

面向 5G 的传送网新架构及关键技术

The New Architecture and Key Technologies for 5G Transport Network

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 01-0053-005

摘要: 面向 5G 的传送网面临大带宽、低时延、网络分片、灵活连接、高精度时间同步、组网架构变化等多方面的技术挑战。指出了分组传送网 (PTN)、基于 IP 的无线接入网 (IPRAN)、光传送网 (OTN) 等现有技术难以完全满足 5G 的长远需求, 灵活以太网 (FlexE)、灵活光传送网 (FlexO)、分段路由 (SR)、软件定义网络 (SDN) 等新技术为 5G 承载提供了新的选择, 基于 25 G 的光管芯也逐渐成为了高速光通信的基础。认为 5G 为新的传送网技术的引入提供了重要驱动和时间窗口, 并首次提出了将切片分组网 (SPN) 体系架构用作 5G 前传、中传和回传的统一承载, 同时还对其关键技术做了介绍。

关键词: 5G; 传送网; SPN

Abstract: The 5G oriented transport network faces many technical challenges, such as large bandwidth, low latency, network fragmentation, flexible connection, high precision time synchronization, and network architecture change. Current transport technologies, including packet transport network (PTN), IP radio access network (IPRAN), and optical transport network (OTN), are difficult to fully meet the long-term needs of 5G. New technologies including flexible Ethernet (FlexE), flexible OTN (FlexO), segment routing (SR), and software defined networking (SDN) have provided new choices for 5G transport. The 25 G-based optical chip has gradually become the basis for high-speed optical communications. 5G will provide an important driving force and time window for new transport technologies. The 5G transport network is divided into three scenarios, including fronthaul, mid-haul and backhaul, which unified by slicing packet network (SPN) architecture. In addition, the key technologies of SPN are introduced.

Keywords: 5G; transport network; SPN

李晗 / LI Han

(中国移动通信研究院, 北京 100053)
(The Research Institution of China Mobile,
Beijing 100053, China)

外, 随着移动边缘计算 (MEC) 的引入, 网络切片和核心网中将部署网络功能虚拟化 (NFV)。这种新模式将使传输网络成为云和数据中心之间的网状网, 而不再只是提供传输服务。因此需要新的传输技术和网络架构来适应 5G 时代的架构转型。

1.2 5G 移动传送网的超大带宽增长

一方面, 随着 4K 高清、增强现实 (AR)、虚拟现实 (VR)、物联网等业务快速增长, 流量急剧增长, 传送网络需要更大的带宽; 另一方面, 5G 基站的峰值带宽将增长 10 倍以上, 接口速率较 4G 将增长 10~100 倍。这些需求驱动移动传输网络引入新的比特率系统。在接入层, 比特率将从 100 M 提至 1 GE, 再到 50 GE/100 GE; 在汇聚层, 将从 10 GE 增长到 100 GE/400 GE, 在密集地区, 汇聚层峰值甚至可达到太比特量级。提高物理端口速率是选择之一, 更高效率的链路聚合也是很必要的补充技术。

1.3 5G 移动传送网中的严格低时延要求

第 3 代合作伙伴计划 (3GPP) 在超可靠低时延通信 (uRLLC) 场景中定义了多种服务, 主要特点是低误码

1 现有传送网技术无法完全满足 5G 传送网需求

面向 5G 承载的传送网面临多方面挑战, 如: 无线接入网络 (RAN) 架构变化、更高的带宽需求、更低的时延、网络分片、更高的时间同步等。现有技术包括: 分组传送网 (PTN)、基于 IP 的无线接入网 (IPRAN)、光传

送网 (OTN) 等都无法完全满足 5G 的需求, 需要新的技术体制^[1-3]。

1.1 5G RAN 架构变化

在 3GPP 的 5G 标准中, 5G RAN 从功能角度划分为了集中单元 (CU) 和分布单元 (DU) 两级架构, 传送网也相应分为前传、中传、回传, 并且所需传送功能及业务需求各不相同^[4]。同时由于 CU 与 DU 是逻辑网元, 可分开或一体化部署, 所以中传、回传并没有严格的物理界限, 需统一承载。此

收稿日期: 2017-12-10
网络出版日期: 2018-01-12

率、低延迟和确定性延迟。这些时间敏感业务可能需在移动传送网中保持亚毫秒级时延。因此,5G 传送网时延要求越来越苛刻,较 4G 需降低 10~100 倍。尽管可挖掘出现有设备/芯片的所有潜力,但现有传输技术的上限还无法满足这类业务的需求。

1.4 网络灵活性需求

5G 核心网网关(GW)下沉、MEC 下沉、物联网 GW 下沉;另外,5G 转变为以云为中心进行网络构架,网络流量流向转为多点到多点。因此要求 5G 传送网能够提供灵活连接。

1.5 5G 移动传送网网络切片需求

5G 传送网需要支持无线、集客、家庭宽带上联等业务,同时需支持增强型移动宽带(eMBB),大规模机器类通信(mMTC)和 uRLLC 多种业务类型,这些业务具有不同特性,如:时延、带宽、连接数量、可靠性等。网络应根据不同服务的特点提供隔离、功能剪裁及网络资源分片,且每个网络切片可拥有独立的网络资源和管控能力,现有技术无法实现这些功能。

1.6 5G 传送网超高精度时间同步需求

4G 基站间时间同步精度要求是 $\pm 1.5 \mu\text{s}$,5G 如果考虑基本空口需求,超短帧情况下,时间同步精度需求预计在 $\pm 390 \text{ ns}$;考虑基站间协作化等增强属性不在全网要求,预计在 $\pm 130 \text{ ns}$ 左右;考虑局部 5G 支持的新业务(如基站定位),预计在 $\pm 10 \text{ ns}$ 左右。相比 3G/4G,时间同步精度需求提高 10 倍以上,现有同步技术无法满足。

2 SPN 技术架构更适合 5G 传送网应用

2.1 5G 传输网端到端架构

5G 标准提出了 CU 和 DU 的分离,使得传送网络分为 3 部分:前传网络(Fronthaul,即远端射频单元(RRU))

到 DU 之间的网络)、中传网络(Mid-haul,即 DU 到 CU 之间的网络)、回传网络(Backhaul,即 CU 到核心网之间的网络),如图 1 所示。这 3 部分可以根据业务需求动态地定位到网络中,而每个部分对时延、带宽等都有不同的要求。CU 和 DU 的两级架构,从应用场景以及部署场景来看,前传、中传、回传网络在地理位置上是相互重叠的,光纤和机房资源是共享的,且面向分组的网络是首选,这 3 个部分网络的实现可采用统一的具有分片功能的传输技术来实现,以满足其对带宽、时延以及业务模型等方面的需求。针对前传、中传以及回传网络,采用相同的传输技术,有助于灵活地进行端到端业务的统一控制、管理与维护。

在 5G 部署初期基站为低频段组网, CU 和 DU 采用合设的方式, RRU 采用分离方式;在热点区域部署高频站进行覆盖, CU 与 DU 会采用分离的方式以实现统一锚点。在 5G 部署后期时,会采用高频站组网,传统 DU 与 RRU 之间增强通用公共无线电接口(eCPRI)不能满足流量需求,因此 DU 与 RRU 采用合设的方式, CU 可采用小集中或大集中的方式。

(1) 前传网络

前传网络是 RRU 和 DU 之间的网络,是 5G 移动传输网络的一部分。前传网络符合低延迟要求,且支持 eCPRI。由于每个 RRU 只属于一个 DU,因此采用点对点的业务模型。

由于 DU 距离 RRU 较近,主要采用光纤直驱的方式,少量采用有源设备的方式。RRU 和 DU 之间的距离在 2~5 km 之间。

(2) 中传网络

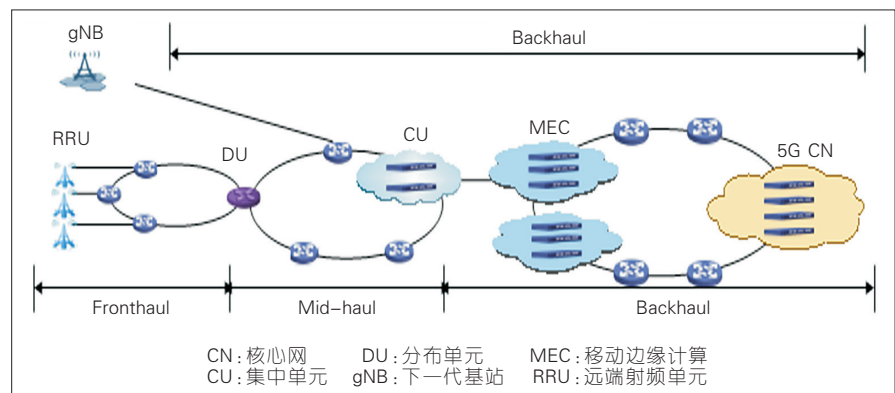
中传网络是指 DU 与 CU 之间的网络,也是 5G 移动传输网络的一部分。中传网络为非实时业务提供合理的低时延,并且支持统计复用。在 CU 集中部署时,需要考虑负载分担以及容灾需求,因此 DU 与 CU 之间需要支持多点到多点业务模型。设备调制之后对中传网络会有统计复用需求,与回传网络的需求类似。DU 和 CU 之间的距离大约是在 10~40 km 之间。

(3) 回传网络

回传网络是指 CU 与核心网之间的网络,是 5G 移动传送网络的一部分。密集波分复用(DWDM)技术是满足日益增长的带宽需求的可行性技术。在 5G 时代,MEC 需要部署到 CU 这一侧,因此要求回传网络能够提供灵活的网络连接,并支持统计复用,其采用的是点对多点的业务模型。CU 与核心网之间的距离可能大于 80 km。

2.2 5G 传输网优选 SPN 技术架构

目前,业界主要有 3 种面向 5G 承载的技术方案,分别为:L3 OTN、升级 PTN/IPRAN over OTN、切片分组网(SPN)。L3 OTN 方案通过改造 OTN 支持灵活光传送网(FlexO)功能,实



▲ 图 1 5G 传送网架构

现灵活带宽能力,并新增 L3 功能,包括统计复用、横向转发、虚拟专用网(VPN)等,满足 5G 对高效和灵活连接的需求,新的 OTN 方案需要新芯片满足低时延和高精度时间同步需求。升级 PTN/IPRAN over OTN 方案是通过两套设备来满足新的需求,同时为满足大容量、低时延、高精度时间同步,PTN、IPRAN 和 OTN 都要求新平台,新设备,并通过硬件升级支持灵活以太网(FlexE)、分段路由(SR)、软件定义网络(SDN)。SPN 融合以太网和时分复用(TDM)技术优势,既保证高效承载,又保证安全性和业务质量,支持切片能力;同时引入面向传送的分段路由技术(SR-TP)和 SDN 实现新型动态路由能力;并在新的光层技术实现中长距离的成本优化。3 种方案都需要芯片,设备方面的革新,并非简单升级就能支持。通过分析,方案的 SPN 是基于通用的以太网网络进行 TDM 切片创新,通过支持面向传送的以太网分片技术(SE-TP)实现连接,交换和监测等方面高效传输,并新增 SR-TP 支持灵活连接和 SDN 统一管控,能满足端到端 5G 传输要求。SPN 基于高性价比的以太网产业创新构建,通过一套设备实现传输,满足多样传输需求,更易于管控运维,同时兼容已有的 PTN 传输网络,是满足 5G 传输的优选方案。

3 SPN 融合多项创新技术 形成新一代传送网体制

针对上述 5G 传输网络面临的挑战,SPN 系统在带宽、时延、灵活连接、分片、时间同步和统一管控上采用了多项创新关键技术,能够满足 5G 业务要求。

3.1 切片分组网架构

SPN 采用创新的以太网分片技术(SE)和 SR-TP 技术,并融合光层 DWDM 技术的层网络技术体制。SPN 总体结构见图 2,层次包括:

切片分组层(SPL):实现分组数据的路由处理。

切片通道层(SCL):实现切片以太网通道的组网处理。

切片传送层(STL):实现切片的物理层编、解码,以及 DWDM 光传送处理。

3.2 切片分组网关键技术

3.2.1 大带宽技术

根据 5G 频谱(100 M, 64T/64R)对基站带宽需求测算,接入环带宽达到 25 G 以上,汇聚环接近 80 GE,核心环带宽超过 110 G,对新型以太网端口的需求越来越高。对于 5G 传输网,大部分接入环带宽需升级到 50 GE,少部分甚至需要提升到 100 GE,汇聚环会出现超 100 GE 的需求,核心环需要 $N \times 100$ GE 或者 $N \times 200$ GE,甚至 $N \times 400$ GE 等更大的带宽。因此,核心和汇聚层需引入彩光方案,接入层考虑采用高速的灰光接口技术。

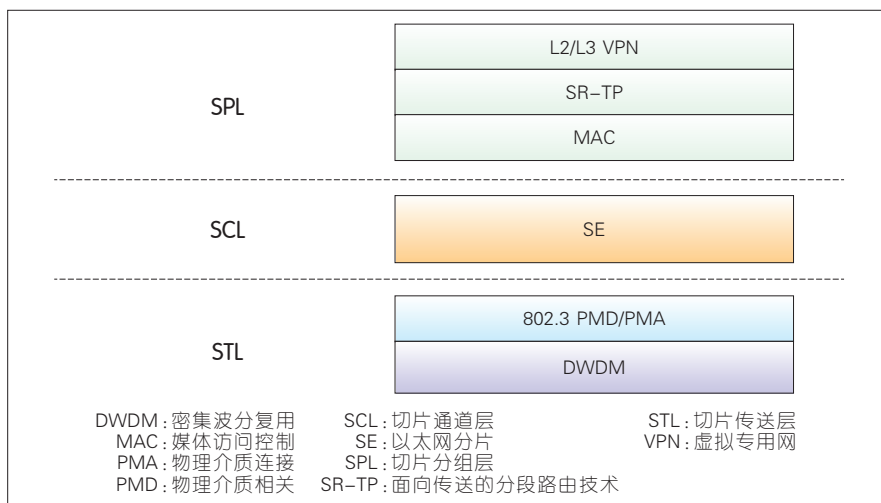
对汇聚核心层的传输通路,考虑使用彩光方案,基于 25 G/50 G 非相干 DWDM 和 100 G/200 G 相干 DWDM 的技术,可根据性价比选择。接入层考虑灰光方案,使用 50 GE 的 4 级脉冲幅度调制(PAM4)或者 100 GE 的 PAM4 满足带宽需求。对于前传,在光纤受限时,可考虑简化的基于波分

复用(WDM)的 SPN 设备,实现多业务、多接口的汇聚,实现前传、中传和回传的统一承载。

目前高速以太网端口基本光管芯分为单波 10 G 非归零码(NRZ)和 25 G NRZ 两种。基于 10 G 光电器件平台,主要有 10 GE 和 40 GE 两种以太网接口。下一代的 ETH 端口将基于 25 G 光电器件平台,实现 25 GE 端口,并通过 PAM4 电调制和前向纠错(FEC)实现 50 G/Lane 的数据端口,由于 PAM4 与 FEC 技术均使用电层技术实现,50 GE 接口单吉比特性价比优于 25 GE 接口。同样在 50 GE 的基础之上,使用 2λ 、 4λ 模式,实现 100 GE、200 GE 接口光模块,其中 200 GE 的成本构成与 100 GE 的相当,单吉比特性价比则优于 100 GE。而对于 400 GE,总共使用 8λ ,实现 400 GE 光模块。

3.2.2 低时延技术

5G 的 uRLLC 业务和 CU/DU 的部署都对时延提出了新的挑战。传输网络的时延,主要由两部分组成:设备时延和设备间的光纤传输时延。设备时延是指设备转发数据时产生的时延,光纤传输时延是与传输距离相关。设备转发时延通过使用新的 SPN 实现,在物理层上基于时隙进行转发处理,能大幅降低设备处理时



▲ 图 2 SPN 分层架构

延,并且通过使用大速率接口组网,从现在的 GE/10 GE 到 50 GE/100 GE/400 GE,增加了设备的转发速率,降低了时延。光纤传输时延的降低主要通过降低光纤链路的长度来实现,包括了 MEC 或者 GW 部署位置下沉使得业务端到端的距离减少,并且在转发调度层面通过 SDN 的全局智能管控,实现最短路径的查找,使光纤传输距离降低。

3.2.3 灵活连接技术

对于 5G 业务来说,流量流向更趋多样化,不仅有传统的南北向流量,东西向流量也会更加的普遍和重要,因此需要灵活连接技术来满足。SR 是一种隧道技术,SR-TP 引入了面向连接的隧道技术,提升了 SR 通道的管控能力,实现电信级的操作维护管理(OAM)和保护。SR 隧道通过首节点的标签栈来控制网络中的传输路径,基于 SDN 控制器算路,各转发设备通过内部网关协议(IGP)收集域的 SR 信息,再结合 IGP 拓扑信息,通过边界网关协议-域内链路状态(BGP-LS)发给 SDN 控制器,计算出到达各转发设备的 SR 转发表项并下

发至转发设备,通过配置隧道策略,将流量封装入 SR 隧道转发。

3.2.4 网络分片技术

5G 的 3 种典型业务以及专线、家宽等多样性的业务要求其提供不同类型的管道,通过硬管道分片和软管道分片的结合,可以更好地满足业务要求。

传输网络需要支持硬隔离和软隔离,基于 SPN 的 SE 技术,在转发层面提供了一条基于时分链路的硬隔离管道,加上传统的 VPN 与服务质量(QoS)结合实现的软隔离管道,实现不同纬度的网络转发分片支持。网络分片要求网络实现业务端到端的隔离,从管理面、控制面到转发面实现隔离,并利用协同器 O 将无线、核心网及传输联动起来。

3.2.5 超高精度时间同步技术

5G 无线空口对于时间同步提出更高要求,对于传输网提出了 ± 200 ns 的时间同步要求,因此这要求时间服务器和终端时延精度达到 ± 50 ns,设备时延精度达到 ± 5 ns。

高精度时间同步主要包括超高

精度时钟源和超高精度的时间传送技术。

超高精度时钟源包括:(1)卫星接收技术。通过共模共视或者双频段接收等降低卫星接收噪声,拟在近期进行测试验证,需要升级卫星接收模块。(2)高稳定频率源技术。单一时钟过渡到时钟组,提高丢失卫星的时间保持精度,目前正在研究开发铷钟组方案。

时间服务器跟踪卫星,性能可从 100 ns 提升到 30 ns。超高精度的时间传送技术通过优化接口时间戳处理,1588 时间同步协议演进和单纤双向改进链路对称性来改进设备的传输时间同步精度。

3.2.6 SDN 统一管控技术

SDN 统一管控是 5G 传输的必选项,并将纳入到整个编排管理中,实现南向、北向接口开放。

SDN 可以概括为网络集中控制、设备转发/控制分离和网络开放可编程。如图 3 所示,SDN 定义了业务协同层、网络控制层和设备转发层的 3 层架构,提升网络可编程能力,标准的南向和北向接口实现全网资源高

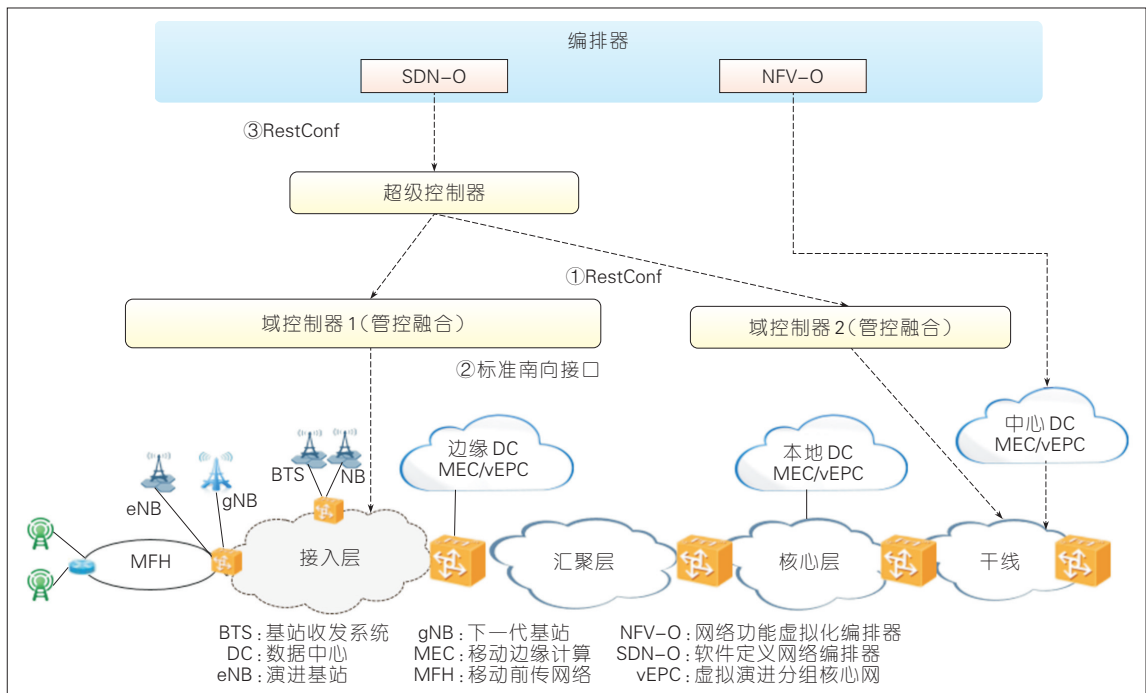
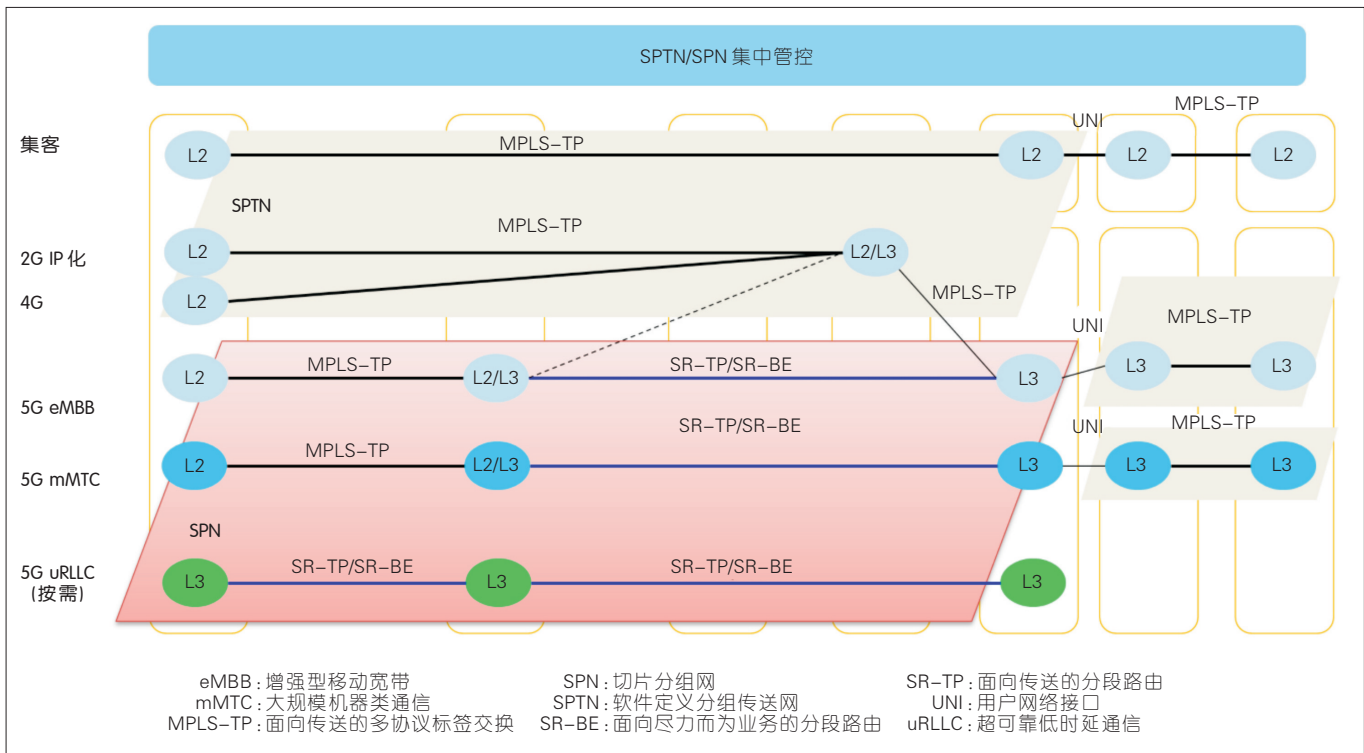


图 3 SDN 统一控制架构



▲ 图 4 5G 传送网技术部署

效调度,提供网络创新平台,增强网络智能。

域控制器分别管控一个域内的设备和连接,域之间通过超级控制器来管理调度,再通过协同器实现不同领域的业务编排以及业务端到端的管控。

4 SPN 可与 PTN 构建互联互通网络实现 4G/5G 融合组网

SPN 和 PTN 都是基于以太网数据包传输的网络架构,SPN 基于以太网技术进行增强和完善,主要包括:以太网层引入切片以太网技术 SE-TP,转发层采用灵活的分段路由技术 SR-TP,控制层采用 SDN,同时引入大带宽的以太网接口,进行更高精度的时间同步。

如图 4 所示,面对 5G 需求,需要

新建 SPN 平面来为 5G 的所有功能提供承载服务,同时为支持 4G/5G 业务协同,SPN 需要能和 PTN 进行融合组网。在转发层面,SPN 和 PTN 通过 L3 层 VPN 互通,实现业务层面的互联互通。在控制面升级支持 SPN 与软件定义分组传送网(SPTN)的控制器,以实现跨 PTN 与 SPN 的资源调度及协同。

5 结束语

下一代网络的发展对于传输网络提出了新的需求和挑战,需要新的传输体制。SPN 是面向 5G 的新传输网技术体制,其转发面基于 SR-TP over SE over DWDM,控制面采用 SDN,分别在物理层、链路层和转发控制层采用创新技术,同时在光层采用低成本高速模块,能够满足 5G 及未来传输网络需要,是更适合的 5G

传送网技术。

参考文献

- [1] 李正茂. 通信 4.0[M]. 北京: 中信出版社, 2016
- [2] 5G 网络架构白皮书[R]. 北京: IMT2020 推进组, 2016
- [3] NGMN 5G White Paper V1.0[R]. Frankfurt: NGMN Alliance, 2015
- [4] 3GPP Release 14. Study on New Radio Access Technology: Radio Access Architecture and Interfaces: TR 38.801[S]. 3GPP, 2017

作者简介



李晗,中国移动通信研究院教授级高工,国家中青年科技创新领军人才;从事光通信领域策略、标准和技术研发工作,研究方向包括 PTN、OTN、PON 和时间同步等;曾获得国家科学技术进步奖二等奖 2 次,中国专利优秀奖 2 次,省部级科学技术一等奖 2 次、二等奖 1 次;已发表论文 50 余篇,授权专利 34 项,提交国际文稿 100 余篇。