

中国普通高等学校优秀教材

现代数据通信教程

(第二版)

陈启美 李 嘉 编著
王 健 李 勃



南京大学出版社

TN919/66

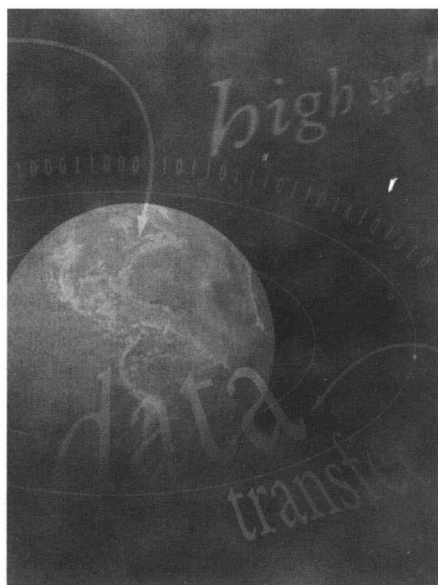
2006

全国普通高等学校优秀教材

现代数据通信教程

(第二版)

陈启美 李 嘉 编著
王 健 李 勃



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代数据通信教程/陈启美等主编. —2版. —南京:
南京大学出版社, 2006. 2

ISBN 7-305-03509-2

I. 现... II. 陈... III. 数据通信-高等学校-教材
IV. TN919

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 010340 号

书 名	现代数据通信教程(第二版)
编 著	陈启美 李 嘉 王 健 李 勃
出版发行	南京大学出版社
社 址	南京市汉口路 22 号 邮编 210093
电 话	025-83596923 025-83592317 传真 025-83686347
网 址	http://press.nju.edu.cn
电子邮件	nupress1@public1.ptt.js.cn
经 销	全国各地新华书店
照 排	南京展望文化发展有限公司
印 刷	扬州鑫华印刷有限公司
开 本	787×1092 1/16 印张 25.25 字数 640 千
版 次	2006 年 2 月第 2 版 2006 年 2 月第 1 次印刷
印 数	1—3 000
ISBN	7-305-03509-2/TP·193
定 价	35.00 元

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购图书
销售部门联系调换

再 序

六年前的今天,我曾为该书作序。在当时的背景下,我曾作了陈启美等编写的《现代数据通信教程》是十分必要和及时的这一评价,同时指出了该书的三个特色:其一是大大拓展了数据通信的内涵,扩展到计算机之间的数据信息的交换、传输、接入等一系列过程;其二增加了不少新技术,反映了数据通信新技术的动向和进展;其三说明了该书的读者对象和重要的参考价值所在。该书得到了不少学校和学生的认可,同时也得到了专家的肯定,2002 年获得全国普通高等学校优秀教材奖。

正如前次序中所言,“数据通信将成为网络流量的主流”,该书的第二版作了增删修订,其中适时增添了“数据网络”一章,对网络的模型、参数等作了专题讨论。除了进一步拓展数据通信的内涵之外,这对理解网络的本质,及当今网络的互连与融合,具有积极的意义。书中对问世不久的图像编解码 H. 264 也作了描述和归纳,同时还增加了 VoIP、IPTV 网络多媒体应用等内容。

读过《现代数据通信教程》的人不难得到这样的感受:该书把握了体系结构的完整性与拓展性,准确阐述了科学原理的理论、概念、应用,及相关的内在关系;追踪了当代新技术的发展和交叉融合,具有鲜明的时代特色;敢于抒发了个人的看法,对于过时的观点、陈旧的内容予以纠正、压缩。总之,该书是一本值得推荐的教科书,也是一本有价值的专业指导书。

毕厚杰
2006 年元月

再 版 前 言

《数据通信教程》问世于 21 世纪新春钟响之际,迄今已有整整六个年头了。值得庆幸的是,该书荣获了全国普通高等学校优秀教材二等奖,并为多校采用,有的高校还作为考研指导用书。其实重要的是,书中的有些技术观点,诸如对 IP 网络、ATM 等的预测与评价是客观的,经住了岁月的检验。但是,随着宽带网络的崛起,不少内容需要补充和加以说明,已不宜再简单地重印了,故应南京大学出版社之约,作了修订版,并申报了“十一五”国家高校教材出版计划。

数据通信是计算机和通信技术交叉融合,并相互渗透的专业技术,数据通信若不提网络,则缺少了深层次的研究内涵,也难以支撑其完整的体系结构。在多种网络的发展和融合的趋势中,信息网络的呼声很高。其概念反映了比较强烈的应用背景。为了揭示网络的内在机理,涵盖多种网络的本质,麻省理工大学 Dimitri Bertsekas 和 Robert Gallager 在其所著的《DATA NETWORKS》中提出了数据网络理念,这对网络模型的构建、参数的确立、系统的分析等具有重要的理论指导意义。本书修订版增加了数据网络一章。考虑到数据网络的理论比较深,需要较多的数学基础,为了不妨碍本科生阅读理解,主要给出了网络延迟、多路访问控制、路由,以及流量控制等物理意义,并适当作了一些基本的或必要的理论解析。此外,除将原第十二章关于网络对多媒体支持的内容纳入该章外,对目前各种有代表性的网络构成、融合与进展作了专题描述。

考虑到书的篇幅受限,将原第十章信道压缩为一节,并入了第二章通信基础;鉴于多媒体的内容发展较快,在第十二章中也作了适当更新。

本书旨在深入浅出地系统阐述数据通信的基本原理;刻意于取材的新颖,力求反映当代国内外数据通信技术的进展;注重理论与实际相结合,尽可能介绍相关实用技术。同时考虑到相当一部分科技人员和学生没有通信专业的技术背景,然而对计算机技术却有一定了解,因此本书的有关内容仍向通信技术方面有所倾斜。

本书共有十二章,除上述的第十一章数据网络外。第一章是绪论,扼要介绍了通信的发展及当代通信的热点,叙述了通信模型及数据通信研究的内容,并分析了计算机网络与数据通信的关系。第二章是通信基础,讲述了通信中的基本概念、常用术语、主要指标,并用时域和频域的手段,讨论了信号与信道的关系,此外还概略介绍了模拟通信、数字通信,以及常用信道。第三、四章是基带数据传输和

频带数据传输,它们从时域和频域角度阐述了数据传输的基本原理,说明了相应的技术方法,同时还介绍了 MODEM 的标准、协议等实际应用知识。第五章是通信接口,介绍了常用通信接口的机械、电气、功能和过程特性。第六章是多路复用,讲述了多路复用的基本理论、技术背景,频分、时分、码分、波分等多路复用技术,以及数字复接、PDH 和 SDH 的有关内容。第七章是差错控制,讨论了差错控制的原理和方式,介绍了常用的纠错编码。第八章是同步,提出了同步的概念和分类,讲述了位、帧、网同步等相关内容。第九章是交换,讲述了电路、报文、分组、帧中继、ATM 等交换技术,并专题分析比较了新技术与传统技术的性能和特点。第十章是用户数据接入,它是当前通信的瓶颈和热点,在讨论其背景、需求、功能、结构等的基础上讲述了光接入网、xDSL、FTTX 和 WLL 的原理、特点及应用。第十二章是多媒体数据通信,它反映了现代通信的动态和发展趋势。多媒体基础知识、多媒体通信特点等内容是作为基本技术背景来介绍的;在讨论多媒体通信对网络的需求之后,探讨了当前各种网络对多媒体通信的支持及相应的技术改造;多媒体同步和多媒体数据压缩涉及技术面较广,故分别予以专题描述;最后介绍了多媒体通信的应用和进展。

本书自成系统,便于自学,可作为高校通信、计算机、电子等专业的教科书,也可作为科技人员的参考书。本书各章末均附有习题,书末还附有相关的数学推导和常用标准、若干专业英汉词汇对照表及主要参考文献。

由于数据通信属发展迅速、学科交叉的技术领域,又限于笔者的理论水平和实践能力,第二版中仍然存有不少错误和缺陷,敬请读者不吝赐教。笔者的 Email 地址是: chenqimei@nju.edu.cn。

编著者

2006 年元月

目 录

再序	1
再版前言	1
第一章 绪论	1
第一节 通信的回顾与热点	1
一、通信的回顾	1
二、当前通信的热点	2
第二节 数据通信的研究内容	3
一、通信模型	3
二、通信种类的划分	3
三、数据通信的研究内容	4
第三节 由计算机网络谈数据通信	5
一、网络定义的角度	5
二、网络体系结构的角度	5
第四节 通信技术标准制定机构	7
第二章 通信基础	10
第一节 信息	10
一、信息、信号与消息	10
二、信息论的出现	10
三、信息的度量	10
第二节 信号与信道	12
一、概述	12
二、信号的分类	13
三、信号的频域分析	13
四、信号通过信道的分析	15
五、信号的频谱搬移	17
六、噪声与信噪比	17
第三节 数据通信系统的主要质量指标	19
一、数据通信系统的有效性	19
二、数据通信系统的可靠性	20
三、其他质量指标	21
第四节 信道容量	21
一、香农公式	21
二、奈奎斯特准则	23
第五节 模拟通信	24

第六节 数字通信	25
一、数字通信系统的概念	25
二、数字通信的特点	25
三、PCM 的编译码	26
第七节 信道	28
一、有线电信道	29
二、光纤信道	31
三、微波通信系统	32
四、卫星通信系统	34
第三章 基带数据传输	38
第一节 概述	38
第二节 基带数据信号码型的设计要求	38
第三节 基带传输基本理论	45
一、无失真传输	45
二、带限传输对信号波形的影响	46
三、基带传输基本准则	46
四、部分响应系统	49
第四节 眼图和均衡	49
一、眼图	49
二、均衡	51
第四章 频带数据传输	55
第一节 概述	55
第二节 2ASK	55
一、2ASK 的调制	55
二、2ASK 的解调	57
第三节 2FSK	58
一、2FSK 的调制	58
二、2FSK 的解调	60
第四节 2PSK	61
一、2PSK	61
二、2DPSK	63
第五节 几种二进制数字调制性能比较	66
第六节 多进制数字调制	68
一、多进制幅移键控(MASK)	68
二、多进制频移键控(MFSK)	69
三、多进制相移键控(MPSK)	70
四、幅相键控(APK)	75
第七节 MODEM	76
一、Modem 的分类	76
二、有关 Modem 的标准	78
三、Modem 的硬件总体结构及功能	79

四、AT 命令集	80
五、Modem 间通信所使用的文件传输协议	81
六、软件 Modem	85
第五章 通信接口	88
第一节 概述	88
第二节 机械特性	89
第三节 电气特性	90
第四节 功能特性和过程特性	92
一、概述	92
二、V 系列接口	92
三、X 系列接口	99
第五节 接口的物理连接	101
第六章 多路复用	104
第一节 概述	104
第二节 多路复用基本理论	104
第三节 频分多路复用	105
第四节 时分多路复用	107
第五节 统计时分多路复用	110
第六节 码分多址复用	113
第七节 波分多路复用	116
第八节 数字复接	117
一、数字复接的基本概念	117
二、数字复接系统	117
三、数字复接的分类	118
第九节 PDH 和 SDH	120
一、PDH	120
二、SDH	123
第七章 差错控制	129
第一节 概述	129
第二节 差错控制的基础知识	129
一、检错和纠错的基本原理	129
二、差错控制编码分类	132
三、差错控制方式	133
第三节 简单的抗干扰编码	134
一、奇偶校验码	134
二、二维奇偶校验码	134
三、群计数码	135
四、等重码	135
第四节 线性分组码	136
一、线性分组码的概念	136
二、汉明码	137

三、对一般线性分组码的讨论·····	139
四、循环码·····	142
五、BCH 循环码 ·····	149
第五节 卷积码简介 ·····	150
第六节 ARQ ·····	152
一、等待式 ARQ ·····	152
二、退回 N 步 ARQ ·····	153
三、选择重传 ARQ ·····	154
四、滑动窗口协议·····	154
第八章 同步 ·····	161
第一节 概述 ·····	161
第二节 由接收数据判决谈时钟同步 ·····	161
第三节 异步传输方式与同步传输方式 ·····	163
一、异步传输方式·····	163
二、同步传输方式·····	164
第四节 位同步及其提取 ·····	165
一、插入导频法·····	165
二、自同步法·····	166
第五节 帧同步·····	170
一、帧同步系统应满足的要求·····	170
二、集中插入同步法·····	170
三、分散插入同步法·····	173
第六节 网同步·····	174
一、网同步的基本概念·····	174
二、全网同步系统·····	175
三、准同步系统·····	176
第九章 交换 ·····	179
第一节 概述 ·····	179
第二节 电路交换 ·····	180
一、电路交换原理·····	180
二、程控交换机·····	182
第三节 报文交换 ·····	185
第四节 分组交换 ·····	187
一、分组交换方式的提出·····	187
二、分组交换原理·····	188
三、分组与合并·····	188
四、数据报和虚电路·····	190
五、路由选择·····	191
六、流量控制·····	195
七、故障处理·····	197
八、X.25 建议的基本概念 ·····	198

第五节 帧中继	199
一、快速分组交换技术的提出	199
二、帧中继的基本原理	199
三、帧中继的帧结构	201
四、帧中继的特点	202
第六节 ATM	202
一、ATM的提出	202
二、ATM的基本概念	203
三、ATM的交换原理	205
四、ATM的特点	207
五、ATM与帧中继的关系	208
第七节 几种交换方式的比较	208
一、电路交换的主要优缺点	208
二、分组交换的主要优缺点	208
三、帧中继的主要优缺点	209
四、ATM的主要优缺点	209
五、相互比较	209
第十章 用户数据接入	212
第一节 概述	212
第二节 背景、需求、特点	213
一、背景	213
二、需求	213
三、特点	213
四、接入网分类	214
第三节 接入网功能结构	214
一、功能结构	214
二、接口	215
三、功能	215
四、接入网的模型	216
第四节 光接入网	217
一、基本功能结构	217
二、引入的优点	218
三、FTTX	218
第五节 xDSL	220
一、概述	220
二、HDSL	221
三、ADSL	224
四、VDSL、SDSL、RADSL	230
第六节 HFC	230
一、HFC的结构	231
二、HFC中的频谱安排	231
三、HFC的主要技术	232

四、HFC 的优点	233
第七节 WLL	233
一、概述	233
二、WLL 的特点和应用	234
三、WLL 的接入结构	235
四、基于集群无线电话的 WLL	236
五、基于蜂窝移动通信的 WLL	237
六、基于无绳电话的 WLL	237
七、基于一点对多点的微波 WLL	238
第十一章 数据网络	240
第一节 概述	240
第二节 数据网络的提出	240
一、数据网络的延迟	241
二、数据网络的多路访问控制	241
三、数据网络的路由	242
四、数据网络的流量控制	242
五、数据网络的数据包格式	243
六、IP Over Everything	251
七、从数据网络谈三网融合和软交换	253
八、以软交换为核心的下一代网络	255
第三节 数据网络理论	256
一、延迟理论	256
二、多路访问理论	258
三、路由理论	260
四、流量控制理论	263
第四节 电信网络的演进	265
一、概述	265
二、公共交换电话网	266
三、数字数据网	267
四、X.25 分组技术	269
五、帧中继	269
六、宽带综合业务数字网(B-ISDN)	270
第五节 广电网络的进展	272
第六节 IP 计算机网络的构成与进展	273
一、概述	273
二、IP 交换	275
三、网络节点设备	279
第七节 基于 SDH 的多业务传送平台 MSTP	285
一、MSTP 概念	285
二、第三代 MSTP 技术	285
三、MSTP 技术特点	286
四、MSTP 的应用	287

第八节 多标签协议交换 MPLS	287
一、概述	287
二、MPLS 的体系结构	288
三、MPLS 流量工程性能	290
四、MPLS 技术的应用——虚拟专用网(VPN)	290
五、MPLS 服务类型	292
第九节 基于软交换/IMS 的下一代网络	293
一、概述	293
二、下一代网络 NGN 体系结构	294
三、软交换技术	294
第十节 网络主要协议简述	297
一、网络协议的分类和应用	297
二、媒体网关控制协议 H. 248/Megaco	299
三、SIGTRAN 协议	301
四、H. 323 协议	303
五、会话初始协议 SIP	306
六、BICC 协议	310
七、Parly API	310
第十二章 多媒体数据通信	312
第一节 概述	312
第二节 多媒体通信基础知识	312
一、多媒体通信的历史与现状	312
二、多媒体的定义	313
三、多媒体技术综述	314
第三节 多媒体通信的特点	315
一、宽带	315
二、实时性	315
三、时空约束	316
四、分布处理和协同工作	316
五、交互式工作	317
第四节 多媒体通信对网络的需求	317
一、网络性能参数	317
二、对网络的性能要求	318
第五节 多媒体同步	320
一、导言	320
二、同步的分类	321
三、同步的分级	321
四、多媒体通信的同步方法	324
第六节 多媒体通信中的压缩编码技术	326
一、多媒体通信中数据压缩的必要性和可行性	326
二、数据压缩的分类	326
三、平均信息量编码	327

四、源编码·····	329
五、音频压缩编码技术·····	332
六、视频图像压缩编码技术·····	334
七、多媒体音频和视频编码的国际标准·····	334
第七节 多媒体通信的应用和进展 ·····	340
一、综述·····	340
二、多媒体通信业务种类·····	341
三、多媒体远程通信系统·····	343
四、点播服务类系统·····	345
五、Internet 上的多媒体应用·····	346
六、多媒体通信前瞻·····	349
附录 I 数据通信中的有关数学推导 ·····	352
附录 II 数据通信常用技术标准 ·····	375
附录 III 若干专业英汉词汇对照表 ·····	379
主要参考文献 ·····	388

第一章 绪 论

第一节 通信的回顾与热点

一、通信的回顾

数据通信也许可以追溯到“烽火戏诸侯”的时代。夜晚点火或白天点狼烟表示有敌人入侵,可称为“1”状态;无火或狼烟表示平安无事,称为“0”状态。海军的旗语是用两只手的握旗姿势表示 A~Z 等符号,这也可算是多进制的数据通信了。通信是从 1838 年摩尔斯发明电报算起,而我国的通信事业可以把李鸿章时代的洋务运动,以四个阿拉伯数字表示一个汉字的电报作为起点了。一个多世纪以来,通信可以大致划分为三个阶段:1838 年电报开始的通信的初级阶段;1948 年香农提出信息论开始的近代通信阶段;20 世纪 80 年代以后的光纤通信应用、综合业务数字网崛起的现代通信阶段。现把 20 世纪 80 年代之前的发展简史罗列如下:

- 1838 年 摩尔斯发明有线电报
- 1876 年 贝尔发明电话
- 1896 年 马可尼发明无线电报
- 1918 年 调幅无线电广播、超外差接收机问世
- 1925 年 开始采用三路明线载波电话、多路通信
- 1936 年 调频无线电广播开播
- 1937 年 ALec Reeves 发明脉冲编码调制(PCM)
- 1938 年 电视广播开播
- 1940 年~1945 年 二次大战刺激了雷达和微波通信系统的发展
- 1948 年 香农提出了信息论,通信统计理论开始建立
- 1950 年 时分多路通信应用于电话
- 1956 年 铺设了越洋电缆
- 1957 年 发射第一颗人造卫星
- 1958 年 发射第一颗通信卫星
- 1962 年 发射第一颗同步通信卫星;脉冲编码调制进入实用阶段
- 1960 年~1970 年 彩色电视问世;阿波罗宇宙飞船登月;数字传输的理论和技術得到了迅速发展

1970 年~1980 年 商用卫星通信、程控数字交换机、光纤通信系统等问世

20 世纪 80 年代以后,由于光纤、微电子及计算机等新技术的发展,通信技术有了长足的进步,特别是 90 年代步入了信息时代之后,通信作为信息产业的平台以更迅猛的速度发展。其发展的主要特点是数字化、宽带化、个人化和智能化。下面将简要地介绍当今通信的一些热点。

二、当前通信的热点

1. 卫星通信

1982年国际海事通信组织利用四颗地球同步轨道卫星组成了 INMARSAT 系统,开始实现覆盖地球的卫星通信。由于同步卫星的时延较大,并过于集中而发展空间不大,以及手机小型化等因素,中、低轨道的卫星系统得以重点研究,其中有美国 Motorola 公司的“铱”系统、美国 LORAL 公司的“全球星”系统,以及国际海事通信组织的 ICO 系统。

此外,国际卫星组织于 1999 年第一季度发射的电视直播卫星,也已应用于信息高速公路。

2. 移动通信

第一代通信采用模拟方式,在 20 世纪 80 年代中期得以应用。仅隔数年,它就从模拟方式发展到数字方式。20 世纪 90 年代,基于时分多路复用的北美 D-AMPS 和欧洲的 GSM 相继问世,接着又出现了基于码分多址的移动手机。目前,第三代宽带码分多址移动通信系统已经出现,称为 IMT2000,其国际标准已于 1999 年陆续出台,并于 2000 年正式推出,其主要特点有:提供全球无缝覆盖与漫游;提供数据速率为 2Mbps 的多媒体业务并可用智能化网相连接。

3. 多媒体通信

多媒体通信是当今热门话题,其传媒信息量大,并演变出许多应用,以适应现代社会的需要。诸如,可视电话(Video Phone)、电视会议(Video Conference)、虚拟现实(Virtual Reality)、视频点播(Video On Demand)、语音邮件(Voice Mail)、多媒体检索(Multimedia Document Retrieval)、远程教学(Multimedia Tele-teaching)等等,有的已开始应用,有的正处于襁褓时期。可以预见其离渗透社会各角落,进入千家万户,已为时不远了。

4. 用户数据接入

当电信业务转向视频、数据、图像、语言等多媒体业务后,原有的用户线已不能满足需要了,相应出现了基于铜缆的接入技术,如“高比特率数字用户线”、“不对称数字用户线”等等。这就让传统的用户电话线能够传输 2Mbps 以上的数据,把图像等视频信号引入用户家庭。其次,出现了基于光缆的接入技术,如光纤到家、光纤到路、光纤到楼等等。光缆容量大、干扰小,而且对于传输方式、带宽、波长几乎没有严格限制。除了目前价格较高外、其优点是突出的。其三,还有光纤同轴混合接入技术,这是一种利用有线电视系统的方法,可以额外提供视频点播、交互式数据业务及电话业务。此外,还有无线接入的方式,具有建设速度快、方便灵活、造价低廉等特点。

5. 全光网

1995 年美国和欧洲分别开始了全光网的研究,其中分为两步:第一步是在传输系统中,全程不需要光/电和电/光的转换,完全靠光波沿光纤传输;第二步是用户端机之间不少电信号的处理功能,如出网/进网、储存、交换等,也由光技术实现。目前全光通信试验网已可以进行演示,全光网的有关国际标准正不断出台。全光网在服务质量、带宽资源、业务内容、网络的可重构性和可扩展性等方面,都是当今现有网络所远远不能比拟的。

6. 其他

在数据通信中还有一些具体的新技术专题,诸如,ATM(异步传送模式)、IP Phone(网络电话)、光纤 ADM 分插点复用等等。最近针对 ATM 的不足,又出现了 DTM(动态传送模式)的方案,令人目不暇接。

第二节 数据通信的研究内容

一、通信模型

通信的基本目的是由信源向信宿传送消息。如广播电台播音员的声音,通过电台发送载有声音的信号,以空间电磁场作为传输介质,并由收音机接收后,传给听众。

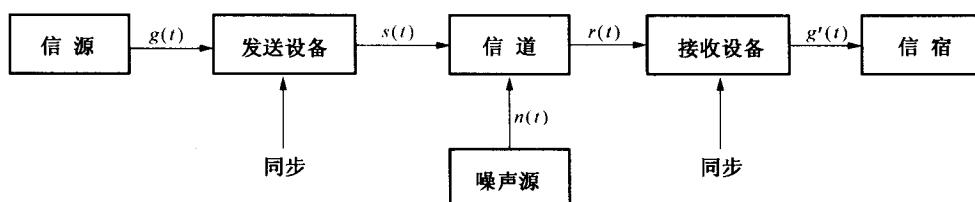


图 1-1 通信模型示意图

图 1-1 中,信源的信号为 $g(t)$,随时间发生变化,通常不适于直接在信道上传输。它需要由发送设备进行某种变换,变为信号 $s(t)$,既载有信源的信息,同时又便于在信道上传输。通过信道后的信号为 $r(t)$,在传输中受到了噪声 $n(t)$ 的干扰,接收设备进行相对于发送的反变换,反变换后的信号 $g'(t)$ 是信号 $g(t)$ 的近似值或估计值。这里,噪声的干扰实际存在于整个通信系统中,为便于分析,并考虑到信道上的干扰最为严重,故不妨把噪声干扰集中在信道上,设为 $n(t)$ 。通信的最基本要求是迅速和可靠,围绕“快和对”,将会展开一系列内容。

数据通信系统中,发送端的信源和接收端的信宿称为数字终端设备(Data Terminal Equipment, DTE),如计算机之类的终端设备;发送和接收设备称为数据通信设备(Data Communication Equipment, DCE)。

图 1-1 模型图是原理性的,带有启蒙的色彩。如 DCE 到 DCE,一般不是简单的点对点的关系,而是涉及比较复杂的网络结构,有路由选择等内容;一般通信是双向,图中只画出单方向的结构;图中的同步也只是一种时间上协调的会意性的描述等等。这些均需要在今后的学习中逐步加深理解。

二、通信种类的划分

通信种类可有多种划分形式,如从通信内容、传输信号形式、信道等角度进行划分。这里暂不作定义,只作通俗的解释。

从通信内容上可有:

{ 语音通信(电话)
 { 图像通信
 { 多媒体通信

从传输信号形式有:

{ 模拟信号通信
 { 数字信号通信