

团 体 标 准

T/AISNIA XXX—XXXX

卫星导航系统精密单点实时动态定位增强 服务技术要求

Service Specification of Global Navigation Satellite System (GNSS)
Precise Point Positioning Real-Time Kinematic State Corrections

(征求意见稿)

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

目 次

前 言 II

引 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 1

5 增强信息结构、内容与分级 2

 5.1 增强信息总体要求 2

 5.2 增强信息分级定义 4

6 播发方式 5

7 性能指标 6

8 安全与隐私 8

 8.1 数据安全 8

 8.2 用户隐私 8

 8.3 安全审计 8

附 录 A （规范性） 算法说明..... 9

 A.1 状态空间表达 9

 A.2 轨道改正参数计算 9

 A.3 钟差改正参数计算 11

 A.4 伪距偏差改正参数计算 11

 A.5 相位偏差改正参数计算 11

 A.6 电离层延迟改正参数计算 12

 A.7 对流层延迟改正数计算 14

 A.8 PPP-RTK 算法..... 17

 A.9 SSR2OSR 算法..... 18

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国空天信息和卫星互联网创新联盟提出并归口。

本文件起草单位：中国联合网络通信有限公司智能城市研究院、中国科学院空天信息创新研究院、千寻位置网络有限公司、成都天奥信息科技有限公司、北京北斗星通导航技术股份有限公司、中国铁塔股份有限公司、广州市中海达测绘仪器有限公司、火眼位置数智科技服务有限公司、上海司南卫星导航技术股份有限公司、上海华测导航技术股份有限公司、长沙金维集成电路股份有限公司、中化环境控股有限公司、山东省国土测绘院

本文件起草人：景晨丰、叶海纳、杜忠岩、王宁波、杨杉、吴晓莉、王鹏、苗滢、李青松、王晓博、马长链、曲嘉旭、谢梦楠、许幸荣、高艺嘉、王晨旭、孔健、刘兴亮、吴晓东、潘国富、辜永忠、徐小东、庞浩、于晓东、张鹏、任可欣、杨晓航、孟静涛、陈建忠、谢雪峰、陈虎山、姜洁、武靖恺

引 言

近年来发展的PPP-RTK技术，被称为“第四代卫星导航精密定位技术”，兼具PPP“定位方式灵活”与RTK“定位过程高效”两者优势，可有效规避PPP服务初始化时间长以及RTK依赖于密集地面参考站的问题，具备收敛速度快、定位精度高和覆盖范围广的优势。本标准主要提出卫星导航系统精密单点实时动态定位增强服务技术要求，解决当前相关服务技术不统一不完整的问题。

本文件适用于北斗/全球卫星导航系统实时精密动态定位、精密时频传递等时空信息增强服务中状态域改正信息的生成、播发和使用。

卫星导航系统精密单点实时动态定位增强服务技术要求

1 范围

本文件规定了北斗/全球卫星导航系统精密单点实时动态定位（PPP-RTK）增强服务的信息结构、内容、播发协议、性能指标、安全与隐私等技术要求。

本文件适用于PPP-RTK增强服务的提供者、使用者及相关设备制造商。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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

GB/T 39398-2020 全球连续监测评估系统（iGMAS）监测评估参数

GB/T 44175.1-2024 全球连续监测评估系统（iGMAS）实时服务 第1部分：数据流格式

GB/T 44175.2-2024 全球连续监测评估系统（iGMAS）实时服务 第2部分：产品格式

GB/T 45526-2025 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）实时动态精密单点定位状态域改正产品规范

3 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

状态空间表达 state space representation; SSR

将影响卫星导航精密定位的误差分解为卫星轨道、卫星钟差、伪距偏差、相位偏差、电离层延迟、对流层延迟等状态空间内相互独立的误差向量，利用全球和区域的基准站观测数据对状态空间误差进行估计，并以独立的表达形式提供给用户。以下简称“状态域”。

3.2

观测空间表达 observation space representation; OSR

将影响卫星导航精密定位的卫星轨道、卫星钟差、伪距偏差、相位偏差、电离层延迟以及对流层延迟等误差分解为伪距观测和载波相位观测量中的共模误差，通过差分的方式消除或减缓误差对定位精度的影响。以下简称“观测域”。

3.3

精密单点实时动态定位 precise point positioning real-time kinematic; PPP-RTK

卫星导航接收机终端基于状态域改正信息（包括卫星轨道、卫星钟差、码偏差、相位偏差、电离层延迟、对流层延迟等），实现用户终端模糊度快速固定的实时定位方式。

4 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)

DF:数据字段(Data Field)
 GPS:全球定位系统(Global Positioning System)
 GEO:地球静止轨道(Geostationary Orbit)
 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:全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System)
 iGMAS:全球连续监测评估系统(international GNSS Monitoring and Assessment System)
 IGS0:倾斜地球同步轨道(Inclined GeoSynchronous Orbit)
 IOD:数据版本号(Issue Of Data)
 MEO:中圆地球轨道(Medium Earth Orbit)
 PPP-AR:精密单点定位模糊度固定(Precise Point Positioning-Ambiguity Resolution)
 PPP-RTK:精密单点实时动态定位(Precise Point Positioning Real-Time Kinematic)
 RMSE:均方根误差(Root Mean Square Error)
 RTCM:海事无线电技术委员会(Radio Technical Commission for Maritime services)
 SSR:状态空间表达(State Space Representation)
 OSR:观测空间表达(Observation Space Representation)
 STEC:倾斜总电子含量(Slant Total Electron Content)
 TEC:总电子含量(Total Electron Content)
 TECU:总电子含量单位(Total Electron Content Unit)
 URA:用户测距精度(User Range Accuracy)
 VTEC:天顶总电子含量(Vertical Total Electron Content)
 ZTD:天顶对流层延迟(Zenith Tropospheric Delay)

5 增强信息结构、内容与分级

5.1 增强信息总体要求

5.1.1 服务架构与信息分级

北斗/GNSS PPP-RTK增强信息通过状态空间表达(SSR)技术,将影响定位精度的主要误差源分解为卫星轨道、钟差、伪距偏差、相位偏差、电离层延迟及对流层延迟等改正数。为适应不同播发信道(如移动蜂窝网络、低轨卫星通信)在带宽、时延和覆盖能力上的差异,本标准提出分级的增强信息结构,包括:

- a) 完整级SSR信息:包含高精度、高更新率的全部状态域改正参数,旨在为高带宽、低时延信道下的应用提供最优定位性能。
- b) 紧凑级SSR信息:通过优化参数集、简化模型、降低更新率等方式,在保证关键定位性能的前提下,显著减少数据量,适用于带宽受限或时延较高的播发场景。

服务提供者应根据目标服务场景和播发能力,选择并提供特定级别的增强信息结构、内容。用户终端应根据接收到的信息级别,采用相应的算法进行处理。

5.1.2 信息类型

PPP-RTK状态域改正产品涵盖卫星轨道、钟差、偏差、电离层与对流层等共26类信息，其类型、名称及与信息级别的关联性见表1。表1中，“核心”参数为该级别服务必须包含的参数，“可选”参数可根据服务精度目标和信道条件选择性包含。

表1 PPP-RTK 状态域改正产品类型与分级

序号	信息类型	信息名称	完整级	紧凑级	备注（主要依据）
1	1057	GPS轨道改正信息	核心	核心	见GB/T 44175.2-2024
2	1058	GPS钟差改正信息	核心	核心	
3	1059	GPS码偏差信息	核心	核心	
4	1265	GPS相位偏差信息	核心	核心	
5	1061	GPS用户测距精度信息	核心	可选	
6	1063	GLONASS轨道改正信息	核心	核心	
7	1064	GLONASS钟差改正信息	核心	核心	
8	1065	GLONASS码偏差信息	核心	核心	
9	1266	GLONASS相位偏差信息	核心	核心	
10	1067	GLONASS用户测距精度信息	核心	可选	
11	1240	Galileo轨道改正信息	核心	核心	
12	1241	Galileo钟差改正信息	核心	核心	
13	1242	Galileo码偏差信息	核心	核心	
14	1267	Galileo相位偏差信息	核心	核心	
15	1244	Galileo用户测距精度信息	核心	可选	
16	1258	BDS轨道改正信息	核心	核心	
17	1259	BDS钟差改正信息	核心	核心	
18	1260	BDS码偏差信息	核心	核心	
19	1262	BDS用户测距精度信息	核心	可选	
20	1264	电离层延迟改正球谐函数信息	核心	可选	
21	1271	电离层延迟改正调整球谐函数信息	核心	可选	见GB/T 45526-2025
22	1272	电离层延迟改正标准多项式函数信息	核心	可选	
23	1273	电离层延迟改正切比雪夫多项式函数信息	核心	核心	
24	1274	对流层延迟改正调整球谐函数信息	核心	可选	
25	1275	对流层延迟改正标准多项式函数信息	核心	可选	
26	1276	对流层延迟改正切比雪夫多项式函数信息	核心	核心	

5.1.3 信息结构

增强信息采用“信息头+数据域”的通用结构。信息头包含电文的元数据，数据域包含具体的改正参数。为支持分级服务，信息头中应包含“SSR信息级别标识”字段。

5.1.4 数据字段

PPP-RTK状态域改正产品自定义信息类型的数据部分由多个数据字段组成，数据字段定义见表2。表2中数据字段编号用DFXXX标识，XXX表示三位数字；范围是指各数据字段的取值范围；比例因子是指数据字段的缩放系数；数据类型是数据在计算机编程中的属性，本文使用的数据类型与GB/T 45526-2025中表2定义一致，并新增SSR信息级别标识、轨道改正数简化标识。

表2 PPP-RTK 状态域改正产品字段

数据字段编号	数据字段名称	范围	比例因子	数据类型	备注
DF614 ~ DF647	--	--	-	-	见GB/T 45526-2025
DF648	SSR 信息级别标识	0-3	1	unit2	新增：0=完整级，1=紧凑级，2-3 预留
DF649	轨道改正数简化标识	0-1	1	bit(1)	新增：用于紧凑级，0=不含变化率，1=含变化率

5.2 增强信息分级定义

增强信息定义包括PPP-RTK状态域改正数各层次内容的类型、数据字段及相关解释，本文使用的数据类型与GB/T 45526-2025 中5.2-5.8定义一致，并根据SSR信息级别新增服务化分级定义如下。

5.2.1 轨道改正信息

轨道轨道改正信息用于修正广播星历的卫星轨道误差，通常以轨道面径向、切向、法向的改正量及其变化率表示。

- a) 完整级 SSR 信息：应提供完整的轨道改正量及其变化率。信息结构遵循 GB/T 44175.2-2024 的规定，更新间隔通常不大于 5 秒。
- b) 紧凑级 SSR 信息：为减少数据量，建议采用以下一种或多种策略。
 - 1) 可省略轨道改正量的变化率参数。
 - 2) 可适当降低轨道改正数的数值量化精度（如增大比例因子）。
 - 3) 更新间隔可延长至 10 秒至 30 秒。

相关要求详见表 3，具体采用策略应在服务描述中明确。

表3 轨道改正信息分级要求

参数	完整级	紧凑级
轨道改正量（径向、切向、法向）	必选	必选
轨道改正变化率	必选	可选
典型更新间隔	≤ 5秒	10秒 - 30秒
数据量	大	小

5.2.2 钟差改正信息

钟差改正信息用于修正广播星历的卫星钟差误差，通常以多项式系数（C0，C1，C2）表示。

- a) 完整级：应提供钟差改正数的多项式系数C0，C1，C2。更新间隔通常不大于5秒。

b) 紧凑级：为减少数据量，可仅提供C0和C1系数，或适当降低系数量化精度。更新间隔可与轨道改正数同步。

5.2.3 相位偏差改正信息

相位偏差改正信息是实现整周模糊度固定的关键。

a) 完整级：应提供支持所有频点信号模糊度固定所需的精细相位偏差参数。

b) 紧凑级：可优先提供支持核心频点（如BDS B1C/B2a，GPS L1/L2）模糊度固定所需的相位偏差参数，简化宽巷分组等附属信息，以优化窄带播发下的数据量。

5.2.4 电离层延迟改正信息

电离层改正分为全球、广域、局域三种区域类型，并采用不同的函数模型。

a) 完整级：可根据服务区域支持全部函数模型（球谐函数、调整球谐函数、标准多项式、切比雪夫多项式）。

b) 紧凑级：为提升编解码效率和抗误码性能，优先推荐采用切比雪夫多项式进行局域电离层建模。其数值稳定性高，更适合带宽受限的信道。广域服务可优先采用调整球谐函数。

表4 电离层改正模型分级推荐

区域类型标识	完整级服务推荐模型	紧凑级服务推荐模型
全球服务	球谐函数	不适用
广域服务	调整球谐函数、球谐函数	调整球谐函数
局域服务	标准多项式、切比雪夫多项式	切比雪夫多项式等

6 播发方式

PPP-RTK改正信息建议支持通过多种通信链路播发，如4G/5G或更新的商用移动蜂窝网络、高通量通信卫星、低轨通信卫星、窄带自组网、调频广播、地面宽带互联网等，以满足不同场景下用户对覆盖范围、精准性和可靠性的需求。建议根据播发渠道的带宽、时延、覆盖和功耗特性，选择与之相匹配的SSR信息级别（完整级或紧凑级）及相应的协议与技术参数。

播发方式、SSR信息级别与典型应用场景适配指南参考表5。

表5 播发方式、SSR 信息级别与典型应用场景适配指南

播发方式	推荐 SSR 信息级别	典型更新率	典型延迟	适用场景
4G/5G 蜂窝网络	完整级	$\geq 1\text{ Hz}$	$<2\text{ s}$	自动驾驶、低空飞行、机器人、精密测量等
高通量通信卫星 (GEO/MEO)	完整级	$\geq 1\text{ Hz}$	$0.6\text{--}1.2\text{ s}$	远洋航运、航空导航、能源勘探等
LEO 宽带星座	完整/紧凑级	$0.5\text{--}1\text{ Hz}$	$<10\text{ s}$	全球无缝覆盖的厘米/分米级服务
LEO 窄带星座	紧凑级	$\geq 0.2\text{ Hz}$	$<10\text{ s}$	位置物联网、大众消费、应急救援等
窄带自组网	紧凑级	$0.05\text{--}0.1\text{ Hz}$	$<30\text{ s}$	局域位置物联网、机器人等
调频广播	完整/紧凑级	$0.5\text{--}1\text{ Hz}$	$<10\text{ s}$	城市级位置物联网、低空飞行等
地面宽带互联网	完整级	$\geq 0.5\text{ Hz}$	$<5\text{ s}$	特定行业应用

7 性能指标

本章规定不同级别PPP-RTK增强服务应达到的性能指标。服务性能与改正数级别紧密相关，分为完整级和紧凑级。完整级SSR数据旨在提供最优性能，适用于高带宽、低延迟播发渠道。紧凑级SSR数据在保证基本高精度定位服务的前提下，对性能指标进行合理调整，以适应带宽受限的播发通道。相关参数计算方法参考附录。

轨道改正数精度要求见表6。

表6 轨道改正数精度要求播发方式、SSR 信息级别与典型应用场景适配指南

项目	BDS		GPS	GLONASS	Galileo
卫星类型	MEO	IGSO	MEO	MEO	MEO
轨道改正数（1D RMS）	≤5cm	≤15cm	≤5cm	≤15cm	≤5cm
产品可用性	≥99%				
注：产品可用性指改正产品能被用户终端接收并使用的时间百分比，不包括由于通信等原因导致的信息中断。					

钟差改正数精度要求见表7。

表7 钟差改正数精度要求

项目	BDS		GPS	GLONASS	Galileo
卫星类型	MEO	IGSO	MEO	MEO	MEO
钟差改正数（STD）	完整级≤0.20ns 紧凑级≤0.30ns	完整级≤0.30ns 紧凑级≤0.45ns	完整级≤0.20ns 紧凑级≤0.30ns	完整级≤0.15ns 紧凑级≤0.23ns	完整级≤0.20ns 紧凑级≤0.30ns
产品可用性	≥99%				

空间信号用户测距误差精度要求见表8。

表8 空间信号用户测距误差精度要求

项目	BDS		GPS	GLONASS	Galileo
卫星类型	MEO	IGSO	MEO	MEO	MEO
用户伪距偏差（1D RMS）	完整级≤15 cm 紧凑级≤30 cm	完整级≤15 cm 紧凑级≤30 cm	完整级≤15 cm 紧凑级≤30 cm	完整级≤25 cm 紧凑级≤50 cm	完整级≤15 cm 紧凑级≤30 cm
产品可用性	≥99%				

码偏差改正数精度要求见表9。

表9 码偏差改正数精度要求

项目	BDS		GPS	GLONASS	Galileo
卫星类型	MEO	IGSO	MEO	MEO	MEO
伪距偏差（STD）	0.10ns	0.20ns	0.10ns	0.20ns	0.10ns
产品可用性	≥99%				

相位偏差改正数精度要求见表10。

表10 相位偏差改正数精度要求

项目	BDS		GPS	GLONASS	Galileo
卫星类型	MEO	IGSO	MEO	MEO	MEO
伪距偏差改正数（STD）	≤0.10 周	≤0.15 周	≤0.10 周	≤0.15 周	≤0.10 周
产品可用性	≥99%				

电离层延迟改正数精度要求见表11。

表11 电离层延迟改正数精度要求

项目	性能指标
全球电离层改正数（1D RMS）	完整级：2.0-6.0TECU
广域电离层改正数（1D RMS）	完整级：0.5-2.0TECU 紧凑级：1.0-4.0TECU
局域电离层改正数（1D RMS）	完整级：0.3-1.0TECU 紧凑级：0.6-2.0TECU
产品可用性	完整级≥99% 紧凑级≥95%
注：全球电离层性能指标以事后精密电离层全球格网产品为参考。广域电离层与局域电离层以PPP-AR提取的高精度电离层信息为参考。	

对流层延迟改正数精度要求见表12。

表12 对流层延迟改正数精度要求

项目	广域对流层延迟产品
广域对流层延迟改正数（1D RMS）	完整级≤0.05 m 紧凑级≤0.1 m
局域对流层延迟改正数（1D RMS）	完整级≤0.02 m 紧凑级≤0.04 m
产品可用性	完整级≥99% 紧凑级≥95%
注：上述精度指标以测站PPP-AR提取的高精度对流层延迟信息为参考。	

PPP-RTK定位性能要求见表13。

表13 PPP-RTK 定位性能要求

项目	性能指标
平面定位精度（2D RMS）	完整级≤2.5 cm 紧凑级≤8 cm

项目	性能指标
高程定位精度（2D RMS）	完整级≤5 cm 紧凑级≤15 cm
收敛时间	完整级<60 s 紧凑级<90 s
注：上述精度指标以开阔观测条件、弱信号干扰、通信良好的试验场测定值为参考。	

8 安全与隐私

8.1 数据安全

PPP-RTK改正信息在传输过程中应进行加密处理，防止数据被窃听和篡改。推荐使用国密算法（如SM4）或国际通用加密算法（如AES-256）。播发协议应支持身份认证与访问控制，防止未授权访问。

8.2 用户隐私

服务提供商不得收集、存储或传播用户精确定位信息，坚持数据最小化原则和目的限定原则。用户身份、设备序列号、入网号等标识应进行匿名化处理，确保用户隐私不受侵犯。

8.3 安全审计

服务提供商应建立安全审计机制，记录关键操作日志，包括但不限于：数据访问日志、系统配置变更日志、用户行为日志、安全事件日志等。审计日志应受到保护，防止未授权的删除、修改或覆盖，建议其保存时间应不少于6个月。建议至少每季度对审计日志进行分析，排查安全漏洞和异常行为。

附 录 A

(规范性)

算法说明

A.1 状态空间表达

卫星 i 和接收机 j 在信号 s 上的伪距 $PR_{j,s}^i$ 和相位 $\varphi_{j,s}^i$ 观测方程如式(A.1)所示,观测方程的主要误差包括卫星轨道、卫星钟差、伪距偏差、相位偏差、电离层误差和对流层误差等。

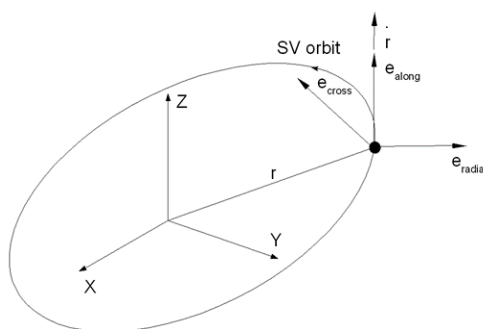
$$\begin{cases} PR_{j,s}^i = |R_j^i| + \delta C_j - \delta C^i - \delta B_s^i + \delta B_{j,s}^i + \delta I_{j,s}^i + \delta T_j^i + \delta S_{j,s}^i + \varepsilon_{j,s}^i \\ \varphi_{j,s}^i \lambda_s = |R_j^i| + \delta C_j - \delta C^i - \delta b_s^i + \delta b_{j,s}^i - \delta I_{j,s}^i + \delta T_j^i + \lambda_s N_{j,s}^i + \delta S_{j,s}^i + \varepsilon_{j,s}^i \end{cases} \dots\dots\dots (\text{A. 1})$$

式中:

- $|R_j^i|$ ——卫星天线相位中心与接收机天线相位中心的距离;
- δC_j ——接收机 j 的钟差;
- δC^i ——卫星 i 的钟差;
- δB_s^i ——信号 s 的卫星 i 的伪距偏差;
- δb_s^i ——信号 s 的卫星 i 的相位偏差;
- $\delta B_{j,s}^i$ ——信号 s 的接收机 j 的伪距偏差;
- $\delta b_{j,s}^i$ ——信号 s 的接收机 j 的相位偏差;
- $\delta I_{j,s}^i$ ——信号 s 的接收机 j 和卫星 i 的电离层误差;
- δT_j^i ——接收机 j 和卫星 i 的对流层误差;
- λ_s ——信号 s 的载波相位 f_s 的波长;
- $N_{j,s}^i$ ——信号 s 的接收机 j 和卫星 i 相位观测的模糊度;
- $\delta S_{j,s}^i$ ——与伪距观测相关的其他误差;
- $\delta S_{j,s}^i$ ——与相位观测相关的其他误差;
- $\varepsilon_{j,s}^i$ ——噪声。

A.2 轨道改正参数计算

SSR轨道改正信息包括径向、切向和法向的改正分量,可用于计算卫星 i 的位置改正信息。通过使用卫星的位置改正信息对广播星历计算得到的卫星位置进行改正,从而得到精确卫星轨道。卫星轨道示意图见图A.1。



图A.1 径向、切向、垂直轨迹方向的分量

1) 卫星轨道改正的计算公式见公式 (A.2) :

$$X_{orbit}^i = X_{broadcast}^i - e \cdot \delta O^i \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- X_{orbit}^i ——经过SSR轨道改正后的卫星位置矢量, 单位为米 (m) ;
- $X_{broadcast}^i$ ——由广播星历参数计算的卫星位置矢量, 单位为米 (m) ;
- e ——卫星位置矢量在径向、法向和切向的单位矢量构成的单位矩阵, 单位为米 (m) ;
- δO^i ——卫星位置改正矢量, 单位为米 (m) 。

2) 单位矩阵 e 的计算公式见公式 (A.3) :

$$\begin{cases} e = [e_{radial} \ e_{along} \ e_{cross}] \\ e_{along} = \frac{\dot{r}}{|\dot{r}|} \\ e_{cross} = \frac{r \times \dot{r}}{|r \times \dot{r}|} \\ e_{radial} = e_{along} \times e_{cross} \end{cases} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

- r ——广播星历计算的卫星位置矢量, 单位为米 (m) ;
- $\dot{r}$ ——广播星历计算的卫星速度向量, 单位为米/秒 (m/s) ;
- e_{radial} ——径向对应的单位向量, 单位为米 (m) ;
- e_{along} ——切向对应的单位向量, 单位为米 (m) ;
- e_{cross} ——法向对应的单位向量, 单位为米 (m) 。

3) 卫星位置改正矢量 δO 的计算公式见公式 (A.4) :

$$O = \begin{bmatrix} \delta O_{radial} \\ \delta O_{along} \\ \delta O_{cross} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta \dot{O}_{radial} \\ \delta \dot{O}_{along} \\ \delta \dot{O}_{cross} \end{bmatrix} (t - t_{orbit}) \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

- t ——当前时刻, 单位为秒 (s) ;
- t_{orbit} ——SSR轨道改正信息的参考时间, 单位为秒 (s) ;
- δO_{radial} ——SSR轨道改正信息在径向的改正数, 单位为米 (m) ;
- δO_{along} ——SSR轨道改正信息在切向的改正数, 单位为米 (m) ;
- δO_{cross} ——SSR轨道改正信息在法向的改正数, 单位为米 (m) ;
- $\delta \dot{O}_{radial}$ ——SSR轨道改正信息在径向的改正数的变化率, 单位为米/秒 (m/s) ;
- $\delta \dot{O}_{along}$ ——SSR轨道改正信息在切向的改正数的变化率, 单位为米/秒 (m/s) ;
- $\delta \dot{O}_{cross}$ ——SSR轨道改正信息在法向的改正数的变化率, 单位为米/秒 (m/s) 。

当卫星轨道改正信息参考点以相位中心表征时, 对应的参考频点见表45。

表14 GNSS 卫星相位中心参考频点

GNSS卫星系统	参考频点
BDS	B1I
GPS	L1
GLONASS	G1
Galileo	E1

A.3 钟差改正参数计算

1) 卫星钟差改正的计算公式见公式 (A.5) :

$$t_{\text{satellite}} = t_{\text{broadcast}} - \frac{\delta C}{c} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

$t_{\text{satellite}}$ ——经过SSR钟差改正后的卫星钟差, 单位为秒 (s) ;

$t_{\text{broadcast}}$ ——广播星历计算的卫星钟差, 单位为秒 (s) ;

δC ——根据SSR钟差改正信息算得到的钟差改正数;

c ——光速, 单位为米/秒 (m/s) 。

2) 钟差改正数 δC 的计算公式见公式 (A.6) :

$$\delta C = C_0 + C_1(t - t_{\text{clk}}) + C_2(t - t_{\text{clk}})^2 \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

t ——当前时刻, 单位为秒 (s) ;

t_{clk} ——SSR钟差改正信息的参考时间, 单位为秒 (s) ;

C_0 ——卫星钟差改正多项式的C0系数;

C_1 ——卫星钟差改正多项式的C1系数;

C_2 ——卫星钟差改正多项式的C2系数。

3) 对于GPS卫星, 在计算 $t_{\text{broadcast}}$ 时需要考虑相对论效应对钟差的影响, 计算公式见公式 (A.7) :

$$\Delta t_T = -\frac{2r \cdot \dot{r}}{c^2} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

Δt_T ——相对论效应改正量, 应加到 $t_{\text{broadcast}}$ 中, 单位为秒 (s) ;

r ——广播星历计算的卫星位置矢量, 单位为米 (m) ;

$\dot{r}$ ——广播星历计算的卫星速度向量, 单位为米/秒 (m/s) ;

c ——光速, 单位为m/s。

卫星钟差取决于服务商所使用的无电离层组合观测值(BDS 以 B3 频点为基准), 观测值受卫星硬件延迟(码延迟)的影响。例如, 若 GPS 广播星历的卫星钟差是基于 L1 和 L2 上的 P 码无电离层组合给出的, 就可忽略信号的码延迟。对于 SSR, 由服务提供者确定用于计算卫星钟差改正的信号及计算并消除码延迟。服务提供者必须保证播发的卫星钟差改正数和码延迟的一致性。流动站也必须使用相应的码延迟和卫星钟差改正数。

A.4 伪距偏差改正参数计算

原始伪距观测值减去SSR伪距偏差得到改正后的伪距观测值, 计算公式见公式 (A.8) :

$$\overline{PR}_{j,s}^i = PR_{j,s}^i - B_s^i \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

$\overline{PR}_{j,s}^i$ ——接收机 j 接收卫星 i 在信号 s 上经伪距偏差改正后的伪距观测值, 单位为米 (m) ;

$PR_{j,s}^i$ ——接收机 j 接收卫星 i 在信号 s 上的原始伪距观测值, 单位为米 (m) ;

B_s^i ——卫星 i 对应于信号 s 上的SSR伪距偏差改正数, 单位为米 (m) 。

A.5 相位偏差改正参数计算

原始载波相位观测值减去SSR相位偏差得到改正后的载波相位观测值, 计算公式见公式 (A.9) :

$$\bar{\varphi}_{j,s}^i \lambda_s = \varphi_{j,s}^i \lambda_s - b_s^i \dots\dots\dots (A. 9)$$

式中:

- $\bar{\varphi}_{j,s}^i \lambda_s$ ——接收机*j*接收卫星*i*在信号*s*上经相位偏差改正后的载波相位观测值, 单位为米 (m);
 $\varphi_{j,s}^i \lambda_s$ ——接收机*j*接收卫星*i*在信号*s*上的原始载波相位观测值, 单位为米 (m);
 b_s^i ——卫星*i*在信号*s*上的SSR相位偏差改正数, 单位为米 (m)。

A. 6 电离层延迟改正参数计算

A. 6.1 全球电离层延迟改正参数计算

全球电离层延迟改正产品采用球谐函数模型表征, 电离层延迟改正数计算如下:。

1) 基于球谐函数模型系数计算电离层VTEC改正信息, 见公式 (A. 10):

$$VTEC(\varphi_{pp}, \lambda_{pp}) = \sum_{n=0}^N \sum_{m=0}^{\min(n,M)} P_{nm}(\sin \varphi_{pp})(C_{nm} \cos m\lambda_s + S_{nm} \sin m\lambda_s) \dots\dots\dots (A. 10)$$

式中:

- $VTEC(\varphi_{pp}, \lambda_{pp})$ ——纬度 φ 经度 λ 的电离层穿刺点处VTEC改正信息, 单位为TECU;
 φ_{pp} ——电离层穿刺点纬度, 单位为弧度 (rad);
 λ_{pp} ——电离层穿刺点经度, 单位为弧度 (rad);
 N ——球谐函数的度数;
 M ——球谐函数的阶数;
 P_{nm} —— n 度 m 阶的归化勒让德函数;
 C_{nm} ——球谐函数模型的余弦系数;
 S_{nm} ——球谐函数模型的正弦系数;
 λ_s ——日固系下电离层穿刺点的平均经度, 单位为弧度 (rad)。

2) 获取用户处斜向电离层延迟改正信息, 见公式 (A. 11):

$$STEC_{GVI} = \frac{40.3}{f^2} sf \cdot VTEC(\varphi_{pp}, \lambda_{pp}) \dots\dots\dots (A. 11)$$

式中:

- $STEC_{GVI}$ ——斜向电离层延迟改正信息, 单位为米 (m);
 f ——信号频率, 单位为赫兹 (Hz);
 $VTEC(\varphi_{pp}, \lambda_{pp})$ ——纬度 φ 经度 λ 的电离层穿刺点处VTEC改正信息, 单位为TECU;
 sf ——电离层投影函数, 计算方法见公式 (A. 12);

$$sf = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{R_e}{R_e + h_i} \cos(E)\right)^2}} \dots\dots\dots (A. 12)$$

式中:

- R_e ——地球半径, 单位为千米 (km);
 h_i ——电离层薄层高度, 单位为千米 (km);
 E ——卫星高度角, 单位为弧度 (rad)。

A. 6.2 广域电离层延迟改正数计算

广域电离层延迟改正产品基于调整球谐函数模型表征, 针对每颗卫星播发不同的模型系数以及对应的格网点VTEC残差, 单颗卫星电离层延迟改正数的计算方法:

1) 基于调整球谐函数模型系数计算电离层VTEC改正信息, 见公式 (A. 13):

$$VTEC(\tilde{\varphi}_{pp}, \tilde{\lambda}_{pp}) = \sum_{n=0}^N \sum_{m=0}^{\min(n,M)} \tilde{P}_{nm}(\sin \tilde{\varphi}_{pp}) \cdot (\tilde{C}_{nm} \cos(m\tilde{\lambda}_{pp}) + \tilde{S}_{nm} \sin(m\tilde{\lambda}_{pp})) \cdots (A. 13)$$

式中：

$VTEC(\tilde{\varphi}_{pp}, \tilde{\lambda}_{pp})$ ——纬度 $\tilde{\varphi}_{pp}$ 经度 $\tilde{\lambda}_{pp}$ 的电离层穿刺点处电离层VTEC，单位为TECU；

$\tilde{\varphi}_{pp}$ ——球冠坐标系下调整后的纬度，单位为弧度（rad）；

$\tilde{\lambda}_{pp}$ ——球冠坐标系下调整后的经度，单位为弧度（rad）；

N ——调整球谐函数的度数；

M ——调整球谐函数的阶数；

$\tilde{P}_{nm}$ ——调整球谐 n 度 m 阶的归化勒让德函数；

$\tilde{C}_{nm}$ ——调整球谐函数模型余弦系数；

$\tilde{S}_{nm}$ ——调整球谐函数模型正弦系数。

$\tilde{\varphi}_{pp}$ 与 $\tilde{\lambda}_{pp}$ 的计算方法见公式（A. 14）：

$$\begin{cases} \tilde{\varphi}_{pp} = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{\theta_{\max}} \left[\frac{\pi}{2} - \arccos[\sin \varphi_0 \cdot \sin \varphi + \cos \varphi_0 \cos \varphi \cos(\lambda - \lambda_0)] \right] \\ \tilde{\lambda}_{pp} = \arcsin \left[\frac{\sin(\lambda - \lambda_0) \cdot \cos \varphi}{\sin(\arccos[\sin \varphi_0 \cdot \sin \varphi + \cos \varphi_0 \cos \varphi \cos(\lambda - \lambda_0)])} \right] \end{cases} \cdots (A. 14)$$

式中：

$\theta_{\max}$ ——球冠半角，单位为弧度（rad）；

φ_0 ——球冠极点的地理纬度，单位为弧度（rad）；

λ_0 ——球冠极点的地理经度，单位为弧度（rad）；

φ ——电离层穿刺点的地理纬度，单位为弧度（rad）；

λ ——电离层穿刺点的地理经度，单位为弧度（rad）。

2) 获取最终电离层VTEC改正信息，需加上格网残差改正信息，见公式（A. 15）：

$$VTEC_{RVI} = VTEC(\tilde{\varphi}_{pp}, \tilde{\lambda}_{pp}) + VTEC_{GRI} \cdots (A. 15)$$

式中：

$VTEC_{RVI}$ ——广域电离层垂向最终改正信息，单位为TECU；

$VTEC(\tilde{\varphi}_{pp}, \tilde{\lambda}_{pp})$ ——广域电离层函数模型改正信息，单位为TECU；

$VTEC_{GRI}$ ——双线性插值后的广域电离层格网VTEC残差，单位为TECU。

3) 获取用户处斜向电离层延迟改正数，见公式（A. 16）：

$$STE C_{RVI} = \frac{40.3}{f^2} \cdot sf \cdot VTEC_{RVI} \cdots (A. 16)$$

式中：

$STE C_{RVI}$ ——广域电离层斜向最终延迟改正信息，单位为米（m）；

f ——信号频率，单位为赫兹（Hz）；

sf ——电离层投影函数，计算方法见公式（A. 12）；

$VTEC_{RVI}$ ——广域电离层垂向最终改正信息，单位为TECU。

A. 6.3 局域电离层延迟改正数计算

局域电离层延迟改正产品基于标准多项式函数或切比雪夫多项式函数模型表征，针对每颗卫星播发不同的模型系数以及对应的格网点STE C残差，单颗卫星电离层延迟改正数计算方法如下：

1) 基于标准多项式系数计算电离层STE C改正信息，见公式（A. 17）：

$$STE C(\Delta N_{pp}, \Delta E_{pp}) = \sum_{i=0}^{M_i} \sum_{j=0}^{M_j} a_{ij} \cdot (\Delta N_{pp})^i \cdot (\Delta E_{pp})^j \cdots (A. 17)$$

式中：

$STEC(\Delta N_{pp}, \Delta E_{pp})$ ——该位置处局域模型提供的电离层 STEC，单位为 TECU；

ΔN_{pp} ——在北方向上，测站和卫星的连线在电离层的穿刺点与地面参考点和卫星连线在电离层的穿刺点的弧度差，单位为弧度（rad）；

ΔE_{pp} ——在东方向上，测站和卫星的连线在电离层的穿刺点与地面参考点和卫星连线在电离层的穿刺点的弧度差，单位为弧度（rad）；

M_i ——北方向标准多项式最大阶次；

M_j ——东方向标准多项式最大阶次；

a_{ij} ——标准多项式系数。

2) 基于切比雪夫多项式系数计算电离层 STEC 改正信息，见公式 (A. 18)：

$$STEC(\Delta N_{pp}, \Delta E_{pp}) = \sum_{i=0}^{M_i} \sum_{j=0}^{M_j} a_{ij} T_i(\Delta N_{pp}) T_j(\Delta E_{pp}) \cdots \cdots \cdots (A. 18)$$

式中：

$STEC(\Delta N_{pp}, \Delta E_{pp})$ ——该位置处局域模型提供的电离层 STEC，单位为 TECU；

ΔN_{pp} ——在北方向上，测站和卫星的连线在电离层的穿刺点与地面参考点和卫星连线在电离层的穿刺点的弧度差，单位为弧度（rad）；

ΔE_{pp} ——在东方向上，测站和卫星的连线在电离层的穿刺点与地面参考点和卫星连线在电离层的穿刺点的弧度差，单位为弧度（rad）；

M_i ——北方向切比雪夫多项式最大阶次；

M_j ——东方向切比雪夫多项式最大阶次；

a_{ij} ——切比雪夫多项式系数；

$T_i(\cdot)$ —— i 阶切比雪夫多项式；

$T_j(\cdot)$ —— j 阶切比雪夫多项式。

3) 获取此卫星用户位置处的最终电离层延迟改正信息，需加上格网残差改正信息，见公式 (A. 19)：

$$STEC_{RSI} = \frac{40.3}{f^2} \cdot [STEC(\Delta N_{pp}, \Delta E_{pp}) + STEC_{GRI}] \cdots \cdots \cdots (A. 19)$$

式中：

$STEC_{RSI}$ ——用户位置处最终局域电离层延迟改正信息，单位为米（m）；

f ——信号频率，单位为赫兹（Hz）；

$STEC(\Delta N_{pp}, \Delta E_{pp})$ ——该位置处局域模型提供的电离层 STEC，单位为 TECU；

$STEC_{GRI}$ ——双线性插值后的局域电离层格网残差，单位为 TECU。

A. 7 对流层延迟改正数计算

A. 7.1 广域对流层延迟改正数计算

广域对流层延迟改正产品基于调整球谐函数模型表达，播发模型系数以及对应的格网点 ZTD 残差，对流层延迟改正数计算方法如下：

1) 基于调整球谐函数模型计算高度为 h_0 处的对流层 ZTD 改正数，定义见公式 (A. 20)：

$$ZTD_{h_0}(\tilde{\varphi}, \tilde{\lambda}) = \sum_{n=0}^{n_{dmax}} \sum_{m=0}^n \tilde{P}_{nm}(\sin \tilde{\varphi}) \cdot (\tilde{A}_{nm} \cos(m\tilde{\lambda}) + \tilde{B}_{nm} \sin(m\tilde{\lambda})) \cdots \cdots \cdots (A. 20)$$

式中：

$ZTD_{h_0}(\tilde{\varphi}, \tilde{\lambda})$ ——高度为 h_0 时的对流层延迟，单位为米（m）；

$\tilde{\varphi}$ ——球冠坐标系下调整纬度，单位为弧度（rad）；

$\tilde{\lambda}$ ——球冠坐标系下调整经度，单位为弧度（rad）；

n_{dmax} ——最大度数；

- $\tilde{P}_{nm}$ ——n 度 m 阶的归化勒让德函数；
 $\tilde{A}_{nm}$ ——调整球谐函数模型余弦系数；
 $\tilde{B}_{nm}$ ——调整球谐函数模型正弦系数。

球冠坐标系下调整纬度和经度计算值，定义见公式（A. 21）：

$$\begin{cases} \tilde{\varphi} = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{\theta_{\max}} \left[\frac{\pi}{2} - \arccos[\sin\varphi_0 \cdot \sin\varphi + \cos\varphi_0 \cos\varphi \cos(\lambda - \lambda_0)] \right] \\ \tilde{\lambda} = \arcsin \left[\frac{\sin(\lambda - \lambda_0) \cdot \cos\varphi}{\sin(\arccos[\sin\varphi_0 \cdot \sin\varphi + \cos\varphi_0 \cos\varphi \cos(\lambda - \lambda_0)])} \right] \end{cases} \dots\dots\dots (A. 21)$$

式中：

- $\theta_{\max}$ ——球冠半角，单位为弧度（rad）；
 φ_0 ——球冠坐标系极点的地理纬度，单位为弧度（rad）；
 φ ——建模测站的地理纬度，单位为弧度（rad）；
 λ_0 ——球冠坐标系极点的地理经度，单位为弧度（rad）；
 λ ——建模测站的地理经度，单位为弧度（rad）。

2) 用户位置高度 h 处的对流层ZTD改正信息，定义见公式（A. 22）：

$$ZTD_h(\tilde{\varphi}, \tilde{\lambda}) = ZTD_{h_0}(\tilde{\varphi}, \tilde{\lambda}) \cdot \exp\left(-\frac{1}{H} \cdot h\right) \dots\dots\dots (A. 22)$$

式中：

- ZTD_h ——用户位置高度 h 处的天顶对流层延迟，单位为米（m）；
 $\frac{1}{H}$ ——高程改正系数；
 h ——用户位置处的高度，单位为米（m）。

注：高程改正系数可根据ERA5等气象参数拟合。

3) 获取用户位置处最终ZTD改正信息，需加上格网残差改正信息，定义见公式（A. 23）：

$$ZTD'_h = ZTD_h + ZTD_{res_grid} \dots\dots\dots (A. 23)$$

式中：

- ZTD'_h ——用户位置处最终ZTD改正信息，单位为米（m）；
 ZTD_{res_grid} ——双线性插值后的对流层格网残差，单位为米（m）。

注：用户位置处的对流层延迟格网残差可参照上式进行转换。

A. 7. 2 局域对流层延迟改正数计算

局域天顶对流层改正产品基于标准多项式和比例因子的切比雪夫多项式模型表达，播发模型系数以及对应的格网点ZTD残差，对流层延迟改正数计算方法如下：

1) 基于标准多项式系数计算对流层延迟改正数，定义见公式（A. 24）：

$$\begin{aligned} ZWD(dB, dL, h) = & a_0 + a_1 \cdot dB + a_2 \cdot dL + a_3 \cdot h + a_4 \cdot dB \cdot dL + a_5 \cdot dB \cdot h + \\ & a_6 \cdot dL \cdot h + a_7 \cdot dB^2 + a_8 \cdot dL^2 + a_9 \cdot h^2 \dots\dots\dots (A. 24) \end{aligned}$$

式中：

- ZWD ——天顶对流层湿延迟，单位为米（m）；
 dB ——纬度方向流动站与地面参考点的弧度差，单位为弧度（rad）；
 dL ——经度方向流动站与地面参考点的弧度差，单位为弧度（rad）；
 h ——流动站的高度，单位为米（m）；
 a_i ——标准多项式系数。

利用对流层延迟经验模型计算天顶对流层干延迟（以saastamonien经验模型为例），将其与天顶湿延迟共同组成天顶对流层延迟改正数，定义见公式（A. 25）：

$$ZTD = ZHD_{saastamonien} + ZWD \dots\dots\dots (A. 25)$$

式中：

$ZHD_{saastamonien}$ ——利用saastamonien经验模型计算的天顶对流层干延迟，单位为米（m）；
获取用户位置处最终ZTD改正信息，需要加上格网残差改正信息，定义见公式（A. 26）：

$$ZTD' = ZTD + ZTD_{res_grid} \dots\dots\dots (A. 26)$$

式中：

ZTD' ——用户最终ZTD改正信息，单位为米（m）；
 ZTD_{res_grid} ——双线性插值后的对流层格网残差，单位为米（m）；

2) 基于切比雪夫多项式系数计算比例因子，定义见公式（A. 27）：

$$t(\Delta\varphi, \Delta\lambda) = \sum_{l=0}^{N_{lat}} \sum_{m=0}^{N_{lon}} a_{lm} T_l(\Delta\varphi) T_m(\Delta\lambda) \dots\dots\dots (A. 27)$$

式中：

t ——对流层延迟经验模型与非差非组合PPP-AR构建的比例因子；
 $\Delta\varphi$ ——纬度方向流动站与建模中心点的缩放的弧度差，单位为弧度（rad）；
 $\Delta\lambda$ ——经度方向流动站与建模中心点的缩放的弧度差，单位为弧度（rad）；
 N_{lat} ——纬度方向多项式最大阶次；
 N_{lon} ——经度方向多项式最大阶次；
 a_{lm} ——切比雪夫多项式系数；
 $T_l(.)$ —— i 阶切比雪夫多项式；
 $T_m(.)$ —— j 阶切比雪夫多项式。
 $\Delta\varphi$ 和 $\Delta\lambda$ 的定义见公式（A. 28）：

$$\begin{cases} \Delta\varphi = (\varphi_j - \varphi_{GPO}) \cdot R_E / D_{RT} \\ \Delta\lambda = (\lambda_j - \lambda_{GPO}) \cdot \cos(\varphi_{GPO}) \cdot R_E / D_{RT} \end{cases} \dots\dots\dots (A. 28)$$

式中：

φ_j ——第 j 个测站的纬度，单位为弧度（rad）；
 λ_j ——第 j 个测站的经度，单位为弧度（rad）；
 φ_{GPO} ——参考中心点的纬度，单位为弧度（rad）；
 λ_{GPO} ——参考中心点的经度，单位为弧度（rad）；
 R_E ——地球半径，单位为米（m）；
 D_{RT} ——水平缩放因子，单位为千米（km）。

基于对流层延迟经验模型UNB3m和比例因子计算出用户位置处ZTD改正信息，定义见公式（A. 29）：

$$ZTD_{User} = t \cdot ZTD_{UNB3m} \dots\dots\dots (A. 29)$$

式中：

ZTD_{User} ——用户位置处ZTD改正信息，单位为米（m）；
 ZTD_{UNB3m} ——利用对流层延迟经验模型UNB3m得到的ZTD改正信息，单位为米（m）。

注：在用户端计算ZTD改正信息时，使用的对流层延迟经验模型与改正产品计算中比例因子使用的对流层延迟经验模型应保持一致。

获取用户位置处最终对流层延迟改正信息需加上格网残差改正信息，定义见公式（A. 30）：

$$ZTD'_{User} = ZTD_{User} + ZTD_{GRI} \dots\dots\dots (A. 30)$$

式中：

ZTD'_{User} ——用户位置处最终天顶对流层延迟改正信息，单位为米（m）；
 ZTD_{GRI} ——双线性插值后的对流层格网残差，单位为米（m）。

A.8 PPP-RTK 算法

用户端基于实时计算的卫星轨道改正数、卫星钟差改正数、伪距偏差、相位偏差、电离层延迟改正数和对流层延迟数，按照以下步骤实现PPP-RTK定位解算。

1) 用户端PPP-RTK的实现首先需要用到实时接收到的SSR卫星轨道改正数、卫星SSR钟差改正数以及SSR伪距偏差。其中，SSR卫星轨道改正数和SSR卫星钟差改正数，联合广播星历可以分别作为高精度卫星轨道坐标和卫星钟差供用户使用，SSR伪距偏差用于原始观测值可直接消除卫星端不同频点上的伪距硬件延迟误差。具体的函数模型见公式 (A.31)：

$$\begin{cases} \widetilde{PR}_{j,s}^i = \mu_j^i \cdot x_j + c \cdot d\hat{t}_j + m_w \cdot T_j + \gamma_s \cdot \hat{I}_{j,1}^i + e_{j,s}^i \\ \lambda_s \cdot \tilde{\varphi}_{j,s}^i = \mu_j^i \cdot x_j + c \cdot d\hat{t}_j + m_w \cdot T_j - \gamma_s \cdot \hat{I}_{j,1}^i + \lambda_s \cdot \hat{N}_{j,s}^i + \varepsilon_{j,s}^i \end{cases} \dots\dots\dots (A.31)$$

式中：

$\widetilde{PR}_{j,s}^i$ ——接收机 j 接收卫星 i 播发的第 s 频点改正后的伪距观测值，单位为米（m）。这里改正后的伪距观测值是指参数估计前已经经过改正产品或经验模型修正，其中相关产品主要包括计算的SSR卫星轨道改正数和SSR卫星钟差改正数、SSR伪距偏差改正数、卫星端和接收机端相位中心偏差和相位中心变化等，经验模型修正主要包括对流层干延迟、地球自转、相对论效应、潮汐改正等；

$\tilde{\varphi}_{j,s}^i$ ——接收机 j 接收到卫星 i 播发的第 s 频点改正后的载波相位观测值，单位为周（cycle）。这里改正后的载波相位观测值是指参数估计前已经经过改正产品或经验模型修正，其中相关产品包括计算的SSR卫星轨道改正数和SSR卫星钟差改正数、SSR伪距偏差、卫星端和接收机端相位中心偏差和相位中心变化等，经验模型修正包括对流层干延迟、地球自转、相对论效应、潮汐、相位缠绕等；

λ_s ——第 s 频点对应的波长，单位为米（m）；

μ_j^i ——接收机 j 与卫星 i 视线方向的方向余弦，单位为米（m）；

x_j ——接收机 j 待估的三维坐标改正数，单位为米（m）；

c ——光速，单位为米/秒（m/s）；

$d\hat{t}_j$ ——接收机 j 的待估钟差，单位为秒（s）；

γ_s ——第 s 频点对应的电离层延迟尺度因子；

$\hat{I}_{j,1}^i$ ——第1频点上待估电离层斜延迟，单位为米（m）；

m_w ——对流层湿延迟映射函数；

T_j ——天顶对流层湿延迟，单位为米（m）；

$\hat{N}_{j,s}^i$ ——第 s 频点上待估的浮点模糊度，单位为周（cycle）；

$e_{j,s}^i$ ——第 s 频点上的伪距观测噪声，单位为米（m）；

$\varepsilon_{j,s}^i$ ——第 s 频点上的载波相位观测噪声，单位为米（m）。

2) 利用服务端实时计算的电离层延迟改正产品和对流层延迟改正产品计算用户位置对应的电离层斜延迟改正值和天顶对流层湿延迟改正值，并将其引入到公式 (A.27) 对应的函数模型中，从而实现电离层延迟和对流层延迟的约束。其中，处理电离层延迟时需要通过选择参考星构建星间单差形式的电离层延迟改正值，处理对流层延迟时不需要选择参考星。电离层斜延迟约束方程和天顶对流层湿延迟约束方程见公式 (A.32)：

$$\begin{cases} \tilde{I}_{i,r}^{s_a} - \tilde{I}_{i,r}^{s_b} = \gamma_i \cdot (\hat{I}_{1,r}^{s_a} - \hat{I}_{1,r}^{s_b}) + v_i \\ \tilde{T}_r = T_r + v_T \end{cases} \dots\dots\dots (A.32)$$

式中：

$\tilde{I}_{i,r}^{s_a}$ ——参考星 s_a 对应的第 i 频点上的电离层斜延迟改正值，单位为米（m）；

$\tilde{I}_{i,r}^{s_b}$ ——非参考星 s_b 对应的第 i 频点上的电离层斜延迟改正值，单位为米（m）；

$\hat{I}_{1,r}^{s_a}$ ——参考星 s_a 对应的第1频点上的电离层斜延迟估计值，单位为米（m）；

- $\hat{I}_{1,r}^{s_b}$ ——非参考星 s_b 对应的第1频点上的电离层斜延迟估计值，单位为米（m）；
 v_l ——星间单差电离层斜延迟对应的残差，单位为米（m）；
 $\tilde{T}_r$ ——天顶对流层湿延迟改正值，单位为米（m）；
 T_r ——天顶对流层湿延迟估计值，单位为米（m）；
 v_T ——天顶对流层湿延迟对应的残差，单位为米（m）。

3) 将服务端实时计算的相位偏差产品直接用于原始观测值，通过采用先固定宽巷模糊度后固定窄巷模糊度的顺序，实现每个频点对应的载波相位整周模糊度固定（如果用户采用多频组合，在宽巷模糊度之前需要先固定超宽巷模糊度）。在式(A.31)对应的函数模型中进一步引入卫星 s_a 作为参考星的星间单差模糊度约束方程，从而实现模糊度的固定。通过选择参考星构建星间单差模糊度目的是消除接收机端硬件延迟偏差的影响。模糊度约束方程见公式(A.33)：

$$\tilde{N}_{i,r}^{s_a} - \tilde{N}_{i,r}^{s_b} = (\hat{N}_{i,r}^{s_a} - \hat{N}_{i,r}^{s_b}) + v_N \dots\dots\dots (A.33)$$

式中：

- $\tilde{N}_{i,r}^{s_a}$ ——参考星 s_a 对应的第 i 频点上的窄巷模糊度固定解，单位为周（cycle）；
 $\tilde{N}_{i,r}^{s_b}$ ——非参考星 s_b 对应的第 i 频点上的窄巷模糊度固定解，单位为周（cycle）；
 $\hat{N}_{i,r}^{s_a}$ ——参考星 s_a 对应的第 i 频点上的窄巷模糊度估计值，单位为周（cycle）；
 $\hat{N}_{i,r}^{s_b}$ ——非参考星 s_b 对应的第 i 频点上的窄巷模糊度估计值，单位为周（cycle）；
 v_N ——星间单差窄巷模糊度对应的残差，单位为周（cycle）。

A.9 SSR2OSR 算法

SSR2OSR算法主要用于兼容传统RTK定位，通过将PPP-RTK服务的SSR改正产品恢复至OSR观测域，生成伪距和载波相位观测量，进行RTK定位服务。

用户端SSR2OSR算法流程规定如下：

1) 基于GNSS观测获取用户概略位置

基于GNSS原始观测数据计算用户当前所处的概略位置，即利用伪距观测值及广播星历来计算用户接收机当前的概略位置 (X_j, Y_j, Z_j) 。

2) 基于卫星位置及用户的概略位置计算站星距

卫星位置计算参考附录A.2所述的基于SSR卫星轨道改正产品计算卫星精密轨道过程以及附录A.3所述的基于SSR卫星钟差改正产品计算卫星钟差过程，获取卫星位置后，计算站星距见公式(A.34)：

$$|R_j^i| = \sqrt{(X^i - X_j)^2 + (Y^i - Y_j)^2 + (Z^i - Z_j)^2} \dots\dots\dots (A.34)$$

式中：

- (X^i, Y^i, Z^i) ——卫星三维坐标位置，单位为米（m），通过广播星历和卫星轨道改正数计算；
 $|R_j^i|$ ——站星距，单位为米（m）， i 为卫星ID， j 为接收机。

3) 基于用户的概略位置计算电离层斜向延迟

电离层斜向延迟计算过程，根据实际接收的电离层延迟改正产品类型，参考附录A.6所述的电离层延迟改正参数计算。

4) 基于用户的概略位置计算对流层斜向延迟

对流层延迟计算过程参考附录A.7所述的对流层延迟改正数计算。

5) 构建OSR观测域的伪距以及载波相位观测量，见公式(A.35)

$$\begin{cases} \varphi_{j,s}^i \lambda_s = |R_j^i| - c\delta C^i + \delta T_j^i - \alpha_s \delta I_{j,s}^i + \delta PB_{j,s}^i + \varepsilon_j^i \\ PR_{j,s}^i = |R_j^i| - c\delta C^i + \delta T_j^i + \alpha_s \delta I_{j,s}^i + \delta CB_{j,s}^i + \varepsilon_j^i \end{cases} \dots\dots\dots (A.35)$$

- 式中：
- $\varphi_{j,s}^i \lambda_s$ ——载波相位观测值， $\varphi_{j,s}^i$ 为相位， λ_s 为波长， i 为卫星ID， j,s 表示接收机的观测频点 s ；
 - $PR_{j,s}^i$ ——伪距观测值；
 - $|R_j^i|$ ——站星距，单位为米（m）， i 为卫星ID， j 为接收机；
 - δC^i ——基于SSR卫星钟差改正产品计算的卫星钟差，单位为纳秒（ns）；
 - $\delta T_{j,s}^i$ ——对流层延迟；
 - $\delta I_{j,s}^i$ ——电离层延迟；
 - α_s ——频率系数因子；
 - $\delta PB_{j,s}^i$ ——SSR相位偏差改正参数；
 - $\delta CB_{j,s}^i$ ——SSR伪距偏差改正参数。
-