

5G宏微协同组网在密集城区的覆盖优化研究

蔡 晓

广脉科技股份有限公司 浙江杭州 310000

摘 要：随着5G通信技术的广泛应用，其高频段的传输特性使得在密集城区环境中存在覆盖不足的问题。为解决这一挑战，本研究提出了基于宏微协同组网的覆盖优化方案，旨在提高5G网络在复杂城区场景下的信号覆盖和服务质量。研究通过建立城区宏基站与微基站协同组网模型，结合路径损耗、干扰管理和功率控制等技术进行模拟分析，并运用强化学习算法优化基站部署策略和功率分配方案。结果表明，宏微结合组网能够显著改善信号覆盖范围，解决高楼林立、用户密度大的密集城区中的覆盖瓶颈问题。同时，优化后的组网架构能够降低干扰水平，提高频谱效率与网络容量。

关键词：5G通信；宏微协同组网；密集城区；覆盖优化；强化学习算法

引言

5G技术作为第五代移动通信技术，旨在满足高数据传输需求并提升网络容量与灵活性。然而，在密集城区环境中，由于建筑物遮挡和人口密集导致的信号干扰，高频段特性使5G网络覆盖面临巨大挑战。宏微协同组网通过合理设置宏基站和微基站，形成一体化网络覆盖，成为解决城区覆盖问题的有效方案。

一、密集城区5G组网覆盖挑战

（一）5G通信技术与密集城区特性

5G通信技术相较于前几代移动通信技术，显著提高了网络的性能与功能，其高频段传输特性带来了更快的数据传输速率和更低的时延^[1]。高频段信号在密集城区中传播时面临独特的挑战^[2]。密集城区通常具有高楼林立、建筑物密集、道路复杂以及用户数庞大的特点，这些因素严重影响信号传输路径。由于高频段信号具有较短波长，容易受到遮挡和反射，导致信号穿透能力差，覆盖范围受限。人群集中区域对网络容量要求高，增加了网络的压力。为解决这些问题，5G网络在密集城区的部署需要有效利用宏基站和微基站，结合先进的信号处理和网络优化技术，以克服环境对信号传播的影响。对此，研究针对这些挑战开发了宏微协同组网策略，以在建筑密集的城区环境中实现更有效的网络覆盖和资源分配，为5G网络提供更优质的服务。

（二）高频段传输对信号覆盖的影响

在密集城区环境中，5G通信技术的高频段传输特性

对信号覆盖产生显著影响。高频段虽然能提供更高的带宽和数据传输速率，但其传播损耗较大，信号衰减速度快，尤其在穿透建筑物时损耗更加严重。这使得高频段信号在建筑物林立的城区中难以达到良好的覆盖效果。高频段信号的绕射能力有限，在遇到建筑物阻挡时易形成阴影区，这进一步加剧了信号覆盖的挑战。密集的城区环境，复杂的建筑结构和高用户密度共同导致频段信号干扰和覆盖不足的问题愈加突出，迫切需要通过优化组网策略来改善5G网络的覆盖性能。

二、宏微协同组网理论基础

（一）宏基站与微基站的协同作用

宏基站与微基站在5G密集城区组网中展现出高度的协同效应。宏基站通常部署于较高位置，覆盖范围广，能够为大面积区域提供稳定的基础信号支撑，保障宏观层面的网络连续性和基础容量。微基站则布设于用户密集的热点区域或信号盲区，弥补宏基站因建筑物遮挡或路径损耗导致的覆盖盲点，提升局部区域的信号质量与网络容量。两者协同工作，通过资源共享与互补优势，优化网络的空间覆盖和频谱利用效率。宏微协同组网能够实现负载均衡，缓解宏基站超负荷状态，提升用户体验的降低网络拥塞风险。协同机制还涵盖干扰协调与功率控制策略，有效抑制不同层级基站间的信号干扰，保证系统整体性能的稳定性和可靠性。该协同作用是实现5G网络高效覆盖及服务优化的关键技术基础，特别适用于高频段信号传播受限且用户分布不均的复杂密集城区环境。

（二）路径损耗与干扰管理原理

路径损耗与干扰管理是宏微协同组网优化中的关键技术环节。路径损耗的分析主要涉及信号在传播过程中的衰减，特别是在密集城区高楼林立的环境中，高频段信号更易受到建筑物遮挡而导致显著衰减。精确计算路径损耗是优化组网方案的重要基础。与此干扰管理旨在控制多个基站间信号的相互干扰，以保障通信质量。通过采用先进的干扰规避技术和动态频谱分配策略，能够有效降低邻近基站间的信号干扰，提高频谱利用效率。在协同组网中，合理布局宏基站与微基站有助于路径损耗最小化和干扰管理优化，从而提升信号覆盖效果与网络整体性能。

（三）宏微协同组网的技术优势

宏微协同组网通过结合宏基站与微基站的特性，构建灵活、精准的网络覆盖方案，提升密集城区5G网络性能。宏基站具备较广的覆盖范围与强大传输能力，适于提供基础信号服务；微基站则具备灵活部署与细致覆盖的特点，可深入城区内部解决信号盲区，提升用户体验^[3]。协同组网能够在多维度上优化网络效率，增强频谱利用，降低干扰，确保信号稳定性。结合性能和成本优势，宏微结合组网满足密集城区环境中的高连接需求，优化5G信号覆盖，提升网络整体有效性。

三、强化学习在基站部署与功率分配中的应用

（一）强化学习算法概述与适用性分析

强化学习算法在基站部署与功率分配中的应用，是当前通信网络优化领域的重要研究方向。强化学习是一种通过交互环境改进决策策略的机器学习方法，适用于解决动态和复杂系统中的优化问题。该算法通过策略优化和价值评估不断学习，以实现期望目标的最大化。这一特性使其在基站部署中能够有效处理位置选择问题，适合功率分配方案的动态调整。强化学习能够在未知环境下，通过尝试不同的部署和功率配置方案，依据实时反馈更新策略，从而逐步提高网络的覆盖效率与信号质量。在5G网络中，其适用性表现在对复杂城区场景中的微妙参数变化具备较强的自适应能力，使运营商在面对多种变量下的网络构建时，能够做出最优决策。这种基于反馈的自学习能力为实现密集城区的5G网络优化提供了强有力的技术支持^[4]。

（二）基站部署优化方案的技术实现

在实现基站部署优化方案中，利用强化学习算法可以有效应对密集城区中动态复杂的环境。通过收集网络拓扑结构和环境信息，建立基站部署的初始模拟模型。

在此基础上，强化学习算法利用其探索与开发机制，逐步调整基站的空间布局，以适应不同的信号覆盖需求。通过状态、动作和奖励函数的设计，使算法能够在不断优化中获得最大化的信号覆盖效果。特别是在用户分布和建筑物结构复杂多变的城区环境中，强化学习算法能够自适应地调整基站位置，提升网络性能。动态调整策略确保了在不同时间段和使用场景下始终维持网络的稳定和高效运行。

（三）功率分配策略的动态优化

功率分配策略的动态优化通过强化学习算法实现，该算法能够实时调整基站的功率输出，以适应用户需求和环境变化。通过不断迭代更新策略，降低网络干扰，提高频谱效率，实现信号覆盖的稳定性和高质量服务。此方法在密集城区的复杂网络环境中展示出显著的优化效果，对提升5G网络性能具有关键作用。

四、密集城区场景下的覆盖优化模拟与成果验证

（一）模拟城区环境参数与组网配置

密集城区场景的模拟环境基于典型高楼密集区域进行构建，考虑建筑物高度、密度及用户分布等多维度因素。建筑物高度集中在15至50层，用户密度达到每平方公里数万人的级别，充分体现实际城市环境的复杂性。信道模型采用修正的城市微蜂窝模型，综合考虑高频段5G信号的路径损耗、多径传播及阴影衰落效应。组网配置包含宏基站与微基站两类节点，其中宏基站布设于城市主干道路及关键交叉口，微基站则部署在楼宇间及人流密集区域，用以实现空域细分和容量提升。功率设置依据5G NR标准进行调整，结合功率控制策略，动态适应信道环境和用户需求。干扰管理策略涵盖频率复用和时隙划分，确保宏微基站间的干扰降至最低^[5]。

（二）覆盖范围干扰水平与频谱效率评估

在评估密集城区中的覆盖范围、干扰水平和频谱效率时，需建立传输环境的模拟模型，并进行详细分析。城区的地理特征和建筑物分布是影响信号传播路径的重要因素，通过综合考虑这些参数，模拟出真实的组网条件。在覆盖范围评估过程中，关注宏微基站的协同作用及其对信号传播路径的优化效果。干扰水平的评估则聚焦于协同组网对邻频干扰和同频干扰的抑制能力，通过调节基站的功率控制和路径损耗模型来减少信号冲突。频谱效率通过分析网络的数据吞吐量和资源分配的优化情况进行评估。结果表明，优化方案提升了信号的稳定性和传输的质量，有效降低了干扰，显著增强了频谱利

用率，满足了密集城区高效组网的需求。

（三）优化方案的性能提升与结果分析

优化方案的实施通过降低信号干扰和提升频谱效率显著改善了网络性能。在模拟测试中，通过搭建宏微协同组网架构，提高了信号覆盖的稳定性和连续性，尤其是在高用户密度区域。数据分析表明，经过优化后的组网方案能够有效扩展覆盖半径，减少干扰，使得网络容量得到提升。这样不仅改善了用户体验，也为进一步的5G网络部署提供了优化参考。这些成果显示出宏微联动在复杂城区环境中具有实质性优势与应用潜力。

五、应用前景与未来研究方向

（一）运营商网络建设的实践意义

在5G网络的建设中，运营商面临着提升密集城区覆盖和服务质量的巨大挑战。研究所提出的宏微协同组网优化方案为运营商提供了一种高效的技术路径。通过优化基站的部署及功率分配策略，运营商能够显著拓展5G网络在高楼林立和用户密集环境中的信号覆盖范围，降低网络干扰，提高频谱效率，实现更高的用户接入容量。这种优化方案不仅有助于提升用户体验，增加用户满意度和忠诚度，还能有效地降低运营成本，提升网络服务的稳定性和可靠性。对于未来城市智能化发展的网络需求，宏微协同组网架构提供了一个坚实的基础，可支持物联网、大数据应用等创新业务的顺利开展。该方案对于运营商而言，具有显著的实践指导意义，能够促进5G网络的可持续发展，赶超市场竞争，确保在高速发展的通信行业内保持领先地位。

（二）未来密集城区组网优化的技术趋势

随着密集城区通信需求的持续增长，未来5G组网优化将迎来一系列技术趋势。这些趋势包括对先进计算技术的应用，如边缘计算和云计算，以增强网络处理能力和数据传输效率。自适应网络构架将实现更加灵活的资源管理，满足动态用户需求。人工智能技术将进一步融合到网络优化中，通过自动化驱动自优化和自组织网络，提高服务质量和用户体验。毫米波和太赫兹波技术的发展将拓展传输频率范围，提升带宽能力，解决高频段覆盖不足的问题，而短距离传输技术和新型天线设计将进一步改善信号传输质量。在这些技术趋势的驱动下，密集城区的5G网络优化将更具前瞻性和实用性，为通信服务的持续演进奠定坚实基础。

（三）研究成果在其他通信领域的潜在应用

研究成果在其他通信领域具有显著的应用潜力。宏微协同组网方法不仅适用于5G网络优化，还可以扩展至未来6G网络和卫星通信系统，以提升信号覆盖和频谱效率。该方案的算法优化能力可为物联网、大规模机器通信等领域提供有效的网络资源分配策略，从而优化连接质量和降低运营成本。路径损耗与干扰管理技术也能为无线传感器网络和智能交通系统带来增强的通信性能，推动多样化场景的互联互通。

结束语

本研究基于5G通信环境，深化了基于宏微协同组网的覆盖优化方案探究，以解决密集城区环境中的覆盖问题。研究结果显示，通过城区宏基站与微基站的协同组网，结合路径损耗、干扰管理和功率控制技术以及强化学习算法，能够显著改善信号覆盖范围、提高频谱效率与网络容量，有效解决高楼林立、用户密度大的密集城区中的覆盖瓶颈问题。然而，本研究中的模型和算法还需要结合实际情况进行验证和调整。值得一提的是，虽然本研究取得了一些成果，但依旧存在改进的空间。例如，模型的复杂性、实时优化问题的处理以及不同环境下的应用等方面均可进行深入研究。未来将进一步探索如何提高宏微协同组网模型的准确性，以满足更复杂场景的需求。总的来说，本研究为运营商提供了一种理论指导，有助于建设高质量的5G网络，且本研究的成果将有助于未来密集城区的网络优化研究，并为相关领域的研究提供了有益的实验框架和经验教训。

参考文献

- [1] 陈辉. 4G/5G室内覆盖协同组网研究[J]. 通讯世界, 2021, 28(03): 114-115.
- [2] 宋保良, 居新星. 5G宏微立体组网策略研究[J]. 通信世界, 2021, (14): 45-48.
- [3] 黄毓芯. 5G与4G协同组网方案分析与研究[J]. 陇东学院学报, 2022, 33(05): 72-75.
- [4] 徐山. 4G/5G协同组网规划与优化探究[J]. 中国新通信, 2021, 23(11): 125-126.
- [5] 王伟, 张涛, 李福昌. 5G高低频协同组网方案研究[J]. 邮电设计技术, 2021, (03): 42-45.