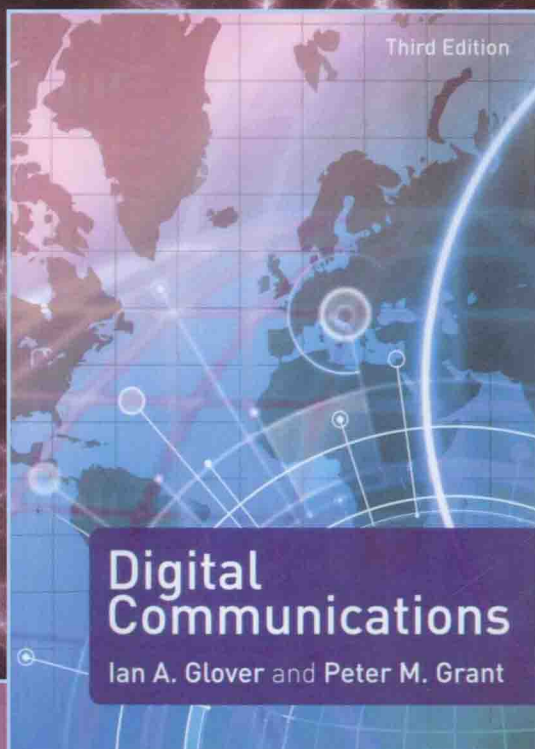


数字通信

(原书第3版)

[英] Ian A. Glover Peter M. Grant 著
关欣 宋晓炜 杨蕾 鲍虎 等译
李锵 审校

*Digital
Communications
3E*



数字通信

(原书第3版)

[英] Ian A. Glover Peter M. Grant 著

关欣 宋晓炜 杨蕾 鲍虎 等译

李镕 审校

*Digital
Communications
3E*



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

数字通信 (原书第 3 版) / (英) 格罗弗 (Glover, I. A.), (英) 格兰特 (Grant, P.M.) 著; 关欣等译. —北京: 机械工业出版社, 2013.11

(电气与电子信息科学译丛)

书名原文: Digital Communications, Third Edition

ISBN 978-7-111-44435-0

I. 数… II. ① 格… ② 格… ③ 关… III. 数字通信 IV. TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 246793 号

版权所有 · 侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书版权登记号: 图字: 01-2010-4826

Ian A.Glover, Peter M.Grant: Digital Communications, Third Edition (ISBN 978-0-273-71830-7).

Copyright © 1998 by Prentice Hall Europe, 2004, 2010 by Pearson Education Limited.

This translation of *Digital Communications, Third Edition* (ISBN 978-0-273-71830-7) is published by arrangement with Pearson Education Limited.

All rights reserved.

本书中文简体字版由英国 Pearson Education 培生教育出版集团授权出版。

本书介绍现代数字通信系统的工作原理与性能。主要内容包括信号、噪声与系统的性质以及有关的数学模型的概述, 确保数字通信系统性能良好所需采用的模数转换、编码与调制技术, 噪声的物理特性以及单级或多级传输链路末端的 CNR 的预测, 通信系统的计算机仿真, 同时还讨论了现代数字电话、陆地和卫星微波系统、蜂窝移动无线系统、视频编码系统以及交换技术与电信网等。在第 3 版中, 内容与当前的最新技术更加保持同步, 着重反映了数字通信领域最近 5 年的发展成果, 特别是第 21 章介绍网络内容时新增了 FDDI、DQDB、MIMO、UWB 等内容。

本书可作为通信工程、电子与电气工程等专业的本科生或研究生教材, 也可供通信工程技术人员参考。

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 刘立卿

蒙城市京瑞印刷有限公司印刷

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

185mm×260mm·48.25 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-44435-0

定 价: 119.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

投稿热线: (010) 88379604

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

译者序

通信是人类社会传递信息、交流思想、传播知识的重要手段。通信技术与计算机技术和网络技术的紧密结合,为通信技术的迅猛发展不断注入新的生机与活力,现代通信系统和通信网正朝着数字化、智能化、宽带化、综合化、个人化的方向发展,其必将成为推动人类社会信息化发展的动力源泉。

本书是 Ian A. Glover 和 Peter M. Grant 两位教授 20 多年在英国巴斯大学 (University of Bath)、布拉德福大学 (University of Bradford) 和爱丁堡大学 (University of Edinburgh) 从事教学和科研成果的总结。该书全面、系统地论述了数字通信的基本理论、关键技术、主要应用以及通信网的最新发展。

该书第 1 章简要回顾通信系统的发展历史。第一部分即第 2~4 章介绍了学习数字通信所需的关于周期信号、瞬时信号和随机信号的数学理论和线性传输系统理论。第二部分即第 5~13 章系统地阐述了数字通信的基本原理,包括取样与多路复用、基带有线传输、判决理论与信息论、加密及差错控制编码、带通调制方法、接收功率与通信链路信噪比计算以及通信系统性能的仿真评估方法。第三部分即第 14~16 章介绍了数字通信技术在陆地和卫星微波通信系统、蜂窝移动通信系统以及视频系统中的应用。第四部分即第 17~21 章对通信网的拓扑结构、接入技术及信令、路由协议、网络体系结构、网络性能以及几种典型的网络进行了详细论述。

该书各章都配有丰富的例题,图文并茂,密切联系实际,并且每章都有小结和习题,既有助于加深对所学内容的理解,又具有一定的实用价值。全书内容深入浅出,概念阐述清晰,理论分析严谨,逻辑性强,不仅是一本面向高等院校电子、信息、通信、计算机等专业高年级本科生或低年级研究生的教科书,而且是一本比较全面、系统、深入的数字通信方面的专著,对通信领域的科研技术人员也极具参考价值。

本书第 3 版的翻译是在第 2 版的基础上完成的,翻译人员分工有所调整,其中前言、第 1~5 章由李镔翻译,第 6~9 章由杨蕾翻译,第 10~13 章由关欣翻译,第 14~16 章由鲍虎翻译,第 17~20 章由宋晓炜翻译,第 21 章以及附录、缩写词由张瑞峰翻译。协助本书相关章节翻译的还有董健、张为、杨爱萍、马杰、王淑艳、刘艳艳、肖志涛、汪剑鸣、赵全明、王昕、刘航、饶中阳、马爱萍、郭琦等,全书由李镔负责统稿和审校。该书的翻译出版是集体智慧的结晶,渗透着众人的汗水。首先感谢参与第 2 版翻译的全体老师和学生,他们的工作对于提高第 3 版的翻译质量起到了积极的促进作用;其次对所有为本书的出版提供帮助的人们表示诚挚的感谢!

由于译审者水平有限,加之时间仓促,译文中难免有不妥乃至错误之处,敬请读者不吝指正。

前 言

数字通信是一个飞速发展的应用领域，目前该领域的很多重要活动包括开发供个人使用的移动通信设备，通过光纤的发展来扩展骨干传输结构的可用带宽（即承载信息的容量），以及在数据通信中普遍地使用网络。

本书主要有 4 个方面的目的：（1）阐述理解现代数字通信设备和技术所需的关于信号与系统的数学理论；（2）将这些概念应用并扩展到在有噪声以及其他损伤机制存在的环境中具有鲁棒性的信息传输链路上；（3）说明固定与移动数据通信系统如何利用这样的传输链路进行音频和视频传输；（4）介绍由许多不同拓扑结构的传输链路相互连接而成的现代通信网的工作原理。

书中素材都安排在适当的历史背景之下，绝大多数章节都包括大量的例题用以说明相关的内容，并以专门设计的习题结束各章，帮助读者提高其对相应内容的理解程度。

第 1 章总结了通信系统发展的历史，并介绍了有线传输与无线传输中的一些基本概念，如接入、调制、多路复用、编码与交换等。同时，该章还概述了数字通信系统较现在已被全面取代的旧的模拟通信系统的优势。

接下来的内容分为四个部分，反映了前面提到的本书 4 个方面的目的。第一部分包括第 2~4 章，专门介绍周期信号、瞬态信号和随机信号的基本理论以及线性传输系统的概念。第二部分包括第 5~13 章，涵盖了数字通信的基本原理，包括取样与多路复用、基带有线传输、判决理论与信息论、加密以及包括 turbo 编码在内的差错控制编码；第二部分还涉及对现代通信系统中所用的许多带通调制方法的介绍，接收功率与相应的通信链路信噪比的计算，以及在实际构建硬件之前如何通过仿真来评估系统的性能。

第三部分包括第 14~16 章，阐述了在固定的点到点陆地和卫星微波通信系统中、移动与蜂窝通信系统中以及视频（TV）传输与存储系统中如何应用数字通信的基本原理。第四部分包括第 17~21 章，主要介绍通信网。在讲述排队论之前，首先讨论了网络拓扑结构、接入技术以及信令、路由协议和网络体系结构等，之后很自然地过渡到公共网络——SDH 与 ISDN 以及国际认可的全球数字电信网的标准，最后以广播网络即有线局域网和无线局域网结束这部分的讨论。新版中彻底修订并加以扩充的关于网络的内容会将读者带入一个飞速发展的无线网络技术领域。

为了帮助读者阅读本书，书中还列出了缩写词以及本书数学部分使用的符号和约定。

另外，在本书后面还提供了重要的 WWW 网址、标准和参考资料等，这部分列出了本书参考的所有出版物，各参考资料在书中均以作者的姓名、出版年份在方括号中进行了标注。

本书面向通信工程、电子工程或电气工程等专业的本科生或研究生，我们认为这些读者所掌握的数学概念完全能够轻松地应付第一部分的内容。

本书是在巴斯大学（University of Bath）、布拉德福大学（University of Bradford）和爱丁堡大学（University of Edinburgh）从 1990 年至今工学学士、工学硕士、理学硕士的信号理论与数字通信的核心课程和选修课程讲稿的基础上编写而成的。但是，我们进一步扩展了书中的内容，包括了对数字 PCM、SDH、分组语音系统的实现以及光纤和微波长途通信系统的容

量的讲解，通过平衡理论、应用与系统实现三方面的内容，我们希望本书对学术研究和快速发展的通信工业都发挥有益的作用。

为了帮助教师和学生使用本书，可以通过爱丁堡大学的服务器 <http://www.see.ed.ac.uk/~pmg/DIGICOMMS/index.html> 或者培生教育集团网站 www.pearsoned.co.uk/glover 获得本书的勘误表和各章后大部分习题的解题指导。

另外，从上述服务器地址还可以获得滤波、变换和自适应处理器方面的更进一步的软件实例。

Ian Glover, Peter Grant

致 谢

第 1 版

本书的部分内容是在爱丁堡大学和布拉德福大学为工学学士、工学硕士和理学硕士开设的课程中发展而来的，其中三门课程首先是由爱丁堡大学的 James Dripps 博士、布拉德福大学的 Peter Watson 教授和 Neil McEwan 博士讲授的，感谢他们建立了这些课程的最初框架，这也体现在本书的目录和结构中。感谢 Dripps 博士提供了第 7 章和第 9 章的初稿，以及现在第 6、10、17 和 18 章的部分材料。感谢 McEwan 博士以教案的形式提供了 2.5.1 节、4.3.1 节、4.3.2 节和 4.3.3 节的初稿。第 2、3、4、8 和 11 章的一些材料来自布拉德福大学 Watson 教授和 McEwan 博士的课堂笔记。感谢 Brian Flynn 博士对第 19 章部分内容的帮助，感谢 Angus McLachlan 博士提供了第 12 章的最初构想，感谢位于南昆斯费里（South Queensferry）的惠普公司电信部的 Tom Crawford 博士提供了第 19 章的更深入的材料以及对第 6 章的最初看法。还要感谢拉夫堡工业大学的 David Parish 博士提供了第 16 章的初稿，曼彻斯特维多利亚大学的 Paddy Farrel 教授对第 10 章提出的有益建议，以及爱丁堡大学的 David Cruickshank 博士对本书网站上提供的习题解答所做的工作。

感谢为本书各章节提出详细评述的布拉德福大学和爱丁堡大学的全体同仁，也要感谢阅读本书早期版本并对其进行评述的广大学生，他们为各章后习题的编排、精简提供了帮助，特别是 Yoo-Sok Saw 和 Paul Antoszczyszyn 慷慨地提供了第 16 章的图形材料。

特别感谢 Joan Burton、Liz Paterson、Diane Armstrong 和 Beverley Thomas 数年来坚持录入本书从最初构想到当前形式的许多版本，还要感谢 Bruce Hassall 在本书最终版本的字体和格式编排中的慷慨帮助。

最后，我们必须感谢我们各自的家人，Nandini 和 Sonia，Marjory、Lindsay 和 Jenny，她们为支持我们写作此书付出了大量的时间。

Ian Glover , Peter Grant

1998 年

第 2 版

本书第 2 版是从爱丁堡大学、巴斯大学和布拉德福大学为工学学士、工学硕士和理学硕士开设的课程中进一步发展而来的。感谢伯明翰大学的 Keith Blow 教授对第 12 章所做的更新，布拉德福大学的 Mike Woodward 教授对第 17 章（本版第 19 章）所做的修订，布拉德福大学的 Simon Shepherd 教授对第 9 章中关于加密的新材料的仔细阅读和评述，巴斯大学的 Robert Watson 博士为第 10 章中 turbo 编码一节和第 21 章中蓝牙一节所做的准备工作，巴斯大学的 John Martin 和 Steve Pennock 为提供本书修订版第四部分中关于网络的材料所给予的慷慨帮助，以及爱丁堡大学的 David Cruickshank 博士对本书网站上提供的习题解答的一贯帮助。

感谢再次为本书各章节提供详细评述的巴斯大学和爱丁堡大学的全体同仁，也要感谢继续阅读本书、对各章内容提出改进建议并为习题提供解答的许多同学，还要感谢世界各地选用本书的教师，他们通过电子邮件提出了许多积极的评述和建议。

特别要感谢 Diane Armstrong、Caroline Saunders 和 Kim Orsi 坚持录入了本书所有修订的章节和表格，同时感谢爱丁堡大学工程与电子学学院 IT 服务经理 Bruce Hassall 和他的同事，特别是 Michael Gordon，为获得本书最终稿的专业级编排，他们在排版、格式和图表编辑中给予了大力帮助。

最后，我们必须感谢各自的家人，Nandini 和 Sonia，Marjory，她们为支持我们编写和修订本书付出了大量时间。

Ian Glover, Peter Grant

2003 年

第 3 版

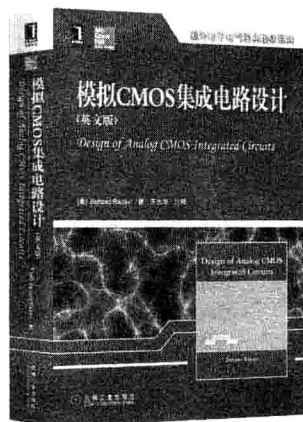
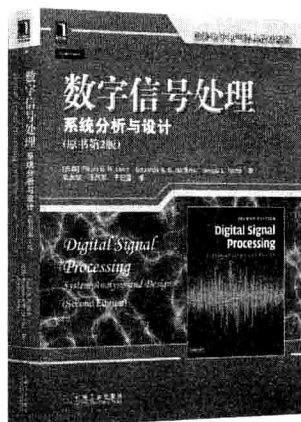
本书第 2 版已实现内容与当前的最新技术保持同步，第 3 版在此基础上进一步增加了反映数字通信领域最近五年进展的内容，特别是在第 21 章介绍网络内容时，不仅增加了有关 FDDI 与 DQDB 网络的篇幅，而且新增了关于 MIMO 以及 UWB 的内容。

谨以本版献给 Nandini（1952—2007）。

Ian Glover, Peter Grant

2009 年

推荐阅读



数字信号处理：系统分析与设计（原书第2版）

作者：Paulo S. R. Diniz 等 译者：张太镒 等 ISBN：978-7-111-41475-9 定价：85.00元

本书包含了数字信号处理（DSP）系统分析和设计的所有重要内容，采用现代的方法讨论问题，包括MATLAB范例和其他仿真工具的介绍。主要内容包括：数字信号处理系统的使用，如何用多项式和比值多项式逼近转移函数并保持转移函数的特性，为什么在应用中要将转移函数用适当的结构进行图形表示，滤波器组和小波设计，以及信号时域和频域表述的相互关系。

信号与系统：使用变换方法和MATLAB分析（原书第2版）

作者：Michael J. Roberts 译者：胡剑凌 等 ISBN：978-7-111-42188-7 定价：89.00元

本书在第1版的基础上进行了广泛更新，包含系统的时域分析、傅里叶方法、傅里叶变换、拉普拉斯变换、z变换、采样和信号处理等信号与系统的基本理论和应用；新增加频率响应分析、通信系统分析、滤波器的分析与设计、状态空间分析4章内容。全书给出了大量的例子，并介绍实现上述方法的MATLAB函数和运算。本书可作为高等院校电子信息工程、通信工程、自动化、电子信息科学与技术、生物医学工程、计算机科学与技术等专业“信号与系统”课程的教材，也可作为相关领域工程技术人员的参考书。

模拟CMOS集成电路设计（英文版）

作者：Behzad Razavi 译者：王志华 注释 ISBN：978-7-111-43027-8 定价：79.00元

本书介绍模拟CMOS集成电路的分析与设计。从直观和严密的角度阐述了各种模拟电路的基本原理和概念，同时还阐述了在SOC中模拟电路设计遇到的新问题及电路技术的新发展。本书由浅入深，理论与实际结合，提供了大量现代工业中的设计实例。本书是现代模拟集成电路设计的理想教材或参考书。可供与集成电路领域有关的各电类专业的高年级本科生和研究生使用，也可供从事这一领域的工程技术人员自学和参考。

目 录

译者序
前言
致谢

第 1 章 数字通信概述	1
1.1 电子通信	1
1.2 信源与信宿	4
1.3 数字通信设备	5
1.4 无线电接收机	6
1.5 信号传输	7
1.6 交换与网络	11
1.7 数字通信的优势	11
1.8 小结	12

第一部分 信号与系统理论

第 2 章 周期信号与瞬态信号	14
2.1 概述	14
2.2 周期信号	14
2.3 瞬态信号	29
2.4 功率谱与能量谱	43
2.5 广义正交函数展开	44
2.6 相关函数	51
2.7 小结	54
2.8 习题	55
第 3 章 随机信号与噪声	57
3.1 概述	57
3.2 概率理论	57
3.3 随机过程	73
3.4 小结	81
3.5 习题	81
第 4 章 线性系统	85
4.1 概述	85
4.2 线性系统	85
4.3 线性系统的时域描述	88
4.4 频域描述	92

4.5 因果性与希尔伯特变换	94
4.6 随机信号与线性系统	96
4.7 非线性系统与随机变量的变换	100
4.8 小结	102
4.9 习题	103

第二部分 数字通信原理

第 5 章 采样、多路复用与 PCM	108
5.1 概述	108
5.2 脉冲调制	108
5.3 采样	109
5.4 模拟脉冲多路复用	117
5.5 量化 PAM	120
5.6 信号与量化噪声之比 (SN_qR)	121
5.7 脉冲编码调制	122
5.8 带宽压缩技术	129
5.9 小结	136
5.10 习题	136
第 6 章 基带传输与线路编码	138
6.1 概述	138
6.2 基带中心点检测	138
6.3 多中继段系统的误差累积	143
6.4 线路编码	145
6.5 多路复用电话	151
6.6 数字信号再生	151
6.7 符号同步恢复	156
6.8 中继器设计	158
6.9 本地环路数字传输	159
6.10 小结	161
6.11 习题	162
第 7 章 判决理论	163
7.1 概述	163
7.2 先验概率、条件概率与后验概率	164
7.3 符号转移矩阵	164
7.4 贝叶斯判决准则	166

7.5	奈曼-皮尔逊判决准则	171
7.6	小结	171
7.7	习题	172
第 8 章	发送与接收的最优滤波	173
8.1	概述	173
8.2	最优发送的脉冲成形技术	173
8.3	最优接收的脉冲滤波	185
8.4	根升余弦滤波	196
8.5	均衡	197
8.6	小结	199
8.7	习题	200
第 9 章	信息论、信源编码与加密	202
9.1	概述	202
9.2	信息与熵	202
9.3	条件熵与冗余	204
9.4	由噪声引起的信息损失	206
9.5	信源编码	209
9.6	变长编码	211
9.7	信源编码举例	213
9.8	数据加密	220
9.9	认证	238
9.10	完整性	238
9.11	数字签名	238
9.12	小结	238
9.13	习题	240
第 10 章	差错控制编码	242
10.1	概述	242
10.2	汉明距离和码字的码重	244
10.3	(n, k) 分组码	244
10.4	n 位码字的差错概率	247
10.5	线性成组码	247
10.6	分组码的最近邻域解码	248
10.7	伴随式解码	249
10.8	循环码	252
10.9	卷积码的编码	256
10.10	卷积码的 Viterbi 译码	257
10.11	实际编码器	260
10.12	链接编码和 turbo 码	262
10.13	小结	267

10.14	习题	268
第 11 章	载波信号的带通调制	270
11.1	概述	270
11.2	频谱效率与功率效率	270
11.3	二进制中频调制	270
11.4	提高频谱效率的调制技术	284
11.5	功率高效的调制技术	304
11.6	数据调制解调器	311
11.7	小结	312
11.8	习题	313
第 12 章	系统噪声与通信链路预算	315
12.1	概述	315
12.2	噪声的物理特性	315
12.3	系统噪声计算	323
12.4	无线通信链路预算	329
12.5	光导纤维传输链路	341
12.6	小结	347
12.7	习题	348
第 13 章	通信系统仿真	350
13.1	概述	350
13.2	等效复基带的表示	351
13.3	采样和量化	358
13.4	信号、噪声和系统的建模	360
13.5	时域和频域间的变换	367
13.6	离散圆周卷积	376
13.7	BER 估计	378
13.8	小结	385

第三部分 应 用

第 14 章	定点微波通信	388
14.1	概述	388
14.2	陆地微波链路	388
14.3	定点卫星通信	403
14.4	小结	426
14.5	习题	427
第 15 章	移动无线通信与蜂窝 无线通信	430
15.1	概述	430
15.2	移动无线链路预算和信道特性	431

15.3	英国蜂窝无线通信	436
15.4	数字 TDMA 陆地蜂窝系统	441
15.5	码分多址接入	444
15.6	移动卫星系统	454
15.7	第三代移动蜂窝标准	457
15.8	小结	460
15.9	习题	461
第 16 章	视频传输与存储	462
16.1	概述	462
16.2	彩色表示	462
16.3	传统电视传输系统	463
16.4	高清晰度电视	466
16.5	数字视频	467
16.6	视频数据压缩	468
16.7	压缩标准	470
16.8	数字视频广播	477
16.9	分组视频	477
16.10	其他多媒体业务	478
16.11	小结	479
16.12	习题	480

第四部分 网 络

第 17 章	网络应用、拓扑和体系结构	482
17.1	概述	482
17.2	网络应用	482
17.3	网络功能	483
17.4	网络分类	484
17.5	交换网络拓扑结构和表示方法	485
17.6	一般网络交换方法	487
17.7	广播网络的拓扑结构	490
17.8	传输介质	492
17.9	网络互连	492
17.10	用户和供应商的网络观点	494
17.11	面向连接服务和无连接服务	495
17.12	分层网络体系结构	496
17.13	小结	500
17.14	习题	500
第 18 章	网络协议	502
18.1	概述	502

18.2	物理层	502
18.3	数据链路层	506
18.4	网络层	523
18.5	传输层	536
18.6	会话层	541
18.7	表示层	545
18.8	应用层	547
18.9	非 OSI 协议簇	548
18.10	小结	548
18.11	习题	549
第 19 章	基于排队论的网络性能分析	551
19.1	概述	551
19.2	M/M/1 队列	554
19.3	M/M/1/N 队列	557
19.4	M/M/N/K/K 队列: 移动通信系统中的排队行为	567
19.5	小结	569
19.6	习题	570
第 20 章	交换网络与广域网	572
20.1	概述	572
20.2	WAN 的特点与分类	572
20.3	图论在核心网络中的应用	575
20.4	英国公共网络	581
20.5	多路复用	585
20.6	电路交换	601
20.7	分组交换	615
20.8	ISDN	620
20.9	信令	624
20.10	异步传输模式和宽带 ISDN	627
20.11	接入技术	632
20.12	小结	655
20.13	习题	656
第 21 章	广播网络与局域网	659
21.1	概述	659
21.2	LAN 拓扑结构	659
21.3	LAN 协议簇	659
21.4	常见的有线 LAN 标准	662
21.5	无线 LAN	675
21.6	城域网	688

21.7 无线个人区域网络	695	附录 D	717
21.8 家庭网络技术	706	缩写词	718
21.9 居民区网关	708	符号	737
21.10 小结	709	特殊函数	740
21.11 习题	711	标准	741
附录 A	712	WWW 网址	743
附录 B	715	参考资料	744
附录 C	716		

第 1 章 数字通信概述

1.1 电子通信

历史、现状与未来

通信可以定义为信息的传递或交换[Hanks]，电信即本书所讨论的较专主题，是指在没有人工辅助就无法到达的更远距离上的通信。目前，这类人工辅助手段通常采用电子形式或光的形式，通信是通过在电线、光纤中传输信号完成的，或者利用电磁波在大气空间中的无线传输完成的。

在现代生活中，人们需要可靠、经济且高效的通信方式。我们利用通信系统，特别是公众交换电话网（public switched telephone network, PSTN）及其扩展的蜂窝系统与世界各地的人们进行通信。电话是点对点通信的一个实例，通常包括双向的信息流。（一般）仅包括单向信息流的另一类通信系统有无线电广播和电视，在这类系统中，信息由一个特定的位置发出，但可以在许多不同的位置利用许多独立的接收机接收信息，这是点对多点通信的实例。

目前，通信系统的应用非常广泛。例如，为了确定机动车的位置或引导并控制其运动方向，可以利用导航系统在发射机和接收机之间传递信号，诸如列车等有轨机动车的信令系统也是简单的通信系统。

通信系统的所有早期形式（例如烽火信号、旗语等）均采用数字通信的形式。电子通信的最早形式——电报是在 19 世纪 30 年代发展起来的，见表 1-1 所示。电报同样是数字通信，因为电线中传输的信号被限制为 4 种类型，即表示字母表中摩尔斯编码字母的点 and 划，字母空格以及单词空格。在 19 世纪 70 年代，亚历山大·格雷厄姆·贝尔（Alexander Graham Bell）发明了声换能器，将语音直接转换为（模拟）电信号，使模拟通信成为可能。

该项发明很快带来了传统电话的发展，无线电通信开始于马可尼（Marconi）获得第一个无线电报系统专利的世纪之交，之后很快进行了第一次无线电报的演示。1918 年，阿姆斯壮（Armstrong）发明了超外差无线电接收机，至今仍然是现代无线电接收设备的重要组成部分。20 世纪 30 年代，Reeves 提出了脉冲编码调制（pulse code modulation, PCM），奠定了当今几乎所有数字通信系统的基础。

表 1-1 给出了一个半世纪以来电子通信发展历程中的一些重大事件。第二次世界大战目睹了几乎所有工程和技术领域的飞速发展，其中电子和通信受益巨大，并且建立起一门新兴的交叉学科——雷达。

表 1-1 电子通信发展历史中的重大事件

年 份	事 件	发 明 人	信 息
1837	有线电报成熟	摩尔斯（Morse）	数字
1875	发明电话	贝尔（Bell）	模拟
1887	无线电报	马可尼（Marconi）	数字
1897	步进式自动交换机	史端乔（Strowger）	
1905	演示无线电话	费逊登（Fessenden）	模拟
1907	第一个正规的无线电广播	美国（USA）	模拟
1918	发明超外差无线电接收机	阿姆斯壮（Armstrong）	模拟
1928	演示电视	Farnsworth	模拟
1928	电报信号传输理论	奈奎斯特（Nyquist）	数字

(续)

年 份	事 件	发 明 人	信 息
1928	信息传输	哈特雷 (Hartley)	数字
1931	电传打字机		数字
1933	演示频率调制	阿姆斯壮 (Armstrong)	模拟
1937	提出 PCM (脉冲编码调制)	Reeves	数字
1939	话音编码器	达德利 (Dudley)	模拟
1939	商业电视广播	英国广播公司 (BBC)	模拟
1940	提出扩展频谱通信		数字
1943	提出匹配滤波	诺斯 (North)	数字
1945	提出地球同步卫星	克拉克 (Clarke)	
1946	研制出 ARQ 系统	Duuren	数字
1948	通信的数学理论	香农 (Shannon)	
1955	陆地微波中继	RCA	模拟
1960	首次演示激光	Maiman	
1962	实现卫星通信	TELSTAR I	模拟
1963	地球同步卫星通信	SYNCOM II	模拟
1966	提出光纤通信	Kao & Hockman	
1966	分组交换		数字
1970	中规模数据网络	ARPA/TYMNET	数字
1970	LAN (局域网)、WAN (广域网) 与 MAN (城域网)		数字
1971	提出综合业务数字网 (ISDN) 的概念	国际电话电报咨询委员会 (CCITT)	数字
1974	提出因特网的概念	Cerf & Kahn	数字
1978	频分多址蜂窝无线电		模拟
1978	发射 Navstar (导航卫星定时和测距) 全球定位系统 (GPS)	全球	数字
1980	采纳 OSI (开放系统互联) 7 层参考模型	国际标准化组织 (ISO)	数字
1981	演示 HDTV (高清晰度电视)	日本 NHK 公司	数字
1985	在英国实现 ISDN 基本速率接入	贝尔技术公司 (BT)	数字
1986	引入 SONET/SDH	美国	数字
1991	GSM TDMA 蜂窝系统	欧洲	数字
1991	MPEG 视频标准	国际	数字
1992	成立 ETSI	欧洲	
1993	发布 PCN 概念	全球	数字
1994	IS-95 CDMA 规范	高通公司 (Qualcom)	数字
1995	ADSL 传输	国际	数字
1998	宽带 3G CDMA	ITU 标准	数字
2000	IMT 2000/UMTS	国际	数字
2002	智能电话 (PDA)	加拿大黑莓	数字
2004	WiMAX	ITU 标准	数字

1945 年, 亚瑟 C. 克拉克 (Arthur C. Clarke) 在其著名的文章中提出了地球同步卫星通信。1963 年, 第一颗地球同步卫星发射成功。1966 年, Kao 与 Hockman 提出了光纤通信, 与此同时, 公众电报与电话 (public

telegraph and telephone, PTT) 组织提出了数字载波系统。

大约在 1970 年, 出现了第一个通用大规模数据网络 (ARPANET 与 TYMNET), 激起了对分组交换 (电路交换的一种替代形式) 浓厚的商业兴趣。

20 世纪 70 年代, 各类电信系统的性能以及所能承载的业务量都获得了重大的改进, 其中光纤的损耗显著降低, 卫星系统容量明显增加。20 世纪 80 年代, 第一个模拟蜂窝无线网络 (之后演进为数字网络) 成为 PSTN 的重要组成部分。基于陆地和卫星无线电技术的微蜂窝与个人通信正在飞速发展, 可以提供语音、数据和视频业务的宽带个人通信系统已经成为现实。视频传输需要比窄带 (语音) 带宽大得多的带宽, 如表 1-2 所示。

表 1-2 几种信息信号标称带宽的比较

信息信号	带 宽
语音电话	4 kHz
高质量声音广播	15 kHz
电视广播 (视频)	6 MHz

对传统业务 (主要是指模拟话音通信) 需求的不断增长已经成为电信技术不断发展的重要因素, 这些发展与电子和计算机技术的全面发展相结合, 使得提供全新的 (主要是数字的) 通信业务成为可能, 这反过来又刺激了更进一步的业务需求。图 1-1 给出了电信业务过去的发展情况以及对未来发展趋势的预测, 图 1-2 给出了同一时期已经提供的或者即将提供的业务的增长情况。

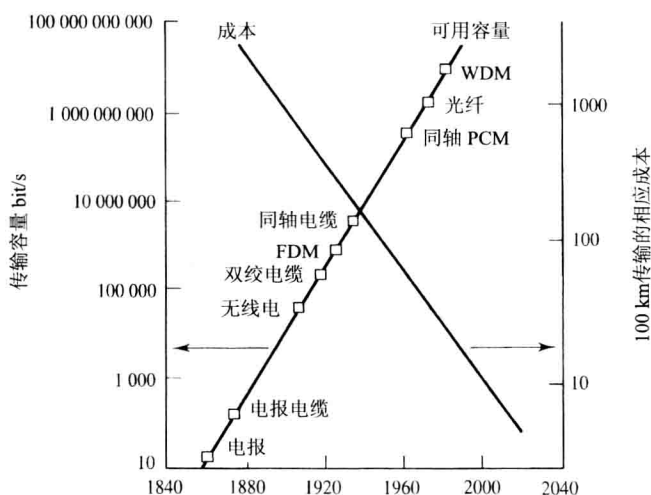


图 1-1 电信业务过去的发展情况以及对未来发展趋势的预测 (源自: 技术统计数据 (Technical demographics), 1995, 经 IEE 授权后转载)

在电信领域, 有很多标准化组织确保设备的互操作性。国际电信联盟 (International Telecommunication Union, ITU) 就是一个重要的国际通信标准化组织, 它仅具有制定规范建议的权力, 在 ITU 旗下是各个国家的 PTT (邮政、电话与电报组织), 例如英国电信 (British Telecom) 和德国联邦邮政 (Deutsche Bundespost)。最近成立的欧洲 PTT 联盟 (Confederation of European PTTs, CEPT) 负责监管技术标准的实施, CEPT 现在已经被欧洲电信标准协会 (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) 所取代[WWW, Temple]。

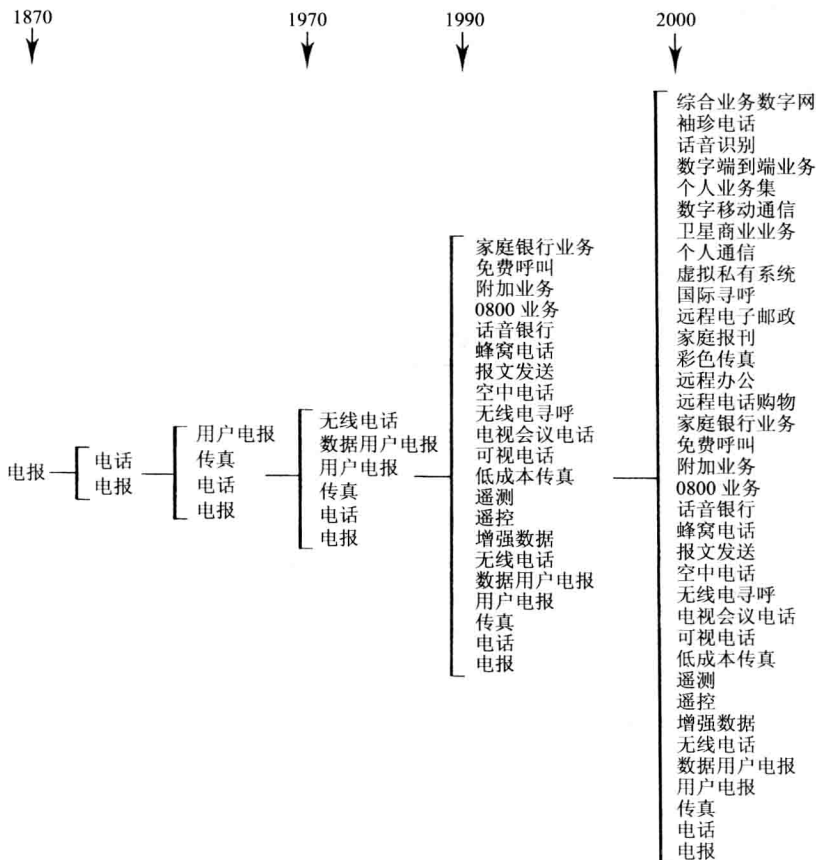


图 1-2 电信业务的增长 (源自: Earnshaw, 1991, 经 Peter Peregrinus 授权后转载)

20 世纪 90 年代, 新型数字传输技术出现了巨大进步, 其中包括数字用户线 (digital subscriber line, DSL) 技术, 采用该技术可以提高低带宽铜线电缆的最大可能数据率, 还包括实现高效视频压缩的 MPEG 标准, 以及时分多址 (time division multiple access, TDMA) 蜂窝移动通信系统和码分多址 (code division multiple access, CDMA) 蜂窝移动通信系统。随着近期支持语音和数据传输的第三代蜂窝移动通信系统的兴起, 这些令人振奋的技术进步在不久的将来会得到更大的发展。

1.2 信源与信宿

信源既可以是自然信源又可以是人造信源，前者如某地的空气温度，后者如某公司的账目（另一个例子即语音，在某种意义上可以归为这两类信源）。无论信息的类型和来源如何，数字通信系统都是用一组离散的符号表示信息的，通常将这组符号集以及传输时选择符号的相应器件或机制称为信源。被选择并发送的各个符号所传递的信息量与其选取的概率密切相关，经常被选取的符号所传递的信息量比很少被选取的符号传递的信息量少，因此，信息量（以比特为单位度量）与符号的稀有程度有关。

信箱通常是接收信息的人，而各种类型的信息存储和显示设备（计算机磁盘、磁带、扬声器、VDU 等）通常是倒数第二个接收目的端。

发射机是将信源信息适合地加载到特定传输媒介（如光纤、电缆、自由空间）的电磁波（或载波）上的