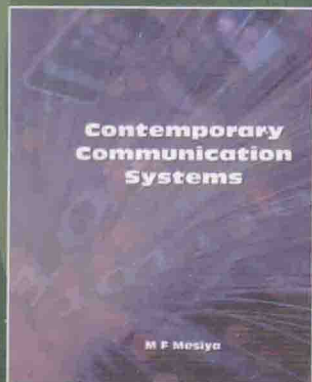


国外电子与通信教材系列

Mc
Graw
Hill
Education

现代通信系统

Contemporary Communication Systems



[美] Mohammed Farooque Mesiya 著

谭明新 译



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

国外电子与通信教材系列

现代通信系统

Contemporary Communication Systems

[美] Mohammed Farooque Mesiya 著

谭明新 译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书共 15 章,全面介绍了模拟通信系统和数字通信系统的基本理论,这些理论是构成目前光纤、无线和卫星通信网基础设施的基础。本书在介绍信号与线性系统、MATLAB/Simulink 通信仿真、概率与随机过程的基础上,细致剖析了模拟调制、噪声特性、基带调制与检测、频带调制、时间色散信道上的信号传输、复用与同步、数据压缩、信道编码等基本原理。列举了数字有线电视、无线通信、蜂窝通信和网络通信等众多应用实例,通过这些实例详细分析了基带技术和抗噪技术、调制/解调、复用与同步技术、信源编码、信道编码技术等。

本书既可以作为高等院校通信工程、电信工程等电子信息类专业的通信原理、现代通信理论、数字通信等课程的教材,也可以作为相关工程技术人员的参考用书。

Mohammed Farooque Mesiya: Contemporary Communication Systems

9780073380360

Copyright © 2013 by McGraw-Hill Education.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education and Publishing House of Electronics Industry. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2013 by McGraw-Hill Education and Publishing House of Electronics Industry.

版权所有。未经出版人事先书面许可,对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播,包括但不限于复印、录制、录音,或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司和电子工业出版社合作出版。此版本经授权仅限在中国大陆销售。

版权© 2013 由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司与电子工业出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2013-6504

图书在版编目(CIP)数据

现代通信系统/(美)莫西亚(Mesiya, M. F.)著;谭明新译. —北京:电子工业出版社,2014.10

书名原文:Contemporary Communication Systems

国外电子与通信教材系列

ISBN 978-7-121-21441-7

I. ①现… II. ①莫… ②谭… 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(2014)第 156361 号

策划编辑:张小乐

责任编辑:杨 博

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

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:787×1092 1/16 印张:48 字数:1229 千字

版 次:2014 年 10 月第 1 版

印 次:2014 年 10 月第 1 次印刷

定 价:99.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题,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 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

译者序

通信的根本目的是将信息从发送端送往接收端，也就是实现信息的交换，其间经历的一系列处理过程中的任何一个环节都影响到通信的质量。实现通信的两个核心指标是带宽和噪声。M. F. Mesriya 的《现代通信系统》正是基于这一考虑，细致解析了信息从发送到接收的各个环节的完整处理过程，该书自始至终都围绕带宽和噪声指标展开分析。本书与我国电子信息类专业开设的“通信原理”课程内容接近。本书解析任何一个技术环节时，都分析了技术与应用层面的原理，而且对通信中的概念进行了扩展。概括起来，该书特点如下。

- 分析通信基本理论时结合了目前的应用，比如固话通信、无线通信、数字有线电视、网络技术、蜂窝技术，这里略举几例。本书在幅度调制中，介绍了 SSB-AM 的频谱效率在模拟电缆和微波系统的语音通信中取得的显著效果；在幅度调制中，还介绍了模拟通信环境开发的超外差式接收机结构，它不仅用于每一台收音机、电视机和 CATV 机顶盒单元，而且还构成了 2G 蜂窝电话的前端。第 15 章信道编码技术循环冗余校验(CRC)码的应用则以 IEEE 802.3 的应用为例：IEEE 802.3 标准规定，以太网帧必须包含由 CCITT-32 多项式产生的、用于检错目的的 4 字节校验和，等等。
- 将概念与应用结合起来。这里以学生最难真正理解的第 6 章概率论与随机过程为例。本书介绍高斯分布时，解释了高斯分布为什么使用得如此广泛；介绍泊松分布时，解释了电话呼叫数、点击网络次数等都服从泊松分布；介绍随机变量时，结合了电话呼叫数/到达光检测器的光子数与集成电路测试结果分布的实例。本书中列举的这些应用例子，都是电子、通信专业的学生在学习过“概率论与数理统计”课程后，根本没听说过的。至于基带技术、信源编码、信道编码和调制/解调等的例子就更多了。例如，本书介绍了 PLL 如何广泛用于蜂窝电话、电视、收音机、计算机和存储设备中。
- 本书介绍的所有通信技术都有细致的分析和推导过程，对于立志从事通信技术研究的学生来说，推敲技术的来龙去脉不可缺少。
- 书中的每个例题都涉及当代通信技术的应用及相应的技术指标。
- 各章都配有 Simulink 和 MATLAB 实验，有助于学生从视觉上了解通信中的基本现象与通信的本质。

在本书的翻译过程中，杨颖、刘潇、程佩、熊珊珊、侯晓莹在文字整理方面付出了艰辛的劳动，在此表示感谢。

尽管一再推敲和检查，书中仍难免有疏漏和不足，敬请广大读者批评指正。联系方式为 tmingxin@qq.com。



于武汉

前 言

通信系统用于在空间或时间的不同点之间传输信息。本书全面介绍了构成目前光纤通信网、无线通信网和卫星通信网基础设施的基本原理。书中的陈述不仅逻辑性强,易于理解,而且吸引学生的是与系统实现、产品实现有关的问题。本书包含的多个主题在其他教科书中很少涉及,而现代模拟和数字通信系统的实现又离不开这些主题。

本书为电气和计算机工程专业高年级的本科生和一年级研究生编写,是通信系统和数字通信的入门课程。书中有两章提供了学习通信系统所需的详细背景知识,其中第2章回顾信号与系统,重点针对信号与系统的频域分析;第6章回顾概率论和随机过程。第4章、第5章和第7章介绍模拟通信系统。这些章节不仅包括传统素材,而且还包括与今天的无线通信接收机和(利用光放大器级联)光纤网相关的新主题。数字传输是全球互联网、光纤网和新一代无线网的支持技术。第8章至第15章包含了数字通信系统的不同部分。

内容编排^①

第1章给出通信系统简介、通信系统的发展史和推动其演进的主要趋势。

第2章回顾信号与系统,重点是LTI系统中信号传输的频域分析。

第3章介绍采用模拟和数字通信系统建模和仿真时Simulink的性能。

第4章介绍各种幅度调制方案,也分析了通信发射机和接收机所实现的复用技术和重要运算。本章的末尾介绍了现代通信系统中所实现的各种接收机的结构。

第5章讨论角度调制系统(调频和调相),并详细分析模拟锁相环和模拟NTSC电视系统。

第6章回顾概率论和随机过程的基本概念,这些基本概念与通信系统中信息信号和(无处不在的)噪声的建模与分析息息相关。然后分别从时域和频域的角度对随机信号与噪声通过LTI系统的传输特性进行分析。

第7章介绍噪声对幅度调制信号解调和角度调制信号解调的影响。将各种模拟通信系统的性能进行比较,并且研究传输损耗、噪声对配有增音机的模拟传输系统设计的影响。

第8章考虑的是将模拟信号转换为数字形式。介绍了采样定理和量化技术,接着是波形编码方法,如PCM、DPCM和DM。最后讨论了sigma-delta转换器和带通采样。

第9章介绍了数字数据传输的基带调制技术。解释了重要的技术指标和各种线路编码方案的特性。本章还研究了脉冲形状的设计,目的是提高数字基带传输系统的频谱效率。

第10章考虑在存在加性高斯白噪声的条件下,以数字调制信号的形式对传输中的符号进行检测。本章引入作为有限维向量空间向量的信号波形和加性高斯白噪声的表示形式,以及利用这些概念开发最佳检测器结构,并分析它们的性能。

第11章考虑通过对载波进行调制来实现数字数据的传输。分析二进制和四进制调制方案,并利用向量空间的概念分析它们的性能,也分析了频移键控和最小频移键控。然后讨论非相干方案与差分相干方案。本章的结尾是频谱分析和各种数字载波调制方案的比较。

^① 本书的符号表示见书末的“符号表示说明”。

第 12 章分析数字调制信号在信道中的传输,信道上除加性高斯白噪声外还引入了符号间干扰(Inter-Symbol Interference, ISI)。本章介绍减小 ISI 和噪声时采用的信号设计和均衡方案。

第 13 章介绍数字通信中的两个重要主题:数字复用与同步。多路复用技术将多个用户信号组合,实现高速通信信道的有效共享。然后介绍接收端用于正确地分路各分量信号和恢复各分量信号的载波恢复电路、符号定时恢复电路和帧同步恢复电路。

第 14 章是信息论的入门,解释了对信息通信的基本限制。本章在引入信源信息量和通信信道容量的概念后,研究了香农的信源编码定理和信道容量定理。这一章末尾详细介绍了文本、图像和视频的压缩方案。

第 15 章专门分析用于噪声通信信道上信息可靠传输的信道编码。本章考虑线性分组码和卷积码两种方式,以及采用硬判决译码方案和软判决译码方案时这两种编码方式的性能。本章还介绍了带限信道的编码和实现接近信道容量的 Turbo 码。

教学特点

本书的教学特点如下:

- 预览包含在这一章及其相关的实践中的各章的内容简介。
- 众多的例子,包括 MATLAB 练习,用于巩固重要的概念和数学方面的结果。
- 各章末配有不同难度的习题。MATLAB 练习进一步帮助学生找到编程习题的解决方案。
- 仿真作为一种重要的教学工具,是帮助学生理解理论计算的结果和培养学生熟悉通信系统设计的重要工具。作者认为,在课堂上,Simulink 仿真可用做如下设置的虚拟实验室进行实验:
 - 显示通信系统中不同点的信号波形和频谱。
 - 分析系统的性能,并将它们与理论计算的结果进行比较。
 - 研究设计方法和可能的折中。
- 每章最后的结束语重申重要的概念和对重要发展的理解。
- 每章包含的参考文献列表提供进一步阅读的素材。
- 为教师和学生提供有关该书的丰富的网站资源。

选课

本书给出了通信系统的众多内容。通过章节的取舍,教师可以提供课程所需内容的提炼或为不同背景的学生调整内容。本书的一个重要考虑就是高年级学生是否已选修了“概率论与随机过程”课程。虽然可能会有诸多变化,这里还是给出了以下可供参考的选择。

- 模拟与数字通信系统一学期学时,可以选择学习:第 2 章和第 6 章,第 3~5 章,第 7 章的 7.1~7.5 节,第 8 章的 8.1~8.4 节,第 9 章的 9.1~9.2 节,第 10 章的 10.1~10.2 节,第 11 章的 11.1~11.2 节,如果时间允许,还可以学习第 14~15 章的部分内容。
- 数字通信的一学期学时,学习的章节从下面各章中选择:第 2 章、第 3 章、第 6 章、第 8~15 章。
- 模拟和数字通信系统的两学期课程时,学习的章节和顺序安排如下:
 - 第一学期第 2~8 章;
 - 第二学期第 9~15 章。

教学资源^①

与本书教学资源对应的网站为 www.mhhe.com/mesiya, 该网站包含教师解决方案手册、授课 PPT、MATLAB 文件、所有实验的 Simulink 模型和课后习题解答。教师也可以访问 COSMOS——完全在线解决方案手册管理系统, 用它设计考试和作业、创建自定义的内容、编辑给出的习题和答案。

致谢

新教材的撰写需要很多人的投入和建议。以下各位在各阶段审阅了原稿的各章节, 在此作者表示深深的感谢!

Vijay Bhargava	加拿大英属哥伦比亚大学
Deva Borah	美国新墨西哥州立大学
Lakshmi S. Chennupati	美国加利福尼亚州立大学萨克拉门托分校
Tolga M. Duman	美国亚利桑那州立大学
Satyabrata Jit	印度贝拿勒斯印度教大学
James Kang	美国加利福尼亚州立理工大学波莫纳分校
Hyuck M. Kwon	美国威奇塔州立大学
Tongtong Li	美国密歇根州立大学
Timothy Pratt	美国弗吉尼亚理工学院
P. R. Sahu	印度理工学院古瓦哈蒂分校
Masoud Salehi	美国东北大学
Gary J. Saulnier	美国伦斯勒理工学院
Jitendra K. Tugnait	美国奥本大学

在众多审阅者中, 作者特别感谢 Deva Borah 博士, 他细致、完整地审阅了整个手稿, 为本书的出版做了准确性修正并提了许多建议性意见。作者因 McGraw-Hill 出版社的 Raghu Srinivasan 对本书的热情和支持而充满感激。作者非常感激和他一起工作的 Lora Neyens, 他在过去的四年中为这项的方方面面呕心沥血。此外, 作者还要对 Michael Hackett, Peter Massar 和 Darlene Schueller 在项目联系期间所给予的帮助和鼓励表示感谢。Jane Mohr 负责管理本书的整个出版流程, 在此要感谢她的大力支持和对各种不确定性因素的灵活处理。作者深深地感谢 Erika Jordan 和她的 Laserwords 团队在这本书的出版准备阶段中做出的巨大贡献。作者谨感谢 Mathworks 公司的 Naomi Fernandes 和 Houman Zarrinkoub 博士的大力支持和鼓励。最后, 作者对 Yasmin Sarah Mesiya 审阅书中有关历史事件的内容表示真诚的感谢。

^① 教辅申请邮箱为 te_service@phei.com.cn

目 录

第 1 章 绪论	1	2.8 LTI 系统用做频率选择性 滤波器	57
1.1 通信系统的构成单元	1	2.8.1 理想滤波器	57
1.2 通信信道	2	2.8.2 理想滤波器的近似实现	60
1.2.1 同轴电缆	3	2.8.3 用 MATLAB 设计的模拟 滤波器	62
1.2.2 光纤	4	2.9 功率谱密度	65
1.2.3 无线信道	6	2.9.1 时间平均自相关函数	67
1.3 模拟通信系统和数字通信 系统	8	2.9.2 输入功率谱密度与输出功率 谱密度之间的关系	67
1.3.1 数字通信系统	9	2.10 传输介质的频率响应特性	68
1.3.2 为什么采用数字传输	10	2.10.1 双绞线对	68
1.4 通信发展史	11	2.10.2 同轴电缆	71
1.4.1 无线通信	14	2.11 离散时间信号的傅里叶变换	72
1.5 重要主题及其驱动	16	结束语	74
结束语	16	推荐读物	75
推荐读物	16	习题	75
第 2 章 信号与线性系统的复习	18	MATLAB 习题	80
2.1 信号的基本概念	19	第 3 章 采用 MATLAB/Simulink 的通信 系统仿真	82
2.1.1 一些有用的基本信号	21	3.1 启动 Simulink	83
2.1.2 能量信号和功率信号	25	3.1.1 求解器	89
2.1.3 对数功率的计算	27	3.2 Simulink 的建模	89
2.1.4 信号的一些基本运算	27	3.2.1 子系统	91
2.2 系统的基本概念	29	3.3 信源与噪声源的仿真	94
2.2.1 系统分类	30	3.3.1 确知信号	94
2.2.2 LTI 系统的特性	32	3.3.2 随机信号	96
2.3 频域表示	35	3.3.3 AWGN 信道的建模	99
2.4 傅里叶级数	36	3.4 通信系统的建模	101
2.4.1 三角傅里叶级数	36	3.4.1 时域建模	101
2.4.2 Parseval 定理	39	3.4.2 变换域表示	103
2.4.3 傅里叶级数的收敛	41	3.5 信号的频域显示	105
2.5 傅里叶变换	42	3.6 结合 MATLAB 使用 Simulink 建模	107
2.5.1 常见信号的傅里叶变换	43	3.6.1 MATLAB 的仿真运行	108
2.5.2 傅里叶变换的性质	45	结束语	110
2.5.3 周期信号的傅里叶变换	50	推荐读物	110
2.6 时间-带宽积	52		
2.7 LTI 系统的信号传输	53		
2.7.1 传输失真	56		

第4章 幅度调制	111	5.4 调角信号的解调	173
4.1 低通和带通信号	112	5.4.1 带通限幅器	173
4.2 抑制载波的双边带幅度调制 ..	113	5.4.2 鉴频器	174
4.2.1 DSB-SC AM 信号的频谱 ..	114	5.4.3 鉴相器: 正交检波器	179
4.2.2 DSB-SC AM 信号的解调 ..	115	5.5 锁相环	181
4.3 常规幅度调制	118	5.5.1 模拟 PLL(APLL)	182
4.3.1 常规 AM 信号的频谱	120	5.5.2 APLL 线性模型	184
4.3.2 常规 AM 信号的解调	124	5.5.3 一阶 PLL	185
4.4 带通信号与系统的其他表示		5.5.4 二阶 PLL	187
形式	128	5.5.5 非锁定状态 APLL 的捕获	
4.4.1 复包络表示与解析表示的		过程	195
频谱	130	5.6 PLL 用做 FM 解调器	197
4.4.2 带通系统的复包络表示 ..	131	5.7 FM 广播	199
4.5 单边带幅度调制	133	5.7.1 调频立体声	199
4.5.1 SSB-AM 信号的解调	136	5.8 模拟电视	201
4.6 残留边带幅度调制	139	5.8.1 黑白图像	201
4.7 正交多路复用	142	5.8.2 黑白电视	202
4.8 复用	142	5.8.3 彩色电视	206
4.8.1 频分复用	143	5.8.4 多声道电视音响	210
4.9 变频与频率选择	146	结束语	211
4.9.1 下变频混频器	146	推荐读物	211
4.9.2 镜像抑制混频器	148	习题	212
4.10 通信接收机	149	MATLAB 习题	215
4.10.1 超外差式接收机	149	第6章 概率与随机过程	216
4.10.2 直接变频接收机	151	6.1 概率的概念	217
4.10.3 低中频接收机	152	6.1.1 相对频率	217
结束语	153	6.1.2 概率公理	218
推荐读物	153	6.1.3 联合限	218
习题	154	6.1.4 条件概率	219
MATLAB 习题	156	6.2 随机变量	222
附录4A 希尔伯特变换	158	6.2.1 离散随机变量	222
第5章 角度调制	160	6.2.2 一些常见的离散随机	
5.1 FM 信号和 PM 信号	160	变量	224
5.1.1 调制信号为正弦信号时的 FM		6.3 连续随机变量	225
信号和 PM 信号	163	6.3.1 一些常见的连续随机	
5.1.2 调角信号的功率	166	变量	227
5.2 调角信号的频谱	166	6.3.2 离散随机变量与混合随机	
5.2.1 调制信号为正弦信号时 FM		变量的概率密度函数	232
信号的带宽	168	6.4 随机变量的函数	232
5.2.2 调制信号为任意消息信号时		6.4.1 第一种情形: $g(x)$ 单调递增或	
FM 信号的带宽	170	单调递减	233
5.3 窄带 FM	172	6.4.2 第二种情形: 任意 $g(x)$..	233

6.5	随机变量的统计特性	234	6.14.4	有损二端口网络的噪声因子	277
6.5.1	矩函数与特征函数	236	6.15	随机过程的 MATLAB 仿真	278
6.6	随机变量对	237	6.15.1	产生任意概率密度函数的随机变量	278
6.6.1	边缘分析	239	6.15.2	自相关函数和频谱密度	279
6.6.2	两个随机变量的函数: 期望值	240	6.15.3	高斯白噪声的样值	279
6.7	条件分布	242	结束语		280
6.7.1	条件期望值	245	推荐读物		281
6.7.2	独立随机变量	245	习题		281
6.8	联合高斯随机变量	246	MATLAB 习题		285
6.8.1	两个随机变量的两个函数	249	第 7 章 模拟通信系统的噪声分析		287
6.8.2	中心极限定理	251	7.1	基带系统的噪声性能	288
6.9	随机过程: 初步	251	7.2	噪声对 AM 系统性能的影响	289
6.9.1	随机过程的特性	253	7.2.1	DSB-SC 的噪声性能	289
6.9.2	平稳随机过程	256	7.2.2	SSB-AM 的噪声性能	293
6.9.3	广义平稳随机过程	256	7.2.3	常规 AM 的性能	296
6.9.4	各态历经的随机过程	257	7.3	调角系统的噪声性能	302
6.9.5	自相关函数的性质	257	7.3.1	高 CNR 系统的运行	303
6.9.6	不相关、正交和独立的随机过程	258	7.3.2	FM 系统的运行: 低 CNR 情形	308
6.10	随机过程的功率谱	258	7.4	预加重与去加重	313
6.10.1	维纳-辛钦定理	258	7.5	模拟调制系统的比较	314
6.10.2	随机信号在线性时不变系统中的传输	259	7.6	链路设计	316
6.11	一些重要的随机过程	261	7.6.1	模拟增音机	317
6.11.1	高斯随机过程	261	7.6.2	增音机级联时模拟通信系统的性能	318
6.11.2	高斯白噪声	262	结束语		320
6.11.3	滤波后的高斯白噪声	263	推荐读物		321
6.12	窄带噪声	264	习题		321
6.12.1	窄带高斯白噪声	267	MATLAB 习题		324
6.12.2	窄带噪声的正弦波包络	269	第 8 章 模拟信号转换为数字信号		327
6.13	通信系统中的噪声源	270	8.1	低通信号的采样	328
6.13.1	热噪声	271	8.1.1	奈奎斯特-香农(Nyquist-Shannon) 采样定理	330
6.13.2	有效功率	272	8.1.2	采样序列的 DFT	330
6.13.3	散粒噪声	273	8.1.3	模拟信号的恢复	331
6.14	系统噪声的特性表示	273	8.1.4	实用的采样技术	332
6.14.1	噪声因子和噪声系数	274	8.2	频谱混叠	334
6.14.2	子系统的有效输入噪声温度	275	8.3	模拟信号的数字化	339
6.14.3	级联子系统的噪声系数	275	8.3.1	量化	340
			8.3.2	量化样值的编码	341

8.3.3	量化过程引入的误差	342	推荐读物	415
8.3.4	量化噪声	344	习题	415
8.4	脉冲编码调制	346	MATLAB 习题	417
8.4.1	非均匀量化	347	第 10 章 基带信号的噪声检测	419
8.5	差分脉冲编码调制	352	10.1 AWGN 环境下的二进制	
8.6	模/数转换的过采样	354	信号检测	420
8.7	增量调制	356	10.1.1 比特差错概率	421
8.7.1	斜率过载与颗粒噪声	358	10.2 匹配滤波器	424
8.7.2	自适应增量调制	359	10.2.1 相关检测器	427
8.7.3	连续可变斜率增量调制	360	10.2.2 二进制信号传输系统的	
8.7.4	量化噪声	361	性能	428
8.8	sigma-delta 调制	364	10.3 矢量空间的概念	436
8.8.1	一阶 sigma-delta 调制	364	10.3.1 有限维矢量空间	437
8.8.2	噪声性能	365	10.3.2 矢量空间的内积	437
8.9	带通信号的采样定理	369	10.3.3 Gram-Schmidt 正交化	
8.9.1	数字接收机的带通采样	375	过程	439
结束语		376	10.4 信号与 WGN 的矢量	
推荐读物		376	空间表示	442
习题		377	10.4.1 波形的矢量空间表示	442
MATLAB 习题		379	10.4.2 信号星座实例	444
第 9 章 数字基带调制		382	10.4.3 WGN 的矢量空间表示	447
9.1	脉冲幅度调制	383	10.5 AWGN 环境下 M 进制信号的	
9.2	二进制线路编码技术	385	检测	448
9.3	数字基带信号的频谱	386	10.5.1 最大后验概率检测器	449
9.3.1	随机脉冲序列的功率谱		10.5.2 最大似然检测器	449
密度		386	10.5.3 最大后验概率和最大似然	
9.3.2	二进制线路码的频谱	389	检测器的实现	450
9.4	数字基带信号的带宽	396	10.5.4 判决区	451
9.5	频谱图与带外功率图	397	10.6 最大似然检测器的差错	
9.6	分组线路码	398	性能	452
9.6.1	二进制分组码	399	10.6.1 两星座信号的差错检测	
9.6.2	多电平分组码	400	概率	452
9.7	扰码	402	10.6.2 M 进制信号的差错	
9.7.1	帧同步扰码器	403	概率	454
9.7.2	SONET 扰码器	404	10.6.3 比特差错率与符号差错率	
9.7.3	自同步扰码器	405	之间的关系	457
9.7.4	ATM 扰码器	406	10.7 M 进制 PAM 信号的差错	
9.8	改善频谱效率的脉冲整形	407	性能	458
9.8.1	sinc 脉冲	407	结束语	462
9.8.2	升余弦脉冲	408	推荐读物	462
9.9	允许的比特率估值	413	习题	463
结束语		414	MATLAB 习题	467

第 11 章 采用载波调制的数字信息	
传输	470
11.1 基本概念	471
11.1.1 已调数字载波信号的表示	472
11.2 二进制幅移键控	473
11.2.1 BASK 信号的相干解调 ...	474
11.3 二进制相移键控	478
11.3.1 BPSK 信号的相干解调 ...	479
11.4 二进制频移键控	484
11.4.1 BFSK 信号的正交性	486
11.4.2 BFSK 信号的相干解调 ...	486
11.5 二进制差分相移键控	490
11.6 二进制数字载波信号的非相干解调	493
11.6.1 非相干二进制 ASK	493
11.6.2 非相干二进制 FSK	496
11.7 正交调制方案	500
11.7.1 正交调制信号的解调 ...	501
11.7.2 QPSK	502
11.7.3 偏移 QPSK	507
11.7.4 M 进制相移键控	511
11.8 最小频移键控	514
11.9 正交幅度调制	519
11.10 正交调制信号的频谱	527
11.10.1 带宽的其他定义	533
11.11 载波调制方案的比较	536
结束语	537
推荐读物	537
习题	538
MATLAB 习题	540
第 12 章 数字信号在时间色散信道上的传输	544
12.1 PAM 信号在带限信道上的传输	545
12.1.1 眼图	547
12.2 奈奎斯特零码间干扰准则 ...	549
12.2.1 RC 脉冲信号	551
12.3 带限 AWGN 信道的发送滤波器与接收滤波器	553
12.3.1 差错概率性能	556
12.4 部分响应(双二进制)信号 ...	557
12.4.1 双二进制信号的检测 ...	559
12.4.2 差错概率性能	561
12.5 线性均衡器	563
12.5.1 迫零均衡器	565
12.5.2 最小均方差均衡器	570
12.6 自适应均衡	575
12.6.1 最小均方差算法	576
12.7 判决反馈均衡器	578
12.7.1 系数优化	580
12.7.2 信道估计	582
12.8 线性判决反馈均衡器的性能	583
结束语	587
推荐读物	588
习题	588
MATLAB 习题	591
第 13 章 数字复用与同步	594
13.1 数字复用	595
13.1.1 准同步数字体系	596
13.1.2 PDH 信号的同步	597
13.1.3 M12 复用器: DS2 帧	597
13.1.4 DS2 的开销比特	598
13.2 SONET	601
13.2.1 SONET 信号的复用	602
13.2.2 SONET 信号的同步	603
13.3 载波同步	605
13.3.1 升幂次环路	605
13.3.2 科斯塔斯环	607
13.3.3 噪声对载波相位估计的影响	608
13.3.4 噪声对载波同步装置性能的影响	610
13.4 符号同步	614
13.4.1 NRZ 数据的时钟恢复 ...	616
13.4.2 恢复时钟的 PLL	617
13.5 帧同步	624
13.5.1 帧同步装置的性能	625
13.5.2 帧同步字的选择	628
结束语	630
推荐读物	630

习题	631	第 15 章 信道编码技术	689
MATLAB 习题	634	15.1 分组码	690
第 14 章 信息论与压缩技术	635	15.1.1 线性分组码	691
14.1 信息论的基本概念	636	15.1.2 系统线性分组码	693
14.1.1 联合熵与条件熵	638	15.1.3 差错矢量和伴随式矢量 ...	695
14.1.2 微分熵	640	15.2 分组码的硬判决译码	696
14.1.3 互信息	641	15.2.1 分组码的伴随式译码 ...	698
14.2 信源编码	643	15.2.2 检错能力和纠错能力 ...	699
14.2.1 离散无记忆信源	643	15.3 循环码	701
14.2.2 香农信源编码定理	644	15.3.1 系统循环码的编码	702
14.3 信道编码	646	15.3.2 循环码的译码	704
14.3.1 通信信道建模	646	15.3.3 几类重要的分组码	704
14.3.2 通信信道的容量	647	15.3.4 循环冗余校验码	706
14.3.3 香农信道容量定理	652	15.4 分组码硬判决译码的纠错	
14.3.4 另一个信道编码定理 ...	654	性能	706
14.4 AWGN 信道的容量	654	15.5 分组码的软判决译码	710
14.4.1 AWGN 信道的香农容量		15.5.1 软判决译码的差错	
定理	654	性能	710
14.4.2 带限 AWGN 信道的		15.5.2 编码增益	711
容量	655	15.6 卷积码	715
14.4.3 带限 AWGN 信道上容量定理的		15.6.1 卷积码的表示	715
含义	657	15.6.2 卷积码的译码	718
14.4.4 功率-带宽折中	658	15.6.3 维特比算法	720
14.5 无损压缩技术	659	15.7 卷积码的差错性能	724
14.5.1 无损压缩技术	660	15.7.1 卷积码的传输函数	725
14.5.2 Huffman 编码	660	15.7.2 卷积码的差错概率	726
14.5.3 游程长度编码	664	15.7.3 编码增益	729
14.5.4 Lemoel-Ziv 编码	665	15.8 Turbo 码	730
14.6 图像压缩: JPEG	670	15.8.1 Turbo 译码	731
14.6.1 离散余弦变换	672	15.8.2 Turbo 码的性能	733
14.6.2 JPEG 压缩标准	673	15.9 网格编码调制(TCM)	735
14.6.3 色度分量的二次采样 ...	676	15.9.1 TCM 码的译码	738
14.7 数字视频压缩: MPEG	677	结束语	740
14.7.1 MPEG	679	推荐读物	741
结束语	681	习题	741
推荐读物	682	MATLAB 习题	744
习题	682	附录 A 数学公式	748
MATLAB 习题	685	附录 B 缩略语	751
附录 14A AWGN 信道的容量:		附录 C 符号表	754
另一种证明方法	687	符号表示说明	756

第1章 绪论

通信是指信息的传输，是人类最自然的需求和社交需求。这一点已经由蜂窝电话的语音通信和无处不在的短消息所证实。进入21世纪以后，人与机器之间的信息交换变得如同人与人之间的信息交换一样重要。通信系统传输或传递的是信息。本书主要涉及电子通信，即信息从信源到目的端以电磁波的方式传输。电子通信使得相隔一定距离的用户可以几乎同时交互。例如，我们可以在世界上的任何一个地方通过点击鼠标实现网页的下载。这足以说明通信系统在现代信息时代中所起的作用。

在现实中碰到的信号本质上都是模拟信号。也就是说，它们都是时间的连续函数，即在给定幅度范围内，值是连续的。这类例子包括语音、音乐、图像和视频信号。另一方面，数字信号的值在离散时刻变换为有限幅度值之一。例如，可以假定二进制信号为两个值（比如0和A）中的一个。图1.1将模拟信号与数字信号进行了比较。

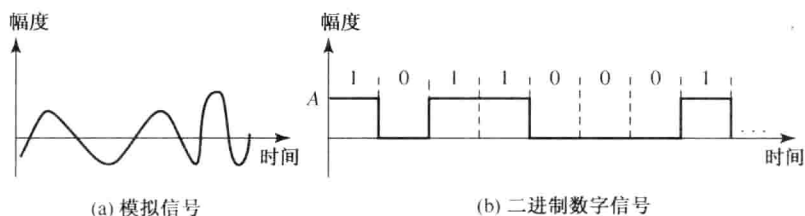


图 1.1 模拟信号与数字信号

本章由以下几节组成：

1.1 通信系统的构成单元

本节介绍在通信系统的两点之间传输信息时所用的功能组件。

1.2 通信信道

本节介绍以可能的波形形式实现信息物理传输的各种传输介质（或通信信道）。

1.3 模拟通信系统和数字通信系统

本节首先介绍模拟通信系统，系统中的消息以模拟信号的形式传输。然后解释数字通信系统，即信息以一串有限的符号传输。本节的末尾介绍了数字传输系统的优点。

1.4 通信发展史

本节回顾电子通信史中跨度近两个世纪的主要事件。介绍构成所有通信系统基本模块的主要革新。

1.5 重要主题及其推进

本节回顾激起通信行业巨大发展的主要主题和推进因素。

本章以结束语和推荐读物作为结尾。

1.1 通信系统的构成单元

电气通信系统的信息以电磁信号的形式从信源传输到目的端。典型的通信系统用图1.2所示的方框图表示。信源产生的消息可以是模拟信号，或者是来自有限符号系统的一串符号

或字符。语音、音乐、图像和视频都是模拟信号的例子。如果消息信号不是源于电信号，则需要由输入转换器转换为电信号。输入转换器的例子包括麦克风、静态照相机和电视摄像机。文本、网页和 MP3 音频文件等都是数字消息的例子。为了将消息传输到远端的终端用户，无论用于哪一方面的通信系统，都由如下的 3 个功能单元组成：

- **发射机。**发射机将消息转换成适于物理介质(或信道)传输的形式。发射机输出的是电磁信号，可以发送到电缆或发射到自由空间。显然，发射机的输出信号中含有表示原消息的必要信息。
- **传输介质或者传输信道。**通信信道是把电磁信号能量从发射机传输到接收机的传输介质。这类例子有双绞线、同轴电缆或者光缆、无线链路或卫星链路。所有传输介质都有一个共同的特征：信号从发射机传输到接收机时经历了质量的下降。信号质量的下降通常源于噪声和其他干扰，但也因信道引起的衰减和失真而出现质量下降。
- **接收机。**接收机的功能是从接收信号中恢复原消息。仅当信号质量的下降没有超出某一限度时才能恢复原消息。该限度由发射机和接收机对信号的联合处理能力决定。

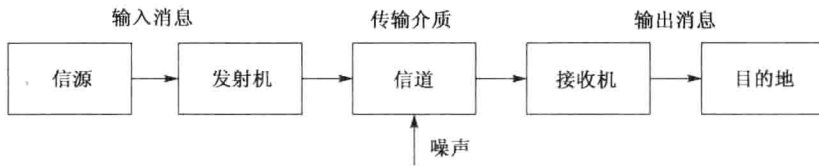


图 1.2 典型通信系统

1.2 通信信道

信息传输时，必须有通信信道将信号的能量从发射机传输到接收机。有如下两种基本类型的通信信道：

1. **有线介质。**信号能量包含在固体介质中并由固体介质导向。这类例子包括铜双绞线对、同轴电缆和光纤。
2. **无线介质。**信号能量以非导向电磁波的形式传播。无线电和红外光都是无线介质的例子。

有线介质和无线介质完全不同。从根本上说，有线介质提供点到点的连接，即用户通过点到点的物理链路或物理信道实现通信。一般来说，无线介质以广播的方式运行。即，在一定的地理覆盖范围内共享这种介质，用户正是通过这种共享的通信信道完成通信。因此，当用户同时接入这种介质时可能存在干扰。如图 1.3 所示。

双绞线(Twisted Wire Pair, TWP)在电话公司(telephone companies, telcos)的用户环路设备中无处不在。双绞线的安装原本以普通老式电话业务的形式(Plain Old Telephone Service, POTS)提供语音通信。TWP 利用综合业务数字网(Integrated Services Digital Network, ISDN)和非对称数字用户环线(Asymmetric Digital Subscriber Line, ADSL)技术为住宅用户提供一组丰富的语音和数据业务。至于商业用户，电话公司在现存的 TWP 网上利用各种数字用户线路(Digital Subscriber Line, DSL)系统提供语音和高速数据业务。双绞线也是企业局域网(Local Area Network, LAN)在布线基础设施时所选的介质。为了降低信道对干扰的敏感性，双绞线由扭在一起的两根线组成。线靠得近就意味着任意干扰都会由两根线接入，所以扭绞后线间的差异导

致信号基本上不受干扰的影响。当多对线放在一个电缆里时,扭绞有助于减弱(但不是消除)所产生的串音干扰。由于多对双绞线捆扎在同一个电话电缆里,所以总的串扰量仍很明显,尤其是频率较高时更是如此。不同线径的双绞线由美国线规(American Wire Gauge, AWG)标准定义。双绞线的 AWG 号越小,线的直径越大,衰减越小。电话公司通常配置 22(0.0254 英寸)、24(0.0201 英寸)和 26(0.0159 英寸)的 AWG 缆。住户内部布线时,采用美国国家标准学会/电子工业协会(American National Standards Institute/Electronic Industries Association, ANSI/EIA)制定的几类标准双绞线布线系统(包括电缆、接头和连接器)。按照 EIA 568 标准,这几类布线系统在维持有效运行时的速率不同。例如,设计的第 5 类布线系统支持 10/100 Mbps 的以太网。图 1.4 示出了普通双绞线电缆的衰减特性。



图 1.3 有线和无线传输介质

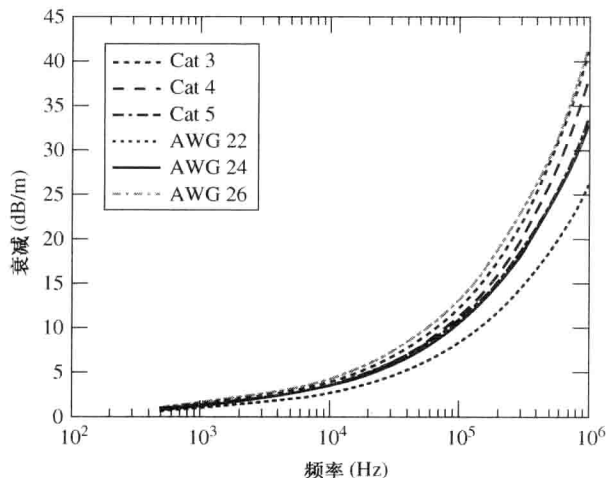


图 1.4 双绞线对的衰减特性

1.2.1 同轴电缆

同轴电缆用于分配有线电视(Cable Television, CATV)系统的电视信号。在同轴电缆中,实心芯线导体位于同轴圆柱形外层导体的内部。具有固体铜或铝外层导体的电缆用于干线和支线,而辫状的设计用于少量的电缆。内外层导体用泡沫绝缘材料隔开,外层导体覆盖塑料护套,如图 1.5 所示。与双绞线相比,两层导体的同轴分布具有更好的抗干扰和抗串扰的性能。铜包铝芯导体

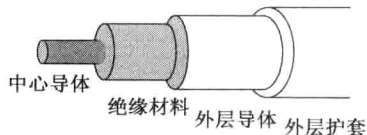


图 1.5 同轴电缆

和无缝铝管外层导体用于 CATV 干线和支线的传输。图 1.6 中的 500-F(外层导体直径 0.5 英寸)和 625-F(外层导体直径 0.625 英寸)都是这些电缆设计的例子。对分布式应用和家庭住户的应用来说,通常采用具有辫状外层导体的低成本同轴电缆。图 1.6 中的 RG-59 和 RG-6 在这类电缆中应用最为广泛。

图 1.6 示出了部分同轴电缆的衰减特性。比较图 1.4 和图 1.6 可以看出,同轴电缆的工作频率范围比双绞线的更宽,即几到几百 MHz。

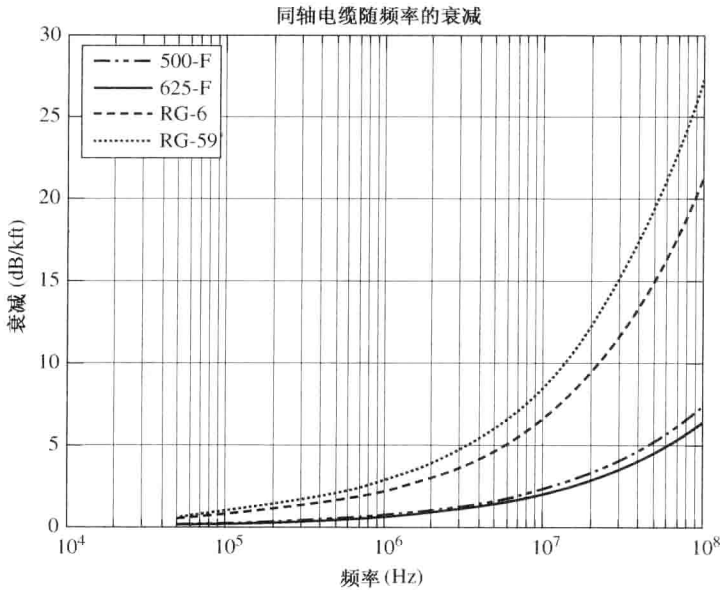


图 1.6 同轴电缆的衰减特性

1.2.2 光纤

光纤是圆柱形波导,由折射率为 n_1 的玻璃芯线组成,如图 1.7 所示。玻璃芯线外面是折射率为 n_2 的玻璃包层,并且 $n_2 < n_1$ 。第三层(保护层)覆盖在包层上面,保护易碎的芯-包结构。

下面考虑图 1.8 所示的光纤内的光传播。芯线与包层的折射率之比决定了临界角 ϕ_c 。当光波(“光线”)自芯线以大于等于临界入射角 ϕ_c 接近芯-包界面时,光波完全反射回芯线,没有光波泄露到包层。这就是全内反射。光波到达芯线的其他面时,由于光纤或多或少是直的,所以光波在另一面又会以产生全内反射的入射角遇到包层,然后光波反射回芯线,后面持续发生同样的情形。因此,光波沿着光纤曲折前行。这表明:光波在二氧化硅纤芯和折射率稍低的二氧化硅包层的界面,经过一系列全内反射后传输到光纤末端。

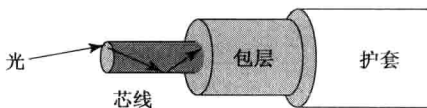


图 1.7 光纤的结构

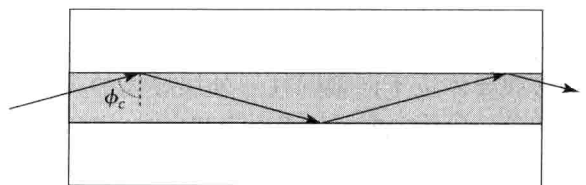


图 1.8 光在光纤中的传播