

# 隧道技术在新增 IPv6 校园网中的实现及分析<sup>①</sup>

李清平 (浙江育英职业技术学院 信息技术与应用系 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 通过一个具体的新增 IPv6 校园网络的部署以及路由器的端口设置、IP 地址分配和各路由器的配置, 采用手动配置 IPv6-over-IPv4 隧道方法, 实现了基于隧道原理的 IPv6 穿越 IPv4 的透明传输, 分析了网络服务器负载、网络时延和网络吞吐量等性能, 为 IPv4/IPv6 共存网络的实现提供了一种技术手段。

**关键词:** 隧道技术; IPv6-over-IPv4; 校园网; 网络性能; 静态路由配置

## Implementation and Analysis of Newly Added IPv6 Campus Network Based on Tunneling Technique

LI Qing-Ping (Department of Information Technology & Application, Zhejiang Yuying Professional College, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Based on the tunneling technique IPv6-over-IPv4, a newly added Campus Network of IPv6 is developed. The topological diagram is designed. Static routers' ports are set and IP addresses are distributed. The configuration commands of routers are analyzed respectively. Several factors such as server load and network delays and network throughput are analyzed. Thus, transparent connection with IPv6-over-IPv4 is implemented based on the tunneling principle. And a technical method is provided for IPv4/IPv6 co-existing network.

**Keywords:** tunnel technique; IPv6-over-IPv4; campus network; network performance; static routing configuration

## 1 引言

IPv6 是下一代的互联网协议。采用 32 位长度的 IPv4 协议, 只有大约 43 亿个地址, 估计在 2005 ~ 2011 年间将被分配完毕<sup>[1~3]</sup>。为了扩大地址空间, 拟通过 128 位长度的 IPv6 重新定义地址空间。如何完成从 IPv4 到 IPv6 的转换是 IPv6 发展需要解决的一个问题, 现有的网络及其连接设备几乎都支持 IPv4, 要想一夜间就完成从 IPv4 到 IPv6 的转换是不切实际的, 因此必须开发出 IPv4 / IPv6 网络互通技术以保证 IPv4 能够平稳过渡到 IPv6。目前解决过渡问题的基本技术主要有 3 种: 双协议栈、隧道技术和 NAT-PT<sup>[4]</sup>。隧道技术提供了一种以现有 IPv4 路由体系来传递 IPv6 数据的方法, 将 IPv6 包作为无结构意义的数, 封装在 IPv4 包中, 被 IPv4 网络传输。隧道技术巧妙地利用了现有的 IPv4 网络, 其意义在于提供了一种使

IPv6 的节点间能够在过渡期间通信的方法<sup>[4,5]</sup>。相对于其它两种方法来说, 隧道技术的实现要简单许多, 因而也是 IPv4 向 IPv6 过渡期间的主流技术。当前, 研究 IPv6 自身特征和技术的文献比较多<sup>[4~7]</sup>, 基于隧道技术具体实现一个 IPv4/IPv6 共存的局域网并进行性能分析的案例还不多见, 本文进行了这一方面的初步研究。

## 2 IPv6 地址结构简介

### 2.1 IPv6 地址表示法

128 比特的 IPv6 地址用冒号将其分割成 8 个 16 比特的数组, 每个数组表示成 4 位的 16 进制数, 如其高位为 0, 则可省略<sup>[1,2]</sup>。例如, 地址 2001:0000:0000:0010:0000:0000:0000:0001 可缩写为: 2001:0:0:A:0:0:0:1。为了进一步简化, 规范中引入

<sup>①</sup> 收稿时间:2009-09-17;收到修改稿时间:2009-11-10

了重叠冒号的规则,即用重叠冒号代替地址中连续 16 比特的 0。因此,上述 IPv6 地址可进一步缩写为: 2001:0:0:A::1,但重叠冒号的规则在一个地址中只能使用一次。

### 2.2 IPv6 地址层次

IPv6 的地址分成表示特定网络的网络前缀和表示主机或服务器的主机地址两部分,在 128 比特中高 64 比特表示网络前缀,低 64 比特表示主机地址<sup>[1,2]</sup>。IPv6 的地址前缀可表示为:“IPv6 地址/前缀长度”,前缀长度是一个十进制值,指定该地址中最左边用于组成前缀的比特数。

## 3 IPv6-over-IPv4 隧道原理

随着 IPv6 网络的发展,出现了许多局部的 IPv6 网络,这些 IPv6 网络需要通过 IPv4 骨干网络相连。利用隧道技术可以通过现有的运行 IPv4 协议的骨干网络(即隧道)将局部的 IPv6 网络连接起来,因而是 IPv4 向 IPv6 过渡初期最易于采用的技术<sup>[3,4]</sup>。

所谓“隧道”简单地讲就是利用一种协议来传输另一种协议的数据的技术。其工作机理就在 IPv6 网络与 IPv4 网络间的隧道入口处,路由器将 IPv6 的数据分组封装入 IPv4 中,IPv4 分组的源地址和目的地址分别是隧道入口和出口的 IPv4 地址,在隧道的出口处再将 IPv6 分组取出转发给目的节点,隧道技术只要求在隧道的入口和出口处进行修改<sup>[3-5,7]</sup>。

## 4 网络部署与配置

### 4.1 背景资料及拓扑图

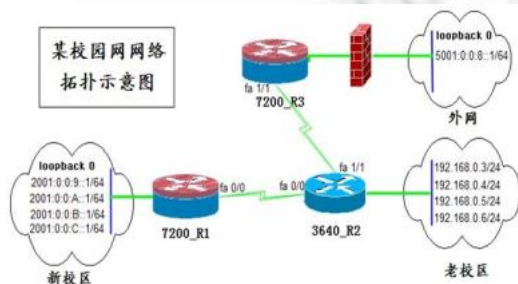


图 1 某校园网络拓扑示意图

某学院新建一校区。为适应网络技术发展的需要,新校区采用 IPv6 连接互联网,老校区还是沿用旧有的 IPv4 网络系统,两个校区之间通过新校区的 Cisco Catalyst 7200 和老校区 Cisco Catalyst

3640 相连, Cisco Catalyst 3640 又与边界路由器 Cisco Catalyst 7200 相连,网络拓扑图如图 1 所示。

### 4.2 路由器端口 IP 地址分配

路由器端口设置如表 1 所示。

表 1 路由器端口 IP 地址

端口	IP 地址	端口	IP 地址
7200_R1: fa0/0	172.16.1.1/1 6	3640_R2 :fa0/0	172.16.1.2/1 6
3640_R2:	192.168.0.1/	7200_R3	192.168.0.2/

### 4.3 配置命令

为实现 IPv6 网络与旧有的 IPv4 网络无缝连接,采用 IPv6-over-IPv4 隧道技术对 IPv6 数据包实行 IPv4 格式的封装与解封。对 7200\_R1、3640\_R2 和 7200\_R3 路由器的具体配置操作分别如图 2、图 3 和图 4 所示,为严谨起见,所有的配置命令均采用命令的完整格式。

```
Router#enable
Router#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#hostname 7200_R1
7200_R1(config)#ipv6 unicast-routing
7200_R1(config)#interface fastEthernet 0/0
7200_R1(config-if)#ip address 172.16.1.1 255.255.0.0
7200_R1(config-if)#no shutdown
7200_R1(config-if)#
*Jun 24 16:17:04.887: NLINE-3-IFDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Jun 24 16:17:05.887: NLINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
7200_R1(config-if)#interface loopback 0
7200_R1(config-if)#ip address 2001:0:0:9::1/64
7200_R1(config-if)#ip address 2001:0:0:10::1/64
7200_R1(config-if)#ip address 2001:0:0:11::1/64
7200_R1(config-if)#ip address 2001:0:0:12::1/64
7200_R1(config-if)#exit
7200_R1(config)#ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 172.16.1.2
7200_R1(config)#interface tunnel 0
7200_R1(config-if)#
*Jun 24 16:19:10.015: NLINEPROTO-5-IFDOWN: Line protocol on Interface Tunnel0, changed state to down
7200_R1(config-if)#tunnel source 172.16.1.1
7200_R1(config-if)#tunnel destination 192.168.0.2
7200_R1(config-if)#
*Jun 24 16:22:25.263: NLINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel0, changed state to up
7200_R1(config-if)#tunnel mode ipip
7200_R1(config-if)#ip address 3001:0:0:1::1/64
7200_R1(config-if)#exit
7200_R1(config)#ip route ::/0 3001:0:0:1::2
7200_R1(config)#
```

图 2 对 7200\_R1 路由器的配置操作

```
Router#enable
Router#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#hostname 3640_R2
3640_R2(config)#interface fastEthernet 0/0
3640_R2(config-if)#ip address 172.16.1.2 255.255.0.0
3640_R2(config-if)#no shutdown
3640_R2(config-if)#
*Jun 24 16:25:52.139: NLINE-3-IFDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Jun 24 16:25:53.139: NLINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
3640_R2(config-if)#interface fastEthernet 1/1
3640_R2(config-if)#ip address 192.168.0.1 255.255.255.0
3640_R2(config-if)#no shutdown
3640_R2(config-if)#
*Jun 24 16:26:51.335: NLINE-3-IFDOWN: Interface FastEthernet1/1, changed state to up
*Jun 24 16:26:52.335: NLINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet1/1, changed state to up
3640_R2(config-if)#
```

图 3 对 3640\_R2 路由器的配置操作

```

Router>enable
Router#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#hostname 7200_R3
7200_R3(config)#ipv6 unicast-routing
7200_R3(config)#interface fastEthernet 1/1
7200_R3(config-if)#ip address 192.168.0.2 255.255.255.0
7200_R3(config-if)#no shutdown
7200_R3(config-if)#
*Jun 24 16:29:05.799: NLINE-3-UPDOWN: Interface FastEthernet1/1, changed state to up
*Jun 24 16:29:06.799: NLINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet1/1, changed state to up
7200_R3(config-if)#interface loopback 0
7200_R3(config-if)#ip address 5001:0:0:8::1/64
7200_R3(config-if)#exit
7200_R3(config)#interface tunnel 0
7200_R3(config-if)#
*Jun 24 16:31:39.067: NLINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel0, changed state to down
7200_R3(config-if)#tunnel source 192.168.0.2
7200_R3(config-if)#tunnel destination 172.16.1.1
7200_R3(config-if)#tunnel mode ipip
7200_R3(config-if)#ip address 4001:0:0:1::1/64
7200_R3(config-if)#exit
7200_R3(config)#ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.0.1
7200_R3(config)#
*Jun 24 16:34:59.063: NLINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel0, changed state to up
7200_R3(config)#ipv6 route ::0 4001:0:0:1::2
7200_R3(config)#

```

图 4 对 7200\_R3 路由器的配置操作

```

7200_R1#show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 13 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
       U - Per-user Static route
       I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary
       O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
       ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
S ::0 1/0
  C 2001:0:0:9::/64 [0/0]
    via ::, Loopback0
L 2001:0:0:9::1/128 [0/0]
  via ::, Loopback0
C 2001:0:0:10::/64 [0/0]
  via ::, Loopback0
L 2001:0:0:10::1/128 [0/0]
  via ::, Loopback0
C 2001:0:0:11::/64 [0/0]
  via ::, Loopback0
L 2001:0:0:11::1/128 [0/0]
  via ::, Loopback0
C 2001:0:0:12::/64 [0/0]
  via ::, Loopback0
L 2001:0:0:12::1/128 [0/0]
  via ::, Loopback0
C 3001:0:0:1::/64 [0/0]
  via ::, Tunnel10
L 3001:0:0:1::1/128 [0/0]
  via ::, Tunnel10

```

图 7 7200\_R1 路由表信息

### 4.4 结果测试

经过测试，7200\_R1 路由器能与外网的 IPv6 地址 ping 通，测试结果如图 5 所示并解析如下。

- (1) 表示 ping 外网的 IPv6 地址；
- (2) 表示能 ping 通。

```

7200_R1#ping 5001:0:0:8::1 (1)

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 5001:0:0:8::1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 60/92/164 ms (2)

```

图 5 测试结果

3640\_R2 及 7200\_R1 的路由表信息分别如图 6 和图 7 所示。通过查看这两者的路由信息可以得知，IPv6 网络穿越 IPv4 网络传输时，IPv4 网络并不知晓，3640\_R2 的路由表里并没有 IPv6 的信息，由此可见，IPv6 over IPv4 是一种透明传输，也就是 IPv6 的包封装在 IPv4 的包中。

```

3640_R2#show ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

C 172.16.0.0/16 is directly connected, FastEthernet0/0
C 192.168.0.0/24 is directly connected, FastEthernet1/1

```

图 6 3640\_R2 路由表信息

### 4.5 网络性能分析

#### 4.5.1 服务器负载和网络时延

图 8 和图 9 显示，新添 IPv6 网络后，服务器平均负载呈剧烈增长的趋势，增加相同数量的网络节点，服务器负载也相应成倍数增加，但网络时延性能并没有因服务器负载的增加而受到影响。

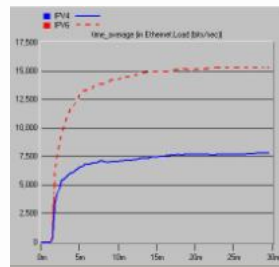


图 8 网络服务器平均负载对比

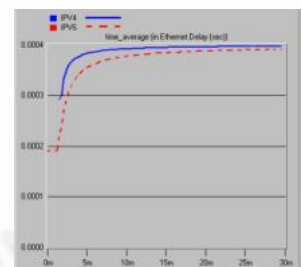


图 9 网络时延对比

从数据包发送的时间间隔及发送的次数对网络的影响进一步研究分析。图 10 显示，在数据包大小 (Packet Size) 为 100byte，发送间隔时间 (Interval) 为 2s，发送次数 (Count) 为 5 的默认设置情况下，无论是原有的 IPv4 网络还是新增的 IPv6 网络，所有的数据包都在 2 分钟之内发送完毕。表 2 表示，在发送间隔时间不变的情况下，即使是把发送次数调大到 50000，发送完所有数据包的时间仍然变化不大，而把间隔时间调整到 20s 时才明显增大，接近 3 分钟，分别如图 11 和表 3 所示。正因为系统在默认设置情况下，小型校园网络中要传送的数据包并不多，发送的间隔时间也不长，所有的数据包在短时间内就能传送完毕，因此新增 IPv6 网络后，虽然整个网络的数据

包总量增加,服务器的负载增大,但网络时延受到的影响并不大。

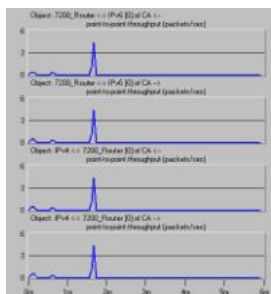


图 10 默认设置下  
发包时间

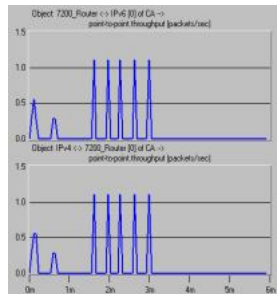


图 11 间隔时间 20s 时  
发包时间

表 2 Packet Size=100B, Interval=2s 时, 发包次数与传送完所有数据包时间的关系

数据包发送次数(次)	50	500	5000	50000
传送完毕时间 (m)	<2	<2	<2	<2

表 3 Packet Size=100B, Count=5 时, 发包时间间隔与传送完所有数据包时间的关系

发包时间间隔 (s)	5	10	15	20
传送完毕时间 (m)	≈2	≈2.3	≈2.7	≈3

#### 4.5.2 IPv4 与 IPv6 吞吐量的比较

图 12 表明,每秒通过边界路由器 Cisco Catalyst 7200 的 IPv4 与 IPv6 的数据包数量相当,这也说明了 IPv6 over IPv4 是一种透明传输。

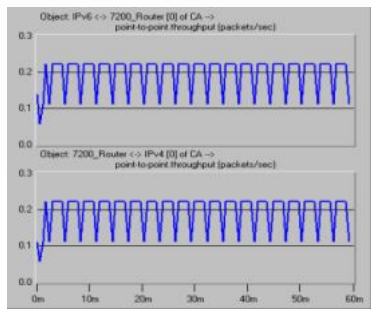


图 12 IPv4 与 IPv6 吞吐量的比较

具有 IPv6 路由功能的路由器用隧道方式在 IPv4 网络上传送 IPv6 封包时, IPv6 提供嵌有 IPv4 地址的特殊地址,这类地址高 80 位均为 0,低 32 位包含 IPv4 地址,中间的 81-96 位被置换为 16 位的 0,称为 IPv4 兼容地址,如图 13 所示。

IPv4 兼容地址被节点用于通过 IPv4 路由器传

送 IPv6 包,这些节点既理解 IPv4 又理解 IPv6,可以作为路由器链接 IPv6 网络,并采用隧道方式穿越 IPv4 网络。本文中,7200\_R1 路由器从本地 IPv6 网络接收 IPv6 包,将这些包封装在 IPv4 包中,然后使用 IPv4 兼容地址通过 3640\_R2 路由器发往 7200\_R3 路由器,由该路由器对 IPv4 包拆包,释放出 IPv6 包并转发给与之链接的外网 IPv6 主机,因此 3640\_R2 路由表 and 7200\_R1 路由表中记录的都是老校区的 IPv4 地址信息和新校区的 IPv4 兼容地址信息。

IPv4兼容地址

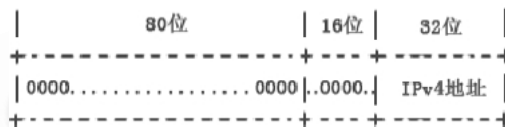


图 13 RFC 2373 定义的嵌有 IPv4 地址的 IPv6 地址

#### 5 结论

本文通过一个新增 IPv6 校园网的部署和实现,详细说明了路由器的端口设置、IP 地址分配以及隧道技术的配置命令,通过对网络服务器负载、网络时延对比分析可以看出在增加相同数量网络节点的情况下,服务器负载成倍数增加,但网络时延并不受影响,通过对数据包发送时间间隔和发送次数分析对此现象进行了解析。另外通过路由表信息的分析及网络中 IPv4 和 IPv6 吞吐量的分析,可以看出 IPv6 over IPv4 是一种封装与解封装的透明传输,为 IPv4/IPv6 共存网络的实现提供了一种技术手段。

#### 参考文献

- 1 Cisco Systems 公司, Cisco Networking Academy Program. 思科网络技术学院教程(第一、二学期).第 3 版,清华大学,北京大学,北京邮电大学,等译.北京:人民邮电出版社,2007. 242-243.
- 2 崔北亮. CCNA 认证指南(640-802).北京:电子工业出版社,2009. 597-600.
- 3 吴建平,吴茜,徐恪.下一代互联网体系结构基础研究及探索.计算机学报,2008(9):1536-1548.
- 4 黄玉春.如何从 IPv4 过渡到 IPv6.计算机时代,2004,(8):11-12.
- 5 杨惠仁,吕波,谢晓尧.Ipv6 驻地网部署方案研究.计算机技术与发展,2007(11):60-62.
- 6 李锦,鲁士文.基于 IPv6 的任播路由协议的研究和设计.计算机系统应用,2007,16(9):26-30.
- 7 李学杰,金志刚,戴居丰.高效 IPv6 网络模拟器及其 windows 平台实现.小型微型计算机系统,2009(2): 215-218.