

5G 回传的分组切片网络架构和关键技术研究

Slicing Packet Network Infrastructure and Key Technologies for 5G Mobile Backhaul

赵福川/ZHAO Fuchuan
温建中/WEN Jianzhong

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳
518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

中国分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 04-0002-006

摘要: 研究了 5G 回传网的新型切片分组网络架构和关键技术。在结合分段路由、以太虚拟专用网(EVPN)技术和 L3 到边缘部署方案的基础上提出极简 IP 网络技术, 还研究了切片技术、新型光模块技术、网络自动化在 5G 回传网络中的应用。提出将这些新技术有机融合在一起的新型自动化 5G 回传网络架构, 为 5G 回传网络的技术发展和网络建设提供重要依据。

关键词: 5G 承载; 回传; FlexE; 分段路由; EVPN; 网络切片; 软件定义网络(SDN)

Abstract: The new slicing packet network infrastructure and key technologies for 5G backhaul network are introduced in this paper. Integrating the segment routing, Ethernet virtual private network (EVPN) technology and L3 to edge deployment scheme, the minimized IP network technology is proposed. Meanwhile, the application of slicing technology, new optical module technology and network automation in 5G backhaul network are studied. Then a new automatic 5G backhaul network architecture which organically integrates these new technologies is put forward. And this architecture provides an important basis for 5G backhaul technology development and network construction.

Keywords: 5G bearing; backhaul; FlexE; segment routing; EVPN; network slicing; software defined network (SDN)

1 5G 回传的承载需求和 分组切片网络架构

4G 改变生活, 5G 改变社会。5G 的“万物互联”带来的不仅有移动通信网络的性能提升, 还有一些新的商业应用模式, 支持包括增强移动宽带(eMBB)、超可靠低时延通信(uRLLC)和海量物联网通信(mMTC)三大应用场景, 5G 基站回传的带宽相对 4G 提升 10 倍以上, 时延需求比 4G 降低 10 倍以上, 连接数量相比 4G 提升 10 倍以上, 性能指标的提升推动承载网技术的发展。

5G 基站回传接入带宽迅猛增加, 使得回传业务量达到数百吉比特每秒到数太比特每秒。5G 核心网整体架构相对 4G 的变化主要体现在核心网云化, 控制和转发分离, 核心网用户面功能(UPF)可以分布式部署。5G 核心网引入了移动边缘计算(MEC), 通过本地化分流减小时延和

传输开销, 增强不同类型的业务体验, UPF 和 MEC 可以按需下沉到汇聚层或综合业务接入点。在这个架构下回传网络的部署方案从集中式向分层分布式网络演进, 网络的连接相对 4G 更加复杂, 倾向于网状网化。

为了降低单比特传输成本, 需要采用低成本的新型光模块支撑海量带宽的传输, 同时运营商希望在一张承载网上实现包含 5G eMBB、uRLLC 和 mMTC 业务, 政企专线和固网宽带在内的综合业务承载, 实现统一的运维。不同业务对承载网络服务质量(QoS)要求存在较大差异, 如何实现不同业务的隔离, 满足大带宽、低时

延和灵活大连接的业务需求, 现有承载网的架构和技术面临较大的挑战。

4G 的承载网是基于 IP 的分组传送网络架构, 业务隔离技术采用的是虚拟专用网络(VPN)的地址空间隔离方案, 各种业务共用一张公网, 并通过 QoS/H-QoS 提供业务连接的服务质量保证。传统的 IP 网络 QoS 模型则是建立在统计复用的基础上, 转发时延与流量突发和缓存设置相关, 难以提供有边界的时延和时延抖动保证。

新一代 5G 切片分组承载网络采用高效的以太网内核, 通过 L0—L3 多层网络技术融合, 实现 IP、以太网

收稿日期: 2018-07-09

网络出版日期: 2018-08-08

基金项目: 国家科技重大专项
(2017ZX03001016)

和固定比特率(CBR)业务的综合承载,层网络模型如图1所示。

其中,切片分组层提供对 L1/L3 业务的寻址、转发和封装处理,在分组层通过分段路由(SR)隧道技术建立业务连接,切片通道层提供 L1 层的硬管道业务连接,为分组层提供低时延确定性网络通道。切片传输层采用光互联网论坛(OIF)灵活以太网(FlexE)技术和 IEEE 802.3 以太网技术,利用新型光模块技术和以太网的产业链优势,支撑大带宽低成本建网,支持以太网+密集型光波复用(DWDM)技术,实现 10 Tbit/s 以上传输容量和长距离传输^[1-2]。

5G 切片的分组承载网的架构如图2所示。

移动回传网络包含接入层、汇聚层和核心层3个层次。在回传网络接入层,基于硅光及4级脉幅调制(PAM4)技术的非相干 50 GE 以及 100 GE 新型光模块技术引入,将有助于降低大带宽的组网成本。在回传网络的汇聚和核心层,中长距离的组网需求驱动基于硅光的彩光相干 100 GE、200 GE、400 GE 光模块融合 DWDM 技术的引入和应用,使得单纤

或单端口的容量可扩展至数 T 级别。5G 业务是逐步发展的,承载网络线路侧带宽可根据业务需求逐步扩展,FlexE 的物理链路捆绑扩容技术可以提供一种带宽平滑扩容的解决方案,帮助运营商分阶段进行网络投资,降低初期投资成本^[3]。

2 5G 承载关键技术和解决方案

2.1 极简 IP 网络技术

5G 回传网推动 L3 下沉到网络边缘,为了简化 L3 下沉带来的网络运

维复杂性和成本,需要引入极简的 IP 网络技术,如图3所示。

SR 是一种源路由技术,SR 隧道的信息只存放在路径的头节点,路径上的其他节点不感知业务,无需为连接维护状态,仅在头节点修改 SR 标签栈就可以对业务路径进行调整。采用 SR 技术可大大简化转发面的信令控制协议,实现路由控制和转发面的解耦,结合 SDN 控制器可以很好地实现网络编程能力。由控制器维护全局的拓扑和流量工程信息,根据业务请求和路由路径策略计算形成满足条件的业务路径,并根据网络状态

图1
切片分组网络层
网络模型

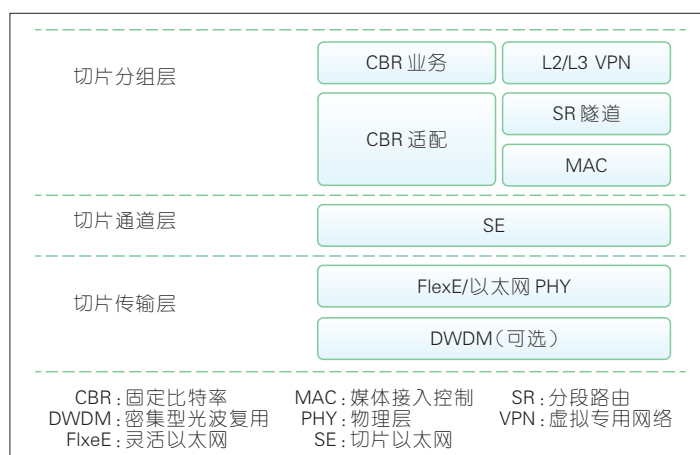
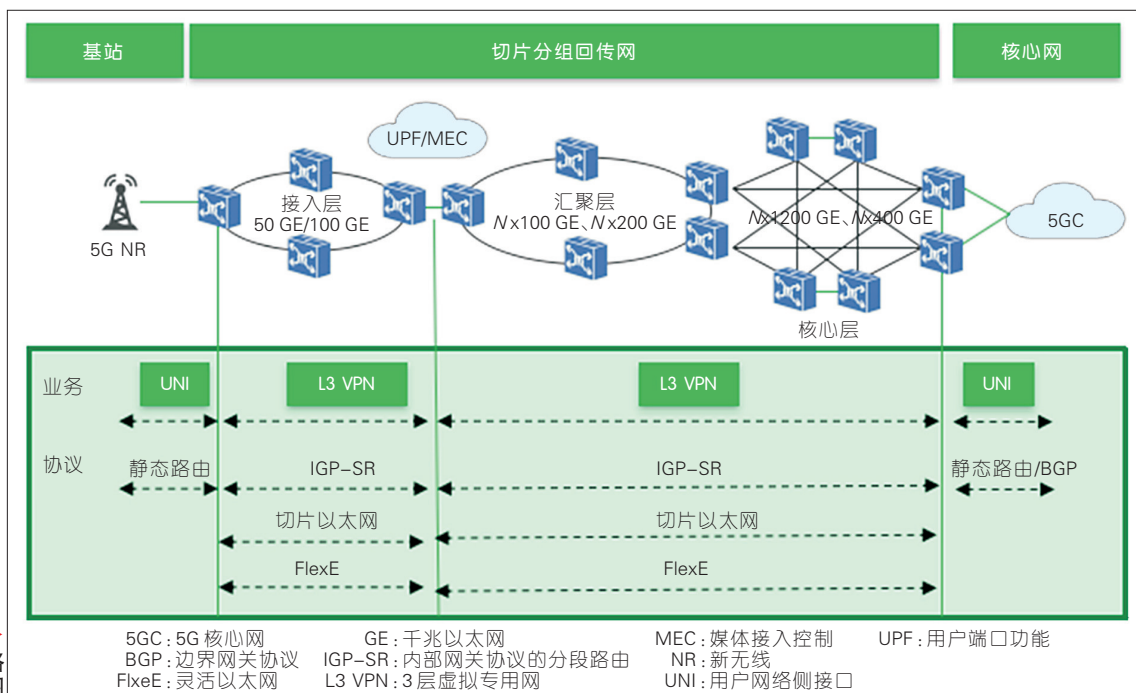
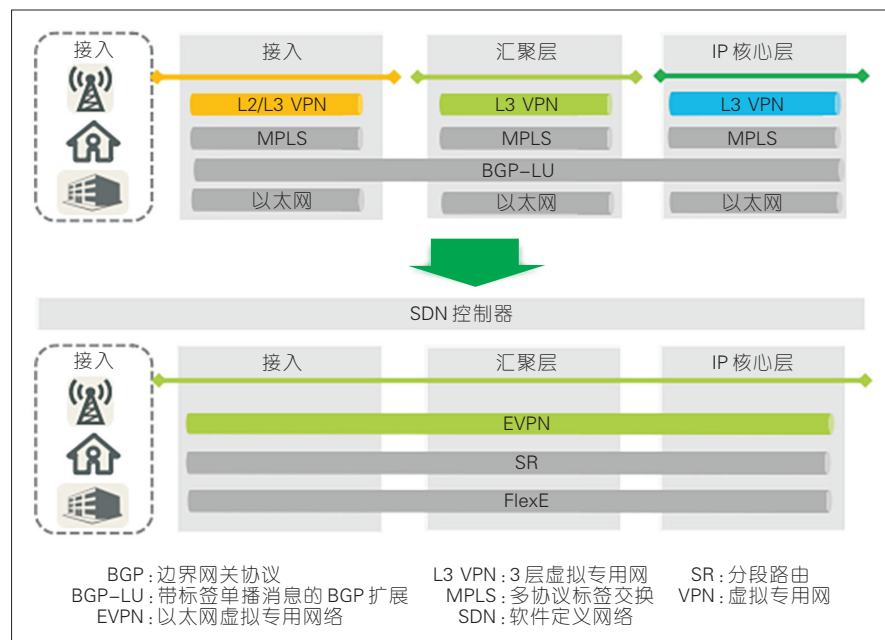


图2
5G 移动回传网络
架构图





▲图3 极简IP网络技术

实时调整路径,实现业务闭环控制^[4]。

SR的传送应用(SR-TP)是在SR隧道基础上面向传输运维增强的技术。传统的SR流量工程(SR-TE)隧道是单向的,只在源节点维护隧道路径信息,无法实现双向隧道关联,提供物理同路径的双向端对端隧道的操作管理维护(OAM)检测能力。SR-TP通过在隧道标签栈内层再增加一层路径标识标签来实现双向隧道关联,在SR-TP上继承了传统多协议标签交换传送应用(MPLS-TP)OAM,可实现传输隧道双向OAM的检测能力,既有利于运维,又具备与传统MPLS-TP网络的兼容能力。

以太网虚拟专用网络(EVPN)是一种能替代传统虚拟专用局域网业务(VPLS)提供2层VPN业务的技术。EVPN克服了传统网络中大量的广播/未知播/组播(BUM)报文占用带宽资源,并在网络拓扑变化后,媒体接入控制(MAC)/地址解析协议(ARP)收敛速度慢的问题^[5]。EVPN还解决了VPLS业务可扩展性差、带宽利用率不高、运维复杂等一系列的问题。EVPN还扩展RT5路由实现了L3VPN功能。这样在业务层面,采用

EVPN技术则可以实现L2/L3 VPN的统一控制。

SR和EVPN分别作为网络层和业务层的全新技术,不但解决了之前网络面临的扩展性、灵活性和易用性的问题,其高效和统一的控制面还实现了极简网络的部署。同时,两者都可兼容已有的MPLS网络,与软件定义网络(SDN)实现无缝融合,是5G回传灵活大连接的有效解决方案。

2.2 承载切片技术

5G的网络引入了切片的概念。网络切片是一组专业的逻辑网络的集合,该集合作为服务支持网络的差异化,满足垂直行业的多元化需求。5G的网络切片实例是一个端到端的逻辑网络,由一组网络功能、资源和连接关系组成。不同的切片提供不同的网络功能和特性,切片对承载网的QoS、业务隔离和可靠性提出了更高要求。传统的承载网共用一张公网,网络资源的预留和路由计算能力难以满足切片的要求^[6]。

5G承载切片的网络架构如图4所示。

承载网网络切片是通过业务驱

动形成的对网络拓扑资源(如:节点转发表项、缓存、端口、子端口等)的预留和抽象,按需组织形成多个虚拟网络vNet,每个虚拟网络对应于特定的转发资源和拓扑,不同虚拟网络之间可以采用硬隔离或者软隔离方式,取决于需求。在切片分组网络中的硬隔离技术包括物理端口、FlexE客户端子接口以及由分层以太网创建的硬管道,如图5所示。

切片以太网技术(SE)将以太网组网技术从L2扩展到L1,客户业务在源节点映射到特定的FlexE客户端,在中间转发节点则基于SE进行66 bit块的交叉,在目的节点从FlexE客户端解映射出客户业务,这样在L1层可以建立一条从源到宿的端对端传输路径。这个切片技术在以太网上提供了具有比特透明、超低时延和确定性网络性能,可以很好地满足5G uRLLC和大客户专线业务的承载要求。

软隔离主要是利用分组网的H-QoS和时间敏感网络(TSN)技术预留隧道所需的转发资源。软隔离技术的特点在于可以实现带宽的统计复用,其中IEEE TSN中提供了MAC层低时延业务调度的优先级抢占调度机制,可以改善低时延业务的性能。

2.3 新型光模块技术

5G承载网切片传输层最大的挑战是海量的带宽增长,而带宽的增长势必带来光模块成本的大幅增加,因此5G阶段新型光模块技术的关键需求是降低每比特、每千米的传输成本和功耗。针对传输技术适应市场对带宽增长的需求,未来对新型光模块技术的需求如下:

(1)直接提升信号波特率,提升传输带宽,例如:波特率从4G时代的6 GB/10 GB,提升至25 GB甚至可以到56 GB。

(2)采用高阶调制及数字信号处理技术,提升频谱效率和传输性能。从传统的不归零码(NRZ)走向高阶

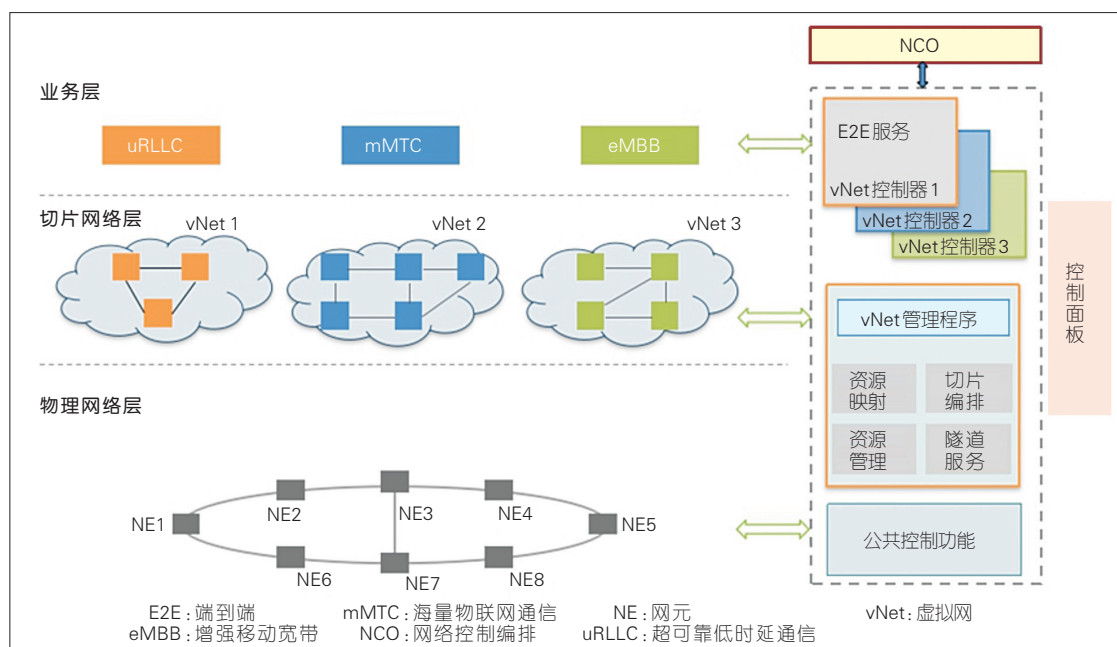


图4
切片分组网络架构

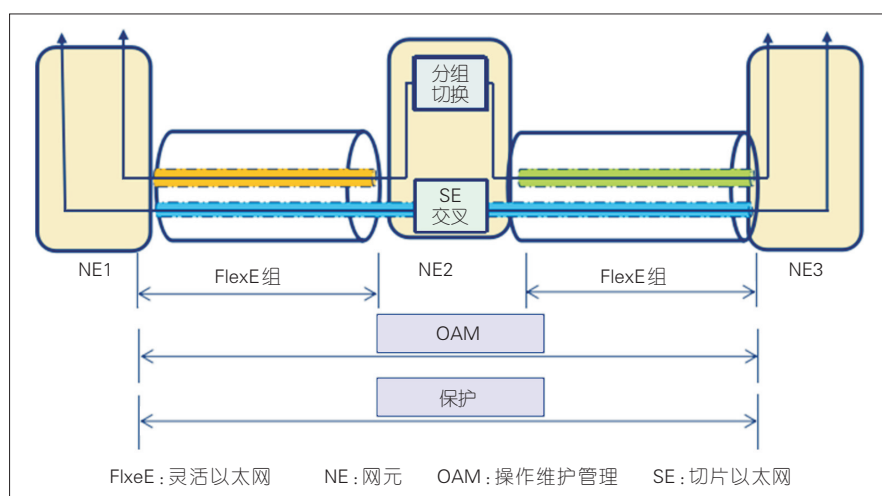


图5 切片分组网络的硬管道隔离技术

调制,如短距场景下采用PAM4、离散多音频(DMT)调制技术等,长距场景下采用正交相移键控(QPSK)/正交振幅调制(16QAM)相干调制技术等。

(3)提升光器件集成度,增加波长和通道数量,例如:采用 $N \times 25$ G、 $N \times 50$ G甚至 $N \times 100$ G集成。

(4)基于硅光技术、光电集成封装的高集成、小封装、低功耗的低成本光器件技术。通过技术创新降低器件的功耗和成本。

5G 承载网城域应用光纤传输距离一般在 10 ~ 80 km,应用场景从接

入层到汇聚/核心层。接入层组网集中在 40 km 以内,主要是 10 km 以内的短距组网应用场景;汇聚/核心层组网集中在 40 ~ 80 km 的中长距组网应用场景;核心网组网集中在 80 km 左右的长距应用场景,部分应用场景可能需要支持 80 km 以上,甚至达到 100 km 的传输距离。光模块主要可以分为 10 GE、25 GE、50 GE、100 GE、200 GE、400 GE 等多种速率。光模块封装一般选择小型外形封装可插拔光模块(SFP+)/SFP28/四通道的 SFP (QSFP 28)/100 G 技术外形封装可插

拔模块(CFP)/CFP2/CFP8 等封装。

如图 6 所示,5G 承载网接入层以 $N \times 50$ GE/ $N \times 100$ GE 速率为主,具体采用 50 GE 还是 100 GE,业界还有争论,取决于光模块吉比特成本、产业链成熟度及应用场景。业界 50 GE 光模块主流标准封装类型是 SFP 56,限于封装体积较小,目前最大只能支持到 10 km 的传输距离;而采用 QSFP 28 封装的 50 G 光模块为非标准方案,其产业链暂不够成熟,竞争不充分,成本相对较高,且短期内大幅度降成本可能性较小。而与之同封装类型的 100 G QSFP 28 为标准方案,产业链相对成熟,吉比特成本是 50 GE 光模块的一半,后续随量的增加,成本会进一步降低。同时,业界已推出了基于硅光的 100 G QSFP 28 单载波光模块,规模商用后其成本优势非常明显。因此,从网络运营效率看,接入层首选为 100 GE。100 GE 业务广泛应用于运营商市场,在数据中心也是主流业务。至于 50 GE 光模块还有待产业链进一步成熟和明晰。

5G 承载网汇聚层以 $N \times 100$ GE、 $N \times 200$ GE 速率为主,100 G 产业链相对比较成熟,传输距离目前可以覆盖承载网城域应用,主要包括 40 km 和

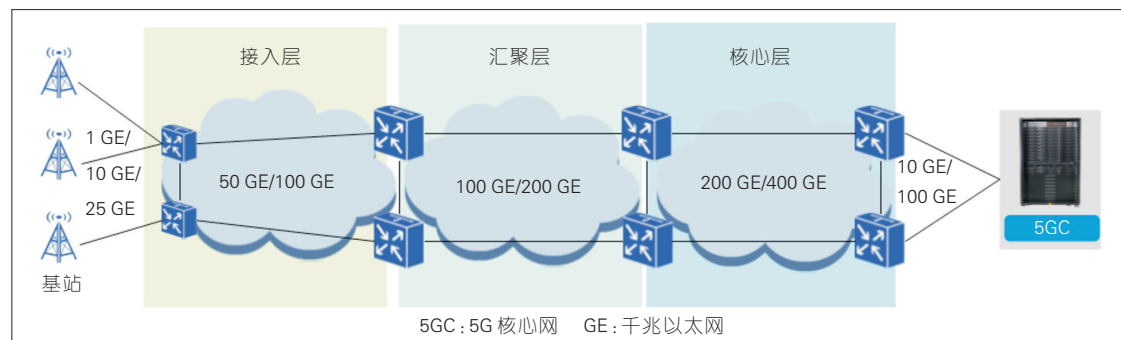


图6
5G承载网网络分层
及组网速率需求

80 km长距组网场景。200 GE光模块业界主流技术同时支持100 G/200 G的速率，OIF近期发布了采用数字相干技术的CFP2 (DCO-CFP2) 相干标准草案《IA # OIF-CFP2-DCO-01.0 Draft》，定义了DCO-CFP2实现100 G、200 G、300 G、400 G以太网及光传送网(OTN)应用，电口为 $N \times 25$ G，兼容 $N \times 50$ G PAM4，这给系统设备及网络升级维护带来极大的方便。

5G承载网核心层以 $N \times 200$ GE、 $N \times 400$ GE速率为主，400 G非相干技术标准已于2016年发布，OIF 400 G ZR DWDM相干技术草案《400 G ZR IA # OIF-400ZR 0.6-Draft》也于2018年初发布，目标400 G-DCO 80 km，加OA可达120 km。目前业界400 G光模块光电接口有多种实现方式，对应

多种封装形式。根据具体应用场景不同，业界对400 G封装选择争议较大，市场需求暂不明晰。基于此，400 G在5G承载网初期可以选择技术更加成熟的 16×25 G Serdes方案，在未来基于50 G PAM4 Serdes芯片技术成熟后，可有更多选择。

2.4 5G 自动化回传网络架构

5G是开放的网络，它面向垂直行业的各种应用，推动各行业的数字化转型，提升产业化的效率。5G网络通过终端、无线、承载和核心网的端对端切片提供各种业务功能和网络特性。回传网络的自动化是业务闭环的一个重要环节，网络自动化的架构如图7。

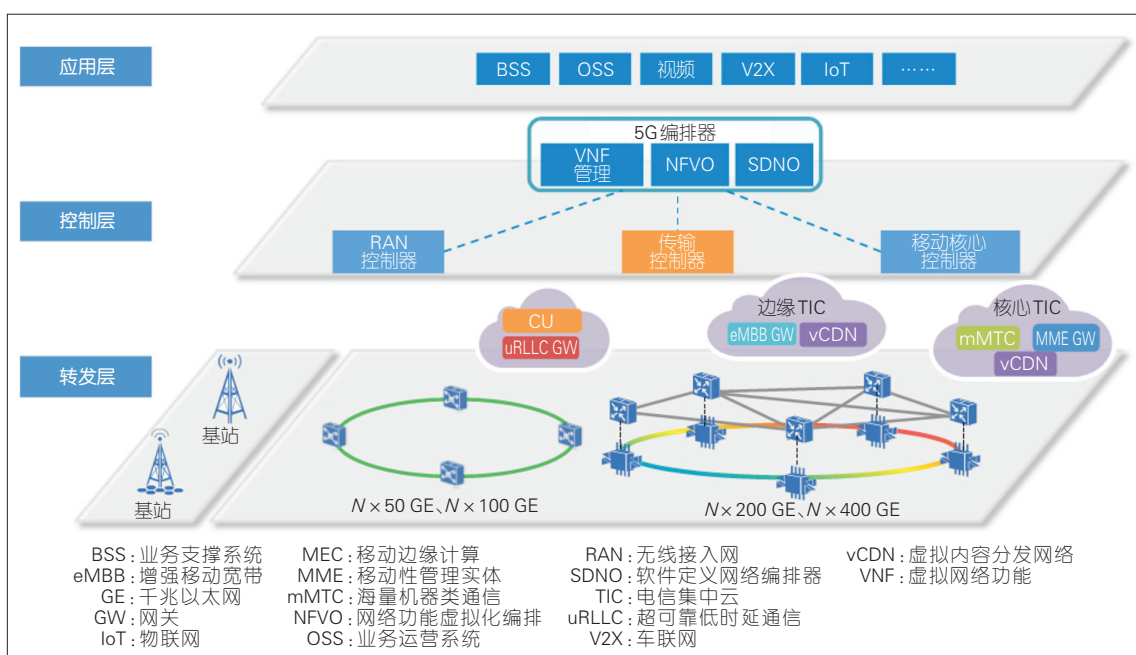
回传网络采用管控合一云化系

统支撑端到端业务快速上线，实时感知用户体验，预测性分析和主动优化，实现全流程的智能自动化，有效解决5G时代网络应用给承载网带来的诸多挑战。回传网络自动化体现在以下几个方面：

(1) 快速建设和业务部署自动化。采用网络规划工具对基础设施进行设计，实现网络部署ZeroTouch，业务规划工具提供端到端业务流程的设计，实现运营商业务可编程。客户通过APP订阅业务、控制器/编排器自动开通业务，实现业务开通ZeroTouch。

(2) 智能保障。基于人工智能(AI)知识的保障解决方案，包括告警、性能采集模块、知识库模块、策略中心模块、网络监测控制模块以及网

图7
5G端到端网络自动化技术架构



络自愈模块,可以实现实时网络状态监测、telemetry 自动测量,并可以依据知识的故障准确定位,进行业务自我修复,网络保障处理时间由天变秒,效率得到指数级提升。

(3)流量预测。基于历史流量数据的分析及优化算法,可实现对流量的忙时及闲时预测、未来预测。其中忙时及闲时预测,引导新建网络合理地网络资源分配,引导旧网络更好地运维;未来预测则可以提前预测流量高峰,及时进行网络调整和扩展,提高运维效率,自动、智能和准确地获取网络流量预测。

(4)业务自愈。针对多节点、多链路故障场景,系统依据故障影响业务分析,自动智能化计算恢复路径和资源优选,进行业务恢复动作并通告业务恢复正常。针对网络劣化场景,系统依据告警劣化与性能劣化分析,判断网络风险,在必要时实施故障预案,如对业务增加保护或预置路由,故障发生时基于预案自动恢复业务。

(5)端到端协作。基于统一信息模型、可视化设计、自动化测试完成切片设计闭环,构建跨无线接入网

(RAN)、核心网(CN)、骨干网(BN)的网络切片自动化闭环保障,实现统一的端到端(E2E)切片编排管理,面向客户的端到端切片服务。对承载网,需要匹配网络分片需求,提供不同分片之间的严格隔离,并与无线、核心网统一编排实现分片管理的自动化。

3 结束语

本文介绍了面向 5G 回传的切片分组网架构和关键技术。切片分组网是一个融合 L0—L3 的多层融合网络,采用以太网作为物理层,通过新型光模块及光电子器件技术实现低成本、海量带宽的传输,并支持 SR-TP 源路由隧道、EVPN 的极简 IP 网络,还可以通过软硬隔离的网络切片满足不同类型业务的网络服务等级协议(SLA)要求,通过开放的 SDN 集中管控、大数据和 AI 融合实现网络的自动化,支撑满足 5G 网络的开放、敏捷和高效的新型运维体系。

参考文献

- [1] OIF. Flex Ethernet Implementation Agreement: OIF-FLEXE-01.0[S].2016

- [2] IETF. Segment Routing Architecture:draft-ietf-spring-segment-routing-10[S]. 2016
[3] 程伟强.切片分组网络(SPN)总体技术要求研究报告[R]. CCSA, 2018
[4] 黄金日,段然. 迈向 5G C-RAN:需求、架构与挑战[R].2016
[5] China Mobile, Huawei, Deutsche Telekom, et al. 5G Service-Guaranteed Network Slicing: White paper V1.0[R]. 2017
[6] LI H, HAN L, WANG L. Analysis of the Synchronization Requirements of 5G and Suggestion on New Network Reference Model:CONTRIBUTION 2099 R1[R].2016

作者简介



赵福川,中兴通讯股份有限公司承载网产品线规划总工;主要研究方向为 5G 承载、PTN 和 IPRAN 产品规划;承担国家重大专项 1 项;获得国家科技进步二等奖 2 项、省部级奖励 2 项等;申请专利 10 余项。



温建中,中兴通讯股份有限公司承载网产品规划经理;主要研究方向为 5G 承载、PTN 和 IPRAN 产品规划;参与国家科技重大专项课题 1 项,参与 IMT-2020 5G 承载工作组工作,申请专利 10 余项。