



专题:SDN & NFV

基于 BGP 增强的流量调度技术

罗雨佳, 欧亮, 莫志威, 唐宏

(中国电信股份有限公司广州研究院, 广东 广州 510630)

摘要:介绍了运营商流量调度领域的发展趋势,概括了运营商 IP 网络的主要流量调度需求,分析了现网基于 BGP 的流量调度技术存在的问题,提出了一种基于 SDN 的集中式流量调度方案。该方案对现有 BGP Flowspec 协议进行了增强,避免了逐个设备的路由策略配置,并可兼容传统 BGP 路由协议,为传统运营商提供了一种更为灵活的流量调度控制方法。

关键词:流量调度;BGP;智能管道

中图分类号:TP393

文献标识码:A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016113

Flow scheduling technology based on BGP extended protocol

LUO Yujia, OU Liang, MO Zhiwei, TANG Hong

Guangzhou Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China

Abstract: A novel centralized flow scheduling scheme based on software defined networking (SDN) was proposed. The existing problems of current flow scheduling method based on BGP were analyzed, and a new scheme was proposed. In the scheme, the BGP Flowspec was enhanced to avoid reconfiguring the related routers one by one, and hence the network management was simplified and a more flexible flow scheduling method was provided. The proposed scheduling scheme is compatible with the traditional BGP, which matches the trend of current industry and solves some of the problems in traditional BGP scheme.

Key words: flow scheduling, BGP, smart pipe

1 引言

随着大型 ICP 业务发展的多样化,各类业务流量增长迅猛,规律难循。在传统 IP 网络架构下,由于网络工程建设节奏与流量增长存在时间差,使得运营商网络出现流量分布不均衡、资源利用率低等问题,造成用户部分业务体验变差。在工业和信息化部“提速降费”政策的驱动下,如何在进行网络扩容的同时,对现有网络资源进行有效利用,降低网络拥塞程度,是运营商正在探索的方向。

IP 网络流量智能调度技术是缓解现有网络拥塞、保证

网络资源集约化利用、提供带宽差异化运营的重要前提,也是宽带智能管道建设中提升用户体验的重要支撑手段。现有流量调度方法主要有两大类,分别是 native IP^[1]和 MPLS-TE^[2]。native IP 通过调整传统路由协议(IGP, BGP)的路由权重/属性,或者下发 ACL 策略,从而改变特定流量的路径。由于 native IP 手段少,无法应对个性化需求和复杂的拓扑设计,并且不能实现端到端流量调整,因此产生了 MPLS-TE 技术。MPLS-TE 技术通过流量标记与隧道技术,实现对特定流量的端到端路径控制,但会话与隧道数量巨大,会带来复杂的管理配置问题。

收稿日期:2016-02-20;修回日期:2016-03-15

现阶段, 基于 SDN 的集中式流量调度技术是业界的研究热点。通过部署基于 SDN 的集中式控制器, 实现 IP 网络全局流量可视化, 使业务流量得到优化调度。部分运营商和大型 ICP (internet content provider, 网络内容服务商) 已开始应用该技术, 并考虑逐步对网络架构进行升级, 打造更加灵活的智能网络。

德国电信提出了改进 OSS、控制平面局部集中化、网络模型化配置等多项目标。NTT 已实现传统设备与 OpenFlow 设备的互通, 并实现了转发控制。Google 利用 OpenFlow 技术自行开发网络交换设备, 使用集中式机制管理和调度其全球数据中心间的广域网链路^[3]。腾讯在数据中心内通过自主研发的 SRP^[4]路由协议实现流量集中调度; 在广域网中, 通过 SDN 控制器提供集中式业务流量规划和 QoS 管理。

当前, 实现 IP 网络流量智能调度的方法主要有 2 种: 基于特殊协议的调度以及基于现有协议改进的调度。上文提到的 OpenFlow、SRP 等均属于特殊协议。考虑到传统网络演进和互联互通等问题, 现阶段电信运营商不能采用类似 SRP 的私有协议; 而 OpenFlow 芯片支持的流表数较少 (几千到几万条), 没有能够大规模商用的路由器, 是否能在运营商 IP 网运用还有待讨论。因此, 对于运营商来说, 利用现有路由控制协议的改进方案来实现智能流量调度是较为可行的。

本文首先介绍运营商的总体流量调度需求, 随后分析现有路由控制协议在流量调度场景方面的不足, 提出一个基于 BGP 增强的流量调度方案, 最后给出了方案的实际应用。

2 流量调度需求

基于 SDN 的集中式网络流量调度方案具有较高的可实现性, 技术相对成熟, 除了 OpenFlow 以外, 还有多种控

制器与网络交互协议可供选择, 存在大量流量调度需求。按业务来分, 流量可分为网络控制流量、语音、视频、其他数据; 按区域来分, 可分为广域网、城域网、DC 间、DC 内; 按流量颗粒度来分, 可分为表 1 中的几种调度类型。

表 1 基于颗粒度的流量调度类型

调度类型	调度粒度	传统调度方法
9 元组	极细	厂商私有方法; 思科 NBAR 等
5 元组	精细	ACL
业务级	中等	ACL+IGP, BGP
城域网/DC	粗	BGP/IGP
广域网	宏观	BGP/IGP

利用 SDN 控制器的开放网络能力, 可以实现流量的精确实时调度, 优化网络资源配置。依据质量、路由等现网数据, 通过集中式修改路由配置, 提供更为灵活的流量优化能力, 降低网管人员的运维复杂度。

目前运营商主要有两种流量调度需求, 具体如下。

(1) 基于用户/业务的永久性流量调度

这是一种针对特定用户/业务, 为其提供差异化服务的调度方式, 该方式能够保障用户的网络使用体验。差异化保障是永久性的, 流量调度目标不会随着网络资源的变化而轻易改变。

对于海外内容的流量访问, 由于访问路径物理距离较长, 路径质量好坏往往会导致几十甚至上百毫秒的时延差, 针对不同等级的用户/业务进行差异化路径选择是有必要的。

如图 1 所示, 在运营商骨干网国际网段, A、B、C、D 均为运营商海外 POP 点, 属于同一个 AS 自治域。用户 1、用户 2、用户 3 需要从澳大利亚悉尼访问中国香港资源, 根据用户签约内容和等级的不同, 用户的路径可以不同。

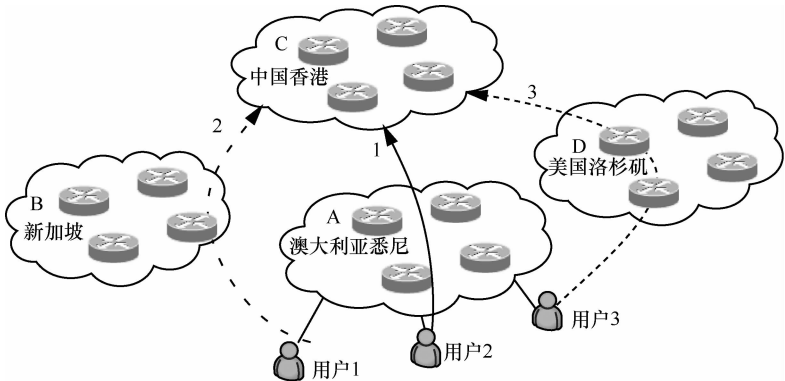


图 1 差异化永久性流量调度



- 用户 1 使用澳大利亚悉尼→中国香港的直连路径,该路径质量指标好,时延小且分组丢失少,时延在 160 ms 左右。
- 用户 2 使用路径澳大利亚悉尼→新加坡→中国香港,该路径时延小(130 ms 左右),但有可能发生拥塞,造成路径质量下降。
- 用户 3 使用路径澳大利亚悉尼→美国洛杉矶→中国香港,该路径距离远,时延相对较大。

由于国际网段的海外 POP 点是运营商自己的可控设备,该场景下的差异化永久性流量调度支持单、双向调整,具体调整方向要根据业务进行决策。

(2) 基于网络实时状态的临时性流量调整

由于网络业务流量的高速发展与网络建设周期存在时间差,运营商骨干网/城域网/IDC 存在流量分布不均、部分链路负载大,而部分链路利用率低的情况。另外,网络流量存在突发性问题,在节假日、特殊/大型活动期间,流量的爆炸式增长给传统 IP 网络带来了很大压力。因此,根据实时路径质量检测情况,及时对质量劣化路径进行临时性流量调整,也是运营商的一大需求。当节假日或大型活动结束,流量逐渐恢复正常后,被临时调走的流量再调回原有路径。

临时性流量调度需求涵盖的区域广泛,广域网、城域网、IDC 都有类似的调度需求。如图 2 所示,A、B 是运营商骨干网的核心设备,C、D 是汇聚设备。设备 C 下联多个 E 省的城域网/IDC,设备 D 下联多个 F 省的城域网/IDC。E 省和 F 省的城域网/IDC 间相互通信时,路由协议选择的最优路径是 C-B-D;而当 C-B-D 链路的某处发生拥塞时,需要将流量以城域网为单位疏导到利用率较低的 C-A-D 链路。

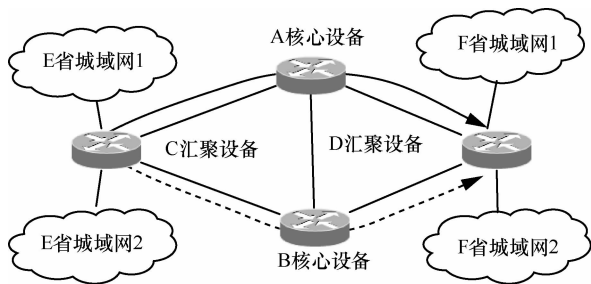


图 2 临时性流量调整

同样,该场景下的流量是双向可调的,具体是否需要双向调整根据业务需求决定。

3 现有 BGP 流量调度存在的问题

运营商现有的流量调度需求大多涉及跨域场景(如广

域网、城域网间、DC 间),需要使用针对此类场景的 BGP 进行路由控制。BGP 除了提供路由信息交换能力,还提供丰富的路由策略,给予网络管理人员多种手段进行流量调度;然而,基于现有 BGP 的流量调度方法仍然存在一些问题。

3.1 传统 BGP 的选路方法

BGP 是自治域间的动态路由协议^[5],使域内设备能够获得其他自治域的网络层可达信息(network layer reachability information,NLRI)。BGP 使用 TCP 建立邻居关系,要求邻居可达,不要求直连。BGP 邻居通常叫做对等体。对等体间通过交换路由通告,实现跨域路由信息的传递。路由通告是由 update 消息承载的,该消息用于宣告此前没宣告过的可行路由,或者宣告路由的撤销。update 消息包含 NLRI 和路径属性。

路径属性用于表明一个路由器所宣告路由的某种特性,可用于设定路由规则,以便于流量调度。目前 BGP 及其扩展协议定义了 16 种路由属性,本文仅介绍如下常用的几种。

- next_hop:描述了某个目的 IP 地址的下一跳地址。
- local_pref:用于调整本地 AS 出方向的流量。当本地 AS 有多条去往其他 AS 的同一目的 IP 地址的路由时,local_pref 值最高的作为优选路由存入路由表。
- MED:用于调整本地 AS 入方向的流量。本地 AS 有多个入口,向外部宣告路由信息时携带 MED 值,MED 值低的路由优先级高,因而外部流量会从 MED 值最小的路由对应的入口进入本地 AS。
- AS_path:记录路由信息传递过程所经过的 AS 号。例如一条 update 消息从 AS100,途径 AS200,到达 AS300,该路由的 AS_path 为{300, 200, 100}。若路由器收到多条相同目的 IP 地址的路由信息,在其他路由属性相同的情况下,AS_path 最短的路由为优选路由。
- community:一个路由集合的标识符,标识了一组路由通告。RFC1997^[6]规定 community 有 4 byte,格式为 AA:NN。AA 是 AS 号,NN 是自定义标识符。

如果 BGP 路由器收到同一个目的 IP 地址的多条路由通告,它只会选择一条最优路由放入路由表。BGP 有一套选路规则,按顺序对 BGP 路由属性和参数进行比较,从而最终确定一条最优路径。

3.2 传统 BGP 选路存在的问题

目前,基于 BGP 的流量调度主要存在以下 3 个问题。

(1) 缺乏统一的可视化流量管控方式

每个区域的网管系统相对独立,从其他区域传入的问题路由可能导致本区域的流量路径改变或网络拥塞。由于缺乏区域间中继链路的流量、端口的性能(时延、分组丢失等)和策略路由信息,本地网管往往需要花费大量精力排查问题。

(2) 流量控制手段单一落后

基于 BGP 的流量调度主要依靠路由策略和策略路由。路由策略改变路由表,从而影响流量路径;策略路由不改变路由表,但不按照现有路由表转发流量,而是指定其他路径。这两种方式都需要人工手动逐个设备进行配置,或通过下发命令行 CLI 的方式进行配置,配置过程复杂且容易出错。现有流量控制手段跟不上层出不穷的网络应用发展。

另外,有一些流量调度需求仅仅依靠路由策略/策略路由是难以实现的。比如,在传统 BGP 提供的 RR(路由反射器)机制中,RR 仅反射距离其最近的路由,该路由不一定是源和目的地址间距离最近的路由,从而导致次优路由的产生。如图 3 所示,用户从中国香港访问新加坡运营商网络,从源和目的地址间物理距离的角度看,从中国香港直接到新加坡 POP 点的距离最短。然而,RR 会收到两条到达新加坡运营商的路由:一条从新加坡 POP 点发出,一条从上海节点发出,RR 需要选择一条最优路由放入路由表。由于 RR 仅反射离它最近的路由,且一般离中国大陆节点更近,因此会将途径上海的路由作为最优路由反射给中国香港,从而产生绕路问题。

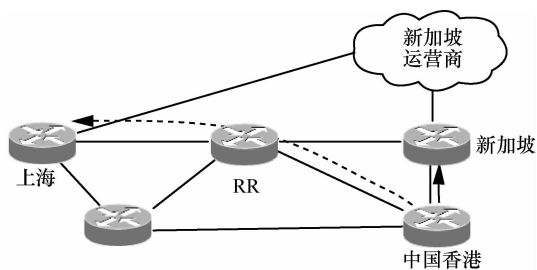


图3 传统RR机制导致次优路由产生

(3) 流量颗粒度大

由于传统 BGP 只能匹配目的 IP 地址,无法进行更精细化的路由控制;而针对用户/业务的精细化流量调度需求往往要求协议能够对源 IP 地址,甚至 5 元组进行匹配。此时,需要在路由器上配置策略路由,下发 ACL;然而,每个设备支持的 ACL 条目数量有限,特别对于爆发式增长

的公众客户流量,很难做到大范围的细颗粒度流量调控,无法提供精细化流量控制。

各大厂商有一些私有的流量控制方法,提供了更多的匹配字段用于精细化流量分类,但由于互通性、普适性等问题,这些方案没有得到大规模应用。

近年来,BGP 增强(BGP Flowspec,BGP-FS)协议得到了业界重点关注。该协议的提出是为了解决网络 DDoS 攻击问题,用于对流量进行精确匹配和过滤。BGP-FS 支持多达 12 个匹配字段,可以实现流量的细颗粒度管理。经过多年发展,业界开始探索 BGP Flowspec 除安全性以外的其他适用场景。本文基于 BGP Flowspec 进行了扩展,提供了一种智能流量调度方案。

4 基于 BGP 增强协议的流量调度方案

现有 BGP 存在问题有待解决,为了更好地运行和维护运营商网络,需要进行协议扩展。提出了一种基于 BGP 增强协议的 SDN 流量调度方案。

4.1 总体架构

总体思路是根据流量采集获得流量、流向信息。根据实际流量情况自动分配网络资源,动态按需调整,达到充分利用网络带宽的目的。动态周期性采集及调整可以应对流量变化,特别是突发事件(如短期的公众盛事、网络临时故障等)。本方案采用全局集中算路机制实现统一资源分配、全局优化和集中控制。总体架构如图 4 所示,SDN 控制器主要由如下 3 个模块构成。

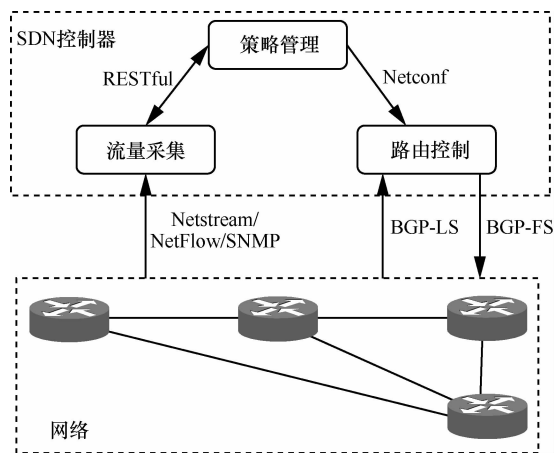


图4 方案总体架构

- 流量采集模块: 周期性采集并聚合流信息和链路流量统计信息,按照策略管理模块的策略进行流量分析。



· 策略管理模块:一方面向流量采集模块下发流量分析策略;另一方面从流量采集模块获得分析后的待调整流量信息,根据网管目标做出流量调整决策,并向路由控制器下发策略。

· 路由控制模块:通过 BGP-LS(BGP linkstate)从网络收集拓扑信息,根据策略计算路径并向网络下发 BGP-FS 路由,使流量能够调整到新计算的路径上。

SDN 控制器可以和传统 RR 共存,控制器仅计算和控制需要调整的流,提高控制器发出的 BGP-FS 路由优先级,可以保证控制器对流量的优先控制权。

与现网流量调度模式相比,本架构能够提供统一的可视化流量管控方式,消除分布式控制容易产生的多点协同和维护复杂性问题。另外,SDN 控制器可以收集 IGP metric 等丰富的网络信息,帮助优化路由计算过程,防止产生次优路由问题。

4.2 BGP-FS 改进

SDN 控制器通过下发增强版 BGP-FS 路由来影响路由表,从而对特定流量进行调度。通过新增 BGP 路由属性,在协议内携带路由策略,实现策略随路扩散。与现网流量调度方法相比,BGP-FS 能够带来如下两大好处。

- 现网设备还未大规模使用 Flowspec 协议,目前流量调度颗粒度仍然较粗。使用 Flowspec 协议可以匹配细颗粒度流量,这是原有 Flowspec 协议(RFC5575^[7])带来的好处。
- 对 Flowspec 协议的增强可以实现路由策略随路扩散,而不需要逐台设备人工配置,提供了更为灵活、安全性更高的流量调度方法。
- 本方案在 BGP-FS 的基础上进行了改进^[8]。首先,修改了 BGP-FS traffic-action 字段。在 RFC5575 中,该字段只定义了第 46 bit 和 47 bit,其余 6 bit 作为保留位,现在对第 45 bit 进行了定义——route policy distribution flag (R 位),当该位被设定时,表示 BGP-FS 路由作为路由策略使用,如图 5 所示。路由表中,与 Flowspec 路由相匹配的路由条目需要执行相应的 action,对该条目进行某些改动。

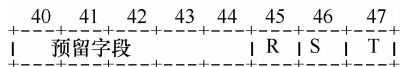


图 5 BGP-FS traffic-action 字段

另外,本方案新增了一个 BGP 路由属性——BGP policy attribute,格式如图 6 所示。

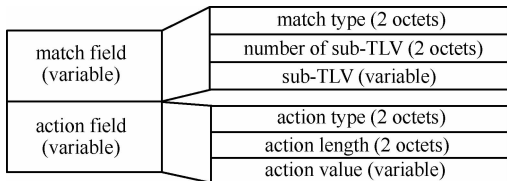


图 6 BGP policy 路由属性格式

match field 字段用于设定 BGP policy 属性匹配规则, action field 字段用于定义匹配后的路由操作,各自由 3 个字段组成。

- match type:有两种匹配类型,为 0 时,与 BGP policy 属性相匹配的路由需要执行 action field 的内容;为 1 时反之。
- number of sub-TLV:sub-TLV 个数。
- sub-TLV:用于指定路由匹配规则,长度可变,支持 IPv4、IPv6 等多种协议类型。
- action type:action 类型,目前已定义 2 种类型,分别是针对出流量调整的 route-preference 和针对入流量调整的 route-prepend-AS。route-preference 使本地流量从某一个选定的出口路由器流出本地 AS, route-prepend-AS 使外部流量从某一个优选路由器进入本地 AS。
- action length:action value 的总长度。
- action value:action 使用的参数。

以入流量调度为例说明本方案用法,如图 7 所示。

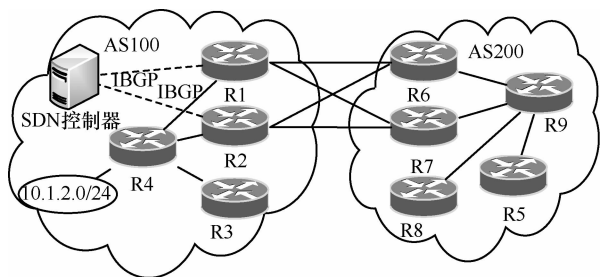


图 7 AS100 的入流量调度

经过策略管理模块判断,从 AS200 到前缀 10.1.2.0/24 的流量应该走链路 R6-R2 进入 AS100。SDN 控制器与边界路由器 R1、R2 建立 IBGP 邻居关系,设置 R 位,并向这两个路由器下发 BGP Flowspec 路由。BGP Flowspec 的 NLRI 中,目的 IP 地址被设为 10.1.2.0/24。BGP policy 属性的设置如下。

- match type:1,deny。
- sub-TLV:本地 BGP 路由器 R2、对等体 R6。

- action type:route-prepend-AS。
- action value:重复 5 次 AS 号。

R2 收到该路由后,找出路由表中的目的 IP 地址为 10.1.2.0/24 的最优路由,将该路由与 BGP policy 属性的 sub-TLV 进行匹配,匹配成功,但由于 match type 为 deny,不对本路由进行任何操作。

R1 和 R3 收到该路由后,操作步骤同上,但由于与 BGP policy 属性匹配不成功,需要对 R1 和 R3 上的最优路由执行 action 操作,即将 AS_path 中的 AS 号重复 5 次,增加 AS_path 长度,使得途经 R1 和 R3 的路由优先级被降低,从 AS200 到 10.1.2.0/24 的流量就会选择 R6-R2 的路径。

本方案相当于给目标设备输入一个新的路由策略,针对同一条路由,可能设备上已经部署过路由策略,但本方案的路由策略优先级设得更高,设备优先根据新路由策略进行处理。本方案提供的路由策略使用了更灵活的策略定义,所定义的策略可能与原有的 BGP 路由策略相同,也可能有差异。由于使用了集中式的控制方式,本方案能够使流量调度更为方便。

5 实际应用

5.1 应用场景和目标

本文提出的流量调度方案在广东省进行了落地部署。如图 8 所示,广东省有八大城域网、一个 IDC 平台。目前城域网间的流量经过骨干网进行转发,城域网与 IDC 平台的流量通过直连链路连接,这两种跨域场景的链路下行压力较大。现在建立了一个省内转发平台,分别在广州和深圳各自部署 2 台华为高性能设备,通过华为提供的 SDN 控

制器对骨干网流量进行疏导,实现省内流量的定制优化和个性化调整。

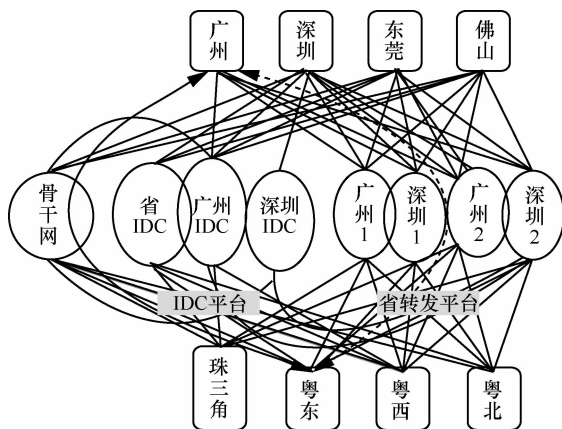


图 8 广东省网流量调度场景

方案的应用目标如下：

- 骨干网、城域网、IDC 的流量可视化；
- 通过转发平台,引导特定业务流量,实现高端客户差异化服务；
- 提供能力实现全网链路级均衡,减少拥塞链路占比。

5.2 方案部署

SDN 流量调度平台可以与八大城域网、省转发平台和 IDC 平台相连,根据具体的流量调度目标,与相关设备建立 EBGp 或 IBGP 关系。同时,SDN 流量调度平台与 OSS 相连进行信息交互。

如图 9 所示,SDN 流量调度平台由如下 4 个部分组成。

- 流量可视化模块:用于向网络运维人员提供可视化人机交互界面。

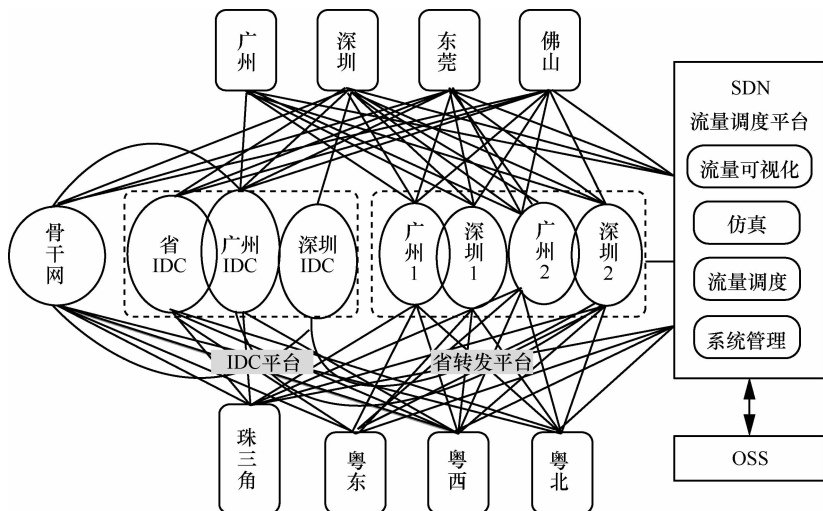


图 9 部署示意图



- 仿真模块:用于对流量调度策略进行模拟仿真,验证调度效果。
- 流量优化模块:负责流量采集分析、业务调度策略管理和路由计算,以 BGP Flowspec 作为南向接口。
- 系统管理模块:用于对整个流量调度平台进行管理。

5.3 方案实现

通过城域网到 IDC 的流量调度案例,介绍在广东省的具体实现方法。由于广东省城域网与 IDC 通过直连链路相连,该链路容易发生拥塞,导致用户体验下降,现通过省转发平台中转,可以对部分流量进行疏导,流量路径如图 10 中虚线所示。

使用传统 BGP 流量调度技术时,由于协议只能匹配目的 IP 地址,流量调优往往以整个城域网为单位进行调整,颗粒度较大,且容易导致其他链路的拥塞问题。本方案中,BGP-FS 可以对源 IP 地址和目的 IP 地址同时进行匹配,实现精细化流量控制。

SDN 控制器通过汇总流量采集信息,分析出需要进行路径调整的 TopN 流量,针对这些流量,在深圳城域网设备上上进行出流量控制。默认状态下,在深圳出口设备的 BGP 路由表中,最优路由的下一跳是 IDC 设备。为了改变流量路径,SDN 控制器与深圳出口设备需要建立 IGBP 连接,通过下发 BGP-FS 增强路由,在路由中携带 TopN 流量的源和目的 IP 地址,并设定 route-preference action,使深圳出口设备选择下一跳为省转发平台的路由作为优选路由,从而将 TopN 流量引导到省转发平台。流量到达省转发平台后,就可按照传统路由顺利地转发到 IDC 中,实现细颗粒度流量调度。

本方案可以通过集中的可视化控制器对城域网

间、城域网和 IDC 间的流量进行路径调整,达到了预期目标。

6 结束语

本文概括了运营商 IP 网络的主要流量调度需求,分析了现网 BGP 流量调度方法存在的几大问题,提出了一种基于 SDN 的集中式流量调度方案。该方案对现有 BGP Flowspec 协议进行了增强,为网络管理人员提供了一种更为灵活的流量调度方法。最后,介绍了方案在广东省网的实际应用。

后期的工作主要包括以下几个方面:首先,因本文提出的 BGP Flowspec 增强方案较新,开发尚未完成,缺乏足够的后期评估和验证,需要通过大量的实验验证,给出方案在现网中的适用场景;其次,在流量采集信息汇总方面存在一定困难,目前运营商全网涉及多家流量采集厂商,各厂商彼此独立,流量采集时间间隔、汇聚颗粒度、格式等难以实现统一,需要一个多厂商流量信息汇总机制;最后,针对流量特点,需要对流量分析策略进行更加系统性的制定。从流量聚合颗粒度、聚合类型等方面给出一套流量分析准则。

参考文献:

- [1] FORTIZ B, THORUP M. Internet traffic engineering by optimizing OSPF weights [C]//The Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies(INFOCOM 2000), March 26-30, 2000, Tel Aviv, Israel. New Jersey: IEEE Press, 2000: 519-528.
- [2] KOHLERS, BINZENHOFER A. MPLS traffic engineering in OSPF networks—a combined approach[J]. Teletraffic Science

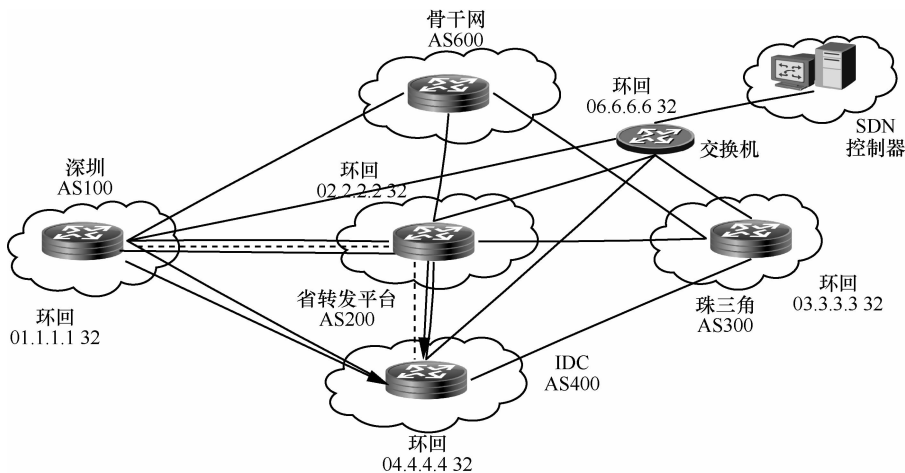


图 10 部署拓扑示意

and Engineering, 2003(5): 21-30.

- [3] JAIN S, KUMAR A, MANDAL S, et al. B4: experience with a globally-deployed software defined WAN [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2013, 43(4): 3-14.
- [4] 丘子隼, 邹贤能. 腾讯 IDC 网络路由协议 SRP 解析 [J]. 程序员, 2013(6):65-67.
QIU Z J, ZOU X N. The analysis of sequoia routing protocol in Tencent IDC network[J]. Programmer, 2013(6): 65-67.
- [5] IETF. A border gateway protocol 4 (BGP-4): RFC4271[S]. 2006.
- [6] IETF. BGP communities attribute: RFC1997[S]. 1996.
- [7] IETF. Dissemination of flow specification rules : RFC5575[S]. 2009.
- [8] IETF. BGP flowspec extensions for routing policy distribution (RPD): draft-li-idr-Flowspec-rpd-01[S]. 2015.

[作者简介]



罗雨佳(1989-),女,中国电信股份有限公司广州研究院数据通信研究所工程师,主要从事 IP 承载网络技术、SDN/NFV 技术相关研究等工作。



欧亮(1968-),男,博士,中国电信股份有限公司广州研究院高级工程师,长期从事电信网络规划设计、互联网新技术研究与应用工作。



莫志威(1989-),男,中国电信股份有限公司广州研究院数据通信研究所工程师,主要从事 IP 网络技术研究和开发工作。



唐宏(1974-),男,中国电信股份有限公司广州研究院数据通信研究所所长,主要从事 IP 承载网、下一代互联网、网络新技术方面的研发与管理工作。