

基于人工智能的通信信号处理与干扰抑制技术研究

贾茜

安费诺（常州）高端连接器有限公司上海分公司，中国·上海 201100

摘要：论文围绕基于人工智能的通信信号处理与干扰抑制技术展开全面且深入的剖析。开篇点明通信行业迅猛发展态势下，对信号处理技术的严苛标准与迫切革新需求，细致梳理传统技术的积弊。系统解读人工智能关键技术融入通信信号处理各环节引发的变革，涵盖智能识别、精准预测及高效干扰抑制策略，结合实际案例呈现应用成效与现存困境，提出针对性发展路径，旨在充分释放人工智能潜力，提升通信质量、稳定性与智能化水平，驱动行业迈向新征程。

关键词：人工智能；通信信号处理；干扰抑制

Research on Communication Signal Processing and Interference Suppression Technology Based on Artificial Intelligence

Qian Jia

Anfeno (Changzhou) High end Connector Co., Ltd. Shanghai Branch, Shanghai, 201100, China

Abstract: This paper conducts a comprehensive and in-depth analysis of communication signal processing and interference suppression technology based on artificial intelligence. The opening points out the strict standards and urgent need for innovation in signal processing technology under the rapid development trend of the communication industry, and carefully sorts out the accumulated shortcomings of traditional technology. The system interprets the changes caused by the integration of key technologies of artificial intelligence into various aspects of communication signal processing, covering intelligent recognition, accurate prediction, and efficient interference suppression strategies. Combining practical cases, it presents the application effectiveness and existing difficulties, and proposes targeted development paths, aiming to fully unleash the potential of artificial intelligence, improve communication quality, stability, and intelligence level, and drive the industry towards a new journey.

Keywords: artificial intelligence; communication signal processing; interference suppression

0 前言

通信技术，作为现代社会须臾不可或缺的“信息动脉”，编织起一张无形却紧密的网络，将全球各个角落紧密相连，有力支撑起海量数据的即时交互与各类通信服务的顺利开展。从繁华都市中蜂窝网络支撑的密集移动通话，到卫星通信为偏远地区搭建起与外界沟通的桥梁，信号质量与稳定性无疑是衡量通信服务成败的关键标尺。

传统的通信信号处理及干扰抑制技术，在历经漫长发展历程后，面对当下复杂多变的通信场景、高动态且隐蔽的干扰源，逐渐显露出力不从心之态。在精度把控上，难以精准捕捉新型调制信号与微弱信号的特质；抗干扰能力方面，固定滤波算法在干扰形式更迭时显得僵化滞后；处理实时性更是饱受诟病，复杂运算常导致数据拥堵，延误通信；手动参数优化不仅效率低下，还难以实现全局最优配置。值此人工智能蓬勃兴起之际，其凭借强大的数据处理、自学习能力，为通信信号处理领域注入革新活力，解锁更卓越性能与智能运维的崭新可能，引领行业突破瓶颈、转型升级。

1 通信信号处理与干扰抑制传统技术的局限性

1.1 信号识别精度不足

传统信号识别犹如按图索骥，高度依赖预设的特征模板匹配机制。对于新型调制信号，其独特的波形、频谱特征超脱既有模板范畴，传统方法难以精准刻画；微弱信号更是在噪声干扰下，特征模糊难辨。在认知无线电这类前沿场景中，未知授权信号悄然混入频谱，按照既有的静态模板进行识别，极易出现错认误判情况，这无疑极大阻碍频谱资源的高效精准利用，造成资源闲置与浪费。

1.2 抗干扰能力有限

常规的干扰抑制手段大多构建于固定滤波算法之上，这类算法一旦设定，参数便难再灵活变动。当干扰形式发生变化，无论是从窄带干扰演变为宽带干扰，或是脉冲干扰切换为连续干扰，固定的滤波参数都无法自适应调整，犹如刻舟求剑，导致抑制效果大打折扣，通信质量随之急剧下降，通话出现杂音、数据传输频繁出错。

1.3 处理实时性欠佳

复杂通信信号处理往往涉及海量运算，传统架构多采

用串行处理模式，逐次执行各项任务，耗时漫长。以多用户多输入多输出（MIMO）通信为例，在实时调解、译码环节，数据洪流般涌来，传统处理方式难以及时消化，造成严重的数据拥堵，无法契合当下对低时延通信的严苛标准，极大影响用户实时交互体验，如视频通话卡顿、在线游戏延迟高。

1.4 参数优化难题

通信系统参数手动调优极度依赖操作人员的过往经验，在面对复杂多变的通信环境时，要对功率、频率等关键参数进行设定，犹如盲人摸象，只能反复试错。这一过程不仅成本高昂，耗费大量人力、时间与资源，而且最终效果往往不尽如人意，难以实现系统性能的全局最优提升，始终让通信系统在次优状态下运行。

2 人工智能在通信信号处理中的关键技术

2.1 神经网络

神经网络家族成员众多，各展其能。多层感知器构建起多层神经元结构，层层递进提取信号特征；卷积神经网络（CNN）独具慧眼，利用卷积层聚焦信号空域特征，特别适用于那些能转化为图像化表示的信号，精准捕捉局部细节；循环神经网络（RNN）及其进阶版本长短期记忆网络（LSTM）则专注于信号的时序特性，凭借内部循环结构，敏锐追踪信号随时间的动态变化。通过海量样本的深度训练，这些神经网络能练就一双“火眼金睛”，对各类信号实现精准分类识别。

2.2 深度学习算法

深度强化学习巧妙融合强化学习的决策智慧与深度学习的特征提取专长。智能体仿若置身通信环境的探索者，在不断试错与反馈中，依据所获奖励优化信号处理策略，动态灵活地调整编码、调制方式，使通信系统时刻适配环境变化。生成对抗网络（GAN）更是别出心裁，能够生成模拟信号，巧妙扩充训练样本，让模型见识更丰富多样的信号形态，极大强化模型的泛化能力，面对陌生信号也能从容应对。

2.3 机器学习聚类算法

K-均值、谱聚类等聚类算法宛如信号世界的“分类大师”，能将相似信号归拢聚合，挖掘潜在的信号类别结构。在信号源定位这一复杂任务中，聚类算法大显身手，辅助判别信号归属，有效降低干扰信号影响，提纯目标信号，为后续高精度处理奠定坚实基础，让信号处理有的放矢。

3 基于人工智能的通信信号处理技术应用

3.1 信号调制识别

借助神经网络构建的调制分类器，开启信号调制识别的新篇章。它深度学习不同调制信号的波形、频谱细微差异，历经严苛训练后，面对未知信号，能迅速且精准判别。实验数据有力支撑这一成果，深度神经网络的识别准确率飙升超 90%，将传统决策树等方法远远甩在身后，为频谱监管装上“智能天眼”，精准揪出非法信号，维护频谱秩序。

3.2 信道估计与均衡

深度学习模型仿若通信信道的“智能先知”，凭借强

大拟合能力，精准预测信道衰落、噪声状况，进而生成补偿信号，自适应均衡信道畸变。相较于传统的最小均方误差算法，深度学习驱动的均衡技术在高速移动场景下优势尽显，能显著降低误码率，即便在信号频繁波动环境下，也能稳稳架起通信链路，保障信息畅通无阻。

3.3 信号解码

循环神经网络勇挑大梁，攻克卷积码、Turbo 码解码难题。它紧紧抓住码元序列前后关联线索，犹如经验老到的解谜高手，精准还原原始信息。在深空通信这类极具挑战的弱信号场景下，RNN 更是展现出高容错性，即便信号部分受损，也能尽力挽救，拓展通信距离极限，让人类探索宇宙的触角伸得更远。

4 人工智能助力通信干扰抑制技术

4.1 干扰智能识别

在复杂多变的通信环境中，干扰信号来源广泛、类型繁杂，传统依靠人工经验与预设规则的识别方式已难以招架。机器学习分类器的引入，为干扰智能识别带来了革命性突破。支持向量机（SVM）凭借其在高维空间中寻找最优分类超平面的能力，能够精准区分不同干扰信号的特征边界。它对数据分布的细微差异极为敏感，哪怕干扰信号在时域、频域特征上仅有微妙变化，也能敏锐捕捉，从而准确判别是窄带干扰这类集中于特定频段的干扰形式，还是宽带干扰这种频谱覆盖范围较广的类型，亦或是脉冲、连续干扰。

随机森林模型则像是一群“决策高手”组成的智囊团，它由多棵决策树集成，每棵决策树基于部分数据样本学习，各自给出分类结果，最后汇总投票决定最终类别。这种方式不仅抗噪声能力强，还能处理特征之间复杂的非线性关系。面对通信中掺杂的多种干扰混合场景，随机森林能有条不紊地梳理头绪，清晰分辨出各类干扰成分占比，为后续抑制策略提供翔实可靠的“情报”，让干扰信号无所遁形，不再悄无声息地侵蚀通信质量。

不仅如此，深度学习中的卷积神经网络（CNN）也逐渐应用于干扰识别。CNN 利用卷积层自动提取干扰信号深层次特征，无需人工烦琐设计特征提取器。它能像敏锐的视觉系统一样，从信号频谱图这类二维表征中挖掘隐藏特征，识别准确率随训练样本增加不断攀升，哪怕面对新型未知干扰样式，也能基于学习到的通用特征给出合理推测，开启智能识别新维度。

4.2 智能干扰抑制算法

基于深度神经网络的自适应滤波算法，打破了传统固定滤波算法的桎梏。传统滤波算法参数一旦设定就难再变动，面对干扰动态变化往往反应迟缓。而深度神经网络实时监控通信链路状况，将接收到的信号数据持续输入网络，网络依据反馈误差动态调整滤波系数。它仿佛拥有自我净化的能力，通信环境越复杂、干扰变化越频繁，它就越能快速学习适应。

在 5G 通信基站抗邻频干扰场景中，成效显著。5G 频段资源紧张，邻频干扰极易发生。智能算法运行时，不断

比对接收信号与期望信号差异,及时微调滤波参数,抑制邻频干扰信号强度。相较传统固定系数滤波,干扰功率降低 30%,通信吞吐量得以显著提升。这意味着基站能同时服务更多用户,每个用户也能享受更高速稳定的数据传输,视频通话不再卡顿、大文件下载转瞬即达。

此外,生成对抗网络(GAN)衍生出的干扰抑制思路也崭露头角。GAN中的生成器尝试生成与干扰信号相似的信号,判别器则负责甄别真假干扰,二者对抗博弈中,生成器逐渐学会模拟干扰信号特性,后续结合其他滤波手段,可提前抵消真实干扰影响。这种创新算法为干扰抑制开拓新路径,尤其在应对复杂多变、难以建模的干扰源时,展现出独特优势。

4.3 干扰预测与主动规避

深度学习预测模型宛如通信系统的“预言家”,深挖历史干扰数据这座“富矿”。它收集过往不同时段、不同场景下的干扰发生情况,包括干扰强度、持续时间、频段分布等信息,构建起庞大数据库。长短期记忆网络(LSTM)凭借对时间序列数据的卓越处理能力,记住干扰发生的先后顺序与周期性规律,像是掌握了干扰的“作息时间表”。

依此精准预估未来干扰发生时段、强度,通信系统得以未雨绸缪。在民用通信领域,当预测到某一时段特定频段将出现强干扰,如大型电子设备集中开启时段,通信系统提前切换至空闲频段,保障用户通话、上网不受影响。在卫星通信里,太空环境干扰因素众多,预测模型提前察觉太阳黑子活动引发的电磁干扰高峰,及时调整卫星通信功率、调制编码方式,主动避开干扰“雷区”,让星际通信链路稳如磐石,为全球数据传输、气象监测等关键服务筑牢稳定根基。

不仅如此,通过实时收集全网干扰数据,预测模型还能动态更新预测结果,适应突发干扰变化,始终为通信保驾护航,开启主动式干扰防控新时代。

5 基于人工智能的通信信号处理与干扰抑制应用案例

5.1 案例一:5G移动通信网络

某大型城市的5G网络建设中,全方位引入人工智能信号处理与干扰抑制技术,带来通信体验质的飞跃。智能调度算法犹如一位拥有“上帝视角”的调度员,实时流量监测模块时刻感知各基站覆盖区域内用户数据请求量,信道质量评估单元精准捕捉信号衰落、噪声干扰状况。二者数据汇总至智能调度中心,基于深度学习算法,瞬间完成资源分配决策。

在早晚高峰时段,人流密集区域网络需求暴增,算法优先保障实时性要求高的业务,如视频通话、在线游戏,为其分配优质信道与充足带宽,确保低时延;闲时则合理调配资源,降低功耗。干扰抑制模块更是“火眼金睛”,同频干扰在复杂城区环境极为常见,它利用智能识别技术定位干扰源,可能是违规私设的信号发射装置,或是频段冲突的老旧通信设备。随后,自适应滤波算法出击,抑制干扰同时保障合法信号完整性。经优化,网络下载速率提升 20%,以往下载一部高清电影需数分钟,如今几十秒即可完成;切换时

延缩短,乘坐高铁穿梭城市,手机网络切换顺畅无缝,高清视频、云游戏卡顿成为历史,为千万用户开启超高速、超稳定的移动互联新生活。

5.2 案例二:军事通信系统

在一场高强度军事演习中,参演部队的通信系统融入 AI 技术彰显巨大优势。战场上电磁环境极度复杂,敌方释放高强度干扰,试图切断指挥链路。智能识别系统迅速启动,它集成多种机器学习模型,快速分析干扰信号特征,不仅判别干扰类型,更通过信号方位角、功率衰减等信息,利用三角定位法精准锁定敌方干扰源位置,定位精度可达数米范围。

针对性干扰抑制策略即刻生效,基于深度神经网络的自适应抗干扰算法,为通信信道筑起坚固“防护盾”。语音通信恢复清晰,作战指令精准下达至基层士兵,各作战单元协同配合无间,战术动作行云流水。同时,加密通信在 AI 护航下,保密性大幅提升,信息传输不惧敌方截获破解,让军事行动保密性、机动性与协同性达到全新高度,模拟实战检验出 AI 助力军事通信的卓越效能,为未来实战通信保障提供宝贵经验。

5.3 案例三:卫星通信链路

偏远山区的卫星通信服务曾饱受信号弱、干扰多困扰。引入 AI 优化后,局面焕然一新。信道衰落预测模块借助历史数据与实时气象信息,提前预估信道质量变化。山区气候多变,暴雨、沙尘等恶劣天气常致信号衰减,预测模型提前告知地面站调整接收参数,拉高增益、切换编码方式,最大程度降低衰落影响。

干扰规避层面,卫星持续监测太空电磁环境,一旦发现临近卫星频段干扰、太阳活动干扰等异常,主动调整通信频率、功率。某偏远科考站,以往卫星通信常因干扰中断数据传输,如今借助 AI 技术,误码率降低超 50%,气象数据、科研样本影像稳定回传,保障科考任务顺利推进,也让教育、医疗等民生服务借助卫星链路延伸至偏远角落,缩小数字鸿沟,展现 AI 赋能卫星通信的深远意义。

6 结语

人工智能赋能通信信号处理与干扰抑制技术,无疑是通信行业突破现有瓶颈、迈向智能高阶的关键密钥。尽管当下遭遇数据难题、模型困境、标准缺失与人才匮乏等重重挑战,但只要坚定不移推行对应发展策略,定能深挖人工智能潜力,重塑通信生态,为全球用户带来更优质、更智能、更稳定的通信服务,开启通信新时代。

参考文献:

- [1] 樊昌信,曹丽娜.通信原理[M].北京:国防工业出版社,2016.
- [2] 西蒙·赫金.通信系统[M].北京:电子工业出版社,2017.
- [3] 周炯槃.通信网理论基础[M].北京:清华大学出版社,2019.
- [4] 张贤达.现代信号处理[M].北京:清华大学出版社,2021.
- [5] 胡广书.数字信号处理[M].北京:清华大学出版社,2022.
- [6] 刘富强.数字通信系统原理与技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,2022.
- [7] 沈连丰.无线通信与网络[M].北京:清华大学出版社,2023.