

小颗粒切片技术在 智能城域网中的应用与实践

Innovative Application of Network Slices in Smart MAN

熊礼霞¹,屠礼彪²,杨进军³,张旭¹(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司,北京 100048;2. 中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033;3. 中国联通湖北分公司,湖北 武汉 430040)

Xiong Lixia¹, Tu libiao², Yang Jinjun³, Zhang Xu¹(1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd., Beijing 100048, China; 2. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China; 3. China Unicom HuBei Branch, Wuhan 430040, China)

摘要:

介绍了小颗粒切片技术的产生背景、发展现状、系统架构和基本原理,根据业界标准化发展和主流方案实现情况,面向中国联通智能城域网演进,编制基于 SRv6 转发技术的切片部署应用方案,推进 FGRS(Fine Granularity bandwidth Resource Service)小颗粒切片技术在智能城域网的应用实践。

关键词:

智能城域网;FGRS;网络切片

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.12.011

文章编号:1007-3043(2025)12-0059-06

中图分类号:TN919

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

It introduces the background, development status, system architecture, and basic principles of network slices. According to the development of standardization and the implementation of main solutions, facing the evolution of China Unicom's intelligent metropolitan area network, it figures out the application scheme suitable for China Unicom's intelligent metropolitan area network based on SRv6 forwarding technology, and promotes the innovative application of FGRS (Fine Granularity bandwidth Resource Service) in the intelligent metropolitan area network.

Keywords:

Intelligent metropolitan area network;FGRS;Network slices

引用格式:叶杨,李扬鹏,薛清,等. 无人机建模与视频监控仿真规划融合应用模型研究[J]. 邮电设计技术,2025(12):59–64.

0 引言

网络切片是指在同一个共享的网络基础设施上提供多个逻辑网络,每个逻辑网络服务于特定的业务类型或业务客户,将网络带宽划分为不同大小的隔离通道,保障业务服务的可靠性。

根据国内运营商的专线业务客户需求特点分析,带宽需求仍旧以千兆及以下颗粒度为主,且对网络服务质量、业务隔离和可靠性的要求越来越高。为更好地满足精细化网络服务需求,小颗粒网络切片(简称

小颗粒切片)技术应运而生。

本文围绕小颗粒切片技术的应用价值,从网络演进和应用需求出发,介绍小颗粒切片技术的发展情况,阐述小颗粒切片在中国联通智能城域网的技术方案和应用实践,总结中国联通小颗粒切片的应用优势,并对未来演进进行分析思考和展望。

1 小颗粒切片技术背景和价值

1.1 产生背景

随着5G网络规模部署和新应用、新业务的深度及广度扩展,5G+垂直行业(例如5G+智能电网、5G+智慧港口、5G+智慧医疗)、政企专线、云网业务等应用场景

收稿日期:2025-10-13

对承载网络的时延、可靠性和安全性保障提出了更高的要求。传统的一张共享网络无法满足精细化差异化网络服务需求。为满足业务对带宽隔离保障和可靠性等高效承载的要求,业界提出了小颗粒切片技术。小颗粒切片技术的研究和应用聚焦在IPv6/SRv6承载网络,属于IPv6+ 2.0阶段(2021—2023年)的关键内容。

针对小颗粒切片技术的应用推广,中国移动首先在2022年6月底发布了SPN2.0&切片专线产品,中国电信和中国联通在2022年7月共同牵头完成了《IP网络确定性切片技术要求》立项,联合推动方案统一和应用落地。

1.2 应用价值

小颗粒切片支持的最小带宽粒度为10 Mbit/s,足以1 Gbit/s及以下带宽为主的专线业务承载需求,可提高网络带宽利用率,提供差异化服务能力,具有以下几个方面的应用优势^[1]。

a) 资源和安全隔离。网络切片隔离的目的,一方面是保障服务质量,避免一个切片中的突发业务和异常流量影响另一个切片中的业务服务,切片间资源隔离,互不影响。另一方面是保障网络安全,可确保切片中的业务或用户信息不被其他切片的用户访问或获取。根据隔离内容不同,可分为业务隔离、资源隔离和运维隔离,业务隔离仅保障业务连接和访问的标识隔离,资源隔离可保障业务服务质量不受干扰,运维隔离可提供管理层面的独立操作。

b) 更高可靠性保障。高价值和uRLLC业务要求IP网络提供高可用性网络,网络需具备毫秒级故障恢复能力,并且网络切片内的链路故障及保护倒换控制在本切片范围内,不对其他切片及切片内业务产生任何影响。

小颗粒切片技术可精准满足客户业务承载需求,打造高效高质量网络,灵活匹配各类业务的带宽要求,实现带宽小颗粒、隔离精细化、高安全高可靠的网络差异化服务能力。网络切片应用示意如图1所示。

2 小颗粒切片技术发展现状

主流的2种小颗粒切片技术为FGU(Fine Granularity Unit)和基于SliceID的切片方案(如FGRS),前者基于TDM时隙复用,通过二级映射和定义FGU固定帧结构的方式,对5 Gbit/s的FlexE时隙做进一步时隙划分与复用,实现最小10 Mbit/s的小颗粒切片,提供小

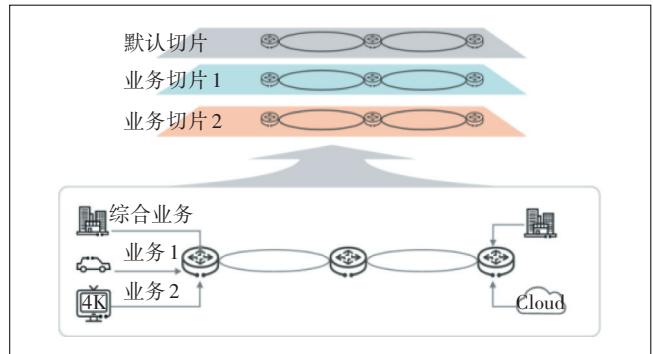


图1 网络切片应用示意

颗粒切片管道服务,对该设备功能的支持依赖专门的硬件板卡。后者在业务报文头中携带SliceID,并通过SliceID匹配设备上的资源预留,实现最小10 Mbit/s的小颗粒切片,对该设备功能的支持仅需进行软件升级。有多种在业务报文头中携带SliceID的转发封装方案,包括利用IPv6源地址、HBH(Hop-By-Hop)扩展头、Flow Label字段等。其中IPv6源地址的方案实现简单,设备支持度高,不影响报文转发效率,技术较成熟。小颗粒切片技术图谱如图2所示。

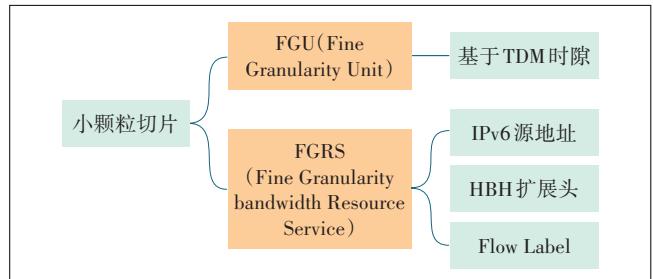


图2 小颗粒切片技术图谱

2.1 标准化状态

小颗粒切片技术的国际和国内标准工作都在不断推进,已经完成总体框架的标准化制定(RFC9543)。该技术的转发面存在多种可能方案,3家运营商根据自身网络发展演进特点和需求选择适用的方案。中国移动聚焦于SPN网络的FGU技术方案标准化^[2],中国联通和中国电信统一采用基于SliceID的切片方案,并编制了相关的企业规范进行标准化,保证设备功能的互通和应用部署。小颗粒切片技术相关的主要标准如表1所示。

2.2 行业研发情况

中国联通在2024年发布了企业规范《中国联通IP承载网络切片技术要求V1.0》,规范明确了FGRS技术

表1 小颗粒切片技术相关的主要标准(部分)

主要内容	标准名称	类型
总体框架	A Framework for Network Slices in Networks Built from IETF Technologies	RFC9543
转发面方案	Encoding Network Slice Identification for SRv6	Draft-cheng-spring-srv6-encoding-network-sliceid-08
方案、功能和性能要求	IP 网络确定性切片技术要求	CCSA 送审稿
中国联通的方案、功能和性能要求	中国联通 IP 承载网络切片技术要求 V1.0	企标
SPN 网络的 FGU 技术相关标准	切片分组网络(SPN)细粒度承载测试方法	YD/T 4446-2023
	切片分组网络(SPN)细粒度承载技术要求	YD/T 4610-2023
	切片分组网络(SPN)细粒度承载管控技术要求	CCSA 立项
.....

方案的技术要求,以推动国内主流设备厂家进行相应功能的开发实现、互通测试和现网应用。

3 小颗粒切片技术总体架构

为了面向租户提供大量保证带宽、保证时延上限等更高 SLA 等级的网络连接服务,同时保证 IP 承载网的可扩展性,本文提出如图 3 所示的网络切片的总体系统架构。其中,小颗粒切片属于小粒度带宽的网络切片。

IP 承载网络切片系统架构由物理资源层、切片转发层、切片管理层和切片服务层组成,其中切片管理和服务遵循 5G 回传场景下承载网网络切片子网的管理功能(TN NSSMF),并进一步进行了细化。物理资源层分为拓扑资源和带宽资源;切片转发层包括分布式路由控制和转发器 2 个子层;切片管理层包括资源管理、性能管理、告警管理和配置管理等功能;切片服务层包括服务化 API、切片生命周期管理、性能报告和告警汇总等功能^[3-4]。

4 小颗粒切片技术基本原理

4.1 FGRS 技术方案

FGRS 技术方案在转发面需要携带 SliceID 信息,主要有基于 IPv6 源地址、HBH 扩展头和 Flow Label 3 种方式,其中基于 IPv6 源地址方案相对更优,无需额外开销、不占用额外带宽,而且设备芯片转发处理的支持难度低、现网设备兼容性好,可通过软件升级的方式实现和部署。基于 HBH 扩展头方案现网兼容性

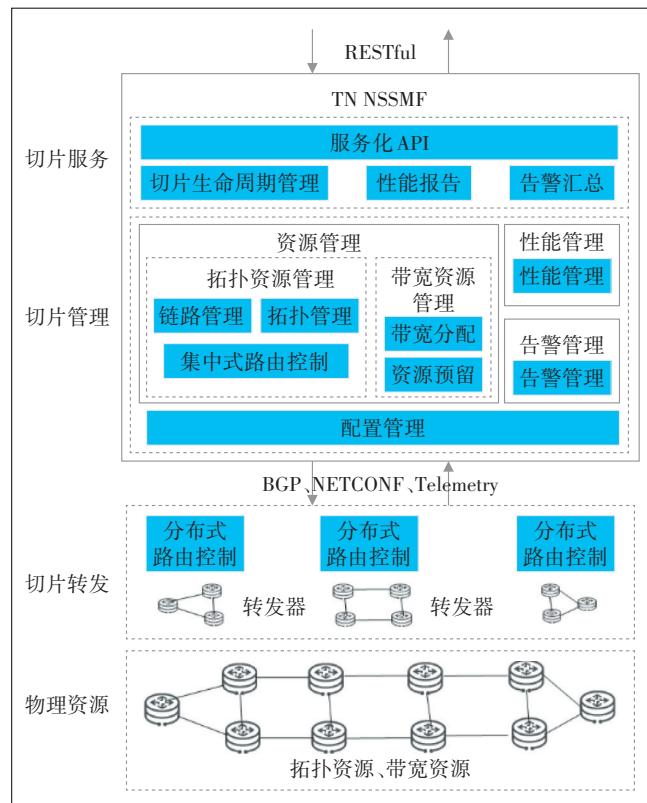


图3 小颗粒切片技术的总体架构示意

最差,容易丢包断流,设备厂家支持度不高。基于 Flow Label 方案扩展性差,影响已有功能的未来演进。中国联通在优选对比后选择了基于 IPv6 源地址携带 SliceID 的技术方案,并通过企业标准来明确和细化方案。3 种方案的对比如表 2 所示。

4.1.1 基于 IPv6 源地址携带 SliceID

如图 4 所示,基于 IPv6 源地址携带 SliceID 方案采

表2 FGRS 技术方案对比

对比项	IPv6 源地址	Flow Label	HBH 扩展头
SliceID 长度	32 bit, 可规划	8 bit(最大 20 bit)	32 bit
改造要求	规划 IPv6 地址预留 SliceID, 软件升级改造	规划 TrafficClass 字段预留切片标记, 软件升级改造	兼容性差, 改造难度大
开销/带宽	无额外开销, 不占用额外的带宽资源	无额外开销, 不占用额外的带宽资源	增加开销(16 B), 占用带宽资源
实现复杂度	SliceID 位于 IPv6 基础头, 容易解析	SliceID 位于 IPv6 基础头, 容易解析	HBH 的 TLV 增加解析深度, 当前商业 ASIC 芯片无法解析
兼容性	兼容性好, 支持平滑升级	RFC8200 已定义基于 Flow Label 的负载均衡	兼容较差, 有断流风险

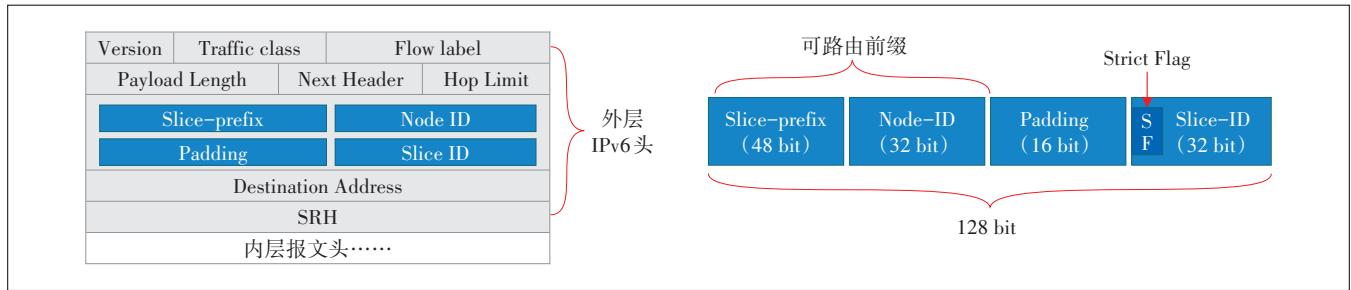


图4 基于IPv6源地址携带SliceID方案示意

用规划 IPv6 源地址方式，并由低 32 位携带切片标识 SliceID 信息。详细字段和含义如表 3 所示^[5]。

表3 IPv6源地址字段含义

字段名	长度	含义
Slice Prefix	可变长度, 和 Node-ID 加一起长度不超过 96 bit。建议取值为 48 bit	FGRS 专用源前缀, 用于识别 FGRS 报文, 识别源地址是否携带 SliceID
Node-ID	可变长度, 和 Slice Prefix 加一起长度不超过 96 bit。建议取值为 32 bit	区分不同设备的源地址标识。Slice Prefix 和 Node-ID 构成可路由前缀, 其长度为 Slice Prefix 长度和 Node-ID 长度之和。可路由前缀通过 IGP 通告, 用于设备间的源地址路由寻址
Padding	可变长度, 和 SlicePrefix、Node-ID 长度之和为 96 bit	Slice Prefix 和 Node-ID 的总长度小于 96 bit 时, Padding 部分填充 0 补齐 96 bit
SliceID	32 bit	FGRS 标识, 在 IPv6 源地址的低 32 bit。其中, 最高位用作严格模式标记位(Strict-Flag)。节点根据低 31 bit 中的 SliceID 查找对应的 FGRS 通道。当 FGRS 通道不存在时, 若 Strict-Flag 为 1, 则丢弃报文; 若 Strict-Flag 为 0, 则使用非 FGRS 带宽资源转发

4.1.2 基于 HBH 扩展头携带 SliceID

利用 IPv6 的 HBH 扩展头携带 SliceID 信息需要定义和标准化其中的 OptionType 为小颗粒切片(见图 5), 具体字段含义如表 4 所示。

4.1.3 基于 Flow Label 携带 SliceID

Flow Label 携带 SliceID 方案示意如图 6 所示。该方案需要将 IPv6 头的 Traffic Class 字段扩展 1 bit, 用于标识 Flow Label 中高 8 bit 为 SliceID, 剩余的 12 bit 维持原定义不变。此方案的 SliceID 仅为 8 bit, 切片数最大只有 256 个。

4.2 FGU 技术方案

FGU 技术方案基于 TDM 时隙复用, 通过二级映射和定义 FGU 固定帧结构的方式, 对 5 Gbit/s 的 FlexE 时

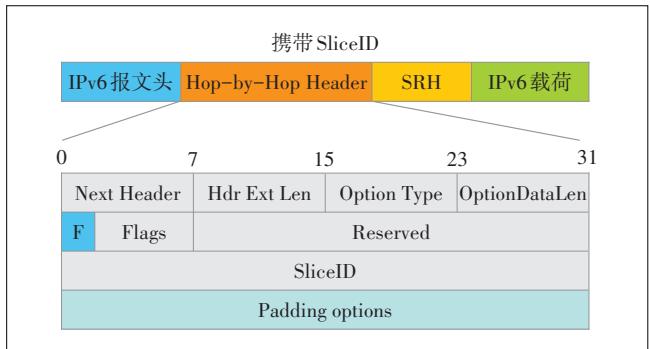


图5 HBH 扩展头携带 SliceID 方案示意

表4 HBH 扩展头中字段含义

字段名	长度/bit	含义
NextHeader	8	标识紧跟在 HBH 之后的报文头的类型
HdrExtLen	8	HBH 扩展头的长度
OptionType	8	指明当前选项的类型为切片选项
OptionDataLen	8	包括“Flags+Reserved+SliceID”这几个字段
Flags	8	切片选项的标志位。最高位 F 代表强制切片转发标记, 严格匹配切片资源接口或子通道进行转发
Reserved	24	预留字段
SliceID	32	切片 ID。节点根据切片 ID 查找对应的切片资源接口或子通道
Paddingoptions	可变	填充选项, 用于 HBH 扩展头的 8 字节对齐

隙做进一步时隙划分与复用, 实现最小 10 Mbit/s 的小颗粒切片, 提供小颗粒的硬管道服务。

根据时隙的细分原则, 1 个 5G 时隙等于 1 个 FGU 复帧, 1 个 FGU 复帧等于 20 个 FGU 基本帧, 1 个 FGU 基本帧分在 24 个子时隙中, 1 个子时隙即为 1 个小颗粒切片, 带宽约为 10 Mbit/s。FGU 基本帧与时隙划分示意如图 7 所示。

5 小颗粒切片技术在智能城域网的应用实践

中国联通智能城域网是新一代城域网, 以通信云

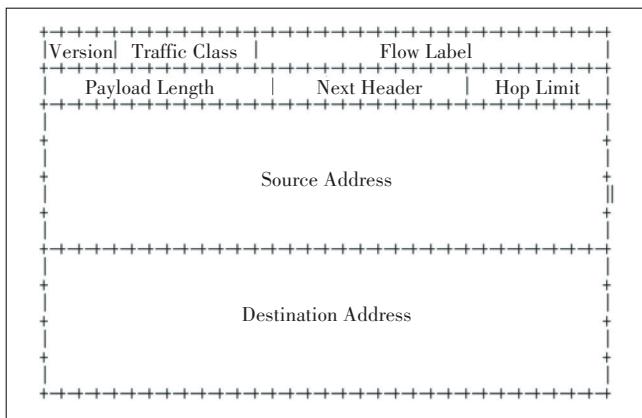


图6 Flow Label携带SliceID方案示意

DC为中心,采用“核心(MCR)+汇聚(MER)/接入(MAR)”的简化架构,实现通信云、移动业务、宽带和专线业务等全业务的综合承载。智能城域网部署EVPN和SR-MPLS技术简化协议,并具备SRv6演进能力。

为满足2B类专线业务的发展和演进需求,中国联通深入研究小颗粒切片技术,优选和设计适用于智能城域网的小颗粒技术方案,并根据不同场景采用不同的应用方案,提供精细化的网络承载差异化服务能力。

5.1 推进策略

聚焦差异化承载需求,编制《中国联通IP承载网络切片技术要求V1.0》企业标准,通过中国联通企标

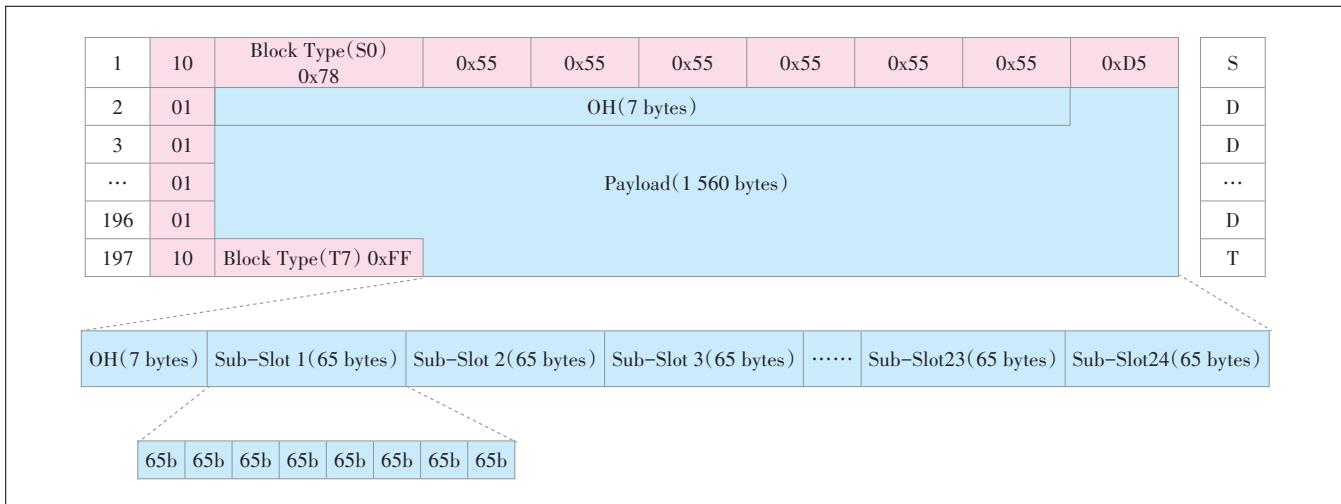


图7 FGU基本帧与时隙划分示意

推动主流厂家统一方案,保障设备功能的互通能力,同时推动各厂家设备的技术方案互通测试,在具备试点条件的省分进行方案试点验证,总结测试和验证经验,推动在智能城域网上的试点应用。

5.2 应用方案1

全局配置面向公众的2C和面向政企的2B 2个基

础切片,在2B切片内使用FGRS小颗粒切片划分细粒度的网络切片(见图8)。智能城域网按需部署端到端/分段的小颗粒切片,部署小颗粒切片的设备需开启SRv6功能,小颗粒切片承载SRv6业务,应用部署涉及的主要内容如下。

a) 创建小颗粒切片,规划分配SliceID,同时在流

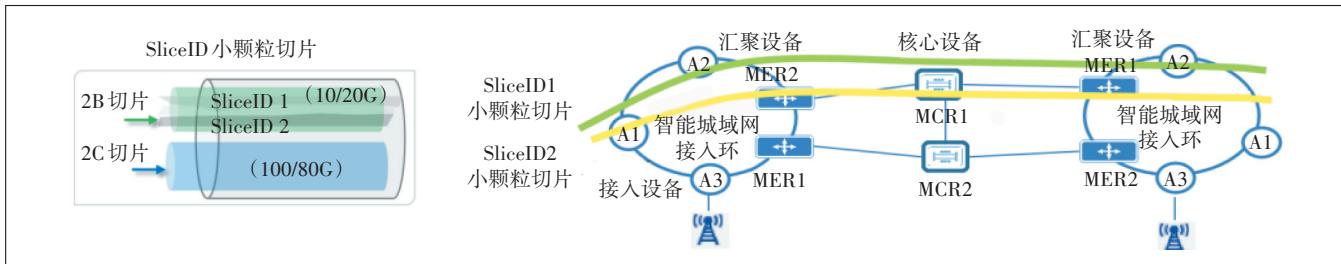


图8 小颗粒切片应用方案1示意

量沿途所有设备上(核心/汇聚/接入)进行转发资源(带宽、队列调度)划分和预留的配置。

b) 配置业务 VPN,通过 MP-BGP/BGP EVPN 邻居向对端传递 VPN 路由信息,迭代业务 VPN 至指定的 SRv6 Policy 上。

c) 头节点(核心/汇聚/接入)配置 SRv6 Policy,并将 SRv6 Policy 与 SliceID 关联。

d) 通过迭代业务 VPN 至 SRv6 Policy 且 SRv6 Policy 与 SliceID 关联的方式,将业务引流到指定的小

颗粒切片中,享有该切片预留的转发资源。

5.3 应用方案 2

小颗粒切片应用方案 2 示意如图 9 所示。智能城域网内未部署切片,在基础网络中直接部署 FGRS 小颗粒切片划分细粒度的网络切片,智能城域网按需部署端到端/分段的小颗粒切片,部署小颗粒切片的设备需开启 SRv6 功能,小颗粒切片承载 SRv6 业务,应用部署涉及的主要工作如下。

a) 智能城域网按需部署端到端/分段的 SliceID 小

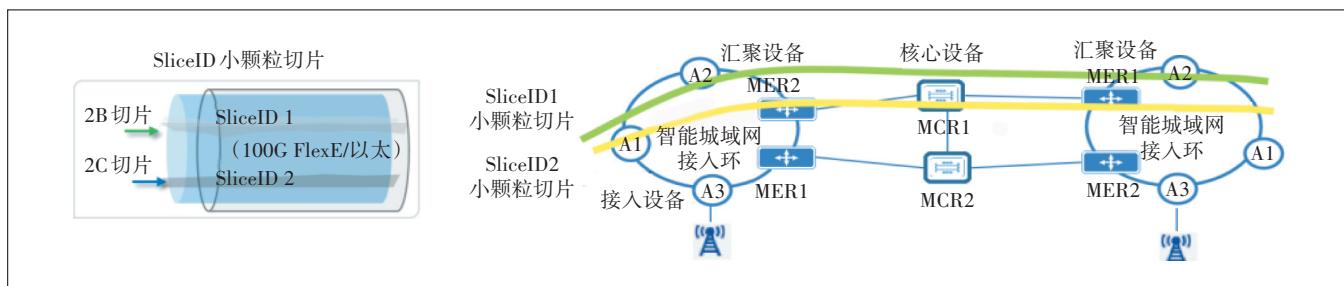


图 9 小颗粒切片应用方案 2示意

颗粒切片。

b) 创建小颗粒切片,规划分配 SliceID,同时在流量沿途的所有设备上(核心/汇聚/接入)进行转发资源(带宽、队列调度)划分和预留的配置。

c) 配置业务 VPN,通过 MP-BGP/BGP EVPN 邻居向对端传递 VPN 路由信息,迭代业务 VPN 至指定的 SRv6 Policy 上。

d) 头节点(核心/汇聚/接入)配置 SRv6 Policy,并将 SRv6 Policy 与 SliceID 关联。

e) 通过迭代业务 VPN 至 SRv6 Policy 且 SRv6 Policy 与 SliceID 关联的方式,将业务引流到指定的小颗粒切片中,享有该切片预留的转发资源。

省分可按需选择上述的 2 种小颗粒切片应用部署方案。某省联通已经采用应用方案 1 在智能城域网完成单厂家组网的试点验证,验证结果达到了预期的业务承载和隔离效果,为后续应用落地和部署推广积累了经验。

6 结束语

小颗粒切片技术创新应用是智能城域发挥网络先进性优势的关键内容之一,本文基于业务和网络发展演进需求,对小颗粒切片技术进行了深入研究,提出其在中国联通智能城域网的推进策略和应用方案,

以进一步增强网络的精细化、差异化服务能力,满足存量迁转和新增业务的发展演进需求。

参考文献:

- [1] 王建,胡志波,董杰. IP 网络切片 [EB/OL]. [2025-02-26]. <https://support.huawei.com/enterprise/zh/doc/EDOC1100205174>.
- [2] 中国移动通信有限公司研究院. SPN2.0 技术白皮书 [R/OL]. [2025-02-26]. <https://www.digitalelite.cn/h-nd-4848.html>.
- [3] FARREL A, DRAKE J, ROKUI R, et al. A framework for network slices in networks built from IETF technologies: RFC 9543 [S/OL]. [2025-02-26]. <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc9543/>.
- [4] 中国联通. 中国联通 IP 承载网络切片技术要求 V1.0: QB/CU022-2024[S]. 北京: 中国联通, 2024.
- [5] CHENG W Q, MA P Y, REN F H, et al. Encoding network slice identification for SRv6: draft-cheng-spring-srv6-encoding-network-sliceid-08 [S/OL]. [2025-02-26]. <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-cheng-spring-srv6-encoding-network-sliceid/08/>.

作者简介:

熊礼霞,毕业于南京邮电大学,高级工程师,硕士,主要从事数据通信网络研究工作;屠礼彪,毕业于北京邮电大学,高级工程师,硕士,主要负责中国联通 IPv6 规模部署、IP 城域网、5G 承载新型智能城域网方面的规划、建设和管理工作;杨进军,毕业于武汉理工大学,硕士,主要负责 IPv6 规模部署、IP 城域网、智能城域网等 IP 承载网方面的规划、建设和管理工作;张旭,毕业于郑州大学,工程师,硕士,主要从事数据通信网络研究工作。