

基于纯 IPv6 的下一代互联网实验环境建设^①

江 魁, 张 凡, 张园红

(深圳大学 信息中心, 深圳 518060)

摘要: 现有基于双栈技术的 IPv6 网络实验环境已不能满足高校 IPv6 相关课程教学及科研的需要。结合实践阐述了基于纯 IPv6 的网络实验环境的构建方法与有关实验设计。在该环境下能够完成各种 IPv6 网络相关实验, 较好地促进了下一代互联网相关课程实验教学及科研的发展。

关键词: 下一代互联网; 纯 IPv6; IVI

Construction of Next Generation Internet Lab Environment on Native IPv6

JIANG Kui, ZHANG Fan, ZHANG Yuan-Hong

(Information Center, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract: The current network environment on double stack technology cannot meet the needs of courses and researches relating to IPv6. The construction methods of building a network lab environment on native IPv6 and lab designs are analyzed. All kinds of network labs relating to IPv6 can be done in this environment. This platform improves the development of the courses and researches relating to next generation Internet..

Key words: next generation Internet; native IPv6; IVI

IPv6 协议是下一代互联网的核心通信协议, 具有近乎无限的地址空间、层次化的地址结构、更强的安全性等特点。当前全球可用的 IPv4 地址空间已分配完毕, 采用 IPv6 协议的下一代互联网未来几年将逐步取代基于 IPv4 协议的互联网。在此背景下, 国内部分高校开始在计算机相关专业教学中引入 IPv6 相关课程, 同时部分教师也开始了有关的科研工作。

目前各单位的 IPv6 实验环境主要基于 IPv4/IPv6 双栈技术, 双栈技术需要 IPv4 相关协议来支持 IPv6 协议的运行, 不是一个纯粹的 IPv6 网络实验环境, 不仅会增加 IPv6 系统和网络设备的复杂性, 导致 IPv6 网络性能和技术优势的降低, 而且无法支持所有的 IPv6 网络实验。因此, 建设基于纯 IPv6 的下一代互联网实验环境已成为 IPv6 相关课程教学与科研环境中亟待解决的问题。

本文结合我们的实践对构建基于纯 IPv6 的下一代互联网实验环境中涉及的各项内容进行阐述。首先介绍了纯 IPv6 的接入, 随后描述了纯 IPv6 与 IPv4 互访

的问题, 同时结合配置实例对构建纯 IPv6 网络实验环境时遇到的各种关键问题进行了说明, 最后介绍了有关的 IPv6 实验设计, 可为各院校构建纯 IPv6 下一代互联网实验环境提供一定的参考。

1 纯 IPv6 接入

纯 IPv6 接入是建设纯 IPv6 网络实验环境的必要前提, 我们将纯 IPv6 接入分为边缘接入和内部接入两个层次考虑。边缘接入是指校园网出口设备接入到运营商的 IPv6 主干网, 如 CERNET2 等。内部接入是指实验环境下的计算机通过三层交换机接入到校内的 IPv6 主干网, 下面分别介绍这两个层次的接入。

1.1 边缘接入

校园网出口设备接入 IPv6 主干网主要有隧道(Tunnel)和纯 IPv6(Native IPv6)两种方式。常用的边缘隧道接入方式有手工隧道与 BGP4+隧道两种, BGP4+隧道除了以 BGP4+路由协议学习与发布 IPv6 地址信息, 其建立隧道机制与手工隧道类似^[1]。纯 IPv6 接入是指校园网出口设备

① 基金项目:深圳大学实验室与设备管理研究基金(2010010);教育部科技司 CNGI 试商用项目(CNGI2008-059)

收稿时间:2011-03-30;收到修改稿时间 2011-04-23

通过物理线路直接与IPv6主干网络中的边界路由器连接, 由于该方式没有隧道的封装解封过程, 极大地提高了IPv6网络的传输效率, 同时能够保证IPv6应用的完全实现, 因此应当优先选择此种接入方式。

目前提供IPv6接入的运营商主要有中国教育科研网和中国电信, 中国教育科研网的CERNET2主干网唯一能提供纯IPv6的接入。在我们构建的实验环境中, 校园网出口路由器Cisco 12404以两条独立光纤千兆上联到CERNET2华南核心节点。该设备采用纯IPv6协议, 一台H3C S7502E作为接入路由器, 上联接入路由器12404, 下联校园网核心双栈交换机、纯IPv6实验网以及深圳教育城域网, 同时为双栈用户、纯IPv6用户以及深圳地区各级各类学校提供IPv6网络接入服务, 如图1所示。

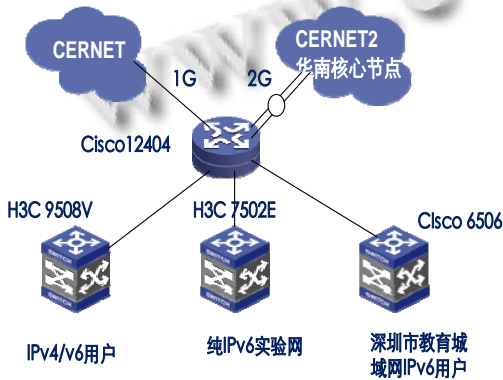


图1 接入拓扑图

1.2 内部接入

主机接入IPv6的方式主要有隧道, 双栈和纯IPv6三种。

隧道方式下, 当主机需要传送IPv6数据包时, 将IPv6数据包封装在IPv4包中进行传输, 该方式适用于没有三层IPv6交换机下的主机接入IPv6。双栈方式下, 主机同时支持IPv4和IPv6协议, 与IPv4主机通信时使用IPv4协议, 与IPv6主机通信时使用IPv6协议。该方式实现简单, 能够满足一般的IPv6接入和实验要求, 但存在依赖IPv4协议的问题, 不适用于对IPv6网络环境要求高的实验和科研需求。纯IPv6方式下的主机无需安装IPv4协议, 仅对IPv6协议提供支持, 因此是一个完全的, 纯粹的IPv6网络环境, 解决了以上两种方式下依赖IPv4协议的问题, 对于全面开展下一代互联网关键技术的实验具有特别意义。

2 IPv6与IPv4的资源互通

当前互联网中存在大量的IPv4资源, 纯IPv6主机如果无法与这些资源实现互通, 那么建成的纯IPv6实验网络仅仅是一个IPv6孤岛, 没有任何实际应用价值。因此纯IPv6实验环境面临的主要问题是如何实现纯IPv6与IPv4的互通, 相关的技术主要有NAT-PT、SIIT和SAVI等, 下面分别逐一介绍。

SIIT(无状态IP/ICMP翻译技术)使用特定的地址空间, 完成IPv6与IPv4的IP/ICMP协议报文转换。SIIT下每个IPv6节点地址需要一个虚拟的IPv4地址, 也不记录流的状态, 无法进行地址复用, 网络规模不能扩大。

NAT-PT(附带协议转换的网络地址转换器)方式下, IPv6主机与IPv4主机通信时, 由路由器完成地址和协议等各种转换工作。NAT-PT网关修改IPv6主机向IPv4主机转发包的协议报头, 使用IPv4地址替换掉报文中的IPv6地址。NAT-PT动态地为访问IPv4主机的IPv6主机分配IPv4地址, 解决了SIIT方式下IPv4地址池规模有限问题。NAT-PT方式下, 当IPv4主机向IPv6主机转发包时, 需要DNS-ALG和FTP-ALG等应用层网关的支持, 网关设备进行协议转换的开销也较大, 因此IETF已经不推荐使用^[2]。

IVI是在上两种技术的基础上改进的最新互通技术, 是IPv6与IPv4协议互通的最新RFC标准(RFC6052), 可以更好地支持IPv6与IPv4的互通。它通过使用一段特殊的IPv6地址, 由IVI路由器在IPv4与IPv6网络之间完成地址映射和协议翻译功能, 实现IPv6地址与IPv4地址一对一的无状态地址映射, 完成包括TCP/UDP, ICMP等主要协议的翻译操作。因此我们选用了IVI技术用于IPv6与IPv4的资源互通。

3 IVI的实现

3.1 IVI地址分配

IVI地址结构分为四部分, 如图2所示^[3]。第一部分是32位固定前缀, 第二部分为8位“FF”标记, 用于标识IVI地址类型及对齐, 第三部分是32位对应的IPv4地址, 最后是填充的0。从IVI地址结构可见, IVI地址实现了IPv6与IPv4的一对一映射, 保证了IPv6主机与IPv4主机的双向互通。

0	32	40	64	72	96	127
LIR Prefix		FF	IPv4 addr		Entirely 0	

图2 IVI地址结构

我校从中国教育科研网获得的 IVI 地址段为 2001:da8:ff3a:c8ca::/64, 对应的 IPv4 地址段为 58.200.202.0/24。可用的 IVI 地址范围为 2001:da8:ff3a:c8ca:5000:100: (对应 58.200.202.1) 至 2001:da8:ff3a:c8ca:5000:fe00: (对应 58.200.202.254) 共 254 个。其中 2001:da8:ff3a:c8ca:5000:100:保留为 IVI 主机的缺省网关。

IVI 地址可以通过静态或动态分配方式进行。动态分配方式更为方便, 无需主机进行地址设置, 但如果主机是服务器, 则需采用静态分配方式。静态分配的配置命令为 (以 Windows 7 为例):

```
netsh interface ipv6 add address "本地连接" 2001:da8:ff3a:c8ca:f00::
```

其中“本地连接”是希望静态分配 IPv6 地址的网络接口名称, 2001:da8:ff3a:c8ca:f00::是拟分配的 IVI 地址。

由于 IPv6 IVI 地址是特殊格式的, 因此不能通过 IPv6 三层交换机进行无状态地址分配, 需要通过 DHCPv6 服务器进行 IVI 地址的动态分配。我们采用了 Linux 平台下的 ISC DHCP 作为 DHCPv6 服务器, 相关配置如下, 其中每行是一个单独的 IVI 地址。

```
subnet6 2001:da8:ff3a:c8ca::/64 {
    range6 2001:da8:ff3a:c8ca:200::2001:da8:ff3a:c8ca:200::;
    range6 2001:da8:ff3a:c8ca:300::2001:da8:ff3a:c8ca: 300::;
    ... ..
    range6 2001:da8:ff3a:c8ca:fe00::2001:da8:ff3a:c8ca:fe00::;
}
```

3.2 IVI 主机的配置

IVI 主机只支持 IPv6 协议, 需要删除 IPv4 协议。对于 Windows 系统, 在“本地连接”的属性中将“TCP/IPv4”前的标记取消, 同时选中“TCP/IPv6”前的标记即可; 对于 Linux 系统, 需要编辑/etc/sysconfig/network 文件, 新增一行 NETWORKING_IPV6=YES, 然后在网络接口配置文件 ifcfg-eth0 中删除相关的 IPv4 配置信息, 重启系统即可。

与 Windows 系统比较, Linux 系统配置较为复杂, 特别是在 DHCPv6 方式下, 还需要安装 DHCPv6 客户端才能实现对 DHCPv6 的支持。Windows XP 主机域名查询只能通过 IPv4 进行, 需要通过域名解析代理 (DNS Proxy) 才能通过 IVI DNS 进行域名解析, 也必须安装 DHCPv6 客户端才能动态获取 DHCPv6 服务器分配的地址。因此,

推荐使用 Windows 7/Vista 作为 IVI 主机的操作系统。

3.3 域名解析

由于 IPv6 地址是 128 位的, 在实际应用时不方便记忆, 因此域名服务在 IPv6 应用中十分重要。IVI 主机可以使用 IVI DNS 服务器解析域名, 当 IVI6 主机发出 AAAA 请求时, 如果传统的 DNS 服务器上没有 AAAA 记录, IVI DNS 就会查找相应的 A 记录, 并按照 IVI 映射规则自动翻译成 AAAA 记录返回给 IVI 主机。所有 IVI IPv6 地址的路由指向 IVI 网关设备, 所有 IVI IPv6 数据包均通过 IVI 网关, 源地址和目的地址均转换为 IVI IPv4 地址, 完成 IPv6 到 IPv4 的通信过程。

在我们的纯 IPv6 实验环境中, 域名解析服务基于 Linux 上的 BIND 9 实现, 以 ivi.szu.edu.cn 域名为例, AAAA 纪录和 A 纪录有关配置如下:

```
ivi.szu.edu.cn AAAA 2001:da8:ff3a:c8ca:5000::
ivi.szu.edu.cn A 58.200.202.80
```

通过 ping ivi.szu.edu.cn 可以发现, 如果主机支持 IPv6, 那么解析出来的就是对应的 IVI IPv6 地址, 如果主机不支持 IPv6, 那么解析出来的就是对应的 IPv4 地址。IPv6 和 IPv4 地址都是全球可路由的, 保证了 IVI 主机与 IPv6/IPv4 主机之间的端到端双向通信。

静态分配方式下, 在命令行下指定 IVI DNS 服务器 (以 Windows 7 为例):

```
netsh interface ipv6 add dnsservers "本地连接" 2001:250:aaa0:100:x::x
```

动态分配方式下, 通过 DHCPv6 服务器向 IVI 主机分发 IVI DNS 服务器地址, 相关配置如下:

```
option dhcp6.name-servers 2001:250:aaa0:100:x::x;
```

3.4 路由配置

CERNET2 华南核心节点已将分配给我校的 IVI IPv6 地址段指向 IPv6 出口路由器, 同时在 IPv6 出口路由器上, 该地址路由段指向纯 IPv6 实验环境下主机所连的 IPv6 三层交换机。

IPv6 出口路由器相关配置如下:

```
address-family ipv6 unicast
::/0 2001:250:3c00:1::x:x
2001:da8:ff3a:c8ca::/64 2001:250:3c00:1::x:x
```

配置中可见, IPv6 出口路由器的缺省路由指向 CERNET2 华南核心节点, IVI 地址段的路由指回校内的 IPv6 三层交换机。该 IPv6 三层交换机上相关配置如下:

```
Interface Vlan-interface1019
```

```

ipv6 address 2001:DA8:FF3A:C8CA:100::/64
ipv6 nd ra prefix 2001:DA8:FF3A:C8CA::/64 3600
3600 no-autoconfig
undo ipv6 nd ra halt
ipv6 nd autoconfig managed-address-flag
ipv6 nd autoconfig other-flag

```

配置中可见,由于 DHCPv6 服务器无法向 IVI 主机分配 IPv6 网关,因此以 RA 的方式向 IVI 主机指定缺省网关,同时禁用了 IPv6 地址的无状态自动分配功能,确保各 IVI 主机能够得到合法的 IVI 地址。

4 IPv6实验设计与实例

我们建立了一个基于纯 IPv6 的 WWW 网站,作为 IPv6 实验教学和有关科研信息的交流。在该网站上定期发布 IPv6 有关知识、最新 IPv6 科研动态、相关实验教学设计,Web 服务采用了 Windows 平台下的 IIS 实现。

根据教学与科研的实际需要,我们设计了相关的 IPv6 实验,包括 IPv6 协议支持、IPv6 应用、IPv6 路由协议和 IPv6 高级实验四个类别^[4],每个类别的具体内容如表 1 所示。这些实验已应用于我们开设的“网络与系统原理”、“计算机网络”、“IPv6 与下一代互联网”等多门计算机网络相关课程的实验教学内容。此外,我们还在该实验环境下开展了基于 IPv6 协议测试,性能测试等科研项目。

3 结语

通过构建科学、合理的纯 IPv6 实验环境,可以降低 IPv6 实验的复杂性,简化实验设计,提高实验的效率。我们构建的纯 IPv6 实验环境中约有 200 台纯 IPv6 主机,所有主机通过纯 IPv6 链路连接到 CERNET2 华南核心节点,

(上接第 227 页)

- International Conference on Natural Computation. Haikou, China, 2007,2:583-587.
- 5 Gallagher M, Freaun M. Population Based Continuous Optimization Probabilistic Modeling and Mean Shift. Evolutionary Computation, 2005,13(1):29-42.
- 6 袁利永,倪应华,金炳尧,马永进.PBIL 算法在组合优化问题中的应用研究.计算机工程与科学,2011,33(3).

同时以 IVI 技术实现与 IPv4 主机的互通,并通过 IPv6 Web 网站进行信息的发布和共享。该实验环境向学生和教师提供了一个进行纯 IPv6 学习、实验和研究的环境,满足下一代互联网相关课程教学、实验和科研的需要。实践证明,学生在该环境下可以完成各种基于 IPv6 的网络实验,帮助他们将理论与实践相结合,更好地提升其能力;老师在该环境下可以进行各种 IPv6 网络科研和学习,帮助他们更好地从事下一代互联网的网络技术研究和应用系统开发。

表 1 IPv6 实验内容表

实验类别	实验内容
IPv6 协议支持	IPv6 主机建立实验,IPv6 主机通信实验, IPv6/v4 互通实验、各操作系统 IPv6 协议支持命令
IPv6 应用架设	DNS 解析、WWW、FTP IPv6 的支持
IPv6 路由协议	IPv6 静态路由、RIPng、OSPFv3 和 BGP4+配置、策略路由
IPv6 高级实验	IPv6 协议分析, IPv6 组播、IPv6 协议测试, IPv6 防火墙, IPv6 网络性能

参考文献

- 1 江魁,张凡.园区网中的 IPv6 实现及应用.计算机系统应用,2005,14(5):35-38.
- 2 李星.IPv6 现状、研究动态和过渡策略.CERNET NOC 会议, 2010.
- 3 郭晓东,郭汝廷.实践 IVI-山东大学 IPv6 网络部署方案.中国教育网络,2009,4:12-14.
- 4 江魁,龚巧华,杨文玲,张园红.基于 IPv6 的网络课程实验教学初探.计算机科学,2007,34(7):49-51.
- 7 袁利永,金炳尧,刘日仙.基于 PBIL 算法的高校自动排考系统研究.计算机系统应用,2010,19(5):205-208.
- 8 袁利永,金炳尧,曹振新.PBIL 算法求解物流中心选址优化问题研究.计算机系统应用,2010,19(11):242-245.
- 9 Baluja S, Caruana R. Removing the genetics form the standardgenetic algorithm. Proc. of the International Conference on Machine Learning. San Mateo, 1995, 38-46.