



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
技能型紧缺人才培养培训建筑设备类专业教学用书

通信网络技术

毕丽红 主 编
朴立华 金湖庭 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>



教育部推荐 高等学校计算机专业规划教材
教育部高等学校计算机专业教学指导委员会推荐教材

通信网络技术

第2版
张 斌 主编

清华大学出版社

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
技能型紧缺人才培养培训建筑设备类专业教学用书

通信网络技术

主 编 毕丽红
副主编 朴立华 金湖庭
编 写 宋艳萍
主 审 胡金良



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书是教育部职业教育与成人教育司推荐教材。全书共分9章,主要内容包括通信系统基础知识、光纤通信技术、移动通信技术、卫星通信技术、电话系统工程、有线电视系统及HFC、综合业务数字网及宽带接入、广播音响系统、智能建筑通信网络系统工程中的公共内容等。本书是为适应在新形势下建设行业技能型紧缺人才的培养需要编写的,通信系统涉及的内容较多,有利于非通信专业的学生在有限的时间内基本掌握现代通信的基本知识,建立完整的通信系统的概念,掌握现代通信网的组成,了解通信技术的发展趋势。本书介绍了大量的工程实例,内容丰富,取材新颖。

本书为楼宇智能化工程技术、通信工程、自动化类及电子类等专业的教材,也可作为从事智能建筑设计和施工人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

通信网络技术/毕丽红主编. —北京:中国电力出版社, 2007. 2

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 5038 - 7

I. 通... II. 毕... III. 通信网—高等学校:技术学校—教材
IV. TN915

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第001497号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2007年2月第一版 2007年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 20印张 427千字

印数 0001—3000册 定价 26.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材,是根据教育部审定的建筑设备类专业主干课程的教学大纲编写而成的,并列人教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标;符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求;具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性;符合职业教育的特点和规律,具有明显的职业教育特色;符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书,也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

随着信息技术、控制技术和网络技术在建筑领域的广泛应用,智能建筑工程已成为建筑工程的重要组成部分。根据当前我国智能建筑发展的状况,为适应在新形势下建设行业技能型紧缺人才的培养需要,编写了专业楼宇智能化工程技术专业教材。

在智能建筑中,楼宇自动化和办公自动化的基础是信息通信的网络化。前者所有信息传输都依靠通信网络的建立。因此,使从事楼宇智能化的技术人员对通信基础理论和网络有较系统地了解,获得足够的通信网络系统的知识是必要的。通信系统涉及的内容较多,为了使非通信专业的学生在有限的时间内基本掌握现代通信的基本原理,建立完整的通信系统的概念,掌握现代通信网的组成,了解通信技术的发展趋势,特编写了本教材。

全书共分9章,第1章介绍通信的基础知识,第2章介绍光纤通信技术,第3章介绍移动通信技术,第4章介绍卫星通信技术,第5章介绍电话网络系统,第6章介绍有线电视及HFC,第7章介绍宽带接入及综合业务数字网,第8章介绍广播音响系统,第9章介绍智能建筑通信网络系统工程中的安装、施工、系统电源、缆线敷设等内容。本教材计划学时为64课时。

本书第1、4、9章由毕丽红编写,第2、5章由宋艳萍编写,第3、7章由金湖庭编写,第6、8章由朴立华编写。全书由毕丽红主编、统稿,由朴立华、金湖庭担任本书副主编,由胡金良担任主审。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,在此热忱欢迎读者给予批评指正,以便将来不断修订和改进。最后,对本书所列参考文献的作者表示感谢。

编者

2006年10月

目 录

前言

第 1 章 通信系统基础知识	1
1.1 通信的基本概念	1
1.2 模拟信号数字化	8
1.3 信号的基带传输	10
1.4 信号调制与解调	12
1.5 复用技术	17
第 2 章 光纤通信技术	20
2.1 光纤通信概述	20
2.2 光纤与光缆	22
2.3 光纤通信系统	28
2.4 光的波分复用 (WDM)	39
第 3 章 移动通信技术	43
3.1 移动通信概述	43
3.2 多址接入技术	44
3.3 蜂窝移动通信系统 (GSM)	47
3.4 集群通信系统	51
3.5 第三代移动通信系统	59
第 4 章 卫星通信技术	63
4.1 卫星通信概况	63
4.2 卫星通信的多址方式	67
4.3 卫星地球站	74
4.4 VSAT 卫星通信系统	81
第 5 章 电话系统工程	91
5.1 程控交换机的构成及原理	91
5.2 程控数字交换机的人网方式	99
5.3 电话系统设计案例分析	102
5.4 电话系统施工管理	106
第 6 章 有线电视系统及 HFC	112
6.1 有线电视系统基础	112
6.2 电视接收天线	121

6.3	传输线	125
6.4	有线电视系统的前端设备	129
6.5	传输网与分配系统设备	134
6.6	有线电视系统的工程案例分析	143
6.7	卫星电视	163
6.8	有线电视光缆传输	168
6.9	有线电视系统的发展	177
第 7 章	综合业务数字网及宽带接入	179
7.1	ISDN 的概念及发展	179
7.2	ISDN 的业务及其应用	184
7.3	B-ISDN 的特性及信息传递方式	191
7.4	ATM 技术	195
7.5	接入网	200
第 8 章	广播音响系统	217
8.1	声频系统	217
8.2	公共广播	229
8.3	会议系统	233
8.4	音响系统的安装与调试	236
8.5	工程案例	244
第 9 章	智能建筑通信网络系统工程中的公共内容	256
9.1	安装工程的基本程序	256
9.2	安装施工项目管理	260
9.3	系统电源工程	262
9.4	通信网络系统的接地与防雷	266
9.5	缆线铺设工程	271
参考文献		273

通信系统基础知识

1.1 通信的基本概念

人类是通过嘴巴、耳朵、眼睛等与对方进行信息交换的。但是当人们相隔较远时,如何进行信息交换呢?这就需要用通信来实现。通信的基本任务是解决两地之间消息的传递和交换问题。例如,将地点 A 的信息传输到地点 B,或者将地点 A 和地点 B 的信息双向传输。

实现通信的方式很多。在古代,人们曾利用信物、烽火、金鼓、旗语等作为通信工具传递信息;在现代,人们利用电话、传真、电视、互联网等进行信息传递和交换。现代通信的主要方式是电通信,即利用电信号携带要传递的信息,然后经过各种信道进行传输,达到通信的目的。由于电通信几乎能在任意的通信距离上实现迅速而又准确的传递,因而得到了飞速的发展和广泛的应用。

1.1.1 信号

信息要用某种物理方式表达出来,通常可以用声音、图像、文字、符号等来表达。由于它们一般不便于高效率、高可靠性的远距离传输,因而往往需要将它们转换成便于传输和处理的信号。因此可以说,信号是信息的载体,是信息的表现形式。一般讲的信号是指电信号,它的表达形式可以是电压、电流或电场等。对信号的描述有时域法和频域法两种方法。

时域法描述的是信号的电量(电压或电流等)随时间变化的情况,可以通过波形反映出来。例如,声音信号与时间 t 的关系可用一维函数 $f(t)$ 来描述,如图 1-1 (a) 所示。频域法描述的是信号的电量在频域中的分布情况,可用频谱分析仪观察信号的频谱,语音信号的

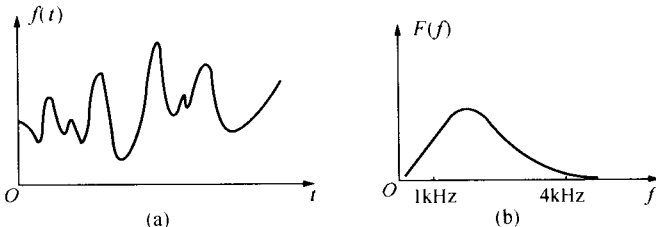


图 1-1 语音信号的波形与频谱图

频率范围大约为 $20 \sim 20000\text{Hz}$,如图 1-1 (b) 所示。在语音中,频谱越高能量就越小,所以在电话中只传送频率为 $300 \sim 3400\text{Hz}$ 的部分。

电信号可以有多种分类方法。以频率划分,可分为基带信号和频带信号;以信号参数的状态划分,则分为模拟信号和数字信号。

1. 基带信号与频带信号

基带信号是指含有低频成分甚至直流成分的信号,通常情况下,原始信号都是基带信号。基带信号占据的频带宽度相对于它的中心频率而言很宽,不适合于长距离传输,更不能进行无线电发送。例如,语音信号是一种典型的基带信号,它是由人的声音经过话筒转换而成的。

频带信号的中心频率较高,而带宽相对中心频率很窄,因此适合于在信道中传输。基带信号经过各种不同的调制方法可以转换成频带信号。如调频广播电台的频率就是一个频带信号,它是将音频信号调制到一定的中心频率上,然后进行发射。如果接收机的频率与电台的

频率相同,就能够接收到信号。

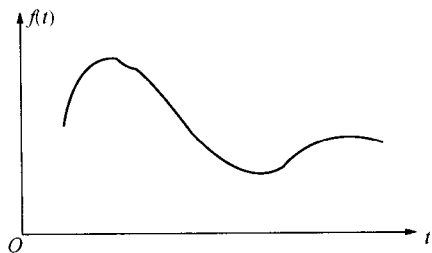


图 1-2 模拟信号示例

2. 模拟信号与数字信号

模拟信号是指电信号参量的取值随时间连续变化的信号。因此,模拟信号也叫连续信号,如图 1-2 所示。模拟信号电量可以有无限多个取值,如在 1.1~1.2V 之间,可以取 1.1V、1.11V、1.111V 等无限多个数值。常见的模拟信号有语音信号、图像信号以及来自各种传感器的检测信号等。

数字信号与模拟信号相反,是指电信号参量的取值是离散的且只有有限个状态的信号,因此数字信号也叫离散信号。如图 1-3 (a) 所示是二进制数字信号,它只有两种取值,分别用 0 和 1 表示。当然也可以有多进制数字信号,如四进制、八进制等,如图 1-3 (b) 所示就是四进制数字信号,用 0、1、2、3 表示四种取值。常见的数字信号有电报、传真、计算机数据等。

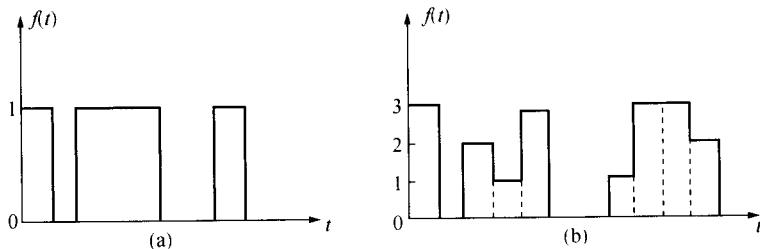


图 1-3 数字信号举例

1.1.2 信道

信道是信号的传输介质,分为有线信道和无线信道两类。有线信道包括明线、双绞线、同轴电缆和光纤等,而无线信道是由无形的空间构成,利用电波进行通信。

1. 有线信道

目前广泛使用的有线信道的介质种类主要有双绞线、同轴电缆和光纤,它们的构造、特征及主要用途见表 1-1。

表 1-1

有线信道的介质种类、特征、主要用途

介质种类	特征	主要用途
双绞线	价格低廉、构造简单、传输频带窄,有电磁泄露、容易混入噪声	电话用户线、低速 LAN
同轴电缆	价格稍高、传输频带宽、电磁屏蔽较好,分支接头较复杂	CATV 分配电缆、高速 LAN
光纤	低损耗、宽频带、重量轻、直径小、保密性能好	主干线、高速 LAN

双绞线构造简单且价格便宜,但传输损耗大,且随着频率升高双绞线间产生漏话现象。并且,一般双绞线不能屏蔽电磁波干扰,易混入外部噪声。双绞线主要使用在频率为 100Hz 以下模拟信号或传输速率为 100Mbps 以下的信息传输,被广泛应用于电话端局和用户之间

的连接，或在低速局域网中连接计算机。

一般情况下，高频率信号的传输和长距离的传输都使用同轴电缆。同轴电缆的频带要比双绞线宽得多，它的外部金属能屏蔽中心导体的电磁波，因而不容易混入杂音。由于这些特点，它被广泛用于数百兆赫兹的模拟信号传输，也可用于 1Gbps 的数字传输。因为电视信号的频段是 91.25~900MHz，所以有线电视（CATV）的分配电缆都采用同轴电缆。

光纤与双绞线、同轴电缆相比较，具有无可比拟的低损耗、传输频带宽、无电磁感应、不漏话且质轻、径细等极优良的性能。国际间、国内城市间长距离大容量的传输线路使用的同轴电缆很快被光纤替代了。伴随着光纤制造技术的日益提高，成本的不断下降，原来以双绞线、同轴电缆为主要传输线路的高层大楼、办公室等内部通信也开始使用光纤了。

2. 无线信道

无线信道是利用电波传输信号。电波是一种在空间传播的物质，是全世界共同拥有的资源和财产。电波是指频率在 3GHz 以下的电磁波，电磁波包括电波、红外线、可见光、紫外线、X 射线和 γ 射线等，它们都是以 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 的速度（光速）传播的，人们根据电波的波长对它进行命名，如图 1-4 所示。

电波是从天线发射出来的，不同的频率对应的天线的形状、尺寸也各不相同，并且电波传播方式也多种多样，主要传播方式有地表面波、直射波和电离层反射波。表 1-2 列出了无线信道电波的工作频段、传播方式及主要用途。

波长	频率	符号	名称
0.1mm	3000GHz		(亚毫米波)
1mm	300GHz	EHF	极高频(毫米波)
1cm	30GHz	SHF	超高频(厘米波)
10cm	3GHz	UHF	特高频
1m	300MHz	VHF	甚高频(超短波)
10m	30MHz	HF	高频(短波)
100m	3MHz	MF	中频(中波)
1km	300kHz	LF	低频(长波)
10km	30kHz	VLF	甚低频(极长波)
100km	3kHz		

图 1-4 电波的名称

表 1-2 无线信道电波的工作频率、传播方式和主要用途

名称	频带范围	波长范围	主要传播方式	主要用途
长波	30~300kHz	1~10km	地表面波	远距离通信、导航
中波	300~3000kHz	0.1~1km	地表面波	调幅广播、船舶、飞机通信
短波	3~30MHz	10~100m	地表面波 电离层反射波	调频广播、调幅和单边通信
超短波	30~300MHz	1~10m	直射波 对流层散射	调频广播、广播电视、雷达 与导航、移动通信
微波	300MHz 以上	1m 以下	直射波	广播电视、卫星通信、移动 通信、微波接力通信

图 1-5 所示是电波的各种传播路径。地球的表面是一个球面，绕地球表面进行传播的电波称为地表面波，中波以下频段的电波主要以地表面波形式传播。电波发送端与接收端在视距范围内直接传播的电波称为直射波，超短波以上波段的电波以直射波为主。受地表面曲

率的影响,直射波的传播范围一般不超过 50km。电离层反射波是指电波经过电离层反射到地面的电波,短波频段电波的电离层反射波最为明显。

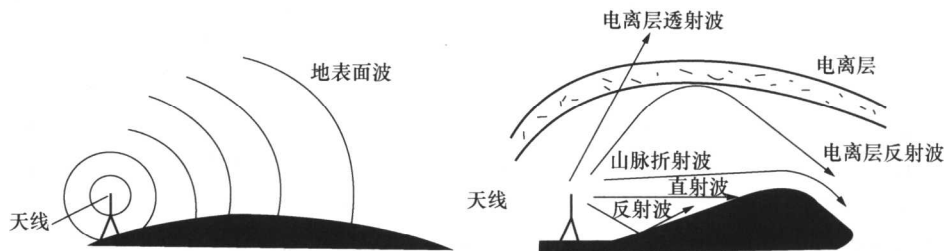


图 1-5 电波的传输路径

1.1.3 信息的传输方式

信息的传输方式有以下几种分类：按照通过传输线路信息的形式不同可以将传输方式分为模拟传输和数字传输；按照传输方法可分为串行传输和并行传输；按照信号的流向可分为单工、半双工和全双工三种通信方式。

1. 模拟传输和数字传输

根据信道中传送的是模拟信号还是数字信号，将通信传输方式分为模拟传输方式和数字传输方式。应当指出，模拟传输方式和数字传输方式是以信道传输信号的差异为标准的，而不是根据原始输出的信号来划分的。若将原始输出的模拟信号经过模/数变换，即可还原出原始的模拟信号。

2. 串行传输和并行传输

将多位二进制码的各位码在时间轴上排列成一行，在一条线路上一位一位地传输的方式称为串行传输方式。用数量等于二进制码的位数的多条传输线路同时传送多位码的传输方式称为并行传输方式。两种传输方式如图 1-6 所示。

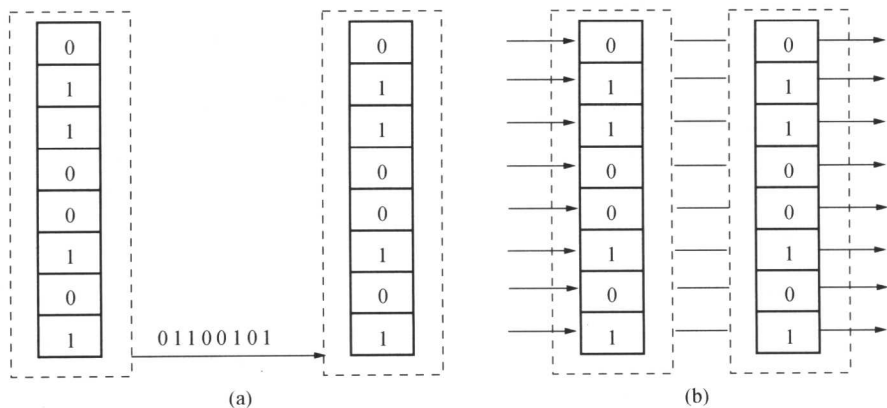


图 1-6 数据的串行传输和并行传输

(a) 串行传输；(b) 并行传输

串行的通信成本低但速度慢，而并行传输的传输速度快但成本高。因此，在通信线路长即远距离传输时使用串行传输方式，而在短距离的计算机之间或计算机与外部设备（打印机、显示器等）之间使用并行传输方式。

3. 单工、半双工和全双工通信

(1) 单工通信是指信息的流动方向始终固定为一个方向的通信方式。虽然能够逆向传输应答监视信号,但不能反方向传输信息,如图1-7(a)所示。

例如,电视机、收音机、BP机等只能接收信号,而不能反方向传送信号,它是一种类似于单行道的通信方式。

(2) 半双工通信是一种信息流动方向可以随时改变的通信方式,信息的流动方向有时是从A流向B,有时是从B流向A。但任何时刻只能由其中的一方发送数据,另一方接收数据,如图1-7(b)所示。由于传输方向不断交换,所以传输效率会有所下降。

例如,无线电收发两用机、步话机、银行的联机系统都属于这种方式。它是一种类似于单向交互通行道路的通信方式。

(3) 全双工通信是指可以同时向两个方向传输信息的通信方式,如图1-7(c)所示。这种通信方式可以相互交换大量的信息。虽然是同时双向传输信息,但不一定非要在两个方向上分别铺设传输线路,可以将发送、接收的信号频率分离,引入频分复用技术,实现双向通信。

例如,电话通信和宽带上网等都是属于这种通信方式。它是一种类似于双向通行道路的通信方式。

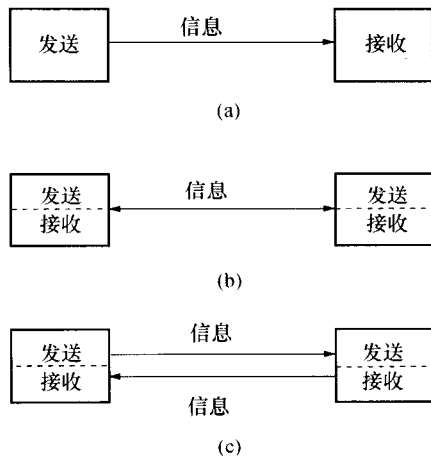


图1-7 单工、半双工和全双工通信方式
(a) 单工通信; (b) 半双工通信; (c) 全双工通信

1.1.4 通信系统

1. 通信系统的组成

信号的传递与处理由通信系统完成。通信系统的一般模型如图1-8所示。它包括信源、发送设备、信道、噪声源、接收设备和信宿6个部分。

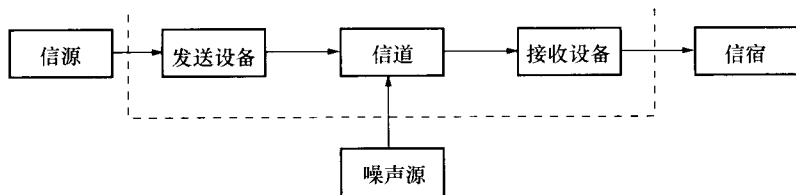


图1-8 通信系统的一般模型

(1) 信源。信源即为信息的来源,它的作用是将原始信息转换为相应的电信号,即基带信号。常用的信源有电话机的话筒、摄像机等。

(2) 发送设备。发送设备的功能是对基带信号进行各种变换和处理,比如放大、调制等,使其适合于在信道中传输。

(3) 信道。信道即为发送设备和接收设备之间用于传输信号的媒介。

(4) 接收设备。接收设备的功能与发送设备的相反,其作用是对接收信号进行必要的处理和变换,以便恢复相应的基带信号。

(5) 信宿。信宿指信息的接收者，它是与信源相对应的，其作用是将恢复出来的基带信号转换成相应的原始信息。常用的信宿有电话机的听筒、耳机、显示器等。

(6) 噪声源。噪声源是信道中的噪声以及分散在通信系统其他各处的噪声的集中表现。

2. 模拟通信和数字通信

根据信道传输信号的差异，通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统，如图 1-9 所示。

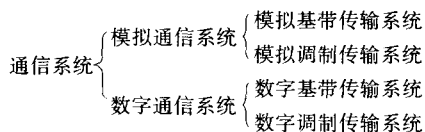


图 1-9 通信系统分类

利用模拟基带信号传递信息的系统称模拟基带传输系统，如麦克风和放大器之间的信息传输。利用模拟频带信号传递信息的系统称模拟调制传输系统，如电视、广播等系统。利用数字基带信号传递信息的系统称数字基带传输系统，如计算机和周边设备（打印机等）之间的信息传输。利用数字频带信号传递信息的系统称数字调制传输系统，如高清晰度数字电视、GSM 移动通信系统等。

信道中传输的是模拟基带信号或模拟频带信号的通信系统称为模拟通信系统。信道中传输的是数字基带信号或数字频带信号的通信系统称为数字通信系统。模拟通信系统仅使用模拟传输方式，而由于数字频带信号是模拟信号，因此数字通信系统既可以使用模拟传输方式又可使用数字传输方式。

目前，无论是模拟通信还是数字通信都已获得广泛的应用，但近年来数字通信无论是在理论上还是技术上都有了突飞猛进的发展。与模拟通信相比，数字通信更能适应现代社会通信技术越来越高的要求。这是由于它本身具有一系列模拟通信无法比拟的特点。其主要优点如下。

(1) 抗干扰能力强。在远距离通信中，中继器可以对数字信号波形进行整形、再生，从而消除噪声和失真的积累，但对模拟信号来说，中继器对传输信号放大的同时，对叠加在信号上的噪声和失真也进行了放大，如图 1-10 所示。此外，还可以采用各种差错控制编码方法进一步改善传输质量。

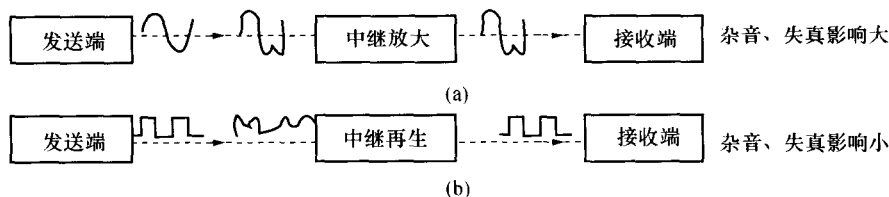


图 1-10 模拟通信和数字通信抗干扰性能比较

(a) 模拟通信；(b) 数字通信

(2) 便于加密处理。在数字通信中易于采用复杂、非线性长周期的码序列对信号进行加密，从而使通信具有高强度的保密性。

(3) 易于实现集成化，使通信设备体积小、功耗低。由于数字通信中大部分电路都是数字电路，微电子技术的发展可使数字通信便于用大规模和超大规模集成电路来实现。

(4) 利于采用时分复用实现多路通信。数字信号本身可以很容易用离散时间信号表示，在两个离散时间之间可以插入多路离散时间信号实现时分多路复用。

但是, 数字通信系统的许多优点是用比模拟信号占用更宽的频带换来的。以电话为例, 一路模拟电话仅占用约 4kHz 带宽, 而一路数字电话却要占用 20~64kHz 的带宽。不过, 随着信道带宽很宽的数字微波、卫星和光纤通信等系统的应用以及数字频带压缩技术的发展, 数字通信占用频带宽的问题将可以逐步得到解决。

3. 通信系统的性能指标

衡量通信系统性能的优劣, 最重要的是看它的有效性和可靠性。有效性指的是传输信息的效率, 可靠性指的是接收信息的准确度。

有效性和可靠性这两个要求通常是矛盾的。提高有效性会降低可靠性, 反之亦然。因此, 在实际设计一个系统时, 必须根据具体情况寻求适当的折中解决办法。

模拟通信系统和数字通信系统对这两个指标要求的具体内容有很大差别, 下面分别予以介绍。

(1) 模拟通信系统的质量指标。模拟通信系统的有效性用有效传输频带来度量。信道的传输频带越宽, 则能够容纳的信息量就越大。例如, 一路模拟电话占据 4kHz 带宽, 采用频分复用技术后, 一对架空明线最多只能容纳 12 路模拟电话, 而一对双绞线可以容纳 120 路, 同轴电缆的通信量最大可达到 10000 路。显然, 同轴电缆的有效性指标比架空明线、双绞线好得多。

模拟通信的可靠性用接收端输出的信噪比来度量。信噪比指输出信号的平均功率 S 和输出噪声的平均功率 N 之比, 并用分贝值作为衡量的单位, 即 $10\lg S/N$ dB。信噪比越大, 通信质量越好。如普通电话要求信噪比在 20dB 以上, 电视图像则要求信噪比在 40dB 以上。

(2) 数字通信系统的质量指标。数字通信系统的有效性用信息速率来度量。它是指单位时间内传输的信息量 (即二进制数字信号码元数), 单位用 bps 来表示。例如, 无线短波最大信息速率只有几百到几千位/秒, 而光纤、卫星等才能为信息高速公路建立传输平台。数字通信系统的可靠性用误码率来度量, 误码率是指接收错误的码元数与传输的总码元数之比, 即

$$P_b = \frac{\text{接收错误码元数}}{\text{总的码元数}}$$

在有线或卫星传输信道中误码率可以达到 10^{-7} , 而在无线短波信道内只能达到 10^{-3} 。

1.1.5 通信网

1. 通信网的基本结构

多用户通信系统互联的通信体系称为通信网。一般通信网是按业务种类来分的, 如通常所说的电话网、数据网及有线电视网等。实现业务通信网的基本网络结构主要有如图 1-11 所示的 4 种形式以及它们的组合。图中的小圆圈代表网络转接中心, 小圆点代表用户终端 (在网络中称为结点), 连接线代表通信链路。

(1) 网形网。网形网最具代表性的是完全互联网, 各结点之间直接以通信链路连接, 通信建立过程中不需要任何形式的转换。这种结构的最大优点是接续质量高, 网络的稳定性好。但当用户数量较大时, 通信链路数将很

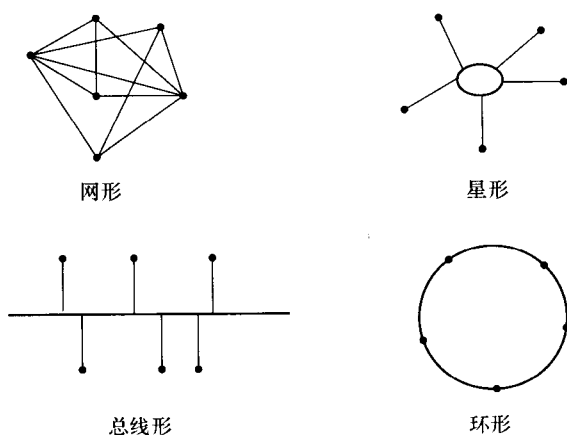


图 1-11 通信网的基本网络结构

大,因而网络投资费用很高。如果通信业务量不是很大的话,经济性会很差。

(2) 星形网。星形网中,各结点都通过转接中心进行连接, N 个用户需要 N 条通信链路。与网形网相比节省许多通信链路,但它需要有转接设备。由于各用户之间的通信都要通过转接点,通信的接续质量和稳定性会受到一定的影响,尤其当转接设备发生故障时,可能会造成整个网内的通信瘫痪。

实用的星形网可以是多层次的,这种结构有时也称为树形结构,长途电话系统就采用这种结构。

(3) 环形网。环形网的拓扑结构为一封闭环形,各节点通过中继器接入网内,各中继器由点到点链路首尾连接,信号单向沿环路逐点传送。环形网的主要优点是通信链路短、初始安装比较容易、故障的诊断比较准确,非常适用于光纤传输介质;缺点是其可靠性差,可扩充性和灵活性也较其他网络差。

(4) 总线形网。总线形网采用公共总线作为传输介质,各结点都通过相应的硬件接口连接到总线上,信号沿总线进行广播式传送。总线形网的主要优点是通信链路短、安装容易、可靠性高并易于扩充;缺点是故障诊断和隔离困难,并且终端必须是智能的。

环形网和总线形网在计算机通信中应用较多,在这两种网中,一般传输的信息速率较高,它要求各结点或总线终端结点有较强的信息识别和处理能力。

2. 通信网的基本构成

从通信网的基本结构可以看出,通信网主要由终端设备、通信链路和转接交换设备三部分构成。终端设备是通信网中的源点和终点,它除对应于一般通信系统模型中的信源和信宿外,还包括部分发送设备和接收设备。通信链路是网络结点的传输媒介,是信息的传输通道,它除了对应于通信系统模型中的信道外,还包括部分发送设备和接收设备。转接交换设备是现代通信网的核心,它的基本功能是完成接入交换结点链路的汇集、转接、接续和分配。目前广泛使用的交换技术有电路交换技术和分组交换等。

1.2 模拟信号数字化

为了使声音、图像及模拟信号在数字通信系统中传输,必须将模拟信号转换成数字信号。模拟信号数字化经过抽样、量化和编码三个过程。

1.2.1 抽样

1. 抽样定理及实现抽样的电路模型

将以一定的时间间隔 T 提取信号的大小(幅度)的操作称为抽样。抽样也称取样、采样,其工作过程如图 1-12 所示。

实现抽样的电路模型如图 1-13 所示。图 1-13 (a) 中的开关 S 在输入信号 $f(t)$ 和接地点之间周期地开闭,则输出信号就成了如图 1-13 (b) 所示的时间离散的样值信号 $f_s(t)$ 。图中 T 是开关的开闭周期; τ 是开关和信号 $f(t)$ 接点闭合的时间,也称抽样时间宽度。

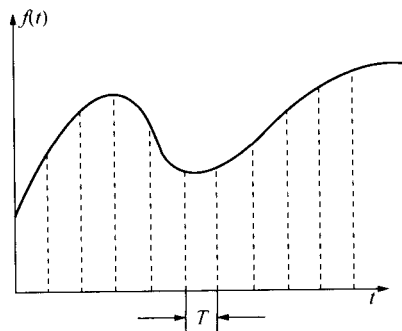


图 1-12 抽样过程示意图

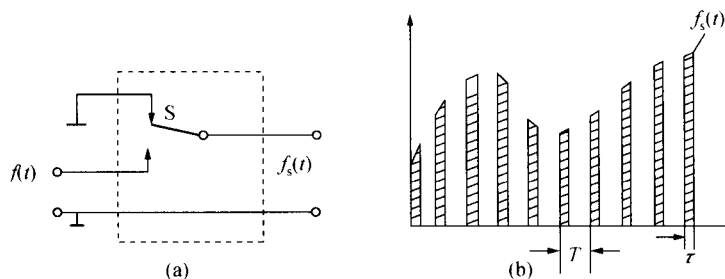


图 1-13 抽样电路模型及抽样波形示意图

2. 抽样定理

经过抽样后形成的时间离散的样值信号能否无失真地恢复原来的时间连续信号呢？显然，抽取信号样值的时间间隔越短就越能正确地恢复原始信号。但是，缩短时间间隔会导致数据量增加，所以缩短时间间隔必须适可而止。

理论证明，若时间连续信号 $f(t)$ 的最高频率为 f_H ，只要抽样频率 f_s 大于或等于 f_H 的两倍，即 $f_s \geq 2f_H$ ，就能够无失真地恢复原时间连续信号。这就是著名的奈奎斯特定理，简称抽样定理。

在电话中传送语音信号时，由于语音信号的频率范围为 $300 \sim 3400\text{Hz}$ ，所以只要 $f_s \geq 6800\text{Hz}$ ，也就是说在 1s 内以 6800 次以上的速率抽样所得到的离散样值序列就能无失真地恢复原始语音信号。为了留有一定的余量，原国际电话电报咨询委员会（CCITT）规定语音信号的抽样频率为 $f_s = 8000\text{Hz}$ 。

1.2.2 量化

抽样是将在时间轴上连续的信号最大转换成离散的信号，但抽样后的信号仍然是连续的值（模拟量）。例如，若信号幅度的取最大值为 5 时，抽样后的某一个样值为 $3.453642\cdots$ ，这种信号无法用有限个二进制数组合来表示，所以还需把幅度上连续的样值信号进行离散化处理。

1. 量化的定义

量化是将连续的幅度值变换成离散的幅度值的过程。具体地说，将抽样信号在幅度上划分为若干个分层，在每一个分层范围内的信号使用四舍五入的办法取某一个固定的值（量化电平）来表示。若各分层间隔相等，则为均匀量化；反之，各分层间隔不等，则为非均匀量化。量化过程如图 1-14 (a)、(b) 所示。

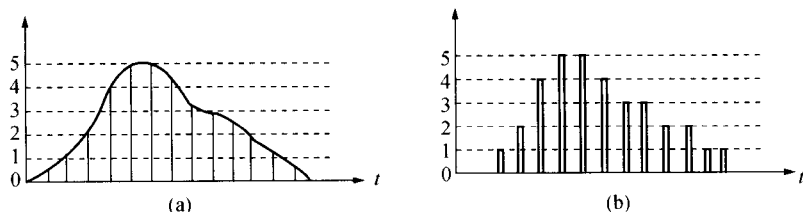


图 1-14 量化过程示意图

2. 量化噪声

量化前的信号幅度与量化后的信号幅度出现了不同，这一差值在恢复信号时将会以噪声

的形式表现出来, 所以将此差值称为量化噪声。为了降低这种噪声, 只要将量化时分层间隔减少就可以了, 但是减少量化间隔会引起分层数目的增加, 导致数据量的增大。所以量化的分层数也必须适当, 一般根据所需的信噪比 (S/N) 来确定。在电话中传送语音时, 量化级数取 256 级, 同时还采用非均匀量化。

当均匀量化的级数一定时, 信号的幅度越小则量化误差相对信号而言其比值就越大。采用非均匀量化, 将信号小的部分的量化间隔减小, 而将信号大的部分的量化间隔加大, 这样可以使信噪比保持一定数值, 不随信号的幅度值变化而变化。

1.2.3 编码

将量化后的信号转换成二进制数, 即用 0 和 1 的码组合来表示的处理过程称为编码。当量化级数为 8 级时, 可以用 3 位二进制数表示这些量化电平 ($8=2^3$)。例如, 图 1-14 (b) 量化后各种样值电平为 0、1、2、4、5、5、4、3、3、2、2、1、1, 则其编码为 000、001、010、100、101、101、100、011、011、010、010、001、001。一般语音信号的量化级数取 256 级, 所以必须用 8 位二进制数进行编码。

通常将模拟信号经抽样、量化及编码的过程称为脉冲编码调制 (PCM), 简称脉码调制。

【例 1-1】 对频率范围为 30~300Hz 的模拟信号进行 PCM 编码。

- (1) 求最低抽样频率 f_s 。
- (2) 若采用均匀量化, 量化电平数为 $L=64$, 求 PCM 信号的信息速率 R_b 。

解 (1) 根据抽样定理, 最低抽样频率为

$$f_s = 2f_H = 2 \times 300 = 600 \text{ (Hz)}$$

- (2) 由量化电平数 L 可求出编码位数 n , 即

$$n = \log_2 L = \log_2 64 = 6$$

PCM 信号的信息速率为

$$R_b = f_s n = 600 \times 6 = 3600 \text{ (bps)}$$

模拟信号经过脉码调制成为数字信号进行传输时, 根据适当的距离, 通过中继器对信号进行再生, 可以消除噪声影响, 使长距离传输仍保持良好的信噪比。因此从 20 世纪 60 年代开始, 电话通信系统的各端局交换机之间的传输已逐步发展为 PCM 方式。现在, 脉码调制技术不仅适用于语音信号, 还适用于图像信号及其他任何模拟信号的数字化处理。

特别是近年来, 由于超大规模集成电路技术的飞速发展, 模拟信号从抽样、量化到编码只用一个集成芯片就能完成, 使模拟信号的数字化很容易实现。现在, PCM 方式不断地被广泛应用, 如 CD、VCD 等记忆媒体所有信号都是用数字方式录制的。数字录制方式的优点是无论进行多少次再生都可得到完全相同的信号。为了尽可能求得较高的信噪比和较大的动态范围, 在进行量化时减小量化间隔, 就可以在任何时候都能得到高质量的逼真信号。

1.3 信号的基带传输

1.3.1 模拟信号的基带传输

由声音、图像转换成的电信号都是模拟基带信号。模拟基带信号直接在信道中传输的方式称为模拟信号的基带传输。

最典型的模拟信号基带传输系统是电话用户接入网中的传输系统。用户接入网是指公共