

面向 5G 的承载网需求及关键技术

Requirements and Technologies of 5G Transmission Bearing Network

师严/SHI Yan

王光全/WANG Guangquan

王海军/WANG Haijun

(中国联通网络技术研究院, 北京 100048)
(China Unicom Network Technology
Research Institute, Beijing 100048, China)

相对于 4G 网络, 5G 将采用更宽的无线频谱, 并通过大规模多进多出 (MIMO)、高阶正交振幅调制 (QAM) 等技术提升空口带宽, 峰值带宽和用户体验带宽提升数十倍, 对承载网提出更大带宽需求; 远程医疗、自动驾驶等业务对承载网带来了超低时延 (1 ms) 和高可靠性的要求; 5G 网络的广域覆盖、高密度、大容量等的海量需求对承载网提出了低成本、低功耗及易维护的要求; 5G 网络的灵活智能和高效开放、网络功能虚拟化 (NFV) 技术的广泛应用, 推动承载网络采用软件定义网络 (SDN) 技术, 高效、敏捷、开放性地满足差异化的业务需求。同时, 5G 无线核心网架构的变化也促进承载传送网络架构和功能进行变革^[1]。

国际电信联盟无线电通信局 (ITU-R) 确定未来的 5G 具有以下三大主要的应用场景 (如图 1 所示): 增强型移动宽带 (eMMB)、大规模机器类通信 (mMTC)、超可靠低时延通信 (uRLLC), 这 3 类业务场景各具不同特点。

收稿日期: 2017-12-12
网络出版日期: 2018-01-06

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 01-0017-004

摘要: 认为 5G 传输承载网是支撑 5G 业务的基础。针对新的业务需求, 提出了低成本城域波分、高精度同步、低时延传送技术、FlexE 切片技术以及软件定义网络 (SDN) 控制等新技术, 以应对 5G 对传输承载网的传输能力、设备性能, 以及智能管控的挑战, 从而满足移动互联网、物联网等多种应用场景的需求。

关键词: 传输网; 5G 网络; 同步; SDN; 网络切片

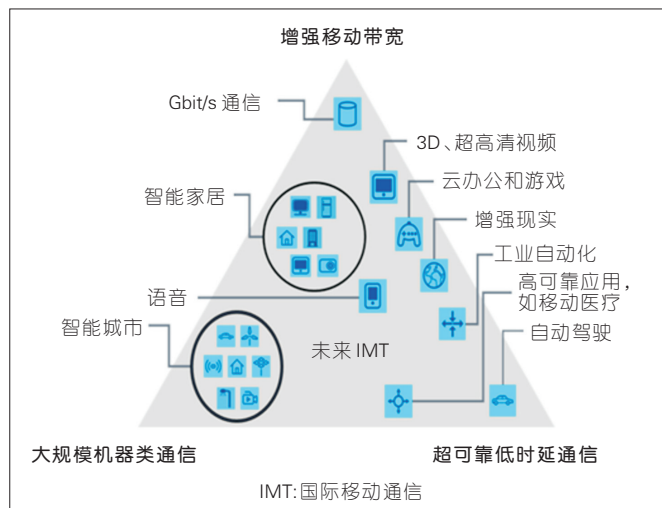
Abstract: 5G transmission bearing network is the base of 5G services. According to the new service demands, several key technologies are proposed in this paper, such as metro wavelength division multiplexing (WDM) with lost cost, high-definition synchronization, transport technology with low latency, network slicing with Flex-E and soft-defined network (SDN) technology. With these technologies, the challenges of 5G in transport ability, equipment performance and intelligent control can be well addressed, and the variable scenarios of mobile internet and Internet of things (IoT) can be realized.

Keywords: transmission network; 5G network; synchronization; SDN; network slicing

• eMMB 主要应对 4 K/8 K 超高清视频、虚拟现实 (VR)/增强现实 (AR) 等大流量应用。eMMB 是 5G 在 4G 移动宽带场景下的增强。目前的 4G 主流带宽为 20 MHz, 单基站的峰值吞

吐量目前为 240 Mbit/s, 而 5G 网络单基站的吞吐量是 4G 的 20 多倍, 空口带宽达到 100 ~ 200 MHz 甚至更高, 单用户的接入带宽可与现在的固网宽带接入相比。

图 1 ▶
5G 三大主要的应用场景



• mMTC 主要应对以传感和数据采集为目标的应用场景,如物联网等。mMTC 具有小数据包、低功耗、海量连接等特点。这类终端分布范围广、数量众多,要求网络具备海量连接的支持能力。mMTC 可以促进物联网的提质增速,人类与机器、机器与机器间的交流将能够更加智能和快捷。

• uRLLC 主要应对车联网、工业控制等垂直行业的特殊应用需求。为了应对无人驾驶、智能工厂等低时延应用,uRLLC 要求 5G 时延必须低于 1 ms。这类应用需要网络对巨大的数据拥有超高速、低时延等的处理能力。

1 面向 5G 的承载网需求和挑战

对于承载网而言,5G 的需求和挑战主要来自于网络带宽、网络时延、资源动态分配,以及差异化承载等几个方面^[1]。

网络带宽是 5G 网络的关键性指标之一。在 3.5 G 频段,按照带宽为 100 MHz 计算,单站峰值带宽将达到 5 Gbit/s,单站均值带宽也将能够达到 3 Gbit/s。5G 高频基站带宽为 20 Gbit/s,回传带宽主要与空口频率宽度和天线有关,高频点可用频率带宽会更宽,因此回传带宽需求会更大。

网络时延同样是 5G 网络的关键性指标之一。不同场景下对时延的要求不同,这也会导致对承载网架构的影响。eMBB 的低时延场景包括 AR/VR、高速列车、飞行器、任意 50 M 等,要求端到端(E2E)的时延不超过 10 ms;大规模物联网(IoT)的低时延场景包括可穿戴设备、视频监控等,要求 E2E 时延最小为 10 ms;Critical IoT 的超低时延场景包括触摸互联网、车联网/遥控驾驶、工业机器人等,要求 E2E 时延不超过 1 ms。

从 5G 业务颗粒和业务性能来看,eMBB 超大宽带、uRLLC 超低时延、mMTC 对时延不敏感的万物互联

等,对资源的利用和需求不同,存在动态的弹性需求。5G 网络灵活性具体体现在以下 4 个方面:

(1) 支撑全网资源灵活调度,满足潮汐效应等导致的流量波动;

(2) 支持流量的灵活路径调整,网络负载动态均衡;

(3) 网络开放、可编程,支撑新增业务快速部署;

(4) 组播能力,灾难/自动驾驶等场景下,信息快速推送。

5G 业务在关键绩效指标(KPI)差异化的需求明显,对网络的安全性也提出了更高的要求,如果像 4G 一样统一承载,仅仅依靠服务质量(QoS)很难满足 5G 三大场景应用需求,因此业界提出以网络切片来应对差异化承载。网络切片的目的在于通过切片实现差异化的服务,保证每种业务都能根据其业务特点得到最佳承载要求,同时切片有助于设备和存储资源的安全管理。承载网络需要思考前传/中传/回传网络如何满足 5G 不同场景下的差异化需求,以及考虑面向网络切片的承载网方案。

2 面向 5G 的承载传送网关键技术

5G 基站高密度、大容量、灵活部署的特点,以及到目前为止还有很大不确定性的网络部署架构,要求承载网应具备灵活、高效、低成本、智能的品质。在研究面向 5G 承载的技术方案时,主要考虑以下原则:

(1) 架构清晰,通过架构优化降低网络建设成本,提高网络灵活适应业务发展和 5G 网络部署不确定性;

(2) 网络稳定,适当集约,推动以综合业务接入点为目标的集中式无线接入网(C-RAN)部署,快速满足基站接入的需要;

(3) 网络智能,能够快速进行业务的优化调整,满足大量业务发展、调整;快速响应业务路由变化和调度;具备全网智能编排调度的能力;

(4) 低成本接入,研究和采用低

成本末端接入和边缘汇聚技术,降低接入段成本。采用合理的网络收敛机制,充分利用承载带宽;

(5) 综合接入承载,不但能够满足 5G 业务承载需要,还能够满足专线等业务承载的需要。

2.1 G.metro 低成本城域接入技术

由于 G.metro 系统支持室内和室外全场景复杂环境接入应用,可调光模块需要满足不同的工作环境要求(商业级、扩展级和工业级),尤其是用于室外环境。实现波长可调,自身没有很大技术挑战,目前已在 10 G/40 G/100 G 中广泛应用,难点和挑战在于如何实现低成本,满足城域接入层海量且成本敏感的应用场景。降低成本的主要途径有简化现有可调激光器结构及功能,设计新结构,引入新材料,并引入全新的共享波长锁定机制等^[2]。

5G 前传增强通用公共无线电接口(eCPRI)功能划分及带宽预估如图 2 所示,业内倾向于采用 I_b 和 I_c 切分,对于 100 MHz 频谱、64T64R、16 流的应用,eCPRI 接口需要支持 25 G 速率。移动前传应用工作距离较短(拉远光纤传输距离小于 20 km,绝大部分小于 10 km),基于低成本光器件和数字信号处理(DSP)算法的非相干技术成为主要选择。对于 25G 速率,可以通过不归零码(NRZ)、脉幅调制(PAM4)或光双二进制调制格式(ODB)/电双二进制调制格式(EDB)等调制方式实现。25 G 光模块主要在数据中心的短距应用和 100 G BASE LR4/ER4 应用,工作于单模光纤的单通道长距离 25 G 和密集型光波复用(DWDM) 25 G 光模块并不成熟,相关标准化工作尚未完成。25 G 电芯片和光芯片在逐步成熟中,部分厂家已发布 25 G DWDM 光模块,波长可调 25 G 光模块也即将发布^[3]。

2.2 低时延全光组网技术

超低时延是 5G 业务相对 4G 非常

	切片 D		切片 I ₀		切片 I ₀		切片 E
	用户数据/ (Gbit/s)	控制/ (Gbit/s)	用户数据/ (Gbit/s)	控制/ (Gbit/s)	用户数据/ (Gbit/s)	控制/ (Gbit/s)	用户数据/ (Gbit/s)
eREC→ eRE	3 (预估)	<<1	<4	<10	~20	<10	236
			切片 I _u				
eREC→ eRE	1.5 (预估)	<<1	~20	<10			236

eRE: eCPRI 无线设备 eREC: eCPRI 无线设备控制

▲图2 eCPRI 功能划分及带宽预估

重要的一个性能提升,对承载网提出苛刻的要求。因此,如何实现全光传送网是 5G 对承载网的一个关键点。

在前传,采用 G.Metro 技术实现全光接入网络,并能够实现固定与移动的统一承载;在中传段,超低时延全光传送网络拓扑示意如图 3 所示。利用 G.Metro 或波分复用(WDM)进行端口汇聚;在核心汇聚层,通过可重构光分插复用器(ROADM)灵活的光层调度,减少电交叉部分的业务调度量,实现光层直达,免去了中间不必要的光-电-光转换,减少端到端的时延,降低整网功耗通过简化光传送网(OTN)映射封装路线,减少映射复用层次等技术,提高 OTN 封装和解封装的效率,从而降低 OTN 设备的单点时延。此外,通过引入 SDN 技术,实现分组与光融合后的统一控制,集中计算多层网络下的最优转发路径,实现对全网光层的有效管理,最大程度

减少传输时延。

2.3 高精度同步传送技术

对于 5G 基本业务,第 3 代合作伙伴计划(3GPP)目前已经确定时间精度指标要求为 $\pm 1.5 \mu\text{s}$,标准将在 2018 年 6 月正式发布。对于 5G 超短帧等需求,目前 3GPP 尚未确定具体指标,可能在几百纳秒量级的水平。采用以下两种方式:

(1)提升单设备静态误差性能,但基于不带来较大成本提升的原则,将单个 1588v2 的边界时钟(BC)设备静态误差由现有的 20~25 ns 提升至 10~15 ns。

(2)5G 承载传送中采用 G.Metro 技术。G.Metro 技术中的头端设备(HEE)及尾端设备(TEE)设备之间仅为一跳,其中经过的设备均为无源设备,不影响时间同步的传递精度。采用 G.Metro 方式的优点为:可以大幅度减少链路经过跳数,提高时间传

递精度;G.Metro 技术本身为单纤双向,可避免因为链路非对称性产生的时间误差,进而可以提高网络时间传递精度。

对于载波聚合、MIMO 等特殊业务,指标要求甚至达到几十纳秒量级,可考虑采用将小型化时间同步节点设备下沉至靠近 5G 基站位置,减少链路所经过节点跳数,提高时间同步精度^[6]。

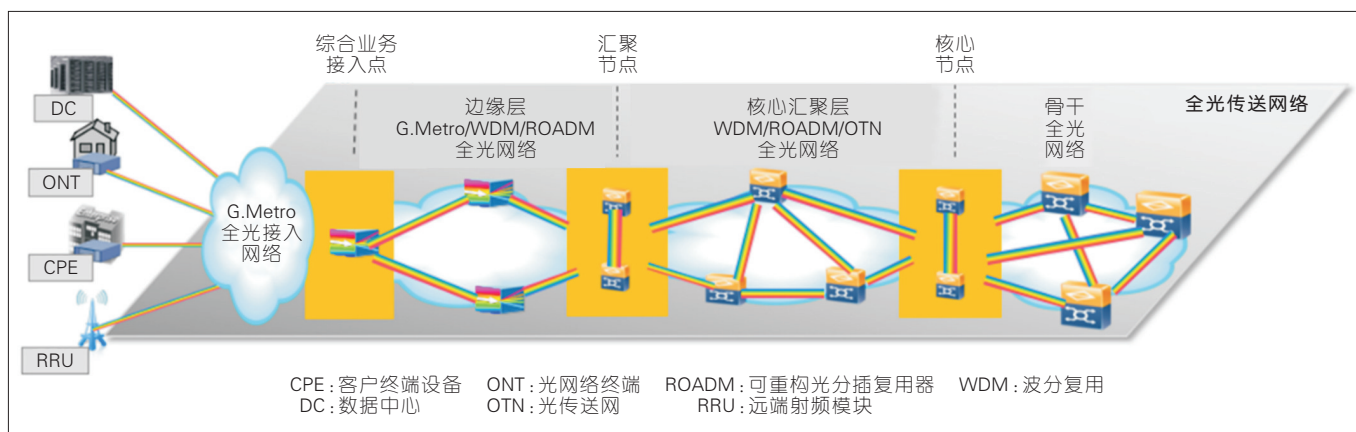
2.4 端到端智能管控

面向 5G 的承载网络具有海量连接、大流量、灵活调度等特点,同时在中传段与回传段之间,以及回传段本身均存在 IP+光的异构网络协同需求,因此对于管理和运维均提出了新的挑战。面对这些新的需求,5G 承载网将全面引入 SDN 技术,实现端到端智能管控。

SDN 管控运维系统应同时具备网络规划仿真、网络业务部署和发放、网络监测控制、保障和优化等功能,目标是实现网络连接服务从月到天甚至分钟级的快速开通;实现规划、部署、监测控制、维护和保障的智能化运营,大幅度提升运维效率,极大地降低运营成本(OPEX)。

基于 SDN 的管控系统应具备如下功能:

(1)全局管控,智能调优。智能的路径计算,包括提供低时延路径、链路负载均衡,一方面可以满足用户



▲图3 超低时延全光传送网络拓扑示意图

体验要求,满足不同业务服务等级协议(SLA)需求;另一方面,基于全局算路和调优,可以提升整网的带宽利用效率。

(2)跨网协同,统一管控。基于SDN系统的控制模块可以支持跨域协同,包括跨承载网自治域的协同,以及未来光网络等网络协同,将传统网络中部门之间的人工协作转变为机机交互,提升效率。通过北向开放,SDN系统支持包括专线业务自动发放APP等网络应用,具备网络业务快速发放,带宽快速调整,故障快速恢复等功能。

SDN系统可以针对用户的不同业务,对丢包率、误码率、时延、抖动等KPI指标进行高精度测量,支持快速故障定界和定位,对流量趋势进行精准评估和预测,对不同类型的客户提供差异化的服务和保障。同时,基于丰富的大数据汇总和实时分析对于告警数据、流量数据等进行智能分析,提高网络运维效率,自动提供有效的承载网络优化建议。

2.5 FlexE 与网络切片

对于网络切片的应用,无论是企业专线、低时延业务SLA保证,还是垂直行业的独立管控,综合承载多业务之间的隔离,本质上都是要求分片网络之间需要做到一定程度的刚性或弹性的隔离。

FlexE在普通以太网基础上定义了基于 $N \times 5G$ 的多种子速率可配置、调整以及Client层的互连互通机制。FlexE定义为以太网L2(媒体接入控

制(MAC)/L1(物理层(PHY))之间的中间层FlexE Shim,是以太网的多速率子接口在多PHY链路上的新技术^[7]。FlexE应用场景包括:

(1)适配路由器不同业务子接口与通道化灵活以太网,实现路由器端到端直连硬管道,实现5G不同业务和客户的网络要求;

(2)通过可变带宽以太网,路由器子接口与光网络ODUflex管道结合起来,实现IP+光进一步协同;

(3)端口捆绑,如将 $N \times 100$ GE捆绑成的超100 GE大管道接口。

FlexE技术是实现网络切片的主流技术方案之一,基于Flexible Ethernet可以建立端到端FlexE硬管道,提供约束延时/低延时/低抖动、实时业务的IP承载网络。

3 结束语

5G时代将开创一个新的产业,从以前的网络为中心变为以业务为中心,从以前的以人为中心变为以人和物为中心。5G网络中,承载网是不可或缺的一部分,同时也面临着超低时延、大带宽、高灵活性、超高精度时间同步等挑战,面对5G不同应用场景,需要引入G.metro低成本城域接入、可调谐激光器、25G光模块、高精度时间同步传送等技术,以低成本建网,充分利用现有网络资源和产业链成熟快速的部署为原则,以满足eMMB、mMTC、uRLLC等应用场景下的多样化的业务需求。

参考文献

[1] IMT 2020 推进组. 5G网络技术架构白皮书

[R]. 2015

- [2] LI H, HAN L Y, DUAN R, et al. Analysis of the Synchronization Requirements of 5G and Corresponding Solutions[J]. IEEE Communication Standards Magazine, 2017, 1(1):52-58
- [3] 中国移动. 迈向5G-C-RAN:需求、架构与挑战[R]. 2016
- [4] ITU-T. Draft New Recommendation ITU-T G. Metro (version 0.10)[R]. 2017
- [5] OTN transport of CPRI Signals: ITU-T G. sup.56[S]. 2015
- [6] Considerations on Sync Requirements and Network Budget for 5G: ITU-T C165[S]. 2017
- [7] Flexible Ethernet Implementation Agreement: OIF-FLEXE-01.1[S]. 2017

作者简介



师严,中国联通网络技术研究院高级工程师;研究方向为光传送网技术、SDN智能控制技术等;已发表论文10余篇。



王光全,中国联通网络技术研究院网络技术研究部处长,教授级高级工程师;研究方向为传输网络咨询、规划、设计和应用;负责并主持了30余项国家大中型工程的可行性研究和设计工作,获得省部级以上奖项30余项;发表论文30余篇。



王海军,中国联通网络技术研究院教授级高级工程师;研究方向为传输网络的咨询、规划、设计和应用;先后主持20余个传输大中型工程、新技术应用工程项目的设计和规划编制工作,荣获15项省部级优秀咨询、设计、工程、科技进步奖项。