



通信与信息技术

Communication & Information Technology

国内统一连续出版物号：CN 51-1635/TN

国际标准出版物号：ISSN 1672-0164

邮发代号：62-166

题目：面向 5G-A 应用的城域传送网关键技术研究

作者：袁刚¹，刘丽萍²

优先出版日期：2025年2月21日

万方网站：<https://w.wanfangdata.com.cn/>

优先出版：优先出版是指编辑部录用并定稿的文章，通过具备网络出版资质的数字出版平台，先于印刷版杂志出版日期出版，文章内容、排版已定稿，视作正式出版。为确保录用定稿优先出版文章的严肃性，文章一经发布，不得修改题目、作者、作者排序、工作单位，只可基于编辑规范进行少量文字修改。

《通信与信息技术》为双月刊，逢单月底出刊，是国内外公开出版的自然科学学术期刊，设置了运营一线、热点技术、行业观察、解决方案、专网通信等栏目。

办刊宗旨：面向行业，沟通社会；宣传政策，促进发展；为通信发展服务，为通信企业服务，为通信科技人员和职工服务，为广大通信消费者服务，集信息性、行业性、技术性为一体的综合类通信刊物。

面向 5G-A 应用的城域传送网关键技术研究

袁刚¹, 刘丽萍²

1.中通服咨询设计研究院有限公司, 江苏南京 210019

2.云南省无线电监测中心, 云南昆明 651500

摘要: 伴随 5G 技术的广泛落地应用, 全球业界开启了 5G 下一阶段演进技术研究和探索, 5G-A (5G Advanced) 作为 5G 的演进阶段, 在功能和覆盖上都做了重大升级, 对比 5G, 将在网络速度、延迟、连接数等方面实现显著提升, 这些性能的提升均对城域传送网的承载能力提出了更为苛刻的要求。深度剖析面向 5G-A 应用的城域传送网关键技术需求, 详细阐释 5G-A 的业务需求与性能指标, 并深入探讨超高速光传输技术、小颗粒切片技术以及网络智能化技术等城域传送网中的具体应用, 旨在为构建高效、可靠且灵活的 5G-A 城域传送网提供极具价值的技术参考。

关键词: 5G-A; 城域传送网; 高速光传输技术; 小颗粒切片技术; 网络智能化技术

中图分类号: TN913.2 **文献标志码:** A

1 引言

5G 技术的商业应用, 正式开启了万物互联的崭新时代, 为众多行业带来了变革性的发展契机。3GPP 将 R15-R20 定义为 5G 的研发周期, 2021 年 4 月, 将 R18 之后的协议技术定义为 5G-Advanced, 简称 5G-A, 作为 5G 下一阶段演进官方名称, 其也是 5G 迈向 6G 的必由之路。5G-A 作为 5G 的进阶演进, 相比 5G 具有更卓越的性能表现与更广泛的应用潜力。从性能提升上看, 5G-A 在峰值速率、连接密度、定位精度以及比特能效等方面相比 5G 都将有大幅提升, 如阿联酋已实现网速达到 30Gbps, 未来用户有望享受到至少 5Gbps 甚至向 10Gbps 迈进的峰值速率。从技术融合方面来看, 5G-A 将与人工智能、大数据、云计算等技术深度融合, 例如通过网络智能化实现更高效的资源调度和管理, 提升网络性能和服务质量。同时, 通感一体、无源物联网等技术也将成为 5G-A 演进的重要方向。从应用拓展方面看, 5G-A 从现有的增强型移动宽带、海量机器类通信和高可靠低延迟通信三大应用场景, 进一步向更多垂直行业拓展, 如 RTBC (沉浸式体验)、UCBC (上行超宽带) 和 HCS (通信感知融合)。美国发布《国家频谱战略》及实施计划, 释放总计 2786MHz 的无线频谱, 其中 7.125GHz~8.4GHz 频谱将用于无线宽带, 为 5G 向 5G-A 升级提供频谱保证; 韩国将 5G-A 确定为国家关键技术, 在“在技术霸权竞争中必须确保”的 12 项国家战略技术中, 将“下一代通信”技术, 包括 5G-A、6G 等纳入其中。我国工业和信息化部等多部门推进 5G-A 标准制定和网络部署工作, 地方政府也全力推进 5G-A 应用示范建设, 如上海市提出 2026 年初步建成以 5G-A 和万兆光网为标志的全球“双万兆”

城市, 广东省提出打造 10 个 5G-A 创新应用示范场景。

城域传送网是实现网络和业务长期运行及可持续发展的根本保障^[1], 是连接基站与核心网的关键枢纽, 其一般由城域骨干传送网和有线接入网两部分组成, 纵向采用核心、汇聚、接入三层架构组网。经过数年的网络建设, 随着市县 200G OTN、城区 VC-OTN、SPN 网络建设完成, 城域传送网形成了通过市县 OTN+县乡 OTN, 满足各种类型大颗粒业务调度能力; 形成了通过 SPN+PTN+OLT, 满足千兆 5G、4G、2G、家宽、集客等业务接入和传送的能力。

5G-A 作为 5G 技术的升级版, 将在网络速度、延迟、连接数等方面实现显著提升, 面向 5G-A 的规模部署及推广应用, 城域传送网需持续储备能力, 以满足未来网络流量增长、体验升级、AI 等诉求, 其还必须具备更为强大的承载能力、更高的灵活性以及智能化水准, 方能满足 5G-A 丰富多样的业务需求。

目前业内对 5G、5G-A 及城域传送网组网等相关技术都有较为深入的研究, 王新贺^[2]针对 5G、云、边缘计算、VR/AR、超高清视频等业务的快速发展对传送网带来巨大挑战, 提出需要不断优化网络结构, 加强传送网转型升级, 夯实基础网络能力, 从网络规划方面着手, 结合网络现状及问题, 对传送网建设方案进行调整, 未将 5G-A 的应用给城域传送网带来的技术更新进行分析, 未提出技术演进趋势。韩柳燕等^[3]针对 5G 全面应用分析了中国移动特有的 SPN1.0 技术的不足, 提出了面向算力和 5G 应用的 SPN2.0 技术发展趋势, 文章并未从 OTN、网络智能化等方面提出技术发展演进趋势。韩啸等^[4]从 5G 行业应用带来的大量高安全、低时延、小带宽、软硬隔离结合的专线业务的承载需求, 分析 SPN 满足小颗粒切

片的必要性，侧重从小颗粒带宽无损调整方面论述SPN的技术优势，未完整分析5G与其他产业链融合发展对城域传送网的承载影响。

针对上述研究成果，本文对5G-A的业务需求与性能要求进行深入分析，剖析城域传送网目前承载性能的不足，从超高速光传输技术、小颗粒切片技术以及网络智能化技术三个方面来提升当前城域传送网的承载能力。

2 5G-A 的业务需求与性能指标

2.1 增强移动宽带

5G-A时代，用户对于高清视频、虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、扩展现实（XR）等业务的体验诉求持续攀升，促使城域传送网必须具备更高的带宽。据预估，5G-A网络的峰值速率将突破10Gbps，这无疑对城域传送网支持超高速数据传输的能力提出了严格要求。目前运营商普遍使用载波聚合技术提升带宽，因此三载波聚合也成为5G-A的典型新技术应用之一，中国移动主要采用2.6G@100M+2.6G@60M+4.9G@100M组网形态，可实现单用户下行峰值5Gbps、上行峰值500Mbps速率的网络能力。

2.2 万物物联

物联网设备的爆发式增长，使得海量机器类通信成为5G-A的重要应用场景。这些设备所产生的数据不仅体量庞大，且具有显著的突发性。因此，城域传送网必须具备高效的资源调度与管理能力，以此确保众多物联网设备能够稳定接入，并保障数据的可靠传输。RedCap(轻量化5G)是3GPP为了满足亿万级物联，对4G物联网基站从成本、功耗、复杂度等方面进行优化，在物理层方面做了与成本直接相关的裁剪，高层方面主要从省电等方面进行优化，形成精简版技术标准。

2.3 超高可靠低时延通信

工业自动化、智能驾驶、通信感知等对时延和可靠性要求近乎苛刻的应用领域，5G-A需达成更低的端到端时延（例如小于1ms）以及更高的可靠性（如99.999%以上）^[2]。此类应用将使城域传送网的组网架构、底层技术面临严峻的挑战。

2.4 通感一体

传统的通信与感知系统具备不同的功能，两个系统都是向空间发射电磁波并接收电磁波，但二者通常独立存在。随着5G网络的不断演进，5G-A正式纳入通感一体技术，移动通信网络系统将同时具备通信及探测感知的能力。通信感知融合是5G-A的关键技术之一，通过对目标区域或物体发射无线信号，并对接收的无线信号进行分析得到相应的感知测量信息，基站和终端将同时具备通信和感知能力，感知将成为5G-A技术最具有应用潜力的能力之一。低空感知深度服

务生产生活，无人机远程控制、飞行状态监控等业务带宽需求M级别，随着低空新型组网发展，感知业务通道与传统业务通道隔离需求将逐渐体现。这种小带宽、硬隔离的业务需求对城域传送网提出了更为苛刻的承载要求。

3 满足 5G-A 应用的城域传送网关键技术

3.1 超高速光传输技术

高阶调制技术：采用诸如16QAM、64QAM乃至256QAM等高阶调制格式，能够在相同的频谱资源条件下，传输更为丰富的数据量，从而有效提升光传输系统的容量。同时，通过对调制解调算法进行优化，可增强信号的抗干扰能力，确保在长距离传输过程中，信号质量依然能够得到有效保障。

光复用技术：密集波分复用技术通过在单根光纤中同时传输众多不同波长的光信号，有效拓展了光纤的传输容量。在5G-A时代，为满足持续增长的带宽需求，需进一步提高DWDM系统的波长间隔精度，并增加复用路数。与此同时，空分复用技术借助多芯光纤或空芯光纤等方式，在空间维度上开辟更多传输通道，为超高速光传输提供了全新的解决思路。

提速增容是光传输领域的永恒目标之一，针对现网大带宽的需求，需要从OTN、SPN两个维度进行解决。目前SPN主要解决基站回传带来的流量，面向5G-A部署，高频段基站带来回传流量增加，单站峰值将从10Gbps跃升到30Gbps，基站间协作带来横向协作流量增加，算力、2B业务进一步发展，均对城域传送网提出大带宽演进需求，接入环由现在10G/50G向100G演进，汇聚/核心层由100G/200G向400G演进。SPN400G光模块的研究是目前的难点，10km和40km模块可采用灰光QSFP-DD方案，80km采用相干CFP2方案，其中灰光模块在光信号波道数上，存在2种选择：4波和8波；前者功耗成本占有优势，后者在抗多点反射、提高链路稳定性等有优势，后续还需在模块的波道一致性上做出选择。

作为承载大颗粒业务的OTN系统，增加系统容量一般从单波容量和波道数两个方面入手，目前波道数大多才有96波和80波，业界的提速方向还是集中在单波速率上，现网基本上部署100G/200G系统，SPN流量增加的同时，进行不同层级流量调度的OTN系统必将增加系统带宽，从100G/200G升级到400G，远期到800G。超100G时代为满足长距离传输要求单波速率提升的同时，对应的频谱宽度也相应增加，400G系统将从调制码型、频谱规划、系统设计、模块、芯片、光缆等方面进行变更性改变。业界对400G码型选择集中在16QAM和QPSK，两种码型各有优劣，主要由各运营商的技术演进路线决定，频谱普遍选择C+L波段。当然目前400G超长距离传输也面临四大挑战：400G线路侧相干光模

块、C+L波段光交换系统、光放大技术及宽谱SRS控制。

3.2 小颗粒切片技术

网络切片概念：网络切片是依据不同的业务需求和性能标准，将物理网络划分为多个虚拟且相互独立的逻辑网络。每个网络切片均可依据特定业务的个性化需求，量身定制网络资源，如带宽、时延、可靠性等，从而实现网络资源的高效利用以及业务的差异化服务。

切片实现技术：城域传送网中，基于切片分组网（SPN）和光传送网（OTN）的切片技术得到了广泛应用。SPN是中国移动承载5G业务的创新传输技术体系，以切片以太网内核技术为基础的新一代融合承载网络架构，能够将物理端口细分为多个虚拟的FlexE时隙，每个时隙均可承载不同的业务切片。OTN则运用波长级和子波长级的交叉连接技术，实现对光通道的灵活调度与切片。通过有机结合SPN和OTN的优势，可构建更为灵活、高效的城域传送网络切片架构。

SPN小颗粒关键技术：SPN1.0硬切片粒度为5Gbps，2M-15M硬管道一直是行业客户重要需求，网络切片向小颗粒度发展是必然。传统SDH传输技术采用虚容器，带宽效率低，且受限交织粒度和芯片实现等，规格难以突破，同时OTN仅面向大管道，现网大量交叉基于分组进行，因此如何实现成千上万的小颗粒切片和交叉，是业界一直难以攻克的难题。SPN2.0在切片通道层（SCL）引进FGU（Fine Granularity Unit）帧结构来构建全新10M容器，兼容现有SPN和10GE标准以太网接口，其继承了SPN高效以太网内核，将细粒度切片技术融入SPN整体架构，提供了低成本、精细化、硬隔离的小颗粒承载管道。在切片分组层（SPL）新增小颗粒CBR业务类型，在切片传送层（STL）新增10GE以太网物联层接口，直接承载FGU层，实现SPN技术应用进一步下沉。FGU将硬切片的颗粒度从5Gbps细化为10Mbps，以满足5G+垂直行业应用和专线业务等场景下小带宽、高隔离性、高安全性等差异化业务承载需求^[3]。另外，SPN小颗粒技术创新采用带宽逐跳调整方案，FGU带宽无损调整时，相邻两跳节点之间通过小颗粒基本单元开销携带时隙协商信息和时隙配置信息^[4]，完成握手、配置更新及带宽同步调整，实现带宽及时、无损调整，大幅提升网络可靠性和运维能力。

OTN小颗粒关键技术：OTN既融合了SDH在组网和运维上的一些优点，也兼具了WDM的大带宽传送能力，主要运用于城域传送网进行大颗粒业务的调度。目前大部分政企业务连接，对带宽的要求其实并不高，可能只有几Mbps。而OTN支持的最小业务颗粒度是1.25Gbps，这就产生带宽浪费的问题。为解决OTN小颗粒难题，引进fgOTN(OSU)技术，OSU采用非固定时隙的净荷方式划分业务，即业务按照净荷块PB划分颗粒，一个净荷块为2.6Mbps，即业务被划分为

$N \times 2.6\text{Mbps}$ ($N=1,2,3,4,\dots$) 颗粒。通过OSU技术可以灵活配置PB带宽，PB的带宽大小决定了OSU可以承载的客户业务最小颗粒度。同时fgOTN简化原OTN技术VC12->VC4->ODU0->ODU4->OTUCn的5层逐级映射封装为OSUflex->ODUflex->OTUCn3层逐级映射封装，封装次数少，可以大幅降低处理时延，满足时延敏感的业务场景需求。

目前小颗粒切片技术方面标准，ITU-T核心标准已完成发布，中国移动小颗粒企业标准即将发布，小颗粒切片将进入快速产业化阶段，为小颗粒切片大规模应用现网打造坚实的标准产业基础。

3.3 网络智能化技术

软件定义网络（SDN）：SDN技术将网络的控制平面与数据平面进行分离，借助集中式的控制器对网络实施统一管理。在城域传送网中，SDN控制器能够实时采集网络状态信息，并依据业务需求动态调整网络流量路径，实现网络资源的优化配置。此外，SDN还支持开放的API接口，便于与上层业务系统进行无缝集成，实现业务的快速部署以及网络的自动化运维。

网络功能虚拟化（NFV）：NFV技术通过将传统网络设备的功能（如路由器、交换机、防火墙等），以软件形式运行在通用的服务器硬件之上，实现了网络功能的灵活部署与弹性扩展。在5G-A城域传送网中，运用NFV技术能够迅速创建并部署各类网络功能，依据业务量的动态变化灵活调整资源分配，进而降低网络建设与运营成本。

人工智能（AI）技术应用：AI技术在城域传送网的故障预测、性能优化以及流量调度等诸多方面，展现出巨大的应用潜力。通过对网络历史数据与实时数据的深度分析，AI算法能够提前预判网络故障，并及时采取防范措施，提升网络的可靠性。同时，AI还可依据网络流量的变化态势，智能调整资源分配策略，优化网络性能。

4 关键技术面临的挑战与解决方案

4.1 技术融合挑战

超高速光传输技术、小颗粒切片技术以及网络智能化技术在实际应用中，需要进行深度融合。然而，目前各技术之间都是独立研究、验证及部署，未在功能定义、技术演进策略等之间进行融合贯通，同时不同技术之间在接口标准、协议规范等方面存在差异，这给技术融合带来了一定困难。应对之策在于强化行业标准的制定与统一，推动不同技术供应商之间的合作与交流，共同研发兼容的技术产品与解决方案。

4.2 网络安全挑战

随着网络切片和网络智能化技术的广泛应用，城域传送网面临着全新的安全威胁。例如，网络切片之间的隔离性可

能遭受攻击,网络控制器和虚拟化网络功能有可能成为黑客攻击的目标。为有效应对这些挑战,需加强网络安全防护体系建设,综合运用加密技术、访问控制技术、入侵检测技术等多种手段,切实保障网络的安全性与可靠性。

4.3 运维管理挑战

5G-A城域传送网的复杂性显著增加,对运维管理提出了更高层次的要求。传统的运维管理方式已难以满足实时监控、快速故障定位以及智能运维的实际需求。此时,可以借助大数据分析、AI等先进技术,搭建智能化的运维管理平台,实现对网络状态的实时监测、故障的自动诊断以及快速修复,提升运维管理的效率与质量。

5 结论

5G-A的发展为城域传送网带来了一系列全新的挑战与需求。通过深入研究超高速光传输技术、小颗粒切片技术以及网络智能化技术等关键技术,并妥善解决这些技术在应用过程中所面临的挑战,有望构建出能够充分满足5G-A业务需求的高效、可靠且灵活的城域传送网。展望未来,随着技术的持续进步与创新,城域传送网必将不断演进,为5G-A及未来通信技术的发展筑牢坚实基础。在后续研究中,仍需

持续关注新技术的发展动态,探索更为优化的技术组合与应用方案,推动5G-A城域传送网的持续发展。

参考文献

- [1] 王新贺.5G 传送网规划与演进分析[J].广东通信技术,2022,42(03):46-50.
- [2] 朱鹏飞,胡志杰,王泽珏,程强,李少晖.宽带接入网技术发展与应用研究[J].通信世界,2023,(21):45-47.
- [3] 韩柳燕,叶雯,王敏学,李晗.面向 5G 和算力的 SPN 2.0 发展[J].通信世界,2022(17):33-35.
- [4] 韩啸,曾颜.5G SPN 小颗粒带宽无损调整技术研究[J].网络新媒体技术,2023,12(03):27-33+66.

作者简介

袁刚(1990—),男,硕士,中级工程师,主要研究方向:传输网络规划设计。

刘丽萍(1989—),女,硕士,中级工程师,主要研究方向:无线频谱监测。

Research on key technologies of metropolitan transport network for 5G-A applications

YUAN Gang¹, LIU Liping²

1. China Information Consulting & Designing Institute Co., Ltd., NanJing 210019, China

2. Yunnan Radio Monitoring Center, KunMing 651500, China

Abstract: With the wide application of 5G technology, the global industry has initiated research and exploration on the next stage of 5G evolution technology. As the evolution stage of 5G, 5G-A has made significant upgrades in both functionality and coverage. Compared with 5G, it will achieve remarkable improvements in network speed, latency, and connection numbers. These performance enhancements pose more stringent requirements on the carrying capacity of metropolitan transmission networks. This paper deeply analyzes the key technical requirements of metropolitan transmission networks for 5G-A applications, elaborates on the service requirements and performance indicators of 5G-A, and thoroughly discusses the specific applications of ultra-high-speed optical transmission technology, small-granularity slicing technology, and network intelligence technology in metropolitan transmission networks, aiming to provide highly valuable technical references for building efficient, reliable, and flexible 5G-A metropolitan transmission networks.

Keywords: 5G-A, Metropolitan area transmission network, High-speed optical transmission technology, Small particle slicing technology, Network intelligence technology