

隧道模式下 IPv6 穿越 IPv4 网络 的技术分析与实现^①

Technological Analysis and Realization of transition between
Network IPv6 and IPv4 under tunneling

陶国芳 (杭州师范大学信息工程学院 杭州 310036)

摘要: 文章从 IPv6 协议的定义出发,通过对 IPv4 网络向 IPv6 迁移原因的介绍,概述了三种迁移技术:双协议栈、隧道封装和协议转换。着重探讨了 Cisco 网络环境下的配置隧道、IPv6 协议网络穿越 IPv4 网络技术的实现方法。

关键词: IPv4 IPv6 隧道封装

1 引言

IETF 于 90 年代中期推出了第 6 版网际协议 IPv6 (如图 0-1)。新的网际协议地址长度增加到 128bit,支持约 3.4×10^{38} 个 IP 地址,同时采用分级地址模式、高效数据报报头、服务质量(QoS)、快速的路由结构等多项技术,将极大地满足用户对网络的新要求。但是,传统的 IPv4 网络不可能在极短的时间内就为新的 IPv6 网络所替代,IPv4 的网络和业务将会在一段相当长的时间里与 IPv6 共存,许多业务仍然要在 IPv4 网络上运行很长时间,特别是 IPv6 不可能马上提供全球的连接,很多 IPv6 的通信不得不在 IPv4 网络上传输,在一个很长时期中必然将是两种网络并存。为此,必须对网际协议作大量的研究,提出可行的方案,实现在利用现有 IPv4 资源的情况下逐步向 IPv6 网络迁移。

2 IPv4 - IPv6 整合与共存策略概述

IPv6 协议在设计开始就考虑到了与 IPv4 的过渡问题,以维持对 IPv4 的完全向后兼容。IETF 的 Ngtrans 工作组设计了用于 IPv4 网络向 IPv6 转换的工具、协议和机制。从 96 年起,IETF 提出了许多用于网络过渡的机制和策略,主要有以下几种:

2.1 双协议栈(Dual Protocol Stack)

双协议栈技术(Dual stack)。即所有的主机/路由器既运行 IPv4 协议栈又运行 IPv6 协议栈,同时支持两套协议,这是 IPv4 网络和 IPv6 网络互操作最简单、直接的方法。双协议栈节点可直接与 IPv4 网络和 IPv6 网络交互,系统根据实际传输的数据报的类型动态地指定是使用 IPv4 协议栈还是 IPv6 协议栈进行工作。

2.2 隧道封装(Tunneling)

隧道使孤立的 IPv6 主机、服务器、路由器等利用现有的 IPv4 网络与其他 IPv6 网络通信。即使是孤立的 IPv6 主机也能够利用 IPv4 作为传输层建立端到端的 IPv6 会话。隧道机制就是利用 IPv4 封装 IPv6 数据包并且把这些封装了的数据包通过 IPv4 网络送往一个 IPv4 目的节点,目的节点拆封数据包并剥离出 IPv6 数据包。

2.3 协议转换(Protocol Translation)

在 IPv6 网络上 IPv6 单协议网络的节点与 IPv4 网络上 IPv4 单协议网络的节点进行通信,可以采用此技术将协议报头、协议地址进行转换,映射为与网络匹配的协议类型,从而利用现有的网络为载体,实现报文的可靠传输。

^① 2006 年度浙江省教育科学规划立项资助课题(2006SC29),杭州师范大学自然科学立项资助课题(2007XNZ05)

3 隧道技术分析

隧道一般用于在现有网络中传输不兼容的协议或特殊的数据。对于在现有 IPv4 网络中配置 IPv6,隧道机制提供了一种基本方法,使 IPv6 主机、路由器等组成的网络使用 IPv4 路由作为传输层,以到达其他的 IPv6 网络。

当 IPv6 数据包在 IPv4 中通过隧道传输时,原始包头和有效载荷不被修改的。在 IPv6 数据包前面插入一个 IPv4 包头。里面的包头包含着端到端 IPv6 会话的源和目的 IPv6 地址,外面的包头包含隧道端点的源和目的 IPv4 地址,在隧道的每一个端点,执行 IPv6 数据包的封装和解封装(如下图 2-1 所示)。IETF 针对 IPv6

3.1 采用配置隧道

配置隧道是 IPv6 支持的第一个过渡机制,在目前所有可用的 IPV6 网络中广泛地支持,配置隧道可以看作是一条点到点链路。Cisco IOS 对配置隧道有很好的支持。在 Cisco 路由器上启用配置隧道需要六个步骤:在 config 模式下选定启用配置隧道的接口编号、给隧道接口静态配置一个 IPV6 地址和前缀、确定用作隧道接口源地址的本地 IPV4 地址、确定隧道终点的目的 IPV4 地址、定义隧道接口类型为配置隧道、使用 ipv6 route 命令将匹配的 IPV6 数据包转发到配置隧道接口。如上图 2 所示网络进行实例配置说明,

```
R1 (config) #int tunnel0
```

```
R1 (config - if) #ipv6 address 3001:a12:ffff:c::1/64
```

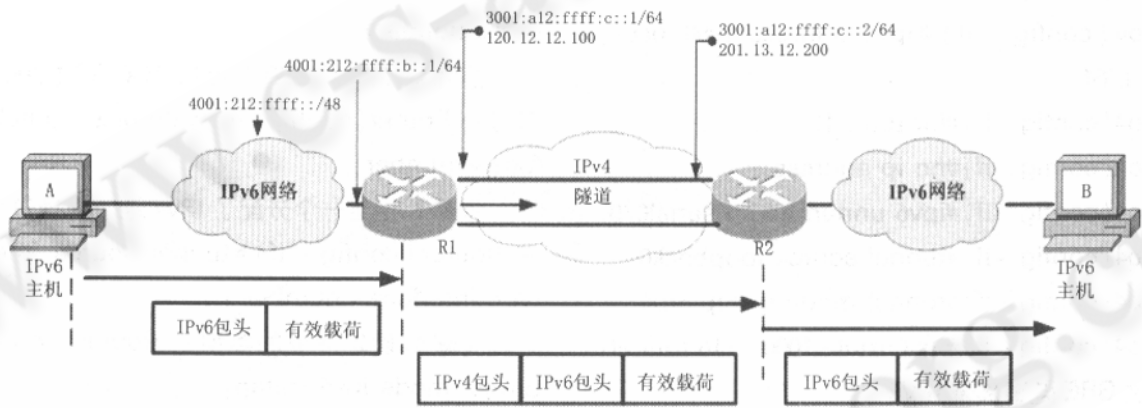


图 1 通过 IPv4 隧道传输 IPv6 数据包

协议在双栈节点间建立隧道的协议和技术,主要有以下几种:配置隧道、隧道代理、隧道服务器、6to4、GRE 隧道、ISATAP(站点间自动隧道编址协议)和自动 IPv4 兼容隧道等。其中 Cisco 所支持的有:配置隧道、6to4、GRE 隧道、ISATAP 等。

```
1/64
```

```
R1 (config - if) #tunnel source 120.12.12.100
```

```
R1 (config - if) #tunnel destination 201.13.
```

```
12.200
```

```
R1 (config - if) #tunnel mode ipv6ip
```

```
R1 (config - if) #exit
```

```
R1 (config) # ipv6 route
```

```
4001:212:ffff::/48 tunnel0
```

3.2 采用 6to4

在两个 IPV6 域间建立、操作、管理和支持配置隧道至少需要两个实体的同步,对于简单的网络组织来说,静态管理几个隧道是可行的。但是对于一个复杂的网络环

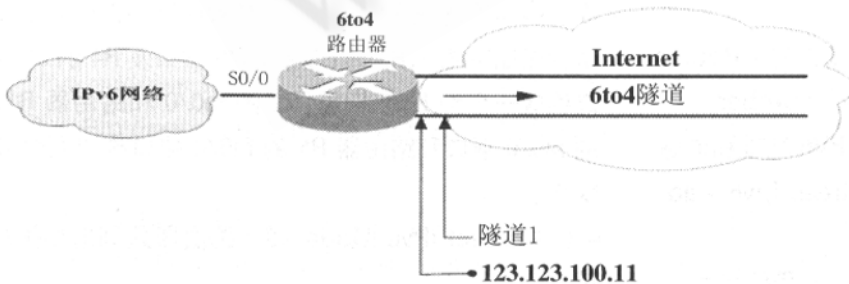


图 2 6to4 隧道网络

境来说就不是一件那么容易做的事了。IETF 定义了另一种称为 6to4 的机制来简化通过隧道在 IPv4 网络上配置 IPv6, 在 RFC3056 中定义的 6to4 机制具有如下特点: 自动隧道(在由 IPv6 节点组成的站点间动态采用隧道的方法)、在站点边缘使用(在站点边缘的边界路由器上启用, 6to4 路由器必须通过 IPv4 路由基础设施到达其他 6to4 站点和 6to4 路由器)、自动前缀分配(向每一个 6to4 站点提供一个可聚合的全球单播的 IPv6 前缀)、没有 IPv6 路由传播(6to4 前缀基于全球唯一的 IPv4 地址)。图 2 显示了一个 6to4 的网络结构。

```
R6to4(config)#int lo0
R6to4(config-if)#ip address 123.123.100.11
255.255.255.0
R6to4(config-if)#int s0/0
R6to4(config-if)#ipv6 address 1000::0a01:
010a::1/64
R6to4(config-if)#int tunnel1
R6to4(config-if)#no ip address
R6to4(config-if)#ipv6 unnumbered serial0/0
R6to4(config-if)#tunnel source loopback0
R6to4(config-if)#tunnel mode ipv6ip 6to4
R6to4(config-if)#ipv6 route 1000::/16 tunnel1
```

3.3 通过 GRE 隧道部署 IPv6

GRE 隧道是一种能够保证稳定和安全的端到端链路的标准隧道技术, GRE 隧道给在域内使用 IS-IS 作为 IPv6 路由选择协议的组提供了方便, 因为 IS-IS 协议需要在网络上相邻的路由器之间发送链路层信息, 而 GRE 隧道是仅有的能够在 IP 基础设施上携带这种类型流量的隧道协议。因此, 一条 GRE 隧道可以用来在广域网中同时传输 IPv6 数据包及 IS-IS 路由器间的 IS-IS 链路层信息。在 Cisco 路由器上启用针对 IPv6 的 GRE 隧道的步骤如下:

步骤 1、确定启用 GRE 隧道的隧道接口号 - Router (config)#interface tunnel - interface - number;

步骤 2、给隧道接口静态分配一个 IPv6 地址和前缀长度 - Router (config-if)#ipv6 address ipv6 - address/prefix - length;

步骤 3、指定用作隧道接口源地址的 IPv4 地址 - Router (config-if)#tunnel source ipv4 - address;

步骤 4、标识隧道终点的目的 IPv4 地址, 目的 IPv4

地址是隧道的远端 - Router (config-if)#tunnel destination ipv4 - address;

步骤 5、定义隧道接口作为 IPv6 的 GRE 隧道 - Router (config-if)#tunnel mode gre ipv6

3.4 部署 ISATAP 隧道

ISATAP (Intrasite Automatic Tunnel Addressing Protocol) 是在一个管理域(比如一个站点)内使用 IPv4 传输 IPv6 的隧道传输机制, 它可以在 IPv4 网络上创建一个虚拟的 IPv6 网络。如同其他过渡和共存机制, ISATAP 操作需要在主机和路由器中支持双栈。在 Cisco 路由器上启用 ISATAP 隧道的步骤如下:

步骤 1、给一个网络接口分配一个 IPv4 地址 - Router (config)#interface tunnel - interface - number; - Router (config-if)#ip address ipv4 - address netmask

步骤 2、定义路由器上启用 ISATAP 机制的隧道接口号 - Router (config-if)#interface tunnel - interface - number;

步骤 3、指定一个分配了 IPv4 地址的接口为隧道源 - Router (config-if)#tunnel source interface - type interface - number;

步骤 4、确定隧道的类型 - Router (config-if)#tunnel mode ipv6 isatap;

步骤 5、启用隧道接口的路由广播 - Router (config-if)#no ipv6 nd suppress-ra;

步骤 6、启用隧道接口上的前缀广播 - Router (config-if)#ipv6 address ipv6 - address/prefix - length eui - 64

4 基于 Cisco 产品的实例分析

本院于 2004 年建设了一个基于 Cisco 路由器和交换机的网络通讯实验室, 现有 Cisco 路由器十台。网络结构图如图 3, R3 与 R2 的 s0/0 端口及 R4 的 S0/1 端口构成一个纯 IPv4 网络, R2 的 fa0/0 和路由器 R1、R4 的 fa0/0 端口和路由器 R5 的 fa0/0 端口构成两个 IPv6 网络。

4.1 Manual IPv6 Mode (每个路由器只列出相关的信息)

R1 - ipv6#show run

IP cef // 启用 Cisco 快速转发 (cef)

```

IPv6 unicast - routing //启用 Ipv6 单播路由协议
IPv6 cef
!
interface FastEthernet0/0
IPv6 address 2000:1:1:1:1:1:1:1:1112/112 //端口
配置一个 Ipv6 地址
IPv6 Rip 6bone enable //将接口添到特定的
RIPng 路由域
!
IPv6 router Rip 6bone //启动 IPv6 的 RIP 进程
R2 - ipv6? ipv4#show run
interface Tunnel 0
    
```

```

!
interface FastEthernet0/0
IPv6 address 2000:1:1:1:1:1:1:1:1111/112 //配置
一个 Ipv6 地址
IPv6 Rip 6bone enable
!
router ospf 1 //启用 OSPF 路由协议
network 192.23.1.0 0.0.0.0.255 area 0 //发布路由
!
IPv6 router Rip 6bone
R4 和 R5 与 R1 和 R3 类试,不再给出具体的代码。
而 R3 路由器没有特殊的配置,它处于一个纯 Ipv4 网络
    
```

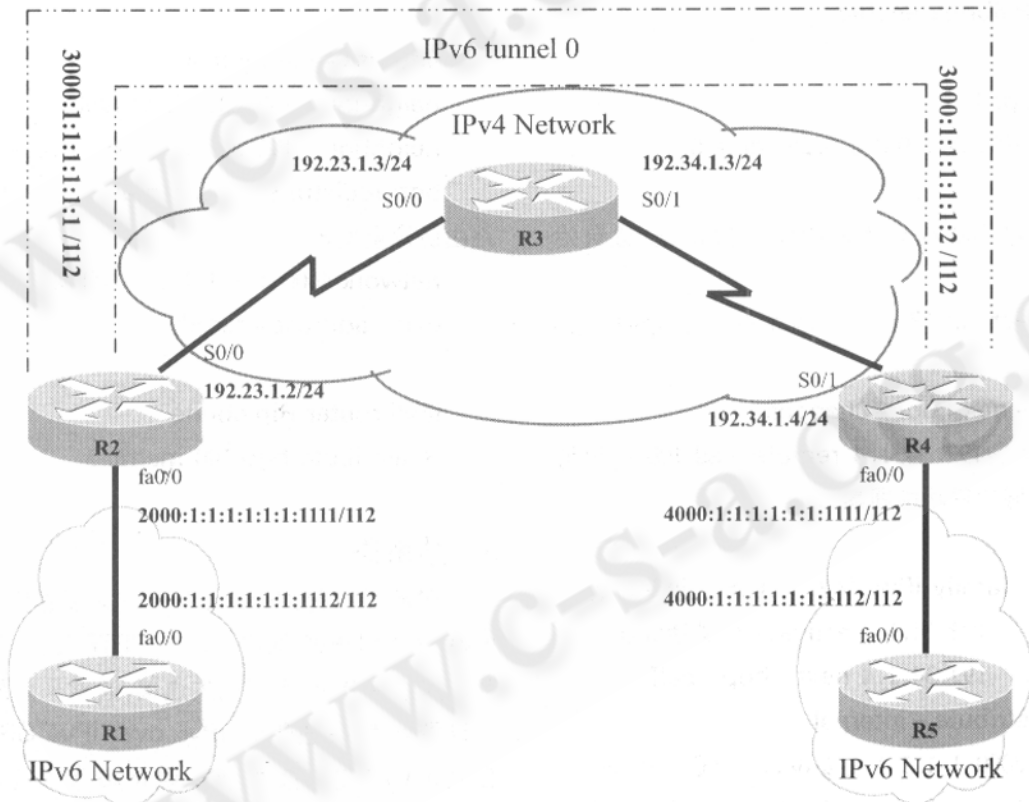


图 3 隧道模式 IPv6 穿越 IPv4 网络图

```

IPv6 address 3000:1:1:1:1:1:1:1:1112 //配置一个 Ipv6 地址
IPv6 Rip 6bone enable //启用 6bone 类型 ipv6
rip 协议
tunnel source Serial0/0 //指定隧道源端口
tunnel destination 192.34.1.4 //指定隧道目的
地址
tunnel mode IPv6IP //指定隧道类型
    
```

```

中,只要对相应的使用端口 S0/0 和 S0/1 配置指定的
Ipv4 地址。因为是在实验室环境,是采用背对背的 DTE
-DCE 连接方式,要对 DCE 端口设置相应的同步时钟。
最后采用下面的代码,采用 OSPF 协议在区域 0 中发布
两条 Ipv4 路由,使的 Ipv4 网络能联通。
router ospf 1
network 192.23.1.0 0.0.0.0.255 area 0
    
```

```
network 192.34.1.0 0.0.0.255 area 0
```

4.2 Automatic IPv4 - Compatible Mode (给出 R2 和 R4 代码,其余路由器和手动模式时类试)

R2 - ipv6? ipv4#show run

```
!
interface Tunnel 0
IPv6 Rip 6bone enable
tunnel source Serial0/0
tunnel mode IPv6IP auto - tunnel //定义隧道类型
!
interface FastEthernet0/0
IPv6 address 2000:1:1:1:1:1:1:1/112
IPv6 RipP 6bone enable
!
router ospf 1
network 192.23.1.0 0.0.0.255 area 0
!
router bgp 100 //启用边界网关协议,设置自治域号
no bgp default IPv4 - unicas //关闭 ipv4 bgp 单播
bgp log - neighbor - changes
neighbor ::192.34.1.4 remote - as 100 //设置远程相连自治域边界路由器端口
!
address - family IPv6 //进入 ipv6 地址簇配置
neighbor ::192.34.1.4 activate //激活邻居
neighbor ::192.34.1.4 next - hop - self
bgp redistribute - internal
network 2000:1:1:1:1:1:1:0/112 //通告网络
exit - address - family //退出 ipv6 地址簇配置
!
IPv6 router Rip 6bone
redistribute bgp 100 metric 2 //将 BGP 学到的路由从新发布到 ospf
R4 - ipv4? ipv6#show run
interface Tunnel 0
IPv6 Rip 6bone enable
tunnel source Serial0/1
```

```
tunnel mode IPv6IP auto - tunnel
```

```
!
```

```
interface FastEthernet0/0
```

```
IPv6 address 4000:1:1:1:1:1:1:1/112
```

```
IPv6 Rip 6bone enable
```

```
!
```

```
router ospf 1
```

```
network 192.34.1.0 0.0.0.255 area 0
```

```
!
```

```
router bgp 100 //配置 BGP 协议
```

```
no bgp default IPv4 - unicast //关闭 BGP 缺省
```

ipv4 单播,缺省情况 BGP 只会发布 v4 的前缀给邻居

```
neighbor ::192.23.1.2 remote - as 100
```

```
!
```

```
address - family IPv6
```

```
neighbor ::192.23.1.2 activate
```

```
neighbor ::192.23.1.2 next - hop - self
```

```
bgp redistribute - internal //允许 BGP 在内部
```

路由协议重发布

```
network 4000:1:1:1:1:1:1:0/112
```

```
exit - address - family
```

```
!
```

```
IPv6 router Rip 6bone
```

```
redistribute bgp 100 metric 2
```

5 结束语

IPv6 协议是网际协议发展的必然趋势,为实现现有 IPv4 网络到 IPv6 网络的迁移, IETF 提出了多种解决方案。为解决 IPv6 节点间的通信,通常采用配置型隧道、自动型隧道、隧道代理、IPv6 over IPv4 GRE 隧道以及自动 6 To 4 隧道技术;而实现 IPv6 节点与 IPv4 节点间通信可采用双协议栈、双协议栈转换、动态 IP/ ICMP 转换、网络地址和协议转换、SOCKS64 网关等技术。无论采用哪一种方案,其实施都有很大的局限性。为了利用现有 IPv4 网络资源并逐步实现向 IPv6 网络的迁移,必须作进一步探索,提出一种更为方便且既能满足 IPv4 与 IPv6 节点间通信又能解决 IPv6 节点间通信的技术方案,并达到两者的完美结合,才能为完成 IPv6 网络最终取代 IPv4 网络奠定基础。 (下转第 93 页)

参考文献

- 1 Joseph Davies 著, 张晓彤、晏国晟、曾庆峰 译, 理解 IPv6 [M], 北京: 清华大学出版社, 2004.
- 2 伍海桑、陈茂科、陈名华著, IPv6 原理与实践 [M], 北京: 人民邮电出版社, 2000.
- 3 G Tsirtais, P Srisuresh. Network Address Translation - Protocol Translation (NAT - PT) [R]. RFC 2766, 2000.
- 4 B Carpenter, C Jung. Transmission of IPv6 over IPv4 Domains Without Explicit Tunnels [R]. RFC 2529, 1999.
- 5 Regis Desmeules 编, 王玲芳、张宇、李颖华、孙向辉 译, Cisco IPv6 网络实现技术 [M], 北京: 人民邮电出版社, 2004.
- 6 张宏科、苏伟编著, IPv6 路由协议栈原理与技术 [M], 北京: 北京邮电大学出版社, 2006.
- 7 (美) Sam Brown 等著, 王军、刘芳等译, Cisco IOS 的 IPv6 配置 [M], 北京: 电子工业出版社, 2003.
- 8 罗万明、阎保平, IPv4/IPv6 过渡机制的研究与实现 [J], 计算机工程与应用, 2003(25).
- 9 余冬梅、廖永刚、张秋余, 基于 IPv4 网络的 IPv6 隧道传输技术的研究 [J], 计算机工程与设计, 2004(09).