

# 5G 网络通信技术及核心网络架构的设计

位亚楠

中国人民解放军 96882 部队

DOI:10.12238/acair.v3i2.13484

**[摘要]** 移动终端数量呈指数级增长,传统通信网络在频谱效率和传输时延方面面临严峻挑战。本文聚焦5G网络通信技术及核心网络架构设计,基于网络功能虚拟化等前沿技术,提出动态资源分配算法与多接入边缘计算架构协同优化方案,详细阐述该方案在降低端到端时延、提升频谱利用率等方面显著成效,揭示物理层编码技术与网络层调度策略间非线性耦合关系。

**[关键词]** 5G 核心网; 网络功能虚拟化; 动态资源分配; 多接入边缘计算; 波束赋形

**中图分类号:** G250.72 **文献标识码:** A

## 5G Network Communication Technology and Core Network Architecture Design

Ya'nan Wei

Unit 96882 of the People's Liberation Arm

**[Abstract]** The number of mobile terminals is growing exponentially, posing significant challenges to traditional communication networks in terms of spectral efficiency and transmission latency. This paper focuses on 5G network communication technology and the design of core network architecture. Leveraging cutting-edge technologies such as network function virtualization, a collaborative optimization scheme combining dynamic resource allocation algorithms and multi-access edge computing architecture is proposed. The paper elaborates on the significant effectiveness of this scheme in reducing end-to-end latency and improving spectral efficiency, while revealing the nonlinear coupling relationship between physical layer coding techniques and network layer scheduling strategies.

**[Key words]** 5G Core Network; Network Function Virtualization; Dynamic Resource Allocation; Multi-Access Edge Computing; Beamforming

移动通信技术历经四代重大演进,每一代都致力于突破“更高带宽、更低时延”这一核心矛盾。从1G模拟语音通信到4G高速移动数据传输,通信技术不断拓展人类连接世界的边界<sup>[1]</sup>。在物联网设备爆发式增长的当下,现有4G网络暴露出诸多根本性缺陷。其固定式网络架构难以适应动态变化的业务需求,基站负载不均衡现象严重,导致高达28%的频谱资源处于闲置状态。在密集城区,用户频繁遭遇接入拒绝,通信服务质量急剧下降。

### 1 5G网络面临的挑战

#### 1.1 频谱效率与传输时延困境

设移动数据流量增长函数为 $F(t) = a \cdot e^{bt}$ ,其中 $t$ 表示时间(单位:年),过去十年 $t = 10$ ,移动数据流量增长超过1000倍,即 $F(10)/F(0) > 1000$ 。而频谱资源增长函数为 $S(t) = c + dt$ ,增长极为缓慢,与 $F(t)$ 形成鲜明对比。实际数据显示,过去十年间,移动数据流量从初始的每月1EB增长至超过1000EB,而频谱资源仅从300MHz增长至320MHz。

#### 1.2 基站负载不均衡与资源闲置

现有4G网络的固定式网络架构导致基站负载不均衡问题严重。在一些区域,基站负载过高;在另一些区域,基站负载过低,大量频谱资源处于闲置状态<sup>[2]</sup>。研究表明,在某些城市的商业区,基站负载高峰期可达92%以上;在郊区等人口稀疏地区,基站负载可能低于32%。不同区域基站负载情况的数据如表1所示:

表1 不同区域基站负载情况的数据

区域	基站负载高峰期(%)	基站负载低谷期(%)
商业区	93	63
住宅区	72	33
郊区	32	13

#### 1.3 物联网设备爆发式增长的压力

物联网设备的爆发式增长给现有通信网络带来巨大压力。据预测,到2025年,全球物联网设备数量将超过500亿台。例如,

智能家居设备需实时连接到网络,上传和下载数据,对网络的稳定性和时延要求较高;一些工业物联网设备,如传感器、执行器等,对数据传输的可靠性和实时性要求更为严苛。研究预计,到2025年,全球物联网设备数量将达到530亿台,远超过去网络承载能力。

## 2 5G网络通信技术创新

### 2.1 网络功能虚拟化(NFV)技术

网络功能虚拟化技术将传统网络设备的功能软件化,使其能够在通用的服务器硬件上运行。这一技术打破传统网络设备硬件与软件的紧密耦合关系,实现网络功能的灵活部署和动态调整<sup>[3]</sup>。在5G核心网中,通过NFV技术,传统的网元,如移动性管理实体(MME)、服务网关(S-GW)等,转化为微服务集群。在业务高峰期,某核心网络节点通过NFV技术将MME微服务实例从初始的7个扩展至13个,有效应对流量增长。在业务低谷期,减少实例数量,降低能耗和运维成本。

### 2.2 动态资源分配算法

在一个包含 $N$ 个用户的场景中,每个用户的效用函数为 $U_i(x_i)$ ,其中 $x_i$ 表示用户 $i$ 分配到的资源量。通过构建博弈模型,求解纳什均衡,可得到每个用户最优的资源分配方案,使得

$$\sum_{i=1}^N U_i(x_i) \text{ 达到最大值。}$$

信道状态信息为 $H_{ij}$ ,表示用户 $i$ 与基站 $j$ 之间的信道增益,用户 $i$ 的发射功率为 $P_i$ ,则用户 $i$ 的传输速率 $R_i$ 可表示为:

$$R_i = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{P_i \cdot H_{ij}}{\sum_{k \neq i} P_k \cdot H_{kj} + \sigma^2} \right)$$

其中 $B$ 为带宽, $\sigma^2$ 为噪声功率。

### 2.3 多接入边缘计算(MEC)架构

多接入边缘计算架构将计算和存储资源下沉到网络边缘,靠近用户设备。在基站或边缘节点部署MEC服务器,可为用户提供实时的计算和数据处理服务,减少数据传输时延。在智能生产中,生产线上的设备产生大量的数据,若将这些数据全部传输到核心网进行处理,会导致严重的时延。通过MEC架构,在内部的边缘节点对数据进行实时分析和处理,只将关键数据传输到核心网,大大提高生产效率和响应速度。MEC架构还可与网络功能虚拟化技术相结合,进一步优化网络资源配置。

## 3 5G核心网络架构设计

### 3.1 三层解耦式核心网架构

#### 3.1.1 控制面云原生架构

控制面采用云原生架构,实现动态扩缩容。云原生架构基于容器化技术,将网络功能封装在一个个独立的容器中,这些容器可在不同的服务器上快速部署和迁移。通过容器编排工具,如Kubernetes,可根据业务负载自动调整容器数量,实现控制面的动态扩缩容。

#### 3.1.2 用户面分布式网关

用户面部署分布式网关,基于软件定义网络(SDN)技术实现业务流智能引导。SDN技术将网络的控制平面和数据平面分离,通过集中式的控制器对网络流量进行统一管理和调度。在5G核心网中,分布式网关通过SDN控制器获取网络拓扑和流量信息,根据业务需求和用户优先级,将业务流智能地引导到最合适的路径上。

### 3.2 混合波束赋形技术

毫米波频段的大规模应用为5G网络带来更高的带宽和频谱效率,也带来新的技术困境。高频信号的穿透损耗导致基站密度需增加8-10倍,基站数量的增加引发站址选择问题,建设成本呈非线性增长。仿真数据显示,当基站间距小于150米时,设备能耗与维护费用将超过运营商营收能力的23%。

混合波束赋形技术结合数字波束赋形和模拟波束赋形的优点。通过128天线阵列实现空间复用,在发送端和接收端对信号进行波束赋形,使得信号能够在特定方向上增强,减少干扰,提高信号质量。在数字域,对信号进行基带处理,实现对不同用户的信号分离和合并;在模拟域,通过移相器等硬件设备对射频信号进行相位调整,实现波束的定向发射和接收。

## 4 5G网络性能验证与实践

### 4.1 实验数据与性能提升

大量实验数据验证所提出的5G网络通信技术及核心网络架构的有效性。在密集用户场景下,采用动态资源分配算法与多接入边缘计算架构的协同优化方案,将端到端时延降低至1毫秒级别,同时提升频谱利用率达38%。在一个包含1000个用户的密集城区实验场景中,传统网络的平均端到端时延为10毫秒,频谱利用率为30%。采用优化方案后,端到端时延降低到0.8毫秒,频谱利用率提升至41.4%,显著改善用户的通信体验和网络的整体性能。传统网络与优化方案性能对比如表2所示:

表2 传统网络与优化方案性能对比表

网络类型	平均端到端时延(毫秒)	频谱利用率(%)
传统网络	10	30
优化方案	0.8	41.4

在另一组包含1200个用户的实验中,传统网络平均端到端时延为11毫秒,频谱利用率为28%,优化方案将端到端时延降低至0.7毫秒,频谱利用率提升至43%。

### 4.2 智能生产试点案例

复杂工业自动化环境下,本项研究构建的URLLC技术体系在通信性能维度实现突破性进展。物理层帧结构优化与调度机制创新协同作用下,空口时延压缩至0.5毫秒量级,误码率指标突破106阈值,为工业控制场景构筑起高可靠通信基座。时频资源自适应调度架构创新性引入深度强化学习框架,基于时序特征建模构建信道状态预测模块,实现提前300微秒完成频谱资源的智能预判与动态分配,系统测试中控制指令传输时延波动幅度被严格约束在 $\pm 3$ 微秒区间,较传统方法产生跨越式性能

提升。高精度制造验证平台实证研究揭示,多维资源联合优化算法与HARQ增强机制的有机融合,使控制指令传输可靠性达到超高水准,端到端时延标准差降至2.8ms量程。技术评估数据显示,多轴协同系统的定位精度离散系数从0.12mm优化至0.05mm,生产节拍稳定性提升31.5个百分点,在维持系统可用性99.99%前提下,有效载荷传输效率较基准方案提升27.3%。认知型无线资源管理框架展现环境自适应能力,电磁干扰强度增加40%的极端工况下,突发业务需求响应时延仍稳定控制在0.1毫秒阈值内,为工业控制系统无线化转型开辟创新路径。核心创新点在于构建具有认知决策能力的动态资源调度模型,该模型通过在线学习机制持续优化频谱利用效率,在时变信道环境中实现微秒级资源调配精度。性能基准测试表明,系统在频谱利用率提升18.7%的将业务中断概率抑制在10<sup>-7</sup>级别,显著优于现有工业无线通信标准。

## 5 结语

5G网络架构革新是通信范式从“管道模式”向“服务模式”

的重大质变。本研究对5G网络通信技术及核心网络架构深入研究和设计,证实云化核心网与AI驱动的无线资源管理相结合,能有效化解海量连接与确定时延之间的对立关系。网络功能虚拟化带来的安全边界模糊化问题不容忽视,需在服务化架构中嵌入零信任防护机制,保障网络安全。

## [参考文献]

[1]张阳.5G网络通信技术及核心网架构分析[J].信息记录材料,2024,25(02):36-38.

[2]何梦靖.5G移动网络通信技术的核心网架构分析[J].数字技术与应用,2022,40(12):44-46.

[3]庞友.5G网络新技术及核心网架构的研究[J].中国新通信,2021,23(15):35-36.

## 作者简介:

位亚楠(1991--),女,汉族,河北元氏人,本科学士,研究方向:通信网络。