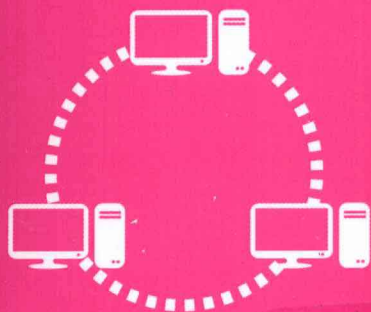


国内领先的通信专业技术社区 “C114通信人家园” 鼎力推荐

通信新读

——从原理到应用

陈小锋 编著



通信人家园连载热帖

- 该贴点击次数超过 **600000**
- 精选通信全领域原理与应用
- 覆盖面广，散而不乱，融会贯通
- 解读新颖准确，深而不繁



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

通信新读——从原理到应用

陈小锋 编著



机械工业出版社

本书是一本尝试融会贯通介绍通信相关基本原理及应用的书。在内容安排上,首先介绍通信要处理的基本对象——信号,涉及信号的表示与分析(频谱分析、采样定理等);接着介绍如何用信号来表示消息,如何无误地传输信号来达到消息的传递(模拟信号通信、数字信号通信、理想系统的通信能力等);再介绍非理想系统的通信,如何对付非理想因素以及非理想系统的传输能力(香农容量公式、编码原理及应用等);进一步介绍更具体、更复杂的非理想系统——无线通信;了解都有哪些更复杂的非理想因素(无线信道特征),以及衍生出来的新技术(OFDM、MIMO等);最后以选讲LTE系统关键技术来结束,了解一下一个标准化的无线通信系统都要解决哪些问题,以及以什么样的形式将诸多内容在一个标准化的系统里体现出来,发挥其应用价值。

本书安排的每一部分内容都足以编写一本书单独讲解,文献里也有每部分单独对应的教材,因此本书并不会面面俱到,而是会选择各部分相对重要、能相互衔接呼应,以及在实际系统设计和技术研究中真正发挥着基础作用的那些技术理论。最重要的是,还会以独特的风格和形式来尽最大努力讲清楚通信,这么多理论技术到底是什么、为什么,以及怎么用。

本书可作为高等院校相关专业(通信/电子/信息科学)师生的参考书,也适合打算进入通信领域的非相关专业读者,以及正在从事通信理论研究和实际系统设计的通信行业研发人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

通信新读:从原理到应用/陈小锋编著. —北京:机械工业出版社,2013. 4
ISBN 978-7-111-42053-8

I. ①通… II. ①陈… III. ①通信理论 IV. ①TN911

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第068810号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李馨馨

责任编辑:李馨馨

责任印制:杨曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2013年6月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·19印张·470千字

0 001—3 500册

标准书号:ISBN 978-7-111-42053-8

定价:49.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

通信技术的发展拉近了人与人之间的距离,方便了人们的沟通与生活。同时,通信技术的发展创造了大量的就业机会,学校里通信相关专业成了热门,各通信相关企业也大量地网罗这方面人才。通信行业的重要性以及持续发展想必不需多说。

通信涉及的技术面很广,要深入掌握还是有很大难度的。比如,为了满足人们不断增长/变化的需求,通信经历了从模拟通信到数字通信,从有线通信到无线通信,从以语音为主的通信到以数据为主的通信,从移动宽带化到宽带移动化等转变与融合。在这些转变与融合的过程中,除了该学科最核心的理论基础(比如,信号处理基础、信息论基础等)仍然发挥着指导作用以外,也产生了大量新技术和应用(比如,Turbo 码、OFDM、MIMO 等)。同时,参与到这个行业的企业以及从业人员数量也很庞大,竞争相当激烈。不管从哪个方面,为了能更好地参与到这个瞬息万变和激烈竞争的行业中,我们需要真正融会贯通所涉及的各领域最基本的理论基础与技术应用。本书正是为了这个目的而做的一次尝试,希望能给在通信领域学习工作的朋友提供一些参考。

本书共分为五大部分。第一部分主要讲解信号的表示与分析,包括傅里叶变换系列、采样定理等基础知识。这部分在作者看来是基础中的基础,也花了相对多的篇幅来呈现,不把这部分基础打牢,谈其他方面都是空中楼阁。第二部分主要介绍如何用信号来表示消息,如何无误地传输信号来达到消息的传递,包括模拟信号通信基础、理想数字信号系统的极限传输能力、调制解调基本考虑,以及最基本的信号检测判决方法等内容。第三部分介绍了信息论基础,包括信道容量、编码原理及应用等基础知识。第四部分偏重介绍无线通信系统,主要内容包括无线信道特征、OFDM 和 MIMO 等关键技术。作者认为,人们对无线通信的研究,很好地体现了追求理论突破和实用精神的完美结合,值得认真去体会其中处理问题的各种智慧,所以这部分也用了相对多的篇幅来分享。第五部分,主要选讲 LTE 系统关键技术,使读者朋友了解下一个标准化的无线通信系统都要解决哪些问题,以及前面这么多的内容在一个标准化的系统里以什么样的形式体现出来,发挥它们的应用价值。这部分对于打算了解 LTE 系统设计、学习 LTE 标准协议的朋友,是一个不错的导读材料。除了这五大部分外,本书还包括通信系统概论和附录。特别是附录 A 和附录 B,分别选讲了线性空间和概率基础知识。虽然和通信不直接相关,但作者非常诚恳地强调其重要性。通信必须依赖数学作为支撑;要想真正独立地做些研究设计,这个必须放在重要位置。前面五部分的内容里,也用到数学知识,并且作者尽力把基本原理用附录 A 和 B 里的数学知识来讲解清楚,而不要牵扯太多数学进来。作者认为依赖太分散的数学体系会加大难度,不利于前后联系思考问题。希望读者朋友在理解前五部分内容遇到数学方面的困难时,附录能第一时间帮上忙。

全书的内容安排,总体来说是按照通信理论发展的由浅入深、由处理简单问题到处理复杂问题展开。整个介绍思路,也总是往返在“理想条件”与“现实条件”,“基本原理”与“基本应用”之间,请读者朋友阅读理解过程中,也多多从这些方面去“纠缠”,形成深入而灵活的理解。

最后一点需要指出的是,其实作者最开始的想法,仅仅是给大家分享自己对通信基础积累

的一些认识。最开始采取的形式是在论坛和个人博客上写一些东西,其中主要是在“通信人家园”论坛连载基础知识讲解,在那里也得到一些读者朋友的反馈与支持。后来慢慢地,有读者朋友建议出版一本相关方面的书,作者才开始更系统地梳理整个通信领域涉及的基本原理与技术,也开始慢慢形成这本书的轮廓,希望这本书不会让读者朋友太失望。在这里首先要感谢通信人家园支持我的朋友和管理员,正因为大家的支持与鼓励才有了我完成本书的动力。感谢陈永川教授、Christian Reidys 教授、杨汉生教授、陈晓军等所有多年来在我的学习工作中给予指导和帮助的老师、同事和亲戚朋友们。最后,我要感谢我的父母和家人,是父母的养育和辛勤劳动付出,才支撑了我的学习生涯,使我能学到一点东西可以分享给大家;是妻子的支持和承担几乎所有的家务,才使我能抽出时间专注于本书的写作;还要感谢我家宝宝桐桐,给我带来了欢乐,同时我也为很少陪她玩而感到内疚,写作占用了几乎所有的业余时间。

由于作者水平有限,书中难免对诸多方面考虑不周,敬请广大读者朋友和同行专家批评指正,多提宝贵意见和建议。

作 者

本书中的文字符号及其说明

$\mathbb{R}$	实数或实数域
$\mathbb{R}^+$	大于等于 0 的实数
$\mathbb{C}$	复数或复数域
x^*	x 的共轭
$\text{Real}\{x\}$	x 的实部
$\text{Imag}\{x\}$	x 的虚部
$\text{Rect}(t)$	单位方波信号
$\int$	积分区间为被积函数自变量定义的区域
$\int_{-}^{+}$	$\int_{-\infty}^{+\infty}$ 的简写
$\otimes$	循环卷积
$m \bmod n$	m 除 n 的余数
$\mathcal{N}(u, \sigma^2)$	均值为 u , 方差为 σ^2 的高斯变量
$\mathcal{CN}(0, \sigma^2)$	方差为 σ^2 的循环对称复高斯变量
$\text{prob}\{x\}$	x 发生的概率
$\text{E}\{x\}$ 、 $\text{E}[x]$	随机变量 x 的均值
$\text{Var}\{x\}$	随机变量 x 的方差
$\text{E}_x\{f(x)\}$	大括号内的数为随机变量 x 的函数, 遍历 x 求 $f(x)$ 的均值
DFT	离散傅里叶变换
IDFT	离散傅里叶逆变换
$\mathbf{A}^T$	向量或矩阵 $\mathbf{A}$ 的转置
$\mathbf{A}^H$	向量或矩阵 $\mathbf{A}$ 的共轭转置
$\mathbf{A}^*$	向量或矩阵 $\mathbf{A}$ 中每个元素取共轭
$\text{Tr}\{\mathbf{A}\}$	矩阵 $\mathbf{A}$ 的迹
$\text{RANK}\{\mathbf{A}\}$	矩阵 $\mathbf{A}$ 的秩
SNR	信噪比
BER	误比特率
$\langle x, y \rangle$	x 与 y 的内积运算
$ x $	向量 x 的模, $ x = \sqrt{\langle x, x \rangle}$
$\text{P}\{x\}$ 、 $\text{P}(x)$	信号 x 的功率

目 录

前言

本书中的文字符号及其说明

第0章 通信系统概论	1
0.1 先说点对点通信	1
0.1.1 通信最简单模型	1
0.1.2 基于最简单模型的发展	2
0.1.3 如何给通信系统打分	4
0.2 再论网络级通信	4
0.3 聚焦无线通信系统发展	5

第一部分 信号表示与分析

第1章 什么是信号	10
1.1 到时别忘了给个信号	10
1.2 信号的能耗度量	10
1.3 信号的简单表示——冲激分解	11
第2章 信号表示论第一场	14
2.1 傅里叶级数——并非一鸣惊人的登场	14
2.1.1 发表论文不容易啊	14
2.1.2 周期信号的傅里叶级数	15
2.2 傅里叶变换——不就是计算坐标吗	20
2.2.1 晋级——从傅里叶级数到傅里叶变换	20
2.2.2 方波信号和 sinc 信号——专访这对儿金童玉女	23
2.2.3 信号频谱——看你是否拥有男高音潜质	25
2.2.4 周期信号的傅里叶变换	27
2.3 其他变换形式——不只是傅里叶	28
第3章 线性系统简介	30
3.1 线性系统基础	30
3.1.1 什么是线性系统	30
3.1.2 什么是线性时不变系统	30
3.2 无失真系统	31
3.2.1 不仅仅这样才叫无失真	31
3.2.2 线性系统如何做到无失真	31

第4章 信号表示论第二场	33
4.1 采样定理——联系模拟与数字的纽带	33
4.1.1 从信号频谱跟踪采样带来的变化	33
4.1.2 发现信号的DNA——特殊的采样点序列	34
4.1.3 拿信号的DNA克隆原信号	35
4.1.4 最经济的采样——以奈奎斯特率采样	38
4.1.5 落实现实信号的采样与重建	40
4.2 离散傅里叶变换——不仅仅是两串序列变来变去	45
4.2.1 离散时间序列的傅里叶变换(DTFT)	45
4.2.2 离散傅里叶变换(DFT/IDFT)——完美的蜕变	46
4.3 OFDM基本原理——是否出场太早?决不!	47
4.3.1 正交信号是基础	47
4.3.2 简化信号接收与DFT	49
4.3.3 简化信号发射与IDFT	49
4.3.4 一段话总结	50
第一部分小结	51

第二部分 基本通信原理

第5章 从理想通信开始	54
5.1 理想模拟信号通信	54
5.2 理想数字信号通信	55
5.2.1 生成——从声音如何得到数字信号	55
5.2.2 发射——数字信号如何发射出去	56
5.2.3 接收——接收端接收到什么信号	57
5.2.4 恢复——数字信号在接收端如何无失真恢复	57
5.2.5 极限——理想信道下的极限传输能力	60
5.2.6 回归——理想回归现实的一点说明	64
5.3 数中有模,模中有数	64
5.3.1 数—模转换	64
5.3.2 模—数转换	64
第6章 总要面对现实	66
6.1 高斯分布——标致又实用	66
6.2 白噪声——最无章可循	67
6.3 加性高斯白噪声(AWGN)	69
第7章 信号调制与解调	70
7.1 浅谈其基本思想	70
7.1.1 调制方法简介	70
7.1.2 解调及性能考虑	72
7.2 I/Q正交调制	73
7.2.1 天生I路与Q路	73

7.2.2 调制符号也分星座	76
第8章 信号接收判决基本方法	77
8.1 加性噪声信道性能分析	77
8.1.1 相关接收判决	77
8.1.2 匹配滤波判决	78
8.1.3 先验与后验概率判决	79
8.1.4 平均错误概率最小化判决	83
8.2 乘性噪声也来凑热闹	84
8.3 加法和乘法不分家	84
第二部分小结	85

第三部分 信息论基础

第9章 香农熵	88
9.1 熵的提出——和香农不一样的思考	88
9.2 数据压缩极限——熵的一个重要应用	90
9.3 也谈条件熵与互信息	91
第10章 有失真系统的无失真通信	93
10.1 问题具体化——章标题矛盾,是不是写错了	93
10.2 怎么无误通信——标题没错,一切皆有可能	93
第11章 信道容量:噪声信道的极限传输能力	96
11.1 解读香农在1948年开山之作中的思考	96
11.1.1 将模拟信号直观几何模型化	96
11.1.2 想办法让随机性稳定下来	97
11.1.3 就这么得到 AWGN 信道容量	97
11.1.4 几何模型化很有意思的应用	99
11.2 另一个角度得到 AWGN 信道容量	101
11.2.1 有失真系统无失真通信的延续	101
11.2.2 关键是如何完成最后一步的华丽转身	102
11.3 非 AWGN 信道的信道容量	102
11.3.1 非高斯但仍为加性白噪声信道	102
11.3.2 别老是白噪声啊,给点颜色看看	103
11.4 从香农信道容量公式出发	105
11.4.1 带宽与功率的此消彼长	106
11.4.2 矛盾——频谱效率与功率效率	106
11.4.3 香农编码定理及冷落的另一半	108
11.5 达到信道容量现实工艺问题	108
第12章 信道编码	109
12.1 基础讨论	110
12.1.1 两届奥运会都错失射击冠军的兄弟	110
12.1.2 编码的检错纠错能力	110



12.2 具体信道编码简介	111
12.2.1 分组码及应用	112
12.2.2 卷积码及应用	114
12.2.3 都差香农限一截,怎么选	115
12.3 循环冗余校验(CRC)	117
12.3.1 CRC 为什么能判断对错	118
12.3.2 哪些错误逃不过 CRC 的法眼	118
12.3.3 顺路提提奇偶校验	120
第三部分小结	121

第四部分 无线通信原理

第13章 无线信道——无线通信就围着她转	124
13.1 无线信道基本传播特性	124
13.2 理想无线信道——自由空间	127
13.2.1 静态信道——理想中的理想	127
13.2.2 相对运动与多普勒频移	128
13.2.3 自由空间信道就不变吗	129
13.3 现实环境无线信道	130
13.3.1 条条道路通罗马——也谈多径传播	130
13.3.2 信道变化有多快——相干时间来抢答	132
13.3.3 时频同步与时频相干性	134
13.4 无线传输基带通用模型	134
13.4.1 频带信号的基带表示——I/Q 调制风云再起	134
13.4.2 无线信道的基带特征——斩断载频的枷锁	136
13.4.3 信号追尾如何处理——码间串扰	136
13.4.4 基带通用离散系统模型——统江湖	137
13.4.5 推广及小结	143
第14章 各类具体信道模型分析	144
14.1 信道容量分析及应用	144
14.1.1 固定慢衰落信道——存银行固定收益	144
14.1.2 随机慢衰落信道——一锤子买卖	145
14.1.3 快衰落信道——长线操作	145
14.1.4 单发多收(SIMO)之最大比合并	146
14.1.5 多发单收(MISO)之波束成型	148
14.2 常用接收算法介绍	148
14.2.1 最大似然接收算法——直观又合理的想法	149
14.2.2 线性接收之 MRC 算法——偏心有用信号	150
14.2.3 线性接收之 ZF 算法——只管消灭干扰	152
14.2.4 线性接收之 LMMSE 算法——做一个和事老	153
14.2.5 带循环前缀的频域均衡——简单了,但是有代价的	154

14.3 分集思想及应用	155
14.3.1 分集思想——别把鸡蛋放同一个篮子里	155
14.3.2 时间分集及应用举例	156
14.3.3 频率分集及应用举例	158
14.3.4 空间分集及应用举例	161
第15章 OFDM 技术进阶	162
15.1 再回首	162
15.2 如何对付多径环境	164
15.3 时频偏移的影响	165
15.3.1 对迟到/早退的容忍度	165
15.3.2 决不容忍频率偏移	168
15.4 OFDM 技术实际系统参数选择	170
15.5 信号 PAPR 特性——被功放看中的品质	171
15.5.1 功率放大器效率问题	171
15.5.2 单载波信号的 PAPR 特性	172
15.5.3 OFDM 信号的 PAPR 特性	173
15.5.4 如何得到 PAPR 合适的信号	173
第16章 多天线技术原理及应用	175
16.1 先尝尝多天线能带来的甜头	175
16.2 值得单独呈现的 Alamouti 发射分集方案	175
16.2.1 发射端信息不灵通怎么办	175
16.2.2 Alamouti 的精明之处	176
16.2.3 Alamouti 发射分集的性能	176
16.2.4 基于 Alamouti 思想的推广	178
16.3 更大的惊喜——空间复用能力	178
16.3.1 空分复用原理呈现一	179
16.3.2 空分复用原理呈现二	180
16.4 信道矩阵的 SVD 分解及快速应用	181
16.4.1 信道矩阵的 SVD 分解及性质	181
16.4.2 从 SVD 另眼相看 MISO 之波束成型	183
16.4.3 趁热打铁谈 MIMO 之波束成型	184
16.4.4 还有惊喜吗——透过 SVD 再看空分复用能力	186
16.5 MIMO 系统信道容量	187
16.5.1 信道奇异向量系统的信道容量	187
16.5.2 一般 MIMO 系统的极限传输能力	190
16.5.3 博弈——分集能力和复用能力	191
16.6 信号发射和接收算法讨论	192
16.6.1 信号发射算法——到哪个山头唱哪支歌	192
16.6.2 信号接收算法——接替发射端操心	193
16.7 MIMO 原理在不同场景下的具体应用	193

16.7.1 下行多用户 MIMO——“我要挑战 10 个”	194
16.7.2 上行多用户 MIMO——以多欺少	196
第四部分小结	197

第五部分 LTE 关键技术选讲

第 17 章 LTE 概述及多址接入技术	200
17.1 LTE 概述	200
17.2 常见多址方式及应用	201
17.2.1 I/Q 正交复用——开个头	201
17.2.2 时、频、码分多址——老将	201
17.2.3 正交频分复用多址——正值当年	203
17.2.4 空分多址——新秀	203
17.3 LTE 上下行多址方式	204
17.3.1 LTE 下行多址方式:OFDMA	204
17.3.2 LTE 上行多址方式:SC-FDMA	204
第 18 章 上下行同步机制	205
18.1 网络侧无线帧时间轴——列车时刻表	205
18.1.1 FDD 上下行无线帧时间轴	205
18.1.2 TDD 上下行无线帧时间轴	205
18.2 下行同步机制——车站接人的常识	206
18.3 上行同步机制——赶车要趁早	209
第 19 章 主要信道设计与信令机制	215
19.1 下行调度及 HARQ	215
19.1.1 下行物理信道串烧	215
19.1.2 下行 HARQ 及数据重传	218
19.2 上行调度及 HARQ	219
19.2.1 重点介绍 PUCCH	219
19.2.2 上行 HARQ 和数据重传	222
第 20 章 下行数据传输机制	224
20.1 数据比特流处理流程	224
20.1.1 添加 CRC——接收对错的判断	224
20.1.2 信道编码——选择合适的信号	224
20.1.3 比特加扰——随机化干扰	225
20.1.4 生成星座符号——机械的步骤	225
20.1.5 星座符号到空间数据流——分组行动	225
20.1.6 对空间数据流预编码——每组再伪装	225
20.1.7 基带信号生成并上射频发送——出发	226
20.2 下行参考信号设计	226
20.2.1 公共参考信号——阳光普照	227
20.2.2 专用解调参考信号——VIP 定制	228

20.3 传输模式简介——LTE 招式大全	229
20.3.1 第一招:单天线传输	229
20.3.2 第二招:发射分集传输	230
20.3.3 第三招:开环空分复用传输	231
20.3.4 第四招:闭环空分复用传输	232
20.3.5 第五招:单流波束成型传输	232
20.4 下行功率分配	233
20.4.1 功率分配的意义	233
20.4.2 做了好事要让人知道	233
第21章 上行数据传输机制	234
21.1 数据比特流处理流程	234
21.2 上行参考信号设计	234
21.2.1 数据解调参考信号	234
21.2.2 信道探测参考信号	235
21.3 上行功率控制	235
21.3.1 功率控制的意义	235
21.3.2 功率控制的实现机制	236
附录A 通信原理利器之线性空间理论	237
A.1 线性空间	237
A.1.1 线性空间定义与理解	237
A.1.2 线性空间的基与向量坐标	237
A.1.3 信号组成的线性空间举例	239
A.1.4 线性方程组与矩阵	239
A.2 内积空间	240
A.2.1 内积定义与理解	240
A.2.2 重要量化关系及应用	241
A.2.3 向量的坐标计算	242
A.3 正交原理	244
A.3.1 如何才算正交	244
A.3.2 向量空间的正交基	244
A.3.3 正交原理	245
A.3.4 投影与夹角	247
A.4 线性映射	248
A.4.1 线性变换	248
A.4.2 正交变换	249
附录B 论应用根基之概率基础与随机过程	251
B.1 概率空间	251
B.2 随机变量	252
B.2.1 随机变量的概率描述	253
B.2.2 随机变量的统计特征	254



B. 2.3	随机变量的联合概率	255
B. 2.4	随机变量的函数	257
B. 2.5	随机变量间特征量刻画	258
B. 3	随机信号	259
B. 3.1	随机过程	260
B. 3.2	随机信号的相似性	261
B. 4	重要极限定理	261
B. 4.1	中心极限定理	261
B. 4.2	大数定理	261
附录 C	第一部分数理推导	263
C. 1	信号的简单表示	263
C. 1.1	略讲信号之间运算	263
C. 1.2	冲激函数与信号冲激分解	267
C. 2	傅里叶级数	268
C. 3	傅里叶变换	270
C. 3.1	角频率与线频率傅里叶变换关系	270
C. 3.2	傅里叶变换性质及其应用	270
C. 3.3	方波信号与 sinc 信号	275
C. 4	换个角度从头再来——再发现采样定理	277
C. 5	离散傅里叶变换	279
C. 5.1	离散序列与其傅里叶变换采样点关系	279
C. 5.2	离散傅里叶变换性质及应用	280
附录 D	第三部分数理推导	283
D. 1	香农熵的提出	283
D. 2	高斯分布的熵计算	283
D. 3	熵、联合熵、条件熵之间的关系	284
附录 E	第四部分数理推导	285
E. 1	SISO 快衰落信道容量计算	285
E. 2	常用接收算法介绍	285
E. 2.1	ZF 算法应用于 ISI 信道	285
E. 2.2	LMMSE 算法推导	286
E. 3	矩阵 SVD 分解性质推导	287
E. 4	信道奇异向量系统的信道容量	287
参考文献		289

第0章 通信系统概论

本章对通信系统的全貌做一个简单的整体介绍,侧重于无线通信系统,主要使大家对如下方面有个基本了解:

- 一个通信系统包括哪些模块或者流程。
- 这些模块或者流程涉及哪些通信相关的关键原理与技术,这些原理与技术在本书接下来的内容里是如何安排的。
- 如何评价一个通信系统。
- 无线通信系统的发展演进过程以及现状简介。

在介绍过程中,我们对提到的概念或术语暂时不做过多解释,读者朋友们可以先不用深究,仅先获得一个整体轮廓认识即可,接下来的内容会有分别对应的详细介绍,到时再逐一仔细琢磨。

0.1 先说点对点通信

0.1.1 通信最简单模型

什么是点对点通信?先看一个例子。小龙到餐馆,对服务员甲用汉语说:“给我一个鸡蛋”,或者用英语说:“give me an egg”。这就是一个简单的点对点通信系统。该系统主要涉及四个对象:发射端、接收端、信号和信道。其主要流程如图0-1所示。

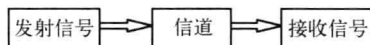


图 0-1 点对点通信最简单模型

点对点通信是最简单的通信系统,也可以称之为链路级通信,任何更复杂的通信总是可以分解成点对点通信的整合。其中,发射端和接收端是相对直观的概念,不需要多说;信号和信道是主要需要研究和介绍的。简单来说,“信号”是承载“消息”的载体,这里“信道”是信号从发射端到接收端的一切媒介(甚至过程)的总称。

具体到上面的例子,发射端可以认为是小龙,接收端是餐馆服务员甲,信号对应于汉语“给我一个鸡蛋”或者英语“give me an egg”的声音,信道是小龙与服务员甲周围的空间环境。不管声音对应的是汉语“给我一个鸡蛋”或者英语“give me an egg”,表达的意思按我们的理解是一样的。这里所谓“表达的意思”就是要传递的“消息”,从而大家应该也能体会到一些“消息”与“信号”的相对区别。

另一方面,既然说这是一个简单的通信系统,就应该有一个“系统”的概念。那么,归结来看,这个模型引导我们要好好研究“信号与系统”这个通信相关专业最先接触的一门基础课程。它主要研究信号的分析表示方法,信号的特征以及满足一些基本特性的系统。这也是本

书第一部分“信号表示与分析”对应的内容。

0.1.2 基于最简单模型的发展

接下来,我们基于最简单模型逐步细化延伸,并相应说明每一个细化或延伸涉及哪些关键原理与技术。

1. 模拟信号通信

首先细化如何得到发射信号,以及相应需要对接收信号做哪些处理。从这个角度考虑,第一个方式就是模拟通信系统,其主要流程如图 0-2 所示。从该模型开展研究,可以归结出如下待讨论问题:

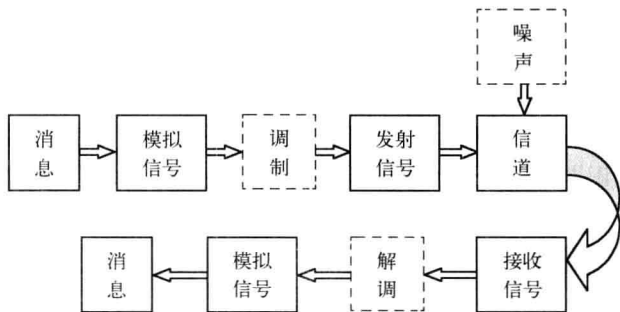


图 0-2 模拟通信系统主要流程

- 如何从消息得到模拟信号。
 - 什么是调制? 为什么要调制? 如何把模拟信号调制成发射信号? 各种调制方式的抗噪声性能如何。
 - 接收端需要对接收信号做哪些处理来还原模拟信号,从而来获知消息。
- 这些内容将在本书第二部分“基本通信原理”里介绍。

2. 数字信号通信

相对于上一节模拟通信系统的第二个方式就是数字信号系统,简单流程如图 0-3 所示。主要涉及的关键原理与技术如下:

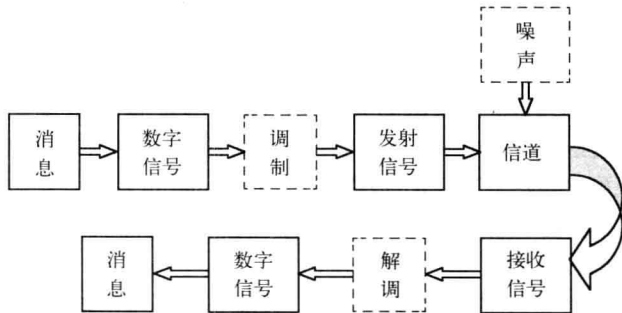


图 0-3 数字通信系统主要流程

- 如何从消息得到数字信号。
- 数字信号的调制与模拟信号调制有什么不同。
- 数字信号系统里怎么保证信号的无误传输。

这部分内容也将在第二部分“基本通信原理”里介绍。

接下来是对图 0-3 所示数字系统的进一步细化,也是体现数字信号系统相对于模拟信号系统优势的地方,即主要流程图 0-4 中虚线框里数字信号处理部分。主要涉及的关键原理与技术如下:

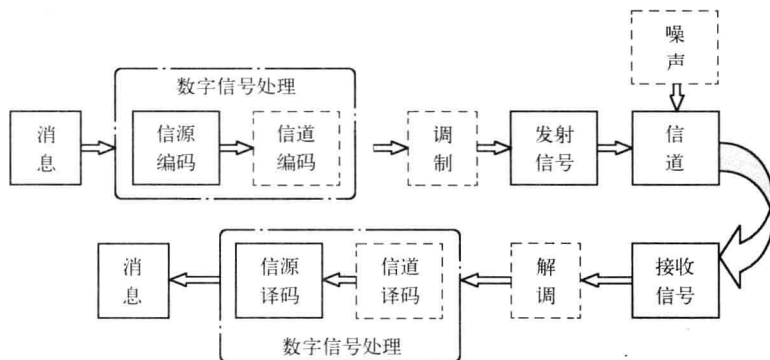


图 0-4 数字信号处理细化

- 在有噪声污染情况下如何区分信号? 能区分多少个信号。
- 信源编码与信道编码的原理和作用。
- 有哪些具体信道编码方式。

这部分的内容将在本书第三部分“信息论基础”里介绍。

3. 无线信道与多天线技术

上面两节在最简单模型之上细化了信道两边的部分,现在轮到讨论信道本身以及相关方面。这里主要引入无线信道的讨论,整个系统如图 0-5 所示。

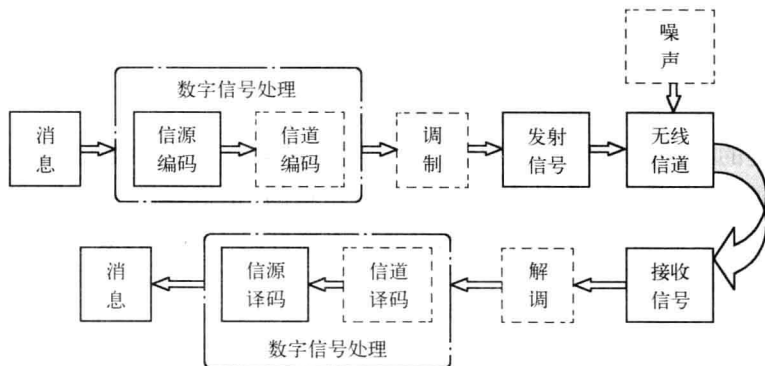


图 0-5 无线信道及系统流程

无线信道最基本的特征是会信号产生多径衰落,而为对付衰落,近年来最重要的一个技