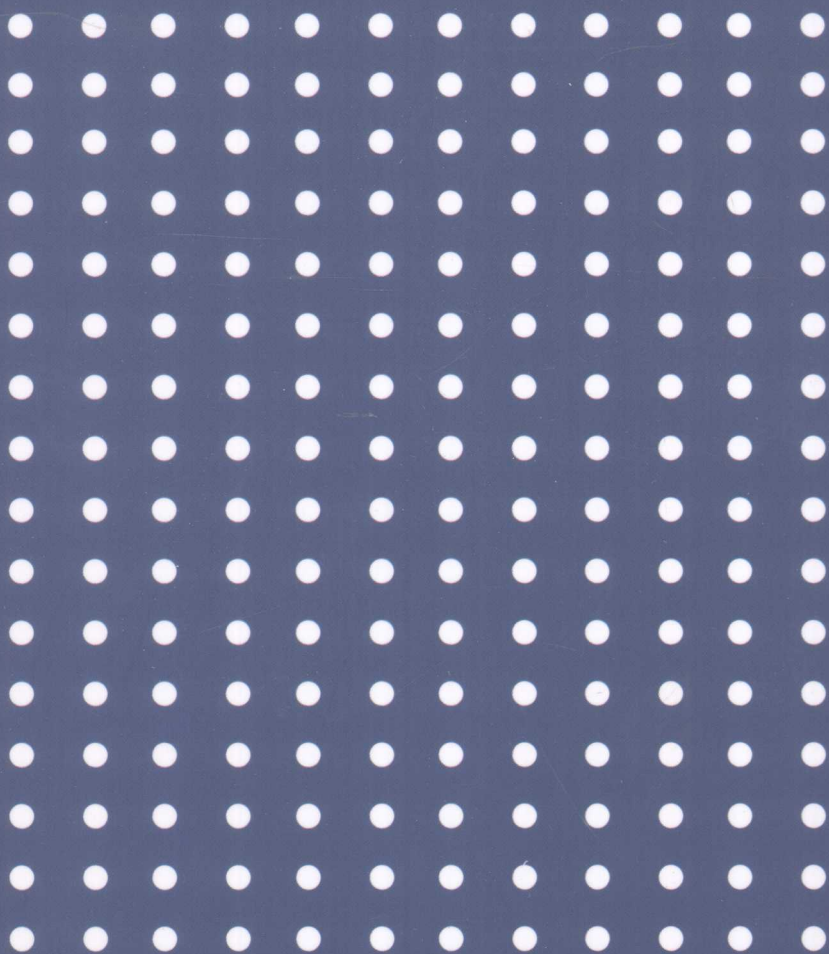


徐宇杰 编著

IPv6 深入分析



清华大学出版社

内 容 简 介

本书深入分析了 IPv6 协议,以截屏和协议包结构分析为手段,清晰介绍了 IPv6 技术的细节。全书包括 IPv6 地址结构、数据报分析、ICMPv6、邻居发现协议、IPv4 到 IPv6 的过渡、IPv6 访问控制列表 ACL、IPv6 路由协议等内容。

本书可作为网络从业人员的专业学习和参考用书,也可作为大中专院校网络课程教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

IPv6 深入分析/徐宇杰编著. —北京:清华大学出版社,2009.2

ISBN 978-7-302-18422-5

I. I… II. 徐… III. 计算机网络—传输控制协议—高等学校—教材 IV. TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 127481 号

责任编辑:丁 岭 赵晓宁

责任校对:时翠兰

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京嘉实印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:11.5 字 数:286 千字

版 次:2009 年 2 月第 1 版 印 次:2009 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:23.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:029136-01

FOREWORD

前言

前 言

自1980年 Internet 不仅深刻地改变了整个 IT 行业的格局和计算模式,也深刻改变了做生意的方式和人们的生活方式,网络已经成为整个基础设施中的重要部分。

Internet,即网际网,也就是网络和网络互联。因此,当前的网络技术不仅仅是 Socket 编程这样点对点的通信技术和 Windows Server 下的 Web 服务器配置这样的系统管理技术。从 TCP/IP 的视角来看,所谓网络技术实际上包括计算机网络原理、计算机网络设计、计算机网络工程、计算机网络协议、计算机网络互联、计算机网络应用等几个方面的范畴。一个网络的互联,就是跨越不同网络层次的一个过程。因此,基于互联网的网络技术的设计、实现、管理和排错,需要自底向上的多层次知识。

作者从 20 世纪 90 年代初期就开始学习和从事 TCP/IP 网络技术,工作涉及局域网、园区网、城域网、跨区域网的设计、实现和管理的全过程,经历了从局域网到互联网那激动人心的变化。又有多年大型网络服务器的管理经验,积累了丰富的网络技术实践经验。作者多年的学习、管理、开发和应用,深感目前标题为计算机网络技术方面的书籍,往往只介绍一个方面的技术,顾此失彼地多,导致多层结构的网络技术被支离破碎地介绍,很多技术方面的介绍流于表面,学习者很难有透彻的了解。理论不深刻,实践不实际的情况非常普遍。同时,很多网络厂商又从各自的市场利益出发,积极推广相关的认证和课程。这些课程对网络技术的应用起到了非常正面的作用。但是,这些课程指导书由于更偏向认证的各个知识点,实验内容也围绕认证服务,对于网络技术的细节缺乏深入分析。

如何兼顾理论和实际应用,一直是困扰计算机网络教学的一个难题。作者多年的实践经验一再证明没有扎实的网络理论知识,根本无法从事网络技术。另一方面,学习者只有通过真实项目的全过程实践才能真正掌握网络理论知识。

笔者 5 年前开始总结自己的学习和实践经验,试图将实际项目中最常用、也是最核心的知识点加以梳理。此系列书籍的选题、内容选择、实验的准备和测试,可以说是去粗取精的结果。本系列丛书,涵盖了 TCP/IP 协议的分

析、网络交换、网络路由、下一代互联网技术。有详细的包结构截屏和深入的细节分析,从基本理论学习和分析开始,逐步分析网络技术的各层细节,最后提供一个从布线开始,包含设计和配置、运行一个真实园区网络的综合实例教程。本系列丛书实例丰富、图文并茂,边讲解边操作,将网络技术的细节一一展现,降低了读者的学习难度,激发了学习兴趣和动手欲望。适合网络从业人员的专业学习和参考以及各个院校作为计算机网络的实例教学。

5年的时间,对于网络技术来说似乎是一个漫长的过程,实际上是一个让时间来检验的优选过程。每本书少则改了5版,最多地改了9版,不仅包括理论内容的修正,更多的是实验的更新,甚至全部改写,我们试图在出版前反应最新的技术变化。但是,毕竟日常的工作繁忙,有可能百密一疏,望读者指正。

编者

2008年11月

4.4.2	多播侦听报告报文	28
4.4.3	多播侦听已完成报文	29
第 5 章	邻居发现协议	31
5.1	IPv6 协议中的邻居发现协议	31
5.2	IPv6 地址配置概述	34
5.3	重复地址检测	38
5.4	IPv6 下二层链路地址的获得	41
5.5	无状态地址自动配置获得 IPv6 地址	51
5.6	前缀重新编址	54
5.7	DHCPv6	62
第 6 章	IPv4 到 IPv6 过渡	64
6.1	隧道技术	65
6.1.1	手工隧道	65
6.1.2	GRE 隧道	69
6.1.3	6to4 隧道	74
6.1.4	6to4 中继	82
6.1.5	ISATAP	97
第 7 章	IPv6 访问控制列表	104
7.1	IPv6 访问控制列表概述	104
7.2	标准访问列表	104
7.3	扩展访问列表	107
第 8 章	IPv6 路由协议	110
8.1	RIPng 概述	110
8.1.1	RIPng 的报文格式	110
8.1.2	RIPng 的工作原理	112
8.1.3	RIPv1、RIPv2 和 RIPng 的比较	113
8.1.4	RIPng 实例	113
8.2	OSPFv3 概述	118
8.2.1	OSPFv3 中的 OSPF 报文头	118
8.2.2	OSPFv3 中的 Hello 报文	119
8.2.3	OSPFv3 中的 LSA	121
8.2.4	OSPFv3 中的 DBD	133
8.2.5	OSPFv3 实例	135
参考文献	176

IPv6 概述

由于 IPv4 的弊端日益明显，一些国家开始着手 IPv6 的研究。IPv6 的设计，针对目前 IPv4 的一些弊端，在保持 IP 基础上进行了一些扩展，并增加了一些新的功能。IPv6 的诞生，是网络发展的必然趋势。IPv6 的诞生，是网络发展的必然趋势。IPv6 的诞生，是网络发展的必然趋势。

1.1 互联网发展概述

1966 年，美国国防部为了核战争的需要，建立了 ARPANET 实验网，并于 1973 年开发出基于 TCP/IP 协议的 IPv4 原型，后来经过三次大的修改完善，在 1981 年 9 月，IETF 正式公布了 IPv4 标准规范 RFC791 文件。1981 年，随着 PC 的问世，标志着 Internet 时代的开始。Internet 的发展是基于 IPv4 协议（通常称为 IP 协议），没有 IPv4 协议就没有今天的 Internet。一直到今天基于 IPv4 协议的 Internet 还是人们工作生活和学习不可缺少的重要组成部分。

IPv4 是 32 位的地址结构，理论上讲可以容纳多达 4 294 967 296 个 (2^{32}) 地址，在实际应用中，人们把 IPv4 地址分成了 A, B, C, D 等类型，这种分类方式造成了分配的效率低下。再加上一些历史原因，美国现有 IPv4 地址 12 亿个左右，平均每个美国人有 4 个 IPv4 地址。在 20 世纪 80 年代到 90 年代初，很多大机构（大部分在美国）被分配了 A 类 (/8) 的地址，这些大的机构包括大学（例如麻省理工学院和斯坦福大学）和企业（例如苹果电脑和波音公司）。但是，与此同时，很多国家还没有一个 A 类地址。目前，中国有着 1 亿网民，这个数字以每年翻番的速度递增，总共申请到的 IPv4 地址为 73 650 432 个，但是美国的 MIT、IBM、AT&T 公司却分别占用了 1600 多万、1700 多万和 1900 多万个 IPv4 地址，造成了地址的浪费。

由于互联网用户的日益增加，网络需求日益扩大，IPv4 地址也日趋紧张。人们为了解决地址日趋耗尽的问题，采用了 CIDR、NAT 等技术来延缓地址耗尽的速度，但这并不能从根本上解决 IPv4 目前存在的问题，IPv4 地址耗尽只是一个时间问题。随着互连网的发展，Internet 骨干路由器的路由表也日益扩大，这使得路由器必须维护大量路由表。

1.2 IPv6 的诞生

由于 IPv4 的弊端日趋明显,有些技术在某种程度上打破了 IP 协议端到端的自然属性,于是人们开始着手新一代 IP 协议的设计,针对目前 IPv4 的一些缺陷,在传统 IP 基础上作了一些改进,在数据安全传输方面作了更好的支持,比如对 IPSec 的支持,对实时数据传送也有更好的支持,即 QoS,并且对将来网路发展的趋势提出了新的要求。新一代 IP 协议称为 IPng。

IPng 协议经过数次修正,不断完善,到 1995 年已经修正到第六版,并且将该版本作为正式版本公布,于是该协议被通称为 IPv6。到 1998 年,IPv6 协议的基本框架已经逐步成熟,并在越来越多的范围内开始得到实践和研究。众所周知的 6bone 实验网,还有中国的 Cernet2 都是 IPv6 网络。

由于 IPv6 可以解决传统的 IP 技术的瓶颈问题,因此,它会推动整个信息产业的发展,目前,谁先掌握了如何运用 IPv6 技术谁就会获得无限的商机,就像美国把握 IPv4 一样,成为巨大商机的占有者。在第一代互连网落后于美国的日本,在 IPv6 方面可谓全球领先者,越来越多的 ISP 开始提供 IPv6 接入。比如可以让每台家电拥有一个 IP 地址,这样,可以通过互联网来控制它们,了解它们的运行状态,并获得详细信息。

目前,第三代移动技术的基本协议就采用 IPv6,这就意味着下一代互联网具有移动性,将来手机或其他个人移动终端都将具有全球唯一的 IPv6 地址。在欧洲,IPv6 着重用于移动通信。由于欧洲在 IPv4 的网络经济中落后于美国,而欧洲移动通信事业相当发达,因此,希望在移动通信领域中掌握先机,并通过 3G 的部署来实现在未来的网络经济中与美国并驾齐驱的愿望。

1.3 IPv6 的优势

与 IPv4 相比较,IPv6 的优势如下。

1. IPv6 将现有的 IP 地址长度增加到 128 位

IPv6 地址长度的增加,增加了 IPv6 的地址数量,这个地址的数量空间,对于地球表面的每平方米,都将有超过 1000 个 IPv6 地址。这将满足伴随着网络智能设备的出现而对地址增长的需求,例如,个人数据助理(PDA)、移动电话(Mobile Phone)以及家庭网络接入设备等。

2. 即插即用功能

IPv6 能自动配置用户的地址,这样避免了手工配置的低效率,在自动配置过程中路由器发挥了巨大的作用。IPv6 既支持有状态的地址自动配置也支持无状态的地址自动配置。无状态的地址自动配置要求本地链路支持多播,而且网络接口能够发送和接收多播。有状态地址自动配置有两种方法:第一种是启动协议(BOOTstrap Protocol,BOOTP),另外一种动态主机配置协议(DHCP),这两种机制允许 IP 节点从特殊的 BOOTP 服务器或

DHCP 服务器获取配置信息。这些协议采用所谓的“状态自动配置”，即服务器必须保持每个节点的状态信息，并管理这些信息。

3. IPv6 提供更好的服务质量(QoS)

IPv6 除了可以有效地解决互联网地址枯竭的危机外，还能大幅提升互联网网络性能。在 IPv6 报头中定义了两个重要参数：业务类别字段和流标示字段。业务类别字段将 IP 分组的优先级分为 16 个等级。对于那些需要特殊 QoS 的业务，可以在 IP 数据包中设置相应的优先级，路由器根据 IP 包的优先级分别对这些数据进行处理。数据流标志位用于定义任意一个传输的数据流，以便网络中所有的节点能对这一数据进行识别，并做特殊的处理。

4. IPSec

IPSec 是 IPv6 的一个组成部分，也是 IPv4 的一个可选扩展协议。为了加强互联网的安全性，防止例如企业或机构网络遭到攻击、机密数据被窃取等不幸事件的发生，IPv6 包含了一套用于保护 IP 通信的 IP 安全协议(IPSec)。因为 IPv4 中的 IPSec 是一个可选项，所以现有的采用 IPv4 协议的网络无法全部升级支持 IPSec。

5. IPv6 支持多播功能

多播是一种可以将信息传递给所有已登记了欲接收该消息主机的功能，也可以同时传递数据给大量的用户，传递过程中只会占用一些公共或专用带宽。IPv6 还包含了限制多播消息传递范围的一些特性，这样，多播消息可以被局限在一个特定的位置、区域或其他约定范围，从而减少了带宽的使用并提供更高的安全性。

6. RSVP 功能

利用必选的 RSVP 功能，用户可以在沿源点到目的地的路由器上预留带宽，该功能给提供具有服务质量的图像和其他实时业务的实现创造了条件。

CHAPTER 2

第 2 章

IPv6 地址

2.1 地址格式

IPv4 地址表示为点分十进制格式,32 位的地址分成 4 个 8 位分组,每个 8 位写成十进制,中间用点号分隔。而 IPv6 的 128 位地址则是以 16 位为一分组,每个 16 位分组写成 4 个十六进制数,中间用冒号分隔,称为冒号十六进制格式。

先看一个以二进制形式表示的 IPv6 地址:

```
001000011101101000000000110100110000000000000000010111100111
0110000010101010100000000011111111111111100010001010011100010
11010
```

该 128 位地址以 16 位为一分组可以表示为:

```
0010000111011010    0000000011010011    0000000000000000
0010111100111011    0000001010101010    0000000011111111
111111000100010    1001110001011010
```

每个 16 位分组转换成十六进制并以冒号分隔:

```
21DA:00D3:0000:2F3B:02AA:00FF:FE22:9C5A
```

在每个段中的前导位 0 可以不写,可以用 0 来表示 0000,用 1 来表示 0001,用 20 来表示 0020,用 300 来表示 0300,只要保证数值不变,就可以将前导位的 0 省略。例如:

```
1080:0000:0000:0000:0008:0800:200C:417A
0000:0000:0000:0000:0000:0000:0A00:0001
```

可以简写为:

```
1080:0:0:0:8:800:200C:417A
0:0:0:0:0:0:A00:1
```

在同一个地址中,若干个连续为 0 的段可以简写为“::”。那么上面的地址又可以简化为:

1080::0:8:800:200C:417A

::A00:1

注意：在一个特定的地址中，零压缩只能使用一次，也就是说，在任意一个冒号分十六进制格式中只能出现一个双冒号“::”，否则就无法知道每个“::”所代表的确切零位数了。

IPv6 地址示例：

2031:0000:130f:0000:0000:09c0:876a:130b 正确

2031:0:130f:0:0:09c0:876a:130b 正确

2031:0000:130f::09c0:876a:130b 正确

2031::130f::09c0:876a:130b 错误

0:0:0:0:0:0:0:1=::1 正确

0:0:0:0:0:0:0:0=:: 正确

2.2 地址前缀

IPv6 地址由 3 部分组成即全局路由前缀(global routing prefix)、子网 ID(subnet ID)和接口 ID,总长为 128 位。

在 IPv4 中,IPv4 的地址为 32 位,用 192.168.3.25/24 来表示一个 IP 地址,其意义为地址 192.168.3.25,具有 24 位的子网掩码也就是前缀,其掩码为 255.255.255.0。同样,192.168.3.25/28 表示一个 IP 地址为 192.168.3.25,具有 28 位前缀,其掩码为 255.255.255.240 的地址。在 IPv4 中,前缀的长度决定了一个子网中能容纳主机数量的大小。IPv4 用变长的掩码来避免 IPv4 地址空间的浪费。

IPv6 的地址前缀表示法沿用 IPv4 中的 CIDR 表示法,即用“地址/前缀长度”表示。任何子网都是具有一个 64 位的前缀,这个 64 位的前缀用来识别某个接口所属的子网并被路由器用于转发,任何少于 64 位的前缀,要么用于表示一个路由前缀,要么就是一个 IPv6 的地址范围,因此,IPv6 前缀只对路由及地址范围才有意义。例如 2EFF:0A01:ca53:80::/40 表示一个长度为 40 位的前缀,地址 2001:da8:0:2::1,其中 2001:da8:0:2::/64 就表示其子网标识。

2.3 IPv6 地址空间及地址类型

IPv6 的地址长度为 128 位或 16 字节,可以分配的地址数量为 3.4×10^{38} 次方,因此,足够让每个地球人拥有多个 IPv6 地址。

IPv6 地址分为单播、多播(组播)和泛播(任意播),取消了广播地址,因为 IPv4 中的广播数据包占用了大量的网络资源,降低了网络利用率,所以在 IPv6 中取消了广播,IPv6 用多播地址代替了所有形式的 IPv4 广播地址。如图 2-1 所示为 IPv6 的地址类型。如表 2-1 所示为 IPv6 的地址类型。

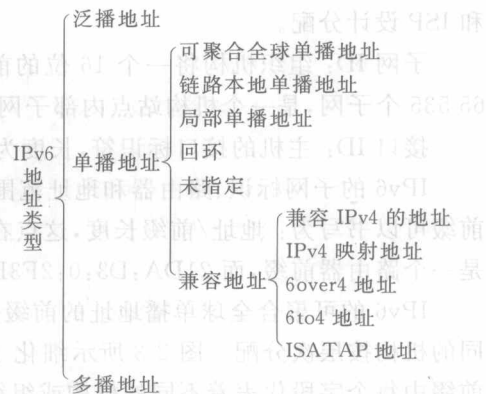


图 2-1 IPv6 地址类型

表 2-1 IPv6 的地址类型

地址类型	二进制前缀	IPv6 符号
不确定型	00...0(128 位)	::/128
回环	00...1(128 位)	::1/128
多播	11111111	FF00::/8
链路本地单播	1111111010	FE80::/10
局部单播	11111110	FC00::/7
全球单播	001	2000::/3

表 2-1 中列出的地址是目前用到的地址,IPv6 的地址空间中其余没用到的地址这里没有列出来,它们目前被保留下来,以作将来备用。

- 单播地址: 一个单接口的标识符,标识了一个单独的 IPv6 接口。一个节点可以具有多个 IPv6 网络接口。每个接口必须具有一个与之相关的单播地址。
- 多播(组播)地址: 一组接口(一般属于不同节点)的标识符。送往一个多播地址的数据包将被传送到该地址标识的所有接口上。
- 泛播(任意播)地址: 一组接口(一般属于不同节点)的标识符。送往一个泛播地址的数据包将被传送到该地址标识的接口之一(根据路由协议对于距离的计算方法选择“最近”的一个)。例如用于向 DNS 服务器的请求。

2.3.1 单播地址

IPv6 中的单播地址包括可聚合全球单播地址、链路本地单播、局部单播、回环、未指定及兼容地址。

1. 可聚合全球单播地址

可聚合全球单播地址是在访问 Internet 时使用,顾名思义是可以在全球范围内进行路由转发的地址,相当于 IPv4 公网地址。全球地址的设计有助于构架一个基于层次的路由基础设施。与目前 IPv4 所采用的平面与层次混合型路由机制不同,IPv6 支持更高效的层次寻址和路由机制。可聚合全球单播地址的通用格式如图 2-2 所示。

全球路由前缀: 48 位的全球路由前缀由 RIR 和 ISP 设计分配。

子网 ID: 组织机构将一个 16 位的前缀分为 65 535 个子网,是一个机构站点内部子网的集合。

接口 ID: 主机的接口标识符,长度为 64 位。

IPv6 的子网标识、路由器和地址范围前缀表示法与 IPv4 采用的 CIDR 标记法相同,其前缀可以书写为: 地址/前缀长度,这点在前面讲地址前缀时讲到过,例如,21DA:D3::/48 是一个路由器前缀,而 21DA:D3:0:2F3B::/64 是一个子网前缀。

IPv6 的可聚合全球单播地址的前缀是个逐级分配的层次结构。48 位的前缀分别被不同的机构按层次分配。图 2-3 所示细化了 IPv6 前缀的逐级分配的层次结构,64 位的 IPv6 前缀中每个字段代表着不同的机构或组织分配的空间。

FP: 可聚合全球单播地址前缀,目前只用到 001。随后分别是 13 位的 TLA ID(顶层聚

48b	16b	64b
全球路由前缀	子网 ID	接口 ID

图 2-2 可聚合全球单播地址的通用格式



图 2-3 可聚合全球单播地址结构详图

合标识符)、8 位的 Res、24 位的 NLA ID(下级聚合标识符)、16 位 SLA ID(站点层聚合标识符)和 64 位主机接口 ID。顶级聚合体(Top Level Aggregator, TLA)、下级聚合体(Next Level Aggregator, NLA)和站点的聚合体(Site Level Aggregator, SLA)三者构成了自顶向下排列的 3 个网络层次,它们分别属于不同的机构管理和分配。其中 TLA ID 的分配由国际 Internet 注册机构 IANA 严格管理,它按次序将单个 TLA ID 分配给地区性互联网注册管理机构。Res 是 8 位保留位,以备将来 TLA 或 NLA 扩充之用。NLA ID 是第二层服务提供商,它可以是上游一个连接 TLA 的小型组织,也可以是上游连接了多个 TLA 的复杂主干的大型区域性的提供商。FP、TLA、RES 和 NLA 这几个段组成了通用格式中的“全球路由前缀”,它的长度为 48 位,因为这几个字段是提供接入服务大大小小的 ISP 集合,这样的结构有利于路由的聚合,使得上游路由表变小,并且在用户改变 ISP 时,只需要改变前缀而不用改变内部编址。

SLA ID 是站点级聚合标识符,也就是图 2-2 通用格式中单独划出来用“子网 ID”表示,它用来被一个单独的机构用于标识自己站点内的子网。在图 2-2 中看到这个子网标识占有 16 位,因此,一个机构可以建立自己的地址层次结构来识别不同的子网,这就有点像在 IPv4 中分配给一个公司或者一个学校一个 B 类网络 ID,那么这个机构可以根据实际情况来分层次地分割这个 B 类地址。

从图 2-3 中看到 IPv6 单播地址中后 64 位是接口标识符,用来标识一个接口,它只有在带有 64 位前缀的 IPv6 地址中才有,这个接口标识符和 IPv4 中的主机标识符不同,在 IPv4 中确定子网前缀后,也就确定了子网中主机数量,它在接口上使用逻辑标识符,例如 192.168.3.16/28 子网中,子网前缀为 28 位,主机标识符为 4 位,主机数量为 $2^4 - 2$,那么主机接口标识符就从 192.168.3.17~192.168.3.30。然而,在 IPv6 中,接口标识是一个固定的 64 位的长度,它不代表子网能容纳 $2^{64} - 2$ 台主机,该标识符为了便于大多数局域网技术(如以太网)所使用的 48 位 MAC 地址进行地址映射,以及与 IEEE1394(也称作 FireWire)和今后局域网技术所使用的 64 位 MAC 地址进行地址映射。

在 IPv6 中,接口标识符有以下几种确定方法:

- (1) 根据 RFC2373 的定义,所有使用从 001~111 的前缀的单播地址都必须使用自扩展唯一标识符 EUI-64 地址的 64 位接口标识符。64 位的 EUI-64 地址由 IEEE 定义。
- (2) 根据 RFC3041 的定义,为了提供一定程度的匿名性,存在临时分配和随机产生的接口标识符。

(3) DHCPv6 配置。

(4) 根据 RFC2472 的定义,一个接口标识符可以是基于链路层地址或者序列号,或者在配置点对点协议(PPP)接口时,或者在没有 EUI-64 地址时随机产生。

(5) 可以在手工配置地址时分配。

2. EUI-64 地址

下面介绍用 EUI-64 表示 IPv6 接口标识符的方法。

EUI-64 地址接口标识符是基于网卡的 MAC 地址(也叫 IEEE802 地址)的一种新型地址表示法。

首先,获取网卡的 MAC 地址,如图 2-4 所示。

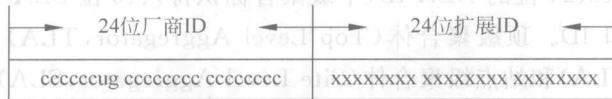


图 2-4 以太网 48 位 MAC 地址结构

在 U 位取反值,如果 U 位值为“0”则取反值为“1”,如果 U 位值为“1”则取反值为“0”。一般情况下 U 位值总是“0”,表示此地址是全球管理的。

然后,在厂商 ID 和扩展 ID 之间插入 16 位的 111111111111110(FFFE),如图 2-5 所示。

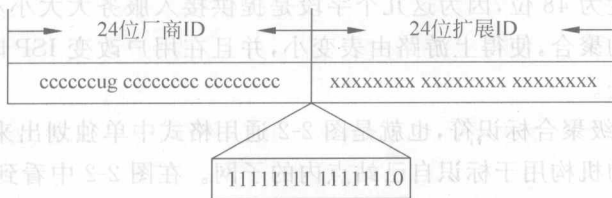


图 2-5 EUI-64 的接口地址

这样就获得了 64 位 EUI-64 的接口地址。

例如 00-0D-89-6D-8F-FC,其中前 24 位 00-0D-89 是厂商 ID,后 24 位 6D-8F-FC 是板卡 ID。

然后在 U 位取反值: 02-0D-89-6D-8F-FC。

插入 FFFE: 02-0D-89-FF-FE-6D-8F-FC。

用冒号十六进制法表示为 020D:89FF:FE6D:8FFC,这个就是接口标识符了。

3. 链路本地单播地址

链路本地单播地址:用于同一链路上的相邻节点之间的通信,它只能用于单个链路,不能被路由,前缀的前 10 位标识为 111111010。一个节点启动了 IPv6 协议栈时,每个接口会自动配置一个链路本地单播地址,这个地址具有

固定前缀 FE80::/64 + EUI-64。当在局域网内部使用,没有跨路由的网内通信时,可以用此地址。启用时需要重复地址检测。

10b	54b	64b
111111010	0	接口 ID

图 2-6 链路本地单播地址格式

链路本地地址格式如图 2-6 所示。

4. 局部单播地址

最初 IPv6 地址空间中有个站点本地地址,它的定义为:用在内联网中,它的概念和

IPv4 中的私有地址类似,不允许从站点直接路由到全球 Internet,前缀的前 10 位标识为 1111111011,固定前缀为 FEC0::/10,它可以跨路由,进行不同子网间的通信。

站点本地地址格式如图 2-7 所示。

10b	38b	16b	64b
1111111011	0	子网 ID	接口 ID

图 2-7 站点本地地址

后来 RFC4193 提出了一个全局唯一的局部单播地址(Unique Local IPv6 Unicast Addresses,ULA),建议用它来取代“站点本地地址”(Site-Local Addresses)在 IPv6 地址体系结构中的位置。RFC3879 解释了取消站点本地地址概念的理由,因为“站点本地地址”本身是一个含混不清的概念,FEC0::/10 这样的地址可以出现在多个站点网络中,因此这样的地址不能区分站点本身的归属特性。

用法上 ULA 和 IPv4 的私有地址类似,但它具有近似的全局唯一性。图 2-8 是 ULA 的地址结构示意图。其中,FC00::/7 是 ULA 类型的前缀。作为一个统一前缀,有利于限制边界网关将这类地址的路由控制在一定范围之内。L 是局部标志,置位表示后面的 Global ID 是各网络独自选择的;40 位的 Global ID 由各网络独自随机选择,随机性保证一个 ULA 前缀在很大概率上是全局唯一的,因此,ULA 并不要求部署它的管理员向全球机构注册使用某个前缀。在网络变换其服务提供商及对应的全局地址前缀时,ULA 的地址编址体制可以保持不变,因此网络内部的运行将不会因重编址而受到影响。

7b	1b	40b	16b	64b
11111110	L	Global ID	子网 ID	接口 ID

图 2-8 局部单播地址

5. 兼容性地址

在 IPv4 向 IPv6 的迁移过渡期,为了使 IPv6 和 IPv4 之间可以通信,两类地址并存,下面将学习一些特殊的地址类型:

(1) IPv4 兼容地址

IPv4 兼容地址,可以表示为 0:0:0:0:0:0:w.x.y.z 或 ::w.x.y.z(w.x.y.z 是以点分十进制表示的 IPv4 地址),用于具有 IPv4 和 IPv6 两种协议的节点使用 IPv6 进行通信,如图 2-9 所示。

80b	16b	32b
0000.....0000	0000	IPv4 地址

图 2-9 IPv4 兼容的 IPv6 地址格式

例如,0:0:0:0:0:0:192.168.3.2 或者 ::192.168.3.2。

(2) IPv4 映射地址

IPv4 映射地址是一种内嵌 IPv4 地址的 IPv6 地址,可以表示为 0:0:0:0:0:FFFF:

w. x. y. z 或 ::FFFF:w. x. y. z。这种地址被用来表示仅支持 IPv4 地址的节点,如图 2-10 所示。

80b	16b	32b
0000.AAA.....AAA.0000	FFFF	IPv4 地址

图 2-10 IPv4 映射的 IPv6 地址格式

例如,0:0:0:0:0:FFFF:192.168.3.2 或者 ::FFFF:192.168.3.2。

3) 6to4 地址
格式为 2002:a. b. c. d:xxxx:xxxx:xxxx:xxxx:xxxx,前缀为 64 位,其中 2002:a. b. c. d 前 48 位由分配给路由器上的 IPv4 地址决定,用户不能改变,后 16 位由用户自己决定。6to4 地址用来表示一个使用 6to4 协议的隧道机制的节点。

4) 6over4

格式为 [64 位前缀]:0:0:WWXX:YYZZ,其中 WWXX:YYZZ 是 w. x. y. z (公共或私有 IPv4 地址)的冒号十六进制表示法。该地址用于表示一个使用 6over4 协议的隧道机制的节点。

5) ISATAP 地址
格式为 [32 位前缀]:0:5EFE:W.X.Y.Z,其中 W.X.Y.Z 是单播的 IPv4 地址,该地址用于表示一个使用站点内自动隧道寻址协议(ISATAP)的地址分配机制的节点。

6. 未指定地址

未指定地址用于表示地址不确定,相当于 IPv4 中的未指定地址 0.0.0.0,一般用未指定地址作为源地址,它不会分配给一个接口或者作为一个目标地址来使用,未指定地址的表示为 0:0:0:0:0:0:0 或者 ::。

7. 回环地址

回环地址用于标识一个回环接口,在 IPv4 中可以用 127.0.0.1 来表示,在 IPv6 中用 0:0:0:0:0:0:0:1 或者 ::1 来表示。

关于上面提到的不同的兼容地址对应的不同隧道机制将会在后面讲到,一些最常用的隧道将会举例说明。

2.3.2 多播地址

在 IPv4 中,多播支持是可选的,而在 IPv6 中,则是必需的。IPv6 中的多播通信流被发送到一个单一的目标地址(即多播地址),可以被多个 IPv6 主机接收和处理,不管主机位于网络何处。主机侦听一个特定的 IPv6 多播地址,并接收所有发向这个地址的数据,侦听特定 IPv6 多播地址的多个主机集合称为多播组。图 2-11 所示为多播地址的格式。

8b	84b	4b	112b
11111111	标志	范围	组 ID

图 2-11 多播地址格式