

APN6 技术及应用研究

Research on APN6 Technology and Its Application

张桂玉¹,王 路²,白露莹¹,邓木明¹,岳一凡¹(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司,北京 100048;2. 中国联通智网创新中心,北京 100048)

Zhang Guiyu¹,Wang Lu²,Bai Luying¹,Deng Muming¹,Yue Yifan¹(1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd.,Beijing 100048,China;2. Intelligent Network & Innovation Center of China Unicom,Beijing 100048,China)

摘 要:

APN6是一种新的网络架构,能够有效感知关键应用(组)、关键用户(组)及其对网络的性能需求,将极大地丰富云网服务维度、精细化云网运营,为用户提供更加精细的网络服务。分析了APN6背景需求、关键技术、典型应用场景、技术优势和不足,并提出发展策略,以推动IPv6+技术的落地普及。

关键词:

APN6;IPv6+;SRv6;应用侧方案;网络侧方案

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.07.013

文章编号:1007-3043(2025)07-0077-06

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:

APN6 is a new network architecture that can effectively perceive key applications (groups), key users (groups) and their performance demands on the network, which will greatly enrich the service dimension of cloud network, refine the operation of cloud network, and provide users with more refined network services. The APN6 background requirements, key technologies, typical application scenarios, technical advantages and shortcomings are analyzed, and development strategies are proposed to promote the popularity of IPv6+ technology.

Keywords:

Application-aware IPv6 Networking; IPv6+; SRv6; Application-side solution; Network-side solution

引用格式:张桂玉,王路,白露莹,等. APN6 技术及应用研究[J]. 邮电设计技术,2025(7):77-82.

0 引言

TCP/IP 协议栈的分层解耦设计曾推动早期网络标准化,但随着 5G、边缘计算、物联网等新业务的兴起,其对时延、可靠性要求更高,需网络提供更细粒度的差异化服务,传统完全解耦设计已难满足需求。

传统网络通过五元组、DPI 或 SDN 编排实现业务调度,但存在局限:五元组信息有限且隧道场景需深度识别;DPI 增加成本并带来安全隐私问题;SDN 编排周期长、接口复杂,因此主要靠网络轻载保障质量。

当前,IP 承载网络虽已具备 H-QoS、SRv6、网络切片等技术,可实现细粒度处理,但仍缺乏应用业务信息,且配置、调度和测量能力不足,难以精准传递业务需求并匹配差异化服务,“网络感知应用、应用驱动网络”成为迫切需求。

1 APN6 概述

1.1 基本概念

应用感知的 IPv6 网络(APN6)是一种新型的网络架构,它利用 IPv6 报文自带的可编程空间,将应用信息(如标识、网络性能需求等)携带进入网络,使网络可以识别应用,并且感知应用对网络的需求,进而为

收稿日期:2025-06-24

不同应用提供差异化的网络服务和精准的网络运维。如图1所示,APN6通过IPv6扩展头将业务报文的应用信息携带进入网络,使得网络具备感知应用的能力。

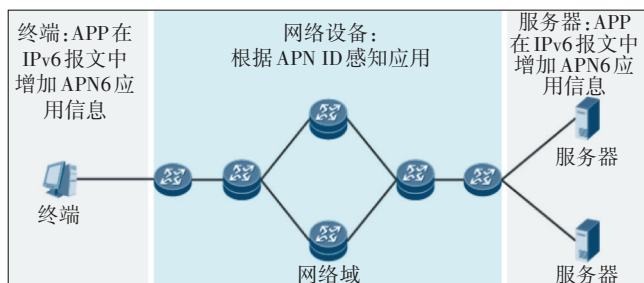


图1 APN6的应用感知

对于应用而言,IPv6报文的可编程空间是面向应用开放的,应用可以自定义其中的应用标识、网络性能需求等参数;对于网络而言,设备通过解析IPv6报文的扩展头部,能够有效感知关键应用/关键用户,以及其对网络的性能需求。

1.2 关键要素

APN6包含3个关键要素,如图2所示。

a) 开放的应用信息。APN6通过IPv6扩展报文头自带的编程空间携带应用信息,可针对不同应用流进行精细化区分和网络调度,对应用信息的封装和携带能力面向应用开放,可以根据需要自主选择。

b) 丰富的网络服务。网络技术的不断发展为应用提供越来越丰富的网络服务,新兴的网络技术有SRv6 Policy、网络切片、确定性网络等,可保障不同应用的各种差异化需求。APN6可以和这些网络新型技术结合,提供更加精细化的网络服务。例如,APN6结合确定性网络技术,可以精细地为关键应用和用户提供广域网确定性传输服务,保障业务的时延、抖动、可靠性等SLA性能指标。

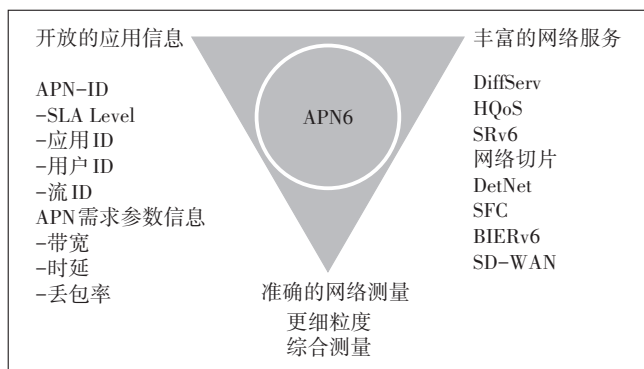


图2 APN6三要素

c) 准确的网络测量。APN6可以和网络测量技术相结合,如与随流检测(IFIT)技术结合,实现应用/用户流量的精细化可视、实时性能测量和快速故障定界等,使能精准网络运维。

1.3 标准情况

APN6的标准发展已进入国内行业标准化阶段,中国通信标准化协会网络与业务能力技术工作委员会(TC3)审查通过了《感知应用的IPv6网络(APN6)架构及总体技术要求》,标志着APN6的首个行业标准正式确立。该标准由华为、三大运营商等联合制定,定义了APN6的核心架构与技术要求。

在国际上,IETF有多项标准草案文稿,涵盖APN架构、需求、用例、数据面封装、控制面FlowSpec扩展、管理面YANG模型等,但尚未发布正式标准。

目前,APN6的国内行业标准已初步建立,其技术框架也进入实践验证阶段。未来,需持续完善参数化标准,并进一步深化跨行业应用。

2 APN6技术研究

本章将基于IETF相关草案文稿,对APN ID标识及报文封装格式、APN6的网络架构以及APN6中应用报文的转发策略等技术设计及实现进行研究。

2.1 字段及封装

draft-li-apn-framework定义了APN报文所携带的应用信息(APN Attribute),包括应用标识信息(APN ID)和应用需求参数信息(APN Parameters)。

a) APN ID:提供便于网络区分不同应用流和某个/类应用的不同用户(组)等信息,可以包括APP Group ID、User Group ID等信息。

b) APN Parameters:属于可选携带信息,可以包括带宽、时延、抖动、丢包率等应用对网络性能的需求参数^[1]。

应用信息的选项字段被称为APN Header,APN标识信息封装在APN Header中,APN Header可携带在IPv6扩展报文头里^[2]。IETF文稿draft-li-6man-apn-ipv6-encap描述了可用于携带APN应用信息的具体位置,包括目的选项头(DOH)、逐跳选项头(HBH)、段路由头(SRH),国内主流通信设备商采用DOH携带的实现方式^[3-4]。

APN Header采用典型的类型-长度-值(Type-Length-Value)结构,draft-li-apn-header草案中定义的应用信息的报文结构如图3所示。

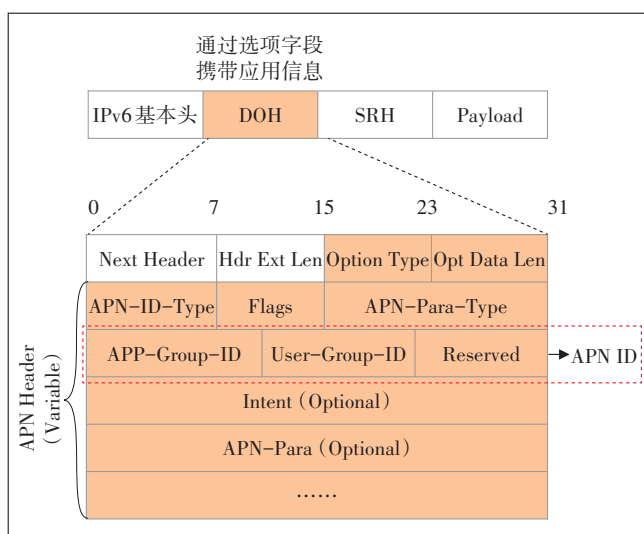


图3 携带应用信息的报文结构

其中,APN Header 各字段含义如表 1 所示。

2.2 网络架构

网络中的 APN6 区域 (APN6 Domain) 是指携带了应用信息的报文所经过的所有网络设备的集合。在 APN6 区域中,包括以下几种设备角色:应用端侧/云侧设备、网络边缘设备、网络策略执行设备(头节点、中间节点、尾节点)、控制器。设备之间相互配合,实现了 APN ID 的生成和封装,根据 APN ID 执行相应网络策略等功能。APN 组网架构如图 4 所示。

a) 端侧/云侧设备:通过应用感知的程序,感知应用的特征信息,生成“封装应用特征信息”的数据报文。

b) 网络边缘设备 (APN-Edge): APN6 边缘设备用于接入应用终端或应用服务器。如果端侧/云侧设备不具备为报文添加应用信息的能力,APN-Edge 可以通过 QoS 策略根据报文的五元组、接口、VLAN 等信息

表 1 APN Header 字段含义

字段	含义
APN-ID-Type	1 个字节, APN-ID 的类型
Flags	1 个字节, 当前未定义
APN-Para-Type	2 个字节, APN-Para 的类型, 描述 APN-Para 里包含了哪些网络性能的需求参数: 带宽、时延、抖动、丢包率。暂未使用, 填充保留值
APN ID	应用唯一对应的的 APN 标识信息编号, 由 3 部分组成: ① APP-Group-ID: 应用组的标识信息, 长度可变, 由配置决定; ② USER-Group-ID: 用户组的标识信息, 长度可变, 由配置决定; ③ Reserved: 预留字段
Intent (Optional)	可选, 4 个字节, 描述向网络提出的一组意图需求
APN-Para (Optional)	可选, 网络性能需求参数的具体内容信息, 每个参数使用 4 个字节, 包含哪些参数由 APN-Para-Type 决定

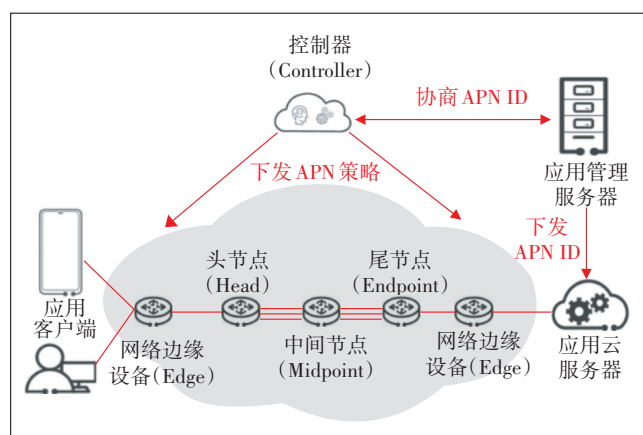


图 4 APN 组网架构

来标记报文的应用信息。当携带了应用信息的报文离开 APN6 区域时, APN6 边缘设备用于删除报文中应用信息。

c) 头节点 (APN-Head): 头节点到尾节点之间应具备一组满足不同 SLA 需求的隧道。头节点可以根据报文的应用信息, 将流量引入到满足应用 SLA 需求的隧道中。网络边缘设备和头节点的功能可以在同一设备上实现。

d) 中间节点 (APN-Midpoint): 中间节点为应用报文提供转发服务, 可根据报文携带的应用信息提供 iFIT、SRv6、SFC 等增值服务。

e) 尾节点 (APN-Endpoint): 网络服务路径将在尾节点处终结, APN6 应用信息可以在尾节点上和路径隧道封装被一起解除。在报文进入路径之前就已经存在的 APN6 应用信息, 也可以随 IPv6 数据报文继续传输。APN-Edge 和 APN-Endpoint 的功能可以在同一设备上实现。

f) 控制器 (APN-Controller): APN6 网络的控制器可以统一规划和维护 APN ID, 及其与应用(组)、网络服务策略之间的映射关系, 定义并下发 APN ID 相关的转发策略和标记策略到网络边缘设备和网络策略执行设备。

(a) 对于网络边缘设备, 控制器下发 APN ID 的标记策略, 建立应用报文的五元组、QinQ 等信息和 APN ID 的映射关系。

(b) 对于网络策略执行设备, 控制器下发 APN ID 的转发策略, 建立转发路径和携带 APN ID 的报文之间的映射关系, 从而将指定 APN ID 的报文引入到合适的转发路径中进行转发。

2.3 报文转发

APN6 报文支持通过 SRv6 TE Policy 或 SRv6 BE 进行转发。在 APN 头节点上完成 APN 引流,把报文的 APN 应用信息和满足应用 SLA 需求的 SRv6 隧道进行映射,携带 APN ID 的报文就能根据映射关系进入对应的隧道进行转发。在规划设计中,建议将 SRv6 TE Policy 隧道作为关键应用业务的转发方式,而 SRv6 BE 方式转发则用于非关键业务、无 SLA 需求业务的转发或 SRv6 policy 故障时的逃生路径。

基于 APN ID 引流需要先将业务流量引入到 SRv6 TE Policy 组中进行转发,在该 SRv6 TE Policy 组中建立 APN ID 和 SRv6 TE Policy 或 SRv6 BE 的映射关系,当流量在 SRv6 TE Policy 组中转发时,会查找与流量报文携带的 APN ID 匹配的 SRv6 TE Policy 或 SRv6 BE 策略,并按照匹配的 SRv6 Policy 的路径或 SRv6 BE 方式进行转发。

目前,国内主流通信设备商的路由器产品(如华为/新华三的产品)已支持 APN 报文的引流转发^[5-6]。

3 APN6 的应用模式

在 APN6 的网络架构中,根据应用信息生成的方式,可将 APN6 的网络分为 2 种类型:应用侧方案和网络侧方案。

3.1 应用侧方案

应用侧方案指 APN 应用信息(包括 APN ID 和 APN Parameters)由应用终端或应用服务器生成,并将其封装进 IPv6 数据报文扩展头中。在 APN6 网络域内(包括头节点),可以根据报文中所携带的应用信息提供相应的感知应用的精细网络服务,例如选择低时延或高带宽 SRv6 路径转发,以满足业务 SLA 要求。

应用侧方案要求终端设备能够感知不同应用,并且网络和应用由同一个组织管理和规划,这样网络设备可以信任应用端生成的应用信息。在应用侧方案中,APN ID 可以通过控制器和 OTT 应用管理服务器之间的协同进行协调与分发。

应用侧方案要求终端/服务器端 OS 及应用 app 支持将应用信息及需求封装到数据报文中。该方案适合部署在应用和网络由一个组织进行管理的场景。

3.2 网络侧方案

网络侧方案指 APN 应用信息(包括 APN ID 和 APN Parameters)由网络中 APN6 边缘设备生成,并将其封装进 IPv6 数据报文扩展头中。同样,可以在 APN6 网络域内根据报文中所携带的应用信息提供相

应的感知应用的精细网络服务。

在网络侧方案中,APN ID 信息无需由应用端侧/云侧设备进行封装,而是由感知应用的网络边缘设备(如 CPE/PE 等)根据预设策略进行封装,应用感知的信息来源为报文中的五元组信息和二层接口信息。

网络侧方案无需应用侧的生态支持,在网络运营商和行业网络中都易于部署。

3.3 模式比较

2 种模式的功能实现、生态现状及适宜场景的分析比较如表 2 所示。

表 2 2 种模式的功能实现、生态现状及适宜场景比较

序号	比较项	应用侧方案	网络侧方案
1	基本实现	APN 信息封装由应用端侧完成。应用端侧支持 APN 信息封装功能,网络侧识别报文的 APN 信息并进行相应处理	APN 信息的封装由网络侧边缘设备完成。应用端侧不要求支持 APN,网络侧根据预设策略,基于报文五元组/接口信息封装 APN 信息并进行后续处理
2	生态现状	①生态不成熟。目前支持 APN 的应用相对稀少 ②后续随着 APN 标准体系的逐步建立,云商/互联网 OTT 等可在主流应用中支持	生态相对成熟。设备商已有路由器产品支持,如华为 NE40E ^[5] 、新华三 CR16000 等 ^[6]
3	适宜场景	APN 应用生态成熟,终端应用和 OS 支持 APN,且 APN 应用与网络互信协同的情况。如网络和应用同时由一个组织拥有和管理,或者 2 个不同组织基于双方约定、安全验证等机制,网络侧信任应用端侧封装的 APN 信息	① APN 应用生态不成熟,终端应用及 OS 不支持 APN,需在网络侧完成 APN 信息封装 ② 网络侧不信任应用端侧报文封装的 APN 信息,而是根据预设策略重新封装 APN 信息

APN6 网络侧方案目前是通信设备商的主流解决方案。

4 APN6 典型应用

4.1 算力网络统一调度

算力网络 CFN 是一种新型信息基础设施。它能够根据业务需求,在云、网、边之间按需分配和灵活调度计算资源、存储资源以及网络资源。

算力网络是一种应用敏感型网络,因为每个应用的算力需求都是不一样的。结合 APN6 技术,算力网络可以有效感知每个应用的算力需求,从而实现精细的全网资源统一调度。这种调度可以是弹性的,即能够实时监控和动态调整。

在算力网络“APN6+CFN”场景中,目前主要是为时延敏感交互业务设置 APN 标识低时延标记,根据

CFN 所学习的多 MEC 算力资源利用情况,为端侧业务 访问分配合适的 MEC 资源。场景应用如图 5 所示。

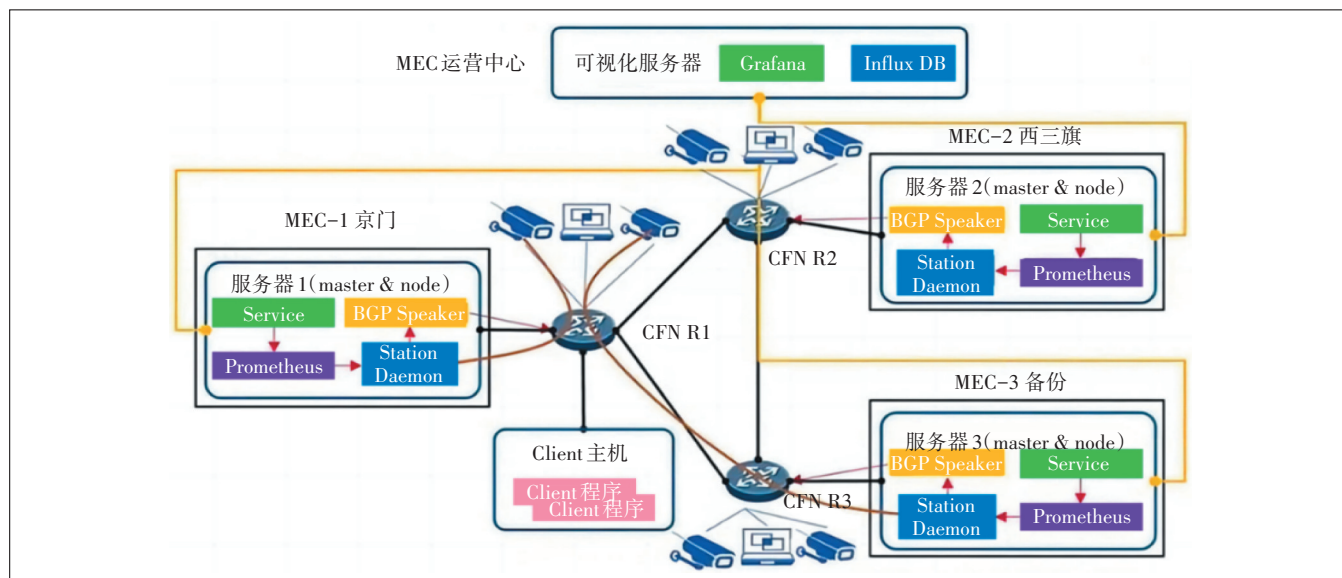


图5 APN6+CFN 场景应用

4.2 云网一体场景

APN6 可以与 IP 承载网结合使用,实现多种功能。在图 6 所示的用户分支站点通过专线接入云端的 IP 承载网场景中,通过部署 APN6 可以实现如下功能。

a) 路径选择:基于 APN ID,将用户 A 的特定流量引入到对应的 SRv6 TE Policy 隧道中进行转发,使流量从客户端到骨干网再到云数据中心实现端到端的统一路径规划,SRv6 TE Policy 为特定流量提供可靠性保障。

b) 隔离策略:PE A 上可以基于 APN ID 设置隔离策略,不允许 APN ID 标识的某些用户访问数据中心,但允许这些用户访问其他分支站点,基于 APN ID 可以实现灵活的访问控制。

c) 故障检测:对于一些重要的业务流量,如视频

会议业务,可以部署 iFIT 检测技术,针对特定应用的流量实现逐段的业务质量监控和故障定位,一旦某段网络出现波动,可以快速定位故障,并进行针对性地调优。

4.3 游戏加速业务

draft-zhang-apn-acceleration-usecase 草案针对时延敏感的游戏业务提出了 APN6 的应用解决方案。通常情况下,国际多人在线竞技类游戏的时延要求低于 30 ms,在一些重大竞技赛事中,游戏时延甚至要求低于 10 ms。用户的游戏终端需要通过网络运营商设备连接到国内游戏运营厂商的出口加速路由,再通过国际 POP 节点接入海外的数据服务器。这个数据转发流程较长,而且传统网络运营商无法为游戏用户提供稳定低时延的接入服务。

网络运营商和游戏运营商可以合作部署 APN6 网络,在用户接入设备上精准识别特定游戏的数据报文,并为游戏用户提供稳定低时延的加速隧道,从而极大提升用户的游戏体验,同时拓展网络运营商的增值业务范畴,创造新的营收点。

5 技术总结及展望

5.1 技术优势

APN6 借助 IPv6 扩展头部中携带的 APN ID 和 APN Parameters,将原本位于 TCP/IP 协议栈不同层次、相互解耦的网络和应用信息重新耦合。对于网络而

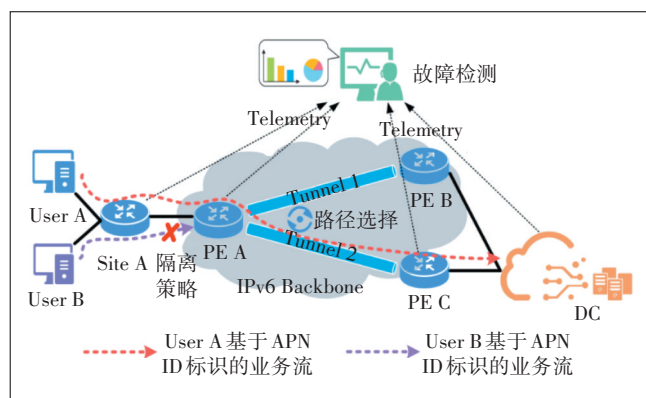


图6 APN 应用于 IP 承载网

言,设备通过解析 IPv6 报文的 DOH 扩展头部感知应用信息。对于应用而言,IPv6 报文的可编程空间是面向应用开放的,应用可以自定义其中的 APN ID 和 APN Parameters 等参数。APN6 的优势和价值主要包括以下几个方面。

a) 简单直接。基于 IP 可达性,利用 IPv6 自身的报文封装直接实现应用信息的携带。传统的应用报文中缺少应用对网络质量的需求信息,应用信息的标识也不明确,通常需要借助 ACL 规则来识别报文。APN6 使用 APN ID 和 APN Parameters 来标识应用和用户。APN6 网络仅需要边缘节点直接在 IPv6 的报文头中携带 APN ID 和 APN Parameters,网络中其他中转设备直接解析报文头即可识别应用信息,这简化了运维部署,减少了各设备上的硬件 ACL 资源消耗。

b) 扩展性强。IPv6 报文封装提供的可编程空间可用于携带丰富的应用相关信息,便于后续进行扩展。逐跳选项报文头、目的选项报文头和路由报文头都能提供可编程空间,可用于扩展以携带应用信息。

c) 兼容性好。APN6 兼容各种 IPv6+ 技术。APN6 网络架构中搭配这些技术,可以实现更加精细化的网络服务。例如,APN6 结合 SRv6 网络切片技术,为不同应用提供专属切片网络,保证业务独享资源;APN6 结合 iFIT 技术提供应用级别的实时性能测量、故障界定和可视化运维等服务。如果应用信息不被网络节点识别,报文就会被作为普通 IPv6 报文被转发。

5.2 存在问题

5.2.1 封装开销

a) 网络传输效率降低:SRv6 增加的报文头属于传输开销,当 SRH 中 SID 数目很多时,报头长度增加,这会增加每报文数据的开销,使有效负载占比下降,进而导致网络侧链路承载效率降低。而 APN TLV 的随路封装,会使承载效率进一步降低,IETF 有专家建议,在最坏情况下需要增加 1 400 多 bit 的开销。

b) 设备转发性能下降:SRv6 及其他封装 APN 的 IPv6 扩展头的叠加封装/解封装处理,可能超过硬件一次读取的深度,导致硬件进行二次读取。这需要额外的内部报文环回以及复杂的报文处理过程,会造成转发处理性能的下降,在环回情况下,会导致 40% 甚至更多处理性能损失。

c) MTU 限制报文转发:SRv6 及其他封装 APN 的 IPv6 扩展报文头长度的增加,可能会使最终生成的 SRv6 报文的大小超出 MTU 的限制,从而造成中途分

片或丢包。

5.2.2 部署问题

a) APN 应用侧方案:需要端侧和云侧的 OS/app 支持 APN6 技术,这需要产业链各方达成一致、共同推动生态成熟,可谓任重而道远。

b) APN 网络侧方案:在 APN 应用侧生态尚未支持的情况下,APN 网络边缘设备需根据预设策略进行封装,应用感知的信息来源为报文中的五元组信息和/或二层接口信息,本质上仍需通过事先学习的方式获取到业务对应的 SLA 需求,这并未体现网络对于应用感知的随时性和快速性。

5.3 技术展望

APN6 为网络和用户业务的深度融合描绘了一个美好的未来,网络可以感知应用及其对网络的性能需求,为不同应用提供便于其流畅运行的 SLA 保障。APN6 与 SRv6、网络切片、DetNet、SFC、SD-WAN、iFIT、算网技术相结合,可实现网络业务的精细感知、业务管道的智能升级、业务流量的实时可视、业务故障的快速定位,可使能网络精细化运营,极大地丰富网络服务维度,扩大网络商业增值空间。

参考文献:

- [1] IETF. Application-aware networking (APN) framework: draft-li-apn-framework-07 [R/OL]. [2025-01-26]. <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-li-apn-framework/>.
- [2] IETF. Application-aware networking (APN) header: draft-li-apn-header-04 [R/OL]. [2025-01-26]. <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-li-apn-header/04/>.
- [3] IETF. Application-aware IPv6 networking (APN6) encapsulation: draft-li-apn-ipv6-encap-07 [R/OL]. [2025-01-26]. <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-li-apn-ipv6-encap/>.
- [4] IETF. Use cases of Application-aware networking (APN) in game acceleration: draft-zhang-apn-acceleration-usecase-00 [R/OL]. [2025-01-26]. <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-zhang-apn-acceleration-usecase/00/>.
- [5] Huawei Technologies Co., Ltd. (n.d.). 数据网路由器系列产品介绍 [Z/OL]. <https://support.huawei.com/>.
- [6] H3C (n.d.). 数据网路由器系列产品介绍 [Z/OL]. <https://www.h3c.com/cn/>.

作者简介:

张桂玉,高级工程师,学士,主要从事智能云网规划、咨询、设计和创新研发工作;王路,高级工程师,硕士,主要从事算网调度及网络 SDN 产品规划工作;白露莹,高级工程师,硕士,主要从事智能云网 SDN 系统研发工作;邓木明,工程师,学士,主要从事智能云网产品组网设计工作;岳一凡,工程师,硕士,主要从事智能云网产品测试工作。