

数字通信

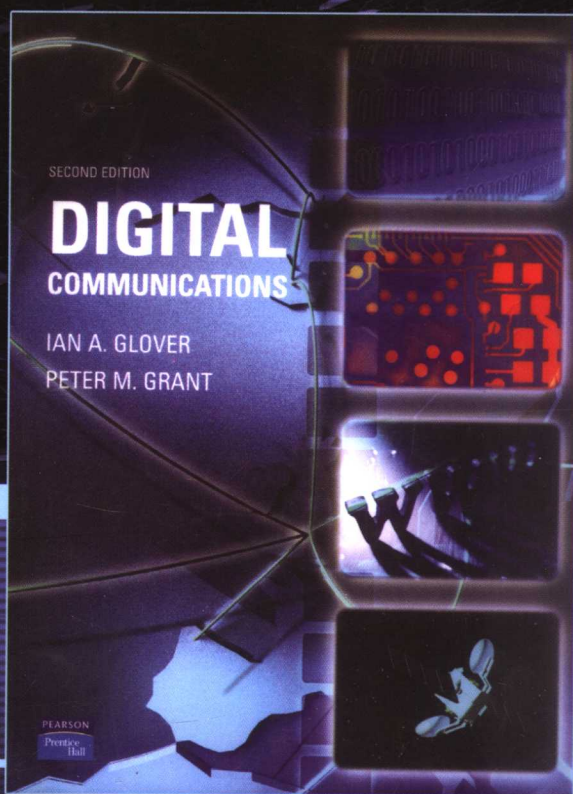
(原书第2版)

Digital Communications

(Second Edition)

(英) Ian A. Glover 著
Peter M. Grant

李锵 董健 关欣 鲍虎 等译
滕建辅 审校



机械工业出版社
China Machine Press

电子与电气工程丛书

数字通信

(原书第2版)

Digital Communications

(Second Edition)

(英) Ian A. Glover 著
Peter M. Grant

李锵 董健 关欣 鲍虎 等译
滕建辅 审校



机械工业出版社
China Machine Press

本书建立在系统级的观点之上,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,确保多数数字通信系统良好性能需要采用的模数转换、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、蜂窝移动通信系统、视频编码系统以及交换技术与电信网。

本书适合作为高等院校通信及其相关专业的教材,也可供通信工程技术人员参考。

Ian A. Glover and Peter M. Grant: Digital Communications, Second Edition (ISBN 0-13-089399-4).

Copyright © 2004 by Pearson Education Limited.

This translation of Digital Communications, Second Edition (ISBN 0-13-089399-4) 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。

版权所有,侵权必究。

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:01-2003-8978

图书在版编目(CIP)数据

数字通信(原书第2版)/(英)格洛弗(Glover, I. A.)等著;李锵等译.-北京:机械工业出版社,2006.2

(电子与电气工程丛书)

书名原文:Digital Communications, Second Edition

ISBN 7-111-17779-7

I. 数… II. ①格… ②李… III. 数字通信-高等学校-教材 IV. TN914.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第127197号

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:华章

北京牛山世兴印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2006年2月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·46.5印张

印数:0001-3500册

定价:95.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线:(010)68326294

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 两位教授十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 章至第 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字理论和线性系统理论。第二部分即第 5 章至第 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 章至第 16 章介绍了数字通信技术在卫星微波通信系统、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 章至第 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的论述。

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。

本书前言、第 1 章至第 9 章以及缩写词由李镛翻译,第 10 章至第 13 章由关欣翻译,第 14 章至第 16 章由鲍虎翻译,第 17 章至第 21 章以及附录由董健翻译,沈运强协助翻译了第 8、12 章,刘航协助翻译了第 11 章,李健协助翻译了第 13 章,邢喆协助翻译了第 14 章,参加本书相关章节翻译工作的还有张为、杨爱萍、张瑞峰、徐岩、肖志涛、汪剑鸣、刘艳艳、赵全明、马杰、张立民、王淑艳、王明国、王昕、周郭飞、史斌、郭利斌、贾贻鲁、刘志杨、赖焰根、陈敏俊、李亚奇、董刚、沈振乾、孔冰、褚青、方青、饶中洋、马爱萍、郭琦等,全书先由李镛、董健负责初校,最后由滕建辅教授审校。该书的翻译出版是集体智慧的结晶,渗透着众人的汗水。在此,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，目前很多重要的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有噪声以及其他损伤机制存在的环境中的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经被全面取代的旧的模拟通信系统的优势。

接下来的 18 章分为四个部分，反映了前面提到的本书 4 个方面的目的。第 2 章至第 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 5 章至第 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。

第三部分即第 14 章至第 16 章，阐述了如何将数字通信的基本原理应用到固定的点到点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。第四部分从第 17 章至第 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众网络——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。第 2 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，书中还给出了缩写词表以及本书数学部分使用的符号和约定的列表。

另外，在本书最后还提供了重要的 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。

本书面向已经获得通信工程、电子工程或电气工程等专业工学学士、工学硕士学位的学生，或者攻读这些专业的硕士研究生，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，但是又进一步扩展了书中的内容，包括了对数字 PCM、SDH、分组语音系统以及光纤和微波长途通信系统的容量性能的讲解，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 <http://www.see.ed.ac.uk/~pmg/DIGICOMMS/index.html> 获得本书的勘误表和各章后大部分习题的解题指导。

另外，从上述网站还可以获得滤波、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

于巴斯和爱丁堡

2003 年 6 月

致 谢

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，这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，这正是本书目录和结构的体现。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、4.3.1、4.3.2 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，Angus McLachlan 博士提供了第 12 章的最初构想，South Queensferry 惠普电信部的 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。还要感谢洛夫工业大学的 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，她们为写作此书付出了大量的时间。

Ian Glover, Peter Grant

1998 年

第 2 版致谢

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，同样是巴斯大学的 John Martin 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不断帮助。

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意见和建议。

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庭，Nandini 和 Sonia 以及 Marjory，她们为编写和修订本书付出了大量时间。

Ian Glover, Peter Grant

2003 年

目 录

译者序

前言

致谢

第2版致谢

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	10.14 习题	268
7.6 小结	171	第 11 章 载波信号的带通调制	270
7.7 习题	172	11.1 概述	270
第 8 章 发送与接收的最优滤波	173	11.2 频谱效率与功率效率	270
8.1 概述	173	11.3 二进制中频调制	270
8.2 最优发送的脉冲成形技术	173	11.4 提高频谱效率的调制技术	284
8.3 最优接收的脉冲滤波	185	11.5 功率高效的调制技术	304
8.4 根升余弦滤波	196	11.6 数据调制解调器	310
8.5 均衡	197	11.7 小结	311
8.6 小结	199	11.8 习题	312
8.7 习题	200	第 12 章 系统噪声与通信链路预算	314
第 9 章 信息论、信源编码与加密	202	12.1 概述	314
9.1 概述	202	12.2 噪声的物理特性	314
9.2 信息与熵	202	12.3 系统噪声计算	322
9.3 条件熵与冗余	204	12.4 无线通信链路预算	328
9.4 由噪声引起的信息损失	206	12.5 光导纤维传输链路	340
9.5 信源编码	209	12.6 小结	346
9.6 变长编码	211	12.7 习题	347
9.7 信源编码举例	213	第 13 章 通信系统仿真	349
9.8 数据加密	220	13.1 概述	349
9.9 认证	238	13.2 等效复基带的表示	350
9.10 完整性	238	13.3 采样和量化	357
9.11 数字签名	238	13.4 信号、噪声和系统的建模	359
9.12 小结	238	13.5 时域和频域间的变换	366
9.13 习题	240	13.6 离散圆周卷积	375
第 10 章 差错控制编码	242	13.7 BER 估计	377
10.1 概述	242	13.8 小结	384
10.2 汉明距离和码字的码重	244	第三部分 应 用	
10.3 (n, k) 分组码	244	第 14 章 定点微波通信	386
10.4 n 位码字的差错概率	247	14.1 概述	386
10.5 线性成组码	247	14.2 陆地微波链路	386
10.6 分组码的最近邻域解码	248	14.3 定点卫星通信	401
10.7 伴随式解码	249	14.4 小结	424
10.8 循环码	252	14.5 习题	425
10.9 卷积码的编码	256	第 15 章 移动无线通信与蜂窝 无线通信	428
10.10 卷积码的 Viterbi 译码	257	15.1 概述	428
10.11 实际编码器	260	15.2 移动无线链路预算和信道特性	429
10.12 链接编码和 turbo 码	262		
10.13 小结	267		

15.3 英国蜂窝无线通信	434	18.3 数据链路层	504
15.4 数字 TDMA 陆地蜂窝系统	439	18.4 网络层	521
15.5 码分多址接入	442	18.5 传输层	534
15.6 移动卫星系统	454	18.6 会话层	539
15.7 第三代移动蜂窝标准	455	18.7 表示层	543
15.8 小结	457	18.8 应用层	545
15.9 习题	458	18.9 非 OSI 协议簇	546
第 16 章 视频传输与存储	459	18.10 小结	546
16.1 概述	459	18.11 习题	547
16.2 彩色表示	459	第 19 章 基于排队论的网络性能分析	549
16.3 传统电视传输系统	460	19.1 概述	549
16.4 高清晰度电视	463	19.2 M/M/1 队列	552
16.5 数字视频	464	19.3 M/M/1/N 队列	555
16.6 视频数据压缩	465	19.4 M/M/N/K/K 队列: 移动通信 系统中的排队行为	565
16.7 压缩标准	468	19.5 小结	567
16.8 数字视频广播	474	19.6 习题	567
16.9 分组视频	475	第 20 章 交换网络与广域网	570
16.10 小结	476	20.1 概述	570
16.11 习题	477	20.2 WAN 的特点与分类	570
第四部分 网 络			
第 17 章 网络应用、拓扑和体系结构	480	20.3 图论在核心网络中的应用	573
17.1 概述	480	20.4 英国公共网络	579
17.2 网络应用	480	20.5 多路复用	583
17.3 网络功能	481	20.6 电路交换	599
17.4 网络分类	482	20.7 分组交换	613
17.5 交换网络拓扑结构和表示方法	483	20.8 ISDN	618
17.6 一般网络交换方法	485	20.9 信令	622
17.7 广播网络的拓扑结构	488	20.10 异步传输模式和宽带 ISDN	625
17.8 传输介质	490	20.11 接入技术	630
17.9 网络互连	490	20.12 小结	653
17.10 用户和供应商的网络观点	492	20.13 习题	654
17.11 面向连接服务和无连接服务	493	第 21 章 广播网络与局域网	657
17.12 分层网络体系结构	494	21.1 概述	657
17.13 小结	498	21.2 LAN 拓扑结构	657
17.14 习题	498	21.3 LAN 协议簇	657
第 18 章 网络协议	500	21.4 常见的有线 LAN 标准	660
18.1 概述	500	21.5 无线 LAN	673
18.2 物理层	500	21.6 无线个人区域网络	682
		21.7 家庭网络技术	690

21.8 居民区网关.....	693	缩写词	702
21.9 小结.....	693	符号	719
21.10 习题.....	695	特殊函数.....	722
附录 A.....	696	标准	723
附录 B.....	699	WWW 网址.....	725
附录 C.....	700	参考资料.....	726
附录 D.....	701		

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和划，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
1921	陆地 PMR 的首次使用	底特律警察（Detroit police）	模拟
1928	演示电视	Farnsworth	模拟

(续)

年 份	事 件	发 明 人	信 息
1928	电报信号传输理论	奈奎斯特 (Nyquist)	数字
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
1934	演示雷达	Kuhnold	
1937	提出 PCM (脉冲编码调制)	Reeves	数字
1939	语音编码器	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	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	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 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	GSMTDMA 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

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。

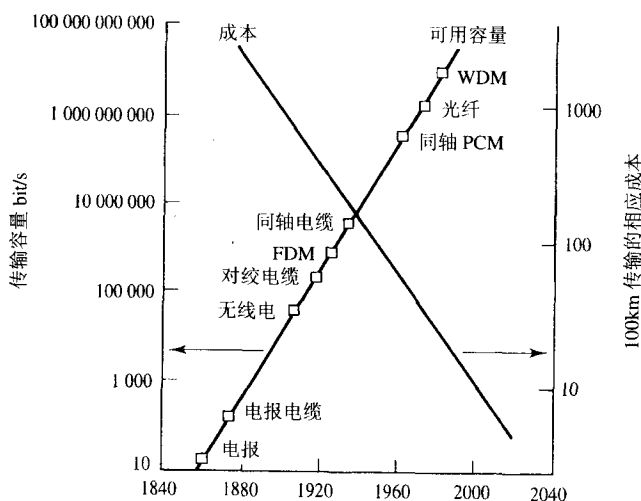


图 1-1 电信业务过去的发展情况以及对未来发展趋势的预测 (源自: 技术统计数据 (Technical demographics), 1995, 经 IEEE 许可后重用)

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]。

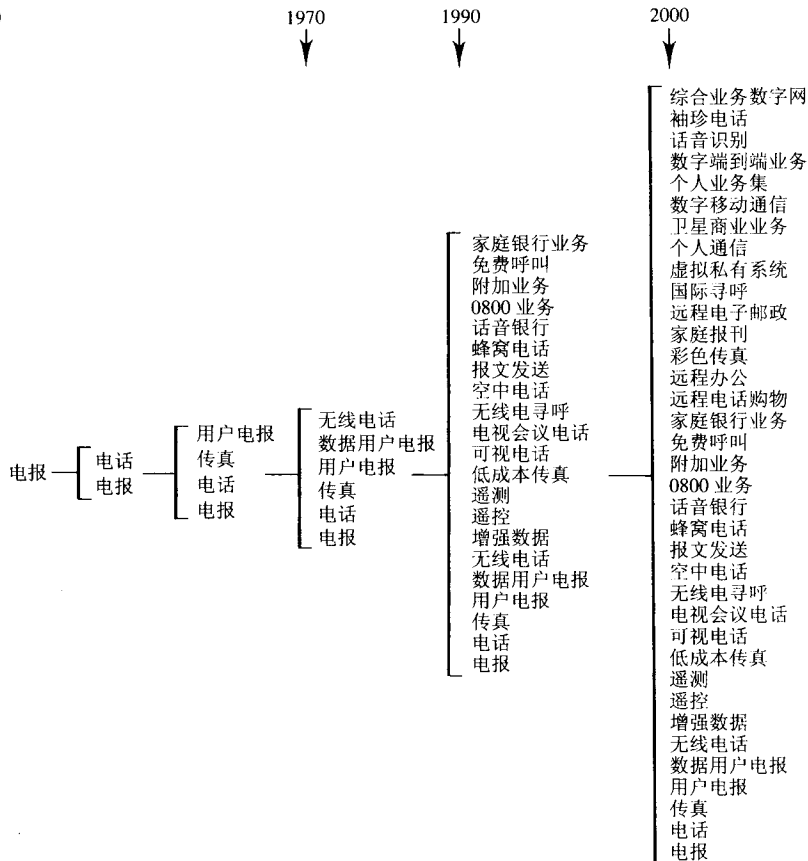


图 1-2 电信业务的增长 (源自: Earnshaw, 1991, 经 Peter Peregrinus 许可后重用)

20 世纪 90 年代, 新型数字传输技术有了巨大进步, 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, 以及蜂窝移动通信系统中采用的时分多址 (time division multiple access, TDMA) 和码分多址 (code division multiple access, CDMA) 技术。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, 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。

信宿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

设备。接收机则是从这些载波上提取信息的设备，即与信息产生时相同的形式复制信息（例如语音）。

1.3 数字通信设备

通信系统设计的重要目标通常是在最小化信号带宽和/或传输时间的同时最小化设备成本、设备复杂度以及设备功耗（带宽是携带信息的信号变化快慢的一种度量，因此也是通信系统设计的重要参数，表 1-2 比较了三类常见的信息信号的标称带宽），高效地利用带宽和传输时间可以确保在有限的珍贵的频率资源内容纳尽可能多的用户。

某假定的数字通信收发信机（发射机/接收机）的组成部件如图 1-3 所示。本书的大部分内容就是关于由通信信道联接的发射机/接收机组成的通信系统的工作原理、系统性能及其局限性等。这里我们给出这一系统的一个定性说明，包括图 1-3 中各模块功能及其必要性的简要描述（该图中的收发信机包括了数字通信系统中常见的所有单元，当然，并非所有收发信机均包括上述全部单元）。

1.3.1 编解码器

最简单的情况是收发信机中的编解码器（编码器/解码器，CODEC）由发射机中将连续的模拟信号转换为用二进制电压脉冲表示的码字序列的模数转换器（analogue to digital converter, ADC）和接收机中将这电压脉冲复原为连续模拟信号的数模转换器（digital to analogue converter, DAC）组成。

ADC 由采样电路、量化器和脉冲编码调制器组成（参见图 1-3）。采样电路的功能是在间隔固定的时刻输出模拟信号的离散电压样本；量化器则将这些离散电压近似为电平集中与其最接近的电平（正是该量化过程将模拟信号转换为数字信号）；PCM 编码器将各量化电平表示为二进制码字，用两个电平分别表示数字 1 和 0。为了降低采样过程可能引起的失真，有时在采样之前加入抗混叠滤波器。

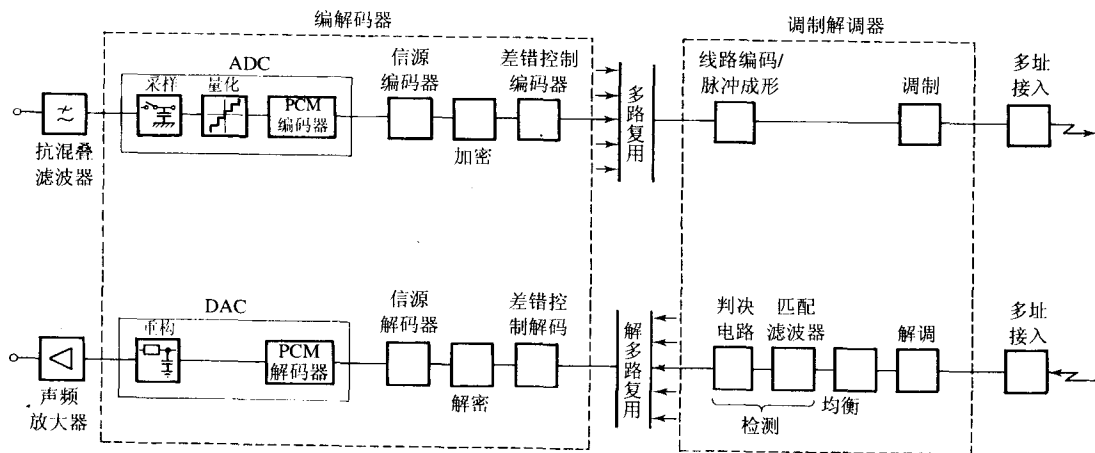


图 1-3 假定的数字通信收发信机

在接收机的 DAC 中，接收到的二进制电压脉冲由 PCM 解码器转换为量化电平，之后经低通滤波器平滑从而重构（至少是良好近似）原始模拟信号。

模拟信号数字化通常会增加信号的传输带宽，但是能够以较低的信噪比完成接收，这就是一种资源（带宽）与另一种资源（发射功率）相互替换的实例。

CODEC 广泛利用各种复杂的数字信号处理技术在信号传输之前对信号进行高效编码，同时对受到噪声、失真和干扰损伤的接收信号进行解码，这样虽然增加了收发信机的复杂性，但却获得了较高的保真度和可恢复性，并且可以实现几乎无差错的传输。