

BD

中国第二代卫星导航系统重大专项标准

BD 420036-2022

北斗导航卫星仿真软件设计要求

Design requirements for BeiDou navigation satellite simulation
software



2022-08-01 发布

2022-09-01 实施

中国卫星导航系统管理办公室 批准

目 次

前言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般要求	2
4.1 软件封装要求	2
4.2 软件初始化要求	2
4.3 软件结束运行要求	3
4.4 可扩展性要求	3
4.5 编程与设计环境要求	3
4.6 安全性要求	3
5 详细要求	3
5.1 功能要求	3
5.2 性能要求	4
5.3 接口要求	4
5.4 测量数据表示要求	6
5.5 时间精度要求	6
5.6 质量控制要求	6
5.7 验证要求与方法	6

前 言

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（SAC/TC 544）归口。

本标准起草单位：上海微小卫星工程中心、中国卫星导航工程中心、国防科技大学电子科学学院、航科集团五院、中国航天标准化研究所。

本标准主要起草人：李绍前、王学良、邹玉龙、冯文婧、张猛、李光、徐凯、林宝军、龚文斌、沈苑、王 威、王维嘉。

北斗导航卫星仿真软件设计要求

1 范围

本标准规定了北斗导航卫星仿真软件设计中的功能要求，性能要求，接口要求，可扩展性要求等方面的要求。

本标准适用于北斗导航地面试验验证系统中卫星仿真软件的设计，其他地面系统中卫星仿真软件设计可参照使用。

2 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 11457 信息技术 软件工程术语

GB/T 39267 北斗卫星导航术语

GJB 438 军用软件开发文档通用要求

GJB 2786 军用软件开发通用要求

GJB 5369 航天型号 C 语言安全子集

GJB/Z 102 军用软件安全性设计指南

北斗全球卫星导航系统工程卫星系统（MEO 卫星）与测控系统接口控制文件（1.0 版） 2016 年 4 月

北斗三号卫星工程接口控制文件 卫星系统与应用验证系统接口控制文件（1.0 版） 2016 年 8 月

北斗三号工程星间链路运行管理系统与卫星系统接口控制文件（1.0 版） 2017 年 3 月

中国第二代卫星导航系统重大专项北斗三号工程 全球短报文通信工程内部接口控制文件（1.0 版） 2017 年 10 月

北斗三号卫星工程接口控制文件 卫星系统与地面运控系统接口控制文件（2.0 版） 2018 年 2 月

3 术语和定义

GB/T 11457、GB/T 39267 界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

地面试验验证系统 Grounded Test and Validation Bed

我国建设的为北斗卫星导航系统开展系统级的仿真试验平台，主要服务于北斗全球系统的研发、建设、运行和发展，用于北斗导航各大系统间接口验证，关键技术验证和故障模拟与分析等方面。

3.2

空间段验证分系统 space segment verification subsystem

模拟在轨真实卫星的业务相关功能和性能一个子系统。具有与导航相关的上行信号处理，下行导航信号的生成和发射，星间链路信号处理，短报文处理以及测控功能等。在地面试验验证系统中用来代替真实卫星进行测试验证。

3.3

运行控制验证分系统 operation control verification subsystem

模拟了北斗导航运控系统的技术状态的一个子系统，由模拟主控站、模拟监测站和模拟注入站组成的地面运行控制网，实现与之相关的系统间接口和业务流程。在地面试验验证系统中代替运控系统进行测试验证，负责产生运控上注数据。

3.4

工程测控验证分系统 measurement and control verification subsystem

模拟了北斗导航测控系统的技术状态的一个子系统，主要实现星座组网阶段、星座正常运行阶段和星座补网阶段等多种空间段状态下的星座管理，及其与其它分系统协同工作有关的测控分系统工作状态。在地面试验验证系统中代替测控系统进行测试验证，负责产生测控上注数据，接收卫星遥测数据。

3.5

星间链路运行管理验证分系统 inter-satellite link operation management verification subsystem

模拟了星间链路运行管理系统的技术状态，模拟地面星间链路控制网，实现与之相关的系统间接口和业务流程的一个子系统。在地面试验验证系统中代替星间链路管理系统进行测试验证。

3.6

全球系统仿真软件 global system simulation software

通过数学仿真的方式模拟北斗全球系统的星座运行、卫星轨道、星地钟差、观测数据等，同时根据仿真统一的任务调度，驱动和控制工程等效系统的运行，完成系统仿真验证测试任务的一个综合应用软件。

3.7

锚固站 anchor station

卫星导航星座中引入的固定于地球表面的虚拟卫星。其随地球表面运动而运动，为卫星导航星座提供一个地固坐标系下不变的参考坐标和时间基准，用于解决星座的整体旋转问题。

4 一般要求

4.1 软件封装要求

北斗导航卫星仿真软件（以下简称卫星仿真软件）作为全球系统仿真软件的子模块运行，应封装成动态链接库形式。

4.2 软件初始化要求

卫星仿真软件初始化时应分配软件运行所需的所有内存资源，并进行数据初始化赋值，软件运行过程中不应再申请新的内存资源。

4.3 软件结束运行要求

卫星仿真软件结束运行前应释放软件运行过程中开辟的内存等系统资源。

4.4 可扩展性要求

卫星仿真软件应能够支持现有功能的升级，新功能的增加等功能扩展性要求。并且设计时需要考虑支持性能的扩展，如允许运行速率的提升，数据处理量的增加等。

4.5 编程与设计环境要求

卫星仿真软件研制应遵循的设计和编程准则见 GJB 5369。应根据具体软件的特征从中选取并增补，确定具体采用的准则。其中强制类准则必须执行，推荐类准则参照执行。应采用高级程序语言设计软件，使用与全球系统仿真软件保持一致的开发平台及运行环境。应关注编译器和设计环境的软件版本，在研制过程中保持一致。

4.6 安全性要求

应依据软件所在系统本身的安全性要求和系统对软件的安全性要求，在软件研制过程的每个阶段对软件进行必要的安全性分析，以确保能通过软件的需求分析、设计、实现，以及操作规程的制定把执行任务的风险降低到可接受的程度。任何潜在的危险情况或操作规程均应清楚地标识，并编制相应文档。卫星模型软件的安全性设计应参考 GJB/Z 102A 的规定，并且还需要遵守下列要求。

- a) 软件应具有自诊断、自测试能力。
- b) 接收数据有效性验证：应对接收数据帧做有效性检查，如果帧类型，帧格式，参数范围，数据校验等不符合要求，应拒绝接收并下传错误标志。
- c) 健壮性要求：要求遥测遥控信息处理软件要有对外部接口干扰或故障的适应能力。软件的每个功能模块要具有一定健壮性，避免在接收到非合理数据时，出现不期望的动作。
- d) 在系统规定的加速情形下时，软件运行不能发生异常。

5 详细要求

5.1 功能要求

卫星仿真软件功能要求如下：

- a) 接收并解析上注的导航电文，控制指令等运控信息；
- b) 根据上注导航电文信息或自主生成的导航电文信息，生成并输出下行导航电文信息，包含全球导航电文信息和区域导航电文信息；
- c) 接收并解析与卫星业务相关的 S 链路遥控信息，
- d) 产生和发送与卫星业务相关的卫星 S 链路遥测信息；
- e) 接收并处理星间链路相关的自主导航数据，星间运控数据，星间测控数据，星间遥测数据，星间扩展应用数据，星间确认数据，星间短报文数据；
- f) 产生并发送星间链路相关的自主导航数据，星间运控数据，星间测控数据，星间遥测数据，星间扩展应用数据，星间确认数据，星间短报文数据；
- g) 完成基于星间 Ka 观测数据以及星地 Ka 观测数据的自主定轨和时间同步，并自主生成导航电文信息；

- h) 具备仿真卫星自主完好性监测与处理能力，并能够在下行电文中进行自动标识；
- i) 能够接收短报文业务用户的 L 上行入站数据，并且经过格式重组后通过 S 链路将入站数据发送出去；
- j) 接收运控系统上注的短报文出站数据，并封装成 B2b 电文格式播发；
- k) 根据全球系统仿真软件对卫星故障的仿真控制信息自主产生并在下行导航中标记完好性信息；
- l) 提供试验评估所需专用测试数据。

5.2 性能要求

卫星仿真软件的性能要求如下：

- a) 存储导航电文数据量不小于 168h；
- b) 信息流处理延迟仿真误差应小于 1ms；
- c) 信息流传输基本单位为一个数据帧；
- d) 事件抽象的最小事件间隔为 1ms；
- e) 自主导航测试场景运行时的加速比达到 10:1 以上；
- f) 卫星仿真软件各链路信息处理时延不高于卫星工程系统对应的处理时延；
- g) 能够建模工程卫星的内存状态，包括缓存的设置和数据的排队等行为；
- h) 能够模拟真实的数据传输速率，包括星地上下行数据传输速率和星间数据传输速率；
- i) 能够对卫星的全球短报文 L 上行接收通道数与接收能力进行建模，根据不同用户信号达到卫星时刻差异对不同用户接收信号间的碰撞现象进行建模；
- j) 卫星仿真软件的时隙、信息速率、路由等资源，具备由星间链路运行管理中心模型注入相关操作指令进行配置的能力。

5.3 接口要求

卫星仿真软件作为全球系统仿真软件的子模块运行，仅与全球系统仿真软件进行信息交互。卫星仿真软件与全球系统仿真软件的系统信息流接口见图 1。图中的数字表示信息如下：

- a) 1 为卫星模型初始化和结束数据；
- b) 2 为运控数据；
- c) 3 为短报文用户入站数据；
- d) 4 为测量数据；
- e) 5 为时间交互信息；
- f) 6 为测控数据；
- g) 7 为星间链路数据；
- h) 8 为锚固数据；
- i) 9 为下行导航电文；
- j) 10 为关键遥测数据；
- k) 11 为日志信息。

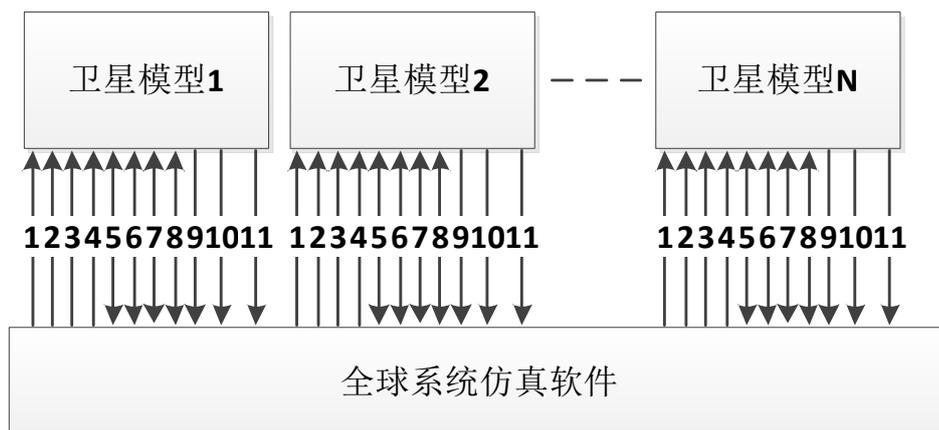


图1 系统信息流接口图

卫星仿真软件的各个信息流接口数据定义如下：

- a) 卫星模型初始化数据 全球系统仿真软件在卫星仿真软件运行前将初始化信息发送给卫星仿真软件，初始化数据包括卫星 SCID，PRN 号，各个缓存队列的大小，调试功能设定等信息，卫星仿真软件根据配置信息初始化全局变量和建立缓存队列；
- b) 卫星模型结束数据 在仿真测试结束时，全球系统仿真软件发送运行结束相关配置信息，卫星仿真软件根据配置信息释放运行过程中开辟的存储空间和其他清除操作；
- c) 运控数据 运行控制验证分系统产生的对卫星导航业务进行控制的数据，数据格式应与《北斗三号卫星工程接口控制文件 卫星系统与地面运控系统接口控制文件（2.0 版）2018 年 2 月》中规定一致；
- d) 短报文用户入站数据 短报文单机用户上注的数据，包括短报文上行业务信息和短报文上行网管信息，数据格式应与《中国第二代卫星导航系统重大专项北斗三号工程 全球短报文通信工程内部接口控制文件（1.0 版）2017 年 10 月》中规定一致；
- e) 测量数据 全球系统仿真软件发送给卫星仿真软件的测量数据，包含星间测量数据和星地测量数据，测量数据由伪距测量时刻和伪距测量值组成；
- f) 时间交互信息 包含全球系统仿真软件发送给卫星仿真软件的授时信息和卫星仿真软件发送给全球系统仿真软件的请求授时信息。授时信息由授时事件子类型和时间信息组成，请求授时信息由授时事件子类型和请求参数组成；
- g) 测控数据 工程测控验证分系统产生的对卫星平台进行控制的指令数据以及卫星仿真软件发送的卫星遥测数据，数据格式应与《北斗全球卫星导航系统工程卫星系统（MEO 卫星）与测控系统接口控制文件（1.0 版）2016 年 4 月》中规定一致；
- h) 星间链路数据 根据星间链路运行管理验证分系统的控制要求，在卫星仿真软件之间模拟的星间链路上的数据，包含星间运控数据，星间测控数据，星间遥测数据，星间短报文数据，星间自主导航数据和星间确认数据等，数据格式应与《北斗三号工程星间链路运行管理系统与卫星系统接口控制文件（1.0 版）2017 年 3 月》中规定一致；
- i) 锚固数据 锚固站模拟器上注和接收的数据，包含星地测量信息，导航电文等数据，数据格式应与《北斗三号工程星间链路运行管理系统与卫星系统接口控制文件（1.0 版）2017 年 3 月》中规定一致；
- j) 下行导航电文 卫星仿真软件产生的用于导航的多种类型电文信息，以及向短报文用户发送的

相关电文信息，数据格式见《北斗三号卫星工程接口控制文件 卫星系统与应用验证系统接口控制文件（1.0 版）2016 年 8 月》和《中国第二代卫星导航系统重大专项北斗三号工程 全球短报文通信工程内部接口控制文件（1.0 版）2017 年 10 月》；

- a) 关键遥测数据 卫星仿真软件发送给全球系统仿真软件的关键遥测数据，是测控数据中遥测数据的子集，在全球系统仿真软件中重点监控和显示；
- b) 日志信息 卫星仿真软件运行过程中产生的有助于了解卫星仿真软件实时运行状态的信息，也可以用于运行故障分析。

5.4 测量数据表示要求

推荐使用双精度浮点数表示和存储星间和星地测量数据。

5.5 时间精度要求

卫星仿真软件设计中的系统时间表示精度应为 0.1ns。

5.6 质量控制要求

软件开发过程的质量控制要求如下：

- a) 根据 GJB 2786 和 GJB 438 的要求，建议选取瀑布软件开发模型实施软件开发；
- b) 软件开发建议分为项目策划与监控、软件开发环境建立、需求分析、软件设计、软件实现和测试、系统集成测试、软件验收等几个方面；
- c) 应对每个开发阶段的工作应进行评审和审查，建立软件质量管理和软件配置管理，只有确保某阶段的目标确实达到后，才能进入下一阶段的工作；
- d) 软件开发过程中产生的文档应包含软件设计方案、软件设计说明、软件测试报告、系统集成测试报告、用户手册、软件研制总结报告等。

5.7 验证要求与方法

卫星仿真软件的验证根据地面试验验证系统的要求进行。将卫星仿真软件作为动态链接文件，由全球系统仿真软件加载运行，接收全球系统仿真软件输入的时间信息和注入的参数信息，按照卫星接口协议要求输出规定的的数据。
