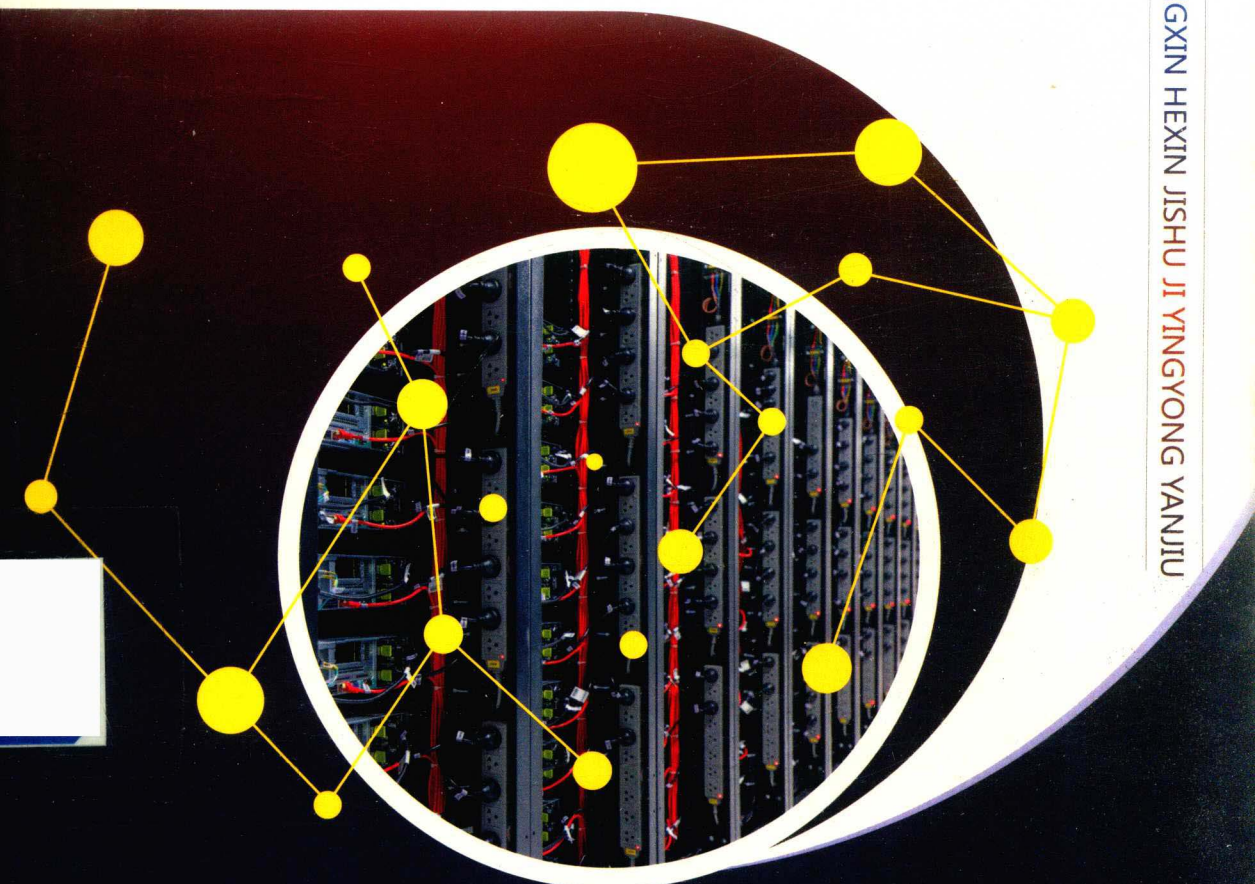


现代数字通信核心技术 及应用研究

宋鑫超 著

XIANDAI SHUZI TONGXIN HEXIN JISHU JI YINGYONG YANJIU



中国原子能出版社

现代数字通信核心技术 及应用研究

宋鑫超 著



中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代数字通信核心技术及应用研究/宋鑫超著.--

北京:中国原子能出版社,2019.8

ISBN 978-7-5221-0005-0

I. ①现… II. ①宋… III. ①数字通信—研究 IV.
①TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 196539 号

内 容 简 介

数字通信是迅速发展的信息技术,本书对数字通信的相关技术进行了阐述,并特别介绍了一些数字通信技术新的应用,既适应了当前通信领域发展的现状,又反映了这一领域发展的最新进展。本书主要内容包括数字终端技术、差错控制编码、数字信号的基带传输技术、数字信号的频带传输技术、定时与同步技术、通信网络技术、现代数字通信技术应用等。本书结构合理,条理清晰,内容丰富新颖,是一本值得学习研究的著作。

现代数字通信核心技术及应用研究

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 张琳

责任校对 冯莲凤

印 刷 三河市铭浩彩色印装有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 17.5

字 数 227 千字

版 次 2020 年 3 月第 1 版 2020 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5221-0005-0 定 价 82.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn>

E-mail: atomep123@126.com

发行电话: 010-68452845

版权所有 侵权必究

前 言

在当今和未来的信息化社会中,数字通信已成为信息传输的重要手段。随着全球数字化成为当今社会的主要潮流,数字通信新设备的不断涌现,人们已经越来越离不开数字通信这种手段,并且越来越期望了解和掌握数字通信技术。

数字通信是迅速发展的信息技术,目前将科研的发展前沿与基础的通信理论有机结合进行阐述的著作比较少。本书将对数字通信的基本原理、前沿技术以及目前常见的和正在研究的通信系统和网络进行介绍和论述,特别介绍了数字通信系统以及一些数字通信技术的新的应用。为了能够适应当前通信领域发展的现状,反映这一领域发展的最新进展,本书对常见的通信系统与网络以及未来的通信系统与网络进行了较为全面的论述。

全书共分8章,主要内容如下:第1章对数字通信系统的基本组成和基本概念进行了阐述,重点介绍数字通信的主要技术、特点及主要性能指标。第2章主要对数字终端技术进行了简要介绍。第3章主要对差错控制编码的原理及其技术特点进行了简要介绍。第4章介绍了基带传输信号的基本码型,论述了码间串扰和系统无码间串扰的传输特性,以及眼图等概念。第5章数字信号的频带传输技术,主要介绍了二进制和多进制形式的各种调制解调技术,并对各自的调制解调系统性能做了分析和比较。第6章定时与同步技术,讲述了定时与同步技术在数字通信中的作用和意义,介绍了载波同步、位同步以及群同步的实现方法及其性能指标。第7章对现代通信网络中的各种技术进行了简要论述。第8章对现代数字移动通信系统、数字光线通信系统、卫

星通信系统以及超宽带通信系统等的应用进行了研究与讨论。

本书系统性强,内容编排连贯,突出了基本概念、基本原理,减少了不必要的数学推导和计算,注重知识的归纳、总结,语言简练、通俗易懂、深入浅出,适应对象广泛。

本书在撰写过程中加入了自己的研究积累,参考并引用了大量前辈学者的研究成果和论述,由于短距离无线通信方面的参考资料众多,所涉及的文献难免会有疏漏,在此表示歉意,同时还要向相关内容的原作者表示诚挚的敬意和谢意。

由于数字通信技术处于高速发展中,新技术、新方法、新架构层出不穷。加之作者水平有限,时间仓促,错误和遗漏在所难免,恳请读者批评指正。

作者

2019年6月

目 录

第 1 章 初识数字通信	1
1.1 通信与通信系统	1
1.2 信息与信号	6
1.3 数字通信	7
1.4 通信信道与信道模型	9
1.5 数字通信系统的主要性能指标	11
1.6 现代通信技术的发展现状与趋势	13
第 2 章 数字终端技术	15
2.1 脉冲编码调制技术	15
2.2 自适应差值脉码调制技术	30
2.3 多路复用技术	34
2.4 数字复接技术	40
第 3 章 差错控制编码	57
3.1 概 述	57
3.2 检错和纠错	60
3.3 常用差错控制码	65
3.4 线性分组码	69
3.5 卷积码	75
3.6 循环码	85
第 4 章 数字信号的基带传输技术	92
4.1 数字基带传输系统	92
4.2 数字基带信号的波形及其频谱	104

►现代数字通信核心技术及应用研究

4.3	基带传输的常用码型	108
4.4	无码间串扰的基带传输系统	115
4.5	基带数字信号的再生中继传输	119
4.6	眼 图	124
第5章	数字信号的频带传输技术	127
5.1	数字调制与解调	127
5.2	常用改进型数字调制技术	145
5.3	扩频技术	157
5.4	频带传输系统的应用	165
第6章	定时与同步技术	169
6.1	定时系统与同步系统	169
6.2	载波同步技术	174
6.3	位同步技术	179
6.4	群同步(帧同步)技术	186
6.5	网同步技术	192
第7章	通信网络技术	199
7.1	移动通信技术	199
7.2	短距离无线网络技术	208
7.3	光纤通信技术	228
7.4	卫星通信技术	232
第8章	现代数字通信技术应用	244
8.1	数字移动通信系统	244
8.2	数字光纤通信系统	257
8.3	卫星通信系统	262
8.4	超宽带通信系统	265
参考文献	270

第 1 章 初识数字通信

用数字形式传输消息或用数字形式对载波信号进行调制后再传输的通信方式叫作数字通信。数字通信以追求信号误码率最小为主要目标,利用数字信号的取值离散特点,在信号传输过程中进行了数字化处理。数字通信可传输电报、数字数据等数字信号,也可传输经过数字化处理的语声和图像等模拟信号。

1.1 通信与通信系统

1.1.1 通信概述

1.1.1.1 通信的概念

通信的目的就是将消息传送到目的地。因此,通信的基本任务是解决两地之间的消息传递或交换。通信是人类生产和社会生活的客观需求,从古到今,人们采用各种不同的方式进行通信,如古代的“消息树”“烽火台”和现代仍使用的“信号灯”等。随着社会生产力的发展,人们对传递消息的要求也越来越高,通信手段和通信技术也取得了飞速发展。在各种各样的通信方式中,利用“电”来传递消息的通信方法称之为电信,这种通信具有迅速、准确、可靠等特点,而且几乎不受时间、地点、空间、距离的限制,因而得到了广泛应用。

1. 1. 1. 2 通信的分类

常用的通信分类方法有以下 4 种。

(1)按信号特征分类

根据信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以相应地把通信系统分为模拟通信和数字通信。模拟信号常常又被称为连续信号,数字信号常常又被称为离散信号。

(2)按传输媒质分类

按消息由一地向另一地传递时传输媒质的不同,可将通信分为有线通信和无线通信两大类。所谓有线通信用的是看得见、摸得着的导线、电缆、光缆等作为媒质;所谓无线通信是指传输消息的媒质为看不见、摸不着的媒质的一种通信形式。通常,有线通信与无线通信还可进一步再分类。

(3)按工作频段分类

按照通信工作中信号不同频段,可以将其分为长波通信、中波通信、短波通信和光通信等。

(4)按信道的复用分类

在同一信道上传递多路信号时采用复用技术。常用的复用方式有时分复用(TDM)、频分复用(FDM)、码分复用(CDM)、空分复用(SDM)等。

1. 1. 1. 3 通信方式

通信的工作方式通常有以下 3 种。

(1)按信息传送的方向与时间

按信号传送的方向与时间关系分类,通信方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信。

单工传输是指信息只能一个方向传递的工作方式,如图 1-1(a)所示。半双工传输是指通信双方都能收发信息,但不能同时进行收发的工作方式,如图 1-1(b)所示。全双工传输是指通信双方可同时进行收发信息的工作方式,如图 1-1(c)所示。

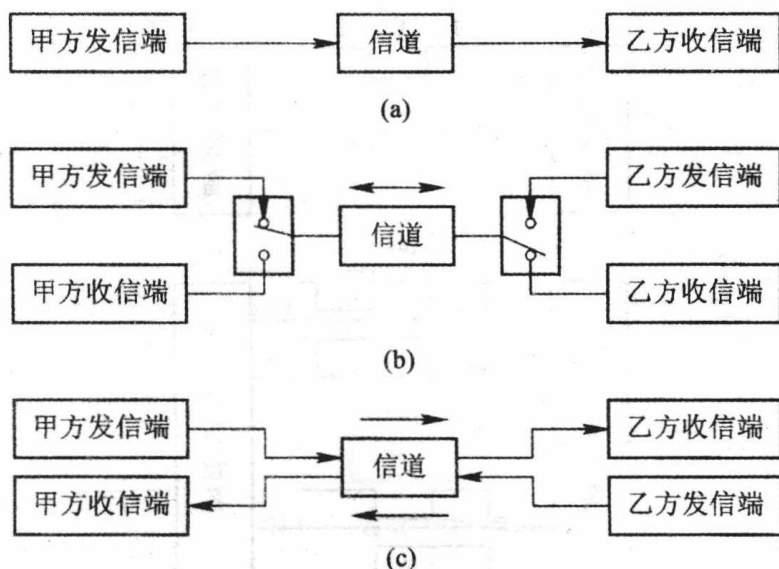


图 1-1 按消息传送的方向和时间划分的通信方式
(a)单工通信;(b)半双工通信;(c)全双工通信

(2) 按数字信号排序

按信号传输顺序分类,通信方式可分为串序传输和并序传输。串序传输是指数字序列排成一行,按时间顺序一个接一个地在信道内传输,如图 1-2(a)所示。串序传输简单,易实现,成本低且在远距离传输中比较可靠。如果将代表信息的数字信号序列分割成两路或两路以上的数字信号序列同时在信道上传输,则被称为并序传输通信方式,如图 1-2(b)所示,并序传输速度快,信号处理简单,适合近距离高速传输。

(3) 按通信网络形式

通信的网络形式通常可分为点到点、点到多和多点到多点三种通信方式。其中,点到多和多点到多点通信方式均属网通信的范畴,与点到点通信方式相比,有其特殊的一面。例如,通信网中有一套具体的线路交换与消息交换的规定、协议等;通信网中既有信息控制问题,也有网同步问题等。但无论如何,点到点通信仍然是网通信的基础。它们的示意图如图 1-3 所示。

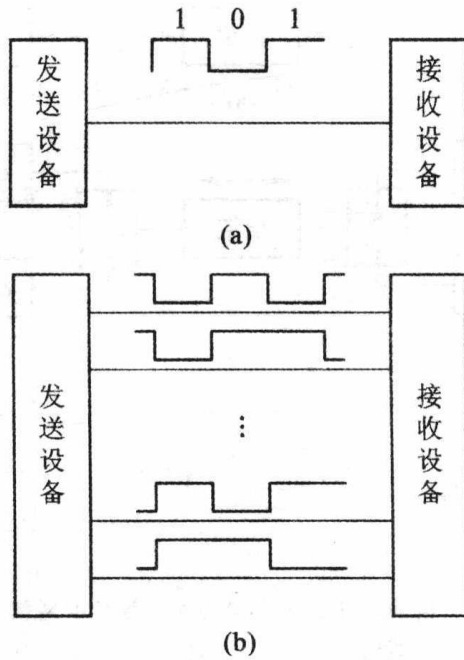


图 1-2 按数字信号排序划分的通信方式
(a)串序传输方式;(b)并序传输方式

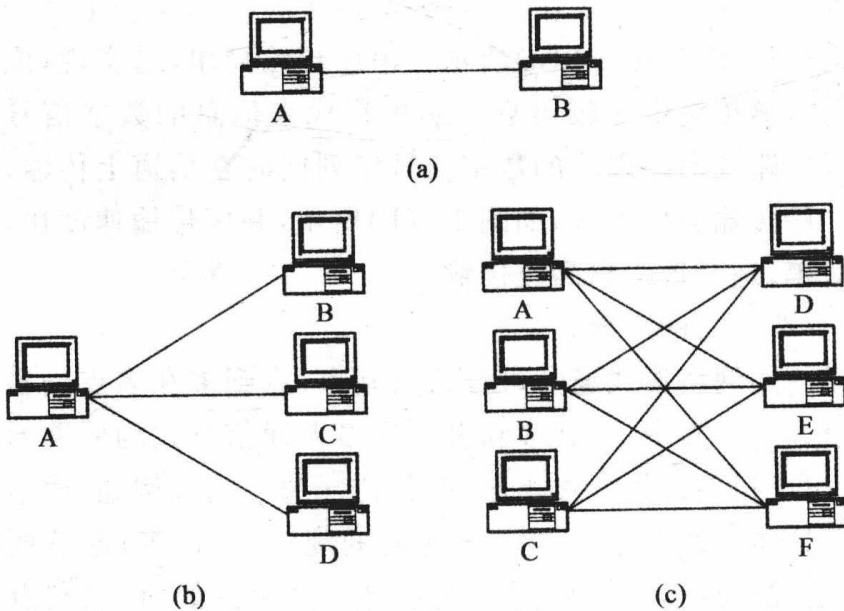


图 1-3 按网络形式划分的通信方式
(a)点到点通信;(b)点到多通信;(c)多点到多点通信

1.1.2 通信系统

实现信息传递所需的一切技术设备和传输介质的总和称为通信系统。通信系统通常由信源、信宿、信道以及服务于信息传输的各种技术设备组成,如图 1-4 所示。

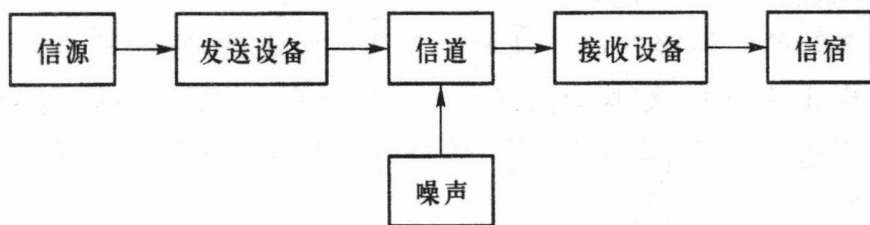


图 1-4 通信系统的组成

(1) 信源

信源的作用是形成消息,并将非电信号转换为电信号,信源输出的信号称为基带信号。根据消息的内容不同,信源可以分为音频信源、视频信源和数据信源等。而转换后输出的基带信号有模拟信号和数字信号两种,电话的送话器产生的是模拟信号,计算机输出的是数字信号。

(2) 发送设备

发送设备的基本功能是将信源与传输媒介匹配起来,也就是将信源产生的原始电信号变换成适合在信道中传输的信号,因此它将基带信号转换为适合信道传输的电信号或光信号。

(3) 信道

信道是传输信号的通道,可以是有线信道,也可以是无线信道,不同的信道其传输特性不同。

(4) 接收设备

接收设备是接收端各种设备的总称,其功能是将接收到的带有干扰的信号进行处理以恢复基带信号。

(5) 信宿

信宿即信息的接收者,是信息传输的重点,其作用是将基带信号恢复为原始信号。

1.2 信息与信号

信息是指对于通信收发双方具有一定意义的有待传递、交换、提取或存储的书面或口头内容。对受信者而言,这些内容是预先未知的。纯粹的信息是无法表达或传递的,它必须以某种形式表现出来才能实现交流与传递,如语言、文字、图像、数据等。一般将这些语言、文字、图像、数据等统称为消息,消息是信息的表现形式。

为了有效地传递和利用消息,常需将消息转换成便于传输和处理的表达形式,这种形式即信号,它是反映信息或消息的物理量,是通信传递的客观对象。利用信号来传送消息时,一般都需要在发送端将欲发送的消息转变成信号,经过传输以后,在接收端再将信号还原成消息。

任何信号的波形都可以用幅度和时间两个参量来描述,根据信号幅度的取值方式不同,可把信号分为模拟信号和数字信号两类。

模拟信号是指幅度随时间连续变化的信号,其特点是幅度连续,连续的含义是某一取值范围内可以取无限多个数值,如图 1-5 所示即为模拟信号。

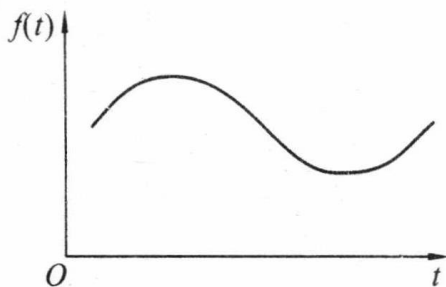


图 1-5 模拟信号

数字信号是指幅度随时间离散变化的信号。数字信号的特点是幅度不连续,是离散的。离散的含义是其幅度的取值是有限个数值。如图 1-6(a)所示的是二进制数字信号,其幅度只有 0、1

两种可能的取值,当然,也可以有多进制数字信号,如四进制、八进制等。如图 1-5(b)所示的是四进制数字信号,四进制数字信号只有 0、1、2、3 四种可能的取值。

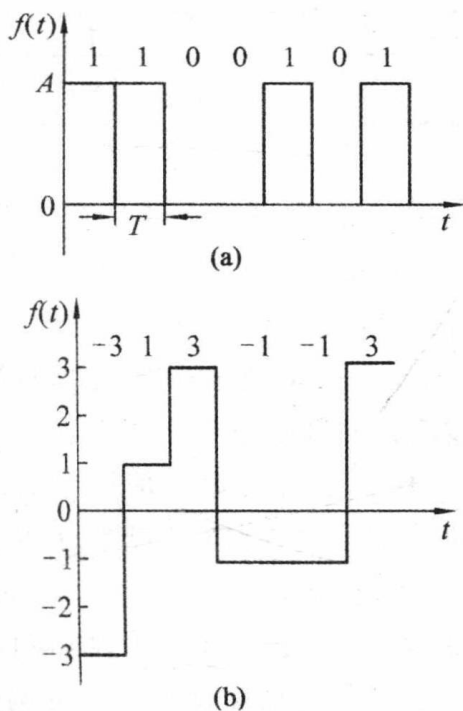


图 1-6 数字信号

(a)二进制信号;(b)四进制信号

1.3 数字通信

如信源输出数字信号或信源输出的模拟信号经过模数转换输出数字信号,然后进行处理和传输,这样的通信系统称为数字通信系统。简单来说,采用数字信号传递信息的通信方式称为数字通信,实现数字通信的系统称为数字通信系统。

在数字通信中,发送信号某一参数的离散取值与承载信息的数字信号之间通常是一种一一对应的关系,如图 1-7 所示为数字通信系统的一般模型。显然,与模拟通信系统相比,数字通信系统的发送设备和接收设备要复杂得多。

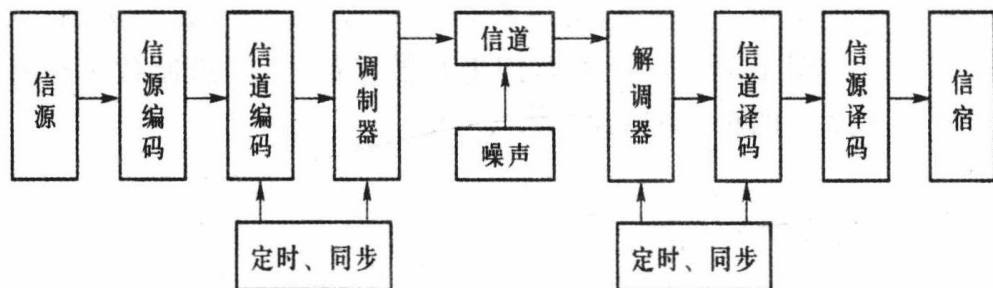


图 1-7 数字通信系统

近年来,数字通信无论在理论上还是在技术上都有了突飞猛进的发展,除了计算机技术和大规模集成电路高速发展的推动外,还在于数字通信本身所具有的一系列特点。

在调制技术方面,在模拟通信中强调变换的线性特性,即强调已调参量与代表消息的基带信号之间的比例特性;而在数字通信中,则强调参量与代表消息的数字信号之间的一一对应关系。模拟通信系统传输的信号是连续的,很难分离噪声和信号,而且噪声是积累的,抗干扰能力差,如图 1-8(a)所示;而数字信号传输时,在发送端和接收端仅需考虑两个电平,噪声不积累,只要保证判决门限在合理的范围,即使波形失真也不会影响信号的再生,采用再生中继的方法可实现高质量的远距离通信,如图 1-8(b)所示。

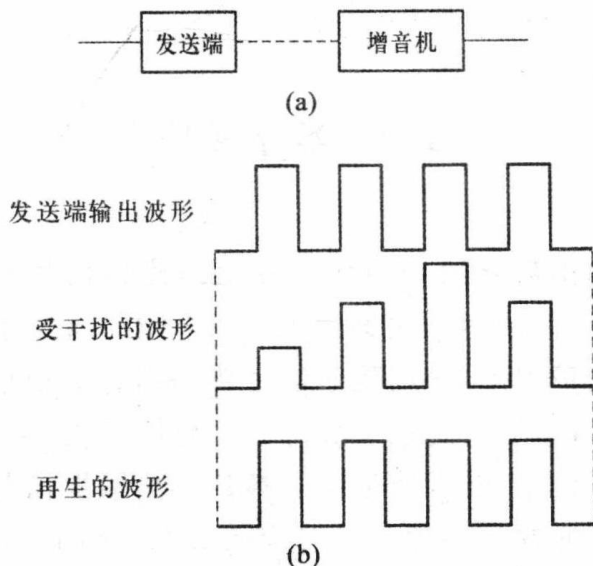


图 1-8 数字通信与模拟通信

(a) 模拟通信噪声积累; (b) 数字通信噪声不积累

当需要实现保密通信时,数字通信中可采用复杂的编码对信号进行高强度加密,这是模拟通信不可比拟的。如图 1-9 所示为采用简单的异或门实现数字通信加密。

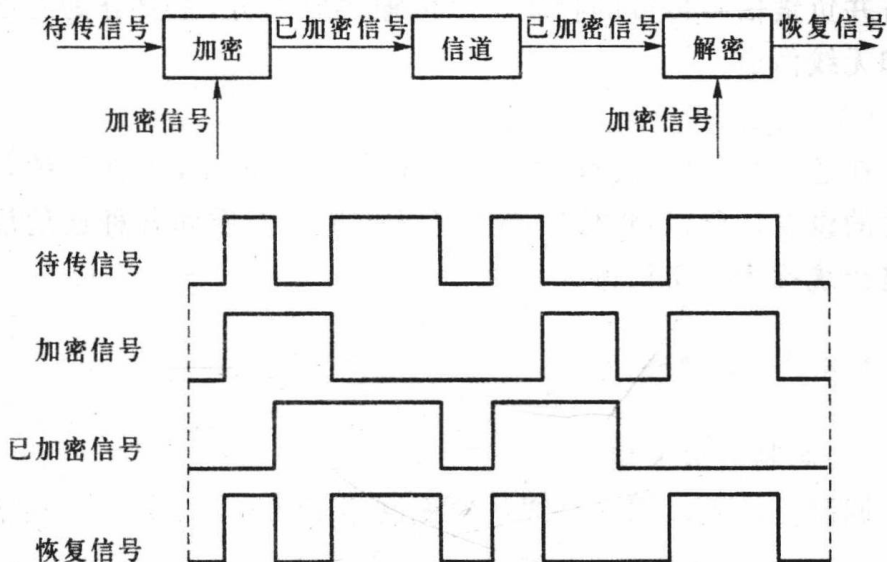


图 1-9 数字通信加密示意图

数字通信系统绝大多数设备由数字电路构成,数字电路较模拟电路更易于集成化、小型化;现代数字信号处理技术、CPU 技术的迅猛发展,使数字通信系统逐步智能化。数字通信使各种通信业务统一为数字信号,便于实现综合业务。

数字通信系统具有无可比拟的巨大优势,它的缺点也随着宽带传输技术、集成电路技术、频带压缩技术的发展而得到克服。数字通信技术已经成为现代通信的主要方式。

1.4 通信信道与信道模型

信道是通信系统最基础的部分,信道模型的研究对通信系统的发展具有重要的理论和实际意义。

1.4.1 通信信道

通信信道是传输信号的通道。信号传输经过的通道有传输

媒介和很多的设备,所以将信道分为狭义信道和广义信道。

(1)狭义信道

从通信系统的角度看,狭义信道指连接通信双方收、发信号设备并负责信号传输的物质。以传输媒介划分,主要分为有线信道和无线信道。

(2)广义信道

在通信系统中,传输信号不仅依赖传输媒介,还有各种与之相关的设备。所以,将信号必须经过的传输介质和各种通信设备的路径统称为广义信道。

1.4.2 信道模型

(1)调制信道模型

调制信道可以用一个线性时变网络来表示,如图 1-10 所示。

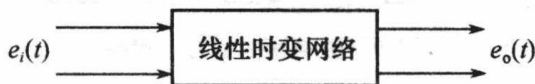


图 1-10 调制信道模型

图中输入和输出之间的关系可以表示为:

$$e_o(t) = f[e_i(t)] + n(t) = k(t)e_i(t) + n(t)$$

式中, $e_i(t)$ 是输入的已调信号, $e_o(t)$ 是信道的输出, $n(t)$ 为加性噪声(或称加性干扰)。 $n(t)$ 不依赖 $e_i(t)$, 或者说, $n(t)$ 独立于 $e_i(t)$ 。

由上述可知,信道对信号的影响可归纳为两点:乘性干扰 $k(t)$ 和加性干扰 $n(t)$ 。如果了解了 $k(t)$ 和 $n(t)$ 的特性,则信道对信号的具体影响就能确定。信道的不同特性反映在信道模型上有不同的 $k(t)$ 和 $n(t)$ 。

在分析研究乘性干扰 $k(t)$ 时,可以把调制信道粗略地分为以下两大类。

①恒参信道,即它们的 $k(t)$ 可看成不随时间变化或变化极为缓慢。

②随参信道,其 $k(t)$ 随时间随机快速变化。