IPv6

技术与应用

+ 依托于校园网组建的IPv6实验室
+ 揭秘基于Linux平台的IPv6实验
+ 论述IPv6技术的具体应用和实现方法
+ 公开数年IPv6实验平台内幕及成果
+ 专业推荐　不容错过

+ 全面阐述下一代IP网络的核心技术之一IPv6
+ 在兼顾基础知识的同时，提供了详尽、丰富的IPv6下的各种应用和实验
+ 注重实践应用，保持实践及应用的开放性和可扩展性

伍孝金　编著

清华大学出版社

IPv6 技术与应用

伍孝金　编著

清华大学出版社

北　京

内 容 简 介

本书介绍IPv6技术的概念、基本原理及主要的理论知识，阐述IPv6技术的特点；同时在实践应用方面，依托于校园网组建的IPv6实验室进行一系列的实验，论述IPv6技术的一些具体应用的实现方法。

全书共分8章。内容包括IPv6概述、ICMPv6及邻居发现协议、IPv6路由技术和路由协议、套接字编程、IPv6过渡机制、IPv6的基本应用、IPv6安全机制和移动IPv6。特别要注意的是，每章都附有IPv6的实验和应用，这些实验和应用都是基于Linux平台的，具有开放性和扩展性，可以满足读者进一步学习和研究的需要。

本书不仅理论翔实，同时注重实践应用，适合从事计算机网络、IPv6网络技术的高校师生和工程技术人员阅读，对于正在从事IPv6相关研究和开发的工程技术人员，本书也具有较高的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

IPv6技术与应用/伍孝金编著. —北京：清华大学出版社，2010.4
ISBN 978-7-302-22352-8

Ⅰ.I…　Ⅱ.伍…　Ⅲ.计算机网络—传输控制协议　Ⅳ.TN915.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第045266号

责任编辑：章忆文　宋延清
装帧设计：杨玉兰
责任印制：王秀菊
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：北京市清华园胶印厂
装 订 者：三河市溧源装订厂
经　　销：全国新华书店
开　　本：185×260　**印　张**：21　**字　数**：503千字
版　　次：2010年4月第1版　　**印　　次**：2010年4月第1次印刷
印　　数：1～4000
定　　价：36.00元

产品编号：035171-01

序　言

随着科学技术的进步，信息已成为推动社会向前发展的巨大动力。信息领域的竞争将是21世纪世界经济竞争的焦点之一，而竞争的结果将取决于人们对信息技术的掌握程度和信息网络的建设及应用水平，特别是IP网络技术作为21世纪信息网络的主要技术之一，将发挥出越来越重要的作用，以IP网络技术为基础支撑的互联网已经开始承载各种各样的信息业务，甚至包括传统电信网业务。掌握IP网络基本原理和关键技术对研究、开发及使用新一代信息网络具有十分重要的意义。另一方面，传统IPv4网络由于设计上的一些缺陷，已经难以应对信息网络高速发展所带来的越来越多的挑战。而20世纪90年代中期出现的IPv6技术则有效地克服了IPv4的缺陷，具有地址空间大、配置简单、安全性和移动性支持好等一系列的优点。因此，对下一代IPv6网络的研究是当前乃至今后相当长一段时间内的热点。

从世界各国研究的情况来看，目前在IPv6的研究和应用方面比较领先的主要是美国、欧洲和日本等发达国家和地区。这些国家和地区都启动了一系列与IPv6相关的计划或项目。这些计划为IPv6在全球范围内的部署和应用起到了重大的推动作用。我国在IPv6的研究方面起步不算早，但近几年发展特别快。事实上，我国是全球最关心IPv6发展的国家之一，原因就在于IPv6将给中国信息网络建设带来新的契机。因此，政府、各科研院所和企业对IPv6的研究十分重视，投入了大量的财力和人力，也取得了很大的成就，比起IPv4阶段已经有了长足的进步，但也存在一些问题，例如，在新一轮的IPv6地址分配中，我国仍然处在与人口不相配的劣势地位等。另外，需要指出的是，尽管在IPv6的研究上已经取得了巨大的成就，但目前IPv6还缺乏杀手锏级的应用，这实际上也是制约IPv6大规模应用的一个关键因素，并且决定了在很长一段时间内，将是IPv4和IPv6并存，而不太可能是IPv6迅速代替IPv4。因此，除了要研究IPv6的关键理论、技术与设备外，对IPv6应用的研究也非常重要。

总地来说，IPv6作为下一代IP网络的核心技术之一，将给中国带来巨大的机遇。抓住机遇，掌握技术主动权，将会在下一代互联网标准和资源分配中争取到更大的发言权，同时利用IPv6网络在我国基础设施、服务与应用、设备制造等方面形成新的巨大产业，会推动整个科学技术和国民经济的高速发展。

本书介绍了IPv6技术的概念、基本原理及主要的理论知识，阐述了IPv6技术的特点；同时在实践应用方面，依托于校园网组建的IPv6实验室，讲述了一系列的实验，论述了IPv6技术中一些具体应用的实现方法，对IPv6的发展和应用有重要的参考价值和指导意义。

本书作者伍孝金老师长期从事IPv6网络关键技术的研究工作，在IPv6网络建设与实践方面有深厚的积累。本书正是伍孝金老师等在IPv6网络关键技术方面研究成果的结晶，具有很高的实践意义和实际应用价值，相信对从事互联网工作的研究人员会有较大的学术

参考价值和指导作用。

张宏科
2010.2.5

张宏科：北京交通大学教授，博士生导师，下一代互联网互联设备国家工程实验室主任；高等学校电子信息科学与工程类教学指导委员会委员；电子学会理事；信息产业部科技发展“十一五”规划信息网络技术专家组成员；国家 973 计划“一体化可信网络与普适服务体系基础研究”项目首席科学家。

前　言

目前互联网所使用的IPv4协议，由于容易实现且互操作性好，显示了相当强盛的生命力，经受住了从早期小规模互联网络发展到如今全球范围Internet应用的考验。但是由于其先天设计的不足，随着Internet的迅猛发展和各种应用的深入，IPv4地址空间变得越来越匮乏，安全性的问题也越来越突出，已经使得Internet不堪重负。

正是在这种背景下，为了解决IPv4协议带来的上述问题及相关的问题，IETF工作组于1998年12月发布了IPv6标准RFC2460——Internet Protocol version 6 Specification(IPv6)，即下一代互联网协议IPv6。

尽管IPv6与IPv4相比具有诸多的优势，但由于IPv4的长期发展已经形成了广泛的网络建设及应用基础、锻炼了一批又一批的计算机网络专门人才，而且全球的IPv4用户不计其数，因而要真正实现从IPv4网络到IPv6网络的过渡将是一个渐进的漫长过程。

作者长期从事计算机网络教学、科研和管理，很早就开始关注、学习和研究IPv6，也深刻地体会到在这一漫长的过程中，IPv6人才的培养和让人们了解IPv6是网络应用和发展的关键。基于此，作者从2006年开始构思并写作本书，此期间，正在从事IPv6有关的科研项目，一方面经历着资料缺乏和实验调试不成功的挫折感，另一方面在找到需要的文献和实验成功后又获得了丰厚的成就感，回顾这段经历，正是这些成功和不成功的实验及应用，才使人真正对IPv6的知识了解到了许多。因此，在写作过程中，作者加入了自己曾经做过的一些实验和应用，以期为那些想了解、掌握和从事IPv6技术的读者提供一些帮助。

在实验和应用平台的选择上，书中没有采用某些商用的设备和软件，而是选择了Linux操作系统和一些开源的软件，其目的是为了强调实验的通用性、开放性、易实现性和扩展性，这对于掌握IPv6甚至从事IPv6研究是很好的选择。当然，这些也构成了本书的一个特色。

本书共分8章，各章内容概述如下。

- 第1章：IPv6基础知识。讲述IPv6技术产生的背景、IPv6地址结构和数据报的格式及其实验与分析。
- 第2章：ICMPv6及邻居发现协议。介绍ICMPv6协议、IPv6邻居发现协议和多播侦听协议，进行ICMPv6和邻居发现协议的实验与分析。
- 第3章：IPv6路由技术与路由协议。论述IPv6路由原理，介绍RIPng、OSPFv3和BGP4+协议，利用开源软件Qugga进行路由协议的有关实验。
- 第4章：套接字编程。介绍套接字编程的基本概念和函数，讨论套接字编程的通信过程和编程实现。
- 第5章：IPv6过渡机制。介绍并详细分析过渡机制的3种过渡技术——包括双栈技术、隧道技术和转换机制，利用过渡技术组建一个IPv6实验网，并进行几个隧道技术的实验。

- 第 6 章：IPv6 的基本应用。介绍 IPv6 的 DNS、WWW 和 FTP 几个基本的应用，并通过组建的 IPv6 实验网实现这些应用。
- 第 7 章：IPv6 的安全机制。分析 IPv6 协议所采用的 IPsec 机制，重点讨论密钥交换的实现方法。
- 第 8 章：移动 IPv6。讨论 IPv6 对移动性的支持，详细分析移动 IPv6 的通信过程，进行基于 MIPL 的有关移动 IPv6 的实验。

本书的编写历时 3 年多，在此期间，作者的同事郑慧明和邹昌芝两位老师奉献了大量的休息时间参与书中部分实验工作；北京交通大学电子信息学院的苏伟博士多次给作者发来 IPv6 相关的资料并就有关的技术问题进行了指点；清华大学出版社的章忆文女士为了能将作者的书稿出版为一本专业书籍，做了大量的工作……所有这些都让作者非常感动，谨通过此书向帮助和鼓励过本书作者的同事、朋友和编辑表达诚挚的谢意！

IPv6 技术涉及的知识面既广泛又很专业，作者希望能够写出一本能让读者感到满意的书籍，但由于能力所限，书中肯定会存在一些疏漏，恳请读者来信批评指正。

联系方式：WoolfLighthouse@163.com

伍孝金

2010.3.6

目　录

第 1 章　IPv6 基础知识

随着 Internet 的飞速发展，使用广泛的 IPv4 协议在 Internet 的发展过程中发挥了巨大的作用，但也暴露出了越来越多的问题，例如 IPv4 地址短缺、缺乏安全性和移动性差等。为了彻底解决 IPv4 存在的问题，互联网工程任务组(Internet Engineering Task Force，IETF)提出和设计了下一代互联网协议，即 IPv6 协议。

本章将介绍 IPv6 协议产生的背景、地址和数据报结构及其实验过程与分析。

1.1　IPv6 概述

本节主要从 IPv6 协议产生的背景及其特点这两个方面对 IPv6 协议进行一个概括性的论述。

1.1.1　IPv6 产生的背景

IP 协议是 TCP/IP 协议族中最为核心的协议，所有的 TCP、UDP 和 ICMP 数据都是以 IP 数据报进行传输的。IP 协议属于 TCP/IP 体系结构的网络层，通过该协议使得互联网内的任意两台计算机无论相距多远都可以进行相互的通信。

现在使用的 IP 协议称为 IPv4 协议，是 1981 年 IETF 的 RFC791 标准发布实施的，并且广泛地融入到互联网的各项应用中。事实证明，IPv4 具有相当强盛的生命力，易于实现且互操作性良好，经受住了从早期小规模互联网络发展到如今全球范围 Internet 应用的考验。

但是由于其设计的先天不足，随着 Internet 的迅猛发展和各种应用的深入，IPv4 地址空间变得越来越匮乏，安全性的问题也越来越突出，已经使得 Internet 不堪重负。从总体上来说，IPv4 的不足主要表现在以下几个方面。

1. 地址匮乏

理论上 IPv4 可提供 2^{32}(即大约 43 亿)个 IP 地址。但在实际的使用中，要除去广播地址、划分子网的开销、路由器地址和保留地址等，又由于早期缺乏长远规划，地址分配的不均匀，使用效率也不高，因而造成最后有效的地址数目比总数要少很多。

随着互联网上主机数目的迅速增加，地址空间将难以满足未来移动设备和消费类电子设备对 IP 地址的巨大需求。

正是由于 IPv4 地址的匮乏，迫使一些组织机构采用网络地址转换(Network Address Translation，NAT)技术，将大量的私有地址转换成单一的公有地址或地址池。虽然 NAT 可

以在一定程度上缓解地址空间被耗尽的危机，但增加了 IP 网络的复杂性，并且破坏了 IP 协议的核心特性，尤其是限制了通信中端到端的通信原则，影响了网络中一些应用的开展，因此不能从根本上解决 IPv4 所造成的地址短缺的困难。

有专家预测，按照目前互联网发展的趋势和相关数据的统计计算，所有 IPv4 地址将在 2010 年被分配完毕。

2. 路由效率低下

由于历史的原因，IPv4 地址的层次分配缺乏统一的分配和管理，它主要采用与网络拓扑结构无关的形式分配地址，这样就导致了骨干路由器中存在大量的路由表项，骨干路由器中庞大的路由表增加了路由查找和存储的开销，降低了互联网服务的稳定性，成为目前影响提高互联网效率的一个瓶颈。

3. 安全性差

早期的互联网主要用于科学研究，安全问题不突出。随着互联网的商用化，现有 IPv4 网络暴露出越来越多的安全缺陷，各种网络安全事件层出不穷。其中一个重要原因是：在 IPv4 网络，人们认为安全性在网络协议栈的底层并不重要，安全性的责任应交给应用层。在这种情况下，安全性就意味着只对净荷数据的加密。但即使应用层数据本身是加密的，携带它的 IP 数据仍会泄露给其他参与处理的进程和系统，这样就使得 IP 数据包容易受到诸如信息包探测、IP 欺骗、连接截获等手段的攻击。需要说明的是，尽管用于网络层加密与认证的 IPsec(IP security)协议可以应用于 IPv4 中，保护 IPv4 网络层数据的安全，但 IPsec 只是作为 IPv4 中的一个可选项，没有任何强制性措施用以保证 IPsec 在 IPv4 中的实施。

4. 缺乏服务保证

IPv4 为保证服务质量而提供的服务类型字段(Type of Service，ToS)虽然可以为不同业务流选择合适的路由，却从来没能在实际应用中真正实现。一方面，这需要路由协议彼此协作，除提供基于开销的最佳路由外还要提供可选路由的延时、吞吐量和可靠性的数值；另一方面，还需要应用开发者实现一个功能，使其可以提出可能影响性能的服务请求。ToS 是一种选择，如果用户认为低延时对于其应用最重要，则应用的吞吐量或可靠性将受到影响。

另外，IPv4 对互联网上涌现的新的业务类型缺乏有效的支持，比如实时和多媒体应用，这些应用要求提供一定的服务质量保证，比如带宽、延迟和抖动。

IPv4 本身的局限性决定了它只能是一种尽力而为的运行方式。随着 IP 网络的发展，人们迫切要求数据报包括带宽、预留、多媒体传输、特殊的安全性等多方面服务，而 IPv4 很难充分地满足这些需要。

5. 移动性支持不够

IPv4 诞生时，互联网的结构还是以固定和有线为主，所以 IPv4 没有考虑对移动性的支持。但到了 20 世纪 90 年代中期，各种无线、移动业务的发展要求互联网能够提供对移动性的支持。因此，研究人员提出移动 IPv4 来解决这些问题。但由于 IPv4 本身的缺陷，造成移动 IPv4 存在着诸多弊端，如三角路由问题，安全问题，源路由过滤问题，转交地址分

配问题等。事实上，移动 IPv4 没有得到大规模应用也是由这些问题造成的。

正是在这种背景下，为了解决 IPv4 协议所带来的上述问题及相关的问题，IETF 工作组于 1993 年下半年专门成立了 IPng(the Next Generation Internet Protocol)工作组来负责制定下一代互联网的 IP 协议。

IPng 工作组在 1994 年 9 月加拿大的多伦多举行的 IETF 会议上提出了一个正式草案“The Recommendation for the IP Next Generation Protocol”，其标准文档为 RFC1752，正式的 IPv6 规范是由 S.Deering 和 R.Hinden 于 1995 年 12 月在 RFC1883 中公布的建议标准(Proposal Standard)，1996 年 7 月和 1997 年 11 月先后公布了版本 2 和版本 2.1 的草案标准(Draft Standard)，1998 年 12 月发布了 IPv6 标准 RFC2460(Internet Protocol version 6(IPv6) Specification)，即下一代互联网协议 IPv6。

IPv6 协议主要有以下内容。

- 采用 128 位地址空间，在层次结构上更为科学合理。
- 地址自动分配，提供了无状态和有状态地址自动配置两种地址配置方案。
- 简化了协议报头，使用了全新的、更加灵活的扩展报头的数据结构。
- 支持源路由的选径，IPv6 采用了多层次地址结构，提供了更多的路由信息，绝大多数路由算法都做了修改，以扩展其路由选径的能力。
- 集成了认证和加密的安全机制，两种机制可以自由地组合使用，以适应不同的安全需要。

1.1.2　IPv6 的特点

IPv6 是为了解决 IPv4 所存在的一些问题和不足而提出的，同时它还在许多方面提出了改进，例如路由、自动配置和安全等方面。经过一个较长的 IPv4 和 IPv6 共存的时期，IPv6 最终将会完全取代 IPv4，在互联网上占据统治地位。

与 IPv4 相比，IPv6 有如下的一些特点。

1. 巨大的地址空间

IPv6 的地址长度采用了 128 位，按位数衡量比 IPv4 的 32 位扩大了 3 倍，理论上可以提供 2^{128}(即 340282366920938463463374607431768211456)个 IPv6 地址，相当于为地球表面每平方米的面积提供了 6.65×10^{23} 个地址，这个数目足够为地球上每一粒沙子提供一个独立的 IPv6 地址。

因此，IPv6 形成了一个巨大的地址空间，在可预见的很长时期内，它能够为所有可以想象出的网络设备提供一个全球唯一的地址，真正能保障端到端的通信原则。

2. 简化的报头

在 IPv4 中，其报头包含至少 12 个不同字段，且长度在没有选项时为 20 字节，如果包含选项时可达 60 字节，而 IPv6 对数据报头做了简化，使用了总长为 40 字节固定格式的报头，减少了需要检查和处理的字段数量，这将使得路由的效率更高。

3. 对移动性和安全性的更好支持

在 IPv4 中可以在 IP 报头的尾部加入选项，与此不同，IPv6 把选项加在单独的扩展报头中。通过引入扩展报头，可以大大增强 IPv6 协议的可扩展性，更好地支持网络的移动性和安全性等。例如，在移动 IPv6 中，通过对 IPv6 协议进行扩展和定义新的扩展报头如移动报头、家乡地址选项和第二类路由报头等，使 IPv6 实现了对移动 IPv6 全面的支持；在安全性支持方面，IPv6 协议通过定义封装安全有效载荷(Encapsulating Security Payload，ESP)和认证报头(Authentication Header，AH)这些扩展报头，保证了 IPv6 网络层的安全。

4. 服务质量的满足

在 IPv4 中，只有一种简单的服务质量，从原理上讲其服务质量 QoS 是无保障的。文本传输，静态图像等传输对 QoS 并无要求，而随着 IP 网络上多媒体业务的增加，如 IP 电话、IPTV 和视频会议等实时应用的出现，对传输延时和延时抖动均有严格的要求。

针对 IPv4 在服务质量保证上的不足，IPv6 数据报头中增加了两个新的字段——流量类别和流标签。有了它们，在传输过程中，中间的各节点就可以识别和分开处理任何 IPv6 数据包。

5. 支持地址的自动配置

IPv6 支持无状态和有状态两种地址自动配置的方式，用户可以非常方便地接入 Internet 网络，实现即插即用的功能，这样用户不论在数据链路层的任何接入点接入网络都能与 Internet 网络上的其他接入点进行通信。

1.2 IPv6 地址结构

IPv6 地址结构最早是在 1995 年发布的 RFC1884 文档中进行规范的，1998 年 RFC1884 被 RFC2373 所取代并废除，2003 年 RFC2373 又被 RFC3513 所废除。RFC3513 中对 IPv6 的地址结构、表示方式和地址类型进行了解释，RFC3587 专门规范了全局单播地址的格式，2006 年 RFC4291 对 RFC3513 进行了一些更新。

本节将以这些 RFC 文档为基础对 IPv6 地址结构等内容加以介绍。

1.2.1 IPv6 地址的表示

IPv6 的 128 位地址提供了巨大的地址空间，但是使用二进制直接书写和记录如此长的网络地址很不方便。类似于 IPv4 中使用点分十进制表示方法，IPv6 制定了冒分十六进制表示法，用以表示 IPv6 的 128 位地址。这种方法将 128 位的地址分成 8 组，每组由 4 个十六进制数表示，每组之间用冒号隔开，其表示形式是“X:X:X:X:X:X:X:X”，其中每个 X 代表 4 个十六进制数。例如：

- 2001:250:4005:1000:1235:abcd:0025:1011
- aedc:fa20:7484:32b0:aefc:bc91:2645:3214

从以上两个地址可以清楚地看到手工管理 IPv6 地址的难度，同时也说明了动态主机配置协议(Dynamic Host Configuration Protocol，DHCP)和域名系统(Domain Name System，DNS)的重要性。

IPv6 地址采用冒分十六进制表示的同时，对于一些含有零的地址还可以采用一种零压缩法的简化方式来表示。比如，对于以下地址：

- abcd:0000:0000:0000:0008:0800:800c:417c
- 0000:0000:0000:0000:0000:0000:0b00:00001

就可以采用零压缩法的方法进行简化表示，具体是没有必要书写每一组数值前面的 0。例如，可以用 0 来代替 0000，用 1 来代替 0001，用 20 来代替 0020，用 300 来代替 0300，依此类推。如果使用了这种零压缩的方法，上面的两个地址就会变成下面的形式：

abcd:0:0:0:8:800:800c:417c

0:0:0:0:0:0:b00:1

按照 RFC 的规范，零压缩法还可以使用双冒号“::”做更进一步的简化，它代表一系列的 0。使用了这种简化之后，上面的两个地址将会变成下面的形式：

abcd::8:800:800c:417c

::b00:1

注意：上述简化对每个地址只能使用一次，由于 IPv6 地址的长度是一定的，因此可以计算出省略了多少个 0。这种简化可以用在地址的中间，也可以用在地址的开始或者地址的结尾。

IPv6 前缀的表示方式与 IPv4 地址前缀在无类别域间路由 CIDR 中的表示方式很相似。一个 IPv6 地址前缀通常可以表示为 IPv6-address/prefix-length 的形式，这里 IPv6-address 是上面描述的任何形式的地址，而 prefix-length 表示前缀的长度，一般以位为单位，用十进制数表示。

IPv6 前缀表示法可以用于表示一个子网。例如，为了表示一个具有 80 位前缀的子网，可使用下面的格式：

2040:0:0:0:8::/80

注意：在这个例子中，中间的 3 个 0 不能省略，因为“::”已经用来表示结尾的 0 了。

例如，对于一个 64 位长的前缀 82ab00000000cd30，下面的表示都是合法的：

- 82ab:0000:0000:cd30:0000:0000:0000:0000/64
- 82ab:0:0:cd30:0:0:0:0/64
- 82ab::cd30:0:0:0:0/64
- 82ab:0:0:cd30::/64

但是，“82ab:0:0:cd3::/64”这样的表示是不合法的。因为在任何一个 16 位的地址块中，可以省略前面的 0，但是不能省略结尾处的 0。

对于 82ab:0:0:cd30::/64，其前缀展开为 82ab:0000:0000:cd30，而对于 82ab:0:0:cd3::/64，

其前缀展开为 82ab:0000:0000:0cd3。由此可见，展开后的地址结构是不一样的。

除了表示一个子网，IPv6 前缀表示法还可以将节点地址和它的前缀结合起来以表示一个节点地址，如下所示——

- 节点地址：82ab:0:0:cd30:456:4567:89ab:cdef
- 前缀：82ab:0:0:cd30::/64

可以合并成为 82ab:0:0:cd30:456:4567:89ab:cdef/64。

1.2.2 IPv6 地址的类型

按寻址方式和功能的不同，IPv6 地址有 3 种基本类型——分别为单播地址(Unicast Address)、任播地址(Anycast Address)和多播地址(Multicast Address)。

1. 单播地址

单播地址是单个网络接口的标识，以单播地址为目的地址的数据报将被送往由其标识的唯一的网络接口上。单播地址的地址层次结构在形式上与 IPv4 的 CIDR 地址结构十分相似，它们都有任意长度的连续地址前缀。

IPv6 单播地址又具有如下几种形式：

- 全局单播地址(Global Unicast Addresses)
- 不确定地址(Unspecified Address)
- 回环地址(Loopback Address)
- 内嵌 IPv4 地址的 IPv6 地址(IPv6 Addresses with Embedded IPv4 Addresses)
- 链路本地地址(Link-Local Addresses)
- 站点本地地址(Site-Local Addresses)

下面将对上面的几种地址做较为详细的介绍。

(1) 全局单播地址

全局单播地址是 IPv6 中使用最广泛的一种地址，一个典型的 IPv6 的地址结构由 3 部分组成，具体为全局路由前缀(Global Routing Prefix)、子网标识符(Subnet ID)和接口标识符(Interface ID)，如图 1.1 所示。

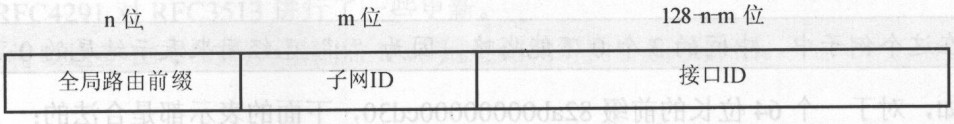

图 1.1 IPv6 全局单播地址的结构

在图 1.1 中，全局路由前缀具有层次结构，用来分配给一个站点的前缀标识值；子网标识符用来识别站点中的某个链接；接口标识符用来标识链路上的某个接口，并且接口标识符在该链接上必须是唯一的。

除了以 000(二进制表示)为前缀的地址外，RFC3513 建议所有的单播地址的接口标识符都是 64 位长，并采用修改了的 EUI-64 格式，即建议 n+m=64。为进一步明确 IPv6 全局

单播地址的格式，RFC3587 在 RFC3513 的基础上给出了全局单播地址新的格式，如图 1.2 所示。

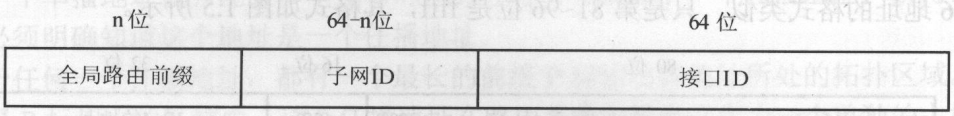

图 1.2　具有 64 位接口标识符的全局单播地址

目前 IANA 正在分配以 2000::/3 为前缀的全局单播地址，按照上面的要求，其格式如图 1.3 所示。

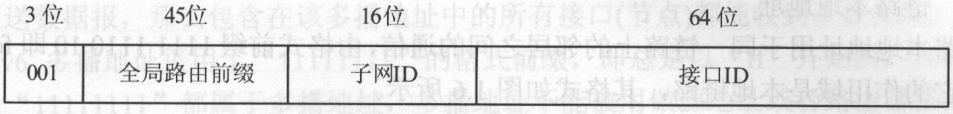

图 1.3　当前正在分配的全局单播地址

(2)　不确定地址

0:0:0:0:0:0:0:0 或::的地址称为不确定地址，该地址不能分配给任何节点，它的一个应用示例是初始化主机时，在主机未取得自己的地址以前，可在它发送的任何 IPv6 数据包的源地址字段放上不确定地址。不确定地址不能在 IPv6 包中用作目的地址，也不能用在 IPv6 路由报头中，IPv6 路由器不会转发含有不确定地址的 IPv6 数据包。

(3)　回环地址

0:0:0:0:0:0:0:1 或::1 的地址称为回环地址，节点用它来向自身发送 IPv6 数据包，它不能分配给任何物理接口，它相当于 IPv4 的回环地址 127.0.0.1。发向回环地址的数据报不会在一个链路上发送，也不会被 IPv6 路由器转发。

(4)　内嵌 IPv4 地址的 IPv6 地址

为了支持 IPv4 向 IPv6 过渡，在 IPv6 相关的 RFC3513 和 RFC4291 文档中定义了两种内嵌 IPv4 地址的 IPv6 地址：一种称作兼容 IPv4 的 IPv6 地址(IPv4-compatible IPv6 Address)；另一种称作映射 IPv4 的 IPv6 地址(IPv4-mapped IPv6 Address)。

①　将 96 位 0 的前缀加在 32 位的 IPv4 地址前就构成了兼容 IPv4 的 IPv6 地址，该地址的前 80 位都是 0，第 81~96 位是 0000，最低 32 位是 IPv4 地址，其格式如图 1.4 所示。

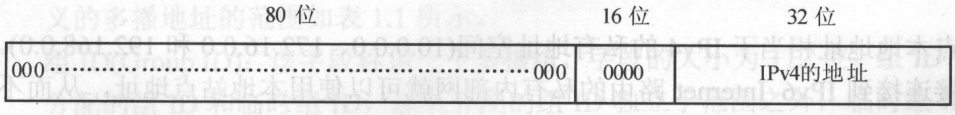

图 1.4　兼容 IPv4 的 IPv6 地址的格式

兼容 IPv4 的 IPv6 地址通常将两个冒号和 IPv4 的点分十进制记法结合，将地址表示成::a.b.c.d 的形式，其中 a.b.c.d 为 IPv4 的地址。

注意：在这个兼容 IPv4 的 IPv6 地址中，IPv4 地址必须是全球唯一的单播地址。

由于目前 IPv6 过渡机制不再使用这类地址，因而在 RFC4291 中提出不赞成使用这类