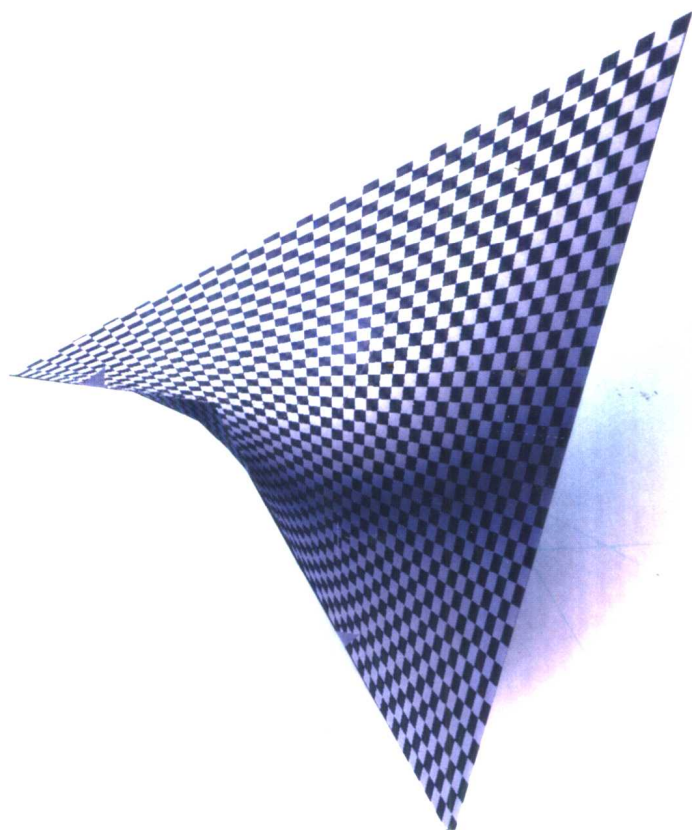


21 世纪通信教材

宽带网络技术

KUANDAI WANGLUO JISHU

申普兵 主编
李 荣 王大力 编



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

宽 带 网 络 技 术

申普兵 主编

李 荣 王大力 编

人 民 邮 电 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

宽带网络技术 / 申普兵主编; 李荣, 王大力编. —北京: 人民邮电出版社, 2004.1
21 世纪通信教材
ISBN 7-115-11340-8

I. 宽... II. ①申...②李...③王... III. 宽带通信系统—计算机通信网—教材
IV. TN915.142

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 088386 号

内 容 提 要

本书介绍宽带网络的技术基础、相关协议、实现方案和相关产品的实际应用。

全书共分为 9 章。第一章介绍数据通信的基础知识; 第二章介绍计算机网络的基础知识; 第三章介绍 TCP/IP 网络技术; 第四章介绍 ATM 技术; 第五章介绍 IP Over ATM 技术; 第六章介绍 MPLS 技术; 第七章介绍 IP Over SDH 技术; 第八章介绍宽带接入技术; 第九章介绍了宽带网设计方案以及中兴、上海贝尔阿尔卡特、华为等公司的宽带网设备。

本书内容翔实, 概念清楚, 反映了宽带网络技术的最新进展, 在叙述时力求深入浅出。本书为高等院校电信工程和计算机网络等专业的本科生教材, 也可供从事电信工程和计算机网络等专业的技术人员阅读。

21 世纪通信教材 宽带网络技术

-
- ◆ 主 编 申普兵
编 李 荣 王大力
策划编辑 滑 玉
责任编辑 须春美
 - ◆ 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>
读者热线 010-67194042
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 21
字数: 512 千字 2004 年 1 月第 1 版
印数: 1-5 000 册 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-11340-8/TN · 2092

定价: 27.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

编 者 的 话

随着互联网的快速发展,对以电话业务为主的传统电信网络带来了巨大的冲击,传统网络的速率和带宽已不能满足迅速增长的用户需求和适应多媒体通信的应用,宽带网正是在这种情况下诞生的,它向人们展示了其巨大的潜力和广阔的应用前景。

宽带网技术是目前最新的网络技术,它主要包括宽带骨干网技术、宽带接入技术和信息服务系统。本书对宽带骨干网中使用的各种技术和各种宽带接入技术作介绍。宽带骨干网技术主要包括:IP Over ATM 技术、IP Over SDH 技术和 IP Over DWDM 技术。

IP Over ATM 技术有多种方案,所有的方案都可以分成两种类型,即重叠模型和集成模型。重叠模型是指 IP 在 ATM 上运行,主要有 IETF 推荐的 CIPOA、ATM Forum 推荐的 LANE 和 MPOA 等。集成模型是指将 ATM 层看成 IP 层的对等层,将 IP 的选路功能和 ATM 的交换功能相结合,主要有 Cisco 公司的 Tag switching、IETF 推荐的 MPLS 等。近来,MPLS 越来越引起人们的关注,大家普遍看好的是 MPLS 将作为 ATM 与 IP 融合的一种解决方案而应用于广域网。

IP Over SDH 技术是以 SDH 网络作为 IP 数据网的物理传输网络。目前广泛采用 PPP 对 IP 数据分组进行封装,并采用 HDLC 帧格式,即 IP/PPP/HDLC/SDH。PPP 提供多协议封装、差错控制和链路初始化控制等功能,HDLC 帧格式负责同步传输链路上 PPP 封装的 IP 数据帧的定界。IP 分组通过 PPP 直接映射到 SDH 帧,省掉了中间的 ATM 层,从而保留了 Internet 的无连接特征,简化了网络体系结构,提高了传输效率。

IP Over DWDM 技术是将 IP 业务直接放在光层上传输,中间不经过 SDH 层,是目前最有发展前途的宽带骨干网技术,可以大大提高网络的带宽。目前该技术正处于初始阶段,还不太成熟。

宽带接入技术主要包括有线接入和无线接入技术两大类。有线接入技术包括铜线接入技术、光纤接入技术和混合光纤/同轴电缆接入技术等。无线接入技术包括一点多址接入技术、甚小型天线地球站接入技术、蜂窝移动电话接入技术和无绳电话接入技术等。

全书共分 9 章,各章主要内容如下:

第一章介绍数据通信基础知识,包括数据通信网的组成、分类和特点,数据通信网中使用的传输技术和交换技术,数据通信中的差错控制技术。

第二章介绍计算机网络基础知识,包括计算机网络的组成、分类和体系结构,局域网技术和广域网技术。

第三章介绍 TCP/IP 网络技术,包括 TCP/IP 体系结构、网际协议(IP)、传输控制协议(TCP)、用户数据报协议(UDP)、常见的路由选择协议(RIP、OSPF 和 BGP),资源预留协议和 IPv6 协议。

第四章介绍 ATM 技术,包括 ATM 的基本概念和参考模型,ATM 信元的传输方式,ATM

交换原理和 ATM 的 OAM 功能。

第五章介绍 IP Over ATM 技术，包括 CIPOA 技术、MPOA 技术和 LANE 技术的工作原理、协议模型和技术特点。

第六章介绍 MPLS 技术，包括 MPLS 技术的工作原理、体系结构和技术特点、转发等价类的定义、标记分发协议和 MPLS 在 FR 和 ATM 上的应用。

第七章介绍 IP Over SDH 技术，包括 SDH 的基本原理，IP over SDH 的体系结构，PPP、HDLC 和 IP over DWDM 技术。

第八章介绍宽带接入技术，包括接入网的定义和界定、功能模型、接口与业务、分类等基本概念。有线接入技术中介绍了铜线接入技术、光纤接入技术和混合光纤/同轴电缆接入技术等。无线接入技术中介绍了一点多址接入技术、甚小天线地球站接入技术和蜂窝移动电话接入技术等。

第九章介绍几种宽带网解决方案和部分产品使用指南，包括 IP Over ATM 解决方案、IP Over SDH 解决方案和 IP Over DWDM 解决方案，并对中兴、上海贝尔阿尔卡特、华为等公司的宽带网设备做了简要的介绍。

参加本书编写工作的有：申普兵、王大力、李荣，其中第一、二、四、五、六、七章由申普兵编写，第三、八章由李荣编写，第九章由王大力编写。全书由杨世平教授审阅。

由于编者的水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者
2003 年 6 月

目 录

第一章 数据通信基础	1
1.1 数据通信网的组成	1
1.1.1 数据通信网的组成和分类	1
1.1.2 数据通信系统的构成	4
1.1.3 数据通信的特点	5
1.1.4 数据通信的主要性能指标	7
1.2 数据通信网传输技术	10
1.2.1 传输媒介	10
1.2.2 信道容量	12
1.2.3 通信方式	14
1.2.4 串行传输与并行传输	15
1.2.5 同步传输与异步传输	15
1.2.6 基带传输与频带传输	16
1.2.7 信道复用技术	19
1.3 数据通信网交换技术	20
1.3.1 电路交换	20
1.3.2 报文交换	21
1.3.3 分组交换	22
1.3.4 三种交换技术的比较	25
1.4 数据差错控制技术	25
1.4.1 差错类型及差错控制方法	26
1.4.2 纠错编码的基本原理	27
1.4.3 奇偶监督码	30
1.4.4 循环码	33
小结	35
复习思考题	36
第二章 计算机网络基础	37
2.1 计算机网络的组成与分类	37
2.1.1 计算机网络的产生与发展	37
2.1.2 计算机网络的定义与功能	39
2.1.3 计算机网络的分类与应用	40
2.2 计算机网络体系结构	41

2.2.1	网络体系结构的基本概念	41
2.2.2	ISO/OSI 网络体系结构	47
2.2.3	Internet 网络体系结构	50
2.3	局域网技术	51
2.3.1	局域网的基本概念	52
2.3.2	局域网参考模型	55
2.3.3	局域网逻辑链路控制 (LLC) 子层	56
2.3.4	局域网媒体访问控制 (MAC) 子层	60
2.3.5	IEEE 802.3: 以太网	66
2.3.6	IEEE 802.5: 令牌环	68
2.3.7	光纤分布式数据接口 (FDDI)	70
2.3.8	虚拟局域网 (VLAN)	71
2.3.9	高速局域网	73
2.4	广域网技术	76
2.4.1	广域网参考模型	76
2.4.2	广域网路由技术	78
2.4.3	数字数据网 (DDN)	80
2.4.4	帧中继 (FR)	86
2.4.5	综合业务数据网 (ISDN)	93
	小结	97
	复习思考题	97
第三章	TCP/IP 网络技术	99
3.1	TCP/IP 技术	99
3.1.1	TCP/IP 简介	99
3.1.2	常用的 TCP/IP	99
3.1.3	TCP/IP 中的几个概念	101
3.2	网际协议 (IP)	102
3.2.1	IP 的功能	102
3.2.2	IP 数据报格式	103
3.2.3	IP 地址	106
3.2.4	网际控制协议 (ICMP)	109
3.3	传输控制协议 (TCP)	110
3.3.1	TCP 的特点	110
3.3.2	TCP 数据报格式	112
3.3.3	TCP 连接机制	114
3.4	用户数据报协议 (UDP)	115
3.4.1	UDP 的应用	115
3.4.2	UDP 报文的格式	115
3.4.3	TCP/UDP 端口	116

3.5	路由选择协议	116
3.5.1	路由器的工作原理	116
3.5.2	路由选择方式	117
3.5.3	路由协议分类	118
3.5.4	路由选择算法	118
3.5.5	路由信息协议 (RIP)	119
3.5.6	开放最短路径优先协议 (OSPF)	119
3.5.7	边界网关协议 (BGP)	120
3.6	资源预留协议 (RSVP)	121
3.6.1	QoS 与 RSVP	121
3.6.2	RSVP 传输类型	121
3.6.3	RSVP 服务质量	121
3.6.4	RSVP 报文格式	122
3.7	IPv6 协议	122
3.7.1	IPv6 地址	123
3.7.2	IPv6 帧格式	123
3.7.3	IPv6 的安全机制	124
3.7.4	IPv4 和 IPv6 的比较	125
3.7.5	IPv4 向 IPv6 过渡	126
	小结	128
	复习思考题	129
第四章	ATM 网络技术	131
4.1	ATM 网络的基本概念	131
4.1.1	ATM 信元	131
4.1.2	ATM 虚连接	132
4.1.3	ATM 与统计时分复用	133
4.2	ATM 协议参考模型	134
4.2.1	物理层	136
4.2.2	ATM 层	139
4.2.3	ATM 适配层	142
4.3	ATM 的信元传输方式	150
4.3.1	裸信元传输	150
4.3.2	基于 SDH 的 ATM 传输	153
4.3.3	基于 PDH 的 ATM 传输	158
4.4	ATM 的交换方式	161
4.4.1	ATM 交换的基本原理和要求	161
4.4.2	ATM 交换单元的构成	164
4.4.3	ATM 多级交换网络	170
4.5	ATM 网络管理	174

4.5.1	OAM 的功能	175
4.5.2	OAM 及网络管理	177
4.5.3	流量管理和拥塞控制	179
小结		184
复习思考题		184
第五章	IP Over ATM 技术	185
5.1	传统 IP Over ATM (CIPOA)	186
5.1.1	CIPOA 的基本原理	186
5.1.2	CIPOA 协议结构与数据封装	186
5.1.3	IP 地址与 ATM 地址映射	187
5.1.4	CIPOA 的特点	188
5.2	ATM 上多协议规范 (MPOA) 技术	188
5.2.1	MPOA 基本原理	189
5.2.2	NHRP 工作原理	189
5.2.3	MPOA 路由技术	191
5.2.4	MPOA 工作过程	192
5.3	ATM 局域网仿真技术	193
5.3.1	ATM 局域网仿真协议模型	194
5.3.2	ATM 局域网仿真关键技术	197
5.3.3	ATM 局域网仿真实现	198
5.3.4	ATM 局域网仿真特点	199
小结		200
复习思考题		200
第六章	MPLS 技术	202
6.1	MPLS 简介	202
6.1.1	MPLS 发展	202
6.1.2	MPLS 标准	204
6.1.3	MPLS 特点	204
6.2	MPLS 技术	205
6.2.1	MPLS 体系结构	205
6.2.2	MPLS 工作原理	207
6.2.3	转发等价类 (FEC)	213
6.2.4	标记分发协议 (LDP)	217
6.3	MPLS 应用	220
6.3.1	MPLS 在 FR 上的实现	220
6.3.2	MPLS 在 ATM 上的实现	226
小结		232
复习思考题		233
第七章	IP Over SDH 技术	234

7.1	SDH 基本原理	234
7.1.1	SDH 特点	235
7.1.2	SDH 接口	235
7.1.3	SDH 网络设备	236
7.1.4	SDH 传输网	238
7.1.5	SDH 同步网	240
7.1.6	SDH 管理网	244
7.2	IP Over SDH 技术	246
7.2.1	IP Over SDH 网络体系结构	247
7.2.2	点到点协议 (PPP)	247
7.2.3	高级数据链路控制规程 (HDLC)	249
7.3	DWDM 技术	253
7.3.1	DWDM 传输系统	253
7.3.2	DWDM 系统结构	255
7.3.3	IP Over DWDM 技术	257
	小结	262
	复习思考题	263
第八章	宽带网接入技术	265
8.1	接入网的基本概念	265
8.1.1	接入网的定义和界定	265
8.1.2	接入网的分层模型	266
8.1.3	接入网的接入类型	267
8.1.4	接入网的接口与业务	267
8.1.5	接入网的管理控制和运行	268
8.1.6	接入网的分类	271
8.2	有线接入网	271
8.2.1	铜线接入网	271
8.2.2	光纤接入网	276
8.2.3	光纤/同轴电缆系统 (HFC) 混合	282
8.3	无线接入网	284
8.3.1	固定无线接入网	285
8.3.2	移动接入网	289
	小结	294
	复习思考题	294
第九章	宽带网设计方案及产品指南	295
9.1	宽带网设计方案	295
9.1.1	宽带网 IP Over ATM 解决方案	295
9.1.2	宽带网 IP Over SDH 解决方案	295
9.1.3	宽带网 IP Over DWDM 解决方案	296

9.2 中兴公司宽带网系列产品	297
9.2.1 ZXB10 产品特点及应用	297
9.2.2 ZXB10-BX 多业务骨干路由交换机	299
9.2.3 ZXB10-AX 多业务接入路由交换机	301
9.2.4 ZXB10-MX 业务复用器	303
9.2.5 ZXB10-SX 系列业务接入器	304
9.2.6 ZXB10 典型组网	306
9.3 上海贝尔阿尔卡特宽带系列产品	307
9.3.1 BTC-9500 系列 ATM 交换机	307
9.3.2 I-BAG 综合宽带接入网关	311
9.4 华为公司主要宽带设备介绍	313
9.4.1 Radium 8750 多业务交换机	313
9.4.2 MA5100 宽带接入交换机	315
9.4.3 Radium BAS 宽带接入服务器	317
小结	318
复习思考题	319
附录：英汉缩略语对照	320
参考资料	326

第一章 数据通信基础

宽带网络技术是数据通信技术和计算机网络技术相结合的产物。随着互联网的快速发展，对以电话业务为主的传统电信网络带来了巨大的冲击，传统网络的速率和带宽已不能满足迅速增长的用户需求和适应多媒体通信的应用，这也正是推动网络宽带化的市场动力。宽带网产生的技术原因是数据通信中 ATM 技术、SDH 技术和 DWDM 技术的产生以及与计算机网络中 IP 技术的结合。宽带网的诞生，向人们展示了其巨大的潜力和广阔的应用前景。本章首先对数据通信技术进行分析和介绍。

1.1 数据通信网的组成

数据通信网就是由数据终端、传输、交换和处理等设备组成的体系，用以数据的传输、交换与处理，并尽可能提高网内各种设备的利用率，以获得网内资源（包括通信线路、硬件、软件数据库等）的共享。本节着重叙述数据通信网的组成和分类，数据通信系统的构成，数据通信的特点和数据通信的主要性能指标等四个问题。

1.1.1 数据通信网的组成和分类

一、数据通信网的组成

数据通信网是一种使用转接交换设备和传输链路，将处于不同地理位置的数据终端设备互连起来，实现通信和信息交换的网络，如图 1.1 所示。

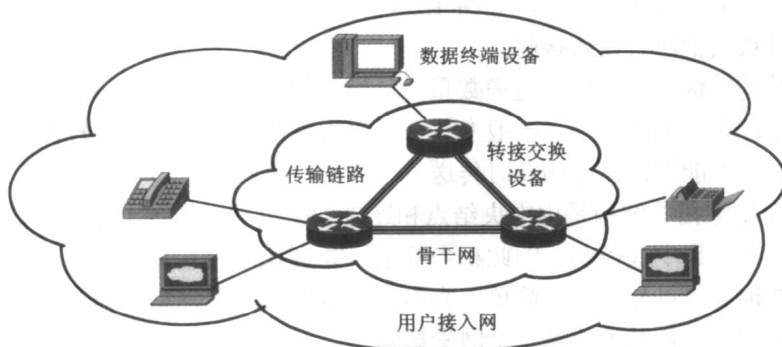


图 1.1 数据通信网的组成

转接交换设备是现代数据通信网的核心，也称其为网络节点，其功能首先是为信息提供交换的场所，并具有信息的存储、转发功能；其次是选择路由，为各子网提供接口，实行信

息的收发, 并保证必须的传输状态; 第三是进行信息流控制, 为避免信息拥塞和有效地利用网络资源, 节点之间必须实行流量控制; 最后一个功能是实施网络的监视和管理。

传输链路即传输信道, 是网络节点的连接媒介, 是信息和信号的传输通路。目前电信网中传输链路的实现方式主要有: 实线传输链路方式, 频分传输链路方式, 时分数字传输链路方式, 码分传输链路方式, 波分传输链路方式等。

数据终端设备是数据通信网中的源点和终点。其主要功能是把待传送的信息与在信道上传送的信号之间进行相互转换。因此, 数据终端设备必须具有信号处理功能、协议产生和识别功能。

二、数据通信网的分类

根据不同的分类方法, 数据通信网可以分成很多种类型。

1. 按服务的对象分类

① 公用数据通信网: 即公众网。它是向全社会开放的数据通信网, 由国家电信部门经营, 是国家电信网的主体。

② 专用数据通信网: 它是为满足各专业性行业通信的需要而建设的专用数据通信网。如军队、铁路、石油、水利电力、煤炭等部门自建或向电信部门租用电路建设的专供本部门业务使用的数据通信网。专用数据通信网也是国家数据通信网的重要组成部分。

2. 按数据通信网的服务范围分类

① 局域网 (LAN): 通信距离一般控制在几公里以内, 覆盖范围一般是一个房间、一幢大楼、一个校园和一个企业。局域网传输速率较高。

② 广域网 (WAN): 通信距离可达几十至几千公里, 也叫远程网。它可以覆盖一个国家或地区, 甚至横跨几个洲, 形成国际性的远程网。Internet 就是典型的广域网。

③ 城域网 (MAN): 通信距离介于局域网和广域网之间, 约为几十公里。城域网的设计目标主要是满足一个城市范围内大量的企业、机关、学校等多个局域网互联的需求。

3. 按数据通信网的拓扑结构分类

① 总线网: 总线拓扑结构采用一个信道 (总线) 作为传输媒介, 所有站点通过相应的接口直接连接到这一公共传输媒介上, 如图 1.2 (a) 所示。任何一个站发送的信号都沿着传输媒介传播, 而且被其他所有站所接收。

总线拓扑结构的优点是: 所需电缆数量少, 结构简单, 易于扩充, 增加或减少用户比较方便。其缺点是: 系统范围有限, 一般在几公里以内; 故障诊断和隔离较困难; 在多个站点同时争用总线时, 不能保证信息的及时传送。

② 星型网: 星型拓扑结构是由中央结点和连接到中央结点的各个站点组成, 如图 1.2 (b) 所示。中央结点实行集中式控制, 因此相当复杂, 并且其地位非常重要。

星型拓扑结构的优点是: 控制简单, 容易进行故障诊断和隔离。其缺点是: 中央结点负担重, 易形成瓶颈, 一旦发生故障, 全网受影响。

③ 环型网: 环型拓扑结构由站点和连接站点的链路组成一个闭合环, 如图 1.2 (c) 所示。环路可以是单向的, 也可以是双向的。单向环型网络, 数据只沿一个方向传输; 双向环型网络, 数据沿两个方向传输。由于多个站点连接在一个环上, 因此需要用分布式控制方式进行控制, 每个站点都有控制发送和接收的访问逻辑。

环型拓扑结构的优点是：电缆长度短，扩充容易，增加或减少工作站时，仅需简单的连接。其缺点是：结点的故障会引起全网的故障，检测故障较困难。

④ 网型网：网型拓扑结构中，在大多数情况下，一个结点至少和两个以上的结点相连。当所有结点之间均有直达通路连接时，就成为全连通的网络拓扑，如图 1.2 (d) 所示。

网型拓扑结构的优点是：可靠性高，无瓶颈问题和失效问题。其缺点是：结构比较复杂，成本比较高。

⑤ 混合网：混合网一般由网型网和星型网组合而成，如图 1.2 (e) 所示。它在流量大的区间采用网型网结构，结合了网型网和星型网的优点，比较经济合理且有一定的可靠性。

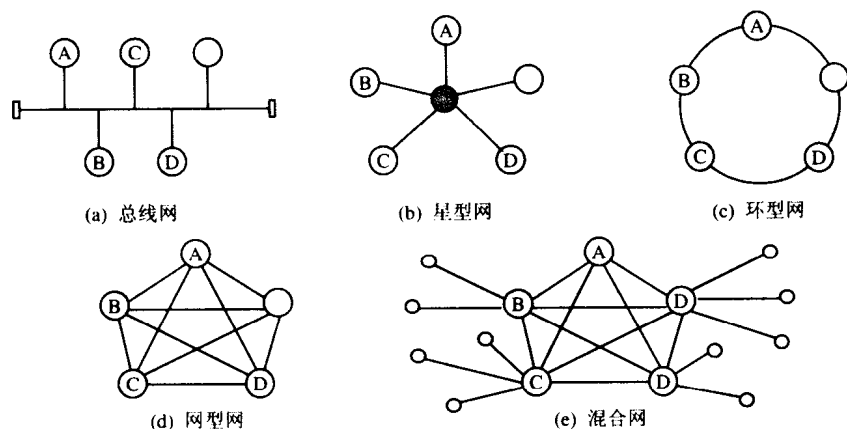


图 1.2 通信网的拓扑结构

三、数据通信网的发展趋势

数据通信技术的发展方向是数字化、宽带化、综合化、智能化、个人化和标准化。

数字化就是在数据通信网上全面使用数字技术，包括信息的数字化以及传输和交换的数字化等。其中首要的是信息的数字化。信息数字化后，便于计算机进行处理、传输和控制。从 20 世纪 80 年代开始，发达国家的数据通信网开始以较大的步伐全面走向数字化。

宽带化是适应人们对大量信息的需求而出现的，只有通过宽带高速信道才能传送质量达到演播室水平的语音信号、高清晰度视频信号和高速的数据信号。宽带化一般指每秒几百兆比特以上的高速传输和交换信息。

综合化包括两重含义，即业务综合和网络的综合。前者指语音、数据、图像等各种业务的综合；后者指电信网、计算机网、电视网等各种网络的综合。

智能化是指数据通信网中引入更多的智能部件，构成智能网 (IN)，从而提高网络和业务的应变能力；它可以对网络资源进行动态分配，随时提供满足各类用户需要的业务。智能网是一种网络体系结构，它是在基础数据通信网络之上附加一个网络层，将网络的交换功能与控制功能相分离，将“智能”集中到新设的功能部件——智能网业务控制点 (SCP) 上。智能网为快速灵活地提供智能业务提供了很好的基础。

个人化即个人通信，指无论任何人在任何时候，位于任何地方都能自由地与世界上其他任何人进行通信。

标准化是指数据通信网在发展中不断制定或修订全国乃至国际统一的数据通信网络标

准。只有这样才能保证各国甚至全世界的网络技术标准的统一，以保证各国电信网用户乃至全球电信网的用户之间能够顺利地进行通信。

1.1.2 数据通信系统的构成

数据通信系统是通过数据电路将分布在远地的数据终端设备与计算机系统连接起来，实现数据传输、交换、存储和处理的系统，是组成数据通信网的基础。典型的数据通信系统主要由中央计算机系统、数据终端设备和数据电路三部分构成，如图 1.3 所示。

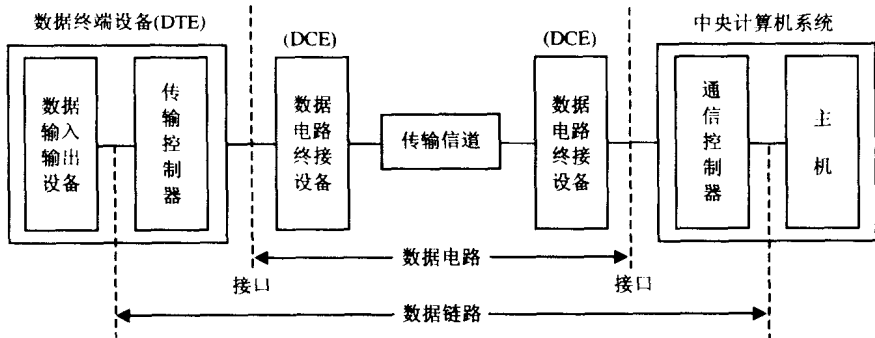


图 1.3 数据通信系统的基本构成

一、数据终端设备

数据终端设备 (Data Terminal Equipment, DTE) 由数据输入设备 (产生数据的数据源)、数据输出设备 (接收数据的数据宿) 和传输控制器组成。

DTE 在数据通信中的作用类似于电话与电报通信中的电话机和电报机，它把信息变成以数字代码表示的数据，并把这些数据输送到远端的中央计算机系统。同时，可以接收远端中央计算机系统的处理结果——数据，并将它变为原始的信息。

在不同的场合，DTE 可以是不同的设备。例如，在发送数据中，DTE 可以是键盘输入器；在接收数据中，它可以是屏幕显示设备 (CRT)，也可以是激光打印机等等。当然，具有一定功能的个人计算机也可称为 DTE。

二、数据电路

数据电路由传输信道 (传输线路) 及其两端的数据电路终接设备 (Data Circuit Terminating Equipment, DCE) 组成。

数据电路位于 DTE 与中央计算机系统之间，它的作用是将 DTE 或中央计算机系统送出的数据信号变换成适合各种传输媒介传输的信号。在数据电路两端收发的是二进制“1”或“0”的数字数据信号。

传输信道包括通信线路和通信设备。通信线路一般采用电缆、光缆、微波等传输媒介。通信设备又可分为模拟通信设备和数字通信设备，从而使传输信道分为模拟传输信道和数字传输信道。另外，传输信道中还包括通过交换网的连接或是专用线路的固定连接。

DCE 是 DTE 与传输信道的接口设备。发方的 DCE 有两项功能：一是将来自 DTE 的数

据信号进行变换,消除原数据信号内的直流分量,使信号功率谱与信道相适应,防止数据信号中出现长串“1”或“0”码时,可能导致收发双方的失步;二是当传输信道为模拟信道时,将来自 DTE 的基带数据信号调制载频信号,变为频带信号,实现频带传输。收方的 DCE 施行与发方相反的功能。调制解调器 (Modem) 是最常见的 DCE。发送时,调制器把数字数据信号转换成适合于模拟信道上传输的模拟信号;接收时,模拟信号由解调器将它还原成数字数据信号,并送到 DTE。当数据信号在数字信道上传输时,DCE 的位置上不再需要 Modem,而改为数据服务单元 (Data Service Unit, DSU)。DSU 的功能是完成信号格式变换 (即消除信号中的直流成分和防止长串“0”的编码)、信号再生和定时等。另外,如果数据信号直接在电缆中传输,称为基带传输,此时 DCE 只需要第一项功能。

三、中央计算机系统

中央计算机系统由通信控制器 (或称前置处理机)、主机及外围设备组成,具有处理从数据终端设备输入的数据信息,并将处理结果向相应的数据终端设备输出的功能。

通信控制器是数据电路和中央计算机系统的接口,它控制与远程数据终端设备连接的全部通信信道,接收远程 DTE 发来的数据信号,并向远程 DTE 发送数据信号。通信控制器的主要功能,对远程 DTE 一侧来说,是差错控制、终端的接续控制、确认控制、传输顺序控制和切断控制等;对计算机系统一侧来说,其功能是将线路上来的串行比特信号变成并行比特信号,或将计算机输出的并行比特信号变成串行比特信号。另外,在远程 DTE 侧有时也有类似的通信控制功能,但一般作为一块通信控制板合并并在 DTE 中。

主机又称中央处理机,由中央处理单元 (CPU)、主存储器、输入输出设备以及其他外围设备组成,其主要功能是进行数据处理。

1.1.3 数据通信的特点

数据通信与传统的电话通信相比,在通信对象、通信内容、可靠性要求、传输效率等方面都有不同之处。

一、通信的对象有机器参与

数据通信是实现计算机和计算机之间以及人和计算机之间的通信,而电话通信是实现人和人之间的通信。尽管计算机具有超越于人的能力,但是计算机不具有人脑的思维能力。计算机完成的每件工作都需要由人预先编好程序,计算机的智能来自人的智能。计算机之间的通信过程需要定义出严格的通信协议或标准,而电话通信就不必如此复杂。

二、数据传输的可靠性要求高

数据通常以二进制“1”和“0”的组合编码表示,如果一个码组中的一个比特 (“1”或“0”) 在传输过程中产生错误,则在接收端可能被理解为完全不同的信息,甚至是相反的含义。特别是对于像银行业务或军事上用的自动控制系统,数据的差错可能引起严重的后果,因此数据通信要达到很低的误码率。而在传输中发生差错时要求能够自动地进行校正。表 1.1 中列出了数据通信和其他一些通信业务对传输误码率的基本要求。

表 1.1 各种通信业务的误码率

通 信 业 务	可接受误码率	可接受误组率
数 据	$<10^{-8}$	$<10^{-10}$
话 音	$<10^{-2}$	$<10^{-3}$
电 视	$<10^{-2}$	$<10^{-3}$
压 缩 电 视	$<10^{-6}$	$<10^{-9}$
图 片	$<10^{-4}$	$<10^{-9}$

三、数据通信量的突发性较为严重

表 1.2 提供了在各种不同工作环境下数据通信速率的平均值和高峰值。从表中可以看出，数据通信的平均速率相当低，而它们的瞬时高峰速率却可能高出上百倍。为了避免发送和接收数据的时延超过要求，在设计数据通信系统时通信线路的传输速率应当符合高峰速率的要求。从这里我们也可以看出，单一的终端或计算机专用的通信线路，其资源利用率是很低的。这导致了在数据通信网中通信资源共享技术的广泛研究和开发，分组交换就是其中的一项重要成果。从表 1.2 中可以看出，PCM 数字语音的高峰速率大约是平均值的 3 倍，比数据通信的情况小得多。

表 1.2 不同工作环境的数据通信速率

工 作 环 境	平均速率 (bit/s)	高峰速率 (bit/s)
终端到计算机	1	100
计算机到终端	10	10000
远程作业录入	100	10000
计算机到计算机	10000	1000000
PCM 数字语音	20000	64000

四、数据通信网应提供足够灵活的接口能力

数据通信的“用户”是各种各样的计算机和终端设备，它们在通信速率、编码格式、同步方式和通信规程等方面都会有很大的差异。为了能够实现它们之间的互相通信，数据通信网应当提供足够灵活的接口能力，以适应各种用户的需要。

五、数据通信的信息传输效率很高

例如，在一条模拟电话信道上以 2400bit/s 的速率传输数据是很容易实现的，每分钟可以传输 18000 个字符。在一条数字电话信道 (0 次群) 以 48kbit/s 速率传输数据，每分钟可以传送 360000 个字符，相当于 150 页文件 (每页 2400 个字符)。使用电话通信方式不可能在一分钟内传输如此大的信息量。由此可见，数据通信的经济性不言而喻。而且由于数据比话音更容易在计算机中存储、处理、转发。因此，数据通信给人类带来的变化和效益是电话通信难以比拟的。