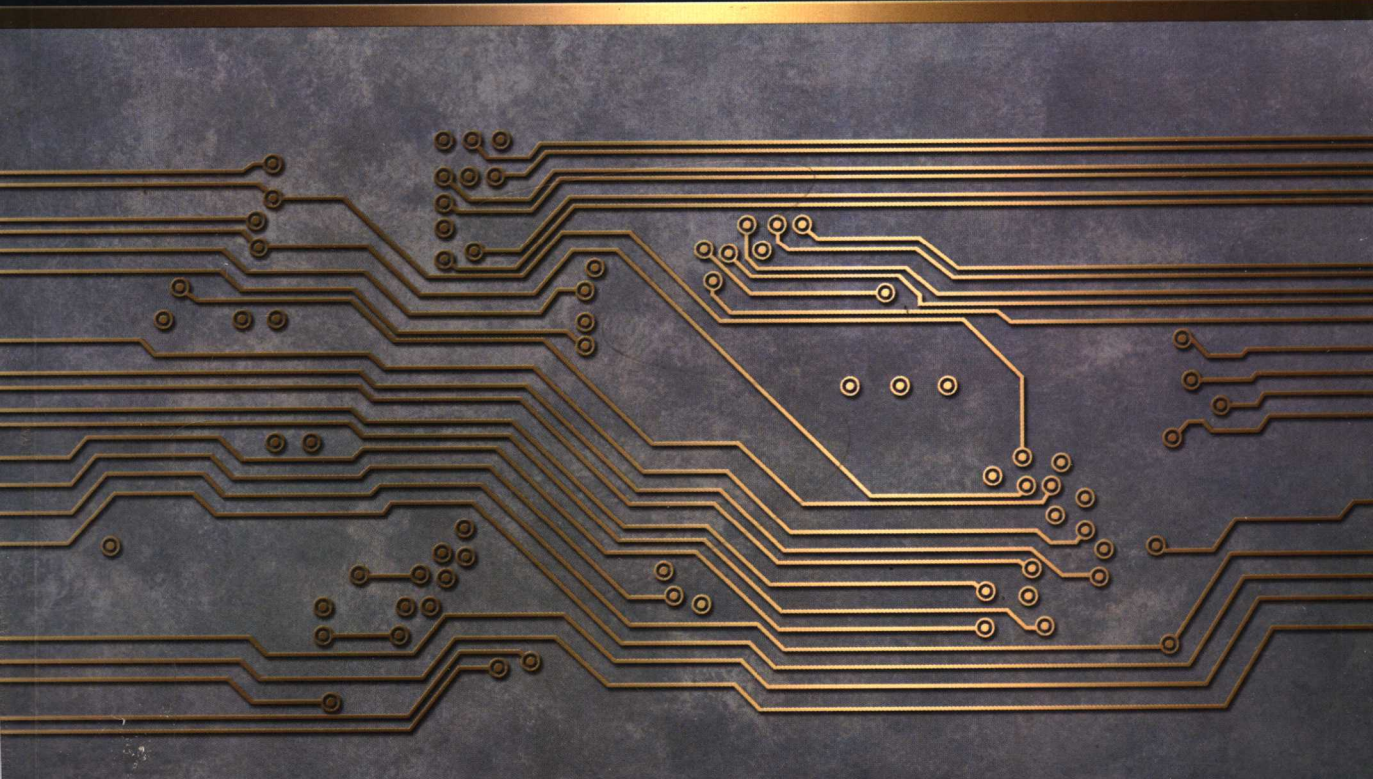


新编电气与电子信息类本科规划教材·电子信息科学与工程类专业

# 数据通信与网络

李文海 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

TN919/67

2008

新编电气与电子信息类本科规划教材·电子信息科学与工程类专业

# 数据通信与网络

李文海 主编

電子工業出版社

**Publishing House of Electronics Industry**

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书的主要内容包括三部分，第一部分在介绍数据通信系统构成及有关基本概念的基础上，对数据信号的基带传输、频带传输和数字数据传输从理论上做了一定的分析和讨论，并介绍了差错控制基本理论及应用；第二部分介绍数据通信的交换方式、相关通信协议及分组交换网、帧中继网以及数字数据网（DDN）等基本构成及应用；第三部分探讨了计算机通信网基础及 Internet 与宽带 IP 城域网。

本书可作为通信专业和计算机专业学生的教学用书，也可供从事数据通信和计算机通信方面工作的工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

### 图书在版编目（CIP）数据

数据通信与网络 / 李文海主编. —北京：电子工业出版社，2008.6

（新编电气与电子信息类本科规划教材·电子信息科学与工程类专业）

ISBN 978-7-121-06384-8

I. 数… II. 李… III. ① 数据通信—高等学校—教材 ② 计算机网络—高等学校—教材 IV. TN919 TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 051630 号

责任编辑：谭海平

印 刷：北京市通州大中印刷厂

装 订：三河市鹏成印业有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开 本：787×1092 1/16 印张：15.25 字数：390 千字

印 次：2008 年 6 月第 1 次印刷

印 数：4000 册 定价：24.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 [zlts@phei.com.cn](mailto:zlts@phei.com.cn)，盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线：（010）88258888。

# 前 言

通信是信息远距离的传送，是人类生产和生活的重要支撑。在 20 世纪 70 年代和 80 年代，计算机科学逐渐与数据通信技术融合，产生了数据通信方面的理论及技术，它的成长和计算机科学、通信科学的进步紧密相关。数据通信的发展又加速了计算机和通信技术的进步，促进了计算机通信网的蓬勃发展。

为适应现代通信技术和计算机通信网的迅速发展，通信专业院校的学生和通信企业的技术人员迫切需要一本全面介绍数据通信和计算机通信网的教材。为此，我们在我校讲授“数据通信”和“计算机通信网”课程的基础上整理成了本教材。本书开始介绍了基本的数据通信理论，然后讲述了数据通信在网络中的应用，最后讨论了计算机通信网及 Internet 与宽带 IP 城域网。本书层层深入，全面阐述了计算机通信的基本理论。在编写上着重于基本原理分析和实际技术应用两个方面，并力求循序渐进、深入浅出。

本书在编写过程中除参阅了一些文件和资料外，还参阅了谢希仁主编的《计算机网络》、潘新民主编的《计算机通信技术》及张民主编的《宽带城域网》等书籍，在此向这些资料和书籍的作者表示感谢。

参加本书编写的有李颖、王自胜等高级工程师。由于时间仓促，且作者水平有限，书中难免有不妥之处，请读者予以指正。

编 者  
2007.12

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
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 .....	2
1.2.1 数据终端设备 .....	3
1.2.2 数据电路 .....	3
1.2.3 中央计算机系统 .....	4
1.3 数据通信传输信道 .....	4
1.3.1 信道类型及特性 .....	4
1.3.2 传输损耗 .....	6
1.3.3 噪声 .....	7
1.3.4 信噪比 .....	8
1.4 数据通信网与计算机通信网 .....	8
1.4.1 计算机通信与数据通信 .....	8
1.4.2 数据通信网与计算机通信网 .....	9
1.5 数据传输方式 .....	10
1.5.1 并行传输和串行传输 .....	11
1.5.2 同步传输和异步传输 .....	11
1.5.3 单工、半双工和全双工数据传输 .....	12
1.6 数据通信系统的主要性能指标 .....	13
1.6.1 有效性指标 .....	13
1.6.2 可靠性指标 .....	14
1.7 信道容量 .....	15
1.7.1 模拟信道的信道容量 .....	15
1.7.2 数字信道的信道容量 .....	15
小结 .....	16
习题 .....	17
<b>第 2 章 数据信号的传输</b> .....	18
2.1 数据信号及特性描述 .....	18
2.1.1 数据序列的电信号表示 .....	18
2.1.2 基带数据信号的频谱特性 .....	19
2.2 数据信号的基带传输 .....	23
2.2.1 基带数据传输构成模型 .....	23
2.2.2 理想低通网络波形形成, 奈奎斯特第一准则 .....	23

2.2.3	具有幅度滚降特性的低通网络波形形成	25
2.2.4	部分响应形成系统	28
2.2.5	数据序列的扰乱与解扰	34
2.2.6	基带传输中的时域均衡	36
2.2.7	数据传输系统的眼图	38
2.2.8	数据传输系统中的时钟同步	39
2.2.9	基带传输的最佳化和系统性能分析	40
2.2.10	基带数据传输系统及应用	43
2.3	数据信号的频带传输	44
2.3.1	频带传输系统的构成	44
2.3.2	数字调幅	45
2.3.3	数字调相	53
2.3.4	数字调频	59
2.3.5	数字调制中的载波提取和形成	62
2.4	ADSL 及其应用	64
2.4.1	ADSL 基本概念及工作原理	64
2.4.2	ADSL 系统应用	65
2.5	格型编码调制 (TCM) 及几种调制解调器简介	66
2.5.1	格型编码调制(TCM)的基本概念	66
2.5.2	电话网中应用的几种调制解调器标准建议简介	67
2.5.3	调制解调器的连接及同步与异步工作方式	70
2.6	数据信号最佳接收及最佳接收误码性能分析	72
2.6.1	数据信号最佳接收	72
2.6.2	关于最佳接收的准则	72
2.6.3	二进制确知信号的最佳接收	73
2.6.4	最佳接收时的误码率	74
2.6.5	二相数字调相——2PSK 的误码率	76
2.7	数据信号的数字传输	78
2.7.1	数据信号数字传输的概念及特点	78
2.7.2	数字数据传输的实现方式	78
2.7.3	数字数据的时分复用	79
	小结	80
	习题	81
<b>第 3 章</b>	<b>差错控制</b>	<b>83</b>
3.1	差错控制基本概念	83
3.1.1	差错控制的基本思路	83
3.1.2	差错分类	83
3.1.3	差错控制方式	83
3.2	检错和纠错的基本概念	87
3.2.1	检错和纠错的原理	87

3.2.2	码距与检错和纠错能力 .....	87
3.2.3	编码效率 .....	88
3.2.4	纠错编码的分类 .....	88
3.3	简单的差错控制编码 .....	89
3.3.1	奇偶监督码 .....	89
3.3.2	水平奇偶监督码 .....	90
3.3.3	水平垂直奇偶监督码 .....	90
3.4	汉明码 .....	91
3.4.1	纠错码的监督位与码组长度的关系 .....	91
3.4.2	(7, 4)汉明码 .....	91
3.5	线性分组码的概念及主要性质 .....	93
3.6	循环码 .....	94
3.6.1	循环码的循环特性及多项式表示 .....	94
3.6.2	循环码的生成多项式和生成矩阵 .....	95
	小结 .....	97
	习题 .....	98
<b>第4章</b>	<b>数据交换 .....</b>	<b>99</b>
4.1	数据交换的概念及数据交换方式 .....	99
4.2	电路交换方式 .....	99
4.2.1	电路交换方式的原理 .....	99
4.2.2	电路交换的优缺点 .....	100
4.3	报文交换方式 .....	100
4.3.1	报文交换方式的原理 .....	101
4.3.2	报文交换的优缺点 .....	101
4.4	分组交换方式 .....	102
4.4.1	分组交换的概念 .....	102
4.4.2	分组交换方式的原理 .....	102
4.4.3	分组的传输方式 .....	103
4.4.4	分组交换的优缺点 .....	106
4.5	帧中继 .....	107
4.5.1	帧中继的概念及发展帧中继的条件 .....	107
4.5.2	帧中继的工作原理 .....	107
4.5.3	帧中继的主要特点 .....	108
4.5.4	几种交换方式的比较 .....	109
	小结 .....	110
	习题 .....	111
<b>第5章</b>	<b>数据通信协议 .....</b>	<b>112</b>
5.1	数据通信协议的概念 .....	112
5.1.1	协议的概念及功能 .....	112
5.1.2	OSI参考模型及各层功能 .....	113

5.2	物理层协议	115
5.2.1	物理层接口的位置	115
5.2.2	物理层接口的基本特性	115
5.2.3	RS-232-C/CCITT V.24 接口	115
5.2.4	RS-449 接口	118
5.2.5	V.35 建议	119
5.2.6	数字网络接口建议 G.703	120
5.3	数据链路层协议及数据链路传输控制规程	121
5.3.1	基本概念	121
5.3.2	数据链路层主要协议	122
5.3.3	数据链路传输控制规程	126
5.4	分组网的通信协议——X.25 建议	130
5.4.1	X.25 建议概述	130
5.4.2	X.25 建议的层次	130
5.4.3	X.25 的物理层	131
5.4.4	X.25 的数据链路层	132
5.4.5	X.25 的分组层	133
5.5	PAD 及相关协议	134
5.5.1	PAD 基本功能	134
5.5.2	X.3 建议	135
5.5.3	X.28 建议	135
5.5.4	X.29 建议	136
	小结	136
	习题	137
<b>第 6 章</b>	<b>数据通信网</b>	<b>138</b>
6.1	数据通信网概述	138
6.1.1	数据通信网的构成	138
6.1.2	数据通信网的分类	139
6.2	分组交换网	140
6.2.1	分组交换网的构成	140
6.2.2	用户终端入网方式	142
6.3	帧中继及帧中继网	144
6.3.1	帧中继的概念	144
6.3.2	帧中继网的组成	145
6.3.3	帧中继用户接入	148
6.4	数字数据网 (DDN)	151
6.4.1	DDN 的基本概念及特点	152
6.4.2	DDN 的网络结构	152
6.4.3	DDN 的用户接入方式	155
6.4.4	DDN 在计算机通信网中的应用	157



小结 .....	159
习题 .....	160
<b>第 7 章 计算机通信网基础 .....</b>	<b>161</b>
7.1 计算机通信网的概念 .....	161
7.1.1 计算机通信网的定义及其功能 .....	161
7.1.2 计算机通信网的组成 .....	162
7.1.3 计算机通信网的分类 .....	163
7.2 计算机局域网 .....	164
7.2.1 局域网概述 .....	164
7.2.2 局域网体系结构 .....	167
7.2.3 介质访问控制方式 .....	169
7.2.4 以太网 .....	174
7.2.5 高速以太网 .....	178
7.2.6 交换式局域网 .....	180
7.2.7 虚拟局域网 .....	184
7.3 网络互联 .....	188
7.3.1 网络互联概述 .....	188
7.3.2 网络互联方式 .....	189
7.4 网间连接器 .....	189
7.4.1 网桥 .....	189
7.4.2 路由器 .....	192
7.4.3 交换机 .....	195
7.4.4 网关 .....	195
小结 .....	196
习题 .....	197
<b>第 8 章 Internet 与宽带 IP 城域网 .....</b>	<b>198</b>
8.1 Internet 基本概念及特点 .....	198
8.1.1 Internet 的基本概念 .....	198
8.1.2 Internet 的特点 .....	198
8.2 Internet 网络标准: TCP/IP .....	199
8.2.1 概述 .....	199
8.2.2 TCP/IP 分层模式 .....	199
8.2.3 编址与域名系统 .....	201
8.2.4 无分类编址 .....	207
8.3 宽带 IP 城域网 .....	208
8.3.1 宽带 IP 城域网概念 .....	208
8.3.2 宽带 IP 城域网所提供的业务 .....	208
8.3.3 宽带城域网的网络结构和功能分层 .....	208
8.3.4 宽带 IP 城域网的传输技术 .....	211
8.4 接入 Internet 的几种方式 .....	214

8.4.1	通过电话网接入 Internet	214
8.4.2	通过数据通信网接入 Internet	215
8.4.3	通过 ADSL 接入 Internet	216
6.4.4	光纤混合接入模式	219
8.4.5	通过以太网接入 Internet	220
8.5	下一代 IP 技术——IPv6	222
8.5.1	IPv6 技术的引入及其特点	222
8.5.2	IPv6 地址体系结构	222
8.5.3	IPv4 向 IPv6 演进技术	225
8.6	三网融合的下一代网络	227
8.6.1	以 IP 网络为基础的软交换	228
8.6.2	以软交换为基础的下一代网络	229
	小结	230
	习题	232
	参考书目	233

# 第 1 章 概 述

本章主要内容包括：

- 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

## 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，用数字“0”表示电路断开。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的内容：数据的传输和数据传输前后的处理，例如数据的集中、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。

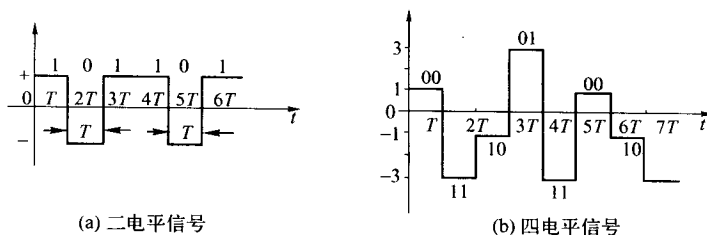


图 1.1 传输代码的表示

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。例如用 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（American Standard Code for Information Interchange，简称 ASCII 码）。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（IA5）编码表

				b <sub>5</sub>	0	1	0	1	0	1	0	1
b <sub>4</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	列 行	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	NUL	TC <sub>7</sub> (DLB)	SP	0	@	P	·	p
0	0	0	1	1	TC <sub>1</sub> (SOH)	DC <sub>1</sub>	1	1	A	Q	a	q
0	0	1	0	2	TC <sub>2</sub> (STX)	DC <sub>2</sub>	"	2	B	R	B	r
0	0	1	1	3	TC <sub>3</sub> (ETX)	DC <sub>3</sub>	#	3	C	S	C	s
0	1	0	0	4	TC <sub>4</sub> (EOT)	DC <sub>4</sub>	□	4	D	T	d	t
0	1	0	1	5	DC <sub>5</sub> (ENQ)	TC <sub>8</sub> (NAK)	%	5	E	U	e	u
0	1	1	0	6	TC <sub>6</sub> (ACK)	TC <sub>9</sub> (SYN)	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1	7	BEL	TC <sub>10</sub> (ETB)	'	7	G	W	g	w
1	0	0	0	8	FE <sub>0</sub> (BS)	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1	9	FE <sub>1</sub> (HT)	EM	)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0	10	FE <sub>2</sub> (LF)	SUB	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1	11	FE <sub>3</sub> (VT)	ESC	+	;	K	(	k	{
1	1	0	0	12	FE <sub>4</sub> (FF)	IS <sub>4</sub> (FS)	,	<	L	\	l	
1	1	0	1	13	FE <sub>5</sub> (CR)	IS <sub>3</sub> (GS)	-	=	M	)	m	}
1	1	1	0	14	SO	IS <sub>2</sub> (RS)	·	>	N	^	n	—
1	1	1	1	15	SI	IS <sub>1</sub> (US)	/	?	O	-	o	DEL

代码在顺序传输过程中以 b<sub>1</sub> 作为第一位，以 b<sub>7</sub> 作为最后一位。

## 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。

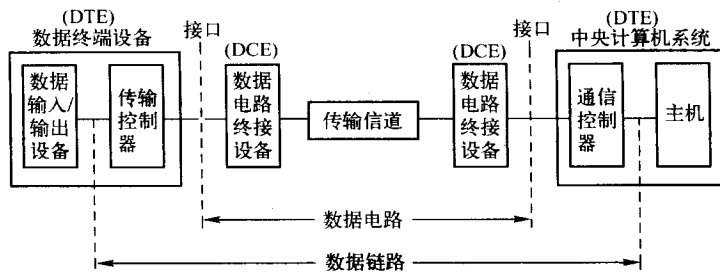


图 1.2 数据通信系统的基本构成

### 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有点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频带相适应, 并采取措施消除数据信号序列中长串 “1” 或长串 “0” 码, 因为数据信号序列中的长串 “1” 或长串 “0” 码不利于提取定时信号而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 则实现与发方相反的功能。

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 Modem, 而改为数据服务单元 (Data Service Unit, DSU)。DSU 的功能是变换信号格式, 即消除信号中的直流成分, 以及防止长串零的编码、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 只需要实现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，它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（或前置处理机）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。

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等控制；对计算机系统一侧来说，其功能是将线路上传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并在 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 中可以看出数据链路是由控制装置（传输控制器和通信控制器）和数据电路组成的。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的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的关系。目前数据通信系统中的信道主要有三种类型：物理实线传输媒介信道，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。这三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，通常一定数量这样的导线对捆成一根电缆，外层包上硬护套。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都是一种普遍采用的传输介质。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 Mb/s。

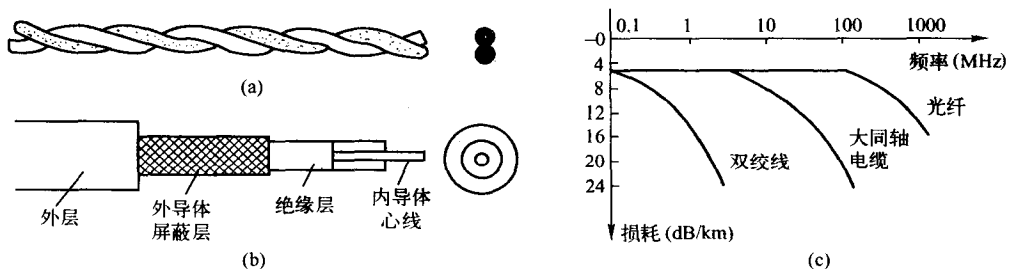


图 1.3 双绞线电缆和同轴电缆传输衰减特性

## (2) 同轴电缆

同轴电缆也像双绞线那样由一对导体组成，但它们是按同轴的形式构成线对的，其结构如图1.3(b)所示。其中最里层是内导体心线，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，且它与双绞线相比具有较好的频率特性。同轴电缆与双绞线相比成本较高。

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。

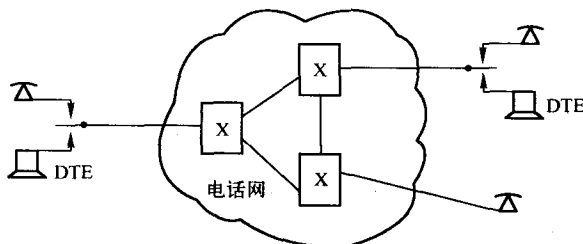


图 1.4 电话网络传输数据信号的连接示意图

电话网络是专门设计用于传输话音信号的，话音信号的频带范围是 300~3400 Hz，属于带通型信号，所以电话网的网络设计也是对应带通型信号的带通型信道。对当前广泛采用的数字程控交换机电话网络而言，带通型信道的限制主要体现在交换机中的 PCM 编码、解码的带限滤波器，它们的频带限制通常取为 300~3400 Hz。电话网络的其他环节特性如下：用户线部分一般使用双绞线对，属于低通型特性；中继线路一般采用光纤传输系统、数字微波及卫星传输系统等，属于数字型传输信道。

从上述说明可以看出，电话网传输信道的综合特性是属于带通型信道，其通带频率范围是 300~3400 Hz。

## 3. 数字数据传输信道

采用 PCM 数字信道作为数据信号传输信道称为数字数据传输信道。数字数据传输信道

连接示意图如图 1.5 所示。这种信道的连接方式是，将多个低速数据终端输出的信号经时分多路复用或集中合成到 64 kb/s 速率，然后直接以数字方式合入到 PCM 30 路系统的某一个时隙，最后复用到 2.048 Mb/s 速率在数字线路上传输。这时的数字线路可以是光纤传输系统，也可以是数字微波及卫星等传输系统。这种传输系统的传输速率高，传输质量好，是比较理想的数据传输信道，也是当前大力发展的一种数据传输方法。

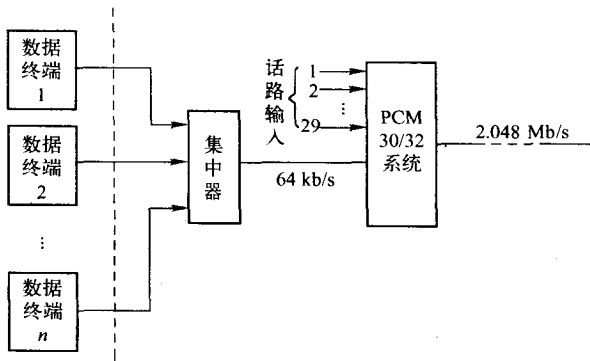


图 1.5 数字数据传输信道连接示意图

### 1.3.2 传输损耗

在任何传输系统中，接收端得到的信号不可能与发送端传送出的信号完全一致，在信号传输过程中肯定会出现传输损耗。这些损耗会随机地引起模拟信号的改变，或使数字信号出现差错。传输损耗也是影响数据传输速率和传输距离的重要因素之一。

#### 1. 传输衰减

信号在传输介质中传播时，将会有一部分能量转化成热能或者被传输介质吸收，从而造成信号强度不断减弱，这种现象称为衰减。衰减将对信号传输产生很大的影响，若不采取有效措施，信号在经过远距离传输后其强度甚至会减弱到接收方无法检测到的地步，如图 1.6 所示。

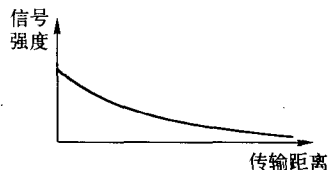


图 1.6 传输衰减

衰减表示的是信号通过网络后功率损耗的程度。传输衰减是网络的输入端功率与输出端功率之差。衰减常用的单位是 dB（分贝），分贝是以常用对数表示两个功率之比的一种计量单位。

以某一参考点 0 点的  $P_0$ （瓦）和  $V_0$ （伏）作为比较的基准功率（W）和基准电压（V），则某一测试点 1 点的功率电平为

$$D_p = 10 \lg \frac{P_1}{P_0} \quad \text{dB} \quad (1.1)$$

其电压电平为

$$D_v = 20 \lg \frac{V_1}{V_0} \quad \text{dB} \quad (1.2)$$

如设 0 点为发送源点，其发送功率为  $P_0$ ，传输终点为 1 点，接收点功率为  $P_1$ ，则 0 点到 1 点的传输损耗就是



$$D = 10 \lg \frac{P_0}{P_1} \quad \text{dB} \quad (1.3)$$

### 1.3.3 噪声

信道内噪声的来源是很多的，它们表现的形式也多种多样。根据它们的来源不同，可以粗略地分为三类。

#### 1. 工业噪声

工业噪声来源于各种电气设备，如电力线、点火系统、电车、电源开关、电力铁道、高频电炉等。这类干扰来源分布很广泛，无论是城市还是农村，内地还是边疆，各地都有工业干扰存在。尤其是在现代化社会里，各种电气设备越来越多，因此这类干扰的强度也就越来越大。

#### 2. 天电噪声

天电噪声来源于雷电、磁暴、太阳黑子以及宇宙射线等。可以说整个宇宙空间都是产生这类噪声的根源，因此它的存在是客观的。由于这类自然现象与发生的时间、季节、地区等有关系，因此受天电干扰的影响也是大小不同的。

以上两类噪声所产生的干扰都称为脉冲干扰，它包括工业干扰中的电火花、断续电流以及天电干扰中的雷电等。它的特点是波形不连续，呈脉冲性质，并且发生这类干扰的时间很短，强度很大，而周期是随机的，因此它可以用随机的窄脉冲序列来表示。由于脉冲很窄，所以占用的频谱必然很宽。这类干扰对数据通信会造成较大影响，因此，为了保证数据通信的质量，在数据通信系统内经常采用差错控制技术，以有效地对抗突发性脉冲干扰。

#### 3. 内部噪声

内部噪声来源于信道本身所包含的各种电子器件、转换器以及天线或传输线等。例如，电阻及各种导体都会在分子热运动的影响下产生热噪声，电子管或晶体管等电子器件会由于电子发射不均匀等产生器件噪声。这类干扰的特点是由无数个自由电子做不规则运动所形成的，因此它的波形也是不规则变化的，在示波器上观察就像一堆杂乱无章的“茅草”，因此常称之为起伏噪声。由于在数学上可以用随机过程来描述这类干扰，因此又可将其称为随机噪声，或者简称为噪声。

在实际信道中，这类噪声是高斯型噪声（即高斯噪声）。高斯噪声是指其概率密度函数服从高斯分布（即正态分布）的一类噪声。这类噪声的另外一个特性是指其功率谱密度函数在整个频率域（ $-\infty < \omega < +\infty$ ）内是均匀分布的，即其功率谱密度函数在整个频率域（ $-\infty < \omega < +\infty$ ）内是常数。换言之，噪声的概率密度函数服从高斯分布，功率谱密度函数在整个频率域（ $-\infty < \omega < +\infty$ ）内是常数。这类噪声又称为高斯白噪声。

高斯白噪声的功率谱密度通常用  $N_0$  来表示，它的量纲单位是瓦特/赫兹（W/Hz）。

如某一系统的带宽为  $B$ （Hz），则可简单地计算出该系统的噪声功率为

$$P_N = BN_0 \quad (\text{W}) \quad (1.4)$$