

教育部推荐教材

21世纪高职高专系列规划教材

数据通信技术

主 编 徐 亮

副主编 邵汝峰 张逸昀



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

教育部推荐教材

21世纪高职高专系列规划教材

数据通信技术

主 编 徐 亮

副主编 邵汝峰 张逸昀

参 编 兰天明 王 彦 张金生



北京师范大学出版社
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PRESS
北京师范大学出版

图书在版编目(CIP) 数据

数据通信技术 / 徐亮主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2010.8

ISBN 978-7-303-11317-0

I. ①数… II. ①徐… III. ①数据通信—通信技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TN919

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 140330 号

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印刷: 北京嘉实印刷有限公司

经销: 全国新华书店

开本: 184 mm × 260 mm

印张: 16.75

字数: 361 千字

版次: 2010 年 8 月第 1 版

印次: 2010 年 8 月第 1 次印刷

定价: 27.00 元

策划编辑: 周光明 责任编辑: 周光明

美术编辑: 高霞 装帧设计: 华鲁印联

责任校对: 李茵 责任印制: 李丽

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58800825

前 言

近年来,通信技术和计算机网络发展十分迅猛,随着数据通信技术和计算机技术的快速发展,数据通信网已经成为国家的重要基础设施之一,信息科学技术已成为世界经济发展的强大推动力,学习和掌握现代通信理论和技术成为信息社会每一位成员的迫切需求。本教材内容精练、重点突出,既可作为通信行业工程技术人员的参考书,也可作为高职高专院校通信专业的教材,本书的重点在于培养学习者对通信技术的整体把握和相关知识的学习与了解。

本书以现代通信技术和现代通信系统为背景,全面、系统地论述了通信的基本理论和基本技术,重点介绍了数据通信的基本知识及数据通信技术,尽可能多地反映通信领域的新技术和新发展。本书共分8章:第1章主要介绍数据通信的基本概念、通信系统模型、通信系统的性能指标,信息的基本概念,信道的性能与信道容量的概念,信号的频谱分析。第2章主要介绍编码技术、数据通信中常使用的传输代码、检错与纠错编码、数据码型的压缩、加密和解密。第3章详细讨论了交换技术、电路交换、报文分组交换、异步传输模式(ATM)。第4章主要介绍了复用技术、频分多路复用、时分多路复用、码分多路复用技术。第5章主要介绍数据通信协议,包括TCP/IP协议、路由协议、Internet控制报文协议、传输层控制协议。第6章着重分析了局域网的概念与实现方法。第7章介绍了广域网技术、域名系统以及因特网提供的服务。第8章主要介绍了几种数据通信网的概念、实现以及应用。

本书由徐亮任主编,邵汝峰、张逸昀任副主编。王彦编写第1章,张金生编写第2章,兰天明编写第4章,邵汝峰编写第5章,张逸昀编写第6章,徐亮编写第3章、第7章、第8章。

限于作者的水平,书中错误疏漏在所难免,恳请读者批评指正。对本书引用的参考文献的各位译、作者,在此表示衷心的感谢和崇高的敬意。

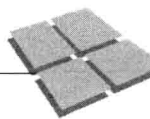
编者

2010年5月

目 录

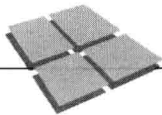
第1章 绪论	(1)
1.1 通信的概念	(1)
1.1.1 信号与通信	(1)
1.1.2 信号分类	(2)
1.2 通信系统的组成	(3)
1.2.1 通信系统的一般模型	(3)
1.2.2 模拟通信系统和数字通信系统	(3)
1.2.3 数字通信系统的主要特点	(5)
1.3 通信系统的分类与通信方式	(6)
1.3.1 通信系统的分类	(6)
1.3.2 通信方式	(7)
1.4 信息及其度量	(8)
1.5 通信系统主要指标	(10)
1.5.1 有效性指标	(10)
1.5.2 可靠性指标	(11)
1.6 通信技术的发展简史	(12)
1.7 信号频谱	(14)
1.7.1 频谱的概念	(14)
1.7.2 周期信号的频谱	(15)
1.7.3 非周期信号的频谱	(16)
1.7.4 傅里叶变换的性质	(17)
1.8 本章小结	(18)
1.9 思考与练习题	(18)
1.10 实践项目	(20)
1.10.1 项目 1-1	(20)
1.10.2 项目 1-2	(25)

第2章 数据通信中的编码技术	(28)
2.1 基本码型	(28)
2.1.1 单极性非归零码	(29)
2.1.2 双极性非归零码	(29)
2.1.3 单极性归零码	(30)
2.1.4 双极性归零码	(30)
2.1.5 差分码	(30)
2.1.6 交替码(AMI 码)	(31)
2.1.7 三阶高密度双极性码(HDB3)	(31)
2.1.8 曼彻斯特码	(32)
2.2 数据通信中常使用的传输代码	(33)
2.2.1 ASCII 码	(33)
2.2.2 博多码	(35)
2.2.3 EBCDIC 码	(36)
2.2.4 信息交换用汉字代码	(37)
2.3 数据通信的检错与纠错编码	(37)
2.3.1 差错类型及基本概念	(38)
2.3.2 检错和纠错	(40)
2.3.3 奇偶校验编码	(42)
2.3.4 汉明码及线性分组码	(44)
2.3.5 循环码	(50)
2.4 数据码型的压缩、加密和解密	(54)
2.4.1 数据压缩	(54)
2.4.2 加密和解密	(59)
2.4.3 基本的加密技术	(62)



2.5	本章小结	(63)	4.5	多路复用器	(104)
2.6	关键术语	(64)	4.5.1	时分复用器	(104)
2.7	复习题	(64)	4.5.2	波分复用器	(107)
2.8	实践项目	(66)	4.6	复用技术的应用	(109)
第3章	数据交换技术	(70)	4.6.1	FDM的应用	(109)
3.1	电路交换	(70)	4.6.2	TDM的应用	(109)
3.1.1	电路交换基本概念	(70)	4.6.3	WDM的应用	(111)
3.1.2	电路交换网络结构和特点	(71)	4.7	本章小结	(112)
3.1.3	电路交换关键技术	(71)	4.8	关键术语	(113)
3.2	报文分组交换	(73)	4.9	复习题	(113)
3.2.1	报文分组交换	(73)	4.10	实践项目	(114)
3.2.2	数据报和虚电路	(74)	4.10.1	项目4-1	(114)
3.2.3	X.25协议	(75)	4.10.2	项目4-2	(116)
3.3	帧中继	(77)	第5章	数据通信协议	(119)
3.3.1	帧中继简介	(77)	5.1	数据通信网络体系结构	(119)
3.3.2	帧中继的体系结构	(78)	5.1.1	网络协议	(120)
3.4	异步传输模式(ATM)	(79)	5.1.2	数据通信网络的分层	(120)
3.4.1	ATM技术引入的背景	(79)	5.1.3	数据通信网络体系结构的 概念	(122)
3.4.2	ATM类型	(81)	5.2	OSI-RM体系结构	(122)
3.4.3	ATM连接管理	(82)	5.3	TCP/IP体系结构	(125)
3.5	本章小结	(82)	5.3.1	TCP/IP体系结构的分层	(126)
3.6	复习题	(83)	5.3.2	TCP/IP的协议组合	(127)
3.7	实践项目	(84)	5.4	IP数据报格式	(129)
3.7.1	交换机的管理配置	(84)	5.5	因特网的IP地址	(132)
3.7.2	交换机的IP配置	(93)	5.5.1	IP地址及其分类	(132)
第4章	数据通信中的复用技术	(98)	5.5.2	IP地址的分配	(134)
4.1	概述	(98)	5.5.3	IP子网的划分	(134)
4.2	频分多路复用	(99)	5.6	路由表和IP数据报转发	(136)
4.3	时分多路复用	(100)	5.6.1	路由和路由表	(136)
4.3.1	同步时分复用	(100)	5.6.2	IP数据报转发	(137)
4.3.2	异步时分复用	(101)	5.6.3	路由表的建立与维护	(140)
4.4	波分多路复用	(101)	5.6.4	路由协议	(142)
4.4.1	WDM的基本原理	(102)	5.6.5	路由协议的选择	(148)
4.4.2	WDM的三种结构	(102)			
4.4.3	WDM技术的优点	(103)			

5.7 因特网控制报文协议 ICMP	6.12 以太网交换机的配置
..... (149)	 (184)
5.7.1 ICMP 的作用..... (149)	6.13 网线制作和测试 (186)
5.7.2 ICMP 的报文类型 (149)	6.14 本章小结 (187)
5.7.3 ICMP 报文的格式 (150)	6.15 关键术语 (187)
5.8 因特网组播报文协议 IGMP	6.16 复习题 (187)
..... (151)	6.17 实践项目 (188)
5.8.1 IP 数据包传输类型 ... (151)	6.17.1 项目 6-1 (188)
5.8.2 组播的地址 (151)	6.17.2 项目 6-2 (190)
5.8.3 IGMP 协议及其应用	第 7 章 广域网与因特网 (192)
..... (151)	7.1 广域网的发展特点与功能
5.9 传输层传输控制协议 TCP ...	 (192)
..... (153)	7.1.1 广域网的互联技术..... (192)
5.9.1 TCP 协议的功能 (153)	7.1.2 路由器技术的发展特点与
5.9.2 TCP 段格式 (153)	功能 (196)
5.9.3 TCP 连接的建立和终止	7.1.3 宽带接入 (198)
..... (155)	7.2 因特网的发展特点与应用
5.9.4 TCP 的超时和重传 ... (157)	 (201)
5.9.5 TCP 的坚持定时器 ... (158)	7.2.1 Internet (201)
5.9.6 TCP 的保活定时器 ... (158)	7.2.2 Intranet (202)
5.10 本章小结 (159)	7.3 因特网协议 (203)
5.11 关键术语 (160)	7.3.1 Internet 运输层协议 ... (203)
5.12 复习题 (161)	7.3.2 TCP/IP 体系中的运输层
5.13 实践项目 (163)	 (205)
5.13.1 项目 5-1 (163)	7.4 域名与因特网基本服务
5.13.2 项目 5-2 (165)	 (208)
第 6 章 局域网 (167)	7.4.1 域名系统 (208)
6.1 局域网概述 (167)	7.4.2 因特网基本服务 (209)
6.2 局域网的体系结构 (168)	7.5 本章小结 (211)
6.3 以太网技术 (169)	7.6 关键术语 (211)
6.4 10 Mbps 以太网 (170)	7.7 复习题 (212)
6.5 100 Mbps 快速以太网	7.8 实践项目 (212)
..... (171)	7.8.1 项目 7-1 (212)
6.6 1000 Mbps 以太网 (172)	7.8.2 项目 7-2 (218)
6.7 10 Gbps 以太网 (173)	第 8 章 数据通信网 (222)
6.8 以太网交换机 (174)	8.1 PSTN 公共电话网 (222)
6.9 以太网的扩展 (175)	8.1.1 PSTN 概述 (222)
6.10 虚拟局域网 (178)	8.1.2 PSTN 的网络结构 (224)
6.11 生成树协议 (182)	8.1.3 本地电话网 (225)



8.1.4 国内长途电话网	(226)	8.4.3 X.25 建议	(238)
8.1.5 国际电话网	(228)	8.4.4 我国的公用分组交换 网(CHINAPAC)	(240)
8.2 ISDN 综合业务数据网	(229)	8.5 DDN 数字数据网	(242)
8.3 FR 帧中继网	(232)	8.5.1 DDN 的概念	(242)
8.3.1 帧中继技术的基本概念	(232)	8.5.2 DDN 的组成	(243)
8.3.2 帧中继网的基本功能和 业务	(232)	8.5.3 DDN 的网络结构	(244)
8.3.3 我国的帧中继网	(234)	8.5.4 DDN 的应用和发展 ...	(246)
8.3.4 帧中继网的发展前景	(234)	8.5.5 我国 DDN 发展	(247)
8.4 分组交换网	(235)	8.6 本章小结	(247)
8.4.1 分组交换网的概念	(235)	8.7 关键术语	(247)
8.4.2 分组交换网的主要设备	(236)	8.8 复习题	(248)
		8.9 实践项目	(248)
		8.9.1 项目 8-1	(248)
		8.9.2 项目 8-2	(253)
		参考文献	(258)

第1章 绪论

本章内容

- 通信的基本概念
- 通信系统的组成
- 通信系统的分类与通信方式
- 信息及其度量
- 通信系统主要指标
- 通信技术的发展简史
- 信号频谱

本章重点

- 通信方式、信息的度量方法。
- 通信系统的主要指标。
- 信号的频谱、傅里叶变换的性质。

本章难点

- 信息及其度量。
- 周期信号与非周期信号的频谱。

本章能力目标和要求

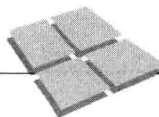
- 掌握通信的基本概念。
- 掌握通信系统的组成及各部分的作用。
- 了解通信系统的分类和工作方式。
- 理解数字通信的特点。
- 掌握通信系统的有效性和可靠性指标。
- 了解通信技术的发展历史、现状和趋势。

1.1 通信的概念

当今的人类社会已经进入信息时代，信息和通信已成为现代社会的“命脉”。通信作为传输信息的手段或方式，已经成为推动人类社会文明进步与发展的巨大动力。

1.1.1 信号与通信

通信(Communication)就是由一地向另一地传递消息的过程。一般将语言、文字、数据、图片或活动图像等称为消息，而将消息给予对方的新知识称为信息。通信的目的是传递消息中所包含的信息。实现通信的方式和手段很多，如古代的消息树、烽火台和驿马传令，以及现代社会的电报、电话、广播、电视、遥控、遥测、因特网和计算机通信等，这些都是消息传递的方式或信息交流的手段。



在现代通信中,要实现消息高效率、高可靠性的远距离传输,必须借助于一定的运载工具,并将消息变换成某种形式。我们就将消息的运载工具和表现形式称为信号。因此信号是某种物理量,如电或光,并因此分别称作电信号或光信号。信号的变化即表现为物理量的变化,而物理量的变化就代表了一定的消息。所以利用信号来传送消息,一般都需要在发送端将欲传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为消息。因而也可以说,信号是消息的运载工具,而消息蕴藏在信号之中。

在各种各样的通信方式中,利用电信号来传递消息的通信方法——电通信,得到了迅速的发展和广泛的应用,这是由于电通信方式能够迅速、有效、准确、可靠地传递消息的缘故,以致“通信”一词几乎变成了电通信的同义词。

1.1.2 信号分类

在可以作为消息载体的各种信号中,电信号是最为常见和应用最广泛的。任何电信号的波形都可以用幅度和时间两个参量来描述。根据信号参量的取值方式不同,可将信号分为两类:模拟信号和数字信号。

1. 模拟信号

模拟信号是随时间连续变化的信号,其特点是幅度连续。连续的含义是在某一取值范围内可以取无限多个数值。例如,电话的话音信号和传真、电视的图像信号都是模拟信号。图 1-1(a)所示的信号即为模拟信号。

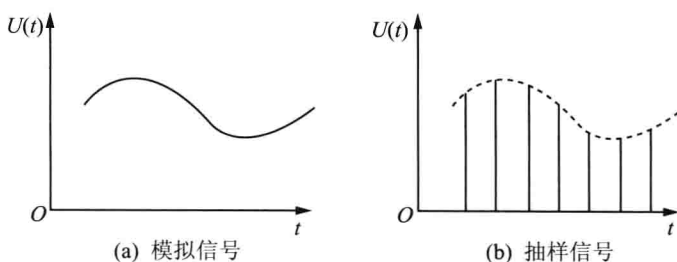


图 1-1 模拟信号

图 1-1(b)所示的信号是抽样信号,该信号在时间上是离散的,但其幅度仍是连续的,所以图(b)所示的仍是模拟信号。

2. 数字信号

数字信号是随时间离散变化的信号,其特点是:幅度被限制在有限个数值之内,它不是连续的,而是离散的。图 1-2 是数字信号的波形,图(a)是二进制数字信号,每个码元只能取“0”、“1”二个状态之一;图(b)是四进制数字信号,其每个码元只能取(1, -1, 3, -3)四个状态中的一个。这种幅度离散的信号称为数字信号。

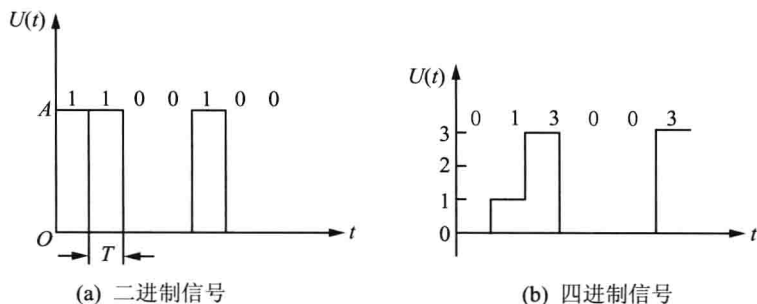


图 1-2 数字信号

1.2 通信系统的组成

1.2.1 通信系统的一般模型

通信的目的是传递信息。而用于传递信息所需的全部技术设备和传输媒质的总和称为通信系统。通信系统的功能是对原始信号进行转换、处理和传输。由于通信系统的种类繁多,因此它们的具体设备组成和业务功能可能不尽相同,经过抽象概括,可以得到通信系统一般模型,如图 1-3 所示。

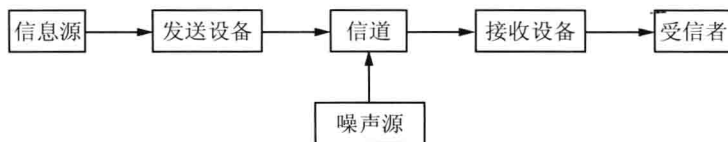


图 1-3 通信系统模型

1. 信息源

信息源(简称信源)是消息的产生来源,其作用是把各种消息转换成原始电信号。根据消息的种类不同,信源可分为模拟信源和数字信源。模拟信源输出的是模拟信号,电话机和摄像机就是模拟信源;数字信源输出离散的数字信号,如计算机等各种数字终端设备。

2. 发送设备

发送设备的作用是将原始电信号变换成适合信道中传输的信号,即使发送信号的特征和信道特性相匹配。发送设备涵盖的内容很多,例如放大、滤波、编码、调制等过程。对于多路传输系统,发送设备中还包括多路复用器。

3. 信道

信道是指信号的传输媒质,用来将来自发送设备的信号传输到接收端。信道概括起来分为两种,即有线信道和无线信道。在有线信道中,可以是架空明线、电缆和光缆;在无线信道中,可以是自由空间、电离层等。信道在给信号提供通道的同时,也会引入噪声,对信号产生干扰。信道的噪声直接关系到系统的通信质量。

图 1-3 中的噪声源是信道中的噪声和分散在通信系统中其他各处的噪声的集中表示。关于信道与噪声的问题将在第 2 章中讨论。

4. 接收设备

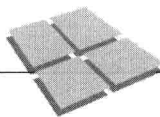
接收设备的作用是对接收的信号进行处理和反变换,如解调、译码等,其目的是从受到衰减的接收信号中正确恢复出原始电信号。对于多路复用信号,接收设备还应包括正确分路的功能。

5. 受信者

受信者(简称信宿),它是传送消息的目的地,其作用与信源相反,即把原始电信号转换成相应的消息,如扬声器等。

1.2.2 模拟通信系统和数字通信系统

根据信道中所传输信号种类的不同,可以把通信系统分为两大类:模拟通信系统



和数字通信系统。

1. 模拟通信系统

模拟通信系统是利用模拟信号来传递信息的通信系统，其模型如图 1-4 所示。这里将发送设备简化为调制器，接收设备简化为解调器，主要是强调调制、解调在模拟通信系统中的重要作用。通常，我们将从信息源发出的原始电信信号称为基带信号，基带的含义是指信号的频谱从零频附近开始，如语音信号为 $300\sim 3400\text{Hz}$ ，图像信号为 $0\sim 6\text{MHz}$ 。由于基带信号具有很低的频谱分量，通常不能直接在信道中传输，它必须通过调制才能变换成适合不同信道中传输的信号，并可在接收端进行反变换(解调)。经过调制以后的信号称为已调信号，由于其频谱远离零频且具有带通形式，因而已调信号又称频带信号。

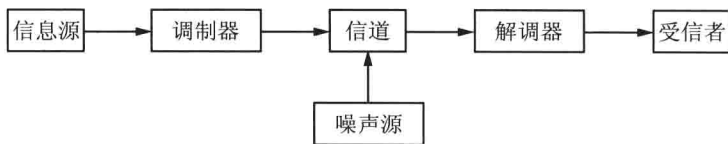


图 1-4 模拟通信系统模型

2. 数字通信系统

数字通信系统是利用数字信号来传递信息的通信系统，其模型如图 1-5 所示。在数字通信系统中，除了调制和解调外，还有信源编码与译码、信道编码与译码、加密与解密等。

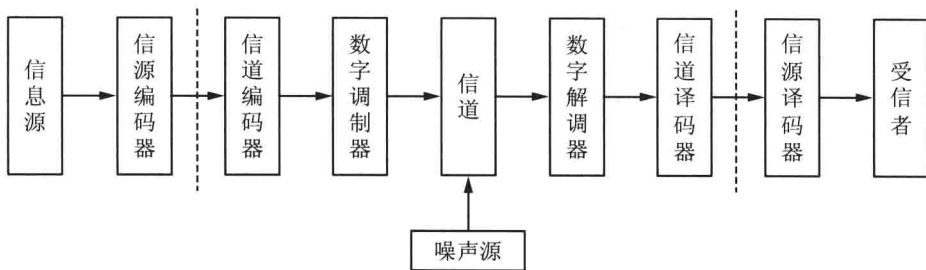


图 1-5 数字通信系统的模型

当信源发出的是模拟信号时，需要信源编码将其变换为数字信号，以实现模拟信号的数字化传输。信源编码的作用就是完成模/数(A/D)转换，信源译码则是信源编码的逆过程，即完成数/模转换。对于信源已经是数字信号的情况，则可省去信源编码和译码的环节。

信道编码的目的是提高数字信号的抗干扰能力。由于信道噪声的干扰，可能会使传输的数字信号产生差错，为了减小差错，需在信源编码后的信息码流中，按一定规律加入多余码元(称为冗余码)，以使码元之间形成较强的规律性。接收端的信道译码器根据一定规律进行解码，以实现自动检错和纠错的功能，提高系统的可靠性。

数字调制的作用是把数字基带信号变换成适合在信道中传输的带通信号，在接收端采用数字解调还原数字基带信号。将数字基带信号直接送到信道上的传输方式称为

数字信号的基带传输, 而将数字基带信号经过调制后送到信道的传输方式称为数字信号频带传输。

在数字通信中, 为了保证所传信息的安全, 人为地将被传输的数字序列扰乱, 即加上密码, 这种处理过程称为加密。在接收端利用与发送端相同的密码对收到的数字序列进行解密, 恢复原来的信息。

需要说明的是, 图 1-5 是数字通信系统的一般化模型, 实际的数字通信系统不一定包括图中的所有环节。例如, 若信源是数字信号时, 则信源编码和译码环节可以省略, 对于数字基带传输系统, 则无需调制与解调。

1.2.3 数字通信系统的主要特点

与模拟通信相比, 数字通信具有以下特点。

1. 抗干扰能力强, 无噪声积累

信号在信道中传输时会受到各种噪声的干扰。为了实现远距离传输, 需要及时对幅度受到衰减的信号进行放大。在模拟通信中, 由于传输的是幅度连续的模拟信号, 难以把传输信号与噪声分开。在对模拟信号进行放大时, 叠加在信号上的噪声也被放大了, 如图 1-6(a) 所示。所以, 随着传输距离增加, 噪声积累越来越大, 通信质量越差。在数字通信中, 传输的是幅度离散的数字信号, 通过再生中继方法消除噪声积累, 还原信号, 如图 1-6(b) 所示。由于无噪声积累, 所以数字通信抗干扰能力强, 易于实现高质量、远距离传输。这是数字通信的重要优点之一。

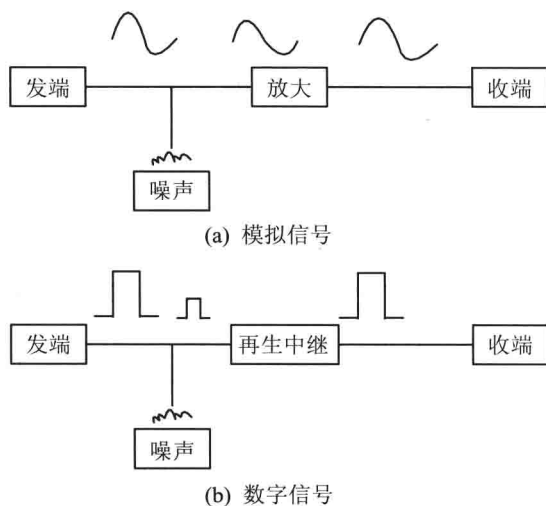


图 1-6 模拟通信和数字通信抗干扰性能比较

2. 差错可控

在数字通信系统中, 可以采用信道编码技术进行检错与纠错, 降低误码率, 提高信号的传输质量。

3. 便于加密处理

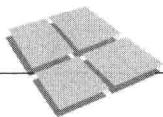
信息传输的安全性和保密性越来越显得重要。与模拟通信相比, 数字通信更容易加密与解密。因此, 数字通信保密性好。

4. 采用时分复用实现多路通信

时分复用是利用各路信号在信道上占有不同的时间间隙, 同在一条信道上传输, 并且互不干扰。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, 实现多路通信。

5. 便于实现集成化、小型化

数字通信设备中大部分电路都是数字电路, 可以通过大规模和超大规模集成电路



来实现, 这样设备体积小, 功耗较低。

6. 便于和电子计算机结合

显而易见, 数字通信适于与数字电子计算机结合, 由计算机来处理信号, 这样就使通信系统变得更通用、灵活, 具有很好的适用性和兼容性。

7. 占用频带宽

数字通信的许多优点都是用比模拟通信占据频带宽为代价而换取的。以电话为例, 一路模拟电话通常只占据 4kHz 带宽, 但一路接近同样语音质量的数字电话可能要占据约 64kHz 的带宽, 因此数字通信的频带利用率不高。另外, 由于数字通信对同步要求高, 因此系统设备比较复杂。然而, 随着光纤通信等宽带通信技术的日益发展与成熟, 使数字通信得到了迅速的发展, 正在逐步成为现代通信技术的主流。

1.3 通信系统的分类与通信方式

1.3.1 通信系统的分类

1. 按通信业务分类

根据通信业务不同, 通信系统可分为电话通信、数据业务、计算机通信、数据库检索、电子信箱、电子数据交换、传真、可视图文及会议电视、图像通信等。由于电话通信最为发达, 因而其他通信常常借助于公共的电话通信系统进行。未来的综合业务数字通信网中各种类型业务的信息都能在一个统一的通信网中传输。

2. 按传输媒质分类

按传输媒质的不同, 通信系统可分为有线通信和无线通信两大类。所谓有线通信是指用导线作为传输媒质的通信方式, 这里的导线可以是架空明线、电缆、光缆等。所谓无线通信是通过电磁波在空间的传播达到传递信息的目的, 常见的无线通信有微波通信、卫星通信和激光通信等。

3. 按信道中所传信号的特征分类

按照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系统和数字通信系统。

4. 按调制方式分类

根据是否采用调制, 可将通信系统分为基带传输系统和频带传输系统。基带传输系统是指将没有经过调制的信号直接传送, 如市内电话等; 频带传输是对各种信号调制后再送到信道中传输的总称, 如广播、卫星通信等。

5. 按工作频段分类

按通信设备的工作频率不同, 通信系统可分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信等。为了比较全面地对通信中所使用的频段有所了解, 下面把通信使用的频段及说明列入表 1-1 中, 供大家参考。

工作波长与频率的换算公式为:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f} \quad (1-1)$$

式中, λ ——工作波长(m)

f ——工作频率(Hz)
 c ——光速(m/s)

表 1-1 通信使用的频段及主要用途

波段名称	频率范围	波长	符号	用 途
长波	30~300kHz	10000~1000m	低频 LF	导航、信标、电力线、通信
中波	300kHz~3MHz	1000~100m	中频 MF	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
短波	3~30MHz	100~10m	高频 HF	移动无线电话、短波广播定点 军用通信、业余无线电
超短波	30~300MHz	10~1m	甚高频 VHF	电视、调频广播、空中管制、 车辆、通信、导航、寻呼
分米波	300MHz~3GHz	100~10cm	特高频 UHF	微波接力、卫星和空间通信、 雷达、移动通信、卫星导航
厘米波	3~30GHz	10~1cm	超高频 SHF	微波接力、卫星和空间通信、 雷达
毫米波	30~300GHz	10~1mm	极高频 EHF	雷达、微波接力

1.3.2 通信方式

通信方式是指通信双方之间的工作形式和信号传输方式。从不同的角度出发，通信方式有多种分类方法。

1. 单工通信、半双工通信和全双工通信

对于点对点之间的通信，按信息传递的方向与时间关系，通信方式可分为单工通信、半双工通信和全双工通信三种，如图 1-7 所示。

(1)单工通信

单工通信，是指信息只能单方向传输的通信方式，如图 1-7(a)所示。通信的双方中只有一方可以发送信息；另一方只能接收信息。例如广播、遥控等都属于单工通信。

(2)半双工通信

半双工通信，是指通信双方都能收发信息，但不能同时进行收和发的通信方式，如图 1-7(b)所示。对讲机、收发报机都是半双工通信方式。

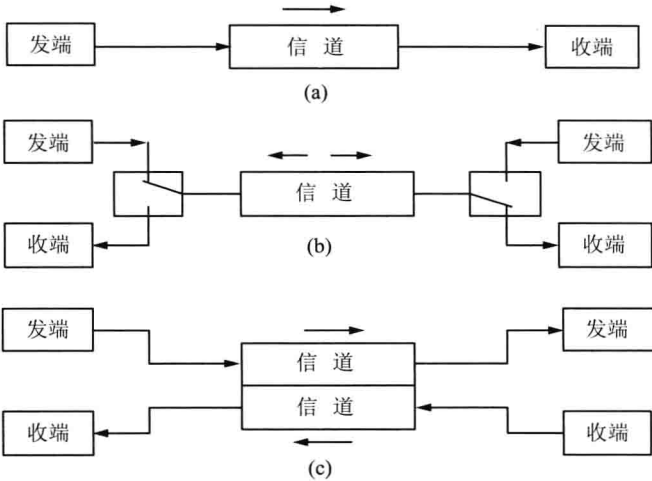
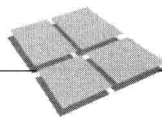


图 1-7 传输方向不同的三种传输方式



(3) 全双工通信

全双工通信,是指通信双方可同时进行收发信息的通信方式,如图 1-7(c)所示。有线电话、手机等都是常见的全双工通信,通信的双方可同时进行送话和收话。

2. 并行通信和串行通信

在数据通信中,按数据代码排列的方式不同,可分为并行通信和串行通信。

(1) 并行传输

并行传输是指代表信息的数字码元序列以成组的方式,在多条并行信道上同时进行传输。常用的就是将构成一个字符代码的几位二进制码,分别在几个并行信道上进行传输。例如,采用 8 比特代码的字符,可以用 8 个信道并行传输。一次传送一个字符,如图 1-8 所示。

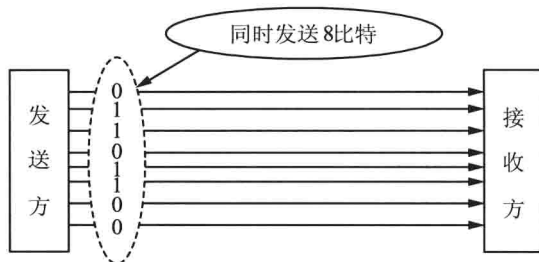


图 1-8 并行通信

并行传输的优点是传输速率快,并且收发双方不存在字符的同步问题。缺点是需要 n 条并行信道,成本高,一般只用于设备之间的近距离通信,如计算机和打印机之间的数据传输。

(2) 串行传输

串行传输是将数字码元序列以串行方式,一个码元接一个码元在一条信道上传输,如图 1-9 所示。

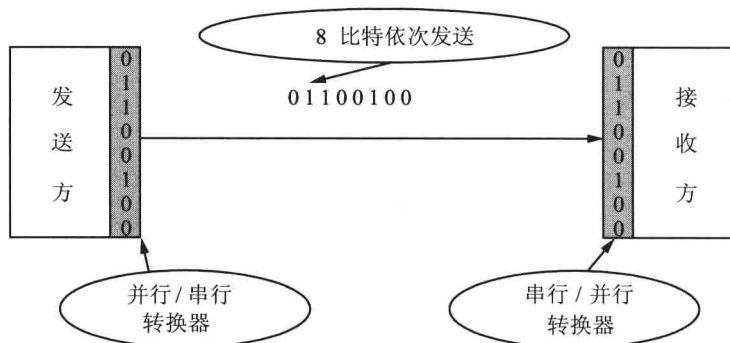


图 1-9 串行通信

串行传输的优点是只需要一条传输信道,易于实现,是目前主要采用的一种传输方式。缺点是速率慢,需要外加同步措施解决收发双方码组或字符的同步问题。

1.4 信息及其度量

通信的目的是传输消息中所包含的信息,信息是消息中所包含的有效内容,或者说收信者预先不知而待知的内容。消息是信息的物理表现形式,信息是其内涵。不同形式的消息,可以包含相同的信息。传输信息的多少可以采用“信息量”去衡量。那

么, 如何度量离散消息中所含的信息量?

消息中所含“信息量”的多少, 与该消息发生的概率密切相关。例如, “某客机坠毁”这条消息比“今天下雨”这条消息包含更多的信息。这是因为前一条消息所表达的事件几乎不可能发生, 它使人感到震惊和意外; 而后一条消息所表达的事件很可能发生, 不足为奇。这个例子说明, 一个消息越不可预测, 或者说消息所表达的事件越不可能发生, 它所含的信息量就越大。因此, 消息中包含的信息量与消息发生的概率密切相关。

假设 $P(x)$ 表示消息发生的概率, I 是消息中所含的信息量, 则根据上面的可知, $P(x)$ 和 I 之间应该有如下关系:

(1) 消息中所含的信息量 I 是该消息出现的概率 $P(x)$ 的函数, 即

$$I = I[P(x)] \quad (1-2)$$

(2) $P(x)$ 越大, I 越小; 反之 $P(x)$ 越小, I 越大; 且当

$$P(x) = 1 \text{ 时, } I = 0;$$

$$P(x) = 0 \text{ 时, } I = \infty。$$

(3) 若干个互相独立事件构成的消息, 所含信息量等于各独立事件信息量的和, 即

$$I[P(x_1)P(x_2)\cdots] = I[P(x_1)] + I[P(x_2)] + \cdots \quad (1-3)$$

可以看出, 若 I 与 $P(x)$ 之间的关系式为

$$I = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x) \quad (1-4)$$

则可满足上述三项要求。所以我们定义公式(1-4)为消息 x 所含的信息量。信息量的单位和式(1-4)中对数的底数 a 有关:

$a=2$, 信息量的单位为比特(bit);

$a=e$, 信息量的单位为奈特(nat);

$a=10$, 信息量的单位为哈特莱(Hartley)。

通常广泛使用的单位为比特, 这时有

$$I = \log_2 \frac{1}{P(x)} = -\log_2 P(x) \quad (1-5)$$

下面, 我们讨论等概率出现的离散消息信息量的度量。

【例1】 设二进制离散信源, 数字“0”或“1”以相等的概率出现, 试计算每个符号的信息量。

解: 二进制等概率时

$$P(0) = P(1) = \frac{1}{2}$$

由式(1-5), 每个二进制符号的信息量为

$$I(0) = I(1) = -\log_2 \frac{1}{2} = \log_2 2 = 1\text{bit}$$

上例说明, 传送等概率二进制数字信号时, 每个符号的信息量相等, 都为1bit。在工程应用中, 习惯把一个二进制码元称作1比特。

同理, 对于 M 进制离散信源, 若每个符号等概率($P=1/M$)独立出现, 则每个符号的信息量为