



专题：“IPv6+”网络技术创新体系

基于“IPv6+”的 5G 承载网切片技术与应用

秦壮壮¹, 屠礼彪², 臧寅¹, 郭文字¹

(1. 中国联合网络通信有限公司北京市分公司, 北京 100052;

2. 中国联合网络通信集团有限公司, 北京 100033)

摘要: 5G 承载网切片技术是满足 5G 业务, 特别是垂直行业场景对差异化服务质量保证需求的基础。对如何在网络基础设施层、网络切片实例层以及网络切片管理层将“IPv6+”关键技术与承载网切片结合使用进行了研究。以北京联通为例, 介绍了智能城域网向基于“IPv6+”的承载网切片演进的演进目标、应用场景、演进计划以及存在的问题与建议。

关键词: 5G 承载; 智能城域网; SRv6; 网络切片

中图分类号: TN915

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020252

IPv6+ 5G bearer network slicing technology and application

QIN Zhuangzhuang¹, TU Libiao², ZANG Yin¹, GUO Wenyu¹

1. Beijing Branch of China United Network Communications Co., Ltd., Beijing 100052, China

2. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China

Abstract: 5G bearer network slicing technology is the basis for meeting differentiated QoS assurance needs of 5G services, especially in vertical industry scenarios. Using key IPv6+ technologies with bearer network slice at the network infrastructure layer, the network slice instance layer, and the network slice management layer has been studied. Taking Beijing Unicom as an example, the objective, application scenarios, evolution plans, existing problems and suggestions of the evolution of smart MAN to IPv6+ based bearer network slice were introduced.

Key words: 5G bearer, smart MAN, SRv6, network slicing

1 引言

5G 基站的接入带宽是 4G 接入带宽的 10 倍以上, 基站密度也远超 4G, 接入带宽与容量的变化引发了承载网技术升级换代。运营商一般对无线接入网采用迭代建设来提供持续性服务和避免投

资浪费, 承载网的规划建设应紧密衔接无线接入网和移动核心网的建设节奏, 处理好产能供应与演进发展之间的平衡关系。

中国联通以网络结构简化、网络协议简化、网络设备简化和网络控制管理智能化为目标, 快速构建了一张以通信云 DC (data center, 数据中

心)为核心,容量超越现有 IPRAN (IP radio access network, IP 化无线接入网),技术兼容宽带城域网及 CE (customer edge, 客户边缘)路由器网络,综合承载的智能城域网。智能城域网以 SR-MPLS (segment routing over multi-protocol label switching, 基于多协议标签交换的段路由)为基本转发技术,可以在降低设备成本的同时很好地满足 NSA (non-standalone, 非独立组网)阶段的承载要求。

但技术是在不断进步的,近一年来 5G SA (standalone, 独立组网)和 IPv6 技术突飞猛进地发展,特别是以 SRv6 (segment routing over IPv6, 基于 IPv6 的段路由)、BIERv6 (bit index explicit replication IPv6, IPv6 封装的位索引显示复制)和 APN6 (application-aware IPv6 networking, 感知应用的 IPv6 网络)为代表的一系列 IPv6+技术创新,给 5G 承载网的发展带来了新的机遇与挑战。

2 5G 承载网切片需求

不同类型的 5G 业务在带宽、时延、可靠性、

安全性、移动性和连接数量等方面存在巨大的差异。其中垂直行业是 5G 的重要业务场景,要求网络与业务协同提供差异化的服务质量保证。为了在一张物理网络中同时满足各类不同业务的差异化需求,网络切片的理念应运而生,成为 5G 的关键技术特征之一。

网络切片的示例如图 1 所示,可以在同一张物理网络上为智能手机上网业务、自动驾驶业务以及海量物联网业务分别划分不同的网络切片,同时还可以为其他类型的业务或不同的网络租户划分更多的网络切片。

5G 端到端网络切片包括无线接入网切片、移动核心网切片和承载网切片。其中无线接入网和移动核心网的网络切片架构和技术规范由 3GPP 进行定义,承载网切片的架构和技术规范主要由 IETF、IEEE、CCSA 等标准组织进行定义。

对于承载网来说,网络切片是指在一张物理网络上划分出多张由特定网络拓扑和网络资源组成的虚拟网络,用于满足不同网络切片租户或业务的差异化连接和服务质量要求。实现不同网络切片之间

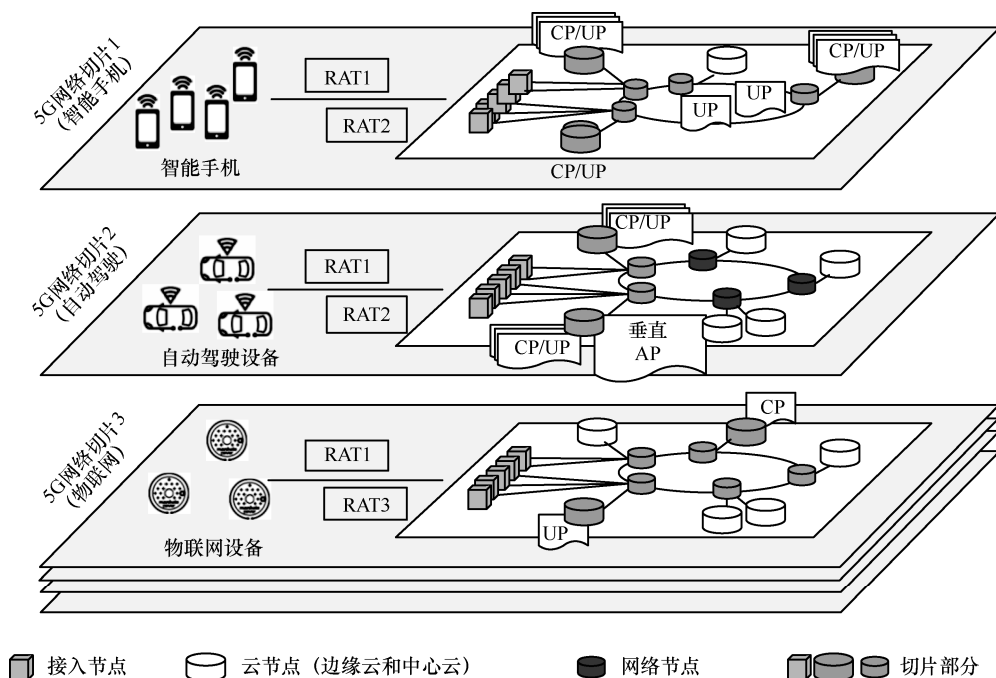


图 1 5G 网络切片示例



的隔离是切片的一项关键需求。按照隔离程度的不同，承载网切片可以提供 3 个层次的隔离：业务隔离、资源隔离和运维隔离，具体如图 2 所示。

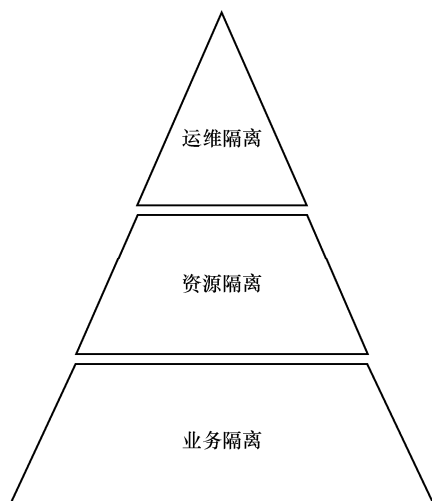


图 2 承载网切片隔离需求等级划分

- 业务隔离：某一网络切片中的业务流量不会被同一网络其他网络切片的业务节点接收到，即不同网络切片的业务互不可见；该层次的需求可以通过 VPN 技术满足。

- 资源隔离：不同网络切片使用独立分配的网络资源，从而避免不同网络切片间业务流的干扰，即不同网络切片的业务互不影响；该层次需求通过 FlexE 等转发资源切分技术来满足。
- 运维隔离：部分网络切片租户要求运营商开放一定的网络切片管理和维护功能，此时租户只能管理其自身的网络切片，其操作不影响其他网络切片的正常运行。

3 “IPv6+” 承载网切片

3.1 承载网切片架构

为了满足网络切片租户不同层次的需求，参考 VPN+网络切片框架，承载网切片的架构分为 3 层：网络基础设施层、网络切片实例层和网络切片管理层。承载网切片分层架构与功能示意图如图 3 所示。

- 网络基础设施层：提供承载网切片所需的资源划分与预留能力，支持将网络中的资

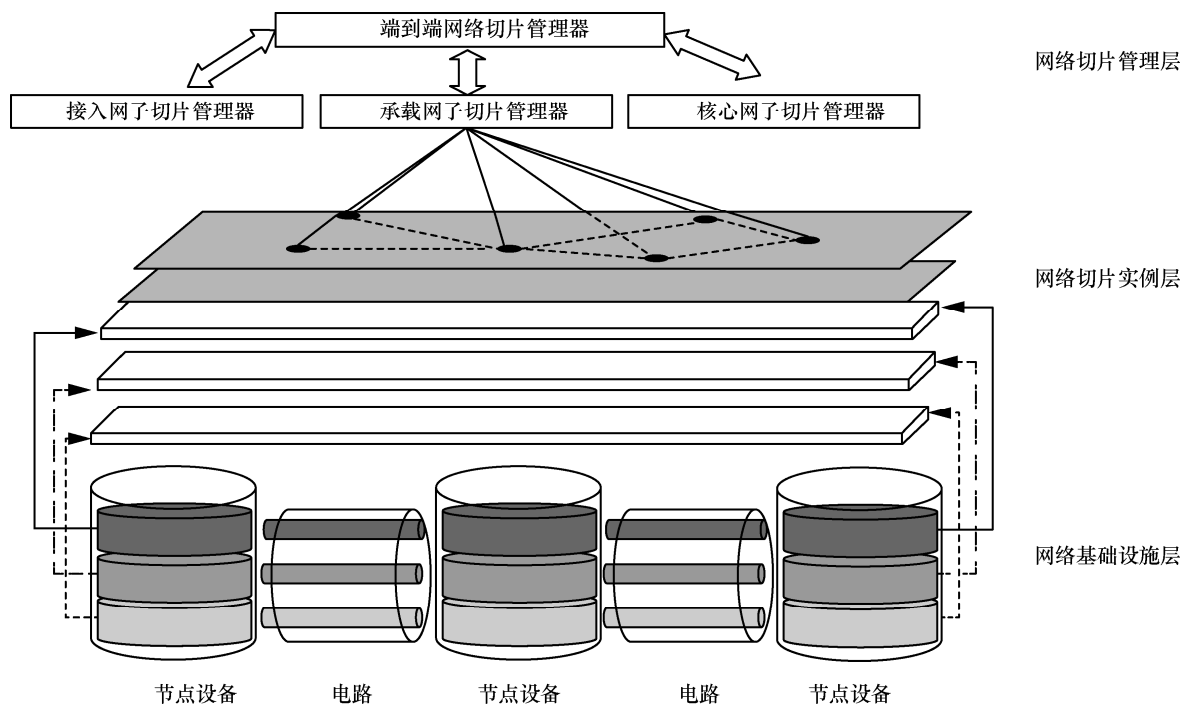


图 3 承载网切片分层架构与功能示意图

源划分为相互隔离的多份，分别提供给不同的网络切片使用。这一层可采用 FlexE 等技术，可以将物理以太接口的带宽划分给多个不同的切片使用，并可以隔离不同切片的业务流量之间的相互影响。

- 网络切片实例层：在同一物理网络中生成不同的虚拟网络切片，提供按需定制的逻辑拓扑连接，通过整合切片逻辑拓扑与网络基础设施所分配的底层网络资源，构成满足特定业务需求的有资源保证的切片。网络切片实例层可进一步划分为上层（overlay）的业务切片和底层（underlay）的资源切片，其中 overlay 层可使用各类 VPN 技术提供逻辑连接和业务隔离，underlay 层基于“IPv6+”扩展关联底层预留的网络资源，建立有资源保证的虚拟承载网络，可提供用于满足切片业务连接所需的定制网络拓扑以及满足切片业务的服务质量要求所需的独享或部分共享的网络资源，为 overlay 层提供承载服务。
- 网络切片管理层：主要提供切片的生命周期管理功能，包括切片的规划、创建、监控、调整和删除等。为了满足未来日益增多的垂直行业切片需求，网络切片管理层需要支持动态按需的切片生命周期管理能力。网络切片管理层还需对外提供开放接口，用于与切片租户交互切片需求、能力和状态等信息，并完成与 5G 端到端网络切片的映射和对接。

3.2 基于“IPv6+”的承载网切片技术

IPv6 灵活的网络编程能力及良好的可扩展性可以应用于网络切片，以下提供 5G 承载网切片解决方案。

（1）网络基础设施层

在网络基础设施层，根据业务需求使用 FlexE 等技术在承载网设备物理接口上划分出不同的逻辑接口，为切片分配独立的网络资源，实现不同切片之间的资源隔离。

FlexE 是在 ethernet（以太网）技术基础上为满足高速传送、带宽配置灵活等需求而发展出的技术，其通用架构如图 4 所示。FlexE 的核心功能通过 FlexE shim（薄层）层实现，它可以把 FlexE group（组）中每个物理以太接口划分为多个 slot（时隙）的数据承载通道。FlexE client（用户）数据流中的以太网帧以 64/66B 编码为单位切分为原子数据块，可以通过 FlexE shim 实现在 FlexE group 中的多个物理接口与时隙之间的分发。利用 FlexE 的划分多数据通道能力，可以将物理以太接口的带宽划分给多个不同的网络切片使用，并可以隔离不同切片之间流量的相互影响。

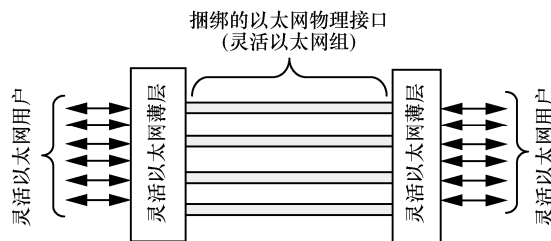


图 4 FlexE 通用架构

对于不支持 FlexE 的节点，也可以考虑使用其他技术作为补充和过渡。

（2）网络切片实例层

在网络切片实例层，基于各承载网设备为切片所分配的资源，组建一张有资源保证的虚拟承载网络，将 VPN 业务按需部署在虚拟承载网络上。这其中包括数据平面的方案和控制平面的方案考虑。

网络切片实例层的数据平面功能是在数据业务报文中携带网络切片的标识信息，用于区分属于不同切片的报文，并指示为切片所预留的底层网络资源，从而指导不同切片的报文按照切片定义的拓扑、资源等约束进行转发处理。数据平面需要提供一种通用的标识，从而与网络基础设施层的具体资源隔离技术解耦。



一种承载网切片数据面的封装方式是每台网络设备为不同切片分配专有的 SRv6 locator (位置标识), 并在该 locator 的地址空间下为该切片内的不同网络功能分配对应的 SRv6 SID (segment routing identifier, 段路由标识)。SRv6 的 SID 由 locator 和 function (功能) 部分组成, 可能还有可选的 arguments (参数) 字段。在数据报文的转发过程中, 需要在 SRv6 SID 的 locator 中包含切片标识信息, 即为网络设备分配不同的 locator 标识所支持的不同切片。SID 中的 function 和 arguments 部分可以用于指示该切片中定义的功能和参数信息。转发面网元设备根据切片对应的 locator 和 SID 指令使用该切片分配的资源进行转发处理。这种封装方式下的数据报文头部需要包含较多的信息。

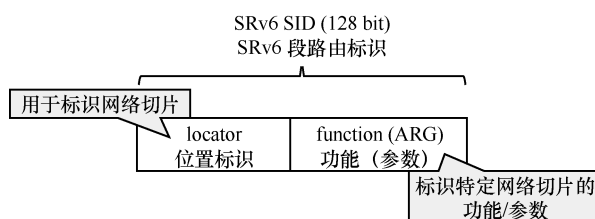


图5 基于 SRv6 locator/SID 的切片数据面标识示意图

另一种数据面封装方式是为承载网切片分配全局唯一的标识, 并在 IPv6 扩展头中进行携带, 此时切片标识与用于路由和寻址的 SRv6 locator/SID 相互独立, 当多个网络切片的拓扑相同时, 可以共用同一组路径 SRv6 locator 和 SID, 进一步通过不同的切片标识进行区分。在转发切片报文时, 基于 SRv6 SID 和切片标识共同指示使用该切片拓扑和为切片分配的网络资源进行报文的转发处理。

网络切片实例层的控制面可以采用集中式与分布式相结合的方案。在每个承载网切片内, 数据报文的转发路径可以由控制器集中计算得出的显式路径, 也可以是由网络节点分布式计算得出的最短路径。这两种路径的计算都需要基于承载网切片的拓扑和资源等约束进行。

承载网切片的分布式控制面通过使用扩展多拓扑 (multi-topology) 或灵活算法 (Flex-Algo) 功能的 IGP (interior gateway protocol, 内部网关协议) 来分布式地发现切片拓扑、通告切片资源等属性, 实现分布式的路径计算, 并提供切片内的 TI-LFA (topology-independent loop-free alternate, 与拓扑无关的无环路保护) 倒换。

在分布式控制的基础上, 可以进一步引入和增强基于集中式控制器的控制面。集中控制器可以进行承载网切片的资源规划, 收集域内和域间拓扑并基于约束计算端到端的路径, 通过 SR-policy (段路由策略) 等方式下发给路径的头节点。这一方案是 SDN (software defined networking, 软件定义网络) 架构和技术在切片中的延伸与应用, 优点是可以进行切片全局的资源管理与流量优化, 实现对切片内资源的充分利用, 是分布式控制面的进阶和补充。

在承载网切片的部署过程中, 需要考虑业务需求和切片规模、数量等因素对数据面和控制面技术进行组合, 采用适合当前阶段的承载网切片方案。在切片部署的早期, 承载网切片数量较少, 切片内的业务需求相对简单, 可以使用 SRv6 切片数据面封装结合集中式控制面的方式, 支持网络切片的快速部署和试商用。当网络切片内的业务种类增多后, 通过引入切片的分布式控制面, 使能切片内的 BE (best effort, 尽力而为) 服务路径计算与 TI-LFA 保护能力, 发挥集中式与分布式控制面相结合的优势。

(3) 网络切片管理层

在网络切片管理层提供统一抽象的切片北向接口和模型, 供切片用户描述对切片的拓连接以及服务质量保证等方面的需求, 并提供对切片关键指标的监控和上报。根据从切片北向接口获得的切片需求, 在切片实例层使用基于 “IPv6+” 的承载网切片技术方案完成对切片和业务的部署。

4 “IPv6+” 承载网切片的应用

北京联通作为 5G 试点城市和首都通信局,在 IPv6 改造、网络建设和技术能力等方面有较好的基础。北京联通在 2019 年就已经完成了 SRv6 跨域云专线和城域 FlexE 切片承载能力的测试验证。北京联通智能城域网计划在 2020 年下半年启动向基于“IPv6+”的 5G 承载网切片技术演进,争取用两至三年的时间实现目标。

4.1 演进目标

智能城域网向更加简化演进。在数据转发面,用 IPv6 逐步替代 MPLS,最终将所有二层虚拟专用网络(L2VPN)和三层虚拟专用网络(L3VPN)流量转移到 IPv6 上承载;在信令控制面,统一采用 BGP EVPN(border gateway protocol ethernet VPN,支持以太网 VPN 的边界网关协议)+IS-IS(intermediate system to intermediate system,中间系统到中间系统协议)。

智能城域网向具备差异化竞争能力演进。全网部署两个 5G VPN,一个采用 SRv6-BE 承载的

2C(to customer,对公众客户)VPN 和一个采用 SRv6-TE(traffic engineering,流量工程)承载的 2B(to business,对政企客户)VPN。接入环采用 50GE/100GE FlexE 电路,汇聚以上采用 100GE/400GE FlexE 电路。全网预设一个 2C 切片和一个 2B 切片实现 2C 和 2B 流量的完全隔离。

智能城域网向更加智能化和云网业协同演进。北京联通 IPRAN 已经部署 SDN 控制器和协同编排器,全部智能城域网设备将在入网的同时纳管以支持 4G/5G 站点的跨厂商端到端自动服开。SDN 控制器或协同编排器北向与承载网子切片管理功能对接,满足动态发放切片业务的要求。全网部署随流网络测量手段,与网管系统对接,业务流质量实时可感可视。

4.2 应用场景

部署 FlexE 技术后,北京联通智能城域网在网络基础设施层就具备了 2C“默认切片”和 2B“增值优享切片”的硬隔离能力。

应用基于“IPv6+”的承载网切片技术后,智

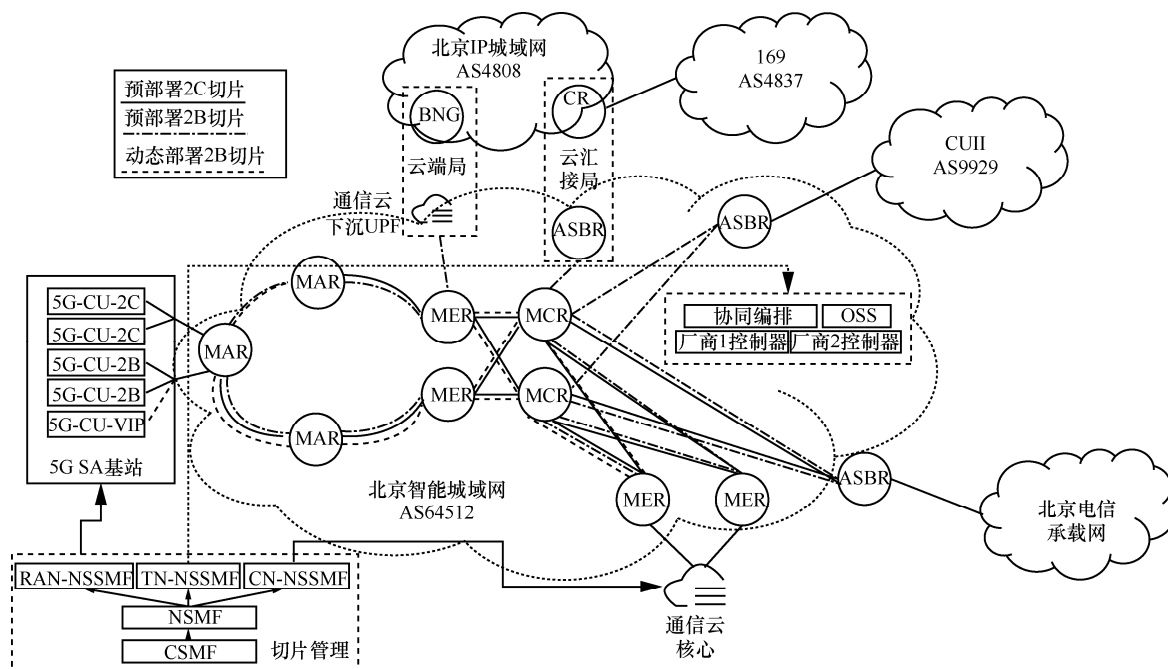


图6 北京联通智能城域网基于“IPv6+”的5G承载网切片应用场景



能城域网可以充分利用“IPv6+”技术的灵活扩展和网络编程能力，对切片资源进行标识与管理，在网络切片实例层的数据平面和控制平面上按需定制虚拟网络（virtual network，VN）。例如使用 SRv6 Policy 为“特殊超级业务”动态开通端到端的承载网切片，或使用 APN6 将媒体客户的视频转播流引入按需部署的“独享切片”。

在此基础上，智能城域网可以成为首都 5G 共建共享和云网融合业务的承载网基础设施。北京联通智能城域网与北京电信智能传送网（smart transport network，STN）对等互通，作为共享 4G/5G 流量的弹性智能管道。智能城域网和 IP 城域网分别在核心与汇聚层交换本地云网数据，形成云汇接和云端局两级疏导机制，降低跨骨干开通复杂度并缓解云枢纽压力。

4.3 演进计划

综合考虑 5G 部署战略、投资建设节奏、网络资源现状和技术成熟程度，北京联通计划分 3 个阶段完成智能城域网向基于“IPv6+”的承载网切片演进。

- 阶段 1：项目启动、需求分析、确定实施方案，完成智能城域网 IPv6 地址规划，5G SA 相关设备全部开启双栈。
- 阶段 2：选取一到两个区域试点 5G SA 到核心网流量端到端使用 SRv6 承载。输出 SRv6 和切片改造方案与配置模版。
- 阶段 3：核心汇聚分区域完成 SRv6 和切片改造。控制器或协同编排器北向与承载网子切片管理功能对接。

5 存在的问题与解决建议

北京联通在向基于“IPv6+”的承载网切片演进过程中，详细分析了遇到的工程实践难点和技术问题，并给出了相应的解决建议。

北京智能城域网必须同时兼容 3G/4G/5G NSA/5G SA 等多种移动网制式，且新旧承载网设

备有较长的共存期，大部分存量板卡不支持开启 SRv6 和 FlexE 功能。北京联通将在工程中采用替换老旧板卡等措施解决。本项工作需要得到中国联通集团在投资和政策上的支持。

IPv6 灵活扩展和具有网络编程能力的特点，增加了其被用于网络攻击或资源滥用的风险。特别是对代表关键网络资源和网元能力的 SRv6 SID 及 BIERv6 End.Bier 地址段，应做好规划并在网络边缘部署相应的安全防护措施。

现阶段不同厂商设备对 FlexE 的支持能力不同，无法统一要求供货商在建设网络时即部署 FlexE 接口模式。因此需要供货商规划普通以太网接口切换到 FlexE 模式的自动化部署工具。

共建共享场景下中国电信和中国联通的切片实现方案与具体规划存在差异，建议在 ASBR（AS border router，自治系统边界路由器）之间采用物理端口或 VLAN（virtual LAN，虚拟局域网）子接口的方式解耦互通，由两个运营商各自保证网内切片业务质量。

6 结束语

IPv6 的灵活扩展与网络编程能力以及切片的业务、资源和运维隔离能力对 5G 承载至关重要。北京联通将以“IPv6+”技术创新为引擎，在智能城域网基础上部署“IPv6+”使能的承载网切片，向网络简化、控制智能化、服务差异化和云网业协同进一步演进，打造承载 5G Capital 和数字化转型的网络基础设施。在演进过程中，还要逐步解决设备升级、安全性和兼容性问题，特别是需要得到中国联通集团的正确领导和政策支持。

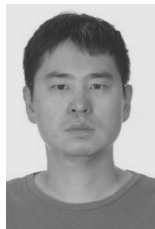
参考文献：

- [1] 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): 8-13.
XIE C F, JIANG W J, MA C H, et al. Research and practice of SRv6 for integrated carrying of video cloud[J]. Telecommuni-

cations Science, 2019, 35(12): 8-13.

- [2] 蒋林涛. 数据网的现状及发展方向[J]. 电信科学, 2019, 35(8): 8-21.
JIANG L T. Current situation and development trend of data network[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(8): 8-21.
- [3] 姚佳宁. 2020年北京联通智能城域网核心汇聚新建工程可行性研究报告[R]. 2020.
YAO J N. Feasibility study report for new project of core and aggregate layer of Beijing Unicom smart MAN(2020)[R]. 2020.
- [4] IETF. A framework for enhanced virtual private networks (VPN+) services: draft-ietf-teas-enhanced-vpn-06 [Z]. 2020.
- [5] 华为技术有限公司, 中国电信集团有限公司. 灵活以太网技术白皮书[R]. 2018.
Huawei Technologies Co., Ltd., China Telecom Group Co., Ltd. White paper for flex ethernet[R]. 2018.
- [6] IETF. SRv6 network programming: draft-ietf-spring-srv6-network-programming-16[S]. 2020.
- [7] IETF. IPv6 segment routing header (SRH): RFC8754[S]. 2020.
- [8] IETF. Encapsulation for BIER in non-MPLS IPv6 networks: draft-xie-bier-ipv6-encapsulation-08[Z]. 2020.
- [9] 中国联合网络通信有限公司网络技术研究院. 2020年联通智能城域网与电信 STN 互通和共建共享方案[R]. 2020.
Network Technology Research Institute of China United Network Communication Co., Ltd. Co-construction and sharing scheme for China Unicom smart MAN & China Telecom STN(2020)[R]. 2020.

[作者简介]



秦壮壮 (1977—), 男, 中国联合网络通信有限公司北京市分公司高级工程师, 主要研究方向为 IPv6、IP 城域网和 IP 承载网的网络架构与技术演进、SDN 和项目管理等。



屠礼彪 (1970—), 男, 中国联合网络通信集团有限公司高级工程师, 主要研究方向为 IPv6、IP 城域网、智能城域网、IPRAN 的网络架构与技术演进、规划及建设方案管理等。

臧寅 (1974—), 男, 中国联合网络通信有限公司北京市分公司高级工程师, 主要研究方向为传送承载网络的研究、移动回传网络、网络架构、IPv6、SDN/NFV、大客户专线及承载网络安全等。

郭文宇 (1975—), 男, 中国联合网络通信有限公司北京市分公司网络部副总经理、高级工程师, 主要研究方向为固定通信网络规划发展、承载网络架构和技术演进, 网络基础设施建设和布局, 投资和项目组合管理等。