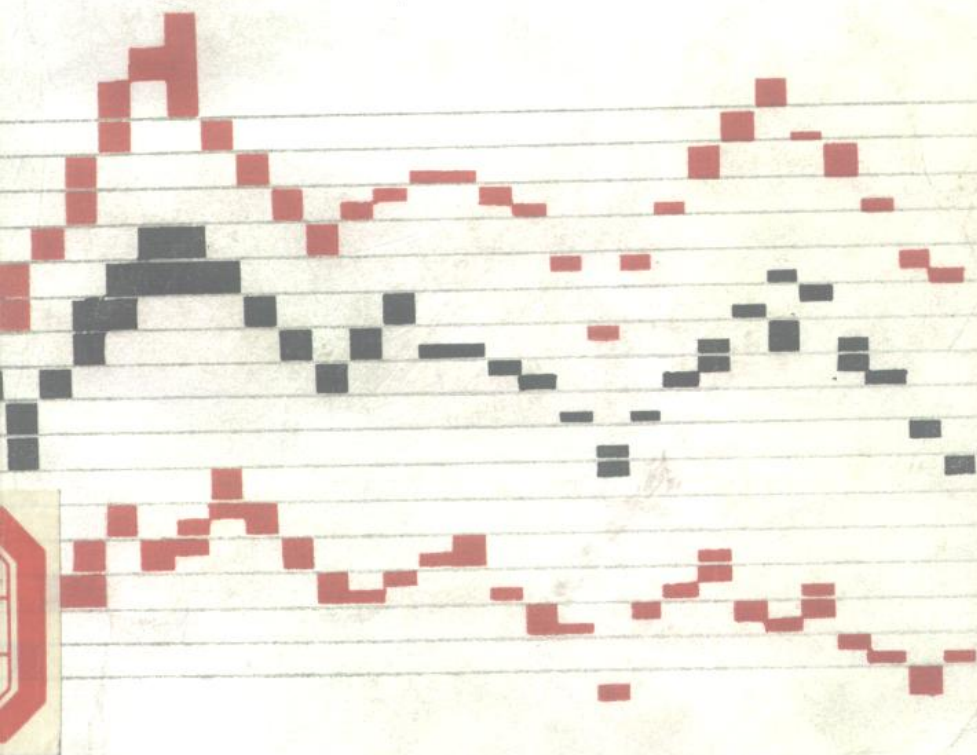


脉码调制 与数字传输系统

〔美〕欧文 著

李树岭 董乐前 胡美霞 译

林秉方 审校



人民邮电出版社

73.03.27
106

脉码调制与数字传输系统

〔美〕 欧文 著

李树岭 董乐前 胡美霞 译

林秉方 审校

人民邮电出版社

PCM and Digital Transmission Systems

Owen

1982

内 容 提 要

本书是关于脉码调制和数字传输的原理和实际问题的综合性著作。系统性较好,取材精炼,篇幅适当,适合于开始从事脉码调制和数字通信工作的工程技术人员学习,或作为这方面工作的研究、规划、操作人员参考。内容包括五部分共13章:一、引言:1.历史及应用,2.传输要求和方法;二、脉码调制;3.抽样通信,4.量化,5.编码器;三、多路复用:6.同步时分复用,7.非同步时分复用;四、传输:8.数字信号传输,9.传输码型,10.定时提取和抖动,11.均衡;五、明天的电信系统;12.电信发展的趋势,13.数字录音。

脉码调制与数字传输系统

[美] 欧文 著

李树岭 董乐前 胡美霞 译

林秉方 审校

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: 787×1092 1/32

1988年9月 第一版

印张: 11 24/32 页数: 188

1988年9月 河北第1次印刷

字数: 268千字

印数: 1-2 500 册

ISBN7-115-03661-6/TN·098

定价: 4.35元

前 言

虽然脉冲编码调制和数字传输已很重要，但这方面的教材却很少，这确是一件很奇怪的事。现在的情况是：高等专科院校已写出了大部分著作，并且集中在高深的理论方面的问题，而没有叙述那些实际的很重要的内容。

本书打算作为一本综述著作，它包括原理和实际两个方面的问题。因此，本书的内容对刚开始从事这一工作的人以及从事本专业的研制、实际操作和规划的工程技术人员都有用。对于后者，本书最适合作为参考书。如果需要更详细了解，本书可作为学习技术论文的阶梯。

很明显，虽然数字通信范围是本书的主题，但应该指出，这个技术也可应用在其他方面。例如，近年来在数字录音、数字无线电传输的研制及音频信号数字化等方面都要碰到和本书所述相类似的工程上的问题。因此，在这些领域的工程师也可能发现这本书是有用的。

本书由下列五部分组成：

第一部分 引言（通信实践的一般概述）

第二部分 脉冲编码调制

第三部分 多路复用

第四部分 传输

第五部分 明天的电信系统

每一部分自成一个完整的内容，读者不按顺序阅读也不会感到困难。

每一个专题从问题的一般概述开始，然后再进一步叙述更

多的技术问题。因此对于那些想了解技术基本概要的读者，只要重点阅读每一部分的前面的内容即可。

虽然这本书的本意主要是为专业工程师而写的，但也适用于大专院校师生作为课程和自学参考书。建议大学教师在制订他们的讲课顺序时，按照本书的基本安排。每章的内容足以满足大约一小时的讲授。大多数学生将会发现，第四章(量化)、第七章(异步时分多路复用)、第十章(定时提取和抖动)和第十一章(均衡)，由于需要讲述的大部分资料比较复杂，因此难度较大，当计划分配各课的讲授时间时，应该考虑这些因素。

欧文

目 录

第一部分 引言

第一章	脉冲编码调制的历史及其应用	(1)
第二章	传输要求和方法	(18)
2.1	电话网的发展	(18)
2.2	电话传输质量	(23)
2.3	传输要求	(25)
2.4	话频传输	(30)
2.5	频分多路传输	(33)
2.6	同轴电缆载波系统	(36)
2.7	无线电载波系统	(37)

第二部分 脉冲编码调制

第三章	用抽样来通信	(43)
3.1	调制系统	(43)
3.2	脉冲调制系统中的信号变换	(46)
3.3	抽样频谱	(50)
3.4	理想抽样	(54)
3.5	抽样定理	(56)
3.6	混淆误差 (折叠失真)	(59)
3.7	符号间干扰	(60)

3.8 抽样系统	(61)
第四章 模数变换—量化	(67)
4.1 均匀量化	(68)
4.2 非均匀量化	(77)
4.3 分段量化 (分段压扩)	(85)
4.4 正弦信号的信号量化噪声比	(89)
4.5 语言信号的量化噪声	(102)
4.6 量化的缺陷	(104)
4.7 其他量化方式	(116)
第五章 模数变换—编码器	(124)
5.1 基本原理	(125)
5.2 电容充电编码器	(129)
5.3 离散电压比较编码器	(139)
5.4 数字处理	(148)

第三部分 多路复用

第六章 同步时分多路复用	(153)
6.1 交织过程	(153)
6.2 帧定位	(157)
6.3 内务比特	(172)
6.4 实现	(174)
6.5 实际的系统	(180)
6.6 时分多址联接系统	(183)
第七章 异步时分多路复用	(186)
7.1 基本概念	(187)
7.2 帧结构处理	(199)
7.3 复用抖动	(203)

7.4	锁相环路 (PLL)	(209)
7.5	相位跟踪	(214)
7.6	数据传输的异步多路复用器	(216)
7.7	帧结构的选择	(223)

第四部分 传输

第八章	数字信号传输	(228)
8.1	引言	(228)
8.2	基本概念	(229)
8.3	对称电缆和同轴电缆	(240)
8.4	误码率	(248)
8.5	眼图	(262)
8.6	串音	(266)
8.7	实际考虑	(268)
第九章	传输码型	(278)
9.1	传输码的特性	(278)
9.2	编码效率	(279)
9.3	能量谱的成形	(281)
9.4	实用的传输码型	(288)
第十章	定时提取和抖动	(301)
10.1	引言	(301)
10.2	高、低 Q 值的时钟提取	(303)
10.3	单个再生器的抖动	(305)
10.4	在数字传输线路中抖动的积累	(307)
10.5	再生器内的抖动容限	(312)
10.6	整个传输系统的抖动容限	(315)
第十一章	均衡	(317)

11.1	部分响应系统.....	(321)
------	-------------	---------

第五部分 明天的电信系统

第十二章	电信的发展趋势.....	(324)
------	--------------	---------

12.1	引言.....	(324)
------	---------	---------

12.2	集成器件.....	(328)
------	-----------	---------

12.3	数字交换.....	(336)
------	-----------	---------

12.4	数字电话用户装置.....	(344)
------	---------------	---------

12.5	光通信.....	(347)
------	----------	---------

第十三章	数字录音.....	(359)
------	-----------	---------

13.1	引言.....	(359)
------	---------	---------

13.2	模拟唱片的生产和家庭放音.....	(360)
------	-------------------	---------

13.3	模拟与数字录音的对比.....	(363)
------	-----------------	---------

13.4	开拓数字处理.....	(365)
------	-------------	---------

第一部分 引言

第一章 脉冲编码调制的历史及其应用

很明显，本书是为了满足综合论述当前的数字通信系统及其展望的需要而写的。开始的论述是非技术性的，因此适合于只需了解技术基本概要的人阅读。而后来的论述则技术性很强，它将为设备的设计人员和电信专业的学生提供有价值的参考。

在一开始时就指出，本书所论述的数字技术在许多不同领域中已获得应用，这些领域包括诸如外层空间探测、高保真音乐、电视录象、音频数据传输等方面。当然数字方法的应用还远不止于此，而目前最主要和最广泛的应用还是在电话方面。因此我们将详细研究在电话中的应用，并指出该技术也同样能应用到其他方面。

应该记住，公共电话网绝大多数是建立在已过时的技术的基础上的，而目前在容量和设施方面都迫切需要很大的发展，许多国家在近十年中的电话用户已增加了一倍，然而，网的利用率的增长速度更快。目前，演播室的高音质音乐和彩色电视链路已加入到网内，同时还考虑了一些新的业务，如电视会议〔1〕和传真〔2〕。而且在数据传输方面已得到和正在得到极大的发展。

〔1〕Confra-Vision：通过电视和声音连接两个中心，可以举行会议的系统。

〔2〕在一段时间范围内，用很窄的频带传输相片图象的系统。这个图象应有足够的清晰度，以便能分辨出打字的文稿。

必须指出，通常产生的消息具有模拟的特性，而这一章中将简要地涉及到我们为什么会决定和怎样用数字方法来传输信号。第二章的目的在于简单概述电话发展的历史和目前电话网的布局。当要考虑具体的传输问题时，本书的后面部分将会帮助我们获得基本的知识。

本书的技术内容尽可能分成如下三个独立的范围：

1. 模拟信号转换成数字信号
2. 若干个数字信号在一起的组合，即**多路复用**（multiplexing）
3. 数字信号的传输

的确，大部分被传输的信息信号是模拟信号，一个典型的例子是用户送受话器中话筒产生的信号。这些模拟信号需要转换成数字的形式，最广泛采用的技术叫作PCM（脉冲编码调制—pulse code modulation的缩写）。

PCM 由亚历克·里夫斯（Alec Reeves）于1939年取得专利，他当时是法国国际电话电报公司（ITT）的工程师。他提出了一种技术：用有规则的时间间隔对信号抽样，并把测量到的抽样幅度值编成脉冲序列的代码。这些脉冲成为传输的信号，它们以一串二进制数来传送信号的内容。在接收机中，这些二进制数用来重建原来的模拟信号，这类似于利用已知曲线来描绘所需曲线形状的方法。

PCM与三项独立的工作有关：即**抽样**（sampling）、**量化**（quantizing）、和**编码**（coding）。近年来，为完成这三项功能的不同方案已有所发展，在本书的第三、四、五章将介绍主要的方案。在这几章中，我们将看到一个话频信道的电话信号是怎样可用一串幅值来表达，而每个幅值则用8位二进制数来表示，也就是编码。此外，我们将证明表达一个具有

300Hz~3.4kHz的话音信号需要的最小理论抽样频率约为6.8kHz。而实际设备通常使用的标准抽样频率为8kHz，如果每个样值用8位数字，则话音信道的信号可以用重复频率为64kHz的一串脉冲来表达。图1—1示出了抽样、量化和编码的过程。

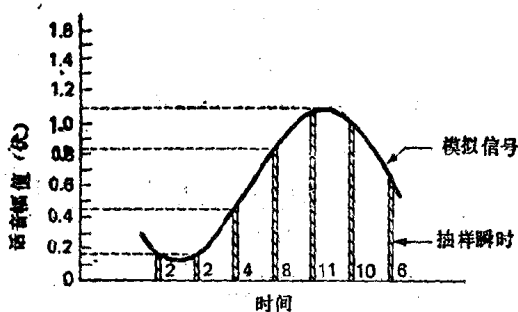
再考察一下我们那个简单的例子就可以看出如下情况：高频率为3.4kHz的话频信号是由重复频率为64kHz的信号所代表的。但是如果每个样值只用四位数，脉冲的重复频率将降低到32kHz，传输质量将下降。因此传输质量依赖于脉冲的重复频率，在数字通信系统中，两者可以充分折衷。

数字传输为克服环境噪声提供了有效的方法。噪声进入传输通道有许多不同的途径，它们的来源大部分是附近的电器放电、汽车点火系统的点火或通信设备内部的低电平热噪声。信号与噪声之比叫作信噪比，这是通信工程师最感兴趣的问题。一般来说，若信号比噪声电平大，则可以产生正确的消息。可是不总是这样的情况，例如从外层空间的卫星上接收到的信号很弱，仅比噪声电平略大些。换个例子可以发现，在地面上的系统内部虽然消息信号很强，但是噪声也强。

如果我们考虑用二进制传输，只要简单地检出有无脉冲就能得出一个特定消息的全部信息。与之比较，其他大多数传输系统是以传送信号的形状或电平来传送消息的，其参数最容易为传输通道引入的噪声和衰减所影响。因此，比较起来，数字传输有克服噪声环境的固有优点。

在极端情况下，当信噪比很低时，我们可以用冗余码技术。在阿波罗的外层空间飞行上它已成功地用于电视和数据传输。

使用冗余码，信号可以多次重复或延长，并且可以将检出



语音幅值	相对应的二进制码	脉码调制信号
1	0000	
2	0001	
3	0010	
4	0011	
5	0100	
6	0101	
7	0110	
8	0111	
9	1000	
10	1001	
11	1010	
12	1011	
13	1100	
14	1101	
15	1110	
16	1111	

如果上面的模拟信号被量化,并用表中的编码,则传输的PCM信号为:

十进制值: 2, 2, 4, 8, 11, 10, 6

二进制值: 0001, 0001, 0011, 0111, 1010, 1001, 0101

PCM信号:

图 1-1 抽样和编码的过程及PCM信号

信号中产生的单个数字误差忽略。例如，我们已经知道，幅度值可被8位脉冲序列编码，设编为10000000，这里1表示有脉冲，而0表示没有脉冲。噪声的影响要降低接收信号的纯度，例如序列10000000可能被误译为10010000，而事实上它却是代表一个完全不同的幅度值的。在这里，误差是在第四位数字引入的，因为微弱的真正信号和外部噪声在到达接收机后被混淆了。

如果现在将8位数字增加到24位，在这种情况下传输的信号为111,000,000,000,000,000,000,000，就可以很容易地检出^{〔8〕}一位误差，并通过简单的数字处理而把它忽略掉，如图1-2

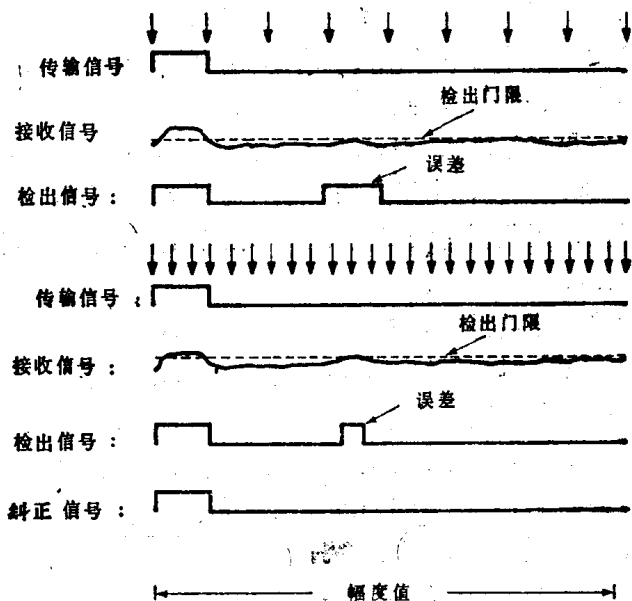


图 1-2 利用冗余码的信号处理

〔8〕注意：如果接收机检出010或101，就产生一个误差。这就能够：(a)检出一个误差，作为误码率的度量；(b)分别纠正为000或111(见图1-2)。

所示。在这个例子中，为了抗干扰，我们增加了传输数字的位数，而没有增加被传信息的量。实际上，采用比这更复杂的纠错系统是很有可能的，这里只是表明数字系统很容易在接收机内部对信号进行纠正。

到目前为止，在讨论中我们假设每个音频信道具有单独的**编码器**（coder），用来把幅度的抽样值变成一组脉冲；并且有单独的**解码器**（decoder），用来完成与编码器相反的工作。在实际工作时并不需要这样，而是24个、30个甚至120个信道共用一个**编码解码器**^[4]（codec，即编码器和与它相应的解码器）。用一个高速电子开关将模拟信号的每个信道轮流接到编码解码器，这个编码解码器有顺序地对幅度值抽样，并将这个值编码变成前述的8位数列。于是，编码解码器的输出可以看作是与信道1、信道2等有关的8位脉冲序列，这种设备叫作**时分多路复用器**（time division multiplexer）（TDM），并可用图1-3来说明。由于这些“字”（即8位序列）在时间上是交织的，因此所用的多路复用的原理叫作**字交织复用**（word interleaving）。

在接收端，分接器将分离的8位数安置到适当的信道。那么读者要问，分接器如何知道是哪一个8位组与信道1、信道2等有关呢？显然，这是很重要的！这个问题可以很容易通过一个规定的**帧结构**（frame format）来解决。在每帧的开始放置一个叫**帧码**（frame code）或叫**同步字**（synchronization word）*的特殊脉冲列，以便识别这帧的开始。分接器检出同步字，从而它就知道接着的一个8位组对应于信道1。而在接收完最后一个信道的信号后，同步字又再一次出现。

[4]12章所讨论的交换系统是用单路编码解码器，而不是这里所说的公用编码解码器。

*又称帧定位字（frame alignment word, FAW）见第8章6.1节一译注。

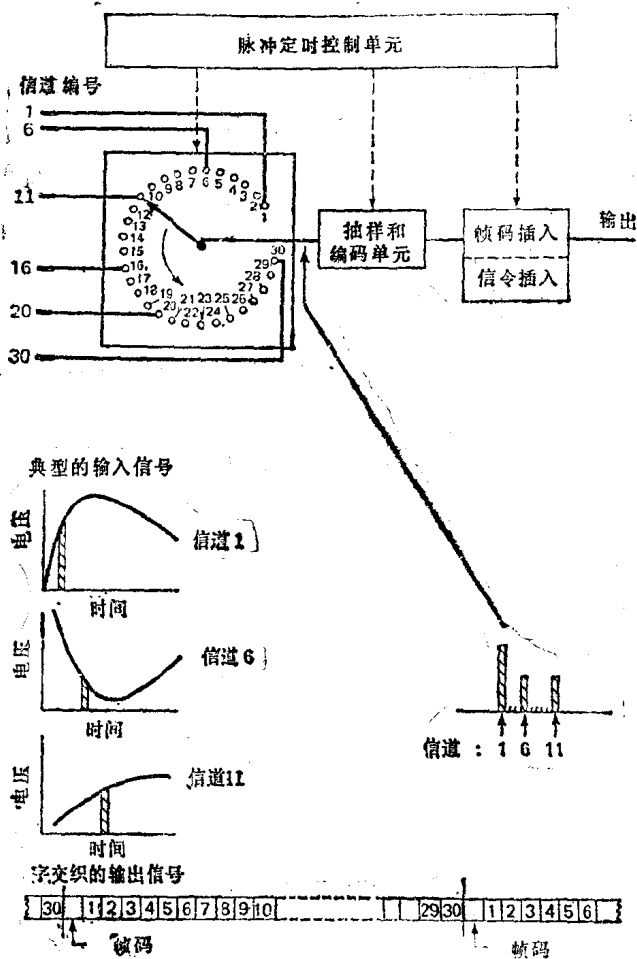


图 1-3 时分多路复用器(TDM)的功能

时分多路复用构成了所有数字通信网的基础，我们将在本书的后面部分讨论。很幸运，因为它的实现是建立在很容易得到的大量生产的数字集成电路的基础上的，所以设备相当便宜。因此，它的使用（甚至在短距离内）在经济上是合算的。

让我们来考虑一下经济方面的理由。在电话通信中需要许多距离为20~50km的链路，如果多路复用设备昂贵，显然，每个音频信道使用单独的电缆将较为经济。这个情况直至最近为止还是这样。因为以前用的**频分复用器(FDM)**是很贵的，所以只有在很长距离使用时才经济。现在多路复用器已不再是很贵的了，目前TDM设备甚至在很短的线路上使用。

自从1939年发表了最初的法国专利以后，在电话网中普遍采用数字传输设备并不快。大部分初期的工作是在美国实现的，在美国的贝尔实验室用真空编码管生产了各种实验系统，这些产品的体积庞大，而且价格昂贵。

廉价的晶体管的使用极大地改变了PCM编码器和TDM多路复用器的经济性。其结果是在1962年美国电话电报公司开始大量生产贝尔T1传输系统。自从引入了廉价的集成电路后，才使得电话网中的数字设备有了稳固的地位。

今天，在美国PCM系统已经广泛使用，英国和日本也一样。此外，许多其他国家和地区，包括比利时、意大利、斯堪的纳维亚和南非，都对他们全国的电话网在数字设备方面花了较多的投资。

很明显，在不久的将来在许多国际线路上将使用数字信号。为此，国际电报电话咨询委员会^{〔5〕}(CCITT)近年已商定了供许多国家PCM网使用的传输系列。

〔5〕这个委员会由成员国的代表组成，它制订国际线路上使用的或有关系的电报电话设备的运用标准，供成员国使用或参考。