



专栏：5G 技术与组网应用

面向 5G 业务的乡镇 SPN 规划及组网架构

邓旭¹, 陈骋²

(1. 中国移动通信集团广西有限公司, 广西 南宁 530028;

2. 华信咨询设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310052)

摘要: 切片分组网凭借其技术优势已成为 5G 业务主流传送承载网的技术之一。伴随乡镇、农村 5G 业务高速发展及各类 5G 垂直行业对 5G 业务的更高更广需求, 前期在市区县城区域部署的 SPN 已无法完全满足业务需求。为满足乡镇、农村的 5G 业务发展需求, 需考虑将 SPN 下沉至乡镇层级。基于乡镇 5G 业务发展趋势, 综合考虑乡镇 SPN 建设条件, 结合 SPN 架构、组网拓扑等条件, 搭建乡镇 SPN 架构模型并深入分析获得某地市实际应用场景建设方案, 为后期乡镇 SPN 建设提供参考和思路。

关键词: SPN; 容量测算; 组网架构

中图分类号: TN913

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021210

SPN planning and networking architecture in townships for 5G services

DENG Xu¹, CHEN Cheng²

1. China Mobile Group Guangxi Co., Ltd., Nanning 530028, China

2. China Comservice Huaxin Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310052, China

Abstract: slicing packet network (SPN) has become one of the technologies of the mainstream transmission bearer network for 5G services with its technical advantages. Along with the rapid development of 5G services in towns and rural areas and the higher and broader demand for 5G services from various 5G vertical industries, the SPN deployed in urban and county areas in the early stage could no longer fully meet the service demand. To meet the demand for 5G service development in townships and rural areas, SPN need to be considered down to the township level. Based on the development trend of 5G services in townships, the SPN construction conditions were comprehensively considered in townships, combined with SPN architecture, network topology and other conditions, a township SPN architecture model was built and an in-depth analysis of the actual application scenario construction plan was obtained in a local city, providing reference and ideas for the later township SPN construction.

Key words: SPN, capacity calculation, networking architecture



1 引言

目前,中国大中型城市的市区、县城均已部署切片分组网(slicing packet network, SPN)系统用于承载 5G 业务。面向未来“5G+垂直”行业的多种新场景^[1]的差异化发展需求,对承载网提出了多维度的挑战^[2]。

SPN 系统具备 FlexE 切片、SR 等新功能,并在落地组网和业务开通方面具备新的特点。

切片技术因其具备灵活调度、个性化资源分配等特点在 5G 中占用重要地位。文献[1-3]分别采用混合线性整数规划(MILP)优化算法、基于 VIKOR 的启发式切片算法、基于两层激励切片资源分配算法,提供不同角度的 5G 核心网络切片的最优分配策略,既满足端到端时延也保证切片之间的隔离度。文献[4]提出光底层虚拟化框架,就实现光底层网络切片和 E2E 切片进行分析。

针对垂直行业的业务需求,基于切片技术发展的“5G+垂直行业”能够满足垂直行业差异化需求。文献[5]从垂直行业出发,分析“5G+垂直”行业的切片技术应用和服务类。文献[6]提出了 5G-QoE 框架解决 5G 网络中超高清视频流的 QoE 建模问题。通过搭建准确、低复杂度的 QoE 预测模型,为 5G 移动边缘网络的超清视频应用场景提供主要感知质量指标。

为实现网络平滑演进,文献[7-9]通过探讨分析 PTN/SPN 承载网络演进方式,探讨网络融合演进的具体实施策略。文献[10-11]对面向 5G 承载的系统选型进行探讨对比分析,获得不同系统均可满足的 5G 未来业务需求。

进一步,未来 6G 网络需要通信、计算和缓存(3C)的融合,基于 3C 的频谱管理、无线信道构建、时延感知传输、无线分布式计算和网络自进化^[12]。切片技术在面向未来的 6G 发展需求,存在继承和开拓的关系,且因为 6G 需要相对于 5G

更加灵活的调度能力和资源分配,对切片技术更加依赖。

现阶段,已实现部署市区县城节点的 SPN 系统,目前乡镇仍旧采用 PTN 系统,仅适用于 5G 初期 eMBB 场景的业务承载,伴随 5G 业务范围的不断扩大,现有乡镇传输网络难以满足 5G 业务大带宽、低时延、高可靠等承载需求,以及基于切片技术等新兴技术的“5G+垂直行业”各类型差异化需求,需进一步考虑关于乡镇 SPN 的部署策略。

本文基于某省 5G 无线网络发展规划,对乡镇 SPN 系统网络架构、组网拓扑、配置方式进行详细分析对比,并结合实际情况综合光缆资源、容量获得最佳方案。

2 系统架构及承载需求

城域网 SPN 系统架构分为 4 个层级,即市区核心层、县城层、乡镇层、农村层。目前,县城层及以上层级已全面部署 SPN 系统,结合 5G 基站部署节奏,分场景推进乡镇 SPN 建设^[4],2022 年主要部署乡镇层,2023 年重点部署农村层。

结合 5G 前期规划建设基站总数量 M 及该地市乡镇站点总数量 M_0 ,可以获得 5G 前期的平均每乡镇单站带宽 S_{c_0} ,如式(1)所示。

$$S_{c_0} = \frac{\varepsilon M}{M_0 \omega} \quad (1)$$

其中, ε 为 5G 单基站带宽, ω 为冗余系数。冗余系数 ω 需综合考虑各站点之间的平均流量偏差及冗余流量,一般取 $\omega = 0.7$ 。带入某省前期规划约 1.6 万个 5G 基站、合计 1 080 个乡镇站点及 5G 单基站带宽约为 1 Gbit/s,可以得出该省平均每乡镇单站带宽 $S_{c_0} = 1 \times 16\,000 / 1\,080 / 0.7 = 21.16$ Gbit/s。即平均每个乡镇站点需配置至少 21 Gbit/s 带宽才能满足 5G 前期流量需求。

3 组网分析

基于各乡镇 5G 流量测算结果,结合基站带

宽、收敛比、冗余系数等因素,可深入分析乡镇5G组网架构。

3.1 理论分析

乡镇SPN组网架构受多方面因素影响,其中,乡镇SPN组网的约束条件如下。

(1) 网络拓扑

乡镇SPN优先考虑环形组网^[13]。环网的拓扑结构对资源的消耗较星型、树形要小。且在距离远、节点多的乡镇场景下,环网对资源利用优势更加明显。但每个环的规模需要结合地理位置、业务量等方面综合评估进行设计。

(2) 业务归属

为面向5G商业化后的低时延场景业务,移动边缘计算(mobile edge computing, MEC)技术的下沉势在必行^[9],从而乡镇SPN组网优先考虑本县城归属的组网架构。

(3) 环网容量

基于乡镇5G业务流量测算结果,环网容量需

根据厂商设备型号及适用环境择优选型。

为深入分析各因素对限制条件下的乡镇SPN组网架构的影响。本文搭建同县城条件下乡镇SPN组网典型模型。搭建的乡镇SPN组网模型如图1所示。

为进一步分析乡镇SPN模型,需重点考虑以下主要影响因素。

(1) 单节点带宽及环路带宽

乡镇的5G业务流量逐年上升趋势,结合收敛比、冗余系数等因素,可知5G前期平均各乡镇节点需具备约21 Gbit/s带宽资源。并进一步根据实际组网情况选定环路带宽。

(2) 光缆距离

乡镇之间及乡镇—县城的光缆距离影响组网后信号的传输质量,针对城域光缆需建设规模可参考文献[14]的光缆规划模型,理论上光缆距离 ≥ 80 km需考虑采用中继节点或OTN承载等方式传输。

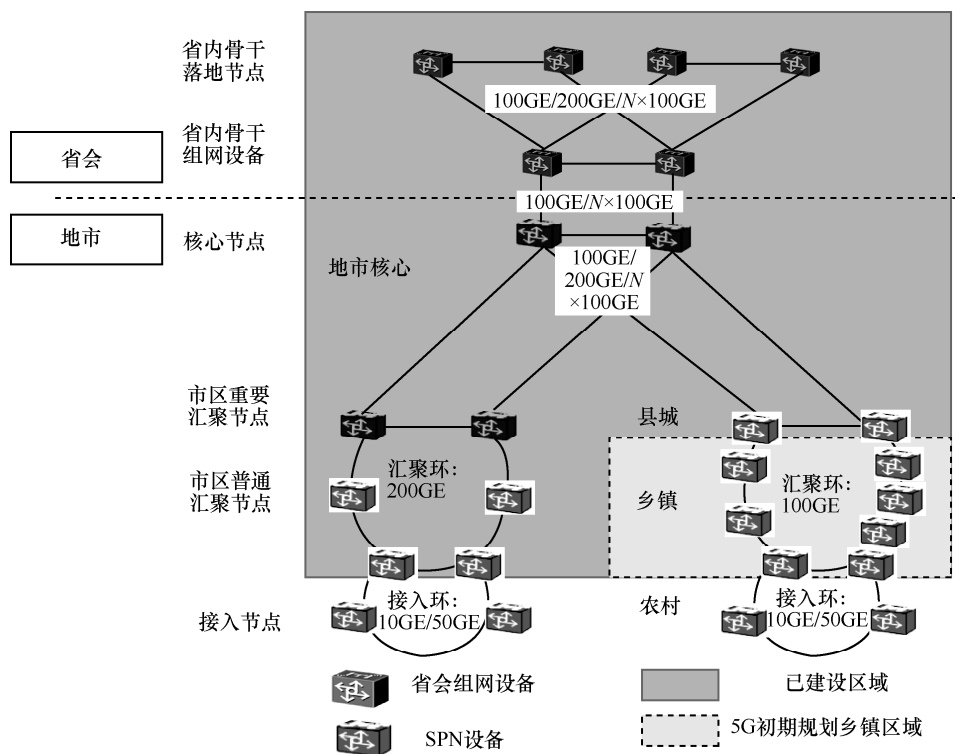


图1 乡镇SPN组网模型



(3) 纤芯等哑资源条件

SPN 组网架构各环路中各节点间纤芯均采用单纤单向, 需 2 芯纤芯资源。

假设本县城内 N 个乡镇节点下, 组 k 个环的乡镇 SPN 组网的全量组网模式数 X_k 如式 (2) 所示:

$$X_k = X_{N-k} = \begin{cases} k, N \leq 3 \\ k \times k + 1/2, N > 3 \end{cases} \quad (2)$$

则环路带宽为 C , 乡镇节点为 N 条件下的纤芯需求总量 $S_f(N, k)$ 、节点间距离 ≥ 80 km 的段落数 $S_o(N, k)$ 以及各乡镇节点平均容量 $S_c(N, k)$ 等信息, 如式 (3) ~ 式 (5) 所示。

$$S_f(N, k) = 2 \times (N + k) \quad (3)$$

$$S_o(N, k) = \sum_{i=1}^k O(X_i N, \sigma), 1 \leq \sigma \leq X_i \quad (4)$$

$$S_c(N, k, C) = N \times C / k \quad (\text{G}) \quad (5)$$

其中, $O(X_i(N, \sigma))$ 为第 i 环路、第 N 个节点在第 σ 个组网模式下的节点间距离 > 80 km 段落数, $1 < i < k$ 。 $O(\cdot)$ 为条件判断式, 若为跳纤点, 计为 0; 若为环上首个或最后一个节点, 计光缆距离 < 80 km 的段落为 0, 计光缆距离 ≥ 80 km 的段落为 1; 若环上仅一个节点, 即 $\sigma = 1$ 条件下的节点距离超过 80 km 段落数 $S_o(N, k, 1)$ 。

3.2 实际场景应用分析

为面向实际组网中乡镇 SPN 场景应用, 以某业务区为例, 根据该业务区实际组网因素调整组网模型并详细分析, 该业务区组网主要条件见表 1。

表 1 乡镇 SPN 组网模型参数

组网模型参数	某业务区系数
环路带宽 C	100 Gbit/s
光缆距离 L	25 km
乡镇节点数 N	7 个

其中, 乡镇 SPN 环的光缆距离为乡镇间或乡镇县城间距离, 县城两节点间距离均默认 ≤ 10 km, 且

站点之间仅物理位置上存在差别。可以知道, 具备 k 个环路的乡镇 SPN 组网具有 $\sum_{i=1}^k X_k = 30$ 种组

网模式, 且第 k 个环组网模式满足 $X_k = X_{7-k} = k \times (k+1) / 2$, 纤芯需求总量 $S_f(7, k) = 2 \times (7 + k)$, 各乡镇节点平均容量 $S_c(7, k, 100) = 7 \times 100 / k$, 该业务区乡镇 SPN 组网性能如图 2 和图 3 所示。

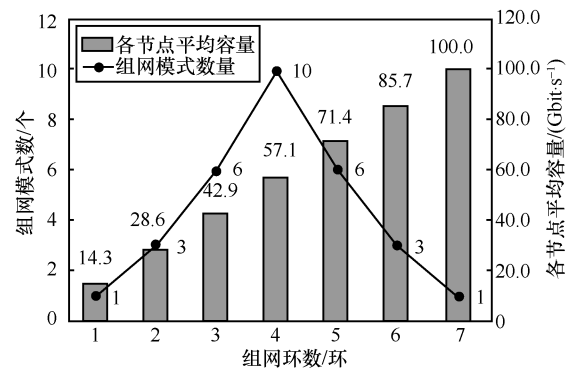


图 2 组网模式数量及各节点平均容量

根据图 2 可以知道, 随下挂环数增加, 各节点平均容量随之增大, 当下挂环数 ≥ 21 时即可满足 5G 初期流量需求, 常规场景无须考虑更高平均单节点流量。随下挂环路增加, 组网模式数量呈先增高后降低的趋势。组网模式一定程度标志着组网的灵活性, 理论上更多的组网模式意味着可用于更多实际复杂场景组网。

在组网环数 > 4 时, 随下挂环路增加, 组网模式数量为先增高后降低的趋势。当组网环数分别为 5、6、7 时, 其所在环上分别至少有 3、5、7 个环, 仅有 1 个节点, 对应环上节点可具备的带宽为 100 Gbit/s。一般情况下, 在涉及乡镇节点仅为 7 的系统内, 该 3 类组网环数对纤芯、中继设备等提出更多需求, 且针对乡镇场景下为半数乡镇提供 5G 初期预估的约 5 倍带容量, 效益低下。常规场景中, 不具备现网建设指导意义, 仅作为全面分析数据参考。

乡镇 SPN 组网常规条件考虑下挂环路 ≤ 4 的情况。

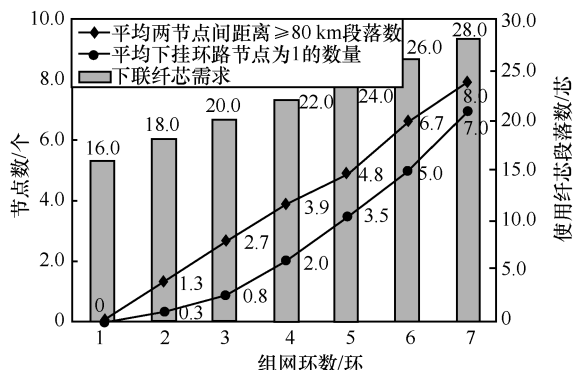


图3 纤芯光缆情况及下挂节点数为1的数量

由图3可知,随着下挂环路的增加, S_f 、 S_o 以及 $S_o(\sigma=1)$ 均随之增长。当 $k \geq 5$ 时, S_o 斜率进一步增大;当 $k \geq 3$ 时, $S_o(\sigma=1)$ 斜率进一步增大。结合系统分析,上述3项均对乡镇SPN组网有负面影响,理论上3项的系数参数应当越低越好。综合组网实际情况分析,优先考虑环路数 $k \leq 3$, S_o 以及 $S_o(\sigma=1)$ 均最小的场景。

结合上述实际场景组网应用分析,某业务区大部分常规场景可参考表2建设。其中,场景1各乡镇节点容量仅能满足测算的乡镇5G流量初期需求,后期需对整环扩容。场景2各节点流量均基本满足5G中后期需求,且各节点流量相对分布均匀便于后期管理维护。但场景2由于 $S_o=1$,为保证数据传输质量,需考虑采用中继设备或OTN承载等方式组网。此外,少量乡镇节点由于物理位置及光缆条件等因素,适当采用“2+5”“2+2+3”等组网模式灵活组网。

4 结束语

乡镇SPN建设规划需结合对应各省份的5G基站建设规划分析,通过流量测算获得的单节点容量,并结合乡镇不同场景推导优化后的组网方案。

综合分析可知,乡镇SPN组网综合性能受单节点带宽及环路带宽因素积极影响,受光缆距离纤芯资源等因素负面影响。综合考虑组网模型,面向某业务区的乡镇SPN组网,优先采用“3+4”“2+3+2”等组网模式方案,根据乡镇节点实际情况灵活采用其他组网模式方案。

基于本文分析的结论,乡镇SPN系统需因地制宜的建设,带宽测算模型不同、应用场景不同,会造成乡镇SPN系统完全不同的组网架构及配置。本文构建综合模型分析,并针对某业务区进行详细分析并提出一种通用型的分析思路和组网方案,不同省份可参考本文分析思路并基于自身实际情况调整参数进行分析。

参考文献:

- [1] SATTARD, MATRAWYA. Optimal slice allocation in 5G core networks[J]. IEEE Networking Letters, 2019, 1(2): 48-51.
- [2] LI X, GUO C C, GUPTAL, et al. Efficient and secure 5G core network slice provisioning based on VIKOR approach[J]. IEEE Access, 2019(7): 150517-150529.
- [3] SUN Q, TIAN L, ZHOU Y Q, et al. A two-layered incentive scheme for cooperation in sliced 5G D2D networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2020, 69(11): 13289-13304.
- [4] HUANG S G, GUOB L, LIU Y A. 5G-oriented optical underlay network slicing technology and challenges[J]. IEEE Communications Magazine, 2020, 58(2): 13-19.
- [5] 赵俊峰, 李芳, 赵文玉. 5G+垂直行业承载技术创新与产业发展[J]. 通信世界, 2020(33): 36-38.
- [6] ZHAO J F, LI F, ZHAO W Y. 5G+Vertical industry carries technological innovation and industrial development[J]. Communications World, 2020(33): 36-38.
- [7] IGHINGAL E J, SALVA-GARCI A P, CALEROJ M A, et al. 5G-QoE: QoEmodelling for ultra-HD video streaming in 5G networks[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2018, 64(2): 621-634.
- [7] 王静静, 杨治学. 5G网络规划与建设思路探讨[J]. 中国新通

表2 常规场景下建设参考模型

场景	k	具体组网模式	$S_o(\sigma=1)$	S_f	S_o	S_c
1	2	3+4	0	18	1	33.3,25.0
2	3	2+3+2	0	20	0	50.0,33.3,50.0



- 信, 2020, 22(23): 27-28.
- WANG J J, YANG Z X. Discussion on planning and construction of 5G network[J]. China New Telecommunications, 2020, 22(23): 27-28.
- [8] 张馨丹, 徐征. 5G 通信传输网络的建设技术方案[J]. 电子技术与软件工程, 2020(18): 13-14.
- ZHANG X D, XU Z. Construction technical scheme of 5G communication transmission network[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2020(18): 13-14.
- [9] 许文广, 叶桂添. SPN 与 PTN 网络融合思路与实施方案探讨[J]. 广东通信技术, 2020, 40(12): 60-63, 66.
- XU W G, YE G T. Discussion on SPN and PTN network fusion idea and implementation scheme[J]. Guangdong Communication Technology, 2020, 40(12): 60-63, 66.
- [10] 宋创兴, 熊军, 王思尧. 5G 承载网技术选型策略探讨[J]. 信息技术与信息化, 2020(11): 158-161.
- SONG C X, XIONG J, WANG S Y. Discussion on technical selection strategy of 5G carrier network[J]. Information Technology and Informatization, 2020(11): 158-161.
- [11] 王远英, 顾恒源. SPN 和 M-OTN 技术在 5G 中传层中的应用[J]. 中国新通信, 2020, 22(16): 82-83.
- WANG Y Y, GU H Y. Application of SPN and M-OTN Technology in 5G Middle Layer[J]. China New Telecommunications, 2020, 22(16): 82-83.
- [12] ZHOU Y Q, LIU L, WANG L, et al. Service-aware 6G: an intelligent and open network based on the convergence of communication, computing and caching[J]. Digital Communications and Networks, 2020, 6(3): 253-260.
- [13] 杨永军, 刘冬梅, 李昶, 等. 面向 5G 的城域传送网规划方法及模型研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2020, 33(7): 20-22.
- YANG Y J, LIU D M, LI C, et al. Research on a method and model of metropolitan area transport network planning for 5G[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2020, 33(7): 20-22.
- [14] 唐时杰. 基于分组切片的 5G 承载网技术分析与组网探讨[J]. 数码世界, 2020(7): 22-23.
- TANG S J. Technical analysis and networking discussion of 5G Carrier network based on packet slicing[J]. Digital Space, 2020(7): 22-23.

[作者简介]



邓旭（1976—），男，中国移动通信集团广西有限公司高级工程师、网络运营中心总经理，主要研究方向为通信网络规划、运营与维护。



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。