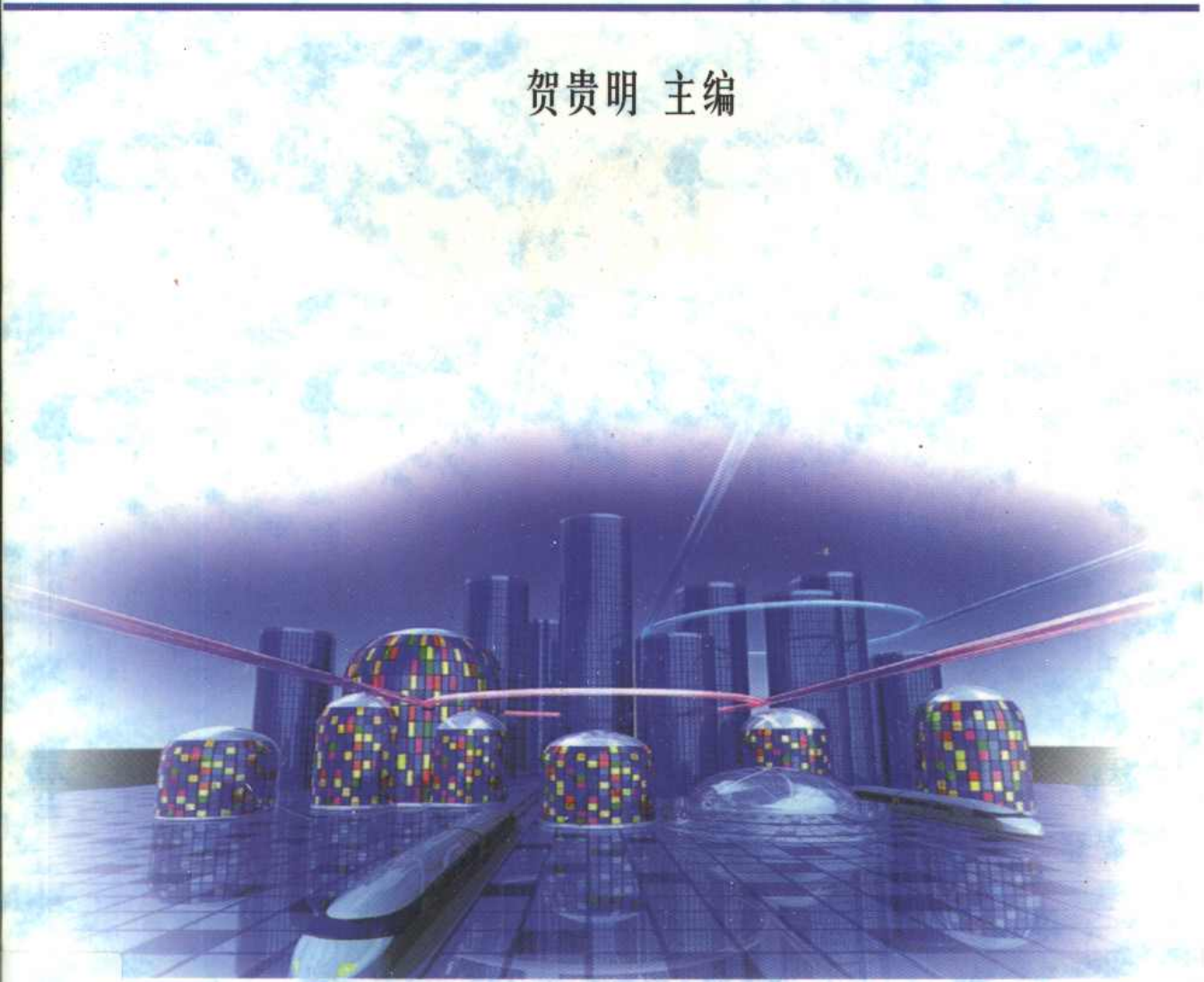


面向 **21** 世纪计算机专业本科系列教材



通信原理概论

贺贵明 主编



43

华中理工大学出版社

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

215

TN911-43

H35

面向21世纪计算机专业本科系列教材

通信原理概论

主 编 贺贵明
编 著 贺贵明 张焕国
徐佑军 张振国



A0937629

华中理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

通信原理概论/贺贵明 主编

武汉: 华中理工大学出版社, 2000 年 8 月

ISBN 7-5609-2164-7

I. 通...

II. ①贺... ②张... ③徐... ④张...

III. 通信理论-高等学校-教材

IV. TN911

通信原理概论

主编 贺贵明

责任编辑: 李 华

封面设计: 刘 卉

责任校对: 张 欣

责任监印: 张正林

出版发行: 华中理工大学出版社

武昌喻家山 邮编: 430074 电话: (027)87545012

经销: 新华书店湖北发行所

录排: 华中理工大学惠友科技文印中心

印刷: 湖北省新华印刷厂

开本: 787×960 1/16

印张: 21.5

字数: 334 000

版次: 2000 年 8 月第 1 版

印次: 2000 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1—4 000

ISBN 7-5609-2164-7/TN·54

定价: 24.80 元

(本书若有印装质量问题, 请向出版社发行部调换)

前 言

随着信息社会的到来，通信对于人类已是须臾不可缺少的工具，人们要实现不受距离限制的交往，全靠通信的支持。

随着通信技术的飞速发展，各种灵活通信手段的实现，使得人们传递信息已近乎随心所欲，相隔再远也不会感觉到距离，整个社会变得非常紧凑。通信已成为整个社会的高级神经中枢。人们对通信的研究也日益广泛和深入。尤其是计算机与通信的结合，既推动了计算机的发展，也推动了通信的发展，计算机学科、通信学科自身在这种结合中也获得了进步。学习通信的人离不开要学习计算机，学习计算机的人现在也迫切需要了解和学习通信技术。

本书的主要目标是拓宽计算机专业学生的知识面，使他们能在通信原理方面学到概论性的知识和技术。

本书第1章是通信概论，从通信系统模型入手，介绍了通信系统的分类、通信的传输方式、复用方式、交换方式；第2章概述几种典型的通信系统。在对通信获得了一些基本认识以后，下面几章讲述通信中的多种原理和技术。其中第3章信道技术讲述信道模型、信道参数、信道音量等；第4章通信调制技术讲述模拟调制和数字调制；第5章通信编码技术则着重讲述使模拟信号得以数字传输的编码原理和方法；第6章讲述基带传输系统；第7章讲述数字通信传输的同步问题；现代通信系统中安全问题越来越引起人们的关注，所以本书增加了第8章纠错编码技术和第9章密码技术。为了使学习计算机网络的读者能了解到网络传输中的通信与控制，把通信的概念与网络结合，本书还特别在第10章中讲述了计算机网络的通信与控制技术。

本书也同样适合于非通信专业的读者来了解通信、学习通信，建议计算机专业的学生必读。

本书在编写过程中得到武汉大学、华中师范大学、华中理工大学、武汉交通科技大学、武汉水利电力大学、武汉测绘科技大学许多专家、教授的大力支持，也得到华中理工大学出版社的鼎力相助，在此一并致以诚挚的谢意。

本书第1、2、6、7、10章由贺贵明教授编写，第8、9章由张焕国教授

编写，第4、5章由徐佑军教师编写，第3章由张振国教师编写。

由于通信技术发展很快，加之作者的水平所限，本书难免存在错误、谬误之处，恳请广大读者批评指正。

作 者

1999年11月



通信概论

本章首先介绍模拟通信和数字通信的系统模型以及系统分类方法，欲使读者先建立起“通信系统”的概念；然后介绍信息度量方法，为后面分析通信系统性能作准备；本章后三节介绍通信传输方式、复用方式、交换方式，使读者进一步了解通信系统的概貌和通信关键技术，为后续通信原理的展开作一些铺垫。

1.1 通信系统模型

通信的目的是传送信息。通信中应该包含有发信方、收信方、传送的途径和传送方式。最简单的通信系统模型如图1.1所示。

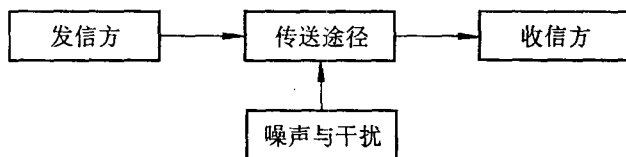


图1.1 通信系统模型

人们常把传送途径称为信道，信息在从发到收的过程中可能会产生错误，错误的原因可能有多种，发生错误的位置也是不固定的。图1.1从逻辑上将其集中地表示为噪声与干扰。信息是有载体的，信息的载体具有不同的形式，如：文字、数据、符号、声音、图像等。发信方发出这些不同形式的载体，通信系统以不同的方式(如电的方式、光的方式、波的方式)将它们传送到收信方，变成收信方可以理解的信息，这就完成了通信的全过程。发信方又可称为信源，收信方又可称为信宿。

通信原理即讲述这其中各个环节实现的原理和技术。

人们经过长期不断的研究、总结，把文字、数据、声音、图像等多种不同形式的信息载体概括为离散和连续两大类，离散的是指离散取值，连续的则是指连续取值。离散的载体用数字信号表示，连续的载体用模拟信号表示，再用与之对应的不同形式的通信系统来传送它们，这就产生了数字通信系统与模拟通信系统两大类系统。模拟通信系统解决模拟信号的传送，数字通信系统则实现数字信号的传送。

当然，“模拟”与“数字”的表现形式并不是绝对的。模拟信号既可以通过模拟通信系统传送，也可以通过数字通信系统传送，而数字信号则既可以通过数字通信系统传送也可以通过模拟通信系统传送。

1.1.1 模拟通信系统模型

在模拟通信系统中传送的一定是模拟信号。模拟信号的产生有两种情况，一种是由信源直接发出模拟信号；另一种是由信源发出的离散信号，经某种变换后形成模拟信号，即所谓的模拟信号模拟传输和数字信号模拟传输。

信源直接发出模拟信号时往往频率比较低，为充分利用通信信道的频带，使通信信道传送效率较高，应使其具有复用性，采用频率调制器将低频信号调制到较高频带。信源发出离散信号时，如果需通过模拟通信系统传送，则应使用数字信号调制器将离散信号变换成模拟信号再送出。

模拟通信系统模型如图1.2所示图中，调制器与解调器成对出现，起逆变换作用。当信源发出连续信号时，调制器调高复用频率，对应的解调器则恢复出原较低的频率，送到信宿；当信源发出离散信号时，使用数字调制器把离散信号调制成模拟信号送出，对应的解调器则解调恢复出离散信号，送到信宿。模拟通信系统中有关调制与解调的原理，将在本书第4章“通信调制技术”中作详细介绍。

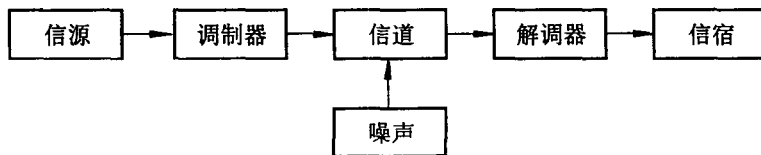


图1.2 模拟通信系统模型

模拟通信系统的主要缺点是抗干扰能力差和保密性差。

1.1.2 数字通信系统模型

在数字通信系统中传送的一定是离散数字信号。此数字信号的产生也分两种情况，一种是由信源直接发出的离散信号，如文字、符号等；另一种是信源发出模拟信号，再经“模/数”转换编码成为数字信号，如声音、图像等。这两种不同的情况分别由两类不同技术决定，即数字信号数字传输技术和模拟信号数字传输技术。

当用数字传输模拟信号时，所用的“模/数”转换器又称为编码器；而用数字传输离散信号(文字、符号等)时，也要使用编码器把离散符号编成二进制或多进制数字代码。

数字通信系统模型如图1.3所示图中，编码器与解码器也必须成对出现。如果编码器是“模/数”转换器，则解码器应是“数/模”转换器；如果编码器是对离散信号起数字编码作用，则解码器应是对离散符号起翻译作用。

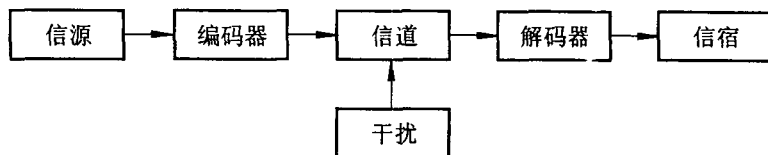


图1.3 数字通信系统模型

相对于模拟通信系统来说，数字通信系统明显的优越性是抗干扰性强、保密性好，且数字电路易于集成、缩小体积，所以现代通信越来越多地青睐数字通信系统。数字通信中的编码技术和原理将在本书第5章“通信编码技术”中作详细介绍。

1.2 通信系统分类

通信系统有多种分类方式，如：按信号特征分类、按物理特征分类、按传输媒介分类、按调制方式分类等等。

1.2.1 按信号特征分类

从信号特征来讲，信号主要分为模拟信号和数字信号两大类，所以可

以把通信系统分成模拟通信系统和数字通信系统两大类。若通信信道中传送的是模拟信号,则称该通信系统为模拟通信系统,若通信信道中传送的是数字信号,则称该通信系统为数字通信系统。其构成模型如图1.2、1.3所示。

模拟通信系统和数字通信系统都可以达到传送任意物理信息的目的,只是技术手段不同。数字通信相对于模拟通信来说是技术上的进步,其优越性很多,所以在很多场合,数字通信几乎取代了模拟通信。本书重点介绍数字通信中的原理和技术。

1.2.2 按物理特征分类

传送信息的物理形式有语音、图像、离散的文字、符号等,直接对这些物理量实现通信的系统有电话通信系统、图像通信系统、数据通信系统等,电报也是传送文字、符号的,因此也属于数据通信系统。

电报通信是Morse于1844年发明的通信方式,即把要表达的文字、符号用多个长短不同的记号编成码,传送给对方,对方再经译码,恢复出原字符,便可得到所传送的信息。除某种专门用途外电报通信不一定要构成独立电报通信系统,长途电报都需借助于各种有线的或无线的通信系统实现。

电话通信是人们最熟悉、最常用的通信方式,由Bell于1876年首先发明,现在已发展成为人类最主要的通信方式,并已构成由多种技术手段连接的世界性的公共通信网。近些年来移动通信迅猛发展,给人们带来了更大的自由通信的方便。发话与受话双方点对点地直接以语音实时传递信息是电话通信的主要特点。

图像通信可分为静止图像通信和活动图像通信,前者包括传真通信、图文电视等;活动图像通信即现今通称的视频通信,包括电视广播、可视电话、会议电视、远程教学等。图像通信是将以平面或空间形式分布的信息通过某种方式传送给对方,使对方能通过视觉获取该信息的完整过程。

语音和数字都可看做是按时间先后发生的序列,图像则是二维、三维甚至四维(包含时间因素)形式,必须经过适当的处理变成时间序列串行数据后才可进行远程传送。图像通信中频带宽、数据量大。例如,某种模拟电视信号按一定的质量标准考虑,其最小带宽应为8MHz,在工业电视系统中按降低了的要求考虑,带宽也不应少于5MHz;从数据量来看,一幅图像若按分辨率为 704×576 (MPEG II中主级的分辨率)像素和每像素3色共

24位数据来估计, 则数据量为1216.5KB; 按PAL制式的每秒25帧计算, 则数据率达到243.3Mb/s, 可见这不是个小数目, 图像通信系统的性能必须与之相适应。

据估计, 人们在日常生活中由视觉获取的信息量约占总获取信息量的70%。人出生后就习惯于眼观四面, 通过视觉主动获取信息(听觉是被动获取信息), 所以图像信息方式和图像通信越来越受到人们的重视, 发展也越来越快。

数据通信则是随着通信技术和计算机技术进步后新兴发展起来的通信方式。它把信源产生的数据组成数据流, 以模拟通信方式或者数字通信方式传送到接收方后再恢复成原数据, 从而实现了信息传送。这里的数据包括语音、图像、文字、符号等, 所以数据通信实质上是一个统称, 数据通信系统并不是一个特殊的系统。凡是产生某种形式信号的终端(数据终端、话音终端、图像终端)与计算机或数据处理设备连接起来, 并与数字或模拟传输系统相连接, 实现数据收集、处理和传输的系统统称为数据通信系统。

这种按物理特征分类的通信系统, 其中的信号形式或信息载体是可以按频率或数据速率进行划分的。简要说明如下:

打字字符与电传	40~50bit/s
电报码	150bit/s
模拟电话信号	300~3400Hz
数字电话数据	64Kb/s
一路视频信号	6~8MHz

1.2.3 按传输媒介分类

通信系统按传输媒介的不同分为有线和无线两大类。

典型的有线通信系统是电缆通信系统和光纤通信系统, 其中, 电缆包括明线、双绞线、同轴电缆等; 光纤则可分为多模光纤和单模光纤。

采用无线方式的典型通信系统是微波通信系统、卫星通信系统、无线电及移动通信系统等。

按传输媒介划分的这些通信系统, 其组成和工作原理将在本书第2章中分类予以较详细的描述。上述通信系统的频率分布范围如表1.1所列。

表1.1 不同传输媒介通信系统的频率分布表

媒 介	通信系统名称	频率分布范围
明线	传统电话通信系统	3Hz~300kHz
双绞线	电缆通信系统	12kHz~300kHz
同轴电缆	电缆通信系统	60kHz~12500kHz
无线电	无线电及移动通信系统	300MHz~3GHz
微波	微波通信系统	1GHz~300GHz
卫星	卫星通信系统	300MHz~300GHz
光纤	光纤通信系统	$10^5 \sim 10^7$ GHz

1.2.4 按调制方式分类

从是否采用调制、是否搬移数据信号的频带角度出发, 通信传输系统可以分为调制传输和基带传输两类。基带传输是直接传送未调制的信号, 如数字信号、音频市内电话的基带传输等。调制传输又称频带传输, 其方式又可分为多种, 但主要有连续(模拟)调制和数字脉冲调制两种, 其中对模拟连续波的调制按波形3要素(幅度、频率、相位)又分为幅度调制、频率调制、相位调制。对连续波也有数字调制方式。数字脉冲调制又分为脉冲模拟调制和脉冲数字调制。详细划分如表1.2所列。

表1.2 常用调制方式分类

调 制 方 式			用 途 举 例
连 续 波 调 制	幅 度 调 制	AM——常规双边带调幅	调幅广播
		DSB——抑制载波双边带调幅	立体声广播
		SSB——单边带调幅	载波通信、短波无线电电话通信
		VSB——残留边带调幅	电视广播、传真
	FM——频率调制		微波中继、卫星通信、调频广播
	PM——相位调制		通信中间调制方式
	数 字 调 制	ASK——幅度键控	数据传输
		FSK——频率键控	数据传输
		PSK——相位键控	数据传输、数字微波、空间通信
		QAM、MSK——其他数字调制	数字微波、空间通信

续表

调制方式			用途举例
脉冲调制	脉冲模拟调制	PAM——脉冲幅度调制	通信中间调制方式、遥测
		PDM——脉冲宽度调制	通信中间调制方式
		PPM——脉冲相位调制	光纤通信、遥测
	脉冲数字调制	PCM——脉冲编码调制	市话中继传输、卫星通信、空间通信
		DM——增量调制	数字电话、多媒体中的语音编码
		DPCM——差分脉冲编码调制	可视电话、图像编码
		ADPCM——自适应差分脉冲编码调制	数字电话、多媒体中的语音编码

1.3 信息的度量

信息、消息、符号、数据、信号等几个名词有相近的意义，容易混淆，容易用错。

信息可以理解为某种有意义的内容，虽不可见，但能使大脑发生一定的思维活动，即有认知发生。

消息是由具体文字、符号或语音所表达的已发生的某个事件。消息的发生是有概率的，一个消息的产生，可能带来信息，也可能不带来信息。如“太阳从东方升起”，表述了一个完整事件的发生，但它没有带来信息，因为这是必然事件，是人人皆知的；若有消息说“XX10Gbps计算机网络问世了”，则带来了巨大的信息，因为这个事件过去没有发生过。若此事件沸沸扬扬地嚷了好久，则再也不会引起人们的兴趣，因为对熟知它的人们来说，这已不算是信息。可见消息与信息是有差别的，信息与消息发生的概率大小有关。

符号是文字、数字、标点之类的东西，是为记录事件、消息而用的，单个符号也可以代表消息，也会含有信息。

信号是现实世界物理过程、物理状态的反映，世界上几乎所有其他状态、过程都可以转换成电信号，以便观察、记录、存储、传输。通信系统把所有符号、消息、数据都变成电信号来传送，所以信号几乎代替了一切，很多时候又成了它们的代名词。电信号发生在物理层，可以有模拟和数字两种形式。

数据可以看做是数字、文字、字符、符号的泛称, 数字表示的数据反映量的大小, 文字、符号表示的数据则描述概念、事实、情况。数据类似于消息, 也会含有信息量; 数据在通信中可以表示成数字信号, 也可以表示成模拟信号。

通信本质上是传递信息, 但信息自身不容易表示, 只有用文字符号等来表达、携带, 在通信中则对它们以信号的形式实现。

信号、符号、数据都容易度量, 那么, 信息如何度量呢? 从前面对消息的描述中可以知道, 消息中含有的信息量与消息发生的概率紧密相关, 某消息出现的概率愈小, 则其包含的信息量愈大, 某消息出现的概率愈大, 则其包含的信息量愈小。必然事件的发生不带来任何信息。独立事件的发生可以看做是消息的发生, 若干事件联合发生也可看做是消息的发生, 该消息带来的信息应与其中各个事件有关。如果消息由符号组成, 而各符号又被看做是独立发生的, 则多符号联合的消息其发生的概率呈指数规律减小。

综合以上情况可知, 消息中所含的信息量与消息发生的概率有以下关系:

① 消息发生的概率愈小, 消息中所含的信息量愈大, 消息带来的信息量与消息发生的概率成反比;

② 联合消息发生的概率呈指数规律减小, 可见联合消息所含的信息量呈指数规律增加。

受这些规律支配, 对信息量定义如下:

设有消息 x 发生的概率为 $P(x)$, 则所带来的信息量定义为:

$$I(x) = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x) \quad (1.1)$$

其中, 取对数是使原指数规律变得平稳、便于表达。若对数的底取2, 则 I 的单位为bit; 若对数的底取 e , 则 I 的单位为Net; 若对数的底取10, 则 I 的单位为Hatlle。bit是最常用的单位。

例1.1 计算等概率发生的离散消息的信息量。

解 设信源在每个时刻发生的消息非0即1, 此即二进制符号消息, 它们出现的概率都是 $1/2$, 则其所带的信息量为

$$I_2 = \log_2 \frac{1}{1/2} = \log_2 2 = 1 \text{ bit}$$

即二进制符号的每个码元带来1bit的信息量。

若消息为 M 进制, 且 $M=2^k$, 如果 $M=8$, 则 $k=3$, 消息出现的概率为 $1/M$, 即 2^{-k} , 其所带的信息量为

$$I_8 = \log_2 \frac{1}{1/M} = \log_2 2^k$$

信息熵的概念——若信源所发生的消息是概率不等的，则各消息所含的信息量不等。那么对于信源来说就应有一个总体平均信息量，以反映该信源的信息特点，这就是熵的概念。定义如下：

设信源的各个符号为 $x_i(i=1, 2, \dots, N)$ ，其概率分别为 $P(x_i)$ ，则定义熵为该信源各符号的统计平均信息量，以 $H(x)$ 表示：

$$H(x) = \sum_{i=1}^N P(x_i) I(x_i) = - \sum_{i=1}^N P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (1.2)$$

例1.2 信源发出符号A、B、C、D的概率分别为1/2、1/4、1/8、1/8，求该信源的熵。

$$\begin{aligned} \text{解} \quad H(x) &= \sum_{i=1}^4 P(x_i) \log_2 \frac{1}{P(x_i)} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \log_2 2 + \frac{1}{4} \log_2 4 + \frac{1}{8} \log_2 8 + \frac{1}{8} \log_2 8 \\ &= \left(\frac{1}{2} + \frac{2}{4} + \frac{3}{8} + \frac{3}{8} \right) \text{bit} = 1.75 \text{ bit} \end{aligned}$$

1.4 通信传输方式

对数据进行传输时，有多种传输方式，包括：单路数据串行传输、多路数据并行传输、数据与时钟同步传输等。这些都是通信传输中的重要概念。

串行与并行、同步与异步主要在数字数据传输的情况下发生，对于连续波的模拟信号载波同步传送问题，在此不作讨论。

1.4.1 串行传输与并行传输

二进制数字数据在电路中被表示成“0”和“1”的码元形式。这些码元在传输方向上可以是多位并行排列，也可以是一位接一位的串行排列，如图1.4所示。

在串行传输中，码组的各位被依次串行送出，通常，最低位 b_0 在先，依次由低到高逐位送出，当其最高位(如 b_7)被送出时，该码组就被发送完成。串行传输方式只使用一条传送通路，即一条信道，在远距离通信时常采用串行传输方式。

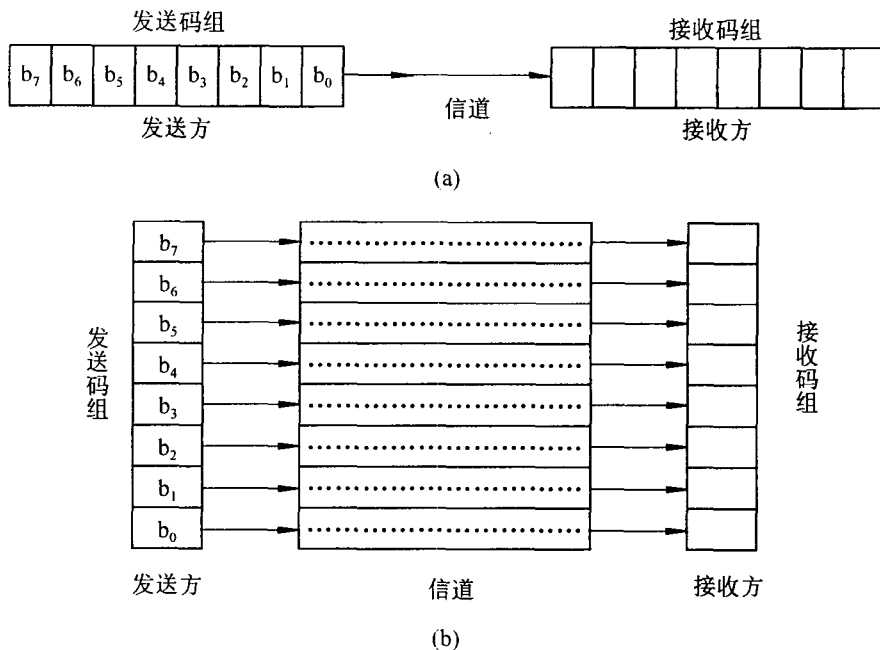


图1.4 串行传输与并行传输

(a) 串行传输 (b) 并行传输

并行传输方式中，码组的所有码元被并列同步传送，堪称“齐步走”。这时对应于每个码元必须有一条单独的通道，并行传送的码组有多少个码元(或曰多少位)，则并行通道必须有多少条，所以并行传输方式不能用于远程通信，一般用于几米以内的短距离通信。与串行传输相比，在传送速率相同的情况下，并行的数据传送效率要高 $N-1$ 倍，即相当于串行的 N 倍， N 是码组的码元位数。因此，并行传送适用于数据传送量大的场合。

1.4.2 同步传输与异步传输

并行传输中并行的各位必须是同步传送，才能保证各位被同时接收，不发生错误。而串行传输则有同步和异步两种方式。

1. 同步传输

同步传输串行数据时，每个码元占用相等的时间间隔，即严格按某种传送频率的周期进行。前后码元之间不留间隔，紧凑前行；码组也接连传送，收发双方需要对码元位同步，也需要对码组帧同步，如图1.5所示。

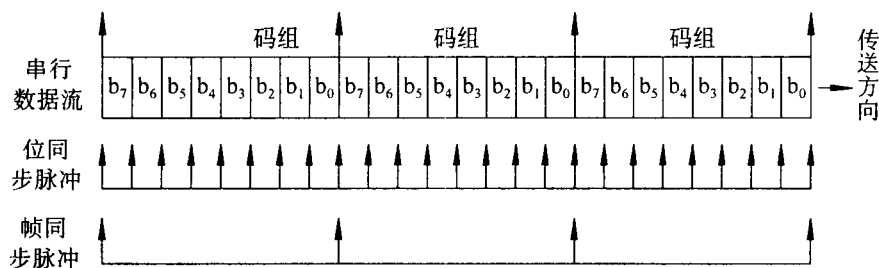


图1.5 串行数据流的同步传输

其中，位同步由位同步脉冲实现。首先建立起收发双方的位同步关系，发方逐位发送，收方对码元的每一位作出准确的判决。同时，为了区分串行中的每个码组，在串行传输系统中还使用了帧同步脉冲。收方在实现位同步的过程中，一旦检测到帧同步码，立即输出帧同步信号。

由于在同步传输中实行了严格的位同步、帧同步，因而有效传输速率提高，但付出的代价是同步控制电路比较复杂。

2. 异步传输

在异步传输方式下，一般在传送的同一个数据帧内各码元是紧凑排列的，一位接一位，前后码元之间有紧密的关联关系；而在各数据帧之间则可能有间隔，其间隔大小不确定，使得所传送的数据码组间没有确定的时间关系。为了使接收方能准确判断一个码组帧的到来(或者说准确确定数据帧的开始和结束时间)，在数据帧的开始和末尾处附加了相应的指示信息，即数据帧的“起始码元”和“终止码元”(简称为“起元”和“止元”)，起元用于确定码字的开始，并可由其产生数据帧的位定时脉冲；止元用于确定码字的结束，同时填充下一数据帧到来之前的空闲间隔位。

在实际的异步通信系统中，数据帧的结束处常常加上起数据检查和校验作用的校验码，然后再附加终止码元。该校验码有很多种，这取决于实际使用的校验方式。

1.4.3 传输系统的传输速率

较长距离的传输系统对数据码元总是采用串行传输方式，单路信道的传输速率就是码元传输速率，即每秒钟传送的码元数，单位为波特，又称为波特率。若码元的宽度为 T ，则波特率 $R=1/T$ 。

码元可以是二进制码元，也可以是 N 进制码元，且有 $N=2^k(k=1, 2, 3, \dots)$ 。

对于二进制, $k=1$, 即每个码元占1位二进制数, 或为“0”, 或为“1”; 对于八进制, $k=3$, 即用3位二进制数表示。二进制与 N 进制的码元速率之间有如下关系:

$$R_B = R_N \log_2 N \quad (1.3)$$

式中, R_B 表示二进制码元速率; R_N 表示 N 进制码元速率。

式(1.3)说明 N 进制码元的波特率仅是二进制码元波特率的 $1/\log_2 N$ 。

对码元采用二进制时, 每个码元非“0”即“1”, 占用1个二进制位, 被称为1bit; 采用 N 进制时, 每个码元占用 $\log_2 N$ bit。以bit为单位的传输速率称为比特率, 可见比特率与波特率有如下关系:

$$R_b = R_N \log_2 N \quad (1.4)$$

式中, R_b 为比特率; R_N 为 N 进制码元波特率。

当 $N=2$ 时, R_N 即 R_B , $R_b = R_B \log_2 2 = R_B$

这说明当采用二进制时, 系统的比特率即为波特率。

1.5 通信复用技术

一个通信系统所传送的最基本的数据是各类原始数据, 这些数据的信号频带是很有限的, 如话音频带为300Hz~3400Hz, 优质音乐频带为20Hz~20kHz, 活动图像频带也仅限于8MHz之内。而传送这些信号的许多介质, 其频率特性却是很好的, 如同轴电缆, 其带宽可达300MHz~500MHz, 光纤的带宽可达 10^5 GHz。由此可见可以复合多路信号到一条信道上传送, 使数据传输效率大大增高。

多路复用即指发送方将若干路独立的信号合并成一路, 在一条信道上传输, 待信号到达接收方后再进行分离, 恢复出原始各路信号的方法。

由于信号是具有频率变量、时间变量以及不同的码型结构的, 故可以由此派生出比较常用的三种复用方式: 频分多路复用、时分多路复用、码分多路复用。

1.5.1 频分多路复用

频分多路复用(TDM)是指按照频率的严格划分把各个单路输入信号合并到一条信道上来。合并时使各路信号的频带搬移, 然后互不重叠地排列, 接收时再使用子频滤波器把各路信号分离出来。为使各路信号之间不发生相互干扰, 在相邻两路信号的子频带之间应留一个间隔, 即频带差 Δf , Δf