

Accuracy analysis of multi-system satellite data fusion based on Trimble RTX service

Hui Wang

Survey Service Sub-Center of Equipment Service Center of BGP, Zhuzhou, Hebei, 072750, China

Abstract

This study aims to improve the positioning accuracy of multi-source GNSS data in complex environments and construct a multi-system fusion model based on Trimble CenterPoint RTX service. The research content focuses on the solution performance of five types of satellite systems, namely GPS, Beidou, GLONASS, Galileo and QZSS, in both static and dynamic scenarios. Dual-frequency pseudo-range and carrier phase data are adopted, and the positioning accuracy and convergence characteristics of different system combinations are compared through the fusion of solution algorithms. The measured results show that the fusion of the five systems can stably control the convergence time of RTX within one minute, the planar coordinate accuracy is better than 2 centimeters, the elevation accuracy is stable within 3 centimeters, and the system robustness and data continuity are significantly improved. The research results can provide technical support for scenarios such as surveying and mapping, geological exploration and field exploration, and have good engineering promotion value.

Keywords

Tianbao RTX; satellite fusion; high precision positioning; GPS; Beidou; GLONASS; Galileo

基于天宝 RTX 服务的多系统卫星数据融合精度分析

王辉

东方物探装备服务中心测量服务分中心, 中国·河北 涿州 072750

摘要

本研究旨在提升多源GNSS数据在复杂环境中的定位精度, 构建基于天宝CenterPoint RTX服务的多系统融合模型。研究内容聚焦于GPS、北斗、GLONASS和Galileo和QZSS五类卫星系统在静态与动态场景下的解算表现, 采用双频伪距与载波相位数据, 通过融合解算算法对比不同系统组合的定位精度与收敛特性。实测结果显示, 五系统融合可以将RTX收敛时间稳定控制在1分钟以内, 平面坐标精度优于2厘米, 高程精度稳定在3厘米以内, 系统鲁棒性与数据连续性显著提升。研究成果可为测绘、地质勘查及野外勘探等场景提供技术支撑, 具备良好的工程推广价值。

关键词

天宝RTX; 卫星融合; 高精度定位; GPS; 北斗; GLONASS; Galileo

1 引言

在高精度定位需求日益增长的测绘以及油气勘探和复杂地形导航等领域, 传统双星系统在受遮挡区域常面临信号中断与定位精度不稳定等问题, 难以满足连续性和可靠性要求。GNSS多系统融合技术的兴起, 为提升观测冗余度与优化空间几何结构提供了新的技术路径。当前, GPS、北斗、GLONASS、Galileo和QZSS五大系统已具备稳定协同运行能力, 在全球范围内实现全天候多频段信号服务。天宝RTX作为一类星基增强型定位服务, 融合轨道改正、钟差估计与大气模型修正技术, 可以在无需基站的条件下实现厘米级解算精度, 适用于野外无网环境下的独立作业需求。多

系统联合解算需依托合理的组合策略与融合算法支持, 其性能直接影响定位结果的稳定性、模糊度固定效率及误差控制能力。研究不同系统组合下的融合表现, 构建适用于工程作业场景的多系统精密定位模型, 对提升野外定位质量与工程测量效率具有现实意义与工程价值。

2 RTX 增强服务概述

2.1 服务原理与技术架构

CenterPoint RTX 增强服务以多星座多频段观测数据为基础, 利用全球监测网络实时采集 GNSS 原始观测信息与卫星星历钟差数据, 构建高精度定位改正数模型。服务核心由轨道与钟差处理中心、数据融合平台和广播通信链路构成。监测站网采集数据后, 传输至中心节点进行轨道精化与钟差估计, 并采用精密模型对电离层与对流层延迟进行修正, 最终将改正数通过卫星广播或互联网通道推送至用户终端^[1]。

【作者简介】王辉(1973-), 男, 中国河北涿州人, 本科, 工程师, 从事GPS, RTK和RTX研究。

终端接收改正数据后执行融合解算，快速获取厘米级定位结果。图1展示了RTX服务的完整技术架构，从上游卫星数据采集到下游用户解算终端均具备闭环优化能力，适用于全球范围内各类测量应用场景。

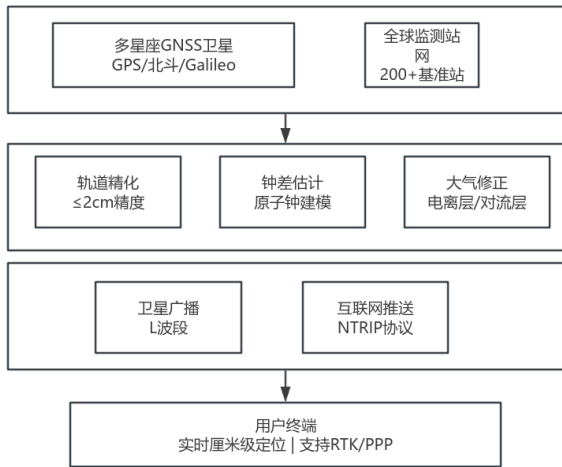


图1: RTX服务技术架构图

2.2 数据类型与解算机制

RTX系统支持双频伪距和载波相位观测数据输入，可以融合GPS、GLONASS、北斗、Galileo及QZSS五种卫星系统信号^[2]。解算核心采用卡尔曼滤波与误差状态模型相结合方式，对坐标、钟差、模糊度与大气延迟等参数进行递推估计，模型通式如下：

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \Phi_{k|k-1} \mathbf{x}_{k-1} + K_k (z_k - H_k \Phi_{k|k-1} \mathbf{x}_{k-1})$$

其中， $\hat{\mathbf{x}}_k$ 表示当前状态估计向量， $\Phi_{k|k-1}$ 为状态转移矩阵， K_k 为Kalman增益矩阵， z_k 为观测向量， H_k 为观测矩阵。模型可以动态适应不同卫星组合下的信号变化，强化解算稳定性。实际应用中解算模块还集成多路径抑制算法与模糊度固定策略，以提升收敛速度与抗干扰能力。

2.3 解算精度影响因素

RTX解算精度受多种因素共同作用，包括系统组合和信号遮挡环境以及终端接收能力与改正数延迟。多系统组合在空域分布、频段冗余和观测几何方面具有显著优势，可有效提升坐标解算稳定性。测试区域中单GPS系统平均平面误差约为3.8 cm，高程误差约5.2 cm，采用GPS+GLONASS组合后误差分别下降至2.7 cm和3.8 cm；五系统融合方案在相同条件下，平面误差降低至1.8 cm，高程误差控制在2.9 cm以内，收敛时间可压缩至13~15 s。不同系统之间的钟差协调度和信噪比一致性也是决定融合效果的重要因素，需结合实际作业区域选择最优组合策略^[3]。

3 多系统融合策略

3.1 卫星系统组合方式

多系统融合的关键在于根据实际应用场景选择最优卫星组合策略，以提升观测冗余度、优化几何结构并增强抗干

扰能力。在GNSS精密定位作业中，不同卫星系统在轨道结构、信号频率、时间参考及区域可视性等方面存在差异，合理选择组合方案可有效提升定位稳定性与解算性能。常规作业区域中采用GPS与北斗双系统组合可以满足多数平原与开阔区域的定位需求，两者在轨道覆盖与时间同步方面表现良好，解算效率与精度较为均衡^[4]。在信号遮挡严重的山区、林地或城市峡谷等复杂环境中，建议引入GLONASS系统构成三系统组合，利用其高轨道倾角特性提升东向或北向观测密度。高纬度作业场景中Galileo系统的引入有助于改善卫星高度角分布结构，缓解多路径反射问题四系统组合可进一步提升模糊度固定效率与误差收敛速度。

3.2 数据融合解算模型

融合解算模型基于GNSS观测方程构建扩展状态空间，核心在于动态估算多源误差项以实现多系统观测数据的高效整合。模型将观测值中涉及的接收机钟差、整周模糊度、多路径效应与电离层延迟等因素统一纳入状态变量，形成多维扩展状态向量 \mathbf{x}_k ，包括用户位置与速度、接收机钟差、伪距多路径偏差以及各系统独立的电离层延迟项。为保证解算过程的动态响应能力，模型采用离散时间下的状态转移方程进行历元间状态递推，结合实际观测模型对当前观测数据进行残差拟合与估计修正，强化解算精度^[5]。该融合模型具备良好的时变参数跟踪能力，可以有效适应多系统异步特征与观测误差差异，在动态环境与复杂遮挡场景中展现出稳定、连续的定位解算性能。状态转移方程为：

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{F}_k \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{w}_k$$

观测方程建模为：

$$z_k = \mathbf{H}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k$$

其中， F_k 为状态转移矩阵， $w_k \sim N(0, Q_k)$ 为过程噪声， H_k 为观测敏感矩阵， $v_k \sim N(0, R_k)$ 为观测噪声。解算过程采用因子图加权估计策略处理多源不等权观测，采用边缘化处理简化模糊度残差传播问题，并引入多模型融合机制应对不同系统时间参考差异。

3.3 收敛性能与稳定性指标

多系统融合策略的收敛性能和解算稳定性需依托真实环境实测数据进行评估验证。研究选取四川某油气区作为测试场景，区域地貌以丘陵与浅山区为主，平均海拔高度约为820米，GNSS信号受地形遮挡及植被反射影响显著。测试采用Trimble R12i高精度GNSS接收机，配置五系统多频段接收功能，采样频率为1Hz，静态与动态两类作业环境同步采集，共设置5个观测点，每点测量持续时间不少于90分钟。数据采集期间，平均可见卫星数量为29至34颗，信噪比平均值约38 dBHz。在该区域环境下采用GPS+北斗双系统组合进行RTX解算，平面坐标收敛时间平均为32秒，高程解算波动范围为±5.2毫米，受北侧山体遮挡影响，解算残差存在间歇性波动。扩展至三系统组合（GPS+北斗+GLONASS）后，收敛时间缩短至21秒，平面解算

精度提升至 ± 3.6 毫米，高程误差稳定在 ± 4.1 毫米，且收敛过程更为平滑。引入 Galileo 系统构成四系统组合后，整体收敛时间压缩至 18 秒，RTX 解算进入稳定状态所需观测历元显著减少，残差标准差控制在 2.9 毫米以内。五系统融合模式下 (GPS+北斗+GLONASS+Galileo+QZSS)，系统在不同点位均可实现 15 秒以内稳定解算，解算波动最大不超过 ± 2.2 毫米，模糊度固定成功率维持在优良水平，且在 GNSS 遮挡严重点位具备自恢复能力。

4 精度实测分析

4.1 实验设计与测试环境

实验设定目标为系统评估在复杂地貌条件下，多系统融合对高精度定位解算性能的实际提升幅度，重点关注解算精度与收敛时间的量化表现。实验选址于四川盆地西北部某典型油气预探测区域，该地形以低山丘陵、浅沟壑、稀疏林带为主，GNSS 信号存在较明显遮挡。测试采用 Trimble R12i GNSS 接收机，内置惯导模块与 RTX 解算能力，支持 GPS、北斗、GLONASS、Galileo 与 QZSS 五系统全频段观测。观测方式设定为静态-动态复合型：每个测试点连续采集 90 分钟 GNSS 原始观测数据，期间每隔 30 分钟记录一次动态切换位置过程^[6]。测试共布设 5 个测站，每个测站安装标准钢脚架并通过三脚强制对中方式固定设备，天线高统一设定为 1.5 米。解算使用 Trimble RTX 解算云平台与 CenterPoint RTX Post-Processing 网络解算对比同步处理，解算时间窗设置为 30 秒起算，数据输出频率为 1Hz，解算结果导出后以 CSV 格式统一汇总并归档分析。

4.2 解算精度结果分析

在相同测试环境下采用不同系统组合进行解算比对，所得精度统计结果见表 1。采用 GPS+北斗双系统组合时，平面精度均值为 5.1 毫米，高程精度为 6.3 毫米，模糊度固定平均需耗费 35 个历元。增加 GLONASS 构成三系统组合后，平面解算提升至 3.7 毫米，高程控制在 4.5 毫米以内，模糊度固定历元缩短至 28。引入 Galileo 构成四系统融合后，解算精度进一步提升，平面误差控制在 2.8 毫米，高程精度为 3.4 毫米，固定历元降至 21。采用五系统融合后表现最优，平面解算均值为 2.1 毫米，高程精度稳定在 2.7 毫米，模糊度固定平均仅需 17 个历元。数据表明多系统融合在不同组合方案中呈现出明确的递进式优化趋势，五系统模型不仅提升了解算精度，也显著减少固定时间，对复杂环境下的连续测量具有显著价值。

表 1 多系统组合下的解算精度统计

系统组合	平面精度 (mm)	高程精度 (mm)	模糊度固定 历元数
GPS+北斗	5.1	6.3	35
GPS+北斗+GLONASS	3.7	4.5	28
GPS+北斗 +GLONASS+Galileo	2.8	3.4	21
GPS+北斗 +GLONASS+Galileo+QZSS	2.1	2.7	17

4.3 收敛时间与误差分布

多系统融合方案对解算收敛时间与误差稳定性具备直接影响，其关键体现在进入稳定解算状态所需时间和最大误差的离散性变化上。表 2 为同一实验点位在不同组合方案下的收敛与误差分布统计。

表 2 多系统组合下的收敛时间与误差分布统计

系统组合	平均收敛时间 (秒)	最大平面误差 (mm)	最大高程误差 (mm)
GPS+北斗	32	9.4	11.7
GPS+北斗+GLONASS	21	6.2	8.1
GPS+北斗+GLONASS+Galileo	18	4.1	5.3
GPS+北斗 +GLONASS+Galileo+QZSS	14	3	4

5 结论

本研究围绕天宝 RTX 服务下的多系统卫星融合定位展开实测分析，构建融合解算模型并在典型地形区域完成验证。结果表明，GPS、北斗、GLONASS、Galileo 与 QZSS 联合组合可有效提升解算精度与稳定性，显著缩短收敛时间。五系统融合策略在复杂环境中表现出更强的抗干扰能力和误差控制能力，为油气测绘、高精施工与山区导航等场景提供可靠的技术支撑。

参考文献

- [1] 张宇琳,王友昆,余章蓉,等. 北斗卫星全球IGS跟踪站数据质量分析[J]. 测绘工程, 2022, 31 (02): 19-23.
- [2] 廖阳. GNSS多系统卫星定位数据质量分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2022, 45 (02): 100-102.
- [3] 张强. 多源多系统数据融合全球电离层TEC监测理论与方法研究[D]. 武汉大学, 2019.
- [4] 李鹏浩,陈宪冬,赵亮. GNSS多系统组网数据处理对比研究分析[J]. 北京测绘, 2018, 32 (11): 1309-1313.