

基于共建共享模式的 5G 室内分布系统组网技术

梁国寿¹ 湛亮书¹ 刘 密¹ 肖 亮¹ 肖 航¹ 黄炫钧¹

LIANG Guoshou CHEN Liangshu LIU Mi XIAO Liang XIAO Hang HUANG Xuanjun

摘要

基于共建共享模式的 5G 室内分布系统 (IDS) 如何优化网络覆盖和提高资源效率, 采用案例分析法对 5G 技术以及当前 5G 室内分布系统实施挑战进行概述, 结合相关案例技术设计一种多运营商可共享资源的网络架构, 对具体关键组网技术进行概括总结, 结果表明通过实施共建共享模式, 不仅可显著减少部署成本, 还提高频谱利用率, 所提出的模式还促进了运营商间的合作, 为最终用户提供更加稳定和高效的服务。因此可得出结论, 共建共享模式是推动 5G 室内分布系统发展的可行且有效策略, 值得在未来的网络规划与实施中被广泛采纳。

关键词

共建共享; 5G; 室内分布系统

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.09.033

0 引言

在当前通信技术快速发展的背景下, 5G 技术作为一种革命性的进步, 已经开始在全球范围内推广和应用。5G 技术不仅提供了更高的数据传输速率和更低的延迟, 而且扩展了网络的容量和连接的类型。然而尽管 5G 技术在室外环境中的表现令人瞩目, 其在室内环境中的覆盖和效率仍面临诸多挑战。室内分布系统作为解决这一问题的关键技术之一, 其优化和创新是提升室内 5G 网络性能的重要方向。在这种情况下, 基于共建共享模式的 5G 室内分布系统组网技术应运而生。该模式通过多个运营商或服务提供商共享基础设施, 不仅可以降低部署成本, 还能提高资源利用效率, 是实现高效、经济的室内 5G 网络的有效途径。

1 5G 技术及室内分布系统概述

1.1 5G 技术概述

5G 技术作为第五代移动通信技术的代表, 是在 4G 基础上实现的全面升级, 它以高速率、低延迟和广连接为核心特征, 旨在满足日益增长的数据和连接性需求。与前代相比, 5G 在峰值传输速度上可以达到 10 Gbit/s 以上, 大幅缩短了通信延迟, 理论上可低至 1 ms。此外, 5G 通过更高密度的网络部署支持每平方公里多达百万个设备连接, 有效促进了物联网 (IoT) 的发展, 其频谱使用效率的提高和网络架构的创新也为各种创新应用, 如自动驾驶、远程医疗和虚拟现实等提供了强有力的技术支撑^[1]。

1. 中国铁塔股份有限公司广西壮族自治区分公司
广西南宁 530025

1.2 室内分布系统工作原理

室内分布系统主要用于改善室内移动通信信号覆盖, 尤其是在 5G 网络环境下, 其重要性愈加显著。该系统通过设置分布式的天线或信号传输节点来确保室内区域内的无线信号质量。它接收外部基站的信号, 经过放大或处理后, 通过一系列连接的传输线路 (如光纤或同轴电缆) 将信号传递到各个分布式的天线上, 然后这些天线再将信号均匀地覆盖到室内的每个角落, 这样可以有效地解决建筑物内部的结构阻碍导致的信号衰减问题, 保证用户设备在室内环境中也能获得稳定的 5G 服务。具体工作原理如图 1 所示。

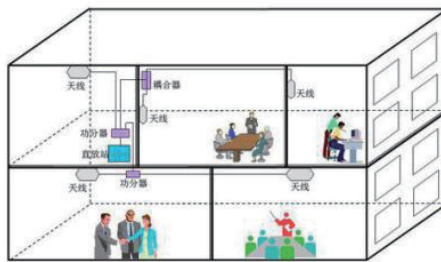


图 1 室内分布系统工作原理示意图

2 当前 5G 室内分布系统实施挑战分析

2.1 技术同步与兼容性问题

在基于共建共享模式的 5G 室内分布系统中, 由于共建共享模式涉及多个运营商和服务提供商共同使用相同的基础设施, 这就要求设备和技术必须在不同网络环境下保持高度的兼容性和协调性, 但不同运营商会采用不同的 5G 技术标准和配置, 如频段、调制方式或核心网络技术。这些差异需通过精确的技术调整和协议适配来管理, 同时室内系统的硬件如天线和分布系统, 必须能支持多频段和多标准的信号,

确保各类设备在同一网络架构下无缝工作。此外，系统软件也需要实现高度的灵活性和扩展性，以便实时更新和升级以适应新的技术标准。这些同步和兼容性问题不仅影响网络的部署速度和质量，还直接关系到用户体验和系统的经济效益，因此如何有效管理和优化这些技术挑战，是实施共建共享 5G 室内分布系统时必须面对的一大问题^[2]。

2.2 安全性和隐私性问题

在基于共建共享模式的 5G 室内分布系统中，安全性和隐私问题尤为显著，由于多个服务提供商共享基础设施资源，对系统进行认证和授权管理变得更加复杂。用户的通信数据会通过不同运营商的物理设备，这就要求必须有强大的加密和安全协议来保护数据不被未经授权的第三方截取或篡改。同时，5G 网络的特征之一是其能够收集和海量处理海量的用户数据以优化网络服务与性能，包括位置数据、使用习惯和历史记录等敏感信息。在共建共享模式下，如何确保这些信息仅用于所述目的，并能够得到妥善的匿名处理，防止泄露给其他共建共享者或外部实体，是一个重大的隐私挑战。此外，5G 网络的边缘计算功能意味着更多数据处理在用户近端进行，这增加了数据被本地拦截的风险。边缘节点的物理安全和网络安全都需要格外注意，尤其是在与其他运营商共享场景中，维护标准操作流程和监控成为难题。因此，在没有适当的隐私保护措施下，共建共享模式下的 5G 室内分布系统会让用户面临更高的安全风险和隐私风险^[3]。

3 案例分析

以某机场为例，该机场对基于共建共享模式的 5G 室内分布系统进行部署，旨在提高机场内的通信效率和乘客体验。该系统由多家移动网络运营商共同投资，利用统一的物理基础设施来支持各自的 5G 网络服务。在实施前机场内的日均移动数据流量约为 10 TB，部署共建共享模式后，数据流量处理能力提升至 30 TB，同时网络延迟减少 40%。这一改进显著增强了旅客使用移动设备进行视频流媒体播放、高速数据传输等活动的体验。同时，项目中采用的技术包括分布式天线系统（DAS）和多输入多输出（MIMO）技术。DAS 系统覆盖了整个机场，包括候机大厅、行李领取区以及停车场，而 MIMO 技术则通过增加信号传输和接收的路径数量，有效提高信号质量和系统容量。通过实施这一项目，不仅机场的运营效率得到了提升，同时也为运营商节省了大量的设施建设和维护成本。此外，由于各运营商共享同一套设施，还大大降低了设备冗余，进一步优化了资源利用效率。

4 基于共享的 5G 室内系统设计要点

4.1 共享基础设施设计原则和优化

在 5G 室内分布系统中，共享基础设施主要指的是不同运营商共同使用同一套物理网络设施，如天线、传输线路等，以减少重复建设和维护成本。在设计原则要求上，需要确保

良好的互操作性和兼容性，设计时需确保设施能够支持多个运营商的设备，要求设施在技术上必须具备高度的互操作性和兼容性，在可扩展性要求上，随着用户数量的增加和数据需求的上升，基础设施应具备良好的可扩展性，能够通过简单的升级来增强服务能力，而在共享模式下数据和资源的安全管理尤为重要，必须采用强化的安全措施来防止数据泄露和非法访问。

在具体优化中，采用软件定义网络（SDN）和网络功能虚拟化（NFV）技术，实现资源的动态分配，例如根据实时流量数据，自动调整资源分配，优化网络性能和降低能耗，并设计高效的负载均衡算法，确保在高峰期间，用户的请求可以均匀分配到各个网络节点，避免部分节点过载，影响服务质量。最后实施能源管理策略，如采用节能的设备，优化设备运行时间，减少能耗。数据显示，通过引入 SDN 技术，其共享的 5G 室内分布系统能够在高峰时段自动增加 30% 的资源分配给流量较高的区域，从而使得整体网络的数据吞吐量提高了 20%，同时降低 15% 的能耗^[4]。

4.2 动态资源分配策略

在基于共建共享模式的 5G 室内分布系统中，动态资源分配策略是优化网络性能、提高频谱利用率和用户体验的关键。为了实现这一目标，可以采用多种方法，其中包括基于人工智能（AI）的预测算法、软件定义网络（SDN）技术以及网络功能虚拟化（NFV）。

首先，AI 预测算法可以基于历史数据和实时流量模式来预测各个区域内的流量需求，从而实现更加灵活和精确的资源分配。例如通过长短期记忆网络（LSTM）模型，可以以过去的流量数据作为输入，预测未来特定时间段内各个小区的流量。长短期记忆网络（LSTM）是一种特殊类型的递归神经网络（RNN），非常适合于基于时间序列数据的预测任务，如网络流量预测，LSTM 通过以下计算步骤实现对网络流量的预测，忘记门计算表示：

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (1)$$

式中： f_t 为忘记门的激活向量， W_f 为权重矩阵， h_{t-1} 为前一个时间步的 LSTM 单元的输出， x_t 为当前时间步的输入， b_f 为偏置项， σ 为 Sigmoid 激活函数。

输入门计算表示：

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (2)$$

式中： i_t 表示输入门的激活向量。

最后，网络功能虚拟化（NFV）技术允许网络功能在通用硬件上以软件形式运行，进一步增强了网络的灵活性和扩展性。借助 NFV 运营商可以根据实际需求快速部署或升级网络服务，无需更换物理设备，这意味着当 AI 预测算法指出

某区域需要额外资源时，可以通过 NFV 迅速部署相应的网络功能来满足需求。

4.3 虚拟化技术应用

虚拟化技术使得资源管理更加灵活和高效，可允许多个运营商共享同一物理网络基础设施，同时确保各自的服务品质（QoS）。在具体应用当中，通过将网络功能从硬件设备中解耦并运行在标准化的虚拟机上，实现资源的灵活分配，例如传统的物理防火墙、负载均衡器等可作为虚拟网络功能部署，这样可以根据需要动态调整资源，提高资源利用率，之后将软件定义网络（SDN）与 NFV 协同工作，通过集中式控制器管理数据流动，实现流量和网络资源的优化管理。SDN 允许运营商根据流量需求，实时调整网络配置，从而优化 5G 网络性能并降低延迟，并使用虚拟化技术创建多个独立的网络切片，每个切片均可作为特定服务或运营商提供定制化的网络环境和资源，这有助于满足不同服务级别协议（SLA）的需求，而不会互相干扰^[5]。

虚拟化技术有着良好的应用效果，在本次案例中，其应用效果前后对比如表 1 所示。

表 1 虚拟化技术实施前后的资源利用率和服务质量比较表

指标	实施前	实施后	改善百分比
资源利用率	70%	85%	21.4%
网络延迟 /ms	30	20	-33.3%
运营成本 / 万元	350	280	-20%
客户满意度	80%	95%	18.75%

从表 1 中可见，实施虚拟化技术后，资源利用率提高 21.4%，网络延迟减少 33.3%，运营成本下降 20%，客户满意度提高 18.75%。这说明虚拟化技术能显著提升网络效率和用户体验，同时降低运营商的成本负担，增强市场竞争力。通过以上数据和分析表明，虚拟化技术在共建共享模式的 5G 室内分布系统中，不仅优化了资源配置，还提高了服务质量和经济效益，是实施共建共享模式的关键技术之一。

5 基于共建共享模式的 5G 室内分布系统的关键组网技术

5.1 分布式天线系统（DAS）

分布式天线系统（DAS）是 5G 室内覆盖的重要组成部分，尤其是在实现高质量的室内通信服务方面发挥着核心作用。DAS 通过分散布置的天线点接收和发送无线信号，这些天线点通过高质量的传输线连接到一个中心信号源，这种布局可以显著提高信号的覆盖范围和质量，尤其是在室内环境中，能够有效解决信号衰减和遮挡问题。在 5G 环境下，DAS 系统不仅要处理更高的数据速率，还需支持更密集的网络连接。传统的 DAS 系统主要应对语音通信和基本数据传输，而在 5G 时代，随着数据传输速率的大幅提升，DAS 系统的设计

和实现面临着新的挑战，例如，为了支持高达 10 Gbit/s 的峰值数据速率，DAS 需要使用更高频率的信号和更先进的调制技术。

在 5G DAS 实际应用中，常见的实施方法是利用高频段（如 mmWave 频段）的小型化天线，这些天线可以被集成在办公室、商场等室内场所的各个角落，实现全面覆盖。使用 mmWave 频段的 DAS 可以提高信号的传输效率，并显著减少路径损耗和干扰。一项针对大型购物中心的 5G DAS 部署项目表明，使用频率为 28 GHz 的 mmWave DAS 后，室内区域的平均下载速度提高了约 30%，达到 2.3 Gbit/s，而覆盖区域内的信号均匀性也有显著改善。此外，通过动态调整天线功率和角度，系统能够根据实际网络负载和用户分布智能调整资源，进一步优化了网络性能和用户体验。最后为了实现这些技术效果，5G DAS 不仅需要高效的硬件支持，还依赖于复杂的网络管理和优化算法，常用的方法是通过机器学习算法预测室内用户的流动模式和通信需求，然后相应地调整 DAS 中各个天线的发射功率和方向，以最优化网络资源的使用和提高能效。

5.2 小区划分小型化

5G 室内分布系统中，小区划分小型化是一种重要的网络组网技术，这种技术的核心理念是将大型的无线覆盖区域划分为多个小型覆盖区域，即小区，每个小区都设置一个基站，通过增加基站数量，提高频谱使用效率，从而提升网络的容量和用户体验。对 5G 室内网络来说，频谱资源和设备成本是制约其性能和覆盖的两大因素，而小区划分小型化策略从根源上解决了这两个问题，一方面通过将大型覆盖区域划分为多个小型覆盖区域，即小区，小区内设备数量减少，从而降低设备成本；另一方面通过划分小区，每个小区的用户数量减少，每位用户的频谱资源增多，频谱使用效率大大提高。

然而，在小区划分小型化策略的实施过程中，还需要解决一些技术问题，比如如何合理规划小区，确保小区划分后，整个网络的覆盖不会出现盲区，需要处理小区间的干扰问题，如何在保证用户服务质量的前提下，尽可能降低设备成本，实现小区间用户的无缝切换等等。

具体来说，小区规划主要包括小区位置的确定、小区的形状和大小的选择，以及小区基站带宽的分配。首先，小区位置的确定是依据网络需求和用户分布等因素，经过算法优化得出的；接下来，小区的形状和大小的选择，则是依据无线信号传播特性和干扰条件，选择最恰当的形状和大小；最后，小区基站带宽的分配，则是依据用户需求和网络容量，进行合理的分配。例如在本次案例中进行了一个小区划分小型化的试点，针对三个办公楼的 5G 室内分布系统进行了小

型化改造,改造后这三个办公楼的网络覆盖率达到 99% 以上,网络速率提升 30% 以上,用户体验得到显著提升。

5.3 蜂窝网络与 Wi-Fi 的融合技术

在现代通信系统中,蜂窝网络与 Wi-Fi 的融合技术是提高室内无线覆盖质量和网络容量的重要策略之一,这种融合技术不仅可以优化网络资源,还能提供更加流畅和高效的用户体验。蜂窝网络和 Wi-Fi 技术各有其优势和局限性,蜂窝网络提供广泛的覆盖和高度的移动性,而 Wi-Fi 则在小范围内提供高速的数据传输服务。通过将这两种技术融合,可以实现互补优势,优化室内网络覆盖和性能。融合技术主要通过智能网络选择和流量分配实现,确保用户设备根据信号质量和网络负载自动选择最佳网络。

在具体实施方法中,需要开展接入网络选择功能(ANDSF),主要用于管理用户设备在蜂窝网络和 Wi-Fi 之间的切换。通过部署 ANDSF,系统可以根据预设的策略和实时网络状况,指导设备选择最合适的网络。采取双连接模式手段,在双连接模式下,用户设备可以同时连接到蜂窝网络和 Wi-Fi 网络。这种模式允许数据流在两个网络之间根据需要动态迁移,从而优化网络性能和用户体验,还可通过改进的认证和加密机制,实现用户在蜂窝网络和 Wi-Fi 网络之间无缝切换,减少连接延迟和中断。例如在本次案例中,通过引入蜂窝网络与 Wi-Fi 融合技术后,室内网络的数据传输速率平均提高 30%,网络延迟减少 40%,在高密度用户环境中网络容量提高了 50% 以上,并且用户满意度调查显示,网络服务的整体质量评分提高了 20%。但从另一角度来看,尽管蜂窝网络与 Wi-Fi 的融合带来了许多优势,但在实施过程中也面临一些技术和管理挑战,如网络安全问题、设备兼容性以及策略管理的复杂性,后续需要通过人工智能技术进一步优化网络选择和流量管理,以及开发更高效的能源管理策略,以应对日益增长的网络设备能耗问题。

5.4 多输入多输出(MIMO)技术

多输入多输出(MIMO)技术是一种关键的无线通信技术,它通过使用多个发射和接收天线来增加通信系统的容量和频谱效率,在 5G 网络中 MIMO 技术的应用使得系统能够同时处理更多的数据流,大幅提升网络的吞吐量和覆盖范围。其基本原理是利用多个天线之间的空间多样性,发送和接收独立的信号,从而有效地增加数据传输速率和信号的可靠性。在 5G 室内分布系统中,MIMO 可以通过多种方式实现,可在室内环境中合理分布多个天线,确保各个角落都能覆盖到信号,提高信号的强度和稳定性,然后结合波束成形技术,使得 MIMO 能够定向发送信号至特定用户,这样不仅提高了信号的利用效率,还减少了干扰,或者利用空间复用技术,同一时间在相同频段发送多个数据流,显著提升了频谱利用率。

此外,在 5G 室内分布系统的不同场景下,MIMO 技术

的数据传输速率不同,具体比较内容如表 2 所示。

表 2 不同场景下 MIMO 技术数据传输速率

场景	MIMO 应用前 (Mbit·s ⁻¹)	MIMO 应用后 (Mbit·s ⁻¹)	增幅 /%
商业区办公室	300	900	200
购物中心	250	750	200
住宅区	100	300	200
地下室	50	150	200

如表 2 所示,MIMO 技术的应用可以将室内分布系统的传输速率提高最多 3 倍,特别是在商业区和购物中心这种高需求区域,MIMO 技术的效益尤为明显。由此可见,MIMO 技术通过增加天线的数量和优化信号的传输方向,显著提升了 5G 室内分布系统的性能,不仅能提高数据传输速率,还能增加系统的稳定性和覆盖范围,是实现高效室内 5G 网络不可或缺的技术之一。

6 结语

综上所述,本文深入探讨了基于共建共享模式的 5G 室内分布系统组网技术,分析了其设计原则、技术优势以及实施过程中的挑战,通过案例研究证实了共建共享模式不仅能够提高资源利用效率,还能在一定程度上降低建设和维护成本。尽管存在技术同步、安全性以及政策法规等方面的挑战,但通过持续的技术创新和合理的策略调整,使得共建共享模式有望在未来的 5G 室内覆盖领域发挥更大作用,通过技术的进一步成熟和政策环境的优化,使得基于共建共享模式的 5G 室内分布系统将更加完善,为用户提供更加高效、稳定的通信体验。

参考文献:

- [1] 何祥贤.面向共建共享模式下的 5G 室内分布系统组网方案[J].广东通信技术,2023,43(8):34-36+65.
- [2] 杨洁.5G 时代室内分布系统的规划与设计研究[J].电子元件与信息技术,2023,7(7):147-150+154.
- [3] 曾少达,刘海林.5G 室内分布系统规划建模及优化算法[J].系统仿真学报,2024,36(3):659-672.
- [4] 白振昊,杜爽.室内无线通信网络分布系统设计研究:井下 5G 网络与 ZigBee 融合组网技术的应用[J].现代信息科技,2022,6(11):157-160+165.
- [5] 余海波,蔡立昌,曾祥明.住宅小区 5G 室分系统低成本建设方案的探讨[J].广西通信技术,2021(4):37-40.

【作者简介】

梁国寿(1993—),男,广西横县人,本科,工程师,研究方向:5G 网络建设及运营维护。

(收稿日期:2024-05-28)