



一种面向集客专线的高效益 SPN 下沉部署策略

陈骋, 汪晗, 南蜀崇

(华信咨询设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310051)

摘要: 5G 网络演进过程中组网模式的改变导致 SPN 面临着泛在覆盖的局限性, 进而导致集客专线客户接入距离远。基于运营商面向效益的建设思路, 解决 SPN 覆盖进一步深化的过程中面临的网络效益问题。以典型配置的经验价值成本为例, 针对不同场景提出 3 种下沉部署策略。搭建仿真环境, 采用高斯混合模型模拟集团客户点位分布特征, 并分析稀疏、普通、密集场景下的总客户数、下沉 SPN 设备数与客户覆盖率之间的关系, 测试不同下沉策略的网络效益。由仿真结果可知, 策略 3 在总客户数为 600 时, 仅面向下沉效益高的区域覆盖, 最大覆盖率只能达到 55.27%, 但随着客户点数增多, 策略 3 最大覆盖率可达到 82.71%, 具有明显的覆盖优势, 同时平均下沉设备可覆盖客户数最多, 实现了保障高效益条件下的高覆盖能力。

关键词: SPN 下沉部署; 业务接入; 集客专线; 网络效益

中图分类号: TN913

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2023142

A cost-effective and miniaturized SPN deployment strategy for group customer dedicated lines

CHEN Cheng, WANG Han, NAN Shuchong

Huaxin Consulting and Designing Institute Co., Ltd., Hangzhou 310051, China

Abstract: With the change of networking mode in the evolution of 5G network, SPN is faced with the limitations of ubiquitous coverage, which leads to the long access distance of the passenger dedicated line customers. Based on the operator's benefit-oriented construction idea, in order to solve the network benefit problem in the process of further deepening SPN coverage. Three sink deployment strategies were proposed for different scenarios, taking the empirical value cost of typical configurations as an example. By building a simulation environment, Gaussian mixture model was used to simulate the distribution characteristics of group customers, and the relationship between the total number of customers, the number of sinking SPN devices and customer coverage in sparse, common and dense scenarios were analyzed, and the network benefits of different sinking strategies were tested. The simulation results show that strategy 3 only faces the area coverage with high sinking efficiency when the total number of customers is 600, and the maximum coverage rate can only reach 55.27%. However, with the increase of customer points, the maximum coverage rate of strategy 3 can reach 82.71%, which has obvious coverage advantages. At the same time, the average number of sunk equipment can cover the highest number of customers, realizing the high coverage ability under the condition of ensuring high efficiency.

Key words: SPN sinking deployment, service access, group customers dedicated line, network benefit



0 引言

随着数字化转型, 5G+垂直行业、政企专线呈现高速发展趋势, 千行百业对网络提出了差异化的承载诉求^[1], 其中高价值集团客户群体对网络提出了超大带宽、低时延、高安全、高可靠以及快速接入的高质量承载诉求^[2], 这要求网络向“高效、融合、智能、低碳”的综合业务承载演进^[3]。面向综合承载的切片分组网络(slicing packet network, SPN)可针对性提供切片硬隔离^[4]、无损带宽调整、服务等级协定(service-level agreement, SLA)可视服务等诉求品质。同时, 为实现客户端到端承载需求, 推出了新型的小型化接入 SPN 的汇聚设备(简称 HUB-SPN)^[5]以及位于终端用户节点的用户驻地设备(customer premises equipment, CPE)的 SPN, 简称 CPE-SPN^[6]。

为达到一定的市场占有率, 运营商往往需提前将 SPN 覆盖到位。目前, 中国移动 5G 传输网 SPN 设备已覆盖至接入层及以上层级^[7], 在边缘覆盖能力方面, 针对 SPN 末端的专线及 5G+垂直行业等业务接入需求, 主要面临客户接入距离远、加深覆盖深度与现有设备成本及配置较高^[8]导致的效益难以平衡的发展瓶颈, 无法经济、高效地满足末端接入需求^[9]。在当前投资收紧的环境下, 客户覆盖率与网络建设效益难以平衡的问题日益显著, 亟须一种效益导向的 SPN 下沉策略及部署解决方案。

本文通过基于研究集客专线客户分布及 SPN 下沉部署特征, 分析了 SPN 下沉部署约束条件, 基于面向成本偏差的经济效益差函数, 提出一种面向集客专线的高效益 SPN 下沉部署策略, 并与两种常规下沉部署模型对比, 建模测试其下沉覆盖能力及网络效益。

1 SPN 下沉部署模型

1.1 集团专线客户特征及 SPN 下沉部署特征

(1) 客户点网格

面向专线业务, 将综合业务区内的集中化无线

电接入网络(centralized-radio access network, C-RAN)根据专线业务客户类型划为更小的客户点网格^[10]。以某省份市区为典型案例, 典型客户点网格以 200×200 的矩形方格为模型构筑, 一个综合业务区内可划分为 10×10 的典型客户点网格。

(2) 客户点

客户点具有广泛的区域随机性和小范围聚集性。这与人类行为的非泊松特性相符, 即事件到达的时间间隔并不均匀, 时间序列有时较为稀疏, 有时又较为密集。

(3) SPN 下沉覆盖范围

HUB-SPN 可用于收敛多台 CPE-SPN 设备的专线业务。根据划定的客户点网格, 往往在单一的楼栋、商务楼宇、街道范围内, 综合考虑下沉设备建设、运维管理等, HUB-SPN 仅覆盖所在客户点网格的所有客户, 不跨网格覆盖。

1.2 SPN 下沉部署约束条件

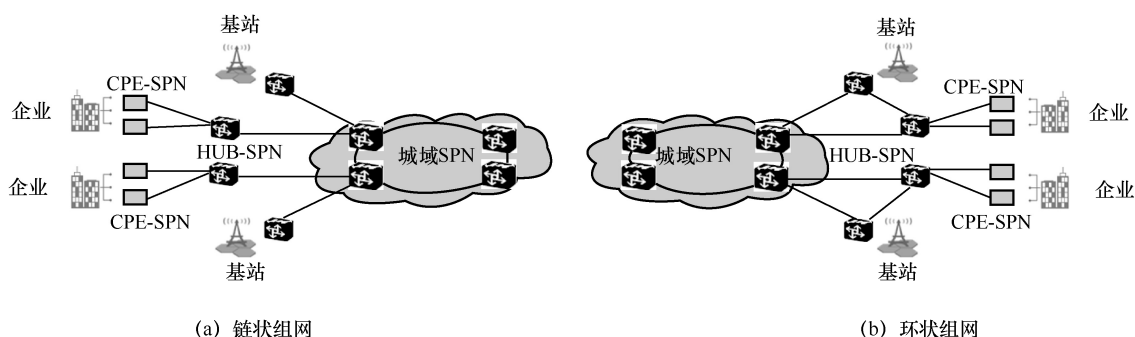
根据运营商面向效益的建设思路^[11], 其部署受组网模式、设备厂商、经济效益等条件限制。

(1) 组网模式

现有末端 SPN 组网模式有 CPE-SPN 单点接入、HUB-SPN 链状组网和环状组网^[12]。不同组网模式所需的设备类型、数量及具体配置等均存在一定差异。其中, 部署 HUB-SPN 设备能够收敛一定区域内的 CPE-SPN 设备的专线业务, 使末端主备链路长度从原单点平均接入距离的 1.5 km 缩短至 0.2~1 km。

HUB-SPN 组网模式示意图如图 1 所示。每条专线客户侧需部署 1 台 CPE-SPN 或下沉一台 HUB-SPN, 则有如下 3 种场景。

- 场景 1。HUB-SPN 不下沉, 区域内每个客户均通过 CPE-SPN 直接上联至业务汇聚机房。
- 场景 2。HUB-SPN 下沉, 链状组网, 即区域内所有客户通过 HUB-SPN 汇聚后, 统一上联至业务汇聚机房。
- 场景 3。HUB-SPN 下沉, 环状组网, 即区

图1 HUB-SPN 组网模式示意图^[12]

域内所有客户通过 HUB-SPN 汇聚后, 经 HUB-CPE 环网上联至业务汇聚机房。

其中, 由于末端 CPE 设备部署至客户节点, 综合考虑建设、维护等便捷性, 目前各大运营商针对 CPE 设备上联, 往往为直连至上一级设备, 并根据业务保护等级配置双路由上联。

记客户点网格中的客户点数为 $a(i, j) (1 \leq i \leq 10, 1 \leq j \leq 10, a(i, j) \in N)$, 总客户点数为 $A = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} a(i, j)$; 客户点网格中下沉 HUB-SPN 设备数量为 $NUM(i, j) (1 \leq i \leq 10, 1 \leq j \leq 10, a(i, j) \in N)$, 总下沉 HUB-SPN 设备数量为 $B = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} NUM(i, j)$ 。HUB-SPN 下沉场景对比分析见表 1。

其中, 对接端口占用数量为 SPN 上层网络端口及 HUB-SPN 上联互联端口之和。

(2) 设备厂商

通常省内骨干网设备为 1 个厂商, 城域核心/汇聚/接入设备可能有 2 个厂商。鉴于目前异厂商

SPN 设备暂未实现解耦, 导致 SPN 系统端到端业务承载涉及多个厂商, 业务解决方案非常复杂, 本文暂不就该问题展开描述, 仅针对单厂商场景分析。

HUB-SPN 与 CPE-SPN 同样存在设备能力限制:

- HUB-SPN 设备的最大交叉容量为 186 Gbit/s, 现阶段所有业务口数量最大为 32, 支持业务汇聚功能, 支持 FlexE 网络切片功能;
- CPE-SPN 设备则不支持业务汇聚功能。

则客户点网格内, 下沉 HUB-SPN 设备数量受式 (1) 限制:

$$NUM(i, j) \leq \left\lceil \frac{a(i, j)}{\theta} \right\rceil \quad (1)$$

其中, θ 为 HUB-SPN 业务板卡最大端口数, 即每下沉一台 HUB-SPN 设备, 可收敛 θ 个客户, $\lceil \cdot \rceil$ 表示向上取整。

(3) 经济效益

受末端光缆在运营商“一张光缆网”的策略

表1 HUB-SPN 下沉场景对比分析

场景	设备部署数/个		对接端口占用数/个
	HUB-SPN	CPE-SPN	
场景 1: 不下沉 HUB-SPN	0	$a(i, j)$	$2a(i, j)$
场景 2: 下沉 HUB-SPN (链状组网)	$NUM(i, j)$	$a(i, j) - NUM(i, j)$	$4 \times NUM(i, j)$
场景 3: 下沉 HUB-SPN (环状组网)	$NUM(i, j)$	$a(i, j) - NUM(i, j)$	$3 \times NUM(i, j)$



下大部分统筹建设前提,所需设备的经济效益占总所需绝大部分成本。此外,除下沉设备数量外,组网光缆所需成本与物理客户点位分布、环网数量以及路由选择等多方面相关,往往伴随客户点数增加,单位区域的客户密度增大,环状组网所需光缆的经济成本比链状组网光缆的经济成本低。即本文重点分析设备经济效益即可。

根据上述 3 种组网场景,设备经济效益函数 $D_{1,2,3}(\lambda)$ 如式 (2) 所示:

$$D_{1,2,3}(\text{NUM}(i,j),a(i,j)) = \begin{cases} (b+2d)a(i,j), & \text{场景1} \\ (c-b+4d) \cdot \text{NUM}(i,j) + b \cdot a(i,j), & \text{场景2} \\ (c-b+3d) \cdot \text{NUM}(i,j) + b \cdot a(i,j), & \text{场景3} \end{cases} \quad (2)$$

其中, b 为 1 台 CPE-SPN 设备经济价值, c 为 1 台 HUB-SPN 设备经济价值 (不含上联端口), d 为 1 个 SPN 端口设备经济价值。显然, $D_3(\lambda) < D_2(\lambda)$, 即就设备经济效益而言, 场景 3 效益更佳。

1.3 SPN 下沉部署策略

针对是否下沉 HUB-SPN 设备, 通过分析第 1.2 节中场景 1、场景 3 的经济效益差函数 ΔD , 如式 (3) 所示:

$$\Delta D = D_1(\text{NUM}(i,j),a(i,j)) - D_3(\text{NUM}(i,j),a(i,j)) = 2d \cdot a(i,j) + (b-c-3d) \cdot \text{NUM}(i,j) \quad (3)$$

面向场景部署问题, b 、 c 、 d 均为经济价值, 本文采用经验估算价值计算。以典型配置的 HUB-SPN、CPE-SPN 及 SPN 端口为例, $b=0.24$ 万元/台, $c=3$ 万元/台, $d=0.3$ 万元/台, 则 ΔD 等效为式 (4)。

$$\Delta D = 0.6a(i,j) - 3.66\text{NUM}(i,j) \quad (4)$$

当 $\Delta D > 0$ 时, $\sigma(i,j) = a(i,j) / \text{NUM}(i,j) > 6.1$, 即平均每台 HUB-SPN 设备收敛 6.1 个客户及以上时, 下沉 HUB-SPN 设备, 环状组网, 效益更佳。同理, 从效益角度分析场景 1、场景 2

可知, 平均每台 HUB-SPN 设备需收敛 6.6 个客户及以上时, 可考虑下沉 HUB-SPN 链状组网。综上, 理想条件下, 只要 $\sigma(i,j) > 6.1$, 就可考虑下沉 HUB-SPN 设备。

在运营商为抢占市场需提前覆盖诉求下, HUB-SPN 下沉部署需考虑覆盖尽可能多的客户, 根据某省份情况测算, $a(i,j) \leq 300$ 。结合上述经济效益分析, 可考虑以下 3 种覆盖策略, 其中策略 1、策略 2 为常规考虑下沉覆盖模型。

(1) 策略 1

面向总体客户量较少时, 每个达到下沉经济效益的客户网格内, 仅下沉 1 台 HUB-SPN, 如式 (5) 所示:

$$\text{NUM}(i,j) = 1, a(i,j) > 6.1 \quad (5)$$

(2) 策略 2

面向总体客户量中等, 且存在一个或多个明显集中热点区域时, 每个达到下沉经济效益的客户网格内, 下沉的 HUB-SPN 设备数量能够覆盖全量客户数, 如式 (6) 所示:

$$\text{NUM}(i,j) = \frac{a(i,j)}{\theta}, a(i,j) > 6.1 \quad (6)$$

(3) 策略 3

面向总体客户量较大时, 保持每台下沉的 HUB-SPN 设备覆盖潜在客户效益为正, 如式 (7) 所示:

$$\text{NUM}(i,j) = \begin{cases} \frac{a(i,j)}{\theta}, & a(i,j) \bmod(\theta) \leq 6.1 \\ \frac{a(i,j)}{\theta}, & a(i,j) \bmod(\theta) > 6.1 \end{cases} \quad (7)$$

其中, $\lfloor \cdot \rfloor$ 为向下取整。

2 仿真测试

本文采用蒙特卡洛算法, 仿真环境模拟运营商 SPN 客户点位分布特征, 分析不同部署策略下, 总客户数量、下沉 SPN 设备数量及下沉

设备客户覆盖率之间的关系。具体系统仿真参数为：业务区范围设定为 $2\,000\text{ m} \times 2\,000\text{ m}$ 的理想矩形，并按 200 m 的步长将业务区范围划分为 100 个客户点网格，HUB-SPN 业务板卡最大端口数为 $\theta = 32$ 。本文客户点模型的热点区域采用高斯混合模型，其余区域采用随机分布。热点区域客户点数量为总客户点数量的 $1/6$ ，蒙特卡洛次数为 $1\,000$ 次，总客户点数量范围为 $50 \sim 3\,000$ 。

总客户数为 $2\,000$ ($A=2\,000$) 时的客户点热力图如图 2 所示。可以看出，除高斯混合模型下的两个热点区域外，其余区域分布相对平均。

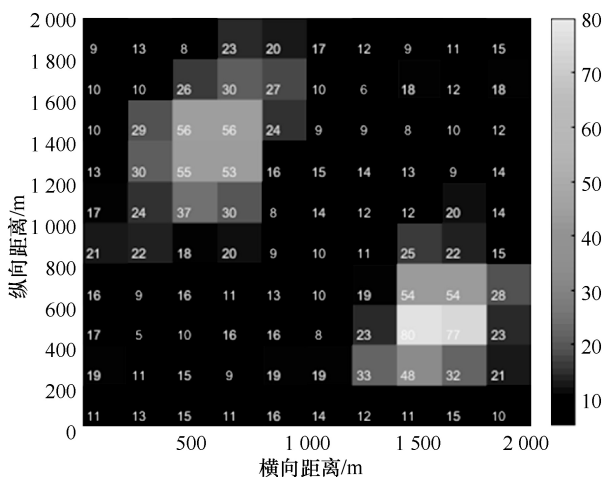


图2 总客户数为 $2\,000$ ($A=2\,000$) 时的客户点热力图

覆盖率为 70% 场景下总客户数与需下沉 HUB-SPN 设备数量如图 3 所示。由图 3 可知，每种策略下，随着客户数量增长，所需下沉的设备数量呈上升趋势。在当 $A \leq 600$ 时，策略 1 与策略 2 的下沉设备数量相同；此外，由于策略 3 从效益角度出发，覆盖率为 70% 时，下沉设备数为 0 ，即下沉所有效益为正的的设备后覆盖率仍旧小于 70% ，不满足覆盖需求。当 $600 \leq A \leq 1\,150$ 时，3 种策略随客户数量增长且下沉设备数量间差值呈动态波动，即各策略下的下沉设备数量相近，总体偏差不大。当 $A > 1\,150$ 时，策略 3 所需下沉设备数量明显低于策略 1、策略 2，即在客户数较多的情况下，面向效益的下沉策略同时具备良好的覆

盖能力。根据上述曲线分析，将 $A \leq 600$ 、 $600 \leq A \leq 1\,150$ 、 $A > 1\,150$ 分别定义为稀疏、普通、密集 3 种场景。

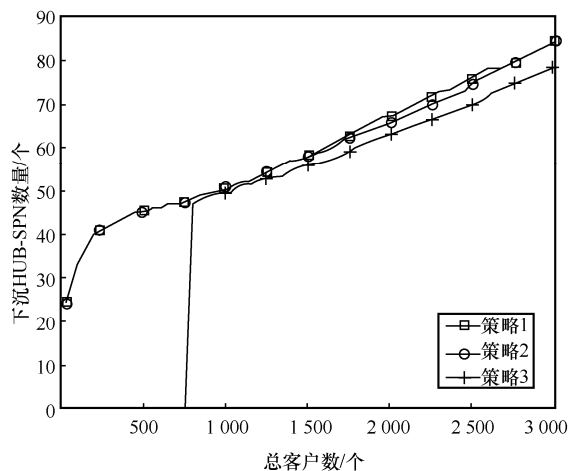


图3 覆盖率为 70% 场景下总客户数与需下沉 HUB-SPN 设备数量

稀疏场景 ($A=600$) 时下沉 HUB-SPN 数量与覆盖率的关系如图 4 所示。由图 4 可知，各策略下，覆盖率随下沉设备数量的增长而增大，且策略 1 与策略 2 的曲线完全重合。策略 3 在覆盖率达到 37% 后，按下沉原则不再下沉设备，最大覆盖率只能达到 55.27% 。当覆盖率达到 70% ，模型 1、模型 2 需下沉 46 台，平均每台 HUB-SPN 设备可收敛 9.13 个客户，模型 1、模型 2 的效益相同。模型 3 无法达到下沉覆盖条件。

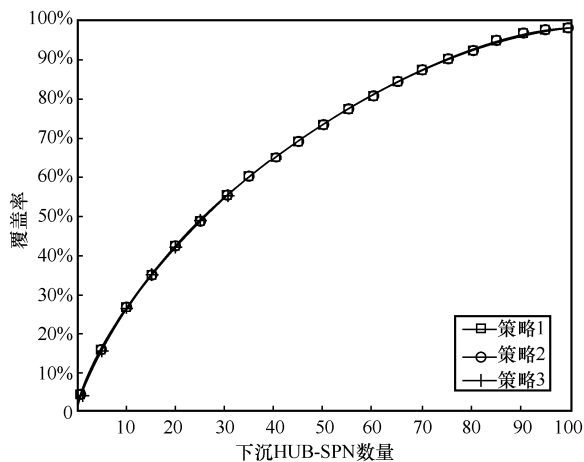


图4 稀疏场景 ($A=600$) 时下沉 HUB-SPN 数量与覆盖率的关系



普通场景 ($A=1\ 000$) 时下沉 HUB-SPN 数量与覆盖率的关系如图 5 所示。由图 5 可知, 各策略下, 覆盖率随下沉设备数量的增长而增大。当下沉设备数量 $B < 25$ 时, 策略 1 的覆盖率最高; 当 $25 \leq B < 66$ 时, 策略 3 的覆盖率最高, 且策略 3 按原则无法进一步下沉设备, 最高覆盖率为 82.71%; 当 $B > 47$ 时, 策略 2 覆盖率最高。当覆盖率达到 70%, 模型 1、模型 2、模型 3 分别需下沉 50 台、51 台、50 台, 即平均每台 HUB-SPN 设备可收敛 14、13.73、14 个客户, 模型 1、模型 3 的效益最高。

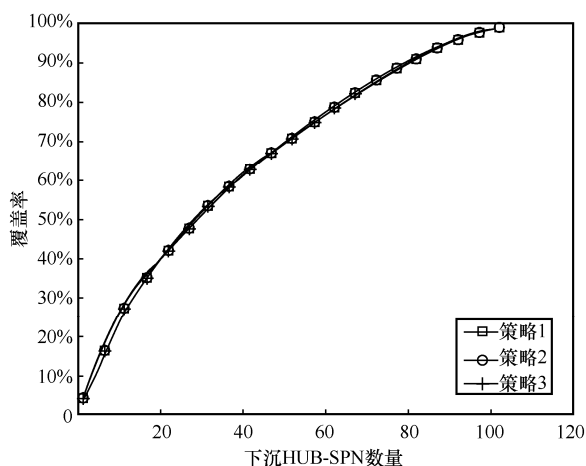


图 5 普通场景 ($A=1\ 000$) 时下沉 HUB-SPN 数量与覆盖率的关系

密集场景 ($A=3\ 000$) 时下沉 HUB-SPN 数量与覆盖率的关系如图 6 所示。由图 6 可知, 各策略下, 覆盖率随下沉设备数量增长而增大。当 $B \leq 59$ 时, 策略 1 覆盖率最高; 当 $B > 59$ 时, 策略 3 覆盖率最高。当覆盖率达到 70%, 模型 1、模型 2、模型 3 分别需下沉 84 台、84 台、79 台, 即平均每台 HUB-SPN 设备可收敛 25、25、26.58 个客户, 模型 3 的效益最高。

3 结束语

本文从理论上分析影响网络效益的因素, 重点分析 HUB-SPN 下沉数量对于客户覆盖率的影响, 提出一种面向集客专线的高效益 SPN 下沉部

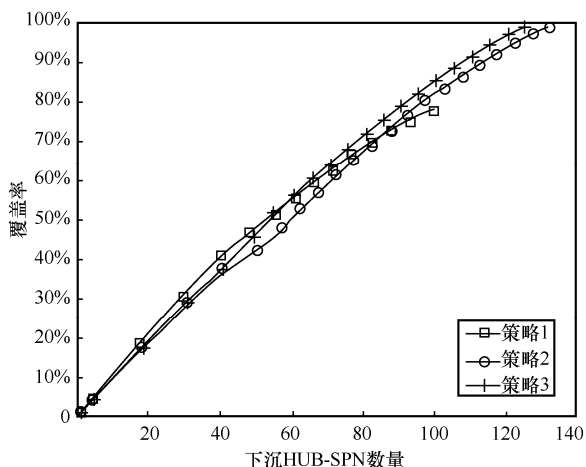


图 6 密集场景 ($A=3\ 000$) 时下沉 HUB-SPN 数量与覆盖率的关系

署策略, 通过仿真对比测试不同模型下沉策略的网络效益, 本文提出策略 3 在稀疏场景下, 不建议为提高覆盖率大量下沉覆盖, 其下沉覆盖率最大只能达到 55.27%。另一方面, 随着客户点数增多, 策略 3 体现出良好的下沉覆盖优势, 平均下沉设备可覆盖客户数最多, 综合实现了覆盖率、效益的双保障, 解决了运营商在提高 SPN 泛在覆盖能力、缩短业务接入距离、加速业务开通时间等方面的问题。此外, 后期还可针对 SPN 下沉部署的转发面、控制面、电源保障等方面展开深入研究, 归纳总结下沉部署系统性能及解决方案, 为实际网络规划提供快速精准的可靠指导, 使得研究结论更加完善。

参考文献:

- [1] SATTAR D, MATRAWY A. Optimal slice allocation in 5G core networks[J]. IEEE Networking Letters, 2019, 1(2): 48-51.
- [2] 马培勇, 吴伟, 张文强, 等. 5G 承载网关键技术及发展[J]. 电信科学, 2020, 36(9): 122-130.
MA P Y, WU W, ZHANG W Q, et al. Key technologies and development of 5G bearer network[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(9): 122-130.
- [3] 程伟强, 王敏学, 袁程磊. 切片分组网关键技术研究[J]. 信息通信技术与政策, 2018(9):4.
CHENG W Q, WANG M X, YUAN C L. Research on key technologies of slicing packet network[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2018(9): 4.
- [4] 贺政, 李勇, 王迎春, 等. 基于 SPN 的专线业务承载方案[J].

- 移动通信, 2020, 44(5): 68-71.
- HE Z, LI Y, WANG Y C, et al. Dedicated line service bearer scheme based on SPN[J]. Mobile Communications, 2020, 44(5): 68-71.
- [5] 韩柳燕, 叶雯, 王敏学, 等. SPN 迈向小颗粒切片 2.0 时代[J]. 通信世界, 2021, 876(14): 31-33.
- HAN L Y, YE W, WANG M X, et al. SPN is moving towards the era of small particle slicing 2.0[J]. Communication World, 2021, 876 (14): 31-33.
- [6] 韩柳燕, 叶雯, 王敏学, 等. 面向 5G 和算力的 SPN 2.0 发展[J]. 通信世界, 2022, 903(17): 33-35.
- HAN L Y, YE W, WANG M X, et al. SPN 2.0 development for 5G and computing power[J]. Communication World, 2022, 903(17): 33-35.
- [7] 邓旭, 陈骋. 面向 5G 业务的乡镇 SPN 规划及组网架构[J]. 电信科学, 2021, 37(9): 147-152.
- DENG X, CHEN C. Township SPN planning and networking architecture for 5G services[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(9): 147-152.
- [8] 刘娜, 冷淼. 基于 SPN 技术的分布式能源通信网络[C]//中国电机工程学会电力通信专业委员会第十三届学术会议论文集. 北京: 人民邮电出版社, 2022.
- LIU N, LENG M. Distributed energy communication network based on SPN technology[C]//Proceedings of the 13th Academic Conference of Electric Power Communication Professional Committee of Chinese Society of Electrical Engineering. Beijing: Posts & Telecom Press, 2022.
- [9] 瞿少凯, 翟鹏, 赵鹏飞, 等. 浅谈小型化接入 SPN 技术应用研究[J]. 长江信息通信, 2022, 35(4): 223-225.
- QU S K, ZHAI P, ZHAO P F, et al. Research on the application of miniaturized access SPN technology[J]. Changjiang Information Communications, 2022, 35(4): 223-225.
- [10] 谭哲, 康帅, 韩剑, 等. 综合业务接入区微格化应用及优化案例[J]. 电信科学, 2016, 32(S1): 187-193.
- TAN Z, KANG S, HAN J, et al. Application and optimization case of dividing integrated service access area into microgrid[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(S1): 187-193.
- [11] 南蜀崇, 陈骋, 练汛彪, 等. 一种基于类矩形分布模型结合热力图的市区政企传输网络规划设计方法[J]. 电信科学, 2022, 38(9): 144-150.
- NAN S C, CHEN C, LIAN X B, et al. A method of planning and designing transmission networks for government and enterprises based on a rectangle-like distribution model combined with heat maps[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(9): 144-150.
- [12] 中国移动通信有限公司研究院, 中国信息通信研究院, 中国电力科学研究院有限公司, 等. SPN2.0 技术白皮书[R]. 2022. Research Institute of China Mobile Communications Corporation, China Academy of Information and Communications Technology, China Electric Power Research Institute, et al. SPN2.0 technical white paper[R]. 2022.

[作者简介]



陈骋 (1991-), 男, 华信咨询设计研究院有限公司工程师, 主要研究方向为传输网络规划与设计。



汪晗 (1995-), 男, 华信咨询设计研究院有限公司助理工程师, 主要研究方向为传输网络规划与设计。



南蜀崇 (1995-), 男, 华信咨询设计研究院有限公司助理工程师, 主要研究方向为传输网络规划与设计。