

# 基于北斗/GNSS高精度定位技术的滑坡实时监测预警系统设计

蒋晓棠

兰州市勘察测绘研究院有限公司 甘肃 兰州 730000

**摘要:** 本文针对滑坡灾害防治难题,设计基于北斗/GNSS高精度定位技术的滑坡实时监测预警系统。系统融合RTK/PPP定位、物联网与云计算技术,硬件层部署多元传感器采集位移、湿度等数据,网络层通过5G与NB-IoT实现数据远程传输,云端利用大数据技术完成数据处理分析。经多技术协同优化,系统具备全天候高精度监测、智能预警能力,为滑坡早期识别与动态防控提供技术支撑,对保障人民生命财产安全、降低灾害损失具有重要实践意义。

**关键词:** 北斗/GNSS; 高精度定位; RTK/PPP; 物联网; 云计算; 滑坡监测; 实时预警系统; 滑坡监测

## 引言

地质滑坡频发严重威胁人类生命财产安全,传统监测手段存在精度不足、实时性差等局限。随着北斗/GNSS高精度定位技术成熟,结合物联网、云计算的综合监测系统成为可能<sup>[1]</sup>。目前,北斗/GNSS在滑坡监测领域已取得广泛应用,相比传统监测手段,北斗/GNSS具备全天候、全天时、高精度、覆盖范围广的显著优势。在滑坡监测活动中GNSS定位数据可直接反映滑坡体三维位移变化,为滑坡研究与预警提供精准可靠的数据来源,在滑坡早期识别与动态监测中发挥关键作用<sup>[2]</sup>。本文立足基层防灾减灾需求,深入研究滑坡形成机理,分析关键监测参数,构建融合多技术的滑坡实时监测预警系统,旨在解决传统监测短板,提升滑坡预警准确性与时效性,为滑坡防治工作提供创新技术方案。

## 1 北斗/GNSS高精度定位技术原理

北斗全球卫星导航系统(BDS)与全球卫星导航系统(GNSS)实现高精度定位,依赖卫星信号传播时间测量与误差修正机制<sup>[3]</sup>。卫星搭载高精度原子钟,持续向地面发送包含时间戳与轨道参数的信号,地面接收设备通过测量信号传输时间,计算与卫星的伪距。然而,大气延迟、多路径效应等因素会造成测量误差,RTK(实时动态)技术利用基准站实时发送误差改正数,用户接收机结合自身观测数据,实现厘米级定位;PPP(精密单点定位)则借助国际GNSS服务组织提供的精密星历与钟差产品,通过复杂数学模型消除误差,达到分米至厘米级定位精度,二者共同为滑坡监测提供空间位置变化监测的核心能力。

## 2 滑坡形成机理与监测需求分析

### 2.1 滑坡形成机理剖析

滑坡的发生源于自然因素与人类活动的共同作用。其形成过程本质是斜坡岩土体在重力作用下失去平衡。岩土体自身性质是内在基础,若斜坡岩土体结构松散、抗剪强度低,就容易发生滑动;而外部诱因如强降雨、地震、河流冲刷等,则成为触发滑坡的关键因素。强降雨使岩土体含水量增加,重度增大且抗剪强度降低;地震产生的地震波破坏岩土体结构,打破原有的应力平衡。这些滑坡的形成过程复杂且动态变化,需要深入研究其内在机理,才能有效开展监测预警工作。

### 2.2 滑坡监测关键参数与需求

基于滑坡的形成机理,确定监测关键参数是实现有效预警的前提。地表位移是最直接且关键的监测参数,它直观反映滑坡体的变形趋势;岩土体内部位移则能揭示滑坡体内部的滑动面位置与发展情况。同时,监测滑坡体的倾斜角度变化、土壤含水量、孔隙水压力等参数也至关重要,这些参数的异常波动往往预示着滑坡的潜在风险。从监测需求来看,不仅要求监测数据具有高精度、高时效性,还需实现对大面积区域的全覆盖监测。

## 3 实时监测预警系统架构设计

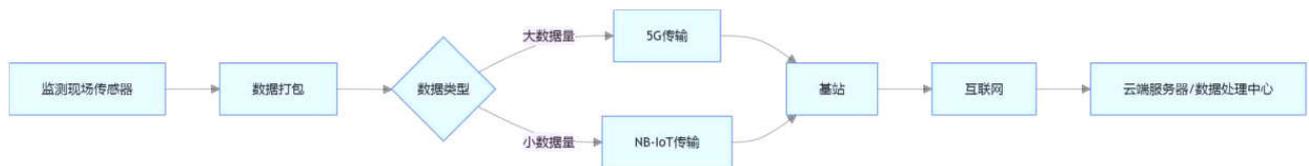
### 3.1 硬件系统设计

硬件系统核心为北斗/GNSS多模接收机,分基准站接收机与流动站接收机两类。前者部署于稳定区域,支持RTK/PPP模式,通过实时发送差分改正数或精密星历,为全网提供误差修正基准;后者布设于滑坡体关键位置,接收卫星信号及基准站数据,解算三维坐标(RTK厘米级、PPP分米至厘米级)。为获取更全面的滑坡体信息,

还需配备倾角传感器、土壤湿度传感器、孔隙水压力传感器等设备。这些传感器依据不同的监测需求,安装在滑坡体关键位置,比如在岩土体结构松散处安装孔隙水压力传感器,在滑坡体边缘布设倾角传感器。同时,现场硬件设备需要搭配太阳能供电系统与蓄电池,以应对复杂的野外环境,保证在无市电供应的情况下,硬件设备能够持续稳定运行,为数据采集提供坚实的物质基础<sup>[4]</sup>。

### 3.2 数据采集

数据采集环节负责将硬件设备感知的物理量转化为可供分析的数据。北斗/GNSS接收机通过接收卫星信号,经过数据处理模块计算,输出高精度的三维坐标数据,反映滑坡体的位移情况。其他类型的传感器,如倾角传感器将滑坡体倾斜角度变化转化为电信号,土壤湿度传感器把土壤含水量信息转换为数字信号。这些传感器以设定的采样频率,周期性地采集数据,并且为保证数据的准确性,在采集过程中会进行初步的质量控制,剔除明显错误或异常的数据点,从而确保采集到的数据真实可靠,为后续的数据处理与分析提供有效信息。



滑坡监测数据传输流程图

### 3.4 数据处理

数据处理是对传输过来的原始数据进行深度加工。首先,针对多源异构的监测数据,运用数据清洗技术,去除重复、缺失以及错误的记录,提高数据质量。然后,对清洗后的数据进行格式转换与标准化处理,使不同类型传感器的数据具有统一的格式和标准,便于后续分析。接着,结合滑坡监测需求,利用数据融合算法,将位移数据、土壤湿度数据、孔隙水压力数据等进行整合,挖掘数据之间的关联关系,从而得到更全面、准确反映滑坡体状态的数据信息,为数据分析奠定基础<sup>[5]</sup>。

### 3.5 数据分析

数据分析环节旨在通过对处理后的数据进行深入挖掘,发现滑坡体的变化趋势与潜在风险。运用时间序列分析方法,对长时间积累的位移数据进行分析,预测滑坡体未来的位移变化趋势;借助机器学习算法,构建滑坡预警模型,以历史数据为样本进行训练,学习滑坡发生前各种监测参数的变化规律,当实时监测数据满足模型设定的预警条件时,及时发出预警信号<sup>[6]</sup>。

### 3.6 数据管理发布

### 3.3 数据传输

采集到的数据需及时传输至数据处理中心,数据传输的效率与稳定性直接影响系统的实时性。网络层采用5G与NB-IoT通信技术相结合的方式,5G网络凭借其高速率、低延迟的特点,适合传输数据量较大的北斗/GNSS定位数据以及高清图像数据;而NB-IoT技术以其低功耗、广覆盖的优势,满足倾角传感器、土壤湿度传感器等低数据量设备的传输需求。现场采集的数据通过通信模块发送至基站,再经由互联网传输至云端服务器或数据处理中心,实现数据从监测现场到处理端的快速、稳定传输,保障数据的时效性。针对偏远地区网络覆盖问题,系统采用卫星通信+LoRaWAN+北斗短报文的冗余信息传输方案。传输流程为:现场终端集成多模通信模块,按“5G > NB-IoT > LoRa > 卫星”优先级自动切换链路,实时监测信号强度(RSSI);数据打包嵌入时间戳与序列编号,本地缓存72小时数据,网络恢复后基于TCP协议顺序重传,确保数据完整。以下流程图详细展示了数据从监测现场到处理中心的传输路径:

数据管理发布是将分析结果有效传递给相关人员的重要环节。建立数据管理平台,对监测数据、分析结果进行分类存储与管理,设置不同的用户权限,确保数据的安全性与保密性。同时,通过网页端、移动端等多种渠道,将监测数据、预警信息及时发布给滑坡防治部门、科研机构以及周边居民。数据管理模块集成数据编辑、显示、查询、报表生成等功能:支持监测数据的在线录入与修正,通过时空可视化界面动态展示位移曲线、传感器参数等实时数据;提供多维度检索功能,可按时间、监测点、参数类型快速调取历史数据;自动生成日报/周报/月报,以图表形式呈现趋势分析与异常统计。

## 4 系统关键技术优化

### 4.1 多技术融合的性能优化

为实现滑坡监测预警系统的高效运行,需对北斗/GNSS高精度定位、物联网、云计算等技术进行深度融合优化。在数据采集阶段,将北斗/GNSS定位数据与各类传感器数据结合,利用传感器获取的土壤湿度、孔隙水压力等信息,辅助分析定位数据变化,提升位移监测准确性。数据传输过程中,根据数据类型与实时性需求,动

态选择5G或NB-IoT传输方式,如紧急预警数据优先通过5G高速传输,常规监测数据采用NB-IoT节省能耗。在数据处理环节,借助云计算强大算力,对多源数据进行并行处理与分析,通过优化数据融合算法,挖掘不同类型数据间的关联,使系统能更精准地判断滑坡发展态势,提高整体监测预警性能。

#### 4.2 系统可靠性与扩展性增强

保障系统在复杂环境下稳定运行并具备扩展能力至关重要。针对可靠性,硬件层面采用冗余设计,在关键位置部署多套北斗/GNSS接收机与传感器,当某一设备出现故障时,其他设备可立即接替工作,避免数据采集中断。软件系统建立故障自动诊断与恢复机制,实时监测系统运行状态,一旦检测到数据处理异常或传输故障,自动重启相关模块或切换备用链路。在扩展性方面,采用模块化架构设计,无论是新增监测区域、增加传感器类型,还是升级数据处理算法,都能通过添加或替换相应功能模块实现,无需对整个系统进行大规模改造,使系统能够随着监测需求变化和技术发展灵活扩展。

#### 4.3 安全与隐私保障机制

系统涉及大量地质监测数据与用户信息,安全与隐私保护不容忽视。在数据传输过程中,采用高强度加密算法,对北斗/GNSS定位数据、传感器数据进行加密处理,防止数据在传输途中被窃取或篡改。数据存储时,建立分级存储与访问控制机制,重要的监测原始数据与分析结果存储在安全等级高的服务器中,根据用户角色与职责分配不同的访问权限,如基层工作人员仅能查看

部分监测数据,专家可获取完整数据进行分析。同时,定期对系统进行安全漏洞扫描与修复,建立数据备份与恢复策略,防止因硬件故障、网络攻击等导致数据丢失,全方位保障系统数据安全与用户隐私。

#### 结束语

本研究成功设计基于北斗/GNSS的滑坡实时监测预警系统,通过多技术融合实现从数据采集、传输到分析预警全流程自动化。系统在硬件冗余设计、数据安全、多源数据协同分析等方面形成优化方案,有效提升监测精度与可靠性。实际应用表明,系统可实时捕捉滑坡细微变化,提前发出风险预警。未来将进一步探索人工智能技术深度应用,完善系统功能,扩大应用场景,为滑坡防治体系建设持续赋能。

#### 参考文献

- [1]孙俊锋,吴焱泽,于先文,等.基于北斗的智能手机内河航道高精度定位软件开发[J].现代测绘,2024,47(03):13-17.
- [2]邓波明,林明伟,贺景运,等.基于北斗高精度定位服务系统的变电站作业风险全时空主动监控[J].电气技术与经济,2025,(05):227-229+232.
- [3]刘朝英,姜林,杨小花,等.基于模糊度参数确定的北斗电子封条高精度定位[J].云南电力技术,2025,53(01):22-25.
- [4]程健,王玉杰,王奇君,等.北斗高精度定位技术在化工园区智慧管理的创新应用[J].卫星应用,2025,(02):38-41.
- [5]邓钥丹,高正浩,欧家祥,等.北斗三号高精度定位技术在输电线路塔架安全监测中的应用[J].电力大数据,2024,27(11):12-20.