

二、项目简介

项目简介（限1000字）

1、项目背景

为满足南宁市北斗卫星导航产业发展的需求，进一步提升南宁市现代测绘基准成果的服务能力和水平，拓展南宁市北斗地基增强系统应用领域，根据《南宁市推进北斗卫星导航产业发展2016年工作方案》和《南宁市国土资源信息化“十三五”规划》的要求，2016年年底南宁市自然资源信息中心自行出资，与武汉大学测绘学院合作，共同开展“南宁北斗实时海量并发定位监测系统”项目研发。

2、主要创新点

(1) 提出了一种附加时空约束的大气误差建模技术。解决了传统建模方式精度不高、分辨率低的难题，使得在大气变化剧烈条件下，误差延迟模型精度显著提升；

(2) 研发了南宁北斗CORS自主解算系统，实现了超过3000个基准站的管理和解算，并提供分辨率优于 $1' \times 1'$ 的厘米级差分数据服务，解决系统基站容量有限，无法支持海量用户并发的难题，通过扩展服务资源可实现无上限海量并发服务；

(3) 全国首个依国家标准《卫星导航定位基准站网服务管理系统规范》建立了市级CORS服务管理系统，解决服务管理系统功能不完备、管理效率低的难题，支持多个网络RTK解算系统并统一无缝对外服务。

3、知识产权情况

项目取得了软件著作权7项；专利2项；发表SCI论文21篇；经中国地理信息产业协会组织成果评价，结论为项目总体达到国际先进水平，其中，在大气误差精准建模方法及基准站网海量用户实时服务技术方面达到国际领先水平。

4、推广应用情况

项目通过自主解算、空间环境监测、海量用户并发、地灾监测等技术的集成应用不仅提高了网络RTK的实时定位精度和效率，而且将系统应用范围拓展至气象预报和地灾监测领域。目前项目高精度RTK定位成果已在南宁市的建设、城管、农林水利等20多个政府部门及200多家测绘资质单位得到全面应用，极大地提升了测绘作业效率和测绘成果质量，降低了生产成本；项目水汽监测成果已推广至南宁市气象局，用于短时临近天气预报；项目地灾监测成果已推广至南宁市自然资源局，并在广西体育场滑坡治理监测项目中得到很好的应用，进一步提高了管理部门地质灾害预报预警能力和防治水平。

三、科技创新

科技创新（限5000字）

1、立项背景

北斗地基增强系统（CORS）是城市重要的空间信息基础设施，在城市建设、经济社会发展方面发挥着十分重要作用。目前南宁市已建成了包含34座基准站，全市覆盖的CORS观测网络，实现了面向全市2.2万平方公里提供全天候、高精度、高可靠性的实时空间定位服务。然而，由于受国外CORS商业软件的限制，南宁现有CORS在管理和应用中存在一些不足，主要表现在：管理功能单一、无法满足个性化功能定制；系统数据整体利用率低，无法提供事后高精度定位服务；系统缺乏空间环境监测模块，无法准确监控和预测对流层、电离层实时状态，形成改正模型；受算法局限，系统无法支持海量用户同时在线；系统可视化方面投入不足，且无法根据用户偏好优化服务等。这些问题不仅制约着南宁CORS系统定位精度及固定效率，而且严重限制了CORS系统的应用范围。为进一步提升南宁CORS的服务能力、服务范围和服务质量，南宁市自然资源信息中心在主管单位的支持下，自行出资与武汉大学测绘学院合作开展本项目研发工作。

2、科技含量

(1) 总体思路

项目以进一步提升南宁CORS系统的综合定位效果，加强CORS服务管理水平，拓展系统的服务范围并以静态监测领域为重点突破方向，实现CORS系统从单纯的数据输出向服务输出的转变为目标，以研发自主解算系统、服务管理系统为主要技术手段，建设服务稳定、功能完善、支持海量用户并发的南宁CORS系统。

项目建设目标：提升CORS系统解算单元的基站管理、解算容量，扩充系统并发服务数量，强化CORS数据和用户信息管理，充分挖掘系统服务潜能和用户潜在需求，积极将CORS系统服务范围向气象预测、地灾监测领域拓展。具体建设内容包括：

1) 研发支持多定位系统、多频率数据处理的自主解算系统；

技术方案：一是采取分布式架构，在单台服务器可支持超过300个基站基础之上，通过拓展服务器资源实现系统解算、管理基站数量的扩展；二是采取网格化单向输出解算和负载均衡播发服务的架构模式，由解算服务器承担CORS网数据解算压力，播发服务器承载用户连接压力，使得各模块可最大限度利用服务器资源，并可通过拓展资源进一步提升服务性能。解算层模块和播发服务层模块之间进行单向通信，即解算模块根据空间大气误差三维分布情况来确定服务区域内的虚拟差分格网点位置并计算出差分改正数据单向推送给播发服务模块。播发服务模块一方面单向接收解算模块发送过来的高精度网格化差分数据，另一方面对用户提供的差分数据服务。整个系统采用微服务架构，可根据不同的容量要求、通信规模和资源状况等现实场景调整系统服务参数、优化资源配置。

创新成果：一是创新性地提出了一种附加大气延迟权重的智能组网解算方法，该方法基于对流层、电离层误差模型信息，划分出附加大气延迟权重的解算网，可以有效降低各解算网内的大气延迟变化，进而提高大气延迟内插改正数精度并提高用户的

收敛速度和定位精度，同时也能有效降低网络RTK解算的运算量，在有限的计算资源解算更多的基准站数据。二是基于解算、播发分离架构，研发了格网化虚拟参考站技术，为播发系统海量用户并发提供数据支持。

实施效果：开发的自主解算系统，在解算核心层实现了对大量基准站的支持，通过拓展服务器资源可支持3000个基准站管理与解算，微服务架构的播发服务，可使单台计算机轻松支持一万个用户并发使用，并可通过扩展计算数量和网络带宽从而达到无上限的并发用户服务规模。

2) 研发具有自主知识产权、功能完善的CORS服务管理系统；

技术方案：一是依国家标准《卫星导航定位基准站网服务管理系统规范》建立南宁市CORS服务管理系统，实现国标规定的管理、信息管理、服务管理、系统监控、数据处理、用户管理六项基本功能；二是根据南宁市CORS服务发展需求，开发地灾监测、空间环境监测、数据可视化等特色功能，同时结合南宁已有地理信息产品定制专属服务功能，包括利用南宁区域地图提供的精准地理信息属性以及拓扑分析技术，实现对用户的智能栅栏监管功能；利用南宁市现代测绘高程基准成果及格网单向脱密播发技术，为南宁地区用户提供数字化正常高基准服务；利用双解算系统模式，为不同应用场景、不同量级用户提供个性化服务产品。

创新成果：采取微服务架构建设CORS服务管理系统，不仅可以实现功能快速拓展和个性化服务定制，而且具备云智慧架构、多层级管理、多元化对象服务、面向多行业以及便捷好用管用等特性。

实施效果：建立功能齐全的CORS服务管理系统，能够充分满足用户多样化服务需求。系统空间环境监测模块能够实时生成高精度的二三维电离层产品和二维对流程水汽产品，不仅可以进一步提升CORS定位精度和固定收敛速度，还能为气象部门短时临近天气预报提供数据基础；系统地灾监测模块可实现对灾害隐患点的毫米级静态滤波解算和亚厘米级动态解算，为监测数据展示、查询、分析提供数据基础；系统数据可视化功能可对用户使用范围和频率进行直观分析，进而根据用户习惯分配源节点和用户连接数量，达到系统资源优化配置的目的；系统的播发服务模块，可支持多解算系统并联解算，统一播发，进一步提升CORS服务的安全性和稳定性等。

3) 研发适用于地灾监测领域的软硬件设备，包括一体化GNSS多参数观测硬件设备，监测信息管理发布系统。

技术方案：硬件方面，研制集GNSS接收机、天线、太阳能板、蓄电池、无线传输、观测墩等模块于一体，顾及基准站数据接收和传输的性能需求的GNSS多参数监测硬件设备，具有安装便捷、无人值守、自动化处理等特征，同时集成雨量计、裂缝计等其他传感器，形成统一框架下的多维度地灾监测硬件系统；软件方面，建立南宁市地质灾害监测云服务系统，实现对灾害隐患点进行信息管理、可视化展示、多源数据分析，以及监测站信息的实时发布、查询和统计和信息共享。

创新成果：项目创新性的提出“CORS为（了）用户，用户（作）为CORS的理念”，并在此理念下研制了一体化GNSS智能观测设备，借助系统的变形监测静态解算服务、网络RTK解算服务以及实时精密单点定位解算等多个数据处理服务，能真正做到一

机多用, 实现毫米级变形监测、CORS基准站、以及空间环境监测站等多个功能。

实施效果: 利用顾及位移的CORS基准站处理算法将监测站观测数据纳入已有CORS网中进行联合解算, 能够有效提高定位用户的定位效率和精度; 将监测站数据纳入大气建模数据处理, 可以提升误差模型精细程度; 研制地灾监测软、硬件系统已成功部署在广西体育场滑坡治理监测中, 实现了毫米级变形监测以及信息展示与发布。

3、创新点

(1) 研发了自主的南宁北斗CORS解算系统, 利用了新提出的顾及空间环境误差时空特性的组网解算模式以及单向输出的分离架构模式可实现支持超过3000个基准站的管理和解算, 并可通过单台服务器支撑南宁地区分辨率优于 $1' \times 1'$ 的厘米级差分数据服务。专利: 基于GPS增强的GLONASS RTK定位方法(ZL 201611248217.X);

GLONASS频间偏差精确估计方法(ZL201710279037.6)

软件著作权: 南宁北斗CORS分布式服务系统V1.0(2020SR0293658);

南宁自主解算云平台网络RTK解算软件V1.0(2020SR0293656);

GNSS数据分析处理工作站软件V1.0(2013SR042522)

(2) 依据国家标准《卫星导航定位基准站网服务管理系统规范》建立了南宁CORS服务管理系统, 支持多个网络RTK解算系统并统一无缝对外服务, 并同时提供毫米级监测数据处理、空间环境监测服务以及实时正常高基准服务。

软件著作权: CORS综合管理了服务系统V1.0(2013SR009284);

南宁自主解算云平台数据可视化软件V1.0(2020SR0293660)

(3) 提出了一种附加时空约束的大气误差建模技术。通过往天同时段数据频谱分析以及临近观测站相关性分析优化建模算法, 使得在大气误差变化剧烈条件下, 大气模型空间分辨率相比于直接内插更加精细。

论文: doi: 10.5194/angeo-36-1507-2018; 10.1016/j.jastp.2018.05.002。

4、国际比较

(1) 自主解算系统RTK水平定位精度为 $1 \sim 3\text{cm}$, 高程定位精度为 $1 \sim 5\text{cm}$, 与Spider等国外主流CORS系统精度相当, 但在基站管理数量、网解基站数量方面有明显的优势; 特别是系统建立的格网化单向输出和负载均衡独立播发服务的架构, 可以实现多系统并联解算, 统一播发, 以及单台服务器支持上万用户并发服务, 与其他CORS系统相比, 具有更好的服务稳定性和更大的用户并发量。

(2) 项目研发的CORS服务管理系统采取微服务架构, 可实现功能快速扩展及个性化服务定制, 具备云智慧架构、多元化对象服务、便捷好用管用等特性。与其他CORS服务管理软件相比, 具备空间环境监测、正常高改化、地灾监测、数据可视化等特色功能;

(3) 项目提出了附加时空约束的大气误差建模技术。通过往天同时段数据频谱分析以及临近观测站相关性分析优化建模算法, 得到的电离层延迟模型与国际广泛使用的CODE模型相比, 精度有了大幅提升, 测试结果表明N、E、U三个方向精度分别提高3.7%、64.6%、67.8%; 结合自适应迭代电离层层析算法, 较传统方法反演精度有了进一步提升, 平均误差降低50%以上, 可实现精度优于2TECU的实时三维电离层监测。

四、推广应用情况

1、推广、应用情况及社会评价（限 2000字）

（1）应用情况

目前项目成果已在南宁市的发改、建设、规划、城管、农林水利等20多个政府部门及200多家测绘资质单位得到全面应用，极大地提高了测绘生产效率，有力保障了智慧城市、不动产统一登记、多规合一、地下管网普查、农村土地承包经营权登记发证、农村宅基地登记发证、地名普查、重大建设工程等工作的推进实施。此外，项目成果无偿为上林县精准扶贫的5000多名帮扶干部监管、110多个乡镇国土规建环保安监站的用地审批提供高精度定位，显著提升了相关政府部门的管理水平。

（2）经济效益

在经济效益方面，项目成果目前无偿为200多家测绘单位提供厘米级精度的RTK服务，极大地提高了测绘生产效率，降低了测绘生产成本，以南宁市测绘产值1亿元/年估算，每年能为测绘单位节省资金约1000万元；项目成果免费为测绘企业、政府职能部门提供测绘基准转换服务，以南宁市主城区6476平方公里计，可累计节约转换资金2000万元以上；项目成果无偿为上林县精准扶贫的5000多名帮扶干部监管、110多个乡镇国土规建环保安监站的用地审批提供高精度定位，每年能为相关政府部门节省资金1000多万元。此外，项目成果在危房监测、超高层建筑变形监测、地灾防治等民生领域方面的社会化应用，也将为地方政府带来不可估量的经济效益。

（3）社会效益

项目显著提升了南宁市的信息化水平，进一步完善了基于北斗导航定位系统的南宁市测绘基准体系，为南宁市的北斗导航产业发展奠定了基础。项目水汽监测成果已推广至南宁市气象部门，用于短时气象预报的相关研究。项目地灾监测成果，已成功应用于广西体育场滑坡灾害点治理监测过程，提高地质灾害预报预警能力和防治水平，最大限度地减少地质灾害造成的人员伤亡和财产损失。