

教育部高等教育司推荐

国外优秀信息科学与技术系列教学用书

通信原理

——系统、调制与噪声

第5版

中文版

Principles of Communications Systems, Modulation and Noise

Fifth Edition

[美] Rodger E. Ziemer 著

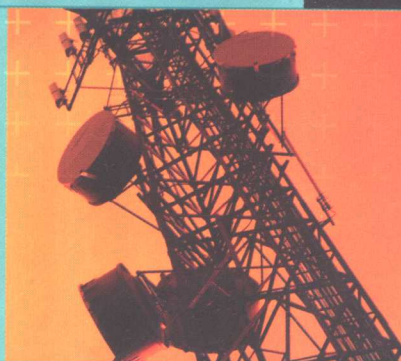
William H. Tranter

曹志刚 审校

袁东风 江铭炎 译



高等教育出版社
Higher Education Press



教育部高等教育司推荐
国外优秀信息科学与技术系列教学用书

TN911
91

通信原理

——系统、调制与噪声

第5版 中文版

Principles of Communications
Systems, Modulation and Noise

Fifth Edition

[美] Rodger E. Ziemer 著
William H. Tranter

曹志刚 审校
袁东风 江铭炎 译



高等教育出版社
Higher Education Press

Principles of Communications: Systems, Modulation and Noise, 5th ed.

Rodger E. Ziemer and William H. Tranter

图字: 01-2003-3475 号

Copyright 2002 © John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

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

图书在版编目 (CIP) 数据

通信原理: 系统、调制与噪声: 第 5 版 / (美) 齐默尔 (Ziemer, R. E.), (美) 川特 (Tranter, W. H.) 著; 袁东风, 江铭炎译. —北京: 高等教育出版社, 2004. 7

Principles of Communications: Systems, Modulation and Noise

ISBN 7-04-014569-3

I. 通... II. ①齐...②川...③袁...④江...
III. 通信理论 - 高等学校 - 教材 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 054792 号

策划编辑 李 慧 责任编辑 李 慧 封面设计 李卫青 责任绘图 黄建英
版式设计 马静如 责任校对 王 雨 责任印制 杨 明

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 44
字 数 830 000

版 次 2004 年 7 月第 1 版
印 次 2004 年 7 月第 1 次印刷
定 价 54.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

内 容 提 要

《通信原理——系统、调制与噪声(第5版)》是由美国克罗拉多大学 R. E. Ziemer 教授主编的一本通信原理教程。该书全面系统地介绍了通信系统的基本原理,以论述通信系统的物理层为主,内容涵盖信号和系统、概率论和随机过程、各种调制技术、最佳接收、信息论和编码等。该教材已先后修订、再版4次,是一本流传较广的美国大学高年级本科生教材。本书第5版中增加了有关衰落信道、蜂窝移动通信、卫星通信、直接序列扩频通信和 OFDM 调制等基本原理的论述,并给出了可供读者进一步学习的参考资料。

本书第5版的一个显著特色是在每一章中补充了大量的 MATLAB 编程实例和上机练习,这在目前通信原理教材中是鲜见的。熟悉和掌握 MATLAB 语言可帮助学习者通过计算机编程加深对通信理论基本概念及问题的理解和分析,并可借助书本所学知识用仿真的手段解决通信系统中出现的实际问题。本书的另一个特点是给出了大量的习题,读者可以通过习题进一步掌握并运用所学到的知识。

本书可用作高等学校通信工程与信息系统领域相关专业的高年级本科生教材或参考书,也可供低年级研究生、科研人员和工程技术人员作为参考书使用。

译者序

随着通信学科理论与技术的不断发展,通信技术在社会各个领域得到越来越广泛的应用。由 R.E. Ziemer 和 W.H. Tranter 所著的《通信原理——系统、调制与噪声》第 5 版,全面系统地论述了通信的基本原理,是作者多年教学与科研工作的总结,堪称反映通信基础理论及应用的一部佳作。该书第 1 版自 1976 年问世以来,经多次修订,已出 5 版。从第 1 版至第 5 版,该书体系愈加合理,日臻完善;内容紧跟通信领域发展,不断更新。正因为这样,该书深受读者,尤其是在校大学生欢迎,影响与日俱增,赢得很高的声誉。面对当前国内通信专业教材内容的相对滞后,引进国外原版优秀教材,保证与国际一流大学通信专业的教学内容相一致已成目前高校通信专业教学的当务之急,相信该书第 5 版及其中译本的出版,必将对目前我国高等学校通信类专业相关课程体系及内容的改革起到重要的推动作用。

该书第 5 版除保持原书构思新颖、取材得当、论述严谨、条理清楚等特色外,还具有以下几个特点:完善体系结构,强化数学基础;新颖性、系统性与实用性的紧密结合;突出通信基础理论的基本概念、基本知识的讲述,同时注重了工程实际应用,列举了许多分析、计算的例子,对读者会很有启发。该书深入浅出,避免了繁琐的数学推导,因而概念清晰,易于理解,每章之后又有大量的问题和练习,与实际应用关系紧密,既有助于读者加深和巩固所学的重要概念和知识,又具有一定的实用价值,因此它是一本很好的教科书。本书可供通信及相关专业的本科生和研究生使用,也可供本领域工程技术人员、大学教师作参考。

本书由袁东风、江铭炎翻译,由袁东风负责全书的统稿,曹志刚教授审校。本书在翻译过程中得到多方面的支持和帮助,参加本书部分章节翻译工作的还有:马丕明、张海霞、高新颖、张玉玲、张海刚、杨秀梅、吴大雷、孙明、仲英济、张曦林。

译稿对原书中的错漏做了更正和译注。由于全书篇幅太大,时间仓促,加之译者水平有限,错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

袁东风

2004 年 3 月于山东大学

前 言

在本书的第 5 版中,我们保持了与前面 4 个版本相同的指导原则。这个原则就是,在一册书中详细地论述适用于高年级本科生、低年级研究生和实际工程人员的通信物理层的原理。书中包括模拟和数字通信系统的各种论题,通过回顾这些论题所要求的信号、系统、概率和随机过程等必要的背景知识,实现了这一指导原则。在强调基本概念之外,书中还包含了关于目前重要领域的章节,如扩频、蜂窝通信、正交频分复用等。对于以前版本所提供的说明性的例子,本版用 MATLAB 语言编写的计算机编程实例加以补充。这些编程实例贯穿于全书,涉及的范围从计算性能曲线的程序到特定通信系统或算法的仿真程序。读者对前面版本的反应表明了,将本书的重点放在基本原理而不是特定技术上,能更好地服务于读者,同时又保持了合理的篇幅。这个方针非常适合于高年级本科生,可能忘掉一些基本原理的研究生新生,以及将本书作为参考书或业余课程的工程人员。

通信原理第 5 版的一个新特色是在每一章中增加了基于 MATLAB 的计算机编程实例。我们意识到,有些读者将书中的计算机代码看作是本书的一个特色,而有些读者将其看作分心的事物。因此,我们选择了在书中每一章只加入二或三个 MATLAB 程序。尽管我们认为将现代的计算工具用于分析和仿真很重要,但对 MATLAB 实例的使用有所限制,以使本书的特色不会有太大的改变。使用本书的读者可在网站 www.wiley.com/college/ziemer 上下载 MATLAB 代码,而不必重新输入。网站上还会不断增加一些有趣的计算机实例。我们之所以选择用 MATLAB 求解例题是因为它在学术和工业界的广泛应用。多数工科学生熟悉 MATLAB,可以容易地理解例题。我们喜欢 MATLAB 也是因为它的丰富的图形库。

在每章内的编程实例之外,每章末尾还附加了大量的“上机练习”。这些上机练习在习题之后,设计它的目的是使读者用计算机来阐释基本原理,同时从另一角度理解文中内容。在第 4 版中也有类似的练习,很多读者认为这很有价值。我们加入这些练习有多种原因,计算机作为工程教育的有价值的工具,已经列入工程课程中。学生使用计算机解决更复杂的问题,而且通过解决这些问题获得重要的洞察力。尽管可以用各种不同的计算机语言编写程序解决这些问题,但我们强烈推荐使用解决科学问题的程序工具,例如 MATLAB、MATHCAD 和

MATHEMATICA。

如同本书第4版前言中所述,过去的二十年里,我们看到了通信理论概念的许多新应用,蜂窝无线通信就是一个显著的例子。另外,实现这些系统的新技术正在不断发展中。尽管一直有强烈的要求,要求本书的新版包含各种新的应用和技术,但我们坚定地认为,作为通信的第一课程,如果将重点放在基本原理上会更好地区服务于学生。应用的例子和特定的技术一般生存期很短,最好作为学生掌握了基本原理和分析方法之后的后续课程。不过,我们一直关注本质上是基本原理的新技术,并增加了适当的内容。

为与前面版本相比较,我们简要地逐章介绍变动之处。如前所述,除第1章外,其他各章都补充了编程实例。第1章更新了所有的表格;第2章是对信号和系统理论的必要回顾,基本上保持了原貌;第3章讲述基本的调制技术,删除了开关调制器的内容,缩短了模拟脉冲调制的章节,增加了确定已调信号频谱的计算机编程实例。此外,为了说明跟踪捕获行为,还增加了锁相环的完整仿真编程实例。

第4章介绍概率论的基本理论,加入了莱斯随机变量的章节,增加了关于 χ^2 分布的附录。增加这些内容是为了后面学习衰落信道和蜂窝通信。由于将窄带噪声模型的证明和原点环绕问题(对于理解FM系统中的门限效应非常重要)的研究内容放到附录中,第5章大大缩短。我们认为这部分内容尽管依然重要,但已超出许多介绍性课程的范围。

第6章讨论各种模拟调制方案的噪声特性。关于门限扩展的章节略有扩充,增加了调制对门限效应影响的内容,并且更详细地研究脉冲编码调制的门限效应。对脉冲编码调制中的门限效应的考虑,架设了一道研究本书后文数字通信系统的桥梁。

二进制数字传输是第7章的主题。关于衰落信道的章节有所扩展。由于移动通信系统应用的快速膨胀,二进制数字传输成为当今世界的一个重要课题。本章增加了计算二进制调制系统的性能曲线、绘制带限信道中二进制信号的最佳发射和接收滤波器频率响应函数图、绘制平衰落信道中各种二进制调制方式的错误概率曲线图的编程实例。此外,还增加了用于差分相移键控调制的延迟/相乘检测器仿真程序,以便与最佳检测器的性能进行比较。

第8章讨论数据通信系统中更为深入的论题,包括M进制系统、带宽有效性、同步、扩频系统和卫星链路等等。增加了新的章节,或扩展了前面所出现的章节,如高斯最小相移键控,基带数据信号各种线码表示的功率谱的计算,多用户环境中的直接序列扩频系统的性能,蜂窝无线通信系统和多载波调制。此外,增加了计算M进制相移键控的比特错误概率性能曲线、连续相位频移键控谱、多用户环境下直接序列扩频系统的比特错误概率的编程实例。

第9章介绍最佳接收机和信号空间概念,与前面版本相比,没有大的变动,增加了确定并绘出接收机工作特性的编程实例。

第10章向学生简要介绍了信息论和编码理论,增加了对Turbo码的简要讨论,还增加了利于学生详细研究删除信道的编程实例。

多年来我们用这本书作为各类课程的教材,但时间的推移已改变了编写本书的初衷。它最初只作为两个学期课程的教材,第一学期学习线性系统和无噪调制等基本的背景知识,第二学期学习噪声对模拟和数字调制系统的影响。如果学生具备了线性系统和概率论等背景知识,本书也可作为噪声环境下分析模拟和数字通信系统的一学期用书。尽管会对大多数学生具有挑战性,然而让学生在一个月之内掌握噪声环境下调制系统的性能,也不失为一种选择。简言之,我们觉得由我们来告诉使用这本书的指导教师讲授书中哪些内容和按照什么顺序是不合适的,但可以说,这本书的内容完全满足高年级本科生和研究生开始阶段任何课程设计的需要。

另外,从出版商那里可以得到这本书的答案手册。手册中包括了奇数号码习题的详细解答和偶数号码习题的答案。对我们认为必要的指导会有所帮助的那些偶数号码习题给出了部分解答。另外,手册提供了所有上机练习的MATLAB程序。

感谢所有对本书的发展做出贡献以及对第5版提出改进意见的人们。尤其感谢我们在科罗拉多大学(University of Colorado at Colorado Springs),密苏里罗拉大学(University of Missouri-Rolla)、弗吉尼亚工学院(Virginia Tech)的同事和学生们,感谢他们的意见和建议。特别感谢圣路易斯大学(St. Louis University)威廉爱贝尔博士(Dr. William Ebel)的帮助。也感谢那些技术会议上给我们书面或口头建议的学者和同行们。特别值得一提的是支持我们研究的产业和机构,通过从事这些项目,极大地拓展了我们的知识和洞察力。这些机构包括:国家航空航天局(NASA)、海军研究办公室(The Office of Naval Research)、国家科学基金会(The National Science Foundation)、通用空间技术(GE Aerospace)、摩托罗拉公司(Motorola Inc.)、爱默生电气公司(Emerson Electric Company)、巴蒂尔记录学会(Battelle Memorial Institute)、国防预先研究计划局(DARPA)、雷神(Raytheon)以及LG情报通信公司(LGIC)。衷心感谢C.格雷厄姆(Cyndy Graham)专家的支持,他解决了用科学文献排版软件(LaTeX)排版时所遇到的许多问题,并对答案手册贡献颇多。

我们也感谢这本书的第5版以及前面所有版本的审阅者。应当特别提到第5版的审阅者,他们是:

J. 凯弗(John Kieffer)——明尼苏达大学(University of Minnesota)

L. G. 哈斯布克(Laurence G. Hassebrook)——肯塔基大学(University of

Kentucky)

D. 威格 (Donley Winger)——加利福尼亚工艺大学 (Cal Poly-San Luis Obispo)

M. 菲兹 (Michael Fitz)——普渡大学 (Purdue University)

C. 乔治德 (Costas Georgiades)——德克萨斯大学 (Texas A&M)

N. 安萨利 (Nirwan Ansari)——新泽西技术学院 (New Jersey Institute of Technology)

V. 安萨姆 (Venkatachalam Anantharam)——加利福尼亚大学伯克利分校 (UC-Berkeley)

M. 萨雷 (Masoud Salehi)——东北大学 (Northeastern University)

J. 若尼克 (John Rulnick)——伍斯特科技学院 (Worcester Polytechnic Institute)

M. 西戈 (Marvin Siegel)——密歇根州立大学 (Michigan State University)

J. V. 科洛戈米 (James V. Krogmeier)——普渡大学 (Purdue University)

所有的审阅者都对本书做了极大的贡献。他们指出了书中的许多错误,并提出了许多宝贵的意见。对于书中尚存的任何缺点和错误,作者会承担全部责任。

最后,对我们的家人致以最深切的谢意。感谢他们在我们二十五年来看似无休止的著书工作中,给予的耐心和支持。谨以此书献给他们。

Rodger E. Ziemer
William H. Tranter

目 录

第 1 章	引言	1
1.1	通信系统框图	3
1.2	信道特性	5
1.3	系统分析方法概述	13
1.4	系统优化的概率方法	14
1.5	本书概述	16
1.6	阅读材料	16
第 2 章	信号与线性系统分析	17
2.1	信号模型	18
2.2	信号的分类	23
2.3	广义傅里叶级数	25
2.4	傅里叶级数	28
2.5	傅里叶变换	37
2.6	功率谱密度和相关	51
2.7	信号和线性系统	53
2.8	抽样定理	74
2.9	希尔伯特变换	78
2.10	离散傅里叶变换和快速傅里叶变换	85
2.11	小结	89
2.12	阅读材料	93
2.13	习题	94
2.14	上机练习	107
第 3 章	基本调制技术	109
3.1	线性调制	110
3.2	角度调制	133
3.3	干扰	155
3.4	反馈解调器	163
3.5	模拟脉冲调制	177

3.6	Δ 调制和 PCM	181
3.7	复用技术	187
3.8	小结	193
3.9	阅读材料	196
3.10	习题	197
3.11	上机练习	205
第 4 章	概率与随机变量概述	207
4.1	概率的基本概念	208
4.2	随机变量及其相关的函数	218
4.3	统计平均	232
4.4	一些常用的概率分布函数	243
4.5	小结	255
4.6	阅读材料	258
4.7	习题	258
4.8	上机练习	265
第 5 章	随机信号和噪声	267
5.1	用相对频率描述随机过程	267
5.2	随机过程的几个术语	269
5.3	相关和功率谱密度	275
5.4	线性系统和随机过程	284
5.5	窄带噪声	291
5.6	小结	298
5.7	阅读材料	300
5.8	习题	300
5.9	上机练习	310
第 6 章	调制系统中的噪声	311
6.1	信噪比	312
6.2	相干系统中的噪声及相位误差	322
6.3	角度调制中的噪声	327
6.4	FM 中的门限效应及门限扩展	335
6.5	脉冲编码调制中的噪声	344
6.6	小结	349
6.7	阅读材料	351
6.8	习题	351

6.9	上机练习	355
第 7 章	二进制数据传输	357
7.1	高斯白噪声中的基带数据传输	359
7.2	具有任意信号波形的二进制同步数据传输	364
7.3	相干二进制调制的错误概率	376
7.4	非相干的调制方案	382
7.5	通过带限信道的数字信号	393
7.6	多径干扰	400
7.7	平衰落信道	405
7.8	均衡	410
7.9	多载波调制和正交频分复用(OFDM)	414
7.10	小结	416
7.11	阅读材料	418
7.12	习题	419
7.13	上机练习	428
第 8 章	高级数据通信	429
8.1	M 进制数据通信系统	430
8.2	数字调制方式的带宽有效性	452
8.3	同步	461
8.4	扩频通信系统	468
8.5	卫星通信	478
8.6	蜂窝无线通信系统	488
8.7	小结	496
8.8	阅读材料	498
8.9	习题	498
8.10	上机练习	502
第 9 章	最佳接收机和信号空间概念	504
9.1	贝叶斯最佳化	505
9.2	信号的向量空间表示	515
9.3	数字信号传输的 MAP 接收机	523
9.4	估计理论	536
9.5	估计理论在通信中的应用	542
9.6	小结	547
9.7	阅读材料	548

9.8	习题	548
9.9	上机练习	556
第 10 章	信息论和编码	558
10.1	基本概念	559
10.2	信源编码	568
10.3	噪声情况下的可靠通信	576
10.4	调制和带宽有效性	609
10.5	带宽和功率有效性调制	612
10.6	小结	617
10.7	阅读材料	619
10.8	习题	619
10.9	上机练习	625
附录 A	物理噪声源	627
A.1	物理噪声源	627
A.2	系统中的噪声特性	633
A.3	自由空间的传播范例	641
A.4	阅读材料	644
A.5	习题	644
附录 B	联合高斯随机变量	648
B.1	概率密度函数	648
B.2	特征函数	649
B.3	线性变换	649
附录 C	窄带噪声模型的验证	651
附录 D	过零与原点环绕统计	653
D.1	过零问题	653
D.2	过零的平均率	655
D.3	习题	659
附录 E	χ^2 统计	660
附录 F	随机过程的量化	662
附录 G	数学与数值表	666
G.1	高斯 Q 函数	666
G.2	三角恒等式	668
G.3	级数展开式	669
G.4	定积分公式	670
G.5	傅里叶变换对	671

G.6 傅里叶变换性质	672
参考文献	673
名词英汉对照表	678

第1章 引 言

1.1 通信系统框图	1.3.2 调制和通信理论
1.2 信道特性	1.4 系统优化的概率方法
1.2.1 噪声源	1.4.1 统计信号检测和估计理论
1.2.2 传输信道类型	1.4.2 信息论和编码
1.3 系统分析方法概述	1.5 本书概述
1.3.1 时域和频域分析	1.6 阅读材料

21 世纪初,我们生活在一个电子通信如此普及的世界里,以至我们通过因特网去购买商品,片刻之间下载新的应用软件到计算机上。这样的通信方式在当今世界如此重要,以至于我们无法想像没有它的现代社会将是怎样。过去 20 年来,现代国家正逐步迈进一个新的时代——人们称之为“信息时代”,就像 100 多年前世界由于工业革命而经历剧烈变革的那个时代。现代国家的繁荣和持续进步越来越依赖于信息的产生和传播,而不再是商品的生产与分配。用来说明信息的价值高于商品和服务的例子比比皆是——过去 10 年里蜂窝电话应用的激增、因特网、个人数字助理以及双向寻呼机的使用,仅是随时随地获得和传递信息方式的几个例子。

本书讲述信息传输系统的理论。系统是电路与设备的一种组合,以得到所希望的结果,例如点对点的情报传输。通信系统的一个特性是存在不确定性。这种不确定性一部分是由于任何系统中都不可避免地存在不希望的信号扰动,统称噪声;另一部分是由于信息本身不可预测的性质。对这种存在不确定性的系统分析需要使用概率方法。

从电子通信的早期开始,噪声就是一个通常存在的问题。直到 20 世纪 40 年代,概率系统分析方法用于分析和优化噪声环境下的通信系统【Wiener 1949; Rice 1944, 1945】^①,这个问题才得以解决。同样令人惊讶的是,直到 20 世纪 40 年代末期,香农发表“通信的数学理论”【Shannon 1948】,信息的不可预见性才广泛地为人们所认识。这一研究成果成为信息论科学的开端,在后文还要详细地讨论这一论题。

从表 1.1 列出的与通信相关的所选事件勾勒的历史轮廓中,我们可能会更

^① 【】中的内容是参考书目中的历史参考文献。

好地理解电子通信加速发展的步伐。

对历史的简要介绍之后,我们把更详细的目光转向一个典型通信系统的各个组成部分。

表 1.1 通信发展简史

间隔	年份	事 件
80 年	1826	欧姆(Georg Simon Ohm)创立了电阻中电压电流关系的欧姆定律
	1838	摩尔斯(Samuel F. B. Morse)发明了电报
	1864	麦克斯韦(James C. Maxwell)预言了电磁辐射
	1876	贝尔(Alexander Graham Bell)获得电话专利
	1887	赫兹(Heinrich Hertz)证明了麦克斯韦的理论
	1897	马可尼(Guglielmo Marconi)获得了完整的无线电报系统专利
40 年	1904	弗莱明(Fleming)发明二极管
	1905	费森登(Reginald Fessenden)借助无线电波发射语音信号
	1906	李·德福雷斯特(Lee De Forest)发明三极管放大器
	1915	贝尔系统架设了美国横贯大陆的电话线
	1918	阿姆斯特朗(B. H. Armstrong)完善了超外差无线电接收机
	1920	卡森(J. R. Carson)将抽样定理用于通信系统
	1931	电传打字机服务问世
	1933	阿姆斯特朗(Edwin Armstrong)发明频率调制
	1936	英国 BBC 电视台开播
	1937	芮孚斯(Alec Reeves)构想出脉冲编码调制(PCM)
20 年	二次大战	雷达和微波系统得到发展,统计方法用于解决信号提取问题
	1948	布拉顿(Walter Brattain)、巴丁(John Bardeen)、肖克利(William Shockley)发明晶体管
		香农(Claude Shannon)“通信的数学理论”发表
	1950	时分复用技术用于电话技术
		美国开通彩色电视节目
	1956	越洋电话电缆首次成功铺设
10 年	1960	梅曼(Maiman)展示了激光器
	至	第一颗通信卫星 Telstar I (1962 年)发射成功
	1970	试验性的脉冲编码调制系统;试验性的激光通信;集成电路;数学信号处理;登月实况电视转播(1968 年) 分时计算

续表

间隔	年份	事 件
10 年	1970 至 1980	商用中继卫星通信(语音和数字);千兆比特信号传输速率;大规模集成电路;通信电路的集成电路实现;洲际的计算机通信网;低损耗光纤;光通信系统;分组交换的数字数据系统;实现宏伟的星际旅行或漫游(1977);实现与木星、土星、天王星、海王星(1989年8月)通信;微处理器;计算机的X线断层摄影术;超级计算机的发展
10 年	1980 至 1990	卫星星上交换;移动,蜂窝电话系统;多功能数字显示器;2千兆采样/s的数字示波器;桌面发布系统;可编程数字信号处理器;自动扫描的数字调谐接收机;芯片加密;单片数字编译码器;红外数据/控制链路;压缩光盘音频播放器;200 000单词的光存储介质;以太网发展;贝尔系统解体,允许长话和电话服务的竞争;数字信号处理器的发展
10 年	1990s	全球定位系统(GPS)完成;高清晰电视;甚小口径卫星地面站(VSATs);首个基于卫星的全球蜂窝电话系统完成(1998);综合业务数字网(ISDN)发展;蜂窝电话的广泛使用(许多国家超过50%);因特网的个人和商业应用的普及

►► 1.1 通信系统框图

图 1.1 给出一个常用的单向链路通信系统的模型^①,尽管它显示的是两个远距端点之间的一个通信系统,但这个方框图也适用于遥感系统,例如雷达和声纳,其中输入输出可以位于同一地点。不管具体的应用和结构如何,所有的信息传输系统总是包括了三个主要子系统:一个发射机,信道,一个接收机。本书通常考虑两个远距离端点间信息传输的系统。然而,需要强调的是,书中介绍的系统分析方法却不仅限于这种系统。

下面我们详细地讨论图 1.1 中所列出的各个功能模块。

^① 更复杂的通信系统与其说是标准(norm),倒不如说是规定(rule)。一个广播系统,例如电视或商业无线电台是一对多的情形,单一信源发出的同一信息由多个信宿接收;一个多址的通信系统是多用户共享同一信道,许多卫星通信系统可作为典型范例。而多对多的通信情况是最复杂的,电话系统与因特网可以作为典型例子,众多用户中的任何一对都允许通信。在多数情况下,本书只考虑单发单收这种最简单的情况,尽管也会在复用和多址的主题下讨论共享一个通信信源的方法。