

信息技术和电气工程学科国际知名教材中译本系列

Mc
Graw
Hill Education

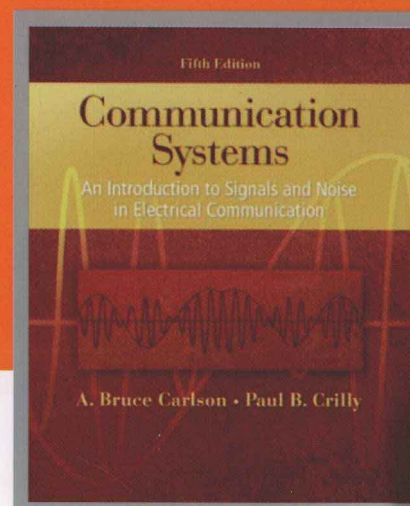
Communication Systems
An Introduction to Signals and Noise
in Electrical Communication
(Fifth Edition)

通信系统

电子通信中的信号与噪声概论 (第5版)

A. Bruce Carlson Paul B. Crilly 著

王钢 马琳 石硕 白旭 译



清华大学出版社

Mc
Graw
Hill

信息技术和电气工程学科国际知名教材中译本系列

Communication Systems
An Introduction to Signals and Noise
in Electrical Communication
(Fifth Edition)

通信系统

电子通信中的信号与噪声概论 (第5版)

A. Bruce Carlson Paul B. Crilly 著

王钢 马琳 石硕 白旭 译

清华大学出版社
北京

A. Bruce Carlson Paul B. Crilly

COMMUNICATION SYSTEMS: An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication, Fifth Edition

ISBN: 0073380407

Copyright © 2010 by McGraw-Hill Companies, Inc.

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 (Asia) and Tsinghua University Press Limited. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2011 by McGraw-Hill Education (Asia), a division of the Singapore Branch of The McGraw-Hill Companies, Inc. and Tsinghua University Press Limited.

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)教育出版公司和清华大学出版社有限公司合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内(不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾)销售。

版权© 2011 由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司与清华大学出版社有限公司所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2010-3520

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

通信系统:电子通信中的信号与噪声概论(第5版)/(美)卡尔森(Carlson, A. B.), (美)克瑞利(Crilly, P. B.)著;王钢等译.—北京:清华大学出版社,2011.12

(信息技术和电气工程学科国际知名教材中译本系列)

书名原文:Communication Systems: An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication

ISBN 978-7-302-26027-1

I. 通… II. ①卡… ②克… ③王… III. 通信系统—教材 IV. TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 131345 号

责任编辑:盛东亮

责任校对:梁毅

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮编:100084

社总机:010-62770175

邮购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者:清华大学印刷厂

经销:全国新华书店

开本:185×260 印张:46 字数:1144千字

版次:2011年12月第1版 印次:2011年12月第1次印刷

印数:1~3000

定价:89.00元

献给我的妻子和最好的朋友

爱丽丝·凯瑟琳·艾伊兰德·克里利

献给我的父母

洛伊丝·布朗·克里利

艾拉·本杰明·克里利

献给我的祖母

哈里特·威尔逊·克里利

前 言

与其前四版一样,本书是一本学习通信系统的入门教材。适用于电子工程专业或计算机工程专业的高年级本科生或一年级硕士研究生。

通信系统的基本概念来源于对信号传输与物理系统固有局限性的初步研究。本书将主要讨论模拟通信系统、随机信号与噪声、数字系统和信息论。

尽管数学方法和模型的重要性在本书中体现得淋漓尽致,但其最终目的还是要用于实际工程。大量的应用已经说明了这些数学方法和模型(特别是对概念和设计策略的描述)的实际意义。本书也包含了一些硬件设计,用来论证各种通信方法、仿真试验以及建立与领域内其他技术的联系。

背景基础知识

本书假设读者已经在电子工程专业或计算机工程专业学习两到三年。最重要的基础知识包括微分方程、稳态和暂态电路分析以及基本电子学知识。读者还应该熟悉运算放大器、数字逻辑和矩阵符号。最好还学习过线性系统分析、傅里叶变换以及概率论。

内容与结构

本书第5版的特色之处在于:(a)本书在网站(www.mhhe.com/carlsoncilly)上增加了MATLAB[®]例题、练习和习题;(b)为了加强本书的理论学习与实际应用,提高学生解决问题的能力,在每章末新增概念性问题;(c)增加了无线通信和电波传播方面的内容,从而使读者能够更好地理解无线系统所面临的挑战;(d)增加了诸如正交频分调制、超宽带系统等数字调制系统;(e)增加了扩频通信内容;(f)讨论了无线网络;(g)配有易于参考和检索的缩略语和数学符号。

在第1章绪论后,本书用两章讲述基础知识。这些知识将应用在随后四章的模拟通信技术中,包括采样和脉冲调制等方面。概率、随机信号和噪声将在接下来的三章中介绍,并应用于模拟系统。电路和系统噪声的讲解分别列于附录中。其余六章用于讲述数字通信和信息论,这些章节需要随机信号和编码脉冲调制的基础知识。

对于有一定基础的本科生,本书全部十六章可用一年的时间讲授。或者本书的前七章作为模拟通信课程,用一学期时间对本科生讲授。如果学生学习过线性系统和概率论的话,那么本书的最后八章的大部分内容可以作为数字通信课程,用一学期时间对高年级本科生或硕士研究生讲授。

① MATLAB 是 MathWorks 公司的注册商标。

章节模块化结构使得本书可以根据需要做出调整。为方便授课选择,各章均以“本章概述”标示出该章各节所讲述的具体内容。

教学工具

从第2章开始,每章都有“学习目标”用来引导学生学习。后面的章节也包含许多例题和练习。练习的目的是帮助学生充分掌握书中所讲的内容,练习答案附在本书最后。例题用于为学生讲解经常混淆的概念和方法。

每章的章末习题都是以章节号码进行编号的。它们涵盖了从基本操作与计算到高级分析与设计方法的各种问题。教师可以从出版商获得课后习题答案。

为了便于学生阅读,本书设置了一些特殊的印刷格式。比如:

- 第一次出现的专业词语用黑体标注。
- 不含公式的重要概念和定理置于方框内。
- 习题序号后带有星号(*)的,说明答案可以在本书后面找到。
- 符号‡说明该习题较其他习题更难。

书后表格总结了各种变换对、数学关系和概率函数以方便查阅。

考虑到通信系统工程师习惯使用一些缩略语,本书将常用缩略语单独列出。同样也列出一些常用数学符号。

在线资源

本书的辅导教材可以通过 www.mhhe.com/carlsoncilly 获得,内含最新计算机网络(TCP/IP)以及数据加密的MATLAB程序和相关材料。该网站提供以补充阅读清单和参考文献列表形式给出的注释书目,同时也配有为教师准备的完整解决方案手册、PowerPoint幻灯片注释以及图库。对于网站的其他信息可以联系销售代表获知。

电子教材选择

广大师生可以从 Course-Smart 获得本书电子版。Course-Smart 是一个在线资源,在这里学生可以几乎以五折的价钱购买本书的在线版本。购买电子图书的学生可以享受到 Course-Smart 网站提供的学习工具,包括全文搜索、笔记和注释、通过电子邮件与同学共享笔记功能。如想获知更多 Course-Smart 的相关信息,可以咨询销售代表或访问网站 www.CourseSmart.com。

致谢

非常感谢为本书前几个版本作出贡献的人。感谢马歇尔·佩斯(Marshall Pace)教授、赛迪克·迪尤阿蒂(Seddick Djouadi)和阿雷尤·法特希(Aly Fathy)对本书提出的宝贵意见并提供图书馆使用;感谢田纳西大学电子工程和计算机科学系的大力支持;感谢朱迪·埃文斯(Judy Evans)女士、达纳·莱森(Dana Bryson)女士、罗伯特·阿米斯特德(Robert

Armistead)先生、杰里·戴维斯(Jerry Davis)先生、马修·史密斯(Matthew Smith)先生和托比亚斯·穆勒(Tobias Mueller)先生在撰写本书时给予的帮助。

当然,还要感谢那些提供宝贵意见的读者,他们是:新泽西理工学院的阿里·阿布迪(Ali Abdi),加州大学伯克利分校的凡卡塔查拉姆·安南萨拉姆(Venkatachalam Anantharam),加州州立大学北岭分校的纳格瓦·柏克(Nagwa Bekir),新墨西哥州立大学的德瓦 K. 博拉(Deva K. Borah),罗彻斯特理工大学的苏海尔·代纳特(Sohail Dianat),北达科他州州立大学的戴维 C. 法登(David C. Farden),西密歇根大学的拉格芬狄拉·格基(Raghvendra Geji),伊利诺伊大学的克里斯托佛洛斯·海德基库斯特斯(Christoforos Hadjicostis),波莫纳加州州立理工大学的詹姆斯康(James Kang)博士,德州大学阿灵顿分校的 K. R. 劳(K. R. Rao)以及奥本大学的基特狄拉 K. 图格奈特(Jitendra K. Tugnait)。

同时也要感谢我的朋友安妮萨·戴维斯(Anissa Davis)女士、爱丽丝·拉富瓦(Alice LaFoy)夫人,感谢斯蒂芬·德比(Stephen Derby)博士、萨米尔·依格哈萨利(Samir ElGhazaly)博士、瓦尔特·格林(Walter Green)博士、梅利莎·迈尔(Melissa Meyer)博士和约翰·萨赫尔(John Sahr)博士对我的鼓励,感谢我的兄弟彼得·克里利(Peter Crilly)和我的子女玛格丽特(Margaret)、梅雷迪思(Meredith)、本杰明(Benjamin)和南森·克里利(Nathan Crilly)对我的支持。特别感谢橡树岭国家实验室的斯蒂芬·史密斯(Stephen Smith)博士利用宝贵的时间审阅本书原稿。我也想同时感谢朗尼·鲁德曼(Lonnie Ludeman)博士,他向我诠释了一个教授的典范。最后,我还要感谢布鲁斯·卡尔森(Bruce Carlson),他使我满怀希望与热情,继续在通信系统领域中学习并完成学业。

保罗·B. 克里利(Paul B. Crilly)

译者序

随着时代的变革与科技的进步,无线通信已经成为人们生产生活中不可替代的重要组成部分。通信系统设计方法和无线信号处理手段的日臻成熟使得“信息化世界和数字化地球”的梦想几乎触手可及。为此,学习通信专业的学生和从事相关技术研究的科研人员不仅需要掌握扎实的理论知识,同时还需要不断关注通信技术的发展趋势并紧跟时代前进的步伐。

作为针对通信工程及相关专业高年级本科生和研究生的教材,如何面对研究领域的不断拓展、系统体制的层出不穷以及技术内容的日新月异成为教材编写中需要考虑的首要问题。本书的作者 A. Bruce Carlson 博士经过多年的探索认为,面向这一特殊学科的书籍不应当试图去“覆盖”技术发展中的方方面面,而是应当努力“揭开”通信科学中最基础、最本质和最核心的内容,从而使得广大学生和工程技术人员易于理解和接受。正因如此,自 1968 年首版《Communication System: an introduction to signals and noise in electrical communication》发行以来,因其深入浅出的论述、通俗易懂的示例以及清晰简明的图表说明等朴实无华的内容,受到了普遍的欢迎并被广泛使用。凭借 40 余年的编写经验及对通信系统准确而又透彻的理解,作者于 2002 年推出的第四版迅速成为多数美国高校通信工程、电子工程以及部分计算机专业高年级本科和研究生的教学用书。随着近年来与国外相关领域交流的不断增多,我们越来越深刻地意识到国内教材在研究深度和设计理念方面与国外经典教材间的差距。McGraw-Hill 出版公司与伦斯勒理工学院和斯坦福大学等多所著名高校专家的努力下,于 2010 年出版了本书的第五版。该版在修正了第四版错误的基础上,在内容和体系方面做了大幅度的调整和规划,所涵盖学生的专业领域也大幅拓宽,这正符合我国对专业人才的培养思路。教材内容和组织上的演变过程翔实地反映出学科发展与技术进步的脉络,这正是译者希望将本书呈现给中国读者的原动力。

作为基础性的通信教材,本书内容翔实、语言精练、理论与实际相结合,被视为通信领域的经典著作,享有很高的声誉。书中不仅系统地讲述了模拟通信系统和数字通信系统中信号处理方面的关键技术,并在各章节的重点和难点部分配有例题和练习,以帮助读者充分掌握书中内容。一些较为深入的内容和常用的知识也在本书的附录部分有所体现。同时,本书在网站上增加了 MATLAB 例题、练习与相应的习题并提供了许多技术资料,供读者和研究人员进一步学习和查阅。

译者投入了大量的时间和精力,在原书第 5 版公开发行人不到一年的时间内完成了全书的翻译工作,将中译本奉献给广大读者,盼望能够为读者所接受,并诚恳接受来自各方面的指教与建议。希望我们的努力能够为我国电子通信技术的研究以及通信产业的发展贡献出自己的力量。

本书由王钢教授、马琳博士、石硕博士、白旭博士四位教师翻译。其中,王钢教授主审,马琳博士统稿。本书的第 9 章、第 12 章、第 13 章、第 14 章由王钢教授翻译,第 1 章、第 2 章、第 16 章、前言、目录、附录、表、索引由马琳博士翻译,第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章、第

10章、习题答案由石硕博士翻译,第3章、第4章、第11章、第15章由白旭博士翻译。此外,参与翻译的人员还有哈尔滨工业大学电子与信息工程学院通信工程系的研究生,他们是:秦丹阳、周牧、黄新林、蒋伟琳、孙丽楠、于迎新、周志华、刘俊、姜琰俊、林佩、王婧、徐欣。在此对他们表示衷心的感谢!

由于语言和技术能力有限,译本中难免存在不当或欠妥之处,欢迎读者批评指正。

译 者

于哈尔滨工业大学

缩 略 语

1×EV-DO	单载波演进数据优化标准
1G,2G,3G	第一、二、三代无线通信技术
3GPP	第三代移动通信合作项目
AC	交流
ACK	确认应答
ADC	模/数转换器
ADSL	非对称数字用户线
AFC	自动频率控制
AGC	自动增益控制
AM	幅度调制
AMI	信号交替反转码
AMPS	高级移动电话服务系统
APK	幅度相位键控
ARQ	自动重复请求
ASK	幅度键控
ASCII	美国信息交换标准码
AVC	自动音量控制
AWGN	加性高斯白噪声
BER	误码率
BJT	双极性晶体管
BPF	带通滤波器
BPSK	二进制频移键控
BSC	二元对称信道
CCD	电荷耦合器件
CCIR	国际无线电咨询委员会
CCITT	国际电报电话咨询委员会
CD	光盘
CDF	累积分布函数
CDMA	码分多址接入
CIRC	交叉-交织里德-所罗门错误控制码
CNR	载噪比
CPFSK	连续相位频移键控
CPs	码片

CRC	循环冗余码或循环冗余校验
CSMA	载波侦听多址访问
CVSDM	连续可变斜率 Delta 调制
CW	连续波
DAC	数/模转换器
dB	分贝
dBm	分贝毫瓦
dBW	分贝瓦
DC	直流电、直流转换器
DCT	离散余弦变换
DDS	直接数字频率合成
DFT	离散傅里叶变换
DLL	延迟锁定环路
DM	Delta 调制
DPCM	差分脉冲编码调制
DPSK	差分相干相移键控
DSB 或 DSB-SC	双边带抑制载波调制
DSL	数字用户线路
DSM	Delta-Sigma 调制器
DSP	数字信号处理或数字信号处理器
DSSS 或 DSS	直接序列扩频
DTV	数字电视
EIRP	等效全向辐射功率
EV-DV	演进、数据与话音
FCC	美国联邦通信委员会
FDD	频分双工
FDM	频分多路复用
FDMA	频分多址接入
FDX	全双工
FEC	前向纠错
FET	场效应晶体管
FFT	快速傅里叶变换
FHSS	跳频扩频
FM	频率调制
FOH	一阶保持
FSK	频移键控
GMSK	高斯滤波最小键控

GPRS	通用分组无线业务
GPS	全球定位系统
GSM	专用移动群或全球移动通信系统
HDSL	高速数字用户线路
HDX	半双工
HDTV	高清晰度电视
HPF	高通滤波器
Hz	赫兹
IDFT	逆离散傅里叶变换
IFFT	逆快速傅里叶变换
IF	中频
IMT-2000	国际移动通信-2000
IP	网际协议
IS-95	过渡标准-95
ISDN	综合业务数字网络
ISI	码间干扰
ISM	工业、科学和医用频段
ISO	国际标准化组织
ITU	国际电信联盟
JFET	结型场效应晶体管
kHz	千赫兹
kW	千瓦特
LAN	局域网
LC	电感电容谐振电路
LO	本地振荡器
LOS	视距
LPC	线性预测编码
LPF	低通滤波器
LSSB 或 LSB	下单边带调制
LTI	线性时不变系统
MA	多址接入
MAI	多址接入干扰
MAP	最大后验
MC	多载波调制
MHz	兆赫兹
MMSE	最小均方误差
modem	调制解调器

MPEG	运动图像专家组
MSK	最小键控
MTSO	移动电话交换局
MUF	最大可用频率
MUX	多路复用器
NAK	否定应答
NAMPS	窄带高级移动电话服务
NBFM	窄带频率调制
NBPM	窄带相位调制
NET	网络
NF	噪声指数
NIST	美国国家标准与技术研究所(即早期的国家标准局)
NRZ	不归零码
NTSC	美国国家电视标准委员会
OFDM	正交频分复用
OFDMA	正交频分多址接入
OOK	二进制开关键控
OQPSK	偏移四相相位键控
OSI	开放系统互连
PAM	脉冲幅度调制
PAR	峰均平均功率比
PCC	并行链接码
PCM	脉冲编码调制
PCS	个人通信业务
PD	鉴相器
PDF	概率密度函数
PEP	包络峰值功率
PLL	锁相环
PM	相位调制
PN	伪噪声
POT	普通老式电话业务
PPM	脉冲位置调制
PRK	倒相键控
PSD	功率谱密度
PSK	相移键控
PWM	脉冲宽度调制
QAM	正交幅度调制

QoS	服务质量
QPSK	四相相移键控
RC	时间常数：阻容
RF	射频
RFC	射频抗流线圈
RFI	射频干扰
RMS	均方根
RS	里德-所罗门
RV	随机变量
RZ	归零
SDR	软件无线电
SIR	信号干扰比
S/N, SNR	信噪比
SDSL	对称数字用户线路
SONET	同步光纤网
SS	扩频
SSB	单边带调制
SX	单工
TCM	网格编码调制
TCP/IP	传输控制协议/网际协议
TDD	时分双工
TDM	时分复用
TDMA	时分多址接入
TH	跳时
THSS	跳时扩频
TH-UWB	跳时超宽带
TR	传输参考
TRF	调谐射频接收机
UHF	超高频
UMTS	通用移动通信系统或 3G
USSB 或 USB	上单边带调制
UWB	超宽带
VCC	压控时钟
VCO	压控振荡器
VDSL	超高速数字用户环路
VHDL	超高速集成电路描述语言
VHF	甚高频

VLSI	超大规模集成电路
VOIP	互联网协议语音技术
VSF	余迹边带调制
W	瓦特
WBFM	宽带调频
WCDMA	宽带码分多址接入
WiLan	无线局域网
WiMAX	微波存取全球互通
Wi-Fi	无线保真或无线局域网
WSS	广义稳态
ZOH	零阶保持

数学符号

A, A_c	振幅及载波振幅
A_e	孔径面积
A_m	单音振幅
$A_v(t)$	带通信号包络
B	带宽(赫兹)
B_T	传输带宽或带通信号的带宽
C	信道容量(比特/秒)、电容(法拉)或校验矢量
$C_{vw}(t_1, t_2)$	信号 $v(t)$ 与 $w(t)$ 的协方差函数
D	偏移系数或脉冲间隔
DR	动态范围
$DFT[], IDFT[]$	离散傅里叶变换和逆离散傅里叶变换
E	误差向量
E, E_1, E_0, E_b	信号能量, 比特 1 的能量, 比特 0 的能量, 比特能量
$E[]$	数学期望算子
$F_X(x)$	X 的累积分布函数
$F_{XY}(x, y)$	X 和 Y 的联合累积分布
G	生成序列向量
$G_x(f)$	信号 $x(t)$ 的功率谱密度
$G_{vw}(f)$	信号 $v(t)$ 与 $w(t)$ 的互谱密度函数
$H(f)$	系统转移函数或频率响应函数
$H_C(f)$	信道频率响应
$H_{eq}(f)$	信道均衡频率响应
$H_Q(f)$	正交滤波器转移函数
IR	镜像载波抑制
$J_n(\beta)$	n 阶幅角为 β 的第一类贝塞尔函数
L, L_{dB}	线性损耗, 带有单位的线性损耗(分贝)
L_u, L_d	上行链路损耗和下行链路损耗
M	数字基底, 例如 $q=M^v$ 或消息变量
N_D	目的噪声功率
N_R	接收噪声功率
N_0	功率谱密度或白噪声谱密度
NF 或 F	噪声系数
$N(f)$	噪声信号谱
P	以瓦特表示的功率

P_c	未调制载波功率
$P(f)$	脉冲频谱
P_e, P_{e0}, P_{e1}	误差概率, 零误差概率, 1 误差概率
P_{bse}, P_{we}	比特误差概率和字误差概率
P_{out}, P_{in}	输出功率, 输入功率(瓦)
P_{dBW}, P_{dBmW}	功率(分贝瓦), 功率(分贝毫瓦)
P_{ϕ}	每一个边带的功率
$P(A), P(i, n)$	A 发生的概率事件和 n 比特字长错 i 比特的概率
$Q[\]$	高斯概率函数
R	阻抗(欧姆)
$R(\tau)$	白噪声的自相关函数
R_c	码速率
$R_v(t_1, t_2)$	信号 $v(t)$ 的自相关函数
$R_{vw}(t_1, t_2)$	信号 $v(t)$ 和信号 $w(t)$ 的互相关函数
S_T	平均发射功率
S_X	信息功率
$S/N, (S/N)_R, (S/N)_D$	信噪比(SNR), 接收信噪比和目的信噪比
S_D	目的信号功率
S_R	接收信号功率
T_b	比特持续时间
T_0, T	重复周期
T_c	直接序列扩频的码片间隔
T_s	采样间隔或周期
$V_{bp}(f)$	带通信号的频域形式
W	信息带宽
X	码向量
X, Y, Z	随机向量
Y	接收码向量
$X(f), Y(f)$	输入和输出频谱
$X_{bp}(f)$	带通频谱
a_k	第 k 个符号
a_n, b_n	三角傅里叶级数系数
c	光速(公里/秒)
c_n	n 阶指数傅里叶级数系数, 或 n 阶横向滤波器权重
c_n^{k+1}	第 n 个抽头系数的第 $k+1$ 次估计
$c(t)$	伪随机序列生成器输出, 或电压控制时钟
d	物理距离
d_{\min}	码距离
f	频率(赫兹)