



专栏：5G 商用和演进

5G 承载网关键技术及发展

马培勇¹, 吴伟², 张文强², 杨广铭¹, 杨锋²

(1. 中国电信股份有限公司研究院, 广东 广州 510630;

2. 中国电信股份有限公司, 北京 100032)

摘要: 5G 在业务场景、接入网、核心网等多个方面将发生显著变化, 对承载网提出了“更大带宽、超低时延、高可靠性”的要求以及网络切片、灵活组网等新需求。结合 STN 架构, 分析了 STN 的 SRv6、FlexE、随流检测、智能管控等关键技术, 并对 STN 和 SPN 进行对比分析, 给出了 STN 5G 业务具体承载方案, 满足了 5G 2B 和 5G 2C 业务差异化承载。

关键词: 智能传送网络; SRv6; 灵活以太网; EVPN

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020245

Key technologies and development of 5G bearer network

MA Peiyong¹, WU Wei², ZHANG Wenqiang², YANG Guangming¹, YANG Feng²

1. Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China

2. China Telecom Co., Ltd., Beijing 100032, China

Abstract: 5G will have significant changes in business scenarios, access network, core network and other aspects. It puts forward the requirements of “larger bandwidth, ultra-low delay and high reliability” for bearer network, as well as new requirements for network slicing and flexible networking. Combined with the STN architecture, the key technologies of STN were analyzed, such as SRv6, FlexE, flow detection, intelligent control, etc., and the STN and SPN were compared, and the specific bearing scheme of STN 5G service was given, which met the differentiated bearing of 5G 2B and 2C services.

Key words: smart transport network, SRv6, FlexE, EVPN

1 引言

5G 应用的三大场景, 包括增强的移动宽带业务 (eMBB)、超高可靠低时延业务 (uRLLC)、海量机器通信 (mMTC), 其中 eMBB 主要应用于个人客户 (5G 2C), uRLLC 和 mMTC 主要应

用于企业客户 (5G 2B)。

(1) 5G 2C 业务的需求和挑战

5G 2C 业务 eMBB 是 5G 最先规模商用的业务, 比如超高清直播、VR/AR 等, 对带宽的要求显著增大。无线侧接口带宽从 GE 到 10GE/25GE, 预计在承载网上的流量将提升 10 倍以上, 承载网

需引入高速端口提升容量。

(2) 5G 2B 业务的需求和挑战

5G 2B 业务类型和具体承载指标具有较大的不确定性, 2B 业务对承载网的挑战主要集中在低时延和高质量保障方面。不同 2B 业务的业务网关和流量流向也有明显区别。目前相对有较明显需求的 2B 业务可以分成三大类, 5G 2B 业务需求见表 1。

5G 2B 业务对承载网除安全性、可靠性、分组丢失率、时延等方面有更高要求之外, 不同行业客户对网络性能和 SLA 保障需求存在很大的差异性, 且业务需求变化快, 在业务可定制、云网集成的灵活性方面随时可能提出更多新的个性化需求, 要求运营商持续提升组网及软硬件集成服务能力, 使 5G 承载网能充分满足多业务差异化融合承载和保障的需求, 同时具备敏捷平滑演进能力, 可迅速满足新出现的业务形态和场景的承载需求。

(3) 核心网云化给承载网带来的需求和挑战

5G 新业务驱动核心网云化, MEC 下沉至边缘 DC 甚至园区以降低时延, 业务流向呈现 mesh 化、网随云动、云网融合, 要求承载网需具备敏捷的连接调度能力, 实现基站到核心网及用户网络灵活连接。为满足核心网切片部署, 要求承载网适配上层业务切片的需求, 具备安全隔离的切片能力。

(4) 运营商在 5G 时代面临的挑战

与 5G 业务承载需求相比, 现有的移动承载网在 5G 承载方面还存在以下挑战。

- 投资压力, 在满足业务需求的前提下, 5G 基站的覆盖密度和单基站功耗均为 4G 基站数倍, 因此要求运营商必须快速发展业务, 尤其是高价值的 2B 业务, 在保证网络性能的前提下降低投资成本, 以实现快速成本回收和盈利, 保证 5G 业务可持续健康发展; 这就要求 5G 承载网具备低成本、高可靠、高性能的特性, 具备快速业务发放、快速故障检测排除的能力。
- 超海量业务快速开通与管控能力不足, 5G 基站的高密度覆盖, 使得 5G 承载网网元数量剧增, 要求承载网管控系统在不增加运维工作量和运维成本的情况下, 具备秒级业务开通能力、超海量网元性能采集、告警和管控能力, 可使得端到端业务流程自动化闭环; 而现有的管控系统需要基于业务订单手动编排网络资源, 只能实现分钟级业务开通, 无法实现相关流程端到端自动化闭环, 可管控的网元数也无法满足 5G 承载的需求。
- 业务体验感知和优化能力不足, 现有管控系统缺乏对实际业务流量访问体验的检测机制, 也缺乏对根据不同业务流量的 SLA 要求和网络性能优化其转发路径的机制, 难以满足不同业务融合承载的需求。
- 设备能力标准化程度不足, 在现有标准化框架下, 不同厂商的关键技术实现和产品演进路线仍存在差异, 导致跨厂商解耦组

表 1 5G 2B 业务需求

类别	主要应用	端到端时延需求	质量保障	业务网关 (MEC/UPF) 位置	业务流量流向
低时延类	智能制造、智慧电网、矿山、港口、无人机等	一般 20 ms 内, 最多不超过 30 ms	高质量要求, 业务质量要求不受网络拥堵影响	以园区部署为主	基站-MEC、MEC-云
高安全性类	媒体直播、远程医疗、智慧安防、	一般不超过 100 ms	高质量要求, 业务质量要求不受网络拥堵影响	地市核心/省核心	基站-UPF/云
一般运用类	智慧园区、道桥巡检	一般不超过 100 ms	一般无特殊要求	园区/地市核心	基站-MEC/UPF



网存在困难，难以满足网络敏捷平滑演进的需求，不利于健康产业链的构建；同时不同厂商设备的可靠性也存在差异，给降低网络故障率、降低运维成本的诉求也带来了一定挑战。

面向未来的 5G 业务，主要给承载网带来大带宽、低时延、高可靠、灵活连接、高效管控和敏捷演进等方面的诉求。

2 5G 承载网络及关键技术

下面以中国电信 5G 承载网络 STN (smart transport network, 智能传送网) 为例探讨 5G 承载网络架构和关键技术。

2.1 STN 的网络架构

STN 是中国电信为满足 5G 承载需求，在

IPRAN 的基础上引入大容量 STN 设备和 SRv6/FlexE 等新技术构建的承载网。STN 定位为实现 3G/4G/5G 等移动回传业务，政企以太网专线、云专线、云网等多业务的融合承载网络。

为适应 5G 核心网云化分散部署需求特点，并充分考虑后续向固移综合承载的城域网一体化平滑演进。中国电信 STN 架构如图 1 所示，STN 采用 Spine-Leaf 架构，以本地网为基本单位组网，每个本地网独立设置 AS。网络分为接入层、城域汇聚层、城域核心层和省级核心层，以省为单位进行集约化管控。STN 架构可保障任何层面的 5G 核心网、云资源的有效接入和服务路径最优。

STN 采用符合业界开放的标准技术，多厂商设备解耦混合组网，统一关键技术实现方式，统

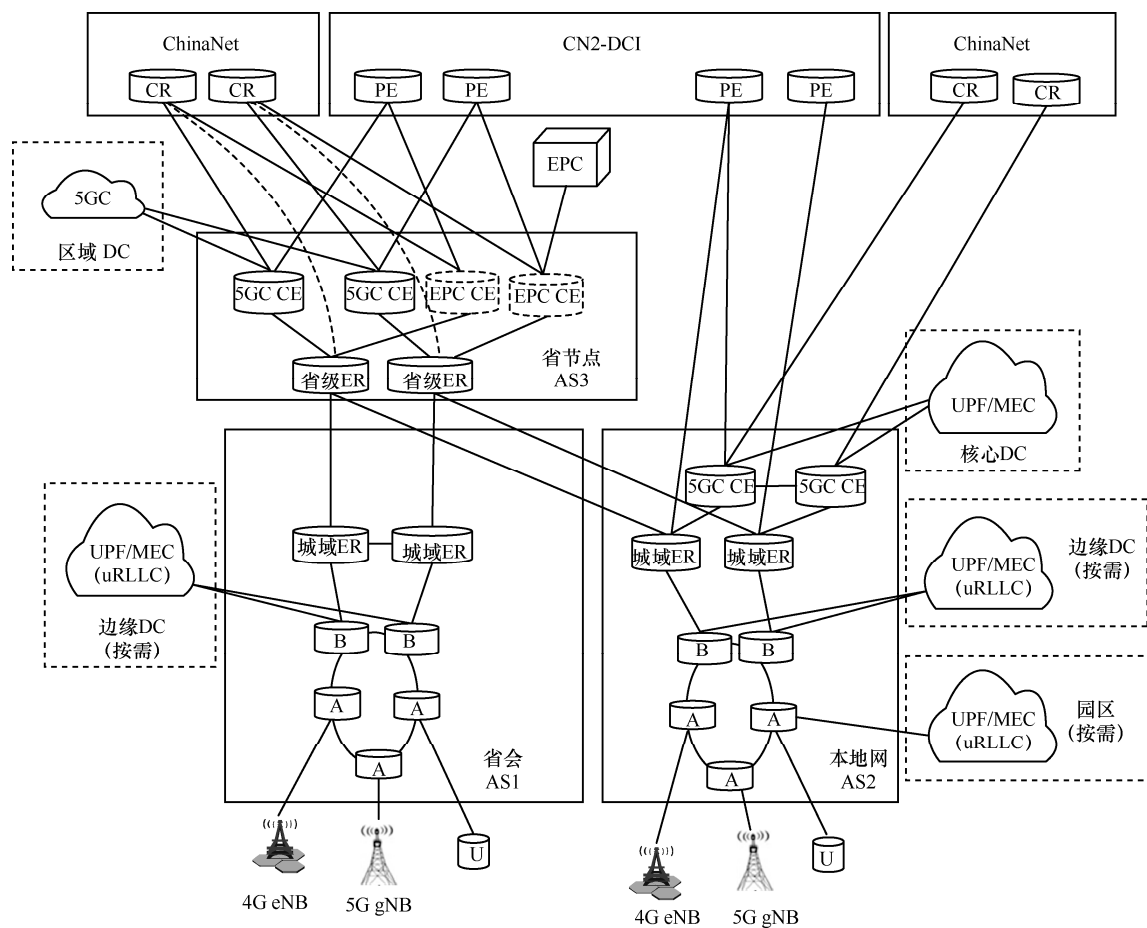


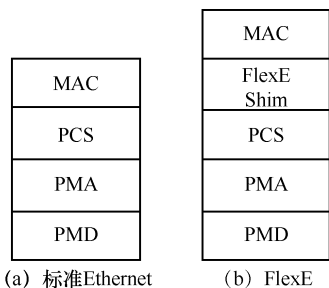
图 1 中国电信 STN 架构

一设备能力演进路线,具备与第三方网管/控制器对接、网络能力抽象和开放能力,各厂商设备均具备高可靠性;支持 IPv6、EVPN、FlexE、SR/SRv6、业务感知等能力;支持网络切片,具备业务快速开通、SLA 质量保障、自动化管理和配置等智能化能力,满足 5G 业务大带宽、低延时、安全可靠的差异化承载需求。具备可演进的软件定制化能力,满足云网融合网络的部署。

2.2 STN 关键技术

2.2.1 FlexE 关键技术

灵活以太网(FlexE)技术是基于高速 Ethernet 接口,在 IEEE 802.3 基础上,标准 Ethernet 与 FlexE 结构如图 2 所示,在 MAC 层与 PCS 层之间引入 FlexE Shim 层,实现了 MAC 与 PHY 层解耦,从而实现低成本、高可动态配置的电信级接口技术。



(a) 标准Ethernet

(b) FlexE

图2 标准 Ethernet 与 FlexE 结构

FlexE 的核心功能是以时隙(slot)划分的, FlexE 时序划分原理如图 3 所示,以 5GE 颗粒度为例,一个 100GE 端口可划分为 20 个 slot 的数据

承载通道,其中每个 slot 所对应的带宽为 5 Gbit/s。原始以太网帧以原子数据块 block (64/66B 编码) 为单位进行切分,这些原子数据块基于 slot 进行发送,每个 slot 传输一个原子数据块。slot 之间完全隔离,不能互相抢占。以此实现类 SDH 的物理隔离和稳定时延。

FlexE 主要用于为 5G 2B 业务提供带宽独享、时延抖动可确定的硬管道保障。可解决在多用户大流量并发的极端情况下用户体验劣化问题,有效避免大量快速增长的低价值流量对增速相对较慢的高价值流量转发资源的挤占,有利于提升 STN 对客户的吸引力和网络价值。

2.2.2 SRv6 关键技术

SRv6 是 IP 技术近 20 年来出现的跨越式的创新,让业务端到端可管可控成为可能,在网络可编程和网络能力开放领域具有巨大的想象空间和发展前景,其价值远非 SR-MPLS (简称为 SR) 可比。由于 SR 在数据转发面仍然使用 MPLS 标签封装,要求网络中所有设备支持 MPLS 转发,对网络能力提升不显著。

SRv6 是基于源路由理念而设计的协议,去除了 MPLS 标签,在数据面直接使用 IPv6 地址作为转发标签,在控制面和数据面都实现了统一承载。SRv6 不仅继承了 SR 的所有优点,还具备标签空间数量无限、全网唯一、任意节点可达的优点。

SRv6 的应用场景主要包括 SRv6-BE (SRv6 best effort, 基于 SRv6 的尽力而为转发) 和

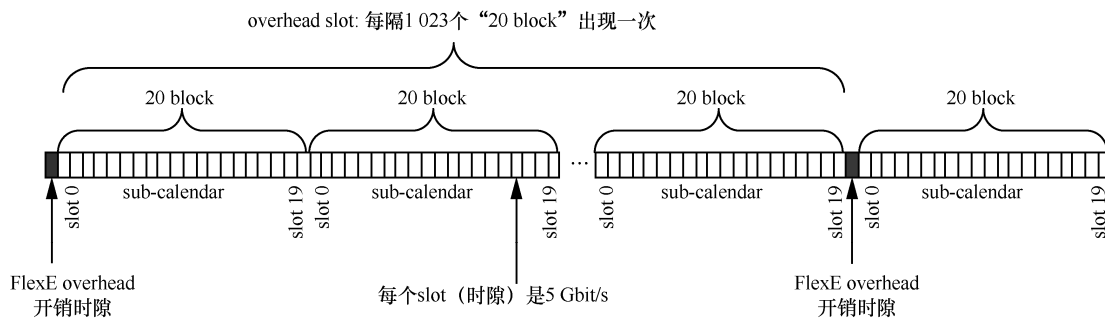


图3 FlexE 时序划分原理



SRv6-TE (SRv6 traffic engineering, 基于 SRv6 的流量工程) 两类。其中 SRv6-BE 指在流量转发路径头端仅指定相应的业务侧节点, 在业务侧节点间采用 IGP 最短路径转发, 中间节点只需支持普通 IPv6 即可实现。SRv6-TE 指在流量转发路径头端, 除指定相应的业务侧节点外, 还指定转发路径必须经过的中间节点及链路, 可使转发路径有效规避出现转发性能劣化的节点和链路, 保障业务体验, 该方式需要业务侧和流量须经过的中间节点均支持 SRv6。

在网络演进的初期, 仅有 SRv6-BE 的需求, 仅对业务侧设备进行改造使其支持 SRv6 即可。在跨域场景下, 非业务接入的转接 AS 也只需支持普通 IPv6, 即可实现 SRv6-BE 跨域, 对网络改造小, 实施风险可控。

在网络演进的中期, 需要引入 SRv6-TE 以使能转发路径优化, 第一步只需改造业务流量需要经过的关键节点, 使其支持 SRv6, 其他节点仅支持普通 IPv6, 即可实现 SRv6-TE 功能。在网络演进后期, 可按需逐步让全网设备具备 SRv6 能力。

因此, 基于 SRv6 可在满足业务承载需求的同时, 实现网络的平滑演进, 有效规避网络演进对业务体验的影响。

SRv6 让云、管、端可以基于同一个标准协议实现端到端可管可控, 使能网络可编程和用户级

流量转发路径优化能力, 这种独特优势使其成为下一代 IP 网络的核心技术和热点。

2.2.3 随流检测技术

5G 业务极大丰富, 各种业务对 SLA 提出了比较高的要求。为了实现各种业务, 特别是垂直行业 2B 业务的 SLA (时延、分组丢失、抖动等) 检测和可视, 需要在承载网设备中实现业务质量的实时检测和上报功能。传统的 SLA 检测技术是在网络中插入额外的检测报文, 通过对检测报文的时延、分组丢失进行测量来反映业务报文的 SLA 状态, 是一种间接的检测方式, 不能精确反映业务的状态, 无法满足工业控制、电力差动保护等 5G 2B 业务对时延、分组丢失、抖动的高标准要求。

随流检测技术原理如图 4 所示, 随流检测技术是通过在源节点对报文进行周期性染色, 并在报文经过的节点上报染色信息, 由统一 SDN 管控平台计算分组丢失时延结果。随流检测技术可提供真实业务流逐跳 SLA (分组丢失、时延、抖动等) 指标, 可精确感知网络性能类故障, 实现快速故障定界和诊断, 在客户投诉之前主动将故障排除, 保障客户体验, 降低运维成本。同时, 随流检测技术还可与智能管控技术相结合, 为承载网中特定业务流量的转发路径优化提供依据。

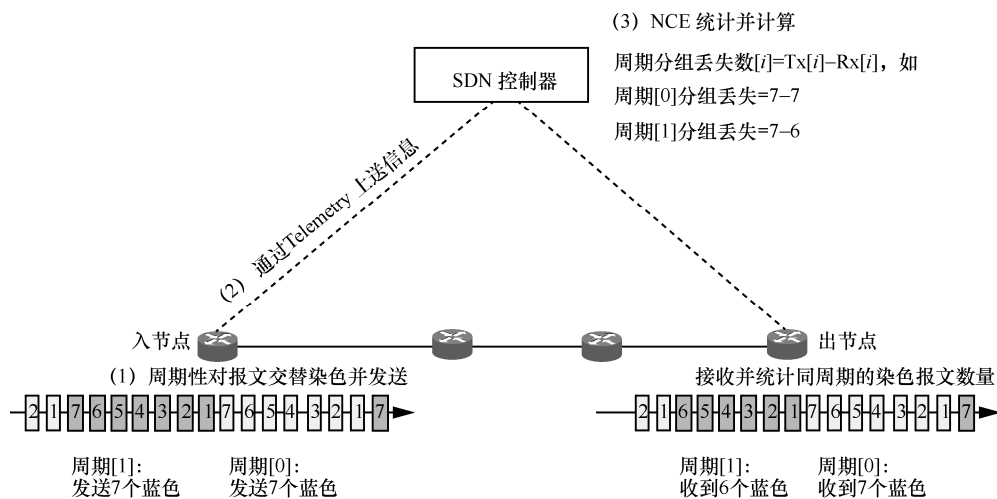


图4 随流检测技术原理

基于随流检测技术+Telemetry 技术（网络设备主动推送状态信息的遥测技术），可实现秒级/毫秒级业务性能实时质差感知，性能指标数据通过 Telemetry 实时快速上报，智能平台提供业务 SLA 图形化呈现，故障定位时间从小时级缩短到分钟级，实现主动运维。

2.2.4 智能管控和编排能力

STN 运营系统引入 SDN 管控技术，可实现网络智能化管控，支持 SRv6+EVPN 及 FlexE 等新技术快速部署，可针对流量不确定性实时进行流量疏导和全网优化，使 STN 网络具备高效、敏捷的 5G 网络业务感知、业务差异化承载与调度能力，增强网络的精细运维，实时感知网络状态和业务端到端 SLA 质量。

STN 运营系统逐步增强业务编排能力，能够完成云网协调的端到端业务编排和网络编排。业务编排器关注客户面感知的业务诉求，如二层连接还是三层连接，网络连接的位置，网络连接的 SLA 诉求等；网络编排器感知具体的网络承载技术，完成域内及跨域的网络资源协同，从而实现端到端的网络编排，完成从客户业务诉求到网络连接诉求的转换。

STN 运营系统满足多厂商设备解耦混合组网、网络协议的可编程控制能力，实现网络能力抽象和开放，具备业务敏捷开通、隧道自定义部署、网络灵活可调度、SLA 质量保障等网络智能化管控能力。同时，STN 运营系统还可纳入运营商新一代运营支撑系统，在业务单急剧增加的情况下实现业务受理、业务开通/变更/退租、资源管理、网络运维、故障排除等多流程端到端自动化闭环，在不增加运维人员和工作量的情况下确保超海量业务的高效运营和网络运维。

2.2.5 STN 关键技术特性

STN 关键技术所满足的需求或解决的挑战见表 2。

表 2 STN 关键技术特性总结

STN 关键技术	所满足需求或解决挑战
FlexE	- 不同业务间硬件级安全隔离 - 保障业务流量的转发性能
SRv6	- 根据需求将流量引入对应切片进行保障 - 优化转发路径，确保访问体验 - 网络可编程，使能网络能力敏捷平滑演进
随流检测	业务流量访问体验感知，作为路径优化和故障定位的输入
智能管控与编排	- 超海量业务快速开通和管控 - 跨厂商设备统管，推进设备能力和演进路线标准化，优化产业链，降低建设成本 - 智能编排 DC 和网络资源，智能故障诊断，实现端到端多流程自动化闭环，降低运营成本

2.3 STN 和 SPN 对比分析

STN 和 SPN（slicing packet network，切片分组网）是在移动承载领域的两种主要的技术。STN 是在 IPRAN 的基础上升级、基于路由器技术发展起来的移动回传网络；SPN 是在 PTN 的基础上升级，基于传输技术发展起来的移动回传网络。STN 与 SPN 主要技术差别如下。

（1）技术标准方面

STN 基于国际主流标准进行扩展，技术标准与国际同步，且中国企业在相关标准方面占有较强的主导权，已实现跨厂商设备的融合组网；SPN 以企业/国内行业标准为主，延续 PTN 单一厂商组网模式，跨厂商融合组网尚不成熟。

（2）核心协议方面

两种技术差异不大，均支持 IPv6/SR/EVPN/FlexE/Telemetry/SDN 等 5G 承载关键协议，主要区别在于 STN 已经支持 SRv6，SPN 目前尚未支持。

（3）产业链方面

STN 为全球产业链，以国内设备厂商为主，因实现了跨厂商融合组网，供应市场竞争充分，网络建设成本相对较低；而 SPN 仅华为、中兴和烽火 3 家设备厂商提供产品且未能实现跨厂商融合组网，难以在厂商间引入充分竞争，网络建设成本较高。



(4) 5G 承载性能方面

两种技术无明显差别，都可提供软、硬切片两种方式，都可通过 MEC 下移承载低至 0.5 ms 的超低延时业务，都可提供全网 300 ms 内的保护倒换功能。

(5) 网络管控方面

STN 管控系统在省中心统一部署，可实现对不同厂商设备的统一集约化管控和资源编排；SPN 管控系统也在省中心部署，采用设备厂商管控系统直接对接本厂商设备的管控模式。

(6) 后向演进能力方面

STN 已实现综合承载，支持 SRv6 提供的灵活编程能力，可平滑演进为具备云网一体能力的城域云网；SPN 目前采用 SR/MPLS 作为底层协议，可编程能力相对较弱，尚需加载 SRv6 等协议功能才可顺利演进到云网一体。

总体来看，两种技术的性能指标相差不大，但在产业链、运营商选择、建设成本等方面，STN 有一定优势。

3 5G 业务承载方案

5G 业务总体上可以分成 5G 2C 和 5G 2B 两大类。其中，5G 2C 业务可以看作是 4G 业务的

延伸，仍然是服务于个人移动通信，只是由于高清视频、VR 等新业务应用而导致用户带宽需求更高，但仍具有对网络质量要求相对不高、对业务资费相对敏感的特性。5G 2B 业务是 5G 区别于前几代无线接入技术的独特业务场景，具有价值高、投资回报快等优点，但对网络质量要求更高，如特定低时延、全网不可拥堵、通信信息绝对保密等高要求。因此，5G 承载网必须对 2C 和 2B 业务进行严格隔离，采用不同的承载实现方案，同时保障 2C 业务的高效率承载和 2B 业务的高质量承载。5G 业务承载方案如图 5 所示。

解决 5G 2C 和 5G 2B 业务隔离承载的基础是采用 FlexE 硬切片技术，将 5G 承载网络资源物理切分成两个相对独立的逻辑网络，分别各自承载 2C 或 2B 业务。其中，2C 业务承载在 2C 硬切片的逻辑网络中，其具体承载方案与 4G 承载类似，通过不同 QoS 等级实现不同业务应用的优先级排序和调度策略安排。

5G 2B 业务承载方案相对复杂一些，目前 STN 已具备 FlexE、SRv6、随流检测和智能管控编排的能力，可有效满足 5G 2B 业务的承载需求。下面从安全隔离和低时延保障两个维度对 2B 业

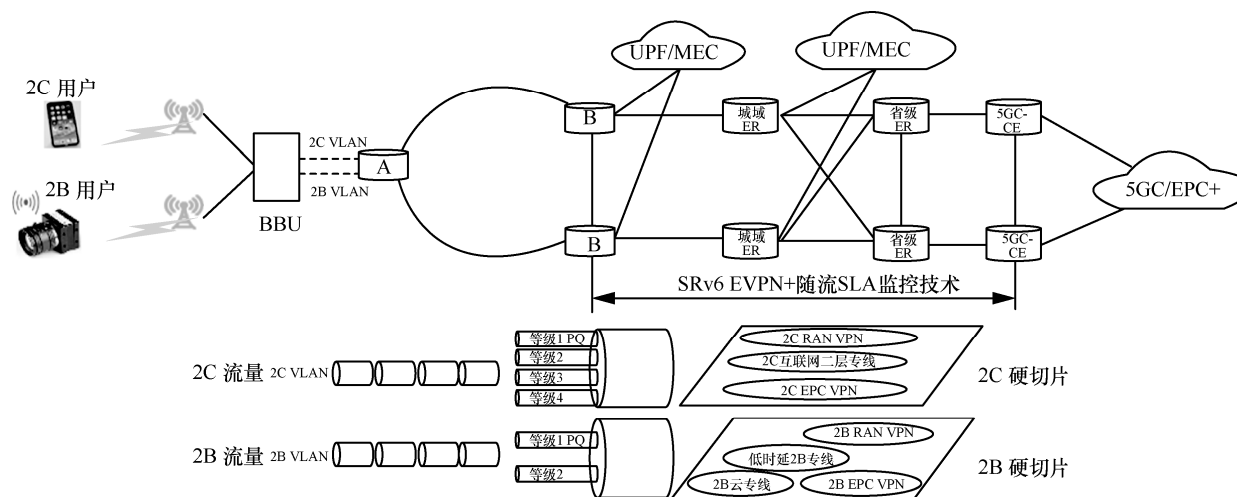


图 5 5G 业务承载方案

务的承载方案进行说明。

2B 业务的安全隔离解决方案：STN 智能管控系统根据业务规划部署多个端到端的 FlexE 硬切片，实现业务级和用户级的切片能力。在各个硬切片内部可部署多个 QoS 等级，匹配不同的业务 SLA 质量要求。管控系统根据 5QI 等属性向 STN 头端路由器下发 SRv6 转发策略，将基站流量导入相应的硬切片通道，通过承载网的硬切片导入对应的核心网的业务切片，实现敏捷业务开通和业务端到端安全隔离和差异化承载。管控系统通过分析随流检测的数据，精确感知 2B 业务质量，实现 SLA 可视化，按需为不同的业务流量优化其转发路径，保障其访问体验。

2B 业务的低时延解决方案：STN 设备时延已经低至接近极致，且仅占承载网总时延的 10% 左右。因此，在超低时延业务场景下，必须缩短用户与云服务的距离，大幅降低光纤传输时延，即 5G 核心网 UPF 和边缘计算 MEC 下移到距离用户更近的位置。根据不同业务的具体时延指标，UPF/MEC 可能部署在省核心 DC、城域核心 DC、城域边缘 DC 甚至是客户园区，部署在不同位置的 UPF/MEC 均可就近接入 STN 相应层级的设备上，实现对业务从基站至 UPF/MEC 的最短路径承载。STN 智能管控系统通过对业务时延、计算资源等的业务需求和网络空闲资源情况对比分析，可自动为客户规划 DC 位置、计算资源、承载切片和 QoS 队列等资源。在规划完毕后，按照 2B 业务安全隔离的业务开通和优化流程，为客户开通和维护访问 MEC 的入云专线，实现客户超低时延业务承载。

综上所述，STN 可基于跨厂商解耦方案实现 2C 和 2B 业务承载，在整个业务开通和管控过程中，管控系统可实现对多厂商设备集约化统管和端到端多流程自动化闭环，在产业链、网络管控和后向演进方面相比其他技术体制有

一定优势。

4 结束语

5G 作为国家重要战略之一，居于新基建首要地位，加快 5G 建设的政策导向十分强烈。大力发展 5G 产业，将促进通信基础设施升级，赋能产业转型新时代；促进拓展新型消费，创造美好生活新体验；稳定国内投资，打造经济发展新动能；带动就业创业，形成社会发展稳定器；有利于提升政府服务，促进国家治理体系和治理能力现代化。

5G 承载网作为 5G 全链条中重要一环，其健康快速发展对 5G 在全社会的运用具有举足轻重的作用。目前，具备了 SRv6、FlexE、随流检测等能力，支持网络切片，具备业务快速开通、SLA 质量保障、自动化等智能化管控能力，满足 5G 2B 和 5G 2C 业务差异化承载。5G 技术的应用将会引入云游戏、Cloud VR、工业控制、智慧医疗、智慧园区等新业务，5G 业务上云需求将会成为普遍需求。因此，STN 与云的协同和融合将成为未来的发展方向，STN 必将向灵活接入不同层面的云资源，满足用户—云、云—云的灵活承载方向演进，实现网随云动、云网融合，支撑 5G+云网业务的商业成功。

参考文献：

- [1] 孙嘉琪, 杨广铭, 尹远阳. 5G 承载网演进方案探讨[J]. 移动通信, 2018(1): 1-6.
SUN J Q, YANG G M, YIN Y Y. Discussion on 5G bearer network evolution scheme [J]. Mobile Communication, 2018 (1): 1-6.
- [2] 史凡. 对云网融合技术创新的相关思考[J]. 电信科学, 2020, 36(7): 63-70.
SHI F. Thinking on cloud network convergence technology innovation[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(7): 63-70.
- [3] 黄春辉. 低时延高可靠性的 5G 承载网络挑战和实现[J]. 移动通信, 2018(3): 85-88.
HUANG C H. Challenges and implementation of 5G bearer network with low delay and high reliability [J]. Mobile Communications, 2018(3): 85-88.
- [4] 李聪. 5G 承载网络架构及部署场景[J]. 移动通信, 2018(4):



17-24.

LI C. 5G bearer network architecture and deployment scenarios[J]. Mobile Communications, 2018(4): 17-24.

- [5] 方鸣, 孙剑平, 姜伟萍, 等. 5G IPRAN 的设计思路[J]. 电信科学, 2020, 36(Z1): 30-37.

FANG M, SUN J P, JIANG W P, et al. Design ideas of 5G IPRAN[J]. Telecommunications Science, 2020, 36 (Z1): 30-37.

- [6] 解冲锋, 蒋文洁, 马晨昊, 等. 面向视频云综合承载的 SRv6 的研究与实践[J]. 电信科学, 2019, 35(12): 2-7.

XIE C F, JIANG W J, MA C H, et al. Research and practice of SRv6 for video cloud comprehensive bearing[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(12): 2-7.

- [7] 方昆. 5G 承载大连接解决方案: segment routing 研究[J]. 通讯世界, 2018(1): 58-59.

FANG K. 5G bearer large connection solution: segment routing research [J]. Communication World, 2018(1): 58-59.

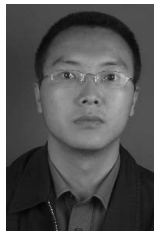
- [8] WALKLIN S. Leaf-spine architecture for OTN switching[C]// Proceedings of 2017 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC). Piscataway: IEEE Press, 2017.

- [9] LI X, LUNG C H, MAJUMDAR S. Energy aware green spine switch management for spine-Leaf datacenter networks[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Communications. Piscataway: IEEE Press, 2015.

- [10] 段宏, 郭昌华, 刘文钊. FlexE 技术及其在 5G 承载网中的应用探析[J]. 邮电设计技术, 2020(3): 80-85.

DUAN H, GUO C H, LIU W Z. FlexE technology and its application in 5G carrying network[J]. Design Technology of Posts and Telecommunications, 2020(3): 80-85.

[作者简介]



马培勇 (1971—), 男, 中国电信股份有限公司研究院高级工程师, 主要从事移动承载网络技术研究和网络规划工作。



吴伟 (1972—), 男, 中国电信股份有限公司高级工程师、云网发展部副总经理, 主要从事网络发展和规划工作。

张文强 (1979—), 男, 中国电信股份有限公司高级工程师、云网发展部宽带网络规划处处长, 主要从事网络发展和规划工作。

杨广铭 (1974—), 男, 中国电信股份有限公司研究院高级工程师, 主要长期从事通信网络研究工作。

杨锋 (1981—), 男, 中国电信股份有限公司高级工程师, 主要从事承载网络技术研究和网络规划工作。