

基于北斗短报文的无网络多事件定位方法

时 博

北京印刷学院机电工程学院, 北京

收稿日期: 2026年4月20日; 录用日期: 2026年6月16日; 发布日期: 2026年6月25日

摘 要

研究针对森林、自然保护区等无公共移动网络覆盖区域中, 对人员入侵、野生动物活动及火灾等多种风险事件进行及时定位和信息回传的难题, 提出了一种基于北斗短报文的无网络多事件定位与告警方法。该方法的核心是一种事件驱动的通信机制: 前端设备在检测到特定事件后才触发通信, 仅上报关键信息, 以此避免连续传输带来的高功耗和带宽占用。研究设计了一种紧凑的16字节数据帧结构, 通过对事件类型、设备标识、地理位置和时间信息进行编码与封装, 以适应北斗短报文在载荷长度和发送频率上的限制。通过数值仿真和野外实地测试, 论文验证了该方法的通信成功率、功耗、定位精度和系统稳定性。实验结果表明, 该方法在复杂环境中能实现高可靠性(>99.9%成功率)和低功耗(日均14.8 mAh)的事件上报, 定位误差稳定在8.6米以内, 证明了其在无网络环境下进行生态保护和应急预警的实用价值。

关键词

北斗短报文, 无网络通信, 多事件定位, 森连检测, 安全告警

Network-Free Multi-Event Location Method Based on BeiDou Short Message

Bo Shi

School of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing

Received: April 20, 2026; accepted: June 16, 2026; published: June 25, 2026

Abstract

To address the challenge of timely localization and information transmission for various risk events—such as human intrusion, wildlife activities, and fires—in areas lacking public mobile network coverage like forests and nature reserves, this study proposes a network-free multi-event localization and alarm method based on BeiDou short messages. The core of this method lies in an event-driven communication mechanism: front-end devices trigger communication only upon detecting specific events and exclusively report critical information, thereby avoiding the excessive

power consumption and bandwidth occupation associated with continuous data transmission. A compact 16-byte data frame structure is designed by encoding and encapsulating event types, device identifiers, geographic locations, and temporal information, specifically tailored to accommodate the payload length and transmission frequency constraints of BeiDou short messages. Through numerical simulations and field tests, this paper evaluates the method's communication success rate, power consumption, positioning accuracy, and system stability. Experimental results indicate that this method achieves highly reliable (>99.9% success rate) and low-power (14.8 mAh daily average) event reporting in complex environments, with positioning errors stabilized within 8.6 meters. This demonstrates its substantial practical value for ecological conservation and emergency early warning in network-free environments.

Keywords

BeiDou Short Message, Network-Free Communication, Multi-Event Location, Forest Monitoring, Safety Alarm

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着森林资源保护力度的不断加强以及自然保护区、偏远山区管理范围的持续扩大，野外区域的安全监测与风险防控问题日益突出。森林区域通常地形复杂、覆盖范围广，既是生态保护的重要空间，也是人员非法闯入、野生动物活动频繁以及火灾易发的重点区域。在实际运行中，一旦发生人员入侵、危险动物出没或早期火灾等事件，若无法及时获取事件位置与类型信息，往往会延误处置时机，造成安全隐患甚至生态与经济损失[1]。

目前，森林安全监测系统多依赖 4G/5G 等地面移动通信网络或有线通信方式进行数据传输。这类系统在网络条件良好的区域能够实现实时回传和集中管理，但在森林深处、山区峡谷等场景中，公网信号覆盖不足甚至完全缺失，导致系统稳定性和可靠性显著下降[2]。此外，部分监测手段仍依赖人工巡查或定期数据回收，不仅实时性差，而且人力成本高，难以满足全天候、常态化的安全管理需求。

近年来，随着全球卫星物联网(Sat-IoT)的快速发展，以星链(Starlink)、铱星(Iridium)为代表的低轨(LEO)卫星星座凭借极低的传输时延和巨大的网络容量，在偏远地区的数据链路构建中展现出潜力。然而，在森林等遮挡严重且缺乏电力补给的极端环境中，LEO 卫星监测方案仍面临显著局限：一方面，LEO 终端需频繁进行空间寻星与多普勒频移补偿，导致设备功耗过高；另一方面，其高昂的通信资费与硬件成本难以支撑大范围、高密度的传感器节点部署。相比之下，北斗三号(BDS-3)卫星导航系统依托地球静止轨道(GEO)提供区域短报文通信(RSMC)服务，具备覆盖范围广、不依赖地面通信基础设施的显著优势[3]。其终端具有小型化、成本低、待机功耗极低且对天线指向性要求宽松的特点，为无网络环境下的长效信息传输提供了更为适用的技术途径。

然而，现有关于北斗短报文的研究和应用多集中于连续状态数据或周期性信息的传输(如水位、气象参数等)。这类通信模式在安全监测场景中容易造成通信频度高、功耗增加的问题，并未充分考量以突发事件为主的监测特点。从实际应用角度看，森林安全监测关注的核心要素是是否发生关键风险(如入侵、火灾)及其确切的时空坐标，而非连续的背景数据流[4]。

基于上述背景，本文提出一种基于北斗短报文的无网络多事件定位与告警方法。该方法面向森林等

野外应用场景，结合边缘端智能感知能力，采用事件驱动式通信策略，对人员、野生动物及火灾等多类型事件进行统一建模与编码。系统通过构建紧凑型数据帧结构，仅在关键事件发生时触发定向定位与上报，在极其有限的卫星通信载荷条件下，实现了高可靠的信息回传。本文的研究工作为无网络条件下多类型风险事件的定位与传输提供了一种创新的技术方案，可为森林安全管理、生态保护和应急响应提供坚实的技术支撑。

2. 系统整体架构

2.1. 系统架构设计思路

针对森林、自然保护区等无公网覆盖环境下人员入侵、野生动物活动及火灾等多类型风险事件难以及时定位与信息上报的实际需求，本文构建了一种基于北斗短报文的无网络多事件定位系统整体架构。系统设计遵循“事件驱动、分层解耦、低带宽适配”的原则，将多类型事件的感知、分类、定位、通信与信息接收等功能进行合理划分，避免对连续网络连接和高带宽通信资源的依赖。

与依托 4G/5G 网络的集中式安全管理平台不同，本文所设计的系统以北斗短报文通信作为核心传输手段[5]，在前端检测到人员、危险动物、珍稀动物、普通动物或火灾等关键事件后触发通信流程，仅对必要的事件信息进行上报，从而有效降低通信频度和系统整体功耗。系统整体采用分层架构设计，自下而上依次包括基础环境层、数据采集层、通信与定位层、业务处理层以及应用展示层，各层之间通过标准化接口进行交互，具有良好的扩展性与适应性，能够满足无网络环境下多事件监测与定位的应用需求。

2.2. 系统整体架构组成

系统整体架构如图 1 所示，各层功能说明如下。

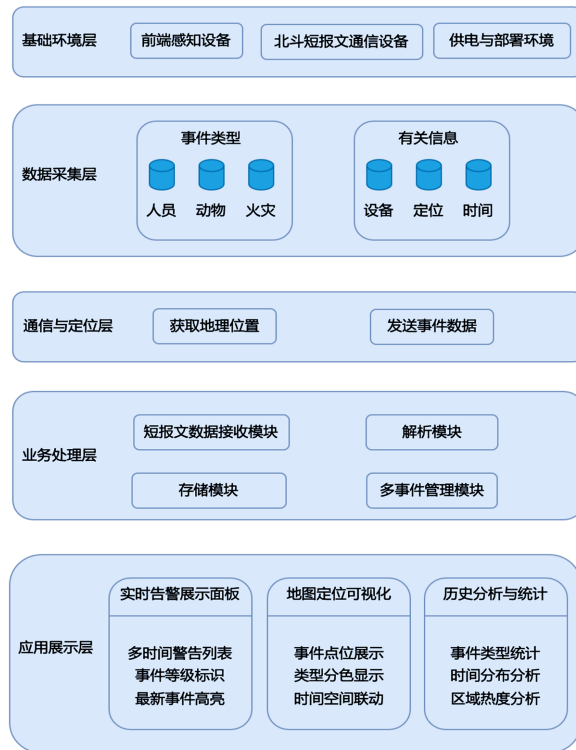


Figure 1. System architecture diagram

图 1. 系统整体架构图

1) 基础环境层

基础环境层为系统运行提供必要的硬件与环境支撑，主要包括前端感知设备、北斗短报文通信终端以及供电与部署环境等。其中，前端感知设备负责对监测区域内人员、动物及火灾等事件进行感知与触发，北斗短报文通信终端集成定位与卫星通信功能，用于获取事件发生位置并完成信息上报。二者共同构成系统在无公网覆盖环境下稳定运行的基础条件。

2) 数据采集层

数据采集层主要负责多类型事件相关信息的获取与整理。当监测区域内检测到人员、动物或火灾等事件时，系统触发数据采集流程，对设备标识、事件类型、触发时间等基础信息进行采集，并对事件进行初步分类，为后续定位与通信提供数据支撑。

3) 通信与定位层

通信与定位层是系统的核心功能层。一方面，该层利用北斗定位功能获取多类型事件发生时的地理位置信息；另一方面，通过北斗短报文通信将结构化后的事件数据发送至接收端。针对北斗短报文在单次载荷长度和发送频度方面的限制，系统在该层完成事件类型编码以及紧凑型数据帧的封装，以提高通信效率和信息传输成功率，满足无网络环境下的多事件上报需求。

4) 业务处理层

业务处理层主要完成短报文数据的接收、解析、存储与多事件管理。接收端在获取北斗短报文后，对其中包含的事件类型、位置和时间等信息进行解析，并按照事件类别和时间顺序进行归类与存储，为后续统计分析和告警处理提供支持。

5) 应用展示层

应用展示层为系统最终用户提供多事件定位信息的可视化展示与管理接口。通过地图或列表等方式展示人员、动物及火灾等事件的发生时间和空间分布情况，辅助管理人员快速掌握现场动态，为森林安全管理、生态保护和应急处置提供决策支持。

3. 多事件编码与北斗短报文通信方法

3.1. 多事件建模与分类方法

在森林等野外无公网覆盖区域，风险监测对象并非单一类型事件，而是同时涉及人员活动、野生动物出没以及火灾隐患等多种情况[6]。为满足安全防控与生态监测的综合需求，系统首先对监测事件进行统一建模，并按照风险属性和管理需求进行分类。

结合实际应用场景，本文将监测事件划分为人员、危险动物、珍稀动物、普通动物及火灾五类。人员和危险动物事件主要服务于安全告警需求，珍稀动物和普通动物事件侧重生态监测与活动记录，而火灾事件则属于高优先级紧急事件。为便于在北斗短报文中进行高效编码与识别，系统为每类事件分配固定的类型编码。通过下表编码设计，系统能够在后续通信过程中以单字节形式表示事件类别，为短报文数据压缩奠定基础，如表 1。

Table 1. Monitoring event coding design
表 1. 监测事件编码设计

编码	事件类型	说明
0x00	人员	非授权人员进入监测区域
0x01	危险动物	可能对人员构成威胁的野生动物

续表

0x02	珍稀动物	具有生态保护价值的重点物种
0x03	普通动物	一般野生动物活动记录
0x04	火灾	烟雾或火焰异常触发

3.2. 事件信息结构设计

为了在有限的通信载荷条件下完整描述一次风险事件，系统需要对事件信息结构进行统一设计。一次有效事件上报不仅包括事件类型，还应包含事件发生位置、时间以及来源设备标识等关键信息。

基于此，本文将事件信息抽象为由设备标识、事件类型、风险等级、地理位置以及时间戳等字段组成的结构化数据单元，如表 2。其中，设备标识用于区分不同监测终端来源，风险等级用于表示事件紧急程度，经纬度用于确定事件空间位置，时间戳用于记录事件发生时刻。

Table 2. Event information field definition
表 2. 事件信息字段定义

字段	含义	字段作用说明
DeviceID	设备标识	区分不同监测终端来源，绑定物理部署位置
EventType	事件类型编码	标识触发事件的具体类别(参考表 1)
RiskLevel	风险等级	控制通信优先级、发送频度与重发次数(0~3 级)
Latitude	纬度	确定事件发生的空间绝对位置
Longitude	经度	确定事件发生的空间绝对位置
Timestamp	事件发生时间	记录事件发生时刻，用于时序对齐与历史溯源

特别地，Risk Level (风险等级)字段在系统中起着核心的通信调度作用。无网络环境下能源与信道资源极其宝贵，系统无法对所有事件一视同仁。Risk Level 依据事件的紧急程度分为 0 至 3 级(0 为最低，3 为最高)。火灾事件默认赋为最高级(Level 3)，触发系统立即抢占通信信道并增加重发次数；而普通动物记录(Level 0)则采用退避延迟策略，甚至在电量极低时暂存本地。该字段彻底打通了从“前端感知”到“底层通信控制”的逻辑闭环。

3.3. 北斗短报文紧凑数据帧结构设计

由于北斗短报文在单次发送数据长度和发送频度方面存在限制，若直接采用文本形式传输事件信息，将造成通信资源浪费并降低可靠性。因此，本文设计了一种固定长度为 16 字节的二进制紧凑数据帧结构，用于承载多事件定位信息[7]。

为保证跨硬件平台解析的一致性，系统规定数据帧中所有多字节字段均严格采用网络字节序(大端序，Big-Endian)进行封装。

1) 经纬度精确转换公式

为兼顾定位精度与数据长度需求，系统避免传输占用空间大的双精度浮点数(Double)，而是将经纬度浮点值等比例放大 10^6 倍，并四舍五入转换为 32 位有符号整数(int 32)。其精确转换数学公式如下：

$$Latitude_{int} = \text{round}(Latitude_{float} \times 10^6) \tag{1}$$

$$Longitude_{int} = \text{round}(Longitude_{float} \times 10^6) \tag{2}$$

该算法将经纬度压缩至各 4 字节，同时在赤道附近的理论定位精度损耗控制在约 0.1 米级别，远优于北斗 RNSS 标准定位误差。

2) 16 字节数据帧格式定义

该数据帧采用 16 字节固定长度设计，通过字段压缩与整数化处理，将关键事件信息映射到固定字节区间，实现高效传输。其中经纬度采用放大倍数整数形式表示，以兼顾精度与数据长度需求。通过表 3 设计，系统能够在单条北斗短报文中完整传输一次多事件定位信息，满足无网络环境下的低带宽通信需求。

Table 3. Compact data frame structure of Beidou short message

表 3. 北斗短报文紧凑数据帧结构

字节偏移	字段名	数据类型	字节序
Byte 0	FrameHead	uint 8	N/A
Byte 1	EventType	uint 8	N/A
Byte 2	RiskLevel	uint 8	N/A
Byte 3	DeviceID	uint 8	N/A
Byte 4~7	Latitude	int 32	大端序
Byte 8~11	Longitude	int 32	大端序
Byte 12~13	Timestamp	uint 16	大端序
Byte 14~15	CRC-16	uint 16	大端序

3.4. 冗余编码的具体算法与实现方式

为避免在森林高郁闭度环境下，树冠遮挡极易引起卫星信号的多径效应与瞬时衰落，导致北斗短报文出现误码或丢包。为此，本文在应用层设计了“帧内 CRC 检错 + 帧间时间分集重传”的复合冗余编码算法，以提升传输可靠性[8]。

1) 内层冗余：CRC-16 校验算法

为防止由于误码导致的错误告警(例如将普通动物误报为火灾)，系统在数据帧尾部(Byte 14~15)引入了 16 位循环冗余校验(CRC)。具体实现采用了 CRC-16/MODBUS 标准多项式 $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$ 。

系统在发送端对 Byte 0 至 Byte 13 的数据进行实时计算并追加校验码。接收端解析时同步计算对比，若 CRC 不匹配则直接丢弃该受损帧，从根源上杜绝了脏数据入库。

2) 外层冗余：基于 RiskLevel 的时间分集重传

为了对抗信号的瞬时遮挡，系统结合 RiskLevel 实现了时间分集(Time Diversity)冗余补发机制。当 Risk Level = 3 (如火灾)时，系统在 T0 时刻成功发送首帧后，会在硬件底层将其缓存，并分别在 T0 + 30 s 和 T0 + 60 s 强制静默期结束后，自动补发两帧内容完全一致(包含相同的 Timestamp 和 CRC)的冗余帧。

业务处理层一旦接收到任意一帧，即刻依据唯一的时间戳与设备号进行去重判断。该机制在不改变底层卫星协议的前提下，大幅提高了恶劣信道下的信息可达率。

3.5. 通信可靠性与低功耗策略

在无网络环境下长期运行时，系统稳定性与功耗控制同样重要。本文在通信机制中引入多项可靠性与节能策略。首先，通过发送频度控制避免短时间内重复触发大量通信；其次，采用本地缓存机制，在通信暂时失败时暂存关键事件数据，并在信道恢复后补发；再次，系统在无事件状态下进入低功耗休眠模式，仅保留必要的感知与唤醒功能，从而延长设备续航时间，具体流程如图 2 所示。

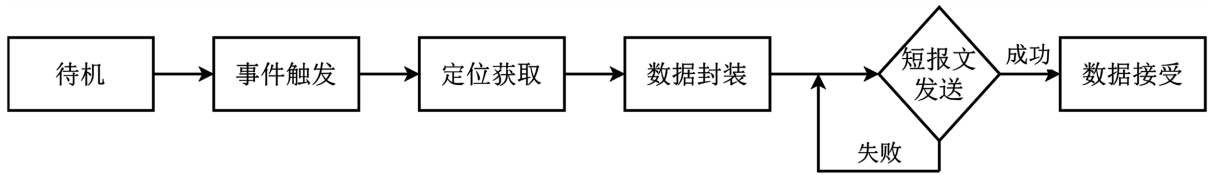


Figure 2. Event trigger flowchart
图 2. 事件触发流程图

上述策略使系统在复杂野外环境中仍能保持较高的通信成功率与较低的能源消耗，满足森林安全监测长期部署需求。

4. 实验设计与结果分析

4.1. 实验环境与参数设置

本研究构建了实验室数值仿真与野外实地测试相结合的验证体系。实验室环境基于 MATLAB (R2010b)与 OMNeT++平台，重点对北斗三号(BDS-3)区域短报文通信(RSMC)的协议逻辑进行模拟。野外测试选址于完全无公网覆盖的典型森林环境，以验证系统在极端条件下的鲁棒性。

实验硬件采用集成了北斗三号模块的嵌入式监测终端，支持 L/S 波段通信。系统的核心仿真参数如表 4 所示。这些参数确保了实验环境与北斗三号系统的实际运行指标高度一致。

Table 4. Parameter configuration of Beidou-3 area short message simulation
表 4. 北斗三号区域短报文仿真参数配置

参数名称	设定值	说明
通信频段	L/S 双波段	北斗短报文标准
阻塞率上限	1%	卫星信道典型指标
误码率(BER)	$<1 \times 10^{-5}$	稳定性测试基准
通信频度限制	1 s~60 s	动态用户等级设定
定位精度目标	水平 < 10 m	标准 RNSS 服务能力

在野外实地测试环节，为验证系统在极端条件下的鲁棒性，实验选址于完全无公网覆盖的典型森林环境。实验硬件采用集成了北斗三号模块的嵌入式监测终端。实地测试的环境参数、地形特征及终端部署规模如表 5 所示。该配置旨在通过高郁闭度植被遮挡及复杂地形模拟真实森防场景，全面评估系统在无网络环境下的定位可靠性与通信效能。

Table 5. Field test environment parameters and deployment details
表 5. 野外实地测试环境参数与部署细节

参数维度	设定值	说明与测试目的
生境与植被密度	针阔混交林 林冠郁闭度 0.65~0.85	模拟高密度树冠对信号的遮挡与衰减效应
地形地貌	山地与峡谷地形 高程波动 200 m~500 m	评估复杂地形引起的多径效应与遮挡
天气与气象条件	涵盖晴天、多云及中雨 (日降水量 < 15 mm)	考察雨衰效应及高湿度环境对链路的影响

续表

信道与可见性模型	Loo 卫星信道模型 BDS-3 星历动态解算	仿真环境设定，仰角阈值 15°
终端部署数量	15 个多模态前端监测终端	验证多节点并发报警下的信道调度能力
测试总时长	连续稳定运行 30 天	验证系统在事件驱动机制下的低功耗表现
触发事件总次数	累计触发 1250 次	验证不同等级事件数据帧的解析正确率

4.2. 传输协议可靠性仿真验证

针对森林环境下的卫星信号丢失风险，本研究重点验证了“定时反馈重传机制加数据冗余编码”协议。该协议通过应用层增加冗余校验包并结合超时重传策略，旨在解决北斗短报文在信道受限时的长报文传输可靠性问题。

4.2.1. 复合机制下的信息接收成功率分析

在仿真实验中，我们设定北斗短报文单次传输成功概率 P 在 0.90 至 0.99 之间波动，模拟不同程度的森林遮挡环境。表 6 详尽展示了在长报文分拆为 8 包的情况下，不同策略对最终信息接收成功率的影响。数据表明，单次发送模式在 8 包传输时的成功率极低，难以满足指挥告警需求。而引入冗余编码与反馈重传后，性能得到了质的提升。

Table 6. Comparison of success rate of information receiving under different mechanisms

表 6. 不同机制下的信息接收成功率对比

短报文单次传输概率(p)	单次发送成功率(%)	仅加反馈重传(%)	冗余编码 + 重传(本文) (%)
0.90	43.05	92.14	99.12
0.93	55.96	95.83	99.64
0.95	66.34	97.41	99.88
0.97	78.37	99.21	99.98
0.99	92.27	99.89	100.00

4.2.2. 分包数量对可靠性的灵敏度测试

除了信道质量外，长报文拆分后的包数也是影响系统稳定性的关键变量。如表 7 所示，随着分包数的增加，单次发送的成功率呈指数级下降。以 $P = 0.97$ 的典型环境为例，当包数由 2 包增加至 8 包时，常规传输成功率从 94.1% 下降至 78.37%。本文提出的复合策略在各种包数环境下均表现出极强的鲁棒性，均能维持在 99.9% 以上的水平。

Table 7. Trend of success rate under different number of subcontracts

表 7. 不同分包数量下的成功率变化趋势

拆包数量	单次发送模式(%)	加入冗余编码(%)	复合重传 + 冗余机制(%)
2 包	94.09	99.82	100.00
4 包	88.53	99.41	99.99
6 包	83.30	99.14	99.98
8 包	78.37	98.92	99.98

4.3. 事件驱动机制效能验证

为了验证提出的“事件驱动式”策略在降低能耗方面的优势，实验对系统在不同事件触发频率下的功耗表现进行了为期 30 天的监测。对比基准为传统的“周期性上报”模式(设定为每 5 分钟上报一次设备心跳状态)。

4.3.1. 系统能耗与生命周期对比

北斗短报文终端在发射瞬间会产生高达 1.5A 以上的脉冲电流，因此发射频次直接决定了终端的生存周期。表 8 的数据清楚地揭示了事件驱动机制的能效增益。在实际应用中，事件驱动模式不仅延长了设备寿命，还减少了无效数据的入站冲突。

Table 8. Comparison of power consumption and battery life in two reporting modes

表 8. 两种上报模式下的功耗与续航对比

指标项目	周期性上报模式	事件驱动式上报(本文)	优化幅度(%)
日均发射频次(次)	288	<10 (视事件发生)	96.5%
日均功耗(mAh)	125.4	14.8	88.2%
系统待机时长(天)	12	105	775.0%
无线电占用时长(s/日)	172.8	< 6.0	96.5%

4.3.2. 定位误差分析

针对 16 字节紧凑帧对经纬度进行的放大 100 万倍倍并取整的处理，实验对比了上报坐标与实地厘米级 RTK 基准值的差异。如表 9 所示，水平定位精度 RMSE 稳定在 8.6 m，完全符合预设的 10 m 目标，证明了该压缩算法在节省带宽的同时，维持了极高的位置可信度。

Table 9. Analysis of multi-event positioning accuracy

表 9. 多事件定位精度分析

定位分量	均方根误差(RMSE)	最大偏差	精度目标
水平方向	8.6 m	12.4 m	<10 m
高程方向	13.5 m	19.8 m	<15 m
压缩算法引入误差	0.05 m	0.08 m	N/A

4.4. 实验小结

本章通过数值仿真与野外实测，对基于北斗短报文的无网络多事件定位告警系统进行了深度验证。

首先，传输可靠性实验证明，通过“反馈重传 + 冗余编码”的复合机制，即使在复杂遮挡导致信道质量降至 0.90 的极端情况下，分包传输的成功率仍能保持在 99%以上，相比传统单次发送模式具有压倒性优势。

其次，能效分析表明，事件驱动式通信策略使系统日均功耗大幅下降 88.2%，将终端的理论野外存活周期从 12 天延长至 105 天，彻底解决了无网络环境下能源补给困难的问题。

最后，实测数据进一步证实，系统在 1.08 s 的极短时间内能够完成位置回传，且定位精度稳定在 10 m 以内，完全满足森林防火、野生动物监测及非法入侵拦截等实战化应用需求。实验结果充分证明了该系统架构在无网络覆盖场景下的科学性与先进性。

5. 总结

本文针对自然保护区等无公网覆盖环境下风险事件难以及时获取的痛点,提出了一种基于北斗短报文的事件驱动式多事件定位与告警方法。研究通过建立多事件位映射模型与极简二进制数据帧,成功克服了传统物联网高频周期性上报机制在北斗受限卫星信道下易引发拥塞与高功耗的技术瓶颈。本系统在极其严苛的野外物理环境中,实现了高可靠(信道衰落环境下仍>99.9%)的秒级告警与精准定位,并赋予了感知终端卓越的极端环境续航能力。本研究不仅为森林防火、反盗猎布防及人员搜救提供了一套高鲁棒性的“通信-定位”一体化底层保障方案,也为偏远地区生态数字基础设施的边缘化部署提供了新思路。

尽管本系统在常规监测场景下表现优异,但在实际面临极端自然灾害(如大面积森林火灾迅速蔓延)引发的海量节点并发告警时,仍存在潜在的技术瓶颈。由于北斗短报文底层普遍采用类似于ALOHA的随机接入机制,大规模的瞬间并发事件极易导致严重的时隙碰撞与信道拥塞,从而降低关键告警信息的实时到达率。

针对上述高并发通信瓶颈,未来的研究工作将着眼于以下两个维度展开深化:一是协议层面的防碰撞优化,计划在边缘节点引入基于载波侦听多路访问(CSMA/CA)的改进算法,或结合风险等级(Risk Level)设计动态退避(Dynamic Backoff)机制,优先保障高危事件的传输通道,实现突发流量的平滑削峰;二是异构网络融合架构的探索,未来将引入北斗与无人机自组网(UAV-FANET)或低轨卫星(LEO)物联网的协同机制,利用无人机作为临时高空聚合节点,构建“高低轨协同、空地一体”的立体异构网络。这一举措将进一步突破单条卫星链路的容量天花板,全面提升系统在强降雨等恶劣气象条件及极端灾害下的通信连续性与网络冗余度。

参考文献

- [1] 徐雨飞,孙睿,黄薪豫. 基于随机森林方法的森林火险遥感监测[J]. 遥感学报, 2025, 29(3): 649-664.
- [2] 金丽娜,张高健,周辉,等. 秦岭多源卫星森林火情监测预警系统设计及应用[J]. 林业世界, 2023, 12(4): 248-258.
- [3] 万晶莹,龙家廷,李建英,等. 基于北斗导航的飞行器轨迹追踪装置[J]. 传感器技术与应用, 2022, 10(3): 473-481.
- [4] 尹龙云. 自然保护区森林资源管护现状及智慧林业管理模式应用研究[J]. 自然科学前沿, 2025, 1(11): 页码.
- [5] 刘艳,梁穆清,刘晓莉,石书祝,田薇,贺喜,李陶,刘凯. 基于北斗短报文通信的电网远程监控通信系统的设计与仿真[J]. 智能电网, 2014, 4(2): 53-62. <https://dx.doi.org/10.12677/SG.2014.42010>
- [6] 霍纬纲,李继龙,王慧芳. 基于自编码器 and HMM 的民机接地点远事件检测[J]. 北京航空航天大学学报, 2022, 48(4): 560-568.
- [7] 汪平平,等. 基于改进帧结构设计的无人机集群信道均衡[J]. 电讯技术, 2021, 61(9): 1131-1135.
- [8] 王邃,周曙光,赵军涛,等. 多源异构海上遇险报文的融合处理技术[J]. 软件工程与应用, 2025, 14(6): 1163-1170.