



中华人民共和国国家标准

GB/T 39398—2020

全球连续监测评估系统(iGMAS) 监测评估参数

Monitoring and assessment parameters of international GNSS
monitoring and assessment system (iGMAS)

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和缩略语..... 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 缩略语 1

4 监测评估参数分类 2

5 星座状态参数 2

 5.1 卫星健康状态参数 2

 5.2 卫星轨道参数 2

 5.3 精度因子(DOP) 2

6 空间信号参数 3

 6.1 用户接收信号电平 3

 6.2 功率谱偏差 3

 6.3 基带信号数字畸变 3

 6.4 信号分量间相位偏差 4

 6.5 信号相关损失 4

 6.6 测距码相位相对一致性 5

7 空间信息参数 5

 7.1 广播轨道精度 5

 7.2 广播钟差精度 5

 7.3 空间信号距离误差(SISRE) 5

 7.4 空间信号距离变化率误差(SISRRE) 6

 7.5 空间信号距离二阶变化率误差(SISRRE) 6

 7.6 空间信号完好性 6

 7.7 空间信号连续性 6

 7.8 空间信号可用性 6

 7.9 广播电离层延迟模型精度 7

 7.10 广播 TGD 精度 7

 7.11 协调世界时偏差误差(UTC OE) 8

 7.12 系统时性能参数 8

 7.13 卫星钟性能 8

 7.14 BDT 与 GNSS 系统时偏差误差(BGTOE) 8

 7.15 坐标系统转换 8

8 服务性能参数 8

 8.1 定位精度 8

8.2 测速精度	8
8.3 系统时授时精度	8
8.4 PDOP 可用性	8
8.5 定位服务可用性	9
8.6 定位服务连续性	9
附录 A (资料性附录) 精度因子的计算方法	11
附录 B (资料性附录) 广播轨道精度计算	13
附录 C (资料性附录) 广播钟差精度计算	14

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:西安测绘研究所、中国卫星导航工程中心、中国科学院国家授时中心、战略支援部队信息工程大学、中国科学院上海天文台、中国航天标准化研究所。

本标准主要起草人:贾小林、焦文海、李建文、阮仁桂、刘莹、贺成艳、胡志刚、王雪、苏牡丹、朱永兴、任夏、张慧君、宋淑丽、王凯、王维嘉。



全球连续监测评估系统(iGMAS)

监测评估参数

1 范围

本标准规定了全球连续监测评估系统(iGMAS)对全球卫星导航系统(GNSS)运行状态、服务性能进行监测和评估所涉及的监测评估参数分类、星座状态参数、空间信号参数、空间信息参数、服务性能参数等要求。

本标准适用于卫星导航系统工程建设与运行维护,以及民航、海事、交通、电力、通信等行业对卫星导航服务性能的监测与评估工作。



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

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 39267—2020 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

空间信号健康状态 **health status of signal-in-space**

导航电文中用于指示空间信号是否正常的状态参数。

3.1.2

信号中断 **signal outages**

导航卫星不能播发状态为“健康”的空间信号。

注 1: 空间信号包括信号不播发、播发非标准码,以及信号状态为“不健康”。

注 2: 信号中断包括计划中断和非计划中断。

3.1.3

计划中断 **scheduled suspensions**

在卫星信号预计将不符合 ICD 文件规定的性能时,提前发出通知的卫星信号中断。

3.1.4

非计划中断 **unscheduled outages**

计划中断之外的由系统故障或维修事件等造成的卫星信号中断。

注: 在非计划中断发生后宜尽快通知用户。

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)

BDT:北斗时(BeiDou Time)
BGTOE:BDT 与 GNSS 系统时偏差误差(BDT/GNSS Time Offset Error)
DCB:差分码偏差(Differential Code Bias)
DOP:精度因子(Dilution of Precision)
Galileo:伽利略卫星导航系统(Galileo Navigation Satellite System)
GEO:地球静止轨道(Geostationary Earth Orbit)
GLONASS:全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System)
GNSS:全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System)
GPS:全球定位系统(Global Positioning System)
ICD:接口控制文件(Interface Control Document)
ICG:全球卫星导航系统委员会(International Committee on Global Navigation Satellite Systems)
IGSO:倾斜地球同步轨道(Inclined GeoSynchronous Orbit)
iGMAS:全球连续监测评估系统(International GNSS Monitoring and Assessment System)
MEO:中圆地球轨道(Medium Earth Orbit)
RMS:均方根(Root Mean Square)
SIS:空间信号(Signal in Space)
SISRAE:空间信号距离二阶变化率误差(Signal in Space Range Acceleration Error)
SISRE:空间信号距离误差(Signal in Space Range Error)
SISRRE:空间信号距离变化率误差(Signal in Space Range Rate Error)
TECU:总电子含量单位(Total Electron Content Unit)
TGD:群延迟时间改正(Time Correction of Group Delay)
UTC:协调世界时(Coordinated Universal Time)
UTC OE:协调世界时偏移误差(UTC Offset Error)

4 监测评估参数分类

监测评估参数分为以下 4 类:

- 星座状态参数;
- 空间信号参数;
- 空间信息参数;
- 服务性能参数。

5 星座状态参数

5.1 卫星健康状态参数

标识卫星导航信号是否可用的参数,一般从卫星导航电文获取,通常分为健康、不健康两种状态。

5.2 卫星轨道参数

表征在轨卫星的空间位置及速度的参数,一般采用开普勒轨道根数表示,包括轨道长半轴、偏心率、轨道倾角、升交点赤经、近地点幅角和平近点角。

5.3 精度因子(DOP)

精度因子(DOP)分为以下 5 种:

- 几何精度因子(GDOP);
- 位置精度因子(PDOP);
- 垂直精度因子(VDOP);
- 水平精度因子(HDOP);
- 时间精度因子(TDOP)。

可按单 GNSS 星座或多 GNSS 星座组合计算,具体计算公式参见附录 A。

6 空间信号参数

6.1 用户接收信号电平

表征卫星导航信号功率特性。通过测量卫星导航信号到达地球近地表面的功率电平获得。包含地面接收功率最小值及地面接收功率稳定度两个参数:

- a) 地面接收功率最小值:在卫星高度角大于 5°、地球表面附近的接收机右旋圆极化天线为 0 dB 增益的情况下,卫星导航信号到达接收机天线输出端各支路信号最小功率电平;
- b) 地面接收功率稳定度:在卫星高度角大于 5°、地球表面附近的接收机右旋圆极化天线为 0 dB 增益的情况下,任意 30 min 内卫星导航信号到达接收机天线输出端各支路信号电平的最大值与最小值之差。

6.2 功率谱偏差

表征卫星导航信号功率谱特性。在频率分辨率为 1 kHz 情况下,利用主瓣带宽内的实测信号与设计信号的归一化功率谱密度包络之差计算获得。分析参数主要为偏差最大变化量,是指在 80% 的主瓣带宽内实测信号与设计信号功率谱密度包络的差值曲线中最大值与最小值之差。

实测信号与设计信号功率谱密度包络差值曲线如图 1 所示,功率谱偏差为 Δp ,单位为分贝瓦每千赫(dBW/kHz)。

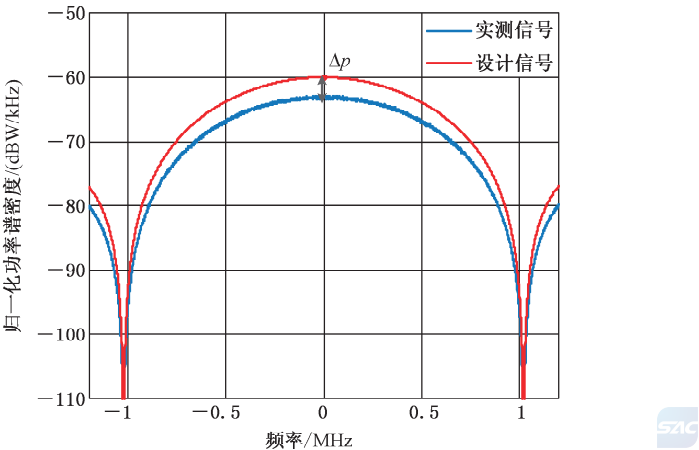


图 1 功率谱密度包络差值曲线示意图

6.3 基带信号数字畸变

表征卫星导航信号时域波形特性。通过统计实测卫星基带信号码片持续时间与设计基带信号码片持续时间差值得到。

基带信号数字畸变示意图如图 2 所示。图中,黑色虚线为实测卫星基带信号波形, t_1 表示实测卫

星基带信号码片持续时间,单位为纳秒;红色实线为设计卫星基带信号波形, t_2 表示设计基带信号码片持续时间,单位为纳秒;则 Δt 表示基带信号数字畸变,单位为纳秒。

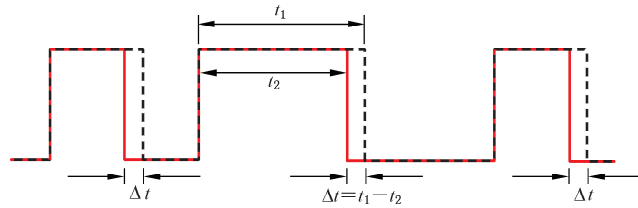


图2 基带信号数字畸变示意图

6.4 信号分量间相位偏差

表征卫星导航信号调制特性。卫星导航信号分量间相位偏差是指同频点各信号分量之间的实测载波相位差与设计载波相位差的差值。按公式(1)计算。

$$\Delta\varphi_{(f,m,n)} = \hat{\varphi}_{(f,m,n)} - \varphi_{(f,m,n)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$\Delta\varphi_{(f,m,n)}$ —— f 频点信号分量 m 与信号分量 n 之间相位偏差,单位为弧度(rad);

$\hat{\varphi}_{(f,m,n)}$ —— f 频点信号分量 m 与信号分量 n 之间的实测载波相位差,单位为弧度(rad);

$\varphi_{(f,m,n)}$ —— f 频点信号分量 m 与信号分量 n 之间的设计载波相位差,单位为弧度(rad)。

6.5 信号相关损失

表征卫星导航信号相关特性。相关损失是指卫星导航信号工作带宽内的实测基带信号相关功率与设计基带信号相关功率之差,其中实测基带信号相关功率通过实测基带信号与本地复现参考信号的归一化相关运算,见公式(2),设计基带信号相关功率通过本地复现参考信号归一化自相关运算,见公式(3),相关损失按照公式(4)计算。

$$\text{CCF}(\tau) = \frac{\int_0^{T_p} S_{\text{real}}(t) \cdot S_{\text{ref}}^*(t - \tau) dt}{\sqrt{\int_0^{T_p} |S_{\text{real}}(t)|^2 dt \cdot \int_0^{T_p} |S_{\text{ref}}(t)|^2 dt}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$P_{\text{CCF}} = \max_{\text{over,alle}} \{20 \cdot \lg[|\text{CCF}(\tau)|]\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{CL} = P_{\text{CCF,ref}} - P_{\text{CCF,real}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$\text{CCF}(\tau)$ ——接收信号与本地复现信号时延 τ 时,导航信号互相关归一化计算值;

τ ——互相关计算时延差偏移量,单位为秒(s);

T_p ——积分时间,通常为所分析信号的一个主码周期,单位为秒(s);

$S_{\text{real}}(t)$ ——历元 t 时刻,工作带宽内的实测基带信号;

$S_{\text{ref}}^*(t - \tau)$ ——历元 t 时刻,工作带宽内的与接收信号时延为 τ 的本地复现参考信号共轭,其中上标 $*$ 表示共轭;

dt ——积分运算的时间步进量,单位为秒(s);

P_{CCF} ——积分周期内的归一化相关功率最大值,单位为分贝(dB);

$\max_{\text{over,alle}}$ ——积分周期内的最大值计算函数;

$P_{\text{CCF,ref}}$ ——在积分周期内,设计基带信号归一化相关功率最大值,单位为分贝(dB);

$P_{\text{CCF,real}}$ ——在积分周期内,实测基带信号归一化相关功率最大值,单位为分贝(dB);

CL ——相关损失,单位为分贝(dB)。

6.6 测距码相位相对一致性

表征测距码相位一致性。通过统计一段时间内的同频点各支路测距码之间相位变化量之差获得。按公式(5)计算。

$$\Delta\rho = [\rho_{f,x}(t+t_{inc}) - \rho_{f,x}(t)] - [\rho_{f,y}(t+t_{inc}) - \rho_{f,y}(t)] \quad \cdots\cdots\cdots (5)$$

式中:
 $\Delta\rho$ —— f 频点 x 支路与 y 支路测距码间相位相对一致性参数值,单位为纳秒(ns);
 $\rho_{f,x}(t)$ —— t 时刻 f 频点 x 支路测距码伪距测量值,单位为纳秒(ns);
 $\rho_{f,y}(t)$ —— t 时刻 f 频点 y 支路测距码伪距测量值,单位为纳秒(ns);
 t_{inc} ——时间间隔,单位为秒(s)。

7 空间信息参数

7.1 广播轨道精度

表征利用广播星历轨道参数计算得到的卫星位置精度。计算方法参见附录 B。

7.2 广播钟差精度

表征利用广播星历钟差参数计算得到的卫星钟差精度。计算方法参见附录 C。

7.3 空间信号距离误差(SISRE)

广播轨道和钟差误差引起的卫星至用户距离误差。在卫星导航信号覆盖范围内,SISRE 的统计精度按公式(6)计算。

$$E_{SISRE} = \sqrt{(\alpha\delta_R - c\delta_T)^2 + \beta^2(\delta_A^2 + \delta_C^2)} \quad \cdots\cdots\cdots (6)$$

式中:
 E_{SISRE} ——SISRE 的统计精度,单位为米(m);
 α ——径向误差映射因子;
 δ_R ——广播轨道径向精度,单位为米(m);
 c ——光在真空中的传播速度,单位为米每秒(m/s);
 δ_T ——广播钟差精度,单位为秒(s);
 β ——迹向、法向误差映射因子;
 δ_A ——广播轨道迹向精度,单位为米(m);
 δ_C ——广播轨道法向精度,单位为米(m)。

对于典型的 GNSS 卫星轨道高度,在观测截至高度角位 5°的情况下,映射因子 α 和 β 按表 1 取值。

表 1 GNSS SISRE 映射因子(截止高度角为 5°)

导航系统		BDS		GPS	GLONASS	Galileo
卫星类型		GEO/IGSO	MEO	MEO	MEO	MEO
高度		35 786 km	21 528 km	20 200 km	19 100 km	23 222 km
映射因子	α	0.992 4	0.982 3	0.980 4	0.978 6	0.984 4
	β	0.086 7	0.132 4	0.139 2	0.145 4	0.124 6

7.4 空间信号距离变化率误差(SISRRE)

导航卫星广播轨道和钟差误差引起的卫星至用户距离误差随时间的变化率,即 SISRE 对时间一阶导数。一般采用卫星钟的 3 秒稳定度,按公式(7)计算空间信号距离变化率精度。

$$ED_{\text{SISRRE}} \approx c \cdot \sigma_y \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

ED_{SISRRE} ——空间信号距离变化率精度,单位为米每秒(m/s);

σ_y ——卫星钟频率 3 秒稳定度。

其中 σ_y 按公式(8)计算。

$$\sigma_y = \sigma_y(\tau) \cdot \sqrt{\frac{\tau}{3}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$\sigma_y(\tau)$ ——卫星钟频率 τ ($3 \text{ s} \leq \tau \leq 4\,000 \text{ s}$) 秒稳定度。

7.5 空间信号距离二阶变化率误差(SISRAE)

导航卫星广播轨道和钟差误差引起的卫星至用户距离误差随时间的二阶变化率,即 SISRE 对时间二阶导数。一般采用卫星钟的 3 秒稳定度,按公式(9)计算空间信号距离二阶变化率精度。

$$EA_{\text{SISRAE}} \approx \frac{1}{3} c \cdot \sigma_y \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

EA_{SISRAE} ——空间信号距离二阶变化率精度,单位为米每二次方秒(m/s^2)。

7.6 空间信号完好性

表征导航电文中完好性相关参数在规定时间内实现风险告警能力,以卫星播发状态为“健康”的空间信号为判据,评估时段通常不小于一年。

7.7 空间信号连续性

表征卫星在评估时段内不发生非计划中断而持续工作的概率。以卫星播发状态为“健康”的空间信号为判据,评估时间通常不小于一年。单颗 GNSS 卫星的空间信号连续性按公式(10)计算。

$$S_{\text{con}} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{\text{total}}-N_{\text{win}}} \prod_{k=1}^{N_{\text{win}}} \text{bool}\{s(j,k)\}}{N_{\text{total}} - N_{\text{win}}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

S_{con} ——评估时段内,某颗导航卫星空间信号连续性;

N_{total} ——评估时段总历元数;

N_{win} ——滑动窗口长度(通常取 1 h)内包含的历元数;

j ——评估期内滑动窗口序号, $j=1, 2, \dots, N_{\text{total}} - N_{\text{win}}$;

k ——滑动窗口内的评估历元序号, $k=1, 2, \dots, N_{\text{win}}$;

$\text{bool}\{s(j,k)\}$ ——布尔函数,当卫星健康状态 $s(j,k)$ 为“健康”时取 1,否则取 0;

$s(j,k)$ ——滑动窗口序号为 j 、滑动窗口内历元序号为 k 时刻的卫星健康状态,由计划中断导致的不健康状态不纳入考虑范围。

7.8 空间信号可用性

表征卫星在评估时段内健康状态总时间与评估时段总时间的比值。以卫星播发状态为“健康”的空

间信号为判据,评估时段通常不小于一年。单颗 GNSS 卫星的空间信号可用性按公式(11)计算。

$$S_{\text{Ava}} = \frac{N_{\text{health}}}{N_{\text{total}}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

S_{Ava} ——单颗卫星空间信号可用性;

N_{health} ——评估时段内,该卫星空间信号播发状态为“健康”的历元数;

N_{total} ——评估时段总历元数。

7.9 广播电离层延迟模型精度

表征导航卫星广播电离层模型参数计算得到的电离层天顶延迟值的改正率和精度,按照参考基准的不同,可采用两种方法计算:

- a) 采用事后高精度格网电离层延迟模型作为评估基准,按公式(12)计算广播电离层延迟模型改正率,按公式(13)计算广播电离层延迟模型精度。

$$R_{\text{MG}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{|VI_{\text{MOD},i} - VI_{\text{GIM},i}|}{VI_{\text{GIM},i}} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$VI_{\text{MG}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (VI_{\text{MOD},i} - VI_{\text{GIM},i})^2} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

R_{MG} ——由格网电离层模型评估的广播电离层模型改正率;

n ——电离层格网点总数;

i ——网格点序号, $i=1, 2, \dots, n$;

$VI_{\text{MOD},i}$ ——格网点序号为 i 处广播电离层模型按照 ICD 规定方法计算的天顶延迟值,单位为 TECU;

$VI_{\text{GIM},i}$ ——格网点序号为 i 处事后高精度格网电离层延迟模型计算得的天顶延迟值,单位为 TECU;

VI_{MG} ——广播电离层模型精度,单位为 TECU。

- b) 采用双频实测观测数据计算穿刺点处垂直方向电离层延迟作为评估基准,按公式(14)计算广播电离层延迟模型改正率,按公式(15)计算广播电离层延迟模型精度。

$$R_{\text{ML}} = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \left(1 - \frac{|VI_{\text{MOD},l} - VI_{\text{LC},l}|}{VI_{\text{LC},l}} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$VI_{\text{ML}} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{l=1}^m (VI_{\text{MOD},l} - VI_{\text{LC},l})^2} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

R_{ML} ——由实测观测数据评估的广播电离层模型改正率;

m ——评估的穿刺点总数;

l ——穿刺点序号, $l=1, 2, \dots, m$;

$VI_{\text{MOD},l}$ ——穿刺点序号 l 处广播电离层模型按照 ICD 规定方法计算的天顶延迟值,单位为 TECU;

$VI_{\text{LC},l}$ ——穿刺点序号 l 处采用双频实测数据计算得到的天顶方向电离层延迟值,单位为 TECU。

7.10 广播 TGD 精度

表征导航电文中群延迟改正的精度。按公式(16)计算广播的 TGD 误差,统计误差序列得 RMS。

$$D_{\text{TGD},i} = D_{\text{brd},i} - D_{\text{ref},i} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

$D_{\text{TGD},i}$ —— i 时刻广播 TGD 误差,单位为纳秒(ns)；

$D_{\text{brd},i}$ —— i 时刻由导航电文计算获得的 TGD,单位为纳秒(ns)；

$D_{\text{ref},i}$ —— i 时刻事后 DCB 产品转换后的 TGD,单位为纳秒(ns)。

7.11 协调世界时偏差误差(UTC OE)

表征导航卫星广播的协调世界时(UTC)偏差值的精度。从导航电文中获取相应参数,按照 ICD 规定方法计算获得协调世界时偏差,并与事后高精度测量的协调世界时偏差求差,得到协调世界时偏差误差,统计误差序列得 95%分位值。

7.12 系统时性能参数

表征卫星导航系统系统时间的性能的参数,用频率准确度、稳定度、漂移率和与协调时 UTC(k)的偏差(模 1 s)等参数表示。

7.13 卫星钟性能

表征导航卫星基准频率性能的参数,用频率准确度、稳定度和漂移率等参数表示。

7.14 BDT 与 GNSS 系统时偏差误差(BG TOE)

表征北斗卫星导航系统播发的 BDT 与 GPS、GLONASS、Galileo 系统时之间的偏差值的精度。从导航电文中获取 BDT 与 GNSS 系统时之间的偏差参数,按照 ICD 规定方法计算获得 BDT 与 GNSS 系统时之间的偏差,并与事后高精度测量的偏差求差,得到 BDT 与 GNSS 系统时偏差误差,统计误差序列得 95%分位值。

7.15 坐标系统转换

表征卫星导航系统坐标系统之间的关系,通常用布尔莎七参数转换模型及其参数表示。

8 服务性能参数

8.1 定位精度

用户使用导航信号确定的位置与其真实位置之差的统计值,包括水平定位精度和垂直定位精度。

8.2 测速精度

用户使用导航信号确定的速度与其真实速度之差的统计值。

8.3 系统时授时精度

用户使用导航信号确定的时间与系统时之差的统计值。

8.4 PDOP 可用性

卫星导航系统在规定时间内、规定服务区内、规定条件(截止高度角、格网点、时间间隔等)下,PDOP 值满足 PDOP 限值要求的时间比,按公式(17)计算。

$$A_{\text{percent}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N \text{bool}\{A_{\text{PDOP}}(i, j) \leq A_{\text{Threshold}}\}}{n \times N} \dots\dots\dots (17)$$

式中:

- A_{percent} ——PDOP 可用性;
 n ——网格点总数;
 i ——网格点序号, $i=1, 2, \dots, n$;
 N ——总历元数;
 j ——历元序号, $j=1, 2, \dots, N$;
 $\text{bool}\{\}$ ——布尔函数, 当满足判断条件时取 1, 否则取 0;
 $A_{\text{PDOP}}(i, j)$ ——第 i 点第 j 时刻的 PODP 值;
 $A_{\text{Threshold}}$ ——PDOP 限值要求(PDOP 阈值)。

8.5 定位服务可用性

卫星导航系统在规定时间内、规定服务区内、规定条件(截止高度角、格网点、时间间隔等)下, 水平和垂直定位误差满足精度限值要求的时间比, 按公式(18)计算。

$$P_{\text{percent}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N \text{bool}\{HV_{\text{cal}}(i, j) \leq HV_{\text{Threshold}}\}}{n \times N} \dots\dots\dots (18)$$

式中:

- P_{percent} ——定位服务可用性;
 n ——网格点总数;
 i ——网格点序号, $i=1, 2, \dots, n$;
 N ——总历元数;
 j ——历元序号, $j=1, 2, \dots, N$;
 $\text{bool}\{\}$ ——布尔函数, 当满足判断条件时取 1, 否则取 0;
 $HV_{\text{cal}}(i, j)$ ——网格点序号为 i , 历元序号为 j 时刻的水平定位误差或垂直定位误差, 单位为米(m);
 $HV_{\text{Threshold}}$ ——水平定位精度或垂直定位精度阈值, 单位为米(m)。

8.6 定位服务连续性

表征卫星导航系统在规定的时间内不发生非计划中断, 为用户提供持续满足定位服务精度阈值的概率。以评估起始时刻可定位并满足精度阈值为判据, 通常采用服务区内多个监测点的平均值表示。任意监测点的定位服务连续性按公式(19)计算。

$$P_{\text{con}} = \frac{\sum_{k=1}^{N_{\text{total}}-N_{\text{win}}} \prod_{j=1}^{N_{\text{win}}} \text{bool}\{HV(i, k) \leq HV_{\text{Threshold}}\}}{N_{\text{total}} - N_{\text{win}}} \dots\dots\dots (19)$$

式中:

- P_{con} ——评估时段内, 某站点定位服务连续性;
 N_{total} ——评估时段总历元数;
 N_{win} ——滑动窗口长度(通常取 1 h)内包含的历元数;
 k ——评估期内滑动窗口序号, $k=1, 2, \dots, N_{\text{total}} - N_{\text{win}}$;
 j ——滑动窗口内的评估历元序号, $j=1, 2, \dots, N_{\text{win}}$;

$\text{bool}\{ \}$ ——布尔函数,当满足判断条件时取 1,否则取 0;

$\text{HV}(i,k)$ ——滑动窗口序号为 k 、滑动窗口内历元序号为 j 时刻的水平定位误差和垂直定位误差;

$\text{HV}_{\text{Threshold}}$ ——水平定位精度和垂直定位精度阈值。



附 录 A
(资料性附录)
精度因子的计算方法

A.1 空间直角坐标系下定位的权系数矩阵

用户观测到 4 颗或 4 颗以上卫星进行单点定位解算,按公式(A.1)计算权系数矩阵。

$$Q_x = (A^T A)^{-1} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- Q_x ——空间直角坐标系下 n 颗卫星参与定位计算的权系数矩阵;
- X ——三维位置(x, y, z)及接收机钟差(dt)参数;
- A ——观测方程的系数矩阵。

A.2 大地坐标系下定位权系数矩阵

为了估算用户定位精度,常采用其在大地坐标系统中的表达形式。在大地坐标系中的,按公式(A.2)计算相应点位坐标的权系数矩阵。

$$G = H Q_x H^T = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- G ——大地坐标系下 n 颗卫星参与定位计算的权系数矩阵;
- H ——转换矩阵,见公式(A.3);
- Q_x ——空间直角坐标系下 n 颗卫星参与定位计算的权系数矩阵;
- g_{ij} —— G 矩阵的元素,其中 i, j 取值为 1,2,3,4。

$$H = \begin{bmatrix} -\sin B \cos L & -\sin B \sin L & \cos B & 0 \\ -\sin L & \cos L & 0 & 0 \\ \cos B \cos L & \cos B \sin L & \sin B & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

- B ——大地经度;
- L ——大地纬度。

A.3 精度因子

在实践中,根据不同的要求,可采用不同的精度因子。

几何精度因子 G_{GDOP} ,按公式(A.4)计算。

$$G_{GDOP} = \sqrt{g_{11} + g_{22} + g_{33} + g_{44}} \dots\dots\dots (A.4)$$

位置精度因子 G_{PDOP} ,按公式(A.5)计算。

$$G_{\text{PDOP}} = \sqrt{g_{11} + g_{22} + g_{33}} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

垂直精度因子 G_{VDOP} ,按公式(A.6)计算。

$$G_{\text{VDOP}} = \sqrt{g_{33}} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

平面精度因子 G_{HDOP} ,按公式(A.7)计算。

$$G_{\text{HDOP}} = \sqrt{G_{\text{PDOP}}^2 - G_{\text{VDOP}}^2} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

时间精度因子 G_{TDOP} ,按公式(A.8)计算。

$$G_{\text{TDOP}} = \sqrt{g_{44}} \quad \dots\dots\dots (A.8)$$



附录 B
(资料性附录)
广播轨道精度计算

以精密轨道作为基准坐标,利用广播星历按照 ICD 规定方法计算得到的卫星位置为评估对象,将两者转换到同一坐标框架和同一时间系统下,并扣除天线相位中心改正数后作差,按公式(B.1)获得广播轨道误差,统计评估时段内的广播轨道误差得到广播轨道精度。

$$\Delta R = (R_{brd} + A \cdot \Delta_{brd}) - R_{pre} \dots\dots\dots (B.1)$$

- 式中：
- ΔR ——广播轨道误差,单位为米(m)；
 - R_{brd} ——广播星历计算的卫星位置,单位为米(m)；
 - A ——星体坐标系到地固系的转换矩阵；
 - Δ_{brd} ——卫星天线相位中心到卫星质心的改正数,单位为米(m)；
 - R_{pre} ——精密星历计算的卫星位置,单位为米(m)。



附 录 C

(资料性附录)

广播钟差精度计算

以精密钟差作为评估基准,利用广播钟差按照 ICD 规定方法计算得到的卫星钟差为评估对象,将两者时标统一到同一时间系统下,按公式(C.1)计算得到广播钟差误差,统计评估时段内的广播钟差误差得到广播钟差精度。

$$\Delta \tilde{c}_k^t = \Delta c_k^t - \frac{\sum_{k=1}^N \Delta c_k^t}{N} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

- $\Delta \tilde{c}_k^t$ ——卫星 k 在 t 时刻的扣除时间基准差异后的广播钟差误差,单位为秒(s);
 - Δc_k^t ——经 TGD 和天线相位中心改正后广播钟差与精密钟差的差值,单位为秒(s);
 - N ——卫星个数;
 - k ——卫星号;
 - t ——历元时刻。
- 其中 Δc_k^t 按公式(C.2)计算。

$$\Delta c_k^t = B_k^t - \frac{D_1 f_1^2 - D_2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} - \frac{e_k^{\text{pre}} - e_k^{\text{brd}}}{c} - \bar{C}_k^t \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

- B_k^t ——根据北斗系统 ICD 定义的算法,由广播钟差参数计算得到第 k 颗卫星在 t 时刻的钟差,单位为秒(s);
- D_1 —— f_1 频点信号星上设备时延差,单位为秒(s);
- D_2 —— f_2 频点信号星上设备时延差,单位为秒(s);
- f_1, f_2 ——精密钟差确定中双差无电离层组合采用的信号载波频率,单位为兆赫(MHz);
- e_k^{pre} ——精密钟差产品所采用的 Z 方向卫星天线相位中心改正数,单位为米(m);
- e_k^{brd} ——广播钟差产品所采用的 Z 方向卫星天线相位中心改正数,单位为米(m);
- \bar{C}_k^t ——第 k 颗卫星在 t 时刻的精密钟差,单位为秒(s)。

需要注意的是,GLONASS 系统广播钟差中含有相对论改正误差的影响,所以在评估广播钟差精度时需要从广播钟差中扣除相对论的影响。