

基于大数据的宏基站与室内分布系统覆盖性能评估与优化

黄思维

浙江中通文博服务有限公司广西分公司 广西 南宁 537000

摘要: 随着5G技术规模化商用,移动数据流量激增,新兴业务对移动通信网络覆盖质量提出更高要求。宏基站与室内分布系统协同构成网络核心覆盖体系,但存在室内深度覆盖不足、干扰突出、资源利用率低等问题。本文依托大数据技术,围绕二者覆盖性能评估与优化展开研究,设计多源数据采集预处理方案,构建多维度评估指标体系与随机森林评估模型,提出基站参数、布局、室内部署及室内外协同优化策略,以有效提升协同覆盖质量,降低干扰,提升用户体验,为运营商网络优化提供理论与实践参考。

关键词: 大数据;宏基站;室内分布系统

引言

宏基站承担室外覆盖核心任务,室内分布系统补充室内深度覆盖,二者协同作用是保障网络质量的关键,但受城市高楼遮挡、场景复杂等影响,覆盖盲区、信号干扰等问题突出。同时,传统评估依赖人工路测,效率低、成本高、数据片面,难以适配复杂网络优化需求,而大数据技术具备海量数据处理与多维度分析优势,为精准评估与智能优化提供新路径。

1 宏基站与室内分布系统的协同关系

宏基站与室内分布系统作为移动通信网络覆盖体系的核心组成部分,二者并非独立运行,而是形成了相互支撑、互补协同、负荷联动的紧密关系,这种协同关系贯穿网络覆盖、信号传输、负荷分配、运维优化的全流程,是保障网络整体覆盖质量和用户通信体验的关键。宏基站以其大功率、广覆盖的优势,承担着室外区域及室内浅层区域的信号覆盖任务,能够快速实现大范围的信号覆盖,为城市、郊区等开阔区域的用户提供基础通信服务,其覆盖范围广、信号传播距离远的特点,为室内分布系统的信号接入和切换提供了稳定的外部支撑^[1]。而室内分布系统作为室内深度覆盖的核心解决方案,主要针对宏基站信号难以穿透的密闭空间,通过分布式天线、RRU等核心设备,将宏基站或独立信源的信号均匀分布到室内各个区域,解决宏基站信号因墙体遮挡、距离衰减导致的室内深度覆盖不足、信号薄弱、干扰严重等问题,填补宏基站覆盖的盲区和弱区,实现室内外覆盖的无缝衔接。例如,在负荷分担方面,二者的协同作用尤为突出,随着移动数据流量的爆炸式增长,室内区域(尤其是商业中心、写字楼等人员密集场所)的业务流量往往呈现集中爆发的特点,若仅依靠宏基站承担全部负荷,极易出现网络拥堵、速率下降、掉话率升高等

问题,而室内分布系统能够分流宏基站的室内业务流量,将室内用户的通信需求引导至室内分布系统,有效缓解宏基站的负荷压力,优化网络资源配置,提升网络整体的承载能力和运行稳定性。

2 覆盖性能评估模型搭建

2.1 模型构建思路

(1)明确模型核心目标是实现宏基站与室内分布系统覆盖性能的协同评估,不仅要分别量化宏基站室外覆盖、室内分布系统室内覆盖的独立性能,更要精准捕捉二者协同过程中的耦合关系、信号干扰及负荷分配情况,杜绝割裂评估带来的偏差。(2)依托大数据技术优势,以预处理后的标准化数据为输入,通过数据挖掘覆盖规律与影响因素的关联,替代传统经验判断,提升评估客观性。考虑到覆盖性能受宏基站参数、环境遮挡、用户分布等多因素影响,且各因素存在复杂非线性关联,传统线性模型难以适配,因此确定以机器学习算法为核心支撑,贴合多源数据融合的评估需求。(3)模型构建严格遵循“数据输入—特征提取—模型搭建—精度优化—验证落地”的逻辑,先对预处理数据进行特征筛选,剔除冗余特征、保留核心关联特征,降低计算复杂度的同时,突出两类系统的协同特征^[2]。同时,注重与评估指标体系衔接,将各核心指标作为模型输出,确保评估结果能够精准定位覆盖薄弱环节,最终实现“数据支撑模型、模型量化性能、性能指导优化”的闭环,兼顾评估精度与实际运维的可行性。

2.2 模型选择与优化

在构建基于大数据的宏基站与室内分布系统覆盖性能评估模型时,模型选择与优化需深度融合智能AI技术以提升评估的精准性与实时性。一方面,模型选择需综合考虑数据特征、评估目标及计算资源,针对宏基站与

室内分布系统的多维度数据特性, 可选用集成学习模型作为基础框架, 如随机森林或梯度提升树, 这类模型通过组合多个弱分类器提升预测精度, 尤其擅长处理高维非线性数据。对于时空动态性强的覆盖场景, 长短期记忆网络可捕捉信号强度随时间变化的规律, 而图神经网络则能建模宏基站间拓扑关系对覆盖质量的影响^[3]。另一方面, 模型优化需从数据、算法、工程三个层面协同推进。数据层面, 通过特征工程提取关键指标, 如RSRP、SINR、用户分布密度及建筑物穿透损耗, 并利用主成分分析降低特征维度; 同时, 引入迁移学习技术, 将历史覆盖数据中的共性模式迁移至新场景, 缓解数据稀疏问题。算法层面, 采用贝叶斯优化自动调参, 替代传统网格搜索, 在超参数空间中高效定位最优解; 针对模型过拟合风险, 集成L1正则化与Dropout机制, 增强泛化能力。工程层面, 部署分布式计算框架, 如Spark或Flink, 将大规模栅格化覆盖数据分片处理, 利用多节点并行加速模型训练; 对实时性要求高的评估场景, 采用模型量化技术将32位浮点参数压缩至8位整数, 减少推理延迟。

2.3 模型训练与验证

(1) 模型训练需构建多模态数据融合框架, 通过智能AI驱动的特征工程模块自动提取关键特征。针对宏基站数据, 利用自然语言处理解析工参文档中的天线方位角、下倾角等结构化信息, 结合时序分析算法挖掘用户分布的周期性规律。针对室内分布系统, 采用计算机视觉技术解析建筑CAD图纸, 识别墙体材质、门窗位置等空间特征, 并通过图嵌入算法将其转化为机器学习可处理的向量表示。(2) 数据标注环节引入半监督学习策略, 利用少量人工标注的覆盖质量样本训练初始模型, 再通过智能AI生成的伪标签扩展训练集, 结合一致性正则化约束模型对无标签数据的预测稳定性。训练过程中采用自适应优化算法, 如基于梯度下降的AdamW优化器动态调整学习率, 配合早停机制防止过拟合, 同时引入对抗训练模块增强模型对噪声数据的鲁棒性。(3) 模型验证需构建分层评估体系: 首先在离线环境中通过智能AI生成的数字孪生网络进行仿真验证, 利用生成对抗网络模拟不同场景下的信号传播特性, 验证模型对边缘覆盖、重叠覆盖等复杂场景的预测准确性; 其次在现网中部署A/B测试框架, 将智能AI优化的参数配置与基线方案并行运行, 通过实时数据流对比切换成功率、掉话率等关键指标, 采用贝叶斯优化算法动态调整验证样本权重; 最终通过可解释AI技术(XAI)生成覆盖热力图与决策路径图, 直观展示模型对天线高度、障碍物密度等变量的敏感度分析。

3 宏基站与室内分布系统覆盖性能优化策略

3.1 宏基站参数动态优化

传统优化主要依赖运营商自有的OMC网管数据和MR测量报告, 这些数据虽能反映设备运行状态和无线信号质量, 但存在维度单一、场景覆盖不足的问题。当前行业普遍引入OTT数据作为补充, OTT数据通过互联网应用层采集用户终端的实时位置、业务类型、网络连接质量等多元信息, 其核心价值在于突破物理网络边界, 捕捉到室内深度覆盖、边缘区域等传统手段难以监测的场景。(1) 结合OTT数据的用户位置信息与MR数据的信号强度分布, 可构建覆盖热力图, 精准定位弱覆盖区域和信号遮挡点, 进而指导天线方位角和下倾角的动态调整, 使信号覆盖范围与用户密集区域精准匹配。(2) 通过分析OTT数据中的业务流量波动特征, 可预测不同时段的容量需求, 动态调整发射功率, 在业务高峰时段提升功率保障信号质量, 在低谷时段降低功率减少能耗和干扰, 实现节能与覆盖质量的平衡。(3) OTT数据还能反映用户终端类型和品牌分布, 为终端合作策略提供参考, 同时通过统计用户行为模式, 可分析潜在市场价值业务类别, 为网络服务创新提供数据支撑。(4) 在参数优化过程中, 需解决多源数据融合的技术挑战, 包括数据标准化处理、时空对齐和隐私保护等。通过ETL工具清洗转换OTT数据, 建立统一的数据模型, 并采用差分隐私、联邦学习等技术保障用户身份信息脱敏。

3.2 宏基站布局优化

宏基站布局优化的核心数据支撑包括GIS地理信息数据、用户分布大数据、业务流量大数据、现有宏基站运行数据等, 通过对这些数据的融合分析, 精准识别现有宏基站布局的薄弱环节, 为布局优化提供科学依据^[4]。其中, 通过大数据建模构建目标区域的覆盖仿真模型, 结合现有宏基站的部署位置和运行参数, 模拟当前覆盖状态, 识别覆盖盲区、弱覆盖区域和负荷过高区域, 明确布局优化的重点的方向。对于弱覆盖区域, 若因现有宏基站间距过大导致, 可考虑在中间区域新增小型宏基站或微基站, 缩小基站间距, 提升覆盖均匀性; 若因地形、建筑物遮挡导致, 可调整现有宏基站的位置或参数, 结合信号传播模型, 优化宏基站布局以规避遮挡影响。另外, 宏基站布局优化需兼顾经济性与可行性, 结合运营商的网络建设成本, 优先选择交通便利、供电稳定、信号传播条件良好的区域部署宏基站, 避免在地形复杂、建设成本过高的区域盲目新增宏基站。

3.3 室内分布系统部署优化

(1) 对于天线部署优化, 结合室内环境数据和信号

传播模型,优化天线的部署位置、数量和安装角度,避免天线被墙体遮挡或部署在用户活动较少的区域,确保天线信号能够均匀覆盖整个室内区域,尤其是用户密集区域和信号薄弱区域(如电梯间、走廊拐角、地下车库深处)。例如,在大型商业楼宇中,根据不同楼层的用户密度和业务流量,合理配置天线数量,在用户密集的商铺区域增加天线部署,调整天线角度使信号覆盖更均匀;在地下车库,采用分布式天线部署,避免信号盲区,同时调整天线功率,确保信号强度达标。(2)对于设备配置优化,基于业务流量大数据和设备运行数据,优化RRU(远端射频单元)的部署数量和功率配置,避免设备负荷过高或资源浪费。对于业务流量较大的区域,增加RRU部署或提升设备功率,确保网络承载能力;对于业务流量较小的区域,合理减少设备配置,降低运维成本。(3)信号分配优化也是部署优化的重要内容,结合室内不同区域的信号需求,优化信号分配比例,避免部分区域信号过强导致干扰,部分区域信号过弱影响用户体验,并确保室内分布系统的信号与宏基站信号保持协同,为室内外无缝切换奠定基础。

3.4 室内外协同优化

(1)进行室内外信号协同匹配优化,基于大数据分析宏基站与室内分布系统的信号覆盖重叠区域,调整二者的信号强度参数,确保室内分布系统的信号强度略高于宏基站信号强度,既避免室内信号被宏基站信号压制,又确保用户在室内外移动时能够实现平滑切换,同时优化二者的频率配置,避免同频干扰,提升信号质量。如在高层楼宇的低层和中层区域,调整室内分布系统的信号功率,使其与宏基站信号形成合理衔接,避免出现信号盲区或重叠干扰;在楼宇出入口等室内外过渡区域,优化信号覆盖,确保用户进出楼宇时信号能够无缝切换。(2)进行室内外负荷协同分配优化,基于业务流量大数据,分析室内外业务量的分布规律和潮汐变化,动态调整宏基站与室内分布系统的负荷分配比例,当室内业务流量高峰

时,充分发挥室内分布系统的分流作用,减轻宏基站负荷压力;当室外业务流量高峰时,优化宏基站参数,提升其覆盖能力和承载能力,并确保室内分布系统信号稳定,避免因宏基站负荷过高导致室内信号受影响。(3)切换参数协同优化是室内外协同优化的核心环节,基于用户移动轨迹大数据和切换失败记录,调整宏基站与室内分布系统的切换门限、切换时延、切换优先级等参数,避免出现乒乓切换、切换失败等问题^[5]。比如,在室内外过渡区域,降低切换门限,缩短切换时延,提升切换成功率,确保用户在移动过程中通信不中断。此外,建立室内外协同优化的闭环机制,利用实时大数据持续监测二者的覆盖性能、切换情况和负荷分配情况,对比优化前后的核心指标,根据监测结果进一步微调优化策略,确保协同优化效果持续稳定。

结语

通过构建科学的评估指标体系与随机森林评估模型,实现了覆盖性能的精准量化;提出的系列优化策略,有效改善了覆盖不均衡、干扰突出等问题,经实证验证具备良好的实用性。但目前研究仍存在不足,多源数据融合精度可进一步提升,动态优化适配性需持续完善。未来将结合人工智能、数字孪生技术,深化二者协同优化研究,为移动通信网络高质量发展提供更有力的支撑。

参考文献:

- [1]曹华瑞.通信工程建设全过程中的相关管理措施[J].大众标准化,2021(03):193-195.
- [2]龚诚刚,卢济满.5G网络室内覆盖方案对策分析[J].中国新通信,2022,22(12):2-3.
- [3]叶健涛,陈广林,梁盛铭.基于5G室内覆盖低成本建设方案研究[J].广西通信技术,2021(01):46-49.
- [4]杜建新.关于地铁通信系统集成及网络覆盖优化工程实施探讨[J].中国新通信,2021,23(07):28-29.
- [5]周新宇.通信工程施工质量管理措施研究[J].无线互联科技,2021,18(03):3-4.