



专题：“IPv6+”网络技术创新体系

G-SRv6 头压缩优化技术研究与应用

程伟强¹, 刘毅松¹, 姜文颖¹, 张庚²

(1. 中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053; 2. 中国移动通信集团有限公司, 北京 100032)

摘要: SRv6 作为新一代 IP 网络核心技术, 逐步成为 5G 和云时代的网络演进方向。如何解决头部开销过大、承载效率低、现网升级难的问题, 使 SRv6 可实际商用部署, 已经成为业界关注的焦点。基于这一技术难题, 首先提出头压缩设计需求, 包括: 兼容标准 SRv6 头部封装, 继承标准 SRv6 和 IPv6 优势, 兼容当前网络地址规划, 达成压缩效率与处理性能的有效平衡, 与现有网络互联互通; 其次, 提出基于公共前缀拼接的 G-SID 头压缩方案, 定义 G-SID Container、COC Flavor、SI 的关键技术能力, 并提出压缩和非压缩网络混合部署的网络编排方式; 最后, 介绍 G-SID 方案在业界国际标准的进展, 通过多厂商设备互通验证可行, 并计划现网试点部署, 推进 SRv6 全网快速落地。

关键词: 基于 IPv6 的段路由; 段路由扩展头; 通用基于 IPv6 的段路由; 通用段标识符

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020254

Research and application of G-SRv6 head compressions optimization technology

CHENG Weiqiang¹, LIU Yisong¹, JIANG Wenying¹, ZHANG Geng²

1. Research Institute of China Mobile Communications Co., Ltd., Beijing 100053, China

2. China Mobile Communications Co., Ltd., Beijing 100032, China

Abstract: As the key technology of the new generation IP network, SRv6 has gradually become the direction of network evolution in the 5G and cloud networks. The problems how to solve the problems of excessive head overhead, low payload efficiency, and difficult upgrading from the existing network has become the focus of the industry. Based on this technical problem, header compression design principles were proposed firstly, including mechanism compatible with standard SRv6 header encapsulation, inheriting the advantages of standard SRv6 and IPv6, compatible with existing network address plan, achieving an effective balance of compression efficiency and processing performance, and interconnecting with existing networks. Secondly, a G-SID header compression solution was proposed based on common prefix stitching, the key technical capabilities of G-SID container, COC flavor, and SID index were defined, and a network orchestration solution for mixed deployment of compressed and uncompressed networks was proposed. Finally, the progress of the G-SID solution in the industry's international standards was introduced, and has been verified by the interoperability of multi-vendor equipment, and the pilot deployment on the existing network was planned to promote the rapid deployment of SRv6 on the entire network.

Key words: SRv6, SRH, G-SRv6, G-SID

收稿日期: 2020-06-02; 修回日期: 2020-08-07

基金项目: 国家重点研发计划基金资助项目 (No.2018YFB1800501)

Foundation Item: The National Key Research and Development Project (No.2018YFB1800501)

1 引言

SR (segment routing, 段路由) 作为新一代的 IP 网络技术, 基于源路由进行控制转发, 极大简化了网络, 非常适合于超大规模 SDN 部署^[1-2]。SRv6 采用 IPv6 作为数据面的 SR 实现技术, 具有原生 IPv6、可平滑演进、高扩展性、可编程、协议统一等优势, 逐步成为 5G 和云时代的网络演进方向。

SRv6 虽然具有诸多优势, 但也存在 SRH (segment routing header)^[3]过长的问題, 业界在积极地探讨和研究解决方案, 以更好地推动 SRv6 的现网部署应用。目前, 中国移动牵头, 联合多个运营商和厂商在 SRv6 头压缩研究方面已经取得了较大进展, 形成了 G-SID 创新方案, 其头开销与 SR-MPLS 相当, 同时继承了现有 SRv6 的所有优势。基于 G-SID 方案, 目前已经完成了多厂商设备互通测试, 为现网落地奠定了基础。

2 SRv6 部署面临的挑战

大型运营商部署 SR 时, 对标签层数要求较高。以 5G 承载为例, 由于核心网集中化部署, 基站回传流量需要穿过城域网及骨干网, 经过节点数往往超过 10 个。同时, 由于网络切片、高可靠 SLA、可管可控的要求, 运营商需要指定显式路径, 端到端 SR 隧道需要 8 跳甚至更多。因此, 目前国内外多数部署 SR 的运营商都要求支持 8 层以上 SID 标签, 这为 SRv6 落地带来以下 3 方面的挑战。

第一, 承载效率较低。一个 SRv6 SID 长度为 8 byte, 以 8 层 SID 计算, 报文头开销将达到 128 byte, 对于平均长度 256 byte 的净荷, 其带宽利用率仅为 60%左右。

第二, 芯片实现较难。SRv6 要求网络芯片读取完整 SRH (包括所有的 SID), 然后根据指针指示的位置提取需处理的 SID 并进行转发。这就意味着 SID 层数越多, 芯片内部的处理总线带宽要

求就越高, 而总线带宽是影响芯片成本和功耗的关键因素。8 层 SID 将带来 128 byte 的 SRH 长度, 将大大增加芯片复杂度, 增加处理时延, 为落地应用带来挑战。

第三, 现网升级困难。8 层 SRv6 SID 的长度相当于 32 层 MPLS 标签深度, 超出了当前网络芯片的处理能力, 如果在芯片内部采用环回的解决方案, 将大幅降低网络性能并引入更高的时延和抖动, 运营商现网难以平滑升级。

3 SRv6 头压缩设计需求

(1) 兼容标准 SRv6 头部格式

SRH 用于支持 SRv6 的 IPv6 扩展头, SRv6 头压缩方案需要在 SRv6 的基础上演进, 因此需要兼容 SRH。此外, SRv6 的 SID 使用 IPv6 地址标识 segment, 比如节点、链路和 VPN 等信息。为支持存量演进和平滑升级, 头压缩方案需要兼容 SRv6 基本协议定义。

(2) 继承 IPv6 和标准 SRv6 优势

SRv6 头压缩方案需要继承 IPv6 的优势, SRv6 SID 可路由且可汇聚, 简化转发行为并减少 SID 表项的规模, 有利于简化端到端连接和跨域。头压缩方案需要保持 SRv6 的 SR 源路由机制, 简化中间节点状态及网络, 保持 SRH 扩展头 SID 路径可回溯, 同时具备 SRv6 可编程特性, 网络功能可灵活部署且具备扩展性。

(3) 兼容当前网络地址规划

当前运营商已有 IPv6 地址规划方案, SRv6 的部署需要基于已有的公网地址规划。因此设计 SRv6 头压缩方案时, 也需要考虑与当前网络地址规划的兼容。压缩方案需尽量减少公网地址的消耗, 降低部署成本。此外, 头压缩方案应支持在不同的管理域内独立地规划地址, 可根据网络设备数量灵活制定端口数量, 并支持跨域互通。

(4) 性能与效率平衡

SRv6 头压缩方案的目的是减少 SRv6 报文头



部的开销,但压缩效率并不是唯一的指标,还需要考虑网络的可扩展性和字节对齐等因素。16 bit 仅适用小规模网络,64 bit 压缩效率低,其他长度不满足字节对齐,影响处理性能,综合考虑 32 bit 是相对平衡的压缩后 SID 长度。既满足了网络扩展性的要求,又与当前的 MPLS、IPv4 地址长度一致,对当前硬件处理友好。

SRv6 网络存在多种 SID 类型,用于标识节点、链路和 VPN 等业务,由于头压缩的 SRv6 SID 类型需要尽量简化但是又需要支持必要的兼容性,而且用于处理 SID 列表的 SRH 处理流程尽可能重用已有流程但是又需要进行必要的优化。

(5) 与现有网络互联互通

SRv6 的最大优点之一就是兼容 IPv6,SRv6 数据报文可以基于 IPv6 转发,穿越非 SRv6 节点,从而支持存量演进、平滑升级。头压缩方案同样需要支持原生 IPv6,可以在 IPv6 网络中路由,而无须对 IPv6 节点进行额外的改动。兼容原生 IPv6 还可以基于路由聚合减少网络中的状态,减少跨域场景中的路由数目。

SRv6 的头压缩优化部署同样要与现有的 SR-MPLS 互通,使用如 Binding SID 方式,优化 SRv6 部署的同时保持良好的兼容性,降低现网部署的要求。

4 G-SRv6 头压缩方案

4.1 G-SID 报文格式优化

SRv6 部署需要通过地址规划划分一个地址块,用于 SID 的分配,这个地址块叫作 SID space。因此,在一个 SRv6 域中,从 SID space 分配的 SID 可以具有公共前缀(common prefix)。通常情况下,SRH 中的 SID 均具有相同的前缀,而这部分内容是冗余的,去除这部分冗余的信息,可以有效地减少 SRv6 报头开销。

因此 G-SID 方案提出将 SID list 中 SID 的公共前缀移除,仅携带变化的压缩 SID,称为 G-SID。

在替换目的地址时,通过将压缩 SID 和当前 IPv6 目的地之中的公共前缀拼接(stitching)形成新的 SID,继续查表转发,从而实现 SRv6 的压缩。

此外,G-SID 方案还通过将经典 SRv6 SID 和压缩后的 G-SID 混合编排,从而在 SRv6 路径中支持压缩节点与普通 SRv6 节点混合编程,实现存量演进,平滑升级。同时,在多域的场景中,因为地址规划受限,无法保证多个域的 SID 有公共的前缀,通过混编则可以方便地实现建立跨多域的 SRv6 路径。

传统完整 SID 由以下部分组成^[2]:

完整 SID=B(block,即通用 prefix)+

N(node ID)+F(function)+

A(argument)(可选)+padding(可选)

G-SID 方案定义了 32 bit SRv6 压缩 G-SID 格式,该 G-SID 是由标准 128 bit SID 中的 node ID 和 function ID 组成的,其是完整 SID 的变化部分。

当压缩 SID 和标准 SID 被编排在 SRH 的 SID list 中时,为准确定位 G-SID,需要满足 G-SID 按照 128 bit 对齐的方式来编排,即一行 128 bit 需要放 4 个 32 bit 压缩 G-SID,如果排不满,则需要补齐 padding,对齐 128 bit。

为方便理解,G-SID 方案定义了 G-SID container 的概念,其是一个 128 bit 的值。一个 G-SID container 可以包含:

- 一个 SRv6 标准 SID;
- 多个压缩后的 SRv6 SID (G-SID),比如 4 个 32 bit 的 G-SID。

当多种 SID 混编时,需要保证 128 bit 对齐。当 G-SID 无法排满 128 bit 时,需要补齐 padding。以 32 bit G-SID 为例,G-SID container 可能的格式如图 1 所示。

此外,在压缩路径中,为了定位下一个 G-SID,需要新增 SI(G-SID index)定位其在 G-SID container 中的位置。SI 放置在目的地址中最后 2 bit,需预留空间给 SI,其值为 0。在转发

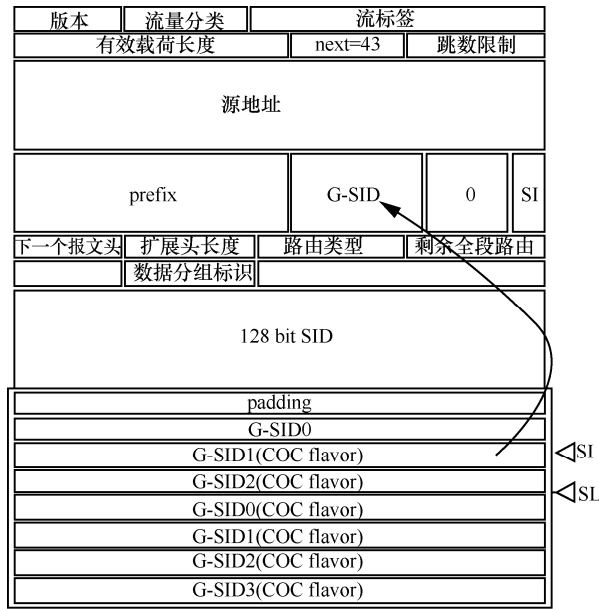


图 1 G-SID container 可能的格式

的过程中, SI 的数值是 G-SID 的位置属性, 指示其在 G-SID container 中的位置。G-SID 可以综合 SL (segment left) 和 SI 进行定位。

为标识 SRH 的 SID list 中 SRv6 压缩路径的开始和结束, 也即 128 bit SID 和 32 bit SID 之间的边界, 需要新增 COC flavor, 并发布对应 COC flavor 的 SID。压缩路径中间的 G-SID 均为携带 COC flavor 的 G-SID, 指示下一个 SID 是 32 bit G-SID。如果未携带 COC flavor, 则指示下一个 SID 是 128 bit 标准 SID。

4.2 G-SID 网络编排范例

为了清晰地说明 G-SID 方案的转发过程, 以压缩和非压缩节点混编的网络为例实现 G-SID。网络中节点 k 可以发布两套 SID, 两套 SID 格式均支持压缩, 一套携带 COC flavor, 另一套不携带 flavor。比如 $A:k:1::$ 为绑定到某接口的携带 COC 的 END.X SID, $A:k:2::$ 为绑定到同样接口的不携带 COC flavor 的 END.X SID。根据这个规划, $A:1:1::$ 为 COC flavor End.X SID, $A:4:2::$ 为无 COC flavor 的 SID。下面 SID list 中 $A1::$ 前缀是不支持压缩 SID 的前缀, 所以 $A1::5:1$ 为不可压缩的 SID。

网络中存在 N0-N10 节点, SID list 总共包含

了 10 个 SID:

- $A:1:1::$ END.X (COC);
- $A:2:1::$ END.X (COC);
- $A:3:1::$ END.X (COC);
- $A:4:2::$ END.X;
- $A1::5:1$ END.X (不支持压缩的 SID);
- $A:6:1::$ END.X (COC);
- $A:7:1::$ END.X (COC);
- $A:8:1::$ END.X (COC);
- $A:9:2::$ END.X;
- $A:10:10::$ END.DT4 VPN SID (不参与压缩)。

经过 reduced 模式以及压缩编码之后, SID list 如图 2 所示。其中 END.X SID $A:1:1::$ 未被编码在 SID list 中。

当节点 1 收到数据分组时, 目的地址 $A:1:1::$ 在 local SID 表中命中到节点 1 本地发布的 COC flavor END.X SID, 此时 SRH 中 $SL=5$, $DA.SI=0$, 因此 $SL--$ ($SL=SL-1$, 即 SL 减 1 再赋值给 SL), $DA.SI=3$, 指向 2:1, 将 G-SID 2:1 更新到 DA (destination address) 中, 转发到下一个节点 2, 此时目的地址为 $A:2:1::3$ 。

(1) 当节点 2 收到数据分组时, 目的地址 $A:2:1:3::$ 在 local SID 表中命中匹配到节点 2 本地发布的 COC flavor END.X SID, 此时 $SL=4$, 由于 $DA.SI$ 为 3, 大于 0, 所以节点将 $DA.SI--$, 将 $SRH[SL][DA.SI]$ 指向的下一个 G-SID 3:1 更新到 DA 中, 转发到下一个节点, 此时目的地址为 $A:3:1::2$ 。

(2) 当节点 3 收到数据分组时, 目的地址 $A:3:1:2::$ 在 local SID 表中命中到节点 3 本地发布的 COC flavor END.X SID, 此时 SRH 中 $SL=4$, $DA.SI=2$, 大于 0, 所以 $DA.SI--$, 指向 4:2, 将 G-SID 4:2 更新到 DA 中, 转发到下一个节点, 此时目的地址为 $A:4:2::1$ 。

(3) 当节点 4 收到数据分组时, 目的地址 $A:4:2:1::$ 在 local SID 表中命中到节点 4 本地发布的 END.X SID, 因为无 COC flavor, 所以默认指

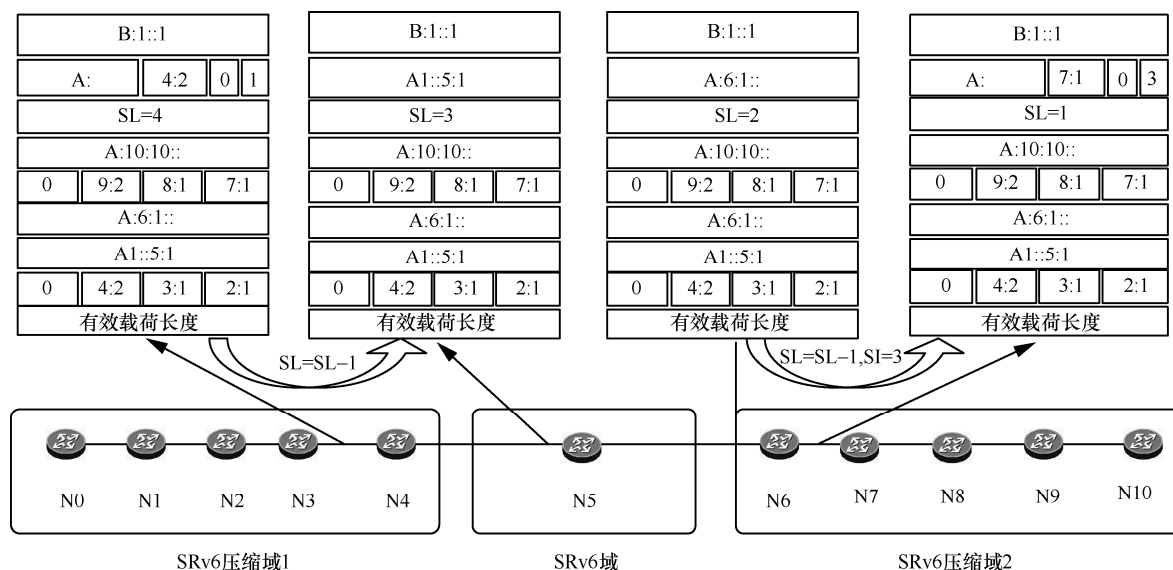


图2 SID list示意图

示下一个SID是128bit的SID,因此,SL—后SL为3,将A1::5:1复制到DA中进行转发。

(4) 节点5是一个普通SRv6节点,所以执行普通SRv6转发,将A:6:1::复制到DA中,转发到下一个节点。

(5) 节点6收到数据分组时,目的地址A:6:1::在localSID表中命中到节点6本地发布的COC flavor END.X SID,此时SRH中SL=2,DA.SI=0,所以SL--,DA.SI=3,指向7:1,将G-SID 7:1更新到DA中,转发到下一个节点,此时目的地址为A:7:1::3。

(6) 同理,节点7、8收到数据分组时,处理COC flavor SID,更新目的地址,转发数据分组。

(7) 节点9收到数据分组之后,步骤同节点4,由于DA中SID在localSID表中命中无COC flavor的SID,所以SL--之后等于0,将VPN SID复制到DA中,转发到节点10。

(8) 节点10按照正常VPN SID处理,数据分组转发到对应VPN私网。

以上过程就是G-SID在网络混编场景下的一个转发示例。

5 G-SID 标准推进

SRv6头压缩的需求文稿 draft-cheng-spring-

shorter-srv6-sid-requirement^[4],定义了提出压缩SID的需求,兼容标准SRv6,提高压缩效率,兼容现有地址规划,继承现有IPv6路由等,由中国移动牵头,中国电信、中国联通、中国银联、华为、中兴等单位参与,G-SID方案正是以该文稿需求作为设计原则的创新方案。

G-SID方案文稿 draft-cl-spring-generalized-srv6-for-cmpr^[5],提出G-SID方案框架和转发面过程,提取公共前缀实现SID压缩,扩展COC flavor用于SID编排,扩展Argument字段用于SID定位,由中国移动主导,华为、中兴、思科、中国电信、博通等单位参与。

G-SID与microSID的框架文稿 draft-filsfil-scheng-spring-srv6-srh-comp-sl-enc^[6-7],提出了基于argument扩展NEXT flavor用于扩展支持microSID,扩展replace flavor用于支持G-SID的位置定位,给出了基于Next and replace flavor的统一头压缩方案框架,当前文稿G-SID和microSID支持者已对统一框架方案达成共识,后续会继续在IETF共同推动。

总之,当前业界存在多种SRv6头压缩方案,还在IETF讨论中,G-SID在原生SRv6基础上创新,而且已与microSID方案达成统一框架进行演进,是未来压缩SRv6的统一方向。

6 G-SID 加快 SRv6 落地步伐

针对 G-SID 方案, 中国移动计划开展实验室验证和现网试点部署, 当前主流设备厂商都已经投入 G-SID 研发实现, 包括华为、中兴、新华三、锐捷等, 知名芯片厂商 Intel、博通、Marvell、盛科等以及测试仪表商思博伦等。

中国移动信息港实验室已于近期初完成华为、中兴、新华三、锐捷等设备厂商的路由器之间数据面互通测试, 验证了 G-SID 方案可行, 减少 75% 的报文头部开销同时, 基于 Intel、博通、Marvell、盛科的原型系统也已经通过了验证, 证明了目前的芯片商就能支持超过 10 层以上的 G-SRv6 标签, 这为 SRv6 快速引入规模应用奠定了基础。在上述测试中已经采用了思博伦的 G-SRv6 测试方案, 也验证了测试仪表的成熟。另外, 中国移动已制定完成 IGP/BGPLS/BGP&PCEP SRv6 Policy 各控制协议的头部压缩方案扩展, 2020 年下半年计划验证多个厂商控制面和数据面的综合互通, 并在省公司现网开展 G-SID 试点部署。

G-SID 方案通过不同的 SID 长度混编可以在现网快速部署 SRv6, 同时可以具备标准 SRv6 的所有能力, 中国移动实验室验证成功和现网试点部署计划都将加快 SRv6 在网络中的应用步伐。

7 结束语

随着 IPv6 在我国的部署加速, SRv6 也有了更好的落地基础, 运营商对 SRv6 的部署进程在加速。当前标准 SRv6 报文头部占用空间大, 在多跳严格路径 TE、SFC 等场景, 传输效率不足。G-SID 的提出, 很好地解决了 SRv6 报文开销大的问题。基于 G-SID 的 G-SRv6 具备了 SRv6 的所有功能和优势, 同时其头开销与 SR-MPLS 相当, 这将帮助 SRv6 更好地落地, 进而加速了我国 IPv6 部署、商用的节奏。

多厂商互通测试的成功标志着 G-SID 技术方

案的可行性已经得到验证, 已经初步达成产业共识。在中国移动等运营商和多设备厂商的共同推动下, 相信 G-SID 方案将推动 SRv6 快速落地, 形成产业生态。

参考文献:

- [1] 李晨, 段晓东, 陈炜, 等. SDN 和 NFV 的思考与实践[J]. 电信科学, 2014, 30(8): 23-27.
LI C, DUAN X D, CHEN W, et al. Thoughts and practices about SDN and NFV[J]. Telecommunications Science, 2014, 30(8): 23-27.
- [2] 唐永林, 刘锋. SRv6 的分段标识符结构的改善[J]. 电信科学, 2020, 36(4): 170-174.
TANG Y L, LIU F. Improvement of SRv6 SID structure[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(4): 170-174.
- [3] IETF. IPv6 segment routing header (SRH): RFC8754[S]. 2020.
- [4] IETF. Shorter SRv6 SID requirements: draft-cheng-spring-shorter-srv6-sid-requirement-02[Z]. 2020.
- [5] IETF. Generalized SRv6 network programming for SRv6 compression: draft-cl-spring-generalized-srv6-for-cmpr-01[Z]. 2020.
- [6] IETF. Compressed SRv6 segment list encoding in SRH: draft-filsfilscheng-spring-srv6-srh-comp-sl-enc-01[Z]. 2020.
- [7] IETF. Network programming extension: SRv6 uSID instruction: draft-filsfils-spring-net-pgm-extension-srv6-usid-07[Z]. 2020.

[作者简介]



程伟强 (1980—), 男, 中国移动通信有限公司研究院网络与 IT 技术研究所承载网室经理, 主要从事 IP 承载网、5G 承载、SD-WAN、数据中心组网等方面的技术研究及现网推进工作。

刘毅松 (1979—), 男, 中国移动通信有限公司研究院网络与 IT 技术研究所承载网室研究员, 主要从事 IP 承载网方面的技术研究及现网推进工作。

姜文颖 (1977—), 女, 中国移动通信有限公司研究院网络与 IT 技术研究所承载网室研究员, 主要从事 IP 承载网方面的技术研究及现网推进工作。

张庚 (1986—), 男, 中国移动集团公司计划建设部传输处项目主管, 主要从事 IP 承载网技术研究、规划建设及管理工作。