- 内容丰富，重点突出，突出网络应用的系统性
- 语言简练，内容详实，突出内容的通用性、实用性
- 配有丰富的课件资源

# 网络系统应用

## Application of Network System

李海龙 韦素媛 叶霞 李卉 编著


国防工业出版社
National Defense Industry Press

# 网络系统应用

李海龙　韦素媛　叶霞　李卉　编著

国防工业出版社
·北京·

# 内容简介

本书围绕“计算机网络系统”的应用，以网络系统连接作为网络应用的硬件基础，经典服务作为网络应用的软件基础，网络信息检索作为网络应用“点”的延伸，Web2.0、云计算、社会性网络服务SNS、物联网、移动互联网等新技术作为网络应用“面”的拓展，以网络安全和管理作为网络应用的保障。内容新颖，难易适中，雅俗共赏。在介绍经典网络应用服务的基础上，重点关注网络应用领域的最新发展。

本书可以作为各类高校“网络应用”相关课程的教材，也可以作为计算机网络用户和非计算机专业工程技术人员查阅的一本工具书。

使用本书作为教材的单位，可以和作者联系索取课件等教学资源：lhlmm@163.com。

**图书在版编目(CIP)数据**

网络系统应用/李海龙，韦素媛，李卉编著. —北京：国防工业出版社，2012.1

ISBN 978-7-118-07802-2

Ⅰ.①网… Ⅱ.①李…②韦…③李… Ⅲ.①计算机网络－网络系统 Ⅳ.①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第272735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100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

**开本** 787×1092 1/16 **印张** 16¾ **字数** 416千字

2012年1月第1版第1次印刷 **印数** 1—4000册 **定价** 35.00元

**(本书如有印装错误，我社负责调换)**

国防书店：(010)88540777 发行邮购：(010)88540776

发行传真：(010)88540755 发行业务：(010)88540717

# 前　言

正如比尔·盖茨1997年在全球计算机技术博览会上所说，“网络才是计算机。”在信息技术高速发展的今天，很难再找到游离于网络之外的信息系统。计算机网络技术的每一次创新，无不带动了人们生活方式的巨大变革。近年来，随着网络应用新技术不断出现，网络应用已成为计算机网络领域中增长速度最快的一个领域。随着一些新的分布式应用及其多样软件形式的出现，一些专家认为，计算机网络的应用层可以看作一个基于因特网之上的大规模分布式应用。

国内专门讨论计算机网络应用方面的著述很多，但对于非计算机专业工科的读者而言，经常有三大不足：一是太难，二是太简单，三是太偏重娱乐。本书扼要但并不粗略地介绍了计算机网络的基础概念，以网络系统连接作为网络应用的硬件基础，经典服务作为软件应用基础，搭建了计算机网络知识的基本框架。在此基础上深入探讨了目前网络应用领域的新兴领域，包括Web2.0、云计算、社会性网络服务(SNS)、物联网、移动互联网等新技术。并在网络信息检索和网络安全和管理两个领域进行了深入的专题讨论。全面而不失重点，选题范围适用于较广泛层次的读者。

本书内容共分为6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、传输媒体等基础知识。传输媒体主要介绍了最为常见的双绞线和光纤两种线缆。

第2章介绍以太网、无线局域网、网络扩展连接和因特网的接入技术四部分网络连接相关的技术内容，并以一个有线无线混合局域网组建的实例，具体展示了实现这些连接的简单过程。

第3章对域名服务、文件传输服务、WWW服务、电子邮件服务、DHCP服务等经典的网络服务基本概念、工作原理和服务构建方法进行了介绍。

第4章在阐述网络信息资源、网络信息检索基础知识的基础上，讨论了搜索引擎、网络数据库检索、专用查询工具、网络信息检索策略技巧等内容。

第5章以Web2.0、云计算、物联网和移动互联网为典型代表，对近年来出现的网络应用新技术进行了详尽的介绍。

第6章系统地介绍了网络安全基础和安全体系，从网络攻击和网络安全防护两方面对网络安全涉及到的具体技术进行了深入的讨论，并详细地介绍了开展网络安全研究的实验环境配置方法和Windows XP用户安全上网的设置方法。

本书第1、2章由李海龙编写，第3、6章由韦素媛编写，第4章由叶霞编写，第5章由李卉编写。在编写过程中，得到了第二炮兵工程大学杨百龙教授的热情帮助，作者单位许多同事也为本书提供了许多资料和宝贵的建议，在此表示衷心的感谢！

希望本书能为读者学习网络应用知识提供有益的帮助。不当之处，恳请指正。

李海龙

2011年11月

# 目　录

# 第1章　计算机网络基础知识

在计算机网络领域，近几年一个最大的特征就是网络的服务和应用程序发展迅猛。网络应用新技术层出不穷，网络应用的层次不断深入。要掌握这些技术，首先要学习计算机网络的一些基本概念。本章围绕计算机网络的发展历程、软硬件结构、网络互联、传输媒体等基础知识展开介绍，给读者一个轮廓性的基础认识。

## 1.1　计算机网络发展概述

计算机网络的历史，甚至可以追溯到1940年9月。贝尔实验室的George Stibitz打算演示后来被称为“贝尔实验室模型1号”的庞大机器，设备离会场太远，就在会场外的过道里安放一个电传(Teletype)终端，让与会者通过这台电传机来转达自己的指令。就这样，用一种间接的方式，可以使用远在370千米以外的计算机。1951年，美国麻省理工学院成立了著名的林肯实验室，研究“远距离预警”网络，它的名字也叫“智者”。“智者”是第一个真正实时的人机交互作用的网络系统，它能接收网络上各个结点传送过来的数据，能够按照键入的指令来处理这些数据。1952年，“智者”系统投入使用，成为当时远距离访问的一个典型。从此，“智者”一类的网络就不断涌现。到了20世纪60年代，已经开始广泛应用于军队、机场和银行等系统中。这类网络的共同特点就是在中心有一台大型计算机，用来存储和处理数据，其他终端通过一定的方式(比如，电缆或者电话线)连通这个数据中心。尽管这些网络按照当时的标准是高水平的，但是，这种“中央控制式”的网络从一开始就先天不足：只要摧毁这种网络的中心控制，就可以摧毁整个网络。冷战的背景，让美国人不得不考虑自己这种军事通信网络的安全。这种需求，直接催生了基于分散控制思想的“分布式网络”。

这一时期，有三个不同的研究小组，在互相完全独立研究的情况下，得出了远距离网络通信必须通过“分组交换”来实现的相同结论。这些小组包括1961年至1967年，Leonard Kleinrock领导的麻省理工学院；1962年至1965年，P.巴伦领导的兰德公司；1964年至1967年，D.W.戴维斯领导的英国国家物理实验室。基于此，美国国防部远景规划局DARPA(Defense Advanced Research Project Agency)1969年在加州大学和斯坦福研究院建立了最早的分组交换网ARPANET，成为真正意义上的计算机网络。

现在人们普遍比较认可Andrew S. Tanenbaum教授给出的计算机网络定义：“计算机网络是通过同一种技术相互连接起来的一组自主计算机的集合”。之所以要强调“自主”，就是强调在网络中每台计算机的地位都是对等的，没有控制和受控的概念。

1983年的1月1日，TCP/IP协议完全取代网络控制协议NCP，成为互联网上的所有主机之间共同的协议。1986年，美国国家基金会建立了国家科学基金网NSFNET。并以此作为因特网(Internet)的基础，实现同其他网络的连接。然后ARPANET也划分成ARPANET和MILNET，当MILNET和NSFNET实现连接后，就正式采用了因特网的名称，其他联邦部门

的计算机网也相继并入因特网。1990 年，ARPANET 正式退出历史舞台。1994 年 5 月，中国正式接入因特网，截至 2011 年 6 月底，中国网民规模达到 4.85 亿。

以上是远距离通信网络的发展，计算机网络发展史上很值得一说的，还有局域网的出现和发展。局域网技术的产生是在 20 世纪 60 年代，当时的美国夏威夷大学为了把 Ohau 岛上的 IBM360 计算机与分布在其他岛上以及海洋船上的终端、读卡机连接起来，研制了一个称为 ALOHA 系统的无线计算机通信网络。1972 年，美国加州大学研制了 NEWHALL 环，称为 DCS(Distributed Computer System)分布计算机系统。1973 年出现了第一个总线争用结构的实验性 Ethernet 网络，该网络借鉴了夏威夷大学 ALOHA 网络的有关技术。1974 年，英国剑桥大学计算机实验室建立了剑桥环。1977 年，日本京都大学研制成功了以光纤为传输介质的局域网络。到 20 世纪 80 年代初期，多种类型的局域网络纷纷出现，越来越多的制造商投入到局域网络的研制潮流中，其中有 Xerox(施乐)、DEC 和 Intel 公司 3 家联合研制的第二代 Ethernet 网络，Zilog 公司推出的 Z-net 网，Corvus 公司和 Intel 公司研制的 Omninet 网，Cromemco 公司研制的 C-net 网等。美国、日本和西欧一些国家的大学投入了相当大的力量研究局域网络。同时，各种先进的网络组件，如传播介质和转接器件也不断出现，连同高性能的计算机一起构成了局域网的基本硬件基础。由于新技术和新器件不断出现。所以局域网也被赋予更强的功能和生命力。到了 20 世纪 80 年代末期，先后推出了 3+open、Novell 和 LAN Manager 等性能优异、极具代表性的局域网络。到了 20 世纪 90 年代，由于集线器技术的发展，局域网的发展也上了一个台阶，出现了交换式以太网、高速局域网和虚拟局域网，其性能更优，应用更广。

20 世纪 90 年代计算机网络的发展，主要是因特网应用的发展。特别是 WWW 服务的出现，它将因特网带入了世界上数以百万计的家庭和企业。1998 年第一个 P2P 程序的出现，宣告互联网诞生了新的应用模式。进入 21 世纪，Web2.0 的理念与相关技术日益成熟，推动了互联网的变革与应用的创新。底层网络的能力增长也极为迅速。基于 DWDM 技术的光传输，系统，带宽不久就能达到 10Tbit/s 的数量级。无线局域网技术(WLAN)和第三代移动通信技术(3G)的发展，更是极大拓展了网络的接入和应用范围。

2011 年 2 月 3 日，全球 IPv4 地址总库完全耗尽，五大区域地址分配机构(RIR)的分库，将在 2011 年—2015 年相继耗尽。各国已加快 IPv6 的部署，下一代互联网，已经离我们不远。

## 1.2 计算机网络的组成和结构

研究结构之前，首先给读者区别两个概念：Internet 和 internet。首字母大写的 Internet 比较通用的称呼叫做因特网，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(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。所以讨论计算机网络的组成和结构，就以因特网为讨论对象。

### 1.2.1 计算机网络的硬件组成

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了这些网络的异构。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。

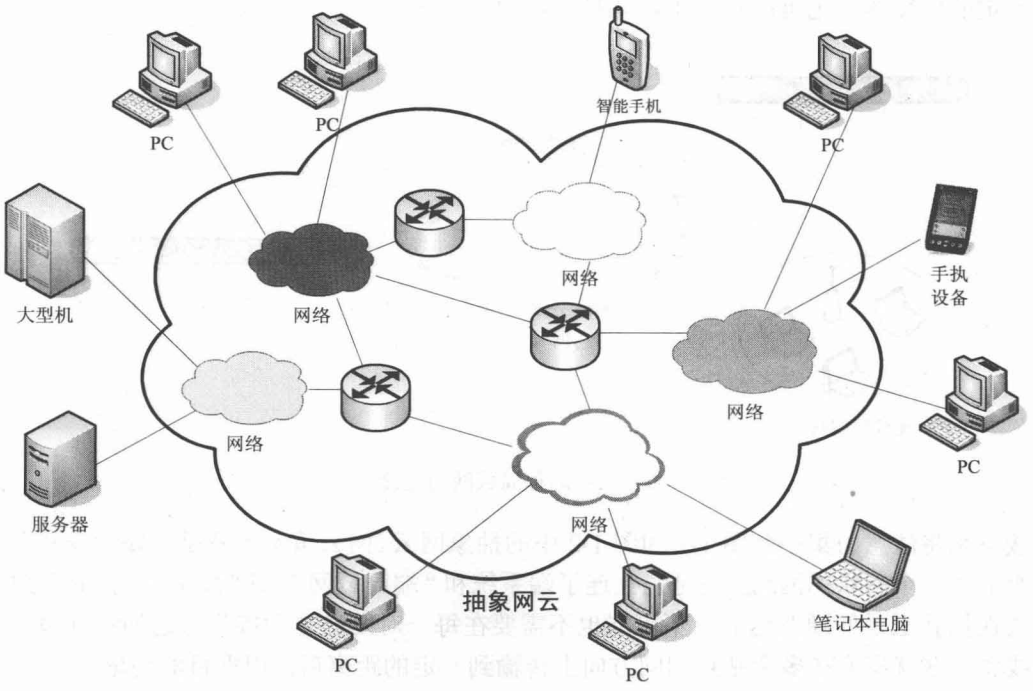


图 1-1　互联网的结构

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。端系统也称为主机(Host)，主机有时又被进一步划分为两类：客户机(Client)和服务器(Server)。这两个概念其实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，常被称为客户机。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，这些主机就经常被称为服务器。所以，客户机和服务器便约定俗成地成了硬件概念。

那些提供用户接入的网络称为 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 XDSL 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(Local Area Network，LAN)，城域网(Metropolitan Area Network，MAN)和广域网(Wide Area

Network，WAN)。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。局域网由于作用距离较小，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，也可能跨接了好几种广域网。

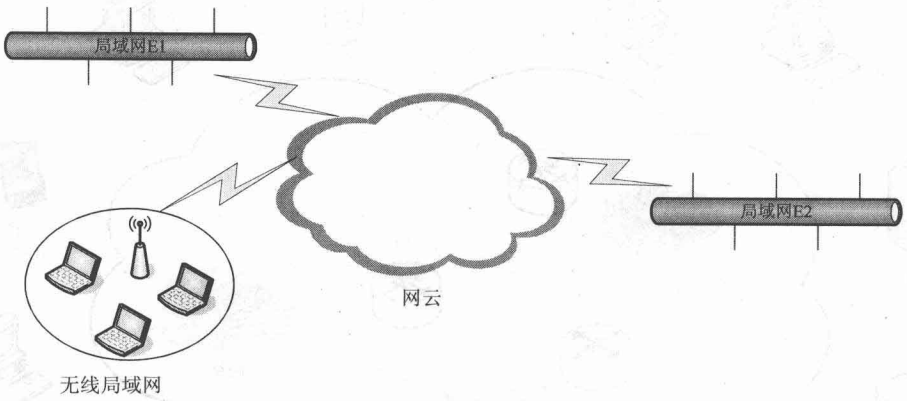


图 1-2　远程局域网的连接

接下来将注意力集中到图 1-1 和图 1-2 中的抽象网云。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。还有信号在传输介质上的衰减和所受到干扰，也需有一个中继结点来完成整形放大。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讲述，目前使用的交换技术：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，主叫方通过呼叫，由交换网完成被叫，就与它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，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、链路传输速率)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输入/输出(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)。分组交换网由若干个

分组结点交换机(Packet Switching Equipment，PSE)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接设备(Data Circuit-terminating Equipment，DCE)。DCE 指的是 DTE-DTE 远程通信传输线路的终接设备；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。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(Packet)进行交换、传输，一般为 1Kb～几 Kb，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(Permanent Virtual Circuit，PVC)和交换式虚电路(Switch Virtual Circuit，SVC)。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，异步传输模式(Asynchronous Transfer Mode，ATM)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，则交换所需的时延更少。

### 1.2.2 计算机网络的软件组成

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。

(1) 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的工作。常用的网络操作系统有 Windows、Netware、Unix、Linux 等。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 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，总是和体系结构的概念分不开。计算机网络的体系结构(Architecture)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。而影响最大、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、表示层和应用层七层组成。各层的一些典型服务、标准和协议如下：

- 应用层(Application Layer)：Http，DNS，Telnet，SMTP，FTP；
- 表示层(Presentation Layer)：ASCII，EBCDIC，QuickTime，MPEG，GIF，JPG，TIFF；
- 会话层(Session Layer)：ZIP，NFS，SQL；
- 运输层(Transport Layer)：TCP，SPX，UDP，NBP，OSI transport protocol；
- 网络层(Network Layer)：IP，IPX，BGP，OSPF；
- 链路层(Datalink Layer)：HDLC，PPP；
- 物理层(Physical Layer)：RS232，RS449。

通俗地理解，OSI 模型将一系列复杂的计算机通信问题分解为七类，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”(Encapsulation)，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(Maximum Transmission Unit，MTU)不尽相同。当接收到数据时，

接收结点上的对应层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这一过程。

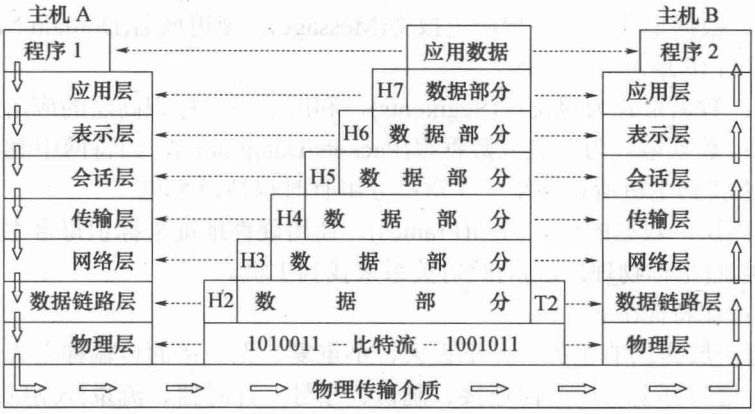


图 1-3 数据在各层之间的传递过程

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四层：高层应用、传输层、网际层、网络接口层。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见图 1-4 所示。

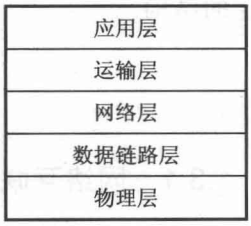


图 1-4 五层协议的参考模型

在这种五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。应用层不仅要提供应用进程所需要的信息交换和远地操作，而且还要作为互相作用的应用进程的用户代理(User Agent)，来完成一些为进行语义上有意义的信息交换所必需的功能。

(2) 运输层：任务是负责主机中两个进程间的通信。因特网的运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，使源主机运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(Frame)，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送比特流。“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针脚以及各个针脚如何连接。

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总结如下：

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

(2) 运输层：数据格式为报文段(Segments)，利用端口来标识高层的应用进程。

(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) 数据链路层：数据的格式为帧(Frames)，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(也称物理地址)的映射关系来找到主机。

(5) 物理层：比特流(bits)。

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。传统的电话网络就设计成一种非常可靠的网络。用户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，一旦电信网的关键结点遭到摧毁，整个通信系统就会瘫痪。

因特网当初的设计思想则不同：网络尽量简单，而智能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，四层以上的功能都在网络之外的端系统中。技术的进步使得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。

## 1.3 网络互联

### 1.3.1 网络互联问题

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。Andrew S. Tanenbaum 教授将网络的这些不同总结为 12 点：

(1) 网络所提供的服务不同：有面向连接的服务，也有不连接的服务；

(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有层次的；

(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，首先需要的就是互连的设备。通常来说，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，也就是说只有见到碰到网络层的设备，才认为是两个网络的互连。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：

(1) 高层：网关(Gateway)，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；

(2) 网络层：路由器(Router)，用来实现转发分组和路由选择等网络互连任务；

(3) 数据链路层：网桥(Bridge)、交换机(Switch)，实现局域网的拓展；

(4) 物理层：中继器(Repeater)、集线器(Hub)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，实际上指的就是对外互连的路由器地址。

### 1.3.2 IP 网及相关技术

#### 1. IP 网与 IP 协议

因特网的网际层，使用 IP 协议来屏蔽这些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，但是利用 IP 协议就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 协议的互连网络常简称为 IP 网。对于端系统而言，看不见互连的各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(Address Resolution Protocol，ARP)、逆地址解析协议(Reverse Address Resolution Protocol，RARP)、因特网控制报文协议(Internet Control Message Protocol，ICMP)。

图 1-5 表示了这三个协议和 IP 协议的关系。在这一层中，ARP 和 RARP 画在最下面，因为 IP 经常要使用这两个协议。ICMP 画在这一层的上部，因为它要使用 IP 协议。

IP 是 TCP/IP 协议簇中最为核心的协议。所有的 TCP、UDP、ICMP 及 IGMP 数据都以 IP 数据报格式传输。IP 数据报以一个头部开始，后跟数据区。一个数据报的数据长度不固定，数据报的大小取决于发送数据的应用。大小可变的数据报使得 IP 可以适应各种应用。但是，采用较大的数据报可以获得更高的效率。目前，已经有两种 IP 版本成为标准，它们分别是 IPv4 和 IPv6，后者是前者的升级。目前网络正处在 IPv4 与 IPv6 的过渡期。

#### 2. IPv4 的报文

IPv4 报文首部包括一个 20 字节的固定部分和一个可变长度的可选部分，如图 1-6 所示。

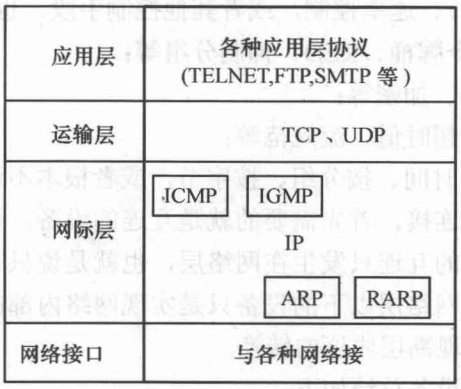


图 1-5 IP 及其配套协议

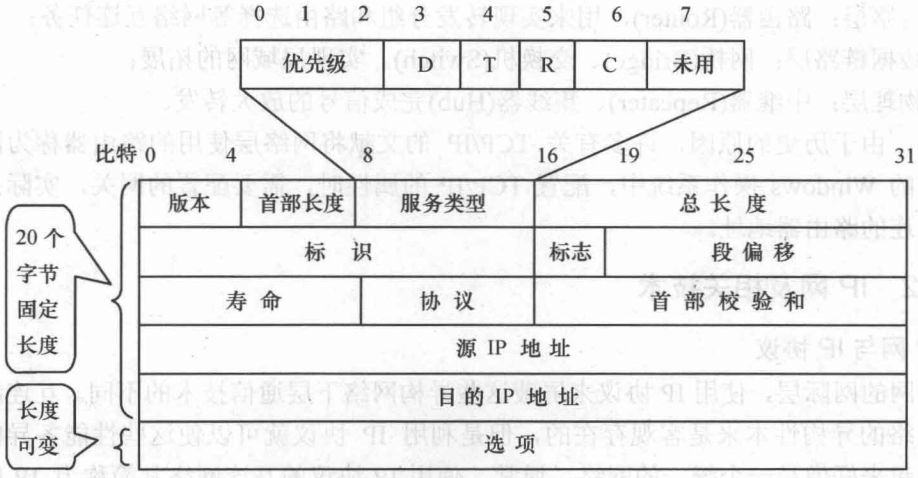


图 1-6 IPv4 的报文首部格式

(1) 版本(Version)：说明数据报属于哪一个协议版本，以便可以在运行不同版本协议的机器之间进行版本转换。IPv4 和 IPv6 即在此标示，当该域值为 4 时，表示为 IPv4。

(2) 首部长度(IHL)：说明包头的长度(单位：4 字节)，最小为 5，最大为 15。故头部最长为 60 字节，即可选部分最大为 40 字节。该域值变化 1，表示包头长度变化 32 个字节。此外，对于有些可选项，例如记录分组已经走过路由的源路由选项，40 字节就显得太短了。

(3) 服务类型(Type of Service)：允许主机告诉子网它需要什么类型的服务，可能是可靠程度和传输速率的各种组合。例如，对数字话音要求快速传递；而对文件传输无差错比快速更重要。该域中，左起 3 位为优先级(Precedence)字段，从 0(正常)到 7(网络控制分组)。后跟三个标识(Flag)位分别表示延迟、吞吐量和可靠性，它们允许主机指明在以上三项指标中它最关心什么。最后两位没有定义。理论上，这些字段允许路由器在吞吐量大而时延长的卫星链路和吞吐量小而时延短的租用线路之间进行选择。实际上，目前的路由器都不支持服务类型字段。

(4) 总长度(Total Length)：指头部和正文部分的长度之和，最大为 65535 字节(目前允许