卢显良 宋 杰 黄 淳 编著

# 新一代Internet协议

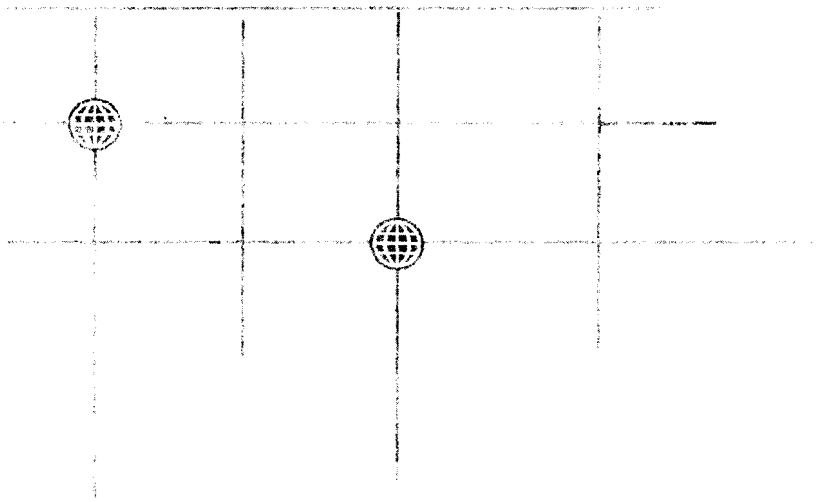
# IPv6

清华大学出版社
http://www.tup.tsinghua.edu.cn

# 新一代 Internet 协议

# IPv6

卢显良　宋　杰　黄　淳　编著



清华大学出版社

（京）新登字 158 号

## 内 容 简 介

TCP/IP 网络体系结构和协议标准是近年来计算机网络研究与应用的热点技术，以它为基础组建的 Internet 已成为国际上规模最大的计算机网络系统。目前得到广泛应用的 IP 协议是其第四版——IPv4。随着网络规模的急剧扩张，新应用的不断涌现，IPv4 已经不能满足人们的要求。为此，众多的科研人员、研究机构和商业性大公司在 IETF 的支持下推出了新一代的 IP 协议——IPv6。

本书以 IPv4 与 IPv6 的比较为主线，深入探讨了 IPv6 的原理，着重讨论了 IPv6 的地址方案、IPv6 的数据报文格式、ICMP 协议第六版、IPv6 下的路由算法、IPv6 在不同物理网络上的实现、IPv6 的安全性以及 IPv6 的性能；在应用层讨论了与 IPv6 密切相关的新的 DNS 系统；还讨论了 IPv6 下的网络编程界面 socket，最后一章对 IPv6 协议的各个方面作了总结，并对互联网由 IPv4 向 IPv6 过渡的情况以及 IPv6 的最新动态作了简要介绍。

本书可用作计算机网络教学的参考教材，也可供有关技术培训人员及工程技术人员参考。



书　　名：新一代 Internet 协议 IPv6
作　　者：卢显良　宋　杰　黄　淳　编著
出 版 者：清华大学出版社（北京清华大学学研楼，邮编 100084）
　　http://www.tup.tsinghua.edu.cn
责任编辑：李幼哲
印 刷 者：清华大学印刷厂
发 行 者：新华书店总店北京发行所
开　　本：787×1092 1/16　印张：11　字数：244 千字
版　　次：2000 年 8 月第 1 版　2000 年 8 月第 1 次印刷
书　　号：ISBN 7-302-01122-2/TP・310
印　　数：0001~8000
定　　价：16.00 元

# 前 言

计算机网络的出现改变了人们使用计算机的方式，它提供了一种比电话更便利、更强大的方式，让我们与其他人互通信息。最初，只有少数科学家才有机会使用网络，它所能提供的服务也相当有限。Internet 的飞速发展以及其中所蕴涵的巨大生产力使网络冲破了实验室的樊篱，走入千家万户的日常生活中。

TCP/IP 协议是 Internet 的基础，而 TCP 又是建立在 IP 的基础之上的。因此，要想理解 TCP/IP 的细节，就必须理解 IP 协议。目前我们使用的 IP 协议是它的第四版 IPv4。随着时间的推移，它已经不能适应 Internet 发展的需要，为此，以 IETF 为首的众多组织和科学家经过多年的研究讨论，推出 IPv6 作为 21 世纪 Internet 的骨干协议。本书就是一本对 IPv6 各个方面进行专门介绍的书籍。我们相信，对计算机网络感兴趣的读者通过阅读本书一定能对 IPv6 有一个比较全面的了解。

全书由四个部分组成。第一部分包括两章，主要介绍了 TCP/IP 协议族的整体结构，IPv6 的历史由来以及它与 IPv4 之间的比较。第二部分包括五章，详细介绍了 IPv6 设计的各个方面，探讨了设计方案中的一些得失。第三部分包括三章，讨论了 IPv6 与上下层协议之间的关系，以及程序员如何通过传统的 socket 编程界面使用 IPv6 提供的新功能。第四部分包括两章，讨论了从 IPv4 向 IPv6 过渡将会遇到的问题以及相应的解决方案，还简要介绍了 IPv6 目前的发展状况。

本书第一、二章由任立勇编写，第三、四、五章由黄淳编写，第六、七、八章由宋杰编写，其余四章由卢显良编写。卢显良和宋杰共同完成全书的审校工作。在本书的编写过程中，有许多同志提出了宝贵的建议，在此对他们表示衷心的感谢。

本书是针对具有计算机网络基础知识、同时对 TCP/IP 协议有一定了解的读者而编写的。第十章还要求读者对 socket 编程有一定的了解。如果缺乏这方面的基本知识，可以先参照本书第一章的参考资料列表，读几本这方面的入门书籍。

# 目 录

# 第二部分 IPv6 详解

## 第三章 IPv6 的地址方案

# 第一部分

# TCP/IP 简介

Internet Protocol（IP 协议）并不是一个孤立的协议，而是一个协议栈的有机组成部分。它位于 7 层协议模型的第三层，起着承上启下的枢纽作用：向下，它屏蔽了链路层和物理层的物理差异；向上，它对 TCP 和 UDP 协议提供了接口规范的无连接的数据报服务。

第一部分由以下两章组成：

- “第一章 TCP/IP 协议简介”介绍了 TCP/IP 协议族的整体结构，对协议族中比较重要的协议作了扼要介绍，并且讨论了各个协议之间的依赖关系。
- “第二章 IPv6 的发展之路”介绍了 IPv6 的发展历程，并且在总体上对 IPv4 和 IPv6 作了初步的比较。

# 第一章 TCP/IP协议简介

自从20世纪60年代计算机网络出现以后，人们使用计算机的方式发生了很大的变化，他们可以随时与其他人共享研究成果、传输文件和数据。但是，最初的网络所能提供的服务相当有限，不同的机种、不同的操作平台往往不能实现互联，所以人们仅能在小范围内交流信息，这在很大程度上限制了网络的使用。TCP/IP技术的研究与发展，以及随之而来的Internet的飞速发展，让每一位网络研究者和使用者激动不已。尤其是近几年Internet的爆炸式膨胀，更充分地证明了TCP/IP的成功。应用领域的扩展和用户需求的增加反过来又推动了TCP/IP技术的发展。为充分理解TCP/IP的细节及其在Internet上提供的服务，本章将对TCP/IP的历史作一个简要的回顾，并着重介绍TCP/IP协议族中部分常用协议及各协议间的相互关系。

## 1.1 TCP/IP的历史

1969年，ARPA（Advanced Research Project Agency,即DARPA——Defense Advanced Research Project Agency——的前身）建立了著名的ARPANET，它是世界上最早的计算机网络之一。

现代计算机网络的许多概念和方法都来自于ARPANET。以其为代表的计算机网络主导了当时的分组交换思想。20世纪70年代中期，ARPA为了实现异种网之间的互联与互通，开始大力资助互联网技术的研究，尤其是在ARPANET上进行分组交换技术的研究。这最终导致了TCP/ICP的出现。

1980年，挂接在ARPANET上的计算机逐步开始向TCP/IP协议过渡，到1983年1月，美国国防部长办公室命令连入ARPANET的所有计算机都必须采用TCP/IP协议，这标志着ARPANET向TCP/IP的转换全部结束。从此ARPANET迅速发展成为Internet的主干网。

为了推广TCP/IP协议，鼓励研究人员采纳、使用并研究新的协议，DARPA以低价出售各种TCP/IP产品，并且资助加州大学伯克利(Berkeley)分校将TCP/IP协议融入BSD UNIX。1983年，伯克利推出了内置TCP/IP协议的第一个BSD版本，它提供了比基本TCP/IP协议更多的功能。首先，除提供标准的TCP/IP应用程序外，它还支持一组网络服务工具程序。这些工具的调用格式与UNIX命令调用格式相似。一个有经验的UNIX用户可以迅速学会使用BSD UNIX的远程拷贝工具（rcp），像在本机拷贝文件一样在远程机器间传送文件。另外，BSD UNIX还提供一套网络编程界面——套接字（socket），它允许程序员直接访问通信协议。套接字的出现使程序员可以很方便

地编写 TCP/IP 应用程序，极大地促进了研究人员对 TCP/IP 的研究与使用。

TCP/IP 在 BSD UNIX 上的成功实现，加速了研究人员对 Internet 的使用，同时也增强了其他团体对 TCP/IP 技术的信心，并吸引他们也投入到 TCP/IP 的研究与使用中来。美国国家科学基金会(NSF，National Scientific Foundation)从 1985 年开始涉足 TCP/IP 的研究与开发，在扩展互联网并使它为更多的科学家服务的过程中，扮演了一个重要角色。NSF 首先围绕其 6 个超级计算中心建立了基于 TCP/IP 的骨干网，并于 1986 年资助建立了连通 NSF 全部超级计算中心并与 ARPANET 相联的主干网 NSFNET。同年，NSF 开始资助地区网的建设，每个网络都在指定的区域连接到主要的科学研究机构上，由此使全美主要的科研机构联入了 NSFNET。NSF 资助的所有网络均采用 TCP/IP 协议，而且是 Internet 的一部分。目前 NSFNET 已代替 ARPANET，成为 Internet 新的主干。

目前，TCP/IP 以及 Internet 已经为广大计算机工作者、厂商和用户所接受，成为许多人工作环境的一部分，对 TCP/IP 技术的研究也在继续进行，本书的内容即是对 TCP/IP 的最新研究成果 IPv6 的介绍。

## 1.2 TCP/IP 协议族

运行于互联网上的协议被统称为 TCP/IP 协议族，它把互联网抽象为一个四层模型：网络界面层、互联网络层、传输层及应用层，不同的协议作用于网络的不同层次。表 1-1 展示了 TCP/IP 中主要协议及它们在四层模型和 OSI/RM 模型的对应关系。

**表 1-1 TCP/IP 中的主要协议**

<table>
<tr><td>ARPA层</td><td colspan="6"></td><td>OSI层</td></tr>
<tr><td rowspan="2">应用层</td><td>文件传输</td><td>电子邮件</td><td>虚拟终端</td><td>文件传输</td><td>客户/服务器</td><td>网络管理</td><td>应用层</td></tr>
<tr><td>文件传输协议(FTP)</td><td>简单邮件传输协议(SMTP)</td><td>TELNET协议</td><td>简单文件传输协议(TFTP)</td><td>网络文件系统协议(NFS)</td><td>简单网络管理协议(SNMP)</td><td>表示层<br>会话层</td></tr>
<tr><td>传输层</td><td colspan="3">传输控制协议(TCP)</td><td colspan="2">用户数据报协议(UDP)</td><td>传输层</td></tr>
<tr><td>互联网络层</td><td colspan="2">地址解析协议(ARP，RARP)</td><td colspan="2">网络互联协议(IP)</td><td>Internet控制报文协议(ICMP)</td><td>网络层</td></tr>
<tr><td rowspan="2">网络界面层</td><td colspan="5">网络接口卡(Ethernet, Token Ring ,ARCNET ,etc.)</td><td>链路层</td></tr>
<tr><td colspan="5">传输媒体（双绞线，光纤等）</td><td>物理层</td></tr>
</table>

地址解析协议（ARP，Address Resolution Protocol）。众所周知，TCP/IP 编址方案给每台主机分配了一个 32 位的 IP 地址，网络中的主机依靠 IP 地址相互通信。但

具体实现时，只有当主机知道对方的物理地址时，才能与之进行通信。因此必须有一种方法能将 IP 地址映射到物理地址上，ARP 就是这样一个协议。该协议以请求-应答的方式工作：当一台主机需要知道另一主机的物理地址时，它向网上广播含有后者 IP 地址的 ARP 请求报文，并等待相应的主机回送含有其物理地址的应答报文。ARP 并不是对每一个 IP 地址映射请求都到网上去查找，而是采取 cache 的方式，将已经转换过且有效的 IP 地址-物理地址对保存在一个缓冲区中，这极大的提高了地址转换效率。

逆向地址解析协议（RARP，Reverse Address Resolution Protocol）。TCP/IP 规定每台主机都必须有属于自己的 IP 地址。但对无盘工作站而言，由于它没有办法存储 IP 地址，若想与其他主机通信，它必须首先获得一个 IP 地址。RARP 就是这样一个协议。它以客户机/服务器的模式工作：无盘工作站启动时，它向网络广播 IP 地址请求报文，收到请求报文的一个或多个服务器将从自己负责维护的数据库中取出该工作站对应的 IP 地址，形成应答报文后发回给工作站。

互联网协议（IP，Internet Protocol）。IP 作为 TCP/IP 协议族的两大核心协议之一，其主要功能是为主机提供无连接的数据报服务。IP 数据报是网络层的基本传输单元，每一个数据报都包含源和目的主机的地址以及部分控制信息，IP 正是通过这些信息将每一个数据报准确无误地投递到目的主机。作为无连接协议，IP 不要求为数据报预先指定一条到达目的主机的路径，而是依靠路由器根据网络的当前状况动态决定数据报的传递路径。

Internet 控制报文协议（ICMP，Internet Control Message Protocol）。由于 IP 数据报在传输过程中，可能需要将发生的一些错误通知双方主机，主机之间也可能有一些控制信息需要交换。ICMP 就是这样一个利用控制报文来实现上述功能的协议。当数据报发生差错时，ICMP 向数据报的源网点发回差错报文，源网点将差错交给应用程序或采取其他措施来纠正问题。由于 ICMP 是 IP 的一部分，因此每一个 IP 的实现都必须支持它。

Internet 群组管理协议（IGMP，Internet Group Management Protocol）。为了实现本地网络上的 IP 组播，路由器和主机必须使用 IGMP 来交换群组成员信息。IGMP 的工作分为两个阶段：第一阶段，当主机加入一个新的群组时，它以组播地址为目的地址发送一个 IGMP 报文，本地路由器收到报文后，将通告互联网上的其他路由器。第二阶段：路由器将周期性地轮询本地主机，以确定现在的各个群组中有哪些主机。

路由信息协议（RIP，Routing Information Protocol）。RIP 是一种内部路由协议（IGP，Interior Gateway Protocol），其实现基于矢量距离路由算法。它依靠物理网络的广播功能来交换路由信息，并计算到达不同网络的最佳路径。RIP 用跳数衡量到达目的网络的距离，并选择跳数最小的路由为代价最小的数据报路由。每一个路由器都保持着一个路由表，表中包含有与路由有关的各种信息。在使用 RIP 的网络中，路由器每隔一段时间广播一次包含其完整路由表的报文。当一个路由器收到报文后，将利用该报文

对自己的路由表进行更新。

开放最短路径优先协议（OSPF，Open Shortest Path First）。当网络变大时，SPF 路由传播算法比矢量距离算法要好。因此 IETF 设计了第二代内部路由协议——OSPF。OSPF 允许路由器与其他路由器交换可达性信息和到达该网络的最小代价。由于支持 OSPF 的路由器仅在网络拓扑结构发生变化时，才向其相邻路由器发送路由更新报文，且报文中仅包含变化的部分，这大大减轻了网络的负担。

用户数据报协议（UDP，User Datagram Protocol）。UDP 使用 IP 在机器间传递报文，提供了一种不可靠、无连接的数据传输服务。它对收到的报文不进行确认，不排序，也不提供流控机制。UDP 利用协议端口号对目标主机上多个应用程序进行区分。它常被用于面向事务的应用，如简单网络管理协议（SNMP）、简单文件传输协议（TFTP）等。

传输控制协议（TCP，Transmission Control Protocol）。TCP 在 IP 协议的基础上，通过流控、确认、重传等机制实现了一种可靠的、面向连接的数据传输服务。常用的应用程序 FTP 就使用了 TCP 协议。通过“握手”的方式，TCP 提供了主机间建立、维持与终止连接的机制。同 UDP 一样，TCP 也是通过协议端口号来区分同一主机上的多个连接。

简单邮件传输协议（SMTP，Simple Mail Transfer Protocol）。为了方便、统一地在机器间交换邮件，TCP/IP 制订了计算机系统间交换邮件的标准协议 SMTP。利用 SMTP，互联网上的主机可以自由地交换电子邮件。

简单网络管理协议（SNMP，Simple Network Management Protocol）。SNMP 主要解决两个问题：1）管理请求的传递；2）管理数据的存储。它是 TCP/IP 中应用最广泛的网络管理协议，具有简单、高效的特点，它的主要缺点是安全性比较差。

域名系统（DNS，Domain Name System）。Internet 域名系统有两层含义：第一，它提供了一个分级命名方案，每台主机都被赋予一个具有层次结构的域名；第二，DNS 使用一组软件进行分布式查询，实现将域名映射到 IP 地址的功能。

文件传送与存取（FTP，TFTP，NFS）。TCP/IP 协议族中有多个文件传输协议，其中 FTP（File Transfer Protocol）是最主要的。它提供了本机与远地机器进行可靠的双向文件传送的能力。简单文件传输协议（TFTP，Trivial File Transfer Protocol）是 FTP 的替代方案，其实现基于 UDP，它的特点是比较简单，但不能保证文件传送的可靠性。网络文件系统（NFS，Network File System）由 Sun 公司设计，它提供共享式的联机文件存取。

## 1.3 TCP/IP 协议相关性

上一节我们对 TCP/IP 协议族中的主要协议作了简要回顾，实际上 TCP/IP 中的协议远远不止这些，随着时间的推进和技术的发展，TCP/IP 协议的内容和功能还在不断