

# 无线通信系统中的抗干扰模块设计

兰春虎

中通服咨询设计研究院有限公司 江苏 南京 210019

**摘要:** 无线通信系统易受多种干扰影响, 本文围绕抗干扰模块设计展开。先分析人为、自然及系统内部干扰类型与特征, 阐述设计原则、性能及兼容性要求。接着从硬件设计角度, 介绍核心硬件选型、电路及接口设计; 软件设计方面, 说明抗干扰算法选型与设计、软件流程及容错设计。通过全面设计, 提升无线通信系统抗干扰能力, 保障通信质量。

**关键词:** 无线通信系统; 抗干扰模块; 硬件设计; 软件设计; 干扰类型

引言: 在信息技术飞速发展当下, 无线通信系统广泛应用, 从日常移动通信到民用、工业等关键领域, 都发挥着不可或缺作用。然而, 无线通信环境复杂, 存在各种干扰因素, 严重影响通信质量与稳定性。人为恶意干扰、自然现象引发的干扰以及系统内部干扰等, 都可能导致通信中断、数据丢失等问题。因此, 设计有效的抗干扰模块, 提升无线通信系统抗干扰能力, 成为保障通信顺畅的关键所在。

## 1 无线通信系统中的干扰类型及特征

### 1.1 人为干扰类型及特征

人为干扰主要源于人类有意识或无意识的活动。恶意干扰是人为干扰中极具破坏性的一种。恶意干扰者会借助专门设备, 发射与正常通信信号频率相近或重合的强功率信号。这些强信号会迅速占据通信信道, 使得正常通信信号被淹没, 无法准确传输至接收端, 进而造成通信中断或数据严重丢失<sup>[1]</sup>。这种干扰往往带有明确目的, 多出现在对通信安全要求极高或存在利益竞争的场景, 如重要民用通信保障、商业竞争中的非法干扰等。无意干扰同样不可小觑。随着各类电子设备数量急剧增加, 许多设备在工作时会产生杂散辐射。这些杂散辐射信号若不慎落入无线通信频段, 就会对正常通信形成干扰。例如, 一些大功率工业设备在运行过程中, 其电气元件产生的电磁辐射, 可能会干扰附近区域的无线通信网络, 导致信号质量下降, 出现误码、丢包等问题。

### 1.2 自然干扰类型及特征

自然干扰由自然环境中的各种物理现象引发。电离层闪烁是自然干扰的典型代表。电离层状态会随太阳活动、地球磁场变化等因素发生动态改变。当电离层出现不规则结构时, 会对穿过其中的无线电波产生复杂作用, 包括散射和折射。这使得接收端收到的信号幅度和相位发生快速随机变化, 严重影响通信准确性, 尤其在

高频段通信中表现更为明显。雷电活动也是重要的自然干扰源。雷电发生时, 会产生强大电磁脉冲, 这些脉冲具有极宽频谱, 能够覆盖无线通信频段。强大的电磁脉冲会对通信设备造成直接冲击, 轻则使信号出现短暂中断, 重则损坏通信设备内部元件, 导致通信系统瘫痪。

### 1.3 系统内部干扰类型及特征

系统内部干扰主要源自无线通信系统自身结构和运行机制。多径效应是系统内部干扰常见形式。无线信号在传播过程中, 会遇到建筑物、山体等障碍物, 发生反射、折射和散射现象。这导致接收端会收到多个来自不同路径的信号, 这些信号相互叠加, 使接收信号幅度和相位发生改变, 产生码间干扰, 降低通信质量, 增加误码率。设备自身噪声也是系统内部干扰重要因素。通信设备中电子元件在工作时, 不可避免地会产生热噪声等。这些噪声会叠加在有用信号上, 干扰信号检测与解调过程, 限制通信系统性能进一步提升, 影响通信的稳定性和可靠性。

## 2 抗干扰模块的设计原则与核心要求

### 2.1 抗干扰模块的设计原则

抗干扰模块设计需遵循多维度原则以保障通信系统稳健运行<sup>[2]</sup>。从干扰抑制机制看, 应采用主动与被动相结合的方式。主动设计通过预判干扰特性, 在信号发射前对信号进行编码、调制等预处理, 改变信号频谱结构或传输特性, 降低被干扰概率。例如, 采用扩频技术将信号频谱扩展, 使干扰能量分散, 提升信号抗干扰能力。被动设计则侧重于接收端对干扰的抑制, 通过滤波、均衡等手段, 从接收信号中分离出有用信号。在资源利用方面, 需兼顾效率与成本。抗干扰模块设计应充分利用现有硬件资源, 避免过度复杂化导致成本飙升。例如, 在硬件选型上, 选择集成度高、性能稳定的芯片, 减少外围电路设计, 降低功耗与成本。同时, 软件算法设计

要注重计算复杂度，避免因算法过于复杂而占用过多系统资源，影响通信系统整体性能。灵活性也是重要设计原则。无线通信环境复杂多变，干扰类型与强度随时可能改变。抗干扰模块应具备自适应调整能力，根据环境变化动态调整抗干扰策略。例如，当检测到强干扰时，自动切换至更强的抗干扰模式，如增加扩频增益或调整波束成形方向；当干扰减弱时，恢复至常规模式，以节省资源。

### 2.2 抗干扰模块的性能要求

抗干扰模块性能需满足多方面严格标准。信号恢复能力是核心指标之一，要求在强干扰环境下，仍能准确恢复原始信号，将误码率控制在极低水平。这需要抗干扰模块具备高效的干扰抑制算法与精确的信号检测技术，确保接收信号质量。响应速度同样关键。无线通信中，干扰可能瞬间出现且快速变化，抗干扰模块需迅速做出反应，及时调整抗干扰策略。例如，在面对突发干扰时，能在短时间内完成干扰检测、参数调整等操作，避免通信中断。稳定性与可靠性不可或缺。抗干扰模块需在各种恶劣环境下长期稳定运行，不受温度、湿度、振动等因素影响。硬件设计要采用高可靠性元件，软件算法要经过充分优化与测试，确保系统不会因抗干扰模块故障而失效。

### 2.3 抗干扰模块与无线通信系统的兼容性要求

抗干扰模块与无线通信系统兼容性涉及多个层面，兼容性测试通过率需达到100%。在物理层，抗干扰模块的接口设计要与通信系统硬件匹配，确保信号能顺畅传输，接口阻抗需匹配50Ω标准，信号反射系数 $\leq -15\text{dB}$ 。例如，射频接口的阻抗、频段等参数需与通信系统一致，避免信号反射与损耗，频段偏差需控制在 $\pm 1\text{kHz}$ 以内。在协议层，抗干扰模块要遵循通信系统协议标准，与系统其他模块协同工作。例如，在调制解调、编码解码等环节，要与通信系统协议保持一致，确保数据正确传输。在系统集成方面，抗干扰模块不能对通信系统原有功能造成影响。其设计要充分考虑系统整体架构，避免引入新的干扰或冲突。例如，在添加抗干扰模块后，通信系统的频谱利用率、数据传输速率等指标不应明显下降，确保系统整体性能不受损。

## 3 抗干扰模块的硬件设计

### 3.1 模块核心硬件选型

抗干扰模块核心硬件选型是保障性能的基础。在处理器选择上，需综合考虑运算能力与功耗。对于处理复杂抗干扰算法的模块，应挑选具备高主频、多核心的数字信号处理器<sup>[3]</sup>。这类处理器能快速执行滤波、均衡、

解码等运算，满足实时性要求。若对功耗有严格限制，可选用低功耗微控制器，通过优化算法降低计算复杂度，在保证基本抗干扰功能前提下减少能耗。射频芯片的选型关乎信号收发质量。要依据通信频段、带宽等参数选择合适芯片。高频段通信需选择支持该频段且噪声系数低的射频芯片，以减少信号在传输过程中的衰减与失真。同时，芯片的线性度要好，避免在强信号输入时产生互调失真，影响抗干扰效果。存储器选型要考虑容量与速度。抗干扰模块需存储大量算法参数、中间计算结果等数据。大容量高速存储器能确保数据快速读写，避免因存储瓶颈导致处理延迟。例如，选用闪存与动态随机存取存储器组合方式，闪存用于存储固定算法与参数，动态随机存取存储器用于临时数据缓存，提升数据处理效率。

### 3.2 硬件电路设计

硬件电路设计需围绕抗干扰功能展开。射频前端电路是关键部分，低噪声放大器设计要优化噪声系数与增益平衡。通过合理选择晶体管与匹配电路，降低放大器自身噪声，同时提供足够增益放大微弱信号。滤波器电路要精确设计频响特性，采用高品质因数元件，有效抑制带外干扰，确保进入混频器的信号纯净。基带处理电路要注重信号完整性。在模数转换电路中，采样率与分辨率选择要匹配信号特性。高采样率能准确捕捉信号细节，高分辨率可减少量化噪声。数字信号处理电路布局要合理，缩短信号传输路径，降低信号干扰与串扰。采用多层板设计，将模拟电路与数字电路分层布局，通过电源层与地层隔离，减少电磁干扰。电源电路设计要保证稳定供电。采用线性稳压器与开关稳压器结合方式，为不同电路模块提供合适电压。线性稳压器输出电压稳定、噪声低，适用于对电源质量要求高的模拟电路；开关稳压器效率高，适用于大功率数字电路。同时，在电源输入端添加滤波电容，去除电源纹波，提升电源质量。一般来说，滤波电容的容量可根据电源电流和纹波要求进行选择，对于小电流电源，可选择 $10\mu\text{F} - 100\mu\text{F}$ 的电容量。

### 3.3 硬件接口设计

硬件接口设计要确保抗干扰模块与外部设备可靠连接。射频接口要匹配阻抗，采用标准射频连接器，保证信号无损耗传输。在接口处添加滤波电路，进一步抑制外部干扰进入模块。数字接口设计要考虑数据传输速率与协议兼容性。对于高速数据传输接口，如串行高速接口，要优化布线与信号完整性设计，采用差分信号传输方式，减少电磁干扰。同时，遵循相关通信协议标准，

确保与外部设备数据交互正常。控制接口设计要简洁可靠。采用通用输入输出接口或专用控制总线,实现模块与主控设备之间的控制信号传输。通过合理设计电平转换电路,确保控制信号在不同电压域间准确传输,避免因电平不匹配导致控制失误。

#### 4 抗干扰模块的软件设计

##### 4.1 抗干扰算法选型与设计

抗干扰算法选型需紧密贴合实际应用场景与干扰特性<sup>[4]</sup>。在面对窄带干扰时,自适应陷波算法是较为合适的选择。这种算法能够动态跟踪干扰频率,通过调整滤波器参数,在干扰频点处形成深度凹陷,有效抑制窄带干扰对信号的影响。对于宽带干扰,扩频算法展现出独特优势,通过将信号频谱扩展,使干扰能量分散,降低干扰对信号的破坏程度,提升信号的抗干扰能力。在算法设计过程中,要充分考虑计算复杂度与实时性要求。以自适应算法为例,需优化迭代计算过程,减少不必要的运算步骤,采用快速收敛算法,确保在短时间内达到稳定状态,满足实时抗干扰需求。同时,结合硬件资源特点,对算法进行针对性优化,充分利用处理器的并行计算能力,提升算法执行效率。例如,对于具备多核心的处理器,可将算法任务合理分配到不同核心并行处理,缩短处理时间。

##### 4.2 软件流程设计

软件流程设计需遵循清晰、高效原则。初始化阶段,完成对抗干扰模块各项参数的配置,包括算法参数初始化、硬件接口初始化等。对自适应算法,设置初始滤波器系数;对扩频算法,确定扩频码序列等。同时,检测硬件设备状态,确保硬件正常工作,为后续运行做好准备。运行阶段是软件核心部分。持续采集输入信号,对信号进行预处理,如滤波、放大等操作,提升信号质量。将预处理后的信号输入抗干扰算法模块进行处理,根据算法输出结果调整系统参数或输出处理后的信号。在此过程中,实时监测干扰状态,若干扰特性发生变化,及时调整抗干扰算法参数或切换算法类型,以适应新的干扰环境。结束阶段,对系统运行状态进行总结

与记录,保存关键数据与参数,为后续分析与优化提供依据。同时,释放系统资源,关闭硬件设备,确保系统安全退出。

##### 4.3 软件容错设计

软件容错设计旨在提升系统稳定性与可靠性。在数据采集环节,设置数据有效性检测机制,对采集到的信号数据进行范围检查、一致性检查等。若数据超出合理范围或出现异常波动,判定为无效数据,采用数据插值、重复采集等方式进行修正,避免无效数据进入后续处理流程影响结果准确性。在算法执行过程中,加入异常处理机制<sup>[5]</sup>。对可能出现的除零错误、数组越界等异常情况进行监测与处理。当检测到异常时,立即停止当前算法执行,记录异常信息,根据预设策略进行恢复操作,如重新初始化算法参数、切换备用算法等,确保系统能够继续正常运行,不因局部异常导致整个系统崩溃。

##### 结束语

无线通信系统抗干扰模块设计是一个复杂且关键的任务。通过对干扰类型与特征的深入分析,明确设计原则、性能及兼容性要求,从硬件与软件两个层面进行精心设计。硬件选型注重性能匹配,电路设计围绕抗干扰功能展开,接口设计保障可靠连接;软件算法选型贴合实际,流程设计清晰高效,容错设计提升稳定性。这些设计举措共同作用,有效增强无线通信系统抗干扰能力,为通信质量提供坚实保障。

##### 参考文献

- [1]刘星.无线通信抗干扰技术[J].中外交流,2021,28(8):908-909.
- [2]顾建峰,陈立强,王坡.无线通信抗干扰技术研究[J].中国高新科技,2023(7):133-135.
- [3]赵亮,王坦,房永昌,等.无线通信抗干扰技术性能研究[J].无线互联科技,2021,18(20):9-10.
- [4]尹伊,白曦源.无线通信抗干扰技术的思考[J].数码设计(上),2021,10(6):20.
- [5]周晨.基于地铁无线通信抗干扰优化方法研究[J].人民公交,2024(20):150-152.