

普通高等学校网络工程专业规划教材

Computer Network

计算机网络教程

周鸣争 主编

严楠 丁刚 陆奎 袁志祥 副主编

清华大学出版社

普通高等学校网络工程专业规划教材

计算机网络教程

Computer Network

周鸣争 主编

严楠 丁刚 陆奎 袁志祥 副主编

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是一本介绍计算机网络原理的教程。全书共分为 9 章,比较全面系统地介绍了计算机网络体系结构、物理层、数据链路层、局域网、网络层与网络互连、运输层、应用层、多媒体网络、网络安全与网络管理等内容。在附录中,收录了一些与本书相配套的算法和相关的 RFC 文档,并给出了部分习题的答案与提示,供读者参阅。

本书层次清晰,内容全面系统,图文并茂,注重理论与实践的结合。在突出基本原理和基本概念阐述的同时,力图反映出计算机网络的一些新发展。

本书可以作为高等院校计算机专业以及电子信息类专业本科生或研究生教材,也可供从事计算机网络应用与信息技术的工程人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络教程/周鸣争主编. —北京:清华大学出版社,2011.2

(普通高等学校网络工程专业规划教材)

ISBN 978-7-302-24091-4

I. ①计… II. ①周… III. ①计算机网络—高等学校—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 228567 号

责任编辑:袁勤勇 薛 阳

责任校对:李建庄

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:24

字 数:599 千字

版 次:2011 年 2 月第 1 版

印 次:2011 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:35.00 元

前 言

计算机网络是当今计算机科学与技术学科中发展最为迅速的技术之一,也是计算机应用一个空前活跃的领域。在美国 ACM 和 IEEE CC2005 以及我国《中国计算机科学与技术学科教程》(简称 CCC2002)中,都已将“计算机网络”列为专业核心课程。计算机网络已成为广大学生学习的一门重要课程,也是从事计算机应用与信息技术专业人员应该掌握的重要知识。本书正是在借鉴 IEEE CC2005 课程体系和 CCC2002 基本要求的基础上,遵循优化结构、精选内容、突出重点和提高质量的原则,结合计算机网络技术的最新进展和作者多年从事本科及研究生计算机网络课程教学,以及“计算机网络”精品课程建设的实践,基于 Internet 协议体系确定了其组织与结构。希望为广大读者提供一本既保持知识的系统性,又能反映当前网络技术发展最新成果,层次清晰,循序渐进,理论联系实际,易于学习的教科书。

本书共分为 9 章,第 1 章讨论了计算机网络的基本概念,介绍了计算机网络的体系结构及协议,对 OSI 参考模型与 TCP/IP 参考模型进行了分析与比较。第 2 章在介绍数据通信基础知识的基础上,对物理层的基本概念和主要协议进行了讨论,对常用的宽带接入技术进行了介绍。第 3 章讨论了基于点对点链路的数据链路层的基本概念和 HDLC、PPP 等协议。第 4 章讨论了介质访问控制方法及以太网局域网,同时介绍了无线局域网和虚拟局域网技术。第 5 章对网络层的基本概念、路由选择、IP 协议、路由器进行了系统的讨论,在此基础上介绍了 IPv6、IP 多播路由、移动 IP、VPN 和 NAT 技术。第 6 章在介绍运输层的功能和提供服务的基础上,对 TCP、UDP 协议以及套接字编程方法进行了系统的讨论。第 7 章讨论了应用层的基本概念和 Internet 应用层常用的 DNS、WWW、FTP、SMTP 协议。第 8 章针对 Internet 上音视频的广泛应用,系统地讨论了 RTSP、RTP 和 RTCP 协议。第 9 章讨论了网络安全的基本问题,介绍了加密与认证、防火墙与访问控制、网络攻击与防攻击技术,并对网络管理进行了系统讨论。

本书由周鸣争主编,严楠、丁刚、陆奎、袁志祥担任副主编。第 1、6 章由丁刚和夏魏编写,第 2、3 章由陆奎和葛斌编写,第 4、5 章由严楠编写,第 7、8 章由

FOREWORD

周鸣争、许杰星编写,第9章由袁志祥、唐肝翌编写。全书由周鸣争负责统稿和定稿,参与本书编写和统稿工作的还有严楠、唐肝翌等。

在本书的编写过程中得到了有关专家热心的指导与无私的帮助,清华大学出版社为本书的尽快出版做了大量的工作,编者在此一并表示衷心的感谢。此外,本书编写时还参考了大量文献资料,在此向这些文献资料的作者深表谢意。

由于编者学术水平有限,书中难免有不当和欠妥之处,敬请各位专家、读者批评指正。

编者

2010年12月

目 录

第 1 章 计算机网络概述	1
1.1 计算机网络的发展	1
1.1.1 面向终端的第一代计算机网络	1
1.1.2 以分组交换为核心的第二代计算机网络	3
1.1.3 以 OSI 为核心的第三代计算机网络	3
1.1.4 以高速和多媒体应用为核心的第四代计算机网络	4
1.2 数据交换技术	4
1.2.1 线路交换技术	5
1.2.2 存储转发技术	6
1.3 计算机网络的定义与类型	7
1.3.1 计算机网络的定义	7
1.3.2 计算机网络的类型	8
1.3.3 局域网、城域网、广域网和个人区域网	9
1.4 计算机网络的组成与功能	10
1.4.1 计算机网络的组成	10
1.4.2 计算机网络的功能	11
1.4.3 计算机网络的性能指标	12
1.5 网络体系结构及协议	13
1.5.1 体系结构与协议	13
1.5.2 ISO/OSI 网络参考模型	14
1.5.3 TCP/IP 模型	15
1.5.4 OSI/RM 和 TCP/IP 模型的区别	17
1.5.5 因特网标准	17
1.6 因特网介绍	18
1.6.1 因特网的发展	18
1.6.2 因特网在我国的发展	19
习题	21

C O N T E C T

第2章 物理层	23
2.1 物理层的基本概念	23
2.2 数据通信及编码技术	24
2.2.1 数据通信的基本概念	24
2.2.2 数据通信系统的模型	27
2.2.3 数据编码技术	29
2.2.4 基带传输技术和频带传输技术	32
2.2.5 数据传输介质	34
2.3 多路复用技术	42
2.3.1 频分多路复用	42
2.3.2 波分多路复用	43
2.3.3 时分多路复用	43
2.3.4 码分多路复用	44
2.4 常见的物理层标准	45
2.4.1 EIA RS-232-C/V. 24 接口标准	45
2.4.2 EIA RS-449, RS-422-A, RS-423-A 标准	46
2.5 常用的宽带接入技术	47
2.5.1 xDSL 技术	47
2.5.2 光纤同轴混合网	49
2.5.3 FTTx 技术	50
2.5.4 无线宽带接入技术	50
习题	54
第3章 数据链路层	56
3.1 数据链路层基本概念	56
3.1.1 数据链路层概述	56
3.1.2 数据链路层功能	57
3.1.3 数据链路层服务	58
3.2 帧与成帧	58
3.2.1 帧的基本格式	59
3.2.2 成帧与拆帧	59

3.2.3	帧的定界	59
3.3	差错检测和纠错方法	61
3.3.1	差错产生的原因	61
3.3.2	奇偶校验	61
3.3.3	海明码	63
3.3.4	循环冗余检测	64
3.4	可靠传输原理	65
3.4.1	停止等待协议	65
3.4.2	回退 N 帧协议	66
3.4.3	选择重传 ARQ 协议	69
3.5	数据链路层协议实例	70
3.5.1	高级数据链路控制	70
3.5.2	PPP 协议	70
3.6	异步传输方式	73
3.6.1	基本概念	73
3.6.2	ATM 的应用	75
	习题	76
第 4 章	局域网	78
4.1	局域网概述	78
4.1.1	局域网的功能特点	78
4.1.2	常见的局域网拓扑结构	78
4.1.3	IEEE 802 标准概述	79
4.1.4	局域网的体系结构	81
4.2	介质访问控制 CSMA/CD 协议	82
4.2.1	碰撞和检测	82
4.2.2	指数退避算法	84
4.3	以太网技术	85
4.3.1	传统以太网	85
4.3.2	快速以太网	89
4.3.3	千兆位以太网	92

C O N T E C T

4.3.4	万兆以太网	94
4.4	局域网组网设备	95
4.4.1	服务器与工作站	96
4.4.2	网卡	96
4.4.3	物理层设备与组件	97
4.4.4	网桥与交换机	99
4.5	虚拟局域网	105
4.5.1	虚拟局域网简介	105
4.5.2	虚拟局域网的实现技术	106
4.6	令牌环网与 FDDI 技术	109
4.6.1	令牌环网	109
4.6.2	令牌总线网	112
4.6.3	FDDI 技术	113
4.7	无线局域网	117
4.7.1	无线局域网标准	117
4.7.2	无线局域网的结构	120
4.7.3	IEEE 802.11 协议	120
习题		122
第 5 章	网络层和网络互连	126
5.1	概述	126
5.1.1	网络层基本概念	126
5.1.2	网络服务模型	128
5.2	网络互连	131
5.2.1	概述	132
5.2.2	IPv4 编址	132
5.2.3	IP 数据报格式	135
5.2.4	数据报转发	137
5.2.5	ARP 与 RARP	139
5.2.6	因特网控制报文协议	141
5.2.7	动态主机配置协议	143

5.3	划分子网和无分类编址	144
5.3.1	划分子网	144
5.3.2	无分类编址	149
5.4	路由选择	150
5.4.1	路由选择原理	150
5.4.2	RIP 协议	154
5.4.3	OSPF 协议	158
5.4.4	BGP 协议	160
5.5	IP 多播路由选择	162
5.5.1	多播的基本概念	162
5.5.2	IGMP	163
5.5.3	因特网中的多播路由选择	164
5.6	路由器	165
5.6.1	路由器基本结构	165
5.6.2	路由器的功能	167
5.6.3	第三层交换	167
5.7	IPv6	169
5.7.1	IPv6 的概述	169
5.7.2	IPv6 数据报格式	170
5.7.3	IPv4 到 IPv6 的过渡	171
5.8	虚拟专用网 VPN 和网络地址转换 NAT	174
5.8.1	虚拟专用网 VPN	174
5.8.2	网络地址转换 NAT	176
5.9	移动 IP	179
5.9.1	网络层中的移动性	179
5.9.2	移动 IP	179
	习题	185
第 6 章	运输层	190
6.1	运输层功能与服务	190
6.1.1	运输层作用	190

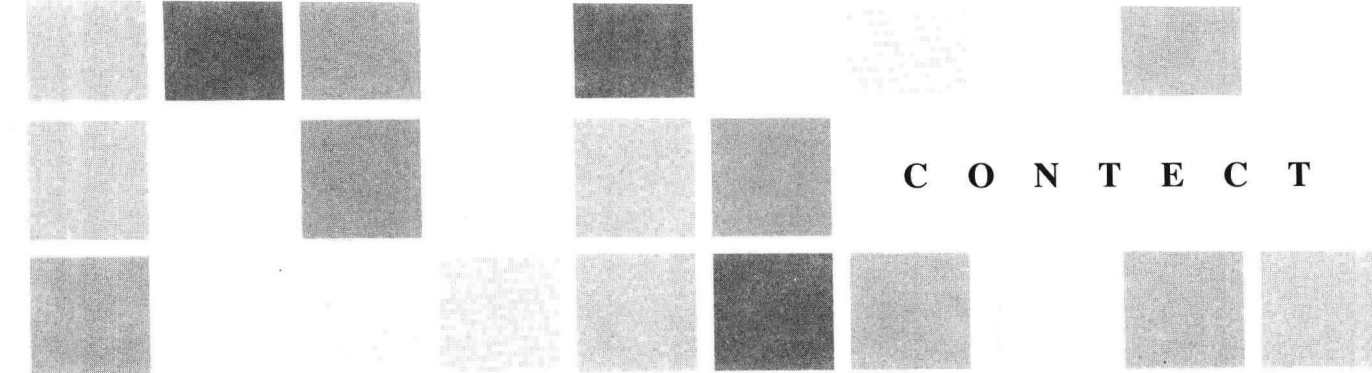
C O N T E C T

6.1.2	运输层功能	191
6.1.3	TCP/IP 体系中的运输层	193
6.2	传输控制协议 TCP	194
6.2.1	TCP 报文格式	195
6.2.2	端口和套接字	197
6.2.3	TCP 传输的实现	199
6.2.4	TCP 可靠数据传输的实现	201
6.2.5	TCP 的运输连接管理	207
6.3	用户数据报协议 UDP	210
6.3.1	UDP 概述	210
6.3.2	UDP 用户数据报格式	212
6.4	套接字编程	213
6.4.1	TCP 套接字编程	214
6.4.2	UDP 套接字编程	220
习题		223
第7章	应用层	226
7.1	概述	226
7.1.1	应用层协议	226
7.1.2	因特网中提供的服务	227
7.2	DNS	228
7.2.1	DNS 概述	228
7.2.2	DNS 的服务	231
7.2.3	DNS 记录	235
7.3	万维网 WWW	237
7.3.1	万维网概述	237
7.3.2	超文本传输协议 HTTP	244
7.3.3	HTTP 报文格式	247
7.3.4	HTTP 描述及 GET 方法	249
7.4	文件传送协议 FTP	256
7.4.1	FTP 概述	256

7.4.2	FTP 交互	258
7.5	电子邮件	261
7.5.1	电子邮件概述	261
7.5.2	简单邮件传送协议 SMTP	263
7.5.3	邮件报文格式	267
7.5.4	邮件读取协议	270
习题		271
第 8 章	多媒体网络	274
8.1	多媒体网络简介	274
8.1.1	多媒体网络应用	274
8.1.2	音/视频压缩	275
8.1.3	H.264	278
8.1.4	多媒体网络 QoS	281
8.2	流式音频和视频	284
8.2.1	因特网中传输音/视频	284
8.2.2	利用流式服务器传输音/视频	286
8.2.3	RTSP 协议	287
8.3	实时交互协议	288
8.3.1	实时传输协议 RTP	289
8.3.2	实时传输控制协议 RTCP	291
习题		294
第 9 章	计算机网络安全和网络管理	296
9.1	网络安全简介	296
9.2	数据加密技术	297
9.2.1	基本概念	298
9.2.2	对称密钥密码体系	300
9.2.3	非对称密钥密码体系	301
9.2.4	数字签名技术	303
9.2.5	密钥分配	306

C O N T E C T

9.3	防火墙访问控制技术	307
9.3.1	防火墙简介	307
9.3.2	包过滤技术	309
9.3.3	代理服务	313
9.3.4	防火墙的体系结构	315
9.4	网络攻击和防御攻击策略	318
9.4.1	网络攻击方法分析	318
9.4.2	分组嗅探	320
9.4.3	拒绝服务攻击	323
9.4.4	分布式拒绝服务攻击	325
9.5	因特网使用的安全技术	327
9.5.1	网络层安全协议	327
9.5.2	传输层安全协议	330
9.5.3	应用层的安全协议	333
9.6	网络管理	334
9.6.1	网络管理简介	334
9.6.2	管理信息结构 SMI	337
9.6.3	管理信息库 MIB	341
9.6.4	SNMP 协议	343
习题		344
附录 A	参考文献及网址	347
附录 B	部分习题的参考答案	348
第 1 章	习题参考答案	348
第 2 章	习题参考答案	348
第 3 章	习题参考答案	348
第 4 章	习题参考答案	348
第 5 章	习题参考答案	349
第 6 章	习题参考答案	350
第 7 章	习题参考答案	350



C O N T E N T S

第 8 章习题参考答案	350
第 9 章习题参考答案	351
附录 C 最短路径算法——Dijkstra 算法	352
附录 D DES 加密算法	355
附录 E 英文缩写	360
附录 F 相关 RFC 文档	365

第 1 章 计算机网络概述

计算机网络是计算机技术和通信技术相结合的产物,计算机网络技术对信息产业的发展产生了深远的影响,在信息技术的应用中发挥着越来越大的作用。本章将介绍与计算机网络相关的一些基本概念,包括计算机网络的定义、分类、工作特点、我国计算机网络的发展等,并对网络的体系结构和协议进行系统的讨论,以使读者对计算机网络技术与应用有一个全面的认识。

1.1 计算机网络的发展

随着计算机技术和通信技术的迅猛发展和广泛应用,这两者迅速融合,促成了所谓信息时代的到来。在这两个技术领域中,一方面,通信网络为计算机之间数据的传输和交换提供了必要的手段;另一方面,计算机技术的发展又渗透到通信技术中,推进了通信网络的各项性能的提高。

1.1.1 面向终端的第一代计算机网络

1946 年世界上第一台计算机(ENIAC)问世,在此后的几年中,由于计算机的价格较高且数量有限,所以还没有人会想到将多台计算机连接起来并实现不同计算机之间的通信。直到 1954 年,随着一种既能发送信息又能接收信息的终端设备收发器(transceiver)的研制成功,人们实现了将穿孔卡片上的数据通过电话线路发送到远地的计算机上的梦想。此后,电传打字机也作为远程终端与计算机实现了相连,用户可以在远程的电传打字机上输入程序,经计算机处理后,程序又指挥计算机将处理结果再传送给电传打字机,并在电传打字机上打印输出。

1. 使用线路控制器的计算机网络

因为早期的计算机是为成批处理信息而设计的,所以当计算机在和远程终端相连时,必须在计算机上安装一个叫做线路控制器(line controller)的设备,同时在线路的两端还必须各安装一台调制解调器(modem),如图 1-1 所示。因为电话线路本来是为传送模拟的语音信号而设计的,它不适合于传送计算机的数字信号,使用调制解调器的主要作用就是把计算机或终端的数字信号转换成可以在电话线路上传送的模拟信号,同时将从电话线路上接收到的模拟信号转换成计算机或终端可以处理的数字信号。

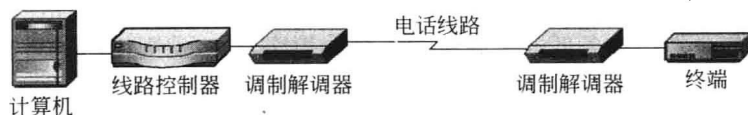


图 1-1 使用线路控制器的计算机网络

早期的线路控制器只能通过一条通信线路和一个远程的终端互连,随着远程终端数量

的增多,为了避免一台计算机使用多个线路控制器,在 20 世纪 60 年代初出现了如图 1-2 所示的多重线路控制器(multiline controller)。通过多重线路控制器,一台计算机可以通过公用电话网与多个终端相连。

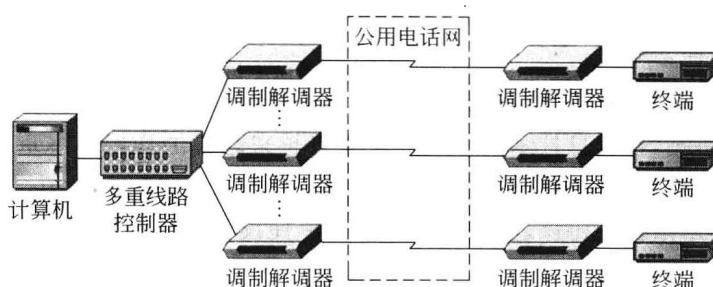


图 1-2 使用多重线路控制器的计算机网络

2. 使用前端处理机的计算机网络

计算机最初主要用于科学计算。然而,随着网络的出现和应用,人们逐渐发现计算机在非数值处理方面的应用远比纯粹的科学计算广泛得多,也就是说,人们已认识到了计算机在通信中的价值。然而,多重线路控制器严重限制了网络中用户数量的增加,每当增加一个新用户时,都需要对多重线路控制器进行软件和硬件的修改和重新配置,有些程序还需要重新编写。另外,多重线路控制器和线路控制器要占用大量的计算机资源,使计算机增加了相当大的额外开销。因此,在线路控制器和多重线路控制器投入使用之后,人们又研制出了前端处理机(Front End Processor, FEP),简称为前端机。前端机可以完成全部的通信任务,而将计算机解放出来专门进行数据的处理,这样就大大减轻了计算机的额外开销,如图 1-3 是通过一台前端机与多个远程终端相连的结构。

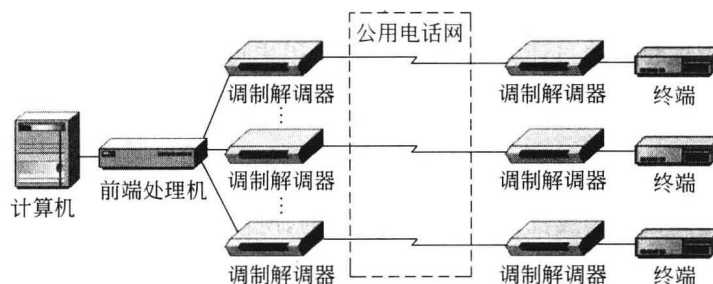


图 1-3 使用前端处理机的计算机网络

3. 使用集中器的计算机网络

远程终端数量的不断增加,使通信费用也随之增加。为了节约通信费用,可在远程终端密集的地方安装一个集中器(concentrator)。集中器和前端机的功能有相似之处,也是一种通信处理机,它的一端用多条低速率线路与各终端相连,另一端则用一条高速率线路与计算机相连,如图 1-4 所示。如果一些终端处于闲置状态,集中器可以利用由此而产生的空闲时间来传送其他处于工作状态终端的数据,明显降低了通信线路的费用。另外,由于集中器距终端较近,所以在集中器与终端之间可以省去调制解调器。

线路控制器、前端机和集中器的使用,标志着第一代计算机网络的问世。很显然,第一

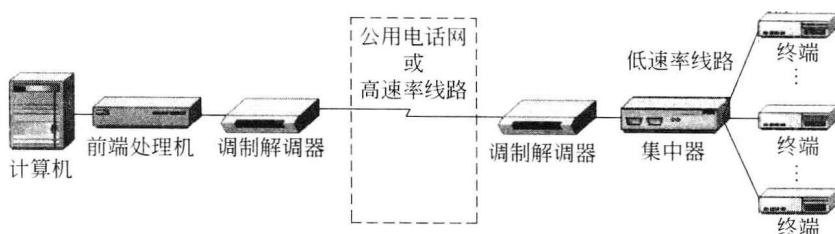


图 1-4 使用集中器的计算机网络

代计算机网络的结构和工作方式都非常简单,但是其中的许多网络至今仍在使用着。

1.1.2 以分组交换为核心的第二代计算机网络

第二代计算机网络产生于 1969 年。第一代计算机网络是面向终端的,是一种以单个主机(计算机)为中心的星型网络,各终端通过通信线路共享主机的硬件和软件资源。而第二代计算机网络则强调了网络的整体性,用户不仅可以共享与之直接相连的主机的资源,而且还可以通过通信子网共享其他主机或用户的软、硬件资源,如图 1-5 所示。

在谈到第二代计算机网络时,必须强调分组交换(packet switching)的概念。分组交换也称为包交换,它产生于第二代计算机网络,同样是现代计算机网络的技术基础。然而,在分组交换出现之前,计算机网络还使用过电路交换(circuit switching)的通信方式。

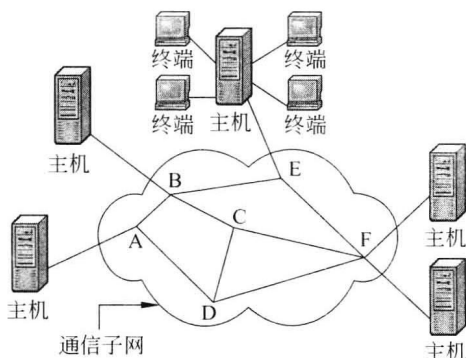


图 1-5 使用通信子网的计算机网络

1.1.3 以 OSI 为核心的第三代计算机网络

早期计算机之间的组网是有条件的,在同一网络中只能存在同一厂家生产的计算机,其他厂家生产的计算机无法接入。这种现象的出现,一方面与当时的条件有关,因为当时的计算机还远不如现在这样普及,更谈不上计算机之间的互连;另一方面也与未建立相关的标准有关,当时的计算机网络只是部分高等学府或科研机构针对自己的工作特点而建立的,还未能在大范围内(如不同的单位之间)进行连接,它们各自为政,缺乏一个统一的标准。针对这种情况,出现了第三代计算机网络,第三代计算机网络的特点是制订了统一的不同计算机之间互连的标准,从而实现了不同厂家生产的计算机之间互连成网。

计算机网络系统是非常复杂的,计算机之间的通信涉及许多复杂的技术,为实现计算机网络的通信,采用了分层的方法来解决复杂的问题。其中比较著名的有 SNA 和 OSI。

1974 年,美国 IBM 公司公布了它研制的网络分层模型系统网络体系结构(System Network Architecture, SNA), SNA 是一种使用较为普遍的网络体系结构模型。尽管现在 SNA 模型被认为是一种旧网络模型,但仍然得到了普遍发展。SNA 的设计采用了 IBM 大型机使用的主机到终端的通信模型。SNA 模型只有 6 层,分别是数据链路层(DLC)、路径