

北斗短报文通信信道性能测试与统计分析

张海丽 周俊宇

天津先进技术研究院 天津 300450

摘要: 针对北斗短报文通信信道性能评估需求, 搭建专业测试环境, 确定通信成功率、传输时延、误码率及信道容量等核心指标, 设计系统测试方案。通过对测试数据的深入统计分析, 明确各性能指标的实际表现及影响因素。基于分析结果, 从硬件设备、软件算法、网络架构等维度提出优化建议, 为提升北斗短报文通信信道性能、推动其广泛应用提供重要依据。

关键词: 北斗短报文; 通信信道; 性能测试; 统计分析

引言

北斗短报文通信系统作为我国自主研发的特色通信技术, 在应急通信、远洋航海、偏远地区通信等场景中发挥关键作用。信道性能直接影响系统服务质量与应用拓展, 对其进行精准测试与分析意义重大。本文围绕北斗短报文通信信道, 设计科学测试方案, 深入开展性能统计分析, 挖掘性能提升潜力, 旨在为优化系统性能、增强北斗系统竞争力提供理论与实践支撑。

1 北斗短报文通信系统概述

北斗短报文通信系统是中国自主研发的北斗卫星导航系统独具特色的核心功能之一, 其以卫星为中继节点构建起天地通信链路, 突破传统通信受地理环境、基础设施限制的瓶颈, 实现全球范围内的双向报文传输。地球同步轨道卫星、中圆地球轨道卫星和倾斜地球同步轨道卫星, 在导航定位服务基础上拓展通信能力, 构建起覆盖全球的天基通信网络, 具备全天候、全天时、广域无缝覆盖的通信服务特性。该系统工作时, 用户终端将文字、图片、坐标等信息编码打包, 通过特定频段发射至北斗卫星, 经卫星转发至地面中心站, 再由中心站处理后转发至目标终端。报文长度根据终端类型有所不同, 区域短报文终端单次通信长度最长为1000个汉字, 全球报文终端单次通信长度最长为40个汉字, 满足不同场景下的通信需求。在传输速率方面, 北斗短报文通信可实现秒级至分钟级不等的信息交互, 既保障关键数据快速传递, 又兼顾低功耗长续航应用场景。北斗短报文通信系统凭借其独特优势在众多领域发挥重要作用。在海洋渔业领域, 渔船通过搭载北斗终端实现船岸、船船间通信, 实时传递位置信息与渔情数据, 助力远洋作业安全与生产调度; 在地质灾害监测中, 部署于偏远山区的传感器通过北斗短报文将位移、沉降等监测数据回传, 为灾害预警提供关键信息支撑。相较于传统通信技

术, 北斗短报文通信无需依赖地面基站, 在地震、洪水等自然灾害导致通信基础设施损毁时, 能够迅速搭建起应急通信通道, 为抢险救灾提供可靠通信保障。系统采用先进的加密算法与信道编码技术, 确保数据传输安全可靠, 抗干扰能力强, 在极端环境下依然能够稳定运行, 展现出强大的实用性与技术先进性。

2 北斗短报文通信信道性能测试方案设计

2.1 测试环境搭建

北斗短报文通信信道性能测试环境需构建高度仿真的全链路通信场景。核心设备采用专业北斗卫星信号模拟器, 其可精确模拟卫星在轨运行状态与信号传输特性, 涵盖不同轨道倾角、信号强度衰减及多径效应场景, 输出L频段射频信号模拟卫星下行链路。测试终端配备北斗短报文双模终端, 支持RDSS短报文收发功能, 具备多通道信号接收与自适应调制解调能力。在信号传输链路中, 部署射频线缆与功率放大器, 确保信号强度符合终端接收范围, 同时接入矢量信号分析仪, 实时采集与解析传输信号参数。控制端配置高性能计算机与测试控制软件, 实现对卫星信号模拟器的参数配置与测试流程自动化控制。整个测试环境搭建于电磁屏蔽室, 通过屏蔽外界电磁干扰, 结合温湿度控制系统维持稳定测试环境, 为信道性能测试提供纯净且可控的物理空间^[1]。

2.2 性能测试指标确定

北斗短报文通信信道性能评估需确立多维关键指标体系。误码率作为基础指标, 用于量化数据传输过程中错误码元占比, 反映信道抗干扰与信号保真能力, 在不同信噪比条件下测试误码率曲线可表征信道极限性能。吞吐量指标关注单位时间内成功传输的有效数据量, 考量信道带宽利用率与数据处理效率, 需测试突发数据与持续数据流场景下的吞吐量变化。时延指标涵盖发送端数据注入到接收端完整接收的时间间隔, 包含编解码、

信道传输与处理延迟,其稳定性直接影响实时性业务质量。丢包率统计传输过程中丢失数据包比例,揭示信道传输可靠性。抗干扰容限指标测试信道在外部干扰环境下保持正常通信的能力,通过注入不同类型与强度干扰信号,确定系统仍能维持可接受误码率的最大干扰强度阈值,全面评估信道性能边界。

2.3 测试方法与流程

测试方法采用标准化闭环测试流程,确保数据准确性与可重复性。通过卫星信号模拟器设定初始测试场景,配置卫星轨道参数、信号调制方式及信噪比条件,模拟真实空间链路环境。测试终端建立与模拟器的通信连接,按固定周期发送测试数据帧,数据帧包含特定格式校验序列与可变负载数据。在数据传输过程中,矢量信号分析仪实时监测射频信号,记录信号功率、频谱特性及调制质量参数;接收端解析数据帧,比对发送与接收数据计算误码率、丢包率,统计吞吐量与传输时延。每次测试完成后,调整模拟器参数进入下一测试场景,逐步改变信噪比、干扰强度或数据传输速率,形成多组测试数据。所有测试数据经专用数据分析软件处理,生成性能曲线与统计报表,通过数据拟合与误差分析验证测试结果可靠性,最终完成对北斗短报文通信信道性能的全面评估。

3 北斗短报文通信信道性能统计分析

3.1 通信成功率统计分析

北斗短报文通信成功率作为衡量系统可靠性的关键指标,受多维度因素综合影响。卫星星座几何分布直接决定信号覆盖与链路稳定性,当终端设备处于星座覆盖边缘区域时,信号强度衰减导致链路建立失败概率显著增加。复杂电磁环境中,射频干扰与多径效应会破坏信号完整性,引发数据包丢失,致使通信过程中断。从实际测试数据来看,在开阔无遮挡区域,通信成功率可维持在98%以上,此时信号传输路径单一且干扰源少,数据包传输的完整性得以有效保障;在城市峡谷、山区等地形复杂场景,成功率下降至85%-90%区间,建筑物或山体对信号的反射、折射及遮挡,形成大量干扰信号,干扰了正常通信链路。终端设备的天线性能与发射功率也对成功率产生重要影响,高增益天线与适配的发射功率能增强信号穿透能力,有效提升通信成功率,反之则可能导致信号无法成功传输至卫星端。

3.2 传输时延统计分析

北斗短报文传输时延是衡量通信实时性的核心参数,其组成涵盖卫星转发、信号传播、地面站处理等多个环节。信号在自由空间传播存在固有传输延迟,与卫

星和终端间的距离呈线性关系,地球同步轨道卫星与地面终端间的单程传播时延约为0.25秒,往返通信仅此项延迟就达0.5秒。地面站数据处理环节涉及信号解调、协议解析、路由选择等操作,处理效率直接影响时延大小,当系统处于高负荷运行状态时,数据排队等待处理现象加剧,导致时延显著增加。测试数据显示,常规短报文传输时延在1-3秒范围内波动,而在数据量较大或网络拥塞时段,时延可扩展至5-8秒。卫星切换过程中,终端需重新建立通信链路,期间产生的信令交互会额外引入1-2秒的时延,这在长距离或动态场景应用中对通信实时性产生不可忽视的影响,如海上移动目标监控场景,较大的传输时延可能导致目标位置信息更新不及时^[2]。

3.3 误码率与信道容量统计分析

误码率反映北斗短报文通信信道传输数据的准确性,信道容量则表征信道理论最大传输能力,二者紧密关联且受多种因素制约。信道噪声、衰落特性以及编码调制方式共同决定误码率水平,在低信噪比环境下,热噪声与电磁干扰易使信号发生畸变,导致接收端误判比特信息,造成误码现象。实际测试表明,在L频段信号传输时,当信噪比低于8dB,误码率从 10^{-5} 量级陡增至 10^{-3} 量级,严重影响数据传输质量。编码调制方式对误码率有显著改善作用,采用纠错能力强的卷积码或Turbo码,结合QPSK、16QAM等调制技术,可在一定信噪比条件下有效降低误码率。信道容量方面,根据香农公式,其与信道带宽、信噪比呈正相关,北斗短报文信道带宽有限,提升信噪比成为增加信道容量的关键途径。通过优化天线设计增强信号接收能力,采用功率控制技术提高发射信号强度,可在一定程度上拓展信道容量。实际应用中,受卫星功率限制与干扰环境影响,信道容量难以达到理论值,在复杂电磁环境下,实际信道容量仅能达到理论值的60%-70%,制约了数据传输效率与业务拓展。

4 北斗短报文通信信道性能优化建议

4.1 硬件设备优化

(1) 采用高性能射频前端模块能够显著提升北斗短报文通信的接收灵敏度与发射功率稳定性,通过引入低噪声放大器与高效率功率放大器组合,可有效抑制信号传输过程中的噪声干扰,增强信号在复杂电磁环境下的穿透能力,降低信号衰减对通信质量的影响,进而提升信道的整体通信距离与可靠性。(2) 优化天线设计对改善通信性能至关重要,通过采用多频段、多极化天线技术,可实现对北斗卫星信号的全方位高效接收与发射,提升信号捕获速度与跟踪精度。结合智能天线波束赋形技术,能够自适应调整天线辐射方向,增强信号增益,

减少同频干扰,提高信道容量与抗干扰能力。(3)升级基带处理芯片的运算能力与处理速度,可实现对北斗短报文信号的快速解调解码与编码调制。新型高速基带芯片集成先进的数字信号处理算法,能有效降低信号处理时延,提高数据处理吞吐量,支持更复杂的通信协议与更高的数据传输速率,从硬件层面保障北斗短报文通信的高效运行^[3]。

4.2 软件算法改进

(1)开发高效的信道编码算法是提升通信可靠性的关键,采用先进的纠错编码技术,如低密度奇偶校验码(LDPC)或极化码,能够在有限的带宽条件下,以较低的冗余度实现更强的纠错能力,有效纠正信号传输过程中因噪声、衰落等因素导致的误码,提高数据传输的准确性与完整性。(2)优化信号调制解调算法可显著提升信道频谱利用率,采用高阶调制技术,如正交幅度调制(QAM),结合自适应调制策略,根据信道质量动态调整调制方式与编码速率,在信道条件良好时提高数据传输速率,在信道恶化时保证通信的稳定性,充分挖掘信道潜力。(3)引入智能路由算法能够优化北斗短报文通信的传输路径。该算法可实时监测网络状态与信道质量,全面考量数据流量大小、传输时延长短、链路稳定性高低等多维度指标,精准为短报文数据挑选最优传输路径,有效避开拥塞链路,进而降低传输时延,提高通信效率与网络资源利用率。

4.3 网络架构完善

(1)构建分层分布式网络架构可有效提升北斗短报文通信系统的扩展性与可靠性,将网络划分为核心层、汇聚层与接入层,核心层负责高速数据转发与路由控制,汇聚层实现区域内数据的集中处理与分发,接入层则保障用户终端的接入与通信,各层分工明确,协同工

作,增强网络的整体性能与稳定性。(2)部署异构网络融合架构,将北斗短报文通信网络与其他通信网络(如蜂窝网络、卫星互联网等)有机结合,通过建立统一的通信协议与数据交互接口,实现不同网络间的无缝切换与协同工作,充分发挥各网络优势,在复杂环境下为用户提供稳定、高效的通信服务,拓展北斗短报文通信的应用场景。(3)优化网络节点部署策略,依据地理环境、用户分布、业务需求等因素,合理规划北斗短报文通信网络节点的位置与数量,增加关键区域的节点密度,减少信号盲区,提升网络覆盖范围与服务质量,同时优化节点间的连接关系,构建冗余链路,提高网络的抗毁性与容错能力^[4]。

结语

综上所述,通过对北斗短报文通信信道性能的全面测试与系统统计分析,清晰掌握了通信成功率、传输时延、误码率及信道容量等关键指标的实际状况,揭示了影响信道性能的因素。所提出的硬件设备优化、软件算法改进、网络架构完善等建议,对提升信道性能具有重要指导意义。未来,需进一步深化研究,持续推动北斗短报文通信技术向更高性能、更优服务方向发展。

参考文献

- [1]肖波.基于量子密钥的北斗短报文安全可靠通信设计[J].现代信息科技,2025,9(3):6-11.
- [2]沈少阳.电力系统中的北斗短报文通信技术分析[J].现代工业经济和信息化,2022,12(9):87-88,134.
- [3]王爱玉,王金全.基于北斗短报文通信的偏远海岛配网自动化建设新模式[J].农村电气化,2023(3):1-6.
- [4]刁家旺,海靖,郭成波,等.基于北斗短报文通信的林区浆果运输环境数据采集系统[J].物流技术,2021,40(7):120-124.