

通感一体化基站智能化施工部署与性能优化

冯 敏

浙江省通信产业服务有限公司杭州市分公司 浙江 杭州 310000

摘要: 本文聚焦通感一体化基站智能化施工部署与性能优化。阐述了其技术原理与部署特征,剖析传统施工局限后设计智能化施工部署框架与关键环节。分析了影响感知与通信性能的施工因素,提出针对性优化策略及通感性能联合优化方法。展望未来,指出基于数字孪生的全生命周期管理、自主部署及与边缘智能深度融合是发展方向,为通感一体化基站技术落地与性能提升提供理论支撑。

关键词: 通感一体化; 智能基站; 施工部署; 性能优化

引言:“通感算智”一体化发展已成趋势,通感一体化基站作为核心载体意义重大。它打破通信与感知壁垒,实现资源协同复用,支撑智能交通等场景。但传统基站施工部署流程繁琐、依赖人工,难以适配其双重功能需求。因此,研究通感一体化基站智能化施工部署流程与性能优化策略迫在眉睫,对推动技术落地、提升基站性能与运营效率具有关键作用。

1 通感一体化基站技术基础与部署特征

1.1 通感一体化基站技术原理

通感一体化基站的核心原理是打破通信与感知的技术壁垒,实现频谱、硬件、信号资源的协同复用,依托同一套基础设施同时完成通信传输与环境感知双重功能,是5.5G/6G时代“通感算智”一体发展的核心载体。其核心逻辑是共享基站射频单元、天线阵列等硬件设备,采用OFDM等新型波形设计,让通信信号同时承担数据传输与感知探测任务,通过分析信号回波的时延、多普勒频移和角度,反向推算目标的距离、速度和轨迹,实现“通中有感、感中有通”的协同效应。与传统分离式通信、感知设备相比,该技术无需额外部署雷达、摄像头等硬件,通过波形优化、波束赋形等技术,解决通信与感知的频谱冲突问题,实现资源利用效率的最大化,同时依托智能算法完成信号的协同处理,为后续智能化施工部署和性能优化奠定坚实基础,目前已成为支撑智能交通、智慧城市等场景的关键技术底座。

1.2 通感一体化基站的部署特征

通感一体化基站的部署需兼顾通信覆盖与感知精度双重需求,呈现出全域适配、协同组网、灵活部署的核心特征,区别于传统单一功能基站的部署模式。在部署选址上,优先选择视野开阔、无明显遮挡的区域,如城市制高点、道路沿线、产业园区核心位置,既保障通信信号的广域覆盖,又确保感知范围无盲区,尤其适配低

空经济、车路协同等场景的全域感知需求^[1]。在组网模式上,采用“点-簇-网”三级协同架构,通过单站内生协同、多站集群协作、全网智能调度,形成立体化感知与通信网络,提升系统抗干扰能力和服务稳定性。在部署规模上,可根据场景需求灵活调整,高密度部署于城市核心区,满足千万级连接与全域监控需求,低密度部署于郊区、偏远区域,降低建设成本。同时部署过程需兼顾绿色高效,采用低功耗硬件设备,实现技术落地与低碳发展的协同推进。

2 通感一体化基站智能化施工部署流程设计

2.1 传统基站施工部署流程及局限性

传统基站施工部署流程主要遵循“前期勘察-方案设计-现场施工-调试验收”的线性模式,流程繁琐且过度依赖人工操作,已无法适配通感一体化基站的双重功能需求,存在明显局限性。前期勘察主要依靠人工实地测量地理环境、频谱资源,效率低下且易出现数据误差;方案设计多基于经验判断,缺乏对通信与感知双重需求的精准考量,易导致部署后性能不达标;现场施工以人工安装、接线、调试为主,施工周期长、人力成本高,且人为操作误差易影响基站硬件安装精度和信号稳定性;调试验收环节缺乏标准化、智能化检测手段,难以全面检测通信速率、感知精度等核心指标,易留下安全隐患。传统施工流程各环节相互独立,数据无法共享,易出现流程脱节、衔接不畅等问题,难以适应通感一体化基站规模化、精细化部署的需求,制约了技术的落地应用^[2]。

2.2 智能化施工部署总体框架

通感一体化基站智能化施工部署总体框架以“智能协同、全流程管控”为核心,构建“感知层-决策层-执行层-验收层”四层架构,实现施工部署的全流程智能化。感知层依托物联网传感器、无人机等设备,实时采集施工区域的地理环境、频谱资源、施工进度等数据,为决

策提供精准支撑；决策层基于人工智能算法和大数据分析，对感知层采集的数据进行处理，自动生成最优施工方案，动态调整施工参数，解决施工中的复杂问题；执行层由智能施工设备、机器人等组成，按照决策层指令，自动完成基站安装、硬件调试、信号校准等施工环节，实现施工过程的自动化执行；验收层采用智能化检测设备，对基站的通信性能、感知性能、安装质量等进行全面检测，生成标准化验收报告，确保施工质量达标。该框架实现了各环节的数据共享与协同联动，打破了传统施工的流程壁垒，大幅提升了施工效率和部署质量，适配通感一体化基站的双重功能部署需求。

2.3 关键环节设计

通感一体化基站智能化施工部署的关键环节主要包括智能勘察规划、智能现场施工、智能调试校准三大核心部分，各环节相互衔接、协同发力，确保部署工作高效推进。智能勘察规划环节采用无人机航拍结合传感器监测，精准采集施工区域的地形、遮挡物、频谱干扰等数据，通过AI算法分析通信覆盖与感知精度需求，自动生成选址方案和施工图纸，规避传统勘察的误差问题。智能现场施工环节依托施工机器人完成基站支架安装、设备吊装、线路接线等作业，结合物联网技术实时监测施工精度，确保硬件安装符合标准，同时通过远程控制实现施工过程的无人化操作，降低安全风险。智能调试校准环节采用自动化调试设备，对基站的通信模块、感知模块进行协同调试，优化波束赋形参数、信号传输功率等，确保通信速率、感知精度等核心指标达标，同时建立调试数据档案，为后续运维提供支撑。

3 通感一体化基站性能影响因素与优化策略

3.1 影响感知性能的关键施工因素

通感一体化基站的感知性能主要受施工过程中的选址、安装精度、设备调试、环境适配四大关键因素影响，直接决定感知精度、覆盖范围和响应速度。选址不合理是首要影响因素，若选址存在高大建筑物、树木等遮挡物，会导致感知信号衰减，出现感知盲区，尤其影响低空目标和远距离目标的探测效果；安装精度不足，如基站天线角度偏差、支架固定不牢固，会导致波束赋形偏移，降低目标定位精度，甚至出现误判；设备调试不到位，如信号滤波参数、回波分析算法设置不合理，会影响感知信号的解析效率，导致目标识别准确率下降；施工过程中未充分考虑电磁环境适配，如周边存在强电磁干扰源，会干扰感知信号传输，影响感知性能的稳定性。另外，施工过程中的线路连接质量、硬件安装规范性，也会间接影响感知模块的正常运行，需在施工

中重点把控。

3.2 通信性能优化策略

针对通感一体化基站的通信性能优化，需围绕频谱资源利用、信号传输质量、组网协同三个核心维度，结合施工部署特点制定针对性策略，确保通信的高速、可靠传输。在频谱资源优化方面，采用动态频谱分配算法，根据施工场景的通信需求和频谱干扰情况，灵活分配通信与感知的频谱资源，避免两者冲突，提升频谱利用效率，同时采用抗干扰波形设计，降低外界电磁干扰的影响^[3]。在信号传输质量优化方面，施工过程中精准调整天线角度和信号传输功率，优化基站覆盖范围，减少信号盲区和衰减，同时加强线路连接质量管控，避免线路接触不良导致的信号损耗；调试阶段优化调制解调参数，提升数据传输速率和稳定性。在组网协同优化方面，施工部署时构建“云-边-端”协同组网架构，优化基站间的协同调度机制，实现负载均衡，避免单一基站过载，同时完善切换机制，确保移动终端通信的连续性，提升整体通信服务质量。

3.3 感知性能优化策略

通感一体化基站感知性能的优化，需结合施工部署环节的关键影响因素，从选址优化、安装调试、干扰抑制三个方面入手，提升感知精度、覆盖范围和响应速度。选址优化方面，施工前通过智能勘察筛选视野开阔、无明显遮挡、电磁干扰小的区域，优先选择城市制高点、道路交叉口等核心位置，扩大感知覆盖范围，减少感知盲区；同时结合场景需求，合理规划基站间距，避免多基站感知信号相互干扰。安装调试优化方面，精准控制天线安装角度和高度，确保波束赋形精准覆盖目标区域，调试阶段优化回波分析算法和信号滤波参数，采用扩展卡尔曼滤波等算法，提升目标定位和轨迹跟踪的准确性，减少误判。干扰抑制方面，施工过程中避开强电磁干扰源，采用智能反射面（IRS）辅助优化信号传播环境，同时通过AI算法对感知信号进行智能滤波，识别并消除干扰信号，提升感知信噪比，确保复杂环境下感知性能的稳定性。

3.4 通感性能联合优化

通感一体化基站的核心优势的是通信与感知功能的协同，因此需采用通感性能联合优化策略，平衡两者资源分配，实现整体性能的最大化，避免单一功能优化对另一功能造成负面影响。联合优化的核心是构建多变量协同优化模型，结合施工部署特点，统筹考虑通信速率、感知精度、系统能耗等指标，通过交替优化算法求解最优参数。施工阶段，合理规划基站部署位置和组网

架构,确保通信覆盖与感知覆盖的协同匹配,避免出现通信覆盖良好但感知盲区明显的情况;调试阶段,联合优化波束赋形矩阵、信号功率、频谱分配等参数,采用半定规划、逐次凸近似等方法,在保障通信吞吐量的同时,提升感知精度。引入AI原生融合技术,将深度学习算法嵌入施工调试全流程,实现通感资源的动态调度,根据场景需求实时调整参数,解决通信与感知的性能冲突,确保两者协同稳定运行,充分发挥通感一体化的技术优势。

4 未来发展方向

4.1 基于数字孪生的全生命周期施工运维一体化

这是通感一体化基站未来核心发展方向之一,核心是构建基站物理实体与数字孪生模型的实时映射,实现全流程智能化管控。施工阶段,用数字孪生模拟场景,提前发现选址、安装等问题,优化方案、降低风险,还能同步施工数据,可视化监控进度与质量。运维阶段,模型同步基站运行状态,借助AI预测故障、提前维护,结合数据优化参数。退役阶段,评估残值、制定方案,实现资源循环。此模式打破施工与运维壁垒,实现全流程数据共享与协同优化,提升运营效率和生命周期价值。

4.2 通感一体化基站的自主部署(机器人施工、自组织网络)

通感一体化基站的自主部署,将依托机器人施工与自组织网络技术,实现部署过程的全自动化、无人化,大幅降低人力成本,提升部署效率,适配规模化、偏远区域的部署需求。机器人施工方面,将研发专用智能施工机器人,具备自主导航、吊装、安装、调试等功能,可在复杂地形、危险区域完成基站部署,减少人工干预,同时提升施工精度和安全性;结合无人机辅助勘察和物资运输,构建“无人机+施工机器人”的协同施工模式,进一步提升部署效率^[4]。自组织网络方面,基站部署后可自动完成组网、参数配置、负载均衡等操作,无需人工干预,实现“即部署、即联网、即服务”;同时,网络可根据场景需求动态调整组网架构,新增基站自动接入网络,故障基站自动脱离并完成自愈,提升网络的灵活性和可靠性。该方向将推动通感一体化基站从“人工

部署”向“自主部署”转型,加速技术的规模化落地。

4.3 通感一体化与边缘智能的深度融合

通感一体化与边缘智能的深度融合,将推动基站从“通信+感知”的双重功能,向“感知-计算-决策”的综合智能中枢转型,是6G时代“通感算智”一体发展的核心趋势。其核心是将边缘计算能力嵌入通感一体化基站,实现感知数据的本地实时处理,降低数据传输时延,提升决策效率,破解传统模式下“感知数据传输远、处理慢”的痛点。融合后,基站可实时采集环境感知数据,通过边缘智能算法快速完成目标识别、风险预判、资源调度等决策,无需将数据上传至云端,大幅提升响应速度,适配自动驾驶、工业互联网等低时延场景需求。同时,边缘智能可实现通感资源的动态优化,根据实时场景需求调整通信与感知参数,平衡两者性能;通过边缘节点的协同,实现多基站感知数据的融合分析,提升感知精度和覆盖范围。未来,随着技术的成熟,将进一步推动通感一体化、边缘智能与人工智能的深度融合,构建“自感知、自决策、自优化”的智能网络底座。

结束语

通感一体化基站智能化施工部署与性能优化研究意义深远。通过构建智能化施工框架、优化关键环节,可提升部署效率与质量;针对性能优化策略及联合优化方法,能保障通信与感知功能协同。未来,基于数字孪生、自主部署及与边缘智能融合等方向的发展,将进一步推动通感一体化基站技术进步,为智能社会建设提供更强大的网络支撑,值得持续深入研究与探索。

参考文献

- [1]林社秋,张玖鹏,闫实.多基站协作通感一体化体系架构及关键技术研究[J].移动通信,2024,48(6):52-60.
- [2]李君.通信基站智能化差异配电设计[J].今日自动化,2024(12):56-58.
- [3]吴一凡,王纪清,司鼎,等.通信基站智能化差异配电研究[J].长江信息通信,2023,36(2):197-200.
- [4]孙亮.通信基站电源的智能化监控与远程运维技术创新策略[J].通信电源技术,2025,42(8):128-130.