

通信对抗系统的抗干扰性能优化方法探究

江 水

中华通信系统有限责任公司河北分公司 河北 石家庄 050081

摘 要: 通信对抗系统在复杂电磁环境中面临多样化干扰挑战。本文先剖析压制式、自然及复合干扰类型特性, 阐述系统架构对抗干扰性能影响, 从发射端、接收端、链路传输、系统整体架构提出优化方法, 并探讨人工智能、软件定义无线电、认知无线电等关键技术支持。通过综合运用多种优化策略与技术手段, 可有效提升通信对抗系统抗干扰能力, 保障通信链路稳定可靠运行, 增强系统在复杂电磁环境下的适应性与生存能力。

关键词: 通信对抗系统; 抗干扰性能; 干扰类型; 优化方法; 关键技术

引言: 在当今信息化时代, 通信对抗系统在诸多领域发挥着关键作用。然而, 复杂多变的电磁环境使系统面临多种干扰威胁, 压制式干扰的全面压制、自然干扰的不可预测以及复合干扰的复杂叠加, 严重影响通信质量与稳定性。同时, 系统自身架构的合理性与协同性也对抗干扰性能产生重要影响。因此, 深入研究通信对抗系统抗干扰性能优化方法, 提升系统在复杂干扰环境下的适应能力, 具有重要的现实意义与应用价值。

1 通信对抗系统面临的干扰类型及特性

1.1 压制式干扰

宽带噪声干扰拥有极广的频谱覆盖范围, 能对各类通信信号形成全面压制效果。干扰信号自带明显随机性, 大幅增加信号分离处理的实际难度, 让通信系统难以精准提取有效信息。窄带瞄准干扰聚焦特定频段释放高强度干扰能量, 实现对目标通信链路的精准打击^[1]。干扰功率高度集中, 能快速削弱目标信号的传输质量, 对目标信号具备极强的破坏力, 易造成通信链路短暂或永久性中断。扫频干扰的干扰频率在设定范围内呈周期性变化, 可逐步扩大干扰覆盖范围。动态变化的频率特性让通信系统无法建立稳定抗干扰机制, 难以持续保持有效通信状态, 抗干扰策略的有效性被大幅削弱。

1.2 自然干扰

大气噪声干扰源于大气中的电磁现象, 具备显著的随机性和不可预测性, 无法通过提前预判规避。频谱分布贯穿多个频段, 对不同频段的通信信号都会产生不同程度影响, 干扰强度随大气环境变化波动。天电干扰由雷电等自然现象引发, 干扰强度极大且持续时间较为短暂, 属于突发性干扰类型。干扰过程中会产生宽频带脉冲信号, 这类脉冲信号会对通信系统形成强烈冲击, 破坏信号传输的稳定性, 可能引发瞬时通信中断。自然干扰与压制式干扰的作用机理存在本质差异, 前者不受人

为控制, 后者依赖人为操控释放干扰信号。两类干扰均会影响通信系统的正常运行, 需结合各自特性制定针对性抗干扰方案, 保障通信链路的稳定性和可靠性。

1.3 复合干扰的叠加特性

复合干扰是压制式干扰与自然干扰、或多种压制式干扰间的叠加形态, 其特性并非单一干扰的简单叠加, 而是呈现出协同增强与特性异化的双重特征。不同类型干扰叠加后, 会改变原有单一干扰的频谱分布、功率强度及作用时序, 形成更为复杂的干扰环境。例如宽带噪声干扰与天电干扰叠加时, 宽频覆盖特性与突发脉冲冲击相互作用, 会对通信系统形成持续压制与瞬时冲击的双重影响, 进一步压缩有效通信的空间。复合干扰的叠加模式具有多样性, 可表现为同时叠加、交替叠加或阶段性叠加, 其不确定性大幅提升了通信系统的抗干扰难度, 需在干扰识别与策略制定中重点考量叠加效应带来的影响。

2 通信对抗系统自身架构对抗干扰性能的影响

2.1 系统整体架构的抗干扰设计思想

系统整体架构的抗干扰设计需遵循“多元协同、主动适配”原则, 通过整合不同技术路径的优势, 构建全方位抗干扰基础。分集技术与编码技术作为两大核心架构方向, 分别从信号传输维度与信号处理维度提升抗干扰能力。分集技术架构涵盖空间分集、频率分集、时间分集, 各自依托不同原理发挥抗干扰效果。空间分集利用多天线布局规避局部干扰, 频率分集通过切换频段避开干扰覆盖范围, 时间分集依靠信号重复传输弥补瞬时干扰影响。分集合并方式优化信号质量, 通过合理整合多路径信号, 抵消干扰造成的损耗, 强化有用信号稳定性^[2]。编码技术架构中, 信道编码的纠错能力为抗干扰通信提供保障, 可自动修正干扰引发的信号错误, 减少重传需求。编码速率与冗余度的平衡影响系统效率, 冗余

度过高会占用过多传输资源,降低通信速率;冗余度不足则纠错能力减弱,无法有效应对强干扰环境,需精准把控二者关系。

2.2 发射端架构的关键影响

发射端作为信号输出的源头,其架构设计直接决定了信号的抗干扰基础性能。功率放大与信号调制两大核心模块,分别从能量输出与信号形态两个层面,影响信号对抗干扰的能力,二者的优化平衡是发射端抗干扰设计的核心。功率放大模块中,功率放大器的线性度直接关联信号失真程度。线性度不佳会导致信号畸变,削弱抗干扰基础能力。放大器效率与输出功率的平衡关系到抗干扰发射效果,效率不足会限制输出功率上限,无法实现强干扰压制或稳定信号传输,过度追求功率又会降低效率,影响系统持续运行。信号调制模块里,调制方式的选择直接决定信号抗干扰能力强弱。不同调制方式对干扰的耐受度不同,合理选择可提升信号在干扰环境中的穿透能力。调制参数的精度与稳定性影响信号质量,参数偏差或波动会导致信号辨识度下降,即便处于弱干扰环境也可能出现传输异常。

2.3 接收端架构的关键影响

天线模块的方向性可抑制干扰信号接收,通过聚焦有用信号方向、衰减干扰方向信号,减少干扰对后续处理的影响。天线增益与带宽适配有用信号接收需求,增益不足难以捕捉微弱有用信号,带宽不匹配则会遗漏信号细节,二者失衡会降低系统抗干扰容错率。射频前端模块中,滤波器的选择性与带外抑制能力负责过滤干扰信号,能精准保留有用信号频段,阻隔外部杂波干扰。低噪声放大器的噪声系数优化信号信噪比,降低自身噪声对有用信号的掩盖,为后续解调环节提供清晰信号基础,提升抗干扰核心效能。解调模块中,解调算法的复杂度与抗干扰性能密切相关。复杂算法可更好地从干扰信号中甄别有用信息,但需匹配系统处理能力。解调器的同步性能是信号正确解调的关键,同步偏差会导致解调失真,即便有用信号强度充足,也无法准确还原传输内容。

2.4 架构接口的协同适配性影响

发射端与接收端的接口协同效果直接影响系统整体抗干扰性能,接口协议的一致性、数据传输的同步性是保障信号顺畅传递的核心。接口若存在协议冲突或同步偏差,会导致信号传输延迟、数据丢失,即便发射端与接收端各自抗干扰能力优异,也会因接口适配问题削弱整体效能。架构接口的带宽匹配度与抗干扰冗余设计尤为关键,带宽适配不足会形成信号传输瓶颈,无法承载

抗干扰处理后的高保真信号;缺乏冗余设计则难以应对接口突发故障或干扰冲击,导致链路中断风险上升。此外,接口模块的电磁兼容性设计需与系统整体抗干扰需求协同,避免接口自身成为电磁干扰源,影响上下游模块的正常工作,实现架构各环节的无缝衔接与抗干扰能力联动。

3 通信对抗系统抗干扰性能优化方法

3.1 基于发射端的优化

发射端优化以“精准赋能、自适应调整”为核心,通过功率、调制方式及信号预处理的协同优化,提升信号自身的抗干扰韧性,从源头减少干扰对信号传输的影响,同时兼顾系统能耗与传输效率的平衡。功率优化策略需结合干扰环境和通信距离动态调整发射功率,避免功率浪费或不足^[9]。依托智能功率控制算法实现功率高效利用,在满足通信需求前提下,最大限度降低能耗并提升抗干扰针对性。调制方式自适应选择核心是建立干扰环境与调制方式的映射关系,依据实时干扰变化自动切换至最优调制方式,强化信号在复杂环境中的耐受能力。发射信号预处理通过预失真技术补偿功率放大器的非线性失真,减少信号畸变对传输质量的影响。同时对发射信号开展滤波处理,优化频谱特性,避免信号自身频谱扩散引发的干扰叠加,为后续传输环节筑牢抗干扰基础。

3.2 基于接收端的优化

天线优化设计聚焦高方向性和低副瓣特性,从源头减少干扰信号接收。引入智能天线技术实现波束动态调整与干扰抑制,精准聚焦有用信号方向,进一步衰减干扰信号强度。射频前端优化需选用高性能滤波器,提升对干扰信号的抑制能力,同时优化低噪声放大器设计,降低噪声系数以改善信噪比,为信号解调提供清晰基础。解调算法改进注重研发新型抗干扰算法,提升强干扰环境下的解调准确性。结合信号处理技术对解调前信号进行预处理,过滤残留干扰、修正信号畸变,从多维度改善信号质量,保障解调环节稳定高效。

3.3 基于链路传输的优化

链路传输优化以减少干扰介入、强化信号保真为核心,重点优化传输介质的抗干扰特性与链路拓扑结构。针对有线传输链路,采用屏蔽防护技术提升介质抗电磁干扰能力,通过屏蔽层材质升级、接地处理优化,阻隔外部干扰信号侵入;同时优化链路布线方式,避免与干扰源近距离平行布设,减少耦合干扰。针对无线传输链路,优化拓扑结构设计,采用分布式链路布局替代集中式布局,规避单点干扰导致的整体链路瘫痪。此外,通过链路自适应切换技术,实时监测各链路干扰状态,当当前

链路受干扰影响超出阈值时,快速切换至备用链路,保障信号传输的连续性,形成多链路协同抗干扰体系。

3.4 基于系统整体架构的优化

智能分集技术应用借助人工智能算法优化分集参数与合并方式,实现复杂干扰环境下的自适应调整,让分集技术适配不同干扰场景,充分发挥抗干扰效能。编码与调制协同优化需设计二者结合的抗干扰方案,提升系统整体抗干扰水平,同时依据编码和调制各自特点合理分配系统资源,达成性能最优目标。多技术融合抗干扰将分集、编码、调制等技术整合运用,构建多层次、全方位的抗干扰体系。通过技术间的互补协同,弥补单一技术的抗干扰短板,大幅提升系统在复杂多变干扰环境中的适应能力,保障通信链路持续稳定。

4 通信对抗系统抗干扰性能优化的关键技术支撑

4.1 人工智能技术

机器学习算法可高效实现干扰识别与分类,精准区分不同类型干扰的特征,为后续抗干扰策略制定提供数据支撑。算法能通过对干扰样本的学习积累,逐步提升识别准确率,适配干扰类型的多样化变化。基于深度学习的自适应抗干扰策略生成,可根据实时干扰环境动态调整策略逻辑,突破传统固定策略的适配局限,提升系统在复杂干扰场景中的应对能力。智能优化算法在抗干扰参数调整中发挥重要作用,能快速搜索最优参数组合,兼顾抗干扰效果与系统运行效率。参数调整过程无需人工干预,可实时响应干扰环境变化,避免参数滞后导致的抗干扰效能下降,为系统抗干扰性能优化提供核心算法支撑。三类技术相互配合,构建起智能化抗干扰决策与执行体系,强化系统应对复杂干扰的灵活性。

4.2 软件定义无线电技术

软件定义无线电凭借自身灵活性和可重构性,为抗干扰提供显著优势。无需改动硬件结构,仅通过软件升级即可适配新的抗干扰算法,大幅降低系统迭代成本,缩短抗干扰策略更新周期。基于软件定义无线电的快速抗干扰算法实现,能加速算法编译与运行速度,确保在干扰突发场景中快速启动应对措施,减少干扰对通信链路的影响时长。软件定义无线电在多模式抗干扰中具备良好适用性,可灵活切换不同抗干扰工作模式,适配从弱干

扰到强干扰、从单一干扰到复合干扰的各类场景^[4]。通过软件层面的模式调度,实现不同抗干扰技术的快速切换与协同,避免单一模式在复杂场景中的性能瓶颈,为系统抗干扰提供灵活可靠的技术载体。

4.3 认知无线电技术

认知无线电具备强大的电磁环境感知能力,能实时捕捉电磁频谱变化、干扰来源及强度等关键信息,为抗干扰策略制定提供精准环境依据。感知能力的提升可让系统提前预判干扰趋势,为抗干扰准备争取时间,降低干扰突发带来的冲击。基于认知无线电的动态频谱接入与抗干扰策略,可避开干扰密集频段,选择空闲或低干扰频谱资源建立通信链路,从传输源头减少干扰影响。认知无线电与通信对抗系统的融合抗干扰方法,能实现感知、决策、执行的一体化协同。通过二者深度融合,让系统在感知电磁环境的同时快速调整抗干扰机制,形成闭环抗干扰体系。这种融合模式可充分发挥认知无线电的环境适配能力与通信对抗系统的干扰应对能力,大幅提升整体抗干扰水平,适配未来复杂多变的电磁对抗环境。

结束语

通信对抗系统抗干扰性能优化是一个复杂且系统的工程。通过对干扰类型特性的深入剖析,明确系统面临的挑战;从系统架构多层面提出针对性优化方法,为提升抗干扰能力提供具体路径;借助人工智能等关键技术支撑,实现抗干扰策略的智能化与灵活化。通过这些综合措施,可有效增强通信对抗系统在复杂电磁环境下的抗干扰能力,保障通信链路的稳定可靠运行,提升系统在实际应用中的效能。

参考文献

- [1]赵军.复杂电磁环境下通信对抗系统载波干扰抑制方法研究[J].通信电源技术,2025,42(12):190-192.
- [2]张瑞玲,陈凯翔.新型通信体制下抗干扰与电子对抗策略协同优化方法[J].大众标准化,2025(17):63-65.
- [3]王芳.浅谈无线通信抗干扰技术性能[J].数字通信世界,2022(03):57.
- [4]潘浩.无线通信抗干扰技术特性解析[J].数字技术与应用,2021,36(12):20+22.