

# 基于 LINUX 系统的 IPv6 网络安装与调试

乐德广, 刘年生, 吕迎阳, 郭东辉

(厦门大学技术物理研究所, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 简要介绍了下一代互联网(即 IPv6 网络)的通信协议, 重点说明 IPv6 的地址结构特点及其管理机制, 分析在现有硬件技术和网络环境条件下 IPv6 网络的组网技术及实现方案, 特别是如何由现行的 IPv4 平稳地演进到 IPv6; 最后, 详尽介绍如何在 Linux 系统平台下实现 IPv6 网络的安装与调试。

**关键词:** 互联网; IPv6; Linux

**中图分类号:** TP 393.4; TP 316.81

**文献标识码:** A

随着互联网的普及, 网络同人们的生活和工作已经密切相关。同时伴随互联网用户数膨胀, 出现的问题也越来越严重。如: Internet 网络规模越来越大, 已造成互联网地址耗尽; Internet 上越来越多的多媒体应用, 对网络的带宽和服务质量以及安全性等方面提出更高的要求, 而 IPv4 网络在这些方面存在很大的局限性。

为了解决这些问题, IETF (Internet Engineering Task Force) 在 90 年代初期就开始进行下一代互联网协议 IPv6 的制定工作。同 IPv4 相比较 IPv6 在地址容量、安全性、网络管理、移动性以及服务质量等方面有明显的改进, 是下一代互联网可采用的比较合理的协议<sup>[1]</sup>。在国际上, 对 IPv6 的各项研究和实现已经展开。IBM、Sun、Redhat、HP、Cisco 等公司已开始生产支持 IPv6 的路由器、网卡等产品, 并开发了不同平台上的 IPv6 系统软件和应用软件, 如 FreeBSD、Linux 等。1996 年, 一个以研究 IPv6 为目标的实验平台, 国际 IPv6 试验床 6Bone 建立。目前欧洲、美洲、亚洲的许多国家和组织都已经加入了 6Bone 实验网。在国内, CERNET 国家网络中心自 1998 年 4 月开始进行 IPv6 方面的实验, 建立了 IPv6 的实验网络, 同年 6 月加入 6Bone, 11 月成为 6Bone 主干网的成员,

并建立了以 Tunnel 作为主要的主干网连接方式的全国范围的 IPv6 实验网络体系。目前在 PC 机上实现 IPv6 通信已经成为人们所关注的焦点之一, 本文在介绍 IPv6 通信协议的基本原理和组网技术基础上详细阐明了在 Linux 平台下如何组建 IPv6 实验网络, 并根据实验结果得出一些结论与建议。

## 1 IPv6 通信协议

IETF 的 IPng 工作组在 1994 年 9 月提出了一个正式的草案“The Recommendation for the IP Next Generation Protocol”, 1995 年底确定了 IPng 的协议规范。现在已经正式决定, 新版的 IP 分配版本号为 6, 称为“IP version 6”, 简称为 IPv6, 以同现在使用的版本 4 相区别。术语 IPv6 用于泛指 IETF 所提出的各种新的特定协议标准如: 报文格式、地址规划、安全协议等。

### 1.1 IPv6 报文格式

IPv6 报头以 64 个字节为单位, 且报头的总长度是 40 个字节<sup>[2]</sup>, 其报头格式如图 1 所示。与 IPv4 相比, IPv6 的报头结构有了很大的改进, 主要表现在以下方面: 1) 地址扩展。IPv6 把 IP 地址的大小从 32 位增至 128 位, 可以支持更多的地址层次, 更大数量的节点, 以及更简单的地址自动配置; 2) 简化固定报头数量, 改进扩展报头。IPv6 使用了固定格式的报头并减少了需要检查和处理的字段的数量, 从而减少了包的处理开销, 使得选路的效率更高。在 IPv6 中把可选项放在单独的扩展报头中, 选项报头只有在必

收稿日期: 2002-04-11

基金项目: 国家自然科学基金(60076015), 福建省自然科学基金(A0010019)和福建省高新技术资助项目

作者简介: 乐德广(1975—), 男, 博士研究生。

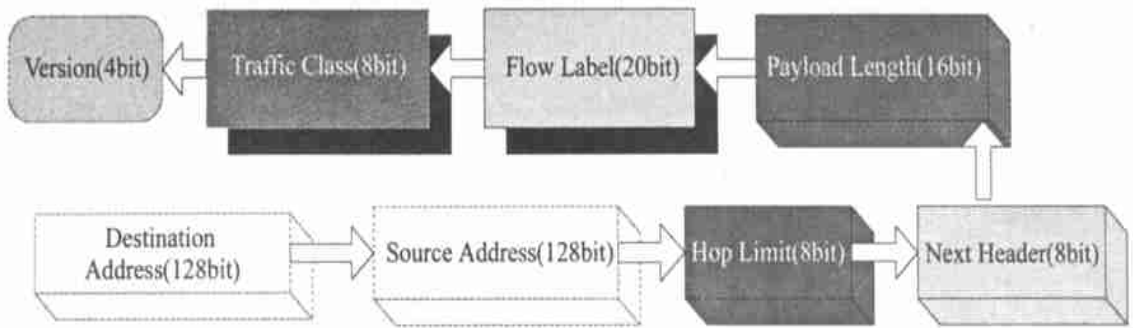


图 1 IPv6 报头

Fig. 1 IPv6 header format

表 1 IPv6 的可聚集全局单播地址结构

Tab. 1 Aggregatable global unicast address structure

| 聚类水平名称                           | 位数(bit) | 聚类水平名称                            | 位数(bit) |
|----------------------------------|---------|-----------------------------------|---------|
| Format Prefix                    | 3       | Next-Level Aggregation Identifier | 24      |
| Top-Level Aggregation Identifier | 13      | Site-Level Aggregation Identifier | 16      |
| Reserved for Future Use          | 8       | Interface Identifier              | 64      |

要的时候才需要检查和处理, 因此提高了传输效率; 3) 增强了对 QoS 和网络层安全性的支持<sup>[3]</sup>. IPv6 实现了流概念, 在需要特殊处理的数据包贴上相应的流标签, 便于传输中该包的调度与处理. 在 IPv6 的扩展报头中有 AH (Authentication Header)<sup>[4]</sup> 和 ESP (Encapsulating Security Payload)<sup>[5]</sup> 两个选项, 可实现数据包的认证与加密, 增强传输时数据包的安全性.

### 1.2 IPv6 地址规划

IPv6 的地址设计层次分明、便于管理, 可有效控制路由器的路由表大小、增强网络的可扩展性. IPv6 地址体系结构包含了以下几个部分: IPv6 地址的分配方式、不同的地址类型及 128 位地址的结构<sup>[6, 7]</sup>.

IPv6 地址空间利用地址的前面几位来进行划分, 包含这前面几位的可变长度字段称为格式前缀 (FP, Format Prefix), IPv6 地址分配方案见文献 [6]. 在 IPv6 地址分配方案中, 对 IPv4 的地址分配方法进行较大改进, 一方面对原有属于不同操作系统的 IP 地址类型进行了一些保留和扩展, 如 IPX 类型地址和 NASP 类型地址; 另一方面又提出了一些新的分配标准, 支持可集聚地址、本地用地址和多播地址的直接分配.

IPv6 的地址类型有单播地址、多播地址、任意播地址三种. 其中, 单播地址是单个接口的地址, 发送到一个单播地址的包传递到由该地址标识的接口

上; 多播地址是一组接口的地址, IPv6 用多播地址取代了 IPv4 中的广播地址; 任意播地址是传统 IPv4 所没有的, 它是指一组接口的地址, 发送到一个任意播地址的分组只会发送到这组地址中的一个, 通常是路由距离最近的地址.

目前 IPv6 地址的划分中可聚集全局单播地址较为完整, 在可聚集全局单播地址中既支持现有的基于提供者的聚类方式, 又支持基于交换者的新的聚类方式. 两种聚类方式的组合既能为与网络提供者直接相连的站点, 又能为与交换者相连的站点提供有效的路由聚类. 站点也可以选择与任何一种类型的聚类节点相连. IPv6 可聚集全局单播地址结构如表 1 所示.

## 2 IPv6 网络技术

考虑到目前已经有大量 IPv4 网络和节点连接到 Internet, 由 IPv6 一步取代当前的 IPv4, 既无必要也不可取. 最好的方法是以渐进的方式由现行的 IPv4 网络演进到 IPv6 网络. 当前解决由 IPv4 演进到 IPv6 问题的网络技术主要有以下三种: 1) 双协议栈技术<sup>[8]</sup>. 它是在网络节点上同时运行 IPv4 和 IPv6 两套协议栈. 这样, 带双协议栈的节点既可以接受和发送 IPv4 包, 也可以接受和发送 IPv6 包; 2) 隧道技术<sup>[9]</sup>. 该技术用来通过 IPv4 网络连接 IPv6 之间的站点,

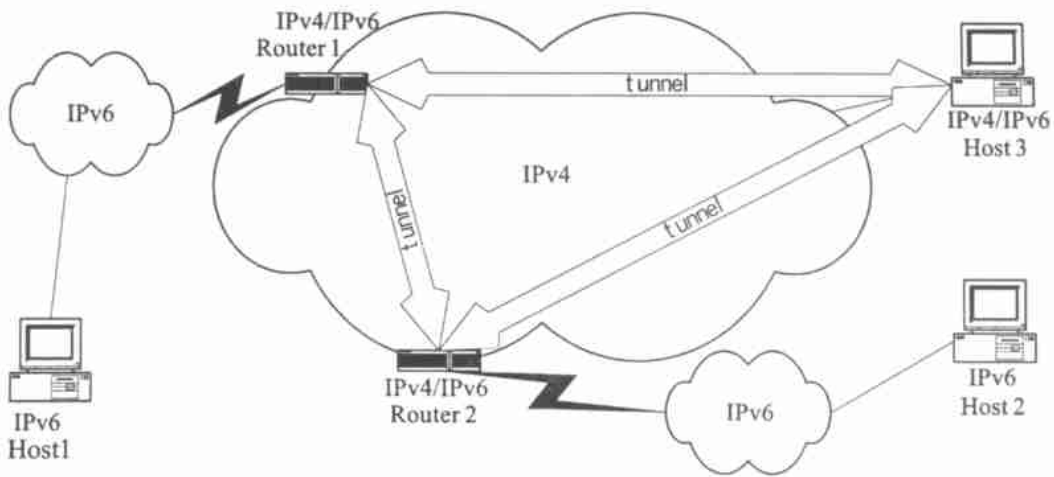


图 2 IPv6 网络之间的通信方案示意图

Fig. 2 Communication scheme of IPv6 networks in IPv4 network

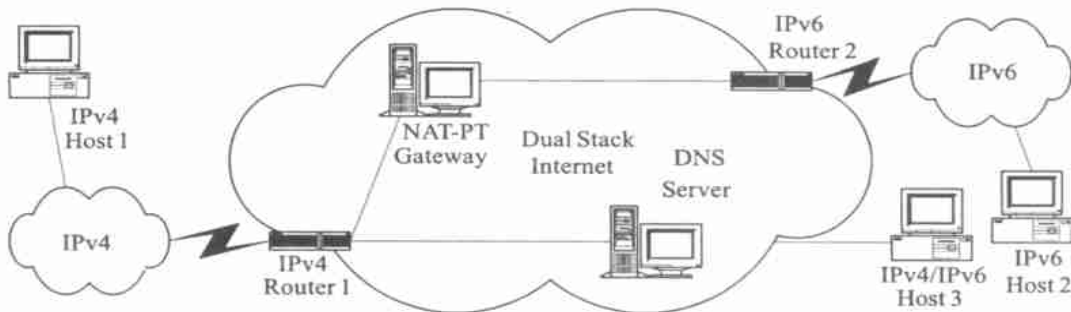


图 3 基于双协议栈与 NAT-PT 技术的 IPv6 网络与 IPv4 网络通信方案

Fig. 3 Transmission between IPv6 and IPv4 based on dual stack and NAT-PT

它将 IPv6 的分组作为净负载封装在 IPv4 的分组中, 该分组就可通过 IPv4 的路由体系传输, 并在适当的地方恢复出被封装的 IPv6 分组并传送给目的站点; 3) NAT-PT (Network Address Translation - Protocol Translation) 技术<sup>[9]</sup>. 利用转换网关在 IPv4 和 IPv6 网络之间转换 IP 报头的地址, 同时根据协议不同对分组做相应的语义翻译, 使纯 IPv4 和纯 IPv6 站点之间能够进行透明通信. 以上是当前常用的 IPv6 组网技术, 在进行 IPv6 组网时, 可根据不同的组网方案采用合适的网络技术.

### 2.1 IPv6 网络之间的通信方案

向 IPv6 过渡初期阶段, IPv6 节点数目相对比较少, 这时可以采用隧道技术. 主要利用 Tunnel Broker<sup>[10]</sup>, 6 to 4<sup>[11]</sup>, 6 over 4<sup>[12]</sup> 机制建立隧道. 图 2 显示了在 IPv4 的上进行 IPv6 网络互联的拓扑图. 图中 Host1 和 Host2 都是只支持 IPv6. 当 Host1 与 Host2 之间进行通信时, Host1 把目的地址为 Host2 的 IPv6 地址的 IPv6 包

传递给 Router1, 由 Router1 对 Host1 所发出的 IPv6 包进行封装: 采用 IPv4 格式将其目的地址设为 Router2 的 IPv4 地址, 而将原 IPv6 包作为净荷数据封装在此 IPv4 包内部, 然后向前转发; 若 Router2 收到此 IPv4 包, 则首先拆包, 当发现被封装的 IPv6 包是发给 Host2 时, 它就将此包转发给 Host2.

### 2.2 IPv6 网络与 IPv4 网络之间的通信方案

随着 IPv6 的发展, 它将在 Internet 中逐渐占主导, 但它仍需保持与未升级的 IPv4 系统的通信. 这时 IPv6 网络与 IPv4 网络之间的通信主要采用双协议栈技术和 NAT-PT 技术. 图 3 显示了 IPv6 网络与 IPv4 网络之间互联的拓扑图. 图中 IPv4 节点 Host1 和 IPv6 节点 Host2 可以直接和双协议栈节点 Host3 互联. IPv4 节点和 IPv6 节点之间互联可以通过在双协议栈网络中提供特殊的 DNS 服务器作 IP 地址解析映射, 并发送给 NAT-PT 网关, 由它来实现地址/协议转换. 如: 当 IP 地址为 Addr4 的

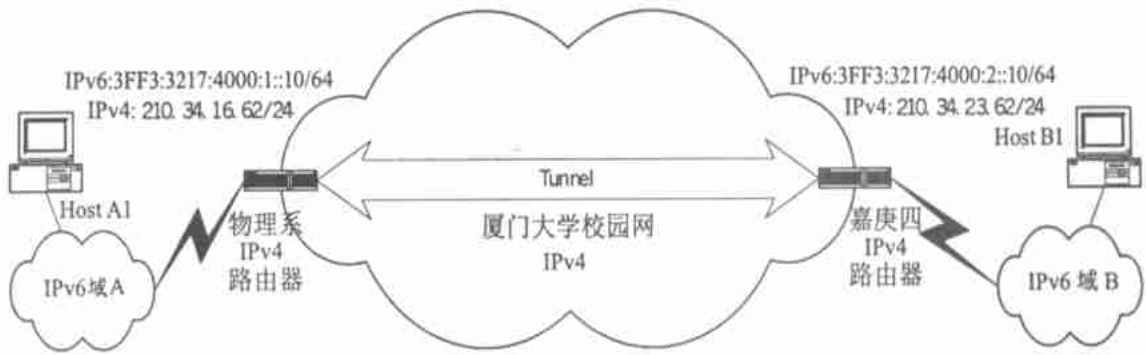


图 4 IPv6 网测试平台示意图

Fig. 4 Diagram of our IPv6 testing system

表 2 支持 IPv6 的 Linux 平台软件包安装列表

Tab. 2 The listed packages of IPv6 Linux

| 描 述               | 软件包名称  |
|-------------------|--|
| 删除不需要的软件包         | ImageMagick cleanfeed ctags cproto cvs emacs emacs-nox exmh hdpam inn ipxutils<br>ispell knfsd mars-nwe mutt ncpfs nmh pine postgresql words postgresql-clients tin ucd-<br>snmp postgresql-devel pump res routed rsh rusers rwo samba slrn talk tetex-xdvi ucd-<br>snmp-utils uucp yp-tools |
| 通过以太网连接时, 删除下列软件包 | dip lrzsz minicom modemtool ppp  |
| 安装支持 IPv6 所必须的软件包 | libpng libtermcap-devel ncurses-devel  |
| 安装支持 IPv6 的网络工具   | XFree86-devel libgr-devel libpng-devel zlib-devel mc   |
| 安装支持 IPv6 的网络应用程序 | glib-devel gtk+-devel ORBit-devel  |

IPv4 节点 Host1 发起一个 DNS 查询的时候, 如果 DNS 服务器发现目的节点是只有 IPv6 地址 Addr6 的 Host2, 将会返回给该 IPv4 主机一个按某种策略选定的 IPv4 地址 Addr64 作为查询结果, 同时通知 NAT-PT 网关 Addr4, Addr6 和 Addr64 这三个地址之间的对应关系, 这样 NAT-PT 网关就可以根据这些信息进行地址/协议转换。

### 3 基于 Linux 平台的 IPv6 网络实现

目前能够支持 PC 机运行 IPv6 的操作平台有 Linux、FreeBSD、Solarisx86 等几种, 我们选用 Linux 作为 IPv6 主机和路由器研究实验平台的主要原因是: 1) Linux 是开放的操作系统, 其原代码完全公开; 2) 目前有很多自由软件联盟为 Linux 免费开发应用软件, 具有较大的选择灵活性。根据我们实验室的现有条件, 我们对 Linux 内核进行了认真分析, 结合双协议栈和隧道技术, 来建立我们 IPv6 实验平台。

### 3.1 平台的构架图

我们在厦门大学校园网的基础上建立了 Tunnel 连接的 IPv6 网络测试平台, 其网络拓扑结构如图 4 所示。测试平台中有两个 IPv6 主域名, 分别定义为域 A 和域 B, 他们是通过 IPv4 校园网上两个不同子网路由器以隧道方式相连的, 每个 IPv6 域可以由一台以上的 IPv6 机器按以太网方式进行物理互联。

### 3.2 安装与调试

在 IPv6 域 A 中安装支持 IPv6 的节点, 具体实现可分为以下步骤: 1) 以 Server 模式安装 Redhat 7.1 Linux 操作系统, 安装后运行 up2date 命令升级 Linux 软件包; 2) 用 rpm 命令安装或删除表 2 所列的软件包; 3) 加载 IPv6 内核模块, 启动 Linux 系统后输入以下命令: modprobe ipv6。这样 IPv6 域 A 中的 IPv6 节点之间就可以通过自动生成的 IPv6 链路本地地址进行相互通信。以同样的方式可以建立 IPv6 域 B。

在建立 IPv6 域之后, 我们开始进行 IPv6 域之

间在 IPv4 网络上的 Tunnel 连接的实验研究. 在两个或多个 IPv6 域之间建立 Tunnel, 必须要知道 IPv6 域中双方节点的 IPv4 地址以及相对应的 IPv6 地址. 下面以测试平台为例来说明如何建立 Tunnel.

#### (1) IPv6 域中节点的网络接口 IP 的配置

对 IPv6 域中的节点进行 IPv4 地址和可聚集全局单播 IPv6 地址的配置. 在测试平台上, 利用 `ifconfig` 命令分配给 HostA1 和 HostB1 的 IPv4 地址分别为: 210. 34. 16. 62/25 和 210. 34. 23. 62/26, 分配给 HostA1 和 HostB1 的可聚集全局单播 IPv6 地址分别为 3ff3: 3217: 4000: 1:: 10/64 和 3ff3: 3217: 4000: 2:: 10/64.

```
[ root @root] # ifconfig eth0 210. 34. 16. 62
netmask 255. 255. 255. 128 broadcast 210. 34. 16. 127
```

```
[ root @root] # ifconfig eth0 add 3ff3: 3217: 4000: 1:: 10/64
```

```
[ root @root] # ifconfig eth0 210. 34. 23. 62
netmask 255. 255. 255. 192 broadcast 210. 34. 23. 63
```

```
[ root @root] # ifconfig eth0 add 3ff3: 3217: 4000: 2:: 10/64
```

#### (2) IPv6 Tunnel 的建立

配置好 HostA1 和 HostB1 网络接口的 IPv4 地址和 IPv6 地址之后, 接下来应分别为 HostA1 和 HostB1 建立隧道. 两隧道的端地址分别为 HostA1 和 HostB1 的 IPv4 地址. 在 HostA1 上执行如下配置命令:

```
[ root @root] # ifconfig sit0 up
[ root @root] # ifconfig sit0 inet6 tunnel :: 210. 34. 23. 62
[ root @root] # ifconfig sit1 up
[ root @root] # route -A inet6 add 3ff3: 3217: 4000: 2:: 10/64 dev sit1
```

其中第一步激活自动隧道 sit0. 在启动了 sit0 之后, 可以直接通过 IPv4 兼容的 IPv6 地址和对方主机连通, 但是还不能通过可聚集全局单播 IPv6 地址和对方主机通信, 因为 IPv4 路由器不能转发 IPv6 报文. 第二步手动配置隧道 sit1, 其中的地址: 210. 34. 23. 62 是与 HostB1 的 IPv4 兼容的 IPv6 地址. 第三步激活手动隧道 sit1. 第四步设置到 HostB1 的网络路由. 在主机 HostB1 上进行相应的配置. 这样, 手动配置隧道 sit1 就相互连通, IPv6 域之间的 HostA1 和 HostB1 就可以利用 IPv4 网

络进行相互通信.

### 3.3 实验结果

建立隧道连接后, 分别连到 HostA1 和 HostB1, 并利用 IPv6 的应用程序 ping6 测试它们之间是否可以连通. 从 HostA1 ping6 主机 HostB1 的 IPv6 地址, ping6 3ff3: 3217: 4000: 2:: 10, 得到以下结果:

```
[ root @ipv61 /root] # ping6 -c 5 -s 255 3ff3: 3217: 4000: 2:: 10
PING 3ff3: 3217: 4000: 2:: 10 (3ff3: 3217: 4000: 2:: 10) from 3ff3: 3217: 4000: 1:: 10 : 255 data bytes
Warning: time of day goes back, taking countemeasures.
263 bytes from 3ff3: 3217: 4000: 2:: 10: icmpseq= 0
hops= 64 time=2. 203 msec
263 bytes from 3ff3: 3217: 4000: 2:: 10: icmpseq= 1
hops= 64 time=1. 207 msec
263 bytes from 3ff3: 3217: 4000: 2:: 10: icmpseq= 2
hops= 64 time=1. 201 msec
263 bytes from 3ff3: 3217: 4000: 2:: 10: icmpseq= 3
hops= 64 time=1. 282 msec
263 bytes from 3ff3: 3217: 4000: 2:: 10: icmpseq= 4
hops= 64 time=1. 208 msec
--- 3ff3: 3217: 4000: 2:: 10 ping statistics ---
5 packets transmitted 5 packets received 0% packet loss
round-trip min/ avg/max/mdev = 1. 201/1. 420/ 2. 203/ 0. 393 ms
```

反之, 从 HostB1 ping6 HostA1 的 IPv6 地址, ping6 3ff3: 3217: 4000: 1:: 10, 得到以下结果:

```
[ root @bbb /root] # ping6 -c 5 -s 255 3ff3: 3217: 4000: 1:: 10
PING 3ff3: 3217: 4000: 1:: 10 (3ff3: 3217: 4000: 1:: 10) from 3ff3: 3217: 4000: 2:: 10 : 255 data bytes
Warning: time of day goes back, taking countemeasures.
263 bytes from 3ff3: 3217: 4000: 1:: 10: icmpseq= 0
hops= 64 time=2. 513 msec
263 bytes from 3ff3: 3217: 4000: 1:: 10: icmpseq= 1
hops= 64 time=1. 230 msec
263 bytes from 3ff3: 3217: 4000: 1:: 10: icmpseq= 2
hops= 64 time=1. 236 msec
263 bytes from 3ff3: 3217: 4000: 1:: 10: icmpseq= 3
hops= 64 time=1. 052 msec
263 bytes from 3ff3: 3217: 4000: 1:: 10: icmpseq= 4
hops= 64 time=1. 077 msec
--- 3ff3: 3217: 4000: 1:: 10 ping statistics ---
5 packets transmitted 5 packets received 0% packet loss
round-trip min/ avg/max/mdev = 1. 052/1. 421/ 2. 513/ 0. 552 mss
```

## 4 结束语

IPv6 是一个建立可靠的、可管理的、安全和高效的 IP 网络的长期解决方案。了解和研究 IPv6 的原理及亟待解决的技术问题, 对于制定网络的长期发展计划, 规划网络应用的未来发展方向, 都是十分有益的。我们课题组在我校网络中心的大力支持下, 采用可支持 IPv6 的 Linux 自由软件系统初步建立起 IPv6 实验网络, 并成功地与 CERNET 的 IPv6 测试床成功地实现 Tunnel 连接。这不仅为我们课题组进一步进行有关 IPv6 网的相关课题(如信息安全、路由优化等)研究提供实验平台, 而且也可为我校校园网今后向下一代互联网过渡提供一个可行的参考方案。

### 参考文献:

- [ 1 ] Marcus Goncalves Kitty Niles. IPv6 Networks [ M ] . 北京: 人民邮电出版社, 2000.
- [ 2 ] Deering S, Hinden R. Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification [ EB/OL] . <http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt?number=2460>. 1998-12/2002-04-09.
- [ 3 ] 刘年生, 郭东辉, 吴伯僊, 等. IPv6 安全机制及其密码算法的安全性分析 [ J ] . 计算机工程与应用, 2001, 16: 30-33.
- [ 4 ] Kent S, Atkinson R. IP Authentication Header [ EB/OL] . <http://www.ietf.org/rfc/rfc2402.txt?number=>

2402. 1998-11/2002-04-09.

- [ 5 ] Kent S Atkinson R. IP Encapsulating Security Payload (ESP) [ EB/OL] . <http://www.ietf.org/rfc/rfc2403.txt?number=2403>. 1998-11/2002-04-09.
- [ 6 ] Hinden R, Deering S. IP Version 6 Addressing Architecture [ EB/OL] . <http://www.ietf.org/rfc/rfc2373.txt?number=2373>. 1998-07/2002-04-09.
- [ 7 ] 刘年生, 郭东辉, 吴伯僊, 等. IPv6 的地址结构特点与管理机制分析 [ J ] . 电讯技术, 2001, 1: 112-117.
- [ 8 ] Gilligan R Nordmark E. Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers [ EB/OL] . <http://www.ietf.org/rfc/rfc2893.txt?number=2893>. 2000-08/2002-04-09.
- [ 9 ] Tsirtsis G, Srisuresh P. Network Address Translation - Protocol Translation (NAT-PT) [ EB/OL] . <http://www.ietf.org/rfc/rfc2766.txt?number=2766>. 2000-02/2002-04-09.
- [ 10 ] Durand A, Fasano P, Guardini I, et al. IPv6 Tunnel Broker [ EB/OL] . <http://www.ietf.org/rfc/rfc3053.txt?number=3053>. 2001-01/2002-04-09.
- [ 11 ] Carpenter B, Moore K. Connection of IPv6 Domains via IPv4 Clouds [ EB/OL] . <http://www.ietf.org/rfc/rfc3056.txt?number=3056>. 2001-02/2002-04-09.
- [ 12 ] Carpenter B, Jung C. Transmission of IPv6 over IPv4 Domains without Explicit Tunnels [ EB/OL] . <http://www.ietf.org/rfc/rfc2529.txt?number=2529>. 1999-03/2002-04-09.

## Installation and Testing of IPv6 Network Based on Linux

LE De-guang, LIU Nian-sheng, LV Ying-yang, GUO Dong-hui  
(Institute of Technical Physics, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** We firstly introduce the protocol of IPv6. In particular, we lay stress on the characteristic of IPv6 address and its management. Then we analyze the different networking schemes of IPv6 system implemented by the existing hardware technology and network environment. It is specially considered how to develop smooth transition from existing IPv4 to IPv6. Finally, how to install and test IPv6 network system based on Linux are presented in detail.

**Key words:** Internet; IPv6; Linux