



信息通信专业教材系列

数据通信原理

SHUJU TONGXIN YUANLI

(第3版)

毛京丽 董跃武 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3版)

毛京丽 董跃武 李文海 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

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。数据通信网在各种通信网中将起着举足轻重的作用。

本书在简要阐述数据通信基本概念和原理的基础上,侧重于讨论和研究有关差错控制、数据交换、数据通信协议、数据通信网及计算机通信网相关技术等方面的问题。

全书共有 7 章。

第 1 章概述,首先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,然后讨论了数据通信网的构成和分类、数据通信网与计算机通信网的关系等内容。

第 2 章数据信号的传输,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三种传输方式:基带传输、频带传输和数字数据传输。

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。

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、帧中继和 ATM 交换,最后对几种交换方式进行了比较。

第 5 章数据通信协议,首先概括介绍了协议参考模型,然后具体论述了物理层、数据链路层、网络层、运输层和应用层协议的相关内容。

第 6 章数据通信网,详细介绍了分组交换网、帧中继网、ATM 网和数字数据网(DDN)的具体内容,并分析了几种数据通信网之间的关系。

第 7 章计算机通信网技术,介绍了计算机通信网的相关内容,主要包括局域网、宽带 IP 城域网、路由器与 Internet 的路由选择协议。

本书第 1,3,4,5,6 章由毛京丽编写,第 2 章由董跃武编写,第 7 章由李文海编写。

本书在编写过程中,得到了柴炜晨、李搏、徐明、陈全、徐鹏、贺雅璇、黄秋钧和魏东红等的帮助,在此表示感谢!

另外,本书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。

编著者

目 录

第 1 章 概述.....	1
1.1 数据通信的概念	1
1.1.1 数据与数据信号	1
1.1.2 数据通信的概念	2
1.1.3 传输代码	2
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	5
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.....	10
1.3.3 噪声与干扰.....	10
1.3.4 信噪比.....	11
1.4 数据传输方式.....	12
1.4.1 串行传输与并行传输.....	12
1.4.2 异步传输与同步传输.....	13
1.4.3 单工、半双工和全双工数据传输	14
1.5 数据通信系统的主要性能指标.....	15
1.5.1 有效性指标.....	15
1.5.2 可靠性指标.....	16
1.6 信道容量.....	17
1.6.1 模拟信道的信道容量.....	17
1.6.2 数字信道的信道容量.....	18

1.7 数据通信网概述·····	18
1.7.1 数据通信网的构成·····	18
1.7.2 数据通信网的分类·····	19
1.7.3 数据通信网与计算机通信网·····	20
小结·····	23
习题·····	24
第2章 数据信号的传输 ·····	25
2.1 数据信号及特性描述·····	25
2.1.1 数据序列的电信号表示·····	25
2.1.2 基带数据信号的功率谱特性·····	27
2.2 数据信号的基带传输·····	31
2.2.1 基带数据传输系统构成模型·····	31
2.2.2 几种基带形成网络·····	32
2.2.3 时域均衡·····	39
2.2.4 数据序列的扰乱与解扰·····	40
2.2.5 数据传输系统中的时钟同步·····	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·····	50
2.3.4 数字调频·····	57
2.3.5 高效带宽调制·····	61
2.3.6 数字调制中的载波提取和形成·····	70
2.3.7 数字信号的最佳接收·····	72
2.3.8 数字调制系统的比较·····	77
2.4 数据信号的数字传输·····	80
2.4.1 数据信号数字传输的概念及特点·····	80
2.4.2 数字数据传输的实现方式·····	81
2.4.3 数字数据传输的时分复用·····	82
小结·····	84
习题·····	86
第3章 差错控制 ·····	88
3.1 差错控制的基本概念及原理·····	88

3.1.1 差错控制的基本概念	88
3.1.2 差错控制的基本原理	93
3.2 简单的差错控制编码	97
3.2.1 奇偶监督码	97
3.2.2 水平奇偶监督码	98
3.2.3 二维奇偶监督码	99
3.3 汉明码及线性分组码	100
3.3.1 汉明码	100
3.3.2 线性分组码	102
3.4 循环码	107
3.4.1 循环码的循环特性	107
3.4.2 循环码的生成多项式和生成矩阵	109
3.4.3 循环码的编码方法	112
3.4.4 循环码的解码方法	114
3.5 卷积码	118
3.5.1 卷积码的基本概念	118
3.5.2 卷积码的图解表示	121
3.5.3 卷积码的概率解码	125
小结	127
习题	129
第4章 数据交换	132
4.1 概述	132
4.1.1 数据交换的必要性	132
4.1.2 数据交换方式	132
4.2 电路交换方式	133
4.2.1 电路交换方式的原理	133
4.2.2 电路交换的优缺点	134
4.3 报文交换方式	135
4.3.1 报文交换方式的原理	135
4.3.2 报文交换的优缺点	137
4.4 分组交换方式	137
4.4.1 分组交换方式的原理	137
4.4.2 分组交换的优缺点	139
4.4.3 分组的传输方式	140

4.4.4 分组长度的选取	145
4.5 帧中继	147
4.5.1 帧中继的概念	147
4.5.2 帧中继发展的必要条件	147
4.5.3 帧中继技术的功能	147
4.5.4 帧中继的特点	148
4.6 ATM 交换	149
4.6.1 ATM 的定义	149
4.6.2 ATM 信元	151
4.6.3 ATM 的特点	153
4.6.4 ATM 的虚连接	154
4.6.5 ATM 交换	157
4.7 几种交换方式的比较	159
小结	160
习题	161
第5章 通信协议	163
5.1 协议参考模型	163
5.1.1 开放系统互连参考模型(OSI-RM)	163
5.1.2 TCP/ IP 分层模型	167
5.1.3 原理体系结构	169
5.2 物理层协议	170
5.2.1 物理层协议基本概念	170
5.2.2 物理接口标准的基本特性	171
5.2.3 几种常见的物理接口协议	172
5.3 数据链路层协议	178
5.3.1 数据链路传输控制规程	179
5.3.2 点对点协议	186
5.4 网络层协议	190
5.4.1 X.25 分组级协议	190
5.4.2 IP 协议(IPv4)	199
5.4.3 下一代网际协议 IPv6	206
5.5 运输层协议	211
5.5.1 OSI 参考模型的运输层协议	211
5.5.2 TCP/IP 模型的运输层协议	212

5.6 应用层协议	217
5.6.1 文件传送协议	218
5.6.2 远程终端协议	219
5.6.3 电子邮件	220
5.6.4 动态主机配置协议	222
小结	223
习题	226
第 6 章 数据通信网	228
6.1 分组交换网	228
6.1.1 分组交换网的构成	228
6.1.2 分组交换网的通信协议	231
6.1.3 分组交换网的路由选择	237
6.1.4 分组交换网的流量控制	243
6.2 帧中继网(FRN)	247
6.2.1 帧中继协议	247
6.2.2 帧中继网的组成	251
6.2.3 帧中继网的应用	255
6.2.4 帧中继用户接入	257
6.2.5 帧中继网的业务管理	261
6.3 ATM 网	264
6.3.1 ATM 网的网络结构	264
6.3.2 ATM 网的用户-网络接口	265
6.3.3 ATM 协议参考模型	268
6.3.4 ATM 网的应用	270
6.4 数字数据网	272
6.4.1 DDN 的基本概念	272
6.4.2 DDN 的构成	273
6.4.3 DDN 的网络结构	285
6.4.4 DDN 的网络业务	288
6.4.5 DDN 的应用	292
6.5 几种数据通信网之间的关系	293
6.5.1 几种数据通信网的性能比较	293
6.5.2 几种数据通信网的适用场合	294
6.5.3 几种数据通信网之间的关系	295

小结.....	295
习题.....	297
第7章 计算机通信网技术	299
7.1 局域网	299
7.1.1 局域网概述	299
7.1.2 传统以太网	305
7.1.3 高速以太网	312
7.1.4 交换式局域网	317
7.1.5 虚拟局域网	324
7.1.6 无线局域网	326
7.2 宽带 IP 城域网.....	335
7.2.1 宽带 IP 城域网的基本概念.....	335
7.2.2 宽带 IP 城域网的分层结构.....	337
7.2.3 宽带 IP 城域网的骨干传输技术.....	339
7.2.4 宽带 IP 城域网的 IP 地址规划	346
7.3 路由器与 Internet 的路由选择协议	349
7.3.1 路由器	349
7.3.2 Internet 的路由选择协议	355
小结.....	359
习题.....	363
参考文献	364

第 1 章 概 述

随着计算机的广泛应用,特别是 Internet 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,主要包括: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、信道容量及数据通信网概述等。

1.1 数据通信的概念

1.1.1 数据与数据信号

1. 数据

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”表示电路断开。这里,数字“1”和“0”就是数据。

2. 数据信号

根据数据的定义可以看出,数据有很多,若通信过程中直接传输这些数据,要用许多不同形状的电压来表示它们,这是不现实的。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“1”和“0”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。

数据用传输代码(二进制代码)表示(即用若干个“1”和“0”的组合表示每一个数据)就

变成了数据信号。

1.1.2 数据通信的概念

1. 数据通信的概念

传输数据信号的通信是数据通信,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,这样才实现了有意义的数据通信。

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。数据通信的终端设备(产生的是数据信号)可以是计算机,也可能是除计算机以外的一般数据终端,一般数据终端简称数据终端或终端。

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,例如,数据的集中、交换、控制,等等。

2. 数据信号的基本传输方式

数据信号的基本传输方式有3种:基带传输、频带传输和数字数据传输。

基带传输是基带数据信号(数据终端输出的未经调制变换的数据信号)直接在电缆信道上传输。换句话说,基带传输是不搬移基带数据信号频谱的传输方式。

频带传输是基带数据信号经过调制,将其频带搬移到相应的载频频带(如话音频带)上再传输(频带传输时信道上传输的是模拟信号)。

数字数据传输是利用PCM信道传输数据信号,即利用PCM30/32系统的某些时隙传输数据信号。

1.1.3 传输代码

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 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
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	FE 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 1-1 所示。

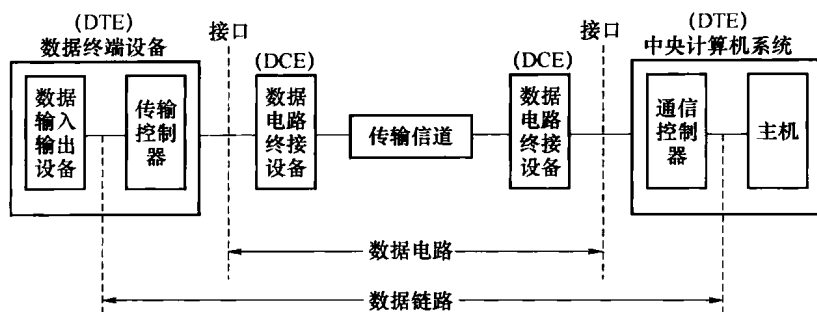


图 1-1 数据通信系统的基本构成

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。

数据输入输出设备的作用有点类似于电话与电报通信中的电话机和电传机,它在发送端把人们的数据信息变成以数字代码表示的数据信号,即将数据转换为数据信号;接收端完成相反的变换,即把数据信号还原为数据。

传输控制器的作用是完成各种传输控制,如差错控制、终端的接续控制、确认控制、传输顺序控制和切断控制等。

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

数据电路位于 DTE 与计算机系统之间,它的作用是为数据通信提供传输通道。在数据电路两端收发的是二进制“1”或“0”的数据信号。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。

数据电路由传输信道及其两端的数据电路终接设备(DCE)组成。

(1) 传输信道

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。

(2) 数据电路终接设备(DCE)

DCE 是 DTE 与传输信道的接口设备。当数据信号采用不同的传输方式时,DCE 的功能有所不同。

基带传输时,DCE 是对来自 DTE 的数据信号进行某些变换,使信号功率谱与信道相适应,即使数据信号适合在电缆信道中传输。

频带传输时,DCE 具体是调制解调器(modem),它是调制器和解调器的结合。发送时,调制器对数据信号进行调制,将其频带搬移到相应的载频频带(如话音频带)上进行传输(即将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,解调器进行解调,将模拟信号还原成数据信号。

当数据信号在数字信道上传输(数字数据传输)时,DCE 是数据服务单元(Data Service Unit,DSU),其功能是信号格式变换,即消除信号中的直流成分和防止长串零的编码、信号再生和定时,等等。

1.2.3 中央计算机系统

中央计算机系统由通信控制器、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。

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(就是传输控制器),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。

以上介绍了数据通信系统的基本构成,从图 1-1 中看到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、可靠地进行数据通信。

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,而传输信道主要包括信息传输设施,在某些情况下也还与交换设施有一定关系。

根据信道上传输的信号形式不同,传输信道可以分为模拟信道和数字信道,模拟信道上传输的是模拟信号,而数字信道上传输的是数字信号。

若按照传输方式分,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,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

物理实线传输媒介信道主要包括双绞线电缆、同轴电缆和光纤。

(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。其结构如图 1-2(a)所示,通常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千米到几十千米,其传输衰减特性示意如图 1-3 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。

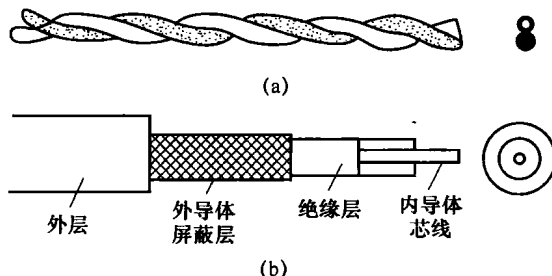


图 1-2 双绞线电缆和同轴电缆结构

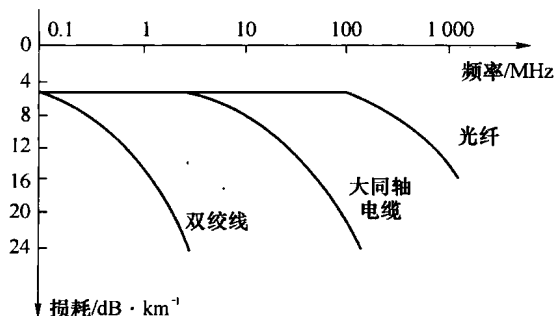


图 1-3 双绞线电缆和同轴电缆传输衰减特性

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,但它们是按同轴的形式构成线对,其结构如图 1-2(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,并且它比双绞线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。

(3) 光纤

① 光纤的结构

光纤有不同的结构形式,目前通信用的光纤绝大多数是用石英材料做成的横截面很小的双层同心玻璃体,外层玻璃的折射率比内层稍低。折射率高的中心部分称做纤芯,其折射率为 n_1 ,直径为 $2a$;折射率低的外围部分称为包层,其折射率为 n_2 ,直径为 $2b$ 。光纤的基本结构如图 1-4 所示。

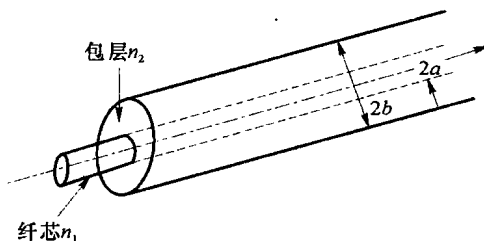


图 1-4 光纤的基本结构

② 光纤的种类

按照折射率分布、传输模式多少、材料成分等的不同,光纤可分为很多种类,下面简单介绍有代表性的几种。

(a) 按照折射率分布分

光纤按照折射率分布可以分为阶跃型光纤和渐变型光纤两种。

- 阶跃型光纤:如果纤芯折射率 n_1 沿半径方向保持一定,包层折射率 n_2 沿半径方向也保持一定,而且纤芯和包层的折射率在边界处呈阶梯型变化的光纤,称为阶跃型光纤,又可称为均匀光纤,它的结构如图 1-5(a)所示。
- 渐变型光纤:如果纤芯折射率 n_1 随着半径加大而逐渐减小,而包层中折射率 n_2 是均匀的,这种光纤称为渐变型光纤,又称为非均匀光纤,它的结构如图 1-5(b)所示。