



IPv6 应用通道过渡技术部署关键问题及组网研究

张届新,徐文华,张坚平

(中国电信股份有限公司上海分公司 上海 200085)

摘要:分析了在下一代互联网过渡技术部署下实现电信运营商应用通道业务所面临的关键问题;基于不同的业务实现模型和技术实现难度,研究并对比了过渡技术部署下的应用通道多种组网方案;最后,提出了应用通道业务在过渡技术部署下的演进策略。

关键词:应用通道;过渡技术;地址组转换路由器;宽带远程接入服务器;深度分组检测;轻型双栈;会话

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.12.017

Study on the Key Issues and Networking of Application Channel in the Case of IPv6 Transitory Technique Implementation

Zhang Jiexin, Xu Wenhua, Zhang Jianping

(Shanghai Branch of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200085, China)

Abstract: Some key issues of the application channel were analyzed in the case of IPv6 transitory techniques implementation. Then several networking plans were studied and tested based on different service models. Finally, relative solutions to the issues and implementation policies were provided.

Key words: application channel, transitory technique, address family transition router, broadband remote access server, deep packet inspection, dual stack lite, session

1 引言

2011年2月3日,全球互联网IP地址相关管理组织发布声明,现有互联网IPv4地址已于当天分配完毕,IPv4地址总库已经枯竭。之后,电信运营商纷纷启动了下一代互联网推进工作。

中国电信股份有限公司上海分公司(以下简称上海电信)一直在跟踪下一代互联网相关标准、技术发展和设备演进,10余年来通过国家、集团的各类示范项目和现场试验积累了丰富的网络建设和运维经验。2012年上海电信参加了国家发展和改革委员会提出的下一代互联网规模商用项目,对家庭网关、接入网、IP承载网络、IP支撑系统、IT系统等进行了下一代互联网过渡技术支持能力摸查

和相关改造,为下一代互联网规模商用奠定了基础。

但是,在下一代互联网演进过程中,网络改造仅是基础,更重要的是网络之所承载业务的平滑迁移。尤其是上海电信的一些特色创新业务,更需要及早研究其在下一代互联网演进中的实现方案,以保证业务质量和用户体验。

应用通道是上海电信2012年先后面向公众客户及政企客户提供的宽带业务,不仅是城市光网高价值应用填充,而且拓展了与城市光网合作联盟的后向合作。因此,应用通道在下一代互联网部署下,能否保障原有的业务质量和客户体验是当前亟需研究解决的课题。

2 应用通道方案实现现状

应用通道是指在传统上网通道之外的、用于承载有带

宽保证需求业务的独立通道。应用通道业务主要定义了两类：一类是上下行带宽都需要保证的应用；另一类是只有单向(上行或下行)带宽需要保证的应用。具体可以细分为 3 种：仅上行带宽需要保证的业务，如大文件上传；仅下行带宽需要保证的业务，如大文件下载或在线互联网视频；双向带宽都需要保证的业务，如可视通信等。

应用通道现网采用 BRAS (broadband remote access server, 宽带远程接入服务器) 设备的 ACL (access control list, 访问控制列表) 技术, 根据用户访问的不同目的 IP 地址定义不同的业务管道, 对用户上下行应用通道和上网通道进行区分。涉及的主要现网设备包括 BRAS、RADIUS (remote authentication dial in user service)。

3 过渡技术部署下的应用通道实现方案

上海电信目前主要部署了两种过渡技术，分别是公网双栈(以下简称双栈)和 DS-Lite (dual stack lite, 轻型双栈)。

双栈过渡技术就如同在 IPv4 协议栈上叠加一个 IPv6 协议栈, 两者平行工作, 互不干涉。

DS-Lite 过渡技术是一种轻量级的双栈技术，也包含 IPv4 和 IPv6 两种协议栈。其中, IPv6 协议栈全网穿透, 而 IPv4 协议栈则在 DS-Lite 的 B4 (basic bridging broadband element, 基本桥宽带单元) 网关处进行 4o6 (IPv4 over IPv6) 隧道封装(通常 B4 在家庭网关上实现), IPv4 报文在 IPv6 隧道中传送至 DS-Lite 的 AFTR (address family transition router, 地址组转换路由器) 网关后, 进行隧道解封封装并通过 NAT (network address translation, 网络地址转换) 功能完成 IPv4 私网地址到 IPv4 公网地址的转换。在具体部署时, DS-Lite 过渡技术有两种部署方式：一是集中式部署, 即 AFTR 以独立式设备部署, 如上海电信现网旁挂在 IP 城域网汇聚路由器上的 AFTR 设备；二是分布式部署, 即以 AFTR 在现有城域网设备上插入相关功能卡的方式实现, 如 BRAS 插卡式 DS-Lite 部署方式。

因此，应用通道业务从 IPv4 网络向下一代互联网迁移，需要考虑这两种过渡技术部署的影响和相关解决方案。

3.1 双栈部署下应用通道的实现方案

由于应用通道业务模型实质上是一种用户模板, 即用户策略实现 “ACL+限速”。在双栈部署下，一般 IPv4 和 IPv6 报文属于一个 session (会话), 如果 IPv4 和 IPv6 能够

在一个用户策略中实现, 则可提供双栈的应用通道业务。

双栈应用通道的实现原理为: BRAS 将用户流量按照预定义的 IPv4_ACL 和 IPv6_ACL 进行流分类; 将分类后的若干 IPv4、IPv6 流量绑定至一个通道; 对通道进行限速; 将若干个通道绑定至用户模板(区分上下行); 将用户模板与用户绑定。

从上述双栈应用通道实现原理可以看出, 双栈应用通道与单栈应用通道的区别在于: 增加了 IPv6_ACL 的匹配; 增加了通道中多绑定 IPv6_ACL 匹配的流量。

根据 IPv4、IPv6 特定应用需要保障的精细化程度, 双栈应用通道可以分为 5 种模型, 见表 1~表 5。

表 1 双栈应用通道业务模型 1

通道(上下行)	应用分布
通道 1	IPv4 应用保障流、IPv6 应用保障流
通道 2	其他 IPv4 流、其他 IPv6 流

在表 1 所示的双栈应用通道业务模型 1 中, 用户双栈流量划分为 2 个通道, 每个通道中都有 IPv4 和 IPv6 的混合流量。其中, 通道 1 中是需要进行质量保障的 IPv4 应用和 IPv6 应用混合流量; 通道 2 中是其他不需要保障的 IPv4 和 IPv6 应用流。

表 2 双栈应用通道业务模型 2

通道(上下行)	应用分布
通道 1	IPv4 应用保障流
通道 2	IPv6 应用保障流
通道 3	其他 IPv4 流、其他 IPv6 流

在表 2 所示的双栈应用通道业务模型 2 中, 用户双栈流量划分为 3 个通道。业务模型 2 与业务模型 1 的区别在于: 业务模型 2 对需要保障的 IPv4 和 IPv6 应用流量进行了通道细分, 将 IPv4 应用保障流和 IPv6 应用保障流分别用不同的逻辑通道承载。

表 3 双栈应用通道业务模型 3

通道(上下行)	应用分布
通道 1	IPv4 应用保障流和 IPv6 应用保障流
通道 2	其他 IPv4 流
通道 3	其他 IPv6 流

在表 3 所示的双栈应用通道业务模型 3 中, 用户双栈流量划分为 3 个通道。其中, IPv4 和 IPv6 需要保障的应用流共享 1 个逻辑通道; 无需保障的 IPv4 和 IPv6 流量分别独享 1 个逻辑通道。



表4 双栈应用通道业务模型4

通道(上下行)	应用分布
通道1	IPv4 应用保障流
通道2	IPv6 应用保障流
通道3	其他 IPv4 流
通道4	其他 IPv6 流

在表4所示的双栈应用通道业务模型4中,用户双栈流量划分为4个通道。其中,IPv4需要保障的应用流、IPv6需要保障的应用流共享1个逻辑通道;无需保障的IPv4应用流和无需保障的IPv6应用流分别独享1个逻辑通道。

表5 双栈应用通道业务模型5

通道(上下行)	应用分布
通道1	IPv4 应用保障流
通道2	IPv6 流
通道3	其他 IPv4 流

在表5所示的双栈应用通道业务模型5中,用户双栈流量划分为3个通道。其中,IPv4需要保障的应用流独享1个逻辑通道;无需保障的IPv4流独享1个逻辑通道;所有IPv6应用流共享1个逻辑通道。

总体而言,模型1和模型3中IPv4、IPv6共享应用通道;模型2和模型4中IPv4、IPv6独享应用通道;模型5只对IPv4应用通道流量进行区分,对IPv6流量不进行区分保障。根据客户业务精细化细分及IPv4应用通道客户无感知升级为IPv6部署的要求,原则上双栈应用通道需要分别保障IPv4和IPv6两个需要保障的应用,即模型2和

模型4。但考虑到今后IPv6流量与IPv4流量需要分别统计、计费,从而为将来IPv4、IPv6可能的差异服务提供基础,模型4为最理想的双栈应用通道实现方案。

对上述业务模型,本文在实验室对主流BRAS设备的双栈应用通道支持能力进行了测试。实验室验证测试的组网拓扑如图1所示。

实验室测试结果表明,主流BRAS设备对双栈应用通道的支持能力有所差异。在功能方面,个别BRAS设备无法实现业务模型4,因其目前无法支持IPv6独享应用通道,而只能支持模型5,即IPv6流量不进行区分保障。在性能方面,测试仪仿真了6000个宽带用户同时拨号上线的情况,BRAS配置相关业务模型,均可以实现双栈应用通道策略有效实施,且对BRAS性能无影响;单个宽带用户可以支持至少IPv4和IPv6各1000条应用通道策略,满足宽带用户丰富且多样化的互联网内容访问需求。

3.2 DS-Lite 部署下应用通道的实现方案

由于DS-Lite过渡技术中,IPv4报文在B4和AFTR之间是封装在IPv6隧道中的。因此,对于DS-Lite部署场景下的应用通道而言,IPv6报文经过BRAS,BRAS设备可以直接对用户启用应用通道策略;但IPv4报文封装在IPv6隧道中,BRAS设备无法匹配出封装在其中的用户访问的IPv4业务,从而对IPv4的应用通道无法实现流分类。所以,类似双栈方式直接在IPv4 ACL基础上增加IPv6 ACL并限速的方案,无法在DS-Lite方式下部署。

综合考虑DS-Lite的技术特点、应用通道实现现状以

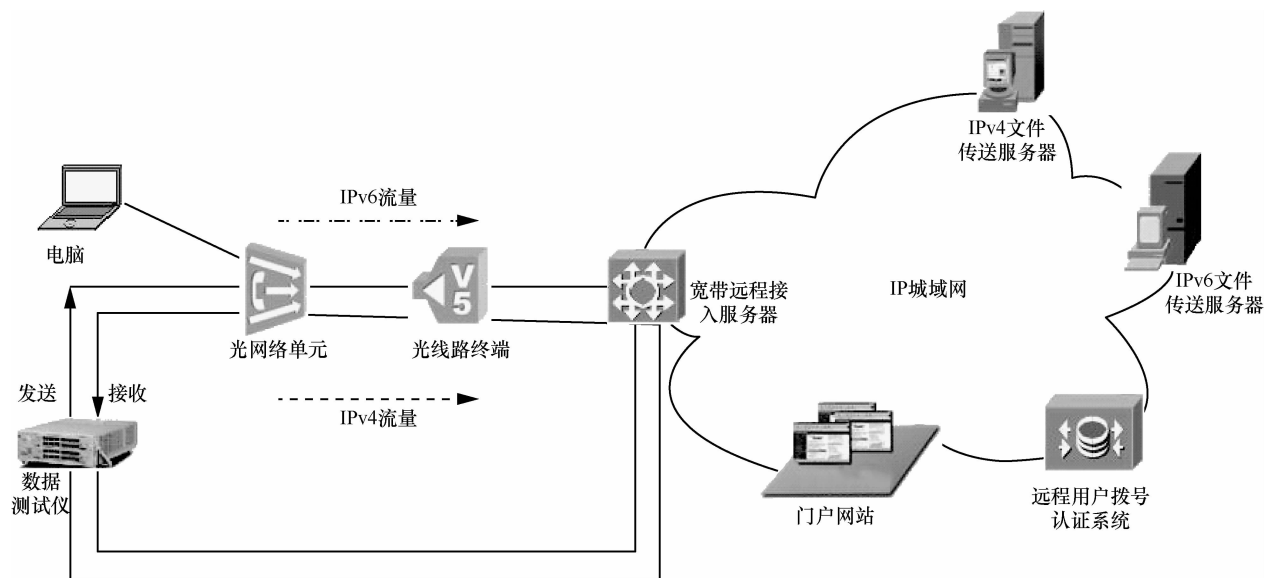


图1 实验室验证双栈应用通道实现方案的组网拓扑

及 IP 网络组网现状,可以有多种可能的 DS-Lite 应用通道实现方案。

3.2.1 集中式 AFTR 部署下的应用通道实现方案

在集中式 AFTR 部署下,双栈应用通道业务模型 4 的应用通道实现方案理论上有 4 种,具体介绍如下。

(1) 直接开启 IPv4 应用通道

直接开启 IPv4 应用通道是指在集中式部署的 AFTR 上,基于 IPv4 地址按需进行 ACL 控制,组网拓扑如图 2 所示。方案实现原理如下。

- IPv6 流量在 BRAS 处直接实施应用通道用户策略。
- B4 将 IPv4 的流量封装在 IPv6 隧道中,AFTR 将流量进行解封装。
- AFTR 配置应用通道策略模板并直接应用。
- IPv4 与 IPv6 的应用通道在两个设备上实现。

本方案实施存在两个问题:一是下联的所有用户在 AFTR 上只有隧道信息,无法生成用户会话,从而无法识别用户,因此策略模板无法应用到每个用户接口,只能加载在整个物理端口上;二是需要部署的集中式 AFTR 支持此功能。

(2) 利用 QoS 位的应用通道方案

利用 QoS 位实现的应用通道方案如图 3 所示,主要原

理如下。

- 应用通道业务在 IDC(Internet data center,互联网数据中心)出口路由器上,即为数据直接打上 QoS 位。
- AFTR 在由城域网核心向用户的下行方向,将公网 IPv4 的 QoS 位映射至隧道 IPv6 地址的 QoS 位。
- BRAS 配置针对 QoS 位的应用通道策略(隧道流量)。
- IPv6 直接配置上下行 ACL 策略,实现应用通道。

本方案实施存在两个问题:一是与现有应用通道业务模式不同,IPv4 流量只能实现用户下行方向应用通道业务,上行无法实现对用户 QoS 的信任;二是需要 AFTR 设备支持映射功能。

(3) IPv4 流量迂回至 BRAS 开启应用通道

通过将 IPv4 流量迂回至 BRAS 开启应用通道的方案,如图 4 所示。实现原理如下。

- B4 将 IPv4 的流量封装在 IPv6 隧道中,AFTR 将 4o6 隧道流量解封装。
- 域网通过 AFTR 映射后的用户公网 IPv4 地址,将用户的 IPv4 流量重新引流至 BRAS 侧,AFTR 需规划每台 BRAS 对应的 NAT 公网 IP 地址。
- AFTR 将用户的 NAT 信息与 BRAS 进行同步,BRAS 通过用户的“公网 IP 地址+port”重新建立用户会话,

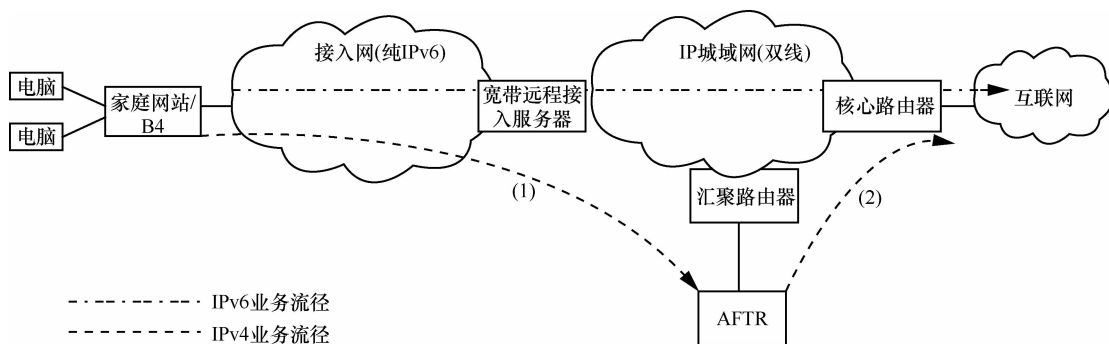


图 2 直接开启 IPv4 应用通道的组网

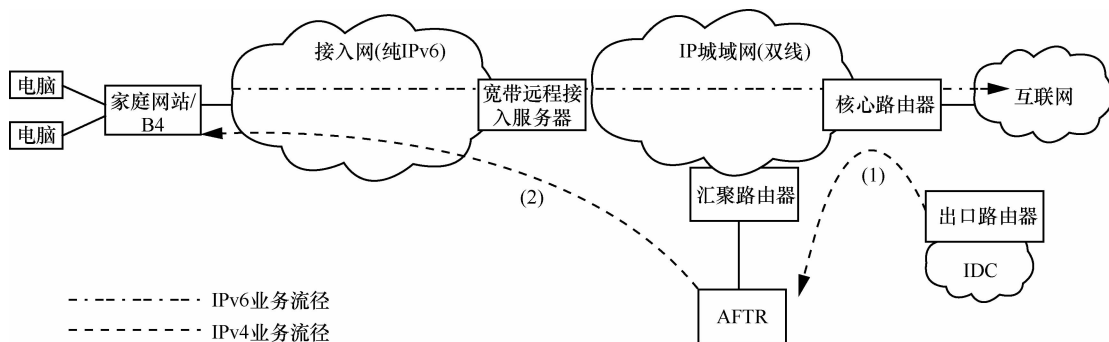


图 3 利用 QoS 位的应用通道组网



再通过对应的 IPv6 地址将用户的 IPv4 session 和 IPv6 session 建立对应关系。

- BRAS 将应用通道的策略模板应用至每个用户接口。
- IPv4 与 IPv6 的应用通道在一个设备上实现,但在 2 个会话中。

本方案实施存在两个问题:一是 BRAS 无法基于“IP 地址+port”重建会话,映射 IPv4/IPv6 的对应关系较复杂;二是 AFTR 设备需要提供 BRAS 与 AFTR 的信息同步能力,对于 BRAS 设备和 AFTR 设备属于不同厂商的情况,目前一般无法提供同步。

(4) 基于 DPI(深度分组检测)实现 DS-Lite 应用通道

基于 DPI 实现 DS-Lite 应用通道主要有两大类,分别为基于独立式 DPI 方案和基于插卡式 DPI 方案,如图 5 所示。

基于独立式 DPI 实现的 DS-Lite 应用通道方案原理如下。

- BRAS 配置实现 IPv6 的应用通道。
- AFTR 与 BR 间部署 DPI 设备,可通过两种方式判断用户流量是否需进入应用通道:一是 DPI 检测出 AFTR 流量,识别 AFTR 转换后的公网 IPv4 流量,并

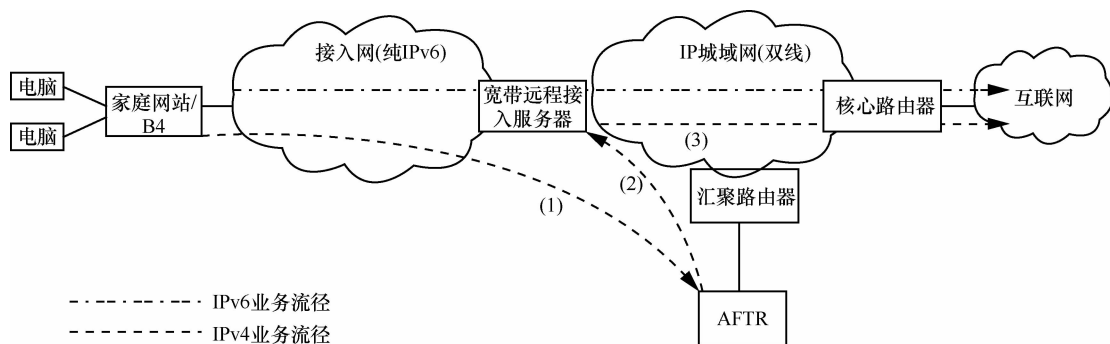
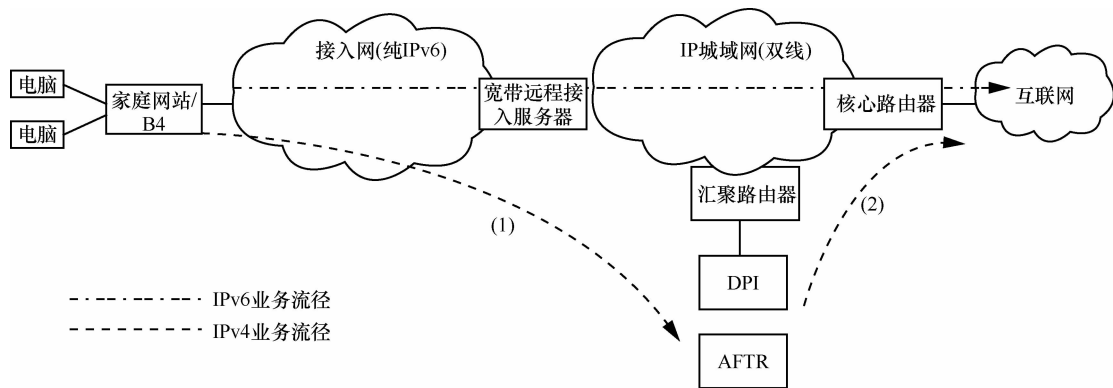
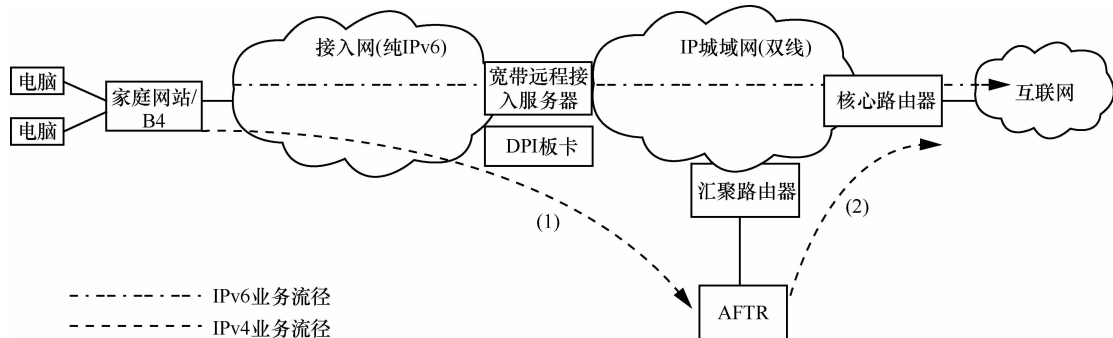


图 4 IPv4 流量迁回至 BRAS 开启应用通道的组网



(a) 基于独立 DPI



(b) 基于 BRAS 插卡 DPI

图 5 基于独立式 DPI 和基于插卡式 DPI 实现 DS-Lite 应用通道的组网

通过 AFTR 的“IPv4+port”识别用户,该方式存在的问题是 DPI 需要开发通过“IPv4+port”识别用户的功能;二是 DPI 检测进入 AFTR 流量识别隧道中的各个用户 IPv4 流量,再识别其访问的目的地址,该方式存在的问题是 DPI 需要开发通过检测 IPv6 隧道中的 IPv4 目的地址进行限速的功能。

- IPv4 的应用通道带宽设置由 DPI 完成。

基于独立式 DPI 方案的性能较好,但实现复杂。

插卡式 DPI 实现的 DS-Lite 应用通道包括 BRAS 插卡式 DPI 和 AFTR 插卡式 DPI 两种,实现原理如下。

- BRAS 配置实现 IPv6 的应用通道。
- IPv4 应用通道由插卡式 DPI 实现,包括识别 IPv6 隧道中的 IPv4 目的地址和限速实施。BRAS 新增 DPI 板卡方案是指 BRAS 将应用通道用户的会话和发往 AFTR 的流量引至 DPI 板卡,DPI 板卡识别隧道中的 IPv4 流量后,进行每个用户的应用通道策略下发。其优点是功能实现简单且 BRAS 和 DPI 板卡由同厂商统一提供,功能易于实现。缺点是现网 BRAS 全部增加 DPI 板卡,部署成本高;业务板卡与 DPI 板卡之间的用户信息同步功能需要开发;现有 AFTR 部署模式将修改。AFTR 新增 DPI 板卡方案是指先将进入 AFTR 的流量引入 DPI 板卡,DPI 板卡识别 IPv6 隧道中的 IPv4 流量后,进行每用户(IP 地址)的应用通道策略下发,再将策略化后的流量引入 AFTR 板卡中解隧道。其优点是对 DPI 板卡数量要求较少,仅需 AFTR 上插 DPI 板卡即可。缺点是对 DPI 板卡性能要求较高,且需与 AAA(鉴别、授权、计费)系统协同开发用户信息同步功能,需要多厂商协作,难度较大。

基于插卡式 DPI 的方案功能实现简单,但性能较差。

3.2.2 分布式 AFTR 部署下的应用通道实现方案

分布式 DS-Lite 是指 BRAS 插 AFTR 板卡的 DS-Lite 部

署方式,此时的应用通道实现方案如图 6 所示。方案实现过程包括如下 3 个步骤。

- B4 将 IPv4 的流量封装在 IPv6 隧道中,AFTR 板卡将流量进行解封装。
- BRAS 配置应用通道策略模板,并直接应用。
- IPv4 与 IPv6 的应用通道在一个设备。

本方案实施存在 3 个问题:BRAS 目前无法将 NAT 后的用户与解封装前的 IPv6 隧道的用户接口进行关联;AFTR 板卡与 BRAS 业务板卡关联信息后,无法生成用户会话,从而无法识别用户(目前 BRAS 定位用户与端口号无关);需改变现网 DS-Lite 部署方式。

3.2.3 DS-Lite 过渡技术部署下的应用通道实现方案比较

在 DS-Lite 过渡技术部署的情况下,通过改造相关网元,应用通道理论上可以有多种实现方案,但都需要对现有网络设备或现网业务流程进行某些程度的改造。由于当前相关网络设备不支持各种 DS-Lite 部署下的应用通道方案,因此无法进行测试验证。在此,表 6 对在 DS-Lite 过渡技术部署下,基于 BRAS、AFTR、DPI、RADIUS 等网元改造所实现的应用通道方案进行了比较。

3.3 实现思考

通过技术研究和实验室测试验证,过渡技术部署下的应用通道需要分阶段、分技术场景实现。

首先,在双栈过渡技术部署下,受限于 BRAS 的支持能力,当前无法全网普遍提供业务模型 4(双栈应用通道模型为 IPv4 普通上网流量、IPv6 普通上网流量、IPv4 应用通道流量、IPv6 应用通道流量各自独享通道)的双栈应用通道。因此,为了保障业务在双栈部署下的可靠提供和平滑迁移,建议双栈应用通道分两个阶段两种方式实现,具体介绍如下。

- 过渡阶段:综合考虑现网 BRAS 技术支持能力与业务模型的一致性等因素,目前可以全网普遍提供的是业务模型 5,即 IPv4 应用通道流量、IPv4 普通

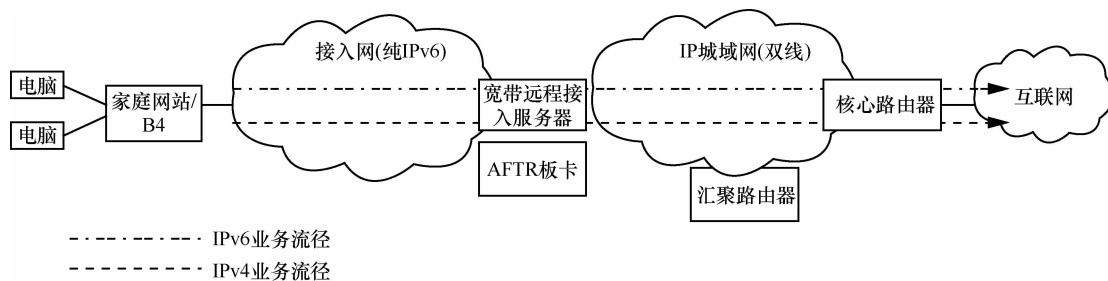


图6 分布式 AFTR 部署下的应用通道组网



表 6 DS-Lite 过渡技术部署下的应用通道实现方案比较

AFTR 部署类型	应用通道实现方案	方案优点	方案缺点
集中式 AFTR 部署	集中式 AFTR 直接开启 IPv4 应用通道	· 逻辑清晰,流量流径简洁明了; · 可以实现上、下行 2 个方向的应用保障	· AFTR 复杂度较高,需要 AFTR 升级支持“按需基于 IPv4 地址进行 ACL 控制”功能; · 改造现网业务流程:打通 AFTR 与 RADIUS 的接口,实现用户上线后自动下发 IPv4 流量的控制策略
	利用 QoS 位实现应用通道	· 逻辑清晰,流量流径简洁明了; · 对现网业务流程无改动,仅增加一些配置	· 只能实现下行 IPv4 流量单向的应用保障; · 需要在 IDC 与城域网互联的出口网络设备上标识 QoS,增加 IDC 和城域网流量管理复杂度; · 对 AFTR 要求较高:AFTR 需支持将公网 IPv4 的 QoS 位映射至隧道 IPv6 地址的 QoS 位
	IPv4 流量迂回至 BRAS 开启应用通道	· IPv4 与 IPv6 的应用通道都在 BRAS 设备上实现,逻辑清晰; · 可以实现上、下行 2 个方向的应用保障; · 对现网业务流程无改动,仅增加一些配置	· BRAS 改造难度较大:目前 BRAS 不支持基于 IP 地址+port 重建会话,IPv4 和 IPv6 的映射关系较复杂; · IPv4 流量在城域网中有迂回,消耗带宽; · AFTR 改造难度较大:AFTR 设备目前无法提供 BRAS 与 AFTR 的信息同步
	基于 DPI 实现 DS-Lite 应用通道	· 可以实现上、下行 2 个方向的应用保障; · DPI 同时可以用于增值业务	· 增加 DPI 网元或功能模块,部署成本较高; · 涉及 DPI 及相关网元改造,实现复杂
	基于独立式 DPI 实现应用通道	· 独立式 DPI 设备,性能较好	· 基于 DPI 实现 IPv4 流量的策略控制,DPI 需要进行相关功能深度开发; · 在 AFTR 侧增加 DPI 部署,需要一定的成本
	基于插卡式 DPI 实现应用通道	· BRAS 插 DPI 板卡 · 功能实现简单; · BRAS 和 DPI 板卡一般为同厂商统一提供,功能易于实现	· 现网 BRAS 全部增加 DPI 板卡,部署成本高; · BRAS 上业务板卡与 DPI 板卡之间的用户信息同步功能需要开发 · 现有 AFTR 部署模式将修改; · 受限于当前 DPI 板块能力,性能较差
		· AFTR 插 DPI 板卡 · 对 DPI 板卡数量要求较少,仅集中式部署的 2 台 AFTR 上插 DPI 板卡	· 对 DPI 板卡性能要求较高; · 需与 AAA 系统协同开发用户信息同步功能,需要多厂商协作,难度较大
分布式 AFTR 部署		· 逻辑清晰,流量流径简单明了; · 可以实现上、下行 2 个方向的应用保障	· BRAS 改造难度较大:需要 BRAS 将 NAT 后的用户与解封前 IPv6 隧道的用户接口关联; · AFTR 改造难度较大:AFTR 板卡与 BRAS 业务板卡关联信息后,需要生成一个用户会话识别用户; · 必须部署分布式 AFTR,对于已经部署集中式 AFTR 的网络需要改造

上网流量、IPv6 所有流量各自占用通道的业务模型。

- 目标阶段:加快推进相关 BRAS 厂商支持业务模型 4 的双栈应用通道能力,即将 IPv6 流量进行应用通道流量和普通上网流量的逻辑隔离和带宽保障。待全网 BRAS 设备都具备此能力后,可以普遍提供 IPv4 和 IPv6 应用流量分别保障的

应用通道业务。

其次,对于 DS-Lite 部署,由于受限于 BRAS 和 AFTR 厂商设备实现能力,目前尚无可实施的方案,存在较大难度。需要以问题驱动,结合所选定的目标方案,针对性地推进 BRAS、AFTR 等相关网络设备的相关技术支持能力。

4 结束语

网络升级与演进最终是为了保障现有业务的稳定发展和新业务的开发。下一代互联网经过多年的技术储备和现场试验的探索,已经具备了承载的基础,而典型宽带业务在下一代互联网部署后是否可以稳定运行、客户无感知地升级,是更加重要的命题和工作,需要电信工作者们不断深入研究、全面测试评估。

参考文献

- 1 IETF. Dual-Stack Lite Broadband Deployments Following IPv4 Exhaustion, 2011
- 2 IETF. Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6) Option for Dual-Stack Lite, 2011
- 3 IETF. RADIUS Extensions for Dual-Stack Lite, 2012
- 4 张坚平, 陈怡, 张届新. 面向 FTTH 的应用通道关键技术及组网研究. 电信科学, 2012, 28(11):126~131

(上接第 110 页)

- 12 Xu B, Jiang D Y, Li J. HSM: a fast packet classification algorithm. Proceedings of the International Conference on Advanced Information Networking and Application, Taipei, China, 2005:987~992
- 13 Hua N, Song H Y, Lakshman T V. Variable-stride multi-pattern matching for scalable deep packet inspection. Proceedings of the 28th IEEE International Conference on Computer Communications, Riode Janeiro, Brazil, 2009:415~423
- 14 Thompson K. Regular expression search algorithm. Communication of ACM, 1968, 11(6): 419~422
- 15 Kumar S, Dharmapurikar S, Yu F, *et al.* Algorithms to accelerate multiple regular expressions matching for deep packet inspection. Proceedings of ACM SIGCOMM, Pisa, Italy, 2006: 339~350
- 16 Qi Y X, Wang K, Fong J, *et al.* Feacan: front-end acceleration for content-aware network process. Proceedings of the 30th IEEE International Conference on Computer Communications, Shanghai, China, 2011:2114~2122
- 17 Schleimer S, Wilkerson D S, Aiken A. Winnowing: local algorithms for document fingerprinting. Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, San Diego, California, USA, 2003:204~212

[作者简介]



张届新,女,中国电信股份有限公司上海分公司信息网络部高级工程师,主要研究方向为数据网络、数据中心组网。



徐文华,男,中国电信股份有限公司上海分公司信息网络部副总工程师、高级工程师,主要研究方向为数据网络、数据中心组网。

张坚平,男,中国电信股份有限公司上海分公司总师室总工程师助理、高级工程师,主要研究方向为信息网络等。

(收稿日期:2014-07-10)

[作者简介]



刘寒冰,女,黄河科技学院讲师,主要研究方向为数据挖掘、人工智能、算法设计。



杨亚丽,女,黄河科技学院讲师,主要研究方向为电气设计、算法设计。



胡爱娜,女,黄河科技学院副教授,主要研究方向为网络安全、无线传感器网络。

(收稿日期:2014-06-10)