

# 金融骨干网的 SRv6 Policy 研究与应用

祖立军，袁航
（中国银联股份有限公司，上海 201210）

**摘　要**：金融骨干网作为金融机构网络基础平台的重要组成部分，在当前国家推进数据中心云化及 IPv6 的大背景下，金融骨干网技术架构也必然需要优化演进。基于此，研究探索了 SRv6 Policy 在金融骨干网中的应用。首先针对金融骨干网现状，分析了传统方案存在的问题；随后阐述了 SRv6 Policy 技术优势及实现原理机制；最后对 SRv6 Policy 在金融骨干网中的应用及部署方案进行了研究探索，并结合金融机构对骨干网中业务流量的管理策略，针对拥塞避免、路径规划的场景研究给出了可选的智能调优方案，进一步增强了金融骨干网稳定性及流量传输保障能力，初步验证了 SRv6 Policy 在金融骨干网中应用的可行性。

**关键词**：SRv6 Policy；流量工程；SLA 保障；智能调优
**中图分类号**：TN915
**文献标识码**：A
**doi:** 10.11959/j.issn.1000−0801.2020261

# Research and application of SRv6 Policy for financial backbone network

ZU Lijun, YUAN Hang
China UnionPay Co., Ltd., Shanghai 201210, China

**Abstract:** The financial backbone network is an important part of the basic network platform of financial institutions. Under the current background of the country’s promotion of data center cloudification and IPv6, the technical architecture of the financial backbone network must also be optimized and evolved. Based on this research, the application of SRv6 Policy in the financial backbone network was explored. Firstly, the existing problems of traditional solutions based on the current situation of the financial backbone network were analyzed; then the technical advantages and implementation principles of SRv6 Policy were explained. Finally, the application and deployment of SRv6 Policy in the financial backbone network was studied and explored, combined with the management strategy of financial institutions on the business traffic in the backbone network, and optional intelligent tuning solutions were provided for congestion avoidance and path planning scenarios, which further enhanced the stability of the financial backbone network and the ability to guaranteed traffic transmission, and the application feasibility of SRv6 Policy in the financial backbone network was initially verified.

**Key words:** SRv6 Policy, traffic engineering, SLA guarantee, intelligent tuning

收稿日期：2020−06−06；修回日期：2020−08−09

## 1 引言

金融骨干网作为金融机构的总部与数据中心间、数据中心与各分支机构之间的互联网络，网络架构跟随金融业务的发展特点不断演进。现有骨干网很多采用 MPLS 的网络承载方式，但存在协议和运维复杂的问题。同时随着金融行业步入云时代，骨干网面临无法根据不同的业务特点精细化提供不同的网络承载质量、网络带宽成本高、故障收敛慢、网络难以满足云业务快速开通的要求等一系列挑战。

SRv6 作为下一代 IP 网络革命性基础协议，是推动云网融合的利器，符合国家 IPv6 发展战略。SRv6 Policy 因为具有多业务承载能力、路径编程能力、应用编程能力以及控制面和转发面协议简化等优势，是骨干网承载技术的未来发展方向。本文主要分析 SRv6 Policy 的技术原理和优势，研究如何适应金融的业务发展需求，构建基于 SRv6 Policy 的金融骨干网。

## 2 金融骨干网的现状和问题

### 2.1 典型金融骨干网架构

国内金融机构多采用“两地三中心”的建设方案，包括建设同城双中心和异地灾备中心。在互联线路上，同城数据中心之间一般通过租用多个运营商的裸光纤资源，加上波分设备进行互连，骨干网所需物理线路为波分复用线路下的某一条或数条波分通道。异地数据中心采用多个运营商跨省点对点专线进行互通。

图 1 是一个典型的金融骨干网架构的示意图，3 个数据中心分布在 A、B、C 3 个城市。

- 每个数据中心有 2 台 DC-P 设备，3 个数据

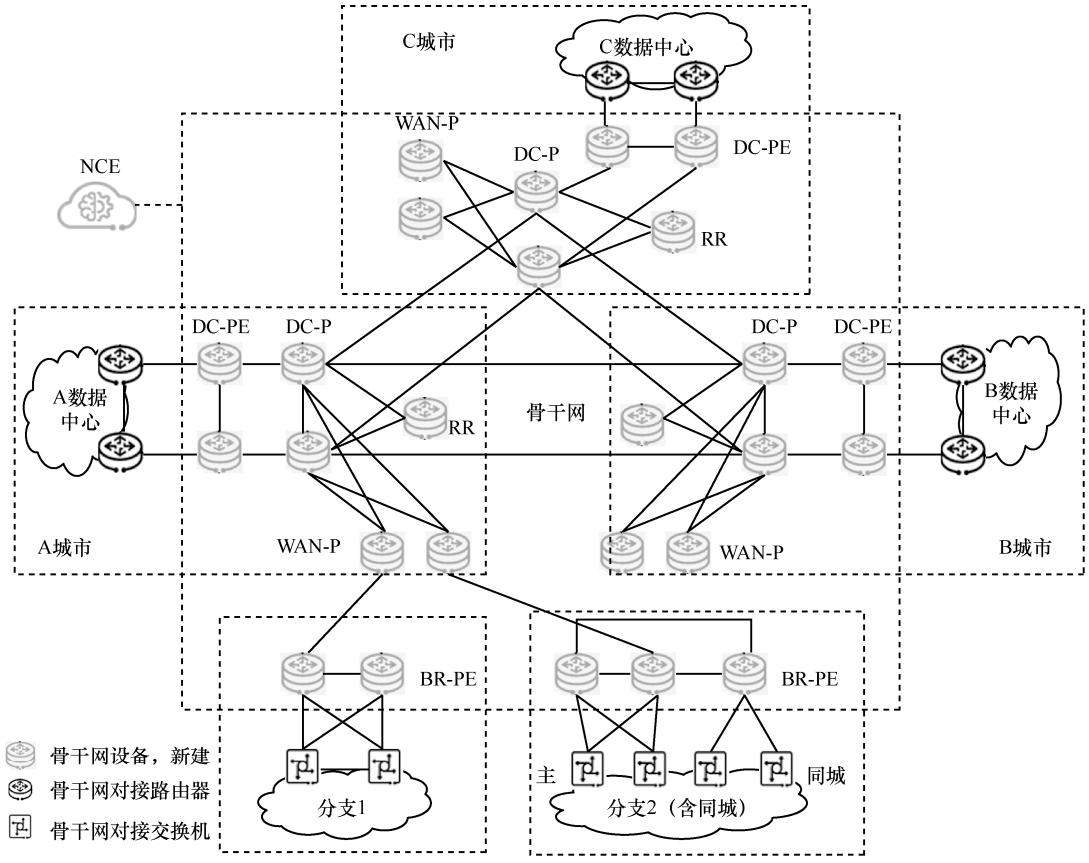


图 1 金融骨干网架构示意图

中心的 6 台 DC-P 设备通过租用的运营商的广域专线组成 2 个三角形环形平面，作为数据中心间的高速互连通道。

- 每个数据中心有 2 台 DC-PE 设备，负责汇聚数据中心、同城机构等业务；每个数据中心有 2 台 WAN-P 设备，用于汇聚一级分行上行广域专线链路。
- 每个一级分行有 2 台（或 3 台）BR-PE 设备，对应分行上行的 2 条（或 3 条）广域专线链路。
- 每个数据中心按需部署 RR 设备（整网最少 2 台），作为整个骨干网的路由反射器，降低 PE 间 BGP 的全连接的要求。
- DC-PE、BR-PE 和数据中心的 DC-CE、BR-CE 设备进行对接，一般采取 option A 的跨域对接方式，降低对 CE 设备的要求。
- 骨干网部署 SDN 控制器，完成骨干网网络管理、承载业务调度等工作。
- 骨干网中的 P、PE、RR 设备和对应的局域链路、城域链路、广域链路组成 1 个 BGP AS 域。

骨干网作为金融业务的承载网在网络中位置相对独立。路由层面各数据中心（或分支）一般会将本地域路由聚合后通过 eBGP 发送给骨干网 PE 设备。而 PE 通过 eBGP 收到这样的路由后，根据提前部署的 VPN 配置转换成相应 VPN 的路由，再将 VPN 路由通过 iBGP 传递给 RR。最后远端 PE 通过和 RR 的 iBGP 邻居学习相应的 VPN 路由。这样完成骨干网承载业务对应的 VPN 路由的学习过程，为反向的流量转发做好准备。

总体上骨干网可以以 PE 设备为核心进行模块扩展：譬如针对数据中心的 DC-PE，当业务量增多，一对 DC-PE 因为容量或维护考虑不方便进行新业务接入时，可以随时再增加一对 DC-PE 接入新的业务。而骨干网两点间业务按 IGP cost 最少有 2 条路径，保障存在业务或节点故障时业务承载有收敛路径。

目前传统上骨干网使用 MPLS VPN 做业务承载，主要承载业务为 IPv4 的 3 层私网业务及少量的点对点 2 层业务；承载隧道也使用传统的 LDP、RSVP-TE、SR-TE 等 MPLS 隧道。

### 2.2　传统隧道承载的问题

由于传统金融骨干网使用 MPLS 隧道做业务承载，在实际运行中存在一些问题。

（1）网络协议多，控制面、转发面协议不统一，运维困难

MPLS 网络运行时涉及的控制面协议多，涉及 BGP、IGP、LDP、TE 等多种基于 IPv4 发展出来的控制协议信令交互，不同协议间有时要考虑交互影响（如需要考虑 IPG 和 LDP 之间的同步），运维复杂，需要考虑的问题多，对维护人员技术要求高。

MPLS 网络转发面为 MPLS 隧道，使用无全局含义的 MPLS 标签作为转发标识，不符合传统的 IP 运维习惯。

（2）业务标识信息少，扩展性差，业务可视效果欠佳

金融骨干网是业务承载网的一种，根据业务和网络解耦的思路不直接看到具体的业务，而是一般采取业务分类的方法将业务归为几个大类后，再在网络中按优先级转发。MPLS 标签中使用 3 bit 的 exp 域来标识业务优先级信息，这样限制了业务归类的种类只能是 8 种，考虑网络自身的协议信令等流量的保障，可用的种类还少于 8 种，这样对于业务的精细化控制和管理带来困扰。

（3）静态配置多，运维复杂，扩展性差

虽然 MPLS VPN 可以使用 LDP 作为承载隧道，但是普通情况下考虑故障保护的可靠性，SDN 调优等场景需要使用 MPLS TE 作为底层承载隧道。需要在网络设备 2 点间静态配置 TE 隧道。基于业务可视、拥塞调优等要求，传统做法是在网络设备 2 点间部署多条同源同宿的 TE 隧道，配置

数量多，造成维护困扰。

而由于2点间需要多条TE隧道，在PE到PE端到端部署TE时，全连接的方式造成TE数量有乘积方式的关系。这样当新增PE节点时，网络中静态配置的TE数量会成倍增长，网络扩展性差。

（4）端到端的故障切换保护策略，配合广域链路，造成业务收敛时间长

使用MPLS TE做承载隧道时，考虑保护效果，TE隧道一般采取TE-HSB的方式做端到端保护倒换，需要配合端到端的BFD等快速检测技术。由于金融骨干网存在异地间的广域专线，考虑运营商线路的稳定性，BFD的端到端检测时间需要配置得比较长，造成整体业务切换时间的拉长。

（5）故障逃生手段复杂，可靠性降低

由于MPLS网络控制面和转发面协议不统一、运维复杂，而金融骨干网承载的业务可靠性要求高、政策性要求高，为此金融骨干网一般需要考虑网络出现未知异常时，依然具有业务逃生的能力。

在使用MPLS TE做基础承载隧道时，逃生隧道有时会选择为LDP。但MPLS TE不具有自动切换LDP的能力，一般在发现全网故障时，手工下发隧道切换指令。虽然可以将相应指令集成在SDN控制器中进行工具下发，但由于需要人感知才切换，且全网出现故障时SDN控制器本身也存在故障可能，这样业务切换时间长，可靠性降低。

## 3 SRv6 Policy的概念、模型与优势

### 3.1 SRv6技术

SRv6（segment routing IPv6，基于IPv6转发平面的段路由）是基于源路由理念而设计的在网络上转发IPv6数据分组的一种协议。SRv6通过在IPv6报文中插入一个路由扩展头（segment routing header，SRH），在SRH中压入一个显式的IPv6地址栈，通过中间节点不断地进行更新目的地址和偏移地址栈的操作来完成逐跳转发。

随着网络的发展，用户希望能够借用IPv6的地址更简单地实现VPN。SRv6技术就是采用现有的IPv6转发技术，通过扩展IPv6报文的头域，实现类似标签转发的处理。SRv6将一些IPv6地址定义成实例化的SID（segment ID），每个SID有着自己显式的作用和功能，通过不同的SID操作，实现简化的VPN以及灵活的路径规划。

未来的金融骨干网络是面向云化和海量连接的智能承载网络，也需要化繁为简，低时延、SDN/NFV化是后续的主要发展方向。

SRv6技术可以给用户带来如下受益。

（1）简化网络配置，更简易地实现VPN

SRv6不使用MPLS技术，完全兼容现有IPv6网络，节点可以不支持MPLS转发，只要支持正常IPv6转发即可。中间transit节点可以不支持SRv6，按照正常路由转发含有SRH的IPv6报文。

（2）提供高保护率的FRR保护能力

在SRv6技术的基础上结合RLFA（remote loop-free alternate）FRR算法，形成高效的TI-LFA（topology-independent loop-free alternate）FRR算法，原理上支持任意拓扑保护，能够弥补传统隧道保护技术的不足。

（3）提供IPv6转发路径的流量调优能力

SRv6 Policy各种服务类型的SID搭配使用，头节点可以灵活规划显式路径，调整对应的业务流量。

### 3.2 SRv6 Policy概念

SRv6 Policy是在SRv6技术基础上发展的一种新的隧道引流技术。SRv6 Policy路径表示为指定路径的段列表（segment list），称为SID列表（segment ID list）。每个SID列表是从源到目的地的端到端路径，并指示网络中的设备遵循指定的路径，而不是遵循IGP计算的最短路径。如果数据分组被导入SRv6 Policy中，SID列表由头端添加到数据分组上，网络的其余设备执行SID列表

中嵌入的指令。

SRv6 Policy 包括以下 3 个部分。

（1）头端：SRv6 Policy 生成的节点。

（2）color：SRv6 Policy 携带的扩展团体属性，携带相同 color 属性的 BGP 路由可以使用该 SRv6 Policy。

（3）尾端（end point）：SRv6 Policy 的目的地址。

color 和 end point 信息通过配置添加到 SRv6 Policy，业务网络头端通过路由携带的 color 属性和下一跳信息来匹配对应的 SRv6 Policy 实现业务流量转发。color 属性定义了应用级的网络 SLA 策略，可基于特定业务 SLA 规划网络路径，实现业务价值细分，构建新的商业模式。

### 3.3　SRv6 Policy 模型

一个 SRv6 Policy 可以包含多个候选路径（candidate path）。候选路径携带优先级属性和 binding SID。优先级最高的有效候选路径作为 SRv6 Policy 的主路径。

一个候选路径可以包含多个段列表，每个段列表携带 weight 属性。每个段列表都是一个显式 SID 栈，段列表可以指示网络设备转发报文。多个段列表之间可以形成负载分担，其模型如图 2 所示。

### 3.4　基于 DSCP 域的 SRv6 Policy 分流

SRv6 Policy 使用 end point + color 作为隧道索引，其中 color 不光可以匹配路由，还可以匹配 IP 报文中的 DSCP。为此在金融骨干网中可以根据业务路由器区分 Policy group，再根据 DSCP 对业务进行精细化分类后，将业务引流入对应的 SRv6 Policy。SRv6 Policy 引流示意图如图 3 所示。

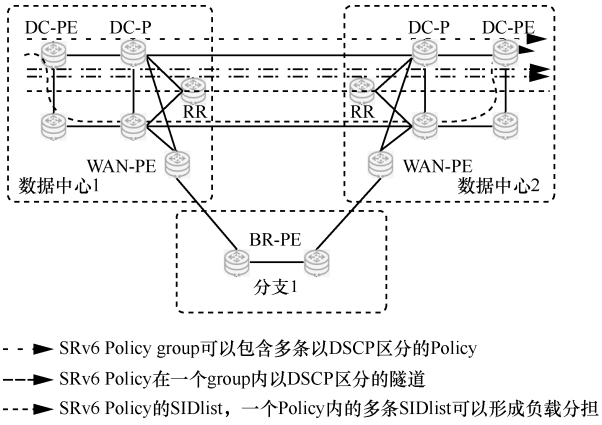


图 3　SRv6 Policy 引流示意图

由图 3 可以看到 SRv6 Policy 的 3 个实体。

（1）Policy group

以远端地域（数据中心或分行）PE 设备接入的 VPN 业务路由配置 color 属性后为索引，并根据对应的 VPN 路由引流入不同的 group。

（2）Policy

在 Policy group 内以 DSCP 对应的 color 属性为索引的隧道实体，并根据 VPN 路由+DSCP 引流入不同的 Policy；一个 Policy 可以对应多个 DSCP；Policy 内初始算路 1 条段列表，根据需要

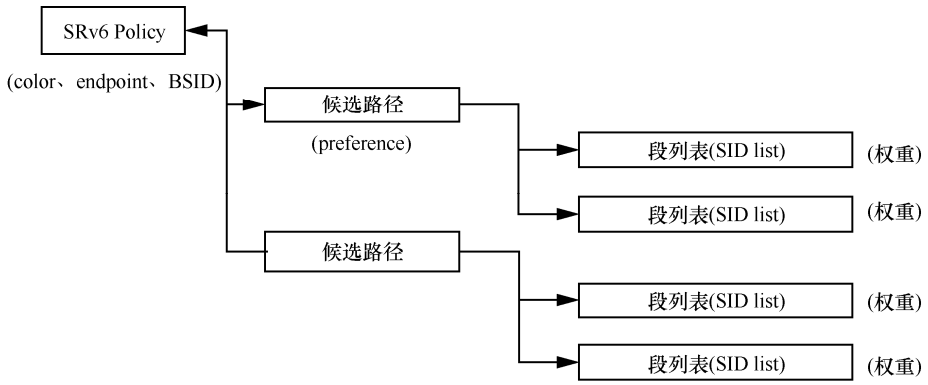


图 2　SRv6 Policy 模型

可以在分裂为经过不同网络路径的多条段列表。

（3）段列表

Policy 内多条段列表按 ECMP/ UCMP 形式承载业务流量，不同的段列表可以经过不同的网络路径。

当将业务流量引流到不同 DSCP 对应的 SRv6 Policy 隧道后，通过了解 Policy 的路径，就可以达到业务（根据 DSCP 和业务的映射）路径可视的效果。根据标准，DSCP 最多有 64 种，与 MPLS 隧道根据 exp 区分的 8 种相比，业务精细化可视效果得到了提高。

## 4 SRv6 Policy 的网络调优技术

随着业务体验要求不断提高，金融骨干网不仅需要保障业务所需的带宽资源，还需要满足业务的时延、分组丢失、抖动要求，因此传统分布式流量工程技术已不能满足现网要求。要想在保障业务 SLA 的情况下获得资源最优配置，必须使用集中式的路径控制方案。SRv6 Policy 基于约束的路径计算，可以给业务提供时延/带宽/路径分离等定制化 SLA 要求的路径，并且支持实时的网络优化。方案的核心是通过基于 SDN 技术的 SRv6 Policy 智能算路，使网络资源分配趋向最优。

### 4.1 网络调优目标

网络调优的目标有 3 种：cost 最优、时延最优、带宽均衡。优化目标是在吞吐量（整网可用隧道的带宽之和）尽量大的前提下，承载流的 cost 尽量小、时延尽量小或者链路利用率均衡度尽量低。调优算法还支持链路可用度与 cost 以及时延组合使用。链路可用度是根据链路正常、故障的时间比得出的，计算式如下：

$$\text{链路可用度}=\frac{\text{总统计时间}-\text{链路故障总时间}}{\text{总统计时间}} \quad (1)$$

算路目标有如下几种（含组合方式）。

（1）最小开销

在所有隧道约束都满足的情况下保证全网 cost 最小，这里的 cost 是指隧道路径的 cost 值，为各链路的 cost 值之和。

（2）最小时延

在所有隧道约束都满足的情况下保证全网时延最小。时延是指隧道路径的 E2E 时延，为各链路的时延之和。

（3）隧道路径可用度+最小开销

在所有隧道约束都满足的情况下保证全网隧道路径可用度之和最大和 cost 最小。

隧道路径可用度=链路可用度（A）×

链路可用度（B）×… （2）

其中，A、B 为隧道上各链路的 ID。

（4）隧道路径可用度+最小时延

在所有隧道约束都满足的情况下保证全网隧道可用度之和最大和时延最小。

（5）带宽均衡

在所有隧道约束都满足的情况下保障全网链路利用率均衡度值最小。

链路利用率均衡度使用标准方差计算公式：

$$\partial=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i-\mu)^2} \quad (3)$$

其中，数值 $x_i$ 为各链路利用率数据，其算数平均值为 $\mu$，标准方差值为 $\partial$。

下面详细介绍基于如上算路目标的拥塞（带宽）越限、时延超限、分组丢失越限场景的网络调优方案。

### 4.2 拥塞调优

SRv6 Policy 拥塞调优可将所有链路的带宽利用率尽量保持在某一阈值之下，平衡网络中链路的带宽利用率，防止个别链路带宽利用率高，减少流量突发时的带宽拥塞。

基于 SDN 控制器，可提前设置拥塞调优触发阈值，当带宽利用率大于阈值时，SDN 控制器会自动触发对越限链路的调优。带宽超限优化（拥塞优化）示意图如图 4 所示。

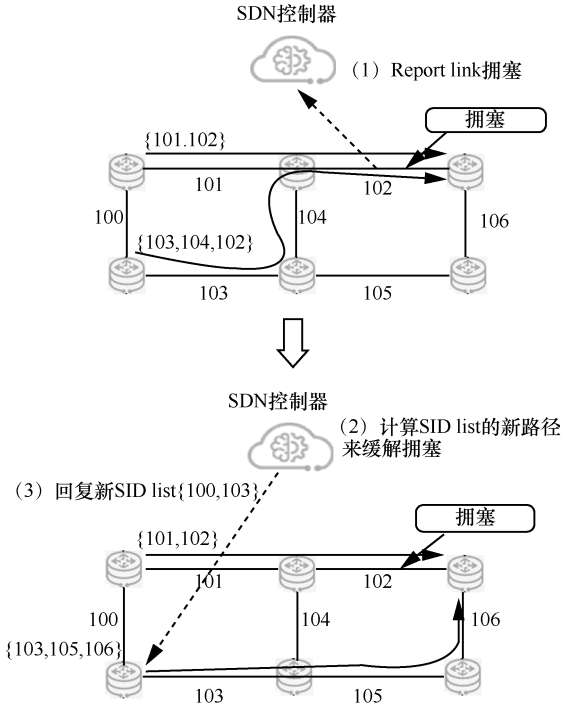


图 4　带宽超限优化（拥塞优化）示意图

### 4.3　时延调优

SRv6 Policy 隧道承载了业务的质量要求，对业务的时延要求来说，需要为隧道设置时延约束，由此计算端到端满足时延要求的路径。链路和节点时延由用户在SDN控制器静态配置或由转发器实时采集，算路单元保证业务的路径时延不超过用户配置的 delay limit，其中路径时延指的是经过的所有链路时延的总和。时延超限优化示意图如图 5 所示，方案实现如下。

（1）在 SDN 控制器设置时延敏感业务的 E2E 时延要求（EVPN/L3VPN）。

（2）转发器通过 TWAMP 检测链路时延，IGP 在区域内泛洪链路时延，通过 BGP-LS 将链路时延上报给 SDN 控制器。

（3）SDN 控制器通过业务的 OAM 检测（iFIT/TWAMP/Y.1731）实时监控业务端到端时延。

（4）当 SDN 控制器感知到业务端到端时延超限后，触发调优模块重新计算可以满足时延要求的新路径。

（5）经过确认（可设置为自动），SDN 控制

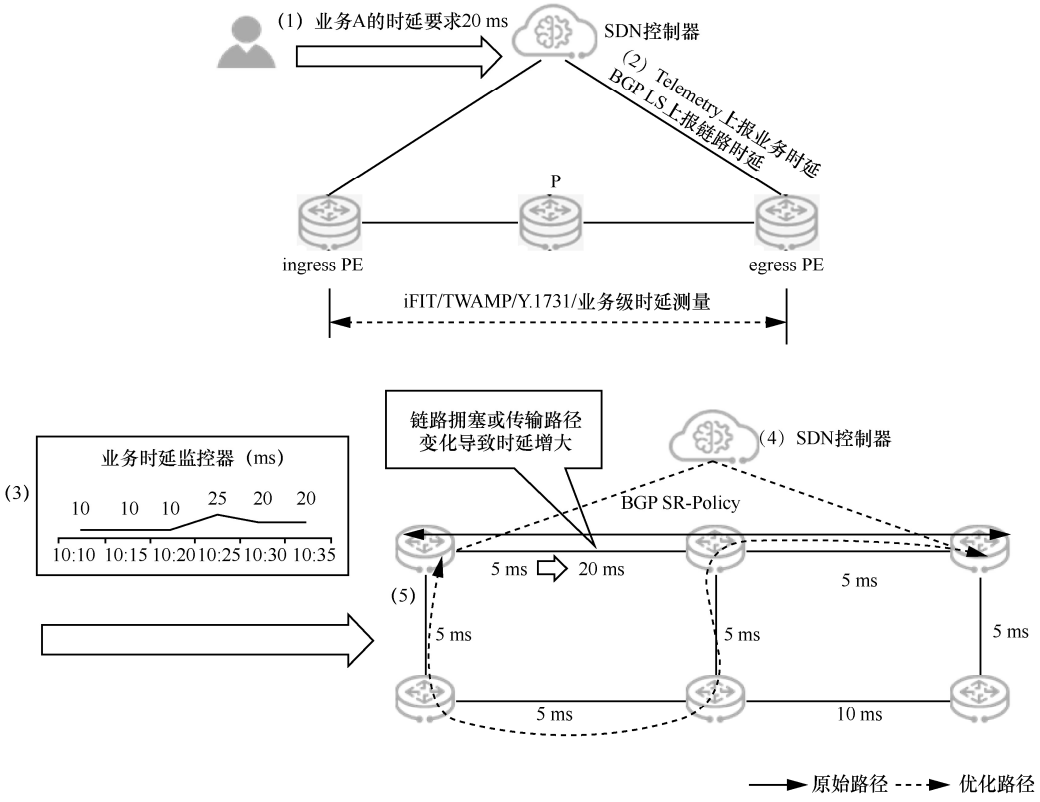


图 5　时延超限优化示意图

器通过 BGP SR-Policy 方式将新路径下发给转发器。

### 4.4 分组丢失率超限调优

分组丢失率超限优化示意图如图 6 所示，分组丢失场景的优化方案如下。

（1）SDN 控制器配置业务的端到端分组丢失率要求，并通过 iFIT 随流检测技术精准获取业务分组丢失率。

（2）当网络发生故障后，通过逐跳的随流检测功能判断分组丢失位置后，将分组丢失位置数据传递给控制器算路单元。

（3）SDN 控制器算路单元在遵循隧道约束的同时寻找一条绕行路径，新路径对业务迭代 SRv6 Policy 隧道进行端到端的重路由，重路由算路时会按照隧道初始 SLA 要求绕行分组丢失链路或节点。

（4）新的路径自动下发给转发设备，完成业务的质差的自动恢复。

## 5 SRv6 Policy 在金融骨干网中的部署

在金融骨干网的 SRv6 Policy 部署中要关注和金融的业务结合，体现 SRv6 Policy 的多业务承载优势、路径约束和调优优势，达到更优承载的目的。

### 5.1 SRv6 Policy 的部署和业务承载

SRv6 Policy 根据业务路由动态创建 Policy 隧道，在部署上一般采取端到端部署的方式承载金融机构的 IPv4、IPv6 三层业务和可能的二层业务，SRv6 Policy 的部署和业务承载如图 7 所示。

骨干网 PE 配置 SRv6 Policy（或 SRv6 Policy group）模板，以便根据业务路由（VPNv4/VPNv6 路由）对应的 BGP color 属性、报文 DSCP 对应的业务特征 color 属性动态创建本端 PE 到远端 PE 的端到端 SRv6 Policy 隧道。

SRv6 Policy 隧道建立后，用户网络中的 IPv4 业务、IPv6 业务和二层业务在骨干网中使用 BGP EVPN 方式承载，并进一步承载在 SRv6 Policy 隧道上，以便利用 SRv6 Policy 的路径控制、VPN 承载等相关能力。

骨干网 PE 设备和下挂网络的 CE 设备间运行 eBGP 路由协议（或静态路由、IGP 路由协议）交

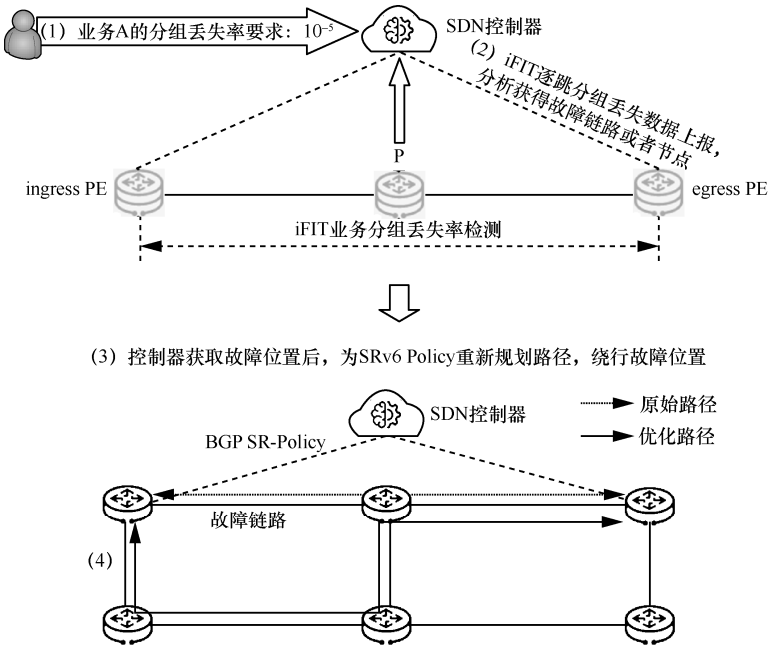


图 6 分组丢失率超限优化示意图

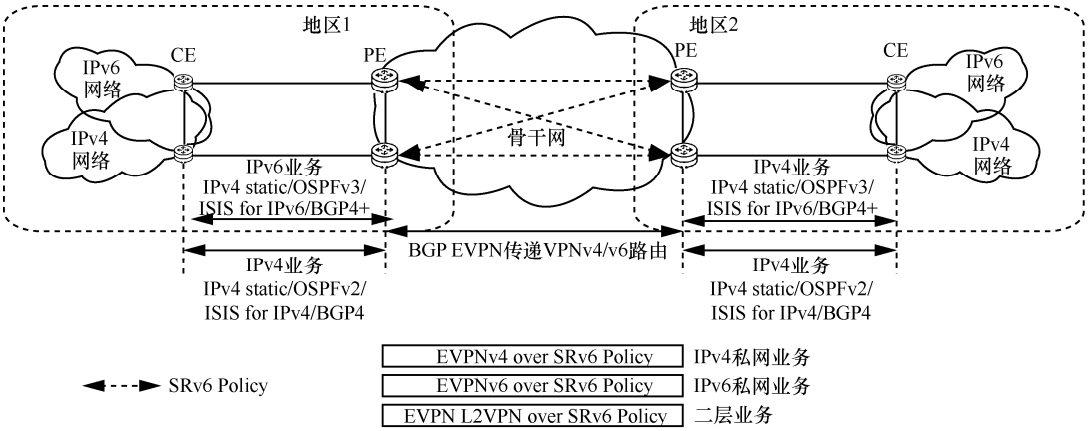


图 7　SRv6 Policy 的部署和业务承载

互业务路由，并进一步在骨干网上转换成 iBGP 的 VPN 路由在本端 PE 和远端 PE 间交互。

### 5.2　基于 SRv6 Policy 的带宽拥塞避免网络自动调优过程

SRv6 Policy 在金融骨干网中应用网络调优功能时，一种实现思路是默认业务流量在骨干网中按 cost 最短路径方式转发，但在路径出现拥塞风险达到调优门限时，将拥塞路径上的 Policy 隧道中的部分业务流量由SDN控制器自动算路后调整到其他路径。下面以链路拥塞为例进行说明，金融骨干网络应用网络调优的过程如图 8 所示。

（1）SDN 控制器感知到链路上业务带宽存在拥塞风险达到调优门限（如达到链路带宽的 80%）。

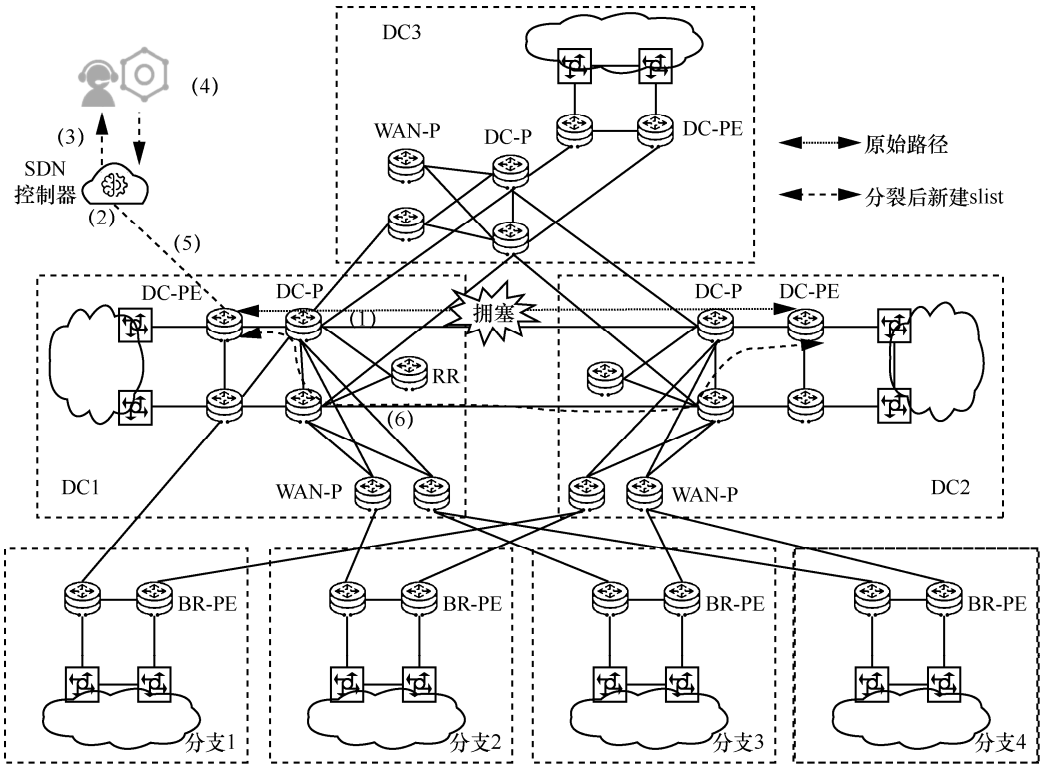


图 8　金融骨干网络应用网络调优的过程

（2）SDN 控制器启动调优，为拥塞链路上经过的 SRv6 Policy 隧道重新计算各段列表的权重，通常情况是把拥塞链路上的段列表权重降低，调高其他路径上的段列表权重；当初始段列表都在一条路径而无法简单调整权重时，进行某些隧道的路径分裂，即创建新的段列表，并分配恰当的权重。

（3）（可选）SDN 控制器将计算好的调优路径向运维人员进行呈现。

（4）（可选）确定调优结果，运维人员向 SDN 控制器下发调优确认执行指令。

（5）SDN 控制器将新的段列表相关信息下发给转发器。

（6）转发器根据 SDN 控制器下发的指令按照 Make-Before-Break 的原则更新段列表，并按 weighted-ECMP 的方式调整不同段列表承载流量的权重。

上述过程中第（3）步和第（4）步应该是可选的过程，即可以在 SDN 控制器上开启相关开关选项，以便选择跳过第（3）步和第（4）步的运维人员确定过程达到全自动的网络调优目的。

### 5.3 基于 SRv6 Policy 的规划路径手工路径调整调优方法 1：手工调整 SRv6 Policy 的流量路径

出于维护的考虑，金融机构在骨干网上有根据业务类型规划业务路径的需求。如在有不同运营商专线的情况下，将生产业务规划在中国联通专线上，但在生产业务流量有突发性增长，并可能造成专线链路带宽拥塞，进而引起生产业务数据丢失的风险时，需要将部分生产业务流量按比例调整到其他运营商链路上。

图 9 中给出了一个实际的举例：假定生产业务正常时流量带宽 400 Mbit/s，但在购物节期间生产业务流量可能会增加到 700 Mbit/s，此时希望在中国联通专线保持 400 Mbit/s 的流量，而在中国电信专线上分担 200 Mbit/s 的流量，在中国移动专线上分担 100 Mbit/s 的流量。下面描述调优的具体过程。

（1）SDN 控制器感知到链路上业务带宽存在拥塞风险，达到调优门限。

（2）SDN 控制器告警通知运维人员需要进行网络调整。

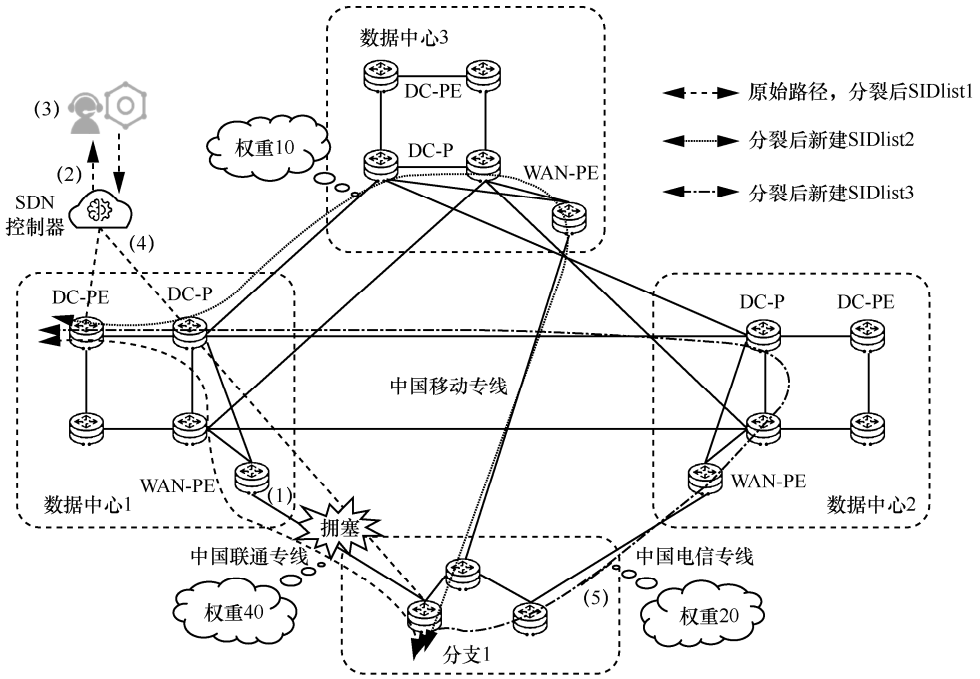


图 9　手工调整流量路径示意图

（3）运维人员规划网络路径，发现可以将部分流量分担到电信和移动专线，则向 SDN 控制器下发 SRv6 Policy 隧道分裂指令：隧道分裂成 3 条 segment list，其中经过联通专线的权重为 40，电信专线权重为 20，移动专线权重为 10，并定义对应 segment list 必须经过的链路和节点以便约束其路径。

（4）SDN 控制器将新的 segment list 相关信息下发给转发器。

（5）转发器根据 SDN 控制器下发的指令按照 Make-Before-Break 的原则更新 segment list，并按 Weighted-ECMP 的方式调整不同 segment list 承载流量的权重。

经过这些步骤后，生产业务则可以按照预期将 700 Mbit/s 的流量按权重分担到 3 条不同专线上。

### 5.4　基于 SRv6 Policy 的规划路径手工路径调整调优方法 2：手工调整流量的 DSCP

因为 SRv6 Policy 支持根据报文 DSCP 对应的 color 做索引引流，所以可以通过提前规划部署经过不同路径的 SRv6 Policy（不同 Policy 和不同 DSCP 对应），而在需要调优时调整部分业务流 DSCP 值来达到方法 1 中所要达到的目的。调整 DSCP 示意图如图 10 所示。

（1）运维人员通过 SDN 控制器提前为生产业务规划 3 条 SRv6 Policy，并规划经过 3 条不同的路径，其中实线 SRv6 Policy 规划走中国联通专线，对应 DSCP 为 AF41（即 AF4 的实线流）；点划线 SRv6 Policy 规划走中国电信专线，对应 DSCP 为 AF42（即 AF4 的点划线流）；虚线 SRv6 Policy 规划走移动专线，对应 DSCP 为 AF43（即 AF4 的虚线流）。

（2）SDN 控制感知到链路上业务带宽存在拥塞风险达到调优门限。

（3）SDN 控制器告警，通知运维人员需要进行网络调整。

（4）运维人员通过控制器上的网络分析工具，发现可以将生产业务部分流量分担到中国电信和中国移动专线上，则在 PE 设备上启用复杂流分类（即 ACL）将部分生产流量的 DSCP 修改为 AF42 和 AF43（假定生产流量原始 DSCP 为 AF41）。

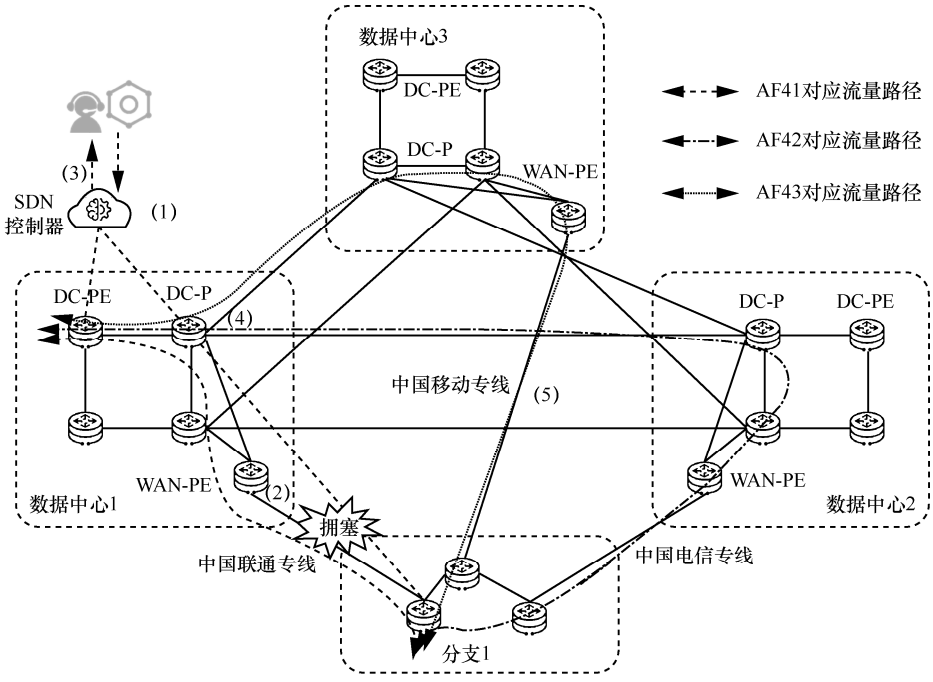


图 10　调整 DSCP 示意图

（5）PE 设备转发流量时按修改后的 DSCP 将生产流量分担到实线、点划线、虚线 3 条经过不同路径的 SRv6 Policy 上。

上述步骤描述了通过修改报文 DSCP 值的方式进行网络调优的一个基本过程，如果设备本身支持 QoS 标准中的 2 桶 3 色 CAR 算法，则第 4 部可以通过提前配置 2 桶 3 色 CAR 的方式实现，如按下面的示例实现报文的 DSCP 修改：

car cir 400M pir 600M green pass yellow pass service-class af4 color yellow red pass service-class af4 color red

意思是配置 car 的 cir 为 400 Mbit/s，pir 为 600 Mbit/s，400 Mbit/s 以下流量直接通过，不做报文修改（保持原始 DSCP 为 AF41）；400~600 Mbit/s 的流量经过 CAR 限速后按 2 桶 3 色算法为黄色报文，不丢弃，允许通过，但这部分流量 QoS 级别为 AF4，颜色为黄色（AF42）；超过 600 Mbit/s 的流量经过 CAR 限速后按 2 桶 3 色算法为红色报文，不丢弃，允许通过，但这部分流量 QoS 级别为 AF4，颜色为红色（AF43）。

## 6 SRv6 Policy 的优势

金融骨干网使用 SRv6 Policy 技术，与传统 MPLS 网络相比具备如下优势。

- 转发面、控制面简化：SRv6 Policy 源于 SRv6，转发面、控制面都统一为 IPv6，控制面只需要 BGP 和 IGP，相对于 MPLS 网络信令协议数量有很大简化。
- 业务标识信息多，弹性可扩展：SRv6 Policy 引入 color 的匹配方式，允许通过 DSCP 来区分隧道，相对于 MPLS 的 exp，业务区分的精细化程度更高；且 color 允许其进一步发展匹配更多的信息（如更多的 IP 报文字段、SLA 信息等），满足业务的端到端需求，对业务最终体验负责，支持灵活、智能的多种方式引流，以满足不同业务的服务体验。
- 隧道自动创建，自动化部署：传统 TE Tunnel 以静态人工规划为主，SRv6 Policy 根据业务动态，按需自动化创建为主，方便扩展。
- 全面的局部保护切换，网络故障收敛快：相对 MPLS TE 使用 TE-HSB，需要进行端到端的故障检测拉长了保护切换时间，SRv6 Policy 一般配合 TI-LFA 和 mirror SID 技术，仅需要进行局部故障检测，提高了故障收敛速度。
- 更可靠的逃生手段：SRv6 Policy 相对于 MPLS TE 不需要部署额外的逃生手段，在网络出现未知异常时可以退化为更成熟的 IPv6 转发，保障业务连续运行。

## 7 结束语

金融骨干网当前面临传统 IP/MPLS VPN 的网络转型，而金融骨干网具有网络规模大、广域专线数量多、业务可靠性要求高、调优诉求多等特点。SRv6 Policy 的优势和进一步发展正好契合金融骨干网的诉求，可预见地将会在金融骨干网中得到越来越多的应用。

## 参考文献：

[1] FILSFILS C, DUKES D, PREVIDI S, et al. IPv6 segment routing header (SRH): RFC8754[S]. 2020.

[2] FILSFILS C, CAMARILLO P, LEDDY J, et al. SRv6 network programming: draft-ietf-spring-srv6-network-programming-05[Z]. 2020.

[3] FILSFILS C, PREVIDI S, GINSBERG L, et al. Segment routing architecture: RFC8402[S]. 2018.

[4] 吴林泽, 樊勇兵, 黄志兰, 等. 面向数据中心异构 SDN 的网络协同编排平台设计与实现[J]. 电信科学, 2018, 34(11): 139-147.
WU L Z, FAN Y B, HUANG Z L, et al. Design and implementation of network collaborative orchestration platform for heterogeneous SDN in data center[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(11): 139-147.

[5] SAJASSI A, AGGARWAL R, BITAR N, et al. BGP

MPLS-based ethernet VPN: RFC7432[S]. 2020.

[6] 陈鼎, 张涛, 刘可, 等. 网络重构城域网数据中心化解决方案[J]. 电信科学, 2018, 34(7): 23-34.
CHEN D, ZHANG T, LIU K, et al. Network reconstruction metropolitan area network data centralization solution[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(7): 23-34.

[7] 王江龙, 雷波, 解云鹏, 等. 云网一体化数据中心网络关键技术[J]. 电信科学, 2020, 36(4): 125-135.
WANG J L, LEI B, XIE Y P, et al. Key technologies of cloud-network integrated data center network[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(4): 125-135.

[8] FILSFILS C, SIVABALAN S, VOYER D, et al. Segment routing Policy architecture. draft-ietf-spring-segment-routing-Policy-06[Z]. 2020.

[9] DAWRA G, FILSFILS C, RASZUK R, et al. SRv6 BGP based overlay services. draft-ietf-bess-srv6-services-01[Z]. 2020.

[10] LITKOWSKI S, BASHANDY A, FILSFILS C, et al. Topology independent fast reroute using segment routing. draft-ietf-rtgwg-segment-routing-ti-lfa-01[Z]. 2020.

[11] 蒋多元, 陈海雄. 云数据中心集群间网络性能优化的探讨[J]. 电信科学, 2015, 31(5): 138-142.
JIANG D Y, CHEN H X. Discussion on optimization of network performance between cloud data center clusters[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(5): 138-142.

[12] 陈楠, 樊勇兵, 何晓武, 等. 面向应用的云数据中心网络技术研究[J]. 电信科学, 2014, 30(9): 128-132, 144.
CHEN N, FAN Y B, HE X W, et al. Research on application-oriented cloud data center network technology[J]. Telecommunications Science, 2014, 30(9): 128-132, 144.

[13] 李丹, 刘方明, 郭得科, 等. 软件定义的云数据中心网络基础理论与关键技术[J]. 电信科学, 2014, 30(6): 48-59.
LI D, LIU F M, GUO D K, et al. Software-defined cloud data center network basic theory and key technologies[J]. Telecommunications Science, 2014, 30(6): 48-59.

[14] ZHOU T, LI Z, LEE S, et al. Enhanced alternate marking method. draft-zhou-ippm-enhanced-alternate-marking-04[Z]. 2020.

[15] SONG H, LI Z, ZHOU T, et al. In-situ flow information telemetry framework. draft-song-opsawg-ifit-framework-11[Z]. 2020.

[作者简介]

**祖立军**（1986– ），男，中国银联股份有限公司技术总监，主要研究方向为物联网支付、边缘计算、数据中心网络、云计算等。

**袁航**（1987– ），男，中国银联股份有限公司工程师，主要研究方向为数据中心网络、网络运维管理等。