

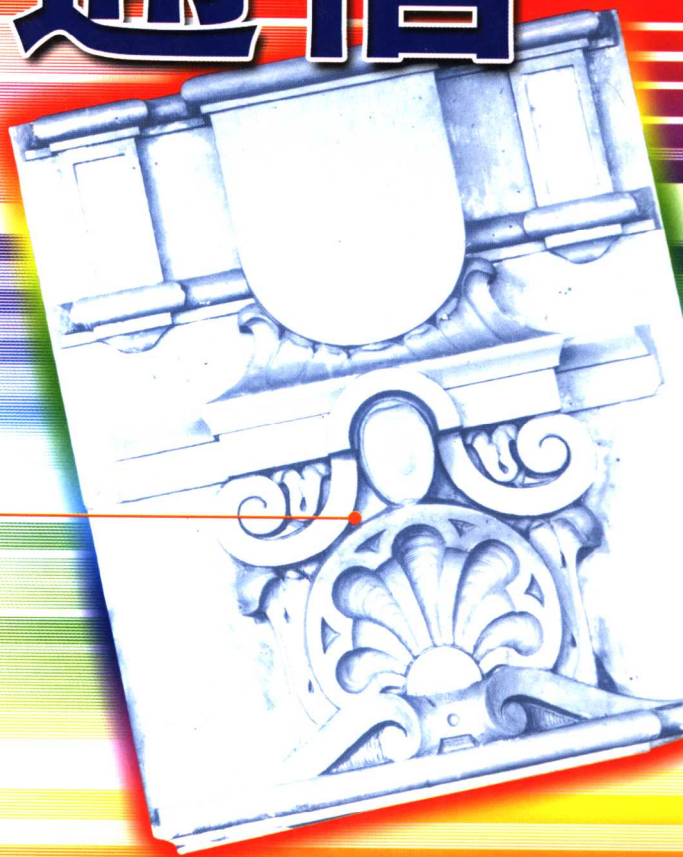


世纪高职高专通信教材

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN
TONGXIN JIAOCAI

数字通信

方致霞 尚 勇 杨文山 编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21 世纪高职高专通信教材

数 字 通 信

方致霞 尚^和勇 杨文山 编

人 民 邮 电 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

数字通信/方致霞,尚勇,杨文山编. —北京:人民邮电出版社,2005.8

21 世纪高职高专通信教材

ISBN 7-115-13355-7

I. 数... II. ①方... ②尚... ③杨... III. 数字通信—高等学校:技术学校—教材
IV. TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 060455 号

内 容 提 要

本书较全面地讨论与数字通信技术相关的模拟信号数字化和数字信号复用、复接以及传输的基本原理和概念。主要内容有语声信号数字化技术,数字复用、复接技术,数字传输技术及同步复用 SDH 相关理论。

本书重视理论与实际的结合,避免繁琐的数学推导,着重于应用,力求通顺易懂。除讲解理论课程内容外,书中还附有实验内容。

本书是高职高专院校通信类、电子信息类专业教学用书,也可以作为通信工程技术人员的技术参考书。

21 世纪高职高专通信教材

数字通信

-
- ◆ 编 方致霞,尚勇,杨文山
责任编辑 滑 玉
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061, 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本:787×1092 1/16
印张:15.75
字数:379 千字
印数:13 000 册
 - 2005 年 8 月第 1 版
2005 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13355-7 / TN · 2464

定价:24.00 元

读者服务热线:(010)67170985 印装质量热线:(010)67129223

21 世纪高职高专通信教材

编 委 会

主 任 肖传统

副 主 任 张新瑛 向 伟

委 员 王新义 孙青华 朱 立 江 丽 李元忠

李转年 李树岭 李 婵 刘翠霞 陈兴东

苏开荣 吴瑞萍 张干生 张孝强 张献居

周训斌 杨 荣 杨 源 胡 鹏 赵兰畔

黄柏江 曹晓川 滑 玉 傅德月 惠亚爱

秘 书 李立高

执行编委 滑 玉

随着通信技术的飞速发展,通信业务的不断拓展和通信市场的日益开放,如何提高从业人员的素质,增强产业竞争力,已成为通信运营商高层决策者们所考虑的重要问题之一。通信类的高等职业教育以适应通信技术发展,培养通信生产和服务一线的技能型人才为目的。

国务委员陈至立同志在全国职业教育工作会议上指出:“职业教育的目标是培养数以千万计的技能型人才和数以亿计的高素质劳动者,必须坚持以服务为宗旨,以就业为导向,面向社会、面向市场办学。”为了适应高等职业教育的需要,结合通信行业的特点和通信类高等职业教育的培养目标,我们组织了全国通信类高职院校部分老师和部分通信企业的资深专家组织编写了这套《21 世纪高职高专通信教材》。该丛书技术新,实用性强,案例典型,既可满足通信类高职高专的教学使用,又可作为从事通信行业一线的技术人员培训和自学读物。

由于作者编写高职高专教材经验不足,征求意见的范围还不够广泛,书中难免存在疏漏之处,望广大读者多提宝贵意见,以便进一步提高完善。

编者

2002 年 2 月

21 世纪高职高专通信教材编辑委员会

数字通信涉及的内容有模/数变换、数/模变换的基本理论与方法，数字信号多路复用、复接技术，数字信号传输理论、调制技术等。本书是高职高专院校通信类专业教学用书，也可以作为通信工程技术人员的技术参考书。

本书是根据对高职高专学生的培养目标编写的。全书共有6章。第1章介绍数字通信系统模型、主要性能指标和数字通信特点及有关概念；第2章讨论抽样、量化、编码等有关语音信号数字化的理论和实现方法；第3章着重介绍时分多路复用方法及通信系统的同步问题，并简要介绍通信系统中常用的信道复用技术；第4章讨论数字复接技术；第5章讨论数字信号传输理论，阐述了基带传输特性、传输码型、信道误码以及再生中继过程；第6章介绍同步复用SDH技术。为了帮助学生理解数字信号形成、传输的理论，建议在学习理论知识的基础上，让学生动手做实验，观察、体验数字通信的过程，为此，本书还编写了相关的实验内容。本教材编写的内容并非全部都是各专业必修的基础内容，各院校可以根据各专业的具体专业要求和课程设置选择学习。

本书的第1, 2章由杨文山编写；第3, 4章和实验内容由方致霞编写；第5, 6章由尚勇编写。

本书在编写过程中参阅了大量的有关书籍，在此我们对相关作者表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，敬请读者批评指正。

编者

2005年5月

目 录

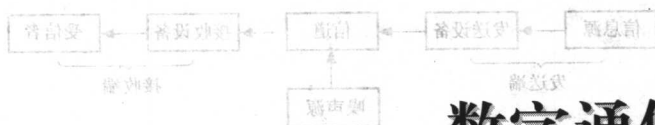
第1章 数字通信概述	1
1.1 数字通信系统的基本概念	1
1.1.1 通信系统构成	1
1.1.2 信息、信号及分类	2
1.1.3 模拟通信与数字通信	5
1.1.4 数字通信系统模型	6
1.2 数字通信系统的主要性能指标	7
1.2.1 有效性指标	7
1.2.2 可靠性指标	9
1.3 数字通信特点	9
小结	11
思考题与练习题	11
第2章 语声信号数字化技术	13
2.1 语声信号数字化方式	13
2.1.1 PCM 通信系统	13
2.1.2 语声信号编码的分类	17
2.2 抽样	18
2.2.1 抽样定理	18
2.2.2 抽样、保持电路	23
2.2.3 分路、重建	25
2.3 量化	26
2.3.1 均匀量化及量化噪声计算	26
2.3.2 非均匀量化及其实现方法	30
2.4 编码和解码	37
2.4.1 码型	37
2.4.2 线性编码与解码	39
2.4.3 非线性编码与解码	44
2.4.4 单片集成 PCM 编解码器	53
2.5 差值脉冲编码调制	56
2.5.1 DPCM 原理	56
2.5.2 自适应差分脉码调制	60
2.5.3 32kbit/sADPCM 系统简介	61

2.5.4 语声压缩编码技术的概念	62
2.6 参量编码	65
2.6.1 线性预测编码的基本概念	65
2.6.2 线性预测合成分析编码	66
2.7 子带编码	67
2.7.1 子带编码工作原理	67
2.7.2 子带编码的编码速率	68
小结	69
思考题与练习题	71
第3章 时分多路复用技术	73
3.1 PCM30/32 路基群帧结构	74
3.1.1 时分多路复用通信的概念	74
3.1.2 PCM 时分多路通信系统的构成	75
3.1.3 PCM30/32 路基群帧结构	76
3.1.4 数码率计算	78
3.2 PCM30/32 路的定时与同步系统	79
3.2.1 定时系统	79
3.2.2 同步系统	84
3.3 PCM30/32 路系统构成	92
3.3.1 集中编码方式 PCM30/32 路系统	92
3.3.2 单片集成编解码 PCM30/32 路系统	95
3.3.3 PCM 话路特性指标及其测试	95
3.4 信号复用方式和多址联接方式	101
3.4.1 频分多路复用	101
3.4.2 时分多路复用	102
3.4.3 波分多路复用	103
* 3.4.4 多址方式	104
小结	109
思考题与练习题	110
第4章 准同步数字复接 PDH	111
4.1 复接的基本概念	111
4.1.1 PCM 复用与数字复用	112
4.1.2 数字复接系统的构成	112
4.1.3 数字复接方式	114
4.2 同步复接与异步复接	116
4.2.1 同步复接技术	116
4.2.2 异步复接技术	119

4.2.3 异步复接二次群帧结构	123
4.2.4 二次群异步复接系统构成	125
4.2.5 复接抖动	125
4.3 PCM 高次群	128
4.3.1 PCM 三次群帧结构	128
4.3.2 PCM 四次群帧结构	129
4.3.3 PCM 五次群帧结构	131
4.3.4 PCM 高次群接口码型	131
4.4 PCM 零次群、子群	133
4.4.1 PCM 零次群	133
4.4.2 PCM 子群	136
小结	137
思考题与练习题	138
第5章 数字信号传输	140
5.1 数字信号基带传输的基本知识	140
5.1.1 基带传输系统的构成	141
5.1.2 数字基带信号的波形	142
5.1.3 数字基带信号的频谱特性	143
5.2 数字信号基带传输的线路码型	145
5.2.1 数字信号基带传输码型的要求	145
5.2.2 常用的传输码型	146
5.2.3 传输码型变换的误码增殖简介	153
5.3 数字基带信号传输特性与码间干扰	154
5.3.1 数字基带信号传输的基本特点	154
5.3.2 数字基带信号的传输过程	154
5.3.3 数字基带信号传输的基本准则(无码间干扰的条件)	157
5.4 数字基带信号的再生中继传输	160
5.4.1 基带传输信道	160
5.4.2 再生中继系统	162
5.4.3 再生中继器的构成	163
5.5 传输系统的性能分析	167
5.5.1 信道噪声及干扰	167
5.5.2 误码率和误码率的累积	169
5.5.3 误码信噪比	172
5.5.4 相位抖动	173
5.5.5 眼图	174
* 5.6 数字信号的频带传输	176
5.6.1 数字调制的概念	176

5.6.2 数字幅度调制	177
5.6.3 数字频率调制	179
5.6.4 数字相位调制	181
5.6.5 数字信号的频带传输系统	184
小结	186
思考题与练习题	188
第6章 同步数字体系	190
6.1 SDH 概述	190
6.1.1 准同步数字体系的不足	190
6.1.2 同步数字体系的概念	192
6.1.3 光同步数字传输网的特点	192
6.2 SDH 的速率和帧结构	192
6.2.1 网络节点接口	192
6.2.2 同步数字体系的速率	193
6.2.3 SDH 帧结构	193
6.2.4 开销的类型和功能	194
6.3 同步复用和映射方法	203
6.3.1 复用单元	204
6.3.2 我国的 SDH 复用路线	207
6.3.3 映射	208
6.3.4 定位	212
6.3.5 复用	217
6.4 SDH 传送网结构	220
6.4.1 传送网的概念	220
6.4.2 SDH 传送网分层模型	221
6.4.3 SDH 传输网及网络单元	222
6.4.4 SDH 的自愈网	225
6.4.5 网同步、SDH 网同步结构和同步方式	231
小结	233
思考题与练习题	234
实验	236
实验 1: 脉冲幅度调制与解调实验	236
实验 2: PCM 编译码	237
实验 3: PCM 时分复用	238
实验 4: 帧同步	239
实验 5: 数字基带信号	240
参考文献	242

图 1-1 通信系统模型图



第 1 章

数字通信概述

本章内容

- 数字通信系统的基本概念。
- 数字通信系统的主要性能指标。
- 数字通信的特点。

本章重点

- 数字通信系统的基本概念。
- 数字通信系统的主要性能指标。

本章难点

- 数字通信系统的主要性能指标。

本章学时数

- 6 学时。

学习本章目的和要求

- 掌握数字信号与模拟信号的特点，数字通信系统构成，数字通信的主要性能指标。
- 了解信息、信号的概念及分类。

1.1 数字通信系统的基本概念

本节从通信系统的构成及其各部分的功能、分类以及数字通信的特点和数字通信系统的主要性能指标、数字通信系统的模型特点、应用等方面，对数字通信作概括的介绍。

1.1.1 通信系统构成

人类生活在信息的海洋里，离不开信息的传递与交流。通信就是信息的传递和交换，一般地说，就是由一个地方向另一个地方传送消息。通信系统就是用电信号（或光信号）传递信息的系统，也叫电信系统。其基本组成包括：信息源、发送设备、信道、接收设备、受信

者及噪声源 6 个组成部分。通信系统的模型如图 1-1 所示。

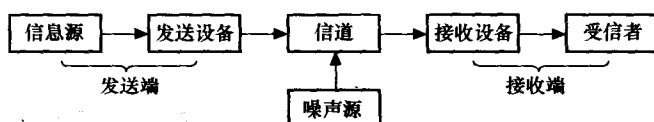


图 1-1 通信系统的模型

信息源是指产生各种信息（如语音、文字、图像及数据等）的信源，即原始信息来源。信息源可以是离散的数字信息源，也可以是连续的模拟信息源。它的作用是把各种可能的信息转换成相应的电信号。通常见到的信息源可以是人，也可以是机器（如电话机、摄像机、电传机、计算机和各种数字终端设备等）。

发送设备的基本功能是将信息源和传输媒介匹配起来，即将信息源产生的消息信号变换为便于传送的信号形式，送往传输媒介，这是因为信息源提供的原始电信号往往不适宜在信道中直接传输。对应不同的信息源和不同的通信系统，变换器有不同的组成和变换功能。例如，模拟电话通信系统中，变换器由送话器和载波机（主要由放大器、滤波器和调制器）等组成，其中送话器将人发出的语音信号变换为电信号；载波机的作用是将送话器输出的话音信号（频率范围 0.3 kHz~3.4 kHz）经过频率搬移、频分复用处理后，变换成适合于在模拟信道上传输的信号。而对于数字电话通信系统，变换器则包括送话器和模/数变换器等，模/数变换器的作用是将送话器输出的模拟语音信号经过模/数变换和时分复用等处理后，变换成适合于在数字信道中传输的信号。

信道是信号的传输媒介。信道按传输媒介的种类分类可以分为有线信道和无线信道。在有线信道中电磁信号（或光信号）约束在某种传输线（架空明线、电缆或光缆等）上传输，在无线信道中电磁信号沿空间（大气层、对流层及电离层等）传输。信道如果按传输信号的形式分类又可以分为模拟信道和数字信道。

接收设备的作用是将信道上传输的信号变换成信息接收者可以接收的信息。接收设备的基本功能是完成发送设备的反变换。它的任务是从带有干扰的信号中正确恢复出原始电信号来，对于多路复用信号，还包括解除多路复用，实现正确分路。

受信者是信息的接收者，是传输信息的归宿点，可以是人或机器。受信者与信息源对应构成人与人的通信、机与机的通信、人与机或机与人的通信。

噪声源是系统内各种干扰影响的等效结果。系统的噪声来自各个部分，从发出信息和接收信息的周围环境、各种设备的电子器件，到信道所受到的外部电磁场干扰，都会对信号形成噪声影响。将系统内所存在的干扰均折合到信道中，用噪声源表示。

1.1.2 信息、信号及分类

信息同物质和能量一样，是人类赖以生存和发展的基础，是人类社会进行沟通、交流的纽带。信息的概念具有广泛的内涵，人们从不同侧面对信息进行了定义，通常的定义为：信息是对客观世界中各种事物的变化和特征的反映，对使用者具有价值或潜在的价值，是客观事物之间相互作用和联系的表征以及经过传递后的再现。因此，信息不是事物本身，而是事物的存在方式和运动状态，以及关于事物存在方式和运动状态的陈述。消息、信号、数据及

资料均是信息的具体表现形式。知识是一种特殊的信息，是人类社会经验和客观规律的系统总结，是最有价值的信息。

信息是一种资源，它具有许多与物质和能量不同的特征，信息的基本特征包括以下几个方面。

(1) 传递性

信息总是处在一定的传递过程中，与物质流、能量流相融合形成信息流，没有传递就没有信息。信息的传递因现代通信技术的出现，特别是因特网的大规模使用，真正实现了“信息无国界”。

(2) 时效性

无论是信息的产生、传递还是信息的利用，都有一定的时间期限。信息随时间的变化而变化，只有掌握了最新信息，并及时有效地加以利用，才能实现其价值，创造财富。因此在现代信息社会中，获取和利用信息的时间成为一个企业成败的关键因素。

(3) 累积性

信息从不同的侧面反映事物存在与发展状况，因而随着时间的延续，信息在不断积累和增长。再生性信息在流通使用过程中，可以分析、综合，亦可进行提炼、加工，从而获得更为广泛的知识。

(4) 共享性

信息不仅可同时为众多的使用者所共享，而且还会因交流而呈现出内容的倍增。信息的共享性使信息资源通过多种渠道和传输手段加以扩展，从而获得广泛的利用。因特网的出现和高速发展，将最大限度地实现信息共享。

(5) 无限性

物质和能量都是有一定储量的，信息资源却不是这样，它会不断扩充，不仅没有限度，而且永远不会耗尽，越来越多，迅速增长。“信息爆炸”、“知识爆炸”与“石油枯竭”、“粮食危机”、“水资源危机”呈现出鲜明的对比。

信息除了以上的基本特征外，还具有其他一些特征，诸如客观性、目的性、开发性、普遍性、科学性、替代性以及可编性等，这些都构成了信息的复杂性。

信息是指消息中包含的有意义的内容，它是通过信号来表达的，信号是信息的载体。信号是指随时间变化的物理量。因为消息不适合于在信道中直接传输，需将其调制成适合在信道中传输的信号。在通信系统中传输的信号是由某些电的参量（如电压、电流等物理参量）表示的。在通信系统中常见的信号有：语音信号、图像信号和数据信号等。信号根据物理参量基本特征的不同，可分为模拟信号和数字信号。

模拟信号是时间和幅度都为连续值的信号，好像模拟信息变化，因此，称为模拟信号，其特点是幅度上连续。连续的含义是在某一取值范围内可以取无限多个数值。如图 1-2 所示，从图 1-2 (a) 波形中可看出，此信号波形在时间上和幅度上都是连续的。将时间上连续的和幅度上连续的信号叫作连续信号。例如语音信号、摄像机产生的图像信号等，它们的电压（或电流）波形的取值为连续的时间函数。以幅度代表信息变化的信号，幅度是连续的，且在时间上也是连续的，语音信号、图像信号及遥测、遥控等信号就是属于时间连续的模拟信号，而脉冲幅度调制（PAM）、脉冲相位调制（PPM）和脉冲宽度调制（PWM）等信号则为时间上不连续的模拟信号。PAM 信号如图 1-2 (b) 所示。

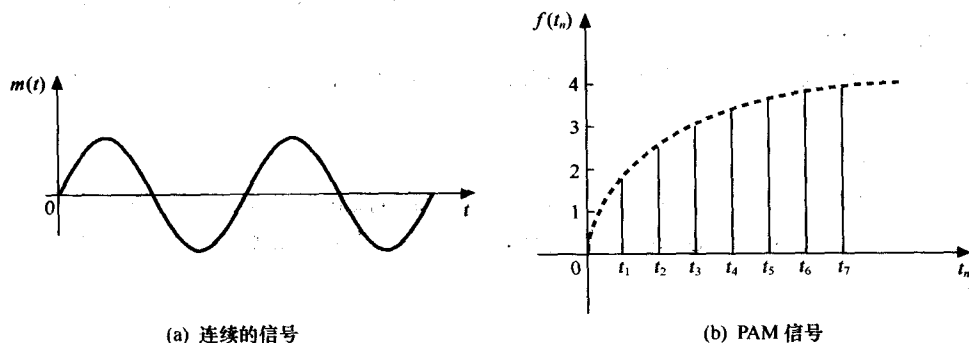


图 1-2 模拟信号示意图

数字信号，又称离散信号，不仅在时间上，而且在幅度上也是离散的。其特点是：幅值被限制在有限个数值之内，它不是连续的，而是离散的。例如，电传电报机信号、计算机信号、数字电话信号及数字电视信号等。这种信号的取值为有限个离散值，且不是时间的连续函数。一般而言，数字信号的幅度集合是任意有限集合，最常用的是二进制数字信号。二进制就是只有两种取值的可能性，通常用 (0, 1) 表示，如图 1-3 (a) 所示。也可以有多进制数字信号，如四进制、八进制等。当选用 N 进制时，这里的 N 是大于 2 的一个正整数， N 进制与二进制是可以相互表示的。如 $N=8$ ，则 N 进制的每一位数字可以用三位二进制数字来表示。原则上， N 进制的一个数字可用 $\log_2 N$ 个二进制数字去表示，但要注意，当 $\log_2 N$ 不为整数时，则应取大于此数值的第一个整数。如图 1-3 (b) 所示为四进制数字信号，其每个码元只取 4 个 (3, 1, -1, -3) 幅值中的一个。

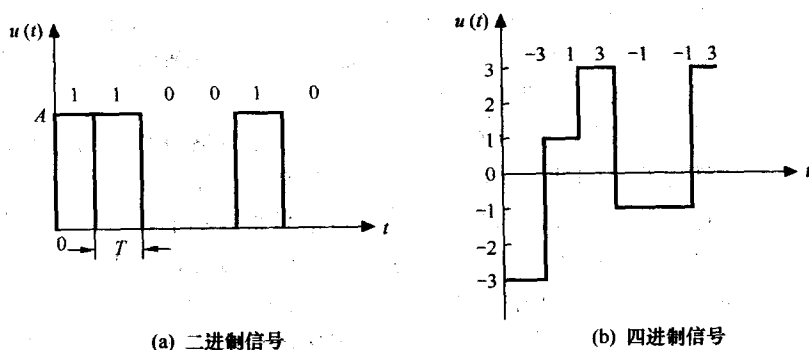


图 1-3 数字信号

在数字通信中常常用时间间隔相同的符号来表示一位二进制数字。这个间隔被称为码元长度，而这样的时间间隔内的信号称为二进制码元。同样， N 进制的信号也是等长的，并被称为 N 进制码元。

在二进制数字码流中，每一位码的占空比为 100%，1 用高电平表示，0 用低电平表示；反过来表示也是可以的。占空比的概念如图 1-4 所示。设“1”码脉冲的宽度为 τ ，二进制码元允许的时间为 t_B （即二进制码元的间隔），占空比 $a = \tau/t_B$ （以单极性码为例）。

从以上分析可知：数字信号与模拟信号的区别是幅度取值上是否离散。模拟信号与数字信号有明显区别，但两者之间，在一定条件下是可以互相转换的。

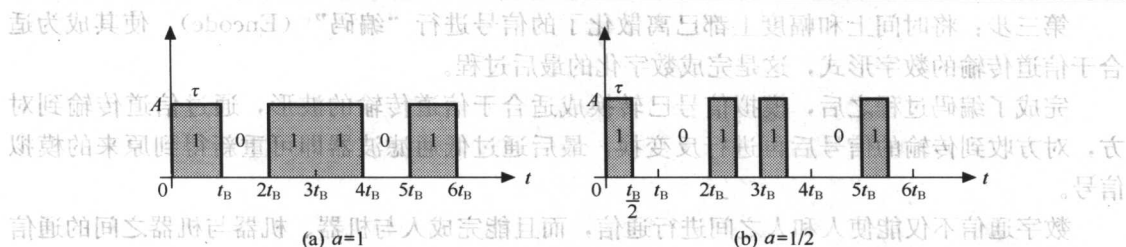


图 1-4 占空比的概念

1.1.3 模拟通信与数字通信

1. 模拟通信

在模拟通信中,传送的是模拟信号,传输模拟信号的通信系统称为模拟通信系统。电话的语音消息和传真、电视的图像消息都是模拟信号(连续信号)。模拟通信系统模型如图 1-5 所示。

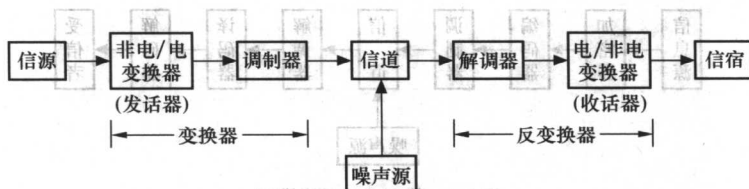


图 1-5 模拟通信系统模型

在图 1-5 中,发送端的原始连续消息要变换成原始电信号,接收端收到的信号要反变换成原始连续消息。通常还要把经过第一次变换后的电信号再进行第二次变换,这种第二次变换称作调制,调制即是把原始电信号变换成其频带适合信道传输的信号。已调信号通过信道传输到接收端的解调器和电/非电变换器,它们起着反变换的功能,解调即是在接收端将信道中传输的信号还原成原始的电信号。

经过调制后的信号成为已调信号,发送端调制前和接收端解调后的信号成为基带信号。因此,原始电信号又称为基带信号,而已调信号又称为频带信号。

模拟通信在信道中传输的信号频谱比较窄,可以通过多路复用使信道的利用率提高。它的缺点是:传输的信号是连续的,叠加噪声干扰后不易消除,即抗干扰能力较差;不易保密通信;设备不易大规模集成;不适应飞速发展的计算机通信的要求。

2. 数字通信

在数字通信中,传送的是数字信号。概括地说,数字通信就是把原始模拟信号变换成简单的数字形式,再传送给对方的通信方式。下面简单讲述模拟电话信号是如何数字化的。

以脉冲编码调制(Pulse Code Modulation, PCM)来说,采用 PCM 的办法把模拟电话信号数字化,一般要通过下述 3 个步骤。

第一步:对模拟电话信号进行“抽样”(Sampling),这是将连续信号在时间上离散化的过程。

第二步:将已在时间上离散化了的信号进行“量化”(Quantization),这是将时间上离散化的信号在幅度上也离散化的过程。

第三步：将时间上和幅度上都已离散化了的信号进行“编码”（Encode），使其成为适合于信道传输的数字形式，这是完成数字化的最后过程。

完成了编码过程之后，模拟信号已转换成适合于信道传输的波形，通过信道传输到对方，对方收到传输的信号后再进行反变换，最后通过低通滤波器即可重新得到原来的模拟信号。

数字通信不仅能使人和人之间进行通信，而且能完成人与机器、机器与机器之间的通信和数据交换，为现代通信网奠定了良好的基础。

1.1.4 数字通信系统模型

数字通信系统是指利用数字信号传递消息的通信系统。数字通信系统的基本任务是把信源产生的信息转换成一定格式的数字信号，通过信道传输，在终端再反变换适宜受信者接收的信息形式。数字通信系统的组成形式有多种，但从系统的主要功能和部件看，都可概括为图 1-6 所示的基本模型。

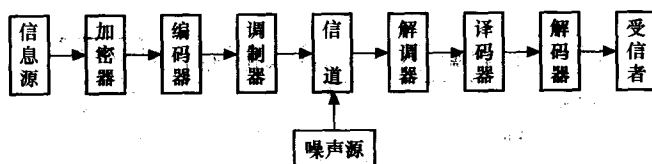


图 1-6 数字通信系统模型

图 1-6 中所示的信息源是指产生各种信息（如语音、文字、图像及数据等）的信源。

编码器和调制器组合在一起与模拟通信系统的变换器功能类同；解调器和解码器组合在一起与模拟通信系统的反变换器功能类同，但变换的原理有区别。

编码器的作用是将信源发出的模拟或离散的信号，转换成有规律的、适应信道传输的数字信号。这种数字信号一般为二进制的脉冲序列。

译码器的功能与编码器相反，是把数字信号还原为原始的信息信号。编码器和译码器一般包括两部分：信源编码、信道编码和信道解码、信源解码。

信源编码的主要任务是将信源送出的模拟信号数字化，即对连续信息进行模拟/数字（A/D）变换，用一定的数字脉冲组合来表示信号的一定幅度。

信道编码是一种代码变换，主要解决数字通信的可靠性问题，故又称作抗干扰编码。数字信号在信道中传输，不可避免地会受到噪声干扰，并有可能导致接收信号的错误判断，产生错码（误码）。信道编码就是为了减小这种错误判断出现的概率而引出的编码方法。具体讲，是将信源编码输出的数字信号，人为地按一定规律加入一些不代表所传信息的多余数字代码，以达到在接收端可以发现和纠正错误的目的。

调制器的作用是把二进制脉冲变换或调制成适宜在信道上传输的波形。由于编码器输出的二进制脉冲序列（也称作基带信号）一般不宜在信道中直接传输，尤其不宜在长距离信道中传输，需要把它调制在一个确定的高频振荡（称为载波）上，使高频振荡的振幅、频率、相位或它们的组合随所要传输的数字脉冲有规律地变化。在数字通信系统中，这个过程称作数字调制。它是信息传输过程中的一个重要措施，利用它可减小信道中干扰的影响，可改善信号频谱以及信道特性匹配，减小传输引起的失真，并具有提供多种用户合用一个信道（多

路复用)的能力,使信号在信道上的传输效率大为提高。

数字通信在实现信息加密和解密方面比模拟通信有较大的优越性,一般是在数字通信系统的信源编码器后或前设置加密器,在信源译码器前或后设置解码器来实现保密通信。加密器是在需要实现保密通信时才用的器件。通过加密器可以产生密码,人为地把被传输的数字序列搅乱。这种编码可以采用周期非常长的伪随机序列,甚至采用完全无规律的噪声码。这个过程就叫做加密。在接收端利用与发端完全相同的密码复制品,可对接收到的数字序列进行解密,保证信息传输有极高的保密性。

解调是调制的逆过程,解调器是把接收到的已调制信号进行反变换,恢复出原数字信号,并送解码器解码。

信道是信号的传输媒介。噪声源是系统内各种干扰影响的等效结果。

需要指出的是,数字通信系统的具体构成既可以包括图 1-6 所示的所有组成部分,也可以只是其中的一部分,这要视具体内容和要求而定。当数字通信系统不包含调制器和解调器时,通常被称作基带传输系统。基带是指编码处理后的基带数字信号(未经调制变换的数字信号)直接在电缆信道上传输,习惯上称之为数字基带信号。显然,基带传输系统实际上是将基带信号直接进行传输的通信系统。这是一种最基本最简单的通信方式,多用在短距离的有线传输中,而不能用于无线传输。如果数字基带信号经过调制,将信号频谱搬移到高频处,再送进信道中传输,这种将基带数字信号经过调制后其频带搬移到适合于无线等信道传输的频带上再传输的传输方式称为频带传输,多用于无线通信和光通信中。

1.2 数字通信系统的主要性能指标

对一个通信系统的评价,往往涉及到许多性能指标。但是,从消息的传输角度来说,通信的有效性与可靠性是主要的矛盾,成为通信系统的主要性能指标。本节就数字通信系统的有效性和可靠性问题展开讨论。

1.2.1 有效性指标

数字通信系统有效性的描述用以下 3 个指标来说明:码元传输速率、信息传输速率及系统的频带利用率。码元传输速率和信息传输速率统称为系统的传输速率。

1. 码元传输速率 R_B

码元传输速率又称码元速率或传码率,是指单位时间(每秒)内所传送的码元(即脉冲)数目,单位为“波特”(Baud),记作 B 或码元/秒。

例如某系统每秒传送 2 000 个码元,则该系统的码元传输速率 $R_B = 2\,000\text{ B}$ 。

码元传输速率又叫调制速率。它表示信号调制过程中,1 秒内调制信号(即码元)被变换的次数。如果一个单位调制信号波的时间长度为 T 秒,那么调制速率为

$$R_B = \frac{1}{T} \quad (1-1)$$

例如二进制调频波,一个“1”变成“0”符号的持续信号时间 $T = 833 \times 10^{-6}$,则调制速率为