

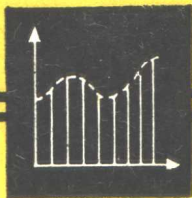
邮 电 高 等 学 校 教 材

数字通信原理

李文海 张方菖 编

倪维桢 审

TA12



人 民 邮 电 出 版 社

邮电高等学校教材

数字通信原理

李文海 张方菡 编

倪维桢 审

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书主要论述数字通信的基本原理和分析方法，并辅以必要的系统构成和少量的具体电路作为分析对象。书中还介绍了一些典型的设计举例。

本书内容包括：模拟与数字通信系统；模拟信号数字化过程；时分多路复用；数字信号的传输与中继方式；数字多路复接与数字通信网以及线性预测编码与自适应技术等。

本书可作为高等院校通信工程各专业“数字通信原理”课程的专业教材或教学参考书，也可供从事电信工程的技术人员参考。

邮电高等学校教材

数 字 通 信 原 理

李文海 张方菖 编

倪维祯 审

责任编辑：刘建章

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津新华印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 1986年6月第一版

印张：10 28/32 页数：174 1986年6月天津第一次印刷

字数：249千字

印数：1—10,000册

统一书号：15045·总3239-教731

定价：1.80 元

前 言

本书系电信工程专业本科高年级《数字通信原理》的专业课教材，要求教学时数为60~70学时。从加强基础理论的要求出发，本教材侧重于数字通信基本原理的理论分析，并辅以必要的系统构成和少量的具体电路，对于一些技术上的实际问题，拟另在实验课中给以一定的解决。本教材的内容如下：

第一章：概述。概略介绍通信系统的构成，什么是模拟通信？什么是数字通信？以及其优缺点的比较。

第二章：模拟信号数字化的基本原理。包括语音信号特性，抽样及抽样定理，量化理论，编码及解码等内容。

第三章：时分多路复用及其构成。内容有：时分多路复用的基本原理，帧同步及时分多路复用系统的构成。

第四章：脉冲编码（PCM）信号的传输及中继方式。内容有：数字信号传输的基本理论，码型变换及再生中继传输方式，传输质量分析等。

第五章：数字多路复接及数字通信网。讨论了高次群的数字多路复接的基本构成方式，数字通信网及有关网同步的基本概念。

第六章：线性预测编码与自适应技术。内容是：PCM与增量调制（ ΔM ）的线性预测以及它们的预测自适应和量化自适应技术。

本书是在数字通信专业历届所用数字通信原理讲义的基础上，根据教学实践重新做了大量修改和整理，并根据技术发展

状况加入了PCM高次群系统以及自适应理论等新的内容。

关于第六章所涉及的线性预测编码与自适应技术,内容较新,但限于篇幅,本书只作简要论述,采用本教材时可根据具体情况做为选学内容。

本书的第一章、第二章第一节及第六章由张方菖同志编写;第二章第二节以后以及第三、四、五章由李文海同志编写。全书由张方菖同志统校。

本书根据邮电部高校教材〈电信技术〉编审委员会讨论的精神进行了全面的修改。全书由倪维祺同志审阅。由于编者水平所限,书中不足之处,欢迎读者批评指正。

编者

1985.4.20

目 录

第一章 概述	1
第一节 通信系统的基本概念	1
一、模拟通信系统	2
二、数字通信系统	4
第二节 信道	6
第三节 数字通信的形成及其发展	15
第二章 模拟信号数字化的基本原理	20
第一节 语声信号的基本特性	20
一、语声信号的时间特性和频谱特性	20
二、语声信号的统计特性	22
三、衡量系统质量的宏观感知特性	27
第二节 波形抽样及抽样定理	28
一、抽样电路模型及其描述	28
二、抽样定理	30
三、非理想抽样与抽样展宽	39
四、抽样的折迭失真	46
五、具有带通频谱信号的抽样	47
六、抽样与展宽保持电路原理	52
第三节 量化理论	54
一、量化及其特性表示	54
二、量化噪声的计算	59
三、均匀量化的量化噪声和量化信噪比	61

四、非均匀量化及压缩扩张技术	67
五、 μ 律压扩特性及量化信噪比的计算	70
六、A律压扩特性及其13折线近似	80
七、 μ 律压扩特性的15折线近似	92
第四节 编码和解码	98
一、二进制码组及其编码和解码的变换关系	98
二、线性编码	100
三、线性解码网络	108
四、非线性编码和解码	118
第五节 单片PCM编解码器	134
第六节 电视信号的编码	136
习题	138
第三章 时分多路复用及其构成	143
第一节 多路复用的基本原理	143
第二节 时分复用系统中的帧同步	148
一、帧同步电路的工作原理	148
二、帧同步系统中的保护电路	150
三、对帧同步系统的要求及有关问题讨论	152
四、帧同步系统的计算	157
第三节 PCM30/32路系统帧结构及时钟	
信号的产生	166
一、PCM30/32路系统的时隙分配	167
二、时钟信号的产生	169
第四节 PCM30/32路系统构成	172
习题	174
第四章 脉冲编码信号的传输及其中继方式	175
第一节 数字信号传输的基本理论	175

一、数字信号波形与频谱	175
二、带限传输对信号波形的影响	180
三、数字信号传输的基本准则	183
四、数字信号传输系统模型	185
第二节 传输信道与再生中继	188
一、信道及其主要特性	188
二、再生中继系统的构成	193
三、信号波形均衡	194
四、时钟提取及判决再生	208
第三节 中继传输性能分析	210
一、误码率及其累积	211
二、PCM信号传输的抖动特性	216
第四节 中继段长度设计	225
一、传输等效频率	225
二、串音及串音等效频率	227
三、信噪比恒等式及设计举例	230
第五节 传输对PCM通信质量的影响	231
一、信道误码对PCM信号解调信噪比的影响	231
二、传输抖动对PCM信号解调信噪比的影响	240
第六节 线路传输码型	244
一、选择传输码型的条件	244
二、PCM系统中常用的传输码型	245
三、传输码型变换的误码增值	253
第七节 PCM信号的调制传输	254
习题	256
第五章 数字多路复接与数字通信网	259
第一节 数字多路复接的构成方式	259

一、复接系列	259
二、复接中数字码的排列方式	261
三、同步时钟复接	263
四、异步时钟复接	266
五、异步时钟复接的码速调整电路	271
第二节 数字复接技术中的帧同步	273
一、同步方式	274
二、几项指标的计算	275
第三节 复接抖动的产生与抑制	278
第四节 FDM方式与PCM方式的互接	280
第五节 PCM通信网中的同步方式	282
第六节 综合数字网 (IDN) 和综合业务 数字网 (ISDN) 的基本概念	291
第六章 线性预测编码与自适应技术	295
第一节 自适应量化	297
一、前馈自适应量化	298
二、反馈自适应量化	302
第二节 线性预测差值量化的基本原理	306
第三节 增量调制及其自适应量化	318
一、线性增量调制	319
二、增量调制的自适应量化	324
第四节 线性预测的自适应量化	329
第五节 线性预测的自适应	332
第六节 各种编码系统的质量比较	337
参考文献	339

第一章 概 述

第一节 通信系统的基本概念

通信是一种信息的传递和交换，是人类社会活动的工具。早在我国古代的烽火告警和驿马传令，以至近代的电报、电话、广播、传真、电视、雷达、遥控、遥测甚至人工智能等都属于通信的范畴。

现代通信，主要是指“电通信”而言。最早的有线电报通信起源于十九世纪三十年代。到十九世纪七十年代，又出现了有线电话。这样就使通信出现了两大门类：数字通信，以电报为代表；模拟通信，以电话为代表。到二十世纪初，随着电子管的出现，电通信得到了迅速的发展。从二十世纪四十年代末到八十年代初这三十多年间，随着晶体管的发明、集成电路的出现，以及电子计算机的应用和飞速发展，又促使电通信出现了日新月异蓬勃发展的新局面。

现在的通信系统形式繁多，但总的来看，都是把一个地方的消息传送到另一个地方，因而可把通信系统概括为五个部分，其基本模型如图 1-1 所示。信源中所包含的信息，就是系统中所要传送的对象，如语声、图象、数据等等。变换器的功能是把输入的信息变换成适合于信道传输的电信号。它先把非电信号变换成电信号，然后再对这种电信号进一步处理，使其变成适合某种具体信道传输的电信号。这种信号经过信道传输到对方的反变换器。反变换器的功能与变换器相对应，是把

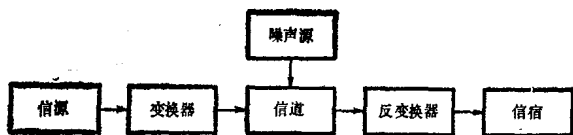


图 1-1 通信系统模型

经信道传送来的电信号，按相反的过程分两步变换成原始信息。最后由受信者接收，通常称之为信宿。在这个通信模型中还有一个噪声源应该考虑，它是在实际通信中，客观存在的一种不可避免的干扰。这种干扰可能从信源信息开始产生的周围环境里就已混入了；构成变换器的电子设备也会引入干扰；信道中由于受各种电磁感应的影响，也对信号造成干扰。从反变换器到信宿这一部分，与发送方面相对应也存在着相似的干扰。为了分析方便，常把发信、收信、传输信道这三方面所存在的干扰都折合到信道中，成为一个总的噪声源。

对于不同的信源，通常可构成不同的通信系统。现代通信中，信源的种类极为繁多，如语声、图象、文字、数据等等，因此相应的通信系统也多种多样。一般可把它们归结为两大类：一类称作模拟通信系统，一类称作数字通信系统。现分别简述如下。

一、模拟通信系统

电话的语声消息和传真、电视的图象消息都是连续消息。以语声为例，它的声压随时间的变化是连续的，如图 1—2 所示。把这种连续消息通过变换器，变成适合信道传输的电信号后，若其电流或电压仍然是随时间连续变化的，则这种系统被

称作模拟通信系统，其具体构成如图 1-3 所示。



图 1-2 语声信号

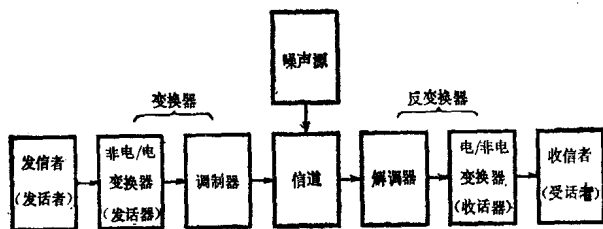


图 1-3 模拟通信系统模型

在该系统中，发信者发的是语声信号，经过非电/电变换器（发话器）转换为电信号。为了适应具体信道的传输，通常还要把经过第一次变换后的电信号再进行第二次变换。这种第二次变换称作调制，调制后的电信号称作已调信号，它仍然是一种连续信号。这种信号的变换由调制器来完成。已调信号通过信道传输到接收端的解调器和电/非电变换器（收话器），它们与发送端的调制器和发话器一一对应，起着反变换的功能，把已调信号恢复成原始语声的连续消息。在发送端调制器之前和接收端解调器之后的信号是一种原始电信号，它具有频率较低的频谱，相对于已调信号（具有频率较高的频谱）而言，通常称这种原始信号为基带信号。

在模拟通信中，通过信道的信号频谱通常比较窄，因此信

道的利用率较高。它的缺点是：（1）传输的信号是连续的，混入噪声干扰后不易清除，也就是抗干扰能力差；（2）不易保密通信；（3）设备不易大规模集成；（4）不适应飞速发展的计算机通信的要求。

二、数字通信系统

有一些信源的消息本来就是离散的，如电报符号和数据等。所谓离散消息也称作数字消息，其消息的状态是可数的，不是随着时间作连续变化的。最简单的一种数字信号如图 1-4 所示，它在时间上是不连续的，而在幅度上只有两个值。另

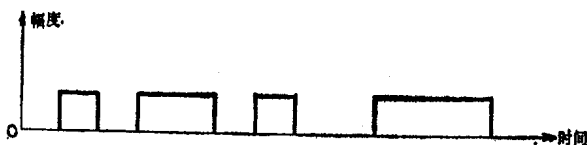


图 1-4 数字信号示例

外，还可把信源的连续消息变为离散的消息进行传输，到接收端再把它反变成连续消息。这两种对原始消息（无论是离散的还是连续的）进行各种数字处理后的通信系统，都称为数字通信系统，其构成的模型如图 1-5 所示。

在该系统中，如果原始信号已经是数字信号如数据信号等，则它相当于一次编码器的输出；如果原始消息是模拟的，要进行数字通信则需从左边第一个方框开始。现设发信者发的仍是语音信号，经过“非电/电”变换器（此时即发话器）变成模拟的电信号。然后经一次编码器，把模拟信号转换为数字信号，这种变换通常称作模拟/数字变换。有时通信需要保密，则上面的数字信号可经加密器，按照内定的规律加上一些密

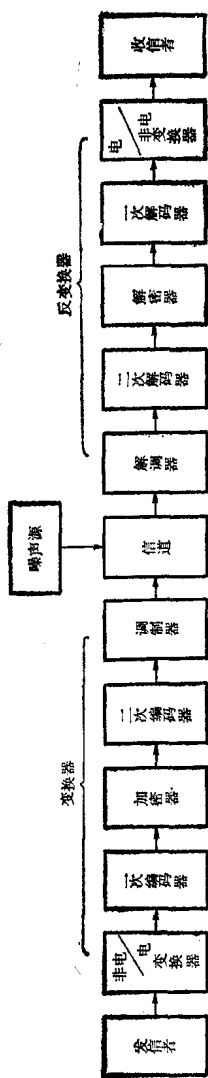


图 1-5 数字通信系统模型

码，对一次编码的信号进行“扰乱”。有时为了控制由于信道噪声使传输的数字信号造成差错，可以在数字信号内再附加一定数量的数字码，形成新的数字信号，其内部数码间的关系形成一定的规律性，一旦新的数字信号发生差错，接收端就会按照一定的规律自动检查出来或进行自动纠正。这种功能叫作自动差错控制，它由二次编码器（具体叫做差错控制编码器）来完成。为了使这一级输出的信号能适应信道传输的要求，有时还需要再加一级调制器，使信号能较好地通过信道到达接收端。接收端的几个方框，其功能是与发送端的几个方框一一对应的反变换，这里不再赘述。必须指出，具体的数字通信系统并非一定要如图 1-5 那样包括了所有的方框。如前面提到的，若对数字消息进行传输，则加密器以前和解密器以后的方框可去掉。在无需保密时，连加密器、解密器也可去掉。这样构成的系统称作数据通信系统。相反地，除信道以外，如把加密器以后和解密器之前的方框去掉（同样地，加密器与解密器也应视保密是否需要而取舍），这又构成了另一种系统，广义地称作信源编码通信系统。这后一种系统是本课程重点讲授的内

容。当然这一系统还可视具体情况的需要，再单独外加一对二次编码——解码器，或单独外加一对调制——解制器，甚至把这二对全部加上，形成一个较完整的数字通信系统。

数字通信系统较之模拟通信系统有如下几个优点。（1）抗干扰能力强：因信号是以数码形式进行传输，被噪声干扰后如信号数码没有恶化到一定程度时，可用再生的方法（在第四章内将详细介绍）使数码又形成原始的样子，即使由于信道的噪声干扰，使信码出现一些差错时，也可以用差错控制编码技术加以消除。（2）设备可集成化、微型化：由于设备多属数字电路，可以大规模地集成，实现微型化。（3）可构成数字通信网：由于电子计算机大量而普遍地采用，计算机信息以及其他数字信息的通信量飞速增长，需要构成各种范围的数字通信网，因此数字通信系统就显得更为重要了。（4）保密性强：可用各种极其复杂规律的密码进行加密，使信号具有极高的保密性。但事物总是一分为二的，一般说来，数字通信的上述优点是用比模拟通信所用的信道频带要宽得多这一代价来换取的。然而，随着微波和卫星信道以及光缆信道的发展（其频带宽度通常可达几十兆、几百兆赫甚至更高），数字通信占用频带较宽的矛盾越来越不显著了。

第二节 信 道

各种电信号都要通过电信道才能从甲地传送到乙地。信道的概念，根据分类的不同，它的构成也有所不同。通常，信道的各种分类如下：

以传播媒介分类的信道

有线信道

明线信道
对称电缆信道
同轴电缆信道
波导管信道
光导纤维信道

无线信道

长波信道
中波信道
短波信道
超短波信道
微波信道
卫星信道

以信息多路复用的形式分类的信道

频率分割信道
(简称频分信道)

载波信道
频分短波信道
频分微波信道
频分卫星信道
其他频分信道

时间分割信道
(简称时分信道)

时分基带信道
时分短波信道
时分微波信道
时分卫星信道
其他时分信道

以信道传输的信息
类型分类的信道

模拟信道：与频分信道相同，
另外还包括基带模
拟信道。

数字信道：与时分信道基本相
同，但数字信道所
传送的信号一定要
数字化的，它不包
括时分信道中一些
非数字化的时分信
号，如脉冲调幅、
脉冲调宽、脉冲调
相等信号。

我们知道，除有线信道的明线和电缆可以直接传输基带模拟信号和基带数字信号外，其他各种信道媒介都工作在较高的频段上。因此，无论是模拟信号还是数字信号，都必须经过一次高频调制，使信号驾驭在适合于信道传输的频率上。据此，在图1-5所示的通信系统中，调制与解调这两个方框可分别分成低频调制和低频解调，以及高频调制与高频解调。这里的高频调制与解调，也可称作发送终端机与接收终端机，它的作用主要是为了把基带信号调制到适合信道传输的频率上。通常也把它们并入到信道的范畴里，这在进行系统设计时往往是有利的。关于低频调制与解调，则是针对不同信道的具体情况，用以提高信号的抗干扰能力和降低所占用的频带。

还需要指出的是，上面划分的模拟信道（或频分信道）和数字信道（或时分信道），它们也可以互相构成一种混合信道。这样，既可以把频分信道的模拟信号再变换成数字信号通