

现代通信 与网络教程

鲁士文 编著



清华大学出版社

现代通信与网络教程

鲁士文 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以三网融合为技术背景,对当代计算机通信和网络技术做了比较全面而系统的阐述。全书共有16章,融原理、技术和发展为一体,注重介绍实用技术和培养组网能力。每一章都通过通俗易懂的描述和具有实际意义的例子与图表来说明原理、标准和核心技术,并附有练习题,供在教学或自学过程中考查和复习使用。

本书可用作高等学校和科研单位信息技术相关专业的计算机通信与网络课程的研究生教材或教学参考书,也可供通信网络研究人员和应用开发工程师用作相关技术的参考资料。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信与网络教程/鲁士文编著. —北京:清华大学出版社, 2004
ISBN 7-302-08616-8

I. 现… II. 鲁… 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(2004)第 043605 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社总机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 夏非彼

文稿编辑: 王金柱

封面设计: 杨月静

版式设计: 佩芸

印 刷 者: 北京科普瑞印刷有限责任公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 33.75 字数: 820 千字

版 次: 2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-08616-8/TP·6175

印 数: 1~4000

定 价: 43.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

当前世界经济正在从工业经济向知识经济转变。知识经济的两个重要特点是信息化和全球化。要实现信息化和全球化,就必须依靠先进的通信网络技术。因此,网络现在已经成为信息社会的命脉和发展知识经济的重要基础。

事实上,随着信息处理和网络应用的日益普及,它们对计算能力和应用程序复杂性的要求也不断提高。这些处理能力的革新以及应用软件的发展对支持它们的通信网络提出了新的要求,特别是对网络性能的要求更为强烈。因此计算机通信和网络设施已经成为信息用户成功的关键所在。

在过去,通信和网络技术被许多人看成是黑盒子,只有少数人能理解其中的机理和关键技术。而随着信息技术的日益复杂化,应用对网络性能的需求也呈现出多层次的趋势。相应地,网络所提供的服务种类及其内部的运行机制也越来越多样化。显然,信息技术行业取得成功的关键在于,能将通信网络的功能和性能跟基于网络的计算机与应用程序的功能和性能需求相匹配。这就要求信息技术行业的工程师和研究开发人员都能够理解 IT 基础设施中每一部分的能力、局限性以及性能特征,并通过全局的协同工作,提出统一的解决方案。

本书以三网融合为技术背景,对当代计算机通信和网络技术做了比较全面而系统的阐述。它是作者在多年进行计算机网络教学和科研工作的基础上编写的,融原理、技术和发展为一体,注重介绍实用技术和培养组网能力,以提高读者从事研究工作的能力和解决实际问题的能力为主要目标。

全书共分为 16 章。第 1 章和第 2 章概述三网融合的发展趋势和通信网络的体系结构。第 3 章和第 4 章介绍数据编码、基本的网络机制,以及 T1/E1、ISDN、SONET 和 7 号信令系统等电话传输设施。第 5 章讨论 HDLC 和 PPP 等数据链路控制规程。第 6~9 章分别阐述多路访问和路由选择、广域公用数据网(包括 X.25、帧中继和 ATM)、有线局域网(包括 LLC、令牌传递网络、以太网、ATM 局域网和虚拟局域网)和无线网。第 10 章重点考察当前在 Internet/Intranet 上广泛使用的 TCP/IP 协议体系。第 11 章是关于交通管理和拥塞控制。第 12 章是标记交换、组播和主动网络技术。第 13 章是服务质量和实时协议,包括

集成服务、区分服务和网格计算。第 14 章是社区宽带网络和视频点播, 包括 ADSL、HFC 和光纤到户。第 15 章和第 16 章分别讨论网络安全和网络管理。

每一章都通过通俗易懂的描述和具有实际意义的例子和图表来说明原理、标准和核心技术, 并附有练习题, 供在教学或自学过程中考查和复习使用。

本书编写的目的主要是供高等学校和科研单位信息技术相关专业的研究生用作计算机通信与网络课程的教材或教学参考书。由于本书涉及面较广, 且部分内容有较大的深度, 读者在使用过程中可根据具体的教学背景和专业方向进行适当的剪裁。另外, 本书也可供从事通信网络研究和应用开发人员用作相关技术的参考书。

限于时间与水平, 不当之处欢迎批评指正。

作者
2004 年 2 月
于中科院计算所

目 录

第 1 章 综述	1
1.1 通信网络革新的历史	1
1.1.1 电话网	1
1.1.2 计算机网络	5
1.1.3 有线电视网络	10
1.1.4 无线网络	11
1.2 网络设计中的交换方式	12
1.2.1 网络功能和网络拓扑	12
1.2.2 报文、线路和分组交换	15
1.2.3 电报网络和报文交换	16
1.2.4 电话网络和线路交换	18
1.2.5 Internet 和分组交换	20
1.2.6 线路交换和分组交换的比较	26
1.3 未来的发展	27
1.3.1 Internet	27
1.3.2 纯 ATM 网络	28
1.3.3 有线电视网络	28
1.3.4 无线网络	29
1.4 竞争的势态	29
1.5 思考练习题	31
第 2 章 体系结构和参考模型	34
2.1 典型的网络应用	35
2.1.1 WWW	35
2.1.2 音频和视频流	35
2.1.3 客户/服务器式交互	36
2.2 服务质量	36
2.2.1 恒定位速率	37
2.2.2 可变速率	37
2.2.3 报文	38
2.2.4 其他需求	38
2.3 网络成分	38
2.3.1 主要的网络成分	39

2.3.2 性能特征	40
2.4 网络协议的分层结构	40
2.4.1 层次的概念	41
2.4.2 层次的实现	45
2.5 开放系统互连参考模型	48
2.6 互联网的 TCP/IP 协议体系	53
2.7 开放数据网络模型	55
2.8 思考练习题	57
第 3 章 数据编码与网络机制	59
3.1 数据编码技术	59
3.1.1 模拟信号传输模拟数据	59
3.1.2 模拟信号传输数字数据	60
3.1.3 数字信号传输数字数据	63
3.1.4 数字信号传输模拟数据	64
3.2 基本的网络运行机制	65
3.2.1 多路复用	67
3.2.2 交换	71
3.2.3 错误控制	74
3.2.4 流控制	81
3.2.5 拥塞控制	83
3.2.6 资源分配	84
3.3 思考练习题	84
第 4 章 电话网络和相关的传输系统	86
4.1 电话传输设施	87
4.2 T1/E1 承载系统	90
4.2.1 拓扑结构	91
4.2.2 T1/E1 协议数据单元	92
4.3 ISDN	93
4.3.1 拓扑结构	93
4.3.2 ISDN 层次结构	96
4.3.3 ISDN 协议数据单元	98
4.4 SONET	102
4.4.1 SONET 多路复用	102
4.4.2 SONET 帧结构	106
4.5 信令和 SS7 网络	110
4.6 电话网络中的交通和过载控制	113
4.6.1 集中	113
4.6.2 路由控制	116

4.6.3 过载控制	118
4.7 思考练习题	119
第 5 章 数据链路控制规程	121
5.1 异步传输和同步传输	121
5.1.1 异步传输	122
5.1.2 同步传输	123
5.2 面向比特的协议 HDLC	124
5.2.1 帧格式	125
5.2.2 透明性和同步	126
5.2.3 控制段	127
5.2.4 过程类别	128
5.2.5 传输序列示例	134
5.3 Internet 中的数据链路层	139
5.3.1 串行线路互联网协议 SLIP	139
5.3.2 面向字节的协议 PPP	140
5.4 思考练习题	142
第 6 章 多路访问和路由选择	146
6.1 多路访问	146
6.1.1 设计策略和实施考虑	148
6.1.2 基本技术	151
6.1.3 集中式访问	152
6.1.4 分布式访问	154
6.1.5 硬件编址	165
6.2 路由选择	166
6.2.1 最短通路搜索算法	167
6.2.2 距离向量路由选择	174
6.2.3 链路状态路由选择	177
6.3 思考练习题	182
第 7 章 广域公用数据网	188
7.1 X.25 网络	188
7.1.1 分组方式操作服务	189
7.1.2 X.25 协议结构	189
7.1.3 分组级协议	190
7.1.4 呼叫建立和清除	192
7.1.5 数据传输和流控制	193
7.2 帧中继网络	196
7.2.1 快速分组交换技术	196

7.2.2 典型的拓扑结构.....	198
7.2.3 帧中继协议结构.....	199
7.2.4 帧中继连接	200
7.2.5 帧中继数据传送协议.....	201
7.2.6 在帧中继上运载多重局域网协议.....	205
7.3 宽带 ISDN 和 ATM 网络	206
7.3.1 宽带 ISDN 的功能和协议结构.....	208
7.3.2 ATM 的基本概念.....	210
7.3.3 ATM 逻辑连接.....	216
7.3.4 ATM 信元.....	218
7.3.5 ATM 协议参考模型.....	220
7.3.6 交换功能和路由选择.....	222
7.3.7 ATM 适配.....	224
7.4 思考练习题.....	234
第 8 章 有线局域网	236
8.1 局域网的体系结构	237
8.2 逻辑链路控制	238
8.2.1 LLC 服务.....	238
8.2.2 LLC 协议.....	239
8.3 令牌传递网络.....	244
8.3.1 令牌环网	244
8.3.2 光纤分布式数据接口 (FDDI) 网络.....	250
8.4 以太网	256
8.4.1 物理层	256
8.4.2 媒体访问控制.....	258
8.4.3 以太网的帧格式.....	261
8.4.4 快速以太网 100BASE-T.....	264
8.4.5 千兆位以太网.....	268
8.4.6 桥接器	269
8.4.7 局域网交换机.....	274
8.4.8 半双工和全双工.....	276
8.4.9 以太网的流量控制.....	277
8.5 ATM 局域网	280
8.6 虚拟 LAN.....	281
8.7 思考练习题.....	283
第 9 章 无线网络	287
9.1 无线媒体的特征	288
9.2 无线通道的容量限制	290

9.3 无线局域网	291
9.3.1 无线局域网的组成	291
9.3.2 无线局域网的协议体系	294
9.3.3 无线局域网中的扩展频谱技术	297
9.3.4 IEEE 802.11 MAC 协议	302
9.3.5 物理层	310
9.4 数字蜂窝无线电的通道分配	312
9.4.1 全球移动通信系统	312
9.4.2 蜂窝数字分组数据系统	314
9.4.3 码分多路访问	316
9.5 通信卫星网络	318
9.5.1 物理结构	318
9.5.2 通道分配协议	321
9.6 思考练习题	325
第 10 章 TCP/IP	328
10.1 Internet 协议	328
10.1.1 IP 分组	329
10.1.2 IP 编址	330
10.1.3 子网编址和可变长子网掩码	332
10.1.4 IP 路由选择	334
10.1.5 无类别域间路由	335
10.1.6 地址解析	337
10.1.7 分割与重组	337
10.1.8 ICMP	339
10.2 IPv6	339
10.2.1 头格式	340
10.2.2 网络编址	341
10.2.3 扩展头	347
10.3 用户数据报协议	349
10.4 传输控制协议	350
10.4.1 TCP 可靠流服务	350
10.4.2 TCP 操作	350
10.4.3 TCP 协议	353
10.5 动态主机配置协议	360
10.6 移动 IP	360
10.7 Internet 路由选择协议	362
10.7.1 路由信息协议	363
10.7.2 开放的最短通路优先协议	365

10.7.3 边界网关协议.....	370
10.8 虚拟专用网络.....	374
10.9 思考练习题.....	376
第 11 章 交通管理和拥塞控制	379
11.1 交通管理.....	379
11.1.1 FIFO 和优先级队列.....	380
11.1.2 公平队列.....	381
11.1.3 加权公平队列.....	385
11.2 拥塞控制.....	386
11.2.1 开环控制.....	386
11.2.2 闭环控制.....	393
10.3 思考练习题.....	398
第 12 章 标记交换、组播和主动网络技术	401
12.1 标记交换和 MPLS.....	401
12.1.1 体系结构.....	403
12.1.2 组织成分和专业术语.....	405
12.1.3 标记分发协议.....	407
12.2 组播.....	408
12.2.1 链路状态组播.....	409
12.2.2 距离向量组播.....	411
12.2.3 协议无关的组播.....	412
12.2.4 Internet 上的组播.....	415
12.3 主动网络技术.....	421
12.3.1 典型的主动网络系统.....	421
12.3.2 用于主动网络的编程语言 PLAN.....	423
12.3.3 主动网络的优越性.....	423
12.3.4 潜在的应用领域.....	423
12.4 思考练习题.....	424
第 13 章 服务质量和实时协议	426
13.1 应用需求.....	427
13.1.1 实时音频范例.....	427
13.1.2 实时应用分类.....	428
13.2 实现 QoS 的途径和技术进展.....	429
13.2.1 过度建设.....	429
13.2.2 优先级.....	429
13.2.3 队列.....	430
13.2.4 拥塞控制与避免.....	430

13.2.5 传输整形	430
13.2.6 MPLS 对 QoS 的支持	431
13.2.7 QoS 路由 (QoS SR) 技术	431
13.2.8 IPv6 对 QoS 的支持	432
13.3 支持 QoS 的现有方法	432
13.4 集成服务	432
13.4.1 服务类别	433
13.4.2 实现机制	433
13.4.3 流描述	434
13.4.4 准入控制	435
13.4.5 预留协议	436
13.4.6 分组分类和调度	439
13.4.7 子网技术	440
13.4.8 可扩展性问题	440
13.5 区分服务	441
13.6 实时传输协议 RTP	444
13.6.1 RTP 分组传输流程	445
13.6.2 信息源的同步	446
13.6.3 流量和竞争控制	446
13.7 会话控制和呼叫控制 (H.323)	448
13.8 网络计算	450
13.9 思考练习题	451
第 14 章 社区宽带网络和视频点播	453
14.1 社区宽带网	453
14.1.1 编码/调制技术	453
14.1.2 带宽条件和服务需求	455
14.1.3 非对称数字用户线	456
14.1.4 有线电视网 CATV 和混合光纤同轴系统 HFC	460
14.1.5 光纤到宅边	466
14.1.6 光纤到户	467
14.1.7 无线本地回路	471
14.2 视频点播	472
14.2.1 视频服务器	473
14.2.2 分布式网络	477
14.2.3 机顶盒	479
14.3 思考练习题	481
第 15 章 网络安全性	482
15.1 数据加密技术	483

15.1.1 传统加密技术.....	484
15.1.2 数据加密标准.....	484
15.1.3 密钥分发问题.....	486
15.1.4 公开密钥加密法.....	488
15.2 身份验证和数字签名	490
15.2.1 身份验证	491
15.2.2 采用公开密钥加密技术实现数字签名	491
15.2.3 采用常规加密技术实现数字签名	493
15.3 报文鉴别和报文摘要	494
15.4 链路加密与端到端加密	497
15.4.1 链路加密	497
15.4.2 端到端加密	497
15.5 防火墙	499
15.5.1 基于过滤器的防火墙	500
15.5.2 基于代理的防火墙	501
15.6 传输层安全	502
15.7 思考练习题	504
第 16 章 计算机网络管理	508
16.1 代理 / 管理站模型	509
16.2 简单网络管理协议	510
16.2.1 管理信息的结构.....	511
16.2.2 管理信息库 (MIB)	514
16.2.3 远程监控	515
16.2.4 SNMP 协议规范.....	516
16.3 SNMP 的配置和有效的网络管理.....	521
16.4 主动网络管理	522
16.5 思考练习题	523
参考文献	525

第1章 综 述

当前的世界经济正在从工业经济向知识经济转变。知识经济中的两个重要特点就是信息化和全球化。要实现信息化和全球化,就必须依靠通信网络。因此通信网络已经成为信息社会的命脉和发展知识经济的重要基础。实际上,网络(特别是 Internet)正在改变着我们工作和生活的许多方面,对经济的发展已经产生了不可逆转的影响。

这里所说的通信网络应当包括“三网”,即电信网络(主要的业务是电话,但也有其他业务,如传真和数据承载业务等)、有线电视网络(即单向传送电视节目的网络)和计算机网络(主要是将大量的局域网通过路由器广域互连形成的 Internet)。虽然这三种网络在信息化过程中都起着重要的作用,但其中发展最快的并起核心作用的是计算机网络。

目前,电信网络、有线电视网络和计算机网络的规模都很大,但它们所使用的技术却相差很多,因此在短期内要用一种网络来代替这三种网络看来不太可能。现在这三种网络都逐步在演变,都力图使自己也具有其他网络的优点,形成“三网融合”的趋势。所谓“三网融合”是指三种网络在技术上互相渗透,在网络层上可实现互通,在应用层上可使用相同的协议,但它们的运行和管理仍然是分开进行的。

本书主要讨论计算机网络,着重考察在计算机之间是怎样通过网络来交换信息的;但考虑到今后可能的发展,也介绍在电信网络和有线电视网络中与计算机通信相关的一些原理和关键技术。

本章先回顾过去在电话、计算机(或数据)、有线电视和无线网络中所产生的主要的技术革新。接着,讨论在网络设计中可以选择的三种不同的交换方式以及它们在现实网络中被采用的情况。最后,说明担当未来网络角色的主要竞争者——并在此基础上指出未来的网络将提供从电话到交互式视频,到高速文件传送的广大范围的服务,任何一种技术都不可能成为惟一的赢家:未来的网络将集成所有主要的网络连接技术。

1.1 通信网络革新的历史

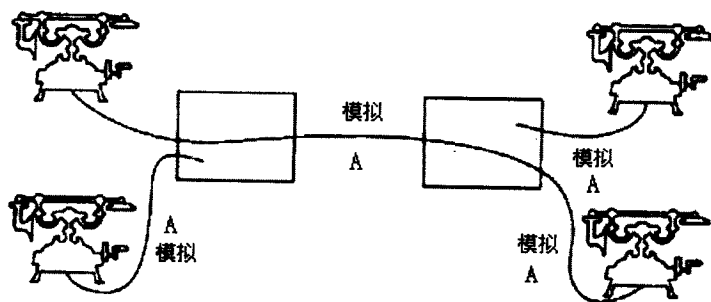
通信网络使得用户能够以语音、视频图像、电子邮件和计算机文件的形式传递信息。用户通过简单的操作,例如使用电话机、蜂窝电话、机顶盒或运行在计算机上的应用程序,请求他们需要的通信服务。现在我们先看一看为用户提供所需的服务的通信网络的演变史。虽然还有其他的革新,但下面所强调的步骤是起决定作用的。

1.1.1 电话网

电话网在历史上的主要创新是电话交换、数字化、呼叫控制跟语音的分离、光链路和

服务集成。

1876 年, Alexander Graham Bell 发明了一对电话。大约在 1890 年, 出现了通过手工操作的交换机(开关)连接电话的简单的网络(见图 1-1)。在这样的网络中, 信号是模拟的(图中用在链路上的 A 表示)。为了呼叫另一部电话, 用户先拨响操作员的信号铃, 提供对方的电话号码。然后操作员确定是直接连到对方, 还是沿着到达对方的通路前往另一个操作员。在后一种情况下, 操作员之间需要通过互相对话, 以决定怎样处理这一呼叫。建立到达对方的通路的过程可能涉及其他多个操作员, 最终, 有一个操作员使目的地的电话响铃。此时, 如果对方拿起电话, 双方用户电话就被接通了。在会话期间, 双方电话一直保持连接状态, 直到会话结束, 该连接才被相关的各个操作员断开。

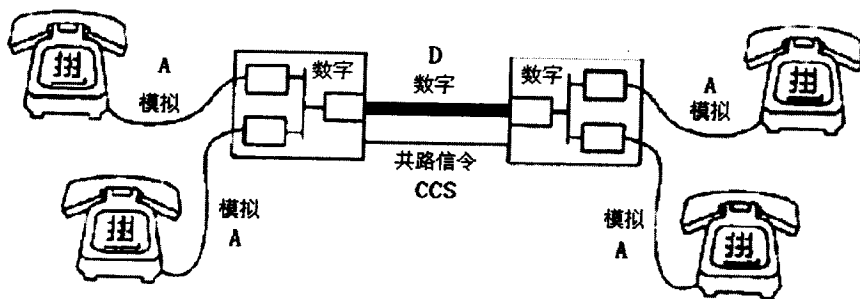


说明: 传输是模拟的, 交换机用手工操作

图 1-1 1890 年左右的电话网络

在这里, 请注意传输线路是如何分配给会话的。它采用的是线路交换的方式, 所谓的“线路”指的是沿着一条链路传输一个会话的能力。为了建立一个呼叫, 必须连接一组线路, 才能在两个电话机之间形成一条通路。通过修改连接, 操作员可以交换线路。线路交换发生在一个新的电话呼叫的开始时刻。操作员后来被机械开关代替, 并在 100 年以后又被电子开关代替。

图 1-2 示出了 1988 年前后的电话网络。这一阶段的一个主要的发展是把在交换机(开关)之间的语音信号由模拟改成数字(图中用 D 表示)。



说明: 传输是模拟的或数字的, 交换机是电子的, 并且使用称作共路信令的一个数据网络交换控制信息

图 1-2 1988 年左右的电话网络

在交换机中, 一个电子接口把在从电话机与交换机间传播的模拟信号转换成称作位流的数字信号。同样的接口把在交换机之间传送的数字信号转换成模拟信号, 然后再发送到电话机。

交换机本身就是计算机, 这就使得它们非常灵活。这种灵活性允许电话公司通过给计算机发送特别的指令来修改连接。图 1-2 还说明了另一个主要的发展——共路信令(CCS)。CCS 是交换机用以交换控制信息的一个数据通信网。在交换机之间的这种会话具有跟在手工网络中在操作员之间的会话相同的功能。CCS 把呼叫控制功能与语音传送分离开来, 再与灵活的计算机化的交换机结合在一起。这种功能隔离有助于开展像呼叫等待、呼叫转发和回呼这样的新业务。

在当前的电话网络中, 在干线(连接交换机的线路)和接入链路(把用户电话连接到交换机的线路)中的位流被组织成数字信号(DS)的等级结构。链路本身(硬件)被称作数字承载系统。干线容量被划分成逻辑通道的等级结构。在北美, 这些通道(见表 1-1)被称作 DS-1, ..., DS-4, 具有从 1.5 Mbps 到 274.0 Mbps 的速率范围。基本单元是 DS-0, 承载 64 kbps, 提供 1 条语音线路。大容量的通道多路复用多个语音通道。在日本和欧洲的速率是不同的。这就是电话网络使用的数字信号的等级结构。

表 1-1 数字承载系统

媒体	信号	语音线路 数目	北美速率 (Mbps)	日本速率 (Mbps)	欧洲速率 (Mbps)
T-1 双绞电缆	DS-1	24	1.5	1.5	2.0
T-1C 双绞电缆	DS-1C	48	3.1		
T-2 双绞电缆	DS-2	96	6.3	6.3	8.4
T-3 同轴, 无线, 光纤	DS-3	672	45.0	34.0	32.0
同轴, 波导, 无线, 光纤	DS-4	4032	274.0		

说明: 电话网络使用的数字信号体系, 由于需要附加成帧位, 所以 DS-1 信号的位速率要比语音信号速率(64kbps)的 24 倍大。

值得注意的是, 在表 1-1 中的速率相互之间不是整数倍的关系: DS-1 承载 24 个 DS-0 通道, 但其速率要大于 24 倍的 64 kbps。其中提供给 DS-0 通道附加的位使其偏移名义上的 64 kbps, 这是因为产生信号所使用的时钟不是完全同步的。

从 20 世纪 80 年代开始, 电话网传输链路向 SONET(同步光纤网)标准转变。SONET 速率安排成表 1-2 所示的 STS(同步传输信号)等级结构。在北美洲和日本, 基本的 SONET 信号(STS-1)有一个 51.840 Mbps 的速率。在欧洲, 基本信号是 STS-3, 有一个 155.52 Mbps 的速率, 该等级结构被称作 SDH(同步数字等级体系结构)。今天在主干线上常使用的链路是 OC-3、OC-12、OC-48 和 OC-192。现在的波分复用使得单个光纤能够承载 100 个以上的 OC-192 链路, 聚合速率达数太比特/s。

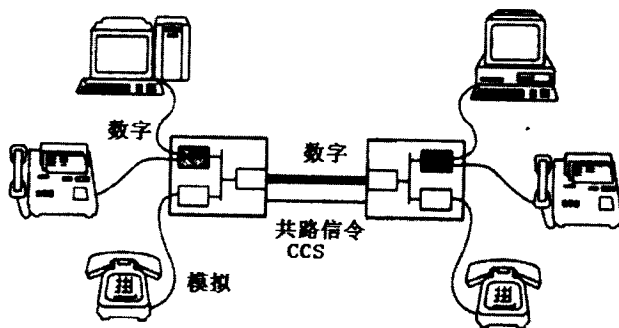
表 1-2 SONET 速率

承载实体	信号	速率 (Mbps)
OC-1	STS-1	51.840
OC-3	STS-3	155.520
OC-9	STS-9	466.560
OC-12	STS-12	622.080
OC-18	STS-18	933.120
OC-24	STS-24	1244.160
OC-36	STS-36	1866.240
OC-48	STS-48	2488.320
OC-192	STS-192	9853.280

说明：多路 STS-1 复用的信号速率都是 STS-1 的整数倍，不使用附加成帧位。

STS 和 DS 等级结构有两个明显的不同点。首先，SONET 信号有比 DS 高得多的位速率，这是因为光链路可以支持比铜链路高得多的速率。第二，STS-n 速率是 STS-1 速率的 n 倍。因为在 SONET 网络中所有的时钟都同步到同一主时钟，这就有可能通过严格地复用 n 个 STS-1 形成一个 STS-n 信号，不需要使用附加的成帧位。

电话网的最后一项主要革新是通过引入如图 1-3 所示的综合业务数字网 (ISDN) 实现语音和数据信号的集成。ISDN 提供给一个用户的基本接入由两个 B 通道和一个 D 通道 (B 和 D 通道都是数字的) 组成。每个 B 通道都是双向的 (或称全双工的) 64 kbps 通道。一个 B 通道可以运载一条线路交换连接、一个分组交换传输业务或一条永久的数字连接。D 通道运载 16 kbps 的分组交换业务。ISDN 使得先前在网络的交换机之间使用的数字传输设施可以提供给用户，这样就把数字传输一直延伸到用户那里。ISDN 业务的应用包括计算机通信、高速传真、楼宇远程监控、可视图文和低速率的可视电话。有了 ISDN，电话系统就转变成了可以用多种形式传送信息的网络。



说明：基本接入提供两条双向 64 kbps 链路和一条 16 kbps 链路，这些链路可以用来传输语音或数据

图 1-3 综合业务数字网