

高等学校教材

通信原理

马东堂 主编

马东堂 赵海涛 张晓瀛 编著

李保国 雷 菁 魏急波

高等教育出版社



通信原理



马东堂 主编

马东堂 赵海涛 张晓瀛 编著

李保国 雷 菁 魏急波

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是根据当前通信技术的发展,配合在线开放课程教学的需要编著而成的。其特点是兼顾系统性和先进性,内容完整齐备、阐述浅显易懂、案例新颖实用,且配套资源丰富。

全书共 13 章,主要包括绪论、通信信号分析基础、信道、模拟调制技术、模拟信号的数字化、数字基带传输、数字调制、数字信号的最佳接收、同步与数字复接、多载波和多天线传输、信道编码、扩频通信以及通信网技术等。

本书既可用作通信工程、信息工程、电子信息工程等电子信息类专业及其他相关专业的本科生和研究生教材,又可供从事研究开发的相关工程技术人员参考。建议读者在学习中将本书与配套的 MOOC(已在中国大学 MOOC 网站上线)和数字课程资源配合使用。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理/马东堂主编;马东堂等编著.--北京:高等教育出版社,2018.3

ISBN 978-7-04-049427-3

I. ①通… II. ①马… III. ①通信原理-高等学校-教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 023229 号

策划编辑 吴陈滨	责任编辑 张江漫	封面设计 张楠	版式设计 于婕
插图绘制 杜晓丹	责任校对 胡美萍	责任印制 韩刚	

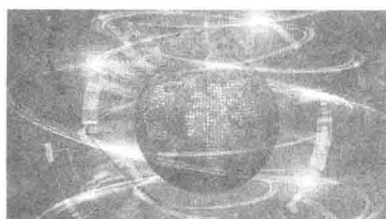
出版发行 高等教育出版社	网 址 http://www.hep.edu.cn
社 址 北京市西城区德外大街 4 号	http://www.hep.com.cn
邮政编码 100120	网上订购 http://www.hepmall.com.cn
印 刷 廊坊市文峰档案印务有限公司	http://www.hepmall.com
开 本 787mm×1092mm 1/16	http://www.hepmall.cn
印 张 31.75	
字 数 780 千字	版 次 2018 年 3 月第 1 版
购书热线 010-58581118	印 次 2018 年 3 月第 1 次印刷
咨询电话 400-810-0598	定 价 59.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 49427-00

通信原理

马东堂 主编

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1254531>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



通信原理

通信原理课程网站与纸质教材一体化设计, 紧密配合, 涵盖主要知识点的授课视频、教学课件、习题解答和扩展阅读资料等内容, 充分利用多媒体资源, 极大地丰富了教学模式, 拓展了教材内容。在提升课程教学效果的同时, 为学生的学习提供更广阔的探索空间。

用户名: 密码: 验证码: 0436 验证码: 登录 注册 (记住我) (忘记密码)

课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/1254531>

前 言

本书是根据当前通信技术的发展,配合在线开放课程教学的需要编著而成的。编著的理念是“强调通信系统的概念,着眼信号的时频分析,突出过程的随机特性”。力求使读者掌握通信的基本原理、关键技术和分析方法,了解通信技术前沿,为进一步的专业课程学习和从事相关工作奠定坚实的基础。

本书的主要特点是:

(1) 力求通俗易懂,可读性好。本书尽量用通俗的语言深入浅出地讲解,语言流畅,使读者更感兴趣阅读本书。在保证论证严谨性和准确性的前提下,尽可能减少繁琐的公式推导,加强物理概念的诠释。

(2) 内容系统完备,实用性强。本书既突出基础理论知识的完备性,又兼顾内容的先进性和实用性,包含了正交频分复用(OFDM)、多输入多输出(MIMO)、信号空间和低密度奇偶校验码(LDPC)等内容。书中标注了“*”号的小节可作为选讲内容。

(3) 注重工程实践,案例新颖实用。本书与 MOOC 和数字课程资源紧密结合,设计了一系列实用的仿真和实验案例,有利于学习过程中理论和实践的结合。配套的数字课程中还配有软件无线电、基于轨道角动量(OAM)的光通信、生物启发的智能通信网络和无线协同通信等前沿技术讲座视频,有助于拓展视野。

(4) 精选例题和习题,帮助理解原理。本书精选了一些例题,有助于对通信基本概念和原理的理解。精选了习题,并在书末给出了部分习题的答案,方便自我测试。配套的 MOOC 和数字课程中有更加丰富的测试题和作业题,可更好地辅助教学。

(5) 制作了微视频,方便读者自学。作者制作了高质量的微视频,读者可在配套数字课程上观看微视频,方便快捷。

全书共分 13 章,第 1 章绪论,第 2 章通信信号分析基础,第 3 章信道,第 4 章模拟调制技术,第 5 章模拟信号的数字化,第 6 章数字基带传输,第 7 章数字调制,第 8 章数字信号的最佳接收,第 9 章同步与数字复接,第 10 章多载波和多天线传输,第 11 章信道编码,第 12 章扩频通信,第 13 章通信网技术。

本书既可用作通信工程、信息工程、电子信息工程等电子信息类专业及其他相关专业的本科生和研究生教材,又可供从事研究开发的相关工程技术人员参考。建议教学中将本书与配套的 MOOC 和数字课程资源配合使用。

本书参与编著的作者都是长期工作在通信专业教学和科研一线的科研人员。全书的提纲设计、统稿、定稿、前言和附录等由马东堂完成。第 1、7、8 章由马东堂执笔,第 5、6、13 章由赵海涛执笔,第 3、9、10 章由张晓瀛执笔,第 2、4、12 章由李保国执笔,第 11 章由雷菁执笔,魏急波参与编写了第 5、9 章并对全书的编著进行了指导。东南大学的宋铁成教授对全文进行了详细的审阅。研究生李丹、丁凯琪、张霄、姚永康、单秋橙和胡甜甜等参与了本书的校对和资料整理工作。在此一并表示

感谢。

同时,本书是在国防科技大学的唐朝京、熊辉、雍玲、马东堂、张颖光等编著的《现代通信原理》的基础上编著而成的,编著过程中还参考了大量国内外文献和著作,在此对这些文献和著作的作者表示衷心的感谢。

本书涉及通信领域广泛的理论和技术问题,由于作者的知识局限及参编作者较多,书中难免有不当之处,敬请读者批评指正。

配套 MOOC 可在中国大学 MOOC 网站上注册学习。

联系邮箱:dongtangma@nudt.edu.cn。

作 者

2017 年 9 月于国防科技大学

目 录

第 1 章 绪论	1	2.3.2 循环平稳随机过程	46
1.1 通信的基本概念和通信技术的发展	1	2.3.3 循环平稳过程定义	47
1.1.1 通信的基本概念	1	2.3.4 循环谱	48
1.1.2 通信技术的发展	2	2.3.5 窄带随机过程	51
1.2 通信系统的组成	4	2.3.6 低通白噪声和带通白噪声	53
1.2.1 通信系统的一般模型	4	2.4 信号空间*	56
1.2.2 模拟通信系统的组成	5	2.4.1 矢量空间	56
1.2.3 数字通信系统的组成	6	2.4.2 信号空间的基本概念	58
1.3 通信系统的分类和通信方式	8	2.4.3 信号与矢量之间的映射	59
1.3.1 通信系统的分类	8	2.4.4 Gram - Schimidt 正交化方法	59
1.3.2 通信方式	12	习题	60
1.4 信息及其度量	12	第 3 章 信道	62
1.4.1 信息的概念	12	3.1 信道的概念和实际信道	62
1.4.2 信息、消息和信号	13	3.1.1 有线信道	62
1.4.3 信息的度量	13	3.1.2 无线信道	64
1.5 通信系统的主要性能指标	15	3.2 信道的数学模型	68
1.5.1 通信系统性能指标涉及的要素	15	3.2.1 调制信道模型	68
1.5.2 有效性指标	15	3.2.2 编码信道模型	69
1.5.3 可靠性指标	17	3.3 信道特性对信号传输的影响	70
习题	17	3.3.1 信道传输特性及其对信号的影响	70
第 2 章 通信信号分析基础	18	3.3.2 无线信道的统计模型	74
2.1 概率论基础	18	3.4 信道中的噪声和干扰	75
2.1.1 随机变量、概率分布和概率密度	18	3.4.1 信道中的噪声	75
2.1.2 随机变量的函数	23	3.4.2 信道中的干扰	76
2.1.3 随机变量的数字特征	25	3.5 信道容量	77
2.2 确定性信号	28	3.5.1 连续信道的信道容量	77
2.2.1 信号的分类	28	3.5.2 离散信道的信道容量	79
2.2.2 确定性信号的频域分析	29	习题	80
2.2.3 确定性信号的时域分析	39	第 4 章 模拟调制技术	82
2.3 随机过程基础	41	4.1 幅度调制基本原理	83
2.3.1 广义平稳随机过程	44	4.1.1 振幅调制(AM)	83
		4.1.2 抑制载波双边带调制(DSB - SC)	87

4.1.3 单边带调制(SSB)	88	5.3 脉冲编码调制	148
4.1.4 残留边带调制(VSB)	93	5.3.1 脉冲编码调制原理	148
4.2 幅度调制系统的抗噪声性能*	95	5.3.2 电话信号的PCM编译码	151
4.2.1 分析模型	95	5.3.3 PCM系统中噪声的影响	154
4.2.2 幅度调制相干解调的抗噪声性能	97	5.4 差分脉码调制	156
4.2.3 AM信号包络检波的抗噪声性能	100	5.4.1 压缩编码简介	156
4.3 模拟角度调制	102	5.4.2 差分脉码调制原理	157
4.3.1 角度调制的基本概念	103	5.4.3 自适应预测*	159
4.3.2 窄带调频	104	5.4.4 自适应量化*	162
4.3.3 宽带调频	106	5.5 增量调制	163
4.3.4 调频信号的产生	109	5.5.1 简单增量调制原理	164
4.3.5 调频信号的解调	111	5.5.2 简单增量调制系统中的量化噪声	165
4.4 调频系统的抗噪声性能分析*	112	5.5.3 增量总和调制*	167
4.4.1 非相干解调的抗噪声性能	113	5.5.4 自适应增量调制	168
4.4.2 调频信号解调的门限效应	117	5.6 时分复用	170
4.4.3 相干解调的抗噪声性能	117	5.6.1 时分复用原理	170
4.4.4 调频中的加重技术	119	5.6.2 准同步数字体系	171
4.5 频分复用原理	121	5.6.3 PCM基群帧结构	172
4.6 模拟调制技术的应用	123	5.6.4 同步数字体系	173
4.6.1 模拟广播电视	124	习题	175
4.6.2 短波单边带电台	125	第6章 数字基带传输	177
4.6.3 调频立体声广播	126	6.1 数字基带信号及其频谱	177
4.6.4 模拟移动通信系统	127	6.1.1 几种基本的数字基带信号	177
习题	129	6.1.2 数字基带信号的频谱分析	180
第5章 模拟信号的数字化	131	6.2 数字基带信号的码型	184
5.1 模拟信号的抽样	131	6.2.1 数字基带传输的码型设计原则	184
5.1.1 低通抽样定理	131	6.2.2 几种常用的基带传输码型	185
5.1.2 内插公式	132	6.3 无码间串扰的基带传输系统	188
5.1.3 带通抽样定理	134	6.3.1 数字基带传输系统	188
5.1.4 实际抽样	136	6.3.2 无码间串扰的基带传输准则	191
5.2 抽样信号的量化	137	6.3.3 无码间串扰的基带传输特性设计	192
5.2.1 量化的基本概念	137	6.4 基带传输系统的抗噪声性能	196
5.2.2 均匀量化	139	6.4.1 性能分析模型	196
5.2.3 非均匀量化	142	6.4.2 二进制双极性基带传输系统	197
5.2.4 对数量化	143	6.4.3 二进制单极性基带传输系统	198
5.2.5 对数压缩特性的折线近似	145	6.5 眼图	199
5.2.6 最佳量化器*	146	6.6 部分响应基带传输系统	201

6.6.1 第 I 类部分响应波形	201	8.6 数字信号的匹配滤波接收	289
6.6.2 部分响应波形的一般形式	204	8.7 最佳基带传输系统	294
6.7 均衡原理	207	8.7.1 理想信道下的最佳基带传输 系统	294
6.7.1 时域均衡原理	208	8.7.2 非理想信道下的最佳基带传输 系统	298
6.7.2 均衡准则与实现	209	习题	299
习题	212	第 9 章 同步与数字复接	302
第 7 章 数字调制	215	9.1 同步的概念和分类	302
7.1 二进制数字调制	215	9.2 载波同步	303
7.1.1 二进制幅移键控	215	9.2.1 有导频辅助时的载波提取	303
7.1.2 二进制频移键控	218	9.2.2 无导频辅助时的载波提取	304
7.1.3 二进制相移键控	222	9.2.3 载波同步的主要性能指标	308
7.1.4 二进制差分相移键控	224	9.2.4 载波相位误差对系统性能的 影响	309
7.2 二进制数字调制系统的抗噪声 性能	226	9.3 码元同步	310
7.2.1 2ASK 系统的抗噪声性能	226	9.3.1 外同步法	310
7.2.2 2FSK 系统的抗噪声性能	232	9.3.2 自同步法	312
7.2.3 2PSK 和 2DPSK 系统的抗噪声 性能	236	9.3.3 码元同步的主要性能指标	315
7.3 多进制数字调制	240	9.4 帧同步	316
7.3.1 数字调制的一般形式	241	9.4.1 帧同步的概念和实现方法	316
7.3.2 多进制幅移键控	242	9.4.2 帧同步码的插入方式	317
7.3.3 多进制频移键控	247	9.4.3 帧同步码的选择	318
7.3.4 多进制相移键控和多进制差分相移 键控	251	9.4.4 PCM30/32 路基群信号的帧 同步码	319
7.3.5 OQPSK 和 $\pi/4$ -QPSK	258	9.4.5 帧同步系统的性能指标	320
7.3.6 正交幅度调制	259	9.4.6 起止同步法	321
7.4 恒包络调制	263	9.5 网同步	321
7.4.1 最小频移键控	263	9.5.1 网同步的基本概念	321
7.4.2 高斯最小频移键控	269	9.5.2 网同步的基本实现方式	322
7.5 数字调制方式的比较	269	9.6 数字复接	324
习题	272	9.6.1 数字复接的基本概念	324
第 8 章 数字信号的最佳接收	274	9.6.2 准同步数字复接	326
8.1 数字信号接收的统计模型	274	习题	328
8.2 数字信号的最佳接收准则	276	第 10 章 多载波和多天线传输	329
8.3 确知数字信号的最佳接收机	278	10.1 正交频分复用 (OFDM)	329
8.4 确知数字信号最佳接收的误码 性能	280	10.1.1 多载波调制	329
8.5 随机相位数字信号的最佳接收	286	10.1.2 OFDM 信号模型	332

10.1.3 OFDM 系统的 FFT 实现	335	11.7.1 Turbo 码的提出	392
10.1.4 循环前缀	335	11.7.2 Turbo 码的编码和译码	392
10.1.5 OFDM 的特点和关键技术	337	11.7.3 Turbo 码的应用	398
10.1.6 OFDM 技术的应用	340	11.8 低密度奇偶校验码(LDPC)	398
10.2 多输入多输出(MIMO)技术*	340	11.8.1 LDPC 码的概念	399
10.2.1 MIMO 技术的提出	340	11.8.2 LDPC 码的译码	400
10.2.2 MIMO 信道的容量	343	11.8.3 LDPC 码的应用	403
10.2.3 MIMO 信道模型	347	习题	409
10.2.4 MIMO 技术的发展与应用	349	第 12 章 扩频通信	411
习题	350	12.1 扩频通信的基本概念	411
第 11 章 信道编码	351	12.1.1 扩频通信的定义	411
11.1 信道编码基本原理	351	12.1.2 扩频通信的主要特点	412
11.1.1 差错控制的基本方法	351	12.1.3 扩频通信系统的主要性能指标	413
11.1.2 信道编码分类	353	12.2 直接序列扩频	413
11.1.3 信道编码中的基本概念	354	12.2.1 直接序列扩频系统的组成	413
11.2 常用检错码	357	12.2.2 直接序列扩频信号的发送与接收	415
11.2.1 奇偶校验码	357	12.2.3 扩频码序列	417
11.2.2 水平一致校验码与方阵码	358	12.2.4 扩频码的同步	420
11.2.3 恒比码	360	12.2.5 直接序列扩频技术的应用	425
11.2.4 群计数码	360	12.3 跳频通信	426
11.3 线性分组码	361	12.3.1 跳频信号的发送与接收	426
11.3.1 线性分组码的概念	361	12.3.2 跳频序列	427
11.3.2 生成矩阵与一致校验矩阵	362	12.3.3 跳频同步	429
11.3.3 线性分组码的伴随式译码	367	习题	433
11.3.4 汉明码	368	第 13 章 通信网技术	434
11.4 循环码	370	13.1 通信网的组成与分类	434
11.4.1 循环码的概念	370	13.1.1 通信网的基本组成	434
11.4.2 循环码的描述	371	13.1.2 通信网的分类	435
11.4.3 循环码的编码和译码	373	13.2 通信网网络体系结构和网络协议	436
11.4.4 常用循环码	376	13.2.1 通信网网络体系结构	436
11.5 卷积码	380	13.2.2 网络协议及其功能	438
11.5.1 卷积码的描述方法	380	13.3 多址技术	440
11.5.2 卷积码的 Viterbi 译码	383	13.3.1 频分多址	441
11.5.3 卷积码的应用	385	13.3.2 时分多址	443
11.6 交织与级联码	388	13.3.3 码分多址	445
11.6.1 交织技术	388	13.3.4 随机多址	448
11.6.2 级联码	390		
11.7 Turbo 码	391		

13.4 交换技术	458
13.4.1 电路交换	459
13.4.2 分组交换	464
13.4.3 快速分组交换	467
13.4.4 软交换	470
习题	472

参考文献	474
附录	476
附录 A 缩写词	476
附录 B 误差函数、互补误差函数表 ...	482
附录 C 部分习题参考答案	484

第1章 绪论

通信是推动人类社会进步和经济发展的巨大动力。进入 21 世纪以来,随着人工智能、软件无线电、微电子、互联网、光通信、移动通信和量子通信等技术的进步,通信正朝着智能化、软件化、集成化、综合化、宽带化、泛在化和高安全性的方向飞速发展。通信新技术的应用正在不断改变着人们的生活方式和行为习惯,也对经济、社会、文化、科技和军事等领域产生着深远的影响。

本章主要介绍通信的基本概念和通信技术的发展、通信系统的组成与分类、信息及其度量,以及评价通信系统的主要性能指标,旨在使读者对通信、通信系统和通信技术的发展有一个初步的了解和认识。

1.1 通信的基本概念和通信技术的发展

微视频 1-1: 通信的基本概念和通信技术的发展

1.1.1 通信的基本概念

1. 通信

广义上,通信是指需要信息的双方或多方在不违背各自意愿的情况下采用任意方法、任意媒质,将信息从某一方准确安全地传送到另一方。身体、眼神、手势、山石、树木、语言、文字、电磁波、声波和光量子等都可以用于传送信息。

狭义上,通信就是信息的传输与交换,即信息的传递。

信息是消息中包含的有意义的内容。通信过程中需要考虑如何传递信息、如何度量信息、信息传递给谁以及谁来传递信息等问题。

如果把信息系统分为信号传输、信息传递和信息应用三个层次,传统意义上的通信主要涉及信号传输和信息传递两个方面。随着通信技术的发展,物理层的信号传输、逻辑层的信号传递和系统层的信息应用之间的联系越来越紧密。

2. 通信网络

网络化是现代通信的基本形式,不论是军用通信还是民用通信都普遍采用网络通信。通信网是由一定数量的节点(包括终端节点、交换节点或中继节点等)和连接这些节点的传输链路有机地组织在一起,按约定的信令或协议完成网络内任意用户间信息传输和交换的通信系统,如图 1-1 所示。图中给出的网络结构只是一种示意,有些网络可能有多个交换节点和中继节点,有些网络也可能没有交换节点。根据拓扑结构的不同,网络拓扑一般分为星型拓扑、环型拓扑和总

线型拓扑。在此基础上,衍生出树型拓扑、网状拓扑、蜂窝型拓扑和混合型拓扑等。图中的传输链路既可以是有线链路,也可以是无线链路。

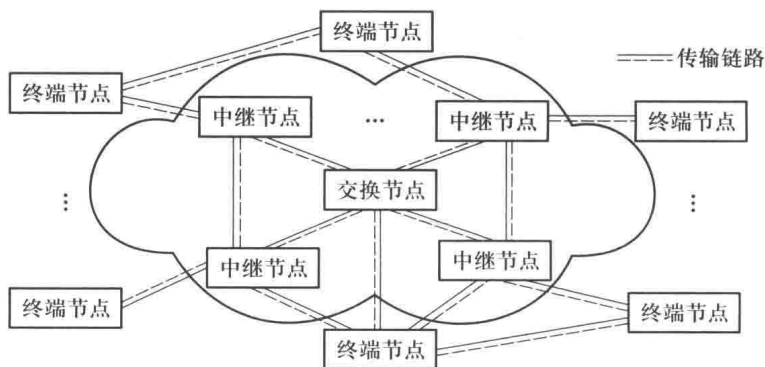


图 1-1 通信网络结构示意图

在通信网络中,信息的交换可以在用户之间进行,也可以在设备之间进行,还可以在用户和设备之间进行。交换的信息包括用户信息(如语音、数据、图像和视频等)、控制信息(如信令信息、路由信息和测控信息等)和网络管理信息等。

通信网是一个由软件和硬件按特定方式构成的通信系统,每一次通信都需要软硬件的协调配合来完成。软件主要包括信令、协议、控制、管理和计费等单元,主要作用是完成通信网的控制、管理、运营和维护。硬件主要包括终端设备、交换设备、业务节点和传输系统,它们完成通信网的接入、交换、控制和传输等功能。

1.1.2 通信技术的发展

通信技术的发展史就是人们不断寻求如何实现快速、准确而安全地传递信息的技术进步史。在中国古代,“烽火狼烟”被用来传递敌寇来犯时的紧急报警信息。公元前 200 年,希腊的军事通信记载了同样的方法。人们还曾利用锣鼓、旗语、人力和马力等方式传递信息,后来出现了邮政通信,有“烽火连三月,家书抵万金”的著名诗句为证。

1837 年,美国艺术家兼发明家莫尔斯(S. F. D. Morse)发明的莫尔斯电码和电报,开创了人类利用电来传递信息的历史。

1864 年,英国物理学家麦克斯韦(J.C. Maxwel)建立了一套电磁理论,预言了电磁波的存在。

1875 年,苏格兰青年贝尔(A.G.Bell)发明了世界上第一台电话机,并于 1876 年申请了发明专利。1878 年在相距 300 km 的波士顿和纽约之间进行了首次长途电话实验,并获得了成功,后来就成立了著名的贝尔电话公司。

1887 年,德国青年物理学家赫兹(H. R. Hertz)在实验中发现了电磁波的存在,证明了麦克斯韦的电磁理论。这个实验轰动了整个科学界,成为近代科学技术史上的一个重要里程碑,导致了无线电的诞生和电子技术的发展。

1895 年,意大利的马可尼(G. Marconi)和俄国的波波夫(A. C. Popov)分别成功地进行了无线电通信试验,马可尼于 1901 年成功进行了跨大西洋的无线电信号接收,无线通信从此开始。

1906 年,美国的德弗雷斯特(L. De Forest)发明了真空三极管,可以将信号放大,能把电话、

电报的信号传送到更远的地方,极大地促进了通信技术的发展。

1918年,美国的阿姆斯特朗(E.H. Armstrong)提出了超外差原理,利用本地产生的振荡波与输入信号混频,将输入信号频率变换为某个预先确定的频率,以适应远程通信对高频率、弱信号接收的需要。1919年,利用超外差原理制成超外差接收机。

1924年,美国科学家奈奎斯特(Henry Nyquist)推导出了理想低通信道下无码间串扰的最高码元传输速率公式,并在1928年发表的论文中提出了低通模拟信号的抽样定理,奠定了现代数字通信的基础。

1948年,香农(C. E. Shannon)发表了著名的论文《通信的数学理论》,提出了信息熵、信道容量等概念,定量揭示了通信的实质问题,成为现代信息论研究的开端。此后香农又发表了率失真理论和密码理论等方面的论文,奠定了编码理论的基础。1948年,晶体管的发明进一步推动了通信技术的发展。

1962年,美国电话电报公司(AT&T)发射“TELESAT-1”低轨通信卫星,奠定了商用通信卫星技术基础。后来,地球同步轨道通信卫星大量投入商用,提供高容量的话路中继和广播电视信号转发业务。近年来,卫星通信技术发展的重点是高通量卫星传输技术、星上处理交换技术、多波束天线技术、点波束频率重用技术等。2017年4月,我国成功发射的中通16号高通量卫星就是其中的典型代表。中低轨星座通信系统也是卫星通信发展的重要方向之一。

1969年,阿帕网(Advanced Research Projects Agency NET, ARPANET)问世,该网络利用了无线分组交换网与卫星通信网,采用包交换机制,开发并利用了TCP/IP协议簇,较好地解决了异构网络互联的一系列理论和技术问题。

1977年,美国在亚特兰大成功进行了世界上第一个光纤通信的现场实验,光纤通信逐渐走向实用。2009年,华裔科学家高锟因为在光纤通信领域的贡献获得诺贝尔奖。

1978年,美国贝尔实验室首次成功开发了高级移动电话系统(Advanced Mobile Phone System, AMPS),标志着第一代移动通信系统的开始。1987年,我国引入了英国的全接入通信系统(Total Access Communications System, TACS)。第一代移动通信系统采用的是模拟调频和频分复用技术。1992年,第一个数字蜂窝移动通信系统——全球移动通信(Global System for Mobile Communication, GSM)系统在欧洲开始商用,GSM成为泛欧第二代移动通信标准。1993年,中国第一个全数字移动电话GSM系统建成开通。其他第二代移动通信标准包括北美使用的IS-54、IS-95[采用美国高通公司(Qualcomm)提出的码分多址(Code Division Multiple Access, CDMA)技术]和日本的个人数字蜂窝(Personal Digital Cellular, PDC)等系统。2000年,国际电信联盟(ITU)确定W-CDMA、CDMA2000和TD-SCDMA为第三代移动通信(3G)的三大主流无线接口标准,写入3G技术指导性文件。2012年,国际电信联盟在2012年无线电通信全会全体会议上,正式审议并通过将LTE-Advanced和Wireless MAN-Advanced(802.16 m)技术规范确立为IMT-Advanced(俗称4G)的国际标准,中国主导制订的TD-LTE-Advanced和FDD-LTE-Advanced同时并列成为4G国际标准。2015年,ITU-R在世界无线电通信大会WRC-15上确定5G蓝图,计划在2018年前后正式确立5G移动通信国际标准和核心技术。

1.2 通信系统的组成

1.2.1 通信系统的一般模型

传递信息所需的一切设备的总和称为通信系统,通信系统的一般模型如图 1-2 所示。

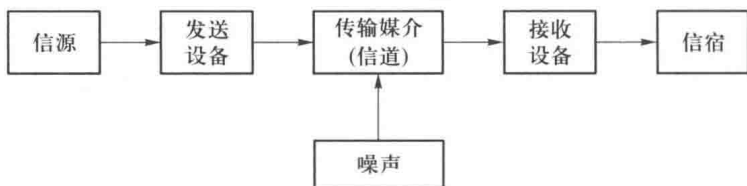


图 1-2 通信系统的一般模型

一个基本的通信系统由信源、发送设备、信道、接收设备和信宿五个部分构成。

1. 信源和信宿

信源是指产生或发出消息的人或机器,是信息的发送者。信宿是指接收消息的人或机器,是信息的接收者。信息通过信号承载。根据输出信号的性质不同,信源可以分为模拟信源和数字信源。模拟信源输出特征值(如幅度、频率和相位等)取值连续的信号,即模拟信号。数字信源输出特征值取值离散的信号,即数字信号。数字信号与模拟信号有明显区别,但在一定条件下可以相互转换。

模拟信号的特点是信号特征值取值连续,可以有无限多种可能取值,从图 1-3(a)波形可以看出此信号在波形上是连续的,图 1-3(b)是对 1-3(a)波形的抽样信号,信号波形每间隔 T_s 时间被抽样一次,因此抽样后的波形在时域上是离散的,但幅度仍然具有无限多种可能的取值,是一个时域离散的模拟信号。

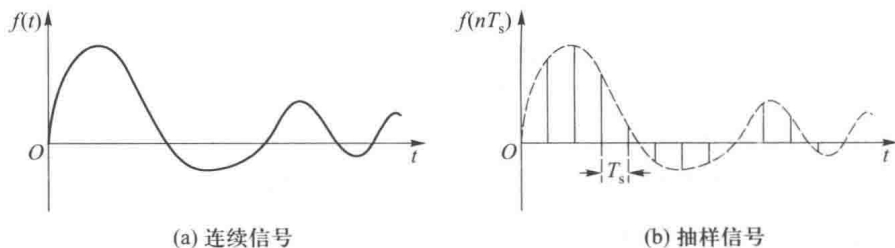


图 1-3 模拟信号示例

数字信号要求信号的特征值取值为有限多个。如图 1-4(a) 中的二进制码,信号的取值只有两个可能的幅度值,即 0 或 1。图 1-4(b) 给出的是一个四进制码,在每个码元间隔内,信号幅度取四种可能的幅度(0, 1, 2, 3)之一。

2. 发送设备

发送设备的作用是产生适合于在信道中传输的信号,使发送信号的特性与传输媒介相匹配,

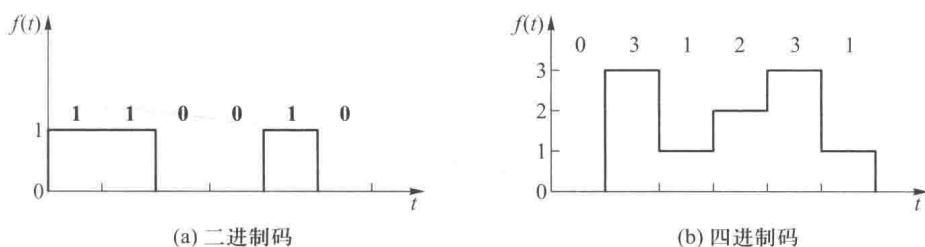


图 1-4 数字信号示例

将信源产生的信号变换为便于传输的形式。变换的方式是多种多样的,如信号的放大、滤波、编码、调制和混频等,发送设备还包括为达到某些特殊的要求而进行的各种处理,如多路复用、保密处理和纠错编码等。

3. 传输媒介(信道)

信道是指传输信号的通道,是从发送设备到接收设备之间信号传递所经过的媒介,可以有有线信道,如明线、双绞线、同轴电缆或光纤,也可以是无无线信道。信道既给信号以传输通路,也会对信号带来各种干扰和噪声,信道的固有特性和干扰直接关系到通信质量。

4. 接收设备

接收设备的基本功能是完成发送过程的反变换,即将信号放大并进行滤波、解调、检测和译码等,其目的是从带有噪声和干扰的信号中正确恢复出发送端发送的原始信息。对于多路复用信号,采用多路解复用处理,实现正确分路功能;此外,在接收设备中,还需要尽可能减小在传输过程中噪声与干扰带来的影响。

以上所述是一个单向的通信系统。很多情况下,信源兼为信宿,通信的双方需要交互信息,因而要求实现双向通信。电话就是一个典型的双向通信的例子。在双向通信系统中,通信双方都要求有发送设备和接收设备,如果两个方向有各自的传输媒介,则双方可以独立进行发送和接收。但若使用同一传输媒介,则通常采用频率、时间或其他分割方法来共享信道资源。此外,通信系统除了要进行信息传递之外,还必须实现信息的交换。传输系统和交换系统共同构成一个完整的通信系统。

1.2.2 模拟通信系统的组成

模拟通信系统是利用模拟信号来传递信息的通信系统,典型的模拟通信系统有中波/短波无线电广播、模拟电视广播、调频立体声广播和模拟移动通信系统等。虽然目前的通信技术是以数字通信为主,但是在实际应用中还存在着一些模拟通信系统,而且模拟通信是数字通信的基础。模拟通信系统的组成如图 1-5 所示。

调制器是模拟通信系统的核心组成部分,它对于通信系统的性能具有重要影响。模拟调制时,通常利用调制信号来控制载波的振幅、频率或相位,以利于信号的传输。如在中波无线电广播中,载波的振幅就跟随音频节目信号的电平而发生变化,收音机从接收到的中波信号检测出这种幅度的变化就能够重现音频信号。在多数模拟调制无线通信系统中,调制一般在中频进行,调制之后产生的已调信号还需要经过混频放大实现上变频,将信号搬运到射频后经过天线发射出去。接收端将从信道中接收到的信号进行混频放大实现下变频,在中频进行

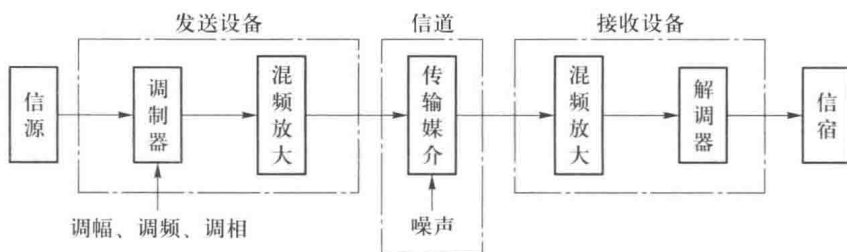


图 1-5 模拟通信系统的组成

信号的解调。

1.2.3 数字通信系统的组成

数字通信系统的组成如图 1-6 所示。数字通信系统包括信源编码与译码、信道编码与译码、加密和解密、数字调制和解调、信道和同步等模块,下面分别进行介绍。

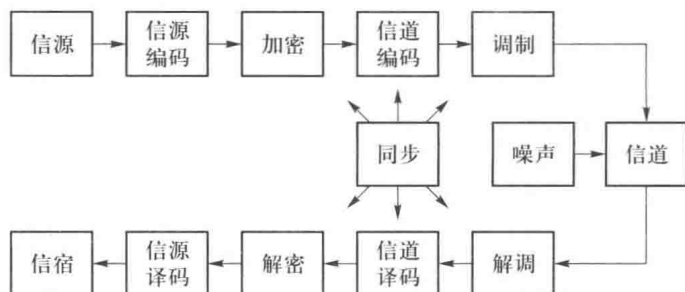


图 1-6 数字通信系统的组成

1. 信源编码与译码

信源编码主要完成模拟信号的数字化。如果信源产生的信号是模拟信号,首先需要对模拟信号进行数字化,然后才能在数字通信系统中传输。模拟信号的数字化包括抽样、量化和编码三个过程,数字电话系统中话音信号的脉冲编码调制(Pulse Code Modulation, PCM)就是一个典型的模拟信号数字化实例。信源编码的另外一个功能是通过压缩编码来提高信息传输效率。如数字电话系统中采用 PCM 编码的单路话音的信息速率为 64 kbit/s,而压缩编码后单路话音的速率可以降低到 32 kbit/s 或更低,这样就可以在信道带宽一定的情况下提高传输的话音路数。信源译码是信源编码的逆过程。

2. 信道编码与译码

信道编码的目的是为了增强信息传输的可靠性。由于信号在信道传输时受到噪声和干扰的影响,接收端恢复数字信息时可能会出现差错,为了减小接收信息的差错概率,信道编码器对传输的信息按照一定的规则进行差错控制编码,接收端的信道译码器按照相应的逆规则进行信道译码,从而实现纠错或检错。在计算机系统中广泛使用的奇偶校验码就是一种简单的差错控制编码方式,它具有 1 bit 的检错能力。

3. 加密和解密

为了保证信息传输的安全性,按照一定的规则将要传输的信号加上密码,即加密。接收端