

# 互联网基本服务 IPv4/IPv6 过渡的研究与实现

庄正松, 吴家皋, 吴清亮, 陈国凤

(东南大学 计算机科学与工程系, 江苏 南京 210096)

**摘要:**新一代互联网协议 IPv6 正逐步得到应用与部署, 解决好 IPv4/IPv6 之间的过渡问题已是迫在眉睫。文中研究了 NAT-PT 过渡技术, 分析了基于 NAT-PT 的互联网基本服务过渡方案, 并在此基础上实现了 IPv4/IPv6 基本服务过渡的原型系统。测试结果表明, 该方案具有较高的可用性和实用性。

**关键词:** IPv6; NAT-PT; 互联网基本服务; 过渡机制

**中图分类号:** TP393.4; TN915.04

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2006)08-0013-03

## Study and Implementation of IPv4/IPv6 Transition Mechanism for Basic Internet Services

ZHUANG Zheng-song, WU Jia-gao, WU Qing-liang, CHEN Guo-feng

(Dept. of Computer Sci. & Eng., Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The new version Internet Protocol IPv6 is replacing the IPv4 gradually, and dealing with the transition of IPv4/IPv6 becomes pressing. In this paper, the NAT-PT transition technology is researched, a transition approach of the basic Internet services, which is based on NAT-PT, is analyzed, and a prototype system for achieving the transition is implemented. The test results show that the approach could fulfill the requirement of practical application.

**Key words:** IPv6; NAT-PT; basic Internet services; transition mechanism

### 0 引言

在过去的几十年中 IPv4 技术为互联网的起步和发展奠定了基础。但是随着计算机网络的普及、互联网的广泛接入, IPv4 地址的匮乏和路由表的过度膨胀问题日益突出, 为此 IETF 制定了下一代互联网协议 IPv6<sup>[1]</sup>。同 IPv4 相比较, IPv6 把地址长度由原来的 32 位扩展成 128 位, 能有效地解决地址资源不足的问题, 并且在安全性、网络管理、移动性以及服务质量等方面也有明显的改进。

然而 IPv6 技术需要按计划分阶段地进行部署, 在这过程中必须提供一套完整的网络技术过渡方案来解决 IPv4/IPv6 之间互联网基本服务的相互通信。目前这方面的技术主要分为三类: 双协议栈技术<sup>[2]</sup>, 隧道技术<sup>[2]</sup>和地址/协议转换技术 NAT-PT (Network Address Translation - Protocol Translation)<sup>[3]</sup>。

双协议栈技术是各种 IPv6 过渡技术的基础, 但它要求每台主机配置一个全局有效的 IPv4 地址, 这有悖于利用 IPv6 解决 IPv4 地址不够的初衷, 因此常常结合其它过

渡技术一起使用。隧道技术较为成熟, 但它配置复杂而且隧道两端的主机必须配置双协议栈, 这使得它同样受双协议栈技术某些缺陷的限制。NAT-PT 技术则不同, 它配置简单, 透明度高, 适应性广, 更重要的是它通过端口映射使得一个 IPv4 地址映射多个 IPv6 地址, 不受双协议栈束缚, 能有效解决地址短缺问题。可以说 NAT-PT 是一种既能实现 IPv4/IPv6 平滑过渡又能解决地址短缺问题的转换技术。

文中通过对 NAT-PT 技术的深入研究, 构建了一个基于 NAT-PT 以及应用层网关 ALG (Application Level Gateway) 相结合的 IPv4/IPv6 基本服务过渡原型系统, 实现了 IPv4/IPv6 基本服务 (FTP、Telnet、WWW 和电子邮件) 的应用过渡。实验表明, 该方案不仅功能完善, 各项性能指标也已符合实用标准。

### 1 NAT-PT 过渡技术原理分析

NAT-PT 技术工作在网络层, 它能在 IPv4/IPv6 地址转换 (NAT) 的同时在 IPv4 分组和 IPv6 分组之间进行包头和语义的翻译 (PT), 从而解决纯 IPv6 网络与纯 IPv4 网络之间的互通。对于一些内嵌地址信息的高层协议 (如 FTP), NAT-PT 需要和应用层的网关协作来完成翻译。与 IPv4 下的 NAT 相似, 在 NAT-PT 的基础上利用端口信息还可以实现一种扩展模式——NAPT-PT。下面

收稿日期: 2006-01-23

基金项目: 中日下一代互联网 IPv6 合作项目 (发改高技 ([2003] 1607))

作者简介: 庄正松 (1981-), 男, 江苏吴江人, 硕士研究生, 研究方向为高性能网络体系结构, 及 IPv4/IPv6 过渡技术。

将就上述技术进行详细介绍。

### 1.1 NAT-PT 翻译网关技术原理

NAT-PT 过渡技术原理主要包括两部分:网络地址转换技术 NAT 和协议转换技术 PT。NAT 采用了在 IPv4 网络中被广泛使用的 NAT 技术<sup>[4]</sup>并作了改进。主要负责地址映射关系的建立和对地址映射关系的维护。PT 部分采用了 SIIT 技术<sup>[5]</sup>中的协议转换方法,主要包括了 IPv4/IPv6 头标互译、ICMPv4/ICMPv6 头标互译和 ICMPv4/ICMPv6 差错报文互译。

### 1.2 ALG 应用层网关技术原理

对于那些将网络地址内嵌在分组载荷(payload)中的服务,NAT-PT 无法得知分组载荷中的内容,需要应用层网关 ALG 来协助处理。一个应用层网关对应于一种特定基本服务,它可以搜索并转换该服务的分组载荷中在不同协议下的内容和格式的差,协助 NAT-PT 完成该基本服务在 IPv4/IPv6 间的过渡。

### 1.3 NAT-PT 扩展技术原理

基本的 NAT-PT 采用的是 IP 地址映射,即一个 IPv4 地址只能映射一个 IPv6 地址,直到该映射解除为止。在这种机制下当大量 IPv6 用户同时发起连接时,有限的 IPv4 地址将被耗尽,连接无法建立。

为了更加有效地利用有限的 IPv4 地址,NAPT-PT 技术对 NAT-PT 进行了扩展,它加入了端口映射机制,即同一个 IPv4 地址通过不同的端口号映射到多个 IPv6 地址,这样地址池中的一个 IPv4 地址就可以复用 64k 个连接映射,从而解决了 NAT-PT 地址池用完时 IPv6 与 IPv4 网络不能通信的问题。

## 2 基于混合型 NAT-PT 的基本服务过渡的系统实现

笔者设计的原型系统采用了混合型 NAT-PT 过渡机制,与基本的 NAT-PT 过渡机制相区别,该混合型过渡机制中有两种地址映射方式:单纯的地址映射(NAT)和地址端口映射(NAPT)。

当网络会话是从 IPv4 方发起时,使用基本的 NAT;当连接是从 IPv6 方发起时,使用地址和端口组合的 NAPT。这样的实现结构不仅可以实现基本的 NAT-PT 应用过渡,还有利于测试比较 NAT-PT 与 NAPT-PT 两种不同机制的差异。在整个系统实现结构的提出以及原型系统的整体设计方面,都考虑了可扩展性问题,采用基于 C 语言平台的一个开放的模块化的设计框架,下面将对系统的实现进行详细介绍。

### 2.1 过渡系统实现结构

NAT-PT 过渡技术的实现需要一台 NAT-PT 翻译网关服务器。该服务器要求配置成 IPv4/IPv6 双协议栈,并设置一定数量的全局有效 IPv4 地址,通过将它架设在纯 IPv4 网络和纯 IPv6 网络之间来实现 IPv4/IPv6 的相互通信。

混合型 NAT-PT 实现结构(见图 1)在整体上分为三层,第一层是物理链路层,通过两个物理网络接口分别连接到 IPv4 网络和 IPv6 网络;第二层是网络层,这里是 NAT-PT 翻译网关服务器的所在,它通过 IPv4(IPv6)协议栈获得分组,交由 NAT 进行地址映射,再由 PT 进行协议转换,构建新的 IP 分组头,最后通过 IPv6(IPv4)协议栈转发,其中为了适应更多的基本服务的应用过渡,ALG 管理器会根据分组协议类型自动调用不同类型的 ALG 来协助处理;第三层是应用层,设有 FTP-ALG、DNS-ALG 和其它的 ALG,它们各自独立,但接受 ALG Manager 的统一管理和调用,协助 NAT-PT 完成过渡。

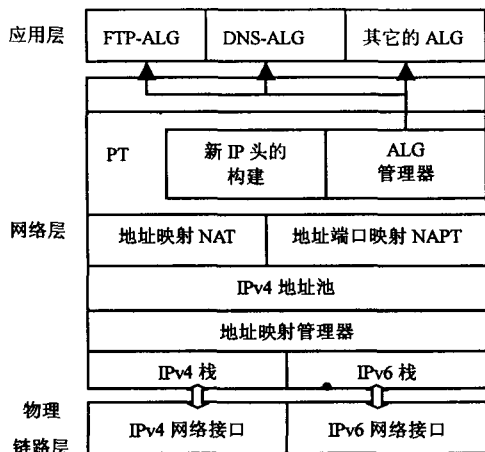


图 1 基于 NAT-PT 和 ALG 的过渡实现结构

### 2.2 过渡系统功能实现

基于混合型 NAT-PT 的原型系统本身支持 WWW、Telnet 和 E-Mail 等多种互联网基本服务的过渡,再加上 DNS-ALG 和 FTP-ALG<sup>[6]</sup>两个应用层网关的协助,DNS 和 FTP 服务过渡也已实现。并且在可扩展的模块化设计框架下,随着新的 ALG 的加入,可以支持更多的基本服务的过渡。

## 3 原型系统的构建与测试

实验拓扑结构(见图 2)由 IPv4 子网、NAT-PT 转换服务器和 IPv6 子网三部分组成。服务器采用 RedHat Linux 8.0-2.14.18 操作系统;客户端采用 Windows XP Professional 操作系统;FTP 服务器 Vsftpd-2.0.1;WWW 服务器,Apache2.0.52;域名服务器,BIND-9.4;远程访

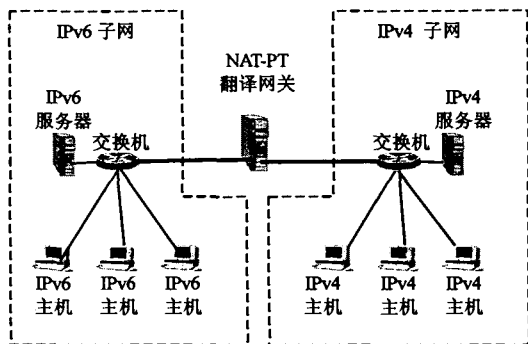


图 2 实验环境拓扑

问控制服务器:Telnetd-0.17;电子邮件服务器:Qmail-1.03;以太网配置 100M。

为验证原型系统实现的 NAT-PT 过渡机制能否很好地满足实际应用的需求,对原型系统中 NAT-PT 转换网关的基本功能和性能以及 NAT-PT 和各个 ALG 协同工作的性能进行了测试。

3.1 整体传输性能及分析

首先,经过对原型系统的调试,成功实现了基于 NAT-PT 转换网关的多种基本服务(WWW,DNS,E-mail,Telnet 和 FTP)的 IPv4/IPv6 间的过渡应用,功能正常,性能稳定。

其次,测试比较在纯以太网环境下以及在经过 NAT-PT 转换的情况下,ICMP 分组的往返时间 RTT(round-trip time)、TCP 连接建立的响应时间和 FTP 传输 400MB 文件的速度,结果记录在表 1 中。

表 1 不同协议环境下传输性能比较

	纯 IPv4 环境	纯 IPv6 环境	IPv4 to IPv6	IPv6 to IPv4
ICMP 往返时间(ms)	0.160	0.143	0.516	0.524
TCP 连接延时(ms)	4.933	4.906	5.434	5.532
FTP 传输速度(MB/s)	9.6	11.0	11.0	10.0

分析表 1 中的数据可以发现:

①整体上,NAT-PT 过渡环境下的各项指标均接近于纯以太网环境。这表明该过渡机制对 FTP 的传输性能影响不大,系统整体性能良好。

②NAT-PT 过渡环境下的往返时间、连接延时比纯以太网环境下长,传输速度比纯以太网环境下慢。这主要有两个方面的原因:第一,NAT-PT 本身对分组的转换过程需要一定的时间;第二,NAT-PT 是网络层软件,FTP-ALG 更是处在应用层,每个分组的传输都要经过转换网关服务器从底层到高层的多层处理,这也造成时间上面的损耗。

③基于 NAT-PT 技术的双向连接性能存在一些差异,IPv6-to-IPv4 情况下 FTP 建立连接响应时间和文件传输速度稍慢于 IPv4-to-IPv6。这种性能上的差异是由混合型 NAT-PT 内部地址映射机制的不同造成的。在 IPv6-to-IPv4 情况下采用的是地址端口映射机制 NATPT,它是由一个 IPv4 地址通过不同的端口号映射到不同的 IPv6 地址,分组在通过 NATPT-PT 转换时,除了在 IPv4 地址池的地址查找外,还要对同一个地址的大量端口号进行查询才能找到正确的映射地址,从而造成了 IPv6-to-IPv4 的性能下降。

3.2 FTP 传输性能分析

鉴于 FTP 服务对系统整体性能全面性的反映,单独对 FTP 进行服务性能和 FTP-ALG 处理能力的测试:取

100 个大小在 0~700MB 之间的文件,分别测试它们在 IPv4/IPv6 间经过 NAT-PT 转换的传输速度,记录测试数据并绘制关系曲线图,如图 3 所示。

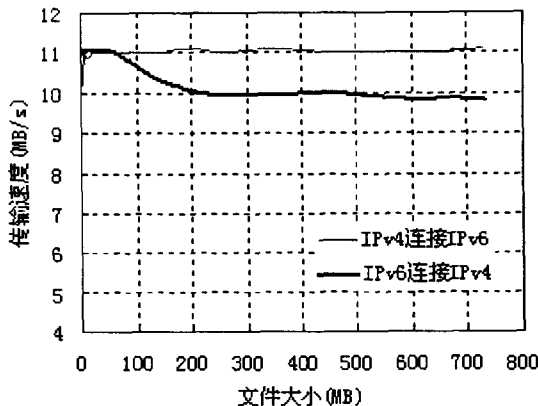


图 3 FTP 传输速度测试

分析图 3 可以发现,无论文件大小怎样变化,经由 NAT-PT 网关转换的传输速度非常稳定,在 NAT 机制下基本保持在 11MB/s,NAPT 机制下基本保持在 10MB/s,这样的传输性能已可以满足各种多媒体应用的实际需要。另一方面,从两种不同机制下传输速度的差异可以看出,NAPT 机制虽然更加有效地利用了 IPv4 地址资源,但是性能上受到了一定的影响。

4 总 结

文中研究和实现的 NAT-PT 转换网关已被应用于中日下一代互联网 IPv6 合作项目中。在实验环境下,基于该系统来实现的 IPv4/IPv6 基本服务的过渡应用功能完善、性能良好,具有很高的可用性和实用性。下一步工作是将把 NAT-PT 过渡技术实际部署到校园网内,并通过 CERNET 华东北网络中心接入 CERNET 骨干,在实际环境中进一步测试和改善 NAT-PT 的功能和性能。

参考文献:

[1] IETF RFC 1883. Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification[S]. 1995.  
[2] IETF RFC 2893. Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers[S]. 2000.  
[3] IETF RFC 2766. Network Address Translation - Protocol Translation (NAT-PT)[S]. 2000.  
[4] IETF RFC 2663. IP Network Address Translator (NAT) Terminology and Considerations[S]. 1999.  
[5] IETF RFC 2765. Stateless IP/ICMP Translator(SIIT)[S]. 2000.  
[6] IETF RFC 2428. FTP Extensions for IPv6 and NATs[S]. 1998.

(上接第 12 页)

- open.org/committees/download.php/10539/wsrp-primer-1.0.html,2004-12-03.  
[5] Abdelnur A (Sun Microsystems Inc), Chien E(Sun Microsys-

tems Inc), Hepper S (IBM). JSR 168: Portlet Specification [EB/OL]. http://www.jcp.org/en/jsr/detail?id=168, 2003-10.