

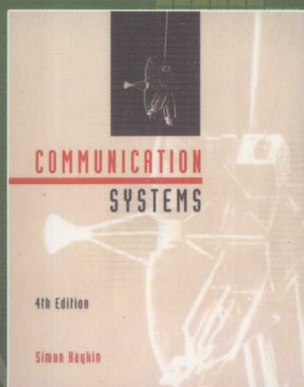
国外电子与通信教材系列



通信系统

(第四版)

Communication Systems, Fourth Edition



[加] Simon Haykin 著

宋铁成 徐平平 徐智勇 等译

沈连丰 审校



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

通信系统

(第四版)

Communication Systems

Fourth Edition

[加] Simon Haykin 著

宋铁成 徐平平 徐智勇 等译

沈连丰 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书对通信系统的基础理论和关键环节进行了深入分析,力图让学生在讨论中领会通信的精髓。全书首先给出通信系统的梗概及需要研究的关键技术,接着分章详细讨论了随机过程、连续波调制、脉冲调制、基带脉冲传输、信号空间分析、通带数据传输、扩频调制、多用户无线通信、信息论基础以及差错控制编码等。各章都附有大量习题,便于学生实践掌握。书中还给出了很有价值的附录,包括概率论、信号与系统简述、贝塞尔函数、汇合型超几何函数、密码学方面的介绍以及一些有用的表格等。全书强调通信理论的统计基础,并给出了用MATLAB模拟的8个计算机实验,这些实验几乎覆盖了各章的主要内容,形成了独特的通信理论“软件实验室”。

本书可以作为高等院校通信类、信息类、电子类、计算机类等专业的研究生或高年级本科生的教材,也可供有关的科研和管理人员参考。

Simon Haykin: **Communication Systems, Fourth Edition.**

ISBN 0-471-17869-1

Copyright © 2001 by John Wiley & Sons, Inc. All Rights Reserved.

AUTHORIZED TRANSLATION OF THE EDITION PUBLISHED BY JOHN WILEY & SONS, INC., New York, Chichester, Weinheim, Singapore, Brisbane, Toronto. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of John Wiley & Sons, Inc.

Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal.

Simplified Chinese translation edition Copyright © 2012 by John Wiley & Sons, Inc. and Publishing House of Electronics Industry.

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和 John Wiley & Sons 合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2002-5887

图书在版编目(CIP)数据

通信系统:第4版/(加)赫金(Haykin, S.)著;宋铁成等译.-北京:电子工业出版社,2012.5

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Communication Systems, Fourth Edition

ISBN 978-7-121-16975-5

I. 通… II. ①赫… ②宋… III. 通信系统-高等学校-教材 IV. TN914

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第091167号

策划编辑:马 岚

责任编辑:马 岚

印 刷:三河市双峰印刷装订有限公司

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:46 字数:1178千字

印 次:2012年5月第1次印刷

定 价:89.00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。联系电话:(010)68279077。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。

前 言

电子工程教育在过去的20年里发生了一些根本性的变化,预计这种情况仍将继续下去。现在的电子工程专业的本科教学计划包括下面两门基础课程:

- 信号与系统。这门课讲述信号和系统的连续时间和离散时间形式,对傅里叶变换的不同形式、拉普拉斯变换和 z 变换进行了详细讲述。通常,这门课还包括对通信系统的初步论述。
- 概率论和随机过程。这门课先使学生对离散和连续的随机变量有一个直观的理解,然后介绍了随机过程的概念及性质。

通常,在这两门预备课程之后会引入关于通信系统的高级课程。

本书的第四版就是在这种背景下并以此为主要目的写成的。简而言之,本书所提供的对通信系统的论述内容,适用于一到两个学期的本科高年级课程。本书的重点在于通信理论及其应用的统计学基础。

本书注重逻辑性并配有大量例题加以说明,其目的就是通过讨论帮助学生直观地掌握理论知识。除了“背景与预览”这一章,其他每章的结尾都附有大量的习题,这些习题不仅能够帮助学生测试他们对本章所涵盖内容的理解程度,同时也能促使他们拓展对这些内容的思考。每章均有注释与参考,为进一步阅读提供了建议。不影响连贯性而可以绕开的章节或小节由脚注加以标识。

本书的一个特色就是包含8个基于MATLAB的计算机实验。这组实验构成了“软件实验室”的基础,每一个实验均设计了用来扩充相关章节知识的内容。更为重要的是,这些实验开发了MATLAB独特的教育功能。

“背景与预览”这一章提供了预备内容和激发学习兴趣的材料,为在接下来的10章中全面论述通信系统做了铺垫。这些章节的内容是按以下顺序组织的。

第1章详细讲述了随机过程,重点是随机过程的部分性质(如二阶统计)。实际上,讨论仅局限于广义平稳过程。本章对随机过程的相关性和功率谱进行了详细论述。高斯过程和窄带噪声在通信系统的研究中起着重要作用,因此本章的后半部分对其进行了论述,论述将涉及通信环境中经常出现的瑞利分布和莱斯分布。

第2章总体讲述了连续波调制(如模拟通信)及其不同形式,简述如下。

(i) 幅度调制,可以是以下几种形式(根据已调载波频谱特性的不同来区分)中的一种:

- 标准幅度调制
- 抑制载波的双边带调制
- 正交幅度调制
- 单边带调制
- 残留边带调制

(ii) 角度调制, 可以假定是以下两种相关联形式中的一种:

- 相位调制
- 频率调制

本章还对这些波形的时域和频谱特性、调制和解调方法, 以及信道噪声对性能的影响进行了讨论。

第3章讲述脉冲调制, 同时也讨论了抽样、量化和编码过程, 这是模拟信号数字化传输的基础。本章也可以看成模拟通信向数字通信的过渡。特别对以下几种脉冲调制方式进行了讨论。

(i) 模拟脉冲调制 (这里只将时间用离散形式表示) 包括以下几种特殊形式:

- 脉冲幅度调制
- 脉冲宽度 (持续时间) 调制
- 脉冲位置调制

因为脉冲幅度调制是其他模拟或者数字调制方式的基础, 所以对它的性质进行了详细讨论。

(ii) 数字脉冲调制 (同时将时间和信号幅度用离散形式表示) 包括以下几种特殊形式:

- 脉冲编码调制
- 增量调制
- 差分脉冲编码调制

在增量调制中, 为简化系统的实现, 其抽样率要远高于脉冲编码调制。相反地, 在差分脉冲编码调制中, 则通过采用一个预编码器来减小抽样率。这个预编码器利用了信息承载信号的相关特性。

(iii) MPEG1 音频编码标准, 包括一个作为编码器设计关键的心理声学模型。

第4章涵盖了基带脉冲传输。基带脉冲传输就是用基带形式的脉冲幅度调制信号来进行传输。主要讨论了以下两个要点: 信道噪声和有限的信道带宽对数字通信系统性能的影响。假定信道噪声是加性白噪声, 则可采用匹配滤波器从而使噪声的影响最小。匹配滤波器是设计通信接收机的基础。由于是有限信道带宽, 因此会出现码间干扰现象。为了克服这种信号相关干扰的不良影响, 通常采用脉冲成形滤波器或相关编码器/译码器, 本章对这两种方法都进行了讨论。本章还对用于用户和因特网服务提供商之间直接通信的数字用户线路进行了讨论。接着对为克服信道噪声和码间干扰组合影响而采用的最佳线性接收机进行了推导, 进而介绍了自适应均衡。

第5章讨论加性高斯白噪声信道的信号空间分析。尤其是建立了能量有限信号的几何表示基础, 进而衍生出相干接收机, 并证明了它和匹配滤波器是等效的, 本章以差错概率及其近似计算的讨论作为结束。

第6章讨论通带数据传输, 这里用正弦信号来简化数字调制信号在带通信道中的传输。本章建立在第5章提到的信号的几何表示基础之上。特别地, 对于以下几种调制技术, 估算了信道噪声对数字通信产生的影响:

1. 相移键控, 这是和相位调制相对应的数字调制方式, 即用载波的相位来表示一组给定的离散量。
2. 混合幅度 / 相位调制, 包括正交幅度调制和无载波幅度 / 相位调制。
3. 频移键控, 这是和频率调制相对应的数字调制方式, 即用载波的频率来表示一组给定的离散量。
4. 多信道调制类, 紧随离散多音之后, 已经成为非对称数字用户线路的标准。

在数字通信系统中, 定时非常重要, 这意味着接收机必须与发射机同步, 本书提及的接收机包括相干的和非相干的。相干接收机需要恢复载波相位和符号定时, 而非相干接收机只需要恢复符号定时而不必恢复载波相位, 采用这种策略是基于对随机载波相位恢复成本的考虑。本章的后半部分讨论了同步技术, 尤其偏重于离散时间信号的同步。

第7章介绍扩频调制, 这种调制方式与前面几章讨论的传统调制方式不同, 它通过牺牲信道带宽来获得好的安全性并保护信号免受干扰。这里讨论了直接序列扩频和跳频两种扩频方式。

第8章论述多用户无线通信。多用户无线通信就是多个用户能接入一个普通的无线信道, 这种通信信道常用于卫星和无线通信系统中, 这里对这两种系统都进行了讨论。本章还介绍了链路预算分析, 主要偏重于介绍相关的天线和传播的概念, 以及噪声的计算。

第9章讲述信息论的一些基本原理, 其中包括用于无失真数据压缩、数据压缩和数据传输的香农理论。这些理论为信源和通信信道界定了性能上限。形成这些理论的两个基本概念是: (1) 信源的熵 (类似于热力学中熵的定义); (2) 信道容量。

第10章论述差错控制编码, 围绕着为了在噪声信道中进行稳定传输而对数字数据进行编码的各种技术进行展开。讨论了以下4种差错控制编码:

1. 线性分组码, 是一组线性无关的码字, 每组码字均由信息比特和校验比特组成。校验比特用于差错控制。
2. 循环码, 是线性分组码的一种。
3. 卷积码, 对连续消息序列用串行方式进行卷积操作。
4. Turbo码, 用物理上可实现的方式, 建立了一种接近香农信道容量的新的编码构成方法。

对上述码的编码和译码方法均进行了讨论。

本书还包括如下6个附录作为补充内容:

- 附录1是对概率论的复习。
- 附录2是对信号与系统的简述, 回顾了傅里叶变换及其性质、各种带宽的定义、希尔伯特变换和窄带信号与系统的低通等价模型。
- 附录3介绍贝塞尔函数及其修正形式, 贝塞尔函数用于研究频率调制、噪声环境下信号的非相干检测和符号定时同步。
- 附录4介绍汇合型超几何函数, 用于噪声环境下幅度调制信号的包络检波。
- 附录5介绍密码学, 这是通信安全的基础。
- 附录6包括12个有用的表格。

如前所述,本书的主要目的就是为高年级本科生提供适合一到两个学期教学的现代通信系统教材。课程内容的组织自然也由采用此书的学生们的背景和教师的兴趣决定。本书的内容既有深度又有广度,能满足各种背景和兴趣的读者,这为本书内容的取舍提供了相当的灵活性。授课教师可获得书中所有习题的详细解答、教学用PPT资料,以及一些实例的M文件(详见书末所附的“教学支持说明”)。

致谢

我要对以下同仁表示深切的谢意: Gregory J. Pottie 博士(加利福尼亚大学洛杉矶分校), Santosh Venkatesh 博士(宾夕法尼亚大学), Stephen G. Wilson 博士(弗吉尼亚大学), Gordon Stüber 博士(佐治亚理工学院), Venugopal Veeraralli 博士(康奈尔大学), Granville E. Ott 博士(得克萨斯大学奥斯汀分校)。他们审阅了先前版本的草稿,对成书提供了大量的建议。第2章中讨论的噪声对包络检波的影响基于 Santosh Venkatesh 博士为我们提供的课程笔记,对此我要表示谢意。我还要感谢 Gordon Stüber 博士同意我引用图 6.32。

我要感谢 Michael Moher 博士(加拿大渥太华通信研究中心),他审阅了先前版本草稿中的5章,并对 Turbo 码提出了很多建设性意见。同样还要感谢 Brendan Frey 博士(加拿大滑铁卢大学)在提炼 Turbo 码内容方面提供的极为宝贵的帮助,他还为讲述低密度奇偶校验码提供了绘制图 9.18 的软件,并允许我引用图 10.27 和图 10.33。我要感谢 David Conn 博士(加拿大 McMaster 大学)审阅了“背景与预览”一章,并为如何改进此章内容的表述提供了建议。

我还要对下述人员致谢: Jean-Jacque Werner 博士(朗讯科技), James Mazo (朗讯科技), Andrew Viterbi 博士(高通), Radford Neal 博士(多伦多大学), Yitzhak (Irwin) Kalet 博士(Technion), Walter Chen 博士(摩托罗拉), John Cioffi 博士(斯坦福大学), Jon Mark 博士(滑铁卢大学)和 Robert Dony 博士(Guelph 大学)。他们为本书所选内容提出了很多宝贵的建议,谨此表示深切的谢意。同时也对 Donald Wunsch II 博士(密苏里大学)的校阅和建议表示感谢。

感谢我的研究生 Mathini Sellathurai (McMaster 大学),他完成了本书的计算机实验部分; Hugh Pasika (McMaster 大学),他对“背景与预览”一章提出了很多有用的建议,并对本书的一些插图进行了计算。也非常感谢 Mathini Sellathurai 和 Alpesh Patel 校对了全书。

我尤其要感谢 Wiley 公司的编辑 Bill Zobrist 在本书整个写作过程中的大力支持和帮助;感谢 Wiley 的高级编辑 Monique Calello 在写作的各个阶段对本书质量不知疲倦的监督;感谢 Katherine Hepburn 为本书所做的广告宣传和市场推广;感谢 Karen Tongish 仔细编辑抄写了本书草稿;感谢 Katrina Avery 认真校对了每一页;感谢 Kristen Maus 组织了本书的索引。

同样,我还要向我的技术协调人 Lola Brooks 致谢,感谢她为输入本书手稿所付出的不知疲倦的努力。我也很高兴在这里感谢 McMaster 大学图书馆的助理馆员 Brigitte Maier 和资料管理员 Regina Bendig 多次为我查找参考书目中的文献资料提供帮助。

Simon Haykin

目 录

背景与预览	1
第 1 章 随机过程	25
1.1 简介	25
1.2 随机过程的数学定义	25
1.3 平稳过程	27
1.4 均值、相关函数和协方差函数	28
1.5 遍历过程	34
1.6 随机过程通过一个线性时不变滤波器	35
1.7 功率谱密度	36
1.8 高斯过程	45
1.9 噪声	48
1.10 窄带噪声	53
1.11 基于同相和正交分量的窄带噪声表示法	54
1.12 基于包络和相位分量的窄带噪声表示法	56
1.13 正弦信号加窄带噪声	58
1.14 计算机实验:平衰落信道	60
1.15 总结与讨论	63
注释与参考	65
习题	66
第 2 章 连续波调制	75
2.1 引言	75
2.2 幅度调制	76
2.3 线性调制方案	79
2.4 频率搬移	87
2.5 频分复用	89
2.6 角度调制	91
2.7 频率调制	92
2.8 FM 系统中的非线性影响	107
2.9 超外差接收机	108
2.10 连续波调制系统中的噪声	110
2.11 相干检测线性接收机中的噪声	112
2.12 包络检波 AM 接收机的噪声	114
2.13 FM 接收机中的噪声	121
2.14 计算机实验:锁相环	133
2.15 总结与讨论	138

注释与参考	140
习题	141
第 3 章 脉冲调制	157
3.1 引言	157
3.2 抽样过程	157
3.3 脉冲幅度调制	161
3.4 其他脉冲调制形式	164
3.5 带宽-噪声权衡	165
3.6 量化过程	166
3.7 脉冲编码调制	172
3.8 PCM 系统中的噪声	179
3.9 时分复用	181
3.10 数字复接器	183
3.11 PCM 的优点、局限性和改进	186
3.12 增量调制	187
3.13 线性预测	191
3.14 差分脉冲编码调制	194
3.15 自适应差分脉冲编码调制	197
3.16 计算机实验:自适应增量调制	199
3.17 MPEG 音频编码标准	200
3.18 总结与讨论	203
注释与参考	204
习题	205
第 4 章 基带脉冲传输	213
4.1 引言	213
4.2 匹配滤波器	213
4.3 噪声引起的差错率	218
4.4 码间干扰	223
4.5 无失真基带二进制传输的奈奎斯特准则	225
4.6 相关电平编码	231
4.7 基带 M 进制 PAM 传输	238
4.8 数字用户线	239
4.9 最佳线性接收机	244
4.10 自适应均衡	248
4.11 计算机实验:眼图	253
4.12 总结与讨论	256
注释与参考	257
习题	260

第 5 章 信号空间分析	268
5.1 引言	268
5.2 信号的几何表示	269
5.3 连续 AWGN 信道到矢量信道的变换	276
5.4 似然函数	279
5.5 噪声中信号的相干检测:最大似然译码	280
5.6 相干接收机	283
5.7 差错概率	285
5.8 总结与讨论	292
注释与参考	292
习题	293
第 6 章 通带数据传输	299
6.1 引言	299
6.2 通带传输模型	302
6.3 相干 PSK	303
6.4 幅度/相位混合调制方案	321
6.5 相干 FSK	331
6.6 未知相位信号的检测	351
6.7 非相干正交调制	355
6.8 非相干二进制 FSK	360
6.9 差分相移键控	361
6.10 单载波数字调制方式的比较	364
6.11 语音频带调制解调器	367
6.12 多信道调制	376
6.13 离散多音	384
6.14 同步	391
6.15 计算机实验:载波恢复与符号定时	400
6.16 总结与讨论	406
注释与参考	406
习题	409
第 7 章 扩频调制	420
7.1 引言	420
7.2 伪噪声序列	421
7.3 扩频的概念	427
7.4 相干二进制 PSK 的直接序列扩频	429
7.5 信号空间的维度和处理增益	432
7.6 差错概率	435
7.7 跳频扩频	437

7.8 计算机实验:最大长度码和 Gold 码	442
7.9 总结与讨论	445
注释与参考	445
习题	446
第 8 章 多用户无线通信	449
8.1 引言	449
8.2 多址技术	450
8.3 卫星通信	451
8.4 无线链路分析	453
8.5 无线通信	464
8.6 多径信道的统计特性	469
8.7 瑞利衰落信道上的二进制信号	475
8.8 TDMA 和 CDMA 无线通信系统	479
8.9 无线通信中的语音信源编码	482
8.10 无线通信中的自适应天线阵列	484
8.11 总结与讨论	489
注释与参考	490
习题	491
第 9 章 信息论基础	497
9.1 引言	497
9.2 不确定性、信息和熵	497
9.3 信源编码定理	502
9.4 无失真数据压缩	503
9.5 离散无记忆信道	509
9.6 互信息	511
9.7 信道容量	514
9.8 信道编码定理	516
9.9 连续信号的相对熵和互信息	520
9.10 信息容量定理	522
9.11 信息容量定理的含义	526
9.12 有色噪声信道的信息容量	532
9.13 率失真定理	536
9.14 数据压缩	538
9.15 总结与讨论	539
注释与参考	540
习题	542
第 10 章 差错控制编码	549
10.1 引言	549

10.2	离散无记忆信道	551
10.3	线性分组码	553
10.4	循环码	562
10.5	卷积码	574
10.6	卷积码的最大似然译码	579
10.7	网格编码调制	586
10.8	Turbo 码	591
10.9	计算机实验: Turbo 码的译码	598
10.10	低密度奇偶校验码	599
10.11	不规则码	606
10.12	总结与讨论	607
	注释与参考	608
	习题	610
附录 1	概率论	617
附录 2	信号与系统简述	627
附录 3	贝塞尔函数	645
附录 4	汇合型超几何函数	650
附录 5	密码学	652
附录 6	表格	669
	术语表	676
	参考文献	682
	索引	697

背景与预览

这里列出的背景与预览材料将为以后各章的通信系统学习做铺垫。我们将着重介绍以下几方面：

- 通信过程
- 基本通信资源,即发射功率和信道带宽
- 信源
- 两种主要交换方式:电路交换和分组交换
- 用于传送发射机与接收机间信息承载信号的通信信道
- 通信系统的基础——调制过程
- 模拟与数字通信系统
- 香农信息容量定理
- 一个数字通信的问题

本章以通信发展史上的重要事件作为结束,以激励读者。

通信过程^[1]

如今,通信已经渗透到我们日常生活的各个角落,这可以很容易从许多方面发现。如我们手边的电话,起居室中的电视和收音机,办公室和家中可以接入因特网的计算机终端,以及报纸等,都可以迅速地把世界各地的消息传送给人们。通信还使我们得以获知远海上航行的船只、空中翱翔的飞机,甚至外太空火箭和卫星的状态。坐在车中可以通过无线电话与远方的办公室或家中通话。通信使得由传感器测得的天气情况可以随时送达给预报员。事实上,诸如上述有关通信应用的例子不胜枚举。

最基本的通信意味着通过一个系列过程从一点向另一点进行信息的传送。其描述如下：

1. 消息信号的产生,如语音、音乐、图像或计算机数据。
2. 通过一系列诸如电子的、可听到的或可看到的符号对消息信号进行描述,并精确到某一精度。
3. 用一种适于在物理媒介中传输的方式对这些符号进行编码。
4. 将编码后的符号发送到指定的目的地。
5. 对原始符号进行译码和重现。
6. 对原始消息信号的重新生成。系统的非理想性会造成信号质量的下降。

当然,还有许多人类思维不能实时介入的通信方式。例如,在两台或多台计算机之间进行的计算机通信中,人能做的只是启动计算机程序或指令,或者监控这些程序或指令的结果。

无论考察哪种通信过程,每一个通信系统都由三个基本部分组成,即发射机、信道和接收机,如图1所示。发射机位于空间中的某一点,接收机位于远离发射机的另一点,而信道是连

接二者的物理媒介。发射机的作用是将由信源产生的消息信号转变成适于信道传送的形式。但由于信道特性是非理想的,发射信号在信道中传播时会发生失真,且噪声和干扰信号(由其他信源产生)也会被加入到信道输出中,使得接收信号成为被破坏的发射信号。接收机的任务是对接收信号进行处理,将其再现为可被用户识别的原始消息信号的形式。

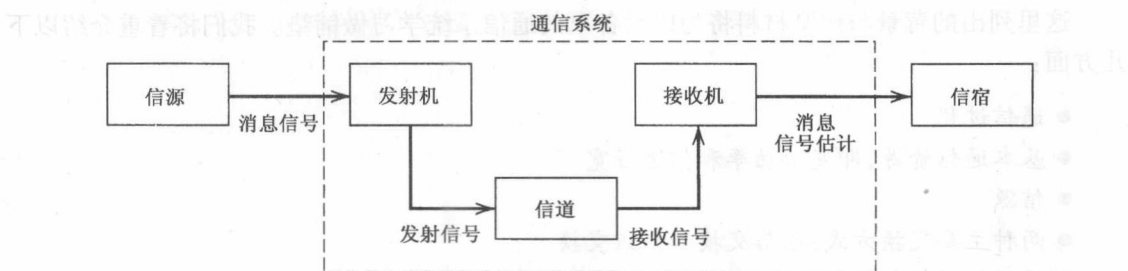


图1 通信系统的组成部分

以下是两种基本通信方式:

1. **广播方式:**包括一个大功率的发射机和多个造价相对便宜的接收机。这里承载信息的信号流是单向的。
2. **点对点方式:**这种通信方式发生在一个发射机和一个接收机之间的链路中。在这种情况下,承载信息的信号通常是双向传送的,这就需要链路的每一端都有一个发射机和一个接收机。

收音机和电视机是广播通信方式的典型例子。随处可见的电话机则是点对点通信的一种形式,点对点通信的另外一个例子是地球站与在相距很远的行星表面行走的机器人之间的链路。

以上这些不同的通信系统和在此未提及的一些通信系统都有一个共同特点:每个基本通信过程在本质上都具有统计特性。正是由于这个重要的原因,本书致力于通信系统统计基础的论述。同时我们阐述了不同通信方法研究的共同基本问题,从而得出对它们的比较性评价。

主要通信资源

在通信系统中,使用的两个主要资源是:发射功率和信道带宽。发射功率是指发射信号的平均功率。信道带宽是为传输信号分配的一个频带。一般系统的设计原则都是尽可能高效地使用这两个资源。在大部分通信信道中,一个资源可能比另一个更重要,因此我们可以将通信信道分为功率受限信道和带宽受限信道。电话线路是一个典型的带宽受限信道的例子,而空间通信链路和卫星信道则是典型的功率受限信道。

当消息信号的频谱向下延伸至零或很低的频率时,我们把信号的带宽定义为其上限频率,而高于上限频率的信号频谱可忽略,因此不用于传输信息。例如,一般语音的频谱远低于10 kHz,尽管大多数语音的平均功率集中在100~600 Hz的范围内,但从300~3100 Hz的频谱可以获得较好的清晰度。因此,我们发现对后一个频率范围有较好响应的电话电路能够提供相当令人满意的商用电话服务。

另外很重要的一点是,我们需要牢记在通信系统中会不可避免地出现噪声。噪声指的是会

干扰通信系统传输和处理消息信号的多余波形。噪声源可能在系统内部也可能在系统外部。

测量噪声影响的一个定量方法是引入信噪比(SNR)作为系统的参数。例如,我们可以定义接收机的输入信噪比为信号平均功率和噪声平均功率的比值,二者需要在同一点测量。通常用分贝(dB)来表述信噪比,dB定义为功率比的对数(以10为底)的10倍。例如,信噪比10,100和1000分别对应于10 dB,20 dB和30 dB。

信源

电信环境主要由语音、音乐、图像和计算机数据这四个重要信源组成。信源可以由承载信息的信号来表征。信号定义为时间的单值函数,时间是其惟一的变量;在每个瞬时,函数有惟一的值。信号可以是一维的,如语音、音乐或计算机数据;可以是二维的,如图像;可以是三维的,如视频数据;也可以是四维的,如随时间变化的物体运动数据。下面我们详细阐述不同的信源。

1. 第一种信源是语音。语言是人类交流的基本工具。特别地,语言交流过程包括将信息从说者传送到听者的三个连续步骤:

- 产生:说话者脑中想好的消息是用语音信号表达的。语音信号由声道产生的声音(即压力波)组成,并根据语言规则组织。
- 传播:声波在空气中以300 m/s的传播速度到达听者耳中。
- 理解:传来的声音被收听者翻译为接收到的消息,从而完成了说者与听者之间传送信息的一系列过程。

语音的产生可以看成是一种滤波,由声源激励声道滤波器产生。声道由一条不均匀的代表性区域组成,它始于喉门(即声道的开口),中止于嘴唇。当声音沿着声道传播时,由于声道的频率选择性而形成声音频谱(即频率)。其作用与管风琴的风琴管里观察到的共振现象有些类似。这里必须强调的一点是,语音的功率谱(即长时间平均功率按频率的分布)在频率为零时接近于零,并在几百赫时达到最大值。但为了更合理地分析这个问题,我们必须注意到听觉机制对频率的敏感性。此外,频带是我们所考察的通信系统的重要方面,而通信过程的“本质”就是频带。例如先前提到的信道带宽为300~3100 Hz的适合于商业电话的通信系统。

2. 第二种信源是音乐,由诸如钢琴、小提琴和长笛等乐器产生。当我们按住钢琴键时,乐器演奏出的音符可以持续一小段时间;而当长笛演奏者拖长声音时,音符则可以维持很长一段时间。典型的音乐有两种形式:由一连串声音按时间顺序组成的旋律和由一系列同时发出的声音构成的和声。类似于语音信号,音乐信号也是双极性的。但音乐信号的频谱带宽要宽于语音信号频谱,可以延伸至大约15 kHz。因此,传输音乐信号需要比语音信号更宽的信道带宽。
3. 第三种信源是图像,它依赖于人类视觉系统对它的感知。图像可以是动态的,如电视;也可以是静态的,如传真。首先讨论电视,运动的图像被转换为电子信号,以便于把它们从发射机传送到接收机。要完成这一转变,需要顺序扫描每张完整的图像,扫描过程在电视摄像机中完成。在黑白电视中,摄像机包含有能在光电阴极聚焦图像的光学

器件,光电阴极由大量感光元件组成。产生于感光表面的充电图案被电子束扫描,从而产生一个瞬时变化的输出电流,这个输出电流和原始图片上的点与点之间的空间亮度变化方式相同。此输出电流称为视频信号。电视机中所用的扫描方式是一种称为光栅扫描的空间抽样方式,它将二维空间的图像亮度转变为一维空间的波形。这和我们阅读一张打印稿时的方法相似,从左到右一行一行地扫描。在北美的模拟电视中,一张图像被划分为 525 行以构成一帧。每帧被分解为两个交织场,每个场由 262.5 行组成。为了方便表达,我们称这两个场为 I 和 II。扫描过程如图 2 所示。场 I 用实线绘制,场 II 用虚线绘制。每个场的起始和结束位置也包括在图中。先扫描场 I,电视摄像机的扫描点以恒定的速率从左到右经过场中的每一行,并且测量扫描点中心的图像亮度,扫描点本身是形成图像本地空间平均的部分原因。当扫描到特定行结尾时,扫描点会快速地回扫(以水平方向)到场中下一行的开头。这种回扫称为水平回扫。这里描述的扫描过程一直持续到扫描完整个场。这时,扫描点快速地从场 I 的结束位置(垂直方向)移动到场 II 的起始位置。这种回扫称为垂直回扫。场 II 的扫描过程与场 I 的模式相同。扫描完每个场需要 $1/60\text{ s}$ 。相应地,扫描完一帧或整张图片需要 $1/30\text{ s}$ 。一帧 525 行,行扫描频率为 15.75 kHz 。电视接收机的显像管每秒闪过 30 张静止的图片,因此人类的眼睛接收到的图像看上去是运动的。这一效果是由视觉暂留现象引起的。在水平和垂直回扫的间隔内,发射机产生的消隐脉冲使显像管不工作。此外,用消隐周期中发射的特殊脉冲来实现各种发射机和接收机上不同扫描操作之间的同步。所以,同步脉冲并不显示在重显图片上。电视图像的重显质量受以下两个基本要素限制:

- 光栅扫描可利用的行数,限定垂直方向上的图像分辨率。
- 发射视频信号所能利用的信道带宽,限定水平方向上的图像分辨率。

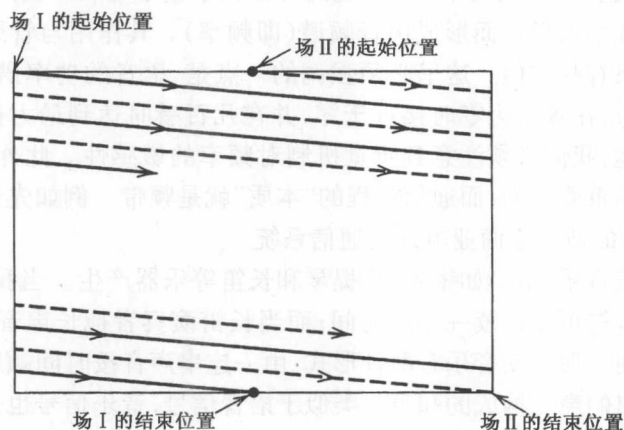


图 2 交织光栅扫描

在每个方向上,分辨率用沿相应方向上电视图像可被观察者分辨的黑白交替的最大线数来表示。在 NTSC(国家电视系统委员会)系统即北美标准中,所用的参数为视频带宽 4.2 MHz ,频率可向下延伸至零。这一带宽比语音信号的带宽大几个数量级。然而

需要注意的是语音信号是双极性的,而视频(电视)信号只有正极(即是单极的)。

在彩色电视中,颜色的感知是依靠人眼中的三种色彩感应器(圆锥细胞)来实现的:红色、绿色和蓝色,其波长分别是 570 nm, 535 nm 和 445 nm。这三种颜色称为三原色,因为自然界中的任何其他颜色都可以近似地用三原色叠加混合而成。这一物理事实实际上就是商业电视广播发射彩色信号的基础。三原色分别用视频信号 $m_R(t)$ 、 $m_G(t)$ 和 $m_B(t)$ 表示。观测表明,为了节省带宽并产生能够在传统黑白(单色)电视接收机上观看的图片,三原色的传输可通过用三种信号对其进行惟一表示来实现,这三种信号是 $m_R(t)$ 、 $m_G(t)$ 和 $m_B(t)$ 信号的独立线性组合,如下所示:

- 亮度信号 $m_L(t)$, 当它被传统的单色电视接收机接收时,就会产生彩色图像的黑白版。
- 一对色差信号 $m_I(t)$ 和 $m_Q(t)$, 用于显示从灰色阴影中分离出的图片颜色。

亮度信号 $m_L(t)$ 被分配给整个 4.2 MHz 的带宽。实验表明:如果色差信号 $m_I(t)$ 和 $m_Q(t)$ 的标称带宽分别为 1.6 MHz 和 0.6 MHz, 则由于人类视觉上的某种特性,可以使色彩的再现达到令人满意的效果。

再来看传真机,这种机器的作用是通过通信信道(最主要是通过电话信道)传送静止的图片。这种机器为从某处向另一处发送手写或打印稿件提供了极大的方便。传真机发送文章与发送图片类似。传真机产生信号的基本原理是通过扫描原始文件(图片)并用图像传感器将光信号转换为电信号。

4. 最后一种信源就是 PC(个人电脑)。PC 在我们的日常生活中起着很大的作用,可用来收发电子邮件、交换软件和共享资源。PC 发送的文本通常用 ASCII 码(美国标准信息交换码)进行编码,ASCII 码是第一种专门为计算机通信而开发的编码方案。每个 ASCII 码的字符由 7 个数据位(bit)组成,它们由 0 和 1 组成的惟一二进制形式构成。Bit 是英文“binary digit”的首字母缩写。所以 ASCII 码共可以表示 $2^7 = 128$ 个不同的字符。这些字符包括小写和大写字母、数字、特殊控制符和 @, \$ 和 % 等常用符号。有些特殊控制符如 BS(回退)和 CR(回车)是用于控制字符打印的。其他符号如 ENQ(查询)和 ETB(块传输结束)则用于通信。完整的 ASCII 字符码见表 A6.1。数据位的排列始于 7 个数据位中的最大比特 b_7 , 一直到最小比特 b_1 , 如图 3 所示。在数据位的结尾,有一个用于错误检测的附加比特 b_8 , 这个错误检测比特称为校验位。一个 8 比特的序列称为字节。奇校验就是设置校验位使得每个字节中 1 的总数为奇数,而偶校验则是设置校验位使得每个字节中 1 的总数为偶数。例如,假设通信双方约定使用偶校验,则数据位中 1 的总数为偶数时,校验位设置为 0, 否则设置为 1。因此,如果字节中有一位接收错误,则违反了奇偶校验规则,检测出后将通过重新发送来纠正错误。PC 经常会通过它们的 RS-232 端口相互连接。当 ASCII 数据(实际上是所有字符数据)通过这些端口发送时,将起始位设置为 0, 并存在一个或多个结束位,将结束位设置为 1 以提供如图 3 所示的字符帧结构。当传输过程空闲时,为保持电路的连接,发送一长串 1。在图 3 中,0 和 1 分别被设计为“低电平”和“高电平”。有时它们也可以分别表示为“空号”和“传号”。后一种术语是电报时代的产物。PC 中准备好的文本通常先进行保存,然后再以一次一个字符的速率通过通信信道(如电话信道)传输。这种数据传输