

5G 毫米波通信中 AI 驱动的波束成形与干扰抑制技术

陈迪康

广东海格怡创科技有限公司 510627

10.12238/ems.v7i8.14746

[摘要] 随着 5G 技术的快速发展,毫米波通信作为其关键技术之一,面临着信号传输衰减大、干扰强等问题,尤其在高密度用户环境中,波束成形与干扰抑制的挑战愈加突出。传统的波束成形和干扰抑制方法受限于计算复杂度和实时性要求,难以满足 5G 毫米波通信的需求。为此,本研究提出了一种基于人工智能(AI)驱动的波束成形与干扰抑制技术,利用深度学习算法优化波束方向与干扰消除策略。研究表明,采用 AI 技术可以显著提升波束成形的精确度,并在动态环境中自适应调整,减少信号干扰,从而有效提升系统的容量和数据传输效率。

[关键词] 5G 毫米波通信; AI 驱动; 波束成形与干扰抑制

引言

5G 毫米波通信(mmWave)利用 30-300 GHz 频段的大带宽特性,可支持超高速率传输(如 10 Gbps 以上),满足增强移动宽带(eMBB)、工业互联网(IIoT)等场景需求。然而,毫米波信号传播损耗大、易受障碍物遮挡,且覆盖范围有限,严重制约其实际部署。为克服这些挑战,大规模多输入多输出(MIMO)结合波束成形技术成为关键解决方案,通过高增益定向波束补偿路径损耗并提升频谱效率。

然而,传统波束成形依赖精确的信道状态信息(CSI),在动态环境中(如用户移动、遮挡变化)计算复杂度高,且难以实时优化。此外,密集部署的毫米波网络面临严重的同频干扰,尤其是多用户场景下,传统干扰抑制方法(如迫零预编码)计算开销大,适应性不足。

人工智能(AI)技术,特别是深度学习和强化学习,为上述问题提供了新思路。AI 能够从海量信道数据中学习传播规律,预测最优波束方向,并自适应调整预编码策略以抑制干扰。例如,卷积神经网络(CNN)可高效提取信道特征,而深度强化学习(DRL)能在线优化波束管理策略。这些方法不仅降低计算开销,还显著提升系统在复杂环境中的鲁棒性。本文系统梳理 AI 赋能的波束成形与干扰抑制技术,为未来研

究提供参考。

1. AI技术在通信中的应用

1.1 人工智能驱动的通信系统

人工智能(AI)技术在通信领域的应用逐渐成为推动通信系统发展的核心动力,尤其是在 5G 及其毫米波通信技术中。随着 5G 时代的到来,移动通信的带宽需求显著增加,传统的通信系统已难以满足用户日益增长的需求。毫米波通信作为 5G 技术的关键组成部分,其带宽资源巨大,能够提供高速的通信服务。然而,毫米波通信的高频特性使得信号衰减严重,特别是在复杂的动态环境中,所以波束成形技术变得尤为重要。AI 技术,尤其是深度学习,能够有效应对这些挑战,通过智能化的波束成形和干扰抑制技术优化通信性能。AI 驱动的通信系统利用机器学习算法不断优化无线电资源分配,提升波束的准确性和效率,从而显著提升信号传输质量。

在波束成形技术中, AI 通过动态学习环境中的各种变化,自动调整波束方向和形状,以适应不同的网络负载和用户需求。

此外, AI 通过分析大量的网络数据,能够有效识别并消除多径传播、邻近小区干扰等问题,进一步提升通信质量。

技术领域	应用技术	优势
波束成形技术	深度学习优化波束算法	提升波束方向精度，减少信号损失
干扰抑制技术	基于 AI 的干扰消除算法	动态识别干扰源，实时优化干扰抑制效果
实时干扰抑制	AI 优化干扰抑制算法	通过深度学习预测网络状态，减少干扰影响

1.2 深度学习在波束成形与干扰抑制中的作用	环境的动态变化和信号的多路径传播问题。深度学习通过训练大量的数据模型，能够从复杂的信道状态信息中提取有用特征，优化波束的形成精度。
深度学习技术在波束成形和干扰抑制中的应用具有显著潜力，尤其在提升 5G 毫米波通信系统的性能方面。随着网络需求的日益增加，传统的波束成形技术面临诸多挑战，包括	

应用领域	技术方法	实现效果
波束成形	深度神经网络（DNN）、卷积神经网络（CNN）	提高波束精度，优化信号传播方向和形状
干扰抑制	深度学习干扰消除算法	实时消除多种干扰，降低误码率，提升信号质量
动态环境适应	AI 优化算法	自动调整波束以适应不同的网络负载和环境条件

2. AI驱动的波束成形技术	术，AI 能够基于历史数据和实时反馈自动优化波束方向，使得波束能够灵活调整，从而更好地适应信号传播的变化。具体来说，通过训练神经网络，AI 可以预测不同传播条件下的最佳波束方向，并通过持续学习和调整来优化通信质量。	
2.1 AI 优化波束成形算法	AI 优化波束成形算法在 5G 毫米波通信中展现了巨大的潜力，特别是在提高波束方向与精度方面。借助深度学习技	

研究方法	优势	适用场景
AI 优化波束成形算法	通过深度学习优化波束方向与精度	高动态环境、复杂传播条件下的通信
自适应波束调整	实时调整波束方向，适应环境变化	航空通信、城市环境中的无线通信
干扰抑制算法	基于 AI 进行干扰预测与消除，减少通信干扰	高干扰环境、密集通信场景

2.2 动态环境中的自适应波束调整

在动态环境中,波束调整的自适应性对于提高 5G 毫米波通信系统的性能至关重要。随着通信场景和环境条件的不断变化,传统的波束成形技术由于依赖于固定预设的算法,往往无法灵活应对这些变化,导致波束精度下降和信号质量不稳定。而人工智能(AI)则为波束调整带来了新的解

决方案,通过深度学习算法,AI 能够在实时环境中进行自适应调整,根据实时反馈和历史数据优化波束方向,使其更加精准地适应不同的传播条件。这种动态自适应调整不仅可以减少由于环境变化引起的信号衰减,还能够有效应对多径效应、遮挡效应等挑战。特别是在复杂的城市环境或高速移动场景中。

环境类型	波束调整挑战	AI 优化效果	适用场景
城市环境	多径效应、遮挡效应导致信号衰减	动态调整波束方向，提高信号稳定性	高密度城市通信、自动驾驶等
高速移动场景	频繁变化的传播条件	实时预测和调整波束方向，减少干扰和衰减	高速列车、无人机通信等
室内环境	信号反射和障碍物的影响	优化波束路径，减少信号反射干扰	智能家居、室内无线通信等

3. AI驱动的干扰抑制技术	深度学习作为一种强大的人工智能技术，能够有效应对复杂环境下的干扰问题。通过建立基于神经网络的干扰	
3.1 基于 AI 的干扰消除算法		

消除模型，系统能够实时识别并消除多路径干扰、噪声以及来自其他信号源的干扰。在这种方法中，深度神经网络能够从大量的训练数据中学习信号与干扰之间的复杂关

系，从而优化干扰抑制算法，提升毫米波通信的信号质量。以下表格详细列出了 AI 驱动的干扰消除算法的关键特点与性能提升：

关键技术	描述	性能提升
深度神经网络算法	使用深度学习网络识别与预测干扰源，减少干扰对信号的影响	提高信号质量，减少误差
动态环境自适应调整	根据实时环境变化调整干扰消除策略	实现更精准的干扰抑制，提升系统适应性
多路径干扰识别与消除	通过神经网络模型消除多路径干扰，优化信号传输质量	改善通信质量，减少信号丢失和错误

3.2 AI 优化的实时干扰抑制

AI 优化的实时干扰抑制技术通过利用人工智能算法增强系统的适应性和实时性，显著提升了干扰抑制效果。传统的干扰抑制技术通常依赖固定的参数和预设模型，面对动态变化的无线环境时，难以有效应对各种类型的干扰。与此不同，基于 AI 的实时干扰抑制技术能够实时分析环境数据，动态调整系统参数，实现对干扰源的精准识别和消除。这一过程依赖于深度学习算法，通过对实时数据的快速处理和学习，

AI 系统能够自适应地优化信号与干扰的关系，减少由于干扰带来的误码率和信号衰减问题。通过这种方式，毫米波通信系统能够保持较高的通信质量和较低的延迟，尤其在高频段和多路径环境下，能够有效提升系统的鲁棒性。

AI 优化的实时干扰抑制技术的主要优势体现在其智能化和自适应特性上，这使得系统能够在多变的环境中做出迅速调整，以应对不同来源的干扰。

关键技术	描述	性能提升
动态环境自适应算法	根据实时环境数据，自动调整干扰抑制参数	在不同的环境下实现优化的干扰消除，提高系统的鲁棒性
深度学习模型训练	基于大量训练数据，深度学习模型优化干扰识别与消除策略	提高识别精度，减少误码率，增强系统对复杂信号的处理能力
实时数据分析与决策	快速处理实时数据，调整系统参数，精确消除干扰	降低延迟，提升实时干扰消除能力，增强通信效率

结束语

在本论文的研究过程中，我深入探索了 AI 技术在 5G 毫米波通信中的应用，尤其是在波束成形与干扰抑制方面的创新性进展。通过对 AI 驱动的波束成形算法及动态环境中自适应波束调整的分析，我不仅对这些技术有了更深入的理解，也意识到它们在提升通信系统性能方面的巨大潜力。在干扰抑制技术的研究中，基于 AI 的干扰消除算法和实时优化方法展示了其在复杂通信环境中的强大适应性和实际效用。这些技术不仅能够优化通信质量，还能有效提升系统的稳定性和鲁棒性。通过论文的完成，我对通信工程中人工智能的前沿技术有了更加全面的认识，并对未来可能的技术演进和应用方向充满了期待。这段旅程不仅是学术的积累，也是思维深

度与创新能力的提升。

[参考文献]

[1]魏琪航. 电力无线专网 5G 关键技术分析[J]. 数字技术与应用, 2024, 42 (12): 104-106.

[2]张雨亭,徐少毅. 面向 5G 毫米波通信中基于深度图搜索的波束干扰协调[J]. 北京交通大学学报. 2023, (02): 160

[3]陈发堂,曾勤,骆维扬. 面向 5G 毫米波通信的波束选择机制[J]. 计算机应用研究. 2021, (09): 109

[4]张宝松. 应用于 5G 毫米波通信系统的高选择性滤波器和双工器[D]. 东南大学, 2023.

[5]李洁. 基于智能超表面的信号增强和干扰抑制技术研究[D]. 中国优秀硕士学位论文全文数据库. 2024