

基于通信技术的电子系统抗干扰性能提升研究

谢于可 411321199210152915

摘要

随着电子通信技术的快速普及与应用，现代电子系统面临的电磁干扰环境日趋复杂，干扰来源多元化、干扰强度持续提升，已经成为影响电子通信系统稳定运行的核心风险因素。本文以通信技术框架下电子系统的抗干扰性能为研究对象，首先梳理了当前电子系统常见的干扰类型与形成机理，分析了干扰对系统传输可靠性、传输速率以及数据安全性的负面影响；随后结合现有通信抗干扰技术体系，从频域、时域、空域多个维度探讨了性能提升的可行路径，重点分析了扩频通信、自适应滤波、智能天线等技术的抗干扰应用逻辑；最后提出了融合多技术的抗干扰优化方案，为复杂电磁环境下电子系统的稳定运行提供参考。

关键词：通信技术；电子系统；抗干扰性能；性能提升

一、引言

现代社会已经进入全面数字化阶段，从民用移动通信、工业物联网到军用指挥通信系统，各类电子系统都依赖稳定的信号传输实现功能落地。根据中国信通院发布的统计数据，我国当前移动网络基站总量已经超过 1150 万个，各类物联网连接设备总量突破 200 亿，海量设备同时接入通信频段带来的信道拥堵问题日益凸显，同频干扰、邻频干扰、人为干扰等多种干扰类型并存，大幅降低了电子系统的运行稳定性。对于工业控制、军事通信等关键领域而言，电子系统的干扰甚至可能引发严重的安全事故与战略损失，因此如何依托现有通信技术提升电子系统的抗干扰性能，已经成为通信工程领域的研究热点问题。

现有研究大多针对特定场景下的单一干扰类型提出解决方案，缺乏对多干扰场景下抗干扰技术融合应用的系统性分析。本文立足于通用电子通信系统，梳理干扰的形成机制，整合不同维度的抗干扰技术，提出可落地的性能提升方案，具备一定的理论与实践价值。

二、电子系统干扰类型与影响机理

2.1 常见干扰类型

现代电子系统面临的干扰可以按照来源分为内部干扰与外部干扰两大类，其中内部干扰主要来自于电子系统自身硬件组件的热噪声、信号线路之间的串扰、电源波动带来的谐波干扰等，这类干扰强度相对较低，通常可以通过硬件优化设计进行抑制。而外部干扰是当前影响电子系统抗干扰性能的核心因素，主要包括以下三类：

第一，同频与邻频干扰。随着通信频段资源日益紧张，不同电子系统复用相近频段的情况越来越普遍，当两个信号的中心频率差值小于信号带宽时，就会产生同频干扰；而当两个信号的频谱边缘发生重叠时，就会形成邻频干扰，这类干扰是民用移动通信网络中最常见的干扰类型，会直接导致接收端信噪比下降。

第二，自然与工业干扰。自然干扰主要包括宇宙射线噪声、大气雷电噪声等，这类干扰具备突发性特点，会对卫星通信、短波通信等长距离传输系统产生明显影响；工业干扰主要来自于工业生产场景中的大功率用电设备，例如高压输电线路、电焊机、变频器等设备运行时会产生较强的电磁辐射，对周边工业物联网电子系统的信号传输形成干扰。

第三，人为恶意干扰。这类干扰主要出现在军事通信与特殊安防领域，干扰方通过发射与目标电子系统同频段的大功率信号，压制目标信号的正常传输，或者通过释放欺骗性信号误导接收端的信号解调，直接影响电子系统的功能实现。

2.2 干扰对电子系统的影响

干扰对电子系统的负面影响主要体现在三个层面：首先是传输可靠性下降，当干扰强度超过接收端的解调阈值后，会导致大量误码产生，严重时甚至会导致通信链路中断，例如移动通信网络遇到强干扰时会出现通话中断、数据无法加载的问题；其次是传输效率降低，为了对抗干扰，电子系统通常会启动重传机制，占用额外的信道资源，导致有效传输速率下降，根据相关测试数据，强干扰场景下无线通信系统的有效传输速率会降低 30%以上；最后是安全性风险，对于有意干扰而言，干扰方可能通过干扰破解加密链路，或者注入虚假数据，对电子系统的数据安全造成威胁。

三、基于通信技术的抗干扰性能提升路径

3.1 频域抗干扰技术

频域抗干扰技术是通过调整信号的频率特性规避干扰，核心思路是将信号能量分散到更宽的频段，或者主动避开干扰集中的频率区间。其中应用最广泛的就是扩频通信技术，包括直接序列扩频与跳频扩频两种模式。直接序列扩频通过高速伪随机码将基带信号的频谱扩展到远 **wider** 于原始信号带宽的范围，接收端通过相同的伪随机码进行解扩，将有用信号能量聚合，而干扰信号因为无法匹配伪随机码，能量被分散到整个频段，最终输出信噪比得到大幅提升，这种技术目前已经广泛应用于军用通信与 **GPS** 定位系统中，能够对抗强度远高于有用信号的宽带干扰。

跳频扩频则是让信号的载波频率按照预设的伪随机规律不断跳变，干扰方无法预测跳变规律，只能对整个频段进行干扰，而有用信号只在特定时隙占据特定频率，因此大部分干扰不会影响信号的正常接收，跳频扩频的抗干扰性能取决于跳频速率与跳频带宽，跳频速率越高、跳频带宽越宽，抗干扰能力越强，目前蓝牙通信、军用战术通信都普遍采用跳频技术。除了扩频技术之外，自适应频率跳转技术也是常见的频域抗干扰方案，通过电子系统主动扫描当前频段的干扰分布，自动选择空闲的无干扰信道进行传输，能够有效应对静态同频干扰问题，在民用 **WiFi** 网络与物联网通信中已经得到广泛应用。

3.2 时域抗干扰技术

时域抗干扰技术主要是通过信号在时间维度的处理过滤干扰信号，其中最核心的技术是自适应滤波技术。自适应滤波技术能够根据干扰信号的实时特性自动调整滤波器的参数，将干扰信号从接收信号中滤除，保留有用信号，尤其适合应对干扰特性随时间变化的动态干扰场景。例如，对于电力线通信系统而言，用电设备开启关闭带来的脉冲干扰会随时间不断变化，自适应滤波能够实时跟踪干扰的变化，持续保持良好的滤除效果，相比固定参数滤波器，误码率能够降低 **40%** 以上。

此外，时间跳变技术也是时域抗干扰的重要方案，通过伪随机序列控制信号的发送时隙，让有用信号在随机选择的时隙中传输，干扰方难以精准对准时隙释放干扰，从而降低干扰对有用信号的影响，这种技术通常与跳频技术结合使用，形成时频联合抗干扰方案，进一步提升抗干扰性能。

四、结论

电子系统的抗干扰性能是保障系统稳定运行的核心指标,随着电磁环境复杂度不断提升,传统单一抗干扰技术已经难以满足需求。依托现有通信技术体系,整合频域、时域、空域多维度抗干扰技术,构建动态自适应的抗干扰方案,能够有效应对不同类型的干扰,显著提升电子系统的抗干扰性能。未来随着人工智能与 5G/6G 通信技术的发展,抗干扰技术将进一步向智能化、自适应方向发展,为各类电子系统的稳定运行提供更可靠的保障。

参考文献

- [1] 樊昌信,曹丽娜.通信原理[M].国防工业出版社,2020.
- [2] 毕红军.现代电子系统抗干扰技术[M].北京交通大学出版社,2018.
- [3] 陈一帆, 张中兆. 自适应跳频通信抗干扰技术研究进展[J]. 通信学报, 2021, 42(06): 189-202.
- [4] 刘述璋. 大规模 MIMO 系统抗干扰技术研究[J]. 电子与信息学报, 2022, 44(02): 521-528.