

面向21世纪的IP网络技术经典著作

# 路由器原理与技术

Luyouqi Yuanli  
Yu Jishu

张宏科 张思东 苏 伟 编著

北 國 防 工 業 出 版 社

<http://www.ndip.cn>

# 路由器原理与技术

张宏科 张思东 苏伟 编著

国防工业出版社

·北京·

**图书在版编目(CIP)数据**

路由器原理与技术 / 张宏科等编著. —北京:国防工业出版社,2005.4

ISBN 7-118-03854-7

I. 路... II. 张... III. 计算机网络-路由选择  
IV. TN915.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 020679 号

**国防工业出版社** 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 710×960 1/16 印张 21<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 412 千字

2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:45.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

# 前 言

随着科学技术的发展,信息已成为推动社会向前发展的巨大动力。在 21 世纪,信息领域的竞争将是世界经济竞争的焦点,而信息领域的竞争将取决于信息技术的掌握和信息网络的建设及应用水平,特别是路由器技术作为 21 世纪网络的主要技术之一,将发挥出越来越重要的作用。掌握路由器技术不仅仅是能够使用 IP 网络,更主要的是还需要掌握 IP 网络的有关技术,了解新一代 IP 网络的发展趋势。

目前,尽管 IP 网络的建设与应用比较广泛,但多数仅局限于使用,至于 IP 网络究竟是怎样工作的,采用了哪些主要和关键技术,尤其是对于 IP 网络的核心部件路由器技术与协议的掌握方面,了解和精通者不多,广大读者急需这方面的书籍,以便系统、全面地掌握这些知识。

为了推动国内 IP 网络技术的发展,跟踪世界新一代网络先进技术,满足广大工程技术人员、科学研究人员的需要,我们在多年学习、研究与工作实践的基础上,在 2003 年 1 月出版了《路由器原理与技术》一书,该书自出版以来,受到了广大读者的好评和支持。为了更好地为读者服务,我们决定结合近两年来的科学研究和工作实践成果,并采纳很多读者提出的宝贵建议,重新编写这本书。这次编写对全书的体系结构做了重大调整,特别加强了路由器的硬件设计与实现、软件设计与实现、IPv6 网络设计与应用等方面,并介绍了一些最新的研究进展和趋势等。

本书主要包括:第 1 章主要使读者对 IP 网络有个基本了解,叙述了 IP 网络的基本概念、特点、组成和结构;第 2 章主要介绍路由器的工作原理,包括路由器原理、功能、组成等问题,从而使读者对路由器技术有个深入的了解;第 3 章介绍了路由器的硬件设计与实现,重点讲述基于网络处理器的路由器设计;第 4 章讲述路由器的软件设计与实现,重点叙述各种 IP 路由协议,这包括 RIP、OSPF、BGP 等,并介绍了路由器常用的操作系统 VxWorks;第 5 章主要介绍 IP 网络的设计与工程应用,使读者从中获得比较全面的系统知识,并能指导 IP 网络的研究工作与网络工程的设计等;第 6 章讲述了 IP 网络技术的发展趋势。

在本书的编写与再版过程中,得到了北京交通大学等单位的支持和帮助,以及“863”重大专项项目“高性能 IPv6 路由器协议栈研究与开发”、国家自然科学基金项目“基于 IPv6 动态服务质量理论与应用研究”等项目的资助,在此谨向他们表示

谢意。本书第1版得到北京交通大学简水生院士、谈振辉教授、宁滨教授、冯玉珉教授、罗四维教授、阮秋琦教授、韩臻教授、张有根副教授、刘颖老师、王江林老师、郜帅老师和总参第54研究所龚碧秀工程师以及博士、硕士研究生卢小青、姜圳、苏伟、彭雪海、胡九川、周春月、沈波、赵耀峰、李洪杰、刘晓璇、商超、宁科、张春青、宗瑞锐、郑祖周、潘冬辉、宋育芳和李玉盼等的大力帮助和支持。这次本书的重新编写由张宏科教授统筹规划,并修改了第6章,苏伟博士对第1章、第2章、第3章、第5章、郜帅老师对第4章分别做了具体地修改和增补工作,在此谨向他们致以衷心的感谢。

由于计算机网络和通信技术发展极为迅速,路由器技术仍在发展与完善之中,加之编写时间有限,书中难免有些不妥之处,敬请广大读者指正。

## 内 容 简 介

本书对路由器原理与技术作了全面的叙述,在介绍 IP 网络基本概念、特点、组成、结构及国内外发展动态与趋势等问题的基础上,主要叙述了路由器的工作原理、实现技术、路由协议及很有实用价值的 IP 网络设计与工程应用等。

全书取材新颖、内容丰富、实用性强,反映了国内外路由器技术的现状与未来,适合于从事通信、计算机技术开发与研究的广大工程技术人员阅读,也可供大专院校通信、计算机等专业的师生和相关培训班作为教材或教学参考书。

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第 1 章 IP 网络概述 .....          | 1  |
| 1.1 引言 .....                 | 1  |
| 1.2 IP 网络的基本概念 .....         | 1  |
| 1.3 IP 网络的组成与结构 .....        | 3  |
| 1.4 从 IPv4 到 IPv6 .....      | 6  |
| 1.4.1 IPv4 包格式与局限性 .....     | 6  |
| 1.4.2 IPv6 的包格式、地址及优势 .....  | 8  |
| 第 2 章 路由器工作原理 .....          | 16 |
| 2.1 引言 .....                 | 16 |
| 2.2 路由器的基本原理 .....           | 17 |
| 2.3 IP 包转发的物理过程 .....        | 20 |
| 2.4 路由选择策略 .....             | 24 |
| 2.4.1 静态路由选择策略 .....         | 25 |
| 2.4.2 距离矢量路由选择协议 .....       | 28 |
| 2.4.3 链路状态路由选择协议 .....       | 30 |
| 2.4.4 混合路由选择协议 .....         | 31 |
| 2.4.5 路由协议的选择 .....          | 32 |
| 2.5 基于 IPv6 实现的路由技术 .....    | 38 |
| 2.5.1 IPv6 路由术语介绍 .....      | 38 |
| 2.5.2 IPv6 的路由原理 .....       | 39 |
| 2.5.3 基于 IPv6 的 LAN 技术 ..... | 44 |
| 第 3 章 路由器硬件设计与实现 .....       | 46 |
| 3.1 引言 .....                 | 46 |
| 3.2 路由器基本组成与类型 .....         | 46 |
| 3.3 路由器硬件体系结构的发展过程 .....     | 48 |
| 3.4 网络处理器简介 .....            | 52 |
| 3.4.1 网络处理器的产生背景 .....       | 52 |
| 3.4.2 网络处理器的定义 .....         | 53 |

|              |                                |           |
|--------------|--------------------------------|-----------|
| 3.4.3        | 网络处理器的基本组成 .....               | 53        |
| 3.4.4        | 网络处理器的发展状况 .....               | 54        |
| 3.4.5        | Intel 网络处理器 .....              | 55        |
| 3.4.6        | Intel IXA 简介 .....             | 56        |
| 3.5          | IXP 2400 介绍 .....              | 60        |
| 3.5.1        | IXP 2400 硬件结构组成 .....          | 60        |
| 3.5.2        | IXP 2400 硬件结构特征 .....          | 63        |
| 3.5.3        | 基于 IXP 2XXX 的典型系统结构 .....      | 63        |
| 3.5.4        | 典型的数据包处理流程 .....               | 64        |
| 3.6          | 基于 IXP 2400 的 IPv6 路由器设计 ..... | 66        |
| 3.6.1        | 硬件结构设计 .....                   | 67        |
| 3.6.2        | 软件模块设计 .....                   | 67        |
| 3.6.3        | 系统性能分析 .....                   | 70        |
| <b>第 4 章</b> | <b>路由器软件设计与实现 .....</b>        | <b>71</b> |
| 4.1          | 引言 .....                       | 71        |
| 4.2          | 路由信息协议 .....                   | 72        |
| 4.2.1        | RIP 概述 .....                   | 72        |
| 4.2.2        | RIP 基本工作原理 .....               | 74        |
| 4.2.3        | RIP 路由表的建立过程 .....             | 83        |
| 4.2.4        | RIP 路由表的动态维护 .....             | 84        |
| 4.2.5        | RIP 定时器 .....                  | 91        |
| 4.2.6        | RIPv1 分组格式 .....               | 91        |
| 4.2.7        | 基于 UDP 数据包格式的 RIPv1 .....      | 94        |
| 4.2.8        | RIPv2 分组格式 .....               | 98        |
| 4.2.9        | 基于 UDP 数据包格式的 RIPv2 .....      | 106       |
| 4.2.10       | RIPng 分组格式 .....               | 107       |
| 4.2.11       | RIPng 与 RIPv2 的比较 .....        | 109       |
| 4.2.12       | RIP 的实现 .....                  | 110       |
| 4.3          | 开放最短路径优先协议 .....               | 116       |
| 4.3.1        | OSPF 概述 .....                  | 116       |
| 4.3.2        | OSPF 基本工作原理 .....              | 117       |
| 4.3.3        | OSPF 的特点 .....                 | 124       |
| 4.3.4        | OSPFv2 分组结构 .....              | 125       |
| 4.3.5        | OSPFv3 分组结构 .....              | 139       |
| 4.3.6        | OSPFv3 与 OSPFv2 的比较 .....      | 152       |



|              |                            |            |
|--------------|----------------------------|------------|
| 4.3.7        | 接口有限状态机 .....              | 153        |
| 4.3.8        | 邻居有限状态机 .....              | 156        |
| 4.3.9        | 邻居交换过程 .....               | 161        |
| 4.3.10       | OSPF 的实现 .....             | 161        |
| 4.3.11       | OSPF 路由度量的计算 .....         | 166        |
| 4.3.12       | OSPF 的最短路径树 .....          | 168        |
| 4.3.13       | OSPF 小结 .....              | 171        |
| 4.4          | 边界网关协议 .....               | 172        |
| 4.4.1        | BGP 概述 .....               | 172        |
| 4.4.2        | BGP 基本工作原理 .....           | 173        |
| 4.4.3        | BGP 分组格式 .....             | 174        |
| 4.4.4        | BGP 对等体协商有限状态机 .....       | 178        |
| 4.4.5        | BGP 路径属性 .....             | 180        |
| 4.4.6        | 建立 BGP 对等体对话 .....         | 185        |
| 4.4.7        | BGP 选路及决策过程 .....          | 187        |
| 4.4.8        | 自治系统联盟 .....               | 189        |
| 4.4.9        | 路由反射器 .....                | 190        |
| 4.4.10       | 路由振荡衰减器 .....              | 191        |
| 4.4.11       | 权能通告 .....                 | 195        |
| 4.4.12       | 面向多协议的 BGP4 + 扩展 .....     | 196        |
| 4.4.13       | BGP4 + 的实现 .....           | 198        |
| 4.5          | VxWorks 操作系统简介 .....       | 206        |
| 4.5.1        | VxWorks 概述 .....           | 207        |
| 4.5.2        | VxWorks 操作系统组成 .....       | 207        |
| 4.5.3        | VxWorks 操作系统特点 .....       | 208        |
| 4.5.4        | VxWorks 网络协议栈组成及实现原理 ..... | 209        |
| <b>第 5 章</b> | <b>IP 网络设计与应用 .....</b>    | <b>211</b> |
| 5.1          | 引言 .....                   | 211        |
| 5.2          | IP 网络的编址与路由 .....          | 211        |
| 5.2.1        | 有类别 IP 编址与路由 .....         | 211        |
| 5.2.2        | 可变长子网与路由 .....             | 217        |
| 5.3          | IP 网络工程举例 .....            | 221        |
| 5.3.1        | IP 网络工程编址设计 .....          | 221        |
| 5.3.2        | 设计 VLSM 举例 .....           | 223        |
| 5.4          | 典型应用及 IPv6 下的实现 .....      | 229        |

|              |                                   |            |
|--------------|-----------------------------------|------------|
| 5.4.1        | 概述 .....                          | 229        |
| 5.4.2        | 传输层协议简介 .....                     | 231        |
| 5.4.3        | 套接口编程简介 .....                     | 237        |
| 5.4.4        | FTP 分析及在 IPv6 下的实现 .....          | 250        |
| 5.4.5        | Telnet 分析及在 IPv6 下的实现 .....       | 256        |
| 5.5          | SNMP 分析及其在 IPv6 下的实现 .....        | 258        |
| 5.5.1        | 概述 .....                          | 258        |
| 5.5.2        | SNMP 协议基础及 SNMPv1、SNMPv2 简介 ..... | 259        |
| 5.5.3        | SNMPv3 的体系结构 .....                | 264        |
| 5.5.4        | SNMPv3 的消息格式 .....                | 266        |
| 5.5.5        | 基于 IPv6 的 SNMPv3 实现 .....         | 266        |
| 5.6          | IPSec 协议分析与实现 .....               | 269        |
| 5.6.1        | 概述 .....                          | 269        |
| 5.6.2        | IPSec 协议 .....                    | 271        |
| 5.6.3        | IPSec 的实现 .....                   | 274        |
| 5.6.4        | 结论 .....                          | 278        |
| 5.7          | 监听技术的分析与实现 .....                  | 279        |
| 5.7.1        | 概述 .....                          | 279        |
| 5.7.2        | 监听与过滤技术的基本原理 .....                | 280        |
| 5.7.3        | 监听与过滤技术的实现 .....                  | 281        |
| 5.7.4        | 网络监听与分析举例 .....                   | 284        |
| 5.8          | IPv6 网络典型应用 .....                 | 285        |
| 5.8.1        | IPv6 关键技术研究现状 .....               | 285        |
| 5.8.2        | IPv6 网络的典型应用案例 .....              | 287        |
| <b>第 6 章</b> | <b>IP 网络技术的发展趋势 .....</b>         | <b>290</b> |
| 6.1          | 引言 .....                          | 290        |
| 6.2          | 动态智能网络的研究重点 .....                 | 290        |
| 6.3          | 移动互联网络技术 .....                    | 292        |
| 6.3.1        | 移动 IP 概述 .....                    | 292        |
| 6.3.2        | 移动 IP 的工作原理 .....                 | 295        |
| 6.3.3        | 移动 IP 的研究进展 .....                 | 301        |
| 6.3.4        | 移动互联网络技术的研究热点和发展趋势 .....          | 302        |
| 6.4          | 安全 IP 技术 .....                    | 306        |
| 6.4.1        | 安全 IP 概述 .....                    | 306        |
| 6.4.2        | 面向 IPv6 的安全技术 .....               | 307        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 6.4.3 高速智能的网络安全实现方案 .....   | 309 |
| 6.5 服务质量路由技术 .....          | 311 |
| 6.5.1 服务质量路由概述 .....        | 311 |
| 6.5.2 服务质量路由技术 .....        | 312 |
| 6.5.3 流媒体技术展望 .....         | 317 |
| 6.5.4 服务质量路由技术发展趋势 .....    | 318 |
| 6.6 宽带 IP 网络技术发展趋势 .....    | 323 |
| 附录 A 常用互联网 RFC 协议标准汇编 ..... | 327 |
| 附录 B 常用缩略语汇编 .....          | 329 |
| 参考文献 .....                  | 335 |

# 第 1 章 IP 网络概述

## 1.1 引言

从 20 世纪 90 年代到现在,信息网络得到了迅速的发展,成为推动社会向前发展的巨大动力,发挥出越来越重要的作用。而在这个过程中,IP(Internet Protocol, 网际协议)网络技术显然功不可没。因此,IP 网络的各种关键技术一直是研究的重点和热点。

事实上,IP 网络关键技术包括很多方面,本书的侧重点是 IP 路由器的相关原理与技术,主要讲述路由器的工作原理、硬件设计、动态路由协议等内容,并介绍 IP 网络的设计与应用、技术发展趋势等。

在讲述上述这些内容之前,本章先简单介绍一些 IP 网络的基础知识,其中,1.2 节介绍 IP 网络的基本概念,1.3 节描述 IP 网络的组成与结构,1.4 节介绍 IPv4 到 IPv6 的发展趋势以及 IPv4 和 IPv6 的数据包格式、地址等内容。通过本章,读者可以对 IP 网络有一个基本的了解,为后续章节的学习打下基础。

## 1.2 IP 网络的基本概念

狭义地讲,IP 网络是计算机网络中的一种协议标准,1981 年的 RFC-791 对 IP (实际上是 IPv4,本节下面内容所出现的 IP 网络,是对 IPv4 和 IPv6 的统称)做了定义。一般来说,对于在网络层采用 IP 协议的网络,我们称之为 IP 网络,其网络层的数据包格式和传输策略等都要符合 IP 协议的规范。

IP 网络从本质上讲,是一种提供面向无连接服务的分组交换网络。下面分别介绍分组交换和面向无连接的概念。

分组交换(也称为包交换)是在 20 世纪 60 年代发展起来的,当时主要应用于军事环境下的通信基础设施。不同于电路交换,在采用分组交换的网络中,用于通信的计算机把它们的数据划分为若干个分组,也就是包,然后将这些分组通过分组交换网传输。分组交换技术有很多,如 X.25、帧中继(FR, Frame Relay)和 IP 等。

计算机在通信时为什么要采用分组交换呢?为什么不在计算机之间建立一条临时的“电话呼叫”呢?这种差别主要来源于电话网和计算机网通信特性的不同。在电话网中,用户在通话之前首先要发一个呼叫,一旦呼叫成功,通话双方之间就

建立了一条物理通路,这条通路直到通话结束才被释放,在整个通话过程中,它是一直被占用的。由于在电话网中很强调话音的质量,而且一次通话会持续较长的时间,其呼叫建立时间相对于通话的总时间来说是很短的,即呼叫建立的开销在整个通话中所占的比例不是很大,所以在电话网中采用电路交换还是比较合算的。计算机通信就不一样了,大多数计算机通信常常是短暂的,一般在秒的量级(在电话网中,一个呼叫建立的时间大约是 5s),而且经常是“突发性”的。计算机可能在很短的时间之内向多个对等体(层)发送一段较短的数据比特,强行在每秒内建立多个连接,以实现多个对等计算机之间的“会话”。很显然,如果在计算机通信中采用电路交换,那么通信的效率会大大降低。因此要采用分组交换的方式。

一般说来,分组交换有两种基本类型,即“面向连接”和“面向无连接”。

“面向连接”服务在网络层也被称为“虚电路”,它在每个虚呼叫的开头需要建立一条虚连接,以后的通信就在这条虚连接上进行。虚电路与传统的电路交换是有很大区别的,在电路交换中,一个呼叫在其存在期间一直占用一条端到端的物理信道;而虚电路建立在分组交换的基础之上,尽管我们感觉是占用了一条端到端的物理信道,但实际上只是断续地占用一段又一段的链路。在虚电路中,没有必要让每个包都携带目的地址,只要建立连接时的数据包携带目的地址就可以了,其他后续的包使用短的虚电路号。虚电路的优点是可靠性比较高,但效率很低。实际上,网络层采用虚电路服务不是一件很明智的事情。

“面向无连接”是分组交换的另一种主要形式,IP 网络和许多其他网络层协议都采用这种服务。在面向无连接的模式中,数据发送之前并不建立一条可靠的连接,而是让每个包都携带完整的目的地址,即只管将包发送到网络中,至于如何将包转发到它所指明的目的地,完全依赖于中间的每个分组交换设备。面向无连接的服务不提供可靠性,它只是尽最大能力交付,这样可以达到最大的效率,至于可靠性则由上层协议来负责。从目前互联网的发展趋势来看,在网络层提供面向无连接的服务是非常成功的,IP 网络得到广泛的应用就是一个很好的例证。

在分组交换网中,分组交换设备是一个很关键的部件,它负责数据包的转发工作。IP 网络也不例外。在 IP 网络的早期,分组交换设备通常称为“网关”,这可能是因为它们常常作为本地校园网和广域网之间“网络关口”的缘故。现在,这些设备在更多的情况下被称为“路由器”,如图 1.2.1 所示。路由器可以在其任何接口

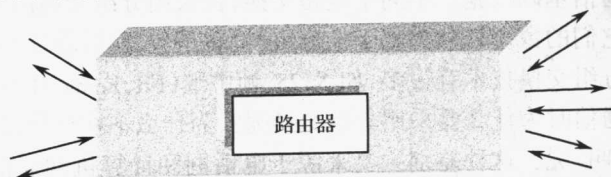


图 1.2.1 路由器的基本功能

上接收数据包,并通过不同的接口把数据包转发出去,将其发送到目的地。图中的双向箭头用以指示数据包既可以从该接口进入路由器,也可以从该接口离开路由器,路由器是 IP 网络的基本和核心部件。

在 IP 网络上流动的元素就是 IP 包。就 IP 包所携带的数据而言,可以是传统的计算机数据,也可以是在 IP 网络上使用的数字化音频和视频流。处理之后的话音和视频流其实也是数据,但是,与传统的数据传输(例如文件传输)不同,它们在传输上具有特殊的需求,因为话音和视频流对时间十分敏感,并且对延迟的容忍也十分有限。不过,话音和视频流可以丢失一些数据而不会产生听觉或者视觉上的失真,但数据业务却必须保证传输的正确性,也就是说需要花费时间来重传丢失或者损坏的数据包以保证整个传输完好无损。

本节主要介绍了 IP 网络的本质特征:分组交换和面向无连接;至于 IP 网络的组成和体系结构将在 1.3 节讲述,数据包格式在 1.4 节介绍,编址将在第 5 章结合 IP 网络设计介绍。

### 1.3 IP 网络的组成与结构

计算机网络中一个很基本的概念就是协议分层。一个完整的 IP 网络可以分为 4 层,图 1.3.1 中给出了分层 IP 协议栈和 7 层 OSI(Open System Interconnect,开放系统互联)参考模型的结构比较。在计算机网络的分层模型中,4 层的 IP 参考模型和 7 层的 OSI 参考模型是两种最重要的类型。在这两种模型中,每层的功能都由一个以上的实体来执行。一个层中的实体与紧接着它的下一层中的实体直接相互作用,并为上一层提供服务。

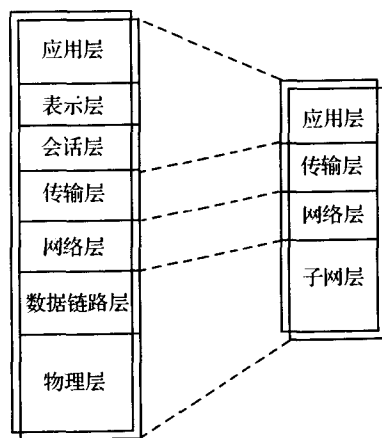


图 1.3.1 OSI 和 IP 模型比较

在图 1.3.1 所示的 IP 协议栈分层结构中,子网层一般又称网络接口层,它大致相当于 OSI 参考模型中的物理层和数据链路层,负责从网络层接收 IP 报文并向物理网络发送,或从网络上接收物理帧,取出 IP 数据报并提交给网络层。子网层包含的协议主要有 ARP(Address Resolution Protocol,地址解析协议)和 RARP(Reverse Address Resolution Protocol,地址反解析协议)。网络层负责处理分组在网络中的活动,例如分组的选路等。在 IP 网络中,一般常把网络层叫做 IP 层,该层的协议主要包括 IP、ICMP(Internet Control Messages Protocol,因特网控制报文协议)以及 IGMP(Internet Group Management Protocol,因特网组管理协议)等。传输层主要为两台主机上的应用程序提供端到端的通信。在 IP 网络中,有两个互不相同的传输协议:TCP(Transmission Control Protocol,传输控制协议)和 UDP(User Datagram Protocol,用户数据报协议)。应用层负责处理特定的应用程序细节,几乎各种不同的 TCP/IP 实现都会提供下面这些通用的应用程序:Telnet(远程登录),FTP(File Transfer Protocol,文件传输协议),SMTP(Simple Mail Transfer Protocol,简单邮件传送协议)和 SNMP(Simple Network Management Protocol,简单网络管理协议)等。各种常见协议和 IP 网络各层次的对应关系如图 1.3.2 所示。

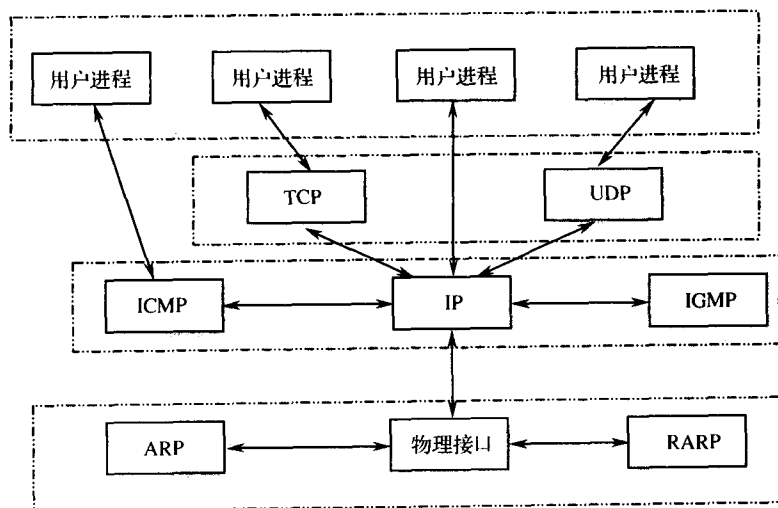


图 1.3.2 IP 网络四个层次及协议

在 IP 协议栈的各个协议中,最重要的有两个:TCP 和 IP,因此,人们经常用“TCP/IP”来表示 IP 网络的体系结构(因特网就使用这个体系结构)或者整个 TCP/IP 协议族。

在进行 IP 通信时,通常使用低层“子网”技术来完成相应的数据传输。在这些子网技术中,有些属于 LAN(Local Area Network,局域网)子网,例如,Ethernet(以太网)、Token Ring(令牌环)、FDDI(Fiber Distributed Data Interface,光纤分部式数字接

口)等;还有一些属于 WAN(Wide Area Network,广域网)子网,例如,静态和动态的点到点链路、X.25、帧中继、ATM(Asynchronous Transfer Mode,异步传输模式)、SMDs(Switched Multi-Megabit Data Service,交换型多兆位数据服务)等等。图 1.3.3 给出了可以运行 IP 的各种媒体介质使用路由器进行互联的示意图。这些子网中的每个子网都具有各自的内部地址格式和帧格式。有些子网技术既有头字段也有尾字段,而有些只用一个头来封装 IP。每种技术都运行在单一的速度或者速度集之上,换句话说,它们之间可以完全不同。

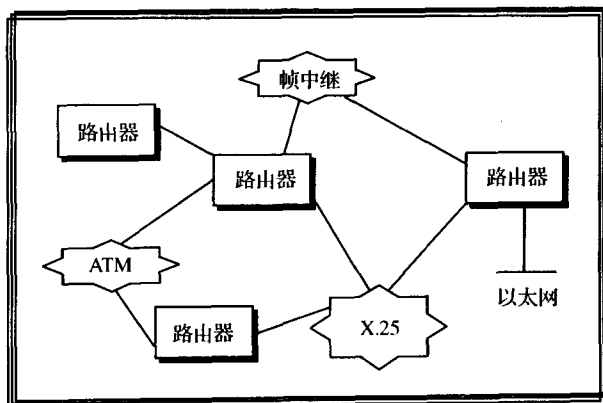


图 1.3.3 IP 运行于其他子网上的示意图

当一个路由器和另一个路由器或者端站进行通信时,需要以某种方式向其相邻节点发送数据包。一个包仅使用其 IP 地址是无法发送给其相邻接点的。IP 地址是高层地址,实际的操作是把 IP 包用特定的子网类型的帧格式封装起来,在该帧中包含有目标节点的地址,通常还包含有路由器的子网源地址。图 1.3.4 给出了 IP 协议栈中各层之间的关系以及封装的概念,这里可以用 TCP 代替 UDP,因为

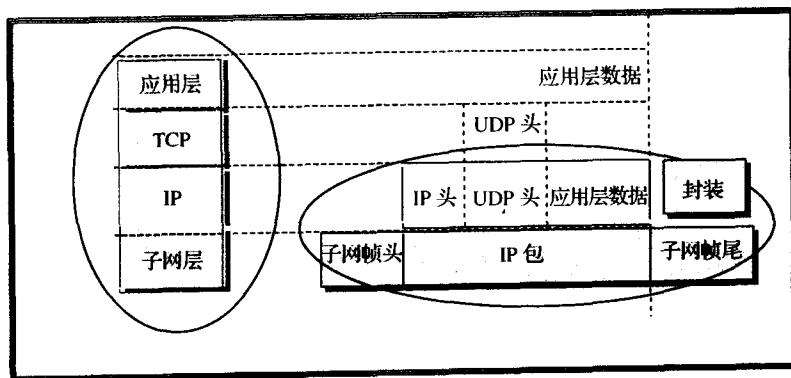


图 1.3.4 分层及封装



在分层的讨论中它们是相同的。

实际上,各种局域网和广域网都具有自己的编址方法,路由器在相互通信时必须使用相应子网的地址。因此,路由器除了需要知道其相邻节点的 IP 地址外,一般还需要知道其相邻节点的子网层地址。对于每种子网介质,IP 将使用不同的技术来获取其相邻节点的子网地址。在现实生活中,具有多层地址的系统随处可见,如现实生活中的地区、街道和门牌等都是多层地址的表现。

## 1.4 从 IPv4 到 IPv6

### 1.4.1 IPv4 包格式与局限性

IP 包是由 IP 头和高层传输数据“协议”组成,如图 1.4.1 所示。它使 IP 层具有一项很重要的功能,就是“子网无关性”,正是这项功能使得 IP 网络可以运行在几乎所有类型的子网之上。

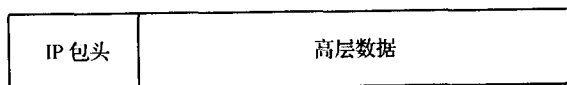


图 1.4.1 IP 包格式

IP 网络向传输层屏蔽它所支持的众多子网和所有不同底层的特征。就像多个网络层协议可以共享同一个子网层一样,也可有多个传输层协议共享 IP 层,如图 1.4.2 所示。注意:图 1.4.2 中的 ICMP 不属于传输层协议,它属于网络层,是 IP 层协议的附属协议,但其报文和 UDP、TCP 类似,是封装在 IP 分组中的。

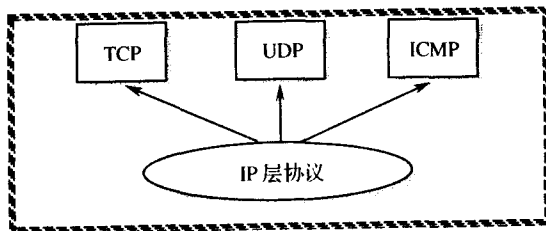


图 1.4.2 多个传输层协议共享 IP 层

目前使用的 IP 层协议是 IPv4,图 1.4.3 中给出了 IPv4 包头的格式。图中的数字是比特位,包头的宽度为 32 比特。下面分别介绍各个字段的含义。

(1) 版本:表示本 IP 报文的版本号,占 4 比特,对 IPv4 报文来说,该字段的值为 4。

(2) 包头长度:表示整个 IP 包头的长度,以 4 字节为 1 个单位。该字段占 4 比