

“十五”国家重点图书出版规划项目

现代通信网络技术丛书

高速 计算机互联网络

李 星 黄永峰 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

“十五”国家重点图书出版规划项目

现代通信网络技术丛书

高速计算机互联网络

李 星 黄永峰 编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高速计算机互联网络 / 李星, 黄永峰编著. —北京: 人民邮电出版社, 2005.6

ISBN 7-115-12857-X

I. 高... II. ①李...②黄... III. 因特网—研究 IV. TP393.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 121782 号

内 容 提 要

本书针对互联网技术快速发展的特点, 介绍了互联网的发展现状和新技术, 重点阐述了实现高速互联网的关键技术。全书分为 9 章, 介绍了互联网的基础知识, 分析了当前互联网存在的问题, 探讨了互联网在数据传输、移动网络、网络互联、中间件和互联网应用等方面的最新进展, 还介绍了中国、美国等国家在互联网方面的科研与工程实践以及几个典型的互联网实例。

本书内容翔实, 语言精练, 是计算机与通信工程技术人员掌握互联网原理和工程实践要领的良师益友, 也是有关专业教师备课和安排课程实践的参考书。

现代通信网络技术丛书

高速计算机互联网络

-
- ◆ 编 著 李 星 黄永峰
责任编辑 陈万寿
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鸿佳印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 17.75
字数: 431 千字 2005 年 6 月第 1 版
印数: 1—4 000 册 2005 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-12857-X/TN · 2366

定价: 34.00 元

读者服务热线: (010) 67129258 印装质量热线: (010) 67129223

序 言

信息社会正在到来，正在飞速而深刻地改变着整个人类社会的内涵与外貌。如果说工业社会财富增长的源动力来自于社会化大分工，来自于“核裂变”，由“裂变”释放能量，那么，信息社会财富增长的原动力则来自于社会化的聚合、整合，来自于“核聚变”，由“聚变”释放能量，创造财富。信息时代也就是“核聚变”时代，互联网则是促成这种“核聚变”的核心技术，它像火一样改变着人类的各种活动，重组我们的社会。

组成信息社会的核心技术之一就是计算机互联网。超高速光通信技术、高速无线通信技术、光计算和生物计算技术等研究的进展会使计算机互联网络技术在未来 10 年内产生新的飞跃，从而导致目前的网络环境 and 应用方式发生巨大变化，朝着“更大、更快、更安全、更及时、更方便”的方向发展。

信息社会和正在逐渐形成的全球化知识经济形态对计算机互联网络提出了新的要求，需要人们对它的功能结构作出全新的思考，构造出新的高速计算机互联网络功能模型、协议体系结构以及一系列新型的关键协议和单元技术理论。这种新一代的高速计算机网络体系结构应该没有重大的安全缺陷，具有主动性、适应性、可扩展性和服务的可集成性等特征。这些新的高速计算机互联网络理论和方法将突破传统理论的限制，在网络规模和复杂性发生量级变化时仍然能够处理网络信息交换和网络安全等问题。这将改变目前对现有互联网体系结构需要不断进行修修补补的被动状态，为未来计算机互联网络在安全性、实时性、可管理性、可用性等方面的要求提供研究基础。

李星教授作为“大爆炸”时代的建设者之一，希望为这个崭新的时代增添一份光和热。正是基于上述美好愿望，李星教授和他的助手黄永峰博士历经一年多时间，完成了《高速计算机互联网络》这部著作。

作为一部列入“十五”国家重点图书出版规划项目的高科技著作，李教授他们在策划此书时，不是追求内容上的大而全，而是力求反映当前互联网的最新技术和最前沿问题。因此，本书从网络传输技术、IP 移动网络技术、网络互联技术以及中间件和互联网应用等方面，对当前互联网的热点研究领域进行了深入研究和分析，这是本书突出的特点。李星教授作为主要技术负责人之一，主持了“中国教育和科研计算机网（CERNET）”的规划和建设，同时一直活跃在国际互联网学术领域，对我国、美国等国家在互联网方面的实践工作具有丰富的实际经验、独到的见解和卓越的预见能力。这些从本书，特别是最后介绍的几个典型的互联网实例中可见一斑。另外，本书在内容组织上，还有一个重要特点是强调高速互联网技术，这是组成下一代互联网（NGI）的核心技术。因此对于想了解 NGI 的读者，本书是一个很好的选择。

任何一位科技著作的作者，都是科学技术的忠诚传播者。我们希望有越来越多的人来了解互联网，并受益于互联网，同时希望我国能早日建成具有中国特色、代表国际先进水平的互联网络。我十分赞赏本书作者为实现这个美好愿望而作的努力，特为此书作序。

让我们一起播撒阳光、播种希望、创造未来！

吴佑寿

前 言

随着微电子技术、计算机技术和通信技术的迅速发展和相互渗透，高速计算机网络技术已成为当今最重要的技术之一。在 21 世纪，计算机网络尤其是互联网技术必将改变人们的生活、学习、工作乃至思维方式，并对科学、技术、政治、经济乃至整个社会产生巨大的影响，每个国家的经济建设、社会发展、国家安全乃至政府的高效运转都将越来越依赖于互联网。

全球互联网的持续发展是网络领域最令人感兴趣的现象之一。30 年前，互联网仅是一个只有几十个节点的研究项目。今天的互联网已成为一个连接亿万人的通信系统。在全球范围内，互联网连接了大多数的企业、大学、科研机构以及政府部门，并将很快连接大多数的中小学。另外，许多家庭也能通过各种接入方式与互联网相连，并且新技术正在提供更高带宽的连接服务。互联网也对经济发展产生较大的影响。数据网络使个人化的远程通信成为可能，并改变了商业通信的模式。一个完整的用于发展网络技术、网络产品和服务的新兴产业链已经形成。

然而，随着互联网技术的发展以及应用的普及，特别是实时音频、视频在互联网中应用的普及，人们对互联网速度的要求也越来越高。因此，有关如何提高互联网的速度，组建高速互联网的技术也正如雨后春笋，层出不穷。本书没有覆盖计算机网络或者是互联网的所有方面，而是重点论述目前计算机网络的最新技术，特别是实现“高速互联网”的有关技术。

全书分为 9 章，首先简单介绍了互联网的基础知识，分析了当前互联网存在的问题。然后从数据传输、移动网络、网络互联、中间件和互联网应用等方面介绍了当前的最新技术和发展现状。最后介绍了中国、美国等国家在互联网方面的实践工作和几个典型的互联网实例。

本书以一种清晰并易于接受的方式将深奥的互联网技术问题介绍给读者。本人是互联网早期的研究者之一，多年从事互联网的科研、教学以及国际合作等方面的工作。本书以独特的方法把技术上的准确性和当前网络的研究热点结合起来，充分体现了网络技术发展的时效性。

本书由我和黄永峰博士共同完成，是我们数年心血的结晶。国家新闻出版总署将本书列为“十五”国家重点图书出版规划项目，这是对我们的极大信任与鼓励。在本书的编写过程中，中国工程院吴佑寿院士悉心指导，许多同行、同事也给予了大量的帮助。在此，一并表示由衷的感谢。同时，希望各位专家、各界读者对本书存在的不妥之处进行批评与指正。

李 星

目 录

第 1 章 互联网概述	1
1.1 互联网的发展过程	1
1.1.1 互联网的历史	1
1.1.2 互联网应用的发展	4
1.2 互联网的体系结构	5
1.2.1 OSI 的参考模型	6
1.2.2 TCP/IP 参考模型	8
1.2.3 OSI 和 TCP/IP 分层模型的比较	9
1.3 高速互联网相关技术简介	10
1.3.1 高速主干网技术	12
1.3.2 互联网的高速接入技术	15
第 2 章 互联网面临的挑战	18
2.1 互联网面临的挑战	18
2.2 下一代互联网	22
第 3 章 传输技术新进展	27
3.1 高速以太网网络技术	27
3.1.1 以太网原理及发展	27
3.1.2 快速以太网	29
3.1.3 吉比特以太网	31
3.1.4 10 吉比特以太网	33
3.2 SDH 技术	37
3.2.1 SDH 概述	38
3.2.2 SDH 技术原理	40
3.2.3 SDH 网络结构	45
3.2.4 IP over SDH	48
3.3 IP over DWDM 技术	59
3.3.1 IP over DWDM 的概念	59
3.3.2 光通信系统	59
3.3.3 DWDM 技术	61
3.3.4 IP over DWDM	67
第 4 章 移动互联网技术	77
4.1 移动互联网的基本特点	77
4.1.1 无线物理层和数据链路层	77
4.1.2 无线网络层	82
4.1.3 无线传输层	83

4.1.4 无线应用层	83
4.2 移动 IP 的原理	84
4.2.1 移动 IPv4	84
4.2.2 移动 IPv6	86
4.3 IEEE 802.11 信道接入算法	93
4.4 移动多播	95
4.4.1 移动多播解决方案	95
4.4.2 移动多播的前沿问题	97
4.4.3 各种移动多播方案的比较	101
第 5 章 路由和交换技术进展	102
5.1 路由技术概述	102
5.2 路由算法	104
5.2.1 设计路由算法的基本要求	104
5.2.2 路由算法中使用的度量	105
5.2.3 距离向量算法	105
5.2.4 环路探测和保护	107
5.2.5 链路状态算法	108
5.2.6 混合路由算法	109
5.3 路由协议	110
5.3.1 开放最短路径优先 (OSPF) 协议	110
5.3.2 边界网关协议 (BGP)	111
5.3.3 路由协议的选择	112
5.4 高速路由器技术	113
5.4.1 路由器的基本结构和功能	113
5.4.2 加速路由表查找的算法	114
5.4.3 IP 路由器的体系结构	116
5.4.4 路由器的交换结构	119
5.5 高速路由器中的队列管理算法	121
5.5.1 路由器中的拥塞控制算法	121
5.5.2 路由器中的队列调度——公平排队算法	124
5.5.3 路由器中的队列调度——轮循调度算法	126
5.6 交换路由技术	129
5.6.1 MPLS 基本原理	129
5.6.2 标记格式	130
5.6.3 标记分发协议 (LDP)	131
5.6.4 标记交换的优点	132
5.7 光交换技术	133
5.7.1 光交换的体系结构和关键技术	133
5.7.2 光交换机	135

5.7.3	光分组交换方法	136
5.7.4	标记交换和光网络连接	137
5.8	下一代互联网协议 IPv6	139
5.8.1	IPv6 产生的原因	139
5.8.2	IPv6 的头部结构	141
5.8.3	IPv6 扩展头部	143
5.8.4	IPv6 地址结构	144
第 6 章	中间件和安全技术的进展	152
6.1	中间件技术概述	152
6.1.1	中间件的分类	152
6.1.2	中间件优点	155
6.2	轻量目录访问协议	156
6.2.1	目录服务的组成	156
6.2.2	LDAP 四种基本模型	158
6.2.3	LDAP 的应用	161
6.3	可扩展标记语言	163
6.3.1	XML 的优点	163
6.3.2	XML 文件	164
6.3.3	XML 文件的逻辑结构	165
6.3.4	XML 文件的实体结构	166
6.3.5	XML 相关技术	167
6.3.6	XML 应用	169
6.4	微软.NET	170
6.4.1	技术简介	170
6.4.2	Web Services 架构	171
6.5	Jini 系统	176
6.6	互联网安全协议与安全防护体系	177
6.6.1	IP 层安全 IPSEC	177
6.6.2	传输层安全 SSL (TLS)	179
6.6.3	应用层的安全性	181
6.6.4	防火墙	182
6.6.5	入侵检测	184
6.6.6	紧急响应和恢复	185
第 7 章	传输层技术进展	186
7.1	传输层概述	186
7.2	TCP 协议的流量控制和拥塞避免	189
7.2.1	TCP 数据传输与流量控制	189
7.2.2	TCP 的超时重传和拥塞控制	191
7.3	实时传输协议 RTP 与 RTCP	197

7.3.1	RTP 数据包格式及功能	197
7.3.2	RTCP 控制包格式及功能	199
7.4	基于 RTCP 的服务质量的动态监控	202
7.4.1	多媒体通信的典型服务质量参数	202
7.4.2	服务质量的动态监测	203
7.4.3	服务质量参数在实际应用中的意义	207
7.4.4	服务质量控制的三种方法	207
第 8 章	应用技术进展	209
8.1	互联网的基本应用服务	209
8.1.1	DNS 服务	209
8.1.2	电子邮件服务	214
8.1.3	文件传输服务	218
8.1.4	WWW 服务	221
8.2	网络管理	225
8.2.1	简单网络管理协议	225
8.2.2	基于 Web 的管理	229
8.2.3	公共管理信息协议	230
8.3	互联网下的多媒体通信应用技术	232
8.3.1	VoIP 技术	232
8.3.2	流媒体技术	238
8.3.3	视频会议与 MCU 技术	243
8.4	互联网应用扩展技术	245
8.4.1	网格计算	245
8.4.2	对等网技术	247
8.4.3	集群技术	249
8.4.4	存储区域网	251
第 9 章	国内外案例分析和实践	253
9.1	我国高速互联网的实践	253
9.1.1	互联网在我国的发展	253
9.1.2	NSFCNET 总体结构	256
9.1.3	NSFCNET 系统组成	258
9.1.4	NSFCNET 的先进性	260
9.1.5	CERNET2	261
9.2	美国高速互联网的实践	262
9.2.1	NGI	264
9.2.2	vBNS	265
9.2.3	Internet 2	267
9.2.4	下一代互联网三大计划的相互关系	268
参考文献		270

第 1 章 互联网概述

本章将简要介绍互联网的发展过程和发展趋势以及下一代互联网的特点；同时介绍互联网的基本概念和基本知识，包括网络的体系结构，如 ISO 的 OSI 7 层模型和互联网的 4 层模型；最后介绍高速互联网的新技术。

1.1 互联网的发展过程

经济学家认为：人类进入工业社会以来，便经历着景气波动，并把这种标志着经济发展情况的景气波动称之为“康道拉恰夫浪潮”，人类至今已经历过四次这种浪潮。第一次浪潮是由产业革命引起的，第二次浪潮是因铁路和钢铁业的发展而引起的，第三次是由电力和化工的发展而引起的，第四次是因汽车和电子的发展而引起的。这四次浪潮经历的时间是 1789~1995 年，前后大约经历了 200 年。从现在起推动经济回升的是第五次浪潮，它的原动力主要是互联网技术的发展。其对应的时间是 1995~2055 年，2055 年将达到高峰。由通信技术与计算机技术结合所产生的互联网技术，正在形成了一种新兴产业，它将成为 21 世纪的带头产业和支柱产业。

1.1.1 互联网的历史

所谓互联网是指采用 TCP/IP 协议将分布于世界各地的计算机网络互连成一个整体。目的是使不同的计算机之间进行数据和音频、视频等信息交换和传输。纵观互联网的发展过程，可以分为如下几个阶段。

1. 互联网产生的初始阶段

互联网起源于 20 世纪 60 年代。在当时美苏两个超级大国对峙的冷战氛围下，如何使美国的权力机构在遭受核打击之后仍能成功进行通信成为兰德 (RAND) 公司面临的一个战略问题。于是，RAND 公司提出了一种新的网络体系。这种新的网络主要特点是：整个网络没有中央控制机构，能在不完整的状态下工作；网络中所有的节点都是对等的；所有的节点都能发送和接收消息；所有的消息都用数据分组来发送，每一个分组都有独立的头部；这些数据分组从一个节点发送到另一个节点。这也就形成了当今互联网的最本质的特征。

在 1969 年，美国国防部采用这种新的网络设计思想组建了 ARPAnet。ARPAnet 初始建立的时候只有 4 个节点，主要是为科学家提供计算机之间的远程通信和资源共享，这就是现代互联网的雏形。最初，ARPAnet 主要用于军事研究目的，它具有如下的特点：

- 支持资源共享
- 采用分布式控制技术
- 采用分组交换技术
- 使用通信控制处理机
- 采用分层的网络通信协议

ARPAnet 最早采用 NCP 协议，于 1983 年 1 月 1 日升级为 TCP/IP 协议。

2. NSFNET 发展阶段

美国国家科学基金会想把超级计算机应用于科学研究，因此他们建立了 6 个超级计算机中心。为了把这些超级计算机中心相互连接在一起，他们采用 TCP/IP 协议建立了他们自己的网络，这就是 NSFNET 的主干网。该网建于 1986 年，主要服务于教学和科研。NSF 在全国建立了按地区划分的计算机广域网，并将这些地区网络和超级计算中心相连，最后将各超级计算中心互联起来。连接各地区网上主通信节点计算机的高速数据专线构成了 NSFNET 的主干网。这样，当一个用户的计算机与某一地区网相连以后，它除了可以使用任一超级计算中心的设施，同网上任一用户通信外，还可以获得网络提供的大量信息和数据。这一成功使得 NSFNET 于 1990 年 6 月初彻底取代了 ARPAnet 而成为互联网的主干网。

3. 全球化发展阶段

在 20 世纪 90 年代以前，互联网主要是用于科学研究、学术交流、教育以及新闻传播等领域。在进入 90 年代以后，尤其是从 1993 年之后，随着 WWW 技术的出现，商业应用在互联网上取得飞速发展。这个覆盖全球的网络以其无可比拟的优势向人们暗示着巨大的和潜在的商业利益。1994 年美国的互联网由商业机构全面接管，这使互联网从单纯的科研网络演变成一个世界性的商业网络。1995 年，商业网络已经取代了 NSFNET 的地位，运行、维护和管理着互联网，并将网络向全球社会成员开放。世界各国纷纷连入互联网，各种商业应用也一步步地加入到互联网，成千上万的大小企业趋之若鹜，纷纷加入到互联网中。网络中各种新的技术和运用不断产生，吸引了越来越多的用户到互联网中来。互联网的商业化推动了 20 世纪 90 年代后半期直到现在的互联网的迅猛发展。

图 1-1 给出了互联网中 WWW 网站数目的增长（引自 <http://www.zakon.org/robert/internet/timelin/>）。其中，网络数目是按传统的 A、B、C 类网络划分的数目。

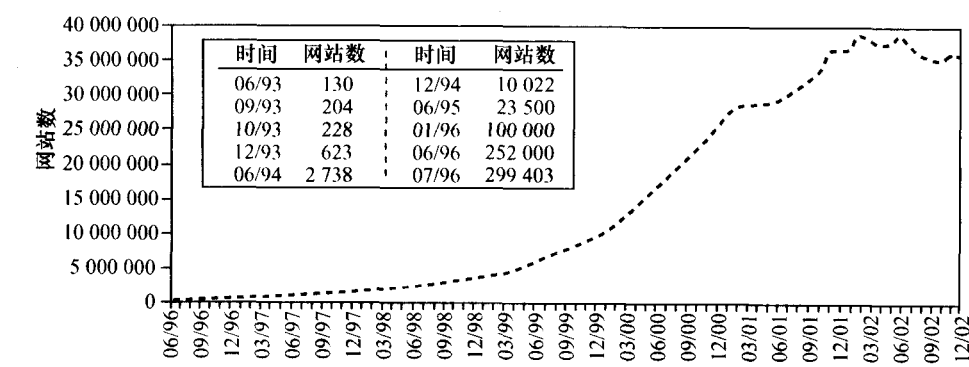


图 1-1 互联网中 WWW 网站数目的增长

互联网是目前国际上规模最大的计算机网络，世界上任何一个地方的互联网用户都可从互联网中获取所需的信息，如自然、社会、历史、科技、教育、卫生、医疗、娱乐、政治、经济、文化、金融、商业、军事、环境、地理等，互联网被看作全球最大的信息宝库和最大的图书馆。互联网是人类历史发展中的一个伟大里程碑，人类将由此进入一个前所未有的信息化社会。互联网将对人类文明进步和科技发展产生深远的影响。表 1-1 展示了互联网在各个发展历程中的主机数目、互联网的网络数目和域数。其中主机数是指具有注册 IP 地址的计

算机系统（A 类地址）数目，网络数是指注册的 A/B/C 类地址的网络数目，域数表示注册域名（具有域名服务器记录）的数目。

表 1-1 互联网的发展历程

日 期	主 机 数	日 期	主 机 数	网 络 数	域 数
12/69	4	07/89	130 000	650	3 900
06/70	9	10/89	159 000	837	
10/70	11	10/90	313 000	2 063	9 300
12/70	13	01/91	376 000	2 338	
04/71	23	07/91	535 000	3 086	16 000
10/72	31	10/91	617 000	3 556	18 000
01/73	35	01/92	727 000	4 526	
06/74	62	04/92	890 000	5 291	20 000
03/77	111	07/92	992 000	6 569	16 300
12/79	188	10/92	1 136 000	7 505	18 100
08/81	213	01/93	1 313 000	8 258	21 000
05/82	235	04/93	1 486 000	9 722	22 000
08/83	562	07/93	1 776 000	13 767	26 000
10/84	1 024	10/93	2 056 000	16 533	28 000
10/85	1 961	01/94	2 217 000	20 539	30 000
02/86	2 308	07/94	3 212 000	25 210	46 000
11/86	5 089	10/94	3 864 000	37 022	56 000
12/87	28 174	01/95	4 852 000	39 410	71 000
07/88	33 000	07/95	6 642 000	61 538	120 000
10/88	56 000	01/96	9 472 000	93 671	240 000
01/89	80 000	07/96	12 881 000	134 365	488 000
		01/97	16 146 000		828 000
		07/97	19 540 000		1 301 000
		01/98	29 670 000		
		07/98	36 739 000		
		01/99	43 230 000		
		07/99	56 218 000		
		01/00	72 398 092		
		07/00	93 047 785		
		01/01	109 574 429		
		07/01	125 888 197		
		01/02	147 344 723		
		07/02	162 128 493		

从上面的统计数据可以看出，2002 年 7 月，接入互联网的主机数已高达 1 亿 6212 多万台，根据摩根斯坦利预测，从 2001 年至 2005 年，全球互联网用户年均增长依然保持 20%的强劲势头，到 2005 年，全球互联网用户人数将超过 8 亿人，其中亚太地区国家在增长中占据

了重要的部分。到 2003 年初, 互联网中的 WWW 网站已经达到 4000 多万个。从图 1-1 中还可以看出来, 互联网的增长方式在很长的一段时间里呈指数增长, 并且现在还看不出增长趋势的改变。

1.1.2 互联网应用的发展

互联网创建的最初目的是计算机之间通信、资源共享以及用户远程访问。因此, 早期的互联网主要是用于电子邮件、电子布告、远程登录、全球浏览、数据通信和文件传输, 但是随着计算机网络技术的飞速发展和多媒体技术应用的日益深入和普及, 基于互联网的多媒体通信已成为当前互联网发展的趋势之一。比较典型的应用体现在如下几个方面。

1. IP 电话

IP 电话是互联网多媒体通信的一种典型应用, 成为当前计算机网络技术和通信技术研究的热点, 也是互联网增长最快的应用。据国际数据公司统计, IP 电话的市场业务量已从 1995 年的 350 万美元上升到 1999 年的 5.6 亿美元, 2000 年营业额为 30 亿美元, 并且全球有 15% 的用户使用 IP 电话, 预计在 2005 年, 使用 IP 电话的用户数将会增长 34%。五年的增长率为 149%, 而传统电话的增长率为 15%。人们之所以对 IP 电话抱着如此大的兴趣和保持如此乐观的态度, 有三个主要原因: (1) IP 电话在很大程度上减少了长途 (国际、国内) 电话费用。(2) IP 电话的使用标志着一种全新的功能更强的通信方式的产生, 从而可以打破电话的垄断市场。因为与传统的传输媒体相比较, IP 电话不仅具有传统媒体所具有的一切表现形式和特点, 而且传播信息容量大、不受时空限制, 突破了传统地缘政治、地缘经济的概念, 形成以传输信息为中心的跨国界、跨文化、跨语言的全新的传媒方式。因此, IP 电话作为现有电话的竞争对手在将来的发展中会形成很大的市场。(3) 符合未来“三网融合”(电话网、有线电视网、数据网) 的发展方向。许多网络专家都指出, 网络的发展趋势是“IP 一统天下”, “everything over IP”是网络发展的目标。据报道, 全球电信业巨子 AT&T 的首席执行官 Michael Armstrong 最近说“我们要在全球把电话变成最普通的 IP 设备”, 这或多或少地代表了对今后网络发展的一种观点。

2. 远程教育

广义上, 远程教育是指将课件传送给外地的一处或多处学员的教育。19 世纪 30 年代开始的商业函授课程是远程教育的开始。随着互联网的发展, 以互联网为平台, 利用网络技术开展远程教育, 使得远程教育的形式和特征发生了深刻的变化。在互联网中, 远程教育是指通过音频、视频 (直播或录像) 及包括实时和非实时在内的计算机技术把培训课程传送到校园外的教育。利用互联网进行远程教学可以打破传统远程教育中教师和学生、学生和学生之间的相对孤立状态。这种交互性是接近于实时的、并且是可以利用多种渠道实现。比如电子邮件、BBS、WWW、基于网络的协作学习系统、网上在线交谈等等。利用网络进行远程教育, 可全天 24 小时进行。每个学员都可以根据自己的实际情况来确定学习时间、内容和进度, 可随时在网上下载相关学习内容或向老师和同学请教, 实现学习的异步性。

3. 远程医疗

远程医学 (telemedicine) 从广义上讲是使用远程通信技术和计算机多媒体技术提供医学信息和服务。它包括远程诊断、远程会诊及护理、远程教育、远程医学信息服务等所有医学活动。远程医学从狭义上讲是指远程医疗, 包括远程影像学、远程诊断及会诊、远程护理等医疗活动。简单地说, 病人与提供医疗服务的机构不在同一个地方, 在它们之间病情信息和

医疗服务通过网络传递。美国未来学家阿尔文·托夫勒曾经预言：“在未来医疗活动中，医生将面对计算机，根据屏幕显示的从远方传来的病人的各种信息对病人进行诊断和治疗”，这一预言逐渐成为现实。

4. 虚拟现实

虚拟现实(virtual reality)是以沉浸感、交互性和构想为基本特征的计算机高级人机界面。它综合利用了计算机图形学、仿真技术、多媒体技术、人工智能技术、计算机网络技术、并行处理技术和多传感器技术，模拟人的视觉、听觉、触觉等感官功能，使人能够沉浸在计算机生成的虚拟境界中，并能够通过语言、手势等自然的方式与之进行实时交互，创建了一种适人化的多维信息空间。使用者不仅能够通过虚拟现实系统感受到在客观物理世界中所经历的“身临其境”的逼真性，而且能够突破空间、时间以及其他客观限制，感受到在真实世界中无法亲身经历的体验。虚拟现实技术具有超越现实的虚拟性。虚拟现实技术与计算机网络的结合，在网络中实现虚拟现实的场景，能够开辟网络中的新应用。如在远程教育中采用虚拟现实技术将大大提高教学的效果；在电子商务中提供的虚拟现实技术可以使用户对产品和服务有切身的体验；在网络游戏中运用虚拟现实技术将提高游戏的逼真度，使得玩家的体验更为真切。当然，在网络中提供虚拟现实技术也对网络的条件提出了很高的要求，由于在虚拟现实技术中所需要传输的数据包括视觉、听觉、触觉、味觉等各个方面，数量巨大，需要网络的带宽在 100Mbit/s 以上。

5. 视频点播 (VOD)

视频点播 (Video On Demand, VOD) 系统是编解码压缩技术、图像传输技术与 WWW 技术的结合。各种视频节目放在服务器端，用户可以随时点播自己想看的节目，具有快进、暂停、回放等功能。广播是指用户被动地收看收听服务器定时播放的节目，但不能进行快进、回放等操作，正如我们看电视一样。广播需要 IP 多播 (multicast) 协议的支持，以节省带宽。该项应用已经逐步普及，在网上可以看到许多提供视频电影服务的站点。也有些公司用它来做网上新闻发布、培训等。

6. 基于 Web 的呼叫中心

基于 Web 的呼叫中心是互联网发展的又一个主要应用，呼叫中心和互联网的结合，能实现互联网的语音技术、交互式的网页浏览技术和现有呼叫中心的交换机技术的有机结合，极大地丰富了呼叫中心的功能，同时使得互联网成为真正的呼叫中心的扩展。

随着互联网业务及其接入用户数的飞速增加，带宽一直是限制互联网多媒体通信发展的主要因素。特别是上述多媒体应用的普及，对互联网的传输能力提出了更高的要求。因此，建立高速的互联网是当前互联网领域研究的重中之重。

1.2 互联网的体系结构

互联网是一个复杂系统。TCP/IP 的体系结构是这一系统的核心，而 TCP/IP 体系结构是采用如下基本原则。实践证明，这些基本的原则后来成为互联网得以不断迅速发展的重要支柱。

- 分布式的结构
- 端到端通信 (end-to-end)
- 对等实体间通信 (peer-to-peer)

- 以一致的网络层技术为核心，适应多种网络、异种系统的互联
- 支持多样性的应用

本节将首先简要分析 OSI 体系结构的分层模型，然后介绍 TCP/IP 体系结构的特点以及与 OSI 7 层模型的比较。

1.2.1 OSI 的参考模型

最早的计算机网络设计中首先考虑的是硬件，然后才是软件，由于计算机网络的复杂性，这样的设计没有效果。计算机网络是一个复杂系统，为了减少软件设计中的复杂性，常常将网络系统分成不同的层次。为了建立网络的分层模型，需要引入如下概念。

- 不同的网络模型，将网络系统分成若干层，不同的层执行不同的功能。各个层之间相互配合完成通信功能。每一层通过接口向上一层提供特定的服务，接口就是下层向上层提供的原语操作和服务，接口屏蔽了本层的功能细节

- 在不同主机上的相同层的实体称为对等体 (peers)。通信就是在对等体之间进行的，这是计算机网络中涉及的一个基本原则

- 为了进行对等体之间的通信，需要对速率、传输代码、代码结构、传输控制步骤、差错控制等制定标准，这就是协议

因此，接口是分层模型中一个很重要的概念。在确定了网络分为多少层和各层的功能之后，接口的定义很重要。接口包括两个方面：一是硬件，功能是实现节点之间的信息传送；二是软件，功能是规定双方进行通信的约定协议。接口通常由三部分组成：一是语义部分，用于决定双方对话的类型；二是语法部分，用于决定双方对话的格式；三是变换规则，用于决定通信双方的应答关系。

基于上述分层设计思想，1977 年，国际标准化组织 (ISO) 下设了一个专门委员会 SC16 来着手制订开放系统互联的有关标准。所谓开放系统，是指任何信息系统只要遵循这一国际标准进行构造，就可以与世界上所有遵循这同一标准的其他系统互联和互通。该委员会于 1979 年完成了基于功能分层概念而开发的结构模型，称为 OSI (开放系统互联) 参考模型。同年年底，国际电话电报咨询委员会 (CCITT) 认可并采纳了这一国际标准的建议文本。

OSI 参考模型为开放式互联信息系统提供了一种功能性的框架，其分层结构如图 1-2 所示。

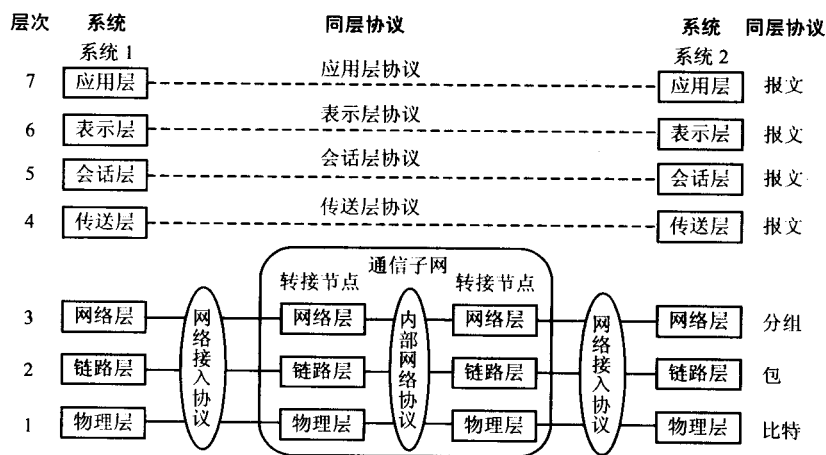


图 1-2 OSI 参考模型

OSI 参考模型分为 7 层，从下到上分别称为第 1 层到第 7 层，它们的功能分别是：

① 物理层

物理层考虑的是如何在通信信道上传输原始比特，即保证在一方发送的是 1 的情况下对方收到的也是 1 而不是 0。为了将电话线、同轴电缆等物理介质用作通信线路，需要进行电气的、机械的以及物理的管理，以保证比特的传送。例如通信介质的标准，调制解调器信号的管理，这些是物理层协议内容。

② 数据链路层

通过检查发生在邻接通信系统间传送线路上的比特错误并进行恢复，确保比特序列组成的数据流（数据块）准确无误地传送给对方的系统。发送方将输入数据转换成数据帧，然后顺序发送，并且处理接收方发出的确认帧。数据链路层软件需要处理数据帧的丢失、损坏和重复发送，需要避免发送方的发送速率比接收方大导致的问题。

③ 网络层

使用数据网（分组网和线路交换网）、电话网等各种通信网，与通信对方系统之间建立通信路径，需要进行中继、路由选择管理，以保证终端系统间的数据传送。这时，要用最佳的代价来设定通信路径，以实现上面的传输层所必需的吞吐量（throughput）、传输延迟等传送要求。

④ 传输层

通信两端的终端系统，在通信进程间进行实际的数据传送，并保证传输的正确性，同时保证通信的质量。当传送出错概率较高时，要通过检错、恢复等手段提高数据传送的可靠性。当线路利用率过高时，需要采用拥塞控制算法。为了使用便宜的通信费用传送数据，常采用在一条网络连接中组合多条传送连接的多路复用方式。

⑤ 会话层

在进程间进行通信时，通常是通过相互同步来传送有一定含义的信息。例如在传送较长的文件时，采用以“页”为单位进行确认，确认后再传送下一页的方法。为此，在本层要对进程中必要的信息传送方式（如半双工、全双工的管理，发送权的管理）、进程间的同步以及重新同步进行管理，这些功能统称为会话管理。

⑥ 表示层

一般来说，每个进程的数据结构都是不同的，在进程间进行通信时，有必要使用双方都能处理的通用数据结构进行传送。这里所说的数据结构，不仅仅指 ASCII 和 EBCDIC 等符号，描述各个进程本身的语法也包括在内。为此，在本层中要决定进程间传送的数据结构（语法），必要时，要把每个进程自己具有的数据结构变换为传送所必需的通用数据结构。

⑦ 应用层

本层是最高层，没有面向上层的服务定义。只把进程中与对方进程进行通信的部分放入 OSI 的环境中（称为应用实体），同时，还需要对各种业务的通信功能进行管理。

OSI 参考模型的下面 3 层，通信是在每个节点机器与它们的直接邻居之间进行的。而上面 4 层是端到端的，即通信是在源节点和目标节点之间进行。发送过程是从应用层接收到数据之后，由上到下直到物理层，通过物理链路将数据传输到接收方，然后由下到上把数据传送给接收程序。但是，在参考模型中各层的通信在逻辑上是在同层之间进行的。

1.2.2 TCP/IP 参考模型

TCP/IP 体系结构已经成为当今网络协议的主流和事实上的工业标准，得到了广泛的应用和支持。TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 协议是在 ARPAnet 产生的，目的是使不同厂家生产的计算机能在共同网络环境下运行，实现异构网之间的无缝连接。TCP/IP 为互联网所采用，并成为事实上的标准。TCP 是传输控制协议，规定一种可靠的数据传递服务。IP 协议又称互联网协议，是支持网间互联的数据报协议。它提供网间互联的完善功能，包括 IP 数据报规定互联网络范围内的地址格式。TCP/IP 这个术语并不仅仅指 IP 和 TCP，它包括许多与之相关的协议，是一个协议簇。

1. TCP/IP 4层模型

TCP/IP 参考模型有 4 层：应用层、传输层、网络层、网络接口层。图 1-3 给出了 TCP/IP 的网络体系结构，作为比较，图中也给出了 OSI 7 层参考模型。

TCP/IP							OSI		
应用层	FTP\HTTP\Telnet\SMTP\POP3\SNMP\DNS						应用层		
传输层	TCP\UDP						表示层		
网络层	IP\ICMP\ARP\IGMP						会话层		
网络接口层	Ethernet	FDDI	ATM	FR	X.25	ISDN	传输层		
							网络层		
							数据链路层		
							物理层		

图 1-3 TCP/IP 参考模型

(1) 网络接口层

这是 TCP/IP 网络模型的最低层，负责数据帧的发送和接收。这一层从 IP 层接收 IP 数据报并通过网络发送之，或者从网络上接收物理帧，抽出 IP 数据报，交给 IP 层。TCP/IP 模型没有对位于该层的设备作过多的说明，任何可以传送 IP 数据报的设备都可以成为该层的设备。

(2) 网络层

网络层将数据包封装成 IP 报文，注入网络中，运行必要的路由算法使数据报独立到达目的地。这一层的功能如同邮政系统在信件传递中所起的作用相似。对用户来说，信件的传递是透明的。本层的中心工作就是 IP 报文的路由，这是通过路由协议和系统进行的。另外，本层也可进行流量控制。

(3) 传输层

传输层在计算机之间提供端到端的通信。两种传输协议分别是传输控制协议 (TCP) 和用户数据报协议 (UDP)。TCP 为应用程序提供可靠的面向连接的服务，通过差错控制和流量控制，保证数据传送准确无误，因此，TCP 的一个最主要功能是流量控制。TCP 适合于准确传输大批数据的情况或者传输要求得到响应的情况。UDP 提供无连接的传输服务，不对传送报文提供可靠性保证，不保证数据报有序到达，不提供流量控制，但是，目前正在研究采用 TCP 友好方式来实现 UDP 的流量控制。UDP 数据传输的可靠性由应用层负责。实际中选择哪一种传输协议要根据数据传输要求而定。