

5G 基站承载的端到端双栈组网方案及现网验证

吴宇

(中国移动通信集团 江苏有限公司, 南京 210029)

摘要: 现有的 4G、5G 设备一般可支持 5G 基站承载的双栈 IP 地址组网, 但这种双栈网络如何在现网中跨越多种专业网络、准确完成端到端组网配置, 仍存在难点。针对此问题, 以大规模工程部署为目标, 提出 5G 基站承载端到端双栈组网方案, 并在真实网络环境下对切片分组网 (SPN) 系统、现网端到端进行了测试与验证, 给出了测试结果, 验证了双栈组网方案的可行性。最后, 举例介绍了故障排查方法。

关键词: 5G; 双栈; 组网; 方案; 验证

中图分类号: TN915.11; TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1002-5561(2022)01-0067-06

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2022.01.014

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



End-to-end dual-stack networking scheme and field network verification carried by 5G base station

WU Yu

(Department of Planning and Technology, China Mobile Group Jiangsu Co., Ltd., Nanjing 210029, China)

Abstract: The existing 4G and 5G devices can generally support the dual-stack IP address networking carried by 5G base stations, but there are still difficulties in how to span a variety of professional networks and accurately complete the end-to-end networking configuration in the current network. To solve this problem, aiming at large-scale engineering deployment, an end-to-end dual-stack networking scheme for 5G base station is proposed, and the sliced packet network (SPN) system and the existing network end-to-end are tested and verified in the real network environment. The test results are given to verify the feasibility of the dual stack networking scheme. Finally, an example is given to introduce the troubleshooting method.

Key words: 5G, dual-stack, networking, scheme, verification

0 引言

目前, 在承载网中, 通过为 5G 基站分配 IPv6 和 IPv4 双地址协议栈 (以下简称双栈) 接口地址, 既可以满足新增 5G 基站与 5G 独立 (SA) 核心网、IP 专用承载网之间通过 IPv6 协议栈互联的需要, 也可以满足新增 5G 基站与存量 4G 基站之间通过 IPv4 协议栈互联的需要。采用双栈组网时, 不仅存量 IPv4 单栈网元与增量双栈网元均可正常混合组网, 保持通信稳定, 而且有利于引入基于 IPv6 的新技术特性^[1], 增量网元可平

滑向 IPv6 单栈演进并充分运用 IPv6 具备的网络回归简洁^[2]、地址空间资源丰富、地址段分配规范和易于维护管理等优点。本文介绍一种 5G 基站承载的端到端双栈组网方案。

1 双栈组网方案

1.1 整体组网结构

双栈并不改变原有的 5G 承载组网思路, 仅并行新增了 IPv6 逻辑协议栈及相关协议处理能力。因此, 基本的整体组网结构仍维持现网的架构不变, 涉及的对接口范围涵盖全省甚至多个省 (多个省的业务会收敛到一个大区中心), 整体组网结构示意图、相关组网设备的配置要求分别如图 1、表 1 所示。

1.2 基站逻辑接口承载需求分析与业务数据流向

一个典型的“五带四”基站 (指同一套无线基站设备硬件机框, 可同时通过无线空口对接 4G 和 5G 终端,

收稿日期: 2021-07-05。

作者简介: 吴宇 (1975—), 男, 安徽怀远人, 高级工程师, 现任职于中国移动通信集团江苏有限公司规划技术部, 从事光传送和光接入的网络规划及技术研究工作, 主要研究方向为传送组网架构优化、传输新技术在移动承载中的应用策略等。



吴宇:5G 基站承载的端到端双栈组网方案及现网验证

且同时包含了 4G 和 5G 回传接口),其各逻辑接口承载需求的相关局向标注如图 2 所示,基站逻辑接口承载需求、业务数据流向分别如表 2、表 3 所示。

由图 2 可以看出,当前处于从 4G 向 5G 的过渡时期,现网环境较为复杂、多种制式的网元并存,且网元之间还需要达成良好的协作,此时推进双栈的难度比今后在单一 5G SA 制式网络中推行双栈^[3]的难度大。

1.3 4G 与 5G 基站之间 X2 接口需求的细化分析

5G NSA 与 4G 共用 EPC,由升级改造后的 EPC 负责同时与 4G、5G 基站通信,具体通信方式存在多个选项(Option),现网实际选择了 Option3x 的数据不分流版本(如图 3 所示),即 5G NSA 基站以邻接的某个已有 4G 基站为“锚点”进行“锚定”,这个 4G 基站称为“锚点站”。5G NSA 基站的控制面信令流量、语音流量,需经 X2 接口至锚点站,再转发给核心网。但 4G 和 5G NSA 基站的用户面流量则分别经各自独立的 S1 接口发送给核心网,无需通过 X2 接口转发。因此,该逻辑接口主要用于承载 5G NSA 基站至其锚点站之间的信令和语音流量。

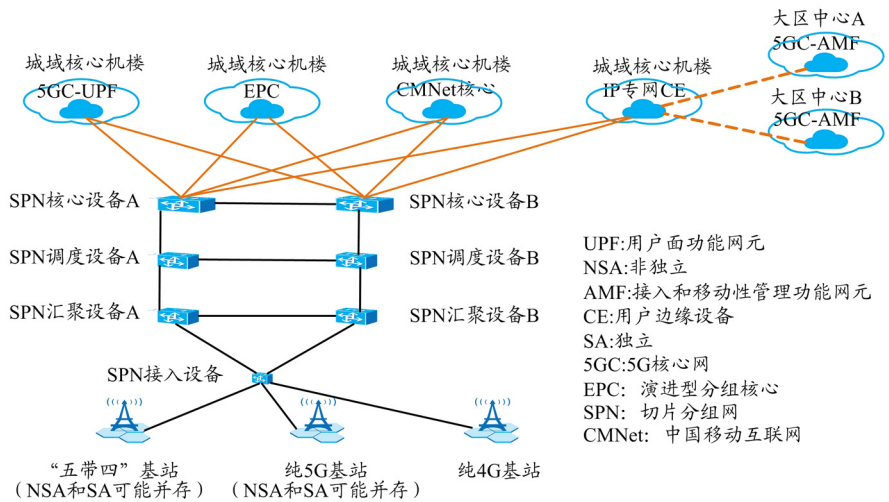


图 1 整体组网结构示意图

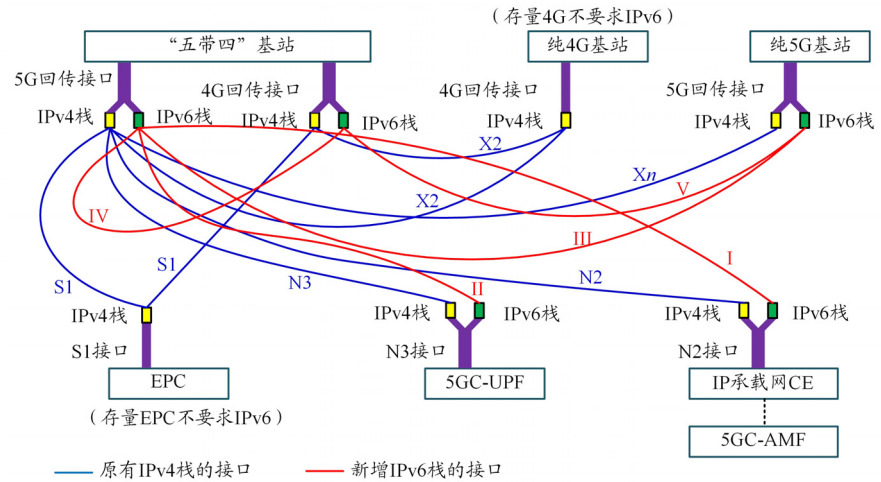


图 2 基站逻辑接口承载需求的局向示意图

表 1 组网设备配置要求简表

网元	双栈组网相关的配置要求
5G SA/NSA 基站及“五带四”基站之中的 4G 基站	在信令面和用户面均配置本端/对端 IPv6 地址
SPN 接入设备	针对 SPN 接入设备下挂的 5G 基站和“五带四”基站,添加指向这些基站回传接口地址的 IPv6 路由表项
SPN 核心设备	针对 SPN 核心设备对接的核心网/IP 专网网元等,添加指向这些网元接口地址的 IPv6 路由表项;添加指向城域网内各基站的 IPv6 网段路由
IP 专网用户边缘设备(CE)/各级路由器	发布城域网内各基站的 IPv6 网段路由和各核心网网元的 IPv6 网段路由;IP 专网 CE 与 SPN 核心设备对接接口配置启用双向转发检测(BFD)协议并绑定 IPv6
5GC AMF/UPF	在信令面和用户面均配置本端/对端 IPv6 地址;配置使能核心网网元与基站之间的 IPv6 信息通道

表 2 基站逻辑接口承载需求分析表

涉及的逻辑接口	5G 回传承载需求	4G 回传承载需求
S1 接口(基站至 EPC 局向)	IPv4 NSA 现状,无需测试验证	EPC 现状,无需测试验证
	IPv6 NSA 并不强制要求 IPv6	EPC 并不强制要求 IPv6
N2 接口(基站经 IP 专网至 5GC AMF 局向)	IPv4 SA 现状,无需测试验证	无此接口
	IPv6 新需求 I	无此接口
N3 接口(基站至 5GC UPF 局向)	IPv4 SA 现状,无需测试验证	无此接口
	IPv6 新需求 II	无此接口
Xn 接口(5G 基站与 5G 基站之间的直达局向)	IPv4 现状,无需测试验证	无此接口
	IPv6 新需求 III	无此接口
X2 接口(4G 基站与 5G 基站之间的直达局向)	IPv4 现状,无需测试验证	现状,无需测试验证
	IPv6 新需求 IV	新需求 V

表 3 主要逻辑接口业务数据流向表

逻辑接口	业务数据流向	业务数据流需经过的网元
N2(对应表 2 中的新需求①)	5G SA 基站至 5GC AMF	5G SA 基站→SPN 接入设备→SPN 汇聚设备→SPN 调度设备→IP 专网 CE→IP 专网各级路由器→5GC AMF
N3 接口 (对应表 2 中的新需求②)	5G SA 基站至 5GC UPF	5G SA 基站→SPN 接入设备→SPN 汇聚设备→SPN 调度设备→SPN 核心设备→5GC UPF
Xn 接口 (对应表 2 中的新需求③)	5G SA 基站至 5G SA 基站	首端 5G SA 基站→SPN 接入设备→SPN 汇聚设备 (若跨接入环)→SPN 调度设备 (若跨汇聚环)→末端 5G SA 基站
X2 接口 (对应表 2 中的新需求④)	5G NSA 基站至 4G 基站	首端 5G NSA 基站→SPN 接入设备→末端 4G 基站
X2 接口 (对应表 2 中的新需求⑤)	5G NSA 基站至 4G 基站	首端 5G NSA 基站→SPN 接入设备→SPN 汇聚设备(若跨接入环)→SPN 调度设备(若跨汇聚环)→末端 4G 基站

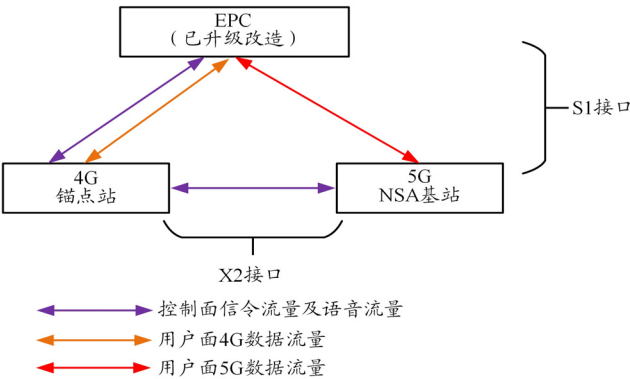


图 3 Option3x 数据不分流版本示意图

1.4 承载网双栈技术

本文选择基于承载网——三层虚拟专网 (L3 VPN) 的双栈组网技术,即在 SPN 系统中启用 L3 VPN,此 L3 VPN 能够同时支持双栈地址的接入,具备双栈路由条目。相关的 5G 基站及核心网网元均接入到该 L3 VPN 中且双栈各自寻址、同时可达。基于 L3 VPN 的双栈技术方案与 IPv6 over IPv4 隧道封装技术方案对比情况如表 4 所示。可以看出,基于 L3 VPN 的双栈技术方案在组网简洁性、部署便利性和时延性能等方面均更优,但对设备硬件能力有一定要求,本文综合考虑后选择了该方案。若使用隧道封装技术方案,不仅部署工作量更大,且会引入较大的封装/解封装时延(至少数十微秒)。

表 4 承载网双栈技术优缺点比较表

策略	原理	优点	缺点
基于 L3 VPN 的双栈技术方案	IPv6 报文和 IPv4 报文,均通过 L3 VPN 转发,分别查询匹配不同类型的路由条目而得到转发下一跳。其核心为 MPLS VPN 标签转发技术,仅在业务报文入口和出口处识别 IP 包头,中间设备不关注是否 IPv6 报文仅作标签转发	对 IPv4 和 IPv6 报文的处理流程相同,组网部署简洁(只需添加双栈路由条目)	对设备硬件能力的要求较高,且需升级现有设备才能支持
	IPv6 over IPv4 隧道封装技术方	增加边界网关,进行报文封装。在 IPv6 报文外层封装 IPv4 包头,以穿越 only 的承载网,在承载网对端边界设备处将 IPv6 包头剥离,再根据内层 IPv6 报文的地址进行转发。其核心为 IPv6 地址与 IPv4 地址之间的无状态映射算法	可快速在承载网中部署 IPv6 地址接入能力,且对设备硬件能力的要求较低,无需升级现有设备

1.5 双栈部署中的难点

双栈部署的难点主要包括跨系统、多接口、重协作和保性能 4 个方面,与单栈部署对比情况如表 5 所示。

表 5 双栈部署难点分析表

部署难点	双栈部署分析	单栈部署
跨系统	现网多张网络并存,包括 LTE、5G NSA 和 5G SA,双栈组网需要全程端到端打通多个专业系统,包括 5G 无线接入网(RAN)、5GC、EPC、SPN、IP 专用承载网和 CMNet 等,设备网元数量大、类型多、控制面和转发面均有涉及、相关协议类型复杂多样	各网存量网元均采用 IPv4 协议互联,逻辑接口前期均已调通
多接口	5G 逻辑接口众多,且需要考虑 4G/5G 的互操作,涉及到 4G/5G 网络的多种协议及其逻辑接口的双栈配置,需要逐一梳理分析,若梳理过程中存在遗漏,则未来无法向 IPv6 单栈的目标网演进	各逻辑接口仅需启用 IPv4 栈
重协作	端到端双栈,涉及到多个系统之间的协作配合,全面开启所涉设备的双栈支持能力,还需要准确配置逐段的转发匹配,才能确保双栈的稳定可靠运行	逐段协作和匹配问题已在前期调测解决
保性能	双栈组网环境下,经 IPv6 栈疏导业务时,相比原 IPv4 栈,不应出现丢包率上升、连接成功率下降或时延指标明显劣化等情况,以保障业务承载性能	承载性能问题已在前期调测解决

2 SPN 系统自身验证测试

2.1 SPN 系统内测试的环境

由于现网端到端测试涉及多个专业网络,易产生多系统互联导致的网络故障定位困难,因此在端到端测试之前,为保证传输自身的配置准确、性能满足要求,应先完成 SPN 系统内的双栈支持能力测试,即测试工作顺序为“先 SPN、再端到端”。

在传输系统内测试阶段,用以太网网络分析仪模拟各类双栈业务流,并在末端 SPN 接入设备进行业务端口环回来模拟基站业务流,其流量流向与真实业务流相似。这样,可测试各类业务逻辑接口的 IPv6 数据包通过 SPN 系统承载的功能完整性及可靠性,具体的 SPN 测试环境如图 4 所示。

完成 SPN 系统内测试后,如果所有的业务逻辑接口测试结果显示双栈配置正常、双栈数据流可同时传输、时延达标和业务流无丢包,则可基本排除传输系统自身配置错误、端口匹配错误等常见功能性问题,

并且获得了传输系统内部的实际性能指标基线,从而为后续端到端测试工作提供了参考指标基准。

2.2 传输双栈时延性能对比测试

在业务层面数据流完全相同的情况下,若仅承载网的 IP 地址及协议栈不同,此时测试 IPv4 数据流和 IPv6 数据流在 SPN 系统内的传输时延值差异是否显著。若是,则 IPv6 栈带来的额外时延较大,影响用户体验。考虑真实网络中难以得到完全相同的业务层面数据流,本文采用仪表模拟的方法,各构造一组 IPv4 数据流和一组 IPv6 数据流,它们的业务层面内容(包括业务报文净荷长度、发包速率等)、传输路径(包括光纤长度、传输电路路径选择等)和背景流量(与业务流同时在传输系统中存在的其它背景流量)等均相同。双栈时延对比测试中所用的 IPv4 数据流和 IPv6 数据流示意图如图 5 所示,两者的端口发送速率均为 9987 Mb/s,分别测得这 2 组数据流在 SPN 系统内的单向时延如表 6 所示。

表 6 传输双栈时延性能对比测试结果表

传输方向	转发路径及各节点转发方式	IPv4 数据流 时延/ μ s	IPv6 数据流 时延/ μ s
上行方向	网元 6 (IP 查表转发)→网元 4(IP 查表转发)→网元 2 (段路由(SR)标签交换)→网元 1(IP 查表转发)	121.125	121.300
下行方向	网元 1 (IP 查表转发)→网元 2 (SR 标签交换)→网元 4(IP 查表转发)→网元 6(IP 查表转发)	122.335	122.930
上下行的 平均值	—	121.730	122.115

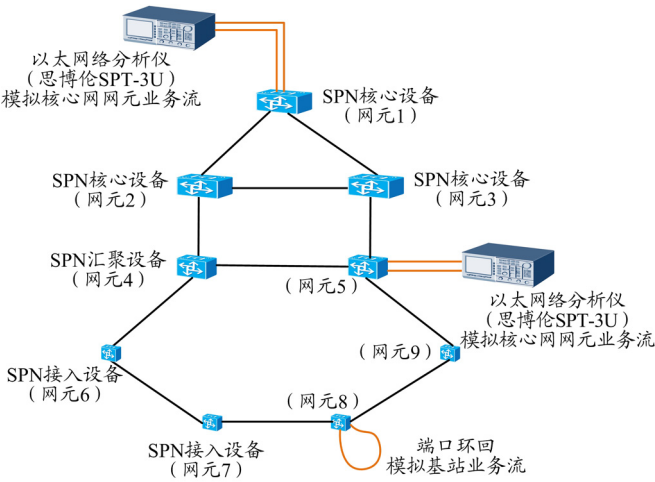


图 4 SPN 系统自身承载测试组网环境示意图

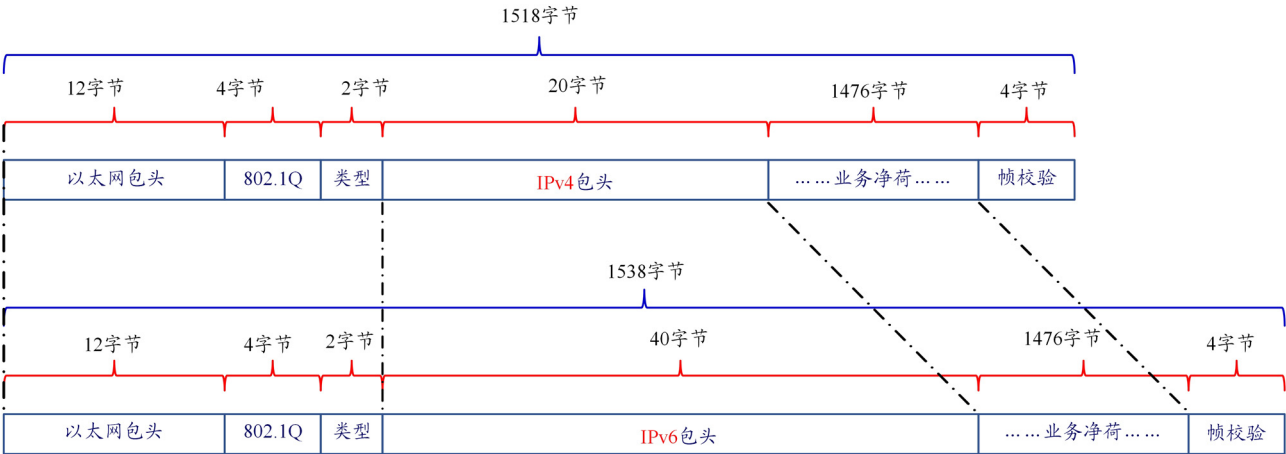


图 5 双栈时延对比测试中所用的 IPv4 数据流和 IPv6 数据流示意图

从表 6 可知,实测 IPv6 数据流比 IPv4 数据流的传输平均时延增加了 385 ns(+0.3%),涉及 4 个 SPN 网元,其中 3 跳为 IP 查表转发、1 跳为 SR 标签交换,两者的理论时延对比分析如下:

首先,IP 查表转发处理时,两者差异在于 IP 地址查表及路由最长匹配的环节,由于 IPv6 的地址长度比 IPv4 地址多 12 字节,底层查表和匹配指令处理耗时稍多,设备厂商提供的 IPv6 数据流单跳时延增加理论值约 100~120 ns。

然后,SR 标签交换处理时,两者均为 SR 标签交换且标签长度均相同,其差异在于 SR 标签之后的 IP 包长度,IPv6 包比 IPv4 包多 20 字节,发送时延增加约 16 ns。

因此,经过 4 个 SPN 网元之后,IPv6 数据流相比 IPv4 数据流,理论上将增加时延约 316~376 ns,与前述实测值相符。

假设有一条 5G 基站承载传输光路,全程光缆距离为 80 km、经过 3 跳 IP 查表转发和 9 跳 SR 标签交换,经理论计算可得 IPv4 数据流、IPv6 数据流的传输时延分别约为 1180 μ s、1180.504 μ s(+0.04%),两者时延相差非常小。因此,从工程应用角度可以认为,启用 IPv6 栈导致的传输时延增加不会对承载时延指标造成不良影响。

3 现网端到端验证测试

端到端测试均采用承担实际业务的网元,与目标组网和真实业务流保持一致,端到端测试整体组网及网元连接关系示意图如图 6 所示。其中,SZ-WJ-QD-NR、SZ-WJ-SS-NR 为 5G 基站,SZ-UPF2 为核心网元 UPF,NJ-AMF1、NJ-AMF2、JH-AMF1 和 JH-AMF2 为核心网元 AMF,其它的均为核心设备。

现网环境下的 IPv6 栈测试结果表明:N2 接口承载路径①、②、③、④的 IPv6 栈平均时延分别为 8.5 ms、8.75 ms、25.25 ms、22.25 ms;N3 接口承载路径⑤的 IPv6 栈平均时延为 4.5 ms;Xn 接口承载路径⑥的 IPv6 栈平均时延为 2.75 ms;IPv6 栈 Traceroute 逐

跳符合预期;基站接口状态和业务运行正常,5G 基站端到端双栈组网稳定、性能良好。

4 故障排查举例

4.1 故障现象及分析过程

现网验证组网环境配置完成之后,发现 5G 基站至 JH-AMF1/JH-AMF2 在 IPv6 栈上无法正常通信(即图 6 中的路径③和路径④),但与此同时 5G 基站至 NJ-AMF1/NJ-AMF2 的 IPv6 栈通信正常(即图 6 中的路径①和路径②),且路径①~路径⑥上的 IPv4 栈均通信正常。

路径③和路径④是跨省的,涉及到 3 个维护主体(A 省、省际、D 省),经过 SPN、CE、接入路由器(AR)、核心路由器(CR)和 AMF 等数十端不同类型设备,其中任一设备或端口的配置错误都可能导致通信中断,因此为了准确地定位故障原因和故障点,需要进行分段定位和多系统的联合排查,分段故障定位分析示意图如图 7 所示。

首先,逐段排查传输电路中断、网元数据配置错误等常见故障因素,并未发现异常。其次,从 JH-AMF1 入口开始查询,发现此处并无相关接口会话信息,表明相关接口会话的 IPv6 数据包在抵达 JH-AMF1 之前已被丢弃,继续沿路径③反向逐跳追踪,发现 IPv6 数据包在 A 省 B 市 IP 专网 CE 至 AR 之间被丢弃,而与此同时相关接口会话的 IPv4 数据包状态正常。最后,

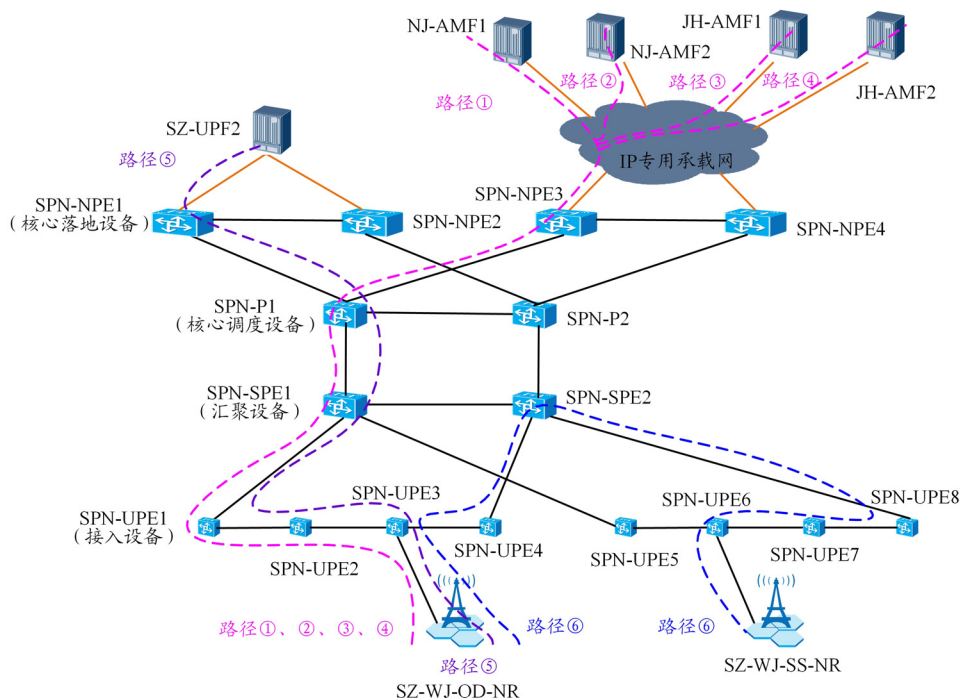


图 6 端到端测试整体组网及网元连接关系示意图

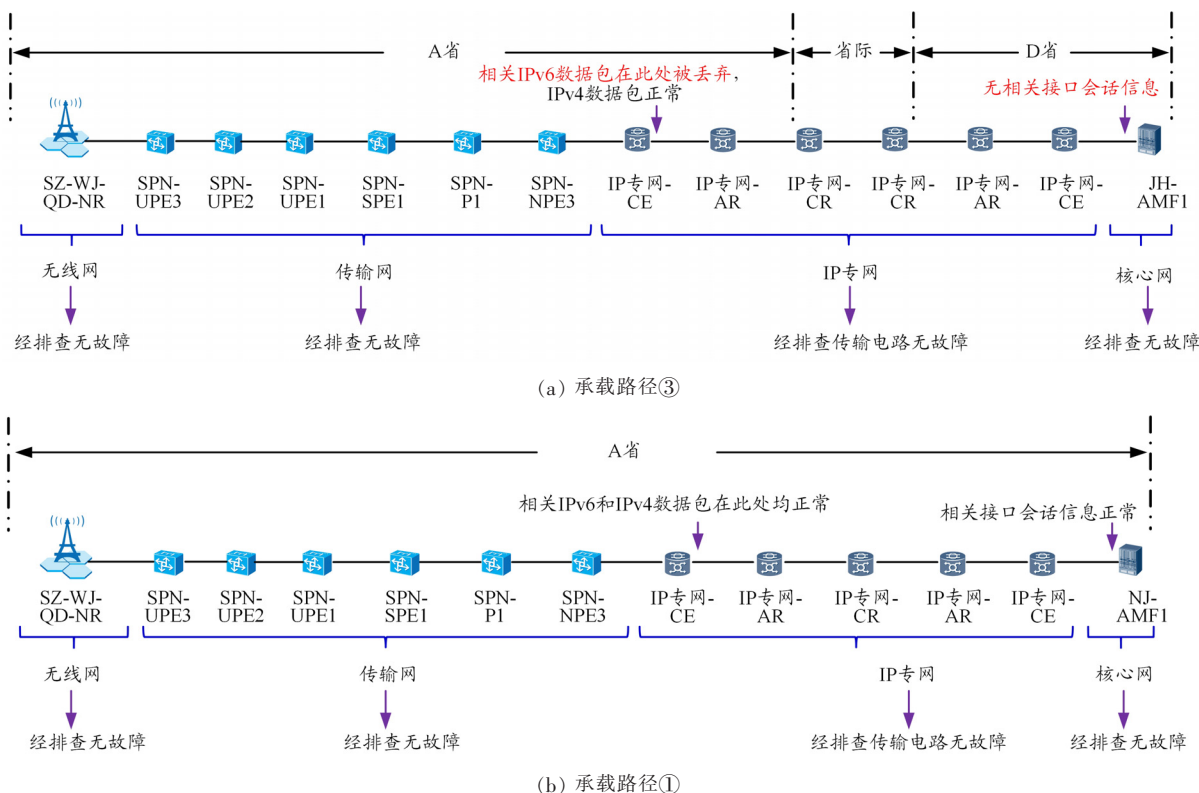


图7 分段故障定位分析示意图

从 NJ-AMF1 入口开始查询,发现相关接口会话信息正常;继续沿路径①反向逐跳追踪,发现相关接口会话的 IPv6 和 IPv4 数据包状态均正常。

对比 2 条路径分别排查的结果可知,故障与物理层、以太网接口无关,IP 层的双栈转发功能也是正常的。

4.2 故障处理和启示

通过逐跳查询 IP 专网设备的路由表,本文发现因 JH-AMF1 的 IPv6 路由宣告故障,导致 A 省 IP 专网设备中缺少指向 JH-AMF1 的 IPv6 路由条目,因此目的地址为 JH-AMF1 的 IPv6 数据包被丢弃。在处理好该路由宣告故障之后,问题解决,全程 IPv6 栈顺利连通。由此可见,问题的根因是 D 省 IP 专网与核心网之间的路由宣告故障,导致 A 省 IP 专网无法接收到 D 省核心网方向的路由信息。但这个故障的表现形式却是数据包在 A 省 IP 专网入口段落被丢弃,易误导排查人员反复耗时核查省内段落。

5G 网络的核心网网元大量集中建网,其网元之间的逻辑接口不再局限于城域或省内,承载路径常跨省,相应涉及大量网元和异质系统。因此,当出现故障时,不应延续固有思维,总在本市本省排查,而要站在全局的角度去思考远端信息通告、全程衔接等问题。

5 结束语

现阶段,5G 基站承载的端到端双栈组网是一个需要拉通多个系统配置的实践难点。本文梳理提出的整体解决方案及测试结果能对 5G 全网的双栈组网改造、多系统配置提供指导意见,有望支撑后续 5G 全网的双栈组网改造工作。待 5G 基站承载端到端的双栈部署全部完成之后,应继续推动向 IPv6 单栈组网方式演进,以减少不必要的端口(IPv4 地址)配置管理工作,借助 IPv6 地址体系固有的技术优势,简化 5G 基站开通流程,提升 5G 网络的维护管理效率。为达到 IPv6 单栈组网目标,还需推进以下工作:存量 4G 网络中不支持 IPv6 的旧网元退网;5G NSA 全部演进至 5G SA,或不支持 IPv6 的 NSA 网元退网;传输系统中不支持 IPv6 的设备退网;部署进一步提升 IPv6 承载效率的新技术。

参考文献:

- [1] 秦壮壮,屠礼彪,臧寅,等.基于“IPv6+”的 5G 承载网切片技术与应用[J].电信科学,2020,36(8):28-35.
- [2] 解冲锋.从 IETF 动态看 IPv6 的发展趋势[J].信息通信技术与政策,2020(8):12-17.
- [3] 马晨昊,解冲锋,郑伟,等.5G SA 网络引入 IPv6 的思路探讨[J].中兴通讯技术,2020,26(3):43-48.