李海龙 沈贤方 周 婕 编著

局域网工程从入门到精通

電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn

局域网工程从入门到精通

李海龙　沈贤方　周　婕　编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书将计算机网络的理论和工程实践相结合，系统地介绍了局域网的基础知识、局域网的传输媒体与主要硬件、有线无线混合局域网的组建、局域网的布线工程、交换机的配置、路由器的配置、防火墙及其配置、局域网的组网模拟、局域网的管理及故障排除等内容。作者在参考大量国内外经典教材的基础上，以独特新颖的思路，对局域网的知识进行了合理取舍。着重介绍目前局域网的主流——以太网。重点突出，只讨论纯粹的“网络”问题，不涉及任何高层应用。理论联系实际，让读者在学习原理的同时熟悉工程实践，学习操作实践的同时理解其原理。

本书可作为网络管理人员和工程技术人员自学的工具书，也可以作为各类高校“计算机网络”相关课程的教材，也是初学者学习局域网知识的实用教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

局域网工程从入门到精通 / 李海龙，沈贤方，周婕编著.—北京：电子工业出版社，2008.10
ISBN 978-7-121-07214-7

Ⅰ. 局… Ⅱ.①李…②沈…③周… Ⅲ.局部网络—基本知识 Ⅳ.TP393.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 118551 号

责任编辑：吴 源 姜 影
印　　刷：北京天竺颖华印刷厂
装　　订：三河市金马印装有限公司
出版发行：电子工业出版社
　　北京市海淀区万寿路 173 信箱　邮编：100036
　　北京市海淀区翠微东里甲 2 号　邮编：100036
开　　本：787×1092　1/16　印张：21.5　字数：540 千字
印　　次：2008 年 10 月第 1 次印刷
定　　价：39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言

信息技术的发展，使得计算机网络成为人们工作、学习、生活、娱乐不可或缺的一部分。拥有一个稳定运行的局域网，已经成为科研院所、教育机构、政府机关、厂矿企业，甚至居民小区信息化建设的基本要求。如何规划建设、管理维护本单位的局域网，成为一个企业必须考虑的问题。掌握网络工程的一般原理和技能，也成为IT从业人员的基本素质要求。

计算机网络的知识纷繁复杂，涉及到计算机技术和通信技术的许多内容。目前，各高校的信息类专业都开设了“计算机网络”课程。但是，笔者在教学实践中发现，很多毕业生为了胜任网络管理的工作，往往还要耗费大量的精力，继续参加一系列的认证培训和考试。造成这一现象的主要原因就是理论与实践的脱节。许多教材在内容设计上，企图涵盖计算机网络理论知识的方方面面，重点不突出。很多已经淘汰的技术，仍然在反复地宣讲。而实际工作所需要的实践知识，却只是轻描淡写地介绍。操作性的教材则避开原理，只介绍实际运用。仅仅告诉读者如何去做，不告诉读者为何这样去做。

为此，本书力图剔除繁冗，淘汰陈旧。参考了大量国内外经典教材，将讨论的视角限定在人们接触最多的局域网内。编写中突出两大特点：一是取舍有度。舍去那些已经过时的内容和普通读者很少碰到的知识点。重点介绍目前局域网的主流——以太网。针对其基本原理、软硬件组成、组建、布线工程、关键设备配置，以及局域网的管理维护进行了较全面的介绍。二是针对性强。所有的知识点，全部限制在体系结构中网络层以下的内容。只讨论纯粹的“网络”问题，不涉及任何高层应用。

本书内容共分为9章：

第1章从计算机网络的软硬件基本概念开始，介绍了一般意义上的计算机网络、网络互连、局域网等基础知识。并以“以太网”和“无线局域网”为重点，讨论了在现实的局域网中，如何实现物理连接、媒体接入控制，以及广播、冲突的管理等局域网入门基础知识。

第2章兼顾技术原理、市场因素和工程应用，介绍了局域网的传输媒体和主要硬件。传输媒体主要介绍了最为常见的双绞线和光纤两种线缆。连接设备的介绍，则根据在不同层次扩展、互连局域网的要求，介绍各类设备的功能和产品特征。

第3章以“二层交换机+无线路由器”的典型形式，详细地介绍了组建一个简单的有线、无线混合局域网的实例。

第4章介绍了局域网综合布线工程的一般原理。并在介绍综合布线产品和工具的基础上，针对EIA/TIA 568A标准所规定的综合布线6个子系统，分别阐述了设计、施工和测试的过程。

第5章以Cisco的交换机为例，从交换机的操作系统、配置方式等技术基础说起。详细介绍了交换机的端口配置、VLAN配置、STP配置、链路聚合、端口镜像等配置的一般原理和方法，并辅以具体实例进行说明。

第6章系统地介绍了局域网对外互连的关键设备——路由器的配置。既包括路由器内存结构、配置途径、配置模式、常用命令、操作系统和配置文件等基础知识，以及初始配置、基本

信息配置、接口配置、寄存器配置等路由器的基本配置，又包括静态路由配置，RIP、IGRP、OSPF 等动态路由配置的原理和配置方法。还进一步讨论了在路由器中实现 DHCP、ACL 与 NAT 以及管理网络环境的方法。

第 7 章是本书中唯一介绍网络安全设备配置的一章。介绍了网络防火墙的概念、功能、基本技术及性能分析，并以联想网御防火墙 Power V 为例，介绍了防火墙的应用及配置方法。

第 8 章针对普通读者很难接触实际网络设备配置的现状。以 Boson NetSim 为例，介绍了如何利用网络组网模拟工具，按照实际需要，在软件环境中完成网络环境建设、设备配置的过程。并分别针对本书第 5 章和第 6 章中所举的两个实例，详细地描述了在模拟器中，完成从环境建设到配置的完整过程。

第 9 章讨论局域网的管理和维护问题。介绍了简单网络管理协议 SNMP、网络管理、网络管理系统等基本原理以及网络管理常用的命令。并分别从“技术类”和“业务类”两个视角，以一些时下常见的网络管理软件为例，介绍两类网络管理软件的功能特征。在介绍网络管理知识的基础上，总结了网络故障处理的基础知识。包括网络故障的类别、网络故障处理常用方法、网络故障处理的解决步骤，对故障排除的过程进行了描述。

本书可作为网络管理人员和工程技术人员自学或者查阅的一本工具书，也可以作为各类高校“计算机网络”课程及其后续课程的教材，也是初学者学习局域网知识的实用教材和参考书。

本书由李海龙执笔，沈贤方统稿，周婕完成了书中所有的实验。在本书的编写过程中，得到了二炮工程学院网络工程教研室主任杨百龙教授的热情帮助。教研室同事郭文普和杨正磊为本书提供了大量资料。代延民、叶霞给作者提供了许多宝贵的建议。米梅、席建祥和余宁，帮助作者完成了全书的校对工作。在此表示衷心的感谢！

但愿本书能为读者学习局域网知识提供有益的帮助。不当之处，欢迎指正。

目 录

第 1 章　局域网基础知识

因特网是一个庞大而复杂的计算机通信系统。普通的企业用户并不需要关心在这个庞大的系统中如何实现远距离的传输，以及其他网络的实现细节。若企业并不接入因特网或者其他互联网，用户只需要关心在自己的园区网络内部如何通过传输媒体来有效地组织资源共享和数据传输。即便企业接入了因特网，也只需要关心如何去屏蔽自己的园区网络与其他网络的不同，并确定通过怎样的方法去实现与其他网络的互相连接。

本章从计算机网络的软硬件基本概念开始，介绍了一般意义上的计算机网络、网络的互连、局域网等基础知识。并以“以太网”和“无线局域网”为例，重点讨论了在现实的局域网中，如何实现物理连接、媒体接入控制，以及广播、冲突的管理等局域网入门基础知识。

1.1　计算机网络及 TCP/IP 基本概念

1.1.1　计算机网络概述

提到“计算机网络”这个词，恐怕浮现在人们脑海里的场景可能主要是色彩斑斓的网页、海量的信息和快捷的搜索、个性的博客、方便的电邮、P2P 的资源下载、诙谐的 BBS 回贴，或者温馨的校友录，也可能是视频聊天、IP 电话和视频点播等多媒体应用，甚至有可能是“维客”和“威客”这些时髦的网络新贵。但是，无论这些应用是多么的令人兴奋，多么的富有创造，它们仍然只是 Internet 的一些应用而已。而且，需要明确一下，Internet 也只是一种特定的计算机网络。

当然，对于普通用户而言，如果要在时下的计算机网络中找到一个区别于 Internet 的网络，的确也是一件困难的事。那些所谓的“专用网”，也和 Internet 有着一样的组成。所以描述计算机网络的概况，不妨从 Internet 的特征说起。

这个首字母大写的 Internet 比较通用的称呼叫做公共因特网，本书也统一采用这种叫法。首字母小写的 internet 也表示一种计算机网络，叫做互联网，许多专用网即属于互联网。“inter-”这个词缀的含义是相互之间，internet 就是网络和网络的互连（注：本书将 internet 翻译作专有名词“互联网”，但讨论网络互相连接的行为时，使用了“互连”一词。“互联”和“互连”的区别仅是一个翻译习惯问题，英文都是 internetworking），是一种“网络的网络”，即所谓互联网。事实上，因特网就是最大的、遍布全球的互联网。如何将因特网的特征描述清楚，绝非三言两语所能办到。本节仅给它一个粗线条的概述，阐述其硬件和软件构成，并不涉及因特网的用户服务。

1. 计算机网络的硬件

用过 Google Earth 的读者一定很熟悉，如果将地图放大到一定程度，就会看到建筑、公路和河流的细节。如果将地图缩小到一定程度，就会看到国家和国家“拼接”的界线。同样的道

理，如果将镜头深入到计算机网络的细节，就会看到一般意义上计算机网络的硬件构成，包括连接设备、用户设备和传输媒体。但如果站在宏观的角度去观察包括因特网在内的任何互联网，就会看到如图 1.1 所示的互联网结构：通过路由器（本书后面的章节会详细介绍）将各种不同的网络连接在一起。这些网络的规模、技术各有区别，但它们都平等地互连在一起，构成了一个更大的“网络的网络”。图 1.1 用不同的网络云来表示这些网络的异构。用户使用计算机或其他智能设备，利用各种接入手段，接入到其中的一个网络。

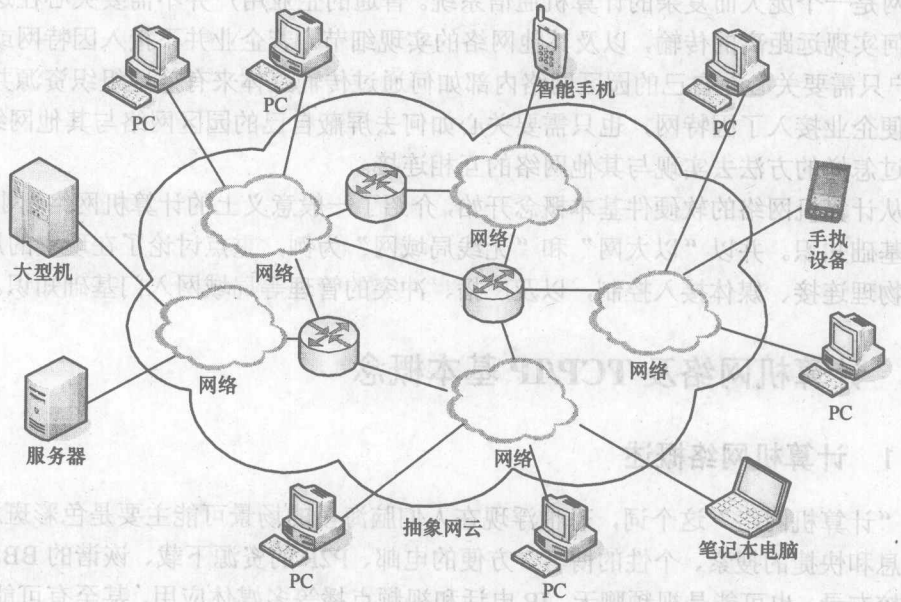

图 1.1　互联网的结构

在因特网中，与因特网相连的计算机通常被称为端系统（End System），它们在图 1.1 中位于边缘。因特网的端系统包括了计算机、便携机、PDA（Personal Digital Assistance）、智能手机，甚至一些智能的家用设备。端系统也被称为主机（Host），有时又被进一步划分为两类：客户机（Client）和服务器（Server）。这两个概念原本是两个软件的概念：客户和服务器都是指通信中所涉及的两个应用进程。因特网利用“客户-服务器方式”来描述进程之间服务和被服务的关系。客户是服务请求方，服务器是服务提供方。但是由于客户程序经常运行于桌面 PC、便携机和 PDA 等主机上。服务器程序常运行于一些可持续工作、功能强大的主机上，用于发布 Web 页面、流媒体、转发电子邮件等，于是便有了硬件概念。

那些提供用户接入的网络被称为 ISP（Internet Service Providers）。不同的 ISP 提供了各种不同类型的网络接入，包括拨号调制器接入、以 DSL 为典型的住宅宽带接入、高速局域网接入和无线接入。许多文献中常给这些将端系统接到其边缘路由器的物理链路起了一个名字叫做接入网（Access Network）。

依照计算机系统之间互连距离和网络分布地域范围，这些网络经常被划分为局域网 LAN（Local Area Network）、城域网 MAN（Metropolitan Area Network）和广域网 WAN（Wide Area Network）。但是随着技术的发展，这种划分的界限开始模糊。起初，当网络的作用距离不同时，由于信道的不同，网络采取了不同的技术来实现对数据的传输。由于局域网作用距离较小，用

户数量和传输出错率都比较小，所以一些涉及传输可靠性的技术并不需要和远距离传输一样复杂。而远距离传输则不同，通常需要借鉴传统的电信技术手段来实现。远程的两个局域网需要互连时，就通过与其他跨度比较大的远距离传输网络相连接来实现，如图 1.2 所示。在图中，用一个笼统的“网云”来表示了这样一个远距离的传输。这个网云，可能是某种特定的广域网，也有可能是跨接了好几种广域网。

图 1.2　远程局域网的连接

接下来将注意力集中到图 1.1 和图 1.2 中的抽象网云。这个网云事实上就是由路由器和各种网络所组成的一个网状的网络，正是它互连了端系统和“端局域网”。通常，将它称为网络核心。其连接在拓扑上是四通八达的，不可能也不需要在每一对发送方和接收方之间都铺设专用的传输线路，这就需要在多个站点相同方向上传输到一定的距离后，根据目的地址进行分支（转接）选择，再通向不同的站点。还有信号在传输媒体上的衰减和所受到的干扰，也需有一个中继节点来完成整形放大。完成这些任务都需要有交换操作。根据所传输信号内容的不同要求，需要相应的交换技术。交换技术的发展与通信和计算机网络技术的应用紧密联系。按照交换技术发展的顺序，目前可包括：电路交换（Circuit Switching）、报文交换（Message Switching）、分组交换（Packet Switching）、信元交换（Cell Switching）。构建计算机网络的网络核心主要使用分组交换和信元交换。

电路交换过程类似于打电话，当用户需发送数据时，主叫方首先进行呼叫，通过交换网与被叫建立一条物理连接数据通路，在通话过程中一直独占该连接线路。通话结束，需拆除连接时，由通信双方中任一方完成。在电路交换网络中，沿着端系统通信的路径，为端系统之间通信所提供的资源（缓存、链路传统速率）在通信会话期间将会被预留。它的特点是适合发送一次性大批量的信息。由于建立连接时间长，传递短报文时，效率较低。并且对通信双方在信息传输速率、编码格式、通信协议等方面完全兼容，这就限制了不同速率、不同编码格式、不同通信协议的双方用户进行通信。

分组交换是把电路交换和早期电报通信中所使用的报文交换的优点结合起来产生的一种交换技术。从概念上看，一个分组数据通信系统的硬件组成包括终端用户、分组交换网。其中，终端用户可以是计算机或一般 I/O 设备，它们具有一定的数据处理和发送、接收数据的能力，通常称为数据终端设备 DTE（Data Terminal Equipment）。分组交换网又称为通信子网，由若干个分组交换机 PSE（Packet Switching Equipment，结点交换机）和连接这些结点的通信链路组

成。与 DTE 对应的是数据电路终端设备 DCE（Data Circuit-terminating Equipment）。DCE 指的是 DCE-DTE 远程通信传输线路的终端设备。在物理上，如果传输线路是模拟通道，DCE 就是 MODEM；如果是数字通道，DCE 就是多路复用器或数字通道接口设备。它们提供信号变换、适配和编码功能，和 DTE 同属于用户设施。但是在功能结构上，DCE 属于网络部分，是分组交换机的延伸。

分组交换采用“存储-转发”技术。这种技术最早出现在报文交换中。在报文交换中，当源站发送报文时，将目的地址添加在报文中，然后网络中的交换机将源站的报文接收后暂时存储在存储器中，再根据提供的目的地址，不断通过网络中的其他交换机选择空闲的路径转发，最后送到目的地址。这样就解决了不同类型用户之间的通信，并且不需要像电路交换那样在传输过程中长时间建立一条物理通路，而可以在同一条线路上以报文为单位进行多路复用，所以大大提高了线路的利用率。分组交换中所采用的“存储-转发”技术并不像报文交换那样以报文为单位进行交换，而是将报文划分成有固定格式的分组进行交换、传输，一般为 1kbit～nkbit，每个分组按一定格式附加源与目的地址，分组编号、分组起始、结束标志、差错校验等信息，以分组形式在网络中传输。当源 DTE 将分组传送至本地分组交换机后，本地分组交换机收到每个分组要求的转发信息，不管是否接通目的地址设备，都先存储起来，然后检查目的地址，在分组交换机保存的路由表中找到该目的地址规定的发送通路，分组交换机即按允许的最大发送速率转发该分组。同样，每个中转分组交换机均按此方式存储、转发每个分组，直到将分组送到目的地分组交换机，再由该分组交换机送达目的 DTE。

按上述方式传送的是分组交换中的数据报方式。一般适用于较短的单个分组的报文。其优点是传输可靠性高、传输延时小，由于分组交换机的存储器容量减小，所以提高了经济性。缺点是每个分组附加的控制信息多，增加了传输信息的长度和处理时间，增大了额外开销。

分组交换的另一种方式叫虚电路方式，它与数据报方式的区别主要是：在信息交换之前，由源 DTE 向本地分组交换机发送一个特定呼叫请求的分组，其中含有目的 DTE 的地址及逻辑信道识别符，并由分组交换机 PSE 中转转发。若呼叫被目的 DTE 接受，则相应的响应“呼叫接受”予以应答，网络即发出一个“呼叫连通”给源 DTE，此时呼叫建立，在两台 DTE 之间建立一条称作虚电路的逻辑通路，信息就能在这条虚电路上传输，直到数据交换结束，虚电路被拆除，相应的逻辑信道识别符被释放。所以虚电路方式在每次通信时都有虚电路建立、数据传输和拆除三个阶段 ，类似于电路交换方式，但在网络中的传输是分组交换方式。这种方式对信息传输频率高、每次传输量小的用户不太适用，但由于每个分组头只需标出虚电路标识符和序号，所以分组头开销小，适用长报文传送。虚电路又可分为永久虚电路 PVC（Permanent Virtual Circuit）和交换式虚电路 SVC（Switch Virtual Circuit）。PVC 由网络提供者配置，一旦完成，这种虚电路即长期存在。SVC 则需要由两个远程端用户通过相应的控制协议来建立，在完成数据传输后被拆除。

信元交换技术是一种快速分组交换技术，它结合了电路交换技术延迟小和分组交换技术灵活的优点。信元是固定长度的分组，ATM（Asynchronous Transfer Mode，异步传输模式）采用信元交换技术，其信元长度为 53 字节。由于信元的长度更小，交换所需的时延更少。

根据通信双方在通信之前是否需要先建立连接考虑，交换技术提供的服务分为面向连接（connection-oriented）的和无连接的（connectionless）。面向连接服务具有连接建立、数据传输和连接释放这三个阶段。无连接服务两个实体之间的通信不需要先建立好连接，是一种不可

靠的服务。这种服务常被描述为“尽最大努力交付”或“尽力而为”。电路交换、信元交换、虚电路分组交换是面向连接的，报文交换、数据报分组交换是无连接的。

2. 计算机网络的软件

计算机网络的软件构成主要包括有：网络操作系统软件、网络通信协议、网络工具软件、网络应用软件等。

网络操作系统软件：负责管理和调度计算机网络上的所有硬件和软件资源，使各个部分能够协调一致地工作。常用的网络操作系统软件有 Windows、Netware、UNIX、Linux 等。

网络通信协议：计算机网络中的数据交换必须遵守事先约定好的规则。这些规则明确规定了所交换的数据的格式以及有关的同步问题（同步含有时序的意思）。为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定即网络协议（Network Protocol），简称为协议。网络协议包括以下三个要素：（1）语法，数据与控制信息的结构或格式；（2）语义，需要发出何种控制信息，完成何种动作以及做出何种响应；（3）同步，事件实现顺序的详细说明。常用的网络通信协议有 TCP/IP 簇、SPX/IPX、NetBEUI 协议等。

网络工具软件：用来扩充网络操作系统功能的软件，如网络浏览器、网络下载软件、网络数据库管理系统等。

网络应用软件：基于计算机网络应用而开发出来的用户软件，如民航售票系统、远程物流管理软件、订单管理软件、酒店管理软件等。

通常提到计算机网络的协议，总是和体系结构分不开。计算机网络的体系结构是计算机网络的各层及其协议的集合。这里说的“层”是一种在计算机网络中所使用的方法。通过分层将庞大而复杂的问题转化为若干较小的局部问题。这些较小的局部问题就比较容易研究和处理。每相邻层间有一接口，下层通过接口向上层提供某种服务完成特定功能，同时还对上层屏蔽实现该功能的具体过程，使上层可以只简单地使用下层提供的服务而不必关心其具体的实现细节；上层又在其下层提供的服务基础上，向更高层提供更高级的服务。于是，通过接口，各层协议之间能高效地相互作用，协同解决整个通信问题。这种化整为零的思想对计算机网络的研究起到了很大的促进作用。计算机网络大都按层次结构模型去组织计算机网络协议。例如，IBM 公司的系统网络体系结构 SNA。影响最大、功能最全、发展前景最好的网络层次模型是国际标准化组织（ISO）所建议的“开放系统互连（OSI）”基本参考模型。它由物理层、数据链路层、网络层、运输层、会话层、表示层和应用层等 7 层组成。各层的一些典型服务、标准和协议如下：

（1）物理层（Physical Layer）：RS232，RS449；

（2）数据链路层（Datalink Layer）：HDLC，PPP；

（3）网络层（Network Layer）：IP，IPX，BGP，OSPF；

（4）传输层（Transport Layer）：TCP，SPX，UDP，NBP，OSI transport protocol；

（5）会话层（Session Layer）：ZIP，SCP，NFS，SQL；

（6）表示层（Presentation Layer）：ASCII，EBCDIC，QuickTime，MPEG，GIF，JPG，TIFF；

（7）应用层（Application Layer）：Http，DNS，Telnet，SMTP，FTP。

通俗的理解，OSI 模型将一系列复杂的计算机通信问题分解为 7 类，分别进行研究。而且，这些分工的特点是“越往上离接受应用服务的用户越近，越往下离机器越近。”

在计算机网络的分层模型中还有一个很重要的概念“封装”。封装是在数据前加上报头或者将数据包在首尾里面的过程。封装在 OSI 参考模型的每层上都会出现。来自每层的完整的数据包将插入到下一个层的数据字段中，并且加入另外一个报头。在偶然情况下，层会将一个数据信元（包括前一层的报头）分开为多个部分，更小的数据信元，并且每个更小的数据信元用较低协议层的新报头进行封装。这个过程帮助控制数据流，因为不同的网络允许通过的最大传输单元 MTU（Maximum Transmission Unit）不尽相同。当接收到数据时，接收节点上的对应层将在把数据传送到下一个层之前，重新装配数据字段。随着数据逐渐在目的地的模型上向上移动，逐渐将分段拼装到一起。图 1.3 显示了数据在各层之间传递时进行封装和拆封的过程。

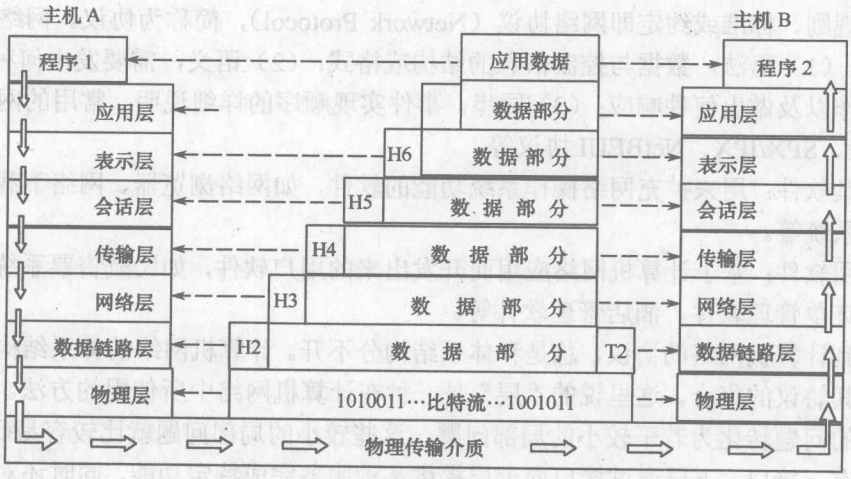

图 1.3　数据在各层之间的传递过程

需要注意的是法律上的国际标准 OSI 并没有得到市场的认可。而非国际标准 TCP/IP 却获得了最广泛的应用。TCP/IP 常被称为事实上的国际标准。TCP/IP 事实上并没有严格的层次体系结构，它们只是在因特网中广泛使用的一系列协议。在设计之初，TCP/IP 并不具有像 OSI 模型那样强的模型指导作用，所以通常将之称为 TCP/IP 协议簇而不是体系结构。如果用分层的思想去描述 TCP/IP 协议簇，会发现它的层次只有 4 层：高层应用、传输层、网际层、网络接口。严格意义上的层只有两层：在传输层对高层应用提供可靠的（通过 TCP 协议）和不可靠的（通过 UDP 协议）数据传输服务（这里提到的可靠服务，下文再展开讨论）；在网际层通过 IP 及其相关协议来屏蔽下层各种网络的不同，实现网络的互连。为了便于理解并能够和实际网络中的现状接轨，一些学者提出了一种五层协议的网络体系结构。所谓五层协议的网络体系结构是为便于学习计算机网络原理而采用的综合了 OSI 七层模型和 TCP/IP 的四层模型而得到的五层模型。五层协议的体系结构如图 1.4 所示。

图 1.4　五层协议的参考模型

在这种 5 层协议的参考模型中，各层的主要功能如下：

（1）应用层

应用层确定进程之间通信的性质以满足用户的需要。它不仅要提供应用进程所需要的信息交换和远程操作，而且还要作为互相作用的应用进程的用户代理来完成一些为进行语义上有意义的信息交换所必须的功能。

（2）传输层

任务是负责主机中两个进程间的通信。因特网的传输层可使用两种不同的协议，即面向连接的传输控制协议 TCP 和无连接的用户数据报协议 UDP。

（3）网络层

网络层负责为分组选择合适的路由，使源主机传输层所传下来的分组能够交付到目的主机。

（4）数据链路层

数据链路层的任务是将在网络层交下来的数据报组装成帧，在两个相邻结点间的链路上实现帧的无差错传输。

（5）物理层

物理层的任务就是透明地传输比特流。“透明地传送比特流”指实际电路传送后比特流没有发生变化。物理层要考虑用多大的电压代表“1”或“0”，以及当发送端发出比特“1”时，接收端如何识别出这是“1”而不是“0”。物理层还要确定连接电缆的插头应当有多少根脚以及各个脚如何连接。

这里有一个非常值得读者总结一下的内容，就是各层的数据格式和所使用的地址或者类似地址作用的标识。

（1）物理层：比特流。

（2）数据链路层：数据的格式为帧，使用硬件地址来标识每台主机，并利用主机 IP 地址与硬件地址（也叫物理地址）的映射关系来找到主机；

（3）网络层：数据格式为分组或数据报（packets/datagrams），因特网中利用每个主机唯一的合法 IP 地址来找到主机所在网络。注意：分组有时也被译为包；

（4）传输层：数据格式为报文段，利用端口来标识高层的应用进程；

（5）应用层：数据形式就是各种应用报文，使用域名来表示网站和主机的名字，与 IP 地址等效使用；

通常，在每一层提供的服务中，不丢失、不重复、无差错的传输称之为可靠服务。为了实现可靠服务，通常都会采用面向连接、确认、序号、计时器、流量控制以及拥塞控制等机制来实现。而实现这些机制就需要付出硬件、软件方面的代价。在传统的电话网络中，将网络设计成一种非常可靠的网络。用户只需要使用非常廉价的电话机就能够享受到清晰的通话质量。电信网负责保证可靠通信的一切措施，因此电信网的结点交换机复杂而昂贵。但这种网络的脆弱性也是显而易见的，一旦电信网的关键节点遇到摧毁，整个通信系统就会瘫痪。

因特网当初的设计思想则不同，网络应尽量简单，而智能应尽可能放在网络以外的用户端。在计算机网络中，用户所使用的端系统是装载了协议栈的计算机。可靠通信由用户终端中的软件（即 TCP）来保证。所以在层次结构的参考模型中，4 层以上的功能都在网络之外的端系统中。技术的进步使网络出错的概率越来越小，因而让主机负责端到端的可靠性不但不会给主机增加负担，反而能够使更多的应用在这种简单的网络上运行，大大简化了网络层的结构。

3. 带宽与时延

带宽和时延是计算机网络中两个重要的性能指标，也是最基本的概念。

带宽本来是通信中的术语，指的是信号所具有的频带宽度，单位是赫兹（Hz）。在计算机网络中，借用这个名词来表示是数字信道所能传送的“最高数据率”，单位是比特每秒 b/s。更常用的带宽单位是千比特每秒 Kb/s、兆比特每秒 Mb/s、吉比特每秒 Gb/s、太比特每秒 Tb/s。注意，在表示带宽时，K、M、G、T 是指 10 的幂，而通常在表示存储容量时所用的 $K = 2^{10} = 1024$，$M = 2^{20}$，$G = 2^{30}$，$T = 2^{40}$。

时延是指一个报文或分组从一个网络的一端传送到另一端所需的时间。时延包括三部分：总时延＝传播时延＋发送时延＋处理时延。

其中发送时延是结点在发送数据时使数据块从结点进入到传输媒体所需要的时间。

$$\text{发送时延} = \frac{\text{数据块长度}}{\text{信道带宽（数据在信道上的传输速率）}}$$

传播时延是电磁波在信道中需要传播一定的距离而花费的时间。

$$\text{传播时延} = \frac{\text{信道长度}}{\text{电磁波在信道上的传播速率}}$$

处理时延是数据在交换结点为存储转发而进行一些必要的处理所花费的时间。处理时延的长短往往取决于网络中当时的通信量。

在总时延中，究竟是哪一种时延占主导地位，必须具体分析。通常所说的高速链路，指的是数据的发送速率快而不是比特在链路上的传播速率快。电磁波在特定媒体上传播速率是恒定的。

1.1.2 网络互连原理与 IP 网

1. 网络互连问题

制定体系结构的目的就是为了规范计算机网络的发展，但是实际上，不论是广域网还是局域网都存在着大量的异构网络。各层运行着各种不同的协议，将网络的这些不同总结为以下 12 点：

（1）网络所提供的服务不同：有面向连接的报务，也有无连接的服务；

（2）协议不同：比如 IP、IPX、SNA、ATM、MPLS、AppleiTalk 等；

（3）编址方式不同：局域网所采用的地址通常都是平面的，而广域网所采用的地址通常是层次的；

（4）多播和广播的支持：有的网络支持，有的不支持；

（5）分组大小：每个网络都有自己的 MTU 限制；

（6）服务质量 QoS（Quality of Service）：不支持或者采用不同的种类；

（7）错误处理：可能会是可靠的、有序的，以及无序的递交；

（8）流量控制：滑动窗口、速率控制，或者其他控制手段，也可能干脆无控制；

（9）拥塞控制：漏桶、令牌桶、RED、抑制分组等；

（10）安全性：隐私规则、加密等；

（11）一些参数：不同的超时值、流规范等；

（12）记费方式：按连接时间、按分组、按字节，或者根本不记费。

要实现这些异构网络的连接，首先需要的是互连设备。通常，这些设备工作于不同的层次。而严格意义上的互连只发生在网络层。网络层以下的设备只是实现网络内部的拓展或者信号的中继。网络层以上的设备则是为了实现高层协议的转换。

这些工作于不同层次的设备总结如下：

高层：网关，用来实现协议转换。例如传输层网关可以转换 TCP 连接和 SNA 连接，而应用层网关可以翻译消息的语义；

网络层：路由器，用来实现转发分组和路由选择等网络互连任务；

数据链路层：网桥、交换机，实现局域网的拓展；

物理层：中继器、集线器完成信号的放大转发。

注　意

由于历史的原因，许多有关 TCP/IP 的文献将网络层使用的路由器称为网关。尤其是在微软的 Windows 操作系统中配置 TCP/IP 的属性时，需要配置的网关实际上指的是对外互连的路由器地址。

2. 网络互连的协议

因特网的网际层，使用 IP 协议来屏蔽异构网络下层通信技术的不同。互连起来的各种物理网络的异构性本来是客观存在的，利用 IP 协议可以使这些性能各异的网络让端用户看起来好像是一个统一的网络。通常，使用 IP 协议的互连网络简称为 IP 网。对于端系统而言，看不见具体的网络异构细节，就好像在一个网络上通信一样。

IP 协议提供无连接的数据报传输机制。IP 协议是点到点的，核心问题是寻径。它向上层提供统一的 IP 数据报，使得各种物理帧的差异对上层协议不复存在。

TCP/IP 体系中与 IP 协议配套使用的还有三个协议：地址解析协议 ARP（Address Resolution Protocol）、逆地址解析协议 RARP（Reverse Address Resolution Protocol）、Internet 控制报文协议 ICMP（Internet Control Message Protocol）。

图 1.5 表示了这三个协议和 IP 协议的关系。在网际层中，ARP 和 RARP 在最下面，因为 IP 经常要使用这两个协议。ICMP 在这一层的上部，因为它要使用 IP 协议。

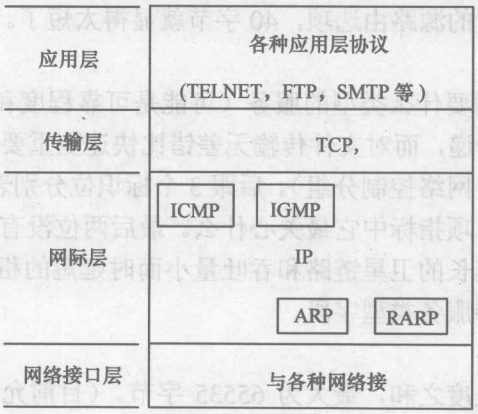

图 1.5　IP 及其配套协议