



高等学校“十一五”精品规划教材

现代计算机网络技术

李文正 编著

XIANDAI JISUANJI WANGLUO JISHU



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

TP393/530

2007

高等学校“十一五”精品规划教材

现代计算机网络技术

李文正 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书从研究计算机网络问题的基本方法出发,对计算机网络的基本概念、网络体系结构、通信的基本原理、局域网与交换技术、TCP/IP 及其互联技术以及 Internet 应用与网络管理以及安全作了系统全面的介绍,将深奥繁杂的现代计算机网络技术以清晰并易于接受的方式表达给读者。本书在系统讨论现代计算机网络基本原理的同时,又注重反映现代计算机网络的最新发展。

本书层次分明,概念清晰,内容丰富,注重理论与实践相结合,适合学生循序渐进地学习。本书可以作为信息类专业本科生教材,也可供从事计算机网络和信息技术的工程技术人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代计算机网络技术/李文正编著. —北京:中国水利水电出版社, 2007

高等学校“十一五”精品规划教材

ISBN 978 - 7 - 5084 - 4798 - 8

I. 现… II. 李… III. 计算机网络—高等学校—教材
IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 099838 号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 现代计算机网络技术
作 者	李文正 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 14.75 印张 350 千字
版 次	2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	29.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

计算机网络是计算机技术与通信技术高度发展、紧密结合的产物，因此，计算机网络技术涉及到计算和通信两个领域，计算机网络离不开通信技术与通信网络；而通信网络是以实现计算机网络及其资源共享为目标。计算机网络与通信网络在学术上，或者说在计算机网络发展不同阶段具有不同含义，不同的含义反映当时计算机网络与通信技术发展的水平，以及人们对计算机网络和通信技术的认识程度。怎样全面表达和处理计算机网络问题的基本方法，清晰表达网络最基本的工作原理和网络体系结构以及研究网络的基本方法，以面对不断变化的新技术是作者编写这本书的主要目的。

作者根据多年现代计算机网络技术与通信技术的研究，结合多年从事本科生、研究生计算机网络课程的教学实践，从解决复杂网络基本问题出发，从计算机技术和通信技术两个视角，站在现代计算机网络技术发展的高度编写了本书。希望为广大读者提供一本既保持计算机网络技术的系统性和逻辑性，又能反映当前计算机网络技术发展的最新成果，力求层次清晰、概念准确、内容丰富、图文并茂，使读者体验到计算机网络的系统性和整体性的高度结合。

全书共分8章。第1章在介绍计算机网络基本概念和网络发展过程的基础上，对计算机网络定义、组成、分类以及网络体系结构等问题进行了系统讨论，并对下一代网络的基本概念与发展趋势进行探讨。第2章介绍与计算机网络相关的一些数据通信理论和基础知识，以帮助读者理解信号、带宽、传输率等概念。然后讨论计算机网络物理层的基本概念并介绍了物理层标准。第3章在介绍数据链路层的基本概念后将主要讨论两个具有流量控制功能的协议：ARQ协议和连续ARQ协议，其中包括滑动窗口的概念和几种差错控制的方法以及Internet中的数据链路层协议PPP。第4章介绍了局域网的基本概念和体系结构，然后重点对以太网技术，尤其是以太网、交换式以太网的工作原理进行介绍，然后还从工程应用的角度介绍了局域网的扩展方法，并对快速以太网、高速以太网和无线局域网技术进行了简要的探讨。第5章介绍广域网的基本概念及其组成，然后讨论广域网提供的数据报和虚电路服务，以及

X.25、ATM 和 SDH 等广域网技术，重点探讨了 IP 协议以及编址方法、分组转发方式和路由选择协议，互联网控制报文协议 ICMP、拥塞控制和服务质量等内容。第 6 章将从传输层控制的基本原理出发，讨论了传输层的基本功能，传输层向应用层提供的服务、实现应用服务的传输层协议 TCP 和 UDP 以及 TCP 流量与拥塞及其管理。第 7 章讨论了域名系统，电子邮件、文件传输、远程登录等应用协议以及万维网的工作原理及其 HTTP 协议。第 8 章系统地分析了网络安全的基本概念、网络安全技术以及网络管理技术，分析了计算机网络安全技术和防护手段以及计算机网络的的基本概念、协议和方法。

全书由李文正教授主编，周亦鹏，王世民编写，在编写过程中得到了武汉大学石岗教授、华中科技大学瞿坦教授的多方帮助并提出了宝贵意见，使作者受益匪浅。在此谨表衷心感谢！限于作者的学术水平，书中难免有错误和不妥之处，诚恳地希望同行和读者批评指正。

编 者

2007 年 2 月于北京

目 录

前言

第一章 计算机网络概论	1
1.1 计算机网络的发展、定义以及组成	1
1.2 网络协议与体系结构	4
1.3 计算机网络分类	10
1.4 计算机网络发展及其关键技术	13
1.5 网络标准化组织	24
小结	26
习题	27
第二章 数据通信和物理层	28
2.1 数据通信理论基础	28
2.2 物理层的基本概念	38
2.3 物理层标准实例——EIA - 232 - E 接口标准	40
2.4 物理层下面的传输媒体	42
小结	45
习题	45
第三章 数据链路层	46
3.1 数据链路层的基本概念及功能	46
3.2 简单流量控制的数据链路层协议	49
3.3 连续 ARQ 协议	51
3.4 Internet 中数据链路层控制协议	55
小结	61
习题	61
第四章 局域网技术	62
4.1 局域网概述	62
4.2 局域网的参考模型与协议标准	64
4.3 以太网技术	66
4.4 以太网交换技术	73
4.5 局域网扩展	77

4.6 快速以太网技术	82
4.7 1Gbit/s 高速以太网技术	83
4.8 无线局域网技术	85
小结	89
习题	89
第五章 广域网与网络互联技术	90
5.1 广域网和广域网技术	90
5.2 广域网路由问题	96
5.3 IP 协议	104
5.4 IP 路由选择协议	117
5.5 互联网控制报文协议 ICMP	123
5.6 拥塞控制	126
5.7 服务质量	130
5.8 IPv6 协议	131
小结	140
习题	141
第六章 传输层协议	143
6.1 传输层控制的基本原理	143
6.2 服务质量 QoS (Quality of Senice)	146
6.3 传输层的端口	147
6.4 用户数据报协议 UDP (User Datagram Protocol)	148
6.5 传输控制层协议 TCP	150
6.6 TCP 流量与拥塞及其管理	154
小结	159
习题	159
第七章 互联网应用协议	161
7.1 域名系统	161
7.2 电子邮件系统	169
7.3 文件传输与文件访问系统	175
7.4 远程登录	178
7.5 WWW 服务的基本原理	179
7.6 网络管理协议	188
7.7 应用层协议的分析方法	192
小结	195
习题	195
第八章 网络安全与网络管理	196
8.1 网络安全概述	196

8.2 网络安全技术	198
8.3 网络管理	209
小结	224
习题	225
参考文献	226

第一章 计算机网络概论

计算机网络是计算机技术与通信技术高度发展、紧密结合的产物，计算机网络对社会生活的方方面面以及社会经济的发展产生了不可逆转的影响。本章在介绍计算机网络基本概念和网络发展过程的基础上，对计算机网络的定义、组成、分类以及网络体系结构等问题进行了系统讨论，并对下一代网络的基本概念与发展趋势进行探讨，以帮助读者对计算机网络技术以及应用有一个全面和清晰的认识。

本章学习要求：

- ◆ 了解：计算机网络的形成与发展过程。
- ◆ 掌握：计算机网络的定义与分类方法。
- ◆ 掌握：计算机网络的组成与结构的基本概念。
- ◆ 掌握：计算机网络的体系结构与参考模型的基本概念。
- ◆ 了解：计算机网络的发展趋势与下一代网络的基本概念。

1.1 计算机网络的发展、定义以及组成

1.1.1 计算机网络的发展过程

计算机网络技术涉及到计算和通信两个领域，计算机网络正是计算机强大的计算能力和通信系统的远距离传输能力相结合的产物。从 20 世纪 70 年代以主机为中心的主机——终端模式，到 80 年代客户机/服务器、基于多种协议的局域网方式，再到现在以 Internet TCP/IP 协议为基础的网络计算模式，短短的 30 多年间，计算机网络技术得到了迅猛的发展，全世界的计算机都连接在一起，任何人，从任何地方，在任何时间都可以以任何方式共享全人类所共有的资源。计算机网络技术已经成为最令人激动的、革命性的、改造世界的力量，人类正在经历一次全新的技术革命，进入一种全新的计算模式——网络计算模式。

20 世纪 60 年代末建立的 ARPAnet 提出了一种新的网络交换方式——分组交换，改变了以往电话系统使用的电路交换方式，成为现代计算机网络的技术基础。传统的电路交换方式对于不同类型、不同速率的计算机终端很难实现互相通信，而且线路使用率低，开销大。分组交换网络的出现标志着现代计算机网络的诞生。此后，ARPAnet 获得了迅猛的发展，并成为日后 Internet 的基础。

进入 20 世纪 90 年代以后，以 Internet 为代表的计算机网络得到了飞速的发展，借助无处不在的无线网络和有线网络，人们之间的沟通变得更方便、更快捷。人们可以在网上

交友、冲浪、游览、购物、休闲娱乐，可以享受即时通信，接受远程教育，发行电子刊物，而电子银行、电子商务、网上图书馆的便利更是不言而喻。可以说，当今世界已经进入 Internet 时代，Internet 正在改变着我们工作和生活的各个方面，给很多国家带来了巨大的益处，并加速了全球信息革命的进程。

从计算机网络形成与发展的历史来看，计算机网络是计算机技术与通信技术高度发展、紧密结合的产物，是伴随着人类社会对信息传递和共享的日益增强的需求而不断发展起来的。

计算机网络的形成和发展历史可总结为 4 个阶段。

第 1 阶段开始于 20 世纪 50 年代。数据通信技术与计算机通信网络的研究，为计算机网络的诞生形成了技术准备，并奠定了理论基础。

第 2 阶段开始于 20 世纪 60 年代美国的 ARPAnet 与分组交换技术的研究。ARPAnet 是计算机网络技术发展中的一个里程碑，它的研究成果对促进计算机网络技术和理论体系的研究产生了重要作用，并为 Internet 的形成奠定了基础。

第 3 阶段开始于 20 世纪 70 年代中期。网络体系结构和网络协议的研究对网络体系结构的形成和网络技术的发展起到了关键性的作用。

第 4 阶段开始于 20 世纪 90 年代。Internet 的广泛应用和各种热点技术的研究与不断发展，使计算机网络发展到了一个新的阶段。

1.1.2 计算机网络的定义

计算机网络是计算机技术和通信技术结合的产物，这种结合对计算机系统的组织方式产生了深远的影响。为了实现数据交换和资源共享，就得将计算机互连起来，这样原来“计算机中心”的形式（即由一台计算机来处理整个组织中所有计算需求的模型）就被新的计算机互连模型所取代。这种互连模型就是计算机网络，计算机网络的发展历程实际是计算机、通信和网络逐步结合的过程。计算机网络与计算机通信网络在学术上，或者说在计算机网络发展的不同阶段具有不同含义。由于计算机网络的复杂性并且处在不断的发展变化当中，很难用一个精确并统一的定义来描述，不同的定义反映当时计算机网络技术发展的水平，以及人们对网络的认识程度。其中，资源共享的定义比较客观地描述了计算机网络的基本特征即业界普遍认为，计算机网络是利用通信设备和线路将地理位置不同的、功能独立的多个计算机系统互连起来，实现网络中资源共享和信息传递的自治系统。也就是说，计算机网络是能够相互共享资源的方式互相连接的自治计算机系统的集合。它由资源子网和通信子网组成，如图 1-1 所示。

1.1.3 计算机网络的功能

计算机网络的功能很多，其中最主要的三个方面分别是：数据通信、资源共享和分布式处理。

数据通信是计算机网络最基本的功能。它用来快速传送主机与终端、主机与主机之间的各种信息，包括文字信息、图像视频资料、语音等。利用这一功能，可以实现将分散在不同地理位置的计算机用网络联系起来，进行统一的调配、控制和管理。

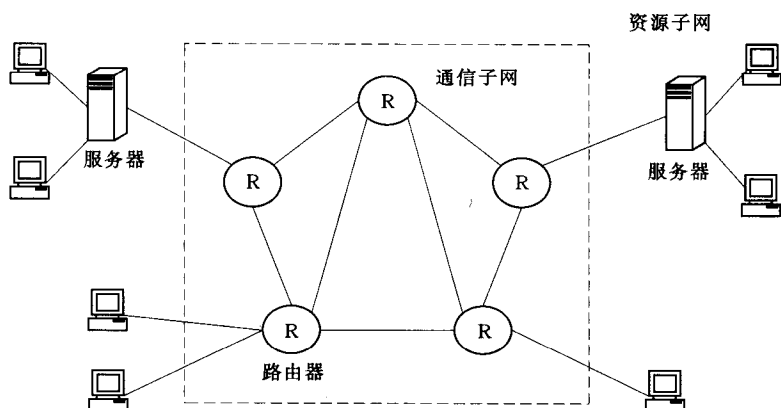


图 1-1 计算机网络组成

计算机网络中的资源包括硬件资源、软件资源、数据资源和通信信道资源。资源共享可以使网络中的用户都能够部分或全部地享有这些资源。通过资源共享，所有用户可以共用某些资源，既提高了资源的利用率，大大降低了系统的成本，又极大地推动了信息化和全球化的发展。

随着计算机应用的不断深化，一些大型综合性问题，如航空航天、地球大气等复杂问题也对计算机的计算处理能力提出了更高的要求。对于解决这样的复杂问题来讲，多台联网的计算机构成高性能的计算机体系，通过协同工作、并行处理，既提高了整体的计算能力，又比单独购置一台高性能的大型计算机要便宜得多。同时，利用分布式处理，也可以将大量的处理请求均衡地分担给网络上的多台计算机来完成，这样也可以大大提高处理的实时性。因此，建立在计算机网络基础之上的分布式处理技术也已经成为计算机网络的一个重要功能。

在具体应用方面，计算机网络已经渗透到了人类社会生活的方方面面，包括：

- 信息共享与办公自动化；
- 电子邮件；
- 电子公告与广告；
- IP 电话；
- 在线新闻；
- 在线游戏；
- 网上交友与实时聊天；
- 电子商务及商业应用；
- 虚拟时空；
- 文件传输；
- 网上教学与远程教育；
- 超并行计算机系统；
- 网格计算机系统。

1.2 网络协议与体系结构

1.2.1 协议及体系结构的概念

计算机网络是一个非常复杂的系统，比如连接在网络上的两台计算机之间要进行文件的传输，除了我们在引言当中已经提到的数据传输和编码、差错控制和流量控制、路由选择等操作之外，还有许多工作需要去完成，例如：

- 发起通信的计算机必须将数据通信的通路激活。所谓“激活”就是要发出一些信号，保证要传输的数据能够在这条通路上正确地发送和接收。
- 必须告诉网络如何识别接收数据的计算机。
- 发起通信的计算机必须确定对方的计算机是否已经准备好接收数据，是否已经做好文件接收和存储的准备工作。
- 若双方计算机的文件格式不兼容，则还需要完成格式的转换功能。

此外，还可以列举出很多其他必要的操作。由此可见，相互通信的计算机系统需要高度协调地工作，而这种“协调”也是相当复杂的，为了设计如此复杂的系统，人们提出了分层的设计方法。“分层”是人类解决复杂问题的一种有效手段，它可以将庞大而复杂的问题转化为若干较小的、易于研究和处理的局部问题。这种层次的划分和各层协议的集合就构成了计算机网络的体系结构。体系结构也就是计算机网络及其部件所应完成的功能的精确定义。体系结构是抽象的，这些功能究竟采用何种硬件或软件，用何种方法去完成，则是实现的问题。

网络体系结构的概念中包含着两层含义，一个是“协议”，另一个则是“分层”。

首先来看协议是什么。通过通信信道和设备互连起来的多个不同地理位置的计算机系统，要使其能协同工作实现信息交换和资源共享，它们之间必须具有共同的语言。交流什么、怎样交流及何时交流，都必须遵循某种互相都能接受的规则。这些为进行网络中的数据交换而建立的规则，标准或约定即称为网络协议。网络协议主要有以下三个要素组成：

- (1) 语法，即数据与控制信息的结构或格式。
- (2) 语义，即需要发出何种控制信息，完成何种动作以及做出何种应答。
- (3) 同步，即事件实现顺序的详细说明。

下面是一个简单邮件传输协议 SMTP 的示例，有关 SMTP 的具体内容将在应用层协议一章有详细介绍。这里描述的是电子邮件客户端（C）和邮件服务器（S）之间为传输电子邮件而进行的一系列数据交换。通过这个例子可以帮助理解协议及其三要素的概念。

```
C: HELO btbu.edu.cn
S: 250 OK
C: MAIL FROM: <zhouyp@btbu.edu.cn>
S: 250 zhouyp@btbu.edu.cn ... Sender ok
C: RCPT TO: <ypzhou@ustb.edu.cn>
S: 250 ypzhou@ustb.edu.cn ... Recipient ok
```

C: DATA

S: 354 Enter mail, end with " . "

C: This is a test.

C: It illustrates the process of SMTP

C: .

S: 250 Message accepted for delivery

C: QUIT

S: 221 ustb. edu. cn closing connection

SMTP 协议规定客户机和服务器之间通过交换一系列的命令来完成电子邮件的传送。这些命令和响应信息需要遵循一定的格式。每条命令由 4 个字母组成，其后可以有参数，如“HELO ...”、“MAIL...”等；响应信息的格式为“3 位数字的响应码 + 响应信息”，如“250 OK”等。这些都属于协议语法所规定的内容。

SMTP 协议规定了 14 条命令和 21 种响应信息，每条命令和响应代码都代表不同的意义，如“MAIL”命令说明发信人的地址，“RCPT”命令说明收信人的地址，“DATA”命令说明其后将发送邮件的正文。这些都属于协议语义所规定的内容。

1.2.2 分层的网络体系结构及其划分原则

计算机网络系统是一个十分复杂的系统。将一个复杂系统分解为若干个容易处理的子系统，然后“分而治之”，这种结构化设计方法是工程设计中常见的手段。分层就是系统分解的最好方法之一。

层次结构一般以垂直分层模型来表示，在图 1-2 所示的一般分层结构中，将整个网络的功能划分为若干个层次，每个层次完成特定的局部功能。每个层次若要完成其功能，必须利用和它相邻的下一层所提供的服务，同时它也向相邻的上一层提供服务。如图所示，第 n 层既是第 $n-1$ 层的用户，又是第 $n+1$ 层的服务提供者。 $n+1$ 层虽然只直接使用了第 n 层提供的服务，实际上它通过第 n 层还间接地使用了 $n-1$ 层以及以下所有各层的服务。

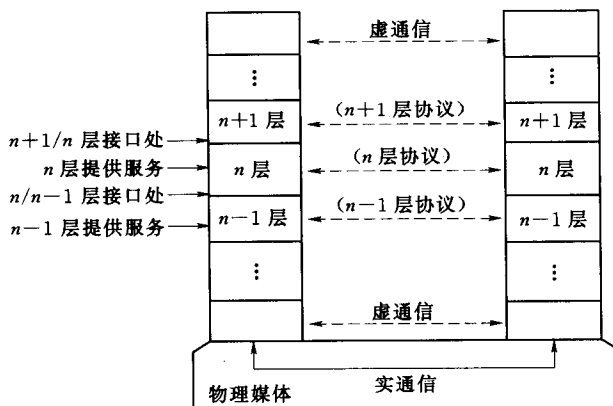


图 1-2 分层的网络体系结构

层次结构的好处在于使每一层实现一种相对独立的功能。分层结构还有利于交流、理解和标准化。这种分层的网络体系结构的特点是：

- 以功能作为划分层次的基础。
- 第 n 层的实体在实现自身定义的功能时，只能使用第 $n-1$ 层提供的服务。
- 第 n 层在向第 $n+1$ 层提供的服务时，此服务不仅包含第 n 层本身的功能，还包含由下层服务提供的功能。
- 仅在相邻层间有接口，且所提供服务的实现细节对上一层完全屏蔽。

此外，在理解层次结构概念的时候，还需要注意以下几点：

- 除了在物理媒体上进行的是实际通信之外，其余各层的对等实体间进行的都是虚通信。
- 对等层的虚通信必须遵循该层的协议。
- 第 n 层的虚通信是通过 $n/n-1$ 层间接口处 $n-1$ 层提供的服务以及 $n-1$ 层的通信（通常也是虚通信）来实现的。

在层次结构模型中，了解数据的实际传送过程和虚通信的概念是十分有必要的。那么网络中的数据到底是如何流动的呢？如图 1-3 所示，发送进程发送给接收进程的数据，实际上是经过发送方各层从上到下传递到物理媒体，然后通过物理媒体传输到接收方后，再经过从下到上各层的传递，最后到达接收进程的。在发送方从上到下逐层传递的过程中，每层都要加上适当的控制信息，即图中的 H_4 、 H_3 、 H_2 、 H_1 ，统称为报头。到最后层成为由“0”或“1”组成的数据比特流，然后再转换为电信号在物理媒体上传输至接收方。接收方在接收数据后向上传递时过程正好相反，每层在接收到数据后要根据该层所对应报头中的内容对数据进行一定的处理，然后剥去该层的报头，将其余的部分交给它上面层次的实体进行相应的处理。

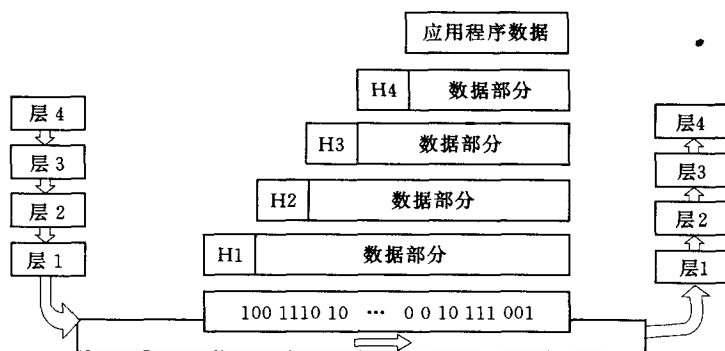


图 1-3 数据的封装

由于接收方不会收到底下各层的控制信息，也不关心高层的控制信息，所以每一层的实体只处理发送方相应层次实体所添加的报头信息，并进行相应的协议操作。发送方和接收方的对等实体看到的信息是相同的，因此就好像是同一层的实体间在进行通信，即所谓的虚通道。

在设计计算机网络体系结构的时候，如何进行层次的划分是非常重要的，通常需要遵

循以下几项原则：

- 每层的功能应是明确的，并且是相互独立的。当某一层的具体实现方法更新时，只要保持上、下层的接口不变，便不会对邻居产生影响。
- 层间接口必须清晰，跨越接口的信息量应尽可能少。
- 层数应适中。若层数太少，则造成每一层的协议太复杂；若层数太多，则体系结构过于复杂，使描述和实现各层功能变得困难。

1.2.3 OSI 参考模型

开放系统互联（Open System Interconnection）参考模型是由国际标准化组织（ISO）制定的标准化开放式计算机网络层次结构模型，又称 ISO/OSI 参考模型。“开放”这个词表示能使任何两个遵守参考模型和有关标准的系统进行互联。

OSI 包括了体系结构、服务定义和协议规范三级抽象。OSI 的体系结构定义了一个七层模型，用以进行进程间的通信，并作为一个框架来协调各层标准的制定；OSI 的服务定义描述了各层所提供的服务，以及层与层之间的抽象接口和交互用的服务原语；OSI 各层的协议规范，精确地定义了应当发送何种控制信息及何种过程来解释该控制信息。

需要强调的是，OSI 参考模型并非具体实现的描述，它只是一个为制定标准机而提供的概念性框架。在 OSI 中，只有各种协议是可以实现的，网络中的设备只有与 OSI 和有关协议相一致时才能互联。

如图 1-4 所示，OSI 七层模型从下到上分别为物理层（Physical Layer, PH）、数据链路层（Data Link Layer, DL）、网络层（Network Layer, N）、传输层（Transport Layer, T）、会话层（Session Layer, S）、表示层（Presentation Layer, P）和应用层（Application Layer, A）。

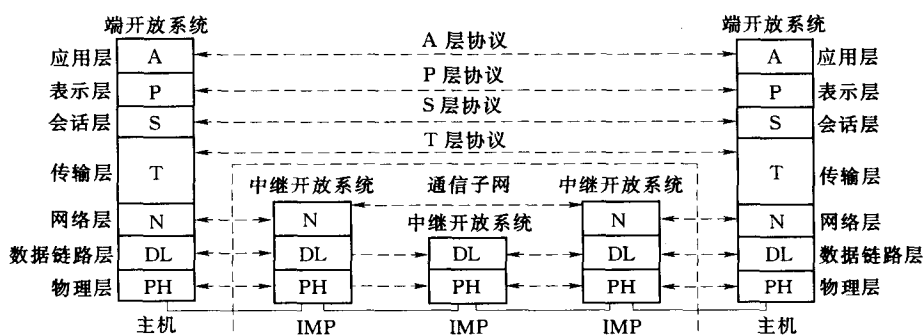


图 1-4 OSI 参考模型

从图中可见，整个开放系统环境由作为信源和信宿的端系统及若干中继系统通过物理媒体连接构成。这里的端系统和中继系统相当于资源子网中的主机和通信子网中的节点机（IMP）。只有在主机中才可能需要包含所有七层的功能，而在通信子网中的 IMP 一般只需要低三层甚至只要低两层的功能就可以了。

各层功能简要介绍：

(1) 物理层：定义了为建立、维护和拆除物理链路所需的机械的、电气的、功能的和规程的特性，其作用是使原始的数据比特流能在物理媒体上传输。具体涉及接插件的规格、“0、1”信号的电平表示、收发双方的协调等内容。

(2) 数据链路层：比特流被组织成数据链路协议数据单元（通常称为帧），并以其为单位进行传输，帧中包含地址、控制、数据及校验码等信息。数据链路层的主要作用是通过校验、确认和反馈重发等手段，将不可靠的物理链路改造成对网络层来说无差错的数据链路。数据链路层还要协调收发双方的数据传输速率，即进行流量控制，以防止接收方因来不及处理发送方传来的高速数据而导致缓冲器溢出及线路阻塞。

(3) 网络层：数据以网络协议数据单元（分组）为单位进行传输。网络层关心的是通信子网的运行控制，主要解决如何使数据分组跨越通信子网从源头传送到目的地的问题，这就需要在通信子网中进行路由选择。另外，为避免通信子网中出现过多的分组而造成网络阻塞，需要对流入的分组数量进行控制。当分组要跨越多个通信子网才能到达目的地时，还要解决网际互联的问题。

(4) 传输层：是第一个端一端，即主机—主机的层次。传输层提供的端到端的透明数据运输服务，使高层用户不必关心通信子网的存在，由此用统一的运输原语书写的高层软件便可运行于任何通信子网上。传输层还要处理端到端的差错控制和流量控制问题。

(5) 会话层：是进程—进程的层次，其主要功能是组织和同步不同的主机上各种进程间的通信（也称为对话）。会话层负责在两个会话层实体之间进行对话连接的建立和拆除。在半双工情况下，会话层提供一种数据权标来控制某一方何时有权发送数据。会话层还提供在数据流中插入同步点的机制，使得数据传输因网络故障而中断后，可以不必从头开始而仅重传最近一个同步点以后的数据。

(6) 表示层：为上层用户提供共同的数据或信息的语法表示变换。为了让采用不同编码方法的计算机在通信中能相互理解数据的内容，可以采用抽象的标准方法来定义数据结构，并采用标准的编码表示形式。表示层管理这些抽象的数据结构，并将计算机内部的表示形式转换成网络通信中采用的标准表示形式。数据压缩和加密也是表示层可提供的表示变换功能。

(7) 应用层：是开放系统互联环境的最高层，不同的应用层为特定类型的网络应用提供访问 OSI 环境的手段。网络环境下不同主机间的文件传送访问和管理、电子邮件的传输和处理、使不同类型的终端和主机通过网络交互访问的虚拟终端（VT）协议等都属于应用层的范畴。

1.2.4 TCP/IP 参考模型

TCP/IP 协议的体系结构从低层到高层分为网络接口层（包含物理层和网络层）、IP 层、传输层和应用层，如图 1-5 所示。下面对各层的功能做简单介绍。

1. 网络接口层

网络接口层是 TCP/IP 协议体系结构的最低层，负责与物理网络的连接。网络接口层包括各种设备驱动程序，也可以是通信子网。支持现有的网络接入标准，如广域网

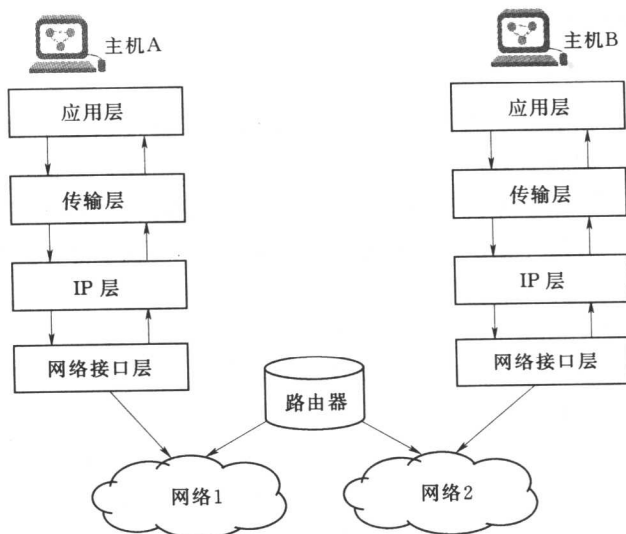


图 1-5 TCP/IP 层次结构

的 X.25 分组交换网、DDN、帧中继、ATM 等，局域网（LAN）和城域网（MAN）等。

2. IP 层

IP 层，又称互联层（Inter-connection Layer），负责异构网和同构网的计算机进程之间的通信。它将传输层的分组封装成 IP 分组格式进行传送，每个 IP 分组包含目的地址、源地址。在因特网中，路由器是网间互联的关键设备，路由选择算法是 IP 层主要研究对象。

这层的协议包括：网际协议 IP（Internet Protocol）、网际控制报文协议 ICMP（Internet Control Message Protocol）、地址解析协议 ARP（Address Resolution Protocol）和反向地址解析协议 RARP（Reverse Address Resolution Protocol）等。

3. 传输层

传输层提供端与端应用进程之间通信，通常称为端到端（End-to-End）通信。该层的通信协议主要有传输控制协议 TCP（Transport Control Protocol）、用户数据报协议 UDP（User Datagram Protocol）。

4. 应用层

应用层相对于 OSI 结构中的上三层（应用层、表示层和会话层），用户通过应用进程接口 API（Application Process Interface）调用应用程序来运行因特网提供的各种服务。应用程序负责收、发数据，并选择传输层提供服务类型，然后按传输层要求的格式递交。

应用层中常用的基本服务程序有：远程登录 Telnet、文件传输协议 FTP（File Transfer Protocol）、简单邮件传送协议 SMTP（Simple Mail Transfer Protocol）、域名系统 DNS（Domain Name System）等。