

智能通信中信号干扰抑制技术研究

林远耀¹ 王家辉² 李 月³ 沈华沐³

1. 浙江宇脉科技股份有限公司 浙江 杭州 310000
2. 杭州蛟洋通信科技有限公司 浙江 杭州 310000
3. 杭州知管家信息科技有限公司 浙江 杭州 310000

摘 要：智能通信在现代社会的应用日益广泛，信号干扰却严重制约其发展。针对此，深入剖析智能通信信号基础，明确常见干扰信号来源及对通信性能的量化影响。详细阐述传统信号干扰抑制技术原理，指出其在复杂场景下的局限。重点探索基于机器学习的干扰识别与抑制算法、自适应天线阵列抗干扰技术、深度学习在干扰抑制中的创新应用等新技术。完成干扰抑制技术的系统集成方案设计，构建性能评估体系并提出优化策略。研究成果有望提升智能通信抗干扰能力，推动通信技术迈向新高度。

关键词：智能通信；信号干扰抑制；机器学习；自适应天线阵列；深度学习

1 引言

在5G乃至未来6G通信技术飞速发展的当下，智能通信已深度融入人们生活与社会运转的各个层面。从日常的移动设备互联，到工业物联网、车联网等关键领域的高效通信，智能通信承载着海量数据的高速传输与交互。但随着通信频段的拓展和通信环境的日趋复杂，信号干扰问题愈发严峻。同频干扰、邻频干扰、多径干扰等不仅降低通信信号质量，导致数据传输错误、速率下降，甚至会造成通信中断。传统干扰抑制技术在面对复杂多变的干扰源时逐渐力不从心。因此，深入研究智能通信中信号干扰抑制技术，对保障通信稳定、推动智能通信技术持续进步，具有至关重要的现实意义。

2 智能通信信号基础与干扰类型剖析

2.1 智能通信信号特性解析

智能通信信号具备独特属性。从调制方式看，相移键控（PSK）、正交幅度调制（QAM）等被广泛采用^[1]。以5G通信常用的高阶QAM为例，它能在有限带宽内承载更多信息，提升传输效率，但对信号质量要求更高。如图1所示。在频谱特性上，智能通信信号频谱利用率高，通过载波聚合、多载波技术，实现更密集的频谱分布。例如，LTE系统利用正交频分复用（OFDM）技术，将高速数据流分割成多个低速子数据流，并行传输于多个子载波上，有效提升频谱效率。此外，信号的时变特性显著，受通信环境中物体移动、信号遮挡等因素影响，信号强度、相位随时间快速变化，这要求通信系统能快速适应并处理这些动态变化，以保障信号稳定传输。

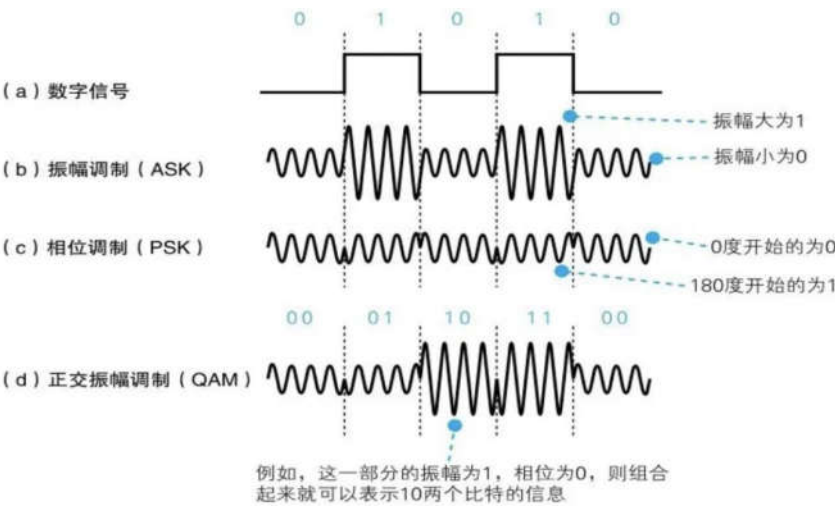


图1

2.2 常见干扰信号来源探究

干扰信号来源复杂多样。自然干扰方面,宇宙噪声、大气噪声不可忽视。宇宙噪声源于银河系及其他星系的天体辐射,在高频段对通信产生影响;大气噪声则由雷电等天气现象引发,尤其是在雷电多发地区,会严重干扰通信信号。人为干扰中,工业设备干扰较为普遍,如电焊机、高频加热设备工作时会产生宽频带干扰信号,影响附近通信。通信系统自身也存在干扰,同频干扰是指相同频率信号间的相互干扰,在频谱资源紧张、用户密集区域易出现;邻频干扰则是相邻频段信号间的串扰,源于滤波器性能不足或频率规划不合理,这些干扰极大地威胁智能通信的信号质量和稳定性^[2]。

2.3 干扰对通信性能影响的量化分析

干扰对智能通信性能的影响可通过具体指标量化。误码率是关键指标之一,干扰会使接收信号产生畸变,导致判决错误,增加误码率。例如,在信噪比为10dB时,轻度干扰可能使误码率从 10^{-5} 提升至 10^{-3} ,严重影响数据准确性。通信速率也会因干扰大幅下降,当干扰强度超过一定阈值,为保证通信可靠性,系统会降低传输速率,牺牲效率。以无线局域网为例,受干扰时传输速率可能从100Mbps降至10Mbps以下。此外,通信覆盖范围同样受干扰制约,干扰使信号衰减加剧,接收端信号强度不足,导致覆盖范围缩小,一些偏远或信号易受干扰区域的通信质量明显变差,严重影响用户体验和通信系统的有效运行。

3 传统信号干扰抑制技术原理与局限

3.1 滤波技术在干扰抑制中的应用

滤波技术是干扰抑制的常用手段,通过设计滤波器,让特定频率范围的信号通过,阻止其他频率干扰信号进入通信系统。低通滤波器允许低频信号通过,有效阻挡高频干扰,像在音频通信中,能滤除高频噪声,使语音信号更清晰。高通滤波器则相反,用于去除低频干扰,在射频通信里,可滤除电源杂波等低频干扰信号。带通滤波器限定某一频段信号通过,常用于选频通信,比如电视接收机通过带通滤波器选择特定频道信号,排除其他频道干扰。而带阻滤波器则抑制特定频段信号,对窄带干扰有良好抑制效果,保障通信信号的纯净度,提升通信质量。

3.2 屏蔽技术的原理与实施要点

屏蔽技术基于法拉第笼原理,通过构建导电或导磁的封闭外壳,将通信设备或线路包围起来,以此阻挡外部干扰信号的侵入,同时防止内部信号外泄产生干扰。实施要点首先在于材料选择,对于电场干扰,铜、铝等良导体是理想屏蔽材料;针对磁场干扰,高导磁率的铁

镍合金效果更佳。其次,屏蔽体的完整性至关重要,要保证无缝隙、无孔洞,否则干扰信号会通过这些薄弱部位泄漏或侵入。在施工过程中,需做好屏蔽体的接地处理,确保屏蔽层与大地形成等电位连接,有效释放感应电荷,增强屏蔽效果。如图2所示。

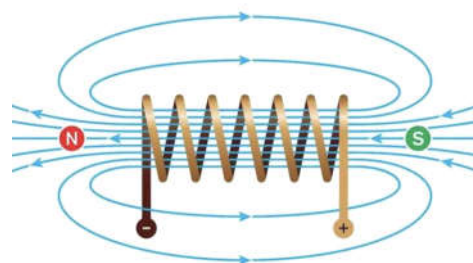


图2 法拉第笼的结构示意图

3.3 传统技术在复杂场景下的局限性分析

在复杂通信场景中,传统干扰抑制技术暴露出诸多不足。滤波技术由于其固定的滤波特性,难以适应干扰频率快速变化的情况。例如在城市电磁环境中,干扰源众多且干扰频率随机变动,固定参数滤波器无法及时调整滤波范围,导致干扰抑制效果不佳。屏蔽技术受物理空间和安装条件限制,对于一些小型化、便携式通信设备,难以安装大型屏蔽装置^[3]。而且,当干扰源与通信设备距离过近时,屏蔽体无法完全阻挡干扰。此外,传统技术多针对单一干扰源设计,在存在多种类型干扰叠加的复杂场景下,无法同时有效抑制所有干扰,导致通信信号质量难以保障,难以满足智能通信对信号可靠性和稳定性的严苛要求。

4 智能信号干扰抑制新技术探索

4.1 基于机器学习的干扰识别与抑制算法

机器学习为智能通信干扰抑制带来新思路。通过构建分类模型,可实现对干扰信号的精准识别。以支持向量机(SVM)为例,它将通信信号特征映射到高维空间,寻找最优分类超平面,区分正常信号与干扰信号。在抑制阶段,可结合自适应滤波算法,根据干扰识别结果动态调整滤波器参数,对干扰信号进行滤除。利用最小均方(LMS)算法,不断调整滤波器系数,使输出信号与期望信号的均方误差最小,有效降低干扰对通信信号的影响,提升信号质量,保障通信链路的稳定传输。

4.2 自适应天线阵列抗干扰技术研究

自适应天线阵列通过智能调整天线方向图来抑制干扰。其原理基于阵列信号处理,阵元接收信号后,根据信号到达方向(DOA)估计算法,确定干扰信号的来向。例如,采用多重信号分类(MUSIC)算法,利用信号子空间与噪声子空间的正交性,精确计算干扰源角

度。然后,通过自适应加权算法,对阵元信号进行加权处理。当检测到干扰时,天线阵列自动调整权值,在干扰方向形成零陷,减弱干扰信号强度,同时增强有用信号方向的增益。在移动通信基站中应用自适应天线阵列,可有效抵抗来自不同方向的干扰,提升信号的信噪比,实验表明,采用该技术后,信号的信噪比可提高5-10dB,显著改善通信质量和覆盖范围。

4.3 深度学习在干扰抑制中的创新应用

深度学习凭借强大的自动特征提取和复杂模式识别能力,为干扰抑制带来革新。基于卷积神经网络(CNN),它通过多层卷积与池化,自动从通信信号中提取关键特征,无需人工繁杂的特征工程^[4]。比如在对抗宽带干扰时,CNN模型能快速学习干扰信号特征,精准区分并抑制干扰。如图3所示。循环神经网络(RNN)及其变体LSTM,对处理含时序信息的通信信号独具优势。在动态干扰环境中,LSTM能把握信号的长期依赖,预测干扰变化趋势,提前采取抑制措施,显著增强智能通信系统在复杂干扰下的稳定性,有力保障通信质量。

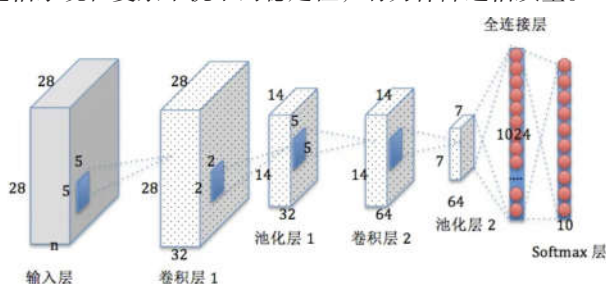


图3 多层卷积与池化层的结构示意图

5 干扰抑制技术的系统集成与性能优化

5.1 技术集成方案设计与实现

技术集成需将多种干扰抑制技术有机融合。首先,要考虑不同技术的适用场景和优势互补。例如,将基于机器学习的干扰识别算法与自适应天线阵列相结合,利用机器学习算法快速准确地识别干扰类型和位置,再通过自适应天线阵列在干扰方向形成零陷,实现精准抑制。在硬件实现上,需对通信设备进行改造升级,增加信号处理模块,确保各技术模块能协同工作。同时,设计统一的控制接口,方便对整个干扰抑制系统进行集中管理和参数调整。软件层面,开发适配的驱动程序和控制软件,实现不同技术算法的无缝对接和交互,使整个系统能根据实时通信环境变化,灵活调用各类技术,高效抑制干扰信号。

5.2 性能评估指标与测试方法

性能评估指标是衡量干扰抑制技术成效的关键。误码率依旧是重要指标,它直观反映信号传输的准确性,较低的误码率意味着干扰得到有效抑制,数据传输更可

靠。信噪比用于衡量信号与干扰的相对强度,信噪比提升表明干扰在减少,信号质量在改善。通信速率也不容忽视,通过对比集成干扰抑制技术前后的通信速率,可评估技术对传输效率的影响。在测试方法上,搭建模拟通信环境,设置不同类型和强度的干扰源,对通信信号进行测试。同时,进行实地测试,在真实的复杂通信场景中,如城市商业区、工业厂区等,采集数据评估技术性能,确保评估结果真实可靠,能准确反映干扰抑制技术在实际应用中的效果。

5.3 针对复杂环境的优化策略

复杂环境下干扰情况更为棘手,需制定针对性优化策略。在多径干扰严重的室内环境,可采用信道估计和均衡技术,结合深度学习算法对多径信号进行分析和处理,补偿信号失真,提升信号质量^[5]。面对电磁干扰复杂的工业场景,除加强屏蔽措施外,还可利用动态频谱管理技术,根据干扰分布动态调整通信频段,避开强干扰频段。针对高速移动场景下的多普勒频移干扰,引入载波同步和相位跟踪技术,实时调整接收端的载波频率和相位,确保信号同步,减少干扰影响。通过不断优化技术组合和参数配置,使干扰抑制系统能适应各类复杂环境,持续保障智能通信的稳定运行。

6 结语

智能通信信号干扰抑制技术研究已取得丰硕成果。不仅明晰信号特性与干扰来源、影响,还成功探索多种先进抑制技术并完成系统集成。这些成果大幅提升智能通信抗干扰能力,保障通信稳定与高效。然而,研究仍存在不足,部分算法计算复杂度高、对特定干扰场景适应性欠佳。未来,应聚焦降低算法复杂度,提升技术普适性;持续关注通信技术演进,研发适配6G乃至更高级别通信的干扰抑制技术,为智能通信领域发展注入源源不断的动力,拓展更广阔的应用空间。

参考文献

- [1]张书峰.基于短波通信技术的智能电网通信信号传输方法研究[J].通信电源技术,2025,42(02):146-148.
- [2]刘栗.通信线路中的噪声与干扰抑制技术研究[J].通信电源技术,2024,41(12):130-132.
- [3]赵培洪,何流.电子通信中多径信号强干扰滤波抑制仿真技术研究[J].移动信息,2025,47(01):26-28.
- [4]张子义,杨霄.太赫兹通信智能抗干扰技术研究[J].智能安全,2023,2(03):41-47.
- [5]陈业.基于UWB技术的智能电网通信信号增强方法研究[J].通信电源技术,2024,41(24):184-186.