

中国电子教育学会高教分会推荐
高等学校应用型本科“十三五”规划教材

机电 计算机 电子
MECHATRONICS COMPUTER ELECTRONICS

- 避免烦琐的数学推导，突出基本概念和相关通信技术的应用。
- 附有大部分习题参考答案，便于教学与自学。

通信原理与技术



李文娟 李美丽 赵瑞玉
陈玲 鲜娟
胡珺珺

编著
主审



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

中国电子教育学会高校分会推荐教材
高等学校应用型本科“十三五”规划教材

通信原理与技术

编 著 李文娟 李美丽 赵瑞玉 陈玲 鲜娟
主 审 胡珺珺

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书对现代通信系统的基本原理及技术进行了系统的分析, 尽量避免烦琐的数学推导, 偏重于基本概念的理解及相关通信技术的应用。本书内容简练, 理论联系实际, 对基本原理的分析深入浅出, 通俗易懂, 同时注重吸收新的技术成果。

全书共 9 章, 内容包括绪论、信号与信道、模拟调制系统、数字基带传输系统、数字频带传输系统、模拟信号的数字化、多路复用和多址技术、信道编码和同步技术。书中配有大量典型例题和习题, 并附有部分习题答案, 便于教学与自学。

本书可作为以应用型为培养目标的普通高等学校通信工程、电子信息工程等专业本科生教材, 也可作为相关领域科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理与技术/李文娟等编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2016.9

高等学校应用型本科“十三五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4220 - 8

I. ① 通… II. ① 李… III. ① 通信原理—高等学校—教材 ② 通信技术—高等学校—教材
IV. ① TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 186206 号

策划编辑 李惠萍

责任编辑 杨 璠 李惠萍

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 16.5

字 数 386 千字

印 数 1~3000 册

定 价 30.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4220 - 8/TN

XDUP 4512001 - 1

*** 如有印装问题可调换 ***

西安电子科技大学出版社
高等学校应用型本科“十三五”规划教材

编审专家委员会名单

主 任：鲍吉龙(宁波工程学院副院长、教授)

副主任：彭 军(重庆科技学院电气与信息工程学院院长、教授)

张国云(湖南理工学院信息与通信工程学院院长、教授)

刘黎明(南阳理工学院软件学院院长、教授)

庞兴华(南阳理工学院机械与汽车工程学院副院长、教授)

电子与通信组

组 长：彭 军(兼)

张国云(兼)

成 员：(成员按姓氏笔画排列)

王天宝(成都信息工程学院通信学院院长、教授)

安 鹏(宁波工程学院电子与信息工程学院副院长、副教授)

朱清慧(南阳理工学院电子与电气工程学院副院长、教授)

沈汉鑫(厦门理工学院光电与通信工程学院副院长、副教授)

苏世栋(运城学院物理与电子工程系副主任、副教授)

杨光松(集美大学信息工程学院副院长、教授)

钮王杰(运城学院机电工程系副主任、副教授)

唐德东(重庆科技学院电气与信息工程学院副院长、教授)

谢 东(重庆科技学院电气与信息工程学院自动化系主任、教授)

湛腾西(湖南理工学院信息与通信工程学院教授)

楼建明(宁波工程学院电子与信息工程学院副院长、副教授)

计算机大组

组 长：刘黎明(兼)

成 员：(成员按姓氏笔画排列)

刘克成(南阳理工学院计算机学院院长、教授)

毕如田(山西农业大学资源环境学院副院长、教授)

向 毅(重庆科技学院电气与信息工程学院院长助理、教授)

李富忠(山西农业大学软件学院院长、教授)

张晓民(南阳理工学院软件学院副院长、副教授)

何明星(西华大学数学与计算机学院院长、教授)

范剑波(宁波工程学院理学院副院长、教授)

赵润林(山西运城学院计算机科学与技术系副主任、副教授)

黑新宏(西安理工大学计算机学院副院长、教授)

雷 亮(重庆科技学院电气与信息工程学院计算机系主任、副教授)

机电组

组 长: 庞兴华(兼)

成 员: (成员按姓氏笔画排列)

丁又青(重庆科技学院机械与动力工程学院副院长、教授)

王志奎(南阳理工学院机械与汽车工程学院系主任、教授)

刘振全(天津科技大学电子信息与自动化学院副院长、副教授)

何高法(重庆科技学院机械与动力工程学院院长助理、教授)

胡文金(重庆科技学院电气与信息工程学院系主任、教授)

前 言

“通信原理与技术”课程是通信类相关专业的一门专业基础课,通过本课程的学习,学生应掌握通信系统的基本理论和分析方法,为今后进一步学习专业知识打下良好的基础。为了培养应用型人才,适应通信与信息技术的最新发展,本书在总结多年教学实践经验的基础上,结合近几年来的教学实践和改革成果,并参考国内外优秀教材编写而成。

本书着眼于通信的基本概念、基本理论和基础知识的分析,同时兼顾介绍现代通信新技术,尽量避免烦琐的数学推导,偏重于通信技术的实际应用,适合于应用型本科院校通信类教学需求,是一本“看得懂、学得会、概念清楚、深度适中”的教材。本书建立了比较完整的知识框架,内容全面,自成体系。书中配有大量典型例题和习题,并附有部分习题答案,便于教学与自学。

全书共分为9章。第1章绪论,主要介绍通信的概念、分类及特点,通信系统的模型及主要性能指标。第2章信号与信道,首先通过对信号概念的理解,引出通信系统中噪声的分析,它是分析通信系统的数学工具,然后讨论离散信道和连续信道的模型和信道容量,以及移动通信信道的特征。第3章模拟调制系统,主要介绍各种模拟调制方式的基本原理和性能,以及模拟调制系统的应用实例。第4章数字基带传输系统,首先介绍数字基带信号的常用波形和传输码型以及频谱特征,然后针对基带传输系统出现的误码,讨论如何抑制噪声和消除码间串扰的理论;同时简述均衡器和部分响应系统并介绍最佳基带传输系统的概念及基本分析方法。第5章数字频带传输系统,重点讨论二进制数字调制系统的原理及其抗噪声性能,还简单介绍了多进制数字调制系统及几种现代数字调制技术。第6章模拟信号的数字化,重点介绍基于PCM的模拟信号数字化技术以及语音压缩编码和图像压缩编码的相关技术。第7章多路复用和多址技术,重点介绍多路复用以及多址技术的基本概念。第8章信道编码,主要介绍常见的信道编码和译码方法。第9章同步技术,主要介绍载波同步、位同步、群同步和网同步的基本原理。本书每章后附有本章小结、习题。

本书可作为普通高等学校通信工程、电子信息工程、电子信息科学与技术、广播电视工程等专业的教材,也可作为参考书供相关工程技术人员使用。

本书的第2、3、7章由李文娟老师编写,第4、5、6章由李美丽老师编写,第1、8章由赵瑞玉老师编写,第9章由陈玲、鲜娟老师编写。全书由李文娟老师统编定稿。

本书在编写过程中参考了大量相关领域的成熟和优秀教材,被引用书籍的作者对本书的完成起到了重要作用,在此,特别感谢给予支持和帮助的蒋青教授。全书由胡珺珺副教授主审,在此深表感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏,希望读者批评指正。

编 者

2016年4月

目 录

第1章 绪论	1	2.4.1 随机过程通过线性系统	33
1.1 通信的基本概念	1	2.4.2 随机过程通过乘法器	35
1.1.1 通信与电信	1	2.5 信道分类与模型	36
1.1.2 消息、信息与信号	2	2.5.1 信道的分类	36
1.2 通信发展简史	3	2.5.2 离散信道的数学模型	37
1.3 通信系统的模型	4	2.5.3 模拟信道的数学模型	38
1.3.1 基本模型	4	2.6 信道容量	39
1.3.2 模拟通信系统模型	5	2.6.1 离散信道的信道容量	39
1.3.3 数字通信系统模型	5	2.6.2 模拟信道的信道容量	41
1.3.4 数字通信的特点	6	2.7 移动通信系统中的信道分析	43
1.4 通信系统的分类及通信方式	7	2.7.1 移动通信信道特点	43
1.4.1 通信系统的分类	7	2.7.2 移动信道电波的传播方式	43
1.4.2 通信方式	8	2.7.3 移动通信中的干扰	44
1.5 信息的度量	9	2.7.4 接收信号中的四种效应	44
1.5.1 离散消息的信息量	9	本章小结	45
1.5.2 离散信源的平均自信息量	10	思考题	46
1.6 通信系统的性能指标	11	习题	46
1.6.1 模拟通信系统的性能指标	11	第3章 模拟调制系统	49
1.6.2 数字通信系统的性能指标	12	3.1 调制的原理及分类	49
本章小结	13	3.1.1 调制的原理	49
思考题	14	3.1.2 调制的分类	49
习题	14	3.2 线性调制的原理	50
第2章 信号与信道	16	3.2.1 幅度调制	50
2.1 信号和噪声的分类	16	3.2.2 双边带调制(DSB)	53
2.1.1 信号的分类	16	3.2.3 单边带调制(SSB)	54
2.1.2 噪声的分类	17	3.2.4 残留边带调制(VSB)	58
2.2 随机变量	18	3.3 线性调制的抗噪声性能	60
2.2.1 随机变量的概念	18	3.3.1 线性调制的抗噪声性能的分析	
2.2.2 随机变量的数字特征	19	模型	61
2.2.3 通信系统中典型的随机变量	21	3.3.2 相干解调的抗噪声性能	62
2.3 随机过程	22	3.3.3 非相干解调的抗噪声性能	66
2.3.1 随机过程的概念	22	3.4 非线性调制	68
2.3.2 随机过程的统计特性	23	3.4.1 非线性调制的原理	68
2.3.3 平稳随机过程	26	3.4.2 窄带调频(NBFM)	70
2.3.4 高斯随机过程	28	3.4.3 宽带调频(WBFM)	70
2.4 随机过程通过系统的分析	33	3.4.4 调频信号的产生与解调	72

3.5 调频系统的抗噪声性能分析	74	4.8.1 匹配滤波器	112
3.5.1 调频系统抗噪声性能的分析模型	74	4.8.2 二元系统最佳接收系统的性能	114
3.5.2 非相干解调的抗噪声性能	75	4.9 眼图的 MATLAB 仿真	116
3.6 各种模拟调制的比较	77	本章小结	118
3.7 模拟调制系统的应用	78	思考题	119
3.7.1 调幅广播	78	习题	119
3.7.2 调频广播	78	第 5 章 数字频带传输系统	123
3.7.3 地面广播电视	80	5.1 二进制数字调制	123
3.7.4 卫星直播电视	81	5.1.1 二进制幅移键控	123
本章小结	81	5.1.2 二进制频移键控	125
思考题	82	5.1.3 二进制相移键控	127
习题	82	5.1.4 二进制调制的功率谱	131
第 4 章 数字基带传输系统	86	5.2 二进制数字调制的抗噪声性能	133
4.1 数字基带传输系统的概念及组成	86	5.2.1 二进制幅移键控的抗噪声性能	133
4.1.1 基带传输的概念	86	5.2.2 二进制频移键控的抗噪声性能	136
4.1.2 数字基带传输系统的组成	86	5.2.3 二进制相移键控和二进制相对相移键控的抗噪声性能	139
4.2 数字基带信号常用码型及频谱	88	5.3 二进制数字调制系统的性能比较	140
4.2.1 数字基带信号常用的码型	88	5.4 多进制数字调制	142
4.2.2 数字基带信号常用的传输码型	90	5.4.1 多进制幅移键控	142
4.2.3 数字基带信号的频谱	92	5.4.2 多进制频移键控	143
4.3 数字基带传输的码间串扰	96	5.4.3 多进制相移键控	144
4.3.1 数字基带传输系统的定量分析	96	5.4.4 多进制相对相移键控	146
4.3.2 码间串扰	97	5.5 现代数字调制技术	147
4.4 无码间串扰的基带传输特性	97	5.5.1 正交振幅调制	147
4.4.1 消除码间串扰的思想	97	5.5.2 最小频移键控	150
4.4.2 无码间串扰的条件	98	5.5.3 $\pi/4$ -DQPSK	153
4.4.3 无码间串扰的传输特性的设计	99	5.5.4 正交频分复用	155
4.5 基带传输系统的抗噪声性能	102	5.6 数字调制技术的应用	157
4.5.1 基带传输系统的抗噪声性能分析模型	102	本章小结	159
4.5.2 二进制单极性数字基带系统的抗噪声性能	102	思考题	160
4.5.3 二进制双极性数字基带系统的抗噪声性能	104	习题	160
4.6 眼图与时域均衡技术	105	第 6 章 模拟信号的数字化	163
4.6.1 眼图	105	6.1 引言	163
4.6.2 时域均衡	107	6.2 模拟信号的抽样	163
4.7 部分响应系统	108	6.2.1 低通模拟信号的抽样定理	164
4.7.1 部分响应系统的原理	108	6.2.2 带通模拟信号的抽样定理	165
4.7.2 部分响应系统的实现	109	6.2.3 模拟脉冲调制	166
4.8 最佳基带传输系统	112	6.3 抽样信号的量化	167
		6.3.1 量化原理	167

6.3.2 均匀量化	168	习题	208
6.3.3 非均匀量化	169	第8章 信道编码	209
6.4 脉冲编码调制	171	8.1 引言	209
6.4.1 引言	171	8.2 信道编码的相关概念	209
6.4.2 自然二进制码和折叠二进制码	172	8.2.1 差错类型	209
6.4.3 13折线的码位安排	173	8.2.2 差错控制方式	210
6.4.4 逐次比较型编解码原理	174	8.2.3 纠错编码的分类	210
6.4.5 脉冲编码调制系统的抗噪声性能	176	8.2.4 码重和码距	211
6.5 压缩编码技术	178	8.2.5 最小码距与检错纠错能力	211
6.5.1 压缩编码的概念	178	8.3 线性分组码	212
6.5.2 压缩编码的分类	178	8.3.1 概述	212
6.5.3 常见的压缩编码技术	179	8.3.2 线性分组码的编码	212
6.5.4 图像压缩编码技术	183	8.3.3 线性分组码的译码	214
6.5.5 语音压缩编码技术在移动通信系统中的应用	182	8.4 循环码	215
本章小结	186	8.4.1 循环码的码多项式	215
思考题	187	8.4.2 循环码的生成多项式	216
习题	187	8.4.3 循环码的编码	218
第7章 多路复用和多址技术	190	8.4.4 循环码的译码	218
7.1 引言	190	8.5 其他差错控制编码技术	219
7.2 频分复用(FDM)	190	8.5.1 卷积码	219
7.2.1 频分复用(FDM)的基本原理	190	8.5.2 交织码	220
7.2.2 正交频分复用(OFDM)	192	8.5.3 Turbo 编码	222
7.3 时分复用(TDM)	194	本章小结	223
7.3.1 时分复用的 PAM 系统 (TDM-PAM)	194	思考题	223
7.3.2 时分复用的 PCM 系统 (TDM-PCM)	195	习题	223
7.3.3 时分复用信号的码元速率和带宽	196	第9章 同步技术	225
7.3.4 PCM 30/32 路系统的帧结构	197	9.1 同步的分类	225
7.3.5 PCM 数字复接系列	198	9.2 载波同步	226
7.4 码分复用	200	9.2.1 直接法	226
7.5 空分复用	201	9.2.2 插入导频法	227
7.6 多址技术	202	9.2.3 载波同步系统的性能	229
7.6.1 多址技术的基本原理	202	9.3 位同步	229
7.6.2 移动通信中的多址技术	203	9.3.1 插入导频法	229
7.6.3 码分多址(CDMA)	204	9.3.2 自同步法	230
7.6.4 正交频分多址(OFDMA)	205	9.3.3 位同步系统的性能	233
本章小结	207	9.4 群同步	233
思考题	208	9.4.1 起止式同步法	233
		9.4.2 集中插入法	234
		9.4.3 间隔式插入法	234
		9.4.4 群同步系统的性能	235
		9.5 网同步	236
		9.5.1 全网同步系统	236
		9.5.2 准同步系统	236

本章小结	237	附录 C 误差函数、互补误差函数表	242
思考题	238	附录 D 贝塞尔函数表 $J_n(x)$	243
习题	238	附录 E 英文缩写词对照表	244
附录 A 常用数学公式	239	部分习题答案	246
附录 B 傅里叶变换	240	参考文献	254

第 1 章 绪 论

进入 21 世纪以来,通信与网络就像决堤的洪水一般迅速渗透到人们生存环境的每一个角落,使人们无时无刻不感受到信息时代给生活带来的巨大变革。通信对现代社会的重要性不言而喻,已成为推动人类社会文明进步与发展的巨大动力。

本章将引领读者对通信的基本概念、发展历程、通信系统的组成和性能指标、信息的度量有一个总体的认识。

1.1 通信的基本概念

1.1.1 通信与电信

通信(communication)的基本任务是传递消息中所包含的信息,它的目的是为了获取信息。从古至今,在人类的生产和生活中,都离不开信息的传递与交换。按照信息传递手段与技术的不同,通信发展经历了以下 5 个阶段(见图 1-1)。

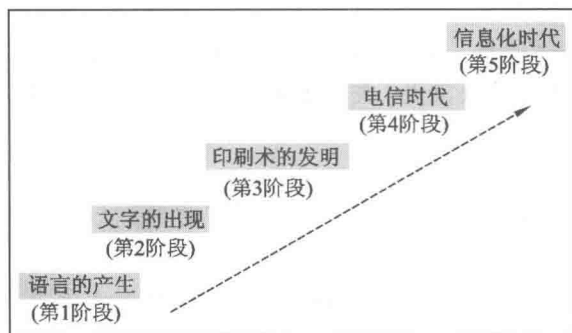


图 1-1 通信发展的 5 个阶段

语言成为人类进行思想交流和信息传播不可缺少的工具。

文字的出现和使用,使人类对信息的保存和传播取得重大突破,超越了时间和空间的局限。

印刷术的发明和使用,改善了存储和交流信息的手段,使信息得以更加广泛地传播到世界的各个角落。

电信(telecommunication)是利用电信号来传递消息的通信方式。随着电报(1844 年)的出现、电话(1876 年)的发明、调幅无线电广播(1918 年)的问世、商业电视广播(1936 年)的开播……人们逐渐步入了电信时代。电信技术使用电磁波来传递信息,具有迅速、准确、可靠等特点,且不受空间和时间、地点与距离的限制,因而得到了飞速发展和广泛使用。如今,在自然科学中,“通信”与“电信”几乎是同义词。本书所涉及的通信均指电信。

如今,计算机与互联网的使用,使我们处在了一个网络化的信息时代。通信网已经成为支撑国民经济、丰富人们生活、方便商务活动和政治事务的基础建设之一。信息产业已成为发展最快和令人向往的行业。因此,全面系统地介绍有关通信的基本理论、分析方法和关键技术是本课程的主要任务。

1.1.2 消息、信息与信号

- 消息(message)是指表示信息的语言、文字、图像和数据等。它是通信系统传输的对象,来自于信源且有多种形式。

消息可以分为连续消息(如连续变化的语音、音乐、活动图片)和离散消息(如状态可数的文字、符号或数据)两大类。

- 信息(information)是消息中有意义的内容,或者说是收信者事先不知道的那部分内容。信息论创始人香农认为,信息是用以消除某些不确定性的东西。通信的目的就是要消除或部分消除不确定性,从而获得信息。

信息与消息的关系可以这样理解:信息是消息的内涵,消息是信息的外在形式。例如,在古代,将士们点燃烽火,这个点燃的烽火本身只是信息的载体,它里面包含的意义即有外敌入侵,这才是信息。

在当今信息社会中,信息已成为最宝贵的资源之一。“谁控制了信息,谁就控制了世界。”如何有效而可靠地获取、传输和利用信息是本书所研究的主要内容。

【扩展阅读:信息的价值】

有三个商人要被关进监狱,监狱长可以满足他们每人提出的一个要求。美国商人爱抽雪茄,要了三箱雪茄,法国人最浪漫,要一个美丽女子相伴,而犹太人说,他要一部能与外界沟通的电话。

三年后。

第一个冲出来的是美国人,嘴里、鼻孔里塞满了雪茄,大声喊道:“给我火,给我火!”原来他忘了要打火机。

接着出来的是法国人。只见他手里抱着一个孩子,美丽女子手里牵着一个小孩子,肚子里还怀着第三个。

最后出来的是犹太人,他紧紧握着监狱长的手说:“这三年来我虽在监狱,但每天能与外界联系,我的生意不但没有停顿,反而增长了两倍,为了表示感谢,我送你一辆劳斯莱斯!”

这个故事说明,什么样的选择决定什么样的结果,只要没有失去信息,实际上什么也没有失去。“谁掌握了信息,谁就掌握了整个世界!”

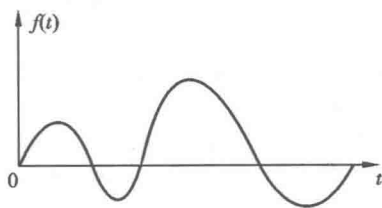
- 信号(signal)是消息的载体。在电信系统中,为了将各种消息(如一段语音、一幅图片等)通过线路传输,必须首先将消息转变成电信号(如电压、电流、电磁波等),也就是把消息承载在电信号的某个参量(如幅度、频率或相位)上。

相应地,信号也分为两大类,如表1-1所示。

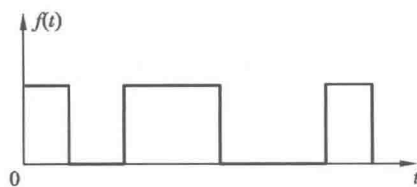
表 1-1 信号类型与特征

模 拟 信 号	数 字 信 号
特征：信号的取值是连续的 例如：电话机送出的语音信号、图像信号	特征：信号的取值是离散的 例如：电报机、计算机输出的信号

图 1-2 所示为一个模拟信号(analog signal)和一个数字信号(digital signal)示意图。横轴代表时间,纵轴表示信号的取值。可见,模拟信号的曲线是连续的,有无穷多个取值;而数字信号从一个值到另一个值是瞬时发生的,就像开关电灯一样。最典型的数字信号是二进制信号(信号只有两种取值)。



(a) 模拟信号



(b) 数字信号

图 1-2 模拟信号和数字信号示意图

综上所述,消息、信息和信号这三者之间既有联系又有不同,即

- 消息是信息的外在形式;
- 信息是消息的内涵;
- 信号是消息(或信息)的载体。

基于对上述内容的理解,通信(即电信)就是指利用电信号将信息从发送端(信源)传递到接收端(信宿)。

1.2 通信发展简史

表 1-2 所示为通信发展历程中的重要事件,从中可以感受到其不断发展的脚步。

表 1-2 通信技术发展大事记

年 份	事 件
1844	莫尔斯发明有线电报,标志着人类社会从此进入了电通信的时代
1864	麦克斯韦预言了电磁波的存在,建立了电磁场理论
1876	贝尔发明电话
1887	赫兹验证了麦克斯韦的理论,证明了电磁波的存在
1900	马可尼发明无线电
1906	发明电子管,开辟了模拟通信的新纪元
1918	阿姆斯特朗发明超外差接收机,调幅无线电广播问世
1925	载波电话问世,实现了在同一路介质上传输多路电话信号
1933	阿姆斯特朗发明调频技术
1936	英国广播公司开播
1937	里夫斯提出脉冲编码调制(PCM)

续表

年 份	事 件
1940—1945	载波通信系统得到发展(第二次世界大战刺激了雷达和微波通信系统的发展)
1946	美国研制出第 1 台数字计算机
1948	时分多路电话系统问世, 同年, 香农发表了奠定“信息论”基础的论文
1949	晶体管问世
1953	第一条横跨大西洋的电话电缆铺设成功
1961—1970	集成电路问世; 美国发射第一颗通信卫星, 开辟了空间通信的新纪元; 梅曼发明激光器; 美国开始使用立体声调频广播; 实验性的 PCM 系统; 实验性的光通信; 登月实况电视转播
1971—1980	商用通信卫星投入使用; 第一块单片微处理器问世; 蜂窝电话系统得到发展; 个人计算机出现; 大规模集成电路时代到来; 光纤通信迅速发展
1981—1990	移动通信进入实用阶段; 可编程数字处理器、芯片加密、压缩光盘及 IBM PC 机出现; 传真机广泛使用; Windows 95 的出现, 推动了互联网的大发展; 卫星全球定位系统(GPS)完成部署
1991—2000	GSM 移动通信系统投入商用; 综合业务数字网(ISDN)得到发展; Internet 和 WWW 普及; 扩频系统、高清晰度电视(HDTV)、掌上电脑、数字蜂窝技术出现
2000 至今	进入基于微处理器的数字信号处理、数字示波器、高速个人计算机、扩频通信系统、数字通信卫星系统、数字电视及个人通信系统时代

展望未来, 通信技术正在向数字化、智能化、综合化、宽带化、个人化的方向飞速发展, 最终, 将实现通信的终极目标, 即无论何时、何地都能与任何人进行任何方式的信息交流——全球个人通信。

1.3 通信系统的模型

1.3.1 基本模型

通信系统(communication system)是指完成通信这一过程所需的一切设备和传输媒介所构成的总体。以点对点通信为例, 通信系统的基本模型如图 1-3 所示。

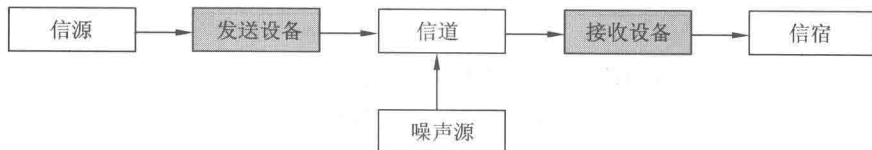


图 1-3 通信系统的基本模型

其各组成部分的作用简述如下:

- 信源(information source)是消息(或信息)的发源地, 它的作用是把待传输的消息转换成原始电信号, 该原始电信号称为基带信号。例如, 电话机可以把说话的声音转换成话音信号。

- 发送设备(transmitter, 发射机)的作用是对信源输出的信号进行处理和变换, 以适合于在信道中传输, 通常包括调制、放大、滤波、编码、多路复用等过程。

- 信道(channel)是指传输信号的各种物理介质, 如电缆和光缆(有线信道)、空间或

大气(无线信道)。

- 接收设备(receiver, 接收机)的功能与发送设备相反, 如译码、解调。它的任务是从受到干扰的接收信号中恢复出相应的原始信号。

- 信宿(destination)是消息(或信息)的目的地, 其功能与信源相反。例如, 电话机将语音信号还原成声音。

- 噪声源(noise source)是信道中的噪声以及通信系统其他各处噪声的集中表示, 它不是人为加上去的, 而是实实在在存在的各种噪声的集合。

实际中, 根据信道中传输的是模拟信号还是数字信号, 相应地把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

1.3.2 模拟通信系统模型

利用模拟信号来传递消息的系统称为模拟通信系统(Analog Communication System, ACS), 其模型如图 1-4 所示。

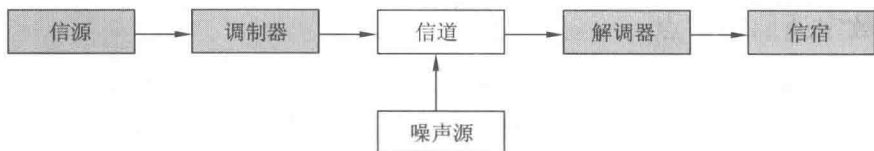


图 1-4 模拟通信系统模型

对于模拟通信系统, 有两种重要变换。

(1) “连续消息 $\leftrightarrow$ 原始电信号”, 即在发送端把连续消息变换成原始电信号(也称基带信号)。基带的含义是指信号的频谱从零频(或接近零频)开始到几兆赫兹, 如语音信号(300~3400 Hz)、图像信号(0~6 MHz)。在接收端进行相反的变换。这些变换由信源和信宿完成。

(2) “基带信号 $\leftrightarrow$ 已调信号”, 即把基带信号变换成适合在信道中传输的信号(调制), 并在接收端进行反变换(解调)。这些过程是通过调制器和解调器来实现的。关于调制和解调, 详见第 3 章。

需要指出, 在实际的模拟通信系统中, 除了上述两种变换之外, 一般还包括滤波、放大、天线辐射等过程。但上述两种变换对信号的变化起决定性的作用, 它们是保证通信质量的关键。其他处理只是对信号进行一些改善, 不会使信号发生质的变化。

1.3.3 数字通信系统模型

利用数字信号来传递消息的通信系统称为数字通信系统(Digital Communication System, DCS), 其模型如图 1-5 所示。

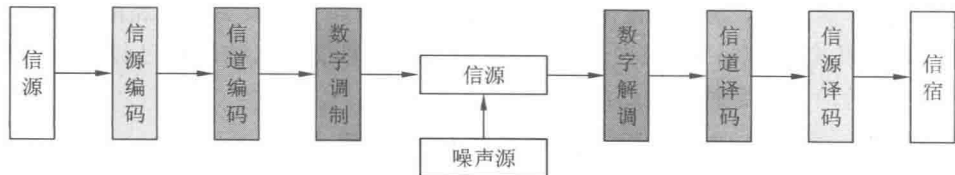


图 1-5 数字通信系统模型

对照图 1-3 所示的基本模型可知,这里的发送设备包括信源编码、信道编码和数字调制,接收设备包括数字解调、信道译码、信源译码,其功能与发送设备相反。各单元的主要功能简述如下:

- 信源编码:一是进行模/数(A/D)转换;二是去除冗余信息,提高传输的有效性。收端信源译码是编码的逆过程。

- 信道编码:进行差错控制,提高传输的可靠性(详见第 8 章)。接收端信道译码是其相反的过程。

- 数字调制与模拟调制的本质及原理相似,只不过把数字基带信号加载到高频载波上,使之适应信道传输的要求。解调是调制的逆过程(详见第 5 章)。

说明:① 除上述组成单元之外,实际的数字通信系统中还包括同步、加密和多路复用等组成部分,但在图 1-5 中并没有画出。

② 图 1-5 所示的是数字通信系统的一般模型,实际的系统中不一定包含上述所有的单元。例如,在数字基带系统(详见第 4 章)中就没有调制器和解调器。

1.3.4 数字通信的特点

目前,数字通信得到了广泛的应用,与模拟通信相比,它有如下优点:

(1) 抗干扰能力强,可用再生中继技术消除噪声的积累,如图 1-6 所示。

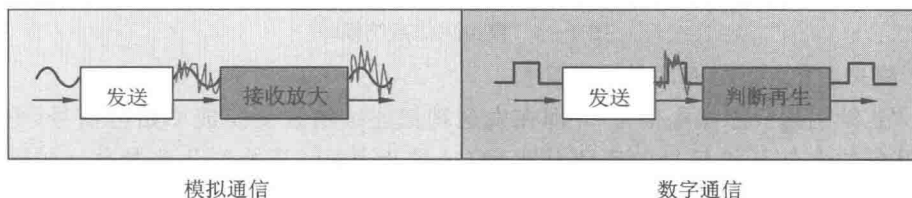


图 1-6 两种通信方式处理噪声的示意图

(2) 差错可控,通信质量高。

(3) 便于加密,且保密性好。

(4) 易于集成,设备体积小、重量轻、功耗低。

(5) 可将不同类型的信息(如语音、数据、视频图像等)综合到一个信道中进行多路传输(因为它们都可以转换成相同的数字信号——比特信号)。

(6) 易于与现代技术相结合。现代的通信系统中,许多设备、终端接口处理的都是数字信号,极易与数字通信系统相连接。

需要指出的是,任何一种通信方式都有利有弊,数字通信也不例外,其主要缺点包括:

(1) 占用信道带宽更宽。例如,一路模拟电话通常只占 4 kHz 带宽,但一路数字电话要占 20~60 kHz 的带宽,因此数字通信的频带利用率不高。

(2) 对同步要求高,系统设备比较复杂。不过,随着超大规模集成电路的出现,新的数据压缩技术以及宽带传输介质(如光纤)的使用,数字通信的这些缺点已经得到弱化。因此,数字通信的应用将会越来越广泛。

【扩展阅读:对讲机“模转数”,让通信专网安全可控】

在专业无线通信领域,近几年全球范围内刮起了一股模拟转数字的风潮。“自 2011 年

1月1日起,停止对150 MHz、400 MHz频段内模拟对讲机设备的型号核准,已取得型号核准证的模拟对讲机设备在型号核准证到期后不再予以办理延期手续;到2016年,我国将全面禁止模拟对讲机的生产和销售,模拟对讲机将被数字专用对讲机完全取代而退出市场。”这是我国对150 MHz、400 MHz频段专用模拟对讲机的生产、销售、使用等环节逐步向数字化过渡所确定的时间表和路线图,意味着专用对讲机通信被“强制”进入“模转数”倒计时。

相比模拟对讲机,数字对讲机具有频率利用率高、干扰少、通信质量高、业务功能丰富和便于统一管理等特点,在公共安全、交通物流等领域深受欢迎。现在的信息化社会,商业用户面对激烈的市场竞争和高效的企业管理,已经越来越离不开专业无线通信的保障。不同行业的用户对数字对讲机,除了要求价格低、覆盖广、操作简单便捷外,还有更多特定的要求,例如轻巧美观、保密性好和防水性好等,这些细分行业用户的需求,应当引起对讲机厂商的高度重视。在数字时代,不能仅仅依靠一款产品“包打天下”,需要“组合拳”来打动用户的心。

数字时代抓住用户的核心需求,获得用户的认可,是对讲机企业必修的功课。

1.4 通信系统的分类及通信方式

1.4.1 通信系统的分类

通信系统有许多不同的分类方法,常见的有以下几种。

1. 按信号的特征分类

(1) 模拟通信——信道中传输的是模拟信号。

(2) 数字通信——信道中传输的是数字信号。

2. 按传输介质分类

(1) 有线通信——用各种传输导线(如电缆、光缆)作为传输介质,这种传输介质看得见、摸得着。市话系统、有线电视系统都属于有线通信方式。

(2) 无线通信——利用无线电波进行通信的系统,如移动通信、微波中继通信等。

3. 按传输方式分类

(1) 基带传输系统——以基带信号(未经调制的信号)作为传输信号的系统。

(2) 频带传输系统——以已调信号(经过调制的信号)作为传输信号的系统。

4. 按工作频带分类

根据波长的大小或频率的高低,可将电磁波划分成不同的波段(或频段),对应的通信方式分别称为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信等。

5. 按通信业务类型分类

按通信业务类型可分为电报通信、电话通信、图像通信、数据通信等。目前,已实现了业务综合,即可以把各种通信业务综合在一个网内传输。

6. 按终端用户移动性分类

(1) 移动通信——通信双方至少有一方在移动中进行信息交换。