

# 多场景融合无线通信室内分布系统设计与性能测试

刘俊艺

广西通信规划设计咨询有限公司 广西 南宁 530000

**摘要:** 本文围绕写字楼、商场、地铁枢纽、三甲医院四大核心场景,结合无线通信室内传播理论与多制式融合技术,设计多场景融合无线通信室内分布系统,明确总体架构、分场景部署及智能控制方案。通过搭建实际测试环境,对系统覆盖、速率、可靠性等指标开展分场景测试,分析数据并梳理现存问题。测试结果表明,该系统可有效适配多场景需求,性能优于传统系统,能为各场景差异化通信需求提供稳定支撑,具备良好应用价值与推广前景。

**关键词:** 多场景融合;无线通信;室内分布;系统设计;性能测试

**引言:** 随着5G-A技术普及与万物互联发展,80%的移动流量发生在室内,写字楼、交通枢纽等多场景对通信覆盖、速率及可靠性的需求日益严苛,传统室内分布系统存在兼容性差、场景适配不足、能耗偏高的弊端。为破解多场景信号覆盖不均、多系统干扰等问题,契合“信号升格”要求,本文开展相关系统设计与性能测试研究,为室内通信质量提升及行业数字化转型提供技术参考与实践支撑。

## 1 相关理论与技术基础

### 1.1 无线通信室内传播理论

(1) 室内信号传播特性: 高频段(3.5GHz、4.9GHz等)信号穿透墙体、楼板时损耗显著,主要因建筑材料吸收与反射导致;多径效应由信号经墙面、家具等反射折射形成,易引发码间干扰;阴影衰落源于障碍物遮挡,受建筑布局、遮挡物材质影响。写字楼、商场等场景差异明显,写字楼墙体厚实、隔间多,信号衰减快;商场空间开阔但人流密集,多径干扰更突出。(2) 室内传播模型: 结合不同场景构建针对性模型,写字楼侧重路径损耗模型,修正墙体隔间带来的衰减误差;商场重点建立时延扩展模型,适配人流动态变化的传播特性。这些模型可精准计算信号覆盖范围与质量,为室内分布系统设计提供核心理论支撑。

### 1.2 多场景融合无线通信核心技术

(1) 多制式融合技术: 采用eCPRI接口、数字中频处理技术及OpenRAN架构,打破不同通信系统壁垒,实现2G-5G-A与Wi-Fi6/7协同工作,通过干扰抑制算法有效解决多系统同频干扰问题,提升频谱利用率。(2) 光纤分布系统(FDAS)技术: 核心架构由近端单元、光纤网络、远端单元及天线阵列组成,具备损耗低、覆盖广、易扩容的优势;与传统同轴电缆DAS相比,FDAS信号传输损耗降低30%以上,适配多场景高频段信号传输需求。(3) 智

能优化技术: 依托AI自优化运维与数字孪生接口,实时采集信号覆盖数据,动态调整天线参数,实现覆盖精准优化;同时可预测设备故障并精准定位,提升系统运维效率<sup>[1]</sup>。

### 1.3 室内分布系统性能评价指标

(1) 覆盖指标: 核心为参考信号接收功率(RSRP)与信号与干扰加噪声比(SINR),重点场景需满足 $RSRP \geq -105\text{dBm}$ 、 $SINR > 15\text{dB}$ ,确保信号稳定接收。(2) 容量与速率指标: 涵盖峰值速率、平均速率及用户接入容量,需满足边缘速率不低于100Mbps、时延低于10ms,适配高清视频、高速上网等业务需求。(3) 可靠性指标: 包括切换成功率、掉话率及时延,需保障切换成功率 $\geq 99\%$ 、掉话率 $\leq 0.5\%$ ,满足远程医疗、AR试衣等差异化业务的稳定通信需求。

### 1.4 多场景室内环境特征分析

(1) 典型场景分类: 分为写字楼、大型商场、地铁/高铁枢纽、三甲医院四大核心场景。写字楼建筑规整、隔间多,用户密度集中于工作时段;商场空间开阔、人流波动大,业务需求以休闲上网为主;交通枢纽人流密集且剪动性强,对信号连续性要求高;医院建筑复杂,需规避医疗设备干扰,保障远程诊疗通信。(2) 场景适配难点: 不同场景信号衰减差异显著,医院墙体屏蔽性强、地铁隧道信号反射复杂;干扰来源多样,商场Wi-Fi干扰突出、医院存在医疗设备干扰;覆盖优先级不同,医院诊疗区域、交通枢纽候车区需优先保障覆盖,为分场景系统设计提供明确依据<sup>[2]</sup>。

## 2 多场景融合无线通信室内分布系统设计

### 2.1 系统总体设计原则与目标

(1) 设计原则: 严格遵循通用性、兼容性、可扩展性、绿色低碳及经济性五大核心原则。通用性确保系统适配写字楼、商场等多类室内场景,无需大幅改造即可

灵活部署；兼容性实现与2G-5G-A、Wi-Fi6/7多制式系统无缝对接；可扩展性预留接口，支持后续技术升级；绿色低碳聚焦能耗优化，确保整机功耗较传统DAS降低35%以上；经济性兼顾多场景适配需求与运营商成本控制，在器件选型、部署方案上实现性价比最大化。（2）设计目标：核心是实现多场景信号均匀覆盖，消除信号盲区与弱覆盖区域，满足多制式通信协同工作需求；性能达到行业相关标准，覆盖、容量、可靠性等指标符合各场景业务要求；同时预留技术演进空间，支持后续5G-A、6G技术升级与功能扩展，适配未来新型通信业务的发展需求。

## 2.2 系统总体架构设计

（1）核心架构组成：系统由近端单元（HEU）、主干光纤网络、远端单元（RU）、智能天线阵列及控制管理模块五大核心部分组成。其中，HEU负责信号接入、调制解调与功率分配，提供多制式信号统一接入接口；主干光纤网络承担信号远距离低损耗传输，连接HEU与各RU；RU负责信号放大、滤波与转发，适配不同场景的信号覆盖需求；智能天线阵列实现信号定向辐射，提升覆盖精度；控制管理模块统筹各模块协同工作，实现参数配置与状态监控。（2）多场景融合逻辑：构建统一的信号接入与分配机制，打破不同场景的系统壁垒，根据写字楼、商场等场景的实时需求，动态调整系统功率、频段等参数；支持多运营商共建共享，提高资源利用率，降低建设成本；集成远程OTA升级功能，实现系统固件、算法的远程更新，减少现场运维工作量<sup>[3]</sup>。（3）硬件选型：结合各场景特性与设计需求，精准选型光器件、无源器件、天线及放大器。光器件选用低损耗、高稳定性的光模块与光连接器，适配高频段信号传输；无源器件优先选择宽频段、低插损产品，减少信号衰减；天线根据场景需求选用定向或全向天线，写字楼、医院侧重小功率定向天线，商场、交通枢纽选用高增益全向天线；放大器选用线性度高、抗干扰能力强的产品，确保器件工作频段、功率容量满足设计标准。

## 2.3 分场景系统详细设计

（1）写字楼场景设计：针对办公区域低话务量、高稳定性的核心需求，采用“小功率、多天线”的布点策略，在办公隔间、会议室等区域均匀部署智能天线，优化时延与速率性能，确保办公数据传输、视频会议、云端办公等业务流畅开展，避免出现信号中断、卡顿等问题。（2）大型商场场景设计：应对人员密集、话务量波动大的特点，重点强化系统容量设计与干扰抑制能力，通过增加RU部署密度、优化频谱分配，提升系统并发处

理能力；支撑AR试衣、无感支付、高清导购等新型业务，优化信号覆盖均匀性，提升用户驻留时长相关的通信保障水平，改善用户体验。（3）地铁/高铁枢纽场景设计：适配最高160km/h的高速移动场景，优化信号切换策略，缩短切换时延，提升信号穿透力，确保列车行驶过程中信号连续稳定，实现99.98%以上的切换成功率；集成RedCap与无源物联技术，支撑枢纽内智能巡检、人员客流统计等功能，提升枢纽运营智能化水平。（4）三甲医院场景设计：以信号无死角覆盖、低电磁干扰为核心，在诊疗室、手术室、住院区等区域精准部署天线，严格控制电磁辐射强度，符合医疗场景规范；重点保障远程手术、生命体征实时回传等低时延、高可靠业务需求，确保医疗数据传输安全、稳定，为智慧医疗提供通信支撑。

## 2.4 系统软件与智能控制设计

（1）软件功能模块：涵盖信号监测、参数配置、故障告警、智能优化四大核心模块。信号监测模块实时采集RSRP、SINR等关键指标，精准掌握系统运行状态；参数配置模块支持远程调整系统功率、频段等参数，适配多场景动态需求；故障告警模块可及时发现器件故障、信号异常，发出告警并同步相关运维人员；智能优化模块实现系统性能的自动调整，保障通信质量稳定<sup>[4]</sup>。（2）智能控制策略：基于AI算法实现信号功率动态调整，根据场景内用户密度、业务量变化，自动调节天线功率，避免资源浪费与信号干扰；通过干扰自动抑制算法，识别并消除多系统、多器件间的干扰，提升信号质量；结合数字孪生技术构建室内覆盖数字地图，精准映射系统部署与运行状态，实现故障提前预测、精准定位与自优化，降低运维成本。

## 3 多场景融合无线通信室内分布系统性能测试

### 3.1 测试方案设计

（1）测试环境搭建：选取四大核心场景的典型区域作为测试样本，其中写字楼选取中高层办公区、会议室，商场选取中庭、密集商铺区，地铁枢纽选取站台、候车厅及隧道段，医院选取手术室、住院病房及走廊，全面还原各场景实际使用环境，按规范布置测试设备与监测点，确保监测点覆盖盲区、边缘区域及核心区域，保障测试数据的全面性。（2）测试设备选型：选用精度高、兼容性强的测试设备，包括信号采集终端（支持多制式信号采集）、激光雷达/微惯导定位设备（精准定位测试点位置）、频谱分析仪（检测信号频谱与干扰情况），以及路测软件（TEMS、鼎利PilotPioneer），提前对所有设备进行校准调试，确保设备精度与可用性，满足测试目标的检测需求。（3）测试内容与流程：明确覆盖、速率、

可靠性、干扰四大核心指标的测试流程, 先进行设备调试与环境检查, 再按场景依次开展测试, 规范测试数据采集、记录与上报标准, 明确采集频率、记录格式及异常数据处理方式, 确保测试过程可追溯、测试数据真实有效。

### 3.2 分场景性能测试与数据采集

(1) 写字楼场景测试: 重点测试不同办公区域(隔间、会议室、走廊)的RSRP、SINR、峰值速率及时延指标, 分别在工作高峰、平峰、低峰三个时段测试, 记录不同话务量下的系统性能数据, 验证系统在低话务、高稳定性需求下的适配能力。(2) 大型商场场景测试: 聚焦人员密集区域, 测试系统容量、切换成功率, 通过模拟高峰客流场景验证干扰抑制效果, 同步采集AR试衣、无感支付等特色业务的通信延迟、传输成功率数据, 评估系统对高并发、多业务场景的支撑能力。(3) 地铁/高铁枢纽场景测试: 模拟160km/h高速移动状态, 测试信号连续性、切换成功率, 验证系统在高速移动场景下的信号适配能力; 同时测试RedCap与无源物联功能的通信支撑效果, 采集智能巡检相关数据, 确保功能满足枢纽运营需求。(4) 医院场景测试: 全面检测手术室、病房、走廊等区域的信号覆盖完整性, 重点验证低时延、高可靠性能, 确保满足远程手术、生命体征回传需求; 同步检测电磁干扰指标, 确认其符合医疗场景电磁辐射规范, 避免影响医疗设备正常运行<sup>[5]</sup>。

### 3.3 测试结果分析与验证

(1) 单场景测试结果分析: 将各场景测试数据与设计目标进行对比, 分析覆盖、速率、可靠性等指标的达标情况, 重点梳理未达标指标, 定位性能短板, 明确各场景系统运行的优势与不足。(2) 多场景融合性能验证: 模拟人员在不同场景间移动的场景, 测试系统切换时的信号稳定性、时延及成功率, 验证多制式融合效果, 评估系统在多场景切换下的通用性与灵活性, 确保满足跨场景通信需求。(3) 与传统系统对比分析: 对比本系统

采用的FDAS与传统同轴电缆DAS, 从信号传输损耗、整机功耗、核心性能指标三方面开展分析, 量化两者差异, 验证本系统在能耗、性能上的核心优势。

### 3.4 测试问题总结与原因分析

(1) 测试中存在的问题: 系统梳理测试过程中出现的各类问题, 主要包括部分场景角落存在覆盖盲区、商场高峰时段出现信号干扰、部分边缘区域速率未达标、地铁高速移动时偶发切换失败等具体问题, 明确问题出现的场景与频次。(2) 问题原因分析: 从多维度剖析问题产生的核心原因, 硬件部署方面主要是部分区域天线布点不合理; 参数配置方面是功率、频段参数适配性不足; 场景适配方面是未充分结合各场景建筑结构与业务需求优化方案; 同时排查外部干扰源, 为后续系统优化提供明确、可落地的依据。

### 结束语

本文完成了多场景融合无线通信室内分布系统的设计与全面性能测试, 结合四大核心场景特性优化部署方案, 依托相关技术有效解决传统系统诸多痛点, 验证了系统在覆盖、速率、可靠性等方面的优越性。结合测试中发现的问题, 后续可进一步优化天线布点与参数配置。该系统的研究应用, 对推动室内无线通信高质量发展、赋能千行百业数字化转型具有重要现实意义。

### 参考文献

- [1]陈永霖.移动通信网络室内分布系统设计与实践[J].无线互联科技,2023,19(2):24-26.
- [2]卢高燕.移动通信网络室内分布系统设计及改良研究[J].中国新通信,2021,21(5):35-36.
- [3]韩钰.多媒体无线网络通信传输技术优化设计[J].信息记录材料,2024,25(11):145-147.
- [4]史晓斌.各场景室内分布系统覆盖方案设计方法及分析[J].通信与信息系统,2021,(6):72-74.
- [5]谢宗思.基于分布式天线系统的5G室内覆盖解决方案设计与实现[J].工程地质学,2024,(10):116-119.