

文章编号:1671-6833(2007)03-0076-04

IPv6-IPv4 隧道技术的研究及互连方案实现

李润知¹, 赵红领¹, 谭同德²

(1. 郑州大学 省信息网络重点实验室, 郑州 河南 450001; 2. 郑州大学 信息工程学院, 郑州 河南 450001)

摘要: 介绍 IPv4 到 IPv6 的过渡技术, 包括双协议栈技术、隧道技术和网络地址转换/协议转换(NAT-PT)技术, 并对隧道技术进行深入分析. 根据当前的网络环境, 在不增加双栈网络设备的前提下, 采用双网卡主机模拟双栈网络设备的功能, 设计 2 种有代表性的利用隧道技术完成 IPv4/IPv6 网络互联的方案, 分别实现了 IPv4 网络主机通过隧道访问 IPv6 网络以及 2 个纯 IPv6 网络通过隧道跨 IPv4 网络实现互联. 最后给出了隧道配置步骤及详细的配置命令.

关键词: IPv6; 过渡技术; 隧道; 双网卡主机

中图分类号: TP 393.07 **文献标识码:** A

0 引言

随着 IPv4 地址的日渐短缺, IPv6 (Internet protocol version 6)^[1] 是面向下一代 Internet 设计的网络层协议. 由于 IPv6 和 IPv4 的报文格式并不兼容, 目前存在的最大问题是 Internet 网络经过近 20 年的发展, 技术和应用较为成熟, 需要一段较长的时间来完成 IPv4 到 IPv6 的过渡, 过渡时期主要的整合和共存策略有双协议栈技术和隧道封装技术. 在过渡时期利用较少的设备投资实现接入 IPv6 网络并访问 IPv6 资源, 为 IPv6 环境下的研发提供试验平台是非常必要且有效的工作. 目前有一些书籍整理了 IPv6 过渡技术的发展^[2-3], IEEE 相关 RFC (request for comments) 也提出了过渡方案, 但并不涉及具体实现细节, 另外不同的环境过渡策略也有所不同. 研究过渡技术并对相关标准文档进行研究, 设计 IPv4 网络和 IPv6 网络互通方案并实现配置是笔者的主要工作.

河南省教科网网络管理中心承担着省其它地市 80 余所院校的骨干网络及省网出口的运行维护工作, 郑州大学于 2004 年 12 月底作为 25 个主节点之一接入 CERNET2 (China Education and Research Network 2) 网络. 结合当前的网络环境, 对过渡技术的充分研究以及设计相应的互连方案并

进行试验, 一方面可以给其它接入单位提供技术支持, 同时为 IPv6 环境下的科研开发提供网络试验平台.

1 IPv6 过渡技术

1.1 IPv6 过渡技术分类及介绍

过渡技术大体分为 3 类: 双协议栈技术; 隧道技术; 网络地址转换/协议转换 (NAT-PT) 技术. 其中双协议栈技术是指在设备上同时启用网络层的 IPv4 和 IPv6 协议栈. 如图 1 所示: 如果一台主机同时支持 IPv4 和 IPv6 两种协议, 则该主机既能与支持 IPv4 协议的主机通信又能与支持 IPv6 协议的主机通信. 双协议栈技术是其它过渡技术的基础. 基本条件为网络设备支持双协议栈. NAT-PT 是附带协议转换器的网络地址转换器, 通过修改协议报文头来转换网络地址, 使其互通. 详细内容可参考 RFC2766^[4]. 隧道技术是将一种协议报文封装在另一种协议报文中进行通信. 如图 2 所示: IPv6 隧道指在隧道入口处将 IPv6 报文封装在 IPv4 报文中, IPv4 报文的源/目的地址分别为隧道入口和出口的 IPv4 地址. 在隧道出口处, 将 IPv6 报文取出转发给目的站点. 隧道技术只在隧道的入口和出口处要求 IPv6 的支持, 且部署灵活方便, 成为过渡阶段主要使用的技术.

收稿日期: 2007-04-04; 修订日期: 2007-05-31

基金项目: 国家下一代互联网示范工程研究开发、产业化及应用试验项目 (CNGI-04-13-27); 河南省教育厅自然科学基金研究项目计划 (0524220083)

作者简介: 李润知 (1978-), 女, 河南洛阳人, 郑州大学助教, 博士研究生, 研究方向: 网络测量、网络管理.

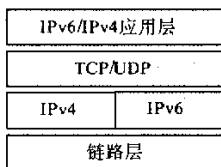


图1 双栈结构图

Fig.1 Dual-stack Structure

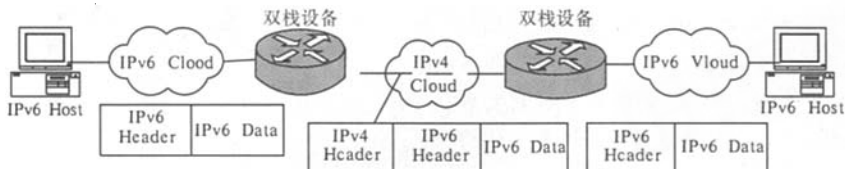


图2 隧道技术示意图

Fig.2 Tunnel Operating Chart

1.2 IPv6 网络隧道互通技术

IPv6 隧道技术工作方式是将 IPv6 报文封装在 IPv4 报文中,经过 IPv4 网络进行传输,隧道的封装格式大致有两种 GRE (generic routing encapsulation) 自身封装和 IPv6-IPv4 封装。从配置方式又可分为:手工隧道、自动隧道和隧道代理几种,下面分别介绍。

1.2.1 隧道封装格式

数据包在隧道上进行传输时通常把 IPv6 部分作为乘客协议,常用的隧道封装格式有专用的 GRE 封装和 IPv6-IPv4 封装 2 种。其中, GRE 报文封装格式在 IPv6 报文头和 IPv4 报头之间插入 GRE 报头,如图 3 所示。IPv6-IPv4 封装为在 IPv6 数据报文前直接增加 IPv4 报头。二者比较为 GRE 封装实际完成两次封装过程,是 GRE 技术在 IPv4/IPv6 隧道实现中的应用。

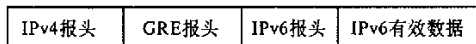


图3 GRE 报文封装

Fig.3 GRE Encapsulation

1.2.2 手工隧道配置

手工隧道配置实现点到点的隧道连接,在手工配置隧道方式中,隧道的封装格式可以是 GRE 或 IPv6-IPv4,对建立的每一条隧道,都需要在隧道的端点建立相应的配置信息。隧道通信时,隧道两端点的 IPv4 地址是全球唯一地址,且需要对两端各自的隧道接口配置相应的 IPv6 地址,除此之外,为隧道两端点选择相同的封装格式是最重要的。

1.2.3 自动隧道配置

区别与手动隧道的点到点连接,自动隧道完成点到多点的连接。IPv4 兼容 IPv6 自动隧道技术万方数据

在图 2 所示的隧道工作方式中,双栈设备 R1 把接收到的 IPv6 数据包进行封装,生成一个 IPv4 数据包,并从各自相应隧道接口转发出去,该数据包在 IPv4 网络中被路由到目的地 R2, R2 收到报文后,进行解封装,取出 IPv6 报文。

能够使隧道自动生成,告诉设备隧道的起点,隧道的终点由设备自动生成,IPv4 兼容 IPv6 自动隧道需要使用一种特殊的地址,即 IPv4 兼容 IPv6 地址,其地址结构示意图如图 4 所示:

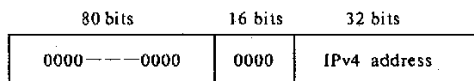


图4 IPv4 兼容 IPv6 地址

Fig.4 IPv4 Based IPv6 Address

IPv4 兼容 IPv6 自动隧道正是利用 128 位 IPv6 地址中末位的 32 位 IPv4 地址来自动确定隧道的目的地址。需要注意,在 IPv4 上建立兼容 IPv4 的 IPv6 隧道,只能实现隧道两端点进行通信,隧道端点后网络不能通过隧道通信。

1.2.4 隧道代理

隧道代理 (TunnelBroker) 是实现隧道自动配置管理的技术,适用于单个主机获得 IPv6 连接的情况,对 TunnelBroker 本身要求主机支持双栈,终端用户通过 TunnelBroker 和 IPv6 ISP 建立隧道,访问外部 IPv6 资源, Broker 代表用户管理隧道的建立、修改、删除等工作。RFC3053 描述了隧道代理的基本原理和构成框架^[5],具体实现时需要对细节部分进行重新设计。陈茂科等人在文献[6]中说明为中国教育和科研计算机网 (CERNET) IPv6 试验床主干网设计的隧道代理模型和软件实现的要点。

1.2.5 隧道配置方式比较

对于手工隧道配置,隧道的建立和拆除需要人为手动来操作,在需要配置的隧道数量较少时具有实际意义,且配置灵活;而自动隧道的建立和拆除是动态的,端点根据数据包目的地址确定,要

求站点间必须有可用的 IPv4 连接且隧道的 2 个端点都需支持双栈,局限性较明显;隧道代理适合大量隧道存在的情况,执行效率高,但是隧道代理的设计及实现相对复杂。

2 v4/v6 网络隧道互通试验

2.1 实验环境搭建

目前,对校级网络来说,网络庞大且结构复杂,如何利用原有网络基础部署校园网 IPv6 服务是网络管理人员面临的问题。隧道技术以其实现简单、部署灵活、发展完善及不拘泥于硬件等优势在 IPv4 网络到 IPv6 网络的过渡期使用较广。笔者提供校内 IPv4 网络用户通过隧道访问纯 IPv6 网及纯 IPv6 网络用户通过 IPv4 网络访问其它纯 IPv6 网络两种情况的解决方案。由于接入用户的数量不大,且处于试验阶段,所以采用手工配置隧道方式。

2.2 IPv4 网络主机访问 IPv6 网络拓扑设计

在 IPv6 网络端采用双网卡主机实现路由功能,配置双协议栈,隧道链路如图 5 粗线所示,在双网卡主机和 IPv4 网络终端主机间建立隧道。双网卡主机的一个网络接口连接 IPv4 网络,另一个

接口作为 IPv6 网络的边界接口,双网卡主机作为隧道的一个端点其 IPv4 地址为和 IPv4 网络相连的接口地址。在双网卡主机上通过建立多条隧道配置实现与 IPv4 网络中多个终端主机的隧道连接。

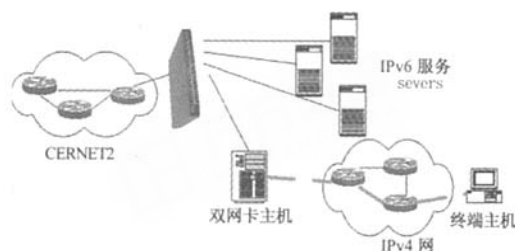


图 5 IPv4 网络主机访问 IPv6 网络

Fig. 5 IPv4 PC Access IPv6 Network

2.3 纯 IPv6 网络跨 IPv4 网络实现互联拓扑设计

图 6 是双网卡主机支持 IPv6 协议栈,一个网络接口用于连接纯 IPv6 网络,另一个网络接口连接 IPv4 网络,实现一个最简单的 v4/v6 双栈设备。v4/v6 设备为 IPv4 网络和 IPv6 网络互联的边界网络设备,支持 v4/v6 双协议栈,粗线为建立的隧道链路,通过对作为隧道两个端点的 v4/v6 双栈设备进行配置来实现 2 个 IPv6 网络的互通。

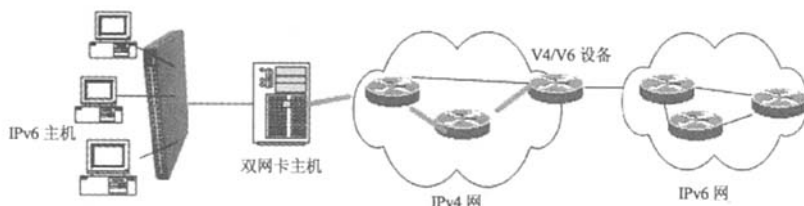


图 6 IP 主机通过 IPv4 网络和 IPv6 网络互连

Fig. 6 IPv6 PC Access IPv6 Network

2.4 隧道配置实例

根据隧道技术工作原理,IPv6 隧道配置步骤为:启用 IPv6 功能;创建隧道虚端口;指定隧道的入口和出口 IPv4 地址;给新创建的隧道增加 IPv6 地址;增加 IPv6 路由。

需要特别指出的是,对需要实现数据转发功能的网络设备,如双栈路由器、双网卡主机应打开 IPv6 转发功能。

2.4.1 终端主机隧道配置

对不同操作系统的终端,隧道配置实现有所区别,下面以 Linux 平台和 Windows 2003 系统为例介绍隧道配置命令^[7]:

Linux 平台下隧道配置:

modprobe ipv6 ——加载 IPv6 模块

万方数据

```
ip tunnel add mytunnel mode gre remote a:a:a:
a local b:b:b:b ttl 64 ——参数 mode 后所跟值为选择的隧道方式,即对应前面介绍的几种隧道方式,a:a:a:a 为隧道对端 IPv4 地址,b:b:b:b 为本地 IPv4 地址。
```

```
ifconfig mytunnel up ——启用隧道配置
```

```
ifconfig mytunnel inet6 add 2001:da8:a5:ff::1
——为该隧道接口增加 IPv6 地址
```

```
route - A inet6 add ::/0 dev mytunnel
——增加 IPv6 默认路由
```

```
echo 1 > /proc/sys/net/ipv6/conf/all/forwarding
——打开转发功能
```

Windows 2003 系统下隧道配置:

```
netsh int IPv6 install ——启用 IPv6 功能
```

```
netsh int IPv6 add v6v4tunnel "mytunnel" a:
a:a:a b:b:b:b ——建立隧道并指明隧道入口
和出口 IPv4 地址
```

```
netsh int IPv6 add address "mytunnel" 2001:
da8:a5:ff::1 ——为隧道增加 IPv6 地址
```

```
netsh iint IPv6 add route ::/0 "mytunnel"
2001:da8:a5:ff::2 ——增加路由, nexthop 为
隧道对端地址
```

2.4.2 v4/v6 双栈网络设备隧道配置

不同厂家的网络设备在具体配置上有所区别,但隧道方式的工作原理相同,以华为设备为例,隧道的配置可参考如下配置命令:

```
[huawei]interface tunnel tunnel1/0/0 ——
创建隧道接口
```

```
[huawei-tunnel1/0/0]ipv6 address 2001:da8:
a5:ff::1 ——为该隧道接口增加 v6 地址
```

```
[huawei-tunnel1/0/0]source a:a:a:a ——
指定隧道本地接口 v4 地址,为该设备任一活动接
口 v4 地址
```

```
[huawei-tunnel1/0/0] destination b:b:b:b
——指定隧道对端 v4 地址
```

```
[huawei-tunnel1/0/0] tunnel protocol gre
——指定隧道封装格式
```

2.5 实验结果

目前,信息网络实验室搭建了 IPv6 纯试验网,IPv6 试验网站 [Http://ipv6.ha.edu.cn](http://ipv6.ha.edu.cn) (2001:da8:a5:8000:1::80) 已向 CERNET2 IPv6 用户提供服务。同时,省网中心通过提供隧道网关的方式向省教育网其它高校及科研院所提供隧道接入方式,运行稳定,已有近 10 个科研院所通过隧道方式访问 IPv6 资源。

3 结论

在目前 IPv4 网络到 IPv6 网络的过渡阶段,研究过渡技术,针对支持 IPv6 的双栈设备不普及的情况,创造条件用双网卡主机模拟双栈设备,设计网络连接方案,实现 2 种网络互联。笔者分析研究了双协议栈、NAT-PT、隧道技术 3 种过渡技术和隧道技术的原理,设计了 IPv4 网络主机访问 IPv6 网络拓扑及纯 IPv6 网络跨 IPv4 网络实现互联的拓扑,给出了配置方法及详细的配置命令。实验结果说明设计方案成功,可以推广。

参考文献:

- [1] RFC 2460, Internet Protocol, Version 6 Specification [S], S. Deering, R. Hinden, IETF, www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt, 1998 - 11.
- [2] 王玲芳, 张宇. Cisco IPv6 网络实现技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004. P200 - 250.
- [3] 华为 3com 技术有限公司. IPv6 技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [4] RFC 2766, Network Address Translation Protocol Translation [S], G. Tsirtsis, P. Srisuresh, IETF, www.ietf.org/rfc/rfc2766.txt, 2000 - 2.
- [5] RFC3053, IPv6 Tunnel Broker [S], A. Duraand, P. Fasano, I. Guardini, TIM, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3053.txt>, 2001 - 1.
- [6] 陈茂科, 严程, 黄辉. IPv6 隧道代理的设计和实现[J]. 电信科学, 2002, 18(3): 39 - 42.
- [7] Implementing Tunneling for IPv6, http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/software/ios123/123cgr/ipv6_c/sa_tunv6.htm, 2006 - 5 - 1.

Research and Application of Connection on IPv6/IPv4 Tunnel Technology

LI Run - zhi¹, ZHAO Hong - ling¹, TAN Tong - de²

(1. Provincial Key Lab on information Network, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: This paper introduces the IPv4-IPv6 transition technology including dual-protocol stack, tunnel and NAT-PT. It analyses deeply the tunnel technology. Considering the present network circumstance, it uses dual-NIC computer to implement dual-stack network device. It designs two kinds of representative connecting scheme between network devices which uses tunnel technology and finish IPv4 PC access IPv6 network through v6v4 tunnel and two IPv6 networks access each other by tunnel. At last, It gives the configuration commands and steps.

Key words: IPv6; transition technology; tunnel dual network; interface card computer