
IPv6 过渡技术分析 与 评述

李淼, 杨家海, 王会

(清华大学 信息网络工程研究中心)

摘要: 随着互联网的飞速发展, 原有 IPv4 协议的不足日益明显, 而采用 IPv6 协议已成为各方的共识。从 IPv4 网络向 IPv6 网络过渡势在必行。本文着眼于过渡技术, 首先分析指出 IPv6 过渡过程中可能出现的各种场景和需要解决的问题, 并对过渡技术的应用场景进行了分析。随后根据适用场景和待解决的问题将过渡技术分为翻译技术, IPv4 over IPv6 隧道技术以及 IPv6 over IPv4 隧道技术三个类别。针对每个类别中最有代表性的技术, 本文从多个角度进行了综合对比, 并对过渡技术实际应用情况进行了分析, 对过渡技术本身存在的问题与发展进行了分析与展望。

关键词: 过渡技术; IPv6; 部署;

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Survey and Analysis on IPv6 Transition Technologies

LI Miao, YANG Jia-Hai, WANG Hui

(The Network Research Center, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Research and promotion of next generation Internet have drawn attention of researchers and ISPs in many countries. In China, researchers, ISPs and the country are enthusiastic on the promotion and immediate deployment of IPv6 due to the imminent problem of IPv4 address exhaustion. In this paper, we focus on IPv6 transition technologies which are the foundation of IPv6 transition. We first summarize the technological challenges and analyse possible scenarios during the transition from IPv4 to IPv6. Then we classify transition technologies into three categories, i.e. translation, IPv6 over IPv4 tunnel and IPv4 over IPv6 tunnel, and compare different technologies in the same category to further study their features and possible application scenarios. Finally, we point out some future directions in the area of IPv6 transition.

Key words: transition technology; IPv6; deployment;

基于 IPv4 协议的互联网极大地促进了科技发展和社会进步。但是, 随着互联网用户数量不断增加以及对互联网应用要求的不断提高, IPv4 地址紧缺与分配不均成为制约互联网发展的突出问题。IPv6 协议采用 128 位地址解决 IPv4 地址资源不足的问题。长期来说, IPv6 作为地址紧缺问题的最终解决方案已经得到了广泛的认同。IPv6 网络也是现阶段 ISP 发展的目标网络。现阶段, 在对 IPv6 过渡问题研究中, 对过渡技术的研究又是其他过渡研究的基础。对于 IPv6 过渡而言, 将设备升级为双栈是最为直观的解决方案。然而双栈对于 IPv4 地址的依赖以及性能上的开销决定了双栈在很大程度上并不适合现阶段 ISP 过渡的需求。因此, 本文主要关注在单栈前提下, 过渡过程中涉及的挑战以及解决方案中涉及的过渡技术。

众所周知, IPv4 网络结构复杂、规模巨大。部署过程中的挑战来自方方面面。本文关注的重点是过渡过程中技术层面挑战: 新建 IPv6 网络与原有 IPv4 网络的共存问题以及二者的互联互通问题。所谓互联互通, 是指 IPv4/v6 网络间的通信问题: 在过渡过程中, ISP 必须保证 IPv6 主机能够访问 IPv4 业务, 也要尽

可能使得 IPv4 主机能够访问 IPv6 业务。这个场景贯穿整个过渡过程。在第二章我们会对翻译技术进行详细分析;所谓共存,是指在相当长一段时间内 IPv4/v6 主机、IPv4/v6 应用同时存在。在 IPv6 发展初期,互联网以运行 IPv4 的网络为主,但 ISP 又有在 IPv4 网络上传输 IPv6 流量的需求。十几年来,针对此类问题的过渡技术得到研究人员以及 ISP 的广泛关注^[1,2]。在第三章中,我们会对 6to4、6rd 等具有代表性的技术进行介绍。与 IPv6 流量跨越 IPv4 网络进行通信的情况相对,共存问题的另一个方面是如何使 IPv4 流量跨越 IPv6 网络通信。这种需求多出现在过渡后期。针对此场景的研究^[3-8]起步较晚,但发展十分迅速。DS-lite、dIVI 等技术具有代表性。我们在第四章会进行详细的介绍与分析。

本文着眼于 IPv6 过渡技术,针对过渡过程中必须解决的两大问题,即共存问题和互联互通问题,对过渡技术的应用场景进行了分析。根据适用场景与待解决的问题将过渡技术分为翻译技术、IPv4 over IPv6 隧道技术以及 IPv6 over IPv4 隧道技术三个类别,对最新的、认可度较高的过渡技术细节、特色及其适用场景进行了分析比较;对过渡技术的实际应用部署情况进行了分析,并对过渡技术待改善的方面进行了展望。

1 IPv6 过渡技术应用场景分析

目前,过渡过程中的共存问题和互通问题主要通过隧道技术与翻译技术予以解决。翻译技术的核心思想是通过 IPv4/v6 报文格式和信息的转换,实现运行不同协议栈网络设备的互通。典型的翻译场景是在 IPv4/v6 网络连接处添加翻译设备,使只理解 IPv4 协议的终端与只理解 IPv6 协议的终端能够进行通信。IPv4 与 IPv6 报文之间的翻译需要进行地址映射并且根据协议重新组织报文;而隧道技术应用场景有所不同,以 IPv6 over IPv4 隧道为例,在典型的隧道场景下,在隧道入口处为 IPv6 报文添加 IPv4 协议头,而原报文变为 IPv4 报文的净荷。新的报文可以在 IPv4 网络上进行传输,直至到达隧道出口处。在隧道出口处,网络设备对报文进行解封封装,提取净荷获得原来的 IPv6 报文,递交给目的主机。

虽然翻译技术与隧道技术具体的应用场景有所差别,但都共同面临诸如地址语义如何转换,报文转发如何控制等问题:

首先是地址映射问题。无论翻译技术还是隧道技术,由于涉及 IPv4/v6 两种协议报文之间的映射,因而也都面临如何建立地址映射的问题。通过较为直观的 NAT 方式保存记录会带来可扩展性、性能等方面的问题。而使用特殊的 IPv6 地址格式,能够使网络设备能够据此进行地址抽取,同时保持通信的无状态,但需要完善可行的路由方案以及实际可行的部署方案进行支持;此外 IPv6 地址前缀也需加以考虑:使用统一前缀,将其当作一项通用的服务还是使用 SP 各自的前缀用以加强控制等等;另外在 IPv4 地址极为紧缺的背景下,地址利用率也是过渡技术是否可行的重要方面;

随之而来的是控制层面的路由配置问题。保证通信正确性很重要的方面就是如何进行路由:如何保证 IPv6 报文准确的被路由到隧道入口或者翻译装置;如何将经过处理的报文发送到“理想的”出口以及应答报文如何能够经过隧道或者翻译装置回送给源端;

第三,需要考虑数据转发层面的问题。诸如数据转发流程、报文 overhead 大小、分片机制等;

此外,安全以及部署问题也是对过渡技术的重要挑战:在安全方面,需要考虑如何防止攻击,如何加强对设备的控制;隧道端点或者翻译装置位置的选择、是否利于过渡部署对于过渡技术而言也十分重要。

以下,我们结合上述分析,根据适用场景与待解决问题的不同,分别对翻译技术、IPv6 over IPv4 隧道技术以及 IPv4 over IPv6 隧道技术进行分析,并针对其中最具发展前景的、有代表性的技术进行分析对比。

2 翻译技术

在翻译技术中,IVI 翻译技术目前而言最具部署前景。IVI 技术是一种基于特殊地址前缀的、无状态的 IPv4/v6 翻译技术。一般情况下,应用 IVI 技术的 ISP 的接入网络为 IPv6 网络。IVI 技术也可以在 ISP 的 IPv4 接入网络进行应用,帮助 IPv4 主机与 IPv6 Internet 进行通信。但是这种场景下,IVI 技术通常只能支持由 IPv6 主机发起的通信。

与 NAT64^[9]等翻译技术一样, IVI 提供了 IPv4 与 IPv6 不同协议族之间的通信。在数据转发层面, IVI 机制与 NAT64, SIIT 机制也较为类似, 都需要面对应用层网关解析净荷地址语义问题。但与其他翻译技术相比, IVI 具有自己的特点, 如表 1 所示。

表 1 翻译技术对比

Table 1 Compare between translation technologies

翻译技术	通信场景	使用特殊地址格式	有状态/无状态	可扩展性	通信发起方向	地址利用率	安全性	过渡部署
IVI 技术	ISP IPv6 网络与外部 IPv4 网络	是	无	较高	双向	较高	较高	较好
以 NAT64 为代表的翻译技术	ISP IPv6 网络与外部 IPv4 网络	是	有	较低	单向	较高	较低	较差

● 地址映射方面

IVI 地址映射保持了通信的无状态且地址利用率高。IVI 定义了特殊的地址格式(ISPPrefix: FF: IPv4ADDR::), 从 IPv6 地址中取出一段与 IPv4 地址进行映射。而 NAT64 等技术进行地址映射时, 由于 NAT 的使用, 需要维护大量的 NAT 表项。这对状态同步以及可扩展性会有不良影响。相关研究也通过定量分析进行了证实^[10]; 在对地址利用率有更高要求的情况下, 1:N IVI 机制加入对端口信息的利用, 可以无状态实现地址复用。

● 路由控制方面

与 NAT64 等翻译技术仅支持单向发起通信不同, IVI 技术支持双向发起通信。这是由 IVI 地址映射以及路由机制决定的: 对于 IPv4 网络发起通信的情况, 配置了下一跳指向 IVI 翻译装置的 IPv4 路由器向 IPv4 网络宣告地址前缀 a。其中, a 为参与 IVI 地址映射的 IPv4 地址块前缀。而翻译装置与目的 IPv6 主机之间通过 IPv6 网络路由进行通信; 而对于 IPv6 网络发起通信的情况, 配置了下一跳指向 IVI 翻译装置的 IPv6 路由器向 ISP 的 IPv6 网络宣告 ISPPrefix:FF:: /40 前缀, 使需要经过翻译到达 IPv4 网络的 IPv6 流量到达 IVI 翻译装置。翻译装置与目的主机之间通过 IPv4 网络中的路由进行通信。这种路由机制下, IVI 的双向通信是有条件的: ISP 接入网支持 IPv6。如果 ISP 网络为 IPv4 网络, 由于发起通信时, 翻译装置无法获取对端 ISP prefix 合成 IVI 的 IPv6 地址, 因而不能完成通信需求。

3 IPv6 over IPv4 隧道技术

对于 IPv6 over IPv4 隧道的研究较多, 其中 6to4 和 6rd 技术具有代表性。6rd (IPv6 Rapid Development) 技术应用场景主要包括 6rd CE(customer edge routers)设备以及一个或多个边界中继路由器(BR), 如图 3 所示。6rd 机制的主要思想是通过 CE 与 BR 之间的隧道, 实现 6rd 孤岛网络通过 ISP 的 IPv4 主干网与外界 IPv6 网络的通信; 而 6to4 技术的应用场景如图 4 所示, 涉及的设备包括 6to4 路由器以及用作 6to4 孤岛与纯 IPv6 Internet 之间跨越 IPv4 Internet 的通信的 6to4 中继路由器。

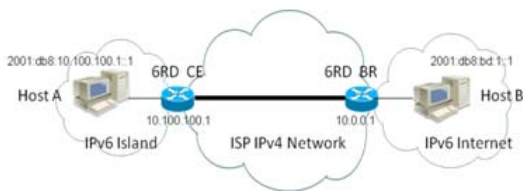


图 3 6rd 技术示意图
Fig 3 6rd technology

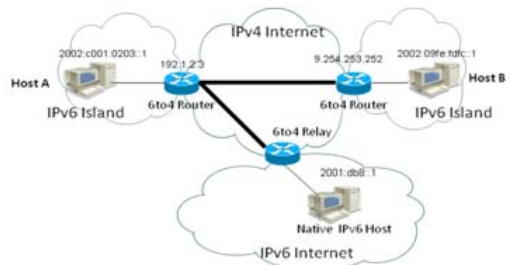


图 4 6to4 技术示意图
Fig 4 6to4 technology

6rd 技术与 6to4 技术的接入网环境均为 IPv4 网络, 都是无状态的隧道技术, 都支持双向发起的通信, 部署代价较小, 有利于向 IPv6 的过渡。在隧道建立方面, 二者都采用了特殊地址格式来自动建立隧道。转发流程、上层协议字段设置等也较为类似。二者应用场景类似同时有所区别。6rd 技术相比于 6to4 技术在地址映射、隧道建立、安全等方面进行了改进, 如表 2 所示。

表 2 IPv6 over IPv4 隧道技术对比

Table 2 Compare between IPv6 over IPv4 tunneling

6over4 技术	通信场景	特殊地址格式	前缀长度是否可变	路由发现方式	安全性	地址利用率
6rd	6rd 子网到其他 IPv6 网络	ISPprefix: IPv4ADDR: subnet: host	是	地址映射/配置/动态路由	较高	较低
6to4	6to4 子网之间或 6to4 子网到 IPv6 网络	2002: IPv4ADDR::	否	地址映射/任播/动态路由	较低	较低

● 隧道场景

与 6rd 支持跨越 ISP IPv4 网络通信场景不同, 6to4 技术使用全球统一的 6to4 地址前缀, 根据目标地址前缀, 将跨越 IPv4 Internet 的 6to4 子网之间的通信场景和跨越 IPv4 Internet 的 6to4 子网与纯 IPv6 网络的通信场景区别对待: 在 6to4 路由器之间建立隧道实现跨越 IPv4 Internet 的 6to4 孤岛之间通信; 通过 6to4 路由器与 6to4 中继路由器建立隧道实现 6to4 孤岛与 IPv6 Internet 的通信。

● 地址映射机制

6to4 技术使用的是特定前缀 2002::/16, 侧重于将 6to4 看作全球性的服务, 运营商在未获得 IPv6 前缀的情况下也可以应用 6to4 技术; 6rd 技术使用的是 SP 特定前缀; 而 6rd 在域内 CE, BR 设备 IPv4 地址可聚合的时候可以使用更短的地址前缀, 增加了灵活性;

● 路由控制层面

由于地址映射机制的不同, 在路由发现方面两者有着很大的区别。对于 IPv6 孤岛间通信, 6to4 路由器在提取隧道对端 IPv4 地址后, 通过 IPv4 网络路由与隧道对端进行通信; 对于 IPv6 孤岛网络与 IPv6 Internet 通信的情况, 6to4 路由器通过任播的方式, 寻找中继路由器。这种路由发现方式会导致 IPv6 Internet 在与 6to4 网络通信的过程中, 无法将报文送到目标地址所在 ISP 的中继路由器。进而由于脱离了 SP 的控制, 将会导致 6to4 技术成为一种尽力而为的服务; 而对于 6rd 技术, CE 路由配置下一跳指向隧道对端的 6rd BR, 而 6rd BR 到 6rd CE 的通信则通过 IPv4 网络中的动态路由进行。在报文回送过程中, ISP 地址前缀的使用保证了报文能够到达 ISP 控制范围内的中继路由器, 大大提高了通信的可靠性。

● 安全等其他方面

在安全方面, 由于 6to4 中继路由器不在 ISP 的控制区域内, 很容易受到攻击, 安全得不到保障。这种情况也会在过渡部署方面产生不利影响: 运营商对于部署和提高服务质量缺乏动力。而 6rd 通过使用 ISP 前缀, 加强了运营商的控制, 更容易部署以及保障服务质量。

4 IPv4 over IPv6 隧道技术

随着近年来运营商考虑建设纯 IPv6 接入网, 需要 IPv4 over IPv6 隧道提供与外界 (IPv4 Internet) 的通信。目前而言, 相关研究尚处于起步阶段。本文重点结合发展较为迅速的 DS-lite 技术以及具有 CERNET 实际部署经验的 dIVI 技术对 IPv4 over IPv6 隧道技术进行分析。

DS-lite(Dual Stack Lite)是 IPv4 over IPv6 隧道技术与 NAT 技术的结合。DS-lite 通过 IPv4 over IPv6 隧道使 IPv4 报文穿越 IPv6 网络到达一个位于骨干路由器的 IPv4-IPv4 的 NAT, 而不是通过级连的 NAT 或 NAT-PT, 如图 6 所示。根据 B4 实现位置的不同, DS-lite 可分为基于网关的 DS-lite 和基于主机的 DS-lite。AFTR (the DS-Lite Address Family Transition Router element) 实现在运营商 CGN 等设备上, 是隧道终点与运营商级别的 IPv4-IPv4 的 NAT 的结合。用户的 IPv6 流量通过 IPv6 网络直接进行转发, 不需要经过转换;

而用户的 IPv4 流量通过 DS-lite 机制进行转发，对用户实现了轻量级双栈。

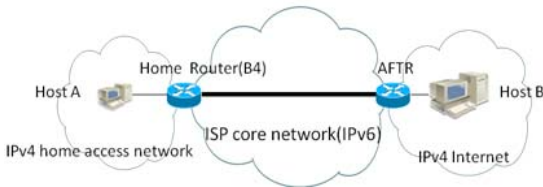


图 6 DS-lite 技术示意图

Fig 6 DS-lite technology

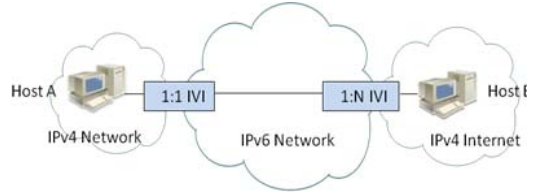


图 7 dIVI 技术示意图

Fig 7 dIVI technology

而 dIVI 技术则巧妙的利用了 IVI 技术进行两次翻译实现跨越 IPv6 网络的通信。在此，我们将 dIVI 技术的两次翻译等效为两个翻译装置之间的 IPv4 over IPv6 隧道。在 dIVI 应用场景中，如图 7 所示，IPv4 用户端系统与 IPv6 网络之间，部署家庭网关 IVI 翻译器，采用 1:1 无状态的方式，将 IPv4 报文翻译为 IPv6 报文；而在 IPv6 网络与 IPv4 Internet 之间部署 1:N 无状态的 IVI 翻译装置，将 IPv6 报文二次翻译，完成与 IPv4 主机的通信。

dIVI 技术和 DS-lite 技术都适用于 ADSL、Ethernet、无线等场合，也都在一定程度上破坏了网络端到端的设计原则。同时，如表 3 所示，二者在地址映射、隧道建立方式、隧道端点位置等方面各具特点。

表 3 IPv4 over IPv6 隧道技术对比

Table 3 Compare between IPv4 over IPv6 tunneling

4over6 技术	包含技术	特殊地址格式	是否有状态	发起通信方向	地址利用率	路由发现方式	可扩展性
DS-lite	隧道/NAT	无	有	单向	很高	ISP 配置/动态路由	较高
dIVI	两次翻译	ISPPrefix: FF: IPv4ADDR:::	无	双向	较高	地址映射/动态路由	较高

- 隧道建立方式

在隧道建立方式方面，DS-lite 具有更强的灵活性，可扩展性较好。DS-lite 通过配置可以灵活设置隧道端点，便于进行负载均衡，能够更好的控制隧道运行；dIVI 机制由于翻译装置部署位置等原因，大部分情况下要求所有流量都通过单一的结点，而且翻译装置也容易成为性能的瓶颈；

- 地址映射

dIVI 地址映射与 IVI 特点类似，节约地址空间的同时，保证无状态通信是其一大优势；而 DS-lite 机制对于 IPv6 地址格式没有做特殊的要求，通过骨干路由器上 NAT 的使用，根据记录进行公有 IPv4 地址的复用以及隧道对端地址的映射。AFTR 需要维护大量的 NAT 表项，对状态同步以及可扩展性会有不良影响^[9]。DS-lite 机制避免了级联 NAT 的使用，只在 AFTR 做一次 NAT 转换，在提高效率的同时，通过 IPv4 与 IPv6 地址的动态对应有力地解决了地址短缺问题，相比于 dIVI 机制而言在地址利用方面更加有优势；

- 控制层面对通信方向的支持

由于在地址映射机制中引入了 NAT，DS-lite 仅支持单向发起通信，而 dIVI 机制支持双向发起的通信；

- 是否同时解决互联互通问题

在数据转发层面，DS-lite 技术结合了隧道技术和 NAT 技术使得 IPv4 主机能够跨越 IPv6 网络与 IPv4 Internet 进行通信。DS-lite 不进行协议族之间的翻译，简化了应用层网关的翻译工作。dIVI 机制是扩展的 IVI 机制，通过 IPv4/IPv6/IPv4 两次翻译，使得不同的 IPv4 网络能够跨越 IPv6 网络进行通信的同时也能够实现 IPv4 与 IPv6 网络之间的互通，大大提高了运行效率，节约了成本。

5 IPv6 过渡技术的应用和展望

以上章节我们对具有代表性的过渡技术的应用场景、特色进行了分类对比分析。在实际应用中，对过

过渡技术的特点有充分的认识是十分必要的, 而更重要的是应该以联系与发展的眼光看待过渡技术。一方面过渡技术不应被孤立的看待: 过渡技术的采用需要考虑到过渡阶段特点以及运营商自身情况, 不同种类过渡技术的应用往往也是相互关联的; 另一方面, 尚未成熟的过渡技术在部署中涉及许多需要解决的问题。

在过去的十余年时间里, 各个运营商不断尝试采用不同种类的过渡技术以解决 IPv6 部署过程遇到的挑战。这些过渡技术的应用都与当时的过渡需求以及运营商自身特点密切相关。以下, 我们以法国电信和 CERNET 为例, 结合二者较为成功的部署经验对过渡阶段过渡技术的运用进行进一步阐释。

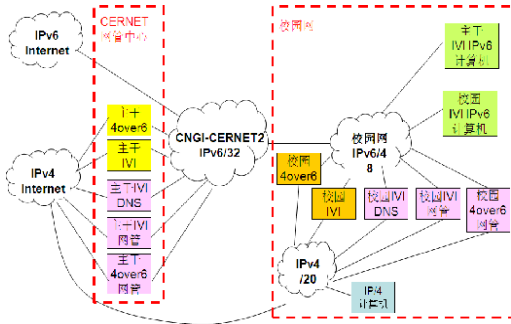


图 8 CERNET 过渡部署示意图

Fig 8 The CERNET deployment to the transition

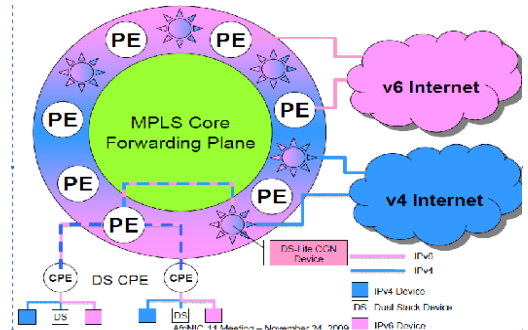


图 9 法国电信过渡部署示意图^[11]

Fig 9 The France Telecom deployment to the transition

• CERNET

CERNET 拥有全球规模最大的纯 IPv6 骨干网 CNGI-CERNET2, 但目前校园网还是以 IPv4 网络为主。CERNET 校园网子网为 IPv6 网络。CERNET 校园网过渡存在共存问题和互通问题。如图 8 所示, CERNET 针对 IPv6 用户访问 IPv4 资源(Global IPv4 Internet)的应用场景, 通过校园 IVI 翻译技术, 实现校园网内纯 IPv6 子网用户与校园网内纯 IPv4 子网的应用互通; 通过主干 IVI 翻译技术, 实现校园网内纯 IPv6 子网用户与校园网外 IPv4 网络(Global IPv4 Internet)的应用互通; 通过校园 IVI 和主干 IVI 两次翻译的 dIVI 技术也可实现校园网内纯 IPv4 子网用户跨越 IPv6 CERNET2 与校园网外 IPv4 网络(Global IPv4 Internet)的应用相互通信, 解决共存问题。实现了采用 IVI 解决互联互通问题的同时, 采用 dIVI 技术高效地解决共存问题。

CERNET 认识到 IPv4 网络上通过隧道技术支持少量 IPv6 接入已经不能满足网络发展的需要。作为科研网络运营商的 CERNET 新建 IPv6 主干网, 并采用 4over6 技术^[8] 解决共存问题, 同时短期内提高 IPv6 网络的利用率。鉴于成功部署 IVI 的经验, CERNET 也根据自身优势, 采用 dIVI 技术解决共存问题, 进一步节约了部署成本, 提高了运行效率。另一方面, 在校园网过渡过程中, 迫在眉睫的问题就是 IPv4 地址严重短缺的问题, 而新业务的发展和客户群的增大将需要越来越多的 IPv4 地址, 这也是 CERNET 目前所处过渡阶段的特点。因此对于 CERNET 而言, IPv6 阶段部署方案需要首先考虑的就是能够马上节约 IPv4 地址甚至允许回收部分已使用的 IPv4 地址。这也是当前阶段很多运营商面临的问题。在这种前提下, CERNET 在接入网采用了地址利用率较高的 1: N IVI 技术在保证无状态通信的前提下最大限度的节约了 IPv4 地址。

• 法国电信

法国电信 IP 骨干网采用 MPLS 技术, 引入 IPv6 的主要业务驱动为 Internet、VOIP、移动互联网、IPTV 等业务。法国电信采用 DS-Lite 技术结合 6PE^[12]技术的过渡路线, 如图 9 所示。法国电信结合自身已经部署 MPLS 的网络特点, 在骨干网采用 6PE 技术, 改造成成本低且保留了网络优势。而对于没有部署 MPLS 网络的 ISP 并不适用; 现阶段, 法国电信在家庭网关内部需要大量的 IPv4 地址, 而级联 NAT 技术又在可扩展性、状态同步方面产生很多问题。DS-lite 技术本身通过升级家庭网关实现轻量级双栈, 在达到极高的 IPv4 地址利用率的同时, 又保持了良好的可扩展性以及无状态的通信, 大大加快了过渡进程。因此, 法国电信接入网采用 DS-Lite 技术, 对 CPE 设备进行改造, 用以支持 DS-Lite。CPE 下连的设备可以为 IPv4 设备, IPv6 设备或者 IPv4/IPv6 双栈设备。主干网基于现在已经得到大规模部署的 MPLS 转发平台, 采用 6PE 技

术实现 IPv6 over MPLS 隧道。此外主干网需要部署 DS-Lite CGN 设备,用以支持使用 DS-Lite 的 v4 流量。

结合以上分析与实例,可以看出 IPv6 过渡技术需要结合过渡阶段特点以及运营商自身特点。而过渡技术的运用往往也是互相关联的。我们认为对于现阶段 ISP 而言,在考虑自身特点这一最为重要的前提下,跳过 6over4 阶段,使骨干网支持 IPv6^[13],采用 IPv4 over IPv6 隧道技术予以解决共存问题,采用 IVI 技术解决互联互通问题是目前较为有效的技术应用方案。通过之前章节中对于 dIVI 技术以及 DS-lite 的分析可以看出,两种 4over6 的隧道技术能够有效的解决地址短缺问题,特别是 DS-lite 技术。而 dIVI 技术在解决共存问题的同时,由于 IVI 翻译装置的部署,对于解决互联互通问题有很大的帮助。

此外,在运行商实际部署过程中,也可以清晰的注意到各个过渡技术本身在部署方面存在很多问题。比如在当前的实际部署当中,DS-lite 有很多待改善的地方:首先,支持多播对于具有 IPTV 等业务的 ISP 具有重要的意义。DS-lite 机制以 AFTR 作为多播复制点对多播进行支持。然而,使复制点更接近终端是目前多播技术发展的趋势。DS-lite 机制在这方面需要进一步改进以实现多播更好的支持;第二,AFTR 的可靠性对于 ISP 而言至关重要。当启动备份 AFTR 时,如何保证通信的无缝切换需要进一步研究。此外,DS-lite 避免级联 NAT 的使用,而在 AFTR 处维护大量 NAT 表项。对于地址映射表而言,出于安全等考虑需要对映射的时间戳进行记录。这些将会给 AFTR 带来严重的负担。能否实现对 AFTR 资源高效的利用,对于 DS-lite 部署运行意义重大。总体来说,结合实际部署的情况进一步改进已有技术还有很长的路要走。

6 结论

本文首先介绍了 IPv6 网络过渡的背景,随后对过渡阶段内技术层面的挑战进行了分析,并着眼于适用不同场景的过渡技术,介绍了国内国外最新的科研成果,对于翻译技术、IPv4 over IPv6 隧道技术以及 IPv6 over IPv4 隧道技术等不同类型的过渡技术进行了分析与对比。ISP 网络向 IPv6 过渡是互联网发展的趋势,这是一个长期的过程。过渡过程中,需要使用过渡技术解决不同场景下遇到的挑战。对于过渡技术要进行多方面的考量,包括适用场景的分析、地址格式的规约、控制层面、数据层面、安全以及可扩展性、是否易于部署等等问题。在对过渡技术有了准确认识的基础上,需要结合实际情况以及自身特点采用适合的过渡技术。对过渡技术进行正确的分析、使用,使之发挥优势,是向 IPv6 过渡的必要条件。

参考文献:

- [1] HUITEMA C. An Anycast Prefix for 6to4 Relay Routers. RFC 3068, IETF, June 2001.
- [2] DESPRES R. IPv6 Rapid Deployment on IPv4 Infrastructures (6rd). RFC 5569, IETF, 2010.
- [3] DURAND A, DROMS R, WOODYATT J, LEE Y. Dual-Stack Lite Broadband Deployments Following IPv4 Exhaustion, draft-ietf-softwire-dual-stack-lite-07, IETF, 2011.
- [4] Li X, Bao C X, Zhang H. Address-sharing stateless double IVI. draft-xli-behave-divi-02, IETF, 2011.
- [5] WU J P, CUI Y, LI X. The Transition to IPv6, Part I, IEEE INTERNET COMPUTING. May 2006 5:80-85
- [6] Yong Cui,Jianping Wu stc.,The Transition to IPv6,Part II,IEEE INTERNET COMPUTING. vol. 10, no. 5, pp. 76-80. Sep.2006:76-80
- [7] DESPRES R, MURAKAMI T, MATSUSHIMA S, "IPv4 Residual Deployment on IPv6 infrastructure," draft-despres-4rd-00, IETF, 2011
- [8] Wu J P,Cui Y, LI X,XU M W. 4over6 transit solution using ip encapsulation and mp-bgp extensions. RFC 5747, IETF, 2010
- [9] BAGNULO M,MATTHEWS P,I. BEIJNUM V. NAT64:Network Address and Protocol Translation from IPv6 Clients to IPv4 Servers. RFC 4787, IETF, 2007
- [10] ZHU Y C, CHEN M K, ZHANG H, LI X .Stateless Mapping and Multiplexing of IPv4 Addresses in Migration to IPv6 Internet.Global Telecommunications Conference, 2008. pp. 2248–2252.
- [11] JACQUENET C, SALL M. France Telecom's IPv6 Strategy. AfriNIC-11 Meeting, Mauritius, 2009.11.
- [12] DE J, CLERCQ J, OMOS D, PREVOST S, LE F, Connecting IPv6 Islands over IPv4 MPLS Using IPv6 Provider Edge Routers (6PE) ,RFC 4798, IETF, 2007.

- [13] ZHANG H and CHEN M. Forming an IPv6-only Core for Today's Internet. Proceedings of ACM SIGCOMM Workshops, Kyoto, Japan, 2007