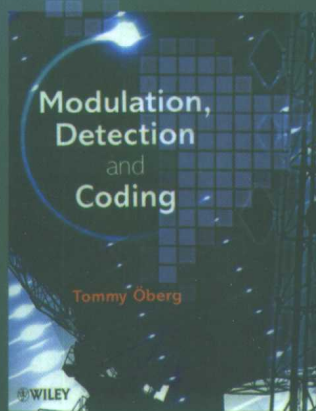


国外电子与通信教材系列

调制、检测与编码

Modulation, Detection and Coding



[瑞典] Tommy Öberg 著

何英姿 尚勇 译

陈江 李楠

项海格 审校



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

国外电子与通信教材系列

调制、检测与编码

Modulation, Detection and Coding

[瑞典] Tommy Öberg 著

何英姿 尚勇 陈江 李楠 译

项海格 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书介绍了现代通信领域中的编码和调制方法,以及有关的数字信号处理技术。全书共分为10章,首先介绍了电信系统和电信传输中的链路计算,接着概述了通信的基本理论,即信息论以及相关的信源编码和信道编码。在此基础上着重研究了无线传输中发送信号的调制以及接收信号的检测和解调技术,并进一步介绍了通信中频带受限时的信道均衡技术、发送与接收之间的各种同步技术,以及近年来备受关注的自适应天线和码分多址等问题。本书的特点是深入浅出,条理清晰,其内容包括了基本原理和方法、例题和解答、习题和答案,附录A中还提供了一些通信系统的简短介绍。读者可以通过习题来测试自己对书中内容的掌握程度,从而巩固知识,加深理解。

本书非常适合作为通信与电子信息类专业的研究生教材。对高等院校相关专业的教师、学生以及本领域的工程技术人员来说,本书也是一本相当不错的参考书。

Tommy Öberg: **Modulation, Detection and Coding**

ISBN 0-471-49766-5

Copyright © 2001, John Wiley & Sons, Inc.

All Rights Reserved. Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Inc.

No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of John Wiley & Sons, Inc.

Simplified Chinese translation edition Copyright © 2004 by John Wiley & Sons, Inc. and Publishing House of Electronics Industry.

本书中文简体字翻译版由 John Wiley & Sons 授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2003-0589

图书在版编目(CIP)数据

调制、检测与编码 / (瑞典)奥伯格著;何英姿等译. -北京:电子工业出版社, 2004.1

(国外电子与通信教材系列)

书名原文: Modulation, Detection and Coding

ISBN 7-5053-8711-1

I. 调... II. ①奥... ②何... III. ①无线电通信-调制技术-教材 ②无线电通信-检测-教材

③无线电通信-编码-教材 IV. TN92

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第121667号

责任编辑:马岚 刘静

印刷:北京兴华印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

经销:各地新华书店

开本:787×1092 1/16 印张:20.5 字数:525千字

印次:2004年1月第1次印刷

定价:29.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

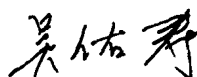
我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研单位中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择和自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“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”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严谨与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

- 主任** 吴佑寿 中国工程院院士、清华大学教授
- 副主任** 林金桐 北京邮电大学校长、教授、博士生导师
杨千里 总参通信部副部长、中国电子学会会士、副理事长
中国通信学会常务理事
- 委员** 林孝康 清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
徐安士 北京大学教授、博士生导师、电子学系副主任
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
樊昌信 西安电子科技大学教授、博士生导师
中国通信学会理事、IEEE 会士
程时昕 东南大学教授、博士生导师
移动通信国家重点实验室主任
郁道银 天津大学副校长、教授、博士生导师
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
阮秋琦 北方交通大学教授、博士生导师
计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长
张晓林 北京航空航天大学教授、博士生导师、电子工程系主任
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会委员
郑宝玉 南京邮电学院副院长、教授、博士生导师
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
朱世华 西安交通大学教授、博士生导师、电子与信息工程学院院长
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
彭启琮 电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会委员
徐重阳 华中科技大学教授、博士生导师、电子科学与技术系主任
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
毛军发 上海交通大学教授、博士生导师、电子信息学院副院长
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
赵尔沅 北京邮电大学教授、教材建设委员会主任
钟允若 原邮电科学研究院副院长、总工程师
刘彩 中国通信学会副理事长、秘书长
杜振民 电子工业出版社副社长

译者序

近年来,数字通信技术的发展日新月异,其应用范围在不断拓展,从传统的数据和语音通信,到银行结算、医疗卫生、网络购物、航空管理等,逐渐成为当今社会发展不可缺少的基础科学。与此同时,对通信容量和通信质量的要求也随之提高。计算机网络和大规模集成电路技术的日趋完善推动了数字通信技术的发展,加强了信息传输和处理的能力,使数字通信技术成为当前热门的研究领域。越来越多的人渴望掌握现代通信技术的基础知识,了解该领域的最新动向。通信与电子信息专业的学生和研究人员也急需能够反映本领域基础知识和最新进展的教材和参考书。

本书介绍了现代通信领域中的编码和调制方法,以及有关的数字信号处理技术。主要内容包括信息论及信源编码、信道编码、调制以及噪声中的信号检测技术,并以两章的篇幅介绍了自适应信道均衡以及自适应天线技术,它们是信号检测的重要组成部分,也是目前发展最快的领域。本书主要内容如下:

- 信息论和信源编码部分,除了基础信息理论、基本信源编码方法以外,还涉及了语音和图像编码的知识;
- 信道编码部分,介绍了分组码、卷积码、交织以及最新的 Turbo 码技术;
- 调制部分,包括模拟和数字载波调制,并涉及了网格编码和多载波传输技术;
- 检测部分,包括模拟和数字系统检测以及分集接收技术;
- 自适应信道均衡部分,包括信道均衡器以及基本的均衡算法;
- 自适应天线部分,包括阵列天线介绍、与阵列天线有关的信号处理技术以及空时均衡技术;
- 同步部分,包括锁相环的基础知识、载波同步、时钟同步以及帧同步技术;
- 以一定的篇幅介绍了通信链路计算、CDMA 编码及检测技术等。

作为一本探讨数字通信基本概念和原理的教材,本书并不想具体地涉及通信系统的硬件和软件设计。因此,如果要将本书的理论和方法应用于实际的系统设计,尚需要读者掌握更多的电子和数字系统知识。但是,通过阅读本书,读者可以全面而透彻地理解通信系统的基本组成以及分析系统所需的基本方法,为实际的系统设计打下坚实的理论基础,也有利于展开进一步的学习、工作或研究。

本书的特点是深入浅出,条理清晰,涵盖了数字通信领域的理论基础以及近年来的最新技术,例题丰富并给出了解答,书后提供了各章习题的答案,非常适合作为通信与电子信息类专业的研究生教材。对高等院校相关专业的教师、学生以及本领域的工程技术人员来说,本书也是一本相当不错的参考书。

本书的翻译工作分工如下:第1章至第4章由何英姿翻译,第5章由李楠翻译,第6章由陈江翻译,第7章至第10章、附录A及习题答案部分由尚勇翻译。全书由项海格审校。

由于译者水平有限,加之时间仓促,译文中难免有不妥之处,敬请读者不吝指正。

前 言

本书是为硕士以上水平的学生编写的教材,作为通信信号处理领域的导论。书中主要介绍了信源编码、信道编码、调制与解调,同时也介绍了自适应信道均衡、自适应天线的信号处理以及CDMA系统中的多用户检测,并用较短的章节涵盖了链路预算、同步和密码学。但是,本书并没有在网络方面进行探讨,关于电波传播的内容也很少。本书旨在使读者了解通信中的基本信号处理功能,以及通信系统容量的完整分析方法。由于通信领域发展很快,因此彻底理解分析方法而不仅仅是分析结果是很重要的。只有这样的知识才能在将来很长一段时期内不被淘汰,并使读者能够紧跟本领域的发展。书中的论述都是从原理图开始的,只偶尔涉及硬件和软件的具体实施方案。因此,建议读者先完成电子和数字系统基础课程的学习,以便能够将实际系统与这里介绍的原理图和方法相结合。

根据本书提供的理论基础,读者可以进行更深入的研究,也可以对书中没有涉及的新系统展开设计工作。为了更好地理解本书内容,必须先修的课程有信号处理基础和概率论。本书内容包括基本原理和方法、例题和解答、习题和答案,附录A中还提供了一些通信系统的简短介绍。读者可以通过习题来测试自己对书中内容的掌握程度,从而巩固知识,加深理解。

目 录

第 1 章 电信	1
1.1 目前的应用	1
1.2 历史	1
1.3 基本要素	3
1.3.1 发射端	4
1.3.2 信道	4
1.3.3 接收端	4
1.3.4 另一种通信系统	4
1.3.5 本书的范围	5
1.4 多用户系统	5
1.4.1 多址接入的方法	5
1.4.2 后续分析	10
1.5 相关知识：电磁频谱的划分与使用	10
第 2 章 链路计算	12
2.1 信噪比	12
2.1.1 信号功率的计算	12
2.1.2 噪声的计算	15
2.1.3 数字传输中的 SNR	19
习题	22
第 3 章 信息论与信源编码	23
3.1 信息的概念	24
3.1.1 离散信源	24
3.1.2 连续信源	25
3.2 信道	27
3.2.1 互信息	27
3.2.2 信道模型	28
3.2.3 信道容量的计算	30
3.3 信源编码	34
3.3.1 数据压缩	35
3.3.2 语音编码	44
3.4 相关知识	48

3.4.1 图像编码举例: MPEG	48
习题	49
第4章 信道编码	51
4.1 检错和纠错	51
4.1.1 分组编码的基本概念	51
4.1.2 分组码的性能	54
4.2 自动重发请求	60
4.2.1 ARQ 方案的功能	60
4.2.2 ARQ 方案的性能	61
4.3 分组码	63
4.3.1 伽罗瓦域	63
4.3.2 线性分组码	64
4.3.3 循环码	71
4.3.4 非二进制分组码	79
4.3.5 修改分组码	80
4.4 卷积码	83
4.4.1 卷积码的描述	83
4.4.2 卷积码的性能	87
4.4.3 卷积码的译码	90
4.5 交织	99
4.6 Turbo 码	101
4.6.1 编码	101
4.6.2 译码	102
4.7 加密	109
4.7.1 RSA 算法	112
4.8 相关知识	113
4.8.1 应用纠错编码的例子	115
习题	117
第5章 调制	119
5.1 基带调制	119
5.1.1 预编码	120
5.1.2 低通信道的脉冲波形	120
5.2 带通系统和信号的分析方法	124
5.3 模拟载波调制	130
5.3.1 模拟幅度调制	130
5.3.2 模拟相位和频率调制	138
5.4 数字载波调制	143

5.4.1	数字幅度调制	143
5.4.2	数字相位和频率调制	144
5.4.3	有记忆非线性调制	146
5.4.4	数字调制的频谱	153
5.4.5	调制与纠错编码组合	162
5.4.6	多载波传输	167
5.5	相关知识	168
5.5.1	各种频率脉冲	168
5.5.2	大状态图信号的频谱计算	169
	习题	169
第 6 章	噪声中的信号检测	171
6.1	窄带噪声的基本原理	171
6.2	模拟系统	174
6.2.1	噪声对幅度调制的影响	174
6.2.2	噪声对角度调制的影响	177
6.3	数字系统	182
6.3.1	最佳接收机	182
6.3.2	信号空间	188
6.3.3	误比特率的计算	193
6.3.4	复杂判决空间中错误概率的计算	205
6.3.5	非相干接收机	207
6.3.6	一些调制方式的比较	214
6.4	分集	221
6.4.1	分集合并的方法	222
6.4.2	误比特率	223
6.5	无线电接收机	224
6.6	相关知识	226
6.6.1	一些调制方式的误比特率	226
6.6.2	Q 函数	226
6.6.3	通信中的一些重要概率密度函数	227
6.6.4	范数	227
	习题	228
第 7 章	自适应信道均衡	230
7.1	信道均衡器	230
7.1.1	迫零均衡器	231
7.1.2	基于 MMSE 的均衡器	232
7.2	自适应算法	234

7.2.1	LMS 算法	237
7.2.2	递归最小二乘算法	242
7.3	相关知识	245
7.3.1	脉动阵	245
第 8 章	自适应天线	248
8.1	阵列天线	248
8.1.1	可控主瓣的天线	249
8.1.2	阵列天线输出信号的矢量描述	251
8.1.3	多波束天线	253
8.2	阵列天线信号处理	255
8.2.1	基于参考信号的方法	255
8.2.2	线性约束最小方差法	256
8.2.3	MUSIC	258
8.3	空时均衡器	261
8.3.1	传输信道	261
8.3.2	ST-MLSE	263
8.3.3	ST-MMSE	265
8.3.4	信道参数的估计	266
第 9 章	CDMA: 编码与检测器	268
9.1	扩频码	268
9.1.1	沃尔什码	269
9.1.2	m 序列	270
9.1.3	gold 序列	273
9.1.4	Kasami 序列	273
9.2	CDMA 检测器	274
9.2.1	线性检测器	275
9.2.2	干扰抵消	277
9.3	相关知识: m 序列的生成多项式	279
第 10 章	同步	280
10.1	引言	280
10.2	锁相环的基本原理	280
10.2.1	模拟锁相环分析	281
10.2.2	数字锁相环	285
10.3	载波同步	286
10.3.1	平方环	286
10.3.2	科斯塔斯环	287

10.4 时钟同步	287
10.5 帧同步	289
10.5.1 同步概率	289
10.5.2 同步码	290
10.5.3 锁定策略	291
附录 A	292
习题答案	301
术语表	304

第1章 电 信

1.1 目前的应用

当前的电信科学是一门牢牢扎根于人类社会的科学,这门科学基于人们希望相互之间进行通信的需求。这种通信可能是两个人通过电话的交谈,也就是所谓的点对点通信连接。通信连接的端点可能位于同一幢建筑物内或地球的两端,可能是静止的也可能是移动的。移动通信连接的一个例子是航空通信,信息在控制塔和飞机之间传递。另一个例子是海岸无线电通信,信息在海面上的船舶与静止的海岸无线站之间传递。移动通信是一个快速发展的领域。未来的电话系统将以个人电话的理念为基础。那时电话号码将不再是导向一个特定的、像电话机这样的通信终端,而是连接到某个人,无论这个人当时恰好处于哪个终端。需要传递的不仅仅是语音信息,图像和数据的传递已成为信息流中快速增长的部分。例如银行信息传输,从现金数额到大金融机构之间的数据传输,是数据通信的范例,这样的信息传输对可靠性和安全性都有较高的要求。无线广播是一种与点对点连接不同的通信方式,通常有一个发射机和多个接收机。除了广播和电视娱乐以外,气象地图也是通过无线广播从卫星传递到地球上的几个接收机的。

为了更好地发送信息并为用户提供更大的移动性,未来的通信系统将继续扩大容量。不同类型的信息将在电信网络中用同样的方式进行处理。而其他一些方面,例如对最大时延、数据传输中的最大错误数以及用户愿意为传输支付的费用等方面的处理也会相应地有所改观。

1.2 历史

基于电子方法(不包括篝火、机械信号机等)的通信始于1833年,当时两个德国教授高斯和韦伯,用针式电报机建立了一个电报连接。莫尔斯改进了这些方法,使之更为实用化,并发明了基于字母的莫尔斯码。这应当说是通信编码理论的首次应用。莫尔斯码用点和长划号的组合代表字母,其中短组合用于表示常用的字母。1837年,莫尔斯在华盛顿演示了电报,从而使电报迅速发展成为世界通用的通信工具。1877年2月,贝尔提出一项新的发明:电话。在美国马萨诸塞州塞勒姆市的一个拥挤的演讲厅内,目瞪口呆的听众听到了30 km以外贝尔助手的声音。1864年,第一根大西洋电缆铺设完成之后,电话的发展显著加快。起初的电话电缆一次只能传递一路电话。20世纪50年代引入了同轴电缆并采用模拟载波技术,每根电缆可以同时传递36~4000路电话。从1965年起,卫星开始对远距离通信的发展产生很大的影响。最早的通信卫星是1962年开始运行的Telstar和Relay。1963年,人类发射了第一颗地球同步轨道卫星Syncom。为使其轨道周期为24小时,其高度必须是35 800 km,这样才能在同一大陆上昼夜使用它。自1985年以来,光纤以极高的传输容量(参考图1.1)提供了点对点连接的可能性。一条高质量的光纤能够以400 Gb/s的速率传递信息,这意味着一条单根光纤能够同时传输4 000 000路以上的电话。如果将来使用合适的附加设备,则每条光纤可传递的信息可望达到5~10 Tb/s。

无线通信始于1895年。来自意大利Bologna的21岁学生马可尼试图不用电线而在两个站点之间传递莫尔斯码。其可行性基于英国数学家麦克斯韦于1867年提出的理论(该理论对当今的物理

学学生来说是众所周知的)。但是, 麦克斯韦从来没有设法用实验来证明该理论。1886年, 德国物理学家赫兹对其进行了验证, 但赫兹却怀疑电磁波用于电报传输的可行性。1901年12月12日, 马可尼设法进行了穿越大西洋的简单信息传递。由于马可尼和德国的布朗在无线电报发展方面所取得的成就, 他们获得了1909年的诺贝尔物理学奖。俄国的波波夫也同时进行了成功的无线电传输实验, 但是他并没有像马可尼那样受到业界的重视。

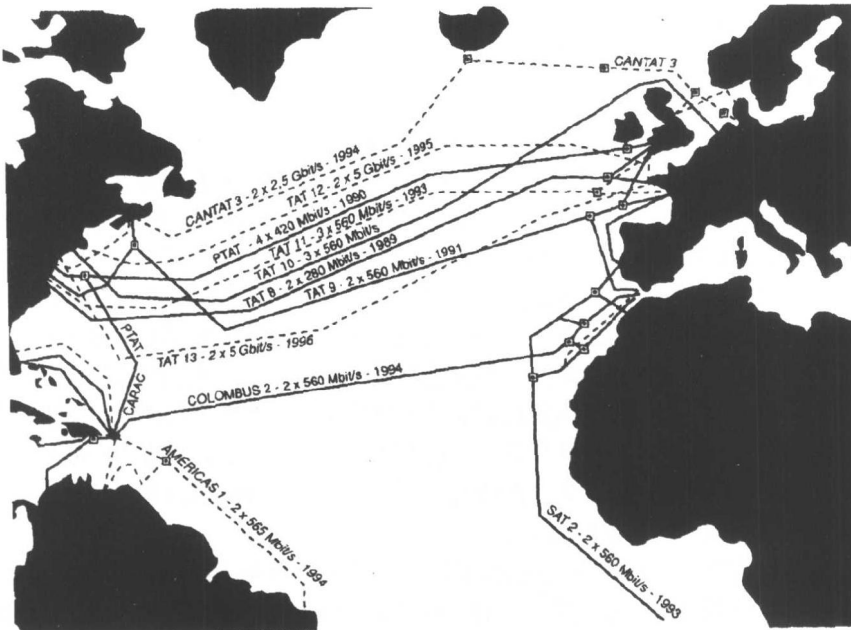


图1.1 可选的、跨越北大西洋的光纤传输。© 1993 IEEE J. Thiennot; F. Pirio; J. B. Thomine, Optical Undersea Cable Systems Trends, Proceedings of the IEEE, November 1993

无线电为大规模通信提供了第一个真实范例。第一次无线电广播可能是1920年11月2日在匹兹堡的一个车库里进行的。俄裔美国人 Sarnoff 提出了无线广播的思想, 他起初是在纽约的马可尼公司做信童。伟大的工程师、发明家及研究家 Armstrong 进一步发展了无线电技术, 他发明了再生接收机、超外差接收机以及 FM 技术。Armstrong 之所以会发明 FM 技术, 是由于他追求完美的天性使然, 因为他不满意 AM 技术所提供的声音质量。随后不久, 电视也出现了。1926年, 苏格兰人 Baird 用电子装置成功地从一个房间向另一个房间传递了一幅运动图像。该装置是采用带孔的旋转圆盘构建而成的, 它成功地进行了逐行传输, 从而得到了整幅图像。俄国人 Zworykin 全面开发了电视技术。1931年, 他设计了第一个电子图像管以及第一部实用的摄像机管。BBC (British Broadcasting Cooperation, 英国广播公司) 于1932年开始在伦敦进行电视广播。

无线通信的一个主要应用是在运输部门。如果没有无线电、雷达以及基于无线电的导航和着陆设备, 今天的航空运输是不可想像的。在海运中, 很早就开始利用无线电来增强安全性。无论是什么样的天气和观测条件, 船只在遇险时都能寻求帮助, 这是史无前例的重大突破。1899年, 美国客轮圣保罗号配备了火花型的马可尼发射机作为试验。第一类无线通信就是莫尔斯电报, 这种技术目前已经不再使用了。海事通信一般通过基于卫星的 INMARSAT (INTERNATIONAL MARITIME SATELLITE organization, 国际海事卫星组织) 系统直接传递语音或数据。使无线电技术广为人知的最初的伟大成就之一, 就是1912年泰坦尼克号沉没时发出的求救信号。

移动电话系统使移动终端可能获得与固定网络相同的业务。1946年,美国 AT&T 公司 (American Telephone and Telegraph Company, 美国电话电报公司) 的移动电话网络在美国的圣路易斯启用。由于该系统的成功, AT&T 一年之内就在另外 25 个城市也建立了同样的移动网络。每个网络有一个基站 (主站), 其设计宗旨就是使之具有尽可能大的覆盖范围。这种系统的问题在于, 移动台必须具有足够高的输出功率, 以便与基站的覆盖范围相匹配, 即由小功率电池驱动的电话是不可能实现的。此外, 可用的无线频段也没有得到有效利用。其实, 早在 1947 年就有人针对上述问题, 提出了基于以下原理的解决方案: 将移动网络覆盖的地理区域划分成多个按照蜂窝结构排列的小区。每个小区内放置一个覆盖范围相对小的基站, 这就是所谓的蜂窝系统。这样就可能在较近距离重复使用载波频率, 同时用户容量也相应增加。随即出现的一个问题是, 必须有某种类型的自动越区切换, 即当移动终端跨越两个基站之间的边界时, 通信连接必须不中断地从一个基站转移到另一个基站。这个问题经过很长时间才得以解决。第一个蜂窝移动电话网到了 1981 年秋天才开始运营。该系统称为 NMT (Nordic Mobile Telephone, 北欧移动电话), 是 Nordic telephone authorities (瑞典、芬兰、挪威、丹麦和冰岛) 联合开发的。第一代移动电话系统, 例如 NMT, 是模拟制式的。现在的移动电话系统则是基于数字信号处理技术的。第三代移动电话是基于 CDMA (Code Division Multiple Access, 码分多址) 技术的。基于 CDMA 的通信系统早在 1950 年就被 Rogoff 提出了。该技术最初应用于军事系统和导航系统。基于 CDMA 技术的第一个移动电话标准是 1993 年 7 月建立的北美 IS-95 标准。移动电话系统也通过 Iridium 和 Globalstar 这样的系统进入了太空领域, 使对手持终端的全世界范围覆盖成为可能。

随着因特网的出现, 电信业也有了新的发展。目前所说的因特网起源于 ARPANET (Advanced Research Project Agency, 高级研究计划署), 是一个研究项目的成果。其目标是构建一种计算机网络, 使得即使由于战争等因素, 导致其中一些部分不能工作, 该网络仍能运转。1969 年是一个里程碑, 位于美国几所不同大学的四台计算机连接到了一起。在世界的另一个角落, 欧洲核研究实验室 CERN 需要一种能够处理文件的系统。于是, 协议和文本格式的开发和标准化工作开始了, 其结果是产生了 WWW (World Wide Web, 万维网), 这是有效使用因特网的手段。1993 年是另一个里程碑, 在这一年, 人们创造了计算机程序 Mosaic。该程序为 WWW 提供了简单的接口, 使网络资源能够为计算机专家以外的其他人所访问。与此同时, 因特网受到了高层的注意。这就进一步促进了通信的发展。

没有哪一个回顾性的综述能够不提到贝尔实验室的先驱, 理论家香农 (1916~2001)。在模拟通信取得巨大进展的那段时间里, 香农为可靠通信的大多数理论基础提供了公式化的表述, 从而为当今的数字通信奠定了基础。其著作 “A Mathematical Theory of Communication” 于 1948 年 7 月和 10 月出版。本书的大量内容都是以他的著作为基础的。

为了使通信系统真正做到功能强大, 需要较大的运营范围, 以便服务于更多用户。因此, 不同系统之间必须能够相互通信, 这就需要一个标准的通信格式。ITU (International Tele Union, 国际电信联盟) 就是处理电信标准的一个国际性组织。

1.3 基本要素

通信系统可以按照几种不同的方式进行划分。其中一种方式是基于七层的 OSI (Open System Interconnection, 开放系统互连) 模型的。该模型拘泥于分层结构, 不适于从信号处理的观点来描述通信系统。信号处理主要用于处理该模型的第一层 (物理层) 和第二层 (数据链路层)。图 1.2 中描述了更适于信号处理的模型。该模型适用于特定应用的物理连接, 例如所谓线路交换连接 (如电

话)以及无线广播、电视等。当遇到诸如因特网这样的分组交换网络时,就不能在信源和用户之间标识出一条单一的路径。数据在具有空闲容量的地方找到自己的路径,且信息的不同部分可能会选择不同的路由。在这种情况下,就必须从信号处理的观点来研究网络中的单个物理链路,或者采用在字(word)或分组级上描述连接的信道模型。

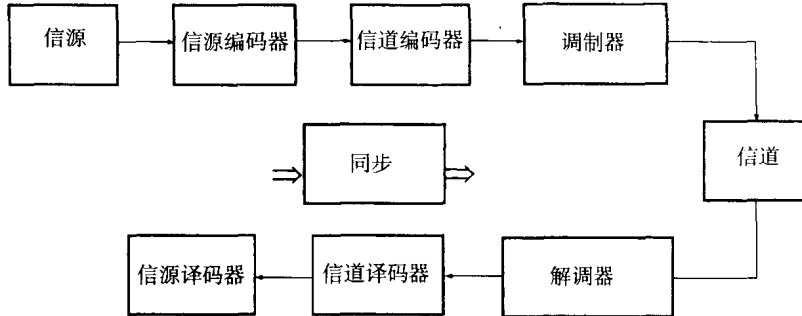


图 1.2 通信系统的基本模块

1.3.1 发射端

信息是由某种信源产生的,例如人的发音器官、数据节点、图像、计算机等。大多数情况下,这些信息需要转换成适于电子通信系统传输的形式。这种转换必须是在有效的方式下,且必须尽可能少地占用诸如通信容量这样的宝贵资源。信息的转换是在信源编码器中完成的。在某些情况下,必须对信息进行加密,加密可以在信源编码之后进行。本书只是简单地涉及这个问题,这也是图 1.2 中没有包括加密模块的原因。尽管如此,由于所有信息都是数字形式的,因此很容易就能够实现防止非法用户窃听的通信。信源编码后的信息还需要进行进一步的处理,以便消除信道传输或信息存储过程中存在的缺陷所造成的影响。在信道编码器中,使用各种方法来实现这种处理。调制器是系统的一个组成部分,它将消息转换成适于信道传输的信号形式。

1.3.2 信道

信道是传输或存储信息的媒介。例如,有线连接中两个端点之间的电缆,无线连接中发射机和接收机之间的环境,或者存储信息的磁介质。信道模型是信道特性的数学模型。

1.3.3 接收端

信号通过信道之后,会产生失真。在解调器中要将信息尽可能准确地恢复出来。解调器中通常应包括一个均衡器单元。为了使误比特率最低,均衡器应调整解调过程,使之适应于信号在信道中出现的变化。即使解调器做得再好,信息中仍然会存留一些错误。信道编码在有限范围内提供了纠正这些错误的可能。纠错或检错是在信道译码模块中进行的。由于信息在信源处进行了编码,因此还必须进一步将信号转换成接收端能够理解的形式,例如恢复为人的语音,或者恢复为图像。这些都是信源译码器中完成的。为了使系统正常工作,发射机和接收机中的某些时间参数必须是共同的。例如,接收机必须知道发射机以何种速率以及在哪个时刻改变信息符号。接收机在同步模块中完成这些参数的测量。

1.3.4 另一种通信系统

同样的通信模型可以用来描述你现在所处的情况。本书作者要将信息传递给接收机,也就是你。作者借助语言将信息编码,希望这是一种有效的方式。纠错是本系统内置的功能,因为即使这