



专题：“IPv6+”网络技术创新体系

“IPv6+”技术标准体系

李振斌¹, 赵锋²

(1. 华为技术有限公司, 北京 100095;

2. 中国信息通信研究院, 北京 100191)

摘要: “IPv6+”的愿景是通过对IPv6技术的扩展和增强释放IPv6的技术潜力, 满足5G和云时代对大规模、高可靠、新业务和智能化IP网络的需求。“IPv6+”的技术内涵包括以SRv6网络编程、网络切片(VPN+)、随流检测(iFIT)、新兴多播(BIERv6)、业务链(SFC)、确定性网络(DetNet)和感知应用网络(APN)等为代表的一系列协议和技术创新, 目前正在各标准组织中分阶段进行标准的研究与制定。标准化是“IPv6+”技术创新的重要工作, 全面地定义了“IPv6+”技术标准体系, 包括与“IPv6+”相关的标准组织、“IPv6+”标准全景图、“IPv6+”标准创新3个阶段以及每个阶段的关键技术创新和标准布局。

关键词: IPv6+; 标准体系; SRv6

中图分类号: TN915

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020258

Standard system of IPv6+ technologies

LI Zhenbin¹, ZHAO Feng²

1. Huawei Technologies Co., Ltd., Beijing 100095, China

2. China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100191, China

Abstract: The vision of IPv6+ is to unleash the potential of IPv6 technology with necessary extensions and enhancement, so as to meet the requirement in 5G and cloud era to IP network, such as high scalability, high reliability, new services and intelligence network. IPv6+ consists of a series of protocol and technology innovation: such as SRv6 network programming, network slicing (VPN+), in-situ flow information telemetry (iFIT), next generation multicast (BIER), service function chaining (SFC), deterministic networking (DetNet), and application-aware IPv6 networking (APN6). These technologies are currently under development in several standard organizations, and can be classified into three phases. Standardization is one of the most important work of IPv6+ innovation. The standard system of IPv6+ technologies were defined, including the related standard organization, the whole picture of the IPv6+ standards, the three phases of IPv6+ standardization and key technologies and standard layout of each phase.

Key words: IPv6+, standard system, SRv6



1 引言

1.1 “IPv6+”标准的驱动力

随着 5G 的兴起和不断发展,人与人的通信将进一步延伸到物与物、人与物的智能互联,使网络技术进入更加广阔的行业和领域,进而涌现丰富多样的垂直行业业务,如车联网、工业控制、环境监测、移动医疗等。随着应用领域的持续扩展,网络需要支持的节点和连接数量将扩大到前所未有的规模。IPv6 可以提供海量的地址空间和无处不在的连接,从而满足 5G 以及垂直行业对网络规模和连接数量的需求。此外,各种垂直行业的业务存在极大的差异性,为了满足垂直行业对网络的差异化需求,IPv6 本身所具有的灵活性和可扩展性,为垂直行业的业务创新提供所必需的技术支持。

从另一方面来看,互联网协议的核心标准组织 IETF 已停止在新的协议标准化中对 IPv4 兼容性的要求,并将全力支持 IPv6^[1]标准的优化和完善,这为 IPv6 的进一步广泛部署和应用铺平了道路。

我国在 IPv6 部署和实践方面具有一定的优势,同时在 5G 部署方面走在世界的前列,对于 5G 和新兴领域、新业务中遇到的各种新需求,可以首先考虑基于 IPv6 开展一系列的创新和增强,从而成为“IPv6+”标准和产业的引领者。

1.2 “IPv6+”标准的意义

在技术创新极大活跃的时代,标准的存在有着重要的意义。首先,早期标准可以有效指导新技术的先行先试,并通过技术试点进一步推动标准的不断完善;其次,成熟标准可以为新技术的快速规模化部署和互联互通提供所必需的指导和规范。在创新、标准、试点和商用部署之间可以形成有效的反馈闭环,基于标准在实践中检验与提升创新,并最终取得商业的成功。标准与各模块之间协调推进关系示意图如图 1 所示。

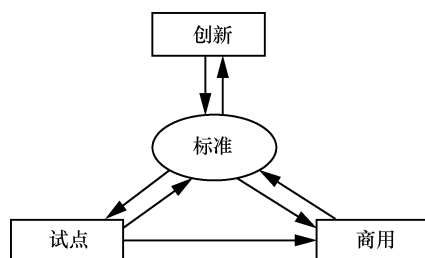


图 1 标准与各模块之间协调推进关系示意图

2 “IPv6+”标准全景图

2.1 与“IPv6+”相关的标准组织

与“IPv6+”相关的主要标准组织包括 IETF (Internet Engineering Task Force, 互联网工程任务组)、ETSI (European Telecommunications Standards Institute, 欧洲电信标准协会) 和 CCSA (China Communication Standards Association, 中国通信标准化协会)。3 个标准组织分别有各自的侧重点,负责“IPv6+”标准在不同平面的延展。同时,三者又可以相互协调,共同构建“IPv6+”标准的制定和推广平台。

IETF 是互联网协议规范的核心标准组织,与“IPv6+”相关的领域主要为 INT (internet area, 互联网域)、RTG (routing area, 路由域) 和 OPS (operations and management, 运维管理域),其中相关的工作组主要包括 6MAN (IPv6 Maintenance)、SPRING (Source Packet Routing in Networking) 和 V6OPS (IPv6 Operations) 等。其中,6MAN 工作组负责与 IPv6 相关标准的制定,SPRING 工作组负责与 SRv6 相关标准的制定,V6OPS 负责与 IPv6 部署和运维相关的标准的制定。

ETSI 是欧洲地区性信息和通信技术 (ICT) 标准化组织,主要负责与网络架构和部署相关的规范。其中,与“IPv6+”相关的主要工作组是 IP6 ISG (Industry Specification Group)。

CCSA 是中国的通信行业标准组织,负责中国通信领域的行业标准的制定,其中,TC3 的 WG1 和 WG2 为负责“IPv6+”的框架和协议扩展规范

制定的主要工作组。

2.2 “IPv6+”在各标准组织的标准布局

“IPv6+”在内容上包括基于 IPv6 扩展和增强的多个创新技术方案，在标准上对应一个协议族，在各标准组织形成了一个有机结合的协议标准体系。“IPv6+”涵盖的技术标准规范分为“IPv6+”1.0、“IPv6+”2.0 和“IPv6+”3.0，分别分布在表 1 的标准组织。

“IPv6+”创新的标准技术规范目前正在 IETF 和 CCSA 同步展开。由于国内在 5G 和云等新兴领域的先行先试，将促进国内标准的快速发展，因此后续“IPv6+”在 CCSA 的标准进展可能会快于 IETF 国际标准进展。

除了在 IETF 和 CCSA 的技术规范制定，“IPv6+”创新也逐步在 ETSI 开展与架构和部署相

关的标准工作。其中，在 IPv6 ISG 发布了包含 IPv6 实践、演进以及“IPv6+”创新的技术白皮书，并在 ENI ISG 立项了“IPv6+”2.0 中 IFIT 的技术需求和框架。

3 “IPv6+”1.0: SRv6 基础能力

“IPv6+”1.0 的主体是在 IPv6 的基础上引入 SRv6 网络编程能力，基于 SRv6 可以在 IPv6 网络中提供 VPN、TE、FRR 等特性。

SRv6 基础能力的标准布局如图 2 所示。

SRv6 网络编程的框架在 IETF 草案 draft-ietf-spring-srv6-network-programming^[2]中定义，主要描述了 SRv6 网络编程概念和 SRv6 功能集。该草案已经通过 SPRING 工作组的最后意见征集（last call），正在 IESG 评审，有望近期成

表 1 “IPv6+”涵盖的标准规范在标准组织的分布

技术课题	IETF	CCSA
“IPv6+”1.0 SRv6	需求、框架、协议扩展	框架、协议扩展
“IPv6+”2.0 VPN+	架构、管理模型、数据面扩展、控制面协议扩展	架构、管理接口、数据面/控制面扩展
iFIT	框架、协议扩展	需求、框架、协议扩展
BIER6	需求、封装、协议扩展	封装、协议扩展
SFC	需求、封装、协议扩展	
DetNet	需求、架构、数据面、控制面	
G-SRv6	需求、封装、协议扩展	封装、协议扩展
“IPv6+”3.0 APN6	需求、框架、协议扩展	框架、协议扩展

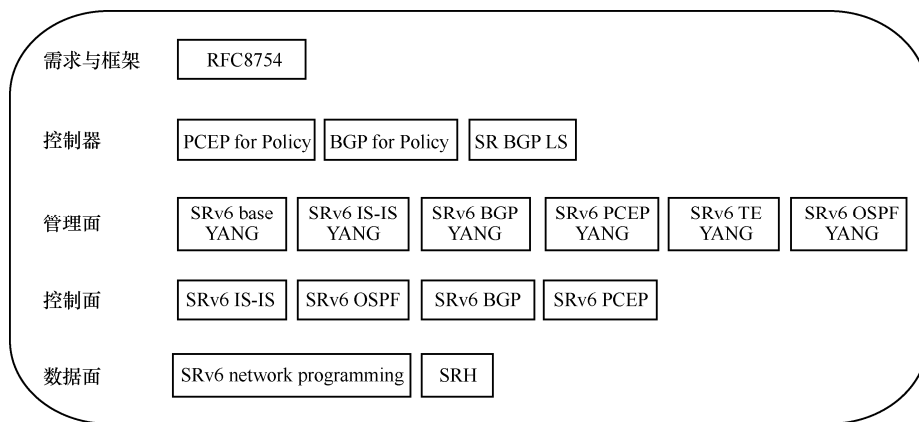


图 2 SRv6 基础能力的标准布局



为 RFC。CCSA 也分别在 TC3 WG1 和 WG2 工作组进行了与 SRv6 相关标准的制定。包括《基于 SRv6 的网络编程技术要求》《基于 SRv6 的 VPN 网络技术要求》，当前已经完成了报批稿，《基于 SRv6 的 IP 承载网络总体技术要求》进入了送审阶段。另外，SRv6 故障保护和相关功能测试通过了立项，开始标准化进程，包括《SRv6 网络故障保护技术要求》《SRv6 技术功能与性能测试要求》《基于 SRv6 的 VPN 网络测试要求》。

SRv6 的报文头格式在 IETF 草案 RFC8754^[3]中定义，主要描述了 SRv6 报文头 SRH 的封装格式定义，目前已经成为 IETF RFC，这是 SRv6 技术领域的第一篇 RFC，也是 SRv6 标准成熟的一个重要标志和里程碑。

SRv6 的基础协议扩展包括如下草案。

- draft-ietf-lsr-isis-srv6-extensions^[4]：该草案定义了为支持 SRv6 对 ISIS 所需进行的协议扩展，包括定义 SRv6 Capabilities sub-TLV 来指示节点是否具有支持 SRv6 的能力、利用 SR algorithm TLV 指示所支持的算法、SRv6 MSD 来指示节点/链路支持的最大 SID 栈深、SRv6 locator TLV 和 end SID/end.X 等 SID sub-TLV、SRv6 SID structure sub-sub-TLV 等。
- draft-ietf-lsr-ospfv3-srv6-extensions^[5]：该草案定义了为支持 SRv6 对 OSPFv3 所需进行的协议扩展，与 ISIS 扩展支持 SRv6 类似，包括定义 SRv6 capabilities sub-TLV 来指示节点是否具有支持 SRv6 的能力、利用 SR algorithm TLV 指示所支持的算法、SRv6 MSD 来指示节点/链路支持的最大 SID 栈深、SRv6 locator LSA 和 end SID/end.X 等 SID sub-TLV、SRv6 SID structure sub-sub-TLV 等。

SRv6 流量工程的协议扩展包括如下草案。

- draft-ietf-spring-segment-routing-policy^[6]：

该草案系统介绍了 SR Policy 的框架、概念、标识、信息模型、引流实现以及保护场景应用等，candidate path 和相应的 BSID 等概念也在这篇文稿中引入。该文稿同时适用于 SR-MPLS 和 SRv6 两种数据面。

- draft-ietf-idr-bgpls-srv6-ext：该草案定义了为支持 SRv6 对 BGP-LS 所需进行的协议扩展。通过 BGP-LS 对 SRv6 网络节点、链路、前缀、SID 等相关属性信息的收集和传递，可以获得对同一域甚至多域网络拓扑的可视化，从而可以更好地进行 SRv6 网络编程。
- draft-ietf-idr-segment-routing-te-policy：该草案定义了 BGP 用于支持 SR Policy 所需的协议扩展。具体地，定义了一个新的 BGP SAFI 和 NLRI 用于发布一个 SR Policy 的一个 candidate path，描述了 SR Policy 的具体编码（encoding）和相关发布、接收和错误处理操作（operations）。该文稿同时适用于 SR-MPLS 和 SRv6 两种数据面。
- draft-ietf-pce-segment-routing-policy-cp：相对于 BGP，该草案定义了 PCEP 用于支持 SR Policy 所需的协议扩展，构建 SR Policy association group 将多个 candidate path 指向一个 SR Policy，该文稿同时适用于 SR-MPLS 和 SRv6 两种数据面。

SRv6 VPN 在 IETF 草案 draft-ietf-bess-srv6-services^[7]中定义，主要描述了为支持 VPN 业务对 BGP 协议所需的扩展，包括支持基于 SRv6 的 BGP 业务（L3VPN、EVPN、Internet Services）的具体流程和消息。

SRv6 的网络可靠性方案包括了如下草案。

- draft-ietf-rtgwg-segment-routing-ti-lfa：该草案定义了 SRv6 TI-LFA 保护方案，旨在为 SR 框架下的节点和链路 segment 提供保护，可以在任何 IGP 网络提供有保障的覆盖。

- draft-ietf-rtgwg-srv6-egress-protection: 该草案描述了 SRv6 路径或隧道尾节点快速保护方案的机制和所需 IGP 协议扩展, 包括 ISIS 和 OSPF。
- draft-chen-rtgwg-srv6-midpoint-protection: 该草案定义了 SRv6 Mid-point 保护方案, 使发生故障的 endpoint 的直接邻居执行该 endpoint 的功能, 将 IPv6 目的地址换成另一个 endpoint, 并基于这个新的目的地址选择下一跳。

SRv6 YANG 模型主要在如下草案中定义:

- draft-raza-spring-srv6-yang^[8]: 该草案定义了 SRv6 base YANG 模型。
- draft-raza-spring-sr-policy-yang: 该草案定义了 SR Policy YANG 模型。
- draft-raza-bess-srv6-services-yang: 该草案定义了 SRv6 service YANG 模型。
- draft-hu-isis-srv6-yang: 该草案定义了 SRv6 ISIS YANG 模型。
- draft-hu-lsr-ospf-srv6-yang: 该草案定义了 SRv6 OSPF YANG 模型。
- draft-li-pce-pcep-srv6-yang: 该草案定义了 SRv6 PCEP YANG 模型。

4 “IPv6+” 2.0 标准布局: 5G 与云新业务使能

“IPv6+” 2.0 在 “IPv6+” 1.0 提供网络编程能力的基础上, 针对 5G 与云时代的新业务与新功能需求, 进一步扩展出一系列的技术创新, 并在标准上进行了布局。

4.1 网络切片与 VPN+

VPN+ (enhanced VPN) 定义了一种分层网络架构以及其中各层的关键技术, 基于 VPN 和 TE (traffic engineering, 流量工程) 技术结合必要的扩展以提供增强的 VPN 服务, 以满足 5G 及其他场景下有严格服务质量要求和保证的业务需求。

5G 网络切片是 VPN+ 的一种典型应用场景。

VPN+ 的标准布局如图 3 所示。

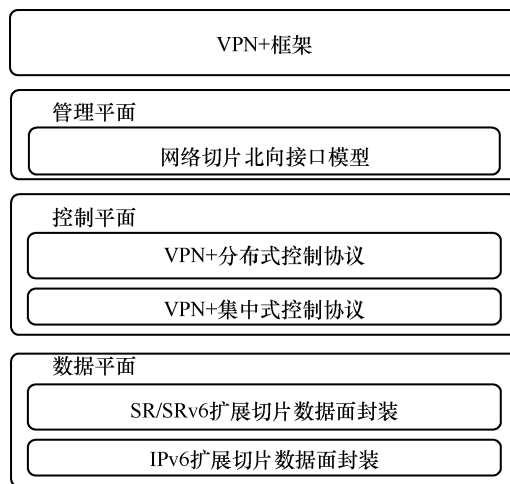


图3 VPN+的标准布局

VPN+ 的框架在 IETF 草案 draft-ietf-teas-enhanced-vpn^[9] 中定义, 主要描述实现 VPN+ 业务的一种分层网络架构及各层的关键技术, 并识别对现有技术需要进行的扩展。VPN+ 的框架在 CCSA 的《支持 IP 网络切片的增强型虚拟专用网 (VPN+) 技术要求》中也进行了定义和描述, 该项目已经进入送审稿评审阶段。

VPN+ 特别考虑了承载网络切片的可扩展性, 并提出了可能的创新解决方案, 这些方案在 IETF 草案 draft-dong-teas-enhanced-vpn-vtn-scalability 中进行了描述, 主要对海量与大规模承载网切片场景下 VPN+ 方案在控制平面与数据平面的扩展性分析, 并提出优化扩展性的方案建议。

VPN+ 的数据面方案主要有两种方式, 一种是基于 SR/SRv6 的数据面封装, 通过扩展 SR SID/SRv6 locator 的含义, 指示报文对应的网络切片的拓扑、功能以及为切片分配的资源; 另一种是扩展 IPv6 报文头携带全局网络切片标识, 用于指示报文所对应的网络切片的资源, 具体包含如下草案。

- draft-ietf-spring-resource-aware-segments^[10]: 扩展 SR SID 用于标识为报文处理预留的网络资源。



- draft-dong-spring-sr-for-enhanced-vpn^[11]: 定义基于 SR/SRv6 SID/locator 扩展的 VPN+ 数据面封装和处理流程。
- draft-dong-6man-enhanced-vpn-vtn-id^[12]: 基于 IPv6 报文头扩展的 VPN+ 数据面封装和处理流程。

VPN+ 的控制面协议扩展方案考虑了两类网络切片需求场景, 基本功能需求和可扩展功能需求。对于第一类需求, 基于对现有控制面技术(如多拓扑和灵活算法)的少量扩展满足基本的承载网切片控制面功能, 这类方案相对容易实现, 但在灵活性和扩展性方面会受限制; 对于第二类需求, 基于对各种控制面技术和属性的组合与扩展, 提供满足承载网切片灵活定制和海量、大规模切片需求的控制面能力。具体包含如下草案。

- draft-xie-lsr-isis-sr-vtn-mt^[13]: 基于多拓扑(multi-topology)的 VPN+ IGP 协议扩展, 用于在网络设备之间分发切片拓扑与资源等属性信息。
- draft-xie-idr-bgpls-sr-vtn-mt^[14]: 基于多拓扑的 VPN+BGP-LS 协议扩展, 用于向控制器上报网络切片的拓扑与资源等属性信息。
- draft-zhu-lsr-isis-sr-vtn-flexalgo^[15]: 基于灵活算法(Flex-Algo)的 VPN+ IGP 协议扩展, 用于在网络设备之间分发切片拓扑与资源等属性信息。
- draft-zhu-idr-bgpls-sr-vtn-flexalgo^[16]: 基于灵活算法的 VPN+BGP-LS 协议扩展, 用于向控制器上报网络切片的拓扑与资源等属性信息。
- draft-dong-lsr-sr-enhanced-vpn^[17]: 支持灵活、海量切片的 VPN+IGP 协议扩展, 用于在网络设备之间分发切片拓扑与资源等属性信息。
- draft-dong-idr-bgpls-sr-enhanced-vpn^[18]: 支持灵活、海量切片的 VPN+ BGP-LS 协议

扩展, 用于向控制器上报网络切片的拓扑与资源等属性信息。

VPN+ 的管理面通过网络切片的北向接口模型, 使承载网切片使用者可以下发网络切片的需求信息, 并收集网络切片的能力和状态信息, 对应如下 IETF 草案。

draft-wd-teas-transport-slice-yang^[19]: 定义承载网切片的抽象北向接口模型。

4.2 随路测量与 iFIT

随路网络测量是数据平面的 Telemetry 使用的一种关键技术, 可以提供数据平面逐个分组报文的信息。随路网络测量并不会发送主动探测报文, 而是在用户报文中携带 OAM 的指令。在报文转发的过程中, OAM 信息跟随报文一起转发, 完成测量。iFIT 提供了随路网络测量的架构和方案, 支持多种数据平面, 通过智能选流、高效数据上送、动态网络探针等技术, 融合隧道封装, 使在实际网络中部署随路网络测量成为可能。

iFIT 标准规范在 IETF、ETSI 和 CCSA 同步开展。iFIT 的标准布局如图 4 所示。



图 4 iFIT 的标准布局

iFIT 的框架在 IETF 草案 draft-song-opsawg-ifit-framework^[20]中定义, 描述了一个运营商可以部署的自动化 Telemetry 架构。该架构下, 通过智能选流、动态探针、上送压缩等技术解决大型网

络部署时遇到的诸多挑战。iFIT 架构也同步在 ETSI ENI ISG 获得立项, 预计 2021 年能够正式完成。iFIT 框架在 CCSA 的《电信运营商网络带内流信息自动化质量测量技术要求》中也进行了定义和描述, 该项目已经进入送审稿评审阶段。iFIT 的数据面包括如下 IETF 草案。

- draft-ietf-ippm-ioam-data^[21]: 定义 Passport 模式的 IOAM 数据面封装。在该模式下, 网络节点收到 IOAM 指令, 并根据指令抓取和报文相关的信息, 然后直接将信息记录在数据报文中。直到报文到达尾节点, 将信息上传给分析器。
- draft-ietf-ippm-ioam-dex: 定义 postcard 模式 IOAM 数据面封装。在该模式下, 网络节点收到 IOAM 指令, 并根据指令抓取和报文相关的信息, 然后直接将信息上送给分析器。
- draft-ietf-6man-ipv6-alt-mark^[22]: 定义交替染色数据面封装。基于 RFC8321 报文染色技术, 通过对 IPv6 报文扩展头部特定字段的交替染色及各节点设备报文统计周期上报控制器, 实现对报文丢弃、转发时延及抖动的高精度可视, 提供对网络实际流量进行直接测量的能力。

iFIT 的控制面协议扩展主要用于信息能力通告和 SR Policy 的 iFIT 能力使能, 主要包含如下 IETF 草案。

- draft-wang-lsr-ifit-node-capability-advertisement: iFIT 能力通告。通过对 IGP 的扩展, 将支持 iFIT 处理的能力在域内泛洪, 构建 iFIT 处理能力的拓扑图。
- draft-qin-idr-sr-policy-ifit^[23]: iFIT 自动部署。通过对 SR-Policy 的扩展, 为不同的 SR 隧道配置 iFIT 能力, 使进入对应隧道的流, 自动触发 SLA 的测量。

iFIT 的管理面协议扩展包括对 iFIT 功能的配

置和对数据的高速上送, 主要包含如下草案。

- draft-zhou-ippm-ioam-yang^[24]: IOAM YANG 模型定义了 IOAM 的配置接口, 支持通过 Netconf 协议对指定的流应用 IOAM。
- draft-ubyte-netconf-udp-pub-channel^[25]: 基于 UDP 的高速上送通道。该文稿提供一种基于 UDP 的订阅和发布机制, 支持大量流信息的高速上送。

4.3 新型多播与 BIERv6

BIERv6 (bit indexed explicit replication using IPv6 data plane, 基于 IPv6 的位索引显示复制) 是利用 IPv6 扩展头、IPv6 地址可达性及其可编程空间, 以 native IPv6 的方式实现的 BIER 多播架构, 提供更好的多播部署能力和扩展支持后续 native IPv6 特性的能力。

BIERv6 在 IETF 和 CCSA 定义标准, 标准布局如下。

- BIERv6 的需求和用例在 IETF 草案 draft-ietf-bier-ipv6-requirements 中定义, 主要描述 BIER 在 IPv6 网络中承载的技术要求, 包括能够完整支持 BIER 技术架构以及 IPv6 扩展的合理性等。
- BIERv6 的封装格式在 IETF 草案 draft-xie-bier-ipv6-encapsulation 中定义, 主要定义了 BIERv6 类型的 IPv6 detonation options header 用于携带 BIER header, 并使用特定的 IPv6 address 指示 BIERv6 转发。
- BIERv6 的 IS-IS 协议扩展在 IETF 草案 draft-xie-bier-ipv6-isis-extension 中定义, 主要描述扩展 IS-IS 协议用于在网络中泛洪指示 BIERv6 转发的 IPv6 地址。
- BIERv6 的跨域方案在 IETF 草案 draft-geng-bier-ipv6-inter-domain 中定义, 主要描述怎样使用静态配置实现 BIERv6 跨域。

4.4 业务链 (SFC)

业务链 (service function chaining, SFC) 是



一种网络业务，其一般指数据分组要经过的一组业务功能的处理。一条业务链一般包含多个 SF（业务功能），这些 SF 一般是增值服务，比如防火墙等。基于 SRv6，可以将 SF 相关的 SID 插入 SID list 中，从而支持业务链。目前基于 SR 的 SFC 的标准化工作主要在 IETF 进行，具体包括如下几个方面。

（1）SFC 数据面方案

SFC 数据面之前主要有基于 PBR 与 NSH 的实现方式，随着 SR-MPLS/SRv6 的出现，基于 SR 数据平面实现的 SFC 成为当前的研究和标准化热点。目前基于 SR 的 SFC 数据平面的标准化进程已经接近成熟，相关草案已经被接收为工作组草案。具体的文稿介绍如下。

- draft-ietf-spring-sr-service-programming^[26]: 该草案定义了 SRv6 SFC 的数据面扩展，主要定义了 SR-aware SFC 的 SR-MPLS 和 SRv6 SID，以及 SF 不支持 SR 时所需的 SR proxy SID。这些 SID 可以被编码到 SID list 中，用于指定一条业务链。基于 SR，可以在头节点指定 SFC 的转发路径，因此无需像 NSH 那样在每一个节点维护逐流的转发状态，因此称为 stateless SFC（无状态的 SFC）。无状态的 SFC 减少了中间节点的状态，使部署 SFC 更简单。
- draft-ietf-spring-nsh-sr: 该草案定义了 SR 与 NSH 结合实现 SFC 的两种方式。第一种方法描述了使用 SR 作为 NSH 的底层传输隧道的方法。在这种方法中 SFC 的业务层转发路由依然由 NSH 指定，而每一个 NSH 节点之间的传输隧道可以为 SR 隧道。第二种方法描述了在头节点基于 SR 完整描述 SFC 转发路径，并通过 NSH 实现 SFF 到 SF 之间流量转发的方法。这两种是 SFC 业务从 NSH 数据平面升级到 SR/SRv6 数据平面的可选过渡方案。

（2）SFC 控制面方案

SFC 控制平面需要基于已有的 BGP/BGP-LS 甚至 IGP 进行扩展，目前业界主要针对基于 NSH 数据平面和基于 SR/SRv6 数据平面的 SFC 设计控制面方案，主要文稿包括如下。

- draft-dawra-idr-bgp-ls-sr-service-segments: 该草案定义了 SR based SFC 的 BGP-LS 控制面扩展，主要扩展了对应的 NLRI 携带 service function 相关的信息。节点在上报 SID 给控制器时，通过给对应的 SID 增加 service function 信息绑定该 SID 到指定的 SF。控制器基于上报的 service SID 可以实现 SFC 的业务编排。
- draft-ietf-bess-nsh-bgp-control-plane: 该文稿定义了基于 NSH 的 SFC 控制平面扩展，主要定义了一种新的 BGP 地址族，用于携带 NSH 的路由信息。该地址族包含 SF 实例的路由信息和 SF 的路径路由信息，可用于 SFC 转发节点构建对应的 SF 路由表。
- draft-li-spring-sr-sfc-control-plane-framework^[27]: 该草案整理了 SR based SFC 的控制面扩展工作，列举介绍了 BGP/BGP-LS/IS-IS/OSPF 等文稿。目前，基于 NSH 的 SFC 的控制平面可以基于 BGP 的扩展文稿 draft-ietf-bess-nsh-bgp-control-plane 实现。基于 SFC 的控制平面可以基于 draft-dawra-idr-bgp-sr-service-chaining 实现。由于支持 SFC 的节点一般为业务节点，所以当前 SFC 控制面主流方案基本都基于 BGP 扩展。此外，业界也提出了基于 IGP 的 SFC 控制面解决方案，如 draft-xu-isis-service-function-adv 和 draft-xu-ospf-service-function-adv。

4.5 确定性网络（DetNet）

确定性网络（deterministic networking，DetNet）技术是一种提供可承诺 SLA 保证的网络技术，它能够综合统计复用和时分复用的技术

优势,保证高价值业务流提供有界时延、低抖动、零分组丢失的确定性网络服务。

目前 DetNet 的标准化工作主要在 IETF 进行,包括:

- DetNet 架构在 RFC8655 中定义,主要描述实现确定性网络所需的技术方法,包括数据面的资源预留、显式路径以及业务保护等;
- DetNet 的 SRv6 数据面方案在 draft-geng-detnet-dp-sol-srv6 中定义,主要描述在 SRv6 中实现确定性网络所需的数据面扩展,包括定义新的 SRH optional TLV 等;
- Detnet 控制面架构和方案在 draft-malis-detnet-controller-plane-framework 中定义,主要描述实现 DetNet 的控制面架构设计和技术选项。

4.6 SRv6 压缩与 G-SRv6

由于 SRv6 的 SID 为 128 bit 的 IPv6 地址,因此当 SID 数目过长时,报头开销就相对可观,影响了硬件处理效率和报文传输效率。G-SRv6 (generalized SRv6)通过定义新的 SID 类型指示压缩 SID 的携带,从而在不改动 SRH 的封装格式的情况下支持在 SRH 中携带 128 bit 的 SID 和携带 32 bit SID 等长度的压缩 SID。携带压缩 SID 可以显著减少 SRv6 的报头开销,提升传输效率,降低对硬件的要求。当前 G-SRv6 的标准创新工作主要在 IETF 和 CCSA 开展。

在 IETF 的工作中,主要包含以下几个方面。

- G-SRv6 的框架在 draft-cl-spring-generalized-srv6-np^[28]中定义。该草案提出了 G-SRv6 的架构设想与架构需求,并描述了 G-SRv6 支持将 SRv6 SID、压缩 SID、MPLS 甚至 IPv4 隧道信息封装到 SRH 中的方法。整体上, G-SRv6 架构可以包含 3 个方面:支持压缩 SRv6 SID 编程、支持 SR-MPLS SID 编程和支持 IPv4 隧道信息编程。

- G-SRv6 的数据平面封装在 draft-lc-6man-generalized-srh^[29]中定义,该草案定义了 G-SRv6 的数据面封装 generalized SRH, generalized SRH 可以支持封装多种 SID,包括 SRv6 SID、MPLS SID 和 IPv4 隧道信息等内容。
- G-SRv6 用于支持 SRv6 压缩在 draft-cl-spring-generalized-srv6-for-cmpr^[30]中定义。该草案定义了 G-SRv6 用于 SRv6 压缩的解决方案,方案主要定义了 COC (continuation of compression) flavor 用于指示压缩 SID 的出现和操作。此方案通过定义高效的 SID 编码格式和 IPv6 目的地址更新方式,从而在无须改变 SRH 的封装格式的情况下支持 SRv6 压缩。此外, G-SRv6 还支持与 SRv6 SID 灵活混编,因此可以很好地支持存量升级,支持 SRv6 网络平滑地升级到支持压缩的 G-SRv6 网络。

在 CCSA 方面,已经在 TC3 WG2 工作组完成了《基于 SRv6 的报文头压缩技术》的项目立项,目前该项目还在稳步推动中。

5 “IPv6+” 3.0: 感知应用的 IPv6 网络

APN6 (application-aware IPv6 networking, 感知应用的 IPv6 网络)作为“IPv6+” 3.0 的主体,在“IPv6+” 2.0 的基础上进一步实现网络能力与业务需求的无缝结合。利用 IPv6/SRv6 报文自身的可编程空间,将应用信息(应用标识和对网络性能需求)随报文携带进入网络,以 native 的方式使网络感知到应用及其需求,从而为其提供相应 SLA 保障。APN6 标准规范目前主要在 IETF 和 CCSA 同步开展,主要包括如下几个方面。

- draft-li-apn6-problem-statement-usecases^[31]: 梳理了当前网络在应用识别和精细差异化运营等方面面临的问题和挑战,澄清了对 APN6 的需求,并对关键用例进行了描述,



如感知应用的 SLA 保障、感知应用的网络切片、感知应用的确定性时延网络、感知应用的网络测量、感知应用的业务链等。

- **draft-li-apn6-framework^[32]**: 介绍了 APN6 的整体框架和 APN6 中的关键元素, 包括感知业务的应用、应用感知网络边缘封装节点、应用感知隧道映射节点、应用感知中间节点、应用感知尾节点。
- **draft-liu-apn-edge-usecase、draft-zhang-apn-game-acceleration-usecase**: 分别介绍了 APN6 在边缘计算和游戏加速场景下的实际用例。文稿描述了 APN6 具体的应用场景, 在这些场景下 APN6 对提高关键应用的用户的体验和 SLA 保障, 以及 APN6 的商业模型。
- **draft-li-6man-app-aware-ipv6-network**: 介绍了 APN6 中应用信息在 IPv6 网络中的封装。

APN6 Side meeting (边会): 在 IETF105 举办了 APN6 的 Side meeting, 针对 APN6 的需求澄清、框架和信息传递、用例等进行了宣讲和讨论。吸引了来自运营商、厂商、学术界等的广泛关注, 共有 50 余位专家参会。与会专家对 APN6 的价值达成了一定的共识。

6 结束语

目前, “IPv6+”涵盖的技术标准体系规范正在 IETF、ETSI 和 CCSA 等各个标准组织有条不紊地展开。在部分技术方向上, 国内标准已经与国际标准形成了齐头并进的态势, 特别是一些与新应用、新场景结合紧密的新方向, 国内的标准创新已经开始走在业界的前沿。在这种新形势下, “IPv6+”需要以中国标准作为技术创新交流与标准制定的基础平台, 并通过 ETSI 加强与欧洲在网络架构创新方面的合作, 结合中国巨大的网络体量和活跃的网络用户数量, 探索中国创新先行先试, 进而从国内标准创新向国际标准输出的新工作模式。

参考文献:

- [1] DEERING S, HINDEN R. Internet protocol, version 6 (IPv6) specification: IETF RFC8200[S]. 2017.
- [2] FILSFILS C, CAMARILLO P, LEDDY J, et al. SRv6 network programming: draft-ietf-spring-srv6-network-programming-15 (work in progress)[Z]. 2020.
- [3] FILSFILS C, DUKES E, PREVIDI S, et al. IPv6 segment routing header (SRH): IETF RFC8754[S]. 2020.
- [4] PSENAK P, FILSFILS C, BASHANDY A, et al. IS-IS extension to support segment routing over IPv6 dataplane: draft-ietf-lsr-isis-srv6-extensions-08 (work in progress)[Z]. 2020.
- [5] LI Z, HU Z, CHENG D, et al. OSPFv3 extensions for SRv6: draft-ietf-lsr-ospfv3-srv6-extensions-00 (work in progress)[Z]. 2020.
- [6] FILSFILS C, TALAULIKAR K, VOYER D, et al. Segment routing policy architecture: draft-ietf-spring-segment-routing-policy-08 (work in progress)[Z]. 2020.
- [7] DAWRA G, FILSFILS C, RASZUK R, et al. SRv6 BGP based overlay services: draft-ietf-bess-srv6-services-04 (work in progress)[Z]. 2020.
- [8] RAZA K, RAJAMANICKAM J, LIU X, et al. YANG data model for SRv6 base and static: draft-raza-spring-srv6-yang-06 (work in progress)[Z]. 2020.
- [9] DONG J, BRYANT S, LI Z, et al. A framework for enhanced virtual private networks (VPN+) services: draft-ietf-teas-enhanced-vpn-06 (work in progress)[Z]. 2020.
- [10] DONG J, BRYANT S, MIYASAKA T, et al. Introducing resource awareness to SR segments: draft-ietf-spring-resource-aware-segments-00 (work in progress)[Z]. 2020.
- [11] DONG J, BRYANT S, MIYASAKA T, et al. Segment routing for resource guaranteed virtual networks: draft-dong-spring-sr-for-enhanced-vpn-09 (work in progress)[Z]. 2020.
- [12] DONG J, LI Z, XIE C, et al. Carrying virtual transport network (VTN) identifier in IPv6 extension header for enhanced VPN: draft-dong-6man-enhanced-vpn-vtn-id-01 (work in progress)[Z]. 2020.
- [13] XIE C, LI C, DONG J, et al. BGP-LS with multi-topology for segment routing based virtual transport networks: draft-xie-idr-bgpls-sr-vtn-mt-01 (work in progress)[Z]. 2020.
- [14] XIE C, MA C, DONG J, et al. Using IS-IS multi-topology (MT) for segment routing based virtual transport network: draft-xie-lsr-isis-sr-vtn-mt-01 (work in progress)[Z]. 2020.
- [15] ZHU Y, DONG J, HU Z. BGP-LS with Flex-Algo for segment routing based virtual transport networks: draft-zhu-idr-bgpls-sr-vtn-flexalgo-00 (work in progress)[Z]. 2020.
- [16] ZHU Y, DONG J, HU Z. Using Flex-Algo for segment routing based VTN: draft-zhu-lsr-isis-sr-vtn-flexalgo-00 (work in

- progress)[Z]. 2020.
- [17] DONG J, HU Z, LI Z, et al. IGP extensions for segment routing based enhanced VPN: draft-dong-lsr-sr-enhanced-vpn-04 (work in progress) [Z]. 2020.
- [18] DONG J, HU Z, LI Z, et al. BGP-LS extensions for segment routing based enhanced VPN: draft-dong-idr-bgpls-sr-enhanced-vpn-02 (work in progress)[Z]. 2020.
- [19] BO W, DHODY D, HAN L, et al. A Yang data model for transport slice: draft-wd-teas-transport-slice-yang-02 (work in progress)[Z]. 2020.
- [20] SONG H, QIN F, CHEN H, et al. In-situ flow information telemetry: draft-song-opsawg-ifit-framework-10 (work in progress)[Z]. 2019.
- [21] BROCKNERS F, BHANDARI S, PIGNATARO C, et al. Data fields for in-situ OAM: draft-ietf-ippm-ioam-data-08 (work in progress)[Z]. 2019.
- [22] FIOCCOLA G, ZHOU T, COCIGLIO M, et al. IPv6 application of the alternate marking method: draft-ietf-6man-ipv6-alt-mark-01 (work in progress)[Z]. 2020.
- [23] QIN F, YUAN H, ZHOU T, et al. BGP SR policy extensions to enable IFIT: draft-qin-idr-sr-policy-ifit-00 (work in progress)[Z]. 2020.
- [24] ZHOU T, GUICHARD J, BROCKNERS F, et al. A YANG data model for in-situ OAM: draft-zhou-ippm-ioam-yang-06 (work in progress)[Z]. 2020.
- [25] ZHOU T, ZHENG G, LUCENTE P, et al. UDP-based transport for configured subscriptions: draft-unate-netconf-udp-notif-00 (work in progress) [Z]. 2020.
- [26] CLAD F, XU X, FILSFILS C, et al. Service programming with segment routing: draft-ietf-spring-sr-service-programming-02 (work in progress)[Z]. 2020.
- [27] LI C, SAWAF A, HU R, et al. A framework for constructing service function chaining systems based on segment routing: draft-li-spring-sr-sfc-control-plane-framework-02 (work in progress)[Z]. 2020.
- [28] CHENG W, LI Z, LI C, et al. Generalized SRv6 network programming: draft-cl-spring-generalized-srv6-np-01 (work in progress)[Z]. 2020.
- [29] LI Z, LI C, CHENG W, et al. Generalized segment routing header: draft-lc-6man-generalized-srh-00 (work in progress)[Z]. 2020.
- [30] CHENG W, LI Z, LI C, et al. Generalized SRv6 network programming for SRv6 compression: draft-cl-spring-generalized-srv6-for-cmpr-00 (work in progress)[Z]. 2020.
- [31] LI Z, PENG S, VOYER D, et al. Problem statement and use cases of application-aware IPv6 networking (APN6): draft-li-apn6-problem-statement-usecases (work in progress)[Z]. 2020.
- [32] LI Z, PENG S, VOYER D, et al. Application-aware IPv6 networking (APN6) framework: draft-li-apn6-framework (work in progress)[Z]. 2019.

[作者简介]



李振斌 (1975—), 男, 华为技术有限公司首席协议专家, IETF 互联网架构委员会 (IAB) 委员, 主要负责 IP 协议研究和标准推动工作。当前研究的重点包括 SRv6、5G 承载、Telemetry、网络智能等, 主导和参与的 IETF RFC/草案累计 100 余篇, 申请专利 110 多项。2019 年当选 IETF 互联网架构委员会 (IAB) 委员, 承担 2019—2021 年的互联网架构管理工作。



赵锋 (1973—), 男, 中国信息通信研究院技术与标准研究所教授级高级工程师、互联网中心副主任, 长期从事国家和通信行业 IP 网络技术研究、设备/应用标准和制定以及 IP 网络/设备测试方法的研究工作, 目前的主要研究方向为下一代互联网及未来网络技术的研究、测试和标准化。