

通信对抗中的信号识别与干扰策略研究

甄凌航

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: 在通信对抗领域,本文深入探讨信号识别与干扰策略。先分析通信信号特性,涵盖基本参数、调制方式、编码加密及传播特性。接着阐述多种信号识别技术,包括时域、频域、调制域、机器学习及多特征融合方法。随后研究通信干扰策略,涉及类型、资源分配、动态策略及效果评估。最后聚焦信号识别与干扰策略的协同,构建闭环反馈机制与联合优化模型,设计协同系统架构,为通信对抗提供全面理论支持。

关键词: 通信对抗; 信号识别; 干扰策略; 协同研究; 调制方式

引言: 在复杂电磁环境下,通信对抗成为保障信息安全与通信畅通的关键手段。通信信号特性多样,不同参数、调制方式、编码加密及传播特性,给信号识别与干扰带来挑战。准确识别信号是实施有效干扰的前提,而合理制定干扰策略能破坏敌方通信。信号识别与干扰策略相互关联、相互影响,研究二者协同对提升通信对抗能力意义重大。深入剖析通信信号特性,探索先进识别技术与干扰策略,并研究协同机制,是当前通信对抗领域的重要课题。

1 通信信号特性分析

1.1 信号基本参数

通信信号的构成要素中,频率作为核心参数之一,决定了信号在频谱中的位置,直接影响信号传输的带宽需求与抗干扰能力。幅度参数表征信号能量强度,是信号检测与解调的基础,其动态范围决定了接收设备的灵敏度设计要求^[1]。相位参数与信号波形变化周期紧密相关,在相干解调与同步技术中发挥关键作用。这三个参数共同构成信号的物理特征基础,其中频率参数的稳定性影响信号识别算法的频域分辨率设计,幅度参数的波动特性对干扰机的功率控制精度提出要求,相位参数的连续性则直接决定调制方式识别的准确性。

1.2 信号调制方式

幅度调制通过改变载波振幅传递信息,其频谱效率较低但实现简单,在低速率通信场景中仍有应用。频率调制利用频率偏移编码数据,具有较强抗噪声能力,但带宽占用较大。相移键控通过载波相位突变承载信息,在数字通信中占据主导地位,其中QPSK通过双比特编码提升频谱效率,8PSK进一步扩展数据传输能力。正交幅度调制结合幅度与相位变化,在高频谱效率需求场景中表现突出,但解调复杂度显著增加。不同调制方式产生独特的频谱特征与瞬态特性,为信号识别提供区分依据,同

时调制阶数直接影响干扰信号的设计难度,高阶调制需要更精确的干扰波形匹配才能实现有效压制。

1.3 信号编码与加密

信道编码通过添加冗余信息提升传输可靠性,卷积码与Turbo码等编码方案在纠错能力与解码复杂度间取得平衡,直接影响信号在噪声环境下的可识别性。纠错码的引入改变信号统计特性,要求识别算法具备适应编码结构的能力。加密算法通过数学变换保护信息内容,对称加密与非对称加密体系分别在密钥管理与计算效率方面形成优势。加密处理使信号呈现伪随机特性,传统特征提取方法失效,推动基于深度学习的盲识别技术发展,同时要求干扰策略从内容破坏转向传输链路压制。

1.4 信号传播特性

自由空间传播遵循平方反比定律,信号强度随距离增加快速衰减,要求干扰设备根据目标距离动态调整发射功率。多径传播导致信号通过不同路径到达接收端,产生时延扩展与频率选择性衰落,增加信号识别难度,但多径分量也为分集接收技术提供利用空间。电离层反射与对流层散射等特殊传播方式扩展通信距离,却引入时变传播时延,迫使干扰系统具备实时信道状态监测能力。传播环境特性直接影响接收信号质量,进而决定识别算法的阈值设定与干扰资源的空间配置策略。

2 通信信号识别技术

2.1 基于时域特征的识别方法

时域波形分析聚焦信号瞬态变化特性,通过提取上升沿陡峭度、下降沿衰减率及脉冲宽度等参数,可有效区分不同调制类型的信号^[2]。上升沿时间参数对幅度调制信号敏感,下降沿特征则能反映频率调制特性,而脉冲宽度稳定性分析可用于识别扩频通信信号。时域相关分析利用信号自相关函数特性,通过计算周期性重复模式实现信号周期检测,互相关分析则通过比较不同信号片

段相似性完成同步参数估计。这类方法在短时突发信号识别中具有实时性优势,但对噪声敏感度较高,需结合自适应滤波技术提升特征提取鲁棒性。

2.2 基于频域特征的识别方法

傅里叶变换将时域信号映射至频域空间,通过分析频谱成分分布揭示信号本质特征。短时傅里叶变换进一步扩展时频分析能力,适用于非平稳信号分析。频谱形状分析关注主瓣宽度、旁瓣衰减率等形态特征,频谱能量分布则通过计算特定频段能量占比实现信号分类。功率谱密度估计可量化信号频域特性,为调制方式识别提供依据。频域方法抗噪声性能优于时域分析,但计算复杂度随采样点数增加显著上升,需采用快速傅里叶变换算法优化处理效率。

2.3 基于调制域特征的识别方法

瞬时特征分析通过希尔伯特变换提取信号瞬时频率、瞬时相位及瞬时幅度参数,构建高维特征向量用于调制类型识别。瞬时频率变化率可区分线性调制与非线性调制,瞬时相位跳变模式能识别相位跳变调制信号。调制参数估计采用决策理论方法,通过比较瞬时特征统计量与预设门限值,确定信号调制方式及符号速率等关键参数。这类方法对高阶调制信号具有良好适应性,但需解决相位解缠绕与参数估计精度优化问题,对硬件同步精度要求较高。

2.4 基于机器学习的信号识别方法

监督学习算法通过构建特征空间到调制类型的映射关系实现分类,支持向量机在处理小样本高维数据时表现突出,核函数选择直接影响分类边界复杂度。神经网络通过非线性变换自动提取深层特征,卷积神经网络在时频特征提取方面具有独特优势。无监督学习算法利用聚类分析挖掘信号内在结构特征,适用于未知调制类型探索场景,密度峰值聚类算法可有效处理非球形分布数据。深度学习通过端到端学习模式自动完成特征提取与分类,在复杂电磁环境下识别准确率显著提升,但面临模型训练数据需求量大、实时性受限等挑战。

2.5 多特征融合的信号识别方法

单一特征提取方法存在信息维度局限性,时域特征反映瞬态变化、频域特征揭示频谱结构、调制域特征刻画调制规律,三者形成互补关系。特征级融合采用特征拼接或加权组合方式整合异构特征,决策级融合通过集成学习框架综合多个分类器输出结果。融合策略需解决特征维度灾难与计算复杂度平衡问题,特征选择算法可优化输入向量构成,基于互信息的特征筛选方法能有效降低冗余度。多核学习算法通过为不同特征分配核函数

实现异构特征融合,在保持特征独立性的同时提升分类性能。

3 通信干扰策略研究

3.1 干扰类型与分类

压制式干扰通过发射高功率噪声信号覆盖目标频段,将通信系统信噪比降至解调门限以下以实现通信阻断,该方式频谱选择性要求低,但需持续消耗大量能量^[3]。模拟式干扰通过复刻合法信号特征,向接收端注入虚假信息或错误同步信号,破坏数据传输完整性,或造成系统同步失效。窄带干扰针对特定频点精准压制,适用于载波频率已知的通信系统,能量高度集中但覆盖范围有限。宽带干扰以扫频、噪声填充方式覆盖宽频段,可应对跳频、扩频通信,却因功率分散,单点压制效果有所减弱。

3.2 基于信号特征的干扰策略制定

调制方式差异影响干扰波形设计,AM信号对幅度噪声敏感,可采用高斯白噪声压制;FSK信号需在跳变时刻注入瞬态干扰;QPSK等相位调制信号需精确匹配相位跳变规律实施欺骗。频谱特征分析指导干扰频率选择,针对主瓣宽度较窄的信号采用瞄准式干扰,对频谱扩展的信号实施梳状谱干扰。编码特性利用方面,卷积编码信号需增加干扰脉冲密度以破坏纠错能力,加密信号则通过插入伪随机噪声干扰解密同步过程。

3.3 干扰资源分配与优化

干扰资源分配与优化是提升干扰效能的关键环节。功率分配策略需权衡压制效果与能耗效率,依据目标信号的重要程度,对关键信号采用集中功率压制,确保对其有效干扰;对次要目标实施分布式低功率干扰,在节省资源的同时达到一定干扰效果。频率资源分配通过频谱感知技术避免干扰信号自相干扰,采用正交频分或跳频模式实现多干扰源协同,提高频率资源利用率。优化算法方面,粒子群算法可动态调整干扰源位置与功率参数,适应不断变化的通信环境;博弈论模型用于多干扰方策略协同,实现多方干扰效益最大化;遗传算法则适用于复杂电磁环境下的全局资源优化,找到最优的资源分配方案。

3.4 动态干扰策略

实时信号监测系统持续跟踪目标参数变化,当检测到频率跳变时,干扰机同步调整载波频率;面对功率控制通信系统,采用自适应增益干扰跟随信号强度变化。对抗自适应通信系统时,干扰策略需具备快速迭代能力,通过深度强化学习预测目标调整规律并预先部署反制措施。动态博弈分析框架下,干扰方与通信方形成攻防循环,干扰策略需兼顾当前压制效果与未来对抗演化趋势。

3.5 干扰效果评估指标与方法

评估体系构建包含误码率、信噪比衰减、通信中断时长等直接指标,以及频谱占用率、资源消耗率等间接指标。误码率测试需区分干扰类型,噪声压制导致随机误码,欺骗干扰引发突发误码簇^[4]。信噪比测量采用能量检测法或相关检测法,需考虑背景噪声基底变化。评估方法选择取决于场景需求,实验室环境采用可控信号源精确测量,外场试验通过统计平均降低环境干扰影响,仿真分析则用于快速验证策略有效性。不同方法存在精度与实时性矛盾,需根据任务阶段动态选择评估手段。

4 信号识别与干扰策略的协同研究

4.1 识别与干扰的闭环反馈机制

信号识别结果在通信对抗闭环系统中犹如精准的导航,为干扰策略调整提供关键指引。当信号识别模块准确识别出目标信号的调制方式、频率范围等特征后,干扰策略制定模块可依据这些信息,针对性地选择合适的干扰手段。若识别出信号为高频窄带信号,干扰策略可侧重于采用同频窄带干扰,以最大程度削弱信号传输质量。并且,随着信号特征不断变化,识别结果能实时反馈,促使干扰策略动态调整,确保干扰始终有效。干扰效果反馈则是优化信号识别算法的重要动力。在通信对抗过程中,干扰实施后,系统会对干扰效果进行评估。若发现干扰未能达到预期目标,如目标信号仍能正常解调,这表明信号识别可能存在偏差,未能准确把握信号关键特征。基于此反馈,信号识别算法可进行自我审视与优化,调整特征提取方法或分类模型参数,提高对目标信号的识别准确率,为后续干扰提供更可靠依据。

4.2 联合优化模型构建

构建信号识别与干扰策略的联合优化目标函数是协同研究的核心环节。该目标函数需综合考虑多方面因素,既要保证信号识别的高准确率,以精准定位目标信号,又要确保干扰策略的有效性,最大程度破坏目标信号传输。同时,还需兼顾资源消耗,在有限的功率、频率等资源条件下,实现识别与干扰的整体最优。找到满足联合优化模型最优解的过程充满困难,需要设计合适的算法。算法设计要充分考虑模型的复杂性与实际应用的实时性要求。可采用启发式算法,通过模拟自然过程或人类思维模式,在可行解空间中搜索最优解。也可结合智能优化算法,利

用其强大的全局搜索能力,快速找到满足目标函数的解。对算法进行深入分析,评估其收敛性、稳定性与计算复杂度,确保算法在实际通信对抗场景中可靠运行。

4.3 协同系统架构设计

信号识别模块与干扰模块的硬件架构设计需注重性能与集成度。硬件要具备高速信号处理能力,以应对复杂多变的通信信号。采用高性能处理器与专用信号处理芯片,提高信号识别与干扰生成的速度。软件架构设计则强调模块化与可扩展性,各模块功能明确,便于维护与升级。通过标准化接口实现模块间通信,确保系统灵活性与兼容性^[5]。协同系统中的数据传输与处理流程设计至关重要。信号识别模块获取的原始信号数据需快速、准确传输至干扰模块,干扰模块生成的干扰信号也要及时反馈至识别模块进行效果评估。设计高效的数据传输协议,减少数据传输延迟。在数据处理方面,采用并行处理技术,提高数据处理效率,确保整个协同系统高效稳定运行,提升通信对抗的整体效能。

结束语

通信对抗中的信号识别与干扰策略研究是一个复杂且关键的领域。通过对通信信号特性的深入分析,掌握了信号的基本规律,为识别与干扰提供了基础。多种信号识别技术各有优劣,多特征融合可提升识别准确率。干扰策略需根据信号特征、资源状况等灵活制定,动态调整以应对变化。信号识别与干扰策略的协同研究,通过闭环反馈、联合优化及合理架构设计,实现了二者优势互补。该研究成果有助于提升通信对抗效能,保障通信安全与稳定。

参考文献

- [1]薄保林.基于深度学习的通信对抗信号识别与干扰技术[J].中国宽带,2023,19(10):46-48.
- [2]王国杰.通信信号智能调制识别对抗攻击方法研究[J].中国宽带,2025,21(4):47-49.
- [3]张正豪,陈家军,黄知涛,等.通信信号智能调制识别对抗攻击研究[J].航天电子对抗,2023,39(5):11-16.
- [4]徐冬月,田蕴哲,陈康,等.面向信号调制识别的对抗攻击与防御综述[J].计算机研究与发展,2025,62(7):1713-1737.
- [5]王哲,杨忠.通信对抗中的现代信号处理技术应用研究[J].通信电源技术,2024,41(7):1-3.