星最大信号功率输出,调制方式设置为 BPSK 或 BOC；
- c) 操作高速示波器,以 1PPS 信号作为触发信号,测量测试频点导航信号的相位翻转点和 1PPS 信号上升沿的时延均值  $T_0$ ,每秒记录 1 次时延,记录时长 60 s；；
- d) 更换使用 TestSim13 测试场景(场景要求见附录 B),重复 b)、c)步骤,测量出时延均值  $T_1$ ；
- e) 更换测试频点,重复 c)、d)测试步骤。

测试结果分析:按照公式(1)计算射频信号伪距相位误差  $S$ ,若所有频点计算结果皆 $\leq 0.05$  m,即判定合格。

$$S = (T_1 - T_0) \times c - n \dots\dots\dots (1)$$

式中:  
 $S$  ——伪距相位误差,单位为米(m);  
 $T_1$  ——TestSim13 测试场景下的时延均值,单位为秒(s);  
 $T_0$  ——TestSim12 测试场景下的时延均值,单位为秒(s);  
 $c$  ——光速,其取值为 299 792 458.0 m/s;  
 $n$  ——仿真场景中设置的仿真卫星的伪距,单位为米(m)。

7.2.2.2 伪距变化率误差

伪距变化率误差测试连接框图见图 6。

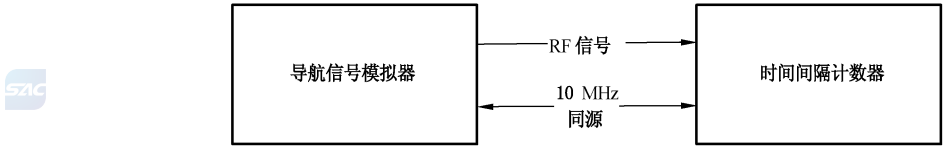


图 6 伪距变化率误差测试框图

测试步骤包括:

- a) 按图 6 所示将导航信号模拟器与时间间隔计数器相连接；
- b) 操作导航信号模拟器,加载 TestSim12 测试场景(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在标定模式下,设置测试频点为单颗卫星单载波信号输出(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)；
- c) 操作时间间隔计数器,设置其门控时间为 10 s,记录时长 60 s,读出测试频点在该场景下的频率值  $f_0$ ；
- d) 使用 TestSim14 测试场景(场景要求见附录 B),重复 b)、c)步骤,读出测试频点在该场景下的频率值  $f_1$ ；
- e) 更换测试频点,重复 c)、d)测试步骤。

测试结果分析:按照公式(2)计算射频信号伪距变化率误差,若所有频点测量结果 $\leq 0.01$  m/s,即判定合格。

$$\rho_r = \frac{(f_1 - f_0) \times c}{f_0} \dots\dots\dots (2)$$

式中:  
 $\rho_r$  ——伪距变化率误差,单位米每秒(m/s);  
 $c$  ——光速,其取值为 299 792 458.0 m/s;



$f_0$ ——TestSim12 测试场景下的测量频率值；

$f_1$ ——TestSim14 测试场景下的测量频率值。

### 7.2.2.3 码相位通道间一致性

码相位通道间一致性测试连接框图见图 3。测试步骤包括：

- 按图 3 所示将导航信号模拟器与高速示波器相连接；
- 操作导航信号模拟器,加载 TestSim12 测试场景(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在标定模式下,设置为单频点单颗卫星信号输出,调制方式设置为 BPSK 或 BOC；
- 操作高速示波器,以 1PPS 信号作为触发信号,测量所测通道卫星信号的相位翻转点和 1PPS 信号上升沿的时延均值  $T$ ,每秒记录 1 次时延,记录时长 60 s；
- 更换测试通道,重复 b)、c)测试步骤,得到被测频点不同通道的时延均值  $T_i (i=1,2,\dots,n)$ 。

测试结果分析:将  $T_i (i=1,2,\dots,n)$  排序得到的最大值、最小值互差,若互差结果  $\leq 0.05$  m,即判定该频点合格。

### 7.2.2.4 IQ 支路载波相位调制正交性

IQ 支路载波相位调制正交性测试连接框图见图 7。



图 7 IQ 支路载波相位调制正交性测试框图

测试步骤包括：

- 按图 7 所示将导航信号模拟器与矢量网络分析仪相连接；
- 操作导航信号模拟器,加载 TestSim12 测试场景(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在标定模式下,设置测试频点为单颗卫星信号输出,调制方式设置为 QPSK；
- 操作矢量网络分析仪,设置调制模式,频点、带宽、码速率和信号功率根据待测频点的实际值进行设置；
- 设置矢量网络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；
- 矢量网络分析仪上设置取 10 次均值直接读取正交误差；
- 更换测试频点,重复 b)~e)测试步骤。

测试结果分析:所测频点信号的正交误差皆满足指标  $< 3^\circ (1\sigma)$ ,即判定合格。

### 7.2.2.5 零值误差

零值误差测试连接框图见图 3。测试步骤包括：

- 按图 3 所示将导航信号模拟器与高速示波器相连接；
- 操作导航信号模拟器,加载 TestSim12 测试场景(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在标定模式下,设置测试频点为单颗卫星最大信号功率输出,调制方式设置为 BPSK 或 BOC；
- 操作高速示波器,以 1PPS 信号作为触发信号,测量测试频点导航信号的相位翻转点和 1PPS 信号上升沿的时延均值  $T$ ,每秒记录 1 次,记录时长 60 s；
- 更换测试频点,重复 b)、c)测试步骤。

测试结果分析:所测频点时延均值都满足  $\leq 0.1$  m,即判定合格。

7.2.3 射频信号质量

7.2.3.1 相位噪声

相位噪声测试连接框图见图 5。测试步骤包括：

- a) 如图 5 所示连接导航信号模拟器与频谱分析仪；
- b) 操作导航信号模拟器,加载 TestSim12 测试场景(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在标定模式下,设置测试频点为单颗卫星单载波信号输出；
- c) 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 10 Hz、100 Hz、1 kHz、10 kHz 和 100 kHz 处的相位噪声值；
- d) 更换测试频点,重复 b)、c)测试步骤。

测试结果分析:所测频点相位噪声皆满足指标 5.2.3 要求,即判定该合格。

7.2.3.2 杂波抑制

杂波抑制测试连接框图见图 5。测试步骤包括：

- a) 如图 5 所示连接导航信号模拟器与频谱分析仪；
- b) 操作导航信号模拟器,加载 TestSim12 测试场景(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在标定模式下,设置测试频点为单颗卫星单载波最大信号功率输出；
- c) 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；
- d) 更换测试频点,重复 b)、c)测试步骤。

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皆 $\leq -40$  dBc,即判定合格。

7.2.3.3 谐波抑制

谐波抑制测试连接框图见图 5。测试步骤包括：

- a) 如图 5 所示连接导航信号模拟器与频谱分析仪；
- b) 操作导航信号模拟器,加载 TestSim12 测试场景(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在标定模式下,设置测试频点为单颗卫星单载波最大信号功率输出；
- c) 设置频谱分析仪的中心频率为待测信号载波频点,测试频点的二次谐波功率；
- d) 更换测试频点,重复 b)、c)测试步骤。

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差值 $\leq -35$  dBc,即判定合格。

7.2.4 时间频率基准

7.2.4.1 频率稳定度

频率稳定度测试连接框图见图 8。

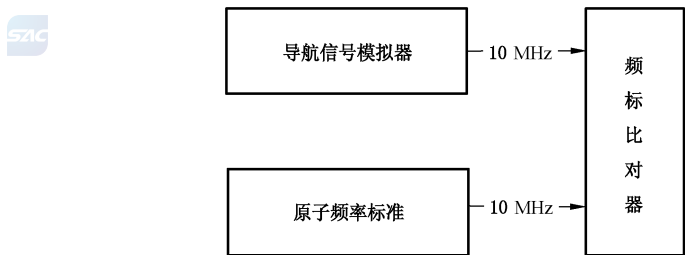


图 8 频率稳定度测试框图



测试步骤包括：

- 如图 8 所示连接导航信号模拟器与频标比对器；
- 操作导航信号模拟器输出内部参考时钟 10 MHz 信号；
- 操作频标比对器,设置取样时间为 1 s,取样组数为 100；
- 读取频标比对器上阿伦标准偏差值为 1 s 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 10 MHz 信号的频率稳定度 $\leq 5 \times 10^{-11}/s$ ,即判定合格。

#### 7.2.4.2 频率准确度

频率准确度测试连接框图见图 8。测试步骤包括：

- 如图 8 所示连接导航信号模拟器与频标比对器；
- 操作导航信号模拟器输出内部参考时钟 10 MHz 信号；
- 操作频标比对器,设置取样时间为 100 s,测试相对频率偏差,结果保留两位有效数字。

测试结果分析:所测参考输出 10 MHz 信号的频率准确度 $\leq 5 \times 10^{-8}$ ,即判定合格。

#### 7.2.5 射频信号功率

##### 7.2.5.1 功率绝对误差

功率绝对误差测试连接框图见图 4。测试步骤包括：

- 如图 4 所示连接好导航信号模拟器与功率计或测量接收机；
- 操作导航信号模拟器,加载 TestSim12 测试场景(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在用户模式下,设置测试频点为单颗卫星最大信号输出；
- 设置功率计或测量接收机的测试频率为待测信号中心频率,测试导航信号模拟器输出测试频点的实际功率,重复测试 5 次求平均值,该平均值与实际功率差值即为测试频点的功率绝对误差；
- 更换测试频点,重复 b)、c)测试步骤。

测试结果分析:所测频点功率绝对误差皆 $\leq 2$  dB,即判定合格。

##### 7.2.5.2 功率线性度

功率线性度测试连接框图见图 4。测试步骤包括：

- 如图 4 所示连接好导航信号模拟器与功率计或测量接收机；
- 操作导航信号模拟器,加载 TestSim12 测试场景(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在用户模式下,设置测试频点为单颗卫星信号输出；
- 设置功率计或测量接收机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测量接收机可测最小功率值,以 10 dBm 为步进,测试出测试频点对应的实际输出功率  $P_i (i=1,2,\dots,n)$ ；
- 计算出功率线性度  $L_i = 10 - (P_i - P_{i-1})$ ；
- 更换测试频点,重复 b)~d)测试步骤。

测试结果分析:所测频点功率线性度皆 $\leq 1$  dB/10 dB,即判定合格。

##### 7.2.5.3 功率范围

功率范围测试连接框图见图 4。测试步骤包括：

- 如图 4 所示连接好导航信号模拟器与功率计或测量接收机；
- 操作导航信号模拟器,加载 TestSim12 测试场景(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在

用户模式下,设置测试频点为单颗卫星信号输出;

- c) 设置功率计或测量接收机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,操作导航信号模拟器设置功率值为最大功率,测试出测试频点对应的实际输出功率  $P_{\max}$ ;
- d) 操作导航信号模拟器工作在用户模式下,测试出测试频点对应的实际输出功率  $P'_{\max}$ ,操作导航信号模拟器设置功率值为最小功率,测试出测试频点对应的输出功率  $P'_{\min}$ ;
- e) 计算出功率动态范围  $\Delta P = P'_{\max} - P'_{\min}$ ;
- f) 更换测试频点,重复 b)~e)测试步骤。

测试结果分析步骤包括:

- a) 最大输出功率  $P_{\max} \geq -90$  dBm;
- b) 功率动态范围  $\geq 60$  dB;
- c) 若 a)、b)皆满足,即判定为合格。

## 7.2.6 射频信号动态

### 7.2.6.1 最大高度

最大高度测试连接框图见图 2。测试步骤包括:

- a) 如图 2 所示连接好导航信号模拟器与 GNSS 接收机;
- b) 操作导航信号模拟器,加载测试场景 TestSim01(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在用户模式下,单频点导航信号输出;
- c) 操作 GNSS 接收机接收导航信号模拟器输出的导航信号,并存储本测试周期(测试时间不少于 20 min)解算出的定位信息。

测试结果分析:对 GNSS 接收机接收的后 10 min 高程数据求取均值,若均值与导航信号模拟器设置高程值之差不超过  $\pm 10$  m,即判定合格。

### 7.2.6.2 最大速度

最大速度测试连接框图见图 6。测试步骤包括:

- a) 按图 6 所示将导航信号模拟器与时间间隔计数器相连接;
- b) 操作导航信号模拟器,加载测试场景 TestSim12(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在标定模式下,设置测试频点为单颗卫星单载波信号输出;
- c) 设置时间间隔计数器门控时间为 10 s,记录时长 60 s,操作时间间隔计数器测量测试频点输出信号频率  $f_0$ ;
- d) 更换 TestSim16 测试场景(场景要求见附录 B),重复步骤 b)、c),操作时间间隔计数器测量测试频点输出信号频率  $f_1$ ;
- e) 计算该频点与中心频率实际测量值  $f_0$  的偏差,  $\Delta f = f_0 - f_1$ ;
- f) 更换测试频点,重复 b)~e)测试步骤。

测试结果分析:按照附录 D 的公式(D.1)计算最大速度,统计 10 次,若均值  $\geq 8\ 000$  m/s,即判定合格。

### 7.2.6.3 速度分辨力

速度分辨力测试连接框图见图 6。测试步骤包括:

- a) 按图 6 所示将导航信号模拟器与时间间隔计数器相连接;
- b) 操作导航信号模拟器,加载测试场景 TestSim12(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在标定模式下,设置测试频点为单颗卫星单载波信号输出;

- c) 设置时间间隔计数器门控时间为 10 s,记录时长 60 s,操作时间间隔计数器测量测试频点输出信号频率  $f_0$ ;
- d) 更换 TestSim17 测试场景(场景要求见附录 B),重复步骤 b)、c),操作时间间隔计数器测量测试频点输出信号频率  $f_1$ ;
- e) 计算两个频率差值  $\Delta f = |f_0 - f_1|$ ;
- f) 更换测试频点,重复 b)~e)测试步骤。

测试结果分析:按照公式(D.1)计算速度分辨力,统计 10 次,若均值  $\leq 0.01$  m/s,即判定合格。

#### 7.2.6.4 最大加速度

最大加速度测试连接框图见图 6。测试步骤包括:

- a) 按图 6 所示将导航信号模拟器与时间间隔计数器相连接;
- b) 操作导航信号模拟器,加载测试场景 TestSim12(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在标定模式下,设置测试频点为单颗卫星单载波信号输出;
- c) 设置时间间隔计数器门控时间为 10 s,记录时长 60 s,操作时间间隔计数器测量测试频点输出信号频率  $f_0$ ;
- d) 更换 TestSim18 测试场景(场景要求见附录 B),重复步骤 b)、c),操作时间间隔计数器测量导航信号模拟器运行  $\Delta t$  s(如 5 s)后输出信号频率  $f_1$ ;
- e) 计算两个频率差值  $\Delta f = f_0 - f_1$ ;
- f) 更换测试频点,重复 b)~e)测试步骤。

测试结果分析:按照公式(D.2)和公式(D.3)计算最大加速度,统计 10 次,若均值  $\geq 900$  m/s<sup>2</sup>,即判定合格。

#### 7.2.6.5 加速度分辨力

加速度分辨力测试连接框图见图 6。测试步骤包括:

- a) 按图 6 所示将导航信号模拟器与时间间隔计数器相连接;
- b) 操作导航信号模拟器,加载测试场景 TestSim12(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在标定模式下,设置测试频点为单颗卫星单载波信号输出;
- c) 设置时间间隔计数器门控时间为 10 s,记录时长 60 s,操作时间间隔计数器测量测试频点输出信号频率  $f_0$ ;
- d) 更换 TestSim19 测试场景(场景要求见附录 B),重复步骤 b)、c),操作时间间隔计数器测量导航信号模拟器运行  $\Delta t$  s(如 5 s)后输出信号频率  $f_1$ ;
- e) 计算两个频率差值  $\Delta f = f_0 - f_1$ ;
- f) 更换测试频点,重复 b)~e)测试步骤。

测试结果分析:按照公式(D.2)和公式(D.3)计算加速度分辨力,统计 10 次,若均值  $\leq 0.01$  m/s<sup>2</sup>,即判定合格。

#### 7.2.6.6 最大加加速度

最大加加速度测试连接框图见图 6。测试步骤为:

- a) 按图 6 所示将导航信号模拟器与时间间隔计数器相连接;
- b) 操作导航信号模拟器,加载测试场景 TestSim12(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在标定模式下,设置测试频点为单颗卫星单载波信号输出;
- c) 设置时间间隔计数器门控时间为 10 s,记录时长 60 s,操作时间间隔计数器测量测试频点输出信号频率  $f_0$ ;

- d) 更换 TestSim20 测试场景(场景要求见附录 B),重复步骤 b)、c),操作时间间隔计数器测量导航信号模拟器运行  $\Delta t$  s(如 5 s)后输出信号频率  $f_1$ ;
- e) 计算两个频率差值  $\Delta f = f_0 - f_1$ ;
- f) 更换测试频点,重复 b)~e)测试步骤。

测试结果分析:按照公式(D.4)和公式(D.5)计算最大加加速度,统计 10 次,若均值  $\geq 900 \text{ m/s}^3$ ,即判定合格。

#### 7.2.6.7 加加速度分辨力

加加速度分辨力测试连接框图见图 6。测试步骤包括:

- a) 按图 6 所示将导航信号模拟器与时间间隔计数器相连接;
- b) 操作导航信号模拟器,加载测试场景 TestSim12(场景要求见附录 B),导航信号模拟器工作在标定模式下,设置测试频点为单颗卫星单载波信号输出;
- c) 设置时间间隔计数器门控时间为 10 s,记录时长 60 s,操作时间间隔计数器测量测试频点输出信号频率  $f_0$ ;
- d) 更换 TestSim21 测试场景(场景要求见附录 B),重复步骤 b)、c),操作时间间隔计数器测量导航信号模拟器运行  $\Delta t$  s(如 5 s)后输出信号频率  $f_1$ ;
- e) 计算两个频率差值  $\Delta f = f_0 - f_1$ ;
- f) 更换测试频点,重复 b)~e)测试步骤。

测试结果分析:按照公式(D.4)和公式(D.5)计算加加速度分辨力,统计 10 次,若均值  $\leq 0.01 \text{ m/s}^3$ ,即判定合格。

附 录 A  
(资料性附录)

各卫星导航系统信号频点、中心频率、码速率

各卫星导航系统信号频点、中心频率、码速率参见表 A.1。

表 A.1 各卫星导航系统信号频点、中心频率、码速率

系统	信号频点	中心频率 MHz	码速率 Mcps
BDS	B1I	1 561.098	2.046
	B1C	1 575.42	1.023
	B2a	1 176.45	10.23
	B2I	1 207.14	2.046
	B3I	1 268.52	10.23
GPS 	L1C/A	1 575.42	1.023
	L1C	1 575.42	1.023
	L1P	1 575.42	10.23
	L2C	1 227.60	1.023
	L2P	1 227.60	10.23
	L5	1 176.45	10.23
GLONASS	L1	$1\,602 + 0.562\,5 \times K$ $K = (-7 \sim 6)$	0.511
	L2	$1\,246 + 0.437\,5 \times K$ $K = (-7 \sim 6)$	0.511
Galileo	E1 OS	1 575.42	1.023
	E5a	1 176.45	10.23
	E5b	1 207.14	10.23

附 录 B

(规范性附录)

导航信号模拟器测试场景要求

导航信号模拟器测试所需场景具体见表 B.1。

表 B.1 测试所需场景要求

序号	测试场景编号	场景说明
1	TestSim01	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
2	TestSim02	卫星轨道参数见附录 C,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 TestSim01 的基础上加载天线方向图参数
6	TestSim06	在仿真场景 TestSim01 的基础上导入外部天线方向图参数(所导入外部天线放线图参数需与 TestSim05 加载天线方向图参数一致)
7	TestSim07	在仿真场景 TestSim01 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
8	TestSim08	有任意两颗卫星在任意时刻具有相同的位置,并在仿真过程中拉偏其中一颗卫星的伪距 $100\text{ m}\sim 300\text{ m}$ 任意值
9	TestSim09	在仿真场景 TestSim01 的基础上,设定其所使用的星历文件为外部导入 RINEX 格式的星历
10	TestSim10	各导航系统仿真卫星的伪距为 $0\text{ m}$ ,伪距速度为 $0\text{ m/s}$ 、伪距加速度为 $0\text{ m/s}^2$ 和伪距加加速度为 $0\text{ m/s}^3$ ,关闭电离层时延、对流层时延以及卫星钟差,使其为 $0$ ;设定多路径信号相对导航信号延迟 $10\text{ ns}$
11	TestSim11	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;设定多路径信号相对导航信号衰减 $3\text{ dB}$
12	TestSim12	各导航系统仿真卫星的伪距为 $0\text{ m}$ ,伪距速度为 $0\text{ m/s}$ 、伪距加速度为 $0\text{ m/s}^2$ 和伪距加加速度为 $0\text{ m/s}^3$ ,关闭电离层时延、对流层时延以及卫星钟差,使其为 $0$
13	TestSim13	各导航系统仿真卫星的伪距 $n(n\geq 0)$ 米,伪距速度为 $0\text{ m/s}$ 、伪距加速度为 $0\text{ m/s}^2$ 和伪距加加速度为 $0\text{ m/s}^3$ ,电离层、对流层误差参数模型关闭
14	TestSim14	各导航系统仿真卫星的伪距初值为 $0\text{ m}$ ,伪距速度为 $0.01\text{ m/s}$ 、伪距加速度为 $0\text{ m/s}^2$ 和伪距加加速度为 $0\text{ m/s}^3$ ,关闭电离层时延、对流层时延以及卫星钟差,使其为 $0$



表 B.1 (续)

序号	测试场景编号	场景说明
15	TestSim15	设定场景仿真的用户坐标的高度为 100 km, 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
16	TestSim16	设定场景初始伪距固定 0 m, 仿真所有卫星的径向速度固定为 8 000 m/s
17	TestSim17	设定场景初始伪距固定 0 m, 仿真所有卫星的径向速度固定为 0.01 m/s
18	TestSim18	设定场景初始伪距固定 0 m, 仿真所有卫星的径向加速度固定为 900 m/s <sup>2</sup> , 设定卫星在匀加速运行 $\Delta t$ s 后, 加速度变为 0 m/s <sup>2</sup> , 保持匀速运动
19	TestSim19	设定场景初始伪距固定 0 m, 仿真所有卫星的径向加速度固定为 0.01 m/s <sup>2</sup> , 设定卫星在匀加速运行 $\Delta t$ s 后, 加速度变为 0 m/s <sup>2</sup> , 保持匀速运动
20	TestSim20	设定场景初始伪距固定 0 m, 仿真所有卫星的径向加加速度固定为 900 m/s <sup>3</sup> , 设定卫星在匀加加速运行 $\Delta t$ s 后, 加加速度和加速度变为 0, 保持匀速运动
21	TestSim21	设定场景初始伪距固定 0 m, 仿真所有卫星的径向加加速度固定为 0.01 m/s <sup>3</sup> , 设定卫星在匀加加速运行 $\Delta t$ s 后, 加加速度和加速度变为 0, 保持匀速运动



附录 C

(资料性附录)

存储数据文件内容、格式说明

C.1 测试所需数据说明

导航信号模拟器需要将数学仿真模块计算的各仿真历元时刻的参数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:

- a) 各可见星位置、速度、方位角和仰角信息;
- b) 各可见星导航电文信息,包括卫星轨道参数、星钟改正数、TGD 参数、UTC 参数等;
- c) 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;
- d) 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、TGD 参数等;
- e) 用户轨迹信息,包括位置、速度、加速度、加加速度等;
- f) 用户姿态信息,包括俯仰角、横滚角、偏航角、角速度矢量等。

C.2 可见卫星信号状态参数输出文件



可见卫星信号状态参数输出文件格式参见表 C.1。

表 C.1 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 <sup>a</sup>	week	int	整数输出+空格
2	R_tow	接收历元时刻对应的周内秒数 <sup>a</sup>	s	double	19 位浮点输出,小数部分 13 位,右对齐+空格
3	Prn	卫星 PRN 号	—	int	3 位整数输出,右对齐+空格
4	Elev	卫星仰角	rad	float	8 位浮点输出,小数部分 5 位,右对齐+空格
5	Azim	卫星方位角	rad	float	8 位浮点输出,小数部分 5 位,右对齐+空格
6	Anom_id	信号异常状态标识 <sup>b</sup>	—	int	2 位整数输出,右对齐+空格
7	Preu	伪距	m	double	19 位浮点输出,小数部分 6 位,右对齐+空格
8	Dopp	载波多普勒频率	Hz	double	16 位浮点输出,小数部分 6 位,右对齐+空格
9	Cp	载波相位	cycle	double	19 位浮点输出,小数部分 6 位,右对齐+空格
10	Power	接收功率	dBm	float	7 位浮点输出,小数部分 3 位,右对齐+空格
11	Iono	电离层延迟	m	double	12 位浮点输出,小数部分 6 位,右对齐+空格
12	Tropo	对流层延迟	m	double	12 位浮点输出,小数部分 6 位,右对齐+空格
13	Eph_err	星历误差	m	double	12 位浮点输出,小数部分 6 位,右对齐+空格
14	Clk_err	星钟误差	m	double	19 位浮点输出,小数部分 6 位,右对齐+空格
15	Sx	卫星位置坐标 $x^c$	m	double	19 位浮点输出,小数部分 6 位,右对齐+空格



表 C.1 (续)

序号	名称	内容	单位	数据类型	输出格式
16	Sy	卫星位置坐标 $y^c$	m	double	19 位浮点输出, 小数部分 6 位, 右对齐+空格
17	Sz	卫星位置坐标 $z^c$	m	double	19 位浮点输出, 小数部分 6 位, 右对齐+空格
18	Vx	卫星 $x$ 轴速度 <sup>c</sup>	m/s	double	19 位浮点输出, 小数部分 11 位, 右对齐+空格
19	Vy	卫星 $y$ 轴速度 <sup>c</sup>	m/s	double	19 位浮点输出, 小数部分 11 位, 右对齐+空格
20	Vz	卫星 $z$ 轴速度 <sup>c</sup>	m/s	double	19 位浮点输出, 小数部分 11 位, 右对齐+空格
21	Ux	用户位置坐标 $x^c$	m	double	19 位浮点输出, 小数部分 6 位, 右对齐+空格
22	Uy	用户位置坐标 $y^c$	m	double	19 位浮点输出, 小数部分 6 位, 右对齐+空格
23	Uz	用户位置坐标 $z^c$	m	double	19 位浮点输出, 小数部分 6 位, 右对齐+空格
24	Uvx	用户 $x$ 轴速度 <sup>c</sup>	m/s	double	19 位浮点输出, 小数部分 11 位, 右对齐+空格
25	Uvy	用户 $y$ 轴速度 <sup>c</sup>	m/s	double	19 位浮点输出, 小数部分 11 位, 右对齐+空格
26	Uvz	用户 $z$ 轴速度 <sup>c</sup>	m/s	double	19 位浮点输出, 小数部分 11 位, 右对齐+换行符

<sup>a</sup> 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。

<sup>b</sup> 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。

<sup>c</sup> 在相应系统的 ECEF 坐标系中的三维位置、速度。

### C.3 载体运动轨迹、姿态输出文件

载体运动轨迹、姿态的输出文件格式参见表 C.2。

表 C.2 载体运动轨迹、姿态文件格式

序号	名称	内容	单位	数据类型	输出格式
1	Wn	整周计数 <sup>a</sup>	week	int	整数输出, 右对齐+空格
2	R_tow	接收历元时刻对应的周内秒 <sup>a</sup>	s	double	19 位浮点输出, 小数部分 3 位, 右对齐+空格
3	Rcvr_x	位置坐标 $x^b$	m	double	19 位浮点输出, 小数部分 6 位, 右对齐+空格
4	Rcvr_y	位置坐标 $y^b$	m	double	19 位浮点输出, 小数部分 6 位, 右对齐+空格
5	Rcvr_z	位置坐标 $z^b$	m	double	19 位浮点输出, 小数部分 6 位, 右对齐+空格
6	Rcvr_vx	$x$ 轴速度 <sup>b</sup>	m/s	double	19 位浮点输出, 小数部分 11 位, 右对齐+空格
7	Rcvr_vy	$y$ 轴速度 <sup>b</sup>	m/s	double	19 位浮点输出, 小数部分 11 位, 右对齐+空格
8	Rcvr_vz	$z$ 轴速度 <sup>b</sup>	m/s	double	19 位浮点输出, 小数部分 11 位, 右对齐+空格
9	Rcvr_ax	$x$ 轴加速度 <sup>b</sup>	m/s <sup>2</sup>	double	19 位浮点输出, 小数部分 11 位, 右对齐+空格

表 C.2 (续)

序号	名称	内容	单位	数据类型	输出格式
10	Rcvr_ay	y 轴加速度 <sup>b</sup>	m/s <sup>2</sup>	double	19 位浮点输出,小数部分 11 位,右对齐+空格
11	Rcvr_az	z 轴加速度 <sup>b</sup>	m/s <sup>2</sup>	double	19 位浮点输出,小数部分 11 位,右对齐+空格
12	Roll	横滚角	rad	float	19 位浮点输出,小数部分 6 位,右对齐+空格
13	Pitch	俯仰角	rad	float	19 位浮点输出,小数部分 6 位,右对齐+空格
14	Yaw	偏航角	rad	float	19 位浮点输出,小数部分 6 位,右对齐+空格
15	Rcvr_wx	载体坐标系下 x 轴角速度	m/s <sup>3</sup>	float	19 位浮点输出,小数部分 6 位,右对齐+空格
16	Rcvr_wy	载体坐标系下 y 轴角速度	m/s <sup>3</sup>	float	19 位浮点输出,小数部分 6 位,右对齐+空格
17	Rcvr_wz	载体坐标系下 z 轴角速度	m/s <sup>3</sup>	float	19 位浮点输出,小数部分 6 位,右对齐+换行符
<p><sup>a</sup> 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。</p> <p><sup>b</sup> 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。</p>					

## 附 录 D

### (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

##### D.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  $\Delta f = f_0 - f_1$ ，速度由公式(D.1)计算得出：

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

式中：

$v$  ——速度测量值，单位为米每秒(m/s)；

$c$  ——光速，其取值为 299 792 458.0 m/s。

##### D.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  $\Delta t$  内的偏移量  $\Delta f$ ，加速度测量值由公式(D.2)和公式(D.3)得出：

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

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

式中：

$a$  ——加速度测量值，单位为米每二次方秒(m/s<sup>2</sup>)；

$\Delta f$  ——中心频率的偏移量。

##### D.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  $\Delta t$  内的偏移量  $\Delta f$ ，加加速度测量值由公式(D.4)和公式(D.5)得出：

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

$$v = \frac{\Delta f \times c}{f_0} \quad \dots\dots\dots (D.5)$$

式中：

$b$  ——加加速度测量值，单位为米每三次方秒(m/s<sup>3</sup>)。

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 39414.1—2020 北斗卫星导航系统空间信号接口规范 第1部分:公开服务信号 B1C
  - [2] GB/T 39414.2—2020 北斗卫星导航系统空间信号接口规范 第2部分:公开服务信号 B2a
  - [3] GB/T 39414.3—2020 北斗卫星导航系统空间信号接口规范 第3部分:公开服务信号 B1I
  - [4] GB/T 39414.4—2020 北斗卫星导航系统空间信号接口规范 第4部分:公开服务信号 B3I
  - [5] 北斗卫星导航系统公开服务性能规范(2.0 版)
  - [6] NAVSTAR GPS Space Segment/Navigation User Segment Interfaces(IS-GPS—200K)
  - [7] NAVSTAR GPS Space Segment/Navigation User Segment L5 Interfaces(IS-GPS-705F)
  - [8] NAVSTAR GPS Space Segment/Navigation User Segment L1C Interfaces(IS-GPS-800F)
  - [9] Galileo Open Service Signal-In-Space Interface Control Document(Issue 1.2)
  - [10] GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM GLONASS INTERFACE CONTROL DOCUMENT(Edition 5.1)
-