

高等学校电子信息类教材

无线数据 通信技术

Radio Technology of Data Traffic

◎ 杜思深 主编 葛建华 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

无线数据通信技术

Radio Technology of Data Traffic

杜思深 主编

甘忠辉 副主编

郭建新 薛凤凤 林宝勤 蒋磊 等参编

葛建华 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书以无线数据通信系统为主线,以军事战术通信为焦点,介绍正在应用和发展的信源与信源压缩编码技术、抗干扰扩频调制通信技术、无线通信多址技术、无线通信组网技术以及无线数据通信协议、通信加密与解密、差错控制与信道编码等新技术,以使读者对无线数据通信领域的新技术、发展趋势有一个基本的了解。在编写过程中力求简明扼要、深入浅出,注重对内容的提炼,避免了抽象的理论表述和复杂的公式推导。

本书可作为现代无线数据通信技术参考书,也可作为一本现代军事战术通信技术的参考书,适合于通信及相关专业的科研人员、教学人员、研究生、高年级本科生以及科研管理人员、装备检验人员、通信技术干部和指挥人员使用。

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

无线数据通信技术/杜思深主编. —北京:电子工业出版社,2011.1
高等学校电子信息类教材
ISBN 978-7-121-12357-3

I ①无… II ①杜… III ①无线电通信:数据通信—高等学校—教材 IV ①TN919.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第227352号

责任编辑:张来盛(zhangls@phei.com.cn)

印 刷: 北京季峰印刷有限公司
装 订:

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:787×1092 1/16 印张:19.75 字数:500千字

印 次:2011年1月第1次印刷

印 数:3000册 定价:35.00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 zlls@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

在过去的几十年间，无线数据通信按照自己的规则蓬勃发展。从蜂窝电话网到无线接入 Internet 和无线家庭网络等，无线数据通信给我们的生活带来了深刻影响，在经过呈指数增长后，今天的无线数据通信产业已经成为世界上最大的产业之一。

信息时代的到来使我们越来越依赖于无线通信，虽然便携式电话系统和个人通信系统使无线通信得到了广泛的应用，但最依赖无线通信的无疑还是军事领域，军事通信技术的发展始终走在民用技术的前面，并带动和促进民用通信。

当今的社会是一个高度信息化的社会。在信息社会中，信息的存储与处理离不开计算机，而信息的传递则离不开通信与计算机网络。无线数据通信正是建立在计算机网络基础之上，为实现移动终端与移动终端、移动终端与固定终端之间的数据信息传递而产生的通信方式。

无线数据通信与网络正在改变着我们的商务活动和生活方式，如电子商务、电子邮件、语音信箱、远程教育、视频聊天等，都是无线数据通信与网络技术的应用实例。无线数据通信与网络的发展目标是能够在世界的任何地点传输和交换诸如文本、音频和图像之类的数据。“5W”（Who、Whenever、Wherever、Whomever、Whatever）是无线数据通信发展的最终目标，是人们无拘束地获取和交互信息的一种内在需求，现代通信技术的发展事实上就是围绕“5W”这一目标逐步向前推进的过程。

无线和数据的融合，就是个人化的通信模式和宽带的通信能力以及丰富的通信内容的融合，是通信迈向“5W”发展的必然途径，也是当前通信发展朝着宽带化、智能化和个人化发展的主要潮流和必然趋势。

本书可作为现代无线数据通信技术参考书，也可作为一本现代军事战术通信技术的参考书，适合通信及相关专业的科研人员、教学人员、研究生、高年级本科生以及科研管理人员、装备检验人员、通信技术干部和指挥人员阅读使用。

全书共分 14 章。第 1 章绪论，介绍数据通信与网络的基本概念，包括数据通信系统的组成与特点，网络的拓扑结构，协议与标准，数据传输模式，多路复用，数据通信系统的性能指标等，为学好后述各章做好准备。

第 2 章无线通信信道，首先介绍无线信道的概念与分类，电波传播方式与无线信道特点，广义信道的数学模型，然后分析恒参信道、变参信道及其对所传信号的影响。最后说明信道带宽、系统带宽与信号带宽以及信道容量。总之，任何一个通信系统与网络，从大的方面均可视为由发送端、信道和接收端三大部分组成。因此，无线信道是无线数据通信系统与网络必不可少的组成部分，无线信道特性的好坏直接影响到系统与网络的总特性。

第 3 章信源与信源压缩编码技术，现代通信系统中信源可以分为三类：计算机产生的数据流、语音产生的数据流和图像产生的数据流，而数据信号的带宽要大于模拟信号的带宽，这将占用较大的信道资源。为了提高信道（特别是无线信道）的利用率和传输效率，在有限的带宽资源条件下，进行信源压缩编码是最有效的方法，信源压缩可以显著地减少传输所需的带宽，也就可以降低费用和发送时间。本章重点讨论了语音波形压缩编码技术、语音参量压缩编码技术、图像压缩编码技术与数据信号的压缩编码技术，并进一步介绍了语音、图像及数据压缩编码标准。

第4章数据基带传输系统与技术，数字和数据基带传输系统类似，所以本章不区别数字和数据的概念。在数据基带传输系统中，其传输对象通常是二元数字信息，它可能来自计算机、电传打字机或其他数字设备的各种数据代码，也可能来自数字电话终端的PCM脉冲编码信号等。由于未经调制的电脉冲数字信号所占据的频带通常从直流或低频开始，我们常称为基带信号。在某些有线信道中，特别是传输距离不太远的情况下，基带信号可以直接传送，我们称之为数据信号的基带传输。在另外一些信道，特别是无线信道和光信道中，数据基带信号则必须经过调制，将信号频谱搬移到高频处才能在信道中传输，我们把这种传输称为数据信号的调制传输（或载波传输、频带传输）。如果把无线调制与解调过程看作是广义信道的一部分，则任何数据传输系统均可等效为基带传输系统，因此分析掌握数据信号的基带传输原理是十分重要的。

第5章高性能数据调制技术，信号调制即对信号的调和整治，使信号匹配信道特性以适合信道传输。调制可实现频率分配、多路复用、减少噪声干扰以及方便辐射等。在信号调制系统中，通常把待传输消息对应的基带信号称为调制信号，调制系统输出的信号称为已调制信号，简称已调信号，用于承载基带信号传输的光波或电波称为载波。解调是调制的逆过程，就是从已调信号中提取消息信号的过程，这样可方便接收者（信宿）处理或解释。本章主要讨论最小频移键控（MSK）、正交振幅调制（QAM）、正交频分复用（OFDM）等高性能调制技术。

第6章抗干扰通信与通信干扰技术，无线抗干扰通信与通信干扰是一项涉及基础理论、技术体制、关键技术、性能评估、组织运用和战场管理控制等多方面的复杂系统工程，也是一门随着信息作战需求和通信电子进攻的挑战而发展起来的新兴工程学科，是当今武器装备发展的前沿研究领域。从哲学上讲，既没有无坚不摧的矛，也没有牢不可破的盾，抗干扰通信与通信干扰作为一对“矛”与“盾”的双方，是现代国防建设永恒的课题，通信抗干扰能力（尤其是复杂电磁环境下的通信抗干扰能力）是军队战斗力的重要标志。本章主要讨论抗干扰通信与通信干扰的基本理论、无线抗干扰通信技术、通信干扰技术。

第7章无线信道接入方法和多址技术，无线通信系统是以信道来区分对象的，一个信道只能容纳一个用户进行通话，许多同时通话的用户互相以信道来区分，这就是多址。无线通信是一个多信道同时工作的系统，具有广播和大面积覆盖的特点。在电波覆盖区内，如何建立用户之间的无线信道的连接是多址接入方式的问题，解决多址接入问题的方法即为多址技术。多址接入技术在无线通信中占有重要的地位，它关系到系统的构成、容量、频谱和信道利用率以及系统复杂性。本章主要讨论无线多址理论基础、频分多址技术、时分多址技术、码分多址技术、扩频及混合多址技术、正交频分复用（OFDM）多址接入、空间与极化多址方式。

第8章超宽带（UWB）通信技术，超宽带（UWB: Ultra-Wide Band）技术是利用超宽频带的电波进行高速无线通信的技术。从时域上讲，超宽带系统有别于传统的通信系统。一般的通信系统是通过发送射频载波进行信号调制，而UWB是利用起、落点的时域脉冲（几十ns）直接实现调制。超宽带的传输把调制信息过程放在一个非常宽的频带上进行，而且以这一过程中所持续的时间来决定带宽所占据的频率范围。本章主要讨论超宽带基本概念、超宽带信号的基本调制方式、UWB关键技术介绍、UWB应用介绍。

第9章差错控制与信道编码技术，信道编码，又称差错控制编码、可靠性编码、抗干扰编码或纠错码，它是提高数字信号传输可靠性的有效方法之一。在无线数据传输过程中，引起数字传输差错的根本原因在于信道内存在的噪声，以及信道传输特性不理想所造成的码间串扰，为了提高数字传输系统的可靠性，降低信息传输的差错率，我们可以利用均衡技术消

除码间串扰,利用增大发射功率、降低接收设备本身的噪声、选择好的调制制度和解调方法、加强天线的方向性等措施,提高数字传输系统的抗噪性能,但上述措施受到各种条件制约,只能将传输差错减小到一定程度。若希望进一步提高数字传输系统的可靠性,就可以采用差错控制编码,对可能或已经出现的差错进行控制。本章主要讨论差错控制编码的基本概念、分组码、卷积码、TCM 网格编码调制、Turbo 码。

第 11 章无线数据通信协议,数据通信协议是网络内使用的“语言”,用来协调网络的运行,以达到互通、互控和互换的目的,通信的双方要共同遵守这些约定。在现代通信网中,一般用户通过应用软件使用数据信息,应用软件使用网络进行通信时并不直接同网络硬件打交道,而是同给定的协议规则打交道,通信网络协议是通信网络中不可缺少的重要组成部分。在无线数据通信网中,信道特性的非对称性、长时延、数据包丢失及比特差错的严重性等,使其有别于有线通信环境,其协议或规程不能直接照搬,因此编写本章内容。本章主要讨论开放系统互连参考模型、数据链路传输控制规程、无线数据通信网中的信道接入协议、无线局域网协议、无线宽带数据通信协议。

第 12 章无线数据通信组网技术,无线数据通信组网主要内容包括网络体系结构的设计和协议的设计,前者需要解决网络拓扑结构、网络控制管理、协议体系结构顶层设计问题,后者主要针对所设计的网络体系结构进行有效拓扑控制算法、管理协议、通信协议等底层技术的实现。本章主要讨论无线数据网络体系结构、蜂窝网络拓扑、移动 Ad Hoc 网络技术、无线 MESH 网络技术。

第 13 章战术数据链系统,战术数据链是连接数字化战场上的指挥中心、作战部队、武器平台的一种信息处理、交换和分发系统。“数据链”一词,最早起源于 20 世纪 50 年代末,当时即为北大西洋公约组织(NATO)及美国海军所使用。它主要是采用无线网络通信技术和应用协议,实现机载、陆基、舰载的指挥和控制时的战术数据信息交换。本章主要讨论数据链系统组成与数据传输流程、数据链组网协议、数据链的时隙分配。

第 14 章自由空间激光通信技术,自由空间激光通信又称无线光通信或自由空间光通信(Free Space Optical Communication, FSO),是光纤通信和无线通信相结合的产物,它是指以 10^5 GHz 以上的激光作为信息载体,不使用光纤等有线信道的传输介质,在宇宙或大气中传递信息的一种通信技术。本章主要讨论自由空间光通信系统基本组成、最新国内外研发进展与应用情况等。

本书是编者多年从事无线通信科研与教学的资料、经验和体会。为了适应教学需求,本书在编写过程中力求循序渐进,尽量保持叙述内容的完整性、实用性。

全书由杜思深主编,甘忠辉任副主编,西安电子科技大学葛建华教授主审,郭建新、薛凤凤、林宝勤、蒋磊等参编,吴静、李战军、姚昭琼、夏小梅、符鸿峰、杜菁、强小娟、夏智高等制作了插图和电子课件。在编写过程中,承蒙黄国策、达新宇、陈述新、庞宝茂、吕娜、刘剑等专家提供了大量宝贵的意见与建议,并参考和引用了许多参考资料。在此,向为本书的编写、出版工作作出贡献的所有人员深表感谢。

最后需要说明的是,由于本书涉及的内容广泛,编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在错误和不足,恳请读者批评指正。

本书有配套的电子课件,需要的读者可与作者联系,联系方式: du2877@163.com。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 无线数据通信基础	1
1.1.1 无线数据通信的发展	1
1.1.2 消息、信息与信息量	2
1.1.3 模拟、数字与数据	4
1.1.4 电路、信号、系统	5
1.1.5 无线数据通信系统与网络	6
1.2 无线数据通信方式与类型	10
1.2.1 无线数据通信与计算机通信、数字通信	10
1.2.2 无线数据通信的工作方式	11
1.2.3 无线数据通信的信号传输方式	11
1.2.4 无线数据通信的过程与信息流的方式	14
1.2.5 数据通信的业务类型	16
1.3 无线数据通信的主要性能指标	17
1.4 无线数据通信研究的主要内容与发展目标	19
思考与练习	21
第 2 章 无线通信信道	22
2.1 无线信道的概念与分类	22
2.2 电波传播方式与无线信道特点	23
2.2.1 无线电波的传播方式	23
2.2.2 近地空间信道的特点	25
2.2.3 对流层散射信道的特点	27
2.2.4 电离层折射信道的特点	27
2.2.5 卫星通信信道的特点	29
2.3 广义信道的数学模型	30
2.3.1 狭义信道与广义信道	30
2.3.2 调制信道的数学模型	32
2.3.3 数字编码信道的数学模型	34
2.4 恒参信道及其对所传信号的影响	34
2.4.1 线性畸变与改善措施	34
2.4.2 非线性畸变和其他影响	36
2.4.3 噪声干扰	36
2.5 变参信道及其对所传信号的影响	36
2.5.1 多径传播、频率弥散和选择性衰落	37
2.5.2 多普勒频移与多普勒衰落	39

2.5.3	阴影效应与衰落	39
2.5.4	变参信道特性的改善	39
2.6	信道带宽、系统带宽与信号带宽	41
2.6.1	带宽的概念与种类	41
2.6.2	带宽的几种计算方法	42
2.7	信道容量	45
2.7.1	香农信道容量	45
2.7.2	奈奎斯特信道容量	46
	思考与练习	46
第3章	信源与信源压缩编码技术	47
3.1	引言	47
3.2	语音波形压缩编码技术	47
3.2.1	抽样定理及实际抽样的方法	48
3.2.2	量化及量化信号与噪声功率比	49
3.2.3	编码方案及比较	53
3.2.4	脉冲编码调制 (PCM)	55
3.2.5	自适应差值脉冲编码调制 (ADPCM)	57
3.2.6	子带编码 (SBC)	59
3.3	语音参量压缩编码技术	61
3.3.1	语音产生的过程及数学模型	61
3.3.2	参量编码与声码器简介	63
3.3.3	线性预测声码器的原理	64
3.4	混合压缩编码技术	67
3.4.1	多脉冲激励线性预测声码器 (MPLPC)	68
3.4.2	规则脉冲激励线性预测声码器 (PRE-LPC)	68
3.4.3	码激励线性预测声码器 (CELP)	69
3.5	语音及音频压缩编码标准	71
3.5.1	语音压缩编码标准	71
3.5.2	音频压缩编码标准	72
3.5.3	音频压缩文件的常见格式	75
3.6	图像的抽样量化与压缩编码	76
3.6.1	概述 (图像信号的特征)	76
3.6.2	图像信号的抽样与量化	78
3.6.3	图像压缩编码基本方法	81
3.7	图像压缩编码标准	85
3.7.1	静止图像压缩编码标准	85
3.7.2	活动图像压缩编码标准	86
3.8	数据信号的压缩编码	88
3.8.1	数据信号的压缩编码的特点	88

3.8.2 数据信号的压缩编码方法	89
思考与练习	93
第 4 章 数据基带传输系统与技术	94
4.1 数据基带信号编码技术	94
4.1.1 数据基带信号的编码原则	94
4.1.2 二元气码	95
4.1.3 三元码	98
4.1.4 多元码	100
4.2 无码间串扰的基带系统特性	101
4.2.1 基带系统组成及各点波形	101
4.2.2 基带传输特性与冲激响应	102
4.2.3 系统无码间串扰的条件	103
4.3 基带传输系统的性能改进技术介绍	104
4.3.1 部分响应技术	104
4.3.2 时域均衡技术	106
4.4 眼图	111
思考与练习	113
第 5 章 高性能数据调制技术	115
5.1 引言	115
5.1.1 调制技术的主要性能指标	115
5.1.2 无线调制技术的发展与分类	116
5.2 最小频移键控 (MSK)	118
5.2.1 最小频移键控的基本原理	118
5.2.2 高斯滤波最小频移键控 (GMSK)	123
5.3 正交振幅调制 (QAM)	124
5.3.1 正交振幅调制的基本原理	124
5.3.2 可变速率正交振幅调制 (VR-QAM)	126
5.4 正交频分复用 (OFDM)	128
5.4.1 OFDM 基本原理	128
5.4.2 用离散傅里叶变换实现 OFDM	130
5.4.3 OFDM 的优缺点	132
思考与练习	132
第 6 章 抗干扰通信与通信干扰技术	133
6.1 引言	133
6.1.1 通信对抗基本概念	133
6.1.2 抗干扰通信的基本概念	134
6.1.3 通信干扰基本概念	135
6.2 抗干扰通信技术	135

6.2.1	抗干扰通信的理论基础	135
6.2.2	扩谱抗干扰通信技术	138
6.3	通信干扰技术	146
6.3.1	通信干扰技术的分类	146
6.3.2	通信干扰的理论基础	148
6.3.3	对常规通信信号的干扰	151
6.3.4	对扩谱抗干扰信号的干扰	155
	思考与练习	159
第 7 章	无线信道接入方法和多址技术	160
7.1	无线多址理论基础	160
7.1.1	无线双工通信方式	160
7.1.2	无线信号分割原理	161
7.2	频分多址技术	162
7.2.1	FDMA 基本原理	162
7.2.2	FDMA 系统中的干扰问题	162
7.2.3	FDMA 系统的特点	163
7.3	时分多址技术	164
7.3.1	TDMA 基本原理	164
7.3.2	TDMA 的帧结构	165
7.3.3	TDMA 系统的特点	165
7.3.4	TDMA 系统的帧效率与系统容量	166
7.4	码分多址技术	166
7.4.1	CDMA 基本原理	166
7.4.2	CDMA 系统的特点	168
7.4.3	CDMA 系统的两个问题	169
7.5	扩频及混合多址技术	170
7.5.1	跳频多址	170
7.5.2	混合扩频多址	171
7.6	正交频分复用多址接入	174
7.6.1	OFDM-TDMA	174
7.6.2	OFDM-CDMA	174
7.6.3	OFDM-FDMA	175
7.7	空间与极化多址方式	175
7.7.1	空分多址 (SDMA)	175
7.7.2	极化区分多址 (PDMA)	176
	思考与练习	177
第 8 章	超宽带 (UWB) 通信技术	179
8.1	超宽带基本概念	179
8.1.1	超宽带定义及规范	179

8.1.2	超宽带通信与现有通信的比较	180
8.1.3	超宽带通信的特点	181
8.2	超宽带信号的基本调制方式	183
8.2.1	基于跳时体制的脉冲位置调制 (UWB TH-PPM)	183
8.2.2	基于跳时体制的脉冲幅度调制 (UWB TH-PAM)	185
8.2.3	基于脉冲的直接序列调制 (DS-UWB)	186
8.3	UWB 关键技术介绍	187
8.3.1	脉冲信号的产生技术	187
8.3.2	UWB 的调制技术	187
8.3.3	UWB 多址技术	188
8.4	UWB 应用介绍	189
	思考与练习	191
第 9 章	差错控制与信道编码技术	192
9.1	差错控制编码的基本概念	192
9.1.1	差错控制编码与信源编码的区别	192
9.1.2	错误分类与错误图样	192
9.1.3	差错控制方式	193
9.1.4	最小码距与检(纠)错能力	195
9.2	分组码	197
9.2.1	线性分组码	197
9.2.2	循环码	200
9.3	卷积码	203
9.3.1	卷积码编码器及表述方法	203
9.3.2	卷积码的译码	208
9.4	网格编码调制	215
9.4.1	引言	215
9.4.2	集合分割原理	216
9.4.3	TCM 码网格图的构造	218
9.4.4	TCM 码的卷积码表示	219
9.5	Turbo 码	220
9.5.1	编码结构和原理	220
9.5.2	译码器结构和原理	221
	思考与练习	222
第 10 章	通信加密解密与密码分析	223
10.1	密码学基本概念	223
10.1.1	密码学发展历史	223
10.1.2	密码体制模型	225
10.1.3	密码体制的分类	226
10.1.4	Shannon 的保密通信理论	228

10.2	解密与密码分析.....	231
10.2.1	解密和密码分析.....	231
10.2.2	密码分析的方法.....	232
10.3	通信系统与网络保密技术.....	233
10.3.1	语音保密通信技术.....	233
10.3.2	图像保密通信技术.....	235
10.3.3	数据通信网络保密技术.....	237
	思考与练习.....	240
第 11 章	无线数据通信协议	241
11.1	数据通信协议的概念.....	241
11.1.1	协议的概念及功能.....	241
11.1.2	开放系统互连参考模型.....	242
11.2	数据链路传输控制规程.....	245
11.2.1	数据链路控制规程的功能与分类.....	245
11.2.2	面向字符型的传输控制规程.....	249
11.2.3	面向比特型的传输控制规程.....	251
11.3	无线数据通信网中的信道接入协议.....	258
11.3.1	单信道无线接入协议.....	258
11.3.2	多信道接入协议.....	259
11.3.3	无线信道的隐终端和暴露终端问题.....	261
11.4	无线局域网协议.....	262
11.4.1	无线局域网解决方案与运作模式.....	262
11.4.2	IEEE 802.11 标准中的物理层.....	263
11.4.3	IEEE 802.11 标准中的 MAC 子层.....	263
11.4.4	载波侦听多址访问/碰撞回避机制.....	264
11.4.5	RTS/CTS 协议.....	265
11.4.6	随机的时间等待 IFS.....	267
11.5	无线宽带数据通信协议.....	268
11.5.1	IEEE 802.16/WiMAX 标准化进程及发展.....	268
11.5.2	IEEE 802.16e 协议结构.....	269
	思考与练习.....	273
第 12 章	无线数据通信组网技术介绍	274
12.1	无线数据组网的发展.....	274
12.2	无线数据网络体系结构.....	275
12.3	蜂窝网络拓扑.....	276
12.4	移动 Ad Hoc 网络技术.....	277
12.5	无线 Mesh 网络技术.....	279
	思考与练习.....	282

第 13 章 战术数据链系统与技术	283
13.1 战术数据链基本概念.....	283
13.1.1 何谓战术数据链.....	283
13.1.2 战术数据链功能及特点.....	284
13.1.3 战术数据链的分类.....	286
13.2 战术数据链系统组成与数据传输流程.....	286
13.2.1 战术数据链系统组成.....	286
13.2.2 数据传输流程.....	287
13.3 战术数据链组网协议.....	289
13.3.1 有中心节点的组网协议.....	289
13.3.2 无中心节点的组网协议.....	290
13.4 战术数据链的时隙分配.....	291
13.4.1 链路终端的入网过程.....	291
13.4.2 时隙及时隙分配.....	292
13.4.3 时隙传输结构.....	293
13.4.4 数据封装结构.....	293
思考与练习.....	294
第 14 章 自由空间激光通信技术	295
14.1 自由空间光通信系统的基本组成.....	295
14.2 FSO 的技术特点与优势.....	297
14.3 最新国内外研发进展与应用情况.....	298
14.3.1 国外研发的最新进展与应用情况.....	298
14.3.2 国内研发的进展与应用情况.....	299
14.4 存在的问题和解决思路.....	300
思考与练习.....	301
参考文献	302

第 1 章 绪 论

随着科学技术的发展，从传统的电报、电话到今天的卫星通信、移动通信与计算机互联网，通信已经和我们的日常生活紧密地结合在一起了，并已深入到了社会的每一个角落，进入了千家万户，每个人都从通信中得到了服务和方便。特别是计算机技术和通信的结合，使得通信越来越受到广大用户的欢迎。现在，“信息”在人类社会的“物质、能源、信息”三大基础要素中的地位已上升到一个崭新的高度，并成为推动人类社会文明、进步与发展的巨大动力。

通过本章的学习，建立起无线数据通信的基本概念，了解无线数据通信有关的标准，以及世界主要的标准化组织等，为后续章节的学习打下基础。

1.1 无线数据通信基础

1.1.1 无线数据通信的发展

按照人类通信交流方式与技术的不同，可以把通信的历史划分为 6 个阶段

- 第一阶段的通信方式是语言，人们通过人力、马力和烽火台等原始通信手段传递信息。
- 第二阶段从发明文字和邮政通信开始。
- 第三阶段以发明印刷术为标志。
- 第四阶段从 1838 年发明莫尔斯电报开始，人们进入了电气通信的初级阶段。由于此时的通信是以电信号来远距离传递消息，所以称为电信（Telecommunication）。
- 第五阶段是以 1948 年香农（Shannon）提出的信息论开始的近代通信阶段。
- 第六阶段是以 20 世纪 80 年代出现的光纤通信系统（Optical Fiber Communication）为代表以及以移动通信和综合业务数字网的迅速崛起为标志的现代通信阶段。

数据通信并不是现在才出现，也许可以追溯到第一阶段或“烽火戏诸侯”的时代。夜晚点火或白天点狼烟表示有敌人入侵，可称为“1”状态；无火或没有狼烟表示平安无事，称为“0”状态。海军的旗语是用两只手的握旗姿势表示 A~Z 等符号，这也可算是多进制的数据通信了。

无线电数据通信，也许可从 1838 年莫尔斯发明的电报（莫尔斯电报，以几个阿拉伯数字表示一个字符）算起，但作为真正意义的无线数据通信要从 20 世纪 80 年代无线数据接入和移动通信算起，即无线数据通信伴随着通信技术的进步而共同发展。

纵观通信技术特别是无线电数据通信的发展历程，可以看出，经历了点到点的通信，再到多点之间的信息传输与交换，最后进入网络时代的发展过程。

现代通信一般为各种网络用户之间的通信，与传统点到点直接通信的概念不同，通常我们把从一个地方向另一个地方进行消息（信息）的迅速、准确、有效、可靠传送与（或）交换，称为通信。这里的“迅速”指通信的及时性，“准确”指通信目标的准确性，“有效”指

通信的传输效率，“可靠”指通信的差错率。传送或交换信息所需的一切技术设备的总和称为通信系统。

1.1.2 消息、信息与信息量

无线数据通信的任务，就是将消息以信号形式传送给接收者，并使接收者获得最多的信息。那么什么是消息、信号与信息？它们有什么不同？

1. 消息

消息 (Message) 是通信系统中传输的具体对象，是信号的具体内容，是表达信息的形式。消息的形式是多样的，包括符号、文字、语音、数据、图像、视频等。同一种信息的内容可用不同形式的消息来表达。例如，天气预报可用文字消息表达，也可用语音消息来表达。

2. 信息

信息 (Information) 指的是消息所包含的内容。例如，每天的天气预报是一种消息，预报中告知某日某时的真实天气情况如何，就是该消息所包含的“信息”。再如，在一次传真通信中，甲方给乙方传真了一份合同，乙方收到的合同上除了文字外还有花纹和图案等，但对乙方而言，只有文字有意义；也就是说，对乙方而言，信息是文字，消息是整个合同。

消息有可能包含甚为丰富的信息，但也可能信息甚少，若一种消息并未给人们带来新的知识，那么这种消息所包含的信息实际等于零。

所以，信息是消息中对接收者有意义的部分，也就是消息中所包含的收信者原来不知道而有待知道的内容，即消息的内涵，消息是外壳。消息可以有各种各样的形式，但消息的内容可统一用信息来表述。

信息的传送一般都不是直接的，它必须借助于一定形式的信号（光信号、电信号等），才能传输和进行各种处理。

3. 信息量及平均信息量“熵”

在一切有意义的通信中，虽然消息的传递意味着信息的传递，但对接收者而言，某些消息比另外一些消息的传递具有更多的信息。例如，甲方告诉乙方一件经常可能发生的事情“明天中午 12 时正常开饭”，比起告诉乙方一件极不可能发生的事情“明天 12 时有地震”来说，前一消息所包含的信息显然要比后者少些。这是因为对乙方（接收者）来说，前一事情很可能（或必然）发生，不足为奇，而后一个事情却极难发生，听后会使人惊奇。这表明消息确实有量值的意义，而且可以看出，对接收者来说，事件越不可能发生，越会使人感到意外和惊奇，则信息量就越大。

正如已经指出的，消息是多种多样的，因此，度量消息中所含的信息量值，必须能够用来估计任何消息的信息量，且与消息种类无关。另外，消息中所含信息的多少也应和消息的重要程度无关。

由概率论可知，事件的不确定程度，可用事件出现的概率来描述，事件出现（发生）的可能性越小，则概率越小；反之，概率越大。

基于这种认识，我们得到：消息中的信息量与消息发生的概率紧密相关。消息出现的概

率越小，则消息中包含的信息量就越大，且概率为零时（不可能发生事件）信息量为无穷大，概率为1时（必然事件）信息量为0。

综上所述，消息 x 中所含信息量 I 是消息出现的概率 $P(x)$ 的函数，即：

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

信息量 I 的单位与对数的底数有关：

- $a=2$ ，单位为比特（bit，简写为 b）；
- $a=e$ ，单位为奈特（nat，简写为 n）；
- $a=10$ ，单位为笛特（Det）或称为十进制单位。

通常使用的单位为 bit。下面我们以举例形式说明简单信息量的计算。

例 1-1 试计算二进制符号等概率和 M 进制等概率时每个符号的信息量。

解：二进制等概率时，有 $P(1)=P(0)=1/2$ ，则

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

M 进制等概率时，有 $P(1)=P(2)=\dots=P(M)=1/M$ ，则

$$I(1) = I(2) = \dots = I(M) = -\log_2 \frac{1}{M} = \begin{cases} 2 \text{ bit}, & M = 4 \\ 3 \text{ bit}, & M = 8 \\ 4 \text{ bit}, & M = 16 \end{cases}$$

若每个符号出现的概率不等，则其信息量不同。这时需用平均信息量“熵” $H(x)$ 的概念。由于信源中的各个符号是随机出现的，所以平均信息量只能用统计平均的方法得到，则 $H(x)$ 等于各个符号的信息量乘以各自出现的概率再相加。“熵”的单位为 bit/每符。

$$H(x) = P(x_1) \log_2 \frac{1}{P(x_1)} + P(x_2) \log_2 \frac{1}{P(x_2)} + \dots + P(x_n) \log_2 \frac{1}{P(x_n)} \quad (1-2)$$

例 1-2 设由 4 个符号 A、B、C、D 组成的信息源，相应概率为

A	B	C	D
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$

其中 $P(A)+P(B)+P(C)+P(D)=1$ ，试求信源的平均信息量 $H(x)$ 。

解：A 符号出现包含的信息量为 $I(A)=-\log_2(1/4)=2 \text{ bit}$

B 符号出现包含的信息量为 $I(B)=-\log_2(1/8)=3 \text{ bit}$

C 符号出现包含的信息量为 $I(C)=-\log_2(1/8)=3 \text{ bit}$

D 符号出现包含的信息量为 $I(D)=-\log_2(1/2)=1 \text{ bit}$

则 4 个符号信息源的平均信息量为

$$\begin{aligned} H(x) &= P(A)I(A) + P(B)I(B) + P(C)I(C) + P(D)I(D) \\ &= \frac{1}{4} \times 2 + \frac{1}{8} \times 3 + \frac{1}{8} \times 3 + \frac{1}{2} \times 1 \\ &= 1.75 \text{ bit/每符} \end{aligned}$$

从例 1-1、例 1-2 可以看出，符号不等概率出现的平均信息量小于等概率出现的平均信息量，所以能保障等概率出现的符号传输，一定也能保障不等概率出现的符号传输。因此，在没有特殊说明时，书中所提的信息量都为平均信息量。

1.1.3 模拟、数字与数据

消息可分为模拟消息 (Analog Message)、数字消息 (Digital Message) 和数据消息 (Data Message)。

信息可分为模拟信息 (Analog Information)、数字信息 (Digital Information) 和数据信息 (Data Information)，它们分别与模拟消息、数字消息和数据消息对应。那么什么是模拟、数字与数据？它们有什么不同？

1. 模拟

模拟，即模仿、仿效。模拟消息是指消息的模仿与仿效，模拟消息的取值与原消息完全一致，有无穷多种可能，并与消息在时间上是否连续变化无关。例如，人嘴发出的声音，任何人在任意时刻的声音大小的取值有无穷多种可能，并在谈话停顿间隙，不出声，故在时间轴上非连续变化，但仍是典型的模拟消息。再如，人的体温在一定范围内有无穷多种可能取值，若每天测量 2 次，则体温读数在时间轴上是非连续变化，而我们仍然认为人体的温度是模拟量消息，这是因为，每次的测量结果有无穷多种可能。

2. 数字

数字是表示数目的文字或符号。数字消息即用数目字表达的消息，或者说取值为有限数目字的消息。例如阿拉伯数字，只用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 共 10 个符号；单路语音信号的二进制数字化消息，其特点是仅用有限位二进制数字编码表达语音，常见的有 8 位二进制数字编码。同样，数字消息与消息在时间上是否连续变化无关，仅与消息的表达取值的多少有关，只要能用有限位数目字表达的消息就可称为数字消息。

数字通信与模拟通信相比较主要有以下的优点：

- 抗干扰能力强，并在数字接力通信时可以消除噪声的积累；
- 可以利用数字纠错编码技术实现差错控制；
- 易于实现数字加密；
- 易于和大规模集成电路技术、计算机信号处理技术等现代技术相结合。

3. 数据

数据，人们几乎每天都要接触到它，例如各种实验数据、各类统计报表等，它们是各种统计、计算、科学研究或技术设计等所依据的数值。尽管人们经常处理数值数据，但对数据还没有统一的严格定义。

通常意义上的“数据”是预先约定的、具有某种含义的任何一个数字或一个字母（符号）以及它们的组合构成的文字或数字记录的各种量值或内容等。

例如，我们常用的十进制阿拉伯数字位置计数法则，可以将三个数字“9”组合成数据“999”，读作“九百九十九”，而非“二十七” ($9+9+9=27$)。虽然这里都是数字 9，但每个 9 的位置不同，代表的数字大小就不同。

再如，约定用正脉冲表示二进制数字“1”，表示电路接通，用负脉冲表示二进制数字“0”表示电路开断。这里，数字“1”和“0”就是数据。