

基金项目论文

# 基于 IPv6 的分段路由与 SDN 结合的技术分析

孟繁腾<sup>1</sup> 辛俊业<sup>1</sup> 辛绍宗<sup>2</sup>

(1.山东科技大学智能装备学院, 山东泰安 271000; 2.潍坊科技学院国际教育学院, 山东寿光 262700)

**摘 要:** 网络通信领域的发展促进了传统网络架构的新一代变革, 对相关网络技术的分析能够对网络变革提供一定的研究思路。文章通过对当前在网络通信领域的热门技术 SR 与 SDN 的原理进行探讨, 基于 SDN 的特点以及 SR 的相关技术, 对两种分段路由实现的方式(基于 IPv6 或基于 MPLS)的利弊进行分析, 探索了基于 IPv6 的分段路由与 SDN 结合的道路。

**关键词:** 网络通信; SR; IPv6; MPLS; SDN

**中图分类号:** TP393.03

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1003-6970.2023.03.021

**本文著录格式:** 孟繁腾,辛俊业,辛绍宗.基于IPv6的分段路由与SDN结合的技术分析[J].软件,2023,44(03):093-095+104

## Technical Analysis of Combination of IPv6 Based Segmented Routing and SDN

MENG Fanteng<sup>1</sup>, XIN Junye<sup>1</sup>, XIN Shaozong<sup>2</sup>

(1.Shandong University of Science and Technology, Tai'an Shandong 271000;

2.Weifang University of Science and Technology, Shouguang Shandong 262700)

**【Abstract】:** The development of the field of network communication has promoted a new generation of changes in the traditional network architecture. The analysis of relevant network technologies can provide some research ideas for the network transformation. This paper discusses the principle of SR and SDN, which are popular technologies in the field of network communication at present. Based on the characteristics of SDN and the relevant technologies of SR, it analyzes the advantages and disadvantages of two ways of implementing segmented routing (based on IPv6 or MPLS), and explores the way of combining IPv6 based segmented routing with SDN.

**【Key words】:** network communications;SR;IPv6;MPLS;SDN

### 0 引言

在网络通信领域, 由于互联网的飞速发展, 社会对于网络通信的速率和质量都有更高的要求。基于加快网络转发速率的需求, 文章分析了传统网络中使用标签转发的优点与不足, 深入研究了分段路由的转发机制, 在整合现有体系的基础之上, 结合 SDN 转控分离, 集中控制的优势, 讨论 SDN 与 SRv6 结合的实现方式, 为数字社会构建新的网络基础。

### 1 SDN 的发展现状

SDN 在不断的发展, 网络架构在原始 SDN 架构的基础上, 出现了多样化的趋势:

(1) 原始的 SDN 架构为控制平面和数据平面完全分离。路由的选路和计算集中在控制器上, 设备只实现数据转发的物理部分。

(2) 在 SD-WAN 服务中, 虽然控制整个网络的组件集中在控制器上, 但控制平面保留在设备上, 以便设备可以相对独立的运行。

(3) 增量型 SDN 网络是将现有网络进行拓展, 现有设备向 SDN 演进思路, 设备保留部分控制功能, 把部分需要集中控制的功能放到控制器上去处理, 强调设备平滑演进能力。

### 2 SDN 架构

#### 2.1 SDN 架构的三个特点

SDN 技术具有转控分离、集中控制、开放接口的特点:

(1) 转控分离: 网元的控制平面位于控制器上, 控制器负责协议计算和流表生成; 转发平面仅在网络设备上。

基金项目: 国家级大学生创新创业训练项目 (202210424091)

作者简介: 孟繁腾 (2002—), 男, 山东宁阳人, 本科, 研究方向: 网络协议优化; 辛俊业 (2002—), 男, 山东济南人, 本科, 研究方向: 网络与信息安全; 辛绍宗 (2002—), 男, 山东济南人, 本科, 研究方向: 控制技术中的网络利用。

(2) 集中控制：设备网元通过控制器管理和分发流量表，因此无需逐个操作设备，只需配置控制器即可。

(3) 开放接口：第三方应用只需要通过控制器提供的开放接口，通过编程定义新的网络功能，然后在控制器上运行即可<sup>[1]</sup>。

## 2.2 SDN 架构的转控分离

在开放网络基金会（ONF）的概念中，SDN 是指一个将控制平面与数据平面分开，并且可编程的网络架构。举一个简单的例子，如果某人要从家到某地旅游，他首先要思考，查找并选择正确的路径，然后才能去往目的地。查找和选择路径这个过程相当于控制平面的路由接受与传递，而动身去往目的地的这个过程相当于数据平面的数据包转发过程。在一个网络系统中，首先由控制平面执行网络协议的交互动作，并通过相应协议算法进行路由计算由此产生多个路由条目，最后将路由条目下发到转发平面，指导转发平面进行转发。

在传统网络中，每个网络设备上都具有控制层面与数据平面。而在 SDN 网络中，控制平面和数据平面分离<sup>[1]</sup>，不是所有的设备都具有控制层面，控制层面集中在 SDN 控制器上。

## 3 SR 段路由技术

### 3.1 使用标签加快转发速度

在传统网络转发过程中，想要加快网络的转发速度，在各设备获取到路由表的基础上，可以借助标签来加快网络的转发速度。标签分发协议给设备添加一个标签表并进行维护，标签的作用是加快数据包的转发速度，当设备收到去往某个地址的报文时，如果标签表中具有该地址对应的表项，会将该报文打上标签，转发给下一个设备，中间设备收到带有标签的报文时，会根据自己的标签表将报文的标签进行更换，并且转发给下一个设备，最终报文将要到达目的地时（次末跳设备，即与目的设备相邻的，转发路径上经过的除目的地址网段设备外最后一台设备），设备在发现自己是次末跳设备后，会将标签剥离，发送给目的设备，目的设备收到的是一个不带标签的数据包，它可以直接查看转发表（FIB 表）进行转发。这样整个转发路径都通过标签进行转发，转发时直接查找标签表，源和目的之间形成了一条标签隧道，大大加快了网络的转发速度。

### 3.2 使用标签的不足

通过建立和维护标签表，加快了网络的转发速度。然而，由于物理设备需要多维护一个表项，占用了系统资源；同时通过打标签将数据报文迭代进隧道的方式进行转发，不同站点与站点之间有不同的隧道，客观上会

使域间网络互连复杂化；MPLS 只有 20bit 的标签空间，且标签字段、长度固定，缺乏可扩展性，导致很难满足未来业务的网络编程需求<sup>[2]</sup>。

### 3.3 Segment Routing 的概念

SR 是一种只需要在源节点给报文增加一系列的段标识，便可指导报文转发的技术方案。它在现有网络的基础上进行过渡性的扩展，提供具有可编程性的网络。SR 的核心思想是将报文转发路径分割成不同的片段，并在从路径开始时向报文中插入分段数据，而中间结点则只需根据报文里所包含的分段数据转发即可<sup>[4]</sup>。而 Segment 则是中间节点可以根据所接收的报文而进行的操作，比如通过较小的路径转发报文达到目的，或者通过特定的端口转发报文，把报文转发到特定的技术应用中。Segment 使用 SID（Segment ID）进行标识，它的格式取决于具体的技术实现，例如可以使用 MPLS 标签、MPLS 标签空间中的索引、IPv6 地址。Segment List 标签栈则是目的地址前缀 SID/ 节点 SID 和邻接 SID 有序列表的排序集合，用于标识一条完整的标签交换路径 LSP(Label Switched Path)<sup>[3]</sup>。

### 3.4 Segment Routing 的实现

在 SRv6 网络中，节点角色大致分为三类：源节点、中间节点、尾节点<sup>[4]</sup>。SR 将网络中的目的地址前缀 / 节点和邻接定义为段，并且为这些段分配 SID。通过对 Adjacency SID（邻接段）和 Prefix/Node SID（目的地址前缀 / 节点段）进行有序排列（Segment List），就得到一条转发路径<sup>[3]</sup>。

SR 技术中定义了三种基本的 Segment，分别是邻接段（Adjacency Segment），前缀段（Prefix Segment）和节点段（Node Segment）<sup>[3]</sup>。邻接段用于标识网络中某个节点的某个邻接，即代表这条链路；前缀段用于标识网络中某个目的地址前缀，代表目的地址；节点段则是特殊的前缀段，用于标识特定的节点，在节点的 Loopback 接口下配置 IP 地址作为前缀，这个节点的 Prefix SID 实际上就是 Node SID<sup>[5]</sup>。

在 SDN 网络中，SDN 控制器通过收集网络中的所有的前缀 SID 和邻接 SID，可以计算出网络整体的拓扑结构。Prefix Segment 代表目的地址，Adjacency Segment 代表数据包的外发链路，可以分别类似于传统 IP 转发中的目的 IP 地址和出接口。在 IGP 区域内，网元设备使用扩展 IGP 消息将自身的 Node SID 以及 Adjacency SID 进行泛洪，这样任意一个网元都可以获得其他网元的信息。

SR 使用标签确定路由数据包所需要经过的网络路

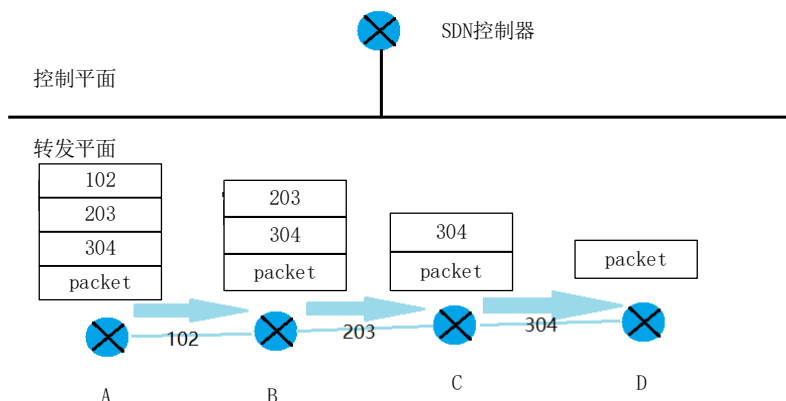


图 1 SR 转发示意图

Fig.1 Schematic diagram of SR forwarding

径，标签和拓扑信息可以借助路由协议延伸并扩散至整个系统中。在 SDN 网络中，可以借助 SDN 控制器来集中收集并下发网络的标签和拓扑信息，SDN 通过按序组合前缀（节点）SID 和邻接 SID，可以构建出网络内的任何路径。在路径中的每一跳，使用栈顶段信息区分下一跳。段信息按照顺序堆叠在数据头的顶部。当栈顶段信息是本节点的标识时，接收节点弹出顶部段并执行下一个段所需的任务。

如图所示，假设数据包要从 A 设备发往 D 设备，SDN 控制器通过各种方式（例如 BGP-LS）收集全局网络拓扑信息和 TE 信息，在获知了数据包的目的地址之后，通过集中算路或者手工指定一条流量路径，这里我们指定的流量路径为：A 设备 -> B 设备 -> C 设备 -> D 设备，SDN 控制器将需要经过的链路的 SID（即邻接段 Adjacency SID）按顺序填入标签栈（Segment List），然后将携带该 Segment List 的算路结果通过信令组件（例如 PCEP，BGP）返回给 A 设备，A 设备收到标签栈后，通过栈顶标签 102 得知该数据包通过 SID 为 102 的链路转发，并在转发前将该标签出栈。B 设备收到之后，通过 SID 为 203 的链路转发并且将标签出栈，以此类推。由于标签栈中的 SID 已经全部出栈，D 设备最后收到的数据包中并不包含 SID 信息，即原始数据。通过这种方法可以严格指定任意一条显式路径，能够更好的配合实现 SDN，从而满足流量工程的需求，因此被称为 SR-TE（Traffic Engine）。

Segment Routing 也有借助 IGP 使用算法计算最短路径的场景（SR-BE，基于 Prefix Segment），虽然能够指导报文按指定的路径转发，但是这种场景不能集中进行路径调整和流量调优，并不适合由 SDN 控制器统一计算和分发指令，此无法与 SDN 很好的结合，此处不做赘述。

#### 4 IPv6 在段路由上的应用

SR 有两个数据平面：MPLS 和 IPv6。当 SR 应用于 MPLS 数据平面时，称为 SR-MPLS，使用 MPLS 标签作为 SID<sup>[3]</sup>。SR 应用于 IPv6 数据平面时，称为 SRv6，使用 IPv6 地址作为 SID。SR-MPLS 尽管能够带来优异的可编程性能，但是由于 SR-MPLS 是基于 MPLS 封装的，并且 MPLS 的标签长度只有 20 bit 且固定，所以 SR-MPLS 的可扩展性欠佳，而基于 IPv6 数据平面的 SRv6 不但继承了 SR-MPLS 的全部优势，也同时带来了良好的可扩展性。

在 SRv6 中，SID 是以 IPv6 地址的方式存在的，是一个特殊的 IPv6 地址。SID 将以 IPv6 地址的形式被设备学习到全局路由表上，并对这些路由表项进行维护。当 SRv6 节点接受 IPv6 报文时，设备将按照 IPv6 报文的地址搜索全局路由表项，一旦匹配到了相应的 SID，则交给 SID 指定的行为加以处理，或者进行常规的路由转发操作。

IPv6 可以添加扩展报头，其位置在 IPv6 报文头和数据内容之间，可以添加 SRv6 的扩展报头（SRH：Segment Routing Header），SRH 最主要的内容就是 Segment List，Segment List 就是对段和网络节点进行有序排列得到的一条转发路径。数据包转发时，根据 Segment Left（到达目的节点前仍然应当访问的中间节点数）和 Segment List（段的有序列表）确定 IPv6 目的地址的信息，从而指导报文的转发路径和行为，转发过程类似于第三部分我们描述的方式，将标签换成了 SID，标签栈变成了 Segment List。

在 SDN 网络中，SDN 控制器通过信息收集和计算，对网络进行集中控制，数据包想要到达目的地，首先将数据发送给控制器，控制器收到之后进行计算获得流量路径，然后给数据包添加扩展报头 SRH，在 SRH 中存

..... 下转第104页

轴发动机状态监控软件系统,如图5所示。软件系统包含具体功能模块如下:用户登录界面、机队状态详情展示页面、红黄区分析判据功能块、健康指数检查功能块、数据分析功能块、数据库离线数据查询功能块、发动机智能双发匹配功能块、离线数据快速录入功能块、系统参数设置功能块。每个功能块能单独运行且相互切换。

该软件系统在多个用户试用、验证,对数千小时发参数数据进行自动判读,同等批量数据处理速度相比之前提升百倍,大幅提升了发动机外场数据处理分析效率。先后辅助用户发现发动机金属屑告警、放气活门打开/关闭参数异常、滑油温度偏高及停车惯性时间偏短等多个问题,根据数据判读的结果向外场维护人员通报相关结果并提供维护建议,为保证飞行安全提供了技术支持。

## 5 结论

本文针对目前国内航空发动机外场监控的局限性,提出了面向批量数据的状态监控方法,并以某型涡轴发动机为对象开发了外场数据管理及分析系统,构建了基于规则的专家系统和逻辑判据库,确定发动机参数最优诊断阈值,实现了面向机群的发参数数据批量化、自动化

分析,辅助用户准确定位故障并排除发动机存在隐患。该系统已在用户活动中使用,确保了发动机外场使用安全,大幅提升了维护保障效率。

## 参考文献

- [1] 王宇波,李学仁,陈学江.飞机发动机状态监控研究[J].燃气涡轮试验与研究,2001,14(3):41-43.
- [2] 常燕萍,马麟龙.航空发动机状态趋势监控方法研究[J].民用飞机设计与研究,2012(B11):21-24.
- [3] 李大为,王军,王晨,等.大数据技术在航空发动机研发领域的应用探索[J].航空发动机,2021,47(2):33-37.
- [4] 尉询楷,杨立,刘芳,等.航空发动机预测与健康管理[M].北京:国防工业出版社,2014.
- [5] 周林,赵杰,冯广飞.装备故障预测与健康管理技术[M].北京:国防工业出版社,2015:100-101.
- [6] 孙小鱼.基于数据驱动的航空发动机气路性能参数预测研究[D].大连:大连理工大学,2019.
- [7] 朱友理.大数据技术与应用[M].西安:西北工业大学出版社,2018.

..... 上接第95页

储 Segment List 信息,这里的 Segment List 是多个 SID 的有序列表,我们说过 SRv6 中 SID 是以 IPv6 地址的形式出现的,所以 Segmnet List 即为多个 IPv6 地址的有序列表。添加完数据包之后,控制器将数据包返回给转发设备,设备根据 SRH 中的 Segment Left 和 Segment List 字段对报文执行相应的行为。

## 5 结语

SRv6 进一步改善了网络协议类型,并具备了优异的扩展性和可编程特性,能适应更多对新服务的个性化要求,并提供高可靠性,在云服务中具有良好的使用发展前景。与 SDN 结合之后,利用 SDN 转控分离,集中控制的特性,简化了配置,还可以更好的实现对网络的集中调控,规划流量路径,指导流量转发。

## 参考文献

- [1] 李可欣,王兴伟,易波,等.智能软件定义网络[J].软件学报,2021,32(1):118-136.
- [2] SDNLAB君.MPLS/IP与SRv6:困局与破局-51CTO.COM[OL].(2022-11-22)[2023-02-05].<https://www.51cto.com/article/740355.html>
- [3] baynk.HC110110036.SR基本原理\_baynk的博客-CSDN博客[OL].(2020-03-14)[2023-02-05].<https://blog.csdn.net/u014029795/article/details/104853723>
- [4] 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.
- [5] 石鸿伟,黄凤芝.基于关键节点的分段路由标签栈压缩算法[J].电子技术与软件工程,2020(12):39-43.