

普通高等教育“十一五”规划教材

数据通信原理

詹仕华 主 编

谢秀娟 薛岚燕 副主编

余国伟 编 写



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材

数据通信原理

主 编 詹仕华
副主编 谢秀娟 薛岚燕
编 写 余国伟
主 审 景 林



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。全书共分为9章，主要包括：绪论、随机过程分析、数据传输的信道与噪声、数据信号的基带传输、数据信号的频带传输、差错控制、数据交换技术、通信协议和数据通信网等。每章都附有本章的重点内容和习题，同时在附录部分给出习题的参考答案。

本书可作为高等院校通信、电子信息、计算机科学与技术及其相关专业的数据通信课程的教材，也可作为从事相关专业的工程技术人员的学习参考书。

图书在版编目（CIP）数据

数据通信原理 / 詹仕华主编；余国伟编写. —北京：中国电力出版社，2010

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-9716-0

I. ①数… II. ①詹… ②余… III. ①数据通信—高等学校—教材 IV. ①TN919

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 205629 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>）

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 1 月第一版 2010 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18 印张 433 千字

定价 28.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

数据通信是 20 世纪 50 年代随着计算机技术的迅速发展而发展起来的一种新的通信方式,它是计算机和通信这两个技术相互渗透相互结合的产物。当今信息技术和信息产业已成为知识经济的主导,数据通信已成为人们进行信息交流和交换的重要手段。

数据通信原理是一门理论与实践相结合的课程。不仅应该掌握数据通信的基本原理和基本分析方法,还应该深刻理解通信的重要概念;不仅要理解所用数学工具及其分析方法,还要尽可能将分析结论与实际的物理概念进行联系。

本书主要介绍了数据通信的基本概念和基本原理、数据传输技术和控制技术、数据交换技术、数据通信协议和数据通信网等内容。

全书共分为 9 章。第 1 章绪论,介绍了数据通信的基本概念、数据通信系统的组成和分类、数据传输方式、多路复用、数据通信系统的主要性能指标、数据通信系统的应用与发展和数据通信网与计算机通信网等内容;第 2 章随机过程分析,首先对随机过程进行了描述,接着介绍了平稳随机过程、高斯过程和窄带随机过程,最后分析了噪声及其特性和通过线性系统的平稳随机过程等内容;第 3 章数据传输的信道与噪声,首先介绍了信道的概念及其数学模型,接着讨论了有线信道和无线信道,最后分析了信道噪声和信道容量等内容;第 4 章数据信号的基带传输,首先介绍了基带传输系统的组成、常用的数据基带信号及其频谱特性,接着讨论了无码间干扰的传输特性和眼图,然后分析了基带传输系统性能和提出了改善数据传输系统性能的措施,最后阐述了基带数据传输系统的应用;第 5 章数据信号的频带传输,首先介绍了频带传输系统的构成,接着讨论了二进制数字调制解调、多进制数字调制解调和正交幅度调制,并对二进制数字调制系统性能进行分析;第 6 章差错控制,首先介绍了差错控制的基本概念及原理,然后详细分析了几种简单的差错控制编码、汉明码、线性分组码、循环码、卷积码的相关内容,最后简单介绍了交织码;第 7 章数据交换技术,首先介绍了数据交换的必要性和类型,接着分析了电路交换、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 8 章通信协议,首先介绍了开放系统互连参考模型,接着具体阐述了物理层协议、数据链路传输控制规程、分组交换 X.25 建议和帧中继协议等内容;第 9 章数据通信网,首先介绍了数据通信网的构成和分类,然后详细介绍了公共电话交换网、分组交换网、帧中继网、ISDN 网、DDN 网、ATM 网的具体内容。

本书第 1 章、第 3 章和第 4 章由薛岚燕编写,第 2 章、第 5 章和第 7 章由谢秀娟编写,第 8 章由余国伟编写,第 6 章、第 9 章和附录由詹仕华编写。全书由詹仕华统稿,由景林主审。

在本书的编写过程中,参阅了相关的文献和资料,在此对这些文献和资料的著作者深表感谢!同时也感谢中国电力出版社给予的支持和协助!

限于编者水平,书中难免存在缺点和错误,恳请专家和读者批评指正。

编者

2009 年 9 月



目 录

前 言

第1章 绪论	1
1.1 数据通信的基本概念	1
1.2 数据通信系统	10
1.3 数据传输方式	12
1.4 多路复用	15
1.5 数据通信网与计算机通信网	19
1.6 数据通信系统的主要性能指标	21
1.7 数据通信系统的应用与发展	24
小结	29
习题	30
第2章 随机过程分析	31
2.1 引言	31
2.2 随机过程的描述	31
2.3 平稳随机过程	34
2.4 高斯过程	40
2.5 窄带随机过程	43
2.6 随机过程通过线性系统	46
2.7 平稳随机过程通过乘法器	49
小结	50
习题	51
第3章 数据传输的信道与噪声	54
3.1 信道定义与数学模型	54
3.2 有线信道	60
3.3 无线信道	65
3.4 信道的噪声及特性描述	70
3.5 信道容量	73
小结	74
习题	75
第4章 数据信号的基带传输	76
4.1 数据信号及特性描述	76
4.2 基带传输系统的组成	84
4.3 无码间干扰的基带传输	85
4.4 眼图	92

4.5	无码间干扰基带系统的抗噪声性能	94
4.6	改善数据传输系统性能的几个措施	97
	小结	109
	习题	110
第5章	数据信号的频带传输	112
5.1	频带传输系统的构成	112
5.2	二进制数字调制解调	113
5.3	二进制数字调制系统性能分析	128
5.4	多进制数字调制解调	140
5.5	正交幅度调制	148
	小结	154
	习题	155
第6章	差错控制	158
6.1	差错控制的基本概念	158
6.2	检错与纠错	161
6.3	简单差错控制编码	165
6.4	汉明码	169
6.5	线性分组码	171
6.6	循环码	175
6.7	卷积码	186
6.8	交织码	193
	小结	193
	习题	195
第7章	数据交换技术	197
7.1	概述	197
7.2	电路交换	198
7.3	报文交换	199
7.4	分组交换	202
7.5	帧方式	208
7.6	几种数据交换技术的比较	209
	小结	210
	习题	211
第8章	通信协议	213
8.1	开放系统互联参考模型	213
8.2	物理层协议	214
8.3	数据链路传输控制规程	218
8.4	分组交换协议—X.25 建议	227
8.5	帧中继协议	229
	小结	232

习题	232
第 9 章 数据通信网	234
9.1 数据通信网概述	234
9.2 公共电话交换网	236
9.3 分组交换网	237
9.4 帧中继网	240
9.5 综合业务数字网 ISDN	241
9.6 数字数据网 DDN	243
9.7 ATM 网	247
小结	248
习题	249
附录 A Q 函数和误差函数	250
附录 B 缩写词中英文对照表	254
附录 C 习题答案	256
参考文献	277

第1章 绪 论

1.1 数据通信的基本概念

随着世界经济、技术的迅速发展,现代社会将进入一个信息化的新时代。信息化最重要的工作是建立一个现代化的信息网络,该网络的基础是电信技术和计算机技术的结合。而完成计算机之间、计算机与终端以及终端之间的信息传递的通信方式和通信业务就是数据通信。随着现代科技与计算机的飞速发展,计算机与通信技术相结合也日趋紧密,数据通信作为计算机技术与通信技术相结合的产物,在现代通信领域中正扮演着越来越重要的角色。目前,全球的数据通信已经为金融、财政系统、科研部门、大专院校、政府机关、企业集团提供了安全、可靠、优质的网络支持和业务服务。

通信技术的发展是伴随科技的发展和社会的进步而逐步发展起来的。早在古代,人们就寻求各种方法实现信息的传输。我国古代利用烽火传送边疆警报,古希腊人用火炬的位置表示字母符号,这种光信号的传输构成最原始的光通信系统。利用击鼓鸣金可以报送时刻或传达命令,这是声信号的传输。后来又出现了信鸽、旗语、驿站等传送信息的方法。然而,这些方法无论是在距离、速度和可靠性与有效性方面仍然没有明显的改善。19世纪,人们开始研究如何用电信号传送信息。1837年莫尔斯发明了电报,用点、划等适当组合的代码表示字母和数字,这种代码称为莫尔斯电码。1876年贝尔发明了电话,直接将声信号转变为电信号沿导线传送。19世纪末,人们又致力于研究用电磁波传送电信号,赫兹、波波夫、马可尼等人在这方面都作出了贡献。开始时,传输距离仅数百米。1901年,马可尼成功地实现了横跨大西洋的无线电通信。从此,传输电信号的通信方式得到广泛应用和迅速发展。

20世纪20年代起,通信建设和应用广泛发展,开始利用铜线实现市内和长途有线通信,又利用短波实现远距离无线通信和国际通信。

20世纪30~40年代起,利用铜线传输载波电话,使长途通信容量加大,电信号的频分多路技术开始步入实用阶段。

20世纪50~60年代起,半导体晶体管开始在电子电路中替代电子管,其后进入集成电路技术以及超大规模集成电路的时代,开始建设最早的公用电话通信网。

20世纪60年代起,电子计算机应用增多,数据通信开始兴起,电话编码技术得到应用,模拟通信开始向数字通信过渡。

20世纪70年代起,玻璃光纤拉制成功,导致传输网络从电缆通信向光纤通信过渡。地球同步轨道运行的通信卫星发射成功,卫星通信开始对国际通信和电视转播作出贡献,也经常在某些特殊地理环境下作为有线接入技术的替代与补充。

20世纪80年代起,各种信息业务应用增多,通信网络开始向数字网发展。电信号的时分多路技术(PDH和SDH)走向成熟,公共电话交换网(PSTN)逐渐得到普及,交换方式发展出新的类型(ATM)。蜂窝网等各种无线移动通信业务向公众开放,导致个人通信的迅速发展。第一代模拟移动通信网的代表技术为AMPS。

20 世纪 90 年代起, 国际互联网 (Internet) 在全世界兴起, 在吸引众多计算机用户踊跃上网的同时, 也吸引人们更多地使用计算机。可以在网上快速实现国内和国际通信并获取各种有用信息, 而仅支付低廉的费用。从此, 通信网络的数据业务量急剧增长。这使得以互联网协议 (IP) 为标志的数据通信, 在通信网络逐渐占据更为重要的地位。同时, 在光纤通信技术中, 波分复用技术 (WDM) 取得成功, 与电信号的时分复用技术 (TDM) 相结合, 线路的传输容量显著加大, 足以适应通信业务量急速增长的需要。

20 世纪 90 年代中期起, 蜂窝网进入第二代, 即数字式无线移动通信, 适合时代发展对个人通信的需求, GSM 作为第二代移动通信系统的代表, 更是得到了全球性的广泛应用。时分多址 (TDMA) 和码分多址 (CDMA) 一同向前发展。除了传送话音信号之外, 还开始提供移动数据通信, 让无线移动用户能像有线固定用户一样自由地访问国际互联网。目前, 移动通信技术发展的热点是以 WCDMA/CDMA 2000/TD-SCDMA 技术为代表的第三代移动通信技术和以 802.11a/b/g 技术为代表的无线局域网技术, 以及不同移动通信技术之间的融合。

1.1.1 消息、信号、信息和数据

在通信系统中, 经常会提到消息、信号、信息、数据等概念。在日常生活中, 一般都不是非常刻意区分它们的区别, 因为它们互相之间有着密不可分的关系。从信息科学的角度来看, 它们的含义并不相同, 下面分别对这几个概念进行讨论。

1. 消息

所谓消息是指通信过程中传输的具体原始对象, 如电话中的语音, 电视中的图像, 电报中的电文, 雷达中目标的距离、高度、方位, 遥测系统中测量的数据等。这些消息在物理特征上各不相同, 所以各种消息的组成亦不相同。目前通信中的消息可以分为离散消息和连续消息两类。所谓离散消息是指消息的状态是可数的或离散型的, 如符号、文字和数据等, 也称为数字消息。所谓连续消息是指状态连续变化的消息, 如连续变化的语音、图像等, 也称为模拟消息。消息物理特性的多样性主要是由通信信源的特性决定的, 但是从通信的角度来讲, 消息应具备两个特点: 一是能够被通信双方理解; 二是可以传递。

2. 信号

把消息转换成适合于信道传输的物理量, 就是信号。信号携带着消息, 它是消息的运载工具。在通信中指的是电信号或光信号, 即随时间变化的电压、电流或光强。信号的分类是多种多样的, 根据不同的分类原则, 可以将信号进行如下分类:

根据信号的取值是否确定, 可以将信号分为确定信号和随机信号; 根据信号的取值是否为实数, 可以将信号分为实值信号和复值信号; 根据信号在一定时间内是否按照某一规律重复变化, 可以将信号分为周期信号和非周期信号; 根据信号的功率特性, 可以将信号分为能量信号和功率信号; 根据信号的物理特性可以将信号分为模拟信号和数字信号。

所谓模拟信号是指信号的某一参量可以取无穷多个值, 并且与原始消息直接对应的信号, 如话音信号及其按照抽样定理所得的 PAM 样值信号等。模拟信号有时也称连续信号, 这个连续是指信号的某一参量可以连续变化, 或者说在某一取值范围内可以取无穷多个值, 而不一定在时间上也连续, 如图 1.1 所示, 其中图 1.1 (a) 为时间连续的模拟信号, 图 1.1 (b) 为时间离散的模拟信号。

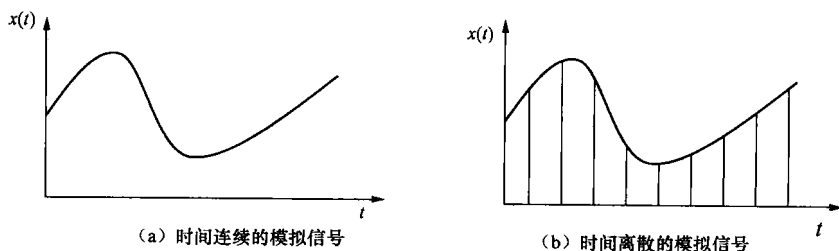


图 1.1 模拟信号波形

所谓数字信号是指信号的某一参量只能取有限多个值,且与原始消息不直接对应的信号,如计算机终端输出的二进制信号及其经过 PSK、FSK 等调制方式调制后所得的信号等。数字信号有时也称离散信号,这个离散是指某一参量是离散变化的,而不一定在时间上也离散,如图 1.2 所示。

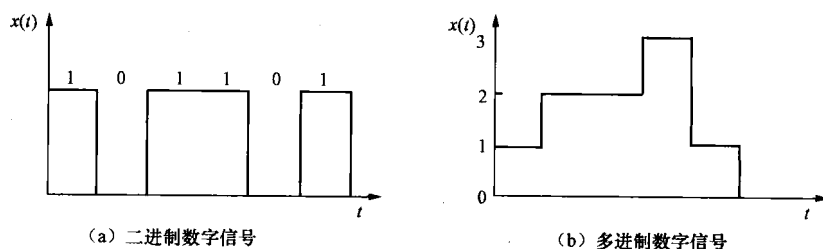


图 1.2 数字信号波形

模拟信号与数字信号之间可以相互转换,模拟信号一般通过 PCM 脉码调制 (Pulse Code Modulation) 方法量化为数字信号,即让模拟信号的不同幅度分别对应不同的二进制值,例如,采用 8 位编码可将模拟信号量化为 $2^8=256$ 个量级,实用中常采取 24 位或 30 位编码;数字信号一般通过对载波进行移相 (Phase Shift) 的方法转换为模拟信号。计算机、计算机网络中均使用二进制数字信号。

3. 信息

相对于消息,信息具有更抽象的含义,若从主观方面来讲,可以认为信息就是包含在消息中对通信方有意义的那部分内容。也就是说假如一条消息是人人皆知的话,这条消息就不存在任何意义,就不能被称为信息。

对于信息的含义,国内外已有不下百余种流行的说法。人们可以从不同的研究目的、不同的角度出发,对信息作用的不同理解和解释而对信息做出定义。各种信息定义都反映了信息的某些特征。这样,难免会存在差异性和多样化。被称为是信息论之父的香农从通信的角度对信息作出科学的定义。香农认为:信息是有秩序的量度,是人们对事物了解的不确定性的消除或减少。信息是对组织程度的一种测度,信息能使物质系统有序性增强,减小破坏、混乱和噪声。

根据香农的有关信息的定义,那么信息是如何度量的呢?当人们收到一封电报,或听了广播,或看了电视,到底得到多少信息量呢?显然,信息量与不确定性消除程度有关,度量信息多少的程度就是信息量。信息的度量反映了人们对于信息的定量认识。根据香农对信息的定义,信息量的计算描述如下:若某事件的基本空间可能出现的元素分别为 $x_1, x_2, \dots$ 、

x_n , 即每个元素出现的概率为 $p(x_i)$, 其中 $i=1, 2, \dots, n$, 则定义一个随机事件 x 所含的信息量 (又称 x 的自信息量) 度量公式为

$$I(x) = \log(1/p(x)) = -\log_a p(x) \quad (1.1)$$

其中 $I(x)$ 代表 x 的自信息量, $p(x)$ 为事件 x 出现的概率。底数 a 是决定信息量的单位, 它可以任意取值, 常取 2、10、e, 信息量的单位分别为比特 (bit)、奈特 (nat)、哈特莱 (hartley)。若 $a=M$, 则单位为 M 进制信息单位。一般在计算中采用 2 为底, 并且通常为了书写简洁常将 2 省去。

数据通信中若数据采用二进制传输, 此时将二进制的每个符号“0”或“1”称为码元。

当两个码元等概率出现时, 每个码元包含的信息量为: $I = \log_2 2 = 1\text{bit}$ 。

因此通常将二进制序列称为比特流, 但若两个码元出现的概率不等, 此时每个码元包含的信息量已不是 1bit。

更一般的情况, 当采用 M 进制传输时, 此时共有 0, 1, $\dots, M-1$ 个码元, 且各码元出现的概率不相等, 分别为 $P_0, P_1, \dots, P_{M-1}$, 此时每个码元包含的信息量并不相等, 分别为

$$I_j = -\log_2 P_j \quad (1.2)$$

【例 1.1】 如果在不知道今天是星期几的情况下问同学“明天是星期几?”, 则答案中含有的信息量是多少比特?

解 显然, 有 7 种可能的答案, 且出现每种答案的概率均为 1/7。因此, 出现某一答案是一个随机事件, 其自信息量为

$$I(x) = -\log_2 p(x) = -\log_2 1/7 = \log_2 7\text{bit}$$

对式 (1.2) 求期望, 所得的期望值称为平均信息量 H , 表示平均每个码元包含信息的多少, 单位为 bit/符号, 如式 (1.3) 所示

$$H = -\sum_{j=0}^{M-1} P_j \log_2 P_j \quad (1.3)$$

因为式 (1.3) 与热力学和统计力学中系统熵的计算公式相似, 故常将平均信息量称为信息熵。可以证明上式中, 当 $P_0 = P_1 = \dots = P_{M-1}$ 时取最大值, 此时

$$H = -\sum_{j=0}^{M-1} \frac{1}{M} \log_2 \frac{1}{M} = \log_2 M \quad (1.4)$$

【例 1.2】 某信源有 8 种相互独立的状态, 其发生的概率分别是 1/8、1/8、0、1/4、0、0、0、1/2, 则信源传递给信宿的平均信息量是多少?

解 根据式 (1.3) 可得:

$$\begin{aligned} H &= -\sum_{j=0}^{M-1} P_j \log_2 P_j \\ &= -\{P_1 \log_2 P_1 + P_2 \log_2 P_2 + \dots + P_8 \log_2 P_8\} \\ &= -\left\{2 \times \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} + \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2}\right\} \\ &= \frac{7}{4} (\text{bit/符号}) \end{aligned}$$

因此, 信源传递给信宿的平均信息量为 $\frac{7}{4}$ bit/符号。

4. 数据

数据就是赋予一定含义的数字、字母、文字等符号及其组合，它是消息的一种表现形式。比如说数字 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9，字母 a、b、c、d 等，让它们事先约定具有某种含义，就都成为数据。数据通信就是用来传输这些数据，通信中传输的时候一般用电信号或者是光信号。以电信号为例，如果每个数据都用电平来表示，这些数据就需要多个电平来传输，这显然是不可能实现的，那么如何解决这种复杂问题？若将数据用传输代码来表示，就变成了数据信号。数据涉及事物的形式，而信息涉及的是这些数据的内容。数据又分为模拟数据和数字数据。模拟数据和数字数据都可以用模拟信号和数字信号表示和传播。而模拟信号和数字信号都可以在合适的传输介质上传输。通常，将传输过程中使用模拟信号的传输方式称为模拟数据传输（可能需要调制解调器）；将传输过程中使用数字信号的传输方式称为数字数据传输（可能需要编解码）。

1.1.2 传输代码

在数据通信中，数据常常用“代码”来表示。所谓代码是利用数字的一种组合来表示某一种基本数据单元，可以是文字信息中的字符、图形信息中的图符和图像信息中的像素等，这些都是最基本的数据单元。比如数字 5 可以用 0110101 来表示，字母 A 可以用 1000001 来表示。每一种的数据都可以利用“0”和“1”的组合来表示，这就解决了需要多个电平来表示不同数据字符的矛盾。这种二进制的组合就是所说的传输代码，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。

1. 博多码

博多码（国际 2 号电码或 ITA2），有时也称为电传码，是第一个固定长度的字符代码。博多码由一位法国邮政工程师摩雷（Thomas Murray）在 1875 年开发，并以电报打印的先驱博多（Emile Baudot）命名。它是使用 5 比特来表示一个字符或字母。

2. 国际 5 号码

国际 5 号码是一种 7 单位代码，采用 7 位二进制编码，可以表示 128 个字符。字符分为图形字符与控制字符两类。图形字符包括数字、字母、运算符号、商用符号等，如表 1.1 所示。国际 5 号码是美国国家标准局最先公布的美国国家标准信息交换码（American Standard Code for Information Interchange），又称 ASCII 码。ASCII 码本来是一个信息交换编码的国家标准，后来被国际标准化组织接受，成为国际标准 ISO646。

表 1.1

国际 5 号码

列 \ 行				b7	0	0	0	0	1	1	1	1
				b6	0	0	1	1	0	0	1	1
				b5	0	1	0	1	0	1	0	1
b4	b3	b2	b1		0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	NUL	TC7 (DLE)	SP	0	@	P	\	p
0	0	0	1	1	TC1 (SOH)	DC1	!	1	A	Q	a	q
0	0	1	0	2	TC2 (STX)	DC2	"	2	B	R	b	r
0	0	1	1	3	TC3 (ETX)	DC3	#	3	C	S	c	s
0	1	0	0	4	TC4 (EOT)	DC4	□	4	D	T	d	t

续表

列 \ 行				b7	0	0	0	0	1	1	1	1
				b6	0	0	1	1	0	0	1	1
				b5	0	1	0	1	0	1	0	1
b4	b3	b2	b1		0	1	2	3	4	5	6	7
0	1	0	1	5	TC5 (ENQ)	TC8 (NAK)	%	5	E	U	e	u
0	1	1	0	6	TC6 (ACK)	TC9 (SYN)	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1	7	BEL	TC10 (ETB)	'	7	G	W	g	w
1	0	0	0	8	FE0 (BS)	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1	9	FE1 (HT)	EM	)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0	10	FE2 (LF)	SUB	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1	11	FE3 (VT)	ESC	+	;	K	[	k	(
1	1	0	0	12	FE4 (FF)	IS4 (FS)	,	<	L	\	l	
1	1	0	1	13	FE5 (CR)	IS3 (GS)	-	=	M	]	m	)
1	1	1	0	14	SO	IS2 (RS)	.	>	N	^	n	—
1	1	1	1	15	SI	IS1 (US)	/	?	O	-	o	DEL

3. EBCDIC 码

EBCDIC 码是 IBM 开发的一种扩展的二—十进制交换码，它是一种八位码，有 28 种或 256 种组合，是最强大的字符集，但只选用其中一部分。0~9 十个数字的高 4 位编码为 1111，低 4 位仍为 0000~1001。大、小写英文字母的编码同样满足正常的排序要求，而且有简单的对应关系，即同一个字母的大小写的编码值仅最高的第 2 位的值不同，易于识别与变换。

4. 条形码

条形码在商店里几乎每件商品上都可以看到的那些万能的黑白条状粘贴物。条形码是一系列由白色间隔分隔的黑条。黑条的宽度以及它们的反光能力代表二进制的“1”和“0”，用来识别商品的品种和价格。

1.1.3 模拟通信、数字通信和数据通信

按照传统的理解，所谓通信（Communication）就是信息的传输与交换，是把消息从一地传送到另一地。

通信系统中传输的具体对象是消息，但通信的最终目的是传递信息；信道则是指信号的传输媒介，如电缆、光缆、双绞线、微波等。

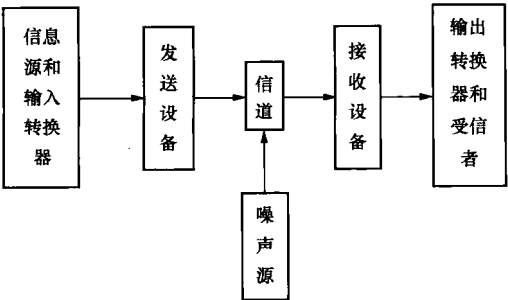


图 1.3 一般通信系统的模型

以点对点通信模型为例，一个通信系统由三部分组成：发送端、接收端和介于两者之间的信道，如图 1.3 所示。

信息源（即信源）出来的信号称为基带信号，即没有经过调制的原始电信号，如电话系统中的电话机。基带信号的频率成分较低，有模拟基带信号与数字基带信号之分。为了使原始信号能够在信道上传输，通信系统中需要经

过两种变换。在发送端将消息变换成原始电信号,那么原始电信号又需要变换成其频道适合信道传输的信号,这个过程由发送设备来完成,再送入信道。所谓信道是指信号传输的通道。在接收端,接收设备的功能正好与发送设备相反,它将接收到的信号恢复成相应的原始电信号,受信者最终将复原的原始电信号转换成相应的消息,比如电话机将对方传来的电信号还原成声音。对于信号在信道传递过程中,难免会受到噪声源的干扰,这里所说的噪声源是指信道中的所有噪声以及分散在通信系统中其他各处噪声的集合。

1. 模拟通信

所谓模拟通信指的是信源和信道上的信号都是模拟信号。对于一个模拟通信系统,可以将一般通信系统略加改变得到,其模型如图 1.4 所示。

比较模拟通信系统和一般通信系统模型图,可以看出在模拟通信系统中发送设备和接收设备是由调制器和解调器来充当。在模拟通信系统中,同样需要两种变换。首先,发送端所发送的连续消息要变换成原始电信号,接收端收到信号后要反变换成原始的连续信号。这

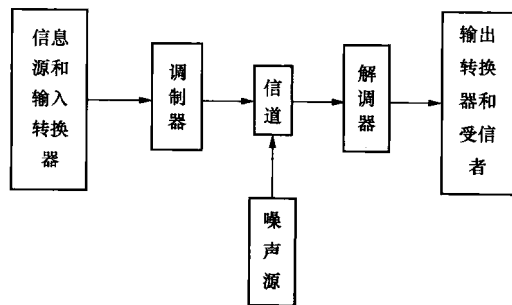


图 1.4 模拟通信系统的模型

里所说的原始电信号指的就是基带信号,即具有频率较低的频谱分量,一般不适于在信道中直接传输。可见,在模拟通信系统中还需要第二种变换,这种变换由调制器和解调器来完成。将原始电信号变换成其频带适合信道传输的信号,这个过程称为调制,经过调制后的信号称为频带信号,在接收端进行反变换,即恢复成原始电信号,这个过程称为解调。

需要说明的是,在信号传输中,以上两种变换使信号起决定性变化,但在模拟通信系统中并非只经过以上两种变换,除此之外,可能还有滤波、放大、天线辐射与接收、控制等过程。这些过程对信号并不起到决定性作用,只是对信号进行放大和改善信号特性,一般不去讨论它们。

2. 数字通信

所谓数字通信指信源是模拟信号,信道上传输的是数字信号。可见相对于模拟通信系统而言,在数字通信系统中,发送端需要一个模/数转换装置,在接收端需要一个数/模转换装置。

数字通信中存在以下几个突出问题:首先,在数字信号传输过程中,由于信道噪声或者干扰会引起差错,这些差错可以通过差错控制编码来控制,因此,在发送端需要增加一个编码器,相应的在接收端就需要一个解码器;其次,假如在数字信号传输过程中需要实现保密通信,那么就需要对数字基带信号进行扰乱,即加密,相应的在接收端就必须进行解密;第三,由于数字通信传输是一个接一个按一定节拍来传送数字信号,因此在接收端就必须有一个与发送端相同的节拍,否则,就会因为收发步调不一致而引起混乱。另外,为了表述消息内容,基带信号都是按消息特征进行编组的,于是,在收发之间一组组的编码的规律也必须一致,否则接收时消息的真正内容将无法恢复。在数字通信中,将节拍称为“位同步”或“码元同步”,而称编组为“群同步”或“帧同步”,因而在数字通信中还必须注意“同步”这个重要问题。

分析数字通信所存在的这些问题,在数字通信中,信号进入调制前,还必须经过信源编

码与信道编码, 信源编码用以提高信道传输的有效性, 信道编码用以提高信道传输的可靠性。在一般通信系统中的发送设备和接收设备可以由以下几个设备来组合完成, 如图 1.5 和图 1.6 所示。

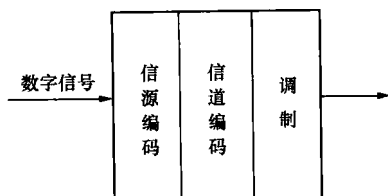


图 1.5 发送设备

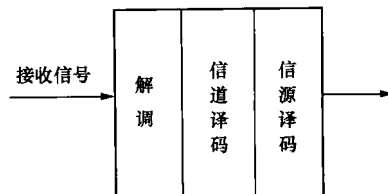


图 1.6 接收设备

综上所述, 对一般通信系统模型加以改变得到点对点的数字通信系统模型如图 1.7 所示, 图 1.7 中并没有同步环节, 这是因为同步的位置往往不是固定的。需要注意的是, 实际的数字通信系统并非包括图 1.7 中所有的环节。比如调制与解调、加密与解密、编码与解码等环节究竟是否采用, 还取决于具体设计方法及要求。但在一个系统中, 如果发送端有调制/加密/编码, 则接收端必须有解调/解密/译码。通常把有调制器/解调器的数字通信系统称为数字频带传输通信系统。

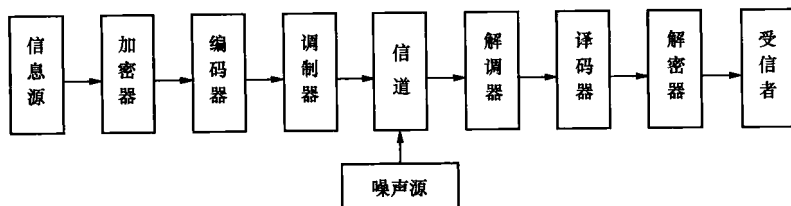


图 1.7 数字频带传输通信系统

效率
去

与数字频带传输通信系统相对应, 把没有调制器/解调器的数字通信系统称为数字基带传输通信系统, 如图 1.8 所示。

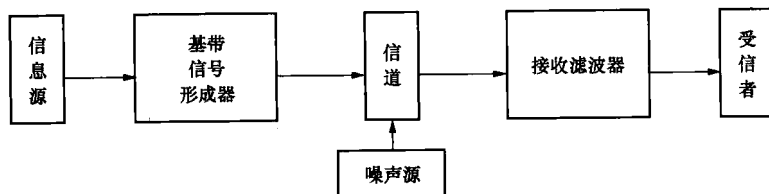


图 1.8 数字基带传输通信系统

图 1.8 中的基带信号形成器可能包括编码器、加密器以及波形变换等, 接收滤波器也可能包括译码器、解密器等。这些具体内容, 将在第 4 章详细介绍。

一般来说, 数字通信的许多优点都是用模拟通信占据更宽的系统频带而换来的。以电话为例, 一路模拟电话通常只占据 4kHz 带宽, 而一路传输质量相同的数字电话则可能要占用数十千赫的带宽。在系统频带紧张的场合下, 数字通信的这一缺点显得很突出, 但是相对于模拟通信而言, 数字通信存在以下优点:

(1) 抗干扰能力强, 尤其是数字信号通过中继再生后可消除噪声积累。

(2) 数字信号通过差错控制编码, 可以提高通信的可靠性。

(3) 由于数字通信传输一般采用二进制编码, 所以可以使用计算机对数字信号进行处理, 实现复杂的远距离大规模自动控制系统和自动数据处理系统, 实现以计算机为中心的通信网。

(4) 在数字通信中, 各种消息(模拟的和离散的)都可以变成统一的数字信号进行传输。在系统对数字信号传输的监控信号、控制信号及业务信号都可以采用数字信号。数字传输和数字交换技术结合起来组成的 ISDN 对于来自不同信源的信号自动地进行变换、综合、传输、处理、存储和分离, 实现各种综合业务。

(5) 数字信号易于加密处理, 使数字通信保密性强。

数字通信的缺点是比模拟信号多占带宽, 但由于毫米波和光纤通信的出现, 带宽已不成问题。

3. 数据通信

与模拟通信系统和数字通信系统不同, 在数据通信系统中, 信源是数字信号(数据信号), 不管广义信道上信号为何种形式, 都称为数据通信。所谓的数据通信是指按照一定的通信协议, 利用数据传输技术在两个终端之间传递数据信息的一种通信方式和通信业务。它可以实现计算机和计算机、计算机和终端以及终端与终端之间的数据信息传递, 是继电报、电话业务之后的第三种最大的通信业务。数据通信中传递的信息均以二进制数据形式来表现。

数字通信与数据通信的区别主要有两点, 一个是数字通信中需要将模拟信号进行模/数转换后变成数字信号进行传输, 而数据通信中在数据终端产生的直接就是数字形式的信号; 第二个区别在于, 虽然它们当中都有基带传输和频带传输, 基带传输, 表面上看来概念是一样, 但是它们所用的设备是不一样的, 也就是它们的构成是有区别的。频带传输, 二者概念就有很大的区别, 数字通信中, 需要将基带数字信号搬移到微波、卫星等无线信道上传输, 而数据通信中, 将基带数据信号的频带搬移到话音频带上传输。

1.1.4 数据通信的特点

从数据传输的角度来讲, 数据通信中数据都是经过编码后以二进制或者多进制的形式传输的, 所以数据通信可以认为是数字通信的一种形式。但和传统的数字通信(如 PCM 数字电话通信)相比, 具有如下特点:

(1) 计算机终端作为主体直接参与通信。

(2) 数据终端发出的数据是离散信号(数字信号), 既可利用现有的 PSTN, 又可利用数据网络来完成。

(3) 需要建立通信控制规程, 也就是要制定出严格的通信协议或标准。

(4) 数据传输的可靠性要求高, 即误码率要低。

(5) 数据通信的业务量呈突发性, 即数据通信速率的平均值和高峰值差异较大。

(6) 数据通信要求有灵活的接口能力。

(7) 不同的数据通信业务对通信时延的要求也不同, 且时延要求的变化范围大。

(8) 数据通信每次呼叫平均持续时间短, 数据通信要求接续和传输响应时间快。

(9) 容易加密, 且加密技术、加密手段优于传统通信方式。

(10) 数据通信从面向终端发展到今天的面向网络, 而且数据通信总是与远程信息处理相联系的, 包括科学计算、过程控制和信息检索等广义的信息处理。

1.1.5 数据通信研究的内容

数据通信是通过计算机与通信技术相结合,来完成编码信息的传输、转接、存储和处理加工,及时、准确地向对方提供数据的通信技术。对于数据通信,它传输和处理的是离散数字信号,而不是连续模拟信号;它是计算机或其他终端间的通信;速度快,可靠性高。从通信内容上看不限于单一的语音,包括图像、语音、文件等数据,从信道上看不限于某种具体的传输媒介。可见数据通信研究的内容比较复杂,范围较广。将数据通信研究的内容归纳为以下几个部分:

(1) 数据传输:主要解决如何为数据提供一个可靠而有效的传输通路,有基带传输和频带传输之分。

(2) 差错控制:主要是抗干扰编码,使数据传输有较高的可靠性。

(3) 通信协议:是通信网络中的“大脑”,它与网络操作系统、网络管理软件共同控制和管理着数据网络的运行。

(4) 数据交换:在网络通信中,数据交换是完成数据传输的关键。交换描述了网络中各节点之间的信息交互方式,可以分为电路交换、报文交换和分组交换等。

(5) 同步:数据通信的一个重要方面,主要有码元同步、帧同步和网同步。

除此之外,数据通信还研究有关网络管理、网络安全等相关技术。

1.2 数据通信系统

1.2.1 数据通信系统的组成

数据通信系统是通过数据电路将分布在远端的数据终端设备与中央计算机系统连接起来,实现数据传输、交换、存储和处理功能的一个系统。由数据终端设备(DTE)、数据电路以及中央计算机系统三大部分组成,如图1.9所示。

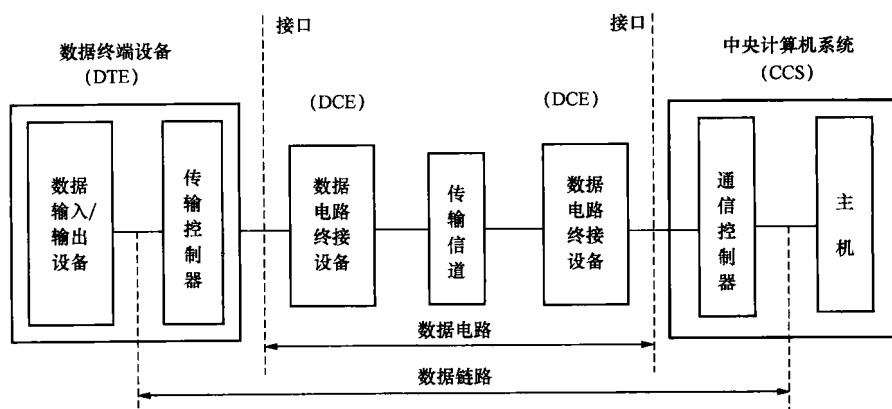


图 1.9 数据通信系统基本组成

1. 数据终端设备 (Data Terminal Equipment, DTE)

数据终端设备由数据输入设备(信源)、数据输出设备(信宿)和传输控制器组成。

数据 I/O 设备是操作人员和终端之间的界面;传输控制器主要执行通信网络中的通信控制,包括对数据进行差错控制、实施通信协议等。可见, DTE 相当于人机之间的接口。但是