

脉码调制 通信技术

杜国信 编

中国铁道出版社



78-01-30
2/2

脉码调制通信技术

杜国信 编

中国铁道出版社

1990年·北京

3010169

内 容 简 介

本书讲述脉码通信技术的基本理论、组成原理、性能分析及与PCM应用密切相关的程控交换、数字通信、综合业务数字网等新技术的基本概念。主要内容包括：数字信号与数字通信、时分多路通信原理、量化、编码与译码、定时与同步、传输与再生、系统特性与测试、高次群脉码调制通信系统、PCM与数字通信等九个部分。

本书重点突出，通俗易懂，理论分析适度，使读者既能掌握PCM的基本知识，又能了解PCM的发展前景，以利于自学或专题讲授。

本书可作为通信工程技术人员自学读物，也可作为技术培训教材或大专院校的参考书。

脉码调制通信技术

杜 国 信 编

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 黄成士 封面设计 安宏

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 1/32 印张：10.125 字数：225千

1990年2月 第1版 第1次印刷

印数：1—12500册 定价：4.70元

前 言

脉码调制 (PCM) 技术随着光导纤维、电路集成、程控交换与数据通信的发展, 以及通信网向数字网、综合业务数字网逐步过渡的发展趋势, 已促使其得到更加广泛地应用。在我国, PCM 复用方式也正由局间中继逐步向光纤系统中的干线中继过渡。因此, 学习和了解 PCM 通信技术已为众多从事通信工作或学习的人员所关注, 有关 PCM 基本理论与技术的著作已大量发行, 本书是在吸收国内外有关著作和一些近期技术资料的基础上, 结合教学实践和体会编写的。编者力图本着重点突出、通俗易懂、反映现实、兼顾未来的精神, 能够为从事通信技术工作的中、高级工程技术人员提供一本适用的技术参考书, 或为大专院校通信专业学生提供一本适用的教学参考书。全书共分九章, 第一章介绍数字信号与数字通信的基本知识, 第二至第七章为 PCM 技术的基本知识, 第八章介绍高次群复接技术, 第九章介绍 PCM 与程控交换机接口及 IDN、ISDN 有关内容。

本书第九章由杜媛同志编写, 宁本浩同志参加了部分章节的校核工作, 还有很多同志在编写过程中给予不少指导和帮助, 谨向他们表示衷心感谢! 由于编者水平有限, 难免存在不妥与错误之处, 肯切希望读者批评指正。

目 录

第一章 数字信号与数字通信	1
第一节 数字信号与数字通信	1
第二节 脉码通信的发展与基本原理	5
第三节 数字通信与模拟通信比较	10
第四节 数字通信与现代通信网	14
第二章 时分多路通信原理	16
第一节 取样定理	16
第二节 取样方法	25
第三节 时分多路的基本原理	35
第四节 时分多路系统的帧结构与数码率	39
第三章 量 化	44
第一节 均匀量化及其误差分析	44
第二节 非均匀量化	55
第三节 非均匀量化误差分析	74
第四章 编码与译码	95
第一节 编码概述	95
第二节 逐次反馈型编码器	107
第三节 级联型编码器	125
第四节 译码电路与译码网	129
第五节 其它编码方式	137
第五章 定时与同步系统	142
第一节 定时系统	142
第二节 帧同步系统	153

第三节	系统同步	164
第六章	传输与再生	170
第一节	数字信号传输	170
第二节	线路传输	187
第三节	传输码型	196
第四节	传输与再生	206
第五节	定时脉冲抖动分析	220
第七章	系统特性与测试	230
第一节	概 述	230
第二节	净衰耗	234
第三节	总失真	236
第四节	路际串话、空闲电路噪声及误码率	242
附 I	CCITT建议的有关测试项目	250
附 II	24路PCM系统维护用的测量设备	251
第八章	高次群脉码调制通信系统	253
第一节	高次群系统	253
第二节	复接原理	257
第三节	脉码调制通信与频分制通信的兼容	275
第九章	PCM与数字通信	284
第一节	程控交换系统概述	284
第二节	脉码调制通信接口设备——标志	
(信号系统	289
第三节	数字程控交换系统的接口电路	303
第四节	综合数字网 (IDN)	305
第五节	综合业务数字网 (ISDN) 的发 展与研究	306

第一章 数字信号与数字通信

本章目的在于介绍数字信号与数字通信的基本知识，以便为学习脉码通信技术打下初步基础，通过对数字通信与模拟通信特性的比较，进一步了解数字通信在现代通信中的作用和地位。

第一节 数字信号与数字通信

语言、文字、图象、数据统称为信息，通信系统的任务就是要迅速准确地传送信息。人类发展到今天，传送信息的方式也在日新月异的变化，由古代烽火的光信号、锣鼓的声信号，直至今日不同形式的电信号，总之，信息的传送要借助于某种运载工具，而反映运载工具的表现形式就是信号。因此信号可以是声、光、电等某种物理量的变化，而物理量的变化就代表了一定信息。为了传送信息，需要把原信息变为传送的某种信号，到接收端再将信号还原为原来的信息。这里关心的是怎样利用电信号通过通信系统实现信息传送的有关问题，本节仅局限于对电信号或简称信号的讨论。

根据用途不同，电信号可分为话音信号、电报信号、载波信号、电视信号、控制信号、广播信号、测试信号等多种类别；根据电信号随时间变化的关系可分为连续信号与离散信号；根据电信号某一物理量或参量取值反映信息的方式又可分为模拟信号与数字信号。

凡信号的某一参量随相应信息的变化而变化，其参量的取值为无限多个数值的称为模拟信号，如话音信号的电压或

电流大小随声音的强弱而连续变化；调幅波或调频波信号其幅度或频率随话音或音乐作相应连续的变化；电视图象信号其幅度随景物光线明暗的程度作相应的变化，这些都是随时间连续变化的模拟信号（图 1—1）。脉幅调制（PAM）、脉宽调制（PWM）与脉位调制（PPM）信号其脉冲的幅度、宽度或位置随调制信号的变化而变化，尽管它们在时间上是不连续的（离散的），但脉幅、脉宽和脉位的取值都是连续的，无穷的，因此仍属模拟信号（图 1—2）。

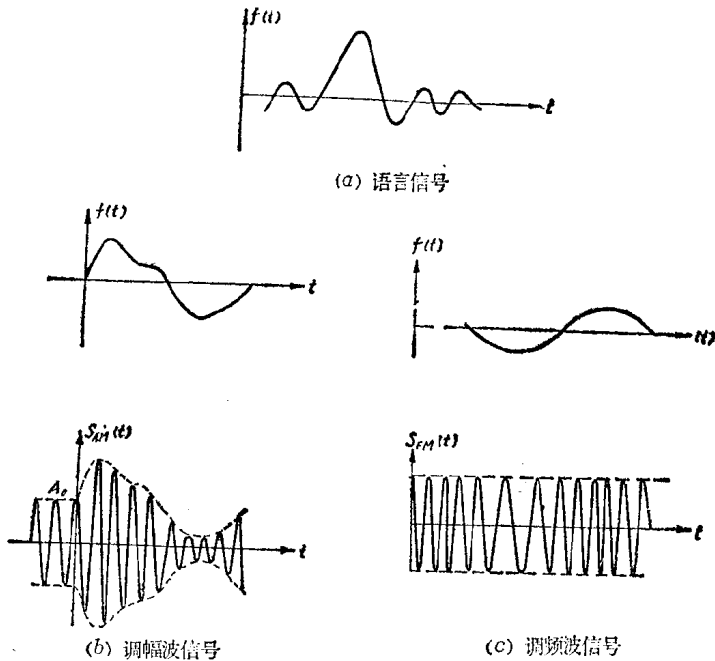


图 1—1 时间连续的模拟信号

凡信号的某一参量随相应信息的变化而变化，其参量的取值为有限的，参量与信息之间的变化关系为非直观的数字形式称数字信号。正如汉字可用0~9十个数字来表示一样，

电报机发送的报文就是以数字信号的形式来反映，通常电报只传送两种键控信号“空号”与“传号”，对应于两种数字“0”与“1”，如图1—3（a）。一般数字信号是离散的，不仅在取值上是离散的，时间上也是离散的，但数字信号并非在时间上都是离散的，普通移频电报在时间上就是连续的，但反映信息的瞬时频率仅有 f_1 与 f_2 ，所以仍属数字信号，如图1—3（b）。

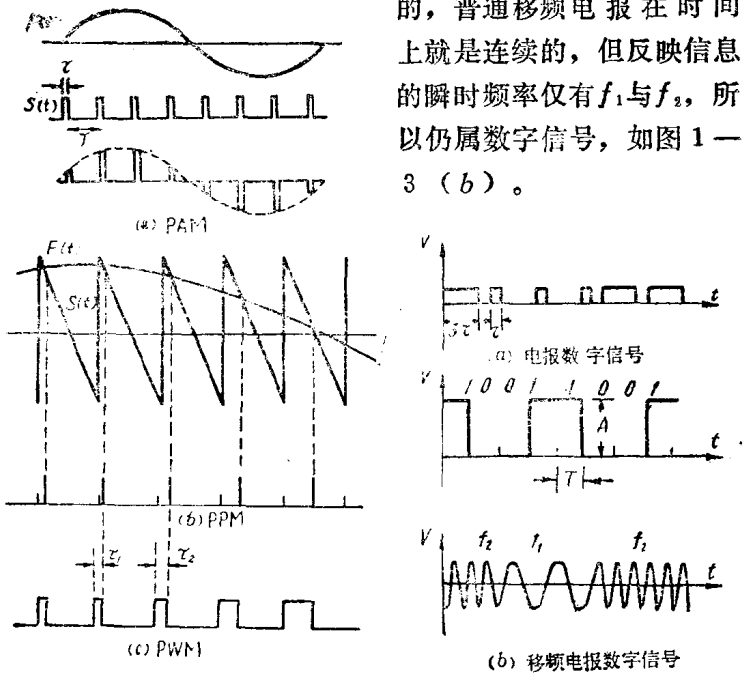


图1—2 时间离散的模拟信号

图1—3 数字信号成形

对应上述讨论，通信系统可按传输信号的不同形式分为两大类：以模拟信号作为传输信号的称模拟通信，如音频电话、载波电话等。而以数字信号作为传输信号的称数字通信，如电报、脉冲编码调制（PCM）、增量调制（ ΔM ）等。

为便于学习数字通信有关内容，有必要对数字信号的性质

质有所了解，现说明几点。

1. 数字信号的进制

数字信号和常用数字一样可以有不同的进制。如十进制意味着有 0、1、2、…、9 十个数字，每一位数可以是其中的一个数；二进制意味着有 0、1 两个数字， m 进制意味着有 0、1、2、… $m-1$ 、 m 个数字。数字信号在时间上划分为很多单元，每个单元只出现有限几个数中的一个，这种数有几个就称几进制。一般数字信号是采用二进制，即单位时间内只出现 0、1 两数中的一个数。

2. 数字位数与数值

用几位数代表一个数值随进制与数字位数的不同来改变。如两位十进制数可代表 $100(10^2)$ 个不同值，即十个数字每次取两个可有 100 种组合。两位二进制数可代表 4 (2^2) 个不同值；七位二进制数可代表 $128(2^7)$ 个不同值。以后会了解 PCM 采用不同码位来编码，码位越多代表的样值越多，如常用七位码则可代表 128 个样值。

3. 码元与码速

如上所述，数字信号在时间上划分为很多单元，每个单元仅出现一个值，如二

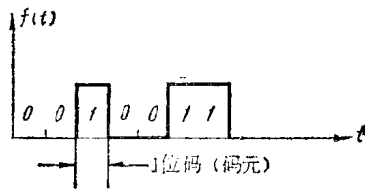


图 1—4 码元与码组表示

进制的 0 或 1，这个值就称一个码元或一位码。多个码元形成一个码组，图 1—4 给出 0010011 码组的表示波形。二进制数字的“bit” (Binary digital) 是英文“二进制数字”的缩写，通称比特。一位二进制码又称一个比特，比特是度量各种信息所含信息量多少的一种单位。如某一信息可用一位二进制数来表示，则该信息的信息量为 1bit，如用两位二进制数表示，则信息量为 2bit，如用一位四进制数表示，因一

位四进制数相当两位二进制数,都可表示四个样值,所以该信息所含信息量仍为 2bit。若用 N 代表进制, I 代表信息量,则

$$I = \log_2 N$$

上式表示一位 N 进制码包含的信息量。按上例分析,当

$$N = 2, I = \log_2 2 = 1\text{bit}$$

则二进制每位码代表 1bit 的信息量。当

$$N = 4, I = \log_2 4 = 2\text{bit}$$

则四进制每位码代表 2bit 的信息量。这说明每位码所含信息量的多少与进制有关,通常用比特作为衡量信息量的单位,用**比特率**即每秒传送的信息量 (bit/s) 作为衡量信息速率的单位。

衡量数字信号传输速率即速码率的单位为 Bd, 它表示每秒传送的码元数,如电传机速率为 50~100Bd, 即 50~100 个码/s。

已知二进制数字信号每个“0”或“1”码包含 1 个比特的信息量,若每秒传送 1000 个二进制码,则信息传输速率为 1000bit/s; 码元传输速率为 1000Bd, 两者数值相等。因此对二进制信号来说

比特率 = 速码率 = bit/s = 码元数/s, 通常说的比特率就等于每秒传送的码元数。

由数字通信的定义可知,数字通信的范畴十分广泛,这里不可能一一说明。本书仅限于讨论一种应用广泛的数字通信方式——脉冲编码通信。

第二节 脉码通信的发展与基本原理

一、脉码通信的发展

通信领域采用数字技术已有很长的历史,1835 年出现的

9010169

莫尔斯电报机就是最初形式的数字通信。1903年迈因纳使用高速转换器，以大约高于4kHz的频率对话音信号取样，并恢复为可懂话音，使脉幅调制通信成为可能。1937年里夫斯(Alec Reeves)提出取样、量化、编码构成的脉冲编码调制通信方式(即PCM, Pulse Code Modulation的缩写)。¹1947年,美国贝尔电话实验室提出脉码调制系统实验报告,法国德洛雷因发明了增量调制。在此期间受电子器件——电子管的影响,致使设备复杂,发展缓慢。1955年,贝尔公司研制成晶体管化T₁型24路PCM,此后,由于市话中继复用要求的增加,特别是大规模集成电路的研制成功,使脉码通信时分复用的优越性愈加突出,发展大大加快,应用的领域也更为广泛。

CCITT已推荐两种一次群PCM传输系统,一种为欧洲邮电管理联合会(CEPT)提出的PCM-30系统,一种为美国电报电话公司(ATT)提出的PCM-24系统。前者为欧洲、非洲、南美、澳大利亚等地区和国家采用,后者为美国、日本、加拿大等国采用,并分别组成了两种PCM二次、三次及高次群系列。

二、脉码通信基本原理

任何通信系统都是由端机设备与传输线路设备两部分组成。脉码通信系统的核心是话音信号的数字化,关键设备是发送端的编码器和接收端的译码器,其编码过程为取样、量化与编码,模拟信号经这一过程变为数字形式的编码脉冲序列,经接收译码再恢复为原信号。其基本概念如下:

1. 取样

从话音模拟信号中抽取样值,变连续信号为离散信号的过程称取样,这一过程是实现时分多路和数字编码的基础。

一个连续信号应该用多少个样值信号来表示呢？由取样定理可知：在一个周期信号中至少取两个样值可恢复原信号，或者说取样频率应为传输信号中最高频率的两倍。例如话音信号频率为0.3~3.4kHz，取上限频率4kHz，则取样频率

$$f_s = 2 \times 4 = 8 \text{ kHz}$$

取样周期

$$t_s = \frac{1}{f_s} = 125 \mu\text{s}$$

这说明：

(1) 每个音频话路只要经 $125 \mu\text{s}$ 取一个信号样值，就可以在接收端恢复出原信号。

(2) 在 $125 \mu\text{s}$ 时间内可插入很多个音频话路，构成时分多路，如图1—5所示，只是受时间限制，话路越多，每路可占用的时隙 T_s 越小，如24路

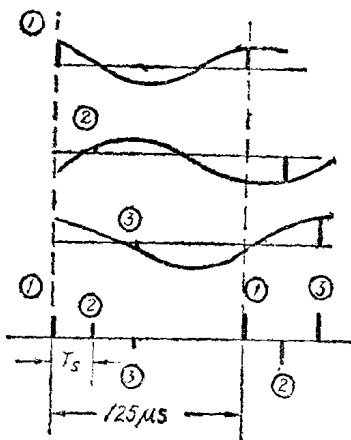


图1—5 取样与时分多路

$$T_s = \frac{125}{24} = 5.2 \mu\text{s}$$

如32路

$$T_s = \frac{125}{32} = 3.9 \mu\text{s}$$

(3) 取样后的信号为脉幅调制信号PAM，它由取样时刻的瞬时值来决定，实质仍为模拟信号。PAM信号可用低通滤波器恢复出原语音，但不能直接传至线路，必须经数字化处理，才能进行数字通信。

2. 量化

已知取样后的 PAM 信号可包含无穷多个瞬时值，为适应编码要求必须使取样信号变为有限值，这种变无限多值的取样信号为有限值的过程称量化。量化采用四舍五入的近似方法。

图 1—6 将话音信号瞬时值分为 8 个等份，每份称一个量化级，位于第 0 级 0~1V 间的所有瞬时值均取 0.5V，信号位于第一级 1~2V 间均取 1.5V……依次类推，可知 8 级仅有 8 个相应量化值。量化级数与设备成本和通信质量密切相关。

(1) 按上例，若瞬时样值为 1.9V，量化取值为 1.5V，则接收信号与原信号相差 0.4V 而形成失真，我们称这种失真为量化失真。显然，分级越细越接近原信号，失真越小。

(2) 要想分层细，代表每层样值的码位必须增加，如这里的 8 级分层，按

$$2^3 = 8$$

的关系，应用二进制 3 位码可反映 8 种状态或 8 个样值，如图 1—6 所示。实际 PCM 多采用 7 位编码，反映 128 个样值

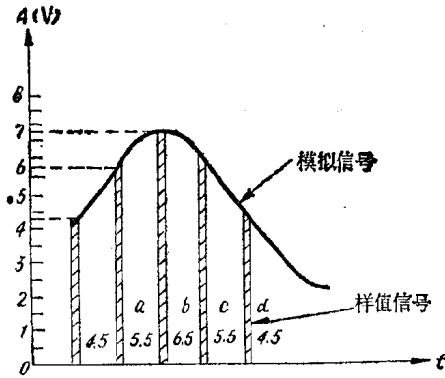
$$2^7 = 128$$

显然，码位越多，传输质量越高，但设备越复杂，速码率也要提高。

3. 编码

将 PAM 模拟信号变为 PCM 数字信号的过程称编码，简称 A/D 变换。其目的在于使有限的量化值用有限个码元的不同组合来表示。编码方法可采用逐步逼近，逐次比较的方法，如设图 1—6 中某一样值信号为 6.5A，为编出三位码应有 3 个权电流 4A、2A、1A，用它们的组合构成 $I_{\text{权}}$ 值与样值信号 $I_{\text{信}}$ 值相比，规定

$$I_{\text{信}} > I_{\text{权}} \text{ 出“1”码}$$



量化级	模拟量	量化样值	编码码组	PCM信号
0	0~1	0.5	000	
1	1~2	1.5	001	
2	2~3	2.5	010	
3	3~4	3.5	011	
4	4~5	4.5	100	
5	5~6	5.5	101	
6	6~7	6.5	110	
7	7~8	7.5	111	

样值信号 a b c d

编码 101 110 101 100

PCM信号

图 1-6 取样、量化、编码过程

$I_{信} < I_{权}$ 出“0”码

经三次比较可得出一组码，其过程为

第一次比较 $6.5 > 4$ “出1”（第一位码）；

第二次比较 $6.5 > 4+2$ 出“1”（第二位码）；

第三次比较 $6.5 < 4+2+1$ 出“0”（第三位码）；

使PAM (6.5) 变为PCM (110)。

PCM信号经线路至接收端，经D/A变换即译码，恢复为PAM信号，再经低通滤波器而恢复可懂语音，上述讨论可用图1—6、图1—7概括。

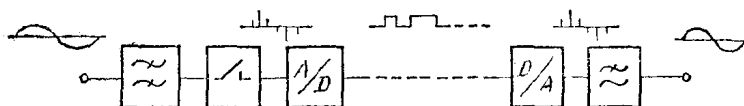


图1—7 PCM传输系统示意

第三节 数字通信与模拟通信比较

对数字通信与模拟通信在技术、经济、实用上作些比较是必要的，这有助于对两种通信系统作出正确评价，以便根据具体情况确定使用原则。两种系统在性能上的差异与数字及模拟信号本身的性质有关，也与业务、技术的发展水平有关。

一、数字通信评价

1. 数字通信的抗干扰能力强

由于数字通信线路传输为0、1形式的数字信号，在干扰信号不超过传输信号电平的条件下，完全可以通过再生中继对传输信号进行正确判别，经放大整形“再生”为发端初

始信号。只要再生中继器的位置适当，可以认为线路干扰噪声对传输信号不产生影响，因而不存在噪声积累。理论上讲，数字通信的传输可不受距离限制。此外，利用再生技术使干扰杂音大，串音衰减差的线路也可实现 PCM 通信。如使不适于开通频分载波的市话电缆得以多路化；局间中继在不敷设新线的条件下得以增容。

2. 数字信号便于处理与集成

数字通信设备主要由数字电路构成，便于用集成元件实现，可以做到集成程度高、体积小，耗电少、成本低、便于生产和维护。另外数字信号便于存储、交换与处理，容易实现保密通信和微机控制的自动监测、管理，以及实现传输与交换的一体化，即传输用 PCM 方式，交换用程控数字交换机，从而免除模数与数模转换过程，既简化了设备，又提高了通信质量。

3. 数字通信能适应新业务要求，便于构成新型综合通信网

近代通信除承担电话业务外，还有很多正在发展的非电话业务，如电报、数据及图象通信等。PCM 方式实现了语音信号的数字化，使电话、电报与数据等数字信号类业务可共用一条通路，达到多种业务的综合传输。这不仅提高了线路复用能力，更为加速建成综合业务数字网提供了必要的保证。

此外，数字通路传送数字信号的效率很高，一条话音通路可传 64kb/s 的数据，并可建立通信所需的信令系统和同步系统。

4. 数字通信的主要缺点

我们知道，传送数字信号需要较宽的频带，话路越多，时隙越小，数码率越高、占用频带越宽，从而使线路利用率