

• 李文海 徐耀先 编 倪维桢 审

邮电高等学校教材

数字通信技术

人民邮电出版社

邮电高等学校教材

数字通信技术

李文海 徐耀先 编
倪维桢 审

人民邮电出版社

登记证号(京)143号

内 容 提 要

本书较全面地论述了数字通信系统的基本原理及相关技术。主要包括数字终端技术、数字传输技术、数字交换技术、数字通信网四个方面的内容。书中还相应介绍了一些与数字通信有关的新技术的发展和应,用,如单片编解码器的基本结构及应用,数字通信网的发展—ISDN等。

本书是高等院校教学的参考书,也可作为通信工程技术人员的技术参考书和新技术培训的培训教材。

邮电高等学校教材

数字通信技术

李文海 徐耀先 编

倪维桢 审

*

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

各地新华书店经售

*

开本: 850×1168 1/32 1991年12月 第 一 版

印张: 15 28/32 页数: 254 1991年12月河北第1次印刷

字数: 418千字 印数: 1— 3 000 册

ISBN7-115-04559-3/G·127

定价: 5.10元

前 言

数字通信是一种以数字信号载荷和传递信息的一种通信方式。数字通信具有抗干扰性强、易于加密处理、便于实现大规模集成化、便于实现多种业务的综合等优点。当前通信体制向数字化方向发展已确定无疑，且世界较发达国家已将近完成或正在向数字化通信体制方向过渡。我国也已开始逐步向数字化通信体制方向发展。为使从事通信工程技术工作的工程技术人员了解有关数字通信技术的基本原理、应用技术及其发展，特编写此书以期对数字通信的发展有所裨益。

本书与其它同类书籍的重要区别是对数字通信系统所涉及的有关原理和技术进行了较系统和较全面的讨论，其中包括数字终端、数字传输、数字交换、数字通信网及综合业务数字网等。这对读者学习和全面了解有关数字通信、数字通信网的概念是有益处的。本书在讨论基本原理的基础上也给出了相应设备的典型框图、技术指标及测试方法，这一突出应用技术的特点也将能为从事实际工程技术工作的读者和高等院校师生提供一些较实用的知识。

本书第三章第六、七两节由徐耀先同志编写，其余均由李文海同志编写。全书由倪维楨同志审阅。由于编者水平所限，书中不足之处欢迎读者批评指正。

编 者

1989.5.2

目 录

第一章 数字通信系统的基本概念	(1)
1.1 模拟通信和数字通信	(1)
1.1.1 通信系统模型	(1)
1.1.2 信息、信号及分类	(3)
1.1.3 模拟通信和数字通信	(5)
1.2 数字通信网及数字通信技术	(8)
1.2.1 通信网的基本概念	(8)
1.2.2 数字通信网及其发展	(12)
1.2.3 数字通信系统的主要性能指标	(13)
第二章 数字终端技术	(17)
2.1 脉冲编码调制 (PCM)	(17)
2.1.1 概述	(17)
2.1.2 抽样	(18)
2.1.3 量化	(38)
2.1.4 编码和解码	(65)
2.1.5 单片集成PCM编解码器	(88)
2.2 差值脉冲编码调制 (DPCM)	(96)
2.2.1 DPCM的基本概念	(96)
2.2.2 DPCM方式的实现	(99)
2.2.3 语音信号的32kbit/s DPCM系统	(100)
2.3 增量调制 (ΔM)	(103)
2.3.1 增量调制的基本原理	(104)
2.3.2 增量调制的基本特性	(103)
2.3.3 自适应增量调制	(114)

2.3.4	集成化数字压扩自适应增量调制器	(117)
2.4	时分多路复用	(120)
2.4.1	时分多路复用的概念及构成	(120)
2.4.2	时分复用系统中的帧同步	(122)
2.5	PCM30/32路系统	(132)
2.5.1	PCM30/32路系统的时隙分配、帧结构 方式	(132)
2.5.2	PCM30/32路系统时钟信号的产生	(135)
2.5.3	PCM30/32路系统构成方框图	(138)
2.5.4	由单路编解码器复用构成的30/32路系 统	(139)
2.5.5	PCM一次群系统主要技术指标及测试	(144)
2.5.6	PCM系统用于局间中继的信令接口	(153)
2.6	高次群数字复接	(155)
2.6.1	数字复接系统构成及复接等级	(155)
2.6.2	数字复接方式及码速调整	(158)
2.6.3	数字复接中的帧同步	(171)
2.6.4	复接抖动的产生与抑制	(173)
第三章	数字传输技术	(175)
3.1	数字信号传输的基本理论	(175)
3.1.1	数字信号及分析	(175)
3.1.2	信道传输对信号波形的影响	(180)
3.1.3	数字信号传输的基本准则	(183)
3.1.4	数字信号基带传输系统的构成	(185)
3.2	PCM信号的再生中继传输	(188)
3.2.1	PCM信号基带传输信道及其主要特性	(188)
3.2.2	再生中继系统的构成及分析	(191)
3.2.3	信道噪声及对传输信号的影响	(208)
3.2.4	中继段长度设计	(218)

3.3	PCM信号基带传输的线路码型	(224)
3.3.1	选择线路传输码型的条件	(224)
3.3.2	PCM系统中常用的传输码型	(225)
3.4	传输损害对通信质量的影响	(231)
3.4.1	信道误码对PCM信号解调信噪比的影 响.....	(231)
3.4.2	传输抖动对PCM信号解调信噪比的影 响.....	(240)
3.5	数字信号的调制传输	(243)
3.5.1	幅度键控——ASK	(244)
3.5.2	频率键控——FSK	(255)
3.5.3	相位键控——PSK	(269)
✓ 3.6	光纤数字传输系统	(283)
3.6.1	光纤数字传输系统的构成	(283)
3.6.2	光纤及其特性	(284)
3.6.3	光纤数字传输的发送端机	(292)
3.6.4	光纤数字传输的接收端机	(299)
3.6.5	光纤数字传输系统	(305)
✓ 3.7	数字微波中继通信概述	(329)
3.7.1	数字微波通信网的组成	(330)
3.7.2	频段的确定	(332)
3.7.3	中继方式	(333)
第四章	程控数字交换概述	(336)
4.1	电话交换的基本概念	(336)
4.2	程控数字交换的基本概念及原理	(340)
4.2.1	程控数字交换的基本概念	(340)
4.2.2	程控数字交换原理及交换网络	(342)
4.3	程控数字交换机软件系统原理	(362)
4.3.1	电话交换的呼叫接续过程	(362)

4.3.2	呼叫处理程序的组成	(365)
4.3.3	呼叫处理程序基本原理	(369)
4.3.4	程控交换机软件概述	(381)
4.4	程控数字交换机的系统性能	(390)
4.4.1	系统可用性	(390)
4.4.2	话务处理能力	(392)
4.5	程控交换机的维护与故障处理	(393)
4.5.1	故障处理过程	(393)
4.5.2	维护程序	(396)
4.6	FETEX-150数字交换机简介	(408)
4.6.1	概述	(408)
4.6.2	系统结构及说明	(409)
4.6.3	用户级和用户处理机	(416)
4.6.4	选组级话路系统	(431)
4.6.5	中央处理机系统	(439)
4.6.6	处理机间的通信	(444)
4.6.7	维护操作子系统	(446)
4.7	NO.7公共信道信号系统简介	(449)
4.7.1	信号系统分类及简单说明	(449)
4.7.2	NO.7信号系统结构及基本功能划分	(452)
4.7.3	NO.7信号的信号单元格式	(456)
第五章	通信网及综合业务数字网 (ISDN)	(460)
5.1	通信网的概念	(460)
5.1.1	通信系统及通信网	(460)
5.1.2	网络构成形式及通信网体系结构	(462)
5.2	通信网的发展	(464)
5.2.1	信息社会的通信	(464)
5.2.2	数字通信网	(464)
5.3	综合业务数字网 (ISDN)	(465)

5.3.1	ISDN的基本概念	(466)
5.3.2	ISDN的功能体系模型	(468)
5.3.3	ISDN的网络功能原则	(470)
5.3.4	ISDN用户/网络接口及接入参考配置 ...	(473)
5.3.5	用户/网络接口的实现技术.....	(477)
5.3.6	I系列建议体系简介	(489)
5.3.7	向ISDN过渡的策略.....	(490)
5.4	数模混合电信网络体制概述	(492)
5.4.1	含义及说明	(492)
5.4.2	网络结构及组网要点	(493)

第一章 数字通信系统的基本概念

1.1 模拟通信和数字通信

1.1.1 通信系统模型

通信的目的是传递或者交换信息。信息可以有多种表现形式，如语音、文字、数据、图像等。近代通信系统也是种类繁多形式各异，但总的来说，无论是哪种通信系统，都是要完成从一地到另一地的信息的传递或交换。在这样一个总的目的下可以把通信系统概括为一个统一的模型。这一模型包括有信源、变换器、信道、噪声源、反变换器和信宿六个部分。模型框图如图1.1所示。

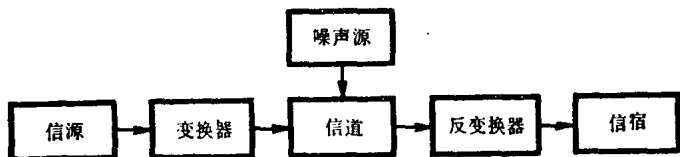


图 1.1 通信系统模型

信源是指发出信息的信息源，或简单地说是信息的发出者。在人与人之间通信的情况下，信源是发出信息的人；在机器与机器之间通信的情况下，信源可以看作是发出信息的机器，如计算机或其它机器等。

变换器的功能是把信源发出的信息变换成适合于在信道上传输的信号。如所熟知的电话通信系统的变换器就是送话器。它的作用就是把语声变换成电信号。当然，为了更有效、更可靠地传递信

息，可能还需要更复杂或者功能更完善的变换和处理装置。另外，信源发出信息形式的不同也要求有不同的变换和处理方式。因而也就构成了不同类型的通信系统。如对输出信息形式为语声的信源就有电话通信系统，如果信息形式是文字，就有电报通信系统和传真通信系统等与之对应。

信道是信号传输媒介的总称。不同的信源形式所对应的变换处理方式不同，与之对应的信道形式也是不同的。从大的类别来分，传输信道的类型有两种。一种是使电磁信号在自由空间中传输，这种信道叫无线信道。另一种是使电磁信号约束在某种传输线上传输，这种信道叫做有线信道。

这里所说的电磁信号既可以是波长在毫米以上的电信号，也可以是波长更短的激光信号。用来传送激光信号的信道叫做光纤信道。

反变换器是变换器的逆变换。因为变换器的功能是把不同形式的信息变换和处理成适合于在信道上传输的信号。一般情况下这种信号是不能为信息接收者所直接接收的，所以反变换器的功能就是把从信道上接收的信号变换成信息接收者可以接收的消息。

信宿是指信息传送的终点，也就是信息接收者。它可以与信源相对应构成人——人通信或机——机通信。它也可以与信源不一致，如构成人——机通信或机——人通信。

噪声源并不是一个人为实现的实体，但在实际通信系统中又是客观存在的。在模型中的噪声源是以集中形式表示的，实际上这种干扰噪声可能在信源信息初始产生的周围环境中就混入了，也可能从构成变换器的电子设备中引入。另外，传输信道中各种电磁感应以及接收端的各种设备中都要引入干扰噪声。在模型中我们把发送、传输和接收端各部分的干扰噪声集中地由一个噪声源来表示。

1.1.2 信息、信号及分类

前述讨论通信系统模型时曾指出,通信的目的就是传递或交换信息。但什么是信息呢?近几年来信息这一词显得特别时髦,如信息社会、信息时代、信息科学等比比皆是。但从信息论的观点又很难为信息一词下一个很确切而又一目了然的定义。

控制论的创始人之一,已故美国科学家维纳(N·Wiener)曾提出:信息就是人和外界互相作用的过程中,互相交换的内容的名称。当然这一定义并不十分确切,信息本身并不是完全与人有关,在没有人参加的场合也存在信息。与通信结合更紧密的一个定义是美国的一位数学家、工程师、信息论的主要奠基人仙农(C·E·Shannon)提出的。他把信息定义为“用来消除不定性的东西”。通信的过程就是传递“用来消除不定性的东西”。如果排除干扰的影响,通信的结果就可使信息接收者知道了某一确定的内容,就是消除了不定性。简而言之,一个通信过程的实现就可使接收者收到一定的信息。

仅从通信这一角度来讲信息的形式也是多种多样的,如大家所熟知的人讲话的语声及一切可闻的声音是信息的一种形式;照相、图片等是一种可见图像信息。另外,如文字、数据等也是一种信息的形式。

通信系统中的信源可以具有不同的信息形式。信源的信息形式不同就要求有不同的通信系统与之对应,从而形成了多种多样的通信系统。比如,对于输出信息形式为语声的信源,构成的就是电话通信系统;如果信息形式是图像,则就可构成图像通信系统;如果信息形式是文字,就构成电报通信系统,等等,还有其它很多种对应于不同信息形式的通信系统。

声音、图像、文字都是表示信息的一种形式。对通信系统,特别是电信系统,信源发出的信息要经过适当的变换和处理使之变成

适合在信道上传输的信号才可以传输，所以说信号是用来携带信息的载体。信号应具有某种可以感知的物理参量——如电压、电流及光波的强度和频率等。从分类来讲，信号基本上可分作两大类：模拟信号和数字信号。

表示信号的物理参量之一是信号的强度随时间变化的特性，即信号的时域特性。具体到电信系统中所采用的信号则是电压或电流的时间特性。上述两大类信号的区分就是按其时间特性来区分的。

模拟信号：模拟信号的特点是信号参量的取值是连续的。模拟信号的特性一般如图1.2所示。由于模拟信号的参量是随时间连续变化的，所以模拟信号也叫做连续信号。连续的含义是在某一取值范围内可以取无限多个数值。举例来说，在 $1\text{V} \sim 2\text{V}$ 的取值范围内，可以取 1.1V 、 1.11V 、 1.111V ……等无限多个数值。所以说模拟信号可以有无限多个量的强度取值。



图 1.2 模拟信号示例

数字信号：与模拟信号相反，数字信号的参量取值是离散变化的，其示例如图1.3。数字信号又叫离散信号。数字信号的特点是其强度的取值是有限个数，图1.3所示信号为二进制数字信号。所谓二进制就是只有两种取值的可能性，通常用0,1表示。当然，也可以有多进制数字信号，如四进制、八进制等。图1.4所示就是四进制数字信号。四进制数字信号就是只有四种可能取值的离散信号，其四种取值可以0、1、2、3来表示。

模拟信号与数字信号形式不同，物理特性也不同，当然对传输

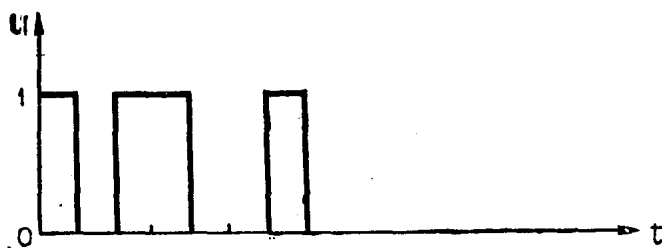


图 1.3 数字信号示例

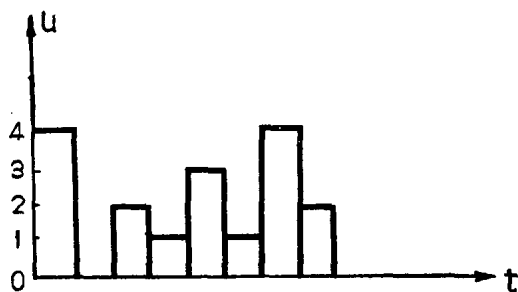


图 1.4 四进制数字信号

信号通路的要求也就不同。这一问题将在数字信号传输一章中进行讨论。

1.1.3 模拟通信和数字通信

按其在传输信道中所传输信号的类别通信可分为模拟通信和数字通信两大类。

模拟通信：信源所发出的信息经变换器变换和处理后，送往信道上传输的是模拟信号的通信系统就谓之模拟通信系统。模拟通信系统的一般构成模型如图1.5所示。我们所熟知的一般电话通信系统，如图1.6所示，就是模拟通信系统的实例。

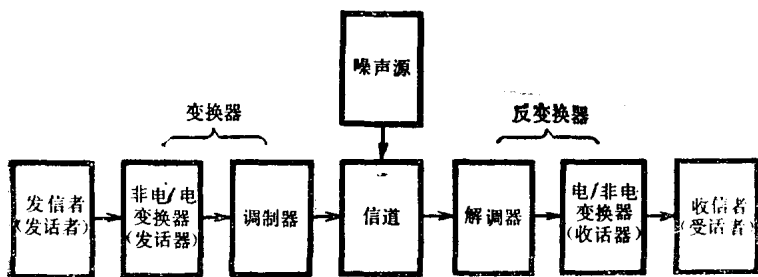


图 1.5 模拟通信系统模型



图 1.6 模拟通信系统实例

数字通信：与模拟通信相对应，在信道中传输数字信号的通信系统即为数字通信系统。语声数字通信系统构成如图1.7所示。在发送端经声/电变换将语声变换成模拟电信号，再经模/数变换设备将模拟电信号变换成二进制数字电信号再送至信道传输。在接收端经数/模变换和电/声变换还原成声音送给受信者。

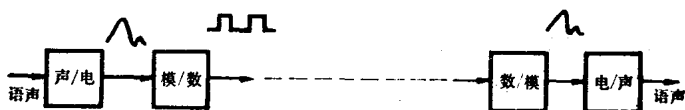


图 1.7 语声数字通信系统

数字通信系统与模拟通信系统比较有如下几个优点：

(1) 抗干扰能力强：因为在信道上传输的是仅可取有限离散值的数字信号，在传输过程中受噪声干扰还没有恶化到一定程度时，可用再生的方法（在第三章中将详细讨论）再生成原信号并消除干

扰噪声。而对模拟信号在传输过程中所叠加的噪声则不易消除。两类通信方式抗干扰性能比较示意图如图1.8所示。

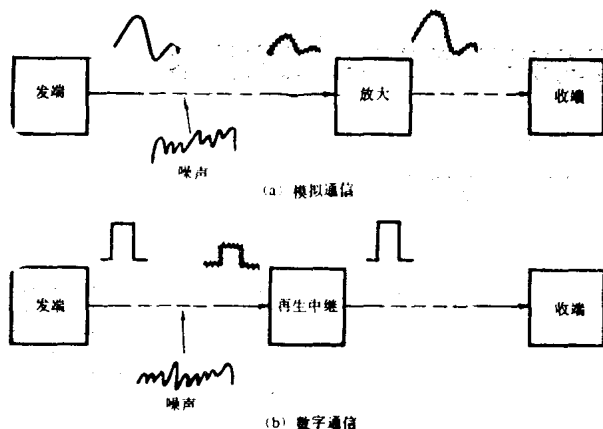


图 1.8 两类通信方式抗干扰性比较

(2) 便于加密处理：信息传输的安全性和保密性越来越受到重视，数字通信的加密处理比模拟通信更容易实现。以语声数字通信为例，经过数字变换后的信号就可用简单的数字逻辑运算进行加密处理，如图1.9所示。

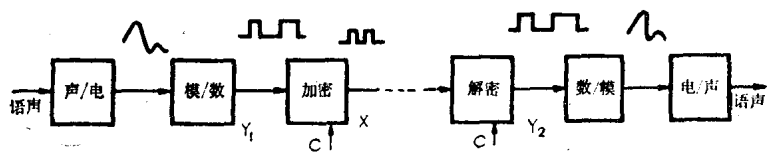


图 1.9 加密数字电话方框图

(3) 设备便于集成化、微型化：由于数字通信系统中大部分电路都是由数字电路来实现的，微电子技术的发展可使数字通信系统便于用大规模和超大规模集成电路来实现。

(4) 便于构成综合数字网和综合业务数字网：采用数字传输方式，可以通过采用先进的程控数字交换设备进行数字交换，以实现

传输和交换的综合。另外，各种信息形式的通信业务都可以实现数字化以构成综合业务数字网。

1.2 数字通信网及数字通信技术

1.2.1 通信网的基本概念

通常是用两点一线来表示一个通信系统或一个通信过程的实现。两个点表示两个终端——发端和收端；一线表示传输链路——包括各种变换器和传输媒介的总和。但如果有多多个通信对象，且互

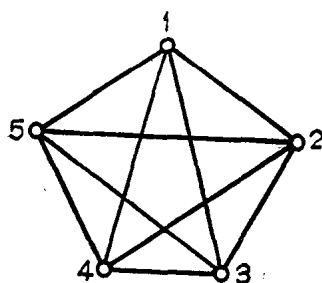


图 1.10 完全互连网结构

相间都要求有实现通信的可能，这最直明了的办法就是形成如图 1.10 所示的网状系统。

图 1.10 所示通信网结构是最直接、最易理解的通信网，叫做直接网或完全互连网。但当用户终端较多时，实现完全互连网就会变得相当困难和很不经济。如以电话网为例，由图 1.10 可以看出若要使 N 个电话用户中任一个用户都能和其它 $(N-1)$ 个用户之间进行通话，这个电话网络必须要设置 $\frac{1}{2}N(N-1)$ 条传输线路。当 N 的数值较小时还算可行，但当 N 的数值大到某一数值时就很难实现了，且线路的利用率极低。

解决这一问题的办法是采用转接网。单级转接网的网络结构如图 1.11 所示。从图 1.10 及图 1.11 可以看出：直接网（或完全互连网）中所有有信息联系的用户之间都有线路直接相连；转接网中则设有转接站 c ，也叫转接中心，各用户可以通过转接中心传送或交