

5G技术在通信工程中的应用分析

万 骏

江西诚科建设咨询监理有限公司 江西 南昌 330025

摘 要：5G技术凭借高频段频谱利用、MassiveMIMO及网络切片等核心技术，在通信工程中实现了革命性突破。其高速率、低时延特性支撑增强移动宽带（eMBB）场景，满足超高清视频、VR/AR等大流量需求；通过URLLC技术赋能工业互联网、自动驾驶等实时控制领域；mMTC技术则推动海量物联网设备接入。同时，5G与AI、边缘计算深度融合，重构网络运维模式，提升资源调度效率。目前，5G已广泛应用于智能交通、远程医疗、智慧城市等领域，成为推动数字化转型的关键基础设施。

关键词：5G技术；通信工程；应用

引言：在数字化浪潮迅猛发展的当下，通信工程作为信息传输与交互的基石，重要性日益凸显。5G技术作为新一代通信技术的代表，以其超高速率、超低时延、海量连接等特性，为通信工程带来了前所未有的变革机遇。它不仅打破了传统通信在频谱效率、业务保障和网络运维等方面的局限，还催生了众多新兴应用场景。深入探究5G技术在通信工程中的应用，有助于充分发挥其优势，推动通信工程乃至整个社会向智能化、数字化方向加速迈进。

1 5G 技术体系与通信工程需求适配

1.1 5G核心技术创新

（1）新型空口技术：MassiveMIMO通过大规模天线阵列提升频谱效率与信号覆盖，可支持数十上百个用户同时通信；灵活帧结构打破固定子帧配比限制，能根据业务需求动态调整时域、频域资源，适配不同速率和时延要求的场景。（2）网络切片与SDN/NFV架构：网络切片将物理网络划分为多个逻辑独立切片，为不同业务（如工业控制、高清视频）定制专属网络资源；SDN/NFV实现网络控制与转发分离、硬件虚拟化，大幅提升网络部署灵活性与资源利用率。（3）毫米波与太赫兹频段利用：突破传统Sub-6GHz频段限制，挖掘高频段大带宽潜力，毫米波带宽可达数百MHz，太赫兹频段更是具备更高频率资源，为超高速率传输提供可能。

1.2 通信工程传统痛点解析

（1）频谱效率与覆盖矛盾：传统通信技术中，提升频谱效率常以牺牲覆盖范围为代价，尤其在偏远地区，难以兼顾高速率与广覆盖。（2）业务差异化保障能力不足：4G及以前网络采用“一刀切”的资源分配模式，无法为高时延敏感（如远程医疗）、高可靠（如自动驾驶）业务提供专属保障。（3）网络运维复杂度指数级增

长：随着设备数量、业务类型激增，传统人工运维难以应对故障排查、资源调度，效率低且成本高。

1.3 5G技术对通信工程的范式重构

（1）从“单一管道”到“按需定制服务”：依托网络切片技术，通信工程可针对不同行业、业务场景，定制带宽、时延、可靠性等网络参数，实现“一业一策”的服务模式，满足多元化需求。（2）从“人工运维”到“AI驱动自治网络”：5G结合AI技术，实现网络故障自动检测、根因分析与自愈，通过智能算法动态优化资源配置，降低人工干预，将运维效率提升数倍，缓解复杂度难题。

2 5G 在通信工程中的关键应用

2.1 增强型移动宽带（eMBB）

（1）超高清视频传输的信道编码优化：针对4K/8K超高清视频大带宽、高画质需求，5G通信工程采用Polar码与LDPC码结合的混合信道编码方案。Polar码凭借“信道极化”特性，在短码长场景下实现接近香农极限的编码增益，有效降低视频传输误码率；LDPC码则在长码长场景中具备高效并行译码能力，适配超高清视频的连续大流量传输。同时，通过自适应调制编码（AMC）技术，根据信道质量动态调整编码速率与调制方式，例如在信号稳定区域采用256QAM高阶调制提升传输速率，在弱信号区域切换至QPSK低阶调制保障传输稳定性，确保超高清视频在复杂信道环境下仍能实现流畅播放^[1]。（2）体育赛事/演唱会等热点场景容量提升方案：针对热点场景瞬时用户密度高、业务并发量大的特点，5G通信工程通过“宏微协同+动态资源调度”组合策略提升网络容量。宏基站提供广域覆盖基础，同时部署微基站、皮基站形成局部热点覆盖，利用小区分裂技术将单小区容量分解为多个小小小区容量，单区域网络容量可提升3-5倍；在资

源调度层面,采用“用户分组调度+时隙动态分配”机制,对高带宽需求的视频直播用户优先分配时隙资源,通过干扰协调技术抑制小区间信号干扰,避免热点区域出现网络拥堵,保障赛事、演唱会等场景中每用户的下行速率稳定在100Mbps以上。

2.2 超可靠低时延通信 (URLLC)

(1) 工业互联网中的时间敏感网络 (TSN) 集成:为满足工业设备间毫秒级时延、99.999%可靠性要求,5G通信工程将URLLC技术与TSN协议深度融合。通过“5G空口低时延优化+TSN时间同步”双维度设计,空口侧采用缩短传输时间间隔 (TTI) 至0.5ms、引入免调度传输机制,减少数据传输等待时间;TSN侧通过精准时间同步协议 (PTP) 实现5G基站与工业控制器、传感器的纳秒级时间对齐,确保设备间数据传输时序一致。同时,构建“5G+TSN”端到端确定性传输通道,为工业机械臂协同控制、柔性生产流水线等场景提供稳定的通信支撑,将端到端时延控制在10ms以内。(2) 智能电网差动保护系统的时延补偿机制:智能电网差动保护需实时对比变电站两侧电流数据,时延差异过大会导致保护误动作。5G通信工程针对这一需求,设计“动态时延监测+自适应补偿”机制:在5G基站与电网设备间部署时延监测模块,实时采集数据传输往返时延 (RTT),通过边缘计算节点分析时延波动规律;基于监测结果,采用时间戳补偿算法,对两侧数据的传输时延差进行动态修正,确保电流数据在差动保护装置中实现同步对比。同时,利用URLLC的重传机制,保障数据传输可靠性,使差动保护系统的动作时延控制在5ms以内,满足电网安全运行要求^[2]。

2.3 海量机器类通信 (mMTC)

(1) LPWA技术与5G的融合部署策略:低功耗广域网 (LPWA) 技术 (如NB-IoT、LoRa) 具备低功耗、广覆盖优势,但速率较低;5G mMTC技术速率更高,但功耗相对较高。5G通信工程采用“分层覆盖+业务适配”融合策略:在偏远地区或低速率需求场景 (如农业墒情监测),优先部署NB-IoT网络,利用其深度覆盖特性 (穿透损耗低20dB),实现广域海量设备接入;在城区或中高速需求场景 (如智能表计数据实时上传),采用5G mMTC与NB-IoT协同组网,通过网络切片为不同速率需求的设备分配专属资源。同时,统一接入核心网平台,实现设备管理、数据汇聚的一体化,单小区可支持10万个海量设备接入,满足大规模物联网部署需求。(2) 智慧城市传感器网络的能效优化:智慧城市中,交通流量监测、环境监测等传感器数量庞大,需长期续航。5G通信工程从“设备端+网络端”双端优化能效:设

备端采用休眠唤醒机制,传感器在无数据传输时进入深度休眠模式,功耗降低80%以上,仅在定时采集数据或触发事件时唤醒;网络端引入“数据聚合传输”技术,通过边缘节点对周边传感器数据进行本地汇聚、压缩后再上传至核心网,减少数据传输量,降低设备发射功耗。此外,利用5G网络的动态功率控制功能,根据传感器与基站的距离自动调整发射功率,避免远距离设备过度耗能,使传感器续航时间从1-2年延长至5年以上。

2.4 新型应用场景拓展

(1) 5G+卫星通信的天地一体组网:为解决地面5G网络在海洋、沙漠等偏远地区覆盖盲区问题,5G通信工程构建“地面基站+低轨卫星”天地一体网络。低轨卫星 (轨道高度500-1500km) 具备低时延 (单程时延20-40ms)、广覆盖特性,通过卫星与地面5G核心网互联互通,实现“地面覆盖为主、卫星覆盖补盲”的组网模式。在技术层面,采用星地协同资源调度算法,地面网络优先承载高带宽业务,卫星网络承接偏远地区低速率业务;同时,优化卫星与地面设备的接口协议,确保手机、物联网终端等设备可无缝切换至卫星网络,实现全球无死角通信,为远洋航行、极地科考等场景提供稳定网络服务^[3]。(2) 量子密钥分发与5G安全的协同设计:5G网络面临数据传输窃听、信令攻击等安全风险,量子密钥分发 (QKD) 技术凭借“量子不可克隆”特性,可提供无条件安全的密钥。5G通信工程将QKD与5G安全架构协同融合:在5G核心网与基站之间部署QKD设备,通过量子信道生成随机密钥,用于加密5G空口信令、用户数据;针对5G网络中多用户、多业务的特点,设计“密钥动态更新+业务分级加密”机制,高敏感业务 (如政务数据传输) 采用高频次密钥更新,普通业务采用常规加密策略,在保障安全的同时降低系统开销。此外,利用量子密钥验证技术,防止基站伪冒、数据篡改等攻击,构建“量子+5G”的端到端安全通信体系。

3 5G 通信工程实施中的挑战与对策

3.1 技术实施层面

(1) 毫米波传播损耗与建筑穿透损耗的补偿技术:毫米波频段信号波长极短,易受降雨、植被遮挡产生严重传播损耗,且穿透墙体时损耗可达20-30dB,导致覆盖范围大幅缩减。对此,5G通信工程采用“多技术协同补偿”方案:通过部署超密集微基站,缩短信号传输距离,抵消传播损耗;在建筑外墙、室内天花板安装分布式天线,实现信号精准覆盖;同时引入波束赋形技术,将信号能量聚焦于用户终端,提升接收信号强度,有效缓解毫米波覆盖短板。(2) 混合组网 (SA/NSA) 的互

操作优化：NSA组网依赖4G核心网，虽部署便捷但无法充分发挥5G性能；SA组网为独立架构，却面临与现有4G网络的切换、业务连续性难题。工程实施中，通过“协议兼容+动态切换策略”优化互操作：在核心网侧升级接口协议，实现SA与NSA网络的信令互通；基于用户位置与业务需求，动态选择组网模式—高速移动场景优先接入NSA保障连续性，固定场景切换至SA享受高带宽，同时开发无缝切换算法，将切换时延控制在50ms以内，避免业务中断^[4]。

3.2 经济成本层面

（1）基站密集化部署的TCO（总拥有成本）模型：5G基站密度较4G提升3-4倍，单基站建设成本（含设备、电力、租金）约为4G的1.5倍，且运营阶段电费占比超40%，TCO压力显著。为此，构建“全生命周期TCO优化模型”：建设阶段采用一体化基站设备，减少施工与硬件成本；运营阶段引入智能节能技术，通过AI算法动态调整基站功率，非高峰时段关闭冗余载波，降低能耗；同时推进基站与路灯、监控杆等公共设施共站址，节省租金成本，整体可降低TCO约25%。（2）共享基站模式下的利益分配机制：运营商、行业客户共建共享基站可分摊成本，但易因投资比例、资源使用量差异引发利益纠纷。工程中建立“量化利益分配模型”：以基站建设投资金额、带宽占用时长、用户接入数量为核心指标，按权重计算各方贡献值；设置动态分成比例，投资占比高或资源使用多的参与方获得更高收益分成；同时引入第三方审计机构，定期核算资源使用数据，确保分配透明公平，推动共享模式可持续发展。

3.3 政策监管层面

（1）频谱拍卖策略对5G部署的影响：频谱是5G核心资源，部分地区频谱拍卖价格过高，增加运营商部署成本；且频谱划分碎片化，导致跨频段协同困难。针对此，政策层面需优化“分层拍卖+动态频谱共享”机制：

对Sub-6GHz等优质频段采用低价定向拍卖，降低部署门槛；对毫米波等高频段实施动态频谱共享，允许不同运营商按需临时占用空闲频谱；同时统一频谱划分标准，避免频段碎片化，为跨频段组网提供支持。（2）数据安全与隐私保护的合规框架：5G网络连接设备海量，数据传输量激增，易引发数据泄露、非法窃取风险，且需符合《数据安全法》《个人信息保护法》等法规要求。工程实施中，构建“全流程合规框架”：在数据采集环节采用匿名化处理，去除个人标识信息；传输环节通过加密隧道与量子密钥技术保障安全；存储与使用环节设置访问权限管控，建立数据溯源机制，同时定期开展合规审计，确保5G数据处理全流程符合监管要求。

结束语

5G技术在通信工程领域的应用已展现出强大活力与潜力，从提升基础通信能力到催生多元创新应用，全方位重塑着行业格局。它为通信工程解决了诸多传统痛点，带来更高效、智能、可靠的解决方案。然而，其发展仍面临技术、成本、政策等多方面挑战。未来，随着持续的技术突破、合理的成本控制以及完善的政策引导，5G技术必将在通信工程中深度扎根，推动行业迈向新高度，为人们构建更加便捷、智能、互联的美好生活，在全球数字化进程中发挥更为关键的支撑作用。

参考文献

- [1]张志强.5G技术在通信工程中的应用分析[J].数字通信世界,2024,(10):106-108.
- [2]王立畅.移动5G传输技术在信息通信工程中的运用研究[J].信息与电脑(理论版),2024,(13):182-184.
- [3]林宇翀.5G移动通信技术在通信工程中的应用研究[J].数字通信世界,2024,(06):67-69.
- [4]刘潇怡.5G移动通信技术在通信工程中的应用分析[J].信息与电脑(理论版),2023,(18):155-157.