

高等学校电子信息类教材

现代通信 系统原理

Principles of Modern Telecommunication Systems

© 聂敏 艾达 张美玲 梁彦霞 编著

© 裴昌幸 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高等学校电子信息类教材

现代通信系统原理

Principles of Modern Telecommunication Systems

聂敏 艾达 张美玲 梁彦霞 编著

裴昌幸 主审



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书全面阐述了各种通信系统的基本概念、组成、工作原理、关键技术和发展方向。全书内容共9章,不仅涵盖现代通信系统的基础理论,以及数据通信、现代交换、光通信、移动通信、卫星通信、数字微波通信、多媒体通信、信息安全等系统与技术,还涉及量子通信、云计算、物联网、流星余迹通信、深空通信、移动互联网等热点技术和前沿技术。本书题材广泛,内容新颖,深入浅出,可读性强;教师可根据教学计划灵活取舍。

本书可作为计算机软件、信息安全、计算机科学与技术、广播电视工程、管理工程、信息对抗、网络工程、工商管理、电子商务、物联网等专业的本科生教材,也可作为电子与通信工程技术人员和管理人员的培训教材或参考书。

本书的配套教学资料可从华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)注册后免费下载。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信系统原理 / 聂敏等编著. —北京: 电子工业出版社, 2013.1

高等学校电子信息类教材

ISBN 978-7-121-19053-7

I. ①现… II. ①聂… III. ①通信系统—高等学校—教材 IV. ①TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 281592 号

责任编辑: 张来盛 (zhangls@phei.com.cn) 特约编辑: 邢淑琴

印 刷: 北京东光印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 21.75 字数: 556.8 千字

印 次: 2013 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 39.90 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

“现代通信系统原理”是计算机软件、信息安全、计算机科学与技术、广播电视工程、管理工程、信息对抗、网络工程、工商管理、电子商务、物联网等专业本科生的一门重要课程。通过本课程的学习，学生能够掌握通信与信息系统的基本概念，熟悉各种通信网络的系统组成、基本理论和工作原理，了解通信系统的发展方向和前沿技术，为今后从事科学研究、工程设计、系统维护、项目研发和管理工作奠定坚实的专业基础。

本教材内容新颖，题材广泛，由浅入深，可读性强。全书共分为 9 章，内容不仅涉及现代通信系统的基础理论，还包括光纤通信、数据通信、多媒体通信、现代交换技术、量子通信、无线通信系统（移动通信，卫星通信，微波通信）、信息安全和现代通信新技术。其中在现代通信新技术一章中，包括了云计算、物联网、流星余迹通信、深空通信、移动互联网等前沿技术。对于本教材的内容，教师可根据教学计划灵活取舍。

本书由西安邮电大学通信与信息工程学院的聂敏、艾达、张美玲、梁彦霞共同编写。其中聂敏教授编写了第 1 章、第 4 章和第 7 章，艾达博士编写了第 2 章和第 6 章，张美玲博士编写了第 8 章和第 9 章，梁彦霞博士编写了第 3 章和第 5 章。本教材承蒙西安电子科技大学通信工程学院原副院长、博士生导师裴昌幸教授主审。裴教授在百忙中抽出宝贵时间，全面仔细地审阅了全部书稿，提出了十分宝贵的修改意见，在此表示由衷的感谢。

本教材的编写，得到了西安邮电大学副校长、博士生导师范九伦教授，西安邮电大学通信与信息工程学院院长、博士生导师卢光跃教授，西安邮电大学通信与信息工程学院副院长刘毓教授，西安邮电大学通信与信息工程学院通信工程系系主任杨武军副教授等领导专家和专家的大力支持和帮助，编著者对他们深表谢忱。

在本教材的编写过程中，引用了书末所列参考文献的部分内容，这些内容不仅凝聚了原作者的智慧和心血，也使本教材能够全面体现现代通信系统各个领域最新研究成果和技术发展水平。谨向这些成果的原作者表示诚挚的感谢。

由于经验不足，加上编著者的水平有限、时间仓促，本教材难免有疏漏之处，敬请读者批评指正，谢谢！

编著者

2012 年 10 月

目 录

第 1 章 基本概念	1
1.1 模拟信号和数字信号	1
1.2 模拟通信与数字通信	2
1.3 通信系统的基本模型	2
1.4 数字电话通信系统	3
思考题	5
第 2 章 数据通信系统	6
2.1 数据通信概述	6
2.1.1 数据通信系统	6
2.1.2 数据通信的特点	7
2.1.3 数据传输方式	8
2.1.4 差错控制	11
2.2 计算机网络体系结构	12
2.2.1 网络协议和网络体系结构	12
2.2.2 物理层	15
2.2.3 数据链路层	16
2.2.4 网络层	19
2.2.5 传输层	20
2.2.6 高层协议	23
2.3 局域网	24
2.3.1 局域网拓扑结构	24
2.3.2 局域网特点	25
2.3.3 局域网协议	25
2.3.4 无线局域网 (WLAN)	29
2.4 TCP/IP	33
2.4.1 TCP/IP 组成	33
2.4.2 TCP/IP 协议	33
2.4.3 TCP/IP 地址	35
2.4.4 IPv6	37
2.5 Internet 和广域网	44
2.5.1 广域网协议	44
2.5.2 Internet 的基本服务	46
2.5.3 IP 虚拟专用网	49

2.5.4 网络互联设备	51
思考题	53
第3章 交换技术	55
3.1 概述	55
3.1.1 交换与通信网	55
3.1.2 交换方式	57
3.1.3 交换技术基础	61
3.1.4 交换技术的发展	62
3.2 电路交换	64
3.2.1 电路交换技术的发展	64
3.2.2 电路交换技术的分类	64
3.2.3 电路交换系统的基本功能	65
3.2.4 呼叫连接控制	66
3.3 分组交换	69
3.3.1 分组交换原理	69
3.3.2 分组交换的路由选择	73
3.3.3 分组交换的流量控制与拥塞控制	74
3.3.4 X.25 协议	75
3.3.5 帧中继	77
3.4 ATM 交换	80
3.4.1 ATM 的基本原理	80
3.4.2 ATM 交换的基本原理	83
3.5 多协议标记交换 (MPLS)	84
3.5.1 MPLS 工作原理	84
3.5.2 MPLS 使用标记调换转发的优点	85
3.5.3 MPLS 核心技术	86
3.5.4 标记分配方法	87
3.6 软交换	88
3.6.1 软交换概念的提出及定义	88
3.6.2 软交换体系的基本要素	89
3.6.3 软交换系统	89
3.6.4 软交换系统的主要协议	90
3.6.5 软交换在下一代通信网络中的位置	90
3.6.6 软交换技术的主要特点和功能	91
3.7 7号信令	91
3.7.1 信令网基础知识	92
3.7.2 7号信令系统	94
思考题	98

第 4 章 光通信	99
4.1 概述.....	99
4.1.1 光通信的发展历史和特点.....	99
4.1.2 光纤通信系统的组成.....	103
4.1.3 光纤通信的基本问题.....	105
4.2 光纤.....	106
4.2.1 光纤的结构和类型.....	106
4.2.2 光纤的损耗.....	107
4.2.3 光纤光缆的特性、参数和结构.....	108
4.3 光纤传输原理.....	110
4.3.1 光纤的数值孔径.....	110
4.3.2 传播时延和自聚焦效应.....	111
4.3.3 光纤的色散.....	111
4.4 光端机.....	112
4.4.1 光发射机.....	112
4.4.2 光接收机.....	113
4.5 WDM.....	113
4.5.1 WDM 与 DWDM 的基本原理.....	113
4.5.2 WDM 系统.....	114
4.6 光通信新技术.....	114
4.6.1 相干光通信.....	114
4.6.2 光孤子通信.....	115
4.6.3 全光网.....	116
思考题.....	116
第 5 章 无线通信系统	117
5.1 移动通信系统概述.....	117
5.2 移动通信的基本技术.....	119
5.2.1 数字调制和编码技术.....	119
5.2.2 移动信道特征及抗衰落方法.....	121
5.2.3 移动通信的组网技术.....	126
5.3 数字蜂窝移动通信系统.....	135
5.3.1 GSM 系统.....	135
5.3.2 CDMA 蜂窝移动通信系统.....	147
5.4 第三代移动通信系统.....	152
5.4.1 实现 3G 的关键技术.....	153
5.4.2 WCDMA、TD-SCDMA 和 cdma2000 的比较.....	154
5.5 卫星通信.....	154
5.5.1 卫星通信系统概述.....	155

5.5.2	卫星移动通信系统	156
5.5.3	VSAT 通信网	157
5.5.4	卫星导航定位系统	158
5.5.5	卫星通信的发展趋势	158
5.6	数字微波通信	159
5.6.1	微波通信概述	159
5.6.2	微波中继系统	161
5.6.3	SDH 微波系统	163
	思考题	165
第 6 章 多媒体通信系统		166
6.1	多媒体通信概述	166
6.1.1	多媒体的基本概念	166
6.1.2	多媒体通信的特点和应用	167
6.1.3	多媒体通信的关键技术	168
6.2	语音压缩编码	172
6.2.1	人的听觉特性	172
6.2.2	音频信号编码	173
6.2.3	音频编码标准	176
6.3	图像编码	177
6.3.1	人的视觉特性	177
6.3.2	数字化电视信号	179
6.3.3	图像压缩编码技术	180
6.3.4	常用的图像压缩编码标准	189
6.4	多媒体通信网络	193
6.4.1	多媒体通信对网络的要求	193
6.4.2	多媒体通信网络概述	194
6.4.3	多媒体通信网络的服务质量	195
6.5	多媒体通信应用	197
6.5.1	可视电话	197
6.5.2	视频会议	198
6.5.3	视频监控	199
6.5.4	视频点播	201
6.5.5	远程教育	202
	思考题	203
第 7 章 量子通信		204
7.1	基本概念	204
7.1.1	向量空间	205
7.1.2	基与线性相关	206

7.1.3	线性算子与矩阵	207
7.1.4	内积与范数	208
7.1.5	特征向量和特征值	210
7.1.6	伴随矩阵与 Hermite 算子	210
7.1.7	张量积	212
7.1.8	算子函数	214
7.1.9	对易式和反对易式	215
7.1.10	泡利矩阵与量子态	216
7.2	量子通信模型	217
7.2.1	EPR 纠缠态	217
7.2.2	连续变量量子纠缠	218
7.2.3	量子隐形传态	219
7.2.4	量子隐形传态	221
7.2.5	量子信息隐藏	222
7.2.6	量子通信系统模型	223
7.3	量子通信信道	226
7.3.1	量子传输信道	226
7.3.2	量子测量信道	227
7.3.3	量子辅助信道	227
7.3.4	量子噪声信道	228
7.4	量子纠缠交换与中继	232
7.4.1	量子纠缠交换	232
7.4.2	量子中继	233
7.5	量子通信关键技术	234
7.5.1	量子信号的产生	234
7.5.2	量子比特制备	240
7.5.3	量子信号的传输与检测	241
7.5.4	量子信源编码与信道编码	243
7.5.5	量子纠错编码	245
	思考题	249
第 8 章	信息安全	250
8.1	信息安全概述	250
8.1.1	信息安全面临的威胁	250
8.1.2	信息安全的目标	251
8.1.3	信息安全的基本技术	253
8.2	加密和认证技术	260
8.2.1	密码学的基本概念	260
8.2.2	对称密码体制	263
8.2.3	非对称密码体制	269

8.2.4	身份和消息认证技术	271
8.2.5	数字签名技术	274
8.3	PKI 技术	275
8.3.1	什么是 PKI	275
8.3.2	数字证书	276
8.4	综合应用实例	279
8.4.1	电子信封技术	279
8.4.2	安全服务的实现	280
8.4.3	安全电子邮件	281
8.4.4	网上银行的 USBKey 原理	281
8.5	信息安全管理	283
	思考题	285
第 9 章	通信新技术	286
9.1	云计算	286
9.1.1	云计算概述	286
9.1.2	云计算的模式	289
9.1.3	云计算安全	293
9.2	物联网	296
9.2.1	物联网的起源与发展	296
9.2.2	物联网的技术体系框架	299
9.2.3	物联网的综合应用	306
9.3	移动互联网	307
9.3.1	移动互联网概述	307
9.3.2	移动互联网的实现	311
9.3.3	移动互联网的应用	315
9.4	流星余迹通信	317
9.4.1	流星余迹通信概述	317
9.4.2	流星余迹通信系统架构	322
9.4.3	流星余迹通信的未来	326
9.5	深空通信	327
9.5.1	深空通信概述	327
9.5.2	深空通信的关键技术	330
9.5.3	深空通信的未来展望	333
	思考题	334
参考文献	335

第1章 基本概念

通信的目的是快速、有效地传递信息。现代信息的表达方式有文字、符号、声音、图像和数据等多种形式。为了实现点到点或点到多点的信息传递，通常以光、电等信号作为信息的载体。

根据传送信息的信道的不同，通信可分为有线通信和无线通信。有线通信的信道包括电缆、光缆、明线等可见的物理媒体。无线通信的信道有长波、中波、短波、超短波、微波、亚毫米波、红外线、可见光、X射线、 γ 射线、宇宙射线等各种不同频率的无线电波；无线电波又称为电磁波，其传输方式有天空波、地面波、空间波、散射波。此外，流星余迹也可作为传输信息的信道，这种通信方式称为流星余迹通信。以上各种通信方式都有各自的应用领域和特点。

计算机网络有局域网、城域网、广域网、蓝牙等多种类型，其中既有有线信道，又有无线信道。通过这些有线或无线信道，用户的各种固定终端或移动终端，就可以接入各种通信网或计算机网络，获取或交换各种信息，达到通信的目的。

卫星通信、微波通信、移动通信是典型的无线通信系统。其中移动通信是目前发展最快的通信方式之一，它具有很好的灵活性，广受用户欢迎，各种3G、LTE、4G标准不仅能够支持语音、数据、图像、文字等多媒体业务，还能够实现移动多媒体、移动支付等许多电子商务的新应用；卫星通信具有覆盖面广、通信质量好、系统容量大等优点；而地面微波通信具有建设周期短、抗自然灾害能力强、频带宽等特点。

有线通信技术的发展历史悠久，目前基于光纤传输的固定电信网络，传输容量大，设备先进，智能性高，综合业务能力强，具有广阔的发展空间。

1.1 模拟信号和数字信号

信号是信息的表达形式，而信道是信号传输的通道。在现代通信系统中，信号大部分是电信号或光信号，而信道大多是光纤、电缆、各种频段的无线电波。电信是以光、电信号为载体而进行的信息传输和交换的通信方式。

电信号可分为模拟信号和数字信号两大类，如图1.1所示。若某信号承载信息的参量具有取值无限、连续变化的特点，则该信号是模拟信号；若某信号承载信息的参量具有取值有限并且离散的特点，则该信号是数字信号。

电话机输出的语音信号，其幅度随语音的大小而连续变化，其幅度取值是无限的，所以是模拟信号；二进制或多进制信号用幅度参量承载信息，取值有限，数值离散，所以是数字信号。模拟信号可以用时间连续函数来描述，数字信号则通过离散的数字序列来表达。通过一定的变换方式，模拟信号与数字信号是可以相互转换的。

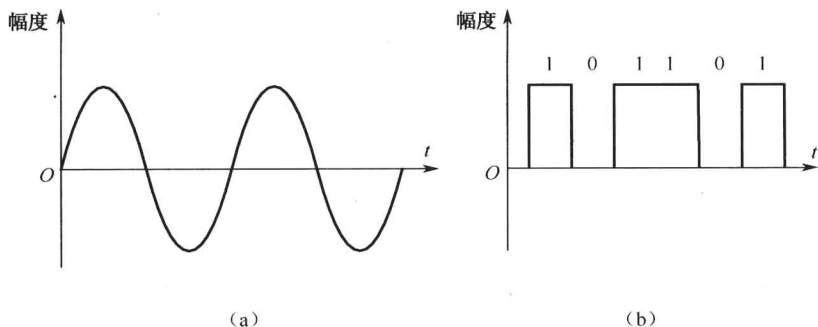


图 1.1 模拟信号 (a) 与数字信号 (b)

1.2 模拟通信与数字通信

顾名思义，传输模拟信号的通信系统称为模拟通信系统，传输数字信号的通信系统称为数字通信系统。与模拟通信系统相比，数字通信系统具有明显的优势，具体如下：

(1) 抗干扰能力强。在我们所处的环境中，各种自然干扰和人为干扰无处不在。对模拟通信系统而言，噪声与信号叠加之后，接收端很难将它们分开，噪声的积累，导致信噪比下降。而在数字通信系统中，接收端通过判决再生来恢复原始信号，只要噪声不超过一定限度，接收端就可以消除干扰。所以，数字通信抗干扰能力强。

(2) 便于加密。在数字通信系统中，为了使通信具有高度的保密性，通过复杂的数字序列对信息进行加密，是很容易实现的。相比之下，模拟通信系统要实现高度的保密就非常困难。

(3) 易于实现综合业务数字网 (ISDN)。将文字、符号、声音、图像和数据等各种信息通过一个统一的数字网络进行传输和交换，是 ISDN 的目标。为了达到这些目的，ISDN 要求网络中的信号形式必须统一，数字信号很容易做到这一点。

(4) 便于集成化。数字通信设备大部分由数字电路构成，它比模拟电路更容易集成化。因此，数字通信设备可以充分利用大规模集成电路和超大规模集成电路，实现设备的微型化、低功耗、低成本、高性能等。

(5) 便于智能化。数字通信系统可以充分利用计算机技术，尤其是微处理机技术，完成自适应处理和各种控制功能，便于实现通信网络的智能化。

数字通信系统的缺点：对于原始的模拟信号，如果采用数字化处理和数字传输，需要占用更多的通信频带，因此，频带利用率低。一路模拟电话，占用 4 kHz 带宽，而一路 64 kbit/s 的数字电话，至少占用 32 kHz 带宽。随着各种频带压缩技术研究的开展以及采用光缆等宽带信道，传输带宽问题正在得到逐步解决。

1.3 通信系统的基本模型

通信系统的基本模型如图 1.2 所示。其目的是将信源 Alice 所发出的信息有效、可靠地传递给信宿 Bob。

信源是指发出信息的信息源。它可以是人或机器（如计算机等）。在人与人之间通信的情况下，信源是指发出信息的人；在机器与机器之间通信的情况下，信源是发出信息的机器，

如计算机或其他机器。不同的信源构成不同形式的通信系统，如对应语音形式信源的是电话通信系统，对应文字形式信源的是电报通信系统和传真通信系统等。

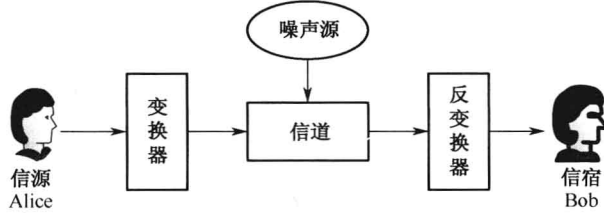


图 1.2 通信系统的基本模型

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。一般分几步完成：首先把非电信号变成电信号，然后对电信号进行变换和处理，使它适合信道传输。在现代通信系统中，为满足不同需求，需要进行不同的变换和处理，如调制、数/模转换、加密、纠错等。

信道是信号传输媒介的总称。不同的信源形式对应的变换处理方式不同，与之对应的信道形式也不同。从大的类别来分，传输信道的类型有两种：一种是电磁信号在自由空间中传输，这种信道叫做无线信道；另一种是使电磁信号被约束在某种传输线上传输，这种信道叫做有线信道。

反变换器的功能是变换器的逆变换。因为变换器把不同形式的信息变换和处理成适合信道传输的信号，通常这种信号不能为信息接收者直接接收，需要用反变换器把从信道上接收的信号变换为接收者可以接收的信息。

信宿是信息传送的终点，也就是信息接收者。它可以与信源相对应，构成人—人通信或机—机通信；也可以与信源不一致，构成人—机通信或机—人通信。

噪声源不是人为实现的实体，在实际的通信系统中客观存在，在模型中将它集中表示。实际上，干扰噪声可能在信源处就混入了，也可能从构成变换器的电子设备中引入。传输信道中的电磁感应以及接收端的各种设备中也都可能引入干扰。

1.4 数字电话通信系统

电话是我们接触最频繁，也是最常用的通信系统。目前应用最为广泛的就是数字移动电话通信和数字固定电话通信系统。数字电话通信系统如图 1.3 所示。

在移动电话或固定电话中，发话器完成声/电转换。信源编码（又称一次编码）完成模/数转换后，还需进行信源压缩编码。信道编码（又称二次编码）完成差错控制编码，使接收端能够对所接收到的误码进行自动检错和纠错，提高传输的可靠性。调制器完成数字基带—数字频带的变换任务，是为了使数字基带信号通过频带信道传输而引入的。比如数字移动通信系统，要将信号调制到 900 MHz、1 800 MHz 甚至更高的频段上进行传输，数字调制必不可少。在接收端，各个方框的功能与发送端刚好相反。比如，受话器完成电—声转换，信源解码（又称一次解码）与信源编码相对应，完成数/模转换。

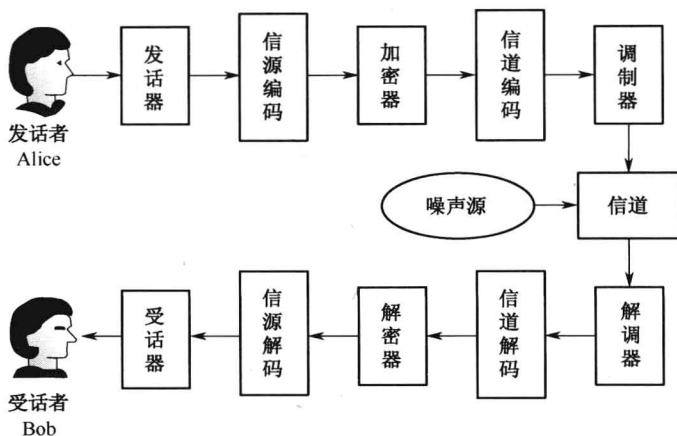


图 1.3 数字电话通信系统

此外，数字电话通信（当然也有其他数字通信系统）还涉及同步、定时信号提取和信令传输等许多关键技术问题。同步包括位同步、字同步、路同步、帧同步；定时信号的准确提取，为数字信号的再生判决提供前提和保障；而信令则是通信系统的控制系统，目前应用最广泛的是七号信令系统。

衡量数字通信系统的指标包括有效性和可靠性。具体而言，就是传输效率和传输差错率。

传输效率是指单位频带内系统所支持的传输速率，它通过以下两种方式来描述：信息速率和码元速率

信息速率也称比特速率，常用 R_b 表示，定义为系统每秒传输的信息量，单位为 bit/s（有时写为 bps）。对于 0、1 等概出现的二元随机序列，每个码元所包含的信息量为 1 bit，通常又将二元信号的码元称为比特（bit），所以，信息速率也就是每秒传输二元信号的码元个数。

码元速率也称符号速率，常用 R_B 表示，定义为系统每秒钟传输的码元个数，单位为波特（Baud）。对于二元信号，有

$$R_b = R_B \quad (1.1)$$

对于 M 元信号，有：

$$R_b = R_B \log_2 M \quad (1.2)$$

需要强调的是，比特（bit）是信息量的单位，bit/s 是信息速率的单位，而 Baud 是码元速率的单位。在 Baud 中已经包含了每秒的意思，所以不能出现“Baud/s”这样的误写。

系统的传输效率通常用 $\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}/\text{Hz}$ 来表示，以此来比较不同的数字通信系统的有效性。

误码率：是系统接收码流中出现错误码元的概率，它是用来描述数字通信系统可靠性的重要指标。如果系统的输入码元具有平稳分布、误码率相等、前后独立的特点，则系统的误码率可以表示为：

$$P_e = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N} \quad (1.3)$$

其中， n 是错误接收的码元个数， N 是接收的总码元数， P_e 为系统误码率。在实际测量中， N 不可能为无穷大。对于取值有限的 N 值，误码率的计算公式为：

$$P_e = \frac{n}{N} \quad (1.4)$$

需要说明的是，误码的出现是一个随机过程，与很多因素有关。

思考题

- 1-1 什么是模拟信号？什么是数字信号？
- 1-2 数字通信系统的主要指标有哪些？
- 1-3 数字通信系统的关键技术是什么？
- 1-4 数字通信系统有哪些优点？

第2章 数据通信系统

2.1 数据通信概述

19世纪30年代，莫尔斯有线电报试验的成功，标志着真正意义上的电通信的存在，在此后的一个世纪内，它构成了通信的初级实用阶段。1948年香农的信息论的提出代表了近代通信的开始；20世纪80年代以后，人类进入了现代通信时代。“数据通信”一词最初出现在远程联机系统形成的时候。

2.1.1 数据通信系统

1. 数据通信的基本概念

数据(Data)信息的载体，可以是数字、文字、语音、图形和图像，我们常称它们为数据(Data)。一般情况下，数据是对客观事实进行描述和记载的物理符号。

信息(Information)是数据的集合、含义与解释。例如，对一个企业进行当前各类经营指标的分析，可以得出企业生产经营状况的若干信息。显然，数据和信息的概念是相对的，甚至有时可以将两者等同起来。

数据可分为模拟数据和数字数据。模拟数据取连续值，数字数据取离散值。数据在被传送之前，要变成适合于信道传输的电磁信号：或是模拟信号，或是数字信号。

与信号的这种分类相似，信道也可以分成传送模拟信号的模拟信道和传送数字信号的数字信道两大类。但是，数字信号在经过数/模变换后可以在模拟信道上发送，而模拟信号在经过模/数转换后也可以在数字信道上发送。

2. 信号传输方式

模拟传输 模拟传输指信道中传输的信号为模拟信号。对于模拟传输，当传输的是模拟信号时，可以直接进行传输，如图2.1所示；当传输的是数字信号时，在信号进入信道前要经过调制解调器的调制，将数字信号变换为模拟信号，如图2.2所示。模拟传输的主要优点在于信道的利用率较高；但是在传输过程中信号会衰减，还会受到噪声的干扰，而且信号放大时噪声也会放大。

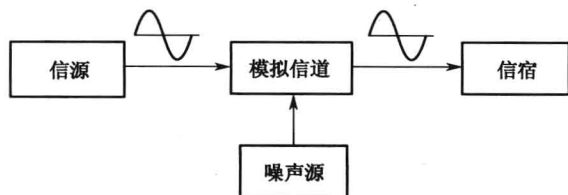


图 2.1 模拟传输（信源为模拟信号）

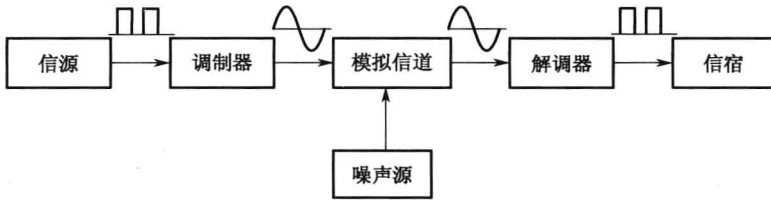


图 2.2 模拟传输（信源为数字信号）

数字传输 数字传输指信道中传输的信号为数字信号。对于数字传输，当传输的信号是数字信号时，可以直接进行传输，如图 2.3 所示；当传输的是模拟信号时，在信号进入信道前要经过编码器的编码，将模拟信号变换为数字信号，如图 2.4 所示。数字传输的主要优点在于数字信号只取离散值，在传输过程中即使受到噪声的干扰，只要没有畸变到不可辨识的程度，均可用信号再生的方法进行恢复，即信号传输不失真，误码率低，信号能被复用，可有效地利用设备。但是传输数字信号比传输模拟信号所要求的频带要宽得多，因此数字传输的信道利用率较低。

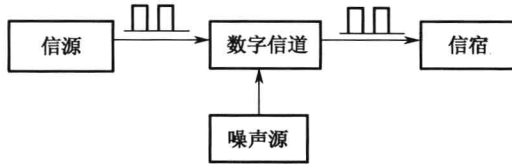


图 2.3 数字传输（信源为数字信号）

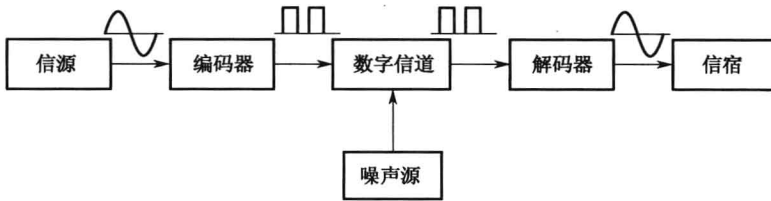


图 2.4 数字传输（信源为模拟信号）

2.1.2 数据通信的特点

数据通信系统是通过数据电路将分布在远地的数据终端设备与计算机系统连接起来，实现数据传输、交换、存储和处理的系统。

比较典型的数据通信系统主要由数据终端设备、数据电路、计算机系统三部分组成，如图 2.5 所示。

1. 数据终端设备

在数据通信系统中，用于发送和接收数据的设备称为数据终端设备（Data Terminal Equipment, DTE）。DTE 可能是大、中、小型计算机或者 PC，也可能是一台只接收数据的打印机，所以说 DTE 属于用户范畴，其种类繁多，功能差别也较大。