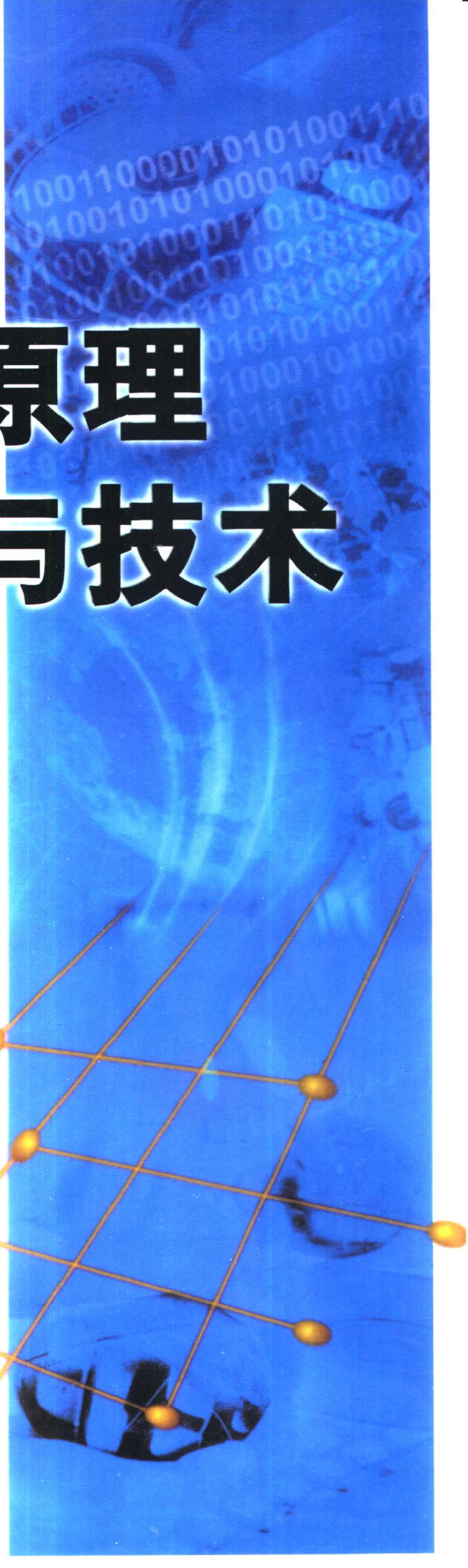


刘颖 王春悦 赵蓉 编著

数字通信原理 与技术

北京邮电大学出版社



数字通信原理与技术

SHUZI TONGXIN YUANLI YU JISHU

刘颖 王春悦 赵蓉 编著

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书较全面地论述了数字通信的基本原理与相关技术,内容包括 PCM 编码、压缩编码、差错控制编码、PDH 的复用原理及部分接口指标、SDH 的复用原理、数字信号的传输方式。本教材侧重于数字通信的基本原理的理论分析,同时介绍了数字通信技术方面的发展与应用,如大规模集成电路的 PCM、ADPCM 编码器、信道编码器等。

本书自成系统,注重理论联系实际,力求通俗易懂、便于自学,主要作为高等院校通信工程专业的教材,也可供从事数字通信方面的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字通信原理与技术/刘颖编著. - 北京:北京邮电大学出版社,1999.8

ISBN 7-5635-0380-3

I. 数… II. 刘… III. 数字通信 IV. TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 26784 号

出版发行:北京邮电大学出版社 电话:(010)62282185(发行部)

社 址:北京市海淀区西土城路 10 号 (邮编:100876)

经 销:各地新华书店经售

印 刷:北京忠信诚胶印厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:22

字 数:562 千字

版 次:1999 年 10 月第 1 版 2001 年 2 月第 3 次印刷

印 数:4501-7501

书 号:ISBN 7-5635-0380-3/TN·170

定 价:28.00 元

前 言

目前,我国通信技术长远发展战略已确定成为宽带化、智能化和个人综合业务数字网(BIP-ISDN)。在BIP-ISDN中,数字通信已成为现代信息传输的重要手段,在数字传输系统中可使用电缆、光缆等有线信道,也可使用微波、卫星、移动通信等无线信道。数字传输系统把数字交换和数字终端相联结,从而构成数字通信网。

本书侧重于数字通信基本原理的理论分析,并辅以必要的系统构成和具体电路。全书共分7章。

第1章:数字通信简述。简要介绍数字通信系统的构成;什么是模拟通信?什么是数字通信?数字通信及模拟通信的特点。

第2章:模拟信号的脉冲编码调制。内容包括语音信号特性、抽样原理,量化理论,PCM编码及译码等内容。

第3章:模拟信号的压缩编码。内容包括自适应差值脉码调制(ADPCM)的原理,增量调制(DM)、子带编码(SBC),矢量量化编码,参数编码等。

第4章:差错控制编码。主要介绍差错控制编码的一般原理。

第5章:PDH的数字复接原理。内容包括时分多路复用的基本原理,PCM基群复接设备构成,基群系统技术指标及测试方法,高次群数字复接设备。

第6章:SDH的数字复接原理。内容包括SDH帧结构及复用原理,SDH的标准与应用,SDH的网同步,SDH的网络管理功能,同步宽带网的主要设备。

第7章:数字信号的传输理论。内容包括数字信号传输的基本理论,码型变换及再生中继传输方式,传输质量分析等。

本书的第1章、第2章、第5章和第6章由刘颖编写,第3章和第7章由王春悦编写,第4章由赵蓉编写。

由于编者水平所限,书中不足之处,欢迎读者批评指正。

编 者

1998年11月

目 录

第 1 章 数字通信简述	1
1.1 模拟通信和数字通信	1
1.1.1 通信系统模型	1
1.1.2 模拟通信系统	2
1.1.3 数字通信系统	4
1.2 数字通信的发展概况	9
1.3 数字通信系统的主要性能指标.....	10
1.3.1 有效性指标.....	10
1.3.2 可靠性指标.....	11
习 题	12
第 2 章 模拟信号的脉冲编码调制	13
2.1 语音信号的基本特征.....	13
2.1.1 语音信号的统计特性.....	13
2.1.2 衡量语音质量的宏观感知特性.....	14
2.2 抽样原理.....	15
2.2.1 抽 样	15
2.2.2 带通型信号的抽样.....	25
2.2.3 抽样保持电路.....	29
2.3 量化理论.....	31
2.3.1 基本概念.....	31
2.3.2 量化噪声平均功率的计算.....	33
2.3.3 均匀量化信噪比.....	35
2.3.4 非均匀量化特性曲线.....	38
2.3.5 分段量化折线压缩律.....	43
2.3.6 非均匀量化信噪比.....	45
2.4 编码和译码.....	49
2.4.1 常用码型.....	49
2.4.2 线性编译码.....	51
2.4.3 非线性编译码.....	57
2.5 常用高集成编译码芯片介绍.....	67
2.5.1 高集成线性编码器.....	67
2.5.2 高集成线性译码器.....	70
2.5.3 单片集成 PCM 编译码器	74
习 题	80
第 3 章 语音信号的压缩编码	84

3.1 自适应差值脉码调制的原理	84
3.1.1 差值脉冲编码调制	85
3.1.2 量化的自适应	90
3.1.3 预测的自适应	94
3.1.4 32 kbit/s ADPCM 编译码系统	98
3.1.5 单片集成 ADPCM 缩译码器	102
3.2 增量调制	111
3.2.1 线性增量调制	111
3.2.2 自适应增量调制	113
3.2.3 单片集成化增量调制器	115
3.3 子带编码	118
3.4 矢量量化编码	121
3.5 参数编码	125
3.5.1 语音信号模型	125
3.5.2 线性预测声码器	127
习 题	129
第 4 章 差错控制编码	131
4.1 概述	131
4.1.1 误码的原因	131
4.1.2 差错控制方法	131
4.2 常用的检错码	132
4.2.1 纠错编码的基本原理	132
4.2.2 几种简单差错控制编码	134
4.3 线性分组码	136
4.4 循环码	141
4.4.1 循环码原理	141
4.4.2 循环码的编码器	144
4.4.3 循环码的译码器	146
4.5 BCH 码	148
4.6 卷积码	149
4.7 正交编码	151
习 题	155
第 5 章 PDH 的数字复接原理	157
5.1 时分多路复用的基本原理	157
5.1.1 时分多路复用的概念及构成	157
5.1.2 时分复用系统中的帧同步	159
5.2 PCM 基群系统构成	168
5.2.1 PCM 30/32 路系统帧结构	168
5.2.2 PCM 30/32 路时序时钟	175
5.2.3 信令信号系统	178

5.2.4	PCM 30/32 路基群系统构成	183
5.3	基群系统技术指标及测试方法	186
5.3.1	常用的传输电平	186
5.3.2	衰减的概念	189
5.3.3	技术指标及测试方法	190
5.3.4	高集成 PCM 终端指标测试中的注意事项	211
5.4	高次群数字复接	212
5.4.1	数字复接系统的复接等级	212
5.4.2	数字复接方式及码速调整	213
5.4.3	正码速调整过程中的抖动	220
5.4.4	高次群复接帧结构	222
5.4.5	高次群复接的实现	228
5.5	PCM 零次群简介	232
	习 题	234
第 6 章	SDH 的数字复接原理	235
6.1	概 述	235
6.1.1	SDH 的产生和发展	235
6.1.2	SDH 原理简述	239
6.2	SDH 的帧结构及复用原理	241
6.2.1	SDH 的帧结构	241
6.2.2	SDH 的复用原理	242
6.2.3	STM _N 的组成	265
6.2.4	SDH 复用与传统复用方法的比较	266
6.3	SDH 的标准与应用	267
6.3.1	标 准	267
6.3.2	SDH 的应用	268
6.4	SDH 的网同步	274
6.4.1	SDH 网络的同步概念	274
6.4.2	定时方式	274
6.4.3	SDH 网络同步方式	275
6.4.4	应 用	275
6.5	SDH 的网络管理功能	278
6.6	同步宽带网的主要设备	279
6.6.1	终端复接设备	280
6.6.2	上/下路复接设备	281
6.6.3	同步数字交叉连接设备	281
6.6.4	网络管理系统设备	284
	习 题	284
第 7 章	数字信号的传输理论	286
7.1	数字信号的基带传输理论	286

7.1.1	实际信道传输特性	286
7.1.2	理想信道传输特性	287
7.1.3	数字信号传输系统	289
7.2	线路传输码型	290
7.2.1	选择线路传输码型的条件	290
7.2.2	二元线路码型	291
7.2.3	三元线路码型	296
7.2.4	线路码的性能指标	301
7.2.5	高集成线路码型变换器	303
7.3	数字信号的再生中继传输	310
7.3.1	再生中继系统的构成及分析	310
7.3.2	大规模集成电路再生中继器	315
7.4	中继传输系统性能分析	317
7.4.1	误码率及其积累	318
7.4.2	抖动的产生与积累	320
7.5	数字信号的频带传输	322
7.5.1	数字调制的一般问题	323
7.5.2	多相相移键控	329
7.5.3	正交幅度调制	333
7.5.4	最小频移键控	335
	习 题	342
	参考文献	344

第 1 章 数字通信简述

人类在生产和社会活动中总是伴随着消息的传递,这种消息的传递过程称之为通信。而消息是物质或精神状态的一种反映,它可以通过语言(语音)、文字(数据)、图像(图片)等来表述。可见通信所传递的消息有各种不同的形式,例如为符号、文字、语言、音乐、数据、图片、活动画面等等。根据所传递的消息的不同,当今的通信业务分为电报、电话、传真、数据、可视电话等类别。其实从广义上讲,广播、电视、雷达、导航、遥测与遥控等也都可列入通信的范围。

人类社会发展到了今天已创造了许多种通信方法,古代的烽火狼烟、金鼓、旌旗,近代的灯光信号、旗语,到现代的电话、电报、电视等。由于电信具有迅速、准确、可靠且不受时间、地点、距离等方面限制的优点,致使这种借助电来传递消息的通信方式在近百年获得了迅速的发展和广泛的应用。在光纤通信未诞生以前,自然科学中“通信”几乎是“电信”的同义词了,由于本书的重点是数字终端及其复接设备,并未涉及光端机,因此所说的通信指的就是电信。

1.1 模拟通信和数字通信

1.1.1 通信系统模型

近代的通信系统种类繁多形式各异,但总的来说,无论是何种通信系统,目的都是要完成一点到另一点的信息传递,这样可把通信系统概括为一个统一的模型,如图 1.1.1 所示。

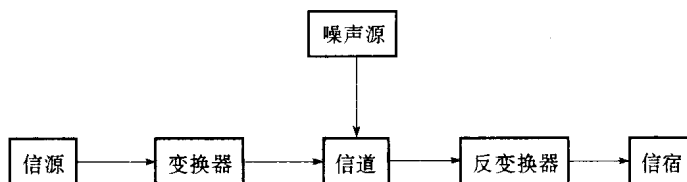


图 1.1.1 通信系统模型

模型中各部分的功能如下:

- 信源 信源是指发出信息的信息源,即信息的发出者,它可以是人也可以是机器。
- 变换器 变换器的功能是把信源发出的信息变换成适合在信道上传输的信号。一般来讲,它先把非电信号变成电信号,然后再对这种电信号进一步处理,使其变换成适合某种具体信道传输要求的信号。
- 信道 信道是信号的传输媒质,可分为有线信道(明线、电缆、光纤光缆)和无线信道(空气等)。
- 噪声源 在实际通信情况中,客观存在着一种不可避免的干扰,为分析方便,常把发端、收端、传输信道这三个方面的干扰折合到信道中,合成为一个总的噪声源。
- 反变换器 它是把经信道传来的信号按变换器的相反过程变成原信息,或变换成信息接收者可以接收的信息。

• 信宿 信宿就是信息接收者。它可以和信源一致,同是人或机器,也可和信源不一致。由于信源的不同从而产生了各种类型的通信系统,如:

语音——电话通信系统

图像——图像通信系统

数据——数据通信系统

但不同的信源所产生的信息都要经变换器处理成适合在信道上传输的信号后才可以传输,信号是携带信息的载体,通常的信号有电压、电流、光波、电磁波等这些可以感知的物理参量。通常把信号分为两大类:模拟信号和数字信号。那么,按其在传输信道中传输信号的类别,通信系统可分为模拟通信系统和数字通信系统。

1.1.2 模拟通信系统

1. 模拟通信系统模型及类别

模拟信号是指代表消息的信号及其参数(幅度、频率或相位)随着消息连续变化的信号,它在幅度上连续,但在时间上可以连续也可以不连续。例如连续变化的语音信号、电视图像信号以及许多物理的遥测遥控信号都是模拟信号;再如脉冲幅度调制信号(PAM),脉冲相位调制信号(PPM),脉冲宽度调制信号(PWM),这些时间上不连续的信号也是模拟信号,如图 1.1.2 所示。

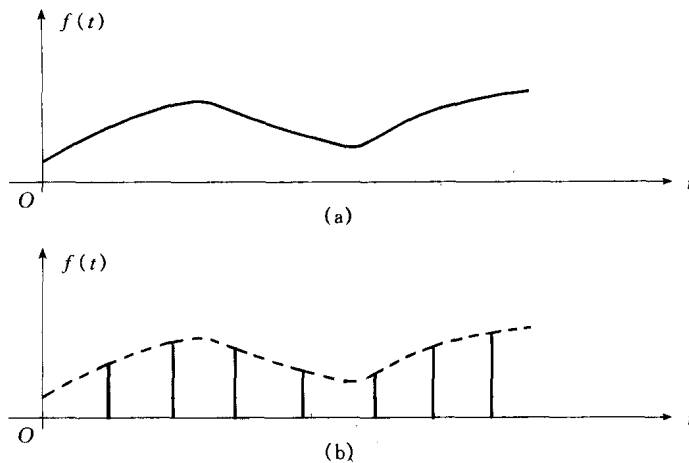


图 1.1.2 模拟信号示意图

利用模拟信号传递消息的系统就是模拟通信系统。系统框图如图 1.1.3 所示。模拟通信系统按调制方法可分为两大类,每一类又可分为若干种,如表 1.1.1 所示。

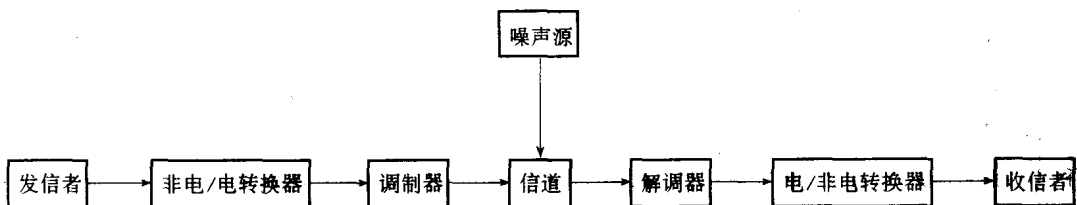


图 1.1.3 模拟通信系统模型

表 1.1.1 模拟通信系统的分类

模拟通信系统	连续调制系统	振幅调制(AM)系统 频率调制(FM)系统 相位调制(PM)系统 单边带调制(SSB)系统
	脉冲调制系统	脉冲幅度调制(PAM)系统 脉冲相位调制(PPM)系统 脉冲宽度调制(PWM)系统

2. 模拟通信系统的多路复用

为了扩大通信容量使之在一个信道中可以同时传输多路信号,目前广泛采用了两种多路复用方法:频分复用(FDM)和时分复用(TDM)。频分复用主要用于连续调制系统,而时分复用主要用于脉冲调制系统。

模拟通信系统的频分复用原理框图如图 1.1.4 所示。

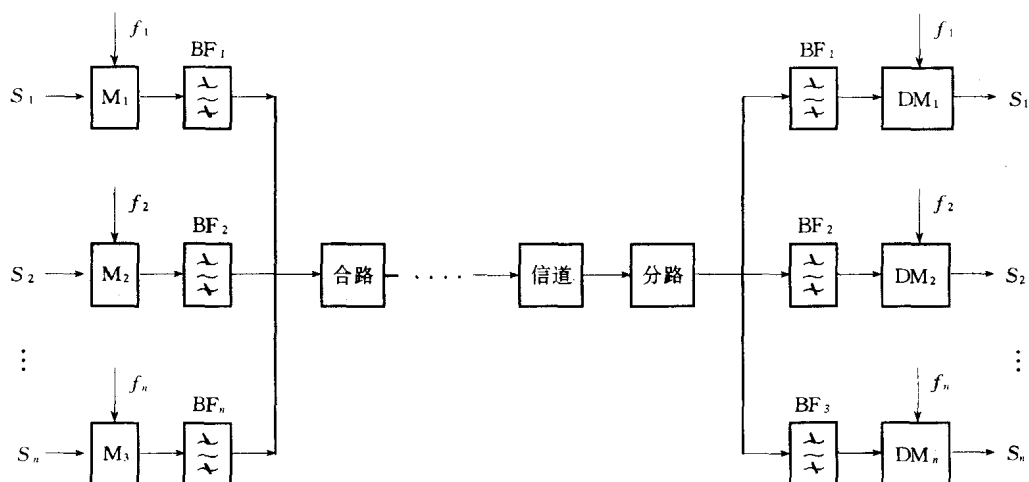


图 1.1.4 频分复用通信系统框图

在发送端各路模拟信号 S_1, S_2, \dots, S_n 分别进入调制器 M_1, M_2, \dots, M_n , 各调制器的载频分别为 f_1, f_2, \dots, f_n , 各载频之间的频率差应足够大, 以保证频域中各模拟信号调制后的频谱不发生重叠。但如果信号不是带限的话, 频谱重叠是不可避免的。因此各信号调制前需分别用带通滤波器 BF_1, BF_2, \dots, BF_n 进行滤波, 以限制每个通路调制后的信号处在规定的频带内, 在合路时得到的将是各路频带互不干扰的总和信号。

信道部分可以有线的也可以是无线的。

在接收端, 各路所用的带通滤波器 BF_1, BF_2, \dots, BF_n 分别滤出与发端对应的频域信号, 再用与发端相同的载频 f_1, f_2, \dots, f_n 进行解调, 各解调器分别为 DM_1, DM_2, \dots, DM_n , 从而得到了与发端基本相同的信号 S_1', S_2', \dots, S_n' 。

模拟通信系统中时分复用原理框图如图 1.1.5 所示。

图中 SW_1 和 SW_2 为电子转换开关, 它们在同步系统的控制下以同样的速度和同样的顺序严格地同步旋转, 以保证收、发两端同步工作。在发端, 开关 SW_1 对各路模拟信号的抽样速

率应根据抽样定理满足一定的要求,以使收端能不失真地恢复原始信号。各路信号合路后送往信道。同样信道可以是有线的,也可以是无线的。在收端分路后的各路信号是 PAM 信号。PAM 信号的频谱中不仅含有原始基带成分,还含有高频拓扑展宽的成分,因此每路的 PAM 信号需经低通滤波器 LF 才能恢复原始信号。

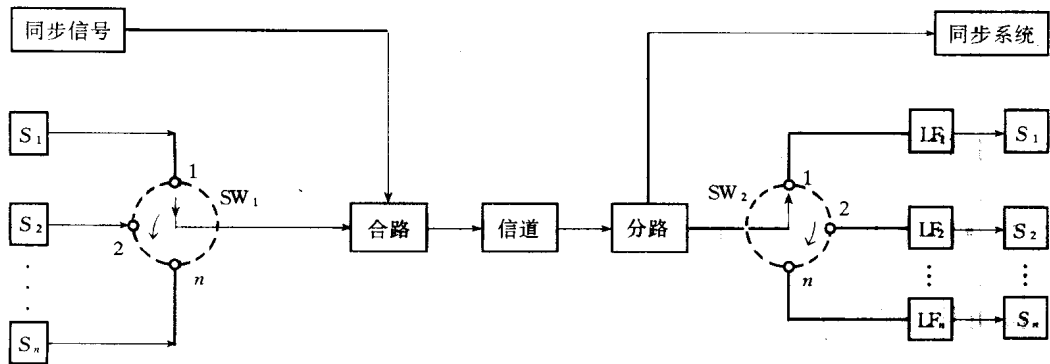


图 1.1.5 时分复用通信系统框图

3. 模拟通信的特点

在模拟通信系统中,由于信道的利用率较高,原理简单易于实现,在通信历史上曾一度得到了迅猛的发展,但同时它还存在着许多缺点,如:①由于模拟通信系统传输的是模拟信号,因此叠加在信号中的噪声无法清除,信号只能放大而无法再生,系统的抗干扰能力差;②由于信号进行非线性变换易产生失真,且不易实现,因此模拟调制的方法极其有限,因此不易保密通信;③模拟通信系统中大都采用模拟电路,设备不易大规模集成;④不适应飞速发展的计算机通信的要求,模拟信号在进入计算机控制系统时必需进行模/数转换。这些模拟通信的诸多缺点,特别是一些致命的缺点限制了它的发展。

1.1.3 数字通信系统

1. 数字通信系统

数字通信系统就是利用数字信号传递消息的通信系统。而数字信号指的是不仅在时间上是离散的且在幅度上也是离散的信号,如图 1.1.6 所示。例如电报、计算机输入输出信号、数据信号、PCM 信号等。数字通信系统的形式各式各样,但从数字通信的特点以及所完成的功能上来看,可把它概括成图 1.1.7 所示的系统模型。

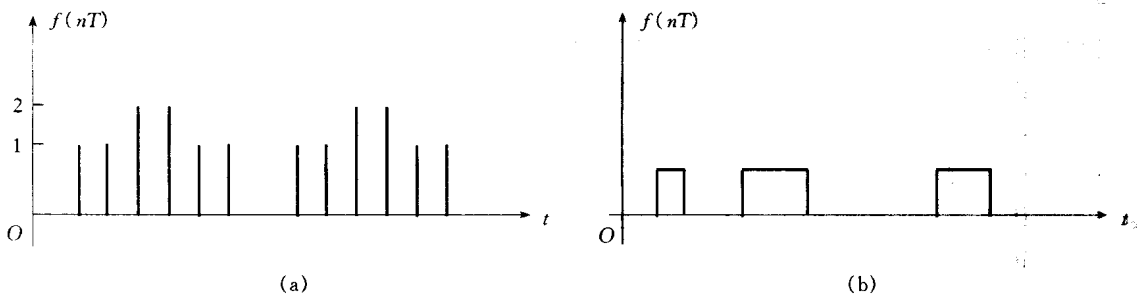


图 1.1.6 数字信号示意图

如果信源发出的是非电信号,则应由非电/电变换器和电/非电变换器来完成电与非电之间的变换。

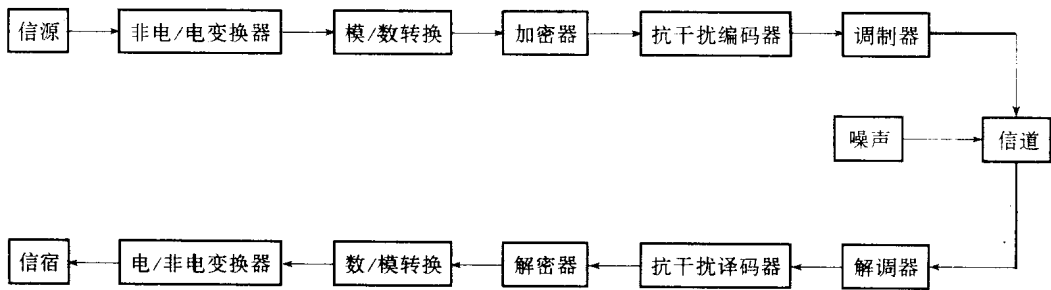


图 1.1.7 数字通信系统框图

模/数(A/D)、数/模(D/A)转换属于信源编码,A/D是为把消息转换成适合下一环节所需的数字信号而设置的,如果信源本身就符合下一环节所要求的数字脉冲序列,这一环节即可略去。例如计算机或其他设备输出的二进制数据信号,适合下一过程所需求的二进制序列,就无需 A/D 转换。显然数据通信系统属于数字通信系统的一个种类。D/A 转换器的作用正好与 A/D 转换器相反,是把数字信号序列还原为原始信号。

加密与解密是为了实现保密通信,通过加密器可以产生密码,人为地把待传输的数字序列搅乱。这种编码可采用周期非常长的伪随机码序列等,在收端根据已知的解密方法,对接收序列进行解密。

抗干扰编码主要是为解决可靠性问题而设置的。由于信源编码后的数字信号是要通过信道来传输,而信号不可避免地要受到各种噪声的干扰,因此可能会导致收端数字信号的判决错误,抗干扰编码就是采用一种对传输的原始信息按一定规则加入保护成分的办法,以达到自身发现和纠正误码的目的;抗干扰译码的过程与抗干扰编码过程正相反。这种技术称为“差错控制技术”。

一般来讲由抗干扰编码器输出的二元数字信号不适合在信道上直接传输,调制器的任务是把数字信号变为适合于信道传输的信号;而解调器的过程正好相反。通常对数字信号的频带调制有 ASK, FSK 和 PSK 等。调制与解调方式对通信质量的影响比较大,因此应合理选择。

在以上介绍的数字通信系统中还有一个很重要的部分未被列入,那就是同步系统。

在数字通信中,有异步通信系统和同步通信系统,在同步通信系统中,数字信号序列是按节拍一步一步工作的,因此收、发两端的节拍一定要一致,否则将出现混乱。另外发送的数字信号序列常常是编组的,收端必须知道这些编组的头尾,否则就无法恢复原始信息。要保证收、发两端的节拍一致,必须有同步系统的控制。

以上所述的数字通信系统模型是一个功能完整的系统模型,对于具体的数字通信系统来说,可能只是其中的一部分。例如无需保密的通信可去掉加密、解密部分,计算机间的数据通信可去掉 A/D, D/A 部分和非电/电变换、电/非电变换部分,数字电话系统则不需抗干扰编译码。

现以一个脉冲编码调制数字电话通信系统为例。对于一路脉冲编码调制电话的通信系统来讲,其系统框图如图 1.1.8 所示。

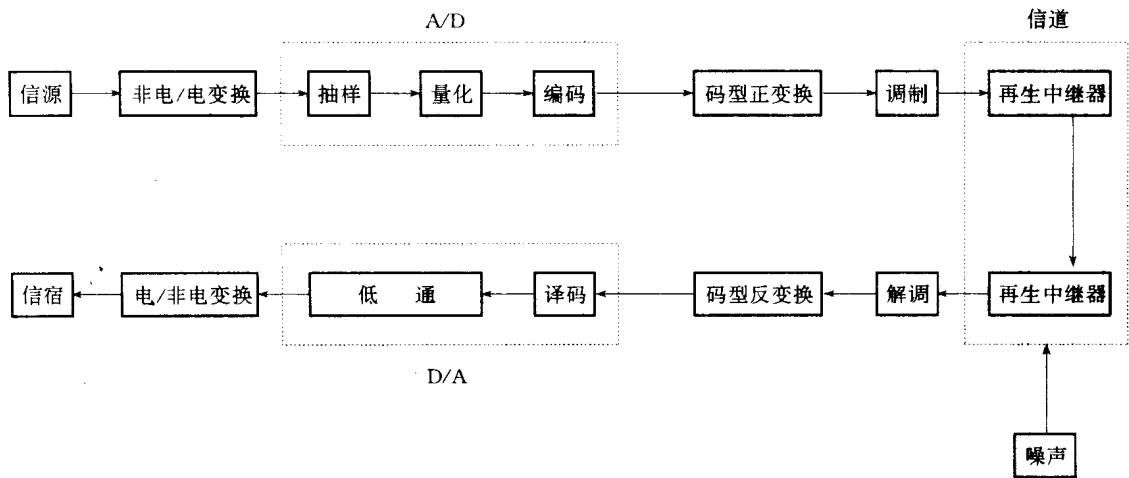


图 1.1.8 PCM 数字电话通信系统框图

可见,图中 A/D 转换包含三个部分:抽样、量化、编码。在某些情况下,量化、编码同时完成。这三个步骤即是模拟电话数字化的三部曲。

- 抽样 抽样就是将模拟信号在时间上离散化的过程。
- 量化 量化则是将模拟信号在幅度上离散化的过程。
- 编码 编码是将每个量化后的样值用一定的代码来表示。

由于编码后的数字信号携带着原始模拟信号信息,因此就如将模拟信号信息“调制”到了代码上,而代码是由信号抽样得到的脉冲序列再量化编码后得到的,因此称此数字通信为脉冲编码调制(PCM)通信。

如果信道是有线的(如明线、电缆、同轴等),通常不需频带调制,而仅是对代码进行一定规则的码型变换,称为信道编码。如 AMI 码、HDB₃ 码、4B3T 码等,这些信道码是信道传输的理想码型。这种传输方式称为基带传输。但如果信道是无线的,还需将这些信道码调制到一定的频段上再进行传输。这种传输方式称为频带传输。

由于信号在信道中传输一定距离后,叠加在信号上的各种噪声干扰使信号产生失真,当这种干扰达到一定程度的情况下,再生中继器可对失真的信号波形进行再生整形,去掉干扰,这是数字通信的一个最大优点。

系统中 A/D 的反变换分两步:译码、低通。译码后的 PAM 信号频谱中除含有原始信号信息成分外,在高频段还有基带频谱拓扑展宽的成分,必须通过低通将其去掉。

2. 通信系统中的多路复用

在数字通信系统中,多路复用主要采用的是时分复用方式。现以 PCM 数字电话为例来说明。PCM 数字电话时分复用系统框图如图 1.1.9 所示。它与图 1.1.5 模拟通信系统的时分复用方式非常相似,只是多了量化、编码过程。

由于国标规定语音信号的有效带宽为 0.3~3.4 kHz,而实际语音的频域带宽远远超过这个范围,为避免产生折叠干扰,每个话路抽样前需经一个通带为 0.3~3.4 kHz 的带通滤波器。由于数字电话通信系统是一个实时的同步通信系统,因此必须有时钟同步系统以保证收、发两端的同步。

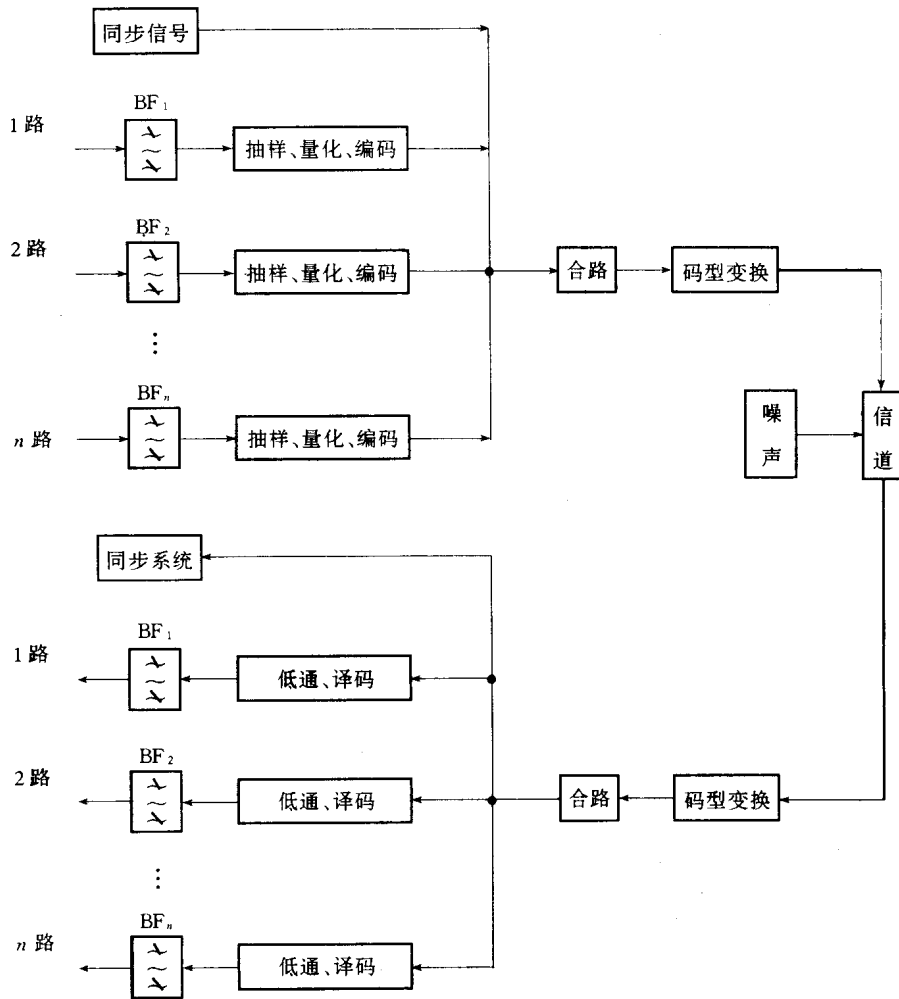


图 1.1.9 PCM 数字电话时分复用系统框图

3. 数字通信的特点

从数字通信的过程来看,很容易发现数字通信有着许多模拟通信无法比拟的优点。

(1) 抗干扰能力强

信号在传输过程中不可避免地要受到各种噪声的干扰。对于模拟信号来说,叠加在信号上的噪声难以与信号分开。同样,叠加在数字信号波形上的噪声也是难以去掉,但由于数字通信系统传送的数字信号,其信息并不包含在信号脉冲的波形之中,而是包含在脉冲的有无之中,因而只有当噪声在判决时超过某个范围,才有可能改变信号的值,产生错误判决,造成误码。因此,数字信号比模拟信号的抗干扰能力强,且数字信号还可进行抗干扰编码(纠错编码),进一步提高其抗干扰能力。

(2) 采用再生中继可实现高质量远距离传输

在数字通信系统中传送的数字信号大多是二元或三元信号。例如:二元数字信号只有两个状态“0”和“1”,在传输信道中受到噪声干扰,当干扰达到一定程度,进入再生中继器,再生中继器中的幅度识别电路对收到的二元波形信号进行判决,当幅度超过规定接收电平值的一半

时,就判为“1”;不是则判为“0”。这些判决值通过波形形成电路,以没有噪声干扰的“纯净”的脉冲波形向下一站发送,这样就消除了噪声的干扰。在理想情况下,噪声可全部清除,不会产生积累。正因为数字信号可以再生,所以在远距离传输时,可通过多个再生中继实现高质量的远距离传输。

(3) 灵活性强适应各种业务要求

在数字通信中,各种消息(电报、电话、图像和数据等)均可变为统一的数字信号进行传输。在系统对数字信号传输情况的监视信号、控制信号及业务信号均可采用数字信号。数字传输与数字交换技术结合起来组成的综合业务数字通信网(ISDN),对于来自不同信息源的信号自动地进行变换、综合、传输、处理、存储和分离,实现各种综合业务,这给实际应用带来了极大的方便。

(4) 便于与计算机连接

由于数字通信系统中的数字信号大都采用二元信号,它与计算机采用的数字信号完全一致,因此数字通信线路可方便地与计算机接口,实现复杂的远距离大规模自动控制系统和自动数据处理系统,实现以计算机为中心的通信网。

(5) 易于加密

数字通信的加密只采用简单的逻辑电路即可实现。

图 1.1.10 为一个简单的数字信号加密过程。设 X_1 为编码数字信号; Y 为密码序列,密码周期为 10; Z 为加密后的码序列, X_2 为解密后的码序列。

显然,加密器就是一个异或门, $Z = X_1 \oplus Y$, \oplus 为异或符号;解密器也是一个异或门, $X_2 = Z \oplus Y = X_1 \oplus Y \oplus Y = X_1$ 。可见,通过这样一个简单的加密过程, Z 与 X_1 相比已变得面目全非了。如果不知道密码 Y ,就无法由 Z 还原为 X_1 。收、发双方事先约定密码后,就可以方便地进行保密通信。加密器可以是异或门,也可以是更加复杂的逻辑电路。

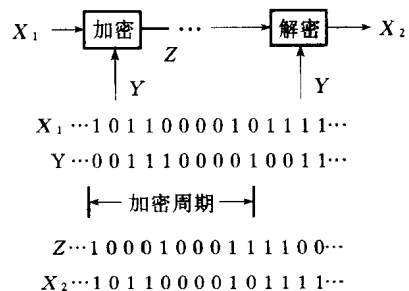


图 1.1.10 数字信号加密过程

(6) 易于集成化、微型化

由于数字通信系统中大都采用数字电路,如一个 PCM 基群终端,数字电路约占 80%。数字电路比模拟电路易于集成化,因此通信设备可以采用中、大规模、超大规模集成电路制成体积小、功耗低、成本低、可靠性高的设备。

数字通信较模拟通信有如此多的优点是有所代价的。一路模拟语音信号在信道上传输只占用 3.1 kHz 的带宽,通常取 4 kHz;而一路语音信号 PCM 数字化后,码速率为 64 kbit/s,根据奈奎斯特准则,即使在理想低通的传输信道下,传送这样的数码率的信号所需带宽至少为 32 kHz。显然传输数字信号所需带宽远比模拟信号的宽。但是随着宽频带传输媒质(光纤等)的广泛使用和频带压缩编码技术(如 ADPCM、矢量编码、预测编码等)的日趋成熟和实用化,数字通信占用频带宽的问题已得到解决,不再是数字通信发展的一个障碍。

另一方面,数字通信的实现过程要复杂于模拟通信的实现过程,若是没有集成工艺作基础,很难在设备的体积、功耗、可靠性和经济性方面与发展已十分完善的模拟系统竞争,数字通信这种通信手段早在 20 世纪 30 年代就已提出,但它的真正发展和使用是从晶体管和集成电路的发明之后才开始的。特别是现在,大规模、超大规模集成电路的广泛使用,使数字通信得

到了突飞猛进的发展和广泛的使用。

1.2 数字通信的发展概况

早在 1835 年,莫尔斯发明了电报,这是早期的数字通信方式。电报的发明和投入使用大大提高了信息的传递速度,引起了人们的极大兴趣,但人们并不以此为满足。1875 年,贝尔发明了电话,开辟了模拟通信的新领域,同时又随着电子管的发明得到了迅速的发展。但由于在远程通信中,随着通信距离的增加,噪声积累也越来越大,迫使人们寻求解决这一难题的途径。

1937 年里弗提出了 PCM 的通信理论,解决了噪声积累问题。1948 年美国研制出了第一台实验用的 PCM 多路通信装置,但由于是用电子管制作,其体积、功耗及寿命可想而知,真正实用化的 PCM 端机是于 1961 年在美国开始用于市内电话网。

随着集成工艺的日趋成熟,宽频带大容量的信道广泛使用以及交换技术的发展,各国都在积极发展数字通信。

在数字通信终端设备、数字传输技术方面的发展情况有以下几个趋势:

1. 向着小型化、智能化方向发展

(1) 小型化

随着微电子技术的发展,数字通信设备不断在更新换代,每换一代,性能更先进、更全面,经济效益更好,更能适应现代通信的需要。

例如某公司生产的 PCM 30/32 复用系统,每个 30 路系统占一个 $300\text{ mm} \times 120\text{ mm} \times 225\text{ mm}$ 机框,功耗仅 2.5 W,共 5 块印刷电路板,其中话路占 4 块(每块装 8 路)、群路为 1 块、可开放 4 个 64 kbit/s 数据口。一个窄条机架可装 8 个系统,共 240 路,相当于一个标准宽架可装 1 200 路。

(2) 智能化

微处理器技术已应用到设备中,例如利用微处理器完成信令变换,使得设备能灵活适应长途、市话中各种类型的交换机。在再生中继故障定位中使用微处理器实现不停业务的自动监测告警。

随着小型化、低功耗和故障自动诊断,系统可靠性大大提高,成本也大大下降。

2. 向着高速大容量发展

为了提高长距离干线传输的经济性,近年来,国内外都在开发高速大容量的数字通信系统。国内外的 PCM 数字复接设备都经历了换代、进一步小型化的过程。

某公司的 PCM 二次群复接设备仅用 1 块印刷电路板,7 个 IC(芯片),功耗 2.5 W,1 个条架可装 24 个二次群复接设备;三次群复接设备用 1 块印刷电路板,8 个 IC,功耗 4.5 W,1 个条架可装 20 个三次群复接设备;四次群复接设备,功耗仅 12 W,1 个条架可装 6 个系统。如果混合装配,一个条架可装 4 个二次群、4 个三次群、2 个四次群及公用的电源框、告警框等。

从低次群到高次群,从原理上讲基本一样,但每升高一次群,速率扩大 4 倍,实现上增加许多难度,需要选择适应工作速度的器件。

3. 向着数字处理技术的开发应用发展

(1) 压缩频带和比特率

数字通信每路带宽约为 64 kHz,这是一个缺点,但这是基于对每个样值量化后进行 8 bit PCM 编码得到的。实际上话音信号样值之间有相关性,根据前几个样值可以预测后一个样值