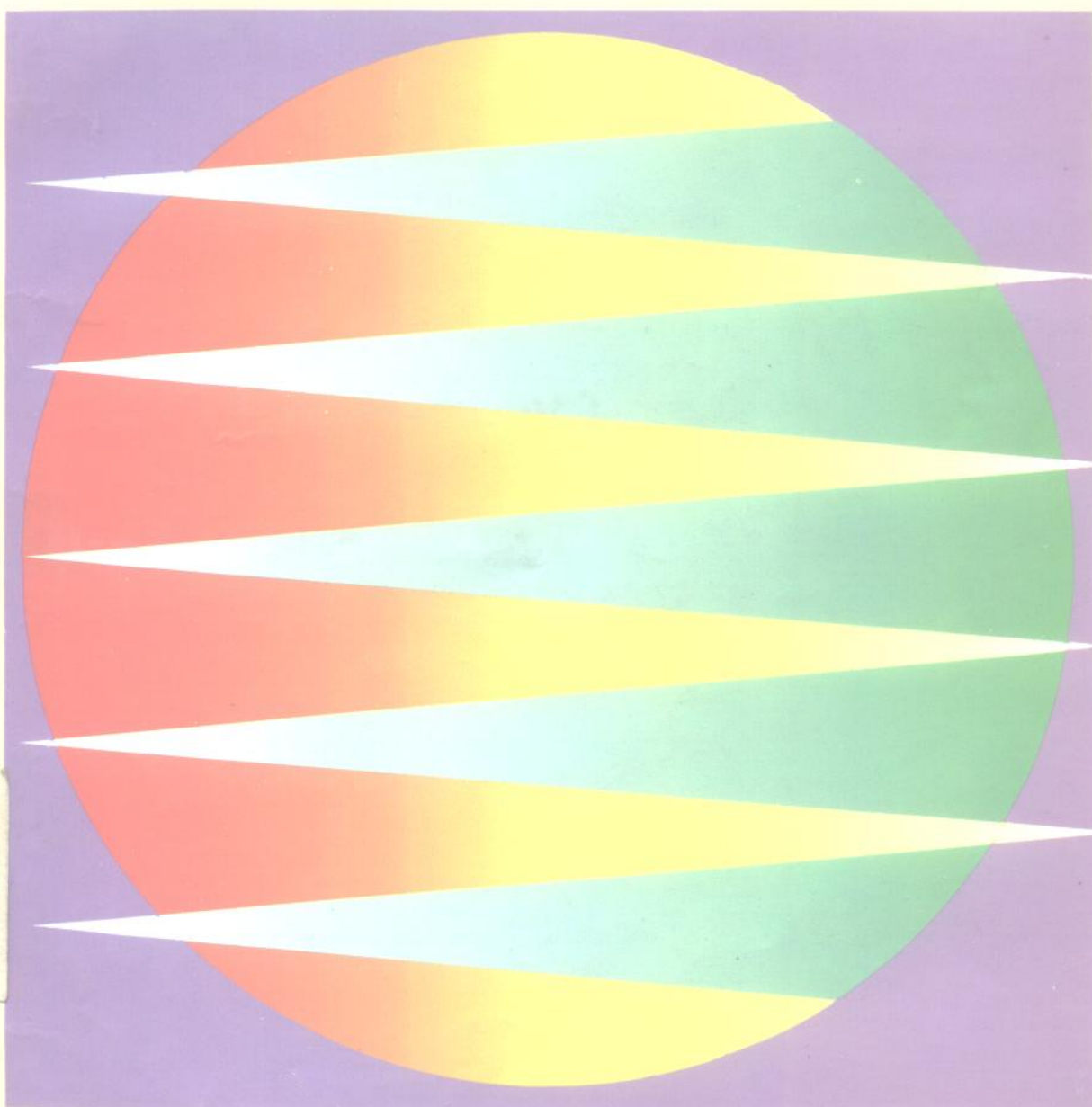


数字通信——原理、技术及其应用

数字通信

—原理、技术及其应用

郭世满 叶奕和 钱德馨 编著



4615

548

电出版社

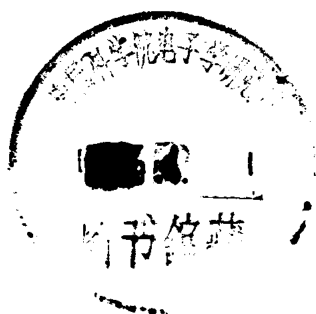
人民邮电出版社

73.4616
542

数 字 通 信

——原理、技术及其应用

郭世满 叶奕和 钱德馨 编著



人 民 邮 电 出 版 社

9510063

数字

登记证号(京)143号

图书在版编目(CIP)数据

数字通信—原理、技术及其应用/郭世满主编. —北京:人民邮电出版社,1994.12

ISBN 7-115-05411-8

I. 数… II. 郭… III. ①数字通信系统-理论②数字通信系统-技术③数字通信系统-应用
IV. TN914.3

内 容 提 要

本书的内容主要包括语声信号波形编码技术中的 PCM、ADPCM……;同步、准同步复接和塞入抖动分析;数字数据传输和统计复用;同步数字系列(SDH)的映射、指针定位与复用原理,以及网络管理和应用;基带传输中的信号设计、部分响应编码、自适应均衡和传输质量分析;数字通信和光纤通信中的主要线路码型、电路实现方案以及误码检测方法;对 MPSK、QAM、MSK 等几种实用的数字调制技术的分析;数字通信中载波跟踪、位和帧等三种同步方式;纠错编码中的线性分组码、循环码和卷积码的构造原理及其应用。最后还介绍了数字传输系统的设计和通信网发展中的新技术;回波抵消(EC)技术、时间压缩复用(TCM)技术、线路集中和数字话音插空(DSI)技术以及 ISDN 中的基本问题。

本书的内容既适应了当前通信发展的现状,又反映了发展方向上的最新进展,在写法上注意到深入浅出,理论联系实际,因此适合于从事通信设备的开发、设计与维护的工程技术人员阅读,对通信类大专院校的广大师生也极有参考价值。

数字通信——原理、技术及其应用

郭世满 叶奕和 钱德馨 编著

责任编辑:覃春林

*

人民邮电出版社出版发行

北京市朝内大街南竹杆胡同 111 号

中国铁道出版社印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本:787×1092 1/16 1994 年 12 月第一版

印张:25.75 1994 年 12 月 北京第 1 次印刷

字数:644 千字 印数:1—3 500 册

ISBN 7-115-05411-8/TN·793

定价:22.50 元

0000122

前 言

数字通信已成为现代信息传输的重要手段,使用电缆、光缆等有线信道,以及微波、卫星、移动通信等无线信道的数字传输,把数字交换、数字终端相联结,构成数字通信网,最终将形成综合业务数字网(ISDN),因此,可以说,数字通信已成为现代通信的基础技术之一。

本书以数字通信系统为主线,从实际的需要出发,对这个领域的主要技术进行了广泛而深入的分析和介绍,既适应了当前通信的高速发展,又反映了发展方向上的许多最新进展。

本书内容共分九章:

第一章 概论 对数字通信系统的组成、各部分之间的内在联系等作了论述,重点是建立数字通信系统的整体概念。

第二章 语声信号的波形编码 这是模拟信号数字化最常用的方法,主要有脉冲编码调制(PCM)、自适应差分脉码调制(ADPCM),对于子带编码(SBC)、矢量量化(VQ)以及单片编解码器及其应用也作了介绍,最后还给出了ADPCM的计算机模拟结果。

第三章 数字复接技术 包括PCM一次群的同步复接,二、三、四次群的准同步复接,分析了正码速调整原理,它所引起的塞入抖动及其抑制方法。还介绍了PCM信道的数字数据传输(X.50、X.51)和统计复用原理。同步数字系列(SDH)是新一代的传输体制,它面向全球通信,对未来通信网的构成和发展将产生深远的影响,在本章中对此作了较系统的介绍。

第四章 基带传输系统 主要包括波形形成的信号设计,控制信号频谱特性的部分响应编码,改善信道特性的自适应均衡等,并以再生中继器为例,分析了系统的传输质量(误码与抖动),最后,给出了部分响应编码的计算机模拟结果。

第五章 线路编码 分析了二元气码、二元分组码、三元码及多元码的编码方法;主要有数字通信中的HDB₃、AMI码,光纤通信中的CMI、mBnB码(8B1C、4B1H、5B6B、1B1H等)以及用户环路中的2B1Q、4B3T和双相码,给出了几种主要码型的电路实现方案,并介绍了线路码的主要参数和误码检测方法。

第六章 数字调制技术 在二元调制的基础上,分析了多元移相键控(MPSK),正交调幅(QAM)和最小频移键控(MSK)等实用数字调制技术,并对各种方案进行了比较。

第七章 同步 介绍了不同调制信号的载波跟踪方法,分析了位同步中的自同步和外同步法,在帧同步中,介绍了PCM中常用的帧同步电路原理,分析了它的主要参数,并进行了性能分析。

第八章 差错控制编码 这是提高数字信号传输可靠性的有效方法之一,本章主要分析了线性分组码、循环码、卷积码的构造原理及其应用,还介绍了检错重传和网格编码。

第九章 数字传输系统和若干新技术 首先介绍了数字传输系统(组成、假想参考电路、系统指标等),并以光纤通信为例介绍了系统设计问题;其次,介绍了提高传输效率的数字话音插空(DSI)、线路集中、时间压缩复用(TCM)和回波抵消(EC)技术,用户环路系统中二线双向传输技术;最后介绍的是综合业务数字网(ISDN)中的基本问题,通过SDH传输B-ISDN中异步

转移模式(ATM)信元的问题。

本书在内容上紧密地结合我国数字通信的现状和未来的发展,在写法上既注意到了分析的系统性,又深入浅出,理论联系实际,因此,它不仅适合于从事通信设备开发、设计和维护的广大工程技术人员阅读,而且对通信类大专院校的广大师生也极有参考价值。

我们认为,阅读本书的读者,应具有电子电路和通信等方面的基础知识,初学者可把重点放在掌握基本概念、内容和分析方法上,可以先略去打※号的内容,而对于已经具备通信专业知识的读者,则可把重点放在新的内容上,如 ADPCM、SBC、VQ、SDH、MSK 和帧同步的分析等以及第九章的内容,例如:系统指标,指标分配和系统设计,DSI、TCM、EC、ISDN 等。每章之后均附有习题和思考题,以便于读者自己检查对内容的理解、掌握的情况。

郭世满教授编写了本书的第一、二、三、五、六、七、九章。第四章和第八章分别由钱德馨、叶奕和副教授编写,全书由郭世满教授主编和审定。

要说明的是:本书是我们多年来在科研、教学工作中,不断地总结、充实和提高,不断积累的结果,在此谨向在本书编写过程中,曾经给予我们支持的马诗英副教授以及林建中、曹士珂、孙庆萍、宋四海等同志致以衷心的感谢。

编著者

1994.3 于南京邮电学院

目 录

第一章 概论	1
1.1 信息与信息量	1
1.2 数字与模拟通信	2
1.3 数字通信系统	3
1.4 数字通信系统的有效与可靠性表示	5
习题与思考题	6
第二章 语声信号的波形编码	7
2.1 概述	7
2.2 脉冲编码调制	8
2.2.1 抽样——时间量化	8
2.2.2 带通型信号抽样	9
2.3 幅度量化	11
2.3.1 量化噪声	13
2.3.2 均匀量化的信噪比	16
2.3.3 对数压缩—— μ 律和 A 律	19
2.3.4 分段量化——A 律 13 折线压缩律	23
2.3.5 A 律特性的量化信噪比	24
2.4 编码	27
2.4.1 概述	27
2.4.2 逐次反馈编码原理	29
2.4.3 逐次反馈编码器	30
2.4.4 单片 PCM 编解码器	33
※2.5 自适应差分脉码调制的原理及其算法	36
2.5.1 差值脉码调制	37
2.5.2 量化的自适应	41
2.5.3 预测的自适应	45
2.5.4 32kbit/s ADPCM 编解码系统	49
2.5.5 60 路 PCM-ADPCM 变换编码终端的帧结构	52
2.5.6 ADPCM 的计算机模拟结果	54
2.6 增量调制	56
2.6.1 线性增量调制	56
2.6.2 自适应增量调制	57

2.6.3 单片集成化增量调制	60
※2.7 子带编码	62
2.7.1 基本工作原理	62
2.7.2 主要参数的选择	63
※2.8 矢量量化技术	64
2.8.1 矢量量化的基本原理	65
2.8.2 矢量量化器的数学描述	65
2.8.3 失真测度	66
2.8.4 最佳量化器的必要条件	68
2.8.5 码书生成算法	68
2.8.6 搜索算法	69
习题与思考题	70
第三章 数字复接原理	72
3.1 概述	72
3.2 同步时分复用	75
3.2.1 多路复用的基本原理	75
3.2.2 TDM 的码元排列	76
3.2.3 同步复用的帧格式	77
3.2.4 实际的一次群 PCM 系统	77
3.2.5 子群系统	81
3.2.6 循环冗余校验方式及其应用	82
3.3 异步信号的同步化方法	83
3.4 码速调整原理	84
3.4.1 复接器与分接器的组成	85
3.4.2 帧结构	86
3.4.3 正/负调整	87
3.4.4 帧结构变换	89
3.4.5 CCITT G.742 建议的二次群准同步复接系统	92
※3.5 塞入抖动分析	96
3.5.1 正码速调整过程分析	96
3.5.2 候时抖动的分析与计算	100
3.5.3 减小候时抖动的几种方法	103
3.6 数字数据传输系统	107
3.6.1 概述	107
3.6.2 系统构成	108
3.6.3 数据复用方式	109
3.7 统计时分多路复用器	110
3.7.1 基本概念	110
3.7.2 性能	112

3.8 同步数字系列	114
3.8.1 概述	114
3.8.2 SDH 的复用原理	115
3.8.3 SDH 的接口结构	117
3.8.4 同步复用和映射方法	119
※ 3.8.5 SDH 网络管理与应用等方面问题的几点说明	127
习题与思考题	131
 第四章 数字信号的基带传输	133
4.0 概述	133
4.1 基带波形的形成	133
4.1.1 理想低通滤波器的波形形成	134
4.1.2 滤波器幅度特性的滚降	135
4.2 部分响应	136
4.2.1 第一类部分响应编码	136
4.2.2 第四类部分响应编码	138
4.2.3 部分响应一般原理	139
4.2.4 模拟及软件使用方法	141
4.3 时域均衡原理	143
4.3.1 横向滤波器的基本结构	143
4.3.2 峰值失真准则和迫零算法	144
※ 4.3.3 均方误差准则和均方误差算法	148
4.4 基带传输系统举例	148
4.4.1 均衡放大	149
4.4.2 时钟提取	151
4.4.3 识别和再生	151
4.5 传输系统的性能分析	152
4.5.1 信噪比和误码率	152
4.5.2 码间干扰和眼图	155
4.5.3 传输抖动特性	157
※ 4.6 传输对 PCM 通信质量的影响	160
4.6.1 脉冲抖动对 PCM 通信质量的影响	160
4.6.2 信道误码对 PCM 通信的影响	161
习题与思考题	162
 第五章 线路编码	164
5.1 概述	164
5.2 二元码	165
5.2.1 CMI 码	165
5.2.2 DMI 码	166

5.2.3 Miller 码	166
5.2.4 双相码与 2B1Q 码	167
5.3 二元分组码	168
5.3.1 mBnB 码	168
5.3.2 mB1C 码	175
5.4 三元码	178
5.4.1 AMI 码	178
5.4.2 HDB _n 码	179
5.5 mBnT 码	179
5.6 线路码的主要参数	183
5.6.1 编码效率与冗余度	183
5.6.2 运行数字和及其变化	184
5.6.3 误码增殖系数	185
※5.7 编译码器	185
5.7.1 码表存储法	185
5.7.2 布线逻辑(组合逻辑)法	186
5.7.3 缓存插入码法	188
5.7.4 HDB ₃ 码编解码器	189
※5.8 误码检测方法	192
习题与思考题	196
附录 随机序列功率谱计算	198
 第六章 数字调制技术	 205
6.1 概述	205
6.2 数字调制的一般问题	206
6.2.1 二进制数字调制	206
6.2.2 键控信号的等效基带法	212
6.3 多相移相键控	215
6.3.1 四相相移键控	215
6.3.2 八相 PSK	218
6.3.3 QPSK 与 8PSK 的带宽估计	221
6.3.4 实际的技术问题	224
6.3.5 多相移相键控信号的功率谱密度	227
6.4 偏移四相相移键控	229
6.5 正交振幅调制	232
6.5.1 8QAM 与 16QAM	232
6.5.2 QAM 的调制与解调方法	236
※ 6.5.3 部分响应正交幅度键控	239
6.5.4 正交幅度键控信号的功率谱密度	242
※6.6 最小频移键控	243

6.7 其他恒包络调制	251
※6.8 各种调制系统的误比特率	255
6.8.1 移相键控的误比特率	255
6.8.2 差分运算的差错扩散	256
6.8.3 正交幅度键控系统的误比特率	258
6.8.4 最小移频键控的相干检测和误码性能	259
6.9 各种数字调制的比较	260
习题与思考题	263

第七章 同步	264
7.1 概述	264
7.2 载波同步	264
7.2.1 锁相环的一些基本概念	265
7.2.2 多相移相键控信号的载波跟踪	268
7.2.3 多电平正交移幅键控信号的载波跟踪	273
7.2.4 基带数字处理载波跟踪环	274
7.2.5 插入导频法	276
7.2.6 相干载波相位误差的影响	279
7.3 位同步	280
7.3.1 位同步的性能指标	280
7.3.2 实现位同步的方法	281
7.4 帧同步	288
7.4.1 概述	288
7.4.2 帧同步码的选择	290
7.4.3 PCM 一次群的帧同步电路	293
7.4.4 帧同步系统性能的近似分析	299
习题与思考题	307

第八章 差错控制编码	309
8.1 概述	309
8.1.1 编码的理由	309
8.1.2 差错控制方式	310
8.2 纠错编码的原理与分类	311
8.2.1 纠错编码的基本原理	311
8.2.2 常用的检错码	312
8.3 线性分组码	312
8.3.1 线性分组码的基本概念	313
8.3.2 校验矩阵与生成矩阵	314
8.3.3 汉明码	318
8.4 循环码	319

8.4.1 循环码的基本概念	319
8.4.2 循环码的生成多项式和生成矩阵	321
8.4.3 循环码的编码器	323
8.4.4 循环码的译码器	325
8.5 卷积码	328
8.5.1 卷积码的基本概念	328
8.5.2 树图、状态图和距离	331
8.5.3 卷积码的最佳译码——维特比算法	332
8.6 自动请求重传	335
8.6.1 发送等候 ARQ 方式	335
8.6.2 退 N 步 ARQ 方式(连续 ARQ)	336
8.6.3 选择重传 ARQ 方式	337
8.7 编码与调制合一技术——网格编码调制	337
习题与思考题	341
第九章 数字传输系统和若干新技术	343
9.1 数字传输系统	343
9.1.1 系统组成	343
9.1.2 系统设计应考虑的问题	346
9.1.3 假想参考数字链路和假想参考数字段	348
9.1.4 系统的性能参数及指标	350
9.2 提高传输效率的几种主要技术	358
9.2.1 回波抵消	359
9.2.2 时间压缩复用	363
9.2.3 线路集中	364
9.2.4 数字话音插空	367
9.3 数字用户环路	371
9.3.1 概述	371
9.3.2 系统构成	372
9.3.3 时分复用方案	372
9.3.4 自适应数字混合方案	373
9.3.5 ISDN 用户环路实现框图	375
9.3.6 光纤数字化的用户系统	377
9.3.7 MC145472 在 U 接口倍增系统中的应用	380
9.4 综合业务数字网	390
9.4.1 概述	390
9.4.2 ISDN 的国际标准化工作	392
9.4.3 功能结构模型	392
9.4.4 ISDN 用户—网络接口	393
9.4.5 宽带 ISDN	396

习题与思考题.....	399
参考文献.....	400

第一章 概 论

通信是指人与人,人与机器之间信息的变换。各种通信系统都可归纳为图 1.0.1 所示的统一模型。图 1.0.1 的始端是信息源,它发出的消息,通过变换器变为适合在信道中传输的信号,经过信道传输到对方的信号由反变换器变为消息,送给受信者(也称信宿)。

图 1.0.1 中信息源所发出的消息,可有多种形式,如语言、文字、数据、图像等。传输信道也有多种,如明线、电缆、光缆等有线信道;长波、短波、微波等无线信道。一般来说,在电通信中消息通过变换器变换为

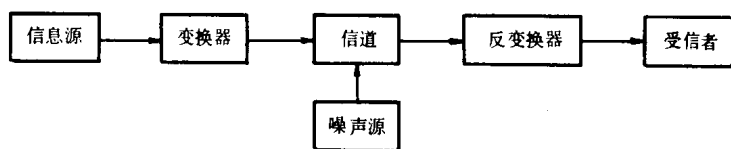


图 1.0.1 通信系统模型

电信号,而在光通信中则变换为光信号。框图中的噪声源是电子设备产生的热噪声或信道受电磁感应而形成的干扰。

1.1 信息与信息量

为了解决如何才能无浪费地准确地传输信息,信息论定量地研究了消息的信息量,信道传输信息的能力和编码等问题,从而为有效地可靠地传输信息指明了方向。

直观来说,信息的定量估计与不确定性是紧密相连的,解除了不确定性就获得了信息。用统计学的术语来说,出现概率小的事件信息量多。即概率小——信息量大,信息量应是关于概率的单调递减函数。

表达消息里含有多少信息量的基本公式是:

$$I = \log_2 \frac{1}{P} = -\log_2 P \quad (1.1-1)$$

式中 P 是消息发生的概率,信息量的单位是比特。由这个公式看出信息量是消息出现概率的单调递减函数。经过大量实践工作,证明这样定义信息量是合理的,可以用这个方法来确定各种消息里含有的信息量。

一般来说,信源里各消息的输出概率并不一样,由式(1.1-1)可知,各个消息所含信息量是不同的。例如一个信源以概率 $P_1, P_2 \dots P_n$ 发出 n 个消息,且每一消息的出现是相互独立的,则其平均信息量 H 由各消息的信息量的加权求和得到:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i \quad (1.1-2)$$

H 称为熵。

当信源的消息均为等概率出现时,信源提供最大熵,用 $H_{\max}$ 表示。

我们把式(1.1—3)定义为信源信息的冗余

$$\frac{H_{\max} - H}{H_{\max}} = 1 - \frac{H}{H_{\max}} \quad (1.1-3)$$

只要信源的消息不是等概率分布,则由于冗余的存在,数据就可能进行压缩,即改变原有的概率分布,使之逼近或达到等概率分布,使 $H \rightarrow H_{\max}$ 。

信源发出的消息是以信号的方式通过某种传输媒介(信道)向远方传送,单位时间通过信道的平均信息量称为传输速率 R

$$R = \frac{H}{T} \text{ (bit/s)} \quad (1.1-4)$$

当信源熵 $H \rightarrow H_{\max}$,则此时信道的传输速率最大为 $R_{\max}$

$$R_{\max} = \frac{H_{\max}}{T} \quad (1.1-5)$$

$R_{\max}$ 定义为信道容量 C ,它就是信道的极限传输能力。信息论已证明,在高斯白噪声的条件下,信道容量的表达式为:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1.1-6)$$

式中 B 是信道的传输频带, S 是信号的功率, N 是噪声的功率。

上式说明一个给定的信道容量既可以用减小发送的信号功率而同时增加带宽的办法,也可以用减小带宽同时增加信号功率的办法达到。这就是说,信道容量可以通过带宽与信噪比的互换而保持不变。

1.2 数字与模拟通信

根据信道中传送信号的类型,通常分为模拟通信系统和数字通信系统两类。前者在信道中传送模拟信号,而后者在信道中传送数字信号。

对于数字通信,根据信源发出的携带消息的信号类型大致可以分成数据通信和模拟信号数字化传输两大类。前者的典型例子是计算机通信,后者是数字电话通信。当前许多现代设计目标是综合语音、数据、可视信号的传输,所以我们把两者统称为“数字通信”。

数字通信与模拟通信比较,无论是传输质量上还是技术、经济上都有其显著优点。

1. 抗干扰能力强

数字通信以数字的形式传输信息,因为是仅有有限个电平数(一般为 0、1 或 +1、-1)的一串脉冲,所以沿通信线路传输时,利用再生技术,可明显地降低干扰和失真对传输质量的影响。

2. 传输质量与通信线路长度无关

信号通过信道远距离传输时,其传输衰耗和损伤会达到不可接收的程度。如图 1.2.1 所示,在模拟通信中,采用有均衡调节功能的线性放大器组成的增音机,这时信号和噪声同时放大,其噪声和失真的累积是随距离增加的,因此传输距离受到了限制,而数字信号在传输过程中可以通过再生消除传输中的噪声和失真的任何影响,因此在数字传输系统中,传输质量与通信线路的长度、再生器的数目以及网络拓扑无关。

3. 建立数字通信网的可能性

终端、交换和传输系统是构成通信网的三个主要部分,而数字传输系统是连接终端机和数

字交换机的桥梁,可以在纯数字的基础上,实现综合通信网。在这个网中,信号的传输、转接和交换都以数字的形式进行。通路参数与通信网的构成无关,所以有可能建立更灵活的高可靠性的分支数字网。在数字网中,通路的构成和交换用同一种型号的设备,可以提高通信网的经济效益。

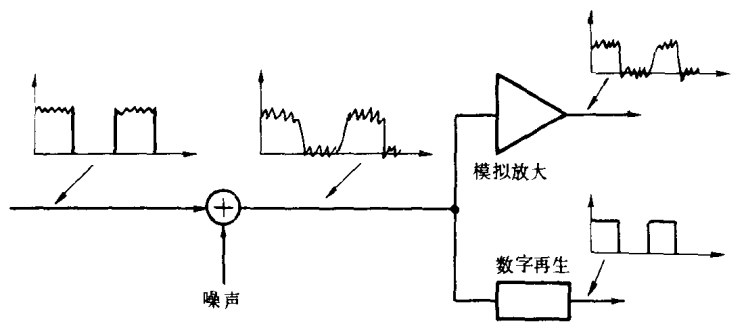


图 1.2.1 模拟放大与数字再生的比较示意图

4. 有高的技术指标

数字通信可以采用纠错编码技术进一步提高传输的可靠性。

5. 经济性

数字通信系统中各种数字设备,可以充分利用 VLSI 来实现,使设备体积小、功耗低、价格低廉、可靠性提高。

6. 便于加密处理

数字通信的主要缺点是占用频带宽。例如,一路模拟电话只占 4kHz 带宽,而一路数字电话可能要占据约 20~60kHz 的带宽。在系统频带紧张的场合,这一缺点往往限制了数字通信的使用,但是随着社会生产的发展对通信的速率、容量、可靠性、保密性以及计算机配合使用等要求越来越高,故往往宁可牺牲频带而采用数字通信。而近几年来宽带线路(如光缆)的开发,频带压缩技术的发展,使频带紧张的问题并不显得突出。所以数字通信是现代通信发展的趋势,并日益增加在通信系统中的支配地位。

1.3 数字通信系统

一个完整的数字通信系统可以图 1.3.1 的框图表示。

信息源可以是数据终端,如纸带读出机、电传机或存储在磁带或磁盘上的数据,称数字信源,也可能是语声、图像等模拟信源。

在数字通信中,信源编码包含模拟信号的数字化和信源压缩编码两个范畴。

模拟信号的数字化主要有脉码调制(PCM)、增量调制(DM)等,这种变换提高了通信质量,这是由扩大传输频带换来的。

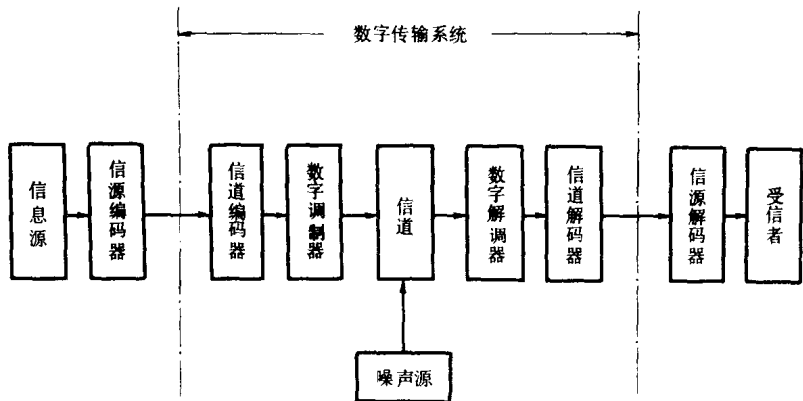


图 1.3.1 数字通信系统

信源压缩编码,是对信源进行处理,去除或减少冗余度,或者把能量集中起来缩窄占据频带,从而提高了通信的有效性。这些编码方法包括预测编码、交换编码等。

信源编码提高了效率,但当出现传输误码时,会使误码增殖(扩散),带来严重的质量损伤。

为了提高传输的可靠性,在传输中采用差错控制技术,它是把可控制的冗余,加入二进制序列,从而得到高的传输可靠性,减少误码的影响,差错控制技术也称为信道编码或抗干扰编码。信道编码有重传反馈(ARQ)、线性分组码、循环码、卷积码等。

经过编码的数字序列,它所占据的频带是从直流或低频开始的,称为基带信号,可直接在有线市话电缆中传输(称作基带传输)。但是大多数的信道如无线微波信道、载波信道等是带通信道。为了有效地利用频带资源,使离散信源与连续信道匹配,基带数字信号必须经过载波调制,把信号的频谱搬移到信道上适当的频带,产生对应于输入离散符号的模拟信号,在相应的信道中传输,这称为调制传输或频带传输,是由调制解调器(Modem)完成的。

调制方式主要包括幅移键控、频移键控、相移键控及其改进、变型或分支。

选择调制方式的依据,或者说衡量优劣的标准是边带利用率、功率效率、误码率及设备的复杂性。

基带或频带数字信号,经传输信道至给定的接收机,其传输媒介可以是有线媒介、无线媒介或它们的组合。不论哪种传输媒介均可构成数字信道、模拟信道或混合信道。

数字信道传输数字信号(包括经A/D变换后的数字信号),中间经过再生中继系统,使受到的干扰的信号得到再生,消除了干扰的影响。模拟信道传输模拟信号(包括数字信号经过Modem变成的模拟信号),传输中要经过增音系统的放大,要求传输系统具有高的线性特性及信噪比。前者的例子是数字光纤传输系统,而后的例子是频分复用载波(FDM)系统中传输数据信号。

实际的传输信道,通常是不够理想的,这包括信道的频响特性,信号在传输中混进的噪声和干扰,使收到的数字序列变形,出现符号间干扰甚至是差错。虽然信道选定之后其固有特性已确定,但可以根据传输要求设计发送和接收滤波器,进行信道的均衡,来改变系统的传输特性。减少或消除符号间干扰,以得到对数字序列的最佳判决,这就是波形设计问题。

在系统的接收端,数字解调器处理受信道特性限制和噪声串扰的信号波形,并把每个波形还原为代表原传输数字信号(二进或 M 进制)的估值。如二进制时,解调器能处理接收波形并判定传输码元是1还是0,当传输 M 进制且信息中无冗余时,解调器必须在任一给定时刻判定所传输的 M 个波形中的哪一个,这种判决为“硬判决”。

解调器的输出被量化成 Q 个量化级($Q>2$),解码器根据解调值序列,在所有候选的序列中找出相似度最大的一个作为判决序列,这个过程称为软解码,只有传输数字信号中有多余度时才可以应用“软判决”,如Viterbi译码。“软判决”(软解码)提高了传输的可靠性。

此外同步技术是数字通信的重要方面,没有同步,数字通信就无法进行。传输系统中载波同步时钟同步、位同步、字同步(码组同步)和帧同步(群同步)是必不可少的。在数字通信网中还有网同步。同步技术根据传输要求有不同的实现方案,而同步性能也直接影响到通信的质量。

1.4 数字通信系统的有效与可靠性表示

通信系统的有效性和可靠性通常是衡量通信系统的优劣程度的最重要的指标。对于数字通信系统来说,从信号传输的角度看,有效性主要是指传输速率。它有以下几种不同的定义。

1. 码元传输速率 r_b

携带信息的信号单元称为码元,单位时间(通常为秒)内通过信道传输的码元数称为码元传输速率,又称传码率或波特率。单位是波特(Bd)。

2. 信息传输速率 r_b

单位时间内通过信道传输的信息量称为信息传输速率,又称传信率或比特率。单位是比特/秒(bit/s)。

码元传输速率和信息传输速率具有不同的定义,不能混淆,但是它们之间有确定的关系。对二进制来说,每个码元含有的信息量为一比特,因此,二进制的码元传输速率和信息传输速率在数值上是相等的。对于 M 进制来说,每一码元所含信息量为 $\log_2 M$ 比特,因此,如果码元传输速率为 r_b 波特,则对应的信息传输速率为:

$$\begin{aligned} r_b &= r_s \log_2 M \quad (\text{bit}) \\ M &= 2^n \quad (n=1, 2, \dots) \end{aligned} \quad (1.4-1)$$

3. 消息传输速率 r_m

单位时间内从信源发出的消息数称为消息传输速率,又称消息率。单位是比特/秒(bit/s)。当消息的单位是码字(字节)时,其单位是码字/秒或字节/秒。

消息传输速率与信息传输速率的关系是:

$$r_m = \eta r_b \quad (\text{bit/s}) \quad (1.4-2)$$

式中 η 是传输效率。

通常在传输消息的过程中往往要加入冗余度,这些多余的比特不携带消息,是为提高通信的可靠性而加入的,因而传输效率 η 总是小于 1 的。

衡量通信系统可靠性的指标主要是指传输的差错概率,差错概率越小,可靠性越高。差错概率也有三种不同的定义。

1. 码元差错率 P_e

指在传输的码元总数中发生差错的码元数所占的比例(平均值),简称误比特率。当统计的码元数很大时,它与理论上的码元差错概率很接近。

2. 比特差错率 P_{eb}

指在传输比特总数中发生差错的比特数所占的比例(平均值),简称误比特率。当统计的比特数很大时,它与理论上的比特差错率很接近。在二进制传输中, $P_e = P_{eb}$;而在多进制传输中二者不等。

3. 码组差错率 P_w

指在传输的码组(码字)总数中发生差错的码组数所占的比例(平均值),简称误组率。

误比特率是最常用的指标,在数字电话和电报传输系统中一般要求不大于 10^{-5} ,而传送计算机数据时,一般要求不大于 10^{-9} 。

数字通信的发展势头越来越大,在各个领域的应用亦越来越广泛。这主要是因为它可以方