

通 信 工 程 丛 书

数 字 通 信 工 程 基 础

张应中 温啟荣 陈继努 编著

数字通信

3

中国通信学会主编 • 人民邮电出版社

通信工程丛书

数字通信(3)

数字通信工程基础

张应中 温启荣 陈继努 编著

中国通信学会主编·人民邮电出版社出版

内 容 提 要

本书讲述数字通信的工程基础。内容有数字信号的形成、调制及解调、传输系统；以及干扰、同步、定时、差错控制等数字通信的特有的问题；还有通信系统的质量分析和发展中的几个问题——高次群的形成、复用及转换设备、数字交换、网同步和话音插空技术等。

通信工程丛书

数字通信(8)

数字通信工程基础

中国通信学会主编

张应中 温啟荣 陈继努 编著

责任编辑：沈肇熙 俞天林

●
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 1987年12月 第一版

印张：19²⁰/32 页数：314 1987年12月 河北第1次印刷

字数：519千字 插页：8 印数：1—4 600册

ISBN7115-03483-4/TN

定价：4.60元

丛 书 前 言

为了帮助我国通信工程技术人员有系统地掌握有关专业的基础理论知识，提高解决专业科技问题、做好实际工作的能力，了解通信技术的新知识和发展趋势，以便为加快我国通信建设、实现通信现代化作出应有的贡献，我会与人民邮电出版社协作，组织编写这套“通信工程丛书”，陆续出版。

这套丛书的主要读者对象是工作不久的大专院校通信学科各专业毕业生、各通信部门的助理工程师、工程师和其他通信工程技术人员。希望能够有助于他们较快地实际达到通信各专业工程师所应有的理论水平和技术水平。

这套丛书的特点是力求具有理论性、实用性、系统性和方向性。丛书内容从我国实际出发，密切结合当前通信科技工作和未来发展的需要，阐述通信各专业工程师应当掌握的专业知识，包括有关的系统、体制、技术标准、规格、指标、要求，以及技术更新等方面。力求做到资料比较丰富完备，深浅适宜，条理清楚，对专业技术发展有一定的预见性。这套丛书不同于高深专著或一般教材，不仅介绍有关的物理概念和基本原理，而且着重于引导读者把这些概念和原理应用于实际；论证简明扼要，避免繁琐的数学推导。

对于支持编辑出版这套丛书的各个通信部门和专家们，我们表示衷心感谢。殷切希望广大读者和各有关方面提出宝贵的意见和建议，使这套丛书日臻完善。

中国通信学会
一九八六年七月十四日

前 言

数字通信是近十多年来迅速发展起来的通信新技术。它与模拟通信相比，具有抗干扰性强，便于加密，可靠性高等一系列特点。各种通信业务，不论是话音、数据、电文或图象，通过数字化后，都可以按同样的数字形式出现在通信网中，随着大规模（LSI）及超大规模（VLSI）集成技术的迅速发展，尤其是光纤通信商用化的实现，数字程控交换设备的采用，以及数字电子计算机的广泛应用，将可使大量的业务能在同一个数字网中传送，有利于建成综合业务数字通信网（ISDN），数字通信更显出了它的优越性。因此，世界各国都在积极发展数字通信，以便早日实现本国通信数字化。我国的数字通信目前也发展很快，局部地区的数字通信网正在逐渐形成和扩大。为了加快我国数字通信的建设，在我国早日实现通信现代化作出应有的贡献，我们通信科学工作者，需要掌握数字通信技术已属刻不容缓。本书的出版，就是希望它能为从事通信工作的工程技术人员和科研工作者切实掌握数字通信技术打好基础。

本书全部共十章。第一章是概论；第二章讲述脉冲编码调制（PCM）；第三章讲增量调制（ ΔM ）；第四章讲数字信号对载波的调制与解调；第五章讲信道与干扰；第六章讲数字信号传输系统；第七章讲数字通信中的定时与同步；第八章讲PCM通信系统的质量分析；第九章讲差错控制；第十章讲数字通信发展中的几个问题，它包括PCM高次群，TDM/FDM复用转换设备，数字（PCM）交换（数字程控交换），数字网的同步以及数字语音插空（DSI）技术等的基本原理。在编写中力求具有理论性、实用性、系统性和方向性，并密切与我国的实际结合；希望做到对读者理解数字通

信，包括数字电话通信、数据通信、数字微波通信等方面的基本原理和工程技术知识能有一定的帮助。

本书的第一、五、九、十章由张应中编写；第二、三、四、八章由温启荣编写；第六、七两章由陈继努编写。全书由张应中、温启荣统一审阅、修改、定稿。由于作者水平有限，不妥或错误之处望读者批评指正。

本书在编写过程中，得到清华大学冯重熙教授、北京邮电函授学院函授分院倪维桢院长、成都电讯工程学院李乐民副教授的许多帮助和鼓励，谨致谢忱。

作者于重庆邮电学院

1985年11月

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 数字信号和模拟信号	(1)
§ 1.2 模拟通信与数字通信	(4)
一、模拟通信.....	(4)
二、数字通信.....	(7)
§ 1.3 数字通信的主要特点	(16)
一、主要优点.....	(16)
二、主要缺点.....	(19)
§ 1.4 国内外数字通信的概况	(20)
第二章 脉冲编码调制 (PCM)	(23)
§ 2.1 模拟信号的抽样	(23)
一、抽样信号的频谱.....	(24)
二、抽样定理.....	(30)
三、带通型信号抽样.....	(33)
四、抽样电路.....	(35)
§ 2.2 保持	(39)
一、抽样充电阶段.....	(41)
二、保持阶段.....	(42)
三、清除阶段.....	(43)
§ 2.3 量化	(43)

一、均匀量化与非均匀量化	(44)
二、量化噪声功率	(48)
三、均匀量化时的信噪比	(60)
§ 2.4 压缩律	(53)
一、理想对数压缩律	(53)
二、A压缩律的导出	(55)
三、 μ 压缩律的导出	(57)
四、 μ 255/15折线压缩律	(59)
五、A87.6/13折线压缩律	(63)
§ 2.5 编码	(67)
一、编码的码字和码型	(67)
二、逐次反馈编码原理	(72)
三、逐次反馈编码器	(76)
四、级联与逐次反馈混合编码器	(94)
五、级联型编码	(98)
§ 2.6 解码	(105)
一、方框图	(105)
二、各部分工作原理	(107)
三、解码示例	(113)
四、权电流解码网路的误差分析和计算	(114)
§ 2.7 分路及模拟信号的恢复	(125)
一、PAM信号的分路	(125)
二、孔径效应及其补偿措施	(125)
三、模拟信号的恢复	(132)
§ 2.8 PCM30/32路典型终端设备介绍	(136)
一、基本特性	(136)
二、帧与复帧结构	(137)
三、端机方框图介绍	(138)
§ 2.9 PCM单路编解码器	(144)

第三章 增量调制 (ΔM或DM)	(149)
§ 3.1 增量调制的概念和工作原理	(149)
§ 3.2 增量调制的实现	(151)
一、增量调制的编码	(151)
二、增量调制的解码	(153)
三、简单增量调制电路示例	(156)
§ 3.3 简单增量调制的特性	(159)
一、过载特性	(159)
二、量化噪声	(162)
三、增量调制的编码动态范围	(167)
四、信道误码对系统的影响	(171)
§ 3.4 改进型的增量调制	(177)
一、增量总和调制 ($\Delta-\Sigma M$)	(177)
二、自适应增量调制 (ADM)	(184)
三、数字检测音节压扩 $\Delta-\Sigma M$ 系统	(189)
四、其他改进型增量调制简介	(192)
§ 3.5 差值脉冲编码调制 (DPCM)	(195)
一、DPCM的基本原理	(196)
二、DPCM的基本特性	(198)
§ 3.6 自适应差值脉冲编码调制 (ADPCM)	(201)
§ 3.7 60路PCM—ADPCM转换器	(206)
第四章 数字信号对载波的调制与解调	(210)
§ 4.1 引言	(210)
§ 4.2 数字振幅调制	(212)
一、线性调制	(212)
二、双边带振幅键控信号 (DSB—ASK)	(215)
三、单边带振幅键控信号 (SSB—ASK)	(218)

四、残留边带振幅键控信号 (VSB—ASK)	(223)
五、线性调制信号的解调	(228)
六、二进制ASK调制信号的频谱特性	(231)
§ 4.3 数字频率调制	(234)
一、数字调频信号的调制和解调	(234)
二、数字调频信号的频谱特性	(242)
§ 4.4 数字相位调制	(244)
一、二相调相信号的调制与解调	(246)
二、二进制调相信号的频谱特性	(252)
§ 4.5 多进制数字调制	(253)
一、多进制数字振幅调制	(256)
二、多进制数字频率调制	(259)
三、多进制数字相位调制	(260)
§ 4.6 数字调制系统抗干扰性能的简单比较	(276)
附录: $P_s(\omega)$ 公式的推导	(280)

第五章 信道与干扰

§ 5.1 信道的定义和模型	(285)
§ 5.2 恒参信道	(291)
一、幅度—频率特性	(291)
二、相位—频率特性	(292)
§ 5.3 变参信道	(294)
一、短波电离层反射信道的情况	(294)
二、微波对流层散射信道的情况	(296)
三、信道传输延时随时间而变	(297)
四、多径传播效应	(298)
§ 5.4 关于干扰	(305)
一、加性干扰	(305)
二、限带白噪声的模拟与测量	(307)

第六章 数字信号传输系统	(311)
§ 6.1 再生中继系统的功能	(311)
一、再生中继器的功能.....	(312)
二、再生中继系统的特点.....	(313)
§ 6.2 基带传输特性	(314)
一、基带数字信号在信道传输中的特点.....	(315)
二、无码间干扰的基带传输特性.....	(316)
三、幅度特性的滚降.....	(318)
四、码间干扰的估价一眼图	(321)
§ 6.3 PCM基带传输系统	(323)
一、PCM基带传输模型.....	(323)
二、PCM基带传输系统的均衡特性.....	(327)
三、有理函数型均衡.....	(329)
§ 6.4 典型的中继电路简介	(338)
一、自动增益控制 (AGC) 均衡放大器.....	(339)
二、定时提取电路.....	(344)
三、判决再生电路.....	(349)
§ 6.5 中继传输系统的质量分析	(350)
一、信噪比和误码率.....	(350)
二、误码的积累.....	(353)
三、信道误码对通信质量的影响.....	(355)
四、脉冲相位抖动对PCM传输的影响.....	(358)
§ 6.6 线路传输码型	(360)
一、传输码型.....	(361)
二、传输码型特性的分析比较.....	(367)
第七章 定时与同步	(370)
§ 7.1 定时系统	(371)

一、基群PCM设备定时脉冲的种类及参数	(371)
二、定时系统电路举例	(372)
三、收定时系统	(380)
§ 7.2 同步系统	(386)
一、如何实现帧同步	(386)
二、帧同步系统典型电路分析	(390)
三、复帧同步系统	(402)
四、同步系统的理论分析	(405)
五、同步系统的告警	(421)

第八章 脉冲编码调制通信系统的质量分析 (422)

§ 8.1 串话	(423)
一、通带的高频端对串话的影响	(424)
二、通带的低频端对串话的影响	(426)
§ 8.2 折迭噪声	(430)
§ 8.3 量化噪声及量化信噪比	(432)
一、过载噪声功率与均匀量化时的总信噪比	(433)
二、非均匀量化噪声的基本公式	(436)
三、按A律压扩时的信噪比	(437)
四、按 μ 律压扩时的量化信噪比	(449)
五、采用折线编码时的量化信噪比	(454)
§ 8.4 群路编码的量化信噪比	(461)
一、群路编码的特点	(461)
二、群路编码的量化信噪比	(462)
§ 8.5 脉码调制通信系统的特性测试	(467)
一、净衰减电平及音频转接点阻抗	(468)
二、振幅特性(增益随输入电平的变化)	(470)
三、衰减频率特性	(471)
四、空闲信道噪声	(472)

五、路际串话	(473)
六、总失真(包括量化失真)	(474)
七、交调失真	(476)
八、谐波失真(寄生带内信号)	(478)
九、群时延	(478)
十、电平持恒度	(479)
十一、信令干扰	(480)
十二、2048千比每秒接口指标	(481)
十三、64千比每秒接口指标	(485)
十四、设备监测告警性能	(493)
第九章 差错控制	(495)
§ 9.1 概述	(495)
一、基本概念	(495)
二、纠错编码的基本原理	(498)
§ 9.2 反馈纠错	(501)
一、奇偶监督码	(501)
二、行列监督码	(502)
三、恒比码	(505)
四、自动要求重发系统—ARQ的原理	(507)
§ 9.3 前向纠错	(509)
一、重复码	(510)
二、汉明码	(512)
三、循环码	(515)
四、连环码(卷积码)	(524)
五、纠正成群差错的方法	(528)
§ 9.4 差错控制的性能估算及其应用	(534)
第十章 数字通信发展中的几个问题	(539)

§ 10.1	脉冲编码调制通信系统的复用序列	(540)
§ 10.2	PCM高次群复接和分接	(542)
	一、复接原理	(545)
	二、二次群的帧结构	(549)
	三、二次群复接分接设备 (Muldex) 的构成	(554)
	四、三次群和四次群复接设备的帧结构	(558)
§ 10.3	PCM/TDM—SSB/FDM复用转换设备	(558)
	一、TDM↔FDM变换的基本考虑	(562)
	二、韦弗—达林顿 (Weaver—Darlington) 方法	(564)
	三、贝朗加 (Bellanger) 采用的快速付氏变换(FFT) 和多相网络方法	(567)
§ 10.4	数字交换	(576)
	一、数字交换系统的基本组成	(576)
	二、数字交换终端——集线器系统	(578)
	三、数字交换网络	(583)
§ 10.5	数字网的同步	(593)
	一、网同步的必要性	(594)
	二、网同步的方式	(599)
§ 10.6	数字语音插空	(606)
	一、概述	(606)
	二、语音插空的工作原理	(608)
	三、语音插空技术的应用概况	(612)

第一章 绪 论

数字通信是用数字信号进行通信的一种通信方式，它主要包括数字电话通信和数据通信两大类。在这一章里主要介绍数字通信中常用的一些概念、数字信号如何形成，即如何将模拟信号数字化、数字化的一些主要过程、数字通信系统和多路复用通信（时分多路复用和频分多路复用）的构成，并介绍数字通信的几个主要特点。通过这一章的学习，读者可以对数字通信的基本概念有一般的了解，这样将有利于以后各章对数字通信的各个主要环节和基本原理进行较为深入的探讨。

§ 1.1 数字信号和模拟信号

通信系统的作用是传递信息。

在人类的各种活动中经常需要了解客观事物的状态，而客观事物状态的变化就产生信息。因此，信息的传递是社会活动中不可缺少的重要一环。

人们用语言、文字、或图画等来表达信息，也可以用收发双方事先约定的编码来表达信息。但是这些语言、文字、图画、编码等本身不是信息而被称为消息，而信息就包含在消息之中。

消息中包含的信息数量可用“比特” (bit) 来度量，即以“比特—写作比或 b ”作为度量信息源所发出的或在通信系统中传递的消息所包含的信息量的单位。它在信息论中有严格的定义，我们这

里主要着眼于应用。在二进制数字通信中若从消息转换过来的数字序列中“1”和“0”出现的概率各为 $\frac{1}{2}$ ，并且前后码元是互相独立的，那么这个数字序列中每个码元的信息量即为 $\log_2 2 = 1$ 比。

由于消息不便于直接向远方传输，因此需要把传输的消息通过某种设备先变成电信号。这种电信号与所要传递的消息变化，例如语言的声音变化或者图画的颜色变化等相对应，因而在电信号中也就包含了所要传递的信息。

因此，我们可以把电信号理解为“传递信息的函数”。信号有连续时间信号、离散时间信号、模拟信号和数字信号之称。连续时间信号是指时间变量连续变化而幅度则可以是连续也可以不是连续的信号。如图1.1所示，常简称为连续信号。离散时间信号是指时间变量是离散的。信号仅在时间变量的离散值上才有定义，如图1.2所示。这也常简称为离散信号。

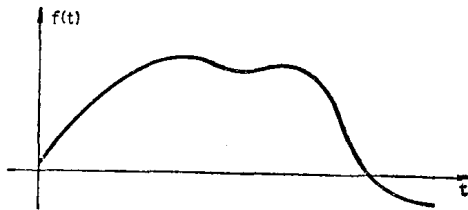


图 1.1 连续信号示意图

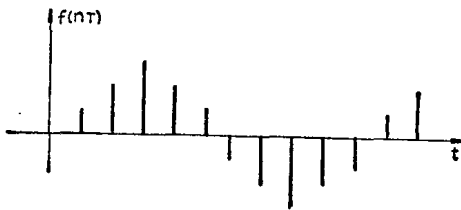


图 1.2 离散信号示意图

模拟信号是指代表消息的信号及其参数（幅度、频率或相位）随着消息连续变化的信号。它在幅度上连续，但在时间上则可以连

续也可以不连续。例如连续变化的语音信号，电视图象信号以及许多物理的遥测遥控信号都是模拟信号；又如脉冲幅度调制(PAM)、脉冲相位调制(PPM)，脉冲宽度调制(PWM)这些时间上不连续的信号也都是模拟信号，如图1.3(a)、(b)所示。

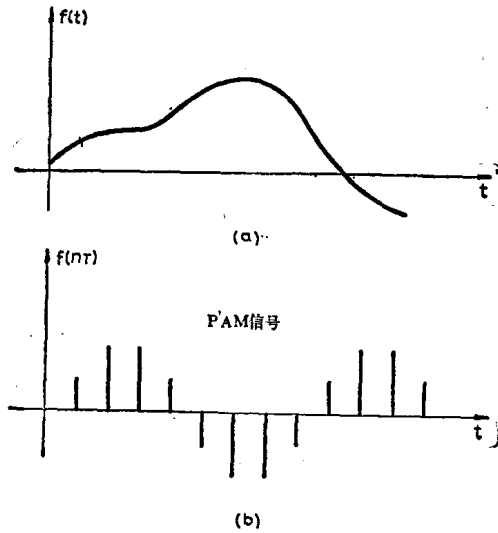


图 1.3 模拟信号示意图

数字信号是指不仅在时间上是离散的，而且在幅度上也是离散的信号，如图1.4所示。例如电报、计算机输入输出信号、数据信号、

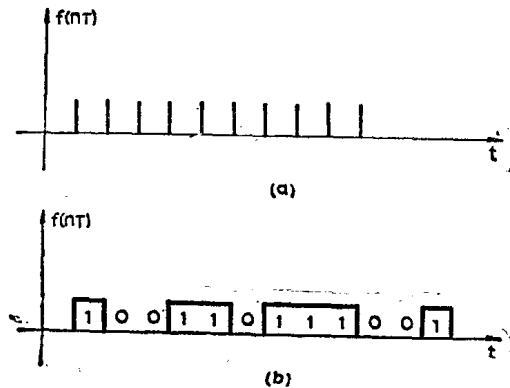


图 1.4 数字信号示意图