



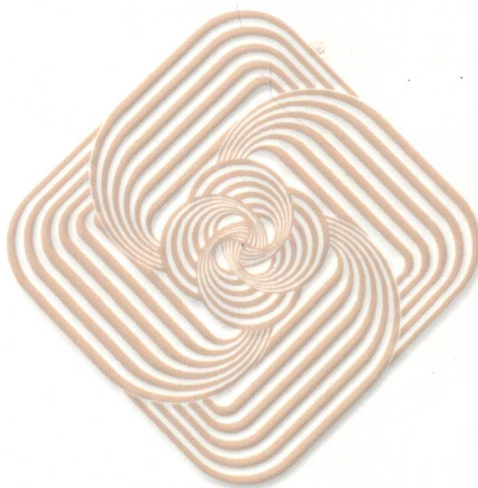
信息通信专业教材系列

数据通信原理

SHUJU TONGXIN YUANLI

(第2版)

毛京丽 李文海 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

信息通信专业教材系列

数据通信原理

(第2版)

毛京丽 李文海 编著

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书首先介绍了数据通信的基本概念,然后对数据信号的基带传输、频带传输和数字数据传输这3种基本传输方式进行了详细的论述,接着分析了差错控制的基本理论及应用、几种数据交换方式(电路交换、报文交换、分组交换和帧方式)及通信协议,继而介绍了分组交换网、帧中继网和数字数据网(DDN)的基本构成及应用,最后介绍了 Internet 与宽带 IP 城域网的相关内容。

全书共有7章:第1章概述,第2章数据信号传输,第3章差错控制,第4章数据交换,第5章通信协议,第6章数据通信网,第7章 Internet 与宽带 IP 城域网。

为便于学生学习过程的归纳总结和培养学生分析问题和解决问题的能力,在每章最后都附有本章重点内容小结和复习题。

本书取材适宜、结构合理、阐述准确、文字简练、通俗易懂、深入浅出、条理清晰、逻辑性强,易于学习、理解和讲授。

本书既可作为高等院校通信专业教材,也可作为从事通信工作的科研和工程技术人员学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数据通信原理/毛京丽,李文海编著. —2版. —北京:北京邮电大学出版社,2007
ISBN 978-7-5635-1567-7

I. 数… II. ①毛…②李… III. 数据通信 IV. TN919

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 174633 号

书 名: 数据通信原理(第2版)

作 者: 毛京丽 李文海

责任编辑: 李欣一

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号(100876)

北方营销中心: 电话:010-62282185 传真:010-62283578

南方营销中心: 电话:010-62282902 传真:010-62282735

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京忠信诚胶印厂

开 本: 787 mm×960 mm 1/16

印 张: 23.25

字 数: 480千字

印 数: 1—5 000册

版 次: 2000年12月第1版 2007年12月第2版 2007年12月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-1567-7

定价: 38.00元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社营销中心联系 ·

前 言

随着社会的不断进步和计算机技术的飞速发展,人们对数据业务的需求日益增长,数据通信已经成为人们生活、工作所必需的通信手段。数据通信网将在各种通信网中起到举足轻重的作用。

本书在简要阐述数据通信基本概念和原理的基础上,侧重讨论和研究了有关差错控制、数据交换、数据通信协议及数据通信网的技术方面的问题。

全书共有 7 章。

第 1 章概述,简单介绍了数据通信的概念、数据通信系统的构成、数据通信传输信道、数据传输方式、数据通信系统的主要性能指标和信道容量等内容。

第 2 章数据信号传输,首先分析了数据序列的电信号表示和功率谱特性,然后详细介绍了数据信号的 3 种传输方式——基带传输、频带传输和数字数据传输,并探讨了格型编码调制(TCM)及几种调制解调器。

第 3 章差错控制,首先介绍了差错控制的基本概念及原理,然后分析了几种简单的差错控制编码、汉明码及线性分组码、循环码和卷积码的基本特性,最后探讨了简单差错控制协议。

第 4 章数据交换,首先介绍了数据交换的必要性和分类,然后具体介绍了电路交换、报文交换、分组交换和帧方式,最后对几种交换方式进行了比较。

第 5 章数据通信协议,首先概括介绍了开放系统互连参考模型,然后具体论述了物理层协议、数据链路传输控制规程、CCITT X. 25 建议、分组装/拆(PAD)相关协议和 X. 75/X. 32/X. 121 建议的相关内容。

第 6 章数据通信网,首先介绍了数据通信网的构成和分类,然后重点介绍了分组交换网、帧中继网和数字数据网(DDN)的具体内容,最后说明了分组交换网、帧中继网及 DDN 之间的关系。

第7章 Internet 与宽带 IP 城域网,主要介绍了 Internet 基本概念、Internet 网络标准 (TCP/IP)、路由器与 Internet 的路由选择协议、宽带 IP 城域网和下一代 IP 技术——IPv6。

本书第1~2章由李文海编写,第3~7章由毛京丽编写。

在本书的编写过程中,参考了一些相关的文献,从中受益匪浅,在此对这些文献的著作者表示深深的感谢!

由于编者水平有限,若书中存在缺点和错误,恳请专家和读者指正。

编 者

2007 年 12 月

目 录

第 1 章 概述

1.1 数据通信的概念	1
1.1.1 数据与数据通信	1
1.1.2 传输代码	1
1.2 数据通信系统的构成	3
1.2.1 数据终端设备	4
1.2.2 数据电路	4
1.2.3 中央计算机系统	4
1.3 数据通信传输信道	5
1.3.1 信道类型及特性	5
1.3.2 传输损耗	7
1.3.3 噪声	8
1.3.4 信噪比	9
1.4 数据通信网与计算机通信网	10
1.4.1 计算机通信与数据通信	10
1.4.2 数据通信网与计算机通信网	10
1.5 数据传输方式	13
1.5.1 并行传输与串行传输	13
1.5.2 同步传输与异步传输	13
1.5.3 单工、半双工和全双工数据传输	15
1.6 数据通信系统的主要性能指标	15
1.6.1 有效性指标	16
1.6.2 可靠性指标	17
1.7 信道容量	18

1.7.1 模拟信道的信道容量	18
1.7.2 数字信道的信道容量	18
小结	19
习题	20

第2章 数据信号的传输

2.1 数据信号及特性描述	21
2.1.1 数据序列的电信号表示	21
2.1.2 基带数据信号的频谱特性	22
2.2 数据信号的基带传输	27
2.2.1 基带数据传输构成模型	27
2.2.2 理想低通网络波形形成和奈奎斯特第一准则	28
2.2.3 具有幅度滚降特性的低通网络波形形成	30
2.2.4 部分响应形成系统	32
2.2.5 数据序列的扰乱与解扰	39
2.2.6 基带传输中的时域均衡	40
2.2.7 数据传输系统的眼图	43
2.2.8 数据传输系统中的时钟同步	44
2.2.9 基带传输的最佳化和系统性能分析	45
2.2.10 基带数据传输系统及应用	47
2.3 数据信号的频带传输	49
2.3.1 频带传输系统的构成	49
2.3.2 数字调幅	50
2.3.3 数字调相	58
2.3.4 数字调频	65
2.3.5 数字调制中的载波提取和形成	69
2.5 格型编码调制及几种调制解调器简介	71
2.5.1 格型编码调制的基本概念	71
2.5.2 电话网中应用的几种调制解调器标准建议简介	73
2.5.3 调制解调器的连接及同步与异步工作方式	78
2.6 数据信号最佳接收及最佳接收误码性能分析	80
2.6.1 数据信号最佳接收	80
2.6.2 关于最佳接收的准则	81
2.6.3 二进制确知信号的最佳接收	81
2.6.4 最佳接收时的误码率	83
2.6.5 二相数字调相的误码率	85

2.7 数据信号的数字传输	86
2.7.1 数据信号数字传输的概念及特点	86
2.7.2 数字数据传输的实现方式	87
2.7.3 数字数据的时分复用	88
小结	90
习题	91
第3章 差错控制	
3.1 差错控制的基本概念及原理	94
3.1.1 差错控制的基本概念	94
3.1.2 差错控制的基本原理	99
3.2 简单的差错控制编码	103
3.2.1 奇偶监督码	103
3.2.2 水平奇偶监督码	104
3.2.3 二维奇偶监督码	105
3.3 汉明码及线性分组码	106
3.3.1 汉明码	106
3.3.2 线性分组码	109
3.4 循环码	113
3.4.1 循环码的循环特性	113
3.4.2 循环码的生成多项式和生成矩阵	115
3.4.3 循环码的编码方法	118
3.4.4 循环码的解码方法	120
3.5 卷积码	125
3.5.1 卷积码的基本概念	125
3.5.2 卷积码的图解表示	128
3.5.3 卷积码的概率解码	132
3.6 简单差错控制协议	133
3.6.1 停止等待协议	134
3.6.2 自动重发请求协议	136
3.6.3 滑动窗口协议	139
小结	141
习题	144
第4章 数据交换	
4.1 概述	147

· 4.1.1 数据交换的必要性	147
4.1.2 数据交换方式	147
4.2 电路交换方式	148
4.2.1 电路交换方式的原理	148
4.2.2 电路交换的优缺点	149
4.3 报文交换方式	150
4.3.1 报文交换方式的原理	150
4.3.2 报文交换的优缺点	152
4.4 分组交换方式	152
4.4.1 分组交换方式的原理	152
4.4.2 分组交换的优缺点	155
4.4.3 分组的传输方式	156
4.4.4 分组长度的选取	160
4.5 帧方式	162
4.5.1 帧方式的概念	162
4.5.2 帧方式的类型	162
4.6 几种交换方式的比较	163
小结	164
习题	165

第5章 通信协议

5.1 开放系统互连参考模型	166
5.1.1 通信协议及分层结构	166
5.1.2 开放系统互连参考模型	166
5.2 物理层协议	171
5.2.1 物理层接口的位置和物理接口标准	171
5.2.2 物理接口标准的基本特性	172
5.2.3 几种常见的物理层接口协议	173
5.3 数据链路传输控制规程	181
5.3.1 基本概念	181
5.3.2 基本型传输控制规程	184
5.3.3 高级数据链路控制规程	188
5.3.4 HDLC 规程与基本型控制规程的比较	196
5.4 CCITT X.25 建议	196
5.4.1 X.25 建议概述	196
5.4.2 X.25 数据链路层	198

5.4.3 X.25 分组层	200
5.5 分组装/拆相关协议	207
5.5.1 PAD 功能及相关协议	207
5.5.2 X.3 建议	209
5.5.3 X.28 建议	209
5.5.4 X.29 建议	210
5.6 X.75/X.32/X.121 建议	211
5.6.1 X.75 建议	211
5.6.2 X.32 建议	212
5.6.3 X.121 建议	213
小结	214
习题	216

第6章 数据通信网

6.1 数据通信网概述	218
6.1.1 数据通信网的构成	218
6.1.2 数据通信网的分类	219
6.2 分组交换网	220
6.2.1 分组交换网的构成	221
6.2.2 分组交换网的路由选择	223
6.2.3 分组交换网的流量控制	229
6.3 帧中继网	233
6.3.1 帧中继基本原理	233
6.3.2 帧中继协议	236
6.3.3 帧中继网的业务管理	240
6.3.4 帧中继网的应用	243
6.3.5 帧中继网的组成	245
6.3.6 帧中继用户接入	248
6.3.7 帧中继网的网间互连	253
6.4 数字数据网	255
6.4.1 DDN 的基本概念	256
6.4.2 DDN 的网络业务	258
6.4.3 DDN 的网络结构	262
6.4.4 本地传输系统	266
6.4.5 复用及数字交叉连接系统	269
6.4.6 局间传输与网同步	273

6.4.7 DDN 的网络管理系统	276
6.4.8 DDN 的网间互连	277
6.5 分组交换网、帧中继网及 DDN 之间的关系	279
6.5.1 分组交换网、帧中继网及 DDN 的性能比较	279
6.5.2 分组交换网、帧中继网及 DDN 的适用场合	280
6.5.3 分组交换网、帧中继网及 DDN 之间的关系	280
小结	281
习题	283

第7章 Internet 与宽带 IP 城域网

7.1 Internet 基本概念	284
7.1.1 Internet 的概念及发展	284
7.1.2 Internet 的特点	287
7.2 Internet 网络标准 TCP/IP	287
7.2.1 TCP/IP 分层模型	287
7.2.2 IP 及辅助协议	289
7.2.3 TCP 和 UDP 协议	301
7.3 路由器与 Internet 的路由选择协议	309
7.3.1 Internet 的网间连接设备——路由器	309
7.3.2 Internet 的路由选择协议概述	315
7.3.3 内部网关协议 RIP	317
7.3.4 内部网关协议 OSPF	322
7.3.5 外部网关协议 BGP	325
7.4 宽带 IP 城域网	328
7.4.1 宽带 IP 城域网的概念	328
7.4.2 宽带 IP 城域网的分层结构	329
7.4.3 宽带 IP 城域网的骨干传输技术	331
7.4.4 宽带 IP 城域网的 IP 地址规划	346
7.5 下一代 IP 技术——IPv6	348
7.5.1 IPv6 的引入及其特点	348
7.5.2 IPv6 数据报格式	350
7.5.3 IPv6 地址体系结构	351
7.5.4 IPv4 向 IPv6 过渡的方法	353
小结	354
习题	358

参考文献	360
------------	-----

第1章 概 述

随着计算机的广泛应用,特别是因特网的出现与发展,人们对信息技术的需求和依赖越来越大,也就促进了数据通信的快速发展。

本章简要介绍有关数据通信的一些基本概念,包括:数据与数据通信、数据通信与计算机通信、数据通信系统的构成、传输代码、数据通信系统的主要性能指标、数据传输方式等。

1.1 数据通信的概念

1.1.1 数据与数据通信

数据是预先约定的、具有某种含义的任何一个数字或一个字母(符号)以及它们的组合。例如,约定用数字“1”表示电路接通,数字“0”表示电路开断。这里,数字“1”和“0”就是数据。

为了使整个数据通信过程能按一定的规则有顺序地进行,通信双方必须建立一定的协议或约定,并且具有执行协议的功能,这样才能实现有意义的数据通信。

严格来讲,数据通信的定义是:依照通信协议,利用数据传输技术在两个功能单元之间传递数据信息,它可实现计算机与计算机、计算机与终端以及终端与终端之间的数据信息传递。通常而言,数据通信是计算机与通信相结合而产生的一种通信方式和通信业务。可见,数据通信是一种把计算机技术和通信技术结合起来的新型通信方式。

从以上数据通信的定义可以理解,数据通信包含两方面内容:数据的传输和数据传输前后的处理,如数据的集中、交换、控制等。

1.1.2 传输代码

前面谈到数字“0”和“1”可以是数据,要以电信号来传输它们,必须以电信号的一定

波形来表示。例如,用一定时间长度的正电压代表数字“1”,用负电压代表数字“0”,如图 1-1 所示。

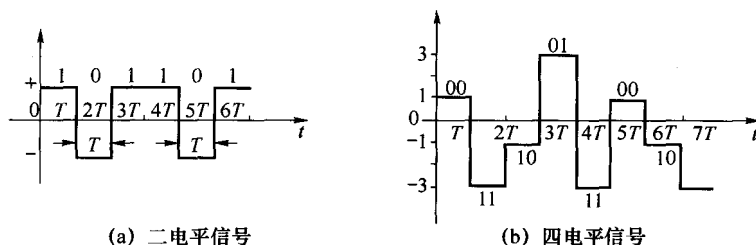


图 1-1 传输代码的表示

我们知道,数据是由数字、字母(符号)等组成的,要用许多不同形状的电压来表示它们是不现实的。解决办法是采用代码,如用“1000001”表示 A,用 1011010 表示 Z,再把这些“0”和“1”代码用二电平电压(电流)波形来表示并传输,这就解决了用少量电压(电流)波形来表示众多数据字符的矛盾。这里所说的代码就是二进制的组合,即二进制代码。目前,常用的二进制代码有国际 5 号码(IA5)、EBCDIC 码和国际电报 2 号码(ITA2)等。作为例子,下面介绍国际 5 号码(IA5)。

国际 5 号码是一种 7 单位代码,以 7 位二进制码来表示一个字母、数字或符号。这种码最早在 1963 年由美国标准协会提出,称为美国信息交换用标准代码(ASCII, American Standard Code for Information Interchange)。7 位二进制码一共有 $2^7 = 128$ 种组合,可表示 128 个不同的字母、数字和符号,如表 1-1 所示。

表 1-1 国际 5 号码编码表

				b ₅	0	1	0	1	0	1	0	1
b ₄	b ₃	b ₂	b ₁	行 \ 列	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	NUL	TC ₇ (DLB)	SP	0	@	P	.	p
0	0	0	1	1	TC ₁ (SOH)	DC ₁	1	1	A	Q	a	q
0	0	1	0	2	TC ₂ (STX)	DC ₂	"	2	B	R	b	r
0	0	1	1	3	TC ₃ (ETX)	DC ₃	#	3	C	S	c	s
0	1	0	0	4	TC ₄ (EOT)	DC ₄	⌘	4	D	T	d	t
0	1	0	1	5	DC ₅ (ENQ)	TC ₈ (NAK)	%	5	E	U	e	u

续表

b ₄	b ₃	b ₂	b ₁	b ₅	0	1	0	1	0	1	0	1
				行 \ 列	0	1	2	3	4	5	6	7
0	1	1	0	6	TC ₆ (ACK)	TC ₉ (SYN)	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1	7	BEL	TC ₁₀ (ETB)	,	7	G	W	g	w
1	0	0	0	8	FE ₀ (BS)	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1	9	FE ₁ (HT)	EM	.)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0	10	FE ₂ (LF)	SUB	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1	11	FE ₃ (VT)	ESC	+	;	K	[	k	{
1	1	0	0	12	FE ₄ (FF)	IS ₄ (FS)	,	<	L	\	l	
1	1	0	1	13	FF ₅ (CR)	IS ₃ (GS)	-	=	M	]	m	}
1	1	1	0	14	SO	IS ₂ (RS)	.	>	N	^	n	-
1	1	1	1	15	SI	IS ₁ (US)	/	?	O	-	o	DEL

代码在顺序传输过程中以 b₁ 作为第一位, b₇ 为最后一位。

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。数据通信系统的基本构成如图 1-2 所示。

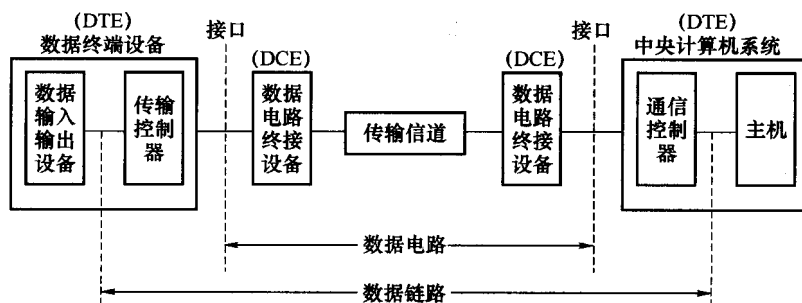


图 1-2 数据通信系统的基本构成

1.2.1 数据终端设备

数据终端设备(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传机,它把人们的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计算机系统,同时,可以接收远端计算机系统的处理结果——数据,并将它变为人们能理解的信息。所以,DTE 相当于人和机器(计算机)之间的接口。

DTE 是一个总称,根据实际需要采用不同的设备。例如,在发送数据中,DTE 可以用键盘输入器;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,具有一定处理功能的个人计算机也可称为 DTE。

1.2.2 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(DCE)组成。

数据电路位于 DTE 与计算机系统之间,它的作用是为数据通信提供数字传输信道。在数据电路两端收发的是二进制“1”或“0”的数字数据信号。数据传输电路要保证将 DTE 的数据信号送到计算机系统以及由计算机系统送回 DTE。

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、微波线路等;而通信设备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,使之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,防止数据信号中长串“1”或长串“0”码时,长串“1”或长串“0”码不利于提取定时信号,可能导致收发双方的失步;二是当传输信道为模拟信道时,使来自 DTE 的基带数据信号调制载频信号,实现频带搬移。收方的 DCE 则施行与发方相反的功能。

调制解调器(Modem)是最常见的 DCE,它是调制器和解调器的结合。发送时,调制器把数字数据信号转换成适合于模拟电路上传输的模拟信号;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 的位置上不再需要调制解调器,而改为数据服务单元(DSU, Data Service Unit)。DSU 的功能是信号格式变换,即消除信号中的直流成分、防止长串零的编码及信号再生和定时等。另外,如数据信号直接在电缆中传输,称为基带传输,这时 DCE 只需要进行数据信号的变换功能。

1.2.3 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)、主机及其外围设备组成,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。

1. 通信控制器

通信控制器是数据电路和计算机系统的接口,控制与远程数据终端设备连接的全部通信信道,接收远端 DTE 发来的数据信号,并向远端 DTE 发送数据信号。

对远程 DTE 一侧来说,通信控制器的主要功能是差错控制、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 一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到 DTE 之中。

2. 主机

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。

最后,从图 1-2 中可以看到数据链路由控制装置(传输控制器和通信控制器)和数据电路所组成。控制装置是按照双方事先约定的规程进行控制的。一般来说,只有在建立起数据链路之后,通信双方才能真正有效地进行数据通信。

1.3 数据通信传输信道

1.3.1 信道类型及特性

传输信道是指信号的传输通道。对数据通信而言,传输信道是指进行数据通信的两个数据终端之间各种信息传输和信息交换设施,而传输信道主要是信息传输设施,在某些情况下也还与交换设施有一定关系。目前数据通信系统中的信道主要有 3 种类型:物理实线传输信道,如双绞线电缆、同轴电缆等;电话网传输信道;数字数据传输信道。这 3 种信道可以独立应用,也可以以不同方式串接应用。

1. 物理实线传输信道

(1) 双绞线电缆

双绞线是由两条相互绝缘的铜导线扭绞起来构成的,一对线作为一条通信线路。其构成如图 1-3(a)所示,通常是一定数量这样的导线对捆成一个电缆,外边包上硬护套。双绞线可用于传输模拟信号,也可用于传输数字信号,其通信距离一般为几到几十千米,其传输衰减特性示意如图 1-3(c)所示。由于电磁耦合和集肤效应,线对的传输衰减随着频率的增加而增大,故信道的传输特性呈低通型特性。

由于双绞线成本低廉且性能较好,在数据通信和计算机通信网中是一种普遍采用的传输媒质。目前,在某些专门系统中,双绞线在短距离传输中的速率已达 100~155 Mbit/s。

(2) 同轴电缆

同轴电缆也像双绞线那样由一对导体组成,但它们按同轴的形式构成线对,其结构

如图 1-3(b)所示。其中最里层是内导体芯线,外包一层绝缘材料,外面再套一个空心的圆柱形外导体,最外层是起保护作用的塑料外皮。内导体和外导体构成一组线对。应用时,外导体是接地的,故同轴电缆具有很好的抗干扰性,并且比双绞线具有更好的频率特性。与双绞线相比同轴电缆成本较高。

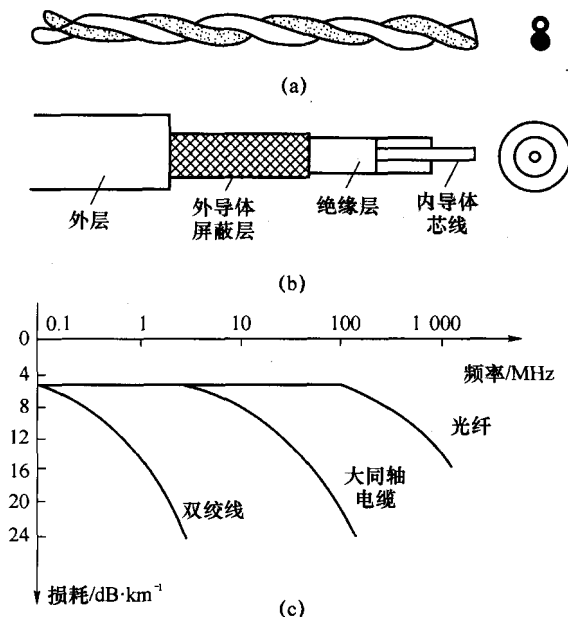


图 1-3 双绞线电缆和同轴电缆传输衰减特性

与双绞线信道特性相同,同轴电缆信道特性也是低通型特性,但它的低通频带要比双绞线的频带宽。

2. 电话网传输信道

所谓电话网传输信道是指通过用于传输话音信号的电话网络传输数据信号。电话网络的连接示意图如图 1-4 所示。

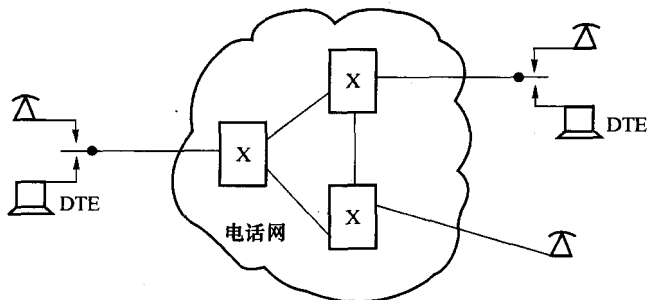


图 1-4 电话网络传输数据信号的连接示意图