

 国外名校最新教材精选

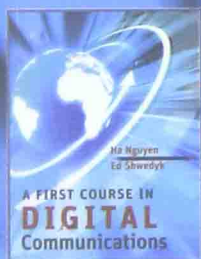
CAMBRIDGE

数字通信入门教程

A First Course in Digital Communications

[加] 哈·尼古耶 著
埃德·施韦迪克

任品毅 孙黎 高贞贞 译



Ha Nguyen, Ed Shwedyk



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

✿ 国外名校最新教材精选

A First Course in Digital Communications

数字通信入门教程

哈·尼古耶
Ha Nguyen
〔加〕埃德·施韦迪克 著
Ed Shwedyk

任品毅 孙黎 高贞贞 译



西安交通大学出版社
Xi'an Jiaotong University Press

TU9.4.3

56

This is a Simplified Chinese translation of the following title published by Cambridge University Press:
A First Course in Digital Communications
ISBN 9780521876131
CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS 2009
This Simplified Chinese translation for the People's Republic of China(excluding Hong Kong, Macau and Taiwan) is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.
©Cambridge University Press and Xian Jiaotong University Press 2014
This Simplified Chinese translation is authorized for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macau and Taiwan) only. Unauthorised export of this Simplified Chinese translation is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of Cambridge University Press and Xian Jiaotong University Press.

陕西省版权局著作权合同登记号 图字 25 - 2014 - 273 号

图书在版编目(CIP)数据

数字通信入门教程/(加)尼古耶(Nguyen,H.),
(加)施韦迪克(Shwedyk,E.)著;任品毅,孙黎,高
贞贞译. —西安:西安交通大学出版社, 2014. 11
书名原文:A first course in digital communications
ISBN 978 - 7 - 5605 - 6792 - 1
I. 数… II. ①尼…②施…③任…④孙…⑤高…
III. 数字通信-教材 IV. ①TN914.3
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 241198 号

书 名 数字通信入门教程
著 者 [加]哈·尼古耶,[加]埃德·施韦迪克
译 者 任品毅 孙 黎 高贞贞
出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 陕西宝石兰印务有限责任公司

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 31
印 数 0001~3000 字数 738 千字
版次印次 2014 年 11 月第 1 版 2014 年 11 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978 - 7 - 5605 - 6792 - 1/TN·148
定 价 72.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。
订购热线:(029)82665248 (029)82665249
投稿热线:(029)82665380
读者信箱:banquan1809@126.com

版权所有 侵权必究

关于本书的评论

“采用循序渐进的方式来设计信号传输和接收技术,并辅以举例、图解说明及联系实际系统的习题解答,是很有帮助的。”

Falah Ali, Sussex 大学电子工程系高级讲师

“这本书与现有书本的区别在于其对简单概念的精心阐述和丰富的举例。”

Hsuan-Jung Su, 台湾大学电子工程系副教授

译者序

随着人类社会和科技水平的快速发展,信息科学技术在人们日常生活中扮演着越来越重要的角色,并且在社会各个领域得到了越来越广泛的应用。自20世纪80年代以来的30年间,移动通信系统经历了从第一代移动通信系统到第四代移动通信系统的演进,并且目前世界各国已经面向第五代移动通信系统展开了广泛研究。在这一发展历程中,移动通信系统实现了由模拟到数字的转变。数字通信凭借着其相较于模拟通信的优势,已成为现代无线通信系统的基石。

本书译自 Ha Nguyen 和 Ed Shwedyk 等人编著的《A First Course in Digital Communications》一书。该书作者长期从事数字通信相关技术的研究,在数字通信领域具有很深的造诣和独到的见解。本书由12章构成,全面系统的论述了数字通信的基本理论,包括确定性信号描述与分析、采样与量化、二元数据传输的最佳接收机设计、基带数据传输、数字带通调制、先进的调制技术、同步技术等内容。本书内容完整、可读性强,涵盖了数字通信技术的各个重要方面,并给出了大量实例帮助读者理解。本书即可以作为初学者的技术入门教材,也可以作为学术界和产业界专业技术人员或技术管理者的高级技术参考。

全书由任品毅、孙黎和高贞贞翻译,其中孙黎参与了第10章至第12章的翻译工作,高贞贞参与了第7章至第9章的翻译工作,任品毅完成了其余章节的翻译并负责全书的统稿工作。在本书翻译过程中,得到了王熠晨、陈浩和杜清河等对本书文稿及图片的协助整理。最后,衷心地感谢责任编辑赵丽萍老师和白居易老师的大力协助,没有他们的帮助,本书将难以完成。由于水平所限,译文不可避免的存在一些主观片面性,书中不妥和错误之处在所难免,殷切希望广大读者和同行专家批评指正。

2014. 7. 11

序 言

正如题目所示,这本教材是针对第一次学习数字通信的学生。尽管该书也可用于自学,但其定位是针对大学四年级的学生进行课堂授课。这本教材也可以用于研究生的初级课程。读者需要的基本背景知识是:1)基本的线性电路及系统的概念;2)基本的信号理论及分析知识;3)基础的概率论知识。尽管大部分电子与计算机工程系的本科生在最后一年具有这样的背景知识,本书也包含两章回顾性的内容,推荐读者阅读。

通过阅读这些章节读者会感受到作者的教学方式及符号的使用。本书中使用的符号是相当标准的,除了随机变量或随机过程,这些符号都忠实的采用粗体。一些典型的入门课程中可能并没有介绍随机变量及随机过程,但由于它们在数字通信中的重要性,本书某些章节对这部分知识进行了详细解释。关于随机信号的主要内容在第3章给出,主要介绍随机变量及概率的概念。另一个在一般入门式信号课程里没有触及或者粗略介绍的内容是自相关和互相关及相应的能量谱及功率谱密度。关于这部分内容,第2章和第3章分别针对确定信号和随机信号进行了分析。

本教材的材料是基于对三所大学的大学生多年来对数字(及模拟)通信的教学经验撰写而成(第二位作者具有超过20年的教学经验)。在这三所大学中,这个课程是一个学期的时间包括月36个小时的课时。学生具有各样的背景:在一所大学他们学过一个预备课程,其中包括模拟通信和随机过程,在第二所大学他们对随机没有任何背景知识。这两所大学的学生不是电子工程专业的。第三所大学的学生是电信专业的。除了关于高级调制部分的内容(第11章),课本的内容可以在安排的课时里顺利完成。

这本教材的阐述主要受到了两本经典教材的影响:JM

Wozencraft 及 I. M. Jacobs 的《通信工程基本理论》(John Wiley & Sons, 1965) 和 H. L. van Trees 的《检测、估计及调制理论——第一部分》(Wiley & Sons, 1968)。这两本教材是针对研究生的,但是作者的经验证明他们介绍数字通信基本概念的方式可以被运用于特定的本科生教学。本教材采用的方法是在开始时就介绍信号空间、充分统计量及似然比检测的概念。大部分入门课程在很晚的时候才介绍。在我们的经验中,信号空间方法提供的几何解释可以弥补对抽象概念感知的不足。当然学生也很支持这种教学方法。另外一个主要的特有的区别于同类标准教材的特点在于动态搜索算法:即称之为维特比算法的介绍。这部分介绍在教材的第 6 章(基带调制)出现并在随后的章节中使用。维特比算法是利用“记忆”的调制编码技术中很重要的一种搜索方法。几乎不变的是,现代数字通信系统总是采用这种调制编码,这个概念很重要,因此需要作为基本内容来学习。

尽管指导授课老师该如何去讲授本教材的内容显得冒昧,但是给出一些教学指南还是比较合适的。本教材的核心内容是 4~8 章。讲授这些内容时应该按照教材中的顺序并且进行详细讲解,因为这些内容是数字通信的基础。在这些章节之后作者在第 12 章具有代表性地介绍了同步。这部分至少给学生介绍通信工程中重要的一面:同步。第 9,10 章可以独立讲授,第 9 章是关于带限信道和加性高斯白噪声,第 10 章是关于衰落信道。第 11 章考察了高级调制技术,分为 3 个主要部分。第一部分是关于格型编码调制,可在第 8 章之后讲授。另外两部分是关于码分多址和空时传输,需要有 10.4.1 部分介绍的瑞利衰落信道模型的知识。这三章中的任意部分,授课老师可以自行选择不同的课题进行讲解,其余内容可以作为阅读材料。从教学上来看,这些内容是基于核心章节的概念之上,所以读者可以容易地阅读。

致 谢

第一作者感谢萨斯喀彻温大学选修他的课程的本科生和研究生。他们的问题、建议和错误帮助作者提高授课技巧及促进本教材的撰写。作者感谢萨斯喀彻温大学电子与计算机工程系通信系统研究组的同事们所提供的专业支持及鼓励。作者很乐意感谢萨斯喀彻温大学通过出版基金的方式所给予的财力支持。作者尤其感谢他的妻子 Hanh, 为了她辛苦的献身于抚养他们三个可爱的孩子: Namca, Nammi, 和 Namvinh。没有他们付出的爱、支持和幸福, 这本书就不可能完成。

第二作者感谢所有在过去这些年他有幸教过的研究生。作者从他们身上学到很多。曼尼托巴大学电子与计算机工程系提供了一个优秀的职业成长环境。加拿大国家自然科学及工程研究委员会提供的支持对此教材的完成也是至关重要的。衷心感谢他的妻子 Gail 和孩子 Edwina, 及 Daen 近半个世纪的支持和爱。最后, 这本教材献给过去的和将来的亲人。过去的亲人是指作者的父亲 George, 他徐徐的教导给了作者一颗热爱学习的心。将来的亲人是指两个可爱的孙子, Miriam 和 Silas。

缩略语

A/D	模数转换 Analog to Digital
AC	交流电 Alternating Current
AM-SC	抑制载波的幅度调制 Amplitude Modulation-Suppressed Carrier
AM	幅度调制 Amplitude Modulation
AMI-NRZ	非归零传号交替反转码 Alternate Mark invert-Nonreturn to Zero
ASCII	美国信息互换标准代码 American Standard Code for Information Interchange
ASK	幅移键控 Amplitude Shift Keying
AT&T	美国电话电报公司 American Telephone & Telegraph Company
AWGN	加性高斯白噪声 Additive White Gaussian Noise
BASK	二进制幅移键控 Binary Amplitude Shift Keying
BER	比特错误率 Bit Error Rate
BFSK	二进制频移键控 Binary Frequency Shift Keying
Bi Φ -L	双相电平 Biphase-Level
Bi Φ	双相 Biphase
BPF	带通滤波器 Bandpass Filter
BPSK	二进制相移键控 Binary Phase Shift Keying
BSC	二进制对称信道 Binary Symmetric Channel
cdf	累积分布函数 cumulative distribution function
CDMA	码分多址 Code Division Multiple Access
CMI	代码模式反演 Code Mode Inversion
CPFSK	连续相位频移键控 Continuous-Phase Frequency Shift Keying
CPM	连续相位调制 Continuous-Phase Modulation
DBPSK	差分二进制相移键控 Differential Binary Phase Shift Keying
DA	数据辅助 Data-Aided
DC	直流 Direct Current
DMI	差分模式反演 Differential Mode Inversion
DPCM	差分脉冲编码调制 Differential Pulse Code Modulation
DSB-SC	抑制载波的双边带 Double Sideband-Suppressed Carrier
DSSS	直接序列扩频 Direct Sequence Spread Spectrum
FDM	频分复用 Frequency Division Multiplexing

FM	频率调制 Frequency Modulation
FSK	频移键控 Frequency Shift Keying
i. i. d	独立同分布 independent and identically distributed
ISI	符号间干扰 InterSymbol Interference
LAN	局域网 Local Area Network
LHS	左边 Left-Hand Side
LOS	视距 Line Of Sight
LDPC	低密度奇偶校验 Low-Density Parity Check
LPF	低通滤波器 LowPass Filter
LSSB	下单边带 Lower Single Sideband
LTl	线性时不变 Linear Time Invariant
MAC	媒体接入控制 Medium Access Control
MAI	多接入干扰 Multiple-Access Interference
MLSD	最大似然序列解调 Maximum Likelihood Sequence Demodulation
MLSE	最大似然序列估计(器)Maximum Likelihood Sequence Estimator (or Estimate)
MMSE	最小均方误差 Minimum Mean-Square Error
MSK	最小频移键控 Minimum Shift Keying
NDA	非数据辅助 NonData-Aided
NRZ -L	不归零电平 Nonreturn to Zero-Level
NRZ	不归零 Nonreturn to Zero
NRZI	不归零反相编码 Nonreturn ro Zero Inverse
OFDM	正交频分复用 Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OOK	二进制启闭键控 On Off Keying
OQPSK	偏移四相相依键控 Offset Quadrate Phase-Shift Keying
OSI	开放式系统互连 Open System Interconnection
PAM	脉冲幅度调制 Pulse Amplitude Modulation
PCM	脉冲编码调制 Pulse Code Modulation
pdf	概率密度函数 probability density function
PLL	锁相环 Phase Lock Loop
pmf	概率质量函数 probability mass function
PPM	脉冲位置调制 Pulse Position Modulation
PRS	局部响应信令 Partial Response Signalling
PSD	功率谱密度 Power Spectral Density
PSK	相移键控 Phase Shift Keying
PSTN	公共交换电话网 Public Switched Telephone Network
PWM	脉冲宽度调制 Pulse Width Modulation
QAM	正交幅度调制 Quadrature Amplitude Modulation

QoS	服务质量 Quality of Service
QPSK	四相相移键控 Quadrature Phase-Shift Keying
RHS	右边 Right-Hand Side
RMS	均方根 Root Mean Squared
RZ-L	归零电平 Return to Zero-Level
RZ	归零 Return to Zero
SIR	信干比 Signal to Interference Ratio
SNR	信噪比 Signal to Noise Ratio
SNR _q	量化信噪比 Signal to Noise Ratio quantization
SRRC	根升余弦 Square Root Raised Cosine
SSB-ASK	单边带幅移键控 Single Sideband-Amplitude Shift Keying
SSB	单边带 Single Sideband
STBC	空时分组码 Space Time Block Code
TCM	网格编码调制 Trellis Coded Modulation
USB	通用串行总线 Universal Serial Bus
USSB	上单边带 Upper Single Sideband
VCO	压控振荡器 Voltage Controlled Oscillator
WSS	广义平稳 Wide-Sense Stationary
XOR	异或 Exclusive Or

目 录

译者序	
序言	
致谢	
缩略语	

第 1 章 绪论	(1)
1.1 开放式系统互连(OSI)模型	(2)
1.2 典型数字通信系统的模块示意图	(4)
1.3 教材提纲	(6)
参考文献	(7)
第 2 章 确定信号的描述和分析	(8)
2.1 引言	(8)
2.2 确定信号	(9)
2.3 周期信号	(9)
2.3.1 用(傅里叶)级数展开表示	(9)
2.3.2 傅里叶级数的性质	(13)
2.3.3 傅里叶级数举例	(15)
2.3.4 举例讨论	(20)
2.3.5 周期信号的频谱	(20)
2.3.6 两个信号乘积的傅里叶级数	(26)
2.4 非周期信号	(28)
2.4.1 傅里叶变换表达的推导	(28)
2.4.2 傅里叶变换举例	(30)
2.4.3 傅里叶变换的性质	(39)
2.4.4 傅里叶级数和傅里叶变换之间的关系	(43)
2.5 线性时不变系统中的输入/输出关系	(43)
2.5.1 信号的能量/功率关系	(45)
2.6 时间带宽积	(49)
2.7 总结	(52)
2.8 习题	(52)

第 3 章 概率论、随机变量和随机过程	(66)
3.1 随机变量	(66)
3.1.1 样本空间和概率	(66)
3.1.2 随机变量	(68)
3.1.3 随机变量的期望	(73)
3.1.4 多随机变量	(74)
3.2 随机过程	(76)
3.2.1 随机过程的分类	(78)
3.2.2 统计平均或联合矩	(79)
3.2.3 随机过程的功率谱密度	(80)
3.2.4 时间平均及各态历经	(84)
3.3 随机过程和 LTI 系统	(86)
3.4 通信系统中的噪声	(88)
3.5 高斯随机变量和过程	(91)
3.6 总结	(101)
3.7 习题	(102)
第 4 章 采样与量化	(114)
4.1 连续时间信号的采样	(114)
4.1.1 理想(或冲激)采样	(115)
4.1.2 自然采样	(117)
4.1.3 平顶采样	(118)
4.2 脉冲调制	(120)
4.3 量化	(123)
4.3.1 均匀量化器	(124)
4.3.2 最优量化器	(126)
4.3.3 鲁棒量化器	(127)
4.3.4 非均匀量化器的 SNR_q	(129)
4.3.5 差分量化器	(131)
4.4 脉冲编码调制	(135)
4.5 总结	(136)
4.6 习题	(136)
第 5 章 二进制数据传输的最优接收机	(144)
5.1 信号 $s_1(t)$ 和 $s_2(t)$ 的几何表示	(145)
5.2 噪声的表达	(153)
5.3 最优接收机	(154)
5.4 接收机的实现	(158)
5.5 具有一个相关器(或匹配滤波器)的接收机实现	(163)

5.6	接收机性能	(166)
5.7	数字调制的功率谱密度	(173)
5.8	任意二进制调制的 PSD 推导	(174)
5.9	总结	(177)
5.10	习题	(178)
第 6 章	基带数据传输	(193)
6.1	引言	(193)
6.2	基带信号方案	(194)
6.3	误差性能	(197)
6.4	米勒信号的最优序列解调	(202)
6.5	频谱	(208)
6.6	差分调制	(210)
6.7	总结	(211)
6.8	习题	(212)
	参考文献	(219)
第 7 章	基本数字带通调制	(220)
7.1	引言	(220)
7.2	二进制幅移键控(BASK)	(221)
7.3	二进制相移键控(BPSK)	(223)
7.4	二进制频移键控(BFSK)	(224)
7.5	BASK, BPSK 和 BFSK 的性能比较	(226)
7.6	关于频谱效率的数字调制技术	(227)
7.6.1	正交相移键控(QPSK)	(227)
7.6.2	QPSK 的另一种表示	(233)
7.6.3	偏移正交相移键控(OQPSK)	(237)
7.6.4	最小频移键控(MSK)	(238)
7.7	总结	(244)
7.8	习题	(245)
	参考文献	(252)
第 8 章	M 维信号技术	(253)
8.1	引言	(253)
8.2	M 维信号的最优接收机	(254)
8.3	M 维相干幅度键控(M -ASK)	(256)
8.4	M 维相移键控(M -PSK)	(260)
8.5	M 维正交幅度调制(M -QAM)	(264)
8.6	M 维相干频移键控(M -FSK)	(270)

8.7	M 维信号技术的比较	(275)
8.8	香农信道容量定理	(277)
8.9	总结	(278)
8.10	习题	(279)
	参考文献	(287)
第 9 章	带限信道上的信号技术	(288)
9.1	引言	(288)
9.2	通信系统模型	(289)
9.3	零 ISI 的奈奎斯特准则	(290)
9.3.1	发送和接收滤波器的设计	(296)
9.3.2	双二进制调制	(300)
9.4	最大似然序列检测	(303)
9.5	总结	(312)
9.6	习题	(312)
第 10 章	衰落信道上的信号传输	(319)
10.1	引言	(319)
10.2	随机幅度下的解调	(320)
10.3	带随机相位的解调	(322)
10.3.1	非相干 BASK 的最优接收机	(323)
10.3.2	非相干 BFSK 的最优接收机	(327)
10.3.3	差分 BPSK 及其最优解调	(330)
10.4	带随机幅度和随机相位的检测:瑞利衰落信道	(334)
10.4.1	衰落信道模型	(334)
10.4.2	瑞利衰落下二进制 FSK 的非相干解调	(336)
10.4.3	采用相干解调的 BFSK 和 BPSK	(340)
10.5	分集	(341)
10.5.1	采用分集的二进制 FSK 的最优解调	(342)
10.5.2	最优分集	(346)
10.6	中心极限定理	(347)
10.7	总结	(350)
10.8	习题	(351)
	参考文献	(356)
第 11 章	高级调制技术	(357)
11.1	格型编码调制(TCM)	(357)
11.1.1	对 TCM 所获取的性能改善的解释	(369)
11.1.2	一种常用的(合理的)TCM 方法	(370)

11.1.3	TCM 的解调	(375)
11.1.4	TCM 的错误性能	(377)
11.1.5	旋转不变性的差分 TCM	(380)
11.2	码分多址(CDMA)	(387)
11.2.1	扩频	(387)
11.2.2	CDMA	(393)
11.2.3	伪随机序列:生成方法与性质	(400)
11.2.4	特征波形的自相关和互相关	(404)
11.2.5	功率控制	(406)
11.2.6	Rake 接收机	(406)
11.3	空-时传输	(411)
11.3.1	接收分集	(412)
11.3.2	发射分集	(412)
11.4	习题	(422)
	参考文献	(426)
第 12 章	同步	(428)
12.1	引言	(428)
12.2	相位偏移和载频估计	(432)
12.2.1	锁相环(PLL)	(432)
12.2.2	正弦 PLL 的等效模型	(436)
12.2.3	二阶锁相环的动态特性	(438)
12.3	载频抑制调制的相位和载频捕获	(442)
12.4	符号定时的确定(估计)	(446)
12.5	总结	(448)
12.6	习题	(449)
	参考文献	(454)
索引		(455)

第 1 章

绪 论

任何时间、任何地点、任何事情是数字通信的格言和目标。任何时间是指人们可以在 7 天 24 小时内任意时间进行通信；任何地点是指人们可以在任意地理位置进行通信，至少不会被束缚于有线电话；任何事情是指不仅有传统的语音和视频而且还有其它信息，主要是指文本信息，也可以在相同的信道上传输，这些信息不是逐个的传输而是合并起来传输。过去三十多年数字通信系统很大程度上已经达到了这三个目标。各种文本信息，例如电子邮件、因特网接入等是很现实的。网络广播和播客业务也变得常见。世界各处通过互联网被连接成了一个全球范围的通信系统。

也许第四个“任何”也可以被认为是重要的，那就是任何人。尽管也许没有前三个那样好的发展，数字通信有潜力成为任何人都负担得起的通信。数字电路的一个特征就是其造价相比于其容量保持着显著降低。因此尽管模拟通信可以达到前面三个目标，数字通信由于其持续增长的低造价、灵活性、鲁棒性及易于实施的特点，已经成为更被看好的技术。

这本教材是介绍数字通信的基本知识，面向希望理解数字通信设计中的重要方面的人员。在开始介绍教材内容和组织之前，首先介绍一下数字通信的简略历史及一些普遍评论。

尽管通信没有出现在马斯洛需求层次理论^[1]，通信对任何生命有机体、人类及其他仍然都是很重要的。为了促进通信的进程，人类和人类社会发展了各种技巧和科技。这些发展的原动力就是增加通信距离的需求、增加通信速率的需求和保持可靠通信的需求。直到上世纪后半叶通信系统才开始达到可靠、普遍和全球式的通信。很多因素促成了这些发展，但核心是由于迅速的采用了数字通信。

那么什么是数字通信？定义有很多种，但是最简单的是：数字通信是在有限的时间间隔里（符号间隔）采用有限字母集（符号集）来对信息进行的通信（或传输）。例如眉毛的掀起，一个眨眼、点头或者一个耸肩都可以被认为是数字通信^①。然而，这些例子中的信息集合和距离都是受限的。更有意义的数字通信系统很早就被开发了：罗马军队利用盾牌和阳光来反射信号进行视距距离的通信；与此类似，北美土著利用烟雾信号（进行通信）。这只是列出了两个工业

^① 在后文给出的一个典型数字通信系统模块框图中，留给读者去鉴别所描述的场景中源信息符号集、发射机、接收机、信道、可能的损耗等。