



面向混合业务承载的SPN演进及部署策略

瞿少凯, 贺政, 黄乐天, 王前隆, 丁一凡, 豆晓雷
(中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080)

摘要: 近年来随着5G基站的建设, SPN覆盖逐步完善, 为满足无线、专线业务等混合业务承载和提升网络安全等需求, 仍须持续推动SPN精准补点及架构演进优化。分析了SPN利用率、研究SPN/PTN混合组网及MESH化组网等措施, 兼顾网络投资效益与网络承载效率, 明确SPN演进及部署策略, 打造一张泛在融合、安全可靠的SPN综合承载网。

关键词: SPN利用率; 混合组网; MESH化组网; 承载效率

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2025300

0 引言

近年来ToC、ToB等新业务多样化发展, ToC业务需求聚焦于低时延、超宽保障、业务智能感知及大带宽确定性时延, 如AI业务、云手机/新通话、车路云协同等场景。ToB业务聚焦于大带宽、安全隔离及差异化增值服务, 如视联网业务、政企专线差异化竞争需求等, 这些业务需求对SPN的时延保障、高安全、强运力等提出了更高要求。当前, SPN面临利用率评估失真、混合组网瓶颈、现网架构逃生与时延能力受限等挑战, 同时PTN/SPN两网重叠性高、资源占用及运维代价大。基于此, 需要优化SPN利用率统计方法, 研究SPN/PTN混合组网方案和MESH化组网策略, 提升网络承载能力与运维效率, 实现网络性能最大化, 适配低时延、高可靠业务需求, 推动SPN向高效能、集约化、绿色安全的综合承载网演进。

1 SPN利用率

1.1 利用率定义及分析方式存在的问题

1.1.1 SPN利用率定义及统计方式

SPN利用率是SPN汇聚层以上的环路流量利用率, 是该传输环路与上层网络互连的出环节点的线路端口带宽利用率。环路带宽利用率= $\max(\text{环路收流速}, \text{环路发流速})/\text{环路最大物理带宽}$, 其中, 环路的流速是对分组流量进行15 min收发字节数统计, 再除以900 s得到平均流速。

1.1.2 SPN带宽利用率统计方法单一

当前SPN主要基于15 min粒度的环路带宽来统计利用率指标, 其目的是用于指导网络扩容, 该方式统计方法简单、易操作, 但对于SPN承载业务的突发特征不匹配, 难以真实衡量网络的利用率, 导致当前利用率评估结果偏低。

1.1.3 与无线网络利用率统计方法区别

无线网络主要基于基站的物理资源块



(PRB) 资源利用情况, 并非业务的实际流量流速, 是无线基站回传带宽峰值的上限, 实际流量还取决于无线使用效率等, 因此无线资源利用率 $\geq$ 无线带宽利用率 $\geq$ SPN利用率(均值)。虽然SPN利用率 $<$ 无线资源利用率, 但由于网络典型业务(视频等)具有离散型毫秒级突发特征, 业务突发经过SPN核心、汇聚、接入层流量缓存整形等突发处理后逐级递减, 无线侧流量趋于平缓, 减小无线侧突发压力。因此, SPN毫秒级峰值利用率远大于无线资源利用率。以某公司为例, SPN汇聚层以上毫秒级峰值利用率为60.50%, 但平均利用率仅为16%。综上, 建议采用SPN端口等资源利用率对标无线的资源利用率, 或者增加SPN峰值利用率指标衡量网络承载突发流量的情况。

1.1.4 专线业务流量未按售卖带宽统计

根据电信服务资源预留特性及行业规范, 专线业务已按带宽售卖给客户, 无论实际流量负载如何变化, 即使是网络没有流量, 均应按照售卖带宽和途经的环路进行资源统计。按照现网情况, 每个切片专线经过十余跳, 约3~4个汇聚核心环, 端到端全程占用了带宽资源。但当前SPN利用率统计方法中, 对于硬切片链路由于只做时隙交换, 因此在汇聚核心业务穿通环路没有统计硬切片业务流量。另外, 对于软切片直接按照实际业务流量统计, 缺少对保障带宽的统计。

1.2 统计方法及提升举措

为切实体现SPN实际利用情况, 建议优化SPN利用率统计方式, 协同无线网络分析、选择合理评价指标, 见表1。结合业务承载情况、完善SPN利用率的统计方法及提升举措, 在满足新增无线站址及专线业务接入等需求的基础上, 支撑业务流量提升, 助力发挥SPN效益。

表1 SPN利用率统计指标

指标名称	统计口径	指标意义
SPN已配置端口使用率	现网已配置业务的SPN端口总数量/已配置光电模块的SPN端口总数量的占比	SPN已配置资源利用率
SPN总端口使用率	已配置业务的SPN端口总数量/SPN网元端口总数量	SPN总体资源利用率
SPN网络规划带宽占用率	无线业务根据收敛比对SPN汇聚、核心带宽占用; 专线售卖带宽	SPN基站和专线等业务规划及已售带宽占用率
SPN切片利用率	共享切片、独享切片利用及售卖率	SPN规划切片带宽利用率
SPN峰值流量利用率	根据15 min内秒峰计算利用率	SPN分组流量秒级突发利用率
	根据15 min内毫秒级峰值计算利用率	SPN分组流量毫秒级突发利用率

2 SPN/PTN混合组网

2.1 混合组网的必要性

PTN已建设多年, 虽覆盖广但设备老旧, 大部分在网时间超过10年, 面临退服风险, 且其静态隧道难以实现抗多点失效的重路由恢复功能。另外其自智能化水平不足, 不具备业务带内性能测量能力, 难以满足自智网络的业务质量可视需求。而SPN虽技术先进, 但在深度覆盖上存在不足。技术上, SPN城域设备引入E1/STM-1功能单板, 支持CES/CBR双栈功能, 补全代替PTN的能力。另外, 可通过多平面设备合一来腾退机房空间、光纤资源, 大幅降低业务承载功耗, 节省电费。因此, SPN/PTN混合组网可以充分发挥SPN的技术优势和PTN的覆盖优势, 是提升网络承载能力、应对未来业务发展需求的必要举措。

2.2 混合组网整体方案

为充分发挥SPN技术优、PTN覆盖广的优势, 按需开展SPN/PTN混合组网。PTN核心层与SPN核心层对接, 打通接入层到达业务节点的传输通路, PTN接入环路融合迁移至SPN汇聚环。同时, 面向SPN、PTN同局址、同机房场景, 按

需将 SPN/PTN 设备共点位的 PTN 业务割接至 SPN 承载, 在提升 SPN 利用率的同时, 实现机房机架资源的释放, 整体方案如图 1 所示。

(1) 核心层互通: 通过核心调度层或骨干汇聚层互通, 便于 SPN 平面保留的临时 PTN 业务无缝接回 PTN 落地。

(2) 汇聚层退网: 结合高能耗设备退网、大规模设备更新等需求, 在确保整体投资效益的前提下, 对于故障率高发、厂商支撑服务难以保障的老旧设备, 合理有序地开展设备替换, 降低网络运行风险。

(3) 接入层重构: 对于业务热点区域, PTN 升级为 SPN 或补点 SPN, PTN 10GE 环整环改挂 SPN。对于非热点区域, 将 PTN 业务割接至 SPN。极简站改造方面, 对于有 SPN/PTN 部署需求的机房, 原则上不进行腾退/搬迁。

3 SPN MESH 化组网

3.1 MESH 化组网驱动力

当前 SPN 以口字型及环形组网为主, 存在逃

生路径受限、业务时延受限、利用率不均以及能效受限等问题, 尤其在面对边缘云和算力下沉部署带来的东西向业务流需求增长时, 跨区域专线和入云等业务经核心层绕行导致转发路径长、时延高。MESH 化组网能够通过构建更加灵活的网络拓扑, 增强网络的抗灾能力和业务逃生路径, 同时提供点到点的最佳时延路径, 解决业务时延受限问题。此外, MESH 化组网还能均衡网络资源使用效率, 避免网络设备轻载, 并减少业务路径上的过站次数和流量转发次数, 从而提升网络性能。

3.2 MESH 化组网策略建议

SPN MESH 化演进应遵循前瞻性、渐进式、重效益原则, 依托现网资源, 按照实施优先级, 通过精准链路增补, 兼顾逃生能力与投资效率, 实现拓扑优化。一方面要确保架构调整符合 5G-A/6G 业务演进需求, 另一方面要兼容传统环网架构的平滑演进, 业务热点区域可优先进行 MESH 化改造, 按照跨环连接、局部 MESH、按需补充 MESH 化等分阶段实施。

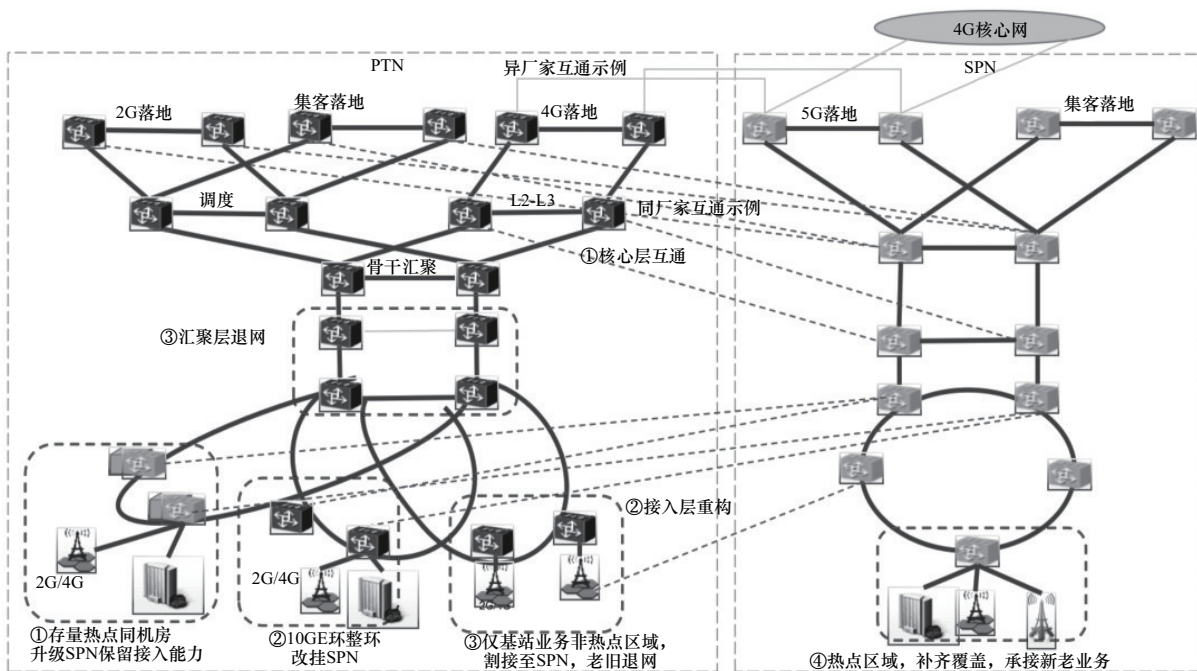


图 1 SPN/PTN 混合组网整体方案示意图



城域 SPN 汇聚接入层 MESH 化组网原则如下：一是建议在汇聚环内增加环内互联链路，不超过 5 个节点的环增加 1 条链路，超过 5 个节点的环增加 2 条链路；二是根据地理位置及光纤资源条件，按需增加跨环链路，主要考虑同一骨干汇聚对下不同汇聚/接入环间链路；三是增加的逃生链路接口不应与原工作/保护链路接口共用板卡。

城域 SPN MESH 化组网建议示意图如图 2 所示。推荐组网方式 1，汇聚/接入环内节点直连场景，该方式特点是业务可就近转发，能够提供重路由保护和 SR BE 逃生能力。允许组网方式 2，同区域的汇聚/接入环间连接场景，该方式特点是业务可就近转发，能够提供重路由保护路径，但不支持 SR BE 逃生能力。不推荐组网方式 3，跨骨干汇聚（SPE）环间连接场景，该方式业务就近转发，可提供重路由保护路径，但流量存在长距离绕行。

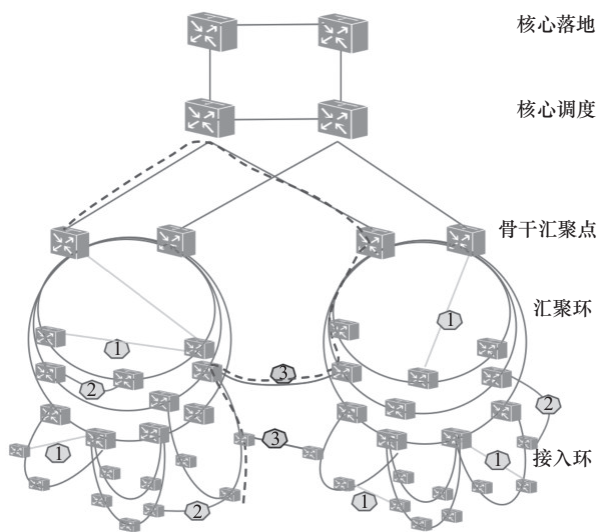


图2 城域 SPN MESH 化组网建议示意图

3.3 MESH 化组网对现网的影响和挑战

3.3.1 对设备组网架构的挑战

传统的 SPN 分层架构通过汇聚环划分 IGP 域，节点数量可控，若通过 MESH 化组网，跨环连接常态化将导致 IGP 域边界模糊，域内节点激增，后期规划中应保持骨干汇聚 SPE 节点间

不跨接。另外，传统分层架构逐环收敛流量，具备可控的收敛比，通过 MESH 化组网，多点故障下，多个汇聚环业务走到同一个汇聚环出口，会导致流量拥塞，后期规划中应按需扩容段落带宽。

3.3.2 对光缆网的挑战

SPN 架构演进很大程度上取决于光缆资源，应充分利用现有一张光缆网架构，采用增量部署方式提升网络性能。如图 3 所示，可采用星状拓扑补充建设潜在需求节点、部署环间互联节点及增加环内/间短路径互联链路等方案，以增强网络韧性、提升专线业务时延性能。但此过程纤芯资源消耗较多，对现有光缆压力明显，部分节点需要新增多段光缆，要考虑管道等基础资源问题，同时新增光缆需考虑不同方向出局，避免同路由问题。

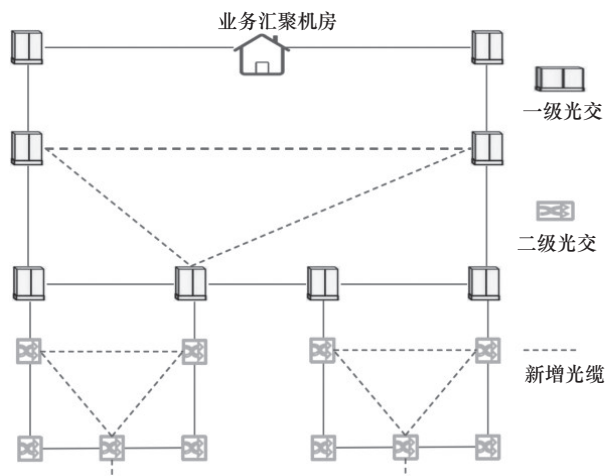


图3 城域 SPN MESH 化组网建议示意图

3.3.3 对网管的挑战

MESH 组网会增加 OMC 网管资源管理压力，一方面，由于端口和链路增加，内存和数据库存储需求上升；另一方面，MESH 组网拓扑复杂，导致算路时间增加，路由计算效率下降。同时，拓扑变更和性能数据量增多，可能引发北向接口数据洪流，占用大量北向资源。另外，传统环网指标（如环路利用率、成环率，冗余带宽等）不

适用 MESH 组网, 需要根据新架构优化网络健康度评估标准。

3.4 MESH 化组网演进趋势

结合光缆规划进行立体统一的 MESH 组网, 近期应重点考虑核心或者汇聚接入的某个节点或者某个范围内进行 MESH 化组网, 不是全网 full MESH, 以满足在现有网络架构上做最小的增量来最大化地提升网络性能。例如, 骨干汇聚就近互联, 逐步 MESH 化演进, 如图 4 所示, 目前口字形树状组网, 区县骨干汇聚与城域核心或调度对接, 演进方式可通过规划光缆建设, 相邻区县间就近互通, 多路径提高可靠性并降低时延。

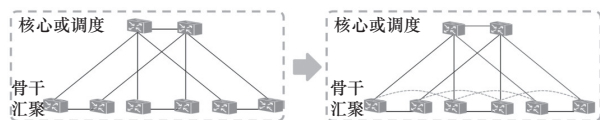


图4 骨干汇聚就近互联示意图

重要业务、高保障、高风险区域可新增路由, 如图 5 所示, 汇聚接入均为环网结构, 仅两个出局方向光缆, 演进方式可通过环内基于光缆资源及物理拓扑实际距离等, 增加第三/第四路由或合并端口; 接入环可选就近连接相邻的接入环节点, 作为逃生通道链路。

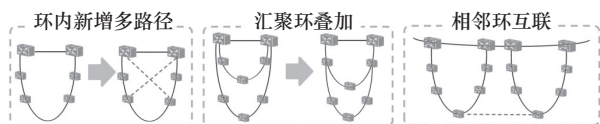


图5 重要业务/高保障/高风险区域新增路由示意图

4 结束语

当前 SPN 系统基本完成全网覆盖, 后续应重点关注网络结构优化及承载效率提升, 本文对

SPN 利用率统计方法优化、SPN/PTN 混合组网策略、MESH 化拓扑设计等方面进行分析探讨。混合组网能充分利用现有资源, 实现网络承载能力与运维效率的提升, MESH 组网通过精准增量投资, 满足低时延、高可靠业务需求。同时也可通过引入多厂商竞争性扩容机制, 促进技术创新与建网成本优化。基于以上网络演进与部署策略, 逐步提升 SPN 的综合承载能力与承载效率, 推动网络向高效能、集约化、绿色安全方向发展, 满足 ToC 和 ToB 业务的多样化需求, 同时对于促进 5G-A/6G 业务演进、满足未来低空经济应用等具有重要意义。

参考文献:

- [1] 刘仁柱, 林丙增, 耿玥君. 5G SPN 承载网关键技术研究[J]. 通讯世界, 2024, 31(12): 44-42.
- [2] 徐晓蕾. PTN&SPN 融合策略研究[J]. 长江信息通信, 2024, 37(12): 222-225.

[作者简介]

瞿少凯 (1990-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师, 主要研究方向为传送网网络架构演进技术。

贺政 (1983-), 男, 博士, 中国移动通信集团设计院有限公司教授级高级工程师, 主要研究方向为算力网络、传送网架构演进策略及关键技术, 长期深耕通信传输与网络规划领域。

黄乐天 (1985-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师, 主要研究方向为中国移动集团客户专线网络建设策略及方案、传送网规划、传输领域新技术等。

王前隆 (1992-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司工程师, 主要研究方向为传送网网络架构演进技术。

丁一凡 (1994-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司工程师, 主要研究方向为光传送网。

豆晓雷 (1994-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司工程师, 主要研究方向为城域传送网网络架构演进技术。