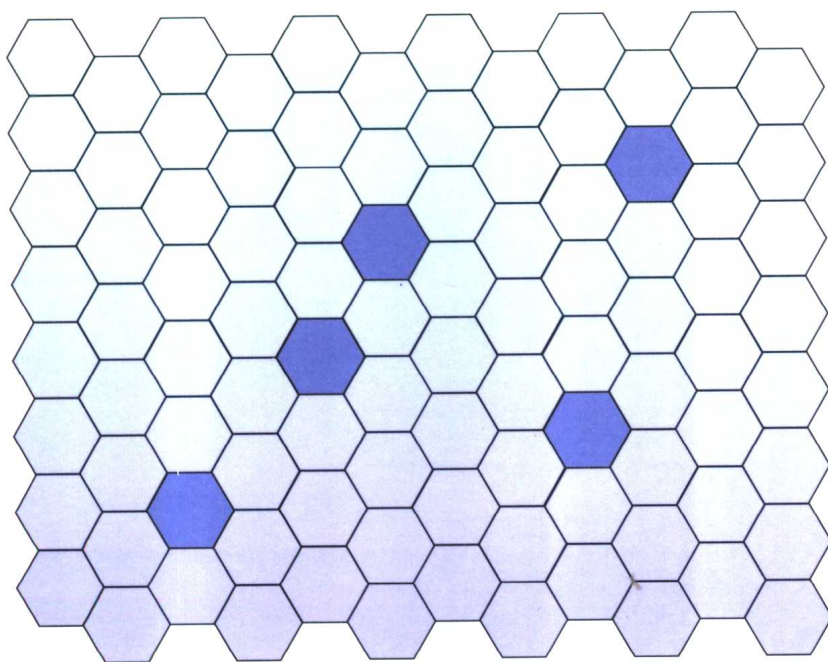
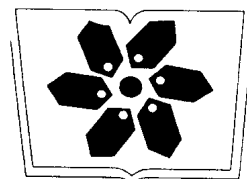


矢量量化 技术及应用

● 孙圣和 陆哲明 著



科学出版社
www.sciencep.com



中国科学院科学出版基金资助出版

矢量量化技术及应用

孙圣和 陆哲明 著

科学出版社

2002

内 容 简 介

本书为关于矢量量化技术及其应用的专著。全书共分9章。首先介绍矢量量化的基本原理,各种矢量量化器的结构、特点和设计方法;然后着重讨论基本矢量量化器的三大关键技术——码书设计、码字搜索和码字索引分配的各种有效算法;最后介绍矢量量化技术在图像压缩、语音编码、语音识别以及数字水印等领域的应用。

本书取材广泛,内容全面、新颖,充分反映了近几年来矢量量化技术的最新研究动态,并包含了作者近两年来的研究成果。本书可供从事计算机通信,数字图像、音频和视频信号处理,模式识别,数字产品版权保护,优化设计等领域的科技人员与教师阅读,也可作为有关专业的研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

矢量量化技术及应用/孙圣和,陆哲明著. —北京:科学出版社,2002
ISBN 7-03-010295-9

I. 矢… II. ①孙…②陆… III. ①矢量-量化-技术-基本知识 ②矢量-量化-技术-应用-图像处理 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 011923 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年5月第 一 版	开本:B5 (720×1000)
2002年5月第一次印刷	印张:30 插页:2
印数:1—2 000	字数:590 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

随着计算机和大规模集成电路的飞速发展,数字信号分析和处理技术得到很大发展,并已经广泛应用于通信、雷达和自动化等领域。数字信号的突出优点是便于传输、存储、交换、加密和处理等。一个模拟信号 $f(t)$,只要它的频带有限并允许一定的失真,往往可以经过采样变成时间离散但幅值连续的采样信号 $f(n)$ 。对于数字系统来说, $f(n)$ 还需经过量化变成时间和幅值均离散的数字信号 $x(n)$ 。通信系统有两大类:一类是传输模拟信号 $f(t)$ 的模拟通信系统;另一类是传输数字信号 $x(n)$ 的数字通信系统。在任何数据传输系统中,人们总是希望只传输所需要的信息并以最小失真或者零失真来接收这些信息。人们常用有效性(传输效率)和可靠性(抗干扰能力)来描述传输系统的性能。与模拟通信系统相比,数字通信系统具有抗干扰能力强,保密性好,可靠性高,便于传输、存储、交换和处理等优点。在数字通信中,码速率高不仅影响传输效率,而且增加了存储和处理的负担。因此,在数字通信中通常对数字信号 $x(n)$ 进行信源编码。

数据压缩是信源编码的目的和手段。从广义上讲,数据压缩就是减少分配给指定消息集合或数据采样集合的信号空间大小。该信号空间可以是物理容积,也可以是时间间隔或带宽。数据压缩的主要目的是为了降低码速率或减少存储空间。数据压缩可分为可逆压缩(冗余度压缩)和不可逆压缩(有损压缩或熵压缩)两大类。熵压缩将导致信息失真,它是不可逆的。若把数据看作信息和冗余度的叠加,冗余度压缩的工作机理就是去除或者减少数据的冗余度,它是一个可逆过程。量化是有损数据压缩中的常用技术,基本上可以分为三种,即标量量化、矢量量化和序列量化。最基本的标量量化每次只量化一个采样,并对所有采样都采用具有相同特性的量化器进行量化,而且每个采样的量化都和其他采样无关。矢量量化和序列量化则利用相邻采样之间的相关性。矢量量化(vector quantization, VQ)在量化时用输出组集合(码书)中最匹配的一组输出值(码字)来代替一组输入采样值(输入矢量),其理论基础是香农的速率失真理论,其基本原理是用码书中与输入矢量最匹配的码字的索引代替输入矢量进行传输和存储,而解码时只需简单的查表操作。矢量量化作为一种有效的有损压缩技术,其突出优点是压缩比大且解码算法简单。矢量量化压缩技术的应用领域非常广阔,如军事部门和气象部门的卫星(或航天飞机)遥感照片的压缩编码和实时传输、雷达图像和军用地图的存储与传输、数字电视和 DVD 的视频压缩、医学图像的压缩与存储、网络化测试数据的压缩和传输、语音编码、图像识别和语音识别等等。

矢量量化技术涉及多种学科领域的理论和技术,如信息论、编码理论、通信原理、保密技术、信号处理、优化理论、模糊集合论、矩阵分析、神经网络、小波变换、视

觉模型、拓扑学、随机概率理论、预测技术和模式识别等等。本书为从事信号压缩的研究人员介绍各种矢量量化器的结构以及矢量量化三大关键技术的研究现状和作者的一些研究成果,目的是推出一本全新的矢量量化著作,使研究人员能够全面了解矢量量化技术,从而推动国内对矢量量化技术的深入研究,为我国的航天事业、军事领域、多媒体产业和网络化测试的发展提供强有力的理论保障。

本书系统地介绍了矢量量化技术理论近 20 年来的发展历程、目前的研究现状和未来的发展趋势,重点介绍了基本矢量量化的三大关键技术,即码书设计、码字搜索和码字索引分配,并开辟了矢量量化技术的新应用方向——数字水印处理。本书共分 9 章。前两章从标量量化技术的介绍入手,引出矢量量化的概念、原理、关键技术和特点,介绍 20 年来学者们提出的各种矢量量化器的基本结构和基本原理。第三章介绍经典的码书设计算法、基于神经网络的矢量量化码书设计算法、基于全局寻优技术的码书设计算法和基于模糊理论的矢量量化码书设计算法。第四章介绍各种快速码字搜索算法,包括基于不等式判据的、基于变换域的、基于金字塔结构的和自适应搜索范围及顺序的等等。第五章介绍 20 世纪 90 年代以来研究的各种码字索引分配算法和 BPSK 调制原理及相应的能量分配码字索引传输算法。第六至第八章分别介绍矢量量化在图像编码、语音编码和语音识别、版权保护领域——数字水印方面的应用。第九章展望了矢量量化的未来发展趋势。

本书借鉴了胡征、杨有为编著的《矢量量化原理与应用》(1988 年)一书的部分内容,参考了 A. Gersho 等著的“Vector Quantization and Signal Compression”(1992 年)一书的部分内容,包含了近几年来各学者提出的算法(参考了 160 余篇文献),其中作者的研究成果(已发表的近 50 篇论文)占绝大部分。与《矢量量化原理与应用》一书相比,本书增加了大量内容,包括各种矢量量化器和码书设计算法、码字搜索算法、码字索引分配算法,以及在数字水印方面的应用等等。与“Vector Quantization and Signal Compression”一书相比,本书的重点放在码书设计算法、码字搜索算法、码字索引分配算法上,且增加了大量的应用实例。本书的最大特点是,首次引入码字索引分配问题和在数字水印方面的应用问题,理论性较强。

本书的第一章和第九章由孙圣和教授执笔,第二至第八章主要由陆哲明副教授执笔,全书由孙圣和教授最终定稿。在本书的撰写过程中得到了自动化测试与控制研究所的教师、博士生和硕士生的帮助,在此表示衷心的感谢。

书中述及的研究工作得到中国航天科技集团公司航天科技创新基金和哈尔滨工业大学科学研究基金资助;本书的出版得到中国科学院科学出版基金和哈尔滨工业大学专著出版基金的资助。

限于水平,书中难免有错误与不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者

2001 年 11 月

于哈尔滨工业大学自动化测试与控制系

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 信号、通信系统、编码和压缩	1
1.1.1 信号的概念	1
1.1.2 数字通信系统	2
1.1.3 编码与压缩的概念	5
1.1.4 压缩的目的	6
1.1.5 压缩方法的分类	7
1.2 标量量化	10
1.2.1 均匀量化	12
1.2.2 压缩与扩张	14
1.2.3 最佳标量量化	16
1.2.4 最佳标量量化器设计算法	18
1.2.5 标量量化器的实现	22
1.3 预测量化	24
1.3.1 差值量化与预测量化	24
1.3.2 差分脉码调制(DPCM)	26
1.3.3 增量调制	28
1.4 矢量量化的基本原理	31
1.4.1 矢量量化概念的引入	31
1.4.2 矢量量化的理论基础	32
1.4.3 矢量量化的定义和基本原理	33
1.4.4 矢量量化器的例子	36
1.4.5 矢量量化器的结构	37
1.5 矢量量化的相关概念	41
1.5.1 矢量量化器的编码速率和比特率	42
1.5.2 失真测度	42
1.5.3 复杂度	47
1.6 矢量量化的关键技术	48
1.6.1 码书设计	48
1.6.2 码字搜索	49

1.6.3 码字索引分配	49
1.7 矢量量化与标量量化的比较	50
第二章 矢量量化器	53
2.1 穷尽搜索矢量量化器	53
2.1.1 穷尽搜索矢量量化器	54
2.1.2 穷尽搜索矢量量化器的复杂度	58
2.1.3 降低复杂度的方案	60
2.2 约束矢量量化器	62
2.2.1 引言	62
2.2.2 树型矢量量化器	63
2.2.3 分类矢量量化器	71
2.2.4 变换域矢量量化器	73
2.2.5 乘积码矢量量化器	78
2.2.6 多级矢量量化器	92
2.2.7 存储量受限矢量量化器	99
2.2.8 分层矢量量化器和多分辨率矢量量化器	101
2.2.9 非线性插值矢量量化器	104
2.2.10 格型矢量量化器和格型码书矢量量化器	106
2.3 预测矢量量化器	116
2.3.1 有记忆矢量量化器的分类	116
2.3.2 预测矢量量化器	117
2.3.3 矢量线性预测器	121
2.3.4 基于经验数据的矢量线性预测器设计	129
2.3.5 矢量非线性预测器	130
2.3.6 预测矢量量化器的设计	133
2.3.7 实际例子	140
2.4 有限状态矢量量化器	142
2.4.1 反馈矢量量化器	142
2.4.2 有限状态矢量量化器	145
2.4.3 状态标签 FSVQ 和转移标签 FSVQ	148
2.4.4 FSVQ 的编解码器设计	151
2.4.5 FSVQ 的状态转移函数设计	153
2.4.6 FSVQ 的应用实例	158
2.5 自适应矢量量化器	161
2.5.1 引言	161
2.5.2 均值自适应矢量量化器	164

2.5.3	增益自适应矢量量化器	166
2.5.4	开关码书自适应矢量量化器	173
2.5.5	多矢量的自适应比特分配	174
2.5.6	地址矢量量化器	179
2.5.7	渐进码字更新	183
2.5.8	自适应码书生成	184
2.5.9	矢量激励编码	185
2.6	变速率矢量量化器	190
2.6.1	变速率编码	190
2.6.2	变维矢量量化器	192
2.6.3	其他变速率矢量量化器	194
2.6.4	删除树型矢量量化器	195
2.6.5	BFOS 算法	199
2.6.6	熵编码矢量量化器	205
2.6.7	贪婪树生成算法	207
2.6.8	比特分配算法	208
第三章	矢量量化码书设计算法	211
3.1	引言	211
3.2	矢量量化器的最优条件	214
3.2.1	最优矢量量化器的必要条件	215
3.2.2	最优条件的充分性	219
3.2.3	最优矢量量化器的一些结论	220
3.3	传统码书设计算法	221
3.3.1	初始码书的生成方法	222
3.3.2	GLA 算法	225
3.3.3	MD 算法	230
3.4	基于神经网络的码书设计算法	231
3.4.1	学习矢量量化码书设计	231
3.4.2	竞争学习矢量量化码书设计	232
3.4.3	自组织特征映射神经网络码书设计	233
3.4.4	仿真实验	236
3.5	随机松弛码书设计算法	238
3.5.1	随机松弛码书设计算法	238
3.5.2	模拟退火码书设计算法	239
3.6	遗传码书设计算法	241
3.6.1	遗传算法	241

3.6.2	基于码书的遗传码书设计算法	242
3.6.3	基于训练矢量划分的遗传码书设计算法	243
3.6.4	遗传退火码书设计算法	244
3.6.5	仿真实验	245
3.7	禁止搜索码书设计算法	247
3.7.1	禁止搜索算法	247
3.7.2	禁止搜索码书设计算法	248
3.7.3	禁止搜索最大下降码书设计算法	249
3.7.4	仿真实验	251
3.8	基于模糊集合理论的码书设计算法	253
3.8.1	模糊 c 均值码书设计算法	253
3.8.2	模糊矢量量化码书设计算法	254
3.8.3	禁止搜索模糊 c 均值码书设计算法	257
3.8.4	仿真实验	258
第四章	矢量量化码字搜索算法	260
4.1	引言	260
4.1.1	码字搜索问题	260
4.1.2	快速码字搜索算法的一般要求	260
4.2	部分失真搜索算法	261
4.2.1	部分失真搜索算法	261
4.2.2	改进的部分失真搜索算法	262
4.2.3	扩展部分失真搜索算法	263
4.3	基于绝对误差不等式的快速码字搜索算法	263
4.3.1	绝对误差不等式删除算法	264
4.3.2	超立方体算法	265
4.3.3	改进的绝对误差不等式删除算法	266
4.3.4	快速最小均方误差编码算法	267
4.4	基于三角不等式的快速码字搜索算法	269
4.4.1	近似与排除搜索算法	269
4.4.2	改进的快速最近邻搜索算法	270
4.4.3	快速穷尽搜索等价编码算法	271
4.4.4	自适应快速码字搜索算法	272
4.5	基于均值不等式的最近邻搜索算法	273
4.5.1	等均值最近邻搜索算法	273
4.5.2	等均值等方差最近邻搜索算法	275
4.6	基于其他不等式的最近邻搜索算法	279

4.6.1	双测试算法	279
4.6.2	三投影算法	280
4.6.3	快速近似搜索算法	281
4.6.4	基于二次型失真测度的快速码字搜索算法	282
4.7	基于变换域的快速码字搜索算法	284
4.7.1	引言	284
4.7.2	基于小波变换的快速码字搜索算法	284
4.7.3	基于哈德码变换的快速码字搜索算法	285
4.8	基于金字塔结构的快速码字搜索算法	286
4.8.1	图像的金字塔数据结构	286
4.8.2	均值金字塔搜索算法	287
4.8.3	小波金字塔搜索算法	288
4.8.4	均值-方差金字塔搜索算法	289
4.9	自适应搜索范围及顺序的快速码字搜索算法	290
4.9.1	子码书搜索算法	291
4.9.2	快速滑动搜索算法	292
4.9.3	自适应搜索范围及顺序的快速码字搜索算法	292
4.10	仿真实验和总结	294
第五章	矢量量化码字索引分配算法	298
5.1	引言	298
5.2	传统码字索引分配算法	299
5.2.1	码字索引分配问题	299
5.2.2	BSA 算法	301
5.2.3	模拟退火码字索引分配算法	302
5.2.4	遗传码字索引分配算法	303
5.3	禁止搜索码字索引分配算法	304
5.3.1	基本算法	304
5.3.2	禁止模拟退火码字索引分配算法	304
5.3.3	仿真实验	305
5.4	基于能量分配的码字索引传输	306
5.4.1	数字通信系统	306
5.4.2	数字信号载波传输的 BPSK 调制方式	307
5.4.3	能量分配码字索引传输算法	310
5.4.4	禁止能量分配码字索引传输	311
5.4.5	仿真实验	312

第六章 矢量量化在图像编码中的应用	313
6.1 图像编码技术概述	313
6.1.1 图像处理技术简介	313
6.1.2 图像编码技术简介	315
6.2 快速相关矢量量化图像编码算法	316
6.2.1 基本相关矢量量化图像编码算法	317
6.2.2 改进相关矢量量化图像编码算法	318
6.2.3 均值匹配相关矢量量化图像编码算法	319
6.2.4 特征值匹配相关矢量量化图像编码算法	321
6.2.5 仿真实验	323
6.3 基于边缘匹配矢量量化的遥感图像编码	324
6.3.1 遥感技术和遥感图像	324
6.3.2 边缘匹配矢量量化编码算法	327
6.3.3 改进的边缘匹配矢量量化编码算法	328
6.3.4 基于方差分类的边缘匹配矢量量化算法	330
6.3.5 基于梯度分类的边缘匹配矢量量化编码算法	335
6.4 矢量量化在块截短图像编码算法中的应用	339
6.4.1 块截短图像编码算法	339
6.4.2 阈值优化的改进块截短图像编码算法	342
6.4.3 位平面编码的改进块截短图像编码算法	345
6.4.4 均值编码的改进块截短图像编码算法	350
6.4.5 矢量量化-块截短编码算法	354
6.5 彩色图像的矢量量化压缩编码算法	358
6.5.1 彩色图像的颜色模型及颜色量化	358
6.5.2 RGB 三色分离的彩色图像矢量量化编码	363
6.5.3 YUV 三色分离的彩色图像矢量量化编码	365
第七章 矢量量化在语音信号处理中的应用	369
7.1 语音信号分析与处理简介	369
7.1.1 语音信号	369
7.1.2 语音信号的时域分析	372
7.1.3 语音信号的频域分析	376
7.1.4 语音信号的同态分析	377
7.1.5 语音信号的线性预测分析	381
7.2 矢量量化在语音编码中的应用	384
7.2.1 语音信号的压缩编码原理	384
7.2.2 语音信号的波形编码	385

7.2.3 语音信号的参数编码	389
7.3 矢量量化在语音识别中的应用	396
7.3.1 语音识别原理	396
7.3.2 基于动态时间规整的语音识别	399
7.3.3 基于矢量量化的语音识别	401
7.4 矢量量化在说话人识别中的应用	403
7.4.1 说话人识别系统的结构和原理	404
7.4.2 基于动态时间规整的说话人识别	406
7.4.3 基于矢量量化的说话人识别	407
第八章 矢量量化在数字图像水印处理中的应用	409
8.1 引言	409
8.2 数字水印技术	410
8.2.1 数字水印定义及分类	410
8.2.2 数字水印系统的基本框架	411
8.2.3 数字水印关键技术	413
8.3 基于 DCT 变换的数字图像水印处理算法	415
8.3.1 DCT 变换	415
8.3.2 数字水印的生成	416
8.3.3 DCT 系数选取	419
8.3.4 私有水印处理算法	421
8.3.5 公有水印处理算法	427
8.4 基于矢量量化的数字图像水印处理算法	432
8.4.1 私有水印处理算法	434
8.4.2 公有水印处理算法	435
8.4.3 仿真实验	436
第九章 总结及未来展望	440
9.1 总结	440
9.2 未来展望	441
9.2.1 矢量量化技术理论的未来展望	442
9.2.2 矢量量化技术应用的未来展望	444
参考文献	446
图版	

第一章 绪 论

1.1 信号、通信系统、编码和压缩

1.1.1 信号的概念

在日常生活中,人们总是不断地借助电话、电视、广播电台、因特网等方式获取或发送信息,其目的是借助一定形式的信号将信息传送出去。古代,中国利用烽火传送边疆警报,希腊人借助火炬位置表示字母符号,这就是最原始的光通信系统。利用击鼓鸣金来报送时刻或传达命令,这就是声信号通信方式。19世纪以来,人们开始采用电信号传送信息,如1837年莫尔斯(F. B. Morse)发明了电报,用点、划、空的适当组合表示数字和字母。1876年贝尔(A. G. Bell)发明了电话,直接将声信号(语音)转变为电信号沿导线传输。19世纪末,赫兹(H. Hertz)等人致力于用电磁波传送无线电信号,从而使电信号的通信方式得到广泛应用和迅速发展。如今,人们可方便地利用电话、寻呼机、移动电话以至卫星和计算机互联网进行语音、图像和数据等各种信号的传输。

在文献中,常常会碰到“信号”和“数据”这两个词^[1]。通常意义上,信号这个词是指大小随时间变化的物理量。从广义上讲,信号是时间或空间变量的函数^[1],其中时间和空间变量的取值可以是连续的或离散的,相应的函数值也可以是连续的或离散的,且函数值可以是标量或矢量。因此,信号既可用来描述一维的语音信号(时间为自变量),也可用来描述二维的图像信号(二维平面坐标为自变量)和三维的视频信号(二维平面坐标和时间均为自变量)。数据有时作为信号的同义词,但通常它是指一个数列或矢量序列,常常认为数据是离散时间信号。但是,近年来,数据这个词在大多数文献中常常与数字信号联系在一起,即离散时间离散幅度的信号。本书中采用信号这个词来描述系统的输入,而用“源”或“信息源”这个词来表示产生信号的装置或设备,它可以是乐器、人的声道、连接至热电偶的仪器波形输出单元、麦克风、调制解调器、计算机终端以及视频摄像机等等。

信号可分为连续时间和离散时间两种^[1,2]。这两种信号关系密切,因为离散时间信号一般来源于连续时间信号的采样。例如,对一个人的声音进行采样时,首先把声波转换为连续的电信号波形,再对其结果进行采样组成一个实数序列。另一方面,信号也可以有连续或离散的幅度。如果一个信号具有连续时间和连续幅度,则可称之为模拟信号,如语音信号。如果一个信号具有离散时间和离散幅度,则称其为数字信号(或狭义上的数据)。早期的电信号传输是模拟信号在模拟通信系统中

进行传输,所有的分析和处理过程都是在模拟信号的条件下进行。随着计算机和大规模集成电路的飞速发展,数字信号的分析 and 处理技术得到很大发展,并已经广泛用于通信、雷达和自动化等领域。数字信号的明显优点是便于传输、存储、交换、加密和处理等。一个模拟信号 $f(t)$, 根据采样定理^[2], 只要它的频带有限, 往往可以经过周期性采样脉冲序列 $p(t)$ 变成时间离散而幅度连续的采样信号 $f(n)$ 。对于数字系统来说, $f(n)$ 还需经过量化变成时间和幅度均离散的数字信号 $x(n)$, 如图 1-1 所示。这种数字信号传输到接收端后采用相应的逆变换就可恢复原模拟信号。用以描述英文字母、数字、标点符号和一些控制符的 ASCII 码序列就是一个数字信号的例子。128 个 ASCII 码字符可用 7 位二进制数来表达; 或用 8 位二进制数表达, 多余的 1 位可作为其余 7 位的奇偶校验位。

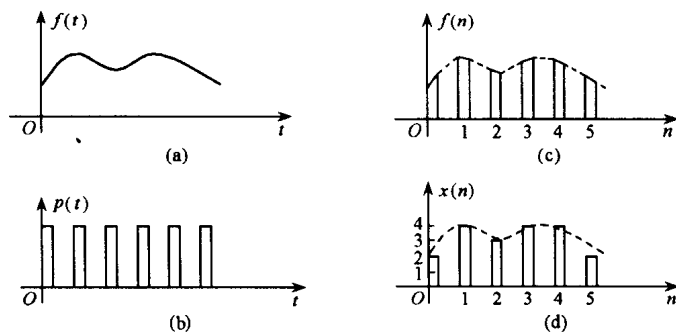


图 1-1 模拟信号 $f(t)$ 到数字信号 $x(n)$ 的转换过程示意图

1.1.2 数字通信系统

信号必须通过一定的系统进行传输或加工处理。在信息科学与技术领域中, 常常利用通信系统、控制系统和计算机系统进行信号的传输、交换和处理。信号的传输和处理通常在通信系统中进行, 它可分为两大类: 一类是传输模拟信号 $f(t)$ 的模拟通信系统; 另一类是传输数字信号 $x(n)$ 的数字通信系统, 其原理框图如图 1-2 所示。下面对数字通信系统中各个部分的基本功能及主要技术问题进行简要说明^[3]。

1. 信道和噪声

信道是指以传输介质为基础的信号通道。具体地说, 它是以有线或无线线路的形式为信号传输提供的一条通道。抽象地说, 它是指允许信号通过的一段频带。信道特性的好坏, 对通信系统及其组成部分的设计具有决定性的影响。信道按传输介质分为有线信道和无线信道。有线信道包括明线、对称电缆、同轴电缆和光纤等。无线信道包括中长波地波传播、短波电离层反射、超短波或微波视距传播(含微波中继和卫星中继)以及各种散射等信道。信道既给信号传输以通道, 又给信号传输以限制与损害。由于各种实际因素, 信道提供的频带总是有限的, 信道本身的特性总

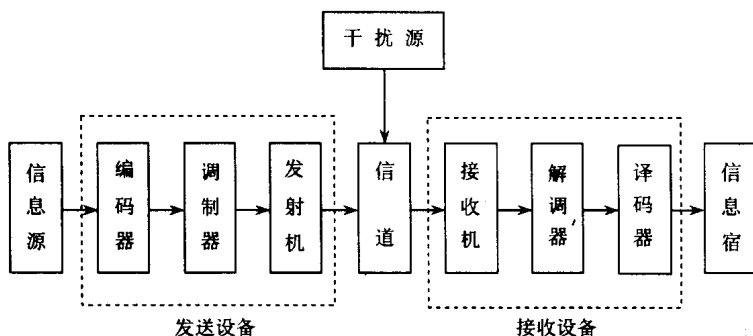


图 1-2 数字通信系统模型

是不完善的。因此,信号通过信道时就会产生失真,信号功率也因信道的损耗而下降。

信号在传输过程中还会受到干扰(或噪声)的损害。这种干扰有来自通信系统以外的,如无线电干扰、宇宙干扰、辐射干扰、工业干扰、邻近电台干扰以及敌方有意的人为干扰等;有来自通信系统本身存在的各种热噪声。为了便于研究和定量计算,人们把所有这些干扰(或噪声)都看成是由一个作用于信道上的等效干扰源产生,并且认为它所产生的干扰是一个双边功率密度谱为常数的白色高斯噪声,简称白噪声。所谓“白色”,是指其功率密度谱为常数,且存在于很宽的频率范围内(理论上为无穷宽);所谓“高斯”,是指其幅度瞬时值的概率密度分布为高斯(即正态)分布,且均值为零。

2. 信息源与信息宿

信息源(简称信源)就是信息产生者,信息宿(简称信宿)就是信息接收者。这两者可以是人,也可以是机器,从而有人与人、人与机器、机器与机器之间的通信。如果信息是非电量的,信息源应将该信息变换成便于通信系统传输的电信号;信息宿除接收信号外,还应将信号还原成信息。这两种变换都必须是一种线性变换,否则还原不出原来的信息。

3. 编码与译码

当信息源的输出是模拟信息信号时,就需要将它变换成数字信号,以便在数字通信系统中传输。这种由模拟信号变换成数字信号的过程称为模/数(A/D)转换,习惯上亦称为脉冲编码调制(PCM),简称编码。完成其功能的器件称为模/数转换器或编码器。将数字信号变换成模拟信号的过程称为数/模(D/A)转换或译码,完成其功能的器件称为数/模转换器或译码器。为了与信道编码器和信道译码器相区别,常常称它们为信源编码器和信源译码器。

4. 调制与解调

编码器输出的信号是数字基带信号(即编码脉冲序列)。若将它直接送至信道中去传输,就称为数字信号的基带传输。基带传输使用有线信道,传输的距离有限。为了进行远距离传输,需要借助于载波(通常为高频振荡正弦波),在调制时将数字基带信号调制到载波上,变为数字载波信号。这种将载波用来运载基带信号的过程称为调制。反过来,从已调载波信号中分离出作为调制信号的原基带信号的过程就称为解调。数字载波信号再通过发射机加至信道上。如果采用的是无线信道,发射机中可能有变频器和功率放大器。前者将载波信号经过频谱搬移,后者将射频信号放大到所要求的功率数值,加至发射天线上,并向空间(即信道)辐射出去。接收天线接收来自信道的微弱的数字射频信号,经过接收机的放大和变频后,输出中频数字载波信号,再经过解调器的解调就得到数字基带信号。最后经过译码器恢复出模拟信息信号,再由信息宿还原成所传输的信息。如果是有线信道,如有线载波通信,调制器输出的载波信号(经过放大器)可直接通过信道传输至解调器,这时就不需要上述含义的收发机及收发天线。这种借助于载波来传输数字基带信号的方式称为数字信号的载波传输。

5. 同步

与模拟通信相比,数字通信具有许多优点,但也有不足。数字通信系统必须包括一个必不可少的同步系统。该同步系统保证收发两端的各种信号同频同相,即同步工作。这种同步通常包括载波同步、位同步、帧同步等。对于模拟通信来说,后两种同步是不需要的,前一种同步是否需要,视解调方法而定。

6. 差错控制

由于通信系统性能不完善,加上内外干扰或噪声的影响,数字信号在传输过程中可能会发生差错,结果导致信息传输质量下降。为把这种差错控制在所允许的范围内,就需要采用一种所谓的“差错控制”技术。纠错编码技术是其中的一种,其实现的相应电路称为纠错编码器(或称信道编码器)和纠错译码器(或称信道译码器)。前者位于信源编码器之后,后者位于信源译码器之前。如图 1-2 所示的数字通信系统模型,在实际应用中因要求和功能不同,其组成框图会发生变化。例如在保密通信中,还要增加“加密器”和“解密器”等。

为了衡量一个通信系统的优劣程度,应当定义一些性能指标。对于数字通信系统来说,常用的性能指标主要有:传输速率、差错概率和功率利用率等。

(1) 传输速率 传输速率是衡量数字通信系统传输能力(有效性)的一个主要指标,常见的有:① 码元传输速率。数字信号是离散的,是由一个码元序列(即脉冲序列)构成的。所谓码元传输速率,是指单位时间(通常为 s)内通信系统所传输的

码元数目(或脉冲数目),记为 R_B ,其单位为波特(Baud)。码元传输速率又称码速率或波特率。② 信息传输速率。消息中含有信息,而信息的多少是用信息量来度量的。信息传输速率是指单位时间内通信系统所传输的信息量,记为 R_b ,其单位是比特/秒(bit/s)。根据信息量的定义,一个二进制码元含有 1bit 的信息量。因此,对于二进制码元,码元传输速率和信息传输速率在数值上是相等的,即 $R_B = R_b$,但它们的含义完全不同,前者是指单位时间内传输的码元数目,而后者是指单位时间内传输的信息量。

(2) 差错概率 差错概率是衡量数字通信系统可靠性的一个重要指标。在通信理论中,差错概率常常是指码元差错概率,即数字通信系统所传输的码元总数目中发生差错的码元数目所占的比值(取统计平均值),记为 P_e 。码元差错概率简称误码率。影响误码率有两个因素,一是通信系统本身不完善,二是各种干扰和噪声的存在。前者的影响,原则上可通过正确地设计加以消除;而后者的影响总是存在的,无法消除。在涉及干扰的影响时,总是把它们等效到信道上,并且把它们看作是一个功率密度谱为常数的白噪声。

(3) 功率利用率与频带利用率 功率利用率是指在一定误码率的条件下,数字通信系统传输每比特信息所需要的最小信号平均功率或最小归一化信噪比 E_b/n_0 (E_b 为每比特信号的平均能量, n_0 为单边噪声功率密度谱)。在误码率相同的条件下,所需要的信噪比越低,功率利用率就越高,通信系统的性能就越好。频带利用率是指数字通信系统在单位频带内所允许传输的最大信息速率。在频带宽度相同的条件下,所允许传输的最大信息速率越高,频带的利用率就越高,通信系统的性能就越好。

与模拟通信系统相比,数字通信系统具有抗干扰能力强,保密性好,便于传输、存储、交换和处理等优点。但是,在数字通信中,码速率高不仅影响传输效率,而且增加了存储和处理的负担。因此,在数字通信中通常要对数字信号 $x(n)$ 进行进一步压缩(模拟信号 $f(t)$ 到数字信号 $x(n)$ 的量化过程也是一种压缩过程),这个过程也是信源编码的一部分。为提高数字通信系统的可靠性(抗干扰能力),往往要对待传送的码元进行信道编码。

1.1.3 编码与压缩的概念

信号通常必须在诸如调制解调器和包交换网这样的数字通信信道上传输,或在诸如标准计算机内存或音频光盘这样的数字信道上存储。然而,原始信号可能是模拟量,或虽然是数字量却不符合给定信道的传输或存储格式,比如要在一个二进制信道中传输或存储八进制数据,在一个数字信道中传输模拟语音信号,或在一个信道容量为 9.6kbit/s 的信道上传输一个数据率为 64kbit/s 的数字化语音信号。在这些情况下,必须把原始信号转换为适合在信道中传输的格式,这个过程称为“信源编码”。把源符号集转换成另一个符号集的特定方案、规则或映射称为编码