

# 基于SDN的SRv6技术在骨干网中的应用研究

## Research on Application of SRv6 Technology Based on SDN in Backbone Network

吴亚彬,白露莹,李思琦,陈立(中讯邮电咨询设计院有限公司,北京100048)

Wu Yabin, Bai Luying, Li Siqi, Chen Li (China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd., Beijing 100048, China)

### 摘要:

随着5G和云网融合的发展规模不断扩大,对运营商骨干网的要求也越来越高。以SRv6为代表的IPv6技术是构建下一代智能IP骨干网的关键技术。通过分析以SRv6为主的IPv6+技术体系,结合中国联通骨干网SDN控制系统架构,研究了“SDN+SRv6”的应用场景和部署策略,介绍了现网试点验证的实际情况,对SRv6在未来网络中的应用进行了展望。

### 关键词:

SRv6; IPv6; 骨干网

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2023.11.013

文章编号: 1007-3043(2023)11-0067-05

中图分类号: TN915

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

With the continuous expansion of the development scale of 5G and cloud network integration, the requirements for the backbone network of communication operators are also getting higher and higher. IPv6 technology represented by SRv6 is the key technology to build the next generation intelligent IP backbone network. By analyzing the IPv6+ technology system dominated by SRv6 and combining with the backbone network's SDN control system architecture of China Unicom, it researches the application scenarios and deployment strategies of "SDN+SRv6", introduces the actual situation of current network verification, and prospects the application of SRv6 in the future network.

### Keywords:

SRv6; IPv6; Backbone network

**引用格式:** 吴亚彬,白露莹,李思琦,等. 基于SDN的SRv6技术在骨干网中的应用研究[J]. 邮电设计技术, 2023(11): 67-71.

## 1 概述

随着“互联网+”的提出,互联网所衍生出来的新业态不断增多,移动互联网、物联网等新业态下的各个终端之间的联系也随着互联网技术、大数据、云计算以及人工智能技术的进步而更加紧密。然而,现有的互联网是基于IP协议构建的,IPv4面临着地址枯竭、网络安全能力不足等问题,难以支撑互联网的进一步发展和演进。

IP地址是互联网的基础资源,互联网中每个设备

都需分配1个独立的IP地址。然而,IPv4地址共32 bit,仅43亿个,地址总数的不足制约了物联网等新兴行业发展,2019年11月,RIPE NCC通告IPv4地址耗尽。同时,IPv4地址协议在使用过程中也暴露出一些问题。首先,IPv4地址层次化规划能力不足,导致路由表项庞大,并且IPv4无法满足未来海量终端互联、设备自动配置的需求。其次,IPv4网络安全能力不足,未来网络涉及到人和物以及物和物的连接,需要更强的网络安全保障,IPv4不能满足未来网络对安全性的诉求,IPv4在制定时并未针对安全性做设计,不支持端到端安全,NAT技术会导致无法溯源和管理。

因此,网络向IPv6的全面转型迫在眉睫。IPv6地

收稿日期: 2023-09-05

址共 128 bit,具备海量的地址空间,理论上可以满足“给地球上每一粒沙子都分配一个 IPv6 地址”,有利于后续业务拓展。相比 IPv4 地址,IPv6 的地址分配更加规范,各大洲、各国间区分明显,采用了层次化地址结构,有利于路由快速查找、路由聚合等。IPv6 简化了报文头,提高转发效率,通过扩展包头技术支持新技术应用,有利于路由器等网络设备的转发处理。同时,IPv6 支持即插即用,简化了终端配置,方便用户操作。相较于 IPv4,IPv6 具有更高的安全性。在 IPv6 网络中,可以对网络层的数据进行加密并对 IP 报文进行校验,IPsec、真实源地址认证等保证了端到端安全,极大增强了网络安全。IPv6 的上述优势使其在云计算、大数据、5G、物联网等场景下有自己的独特价值和核心优势。

## 2 SRv6 简介

随着 IPv6 的发展规模不断扩大,应用场景不断丰富,形成了以 SRv6、网络切片、随流检测、网络分析、自动调优等网络智能化内容为代表的 IPv6+ 创新体系。IPv6+ 是面向 5G 和云时代的智能 IP 网络,通过“IPv6+ AI+ 协议创新”,满足 5G 承载和云网融合的灵活组网、业务快速开通、按需服务、差异化保障等需求,简化网络运维、优化用户体验,SRv6 在此之中发挥了重要作用。

根据 RFC8402.1,SR 可以直接应用于 MPLS 架构,不会改变转发平面 SR-MPLS。一个 segment 被编码为一个 MPLS 标签,一个 SR 策略被实例化为一个标签栈,处理的 segment(主段)位于栈顶,一个 segment 完成后,从堆栈中弹出相应的标签。

相应地,SR 可以应用在 IPv6 架构中,新类型的路由头被称为 SR 头(SRH)。指令与 segment 关联,编码为 IPv6 地址,SRv6 segment 也称为 SRv6,SR 策略被实例化为路由头中 SRv6 SID 的有序列表。带 SRH 的 IPv6 报文格式如表 1 所示。

对 IPv6 Header 格式说明如下。

- a) version: IPv6 Internet 协议版本号,为 6。
- b) Next Header: 标识紧接 IPv6 报头之后的报头类型。TyA=43 表示路由头。
- c) Routing TyA: 路由头变量。TyA=4 表示该 Routing 头为 SRH 头。
- d) Segments Left: 剩余的路由 SID 个数,即在到达最终目的地之前,仍然需要访问的显式列出的中间节

表 1 带 SRH 的 IPv6 报文格式

Version	Traffic Class	Flow Label	
Payload Length		Next Header=43	
Source Address			
Destination Address			
Next Header	Hdr Ext Len	Routing TyA=4	
Last Entry	Flags	Tag	
Segment List[0] (128 bits IPv6 address)			
Segment List[1] (128 bits IPv6 address)			
Segment List[2] (128 bits IPv6 address)			
Optional TLV objects (variable)			
Payload			

点数。

e) Last Entry: 段列表最后一个段在段列表中的索引(索引从零开始)。

f) Segment List[n]: 128 bit 的 IPv6 地址,表示 Segment List 中的第 n 个 SID。Segment 列表从路径的最后一个 SID 开始编码,例如,Segment List[0] 标识路径的最后一个 SID。

g) Optional TLV objects: 可以用作 Segment List 中所有 SID 的全局参数,例如 NSH 元数据、HMAC TLV、Padding TLV 等。

## 3 SRv6 与 SDN 结合优势

目前,SDN 在国内运营商骨干网已经有成熟的应用,基于 SDN 控制系统的强大能力,可实现对整个网络的统一控制,集中管理。在面向 IPv6+ 实现 IP 网络升级撰写的新形势下,SRv6 与 SDN 紧密结合,基于全网视角统一调度网络资源、实现业务快速发放,提供网络可编程能力,打造极简、智能、开放的 IP 网络。

### 3.1 网络简化

IP 网络诞生之初是为了提供连接,但随着网络上业务的繁荣发展,仅依靠基本的 IP 协议已经无法满足业务需求。面向未来智能云网的发展需要和 5G 业务挑战,IP 承载网需要进一步简化,降低复杂度,提升运维效率。依托 SRv6 技术的应用,可以取消原有的 LDP 等多种协议,助力网络简化。同时,相较于传统的 MPLS 技术,SRv6 使网络的跨域部署更加简单。基于 SRv6 的 native IPv6 特点,在跨域应用中,只需要将一个域的 IPv6 路由通过 BGP4+ 引入另一个域内,即可进行跨域业务部署,大大降低了端到端跨域协同部署的复杂性。

### 3.2 网络可编程

基于IPv6的SRv6技术,提供了4个层面的网络可编程能力,实现应用与网络的深度互动。SRv6技术通过多层次的网络可编程,实现网络与应用的互动,使能业务驱动的可编程网络。

IPv6可灵活定义的扩展头让IP网络具备无限的发展潜力,用户可以根据业务的发展诉求进行扩展头的灵活定义。

SR扩展头中包含一个SRH List,它是由一组SRv6 SID组成的。在SRv6网络中,Segment SID就是IPv6地址,所以一个确定的SRH List就代表了一个具体的业务路径,这个列表就是用户可以灵活编排的业务路径。业务路径可以是严格显示路径,即用户将业务的每一跳都规划出来,从而严格指导报文转发过程需要经过的网络节点。业务路径也可以是松散路径,此时仅需指定业务报文在网络转发过程中的关键节点,对于非指定的网络节点,则采用最优路径转发流程进行报文的转发。通过SRH List,实现了业务路径的灵活编排。

在SRH List中,每个Segment SID也提供了可编程的能力。由于每个Segment SID都是一个IPv6地址,所以它的长度是128 bit。在SRv6网络中,将Segment SID的128 bit划分成3个部分,分别为Locator、Function以及Argument。其中,Locator表示位置信息的可达性,提供IPv6的路由能力,报文通过该字段实现寻址转发。Function字段则用于定义节点本地的功能,用于标识设备的任何功能,例如标识一个节点/链路/VPN/VAS等。Argument字段是一个可选字段,用于对Function进行补充,标识一些特殊的SID类型,这个字段使用相对较少。这3个部分的长度可以灵活分配,只需要保证这3个部分的总长度是128 bit即可。SRv6通过Segment SID的灵活分配,实现业务可编程。

SRv6扩展头还提供了一个Optional TLV字段,可携带前面提到的编程能力所不能携带的特殊信息,例如APP ID、UserID、OAM信息等,让网络可以感知具体用户或应用等,根据用户或应用制定网络策略,实现网络的应用可编程。

### 3.3 业务快速发放,超高可靠保障

传统网络采用分段式组网和分而治之的管理模式。分段网络中采用的承载技术是割裂的,不同的网络分段需要不同的部门进行管理和维护,跨域业务网络的打通通常需要涉及到多个部门间的协同,业务开

通缓慢。而SRv6实现了跨域网络的端到端协同,只需要在业务网络两端使能SRv6,就能实现业务网络的自动化跨域无缝连接,而中间节点不感知新业务,更无需做任何变化。结合SDN控制系统,实现配置自动下发,为业务开发提供标准的北向API接口,网络能力统一开放,大大缩短了业务部署时间。

SRv6利用SRH中Segment List直接指导转发的优势,实现与拓扑无关的统一的TI-LFA保护机制,做到100%保护能力,并将保护倒换时间降低到50 ms内。通过部署TI-LFA,SRv6为网络中的设备提前计算出备用路径,当被保护设备或链路故障后,切换到备份路径,备份路径是SID List,即为报文压入备份路径的SID List,引导流量走备份路径。这种保护机制可以在本地实现路径的快速切换,从而实现IGP域内任意拓扑、任意故障的50 ms本地保护。

## 4 骨干网应用场景研究

随着云业务的迅速发展,在公司互联网化转型的思路下,中国联通率先实施运营商IP骨干网SDN改造的网络转型行动,通过研发-网络部署-创新业务提供-系统迭代开发等全过程应用创新,构筑了具备SDN/NFV能力的全新IP骨干网。同时,中国联通一直致力于IP网络的差异化和商用化创新,随着业务和应用IPv6化趋势的到来,中国联通积极汲取业界最新的网络技术,通过中国联通自研骨干网SDN控制系统,结合SRv6技术进行改造升级,采取“局部试点-逐步扩展-全网应用”的分步方案,实现骨干网层面试点应用。基于SRv6的骨干网SDN控制系统架构设计如图1所示。

SDN控制系统新增SRv6相关功能支持,提供标准北向接口,实现网络能力的开放调用。和以往SR-TE

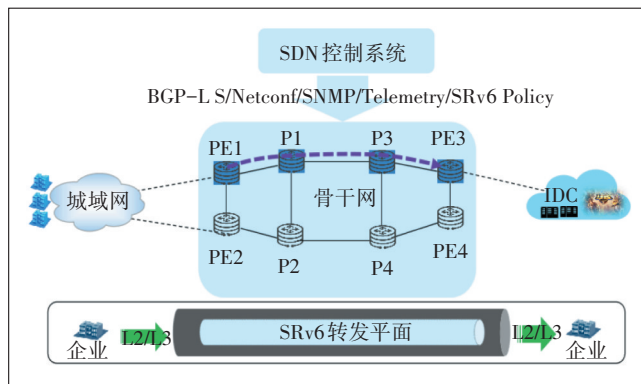


图1 基于SRv6的骨干网SDN控制系统架构设计



的路径只有1个层级不同,SRv6 Policy的路径具有2个层级:即1个SRv6 Policy的模型中包含多个candidate path,每个candidate path又包含多个Segment List。其中不同candidate path具有不同的优先级,流量会优先选择优先级高的路径;不同的Segment List具有不同的权重,流量会按照不同路径的权重按比例分配,这样在分配选择、路径选择时可以针对不同情况选择最佳的路径。比如针对主备路径的场景,可以选择2个不同优先级的candidate path作为主备,每个candidate path中包含1个Segment List,这种和SR-TE的策略较为相似;又比如大带宽的场景,若1条路径上的设备带宽值无法满足客户需求,可以选择1个candidate path,1个candidate path中包含多个Segment List,并分配不同的权重,这样客户流量就会按照比例通过多条不一样的路径进行传递。灵活运用candidate path和Segment List也可以生成更为复杂的路径策略。

a) 动态时延拓扑收集。BGP-LS实时收集拓扑,包含时延、带宽等信息。

b) SRv6隧道路径计算和下发。统一编排层给控制器下发SRv6 Policy,指定首尾设备,携带时延、带宽等多维约束,并根据不同类型指定不同color(比如上文提到的全网主备路径策略可以使用color 1,大带宽的策略可以使用color 2)。控制器计算最优路径并下发到设备。

c) 业务染色引流。编排层给控制器下发L3VPN等业务,并根据需求,通过引入指定的color,来绑定SRv6 Policy,实现业务染色引流。

d) SRv6 Policy状态上报。设备通过BGP-LS实时上报隧道状态。

e) 流量采集。控制器实时采集网络状态和流速,实时采集SRv6 Policy状态和流速。

f) 隧道调优。控制器实时感知网络状态,实现故障收敛调优,感知SLA劣化,实现时延调优,感知流量拥塞,实现拥塞调优。

g) 隧道运维。统一编排层给控制器下发SRv6 Policy,通过Ping&trace等实现隧道连通性检测。

## 5 现网试点验证

现网实际情况较为复杂,现网设备厂商对SRv6技术的支持情况不一致。针对软件支持情况不一致,需逐步完成软件的升级工作,且部分协议未标准化,各厂家实现时存在差异,根据总体情况考虑,采取“局部

试点-逐步扩展-全网应用”的分步方案推进现网SRv6技术试点应用。

现网试点验证选点依据:业务量少,不影响现网业务;距离较远,能够体现出SRv6的特性;方案所涉及设备尽可能支持SRv6,少升级或不升级。

根据选点依据,选择了A市、B市作为本地试点方案的2个城市,以打环方式模拟CE接入。现网试点组网拓扑如图2所示。

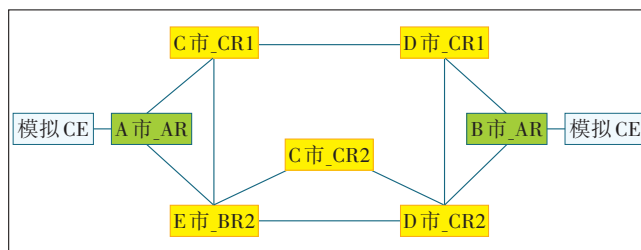


图2 现网试点组网拓扑

### 5.1 预配置步骤

- 配置全局SRv6,如图3所示。
- IS-IS配置全局SRv6,如图4所示。
- BGP配置,如图5所示。
- 接口配置使用IS-IS IPv6,如图6所示。

### 5.2 SDN控制系统业务发放

a) 通过SDN控制系统,调用创建业务接口,指定SRv6类型业务并设置其他参数,可以创建SRv6业务

```
segment-routing ipv6
 path-mtu 9600 //设置SRv6 TE Policy和SRv6 BE的全局Path MTU值
 encapsulation source-address 192.168::34 //配置SRv6的报文源地址
 locator SRv6be ipv6-prefix A:A:1:1:A000:0: 64 static 32 //配置SID的节点路由段。配置的Locator指定了SID静态段长度,动态SID分配会在去除静态段的SID范围内申请,确保SID不会冲突。
 opcode::2 end-op //配置静态end-op路由,用于SRv6的oam检测(ping/tracert ipv6-sid对端end-op)
 #
```

图3 配置全局SRv6

```
isis 200
 ipv6 enable topology ipv6 //使用isis ipv6能力
 segment-routing ipv6 locator SRv6be //使能SRv6能力并发布Locator网段
 ipv6 avoid-microloop segment-routing //回切防微环
 ipv6 avoid-microloop segment-routing rib-update-delay 10000 //配置SRv6 IS-IS路由延迟下发时间
 ipv6 frr
 loop-free-alternate level-2 //使能IS-IS Auto FRR,利用LFA算法计算无环备份路由
 ti-lfa level-2 //使能SRv6 BE TI-LFA功能
 #
```

图4 IS-IS配置全局SRv6

```
bgp
peer 192:168::35 as-number 9929
peer 192:168::35 connect-interface LoopBack0
ipv4-family vpnv4
policy vpn-target
peer 192:168::35 enable
peer 192:168::35 prefix-sid //使能与指定IPv6对等体之间交换IPv4
Prefix SID信息
#
```

图5 BGP配置

```
interface LoopBack0
ipv6 enable
ipv6 address 192:168::34/128
isis ipv6 enable 200
```

图6 接口配置IS-IS IPv6

节点,返回结果表明此节点已创建成功,配置已自动下发。

b) 调用SDN控制系统增加接入点接口,设置相关参数,可以在已创建SRv6业务中增加接入站点,返回结果表明此节点已创建成功并下发配置。

c) 通过使用SDN控制系统的ping测工具,可以验证已下发SRv6业务中2个接入点之间的连通性。指定ping测地址,结果返回2个业务接入点之间可ping通、无丢包,业务连通性无问题。

d) 使用SDN控制系统的查看VPN路由功能,可以查看业务转发详细路径,指定已下发的SRv6业务,查看VPN路由返回结果,可以看到路径中包含了IPv6地址,验证转发路径无问题。

## 6 总结

目前,国内、外运营商都在大力发展SRv6相关技术的部署应用,持续推动IPv6的全面建设。通过SDN与SRv6的有机结合,将进一步实现网络的提质增效。

a) 提供领先的网络技术服务,加快推动SRv6等新技术部署落地,完善新技术端到端支持。

b) 提供高可靠SLA保障服务,支持组网专线业务端到端快速开通、差异化服务能力。

c) 提供定制化、低时延的网络质量保障服务,基于SRv6构建最短时延平面,满足用户端到端智能选路需求。

d) 提供精细化的端到端业务质量可视,通过引入iFIT,基于真实业务流统计和展示端到端丢包/时延/抖动,实现网络可视可管。

e) 提供基于应用的精细化网络感知服务,基于

APN6技术,通过网络感知应用需求信息,实现精细化SLA保障。

f) 提供一体化终端服务,支持v4-v6场景无感接入,实现业务快速弹性扩容和即插即用,结合NAT66、SFC等技术部署,为用户提供安全等增值服务。

相信随着以SRv6为代表的IPv6+技术在未来网络中的广泛应用,会极大地助力简单化、自动化、智能化的下一代骨干网络的构建,从而进一步发掘和提升网络的巨大价值。

## 参考文献:

- [1] 张磊,耿子炜,王奇文. 基于SDN的SRv6 TE在新型城域网中的探索[J]. 网络安全和信息化,2021(7):74-77.
- [2] 王树平,张勇,高荣昊,等. 基于SRv6技术的联通智能城域网平面智能方法选择研究[J]. 现代信息科技,2022,6(10):105-107,111.
- [3] 邱为好. 基于SDN的IPv6段路由实现技术[D]. 长沙:国防科技大学,2018.
- [4] 吴伟,张文强,杨广铭,等. 5G承载网的“SRv6+EVPN”技术研究与规模部署[J]. 电信科学,2021,36(8):43-52.
- [5] 王巍,王鹏,赵晓宇,等. 基于SRv6的云网融合承载方案[J]. 电信科学,2021,37(8):111-121.
- [6] 马培勇,杨广铭,毛东峰,等. 基于SRv6+MPLS的双转发平面智能选路实现[J]. 光通信研究,2022(1):67-70.
- [7] 何林,况鹏,王士诚,等. 基于“IPv6+”的应用感知网络(APN6)[J]. 电信科学,2020,36(8):36-42.
- [8] 李振斌,赵锋. “IPv6+”技术标准体系[J]. 电信科学,2020,36(8):11-21.
- [9] 张帅,曹畅,唐雄燕. 基于SRv6的算力网络技术体系研究[J]. 中兴通讯技术,2022,28(1):11-15.
- [10] 傅光轩,高鸿峰,卢朝晖. 下一代互联网核心通信协议:IPv6原理及应用[M]. 贵阳:贵州教育出版社,2004.
- [11] 杨蓉. 全球IPv4地址耗尽 中国IPv6新体系正在形成[J]. 计算机与网络,2019,45(23):12.
- [12] 田辉,关旭迎,邹贺铨. IPv6+网络创新体系发展布局[J]. 中兴通讯技术,2022,28(1):3-7.
- [13] 周倩,邹婷,蒋胜. IPv6发展及演进技术[J]. 电信网技术,2010(7):27-29.
- [14] 伍转华. IPv6最新发展现状综述[J]. 电脑知识与技术,2012,8(36):8646-8649.

## 作者简介:

吴亚彬,助理工程师,硕士,主要从事IP网络的设计和技术研究工作;白露莹,高级工程师,硕士,主要从事IP网络的设计和技术研究工作;李思琦,工程师,硕士,主要从事IP网络的设计和技术研究工作;陈立,助理工程师,硕士,主要从事IP网络的设计和技术研究工作。