

数 字 通 信

毕 光 国 编 著

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书通俗概括地讲述数字通信的基本知识。首先概述数字通信系统的基本组成、指标和优缺点，然后介绍信源编码、信道编码、数字信号的最佳接收、基带传输、数字调制、定时与同步、数字交换等技术的基本原理，最后介绍数字通信网的基本概念及其发展趋向。

本书可供从事通信工作的技术人员、管理干部和工人阅读，也可供大专院校有关专业师生参考。

数 字 通 信

毕光国 编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

开本：787×1092 1/32 1986年9月第 一 版
印张：10 12/32 页数：166 1987年2月河北第一次印刷
字数：235 千字 印数：1—4,000 册

统一书号：15045·总3197—无6367

定价：2.05元

出 版 者 的 话

为了普及电信技术知识，特别是电信新技术知识，为我国的通信现代化服务，我们组织编写了一套“电信技术普及丛书”陆续出版。这套丛书的主要读者对象是具有中学文化水平、有一些电信基本知识的工人、管理干部和初级技术人员。在编写中，力求做到内容正确，概念清楚，深入浅出，通俗易懂，使读者读过一书后，能对某项技术的基本原理和主要情况有一个概括的了解，作为进一步学习的入门向导。我们殷切希望广大读者对这套丛书提出意见和建议，帮助我们做好这一工作。

前 言

近十余年来，数字通信在国际上有很大进展。数字通信技术是当前国际上通信技术发展的主流；数字通信技术与计算机技术的融合是一个重要的发展趋势，它将对新的产业革命和未来的信息化社会产生巨大的作用。

我国幅员广大，人口众多，而通信事业比较落后。如何加快通信事业的建设速度，是每个读者迫切关心的问题。数字通信不仅具有模拟通信无法比拟的优良性能；而且由于微电子技术的发展、大规模和超大规模集成电路的应用，在经济上也显示出越来越大的优势。数字通信的这些特点已经逐渐为我们所认识；它的一系列技术内容，如传输、交换、组网技术等，已经为我们所逐渐掌握。我国现在已经有条件不走其他国家发展通信的老路，而以更快的速度发展数字通信技术，在数字技术的基础上建立我国崭新的通信网路。因此，可以预料，本世纪余下的十几年，将是我国数字通信事业大发展的年代。

随着数字通信的发展，相应的技术队伍需要大大扩充；很多原来从事其他工作的同志将会与数字通信发生关系。因此，需要了解数字通信的基本原理及其工作情况的人越来越多。编写这本小册子正是为了满足这些同志的需要。

数字通信发展迅速，新的数字技术及其应用不断出现。作者所知有限，书中缺点和不足之处一定很多，恳请读者批评指正。

毕 光 国

1985年2月

目 录

第一章 数字通信概述	(1)
一、引言	(1)
二、什么是数字通信	(3)
1. 什么是数字信号	(4)
2. 基本数字通信系统	(6)
三、数字通信系统举例	(11)
1. 多路数字电话系统	(11)
2. 数据通信系统	(12)
四、数字通信系统主要性能指标	(13)
五、数字通信的优缺点	(15)
第二章 信源编码	(19)
一、离散信息的编码	(19)
二、模拟信号数字化的方法	(21)
1. 脉冲编码调制(PCM)	(21)
2. 增量调制(ΔM)	(41)
三、提高数字信号有效性的编码	(46)
1. 提高有效性的途径	(46)
2. 话音信号的编码	(49)
3. 图像信号的编码	(56)
第三章 信道编码	(58)
一、信道编码解决什么问题	(58)
二、正交编码	(59)

1. 什么是正交编码	(59)
2. m 序列	(63)
三、差错控制	(66)
1. 差错控制的基本思想	(66)
2. 差错控制的基本形式	(68)
四、纠(检)错编码	(72)
1. 纠(检)错编码的基本概念	(72)
2. 常用检错编码方法	(74)
3. 分组码	(78)
4. 卷积码	(83)
五、传输码	(93)
1. 电缆中继线路传输码	(94)
2. 相关电平编码(部分响应编码)	(99)
3. 反射码(格雷码)	(106)
第四章 数字信号的传输	(109)
一、数字信号的传输线路	(109)
1. 时分复用和数字复接	(111)
2. 再生中继器	(117)
二、数字信号的最佳接收与最佳信号形式	(119)
1. 最佳接收机	(119)
2. 最佳信号	(126)
三、基带传输方式	(128)
1. 基带信号	(129)
2. 基带传输系统	(137)
四、均衡	(140)
1. 眼图	(141)
2. 横向滤波器	(143)

3. 自动均衡	(146)
第五章 数字调制技术	(148)
一、线性调制	(149)
1. 数字调幅系统的构成	(151)
2. 单边带调制(SSB)	(154)
3. 残余边带调制(VSB)	(157)
4. 正交载波调制(正交调幅, QAM)	(158)
二、数字调频	(160)
1. 二进制数字调频信号及其产生方法	(161)
2. 二进制数字调频信号的解调	(164)
3. 其他数字调频方式	(171)
三、数字调相	(177)
1. 相对码	(178)
2. 二相相对调相系统	(182)
3. 四相相对调相系统	(193)
四、高效调制方式	(202)
第六章 定时与同步	(210)
一、定时和同步是数字通信可靠进行的基础	(210)
二、载波同步	(212)
1. 插入导频法	(212)
2. 直接提取法	(215)
三、位同步	(218)
1. 外同步法	(218)
2. 自同步法	(221)
四、群同步	(226)
1. 帧(群)同步码的配置	(228)
2. 群同步捕捉方法	(229)

3. 群同步的保护	(232)
第七章 数字交换技术	(235)
一、交换技术发展概况	(235)
1. 电话交换	(236)
2. 电报和数据交换	(238)
二、数字电话交换	(240)
1. 存贮程序控制(SPC)	(242)
2. PCM数字接续网络	(244)
3. 公共信道信令系统	(249)
4. 数字电话交换系统举例	(254)
三、存贮—转发式交换	(261)
1. 电文交换	(261)
2. 分组交换	(263)
第八章 数字通信网	(271)
一、概述	(271)
1. 通信网的发展	(271)
2. 通信网的构成	(273)
3. 信道共用	(277)
4. 数字通信网的设计要求	(281)
二、计算机通信网	(282)
1. 什么是计算机通信网	(282)
2. 接口与协议	(287)
3. DTE-DCE接口和 X.25 建议	(291)
4. 计算机通信网举例	(301)
三、综合数字网 (IDN) 与综合业务数字网 (ISDN)	
.....	(303)
1. 综合数字网 (IDN)	(304)

2. 综合业务数字网(<i>ISDN</i>).....	(308)
四、数字通信网的同步	(315)
1. 主从同步法	(317)
2. 相互同步法	(317)
3. 独立同步法	(318)
4. 准同步法	(320)

第一章 数字通信概述

一、引言

质量、能量和信息是物质的三大基本属性；材料、能源和信息是人类社会的三大基本资源；信息的交流，也即通信，与物质生产和能源开发是人类的三大基本活动。物质生产和能源开发的发展曾导致了前几次产业革命；信息的形成、传输、存贮、处理、交换和识别等技术的发展，正在推动着一次新的、以信息革命为标志的产业革命的到来，把人类社会引向信息化的新阶段。

信息的交流，即通信，是伴随着人类社会的发展而发展的。尽管古代人们曾经采用过如烽火、击鼓、摇旗等特种信号进行通信，但讲话和书信历来是两种最基本和普遍的通信方式。到了十九世纪，随着电这种能源形式的开发，发明了电报、电话和无线电，这就给通信安上了翅膀，克服了过去由于空间上和时间上的限制所造成的障碍，使它的应用迅速扩大，不断发展，并大大地推动了社会的发展。

自那时以来，用电信号来交流信息，也即电信，已成为通信的主要手段。电信的发明和发展导致了第一次通信革命。这次革命以建立了完善的自动电话网为标志；并使电话和电报成为两种基本的通信方式。

电话是模拟通信，电报是数字通信。虽然电报的发明已有一百四十多年的历史，比电话还早四十多年，但由于电话更适

应人们一般的通信要求，所以一百多年来，电信的发展是以电话这种模拟通信形式为主，模拟通信仍是目前的主要通信方式。

现代数字通信的发展还只有三十余年的历史，它起因于电子计算机的发明和应用，是从电报通信演变而来，并随着半导体器件、中、大规模集成电路的发展而迅速发展。它经过了理论上和技术上的准备、发展和实用推广过程，现已发展到大规模实用化阶段，成为通信发展的主流，正在几乎一切通信领域逐渐取代模拟通信。以数字通信为中心的一场新的通信革命的高潮正在到来。

通信的数字化革命，以通信技术与微电子技术、计算机技术、特别是微处理机技术相结合为特征。大规模和超大规模集成电路的发展，进一步确立了数字通信体制经济效益上的优势。微处理机应用到通信系统，使数字通信技术不仅与计算机技术互相结合，而且正在融为一体，使通信系统向着不仅传输话音，而且能传输各种数据、图象、报表等其他信息，不仅能传输信息而且能存贮和处理信息的综合业务数字网和综合信息网的方向发展，它将对人类的生产活动和生活条件的改变产生极其深远的影响。

原有的通信手段主要是电话和电报，对象是人；现代数字通信使通信超出了人与人之间通信的范围，使人通过计算机可以与各种机器进行通信。将来，用家庭里的一个综合终端系统，不仅可打电话，而且可以在电话中与对方见面；可以选看全国以至全世界你所喜欢的电视节目；可以与各种数据库、图象库、音乐库、影片库等进行通信，获得你所需的节目；可以阅读、复制世界各国各种学科、不同时期的图书文献资料；可以在家里订票、在荧光屏前购物；可以在家里通过可视电话系

统参加各种会议和讨论；可以在家里工作、听课接受教育；生了病可以接受著名医生的远距离诊断治疗；可以直接与机器人讲话，指挥它做各种家务、同你下棋、为你唱歌、跳舞……。这些仅仅是将来通信技术应用前景的一个小小部分，至于将来的通信技术对生产自动化、经济管理自动化、办公室自动化以及在社会各个领域的作用就更大了。面目一新的通信技术将大大加强人们之间的联系和了解，提高劳动生产率，使人类知识技能和文化的精华在世界范围内迅速而广泛地交流传播。新的通信技术必将成为新的产业革命的催化剂。

新的通信革命带来的前景是十分诱人的。这场变革最终会给人类创造出什么样的奇迹现在是无法预计的。而所有这一切离不开数字通信，离不开通信技术与电子计算机技术的结合，离不开通信技术与微电子技术的结合。

本世纪余下的十几年将是数字通信蓬勃发展的年代。在这段期间，各发达国家将基本上实现通信的全盘数字化，实现综合业务数字网，我们上面所提到的部分前景将会付诸实现。

通信数字化革命的号角已经吹响，有幸和有志在通信领域工作的人们，向着美好的前景努力吧！

二、什么是数字通信

简单说来，数字通信就是用数字信号作为载体来传递信息的一种通信方式；而模拟通信则是用模拟信号作为信息载体的通信方式。在实际通信过程中，根据具体需要，常在某些环节采用数字信号，另一些环节采用模拟信号，在它们的衔接处进行数—模之间的互相变换，这样的通信方式称为混合通信方式。混合方式往往以数字信号为主，局部采用模拟信号，这是

为了必须利用一些原有模拟信道进行传输；或者为了数模兼容的需要的缘故。这种情况，一般也称数字通信。

1. 什么是数字信号

为了更好地了解数字通信，先讨论一下数字信号是必要的。

前已指出电报信号是一种数字信号，就先谈谈电报信号。现在普遍采用电传打字机收发电报。电传打字机收发的信号是一串串电流脉冲，每打一个字符（英文字母、数字或几个特定符号），就相应输出五个等宽度的电流脉冲，脉冲的幅度只有两种：有一固定电流的代表数字“1”；无电流的代表数字“0”。五个这样的二进制脉冲共有 $2^5=32$ 种组合，可表示 32 个不同字符。此外，为了接收端能在连续发出的字符流中正确识别每个字符，需要附加同步脉冲。即在五个脉冲前附加一个宽度为 1 单位的启动脉冲，它总是“0”。在五个脉冲之后附加一个宽度为 1.5 单位的停止脉冲，它总是“1”。这样在接收时就能把字符区分开来（这种同步方式称起止式同步）。每个字符用什么样的五脉冲组合来表示，由特定的编码表规定。通常采用国际电报电话咨询委员会（CCITT）规定的 2 号国际电码。我国的中文电报，每个汉字用四个数字拼成，采用由 2 号国际电码变来的数字保护电码。

像电报信号这种在时间上不连续、幅度只能取两个值中的一个的信号称为二进制数字信号。一般说来，只能按一定的时间间隔离散地取有限个值之一的信号，称为数字信号。除电报信号外，常见的数字信号还有计算机数据以及一些遥测、遥控的数据和指令等。

图 1.1 示出几种数字信号的例子。其中 (a) 是二进制信号，

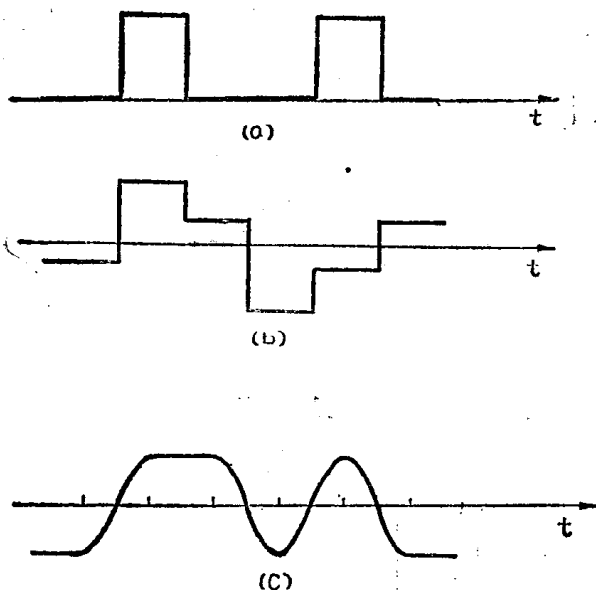


图 1.1 数字信号的例子

(b) 是四进制信号；(c) 看起来信号在时间上连续，但若在一些等间隔离散时刻（如图中小垂线所示）取值，信号的离散取值的个数有限（例如不是 $+1$ 就是 -1 ），也是一种数字信号。可见数字信号可采取各种波形。

由于数字信号在每一特定时刻只能在有限个值中取值，所以可以方便地用数字来表示数字信号。信号能取的值有几个就称为几进制数字信号。常用的数制为十进制、二进制、八进制等，它们之间的对应关系可表示如下：

十进制：0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, ...

八进制：0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, ...

二进制：0, 1, 10, 11, 100, 101, 110, 111, 1000, 1001, 1010, ...

在数字通信中，与在计算机中相仿，通常也采用二进制。但为了提高传输效率，近年来已开始越来越多地采用多进制信号。这种多进制的基数一般是2的乘幂，如4, 8, 16...等，即四进、八进、十六进...等。

数字信号在传输、处理和存贮时可以采取两种基本形式：串行与并行，如图1.2所示。这与人们集队行进时的纵队与横队相似。在数字通信过程中往往需要进行两者之间的变换，即串/并变换和并/串变换，这可由一种移位寄存器数字电路方便地实现。

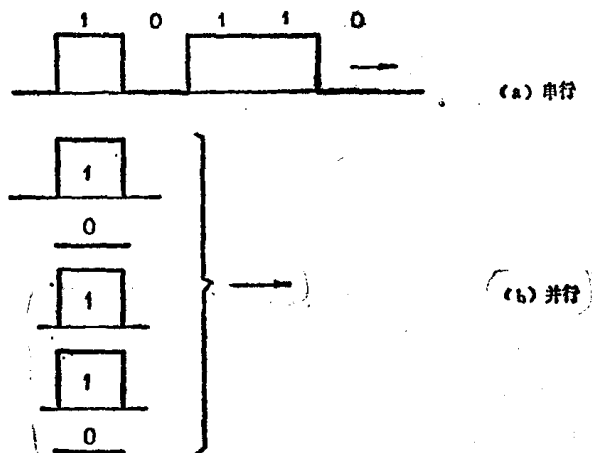


图 1.2 数字信号的串行形式和并行形式

2. 基本数字通信系统

通信的基本过程是传递信息，即由信源产生信息，通过一定的媒介（即信道）传输，最后被信宿（收信者）接收。一个数字通信系统的基本任务就是把信源产生的信息变换成一定格式的数字信号，通过信道传输，到达接收端后，再变换为适宜

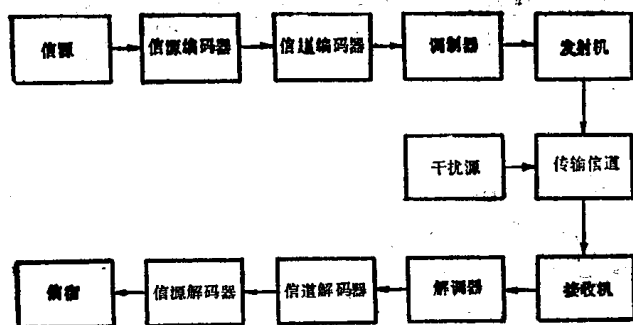


图 1.3 数字通信系统的基本框图

于信宿接收的信息形式送至信宿。图 1.3 是实现这个过程的数字通信系统的基本框图。

信源/信宿：信源产生信息，信宿最后接收信息。它们可能是人直接使用的设备，如电话端机、电传打字机、键盘显示器等；或者是其他机器，如检测器、存贮器、电视摄像机、其他输入输出设备等。信源和信宿可以是分开的设备，也可能是装在一起、便于像电话那样进行双向通信的复合装置。根据通信对象和任务的不同，信源产生的信息的形式也不同，总的说来可分为连续的和离散的两种，与此对应地分别有连续信源和离散信源。前者产生幅度随时间连续变化的信号（如话筒产生的话音信号）；后者产生各种离散的符号或数据。

信源编码/解码器：各种信源产生的信息要在数字通信系统中传输，必须先变换成统一格式的数字信号，这个过程称为信源编码。对连续信息要进行模/数(A/D)变换，用一定的数字脉冲组合来表示信号的一定幅度；对离散信息则是用数字脉冲组合来——对应地表示符号、字母等。用一组组数字脉冲信号来表示信息的过程称为编码，这组数字脉冲就称为代码、码组或码字，其中每个数字脉冲就称为码元。

信源编码往往还有一个重要的作用，就是提高数字信号的有效性，即在保证一定传输质量的情况下，用尽可能少的数字脉冲来表示信源产生的信息。这种编码称频带压缩或数据压缩编码。

在接收端的信源解码是发端信源编码的逆过程，把数字信号还原为信宿可接收的信息形式。

信道与干扰：信源与信宿总是隔开的，而且往往相距很远，其间必须有某种媒介进行电的连接以传输信号，这媒介就是信道。用于模拟通信的各种有线和无线信道都可用作数字通信。目前在大容量干线通信中，有线用的主要是同轴电缆；无线用的主要是微波视距中继；数字卫星通信和光纤通信的进展也很快。各种信道由于物理上的原因，具有种种不完美的特性，会使在其中传输的数字信号产生衰减和畸变；另外，信号还受到各种不需要的和无法预知的其他信号的干扰。因此在数字通信系统中就要设置各种设备，采取专门措施来克服这些不利因素。通信系统设计的主要目的之一就是尽可能抑制干扰的破坏作用，保证数字信号可靠而有效地传输。

干扰表示在传输中造成信号畸变的所有因素。总的说来，干扰可分为加性干扰和乘性干扰两部分。加性干扰是叠加到有用信号上去的其他种种来源产生的不需要电磁信号，主要包括随机噪声、脉冲干扰和正弦干扰三种。随机噪声主要有热噪声、宇宙噪声和电子器件内部噪声等；脉冲干扰主要有大气干扰和工业干扰等；正弦干扰主要有邻台干扰、邻信道串扰和人为电子干扰等。乘性干扰是由于信道特性的种种不完善所引起的信号畸变，这些畸变不能简单看作叠加到信号上，而相当于使信号乘上某些畸变因子。引起乘性干扰的主要因素是信道引起的衰减、幅度和相位畸变、频率漂移和相位抖动、多径效应