

5G 承载网络新技术

Research and Analysis of SR
Technology——A New 5G
Bearer Network Technology

——SR 技术研究与分析

段宏¹, 刘晓村², 焦明涛¹ (1. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司, 河南 郑州 450007; 2. 中国联通湖北分公司, 湖北 武汉 430048)

Duan Hong¹, Liu Xiaocun², Jiao Mingtao¹ (1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China; 2. China Unicom Hubei Branch, Wuhan 430048, China)

摘要:

5G 对承载网络的带宽、时延、切片、可靠性等方面提出了更高的要求。SR 采用应用驱动网络的架构, 将应用需求自动、无缝地映射到网络基础设施之上, 进而实现端到端的配置及调度。介绍了 SR 的背景、理念和技术原理, 阐述了 SR 技术在 5G 承载网络中的应用。

关键词:

SR; 全局 Segment; 本地 Segment; SR-BE; SR-TE

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2020.07.012

文章编号: 1007-3043(2020)07-0064-07

中图分类号: TN913

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

5G puts forward higher demand for bandwidth, delay, slicing and reliability of bearer network. SR technology uses an application driven network architecture to map application requirements onto the network infrastructure automatically and seamlessly, thus realizing end-to-end configuration and scheduling. The background, concept and technical principle of SR technology are introduced, and the application of SR technology in 5G bearer network is expounded. Finally, the summary and prospect are given.

Keywords:

SR; Global segment; Local segment; SR-BE; SR-TE

引用格式: 段宏, 刘晓村, 焦明涛. 5G 承载网络新技术——SR 技术研究与分析[J]. 邮电设计技术, 2020(7): 64-70.

0 引言

随着中国工业和信息化部正式宣布向中国电信、中国移动、中国联通、中国广电发放 5G 商用牌照, 中国正式进入 5G 时代。中国也成为继韩国、美国、瑞士、英国后, 第 5 个正式商用 5G 的国家。

1G、2G、3G 和 4G 主要满足于“人与人”之间的通信需求, 5G 除满足于“人与人”之间的通信需求外, 还极大程度满足于“人与物”“物与物”之间的通信需求。5G 的优势主要体现在 eMBB、uRLLC、mMTC 三大应用

场景。这些应用场景对 5G 承载网络大带宽、低时延、高可靠性、海量连接、网络切片等方面提出了更高的承载要求。因此, SR (Segment Routing)、FlexE (Flexible Ethernet) 和 EVPN (Ethernet Virtual Private Network) 等 5G 承载网络新技术应运而生并逐渐为业界所广泛接受。本文主要对 SR 技术进行详细的研究与分析。

1 SR 技术简介

1.1 SR 技术产生的背景

在传统 MPLS 承载网络中, 通常采用 OSPF/ISIS 作为 IGP 协议, 采用 MP-BGP 传递 VPN 信息, 并使用 LDP/RSVP-TE 分配标签, 实现流量工程及带宽控制管

收稿日期: 2020-05-20

理。经过长期应用和实践发现,若要进一步提升网络性能,需要解决以下问题。

a) 协议过多。除 IGP、BGP 外,还需运行 LDP/RSVP-TE 协议,这很大程度上提升了协议之间交互的复杂度,给网络部署和运维带来很大问题。

b) 网络效率低。沿标签交换路径,需逐跳解析、交换和传递标签。

c) RSVP-TE 是一种“永远在用”的方案,其带宽需要在每一跳进行预留,且每一跳的状态均需要保持更新,占用大量网络资源。同时,它对等价多路径(EC-MP——Equal Cost Multi Path)的支持较差。

d) 无环路备份/远端无环路备份(LFA/RLFA)不能 100% 形成 FRR 保护,备份/修复路径不一定是收敛后的路径。

为了解决上述问题,并结合 5G 等新技术对承载网络的需求,逐步开始启用 SR 技术。

1.2 SR 技术的理念

SR 英文全称为 Segment Routing,直译为“段”“路由”。SR 的概念和技术体系由美国 Cisco 公司于 2013 年首次提出,其发明者和重要推动者是 Cisco 院士 Clarence Filsfil。

SR 技术被称为“下一代 MPLS”技术,它采用一种全新的网络理念,即应用驱动网络的架构。在这个架构下,网络是计算平台,Segment 是指令,两者有机配合将应用需求自动、无缝地映射到网络基础设施之上,进而实现端到端的配置及调度。SR 的源路由和无状态特性使其成为 SDN/NFV 在 IP 网络下一步发展的关键技术,已逐渐成为 SDN 的主流网络架构标准,它在控制颗粒度、运营复杂度中找到了一个新的平衡,结合了“集中控制的大局观与分布智能的精细化”两方面的优势,在现代大规模数据中心网络、广域骨干网络和本地承载网络的设计、控制和操作的演进过程中

必将发挥重要作用。SR 被誉为是继 MPLS 之后最重要的创新之一。

2 SR 技术原理

SR 是基于源路由机制的一种技术架构,通过在源节点的数据包报头中插入带顺序的 Segment 列表,来指示接收到这些数据包的节点如何处理和转发这些数据包,进而实现对路径的控制。

SR 不需要 LDP 和 RSVP-TE 协议,仅需对 IGP、BGP 协议简单扩展,就可以实现 TE、FRR、MPLS VPN 等功能,大大简化了网络协议和部署,并且可以和现有 MPLS 技术无缝互操作,支持由 MPLS 网络向 SR 的平滑演进和升级。

2.1 Segment 介绍

Segment 中文直译为“段”,在 SR 技术中其本质含义为“指令”,即节点针对所接收到的数据包要执行的指令,指令的例子包括依据最短路径转发数据包到目的地、通过指定接口转发数据包、将数据包发送到指定应用/服务实例等。

Segment 可以划分为全局 Segment 和本地 Segment。

2.1.1 全局 Segment

全局 Segment 是指 SR 域中所有节点均支持与全局 Segment 相关联的指令,并且每个节点在其转发表中均安装全局 Segment 的指令。常见的全局 Segment 分类如图 1 所示,其 Segment 指令含义如表 1 所示。

以 IGP Prefix Segment 为例,其转发示意图如图 2 所示。节点 1~4、11、12 对应的前缀分别为 1.1.1.1/32~1.1.1.4/32、1.1.1.11/32、1.1.1.12/32,其中前缀 1.1.1.12/32 对应的 Segment 为 16012。

若在源节点 11 给 Payload(净荷)压入 Segment {16012},由于每条链路的 Cost 值均相同,因此源节点

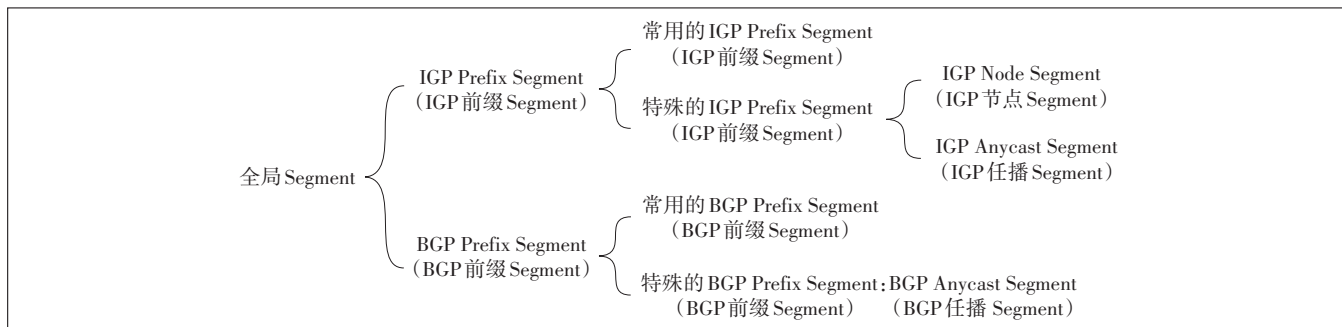


图 1 常见的全局 Segment 分类示意图

表 1 常见的全局 Segment 的指令含义

序号	Segment 名称	指令含义
1	IGP Prefix Segment	引导流量沿着支持 ECMP 的最短路径去往与该 Segment 相关联的前缀
2	IGP Node Segment	引导流量沿着支持 ECMP 的最短路径去往与该 Segment 相关联的节点
3	IGP Anycast Segment	引导流量沿着支持 ECMP 的最短路径去往 Anycast 集合中最近的节点
4	BGP Prefix Segment	引导流量沿着支持 ECMP 的 BGP 多路径去往与该 Segment 相关联的前缀
5	BGP Anycast Segment	引导流量沿着支持 ECMP 的 BGP 多路径去往 Anycast 集合中最近的节点

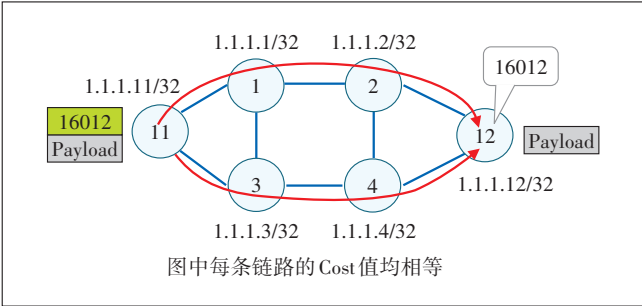


图 2 IGP Prefix Segment 转发示意图

11 到目的节点 12 的最短等价值路径有 2 条,所以 Payload 将沿着图中 2 条红线所示路径转发至节点 12。

2.1.2 本地 Segment

本地 Segment 是指只有生成本地 Segment 的节点支持与该本地 Segment 相关联的指令,并且只有生成本地 Segment 的节点在其转发表中安装相关联的指令。常见的本地 Segment 分类如图 3 所示,其 Segment 指令含义如表 2 所示。

以 IGP Adjacency Segment 为例,其转发示意图如图 4 所示。节点 1~4、11、12 及对应的前缀配置同图 3。节点 1 至节点 3、节点 11 的单方向 Segment 分别为

表 2 常见的本地 Segment 的指令含义

序号	Segment 名称	指令含义
1	IGP Adjacency Segment	引导流量由与该 Segment 相关联的邻接链路转发出去
2	IGP L2 Adjacency Segment	引导流量由与该 Segment 相关联的邻接链路内的二层成员转发出去
3	IGP Group Adjacency Segment	引导流量由与该 Segment 相关联的邻接链路组(组内负载均衡)转发出去
4	BGP Peer Segment	引导流量经由去往对等体会话的 ECMP 多路径,转发到此特定的 BGP 对等体会话
5	BGP Peer Node Segment	引导流量经由去往对等体节点的 ECMP 多路径,转发到此特定的 BGP 对等体节点
6	BGP Peer Adjacency Segment	引导流量经由连接特定对等体节点的特定接口,转发到此对等体节点
7	BGP Peer Set Segment	引导流量经由 ECMP BGP 多路径,转发到属于特定对等体集合的 BGP 对等体节点

30103、30111;节点 11 至节点 3 的单方向 Segment 分别为 31103。

由于每条链路的 Cost 值均相同,由源节点 1 到目的节点 3 的流量,一般情况下将沿节点 1 至节点 3 的最短直达路由转发。若在源节点 1 给 Payload(净荷)压入 Segment{30111, 31103},则表示将 Payload 沿着与该 Segment 相关联的邻接链路(即 30111, 31103)转发,详见图 4 中红线所示路径,以达到人工控制转发路径的目的。

2.2 SR 功能实现

Segment 是 SR 的构建模块,这些构建模块可以被组合起来形成 Segment 列表,生成一条转发路径。SR 将代表转发路径的 Segment 列表编码在数据包头部,随数据包传输。接收节点收到数据包后,对 Segment 列表进行解析,如果 Segment 列表顶部的 Segment 与本节点不匹配,则使用 ECMP 方式将数据包转发到下一节点;如果与本节点匹配,则弹出该标识,然后进行下

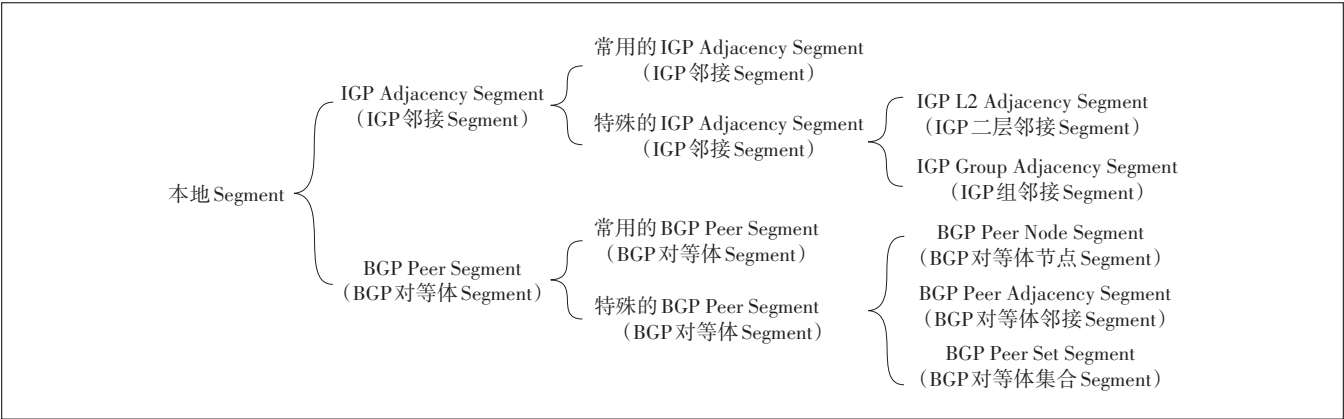


图 3 常见的本地 Segment 分类示意图

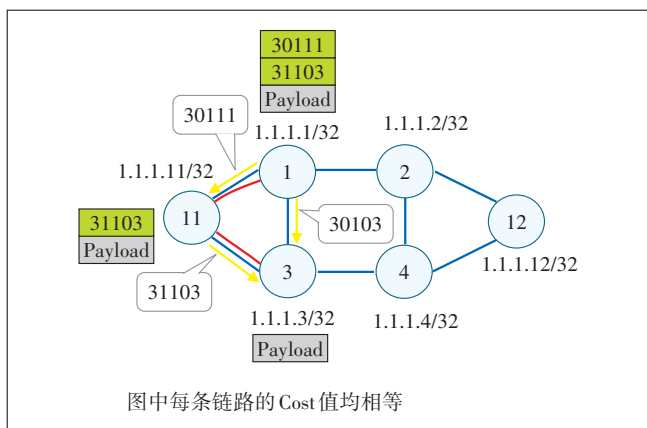


图4 IGP Adjacency Segment转发示意图

一步处理。如此往复,最终引导数据在网络中实现端到端的传输。通过SR功能,实现本地网中路由器A和广域网中路由器B进行通信的示意图如图5所示。

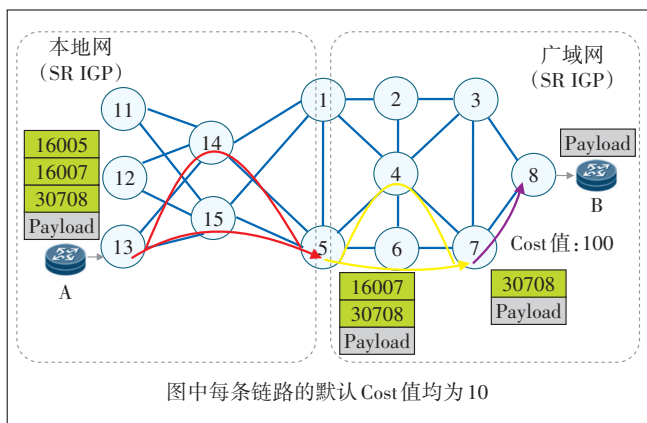


图5 典型的SR功能实现示意图

2.2.1 期望的转发路径

- 源节点13至本地网与广域网之间的边界节点5。
- 节点5至节点7。
- 节点7沿着低时延、高Cost值链路至目的节点8。

2.2.2 SR实现方法

- 在源节点13给Payload(净荷)压入Segment列表{16005, 16007, 30708}。

- 16005与16007的Segment类型为IGP Prefix Segment(全局Segment); 30708的Segment类型为IGP Adjacency Segment(本地Segment)。

2.2.3 实际转发路径及说明

- 16005引导流量沿着“节点13→节点14→节点5”、“节点13→节点15→节点5”路径(图5中红色路

径),由节点13转发至节点5。这2条路径负载均衡且互为保护。

- 16007(图5中黄色路径)转发原理与16005相同,不再赘述。

- 30708引导流量沿着低时延、高Cost值的路径(图5中紫色路径)至节点8。

通常,Segment列表只需由3个或4个Segment组成,即可实现数据端到端的转发。

3 SR技术在5G承载网络的应用

5G时代,承载网络目前的主流技术仍然为MPLS。针对MPLS控制平面,对现有IGP协议、BGP协议简单扩展,增加SR信息,即可实现SR控制功能;针对MPLS数据平面,无需做任何改变就可以实现SR转发功能。因此,可以在MPLS网络中无缝部署SR。同时,SR的源路由特性,使得SR技术可以与SDN技术紧密结合,从而更好地进行集中式控制,实现端到端的数据转发。典型的5G承载网络架构如图6所示。

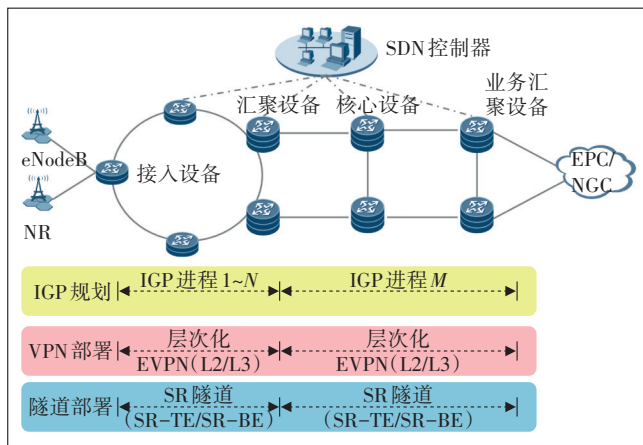


图6 典型的5G承载网络架构示意图

3.1 SR控制平面

对MPLS控制平面的IGP、BGP协议进行扩展,可实现SR的控制功能。

3.1.1 SR IGP控制平面

SR IGP控制平面,分为ISIS SR和OSPF SR 2类。

ISIS是一个高度可扩展的协议,不使用固定格式通告,而是使用类型/长度/值(TLV)三元组来编码其通告中的信息。通过定义新TLV或扩展现有TLV,将IGP Prefix Segment和IGP Adjacency Segment等附加到各种前缀和邻接通告TLV上,可以实现ISIS SR控制平面功能。

OSPF 通过引入不透明链路状态通告 (Opaque LSA) 的方式对现有固定长度的链路状态通告 (LSA) 协议进行扩展, 并结合扩展前缀 TLV 和扩展链路 TLV, 来支持 IGP Prefix Segment 和 IGP Adjacency Segment 等功能, 进而实现 OSPF SR 控制平面功能。

IGP Prefix Segment、IGP Adjacency Segment 等使用链路状态 IGP 通告进行分发。

3.1.2 SR BGP 控制平面

SR 通过对 BGP 进行扩展来通告 BGP Prefix Segment 等。BGP Prefix Segment 等属性字段包含一个或多个 TLV, 目前已定义的 TLV 有: 标签索引 (Label-Index) TLV、始发者 (Originator) SRGB TLV、IPv6 SID TLV。支持 SR 功能的节点, 将前缀对应的 BGP Prefix Segment 等附加到 BGP 的前缀通告中, 进而实现基于 BGP 协议的 SR BGP 控制平面功能。

3.2 SR 数据平面

SR 数据包在其头部携带 Segment 列表, 其基本操作主要有 3 种: 压入 (PUSH)、继续 (CONTINUE)、下一个 (NEXT)。

SR 应用于 MPLS 架构后, 根据 MPLS 架构规范 (RFC 3031) 定义的 MPLS 转发操作, 通过对数据包头部的标签栈执行 3 个基本操作: 压入 (PUSH)、交换 (SWAP)、弹出 (POP) 来实现 SR 数据平面的相关操作。具体的操作映射方式详见表 3。

表 3 Segment 列表操作映射到 MPLS 标签栈操作对照表

序号	Segment 列表操作	MPLS 标签栈操作
1	PUSH	PUSH
2	CONTINUE	SWAP
3	NEXT	POP

3.3 SR 分类及特性

SR 技术主要包括 SR-BE (Segment Routing-Best Effort) 和 SR-TE (Segment Routing-Traffic Engineering) 2 种。SR-BE 是指 IGP 使用最短路径优先算法 (SPF) 计算得到最优 SR LSP。SR-TE 是指基于 TE 的约束属性, 利用 SR 协议创建的隧道。

3.3.1 SR-BE

SR-BE 通常基于 IGP Prefix Segment, 由 IGP 使用最短路径优先算法计算得到最优 SR LSP, 其创建和数据转发过程可与 LDP LSP 进行类比。典型的 SR-BE 原理示意图 (基于 MPLS 架构) 如图 7 所示。

SR-BE 建立的主要步骤如下:

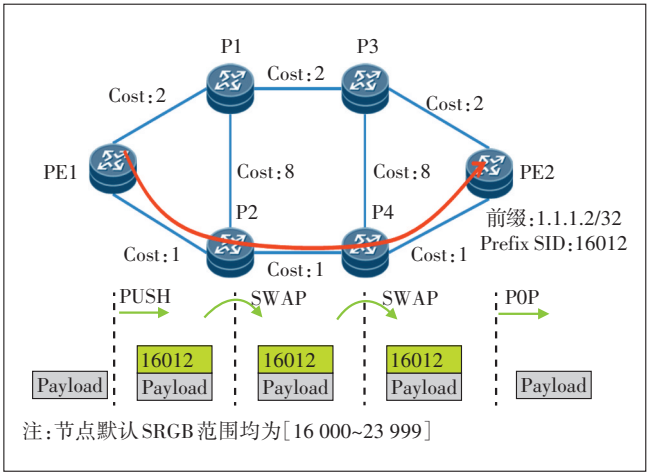


图 7 典型的 SR-BE 原理示意图 (基于 MPLS 架构)

a) 网络配置: 对网络中的节点配置 SR 全局块 (SRGB——Segment Routing Global Block) 和标签索引 (Prefix SID), 通过 IGP 报文泛洪扩散。通常情况下, 各节点 SRGB 范围均保持一致, 以便统一规划和管理。

b) 标签分配: 各节点解析接收到的 IGP 报文, 根据自己的 SRGB 计算自己的标签值, 计算公式为本节点的标签值=本节点的 SRGB 起始值+Prefix SID; 同时, 该节点根据下一跳节点发布的 SRGB 计算本节点的出向标签值, 公式为本节点的出向标签值=下一跳节点的 SRGB 起始值+Prefix SID。

c) 路径计算: 各节点根据 IGP 收集到的拓扑, 使用相同的最短路径优先算法, 计算标签转发路径, 生成转发表项, 建立 SR-BE LSP。

d) 数据转发: 沿着 SR-BE LSP 的路径, 通过 MPLS 架构的标签栈操作方式 PUSH、SWAP、POP 实现 SR 数据转发功能。

需要说明的一点是: 基于最短路径优先算法, 如存在 2 条或多条等价标签转发路径, 则这些路径以负载分担的方式转发数据, 并且互为保护。

3.3.2 SR-TE

SR-TE 通常基于 IGP Adjacency Segment, 一般由控制器负责计算 SR LSP, 并将与路径对应的标签栈下发给数据平面进行转发操作, 其创建和数据转发过程可与 RSVP-TE LSP 进行类比。在 SR-TE 隧道的入节点上, 源节点设备根据标签栈控制数据在网络中的转发路径。典型的 SR-TE 原理示意图 (基于 MPLS 架构) 如图 8 所示。

SR-TE 建立的主要步骤如下:

a) 基础配置: 网络中的节点配置 IGP SR, 生成链

表4 传统 MPLS 技术与 SR 技术对比表

序号	类别	传统 MPLS 技术		SR 技术
		LDP	RSVP-TE	
1	源路由功能	否	否	是
2	协议配合	IGP/BGP + LDP, 复杂	IGP/BGP + RSVP-TE, 复杂	IGP/BGP 扩展, 简单
3	标签分配方式	本地分配(在每个节点为每个路由分配)	本地分配(在每个节点为每个隧道 LSP 分配)	①全局分配(只在源头为路由分配一次, 其他节点只是发布和本地计算) ②本地分配(与路由和 LSP 无关, 仅分配某节点的某个出向连接)
4	可扩展性	对 LSP 不需要保活, CPU 等资源占用低, 可扩展性好	每个 LSP 维护状态信息, 定时保活, CPU 等资源占用高, 可扩展性差	IGP/BGP 保活, SR 没有额外的保活需求, CPU 等资源占用低, 可扩展性好
5	流量工程	不支持	支持	SR-TE 支持
6	主流保护技术	LFA, RLFA(不能 100% 覆盖所有场景)	Hot-Standby(100% 覆盖所有场景)	TI-LFA、Hot-Standby(100% 覆盖所有场景)

表5 SR-BE 与 SR-TE 特点对比表

序号	类型	SR-BE	SR-TE
1	配置方式	设备根据路由前缀自动生成 LSP	控制器统一进行隧道及路径策略配置
2	计算方式	设备分布式计算(IGP 域内最短路径优先算法)	控制器集中式计算
3	LSP/隧道特性	通过 IGP 协议实现 LSP 松散约束, 不支持全网流量工程	控制器计算 SR 隧道端到端的路径, 形成逐跳的严格约束路径, 支持全网流量工程
4	主流保护倒换方式	TI-LFA FRR	Hot-Standby (即 LSP 1:1)
5	主要适用业务类型	5G Xn 等东西向流量业务, Full Mesh 拓扑	5G N2/N3 等南北向流量业务, 面向连接的业务, 任意拓扑

不断成熟以及在承载网络的广泛应用, 通信网络逐步向着更简捷、更高效、更智能、更安全、更快速的方向演进, 也必将极大地促进车联网、智慧城市、智慧工业、智慧医疗等行业兴盛, 从而助推国民经济的长足发展。

参考文献:

[1] (比)克拉伦斯·菲尔斯菲尔斯, (比)克里斯·米克尔森, (印)科坦·塔劳利卡尔著. Segment Routing 详解[M]. 苏远超, 蒋治春, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2017: 25-47.

[2] 庞冉, 王海军, 彭绍勇, 等. 基于 IP RAN 网络演进的 5G 回传承载方案探讨[J]. 邮电设计技术, 2018(5): 9-12.

[3] 汤瑞, 赵俊峰. 5G 承载网络结构及技术分析[J]. 邮电设计技术, 2018(5): 1-4.

[4] 田洪宁, 刘琦, 尹祖新. 5G 承载网络演进及部署方案探讨[J]. 邮电设计技术, 2018(11): 41-45.

[5] 赵成祥, 曾毅. 5G 承载网络需求、架构及演进探讨[J]. 邮电设计技术, 2018(5): 17-20.

[6] 周楠. 面向 5G 回传的 IP RAN 网络演进方案[J]. 邮电设计技术,

2018(5): 13-16.

[7] 王强, 陈捷, 廖国庆. 面向 5G 承载的网络切片架构与关键技术[J]. 中兴通讯技术, 2018(1): 58-61.

[8] 张宝亚. 5G 承载网技术和优化组网[J]. 中兴通讯技术, 2018(1): 42-48.

[9] 师严, 王光全, 王海军. 面向 5G 的承载网需求及关键技术[J]. 中兴通讯技术, 2018(1): 17-20.

[10] IP RAN SR 技术方案[EB/OL]. [2020-03-04]. <https://wenku.baidu.com/view/edfd5fca86868762caaedd3383c4bb4cf7ecb796.html>.

[11] IP RAN 2.0 技术介绍[EB/OL]. [2020-03-04]. <https://wenku.baidu.com/view/76a968a5a3c7aa00b52acfc789eb172dec639911.html>.

[12] SR 应用场景及相关技术介绍[EB/OL]. [2020-03-04]. <https://wenku.baidu.com/view/ef967a5e52ea551810a687dd.html>.

[13] Segment Routing MPLS 原理描述[EB/OL]. [2020-03-04]. <https://support.huawei.com/enterprise/zh/doc/DOC1000173014?section=j004>.

[14] IP 新技术专题[EB/OL]. [2019-06-04]. <https://support.huawei.com/enterprise/zh/doc/DOC1000173014?section=j004>.

[15] NE40E V800R010C00 特性描述 - Segment Routing 01[EB/OL]. [2020-03-11]. <https://support.huawei.com/enterprise/zh/doc/EDOC1100028572?section=j009>.

[16] IP 新技术系列 MOOC-Segment Routing[EB/OL]. [2020-03-11]. <https://support.huawei.com/enterprise/zh/doc/EDOC1000178827>.

[17] 钟庆, 苏远超, 蒋治春. 新一代 Segment Routing 流量工程体系 - SR Policy[EB/OL]. [2020-03-11]. https://www.cisco.com/c/dam/global/zh_cn/solutions/service-provider/segment-routing/pdf/new_generation_segment_routing_sr_policy.pdf.

作者简介:

段宏, 毕业于华中科技大学, 高级工程师, 硕士, 主要从事干线及本地传输网络的技术研究、网络测试、网络规划、工程项目的可研设计及管理等工作; 刘晓村, 毕业于华中科技大学, 工程师, 硕士, 国家注册通信与广电专业一级建造师, 长期从事传输网络的规划、建设以及维护等工作; 焦明涛, 毕业于中国科学院研究生院, 工程师, 硕士, 主要从事干线及国际传输网络的技术研究、网络规划、工程项目及可研设计等工作。