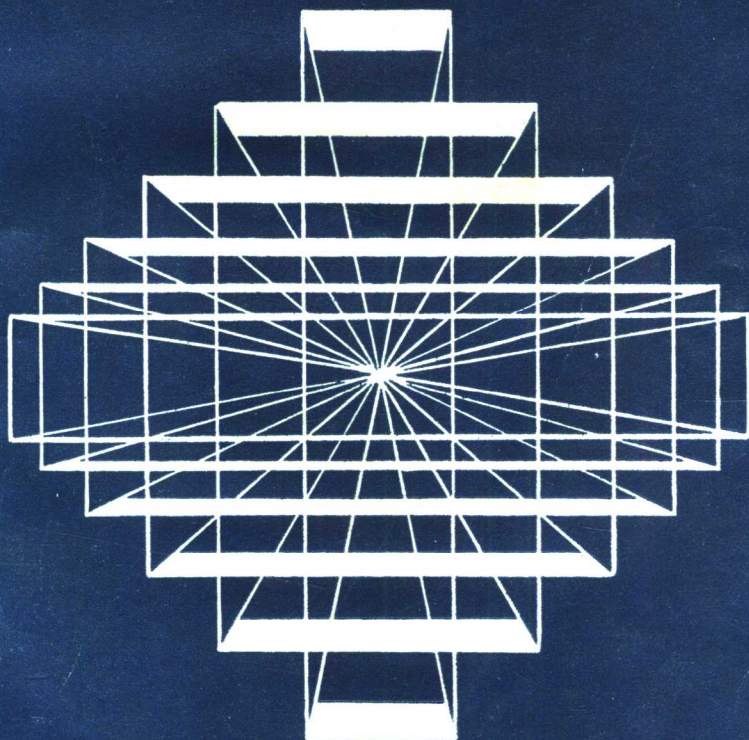


王仲文等 编著

计 算 机

数 据 通 信 基 础

兵器工业出版社



# 计算机数据通信基础

王仲文 薛荣华 曹本富 编

兵器工业出版社

## 内 容 简 介

本书主要论述数据传输、计算机通信及其组网的基本问题。首先讲述了模拟信道中传输数字必须解决的几个问题，即信号波形的形成、调制解调、信道特性及其均衡；接着介绍提高系统传输可靠性的差错控制技术；最后阐明了计算机通信的必要知识，如同步传输和异步传输原理和实现，各种接口标准、通信的协议、计算机组网及交换等。

突出重点，讲究实用，力求全面，始终贯彻计算机和通信技术的结合是本书特点。

本书可供通信和计算机专业科技人员阅读，特别适合作为大专院校通信和计算机专业教材、各种形式的同类专业的培训教材。

### 计算机数据通信基础

王仲文 薛荣华 曹本富 编

责任编辑：张健刚 秦起佑

\*

兵器工业出版社 出版发行

（北京市海淀区车道沟10号）

新华书店总店北京科技发行所经销

振兴印刷厂印装

\*

开本：787×1092 1/32 印张：14 字数：313千字

1989年8月第1版 1989年8月第1次印刷

印数：1—4000 定价：6.50元

ISBN 7-80038-082-3/TP·6

## 前 言

通信是一种传统的技术，计算机是一种现代技术，而人们常说的“信息技术革命”正是这两种技术密切结合的产物。这种结合使得信息的传递处理产生了深刻的变化，对人们的生产活动产生了巨大影响，对提高信息化水平起着巨大的推动作用。

目前我国已配备了大量的微机系统和个人计算机。如何更有效、更经济地使用它们？如何使这些设备互连以及在办公室环境下实现资源的共享，并进一步提高信息管理水平？这些问题已引起通信、计算机、管理界的高度重视。在这样一个环境下，使得通信和计算机已没有明显的学科界线了。谁也说不清楚是通信促进了计算机网络的发展，还是计算机促进了通信的发展。总之，通信技术的应用正在发展，这种发展使得用户能够获得从未有过的服务。这也是计算机的通信能力所作出的重要贡献。

鉴于上述考虑，我们认为需要有一本从通信和计算机紧密结合的角度去叙述通信的一些基本问题的书，以便满足从事计算机和通信两门学科的专业人员以及从事计算机网络和办公自动化人员的需要。

本书的内容是这样安排的：首先考虑目前我国数据通信都是在模拟线路进行的，讲述了信号波形的产生和变换、信道特性及其均衡、调制解调技术及应用之后，接着介绍提高数据传输可靠性的差错控制技术和实现，这是任何一个实际

系统所不可缺少的组成部分；最后论述了计算机通信及组网所需的各种技术，如同步传输和异步传输原理及其实现，计算机通信必须具备的硬件和软件条件，不同设备互连用各种接口的标准和特性，通信所必须遵守的规程协议，计算机组网及交换等问题。

在叙述方法上力图突出重点，讲究实用，始终贯彻通信和计算机结合的思想，尽量做到计算机技术人员和通信技术人员都能受益。

本书对计算机通信的所有基本技术问题都涉及到了，对于想实现点一点计算机通信的人来说是足够了，对于从事网络的人来说还需进一步扩充网路知识。

本书的第一、二、五章由曹本富同志编写，第三、四章由薛荣华同志编写，第六、七、八、九、十章由王仲文同志编写。全书由王仲文同志审校。

通信技术的发展是很快的，要做到和计算机技术的结合，把问题讲清楚也只是一种愿望。由于水平所限，会有许多不当之处，欢迎批评指正。

感谢北京电子专科学校通信教研室全体同志的支持！

编者

1989年2月

# 目 录

|                   |        |
|-------------------|--------|
| 第一章 数字通信          | ( 1 )  |
| 1—1 通信的含意与类型      | ( 1 )  |
| 1—2 各种消息是怎样转化成数字的 | ( 2 )  |
| 1—3 数字通信系统的组成与模型  | ( 7 )  |
| 1—4 数字通信的特点       | ( 16 ) |
| 1—5 数字通信系统的质量指标   | ( 17 ) |
| 一、传输速度            | ( 17 ) |
| 二、差错率             | ( 18 ) |
| 三、可靠度             | ( 20 ) |
| 四、适应性及使用维修性       | ( 21 ) |
| 五、通信建立时间          | ( 21 ) |
| 六、传输的方向性          | ( 21 ) |
| 1—6 信号及其频谱        | ( 23 ) |
| 一、概述              | ( 23 ) |
| 二、借助傅里叶级数对矩形脉冲的分析 | ( 25 ) |
| 1—7 基带传输          | ( 33 ) |
| 一、基带和基带传输         | ( 33 ) |
| 二、基带信号的种类         | ( 34 ) |
| 三、基带信号的直接传输       | ( 38 ) |
| 四、经过波形形成的基带传输     | ( 44 ) |
| 第二章 信道            | ( 54 ) |
| 2—1 信道与干扰情况       | ( 54 ) |
| 一、信道种类            | ( 54 ) |
| 二、信道分类            | ( 55 ) |
| 三、关于干扰            | ( 56 ) |
| 2—2 数据传输线路的结构概要   | ( 57 ) |
| 2—3 频分多路复用        | ( 60 ) |

|     |                      |         |
|-----|----------------------|---------|
| 2—4 | 调幅波的产生原理(变频原理) ..... | ( 62 )  |
| 2—5 | 载波电话的基本原理 .....      | ( 65 )  |
| 一、  | 载波电话的基本电路 .....      | ( 65 )  |
| 二、  | 单边带传输 .....          | ( 66 )  |
| 三、  | 载频抑制单边带传输 .....      | ( 66 )  |
| 四、  | 单路载波电话机方框图 .....     | ( 67 )  |
| 五、  | 三路载波电话机方框图 .....     | ( 69 )  |
| 2—6 | 多路载波电话组成原理 .....     | ( 71 )  |
| 一、  | 分路频带 .....           | ( 72 )  |
| 二、  | 前群频带 .....           | ( 72 )  |
| 三、  | 基群频带 .....           | ( 72 )  |
| 四、  | 超群变频 .....           | ( 72 )  |
| 五、  | 主群频带 .....           | ( 72 )  |
| 六、  | 超主群频带 .....          | ( 75 )  |
| 2—7 | 数据传输的模拟特性 .....      | ( 75 )  |
| 一、  | 噪声 .....             | ( 76 )  |
| 二、  | 线性失真 .....           | ( 78 )  |
| 三、  | 其他损害 .....           | ( 88 )  |
| 2—8 | 数据传输线路的开通和均衡 .....   | ( 92 )  |
| 2—9 | 时分多路复用系统 .....       | ( 95 )  |
| 一、  | 时分复用的基本原理 .....      | ( 95 )  |
| 二、  | PCM30/32路系统帧结构 ..... | ( 97 )  |
| 三、  | 再生中继系统的设立 .....      | ( 100 ) |
| 四、  | 数字多路复接 .....         | ( 100 ) |
| 第三章 | 调制解调器 .....          | ( 104 ) |
| 3—1 | 调制解调器的作用 .....       | ( 104 ) |
| 3—2 | 调制方式的分类 .....        | ( 105 ) |
| 3—3 | 线性调制 .....           | ( 106 ) |
| 一、  | 已调信号的频谱 .....        | ( 107 ) |

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| 二、双边带调幅 (DSBAM) .....        | ( 108 ) |
| 三、双边带抑制载频调制 (DSBSC) .....    | ( 110 ) |
| 四、单边带调制 (SSB) .....          | ( 114 ) |
| 五、残余边带调制 (VSB) .....         | ( 115 ) |
| 六、正交调幅 (QAM) .....           | ( 117 ) |
| 3—4 频率调制 (FM) .....          | ( 121 ) |
| 一、数字调频信号的产生 .....            | ( 121 ) |
| 二、数字调频信号的解调 .....            | ( 124 ) |
| 三、数字调频信号的带宽 .....            | ( 130 ) |
| 3—5 相位调制 (PM) .....          | ( 131 ) |
| 一、二相调制 .....                 | ( 131 ) |
| 二、相对码 .....                  | ( 135 ) |
| 三、二相相对调相 .....               | ( 140 ) |
| 四、四相调制和多相调制 .....            | ( 144 ) |
| 五、四相相对调相 .....               | ( 148 ) |
| 3—6 幅度相位调制 .....             | ( 156 ) |
| 3—7 调制解调器举例 .....            | ( 157 ) |
| 一、调制解调器的种类 .....             | ( 157 ) |
| 二、CCITT有关频带调制解调器的建议和接口 ..... | ( 157 ) |
| 三、STJ300-02型调制解调器 .....      | ( 160 ) |
| 四、STJ-1200型调制解调器 .....       | ( 163 ) |
| 五、STJ-4800型调制解调器 .....       | ( 165 ) |
| 六、V.29调制解调器 .....            | ( 167 ) |
| 第四章 差错控制 .....               | ( 171 ) |
| 4—1 概述 .....                 | ( 171 ) |
| 一、差错控制的必要性 .....             | ( 171 ) |
| 二、差错的类型 .....                | ( 172 ) |
| 三、差错控制的基本方式 .....            | ( 173 ) |
| 4—2 纠(检)错编码的基本原理 .....       | ( 178 ) |

4-3 常用的简单抗干扰编码..... ( 185 )

一、奇偶监督码..... ( 185 )

二、二维奇偶监督码..... ( 186 )

三、恒比码..... ( 187 )

四、群计数码..... ( 188 )

五、重复码..... ( 189 )

4-4 线性分组码..... ( 192 )

一、汉明码..... ( 192 )

二、线性分组码..... ( 195 )

三、循环码..... ( 200 )

第五章 交换系统..... ( 215 )

5-1 概述..... ( 215 )

一、交换系统的类型..... ( 215 )

二、电话通信的基本原理..... ( 215 )

三、电话交换机的制式..... ( 216 )

5-2 交换的概念..... ( 217 )

5-3 交换网络的组成方式..... ( 220 )

5-4 小型存储程序控制电话交换机举例..... ( 223 )

一、技术要求..... ( 223 )

二、交换功能的实现..... ( 224 )

三、交换部分的构成..... ( 228 )

5-5 电话通信网..... ( 237 )

一、市话电话网..... ( 237 )

二、长话通信网..... ( 240 )

5-6 电路交换、信息交换和分组交换的基本特点..... ( 243 )

一、电路交换..... ( 244 )

二、信息交换 ( 存储转发交换 )..... ( 245 )

三、分组交换..... ( 246 )

第六章 计算机数据通信概论..... ( 249 )

|     |                             |         |
|-----|-----------------------------|---------|
| 6-1 | 个人计算机之间的通信                  | ( 249 ) |
| 一、  | 基本组成                        | ( 249 ) |
| 二、  | 计算机数据通信的条件                  | ( 251 ) |
| 6-2 | 在计算机通信中涉及通信的一些基本概念          | ( 254 ) |
| 一、  | 串行传输和并行传输的概念                | ( 254 ) |
| 二、  | 同步传输和异步传输                   | ( 257 ) |
| 三、  | 传输距离与传输速率                   | ( 258 ) |
| 四、  | 接口                          | ( 259 ) |
| 五、  | 信息在导线上的流通方向                 | ( 260 ) |
| 6-3 | 串行异步通信协议和串行同步通信的字符格式        | ( 262 ) |
| 一、  | 串行异步通信                      | ( 262 ) |
| 二、  | 串行同步通信的帧格式                  | ( 268 ) |
| 第七章 | 计算机通信的标准接口                  | ( 270 ) |
| 7-1 | 概述                          | ( 270 ) |
| 一、  | 标准化的必要性                     | ( 270 ) |
| 二、  | 国际标准化组织 ( ISO ) 七层模型        | ( 271 ) |
| 7-2 | RS-232-C标准接口                | ( 273 ) |
| 一、  | RS-232-C机械特性及引线分配           | ( 273 ) |
| 二、  | 接口的电气特性                     | ( 278 ) |
| 三、  | 连接电缆及其驱动电路接法                | ( 280 ) |
| 7-3 | EIA的其它标准                    | ( 282 ) |
| 7-4 | 100系列和200系列接口线              | ( 284 ) |
| 一、  | 100系列接口线                    | ( 284 ) |
| 二、  | 200系列接口线                    | ( 291 ) |
| 第八章 | 串行异步通信的实现                   | ( 299 ) |
| 8-1 | 通用异步接收/发送器 ( UART ) 8250 组件 | ( 299 ) |
| 一、  | 8250组件简介                    | ( 299 ) |
| 二、  | 8250组件实现异步通信规程的编程控制         | ( 302 ) |
| 三、  | 8250组件与CPU的响应方式             | ( 305 ) |

## X

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| 四、PC机之间文件的发送和接收.....                 | ( 309 ) |
| 8-2 串行异步通信适配板简介.....                 | ( 314 ) |
| 8-3 通用异步接收/发送器(UART) 8251A芯片.....    | ( 321 ) |
| 一、8251A的性能和组成.....                   | ( 321 ) |
| 二、8251A的引脚说明.....                    | ( 325 ) |
| 三、8251A的编程.....                      | ( 328 ) |
| 四、8251A的应用.....                      | ( 332 ) |
| 第九章 规程.....                          | ( 333 ) |
| 9-1 BISYNC规程和面向字符的规程.....            | ( 335 ) |
| 9-2 DDCMP规程和面向字节计数的规程.....           | ( 345 ) |
| 9-3 SDLC规程和面向比特的规程.....              | ( 352 ) |
| 9-4 8273可编程序HDL C/SDLC控制器.....       | ( 357 ) |
| 一、8273的硬件.....                       | ( 358 ) |
| 二、8273的命令.....                       | ( 369 ) |
| 三、8273的工作过程.....                     | ( 385 ) |
| 9-5 X.25建议的帧级规程.....                 | ( 390 ) |
| 第十章 计算机通信网.....                      | ( 400 ) |
| 10-1 计算机网络概述.....                    | ( 400 ) |
| 一、计算机网的组成.....                       | ( 400 ) |
| 二、通信处理设备(线路控制器、通信控制器、通信处<br>理机)..... | ( 402 ) |
| 三、主机与网络的接口.....                      | ( 406 ) |
| 四、终端.....                            | ( 408 ) |
| 10-2 通信子网内传输质量和效率的保证措施.....          | ( 409 ) |
| 一、信息交换.....                          | ( 409 ) |
| 二、路径选择.....                          | ( 412 ) |
| 三、流量控制.....                          | ( 414 ) |
| 四、通信网中的信息传递过程.....                   | ( 414 ) |
| 10-3 局部区域网络简介.....                   | ( 416 ) |

|                 |         |
|-----------------|---------|
| 一、总线形局部网 .....  | ( 417 ) |
| 二、环形局部网 .....   | ( 426 ) |
| 三、电路交换局部网 ..... | ( 428 ) |
| 四、局部网络标准 .....  | ( 429 ) |
| 参考文献 .....      | ( 434 ) |

# 第一章 数字通信

## 1—1 通信的含义与类型

在人类社会的一切活动中，总是离不开消息的传递或交换。从一般意义来讲，通信乃是由某一地点向另一地点传递消息。人类社会发展到今天，通信的方式是不胜枚举的。从大的方面讲，有“非电”的通信、“电”的通信和目前正开始应用的比电信更为优越的光通信。

我们的祖先，在生产实践中，为了表达思维意向而创造了语言，进而创造了文字。与此同时，人们曾经利用各种声响（如锣、鼓、爆竹、号角、哨、鸟叫和动物叫等）、物标、烽火、灯光、旗语等方式进行近距离通信；利用信鸽、驿站、烽火台、风筝等方式进行远距离通信。

然而，随着社会生产力的发展，人们对传递消息的要求也越来越高。在各种各样的通信方式中，利用“电”来传递消息的通信方式（即电信）获得了非常广泛地应用。这是由于电通信方式能使消息几乎在任意的通信距离上实现迅速而准确地传递。

电通信中所传递的消息，有各种不同的形式，如符号、文字、语声、音乐、数据、图片、活动画面等等。因而，根据所传递消息的不同，在目前通信业务上可分为电报、电话、传真、数据传输、可视电话等。如果从广义上看，则广播、电视、雷达、导航、遥控、遥测等也可列入通信的范

畴。

为了传递消息，通常必须通过终端设备将消息变为电信号。这样的信号，通常可按其代表消息的参量的取值方式分为两类：一类是模拟信号，又称连续信号，如电话机送话器输出的语言信号，摄像管产生的图象信号，它们的电压（电流）取值为连续的时间函数；另一类是数字信号，又称离散信号，如电报数字和文字、雷达数据、遥控指令等，它们仅可能有有限个离散的取值。通常将传送模拟信号的系统称为模拟通信系统，而将传递数字信号的系统称为数字通信系统。数据通信传递的也是数字信号，但它并不涉及数字信号的来源。数据通信传送的是数据信息（或指令），是人和计算机之间或计算机和计算机之间的通信。数据通信包括数据传输和数据处理系统。它和其它通信方式的不同点是必有计算机参加。数字通信的另一方面是数字化的模拟通信。

### 1—2 各种消息是怎样转化成数字的

现以汉字为例进行说明。众所周知，常用汉字不超过一万个。若用阿拉伯数字对这些汉字进行编号，那么一万个汉字可以用0000至9999这样的数字来代替。而这一万个四位数字组成的数字，实际上只用了十种基本数字，即0至9十个阿拉伯数字。可见，将汉字转化成数字是十分容易的。事实上汉字电报中就应用了这个原理，这是大家所熟悉的。但是通常的电报机并不直接传送十种阿拉伯数字，而只传送二种键控信号，所谓“空号”与“传号”。原来阿拉伯数字并非最简单的数字，最简单的数字只有二个数字，通常记为“1”与“0”。如果用四位“1”与“0”组成一个字，如0001，0010，0011，…，1111，0000等。可以算出，这样

的字共有 $2^4=16$ 种，任意取其中10种即足以代替10种阿拉伯数字，因此任一个汉字又可进一步转化成由四个四位最简单的数字组成的数字来代替。如电报中用阿拉伯数字2053代表汉字的“我”，那么汉字“我”最终转化成这样的最简数字，即

0010      0000      0101      0011

信息源所发出的消息不全是离散的，它们可能是时间的连续函数。例如，最常见的在电话系统中发送的消息是声压的时间函数。但是，因为每次通话的话语不同，所以这些函数是随机函数。把所有这些可能的函数视为整体，就是随机过程。当对着电话机的话筒讲话时，声波被转换为电信号。人们发出的不同音节有不同的音调，所以电话信号不是单一的正弦波，而是包含了许多频率成分，并占据一定的频带。对于广播、传真、电视、模拟遥测等，与电话相似，消息也是一些时间函数，它们也各占据一定的频带。还有许多与这些相类似的消息。这一类消息的共同点，是就某一特定的消息来说，可以认为它是通常的连续函数，所以把这类消息称为连续消息。与此相应，前面所说的与所有语声消息组成的整体对应的随机过程是一个连续信源。广播、传真、电视、心电图、炼钢过程中炉温曲线、模拟遥测或其他类似系统的信源与电话相似，都是连续信源。

从连续信源发送的消息转换过来的是连续信号。连续信号也可以变换为离散信号来传输。图1—1a是某种连续信号的一段。通常把时间原点取在这一段信号的开始，在这一段时间以外的波形没有画出。

对这种连续消息的数字化转换，有好多办法，其中最具有代表性的办法是脉冲编码调制（脉码调制）。下面简单介绍

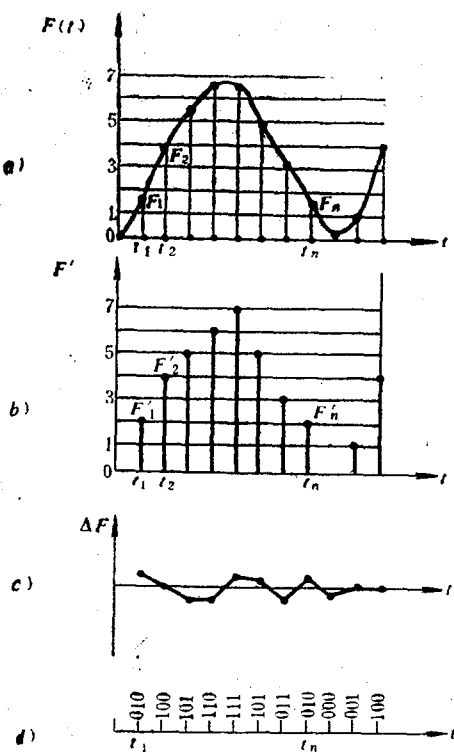


图1—1 连续消息的数字化

a) 取样 b) 量化 c) 量化误差 d) 编码

一下脉码调制的原理。

脉码调制可分为三个步骤，第一步叫“取样”（抽样），第二步叫“量化”，第三步叫“编码”。

什么是“取样”？简单说来，就是在 $F(t)$ 这条连续的曲线上，取出一些“样品”来，如图1—1a中的 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 等，这些样品要取得足够密，以致根据这些“样品”可以用曲线板重新连出原来的曲线来。但究竟要密到什么程度？

定量的来说，有一条定理，叫取样定理，大意如下：

“设随时间变化的连续消息 $F(t)$ ，其变化的最高频率为 $f_m$ ，只要按频率 $f \geq 2f_m$ 进行取样，那么取出的样品序列 $\{F_1, F_2, \dots, F_n, \dots\}$ 足以完全代表 $F(t)$ 。当这个样品序列 $\{F_1, F_2, \dots, F_n, \dots\}$ 通过一个截止频率为 $f_m$ 的理想矩形低通滤波器时，从滤波器的输出就能得到连续消息 $F(t)$ ”。

这个定理告诉我们，一个时间上连续的消息可以用时间上离散的“样品”序列来代替。剩下的问题是这个序列中每一个“样品”可取的值仍然是连续的。

下一步是“量化”。所谓“量化”就是把连续消息 $F(t)$ 的变化范围划分成若干“级”，每一级均由一个数字来代表，“样品”落到哪一级中，它就转换成代表该级的数字。

图1-1a中的各样品 $F_1, F_2, \dots, F_n, \dots$ 经“量化”后，就分别转化为图1-1b中的 $F'_1, F'_2, \dots, F'_n, \dots$ 等。 $F'_1, F'_2, \dots, F'_n$ 等通常均取整数，故“量化”的结果是把“零头”按四舍五入规则消去了。设 $f(t)$ 在 $0 \sim 7\text{ V}$ 范围内变化，如果取量化电平间隔为 $1\text{ V}$ ，因此 $0 \sim 7\text{ V}$ 可分层为 $0, 1, 2, \dots, 7$ 共八个量化级（ $M=8$ ）。根据量化“取整”原则，规定小于 $0.5\text{ V}$ 量化级为0级， $0.5 \sim 1.5\text{ V}$ 量化级为1级， $1.5 \sim 2.5\text{ V}$ 量化级为2级， $\dots$ 大于 $6.5\text{ V}$ 量化为7级。这样，落在 $0 \sim 7\text{ V}$ 范围内的任何取样值都可用 $0, 1, 2, \dots, 7$ 共八个量化级（电平）来表示。

经取样与量化二步后，连续消息已经转化成数字，从原则上说，连续消息的数字化处理已经完成。通常由于量化后得到的数字种类较多，不适于直接传输，所以还有一步叫编码。编码的目的是把量化级的数字代号用最简单的数字“1”与“0”来表示。在本例中，对于八个量化级只需用三位三元码就可以全部表示了，如图1-1d所示。

很明显，量化就相当于在信号原值上加一个很小的正值或负值。也就是说，要带来量化误差。从取样与量化后的脉冲序列 $\{F'_1, F'_2, \dots, F'_n, \dots\}$ 逐个减去仅仅取样后的序列 $\{F_1, F_2, \dots, F_n, \dots\}$ ，就得到量化所引起的误差序列（见图1-1c）。例如，在 $t_1$ ，信号的原值比量化值小，就等