

世界著名大学核心教材 通信类

无线通信技术

(加) Roy Blake 著

周金萍 唐伶俐 译



科学出版社

www.sciencep.com

世界著名大学核心教材 通信类

无线通信技术

(加) Roy Blake 著

周金萍 唐伶俐 译

科学出版社

北京

图字: 01-2003-2023 号

内 容 简 介

本书对最新无线通信系统作了较完整的介绍,内容有基础知识、模拟调制、数字通信及其调制、电话技术、传输线路和波导、无线电传播、天线、发射与接收电路、蜂窝通信、个人通信系统、卫星通信、寻呼与无线数据网络等,书中还对无线通信的发展前景作了预测。本书内容比较新颖,综合性较强,可作为高等学校电子和通信类本、专科教材,也可供相关专业人员参考。

First published by Delmar, a division of Thomson Learning.

All Rights Reserved.

Authorized Simplified Chinese Edition by Thomson Learning and Science Press. No part of this book may be produced in any form without the express written permission of Thomson Learning and Science Press.

本书简体中文版由 Thomson Learning 授权科学出版社出版, 未经出版者书面允许不得以任何方式复制或抄袭本书全部或部分內容。

版权所有, 翻印必究。

图书在版编目(CIP)数据

无线通信技术/(加)布雷克(Roy Blake)著;周金萍等译. —北京:科学出版社, 2004

(世界著名大学核心教材 通信类)

ISBN 7-03-012457-X

I. 无... II. ①布...②周... III. 无线电通信—高等学校—教材
IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 099052 号

责任编辑: 袁永康/责任校对: 耿 耘
责任印制: 吕春珉/封面设计: 一克米工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码 100717

http://www.sciencep.com

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2004年1月第一版 开本: 787×1092 1/16
2004年1月第一次印刷 印张: 27 1/2
印数: 1—4 000 字数: 628 000

定价: 44.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换(路通))

前 言

无线电通信是电子学的最早应用之一，也是电子学的最新应用之一，因为在这一领域里每天都有新的进展。过去的几年里，人们已经目睹了蜂窝电话、卫星电话和移动数据传输等的面世，所举的这些都是新系统。这些新系统所基于的是与诸如无线电和电视广播、点对点的微波链路等传统的通信形式相同的一些原则，但是所强调的重点，以及其中所涉及的许多细节是不同的。在这一领域内没有哪本书所讲述的是全新的东西，因为这一领域的变化实在太快，不过这本书的确在朝这方面努力。它和包括我自己曾经编写的课本在内的许多传统的无线电通信类课本相比，更加强调的是使用无线电技术的现代移动通信系统，而不是强调广播、有线通信、光纤网络或固定链路业务等。移动或便携式无线通信系统是整个通信领域中发展最快的部分，因此作这种讲述是合理的。

读者对象

考虑到许多读者可能几乎或根本没有有关通信系统的先验知识，因此本书讲述了所有类型的电子通信所共有的基础知识。那些已经修读了一门以上通信系统课程的读者将会发现，这些章节对于巩固所学知识和为从第 10 章开始详细讲述的现代系统做好准备非常有用。对于那些几乎或根本没有通信背景的读者而言，这本书也可设置成两个学期的课程。

本书可用于两年制、三年制或四年制的电子学学习课程。本书假设读者已经有电子学基本知识（模拟电子学和数字电子学），以及具有代数学和三角学水平的基本数学知识。此外还需要对数和分贝的基本知识。但是不需要懂微积分。

本书结构

当然，在无线通信中所使用的技术与在其他通信分支中所使用的技术相比具有类似之处，因此有必要重温一下在射频通信领域中的许多传统话题，如信号类型、调制方案和噪声影响等。第 1 章讲述了有关频域内信号和噪声的基础知识。第 2 章讲述的是几种传统的模拟调制方案，其中的重点是 FM，它要比传统的 AM 及其在现代无线系统中的变体重要的多。有关传输线路、天线和无线电的传播等知识可以在本书的第 6 章和第 7 章中找到，其中重点放在它们在现代无线系统的技术使用上。

知道基本的数字通信理论对于学习无线通信的学生而言是至关重要的：许多无线系统使用的是数字调制方案和数字化语音，并且几乎所有的系统都能够发送数据，

无论是直接发送还是使用调制解调器。本书第 3 章和第 4 章讲述了数字通信。由于许多无线系统与有线电话系统相连，因此了解基本的电话技术对于涉足无线通信的人而言也是非常重要的。这些知识是在第 5 章中讲述的。在结束了第 8 章对天线的学习和第 9 章对发射器和接收器电路的学习之后，就完成了现代无线系统的知识准备。

在开始第 10 章对蜂窝电话的学习时，就带着所学的基础知识对一些具体系统进行考察。全书的重点是各个通信系统，而不是单个的部件和特定的电路，因为后者将会很快过时（本书作者使用了三年的移动电话已经是一件老古董了）。第 10 章专注于模拟和数字蜂窝电话系统，而第 11 章则讲解了个人通信系统，并比较了这些业务的具体实施方式。第 12 章讨论了卫星在无线通信中的使用。它的下一章讲述的是传呼系统和无线数据通信。最后，本书通过展望无线通信的未来作为全书的结束语。

本书特点

本书的重点是系统而不是电路的具体细节。本书假设读者已对基本的模拟和数字电路比较熟悉，并且本书还根据需要，对有些具有专门无线应用的电路进行了介绍。在电路讲述中的重点是讲解电路的工作原理，详细的电路分析可参考许多讲解电路理论的书籍。同样，在对诸如波导管和天线的讲述中，将重点放在它们的实际应用上，而不是在详尽的理论演化上。

在每章的开始都有“本章目标”部分，以便同学们能够很容易地通过参考该部分内容找到本章中相应的学习材料。每章末尾还有“本章小结”、“公式列表”以及“问题”和“习题”部分。书后还给出了奇数习题的答案。其他像本书一样讲述动态性主题的书籍都需要不断地进行包括文字更新和材料补充等在内的更新，可以浏览 Delmar 电子技术公司的网站：www.electronictech.com。

致 谢

本书作者和 Delmar 公司真诚感谢以下对于本书的最终脱稿做出贡献的书评家：

Al Brown, ECPI, Hampton, VA

Robert Diffenderfer, DeVry Institute of Technology, Kansas City, MO

John Floyd, Eastern Shore Community College, Melfa, VA

Bruce Frederick, DeVry Institute of Technology, Phoenix, AZ

Carlos Sapijaszko, DeVry Institute of Technology, Alberta, Canada

Norman Zhou, University of Wisconsin-Stout, Menomonie, WI

关于作者

Roy Blake 是位于加拿大安大略省韦兰（Welland）市的尼亚加拉应用文理学院的电子技术科学教授。他主要教授电子通信方面的课程，这些课程针对的是技术员

和技术专家一类人员。他还著有另外两本教材，一本是《基础电子通信》（英文书名为 *Basic Electronic Communication*, West, 1993），另一本是《电子通信大全》（英文书名为 *Comprehensive Electronic Communication*, West, 1997，由 Delmar 公司发行）。Blake 教授从多伦多大学获得文学学士学位和文学与科学（电子工程）学士学位，并从 Brock 大学获得教育学硕士学位。他还是 IEEE（电子电气工程师协会）及其若干分会的会员。他与他的妻子和两个分别为 7 岁和 13 岁大的孩子居住在 Welland 市。

要联系本书作者，可以使用电子邮件地址：rblake@niagarac.on.ca；或者浏览他的网页：<http://www.technology.niagarac.on.ca/people/rblake>。

目 录

第 1 章 基本概念	1
1.1 概论	1
1.2 无线通信简史	1
1.2.1 发端	2
1.2.2 战后的快速发展	2
1.2.3 蜂窝电话的革命	3
1.3 无线通信系统原理	3
1.3.1 单工与双工通信	4
1.3.2 无线网络	5
1.4 信号与噪声	6
1.4.1 调制信号	6
1.4.2 噪声	6
1.4.3 信噪比	7
1.4.4 噪声指数和噪声温度	8
1.5 频率域	9
1.5.1 傅立叶集	10
1.5.2 信号的滤波效果	16
1.5.3 频域中的噪声	16
1.6 无线频率谱	17
1.6.1 带宽要求	19
1.6.2 频率再利用	20
1.7 “融合”与无线通信	20
习题	24
第 2 章 模拟调制方案	26
2.1 概论	26
2.2 幅值调制	26
2.2.1 时域分析	28
2.2.2 调制指数	29
2.2.3 过调制	31
2.2.4 多个调制频率时的调制指数	32
2.2.5 调制指数的测量	32
2.2.6 频域分析	33
2.2.7 带宽	35

2.2.8	功率关系	36
2.2.9	在频域中测量调制指数	38
2.3	抑制载波 AM 系统	39
2.4	频率调制和相位调制	41
2.4.1	频率调制	41
2.4.2	角调制频谱	42
2.4.3	贝塞尔函数	43
2.3.4	带宽	48
2.4.5	卡森法则	50
2.4.6	窄带 FM 与宽带 FM	50
2.4.7	FM 与噪声	51
2.4.8	阈值效应和捕获效应	53
2.4.9	预加重和去加重	54
	习题	58
第 3 章	数字通信	62
3.1	概论	62
3.2	采样	63
3.2.1	采样率	63
3.2.2	自然和平顶采样	66
3.2.3	模拟脉冲调制	67
3.3	脉码调制	68
3.3.1	量化和量化噪声	68
3.3.2	比特率	69
3.3.3	压缩扩展	69
3.3.4	编码与解码	70
3.3.5	差分 PCM	73
3.4	增量调制	73
3.5	数据压缩	75
3.5.1	有损和无损压缩	75
3.5.2	语音编码器	76
	习题	79
第 4 章	数字调制	81
4.1	概论	81
4.2	频移键控 (FSK)	85
4.3	相移键控 (PSK)	88
4.4	正交调幅 (QAM)	89
4.5	多路复用与多址	90
4.5.1	频分复用与多址	90
4.5.2	时分复用与多址	90

4.5.3	电话技术中的时分复用	91
4.5.4	时分多址	91
4.6	扩频系统	91
4.6.1	跳频系统	93
4.6.2	直序系统	94
4.6.3	扩频信号的接收	95
4.6.4	码分多址 (CDMA)	96
习题	100
第 5 章	电话技术基础	102
5.1	概论	102
5.2	网络拓扑	103
5.3	本地环路及其信号	105
5.4	数字电话技术	108
5.4.1	时分多路技术	109
5.4.2	数字信号分级系统	110
5.5	电话网络信令	111
5.6	数字本地环路	113
5.6.1	综合业务数字网 (ISDN)	113
5.6.2	非对称数字用户电话线 (ADSL)	114
习题	118
第 6 章	传输线路与波导管	120
6.1	概论	120
6.2	电磁波	120
6.3	波沿传输线路的传播	122
6.3.1	传输线路的电路模型	124
6.3.2	特性阻抗	124
6.3.3	传播速度和速度因子	127
6.3.4	波沿传输线路的传播	127
6.4	反射与驻波	129
6.4.1	线路阻抗的变化	134
6.4.2	短路和开路线路的特性	134
6.5	传输线路损耗	136
6.6	波导管	137
6.6.1	模和截止频率	138
6.6.2	群速度与相速度	140
6.6.3	波导管的阻抗	143
6.6.4	耦合功率进出波导管	144
6.6.5	波导管元件	146
6.6.6	弯管与 T 型管	146

6.6.7	谐振腔	148
6.6.8	波导衰减器与负载	148
6.6.9	循环器与绝缘器	149
	习题	154
第7章	无线电传播	156
7.1	概论	156
7.2	自由空间传播	157
7.2.1	接收天线增益和有效面积	160
7.2.2	路径损耗	161
7.3	地面传播	164
7.3.1	视距传播	164
7.3.2	多径传播	165
7.3.3	移动环境	166
7.3.4	中继器与蜂窝系统	169
7.3.5	移动系统中的衰落控制	174
7.4	卫星传播	175
	习题	179
第8章	天线	181
8.1	概论	181
8.2	简单天线	182
8.3	天线特性	184
8.3.1	辐射图	184
8.3.2	增益和方向性	186
8.3.3	波束宽度	188
8.3.4	前后向增益比	188
8.3.5	主波瓣与副波瓣	189
8.3.6	有效全向辐射功率 (EIRP) 与有效辐射功率 (ERP)	189
8.3.7	阻抗	190
8.3.8	极化	191
8.4	其他简易天线类型	191
8.4.1	折叠偶极天线	191
8.4.2	单极天线	192
8.4.3	八分之五波长天线	195
8.4.4	盘锥天线	196
8.4.5	螺旋天线	197
8.4.6	隙缝天线	198
8.4.7	喇叭形天线	198
8.4.8	片状 (patch) 天线	200
8.5	天线阵列	201

8.5.1	相控阵	202
8.5.2	无源阵列	207
8.6	反射器	209
8.6.1	平面反射器和角反射器	209
8.6.2	抛物面反射器	210
8.7	蜂窝天线和 PCS 天线	213
8.7.1	小区站点天线	213
8.7.2	移动天线和便携式天线	218
	习题	221
第 9 章	发射机与接收机电路	224
9.1	概论	224
9.2	发射器	224
9.2.1	基本拓扑结构	225
9.2.2	频率合成器	226
9.2.3	载波振荡器	227
9.2.4	模拟调制	228
9.2.5	幅值调制	228
9.2.6	数字调制	230
9.2.7	混频	233
9.2.8	功率放大	234
9.2.9	发射器的指标要求	237
9.3	接收机	240
9.3.1	基本的超外差式接收机	240
9.3.2	前端	241
9.3.3	混频器和本机振荡器	241
9.3.4	IF 放大器	243
9.3.5	解调	244
9.3.6	接收机指标	247
9.4	收发机	252
9.4.1	半双工收发机	252
9.4.2	移动和便携式电话	253
	习题	256
第 10 章	蜂窝无线电系统	259
10.1	概论	259
10.2	历史回顾	259
10.2.1	CB 无线电系统	259
10.2.2	无绳电话	261
10.2.3	改进型移动电话业务 (IMTS)	263
10.3	高级移动电话系统 (AMPS) 介绍	264

10.3.1	蜂窝载波与频率	265
10.3.2	信道分配	266
10.3.3	频率再用	266
10.4	AMPS 控制系统	267
10.4.1	移动台与基站的标识	268
10.4.2	电话开机	269
10.4.3	发起呼叫	269
10.4.4	接收呼叫	270
10.4.5	越区切换	270
10.5	安全与保密	270
10.6	蜂窝电话标准及工作原理	271
10.6.1	发射机功率与频率	272
10.6.2	发射机调制	272
10.6.3	车载移动天线和便携式天线	273
10.7	小区站设备	274
10.7.1	话务量与小区分裂	276
10.7.2	微小区、皮小区与中继器	278
10.8	利用蜂窝电话进行传真和数据通信	280
10.8.1	蜂窝调制解调器	281
10.8.2	蜂窝数字分组数据 (CDPD)	282
10.9	数字蜂窝系统	283
10.9.1	数字蜂窝无线电系统的优点	283
10.9.2	AMPS 到 TDMA 的转换	284
10.9.3	TDMA 语音信道	284
10.9.4	TDMA 控制信道	286
10.9.5	数字蜂窝无线电系统的保密与安全	287
10.9.6	双模式系统和双模式电话	287
10.9.7	利用数字蜂窝系统进行数据通信	288
	习题	292
第 11 章	个人通信系统	295
11.1	概论	295
11.2	蜂窝系统与 PCS 系统的区别	296
11.2.1	频率范围	296
11.2.2	更小的小区规模	297
11.2.3	全数字系统	297
11.2.4	额外特征	298
11.2.5	覆盖范围	298
11.2.6	资费结构	298
11.3	IS-136 (TDMA) PCS	298

11.4	GSM	300
11.4.1	GSM 的 RF 信道和时隙	301
11.4.2	语音传输	302
11.4.3	GSM 中的频率跳变	303
11.4.4	用户 ID 模块	303
11.4.5	GSM 的保密性和安全性	303
11.5	IS-95 CDMA PCS	304
11.5.1	CDMA 的频率使用	304
11.5.2	CDMA 的信道	305
11.5.3	正向信道	305
11.5.4	反向信道	307
11.5.5	语音编码	309
11.5.6	移动台功率控制	310
11.5.7	耙式 (RAKE) 接收机和软越区切换	310
11.5.8	CDMA 的安全性	311
11.6	几种调制方案的比较	311
11.7	PCS 系统数据通信	312
11.7.1	TDMA 数据通信	313
11.7.2	GSM 数据通信	314
11.7.3	CDMA 数据通信	314
11.7.4	无线 Web 浏览	314
11.8	测试蜂窝系统和 PCS 系统	315
	习题	320
第 12 章	星基无线系统	322
12.1	概论	322
12.2	卫星轨道	322
12.2.1	轨道的计算	323
12.2.2	地球静止轨道	324
12.2.3	椭圆轨道	325
12.3	卫星用于通信	326
12.3.1	利用地球静止轨道卫星	326
12.3.2	地球静止卫星的波束和覆盖区域	327
12.3.3	使用低轨和中轨地球卫星	327
12.4	卫星与转发器	329
12.5	信号与噪声计算	330
12.5.1	噪声温度	330
12.5.2	信噪比	332
12.5.3	G/T	333
12.5.4	使用 G/T 计算载波噪声比	334

12.6	使用地球静止卫星的系统.....	335
12.6.1	Inmarsat (国际海事卫星)	335
12.6.2	MSAT (移动通信卫星)	336
12.6.3	地球静止卫星系统的比较.....	337
12.7	使用低轨 (LEO) 卫星的系统.....	338
12.7.1	Iridium (铱星系统)	338
12.7.2	Globalstar (全球星系统)	339
12.7.3	Teledesic	339
12.7.4	“小 LEO” 系统.....	340
12.8	使用中轨 (MEO) 卫星的系统	341
12.8.1	Ellipso.....	341
12.8.2	ICO.....	342
	习题.....	345
第 13 章	寻呼系统与无线数据网	347
13.1	概论	347
13.2	寻呼与消息系统.....	347
13.2.1	单向寻呼系统.....	348
13.2.2	双向寻呼系统.....	351
13.2.3	语音寻呼	352
13.3	无线局域网	352
13.3.1	LAN 的拓扑结构	352
13.3.2	以太网桥	357
13.3.3	无线 LAN	357
13.3.4	无线电 LAN	357
13.3.5	IEEE 802.11	358
13.3.6	蓝牙	361
13.3.7	无线网桥	363
13.3.8	红外连接	363
13.3.9	无线调制解调器	365
13.4	无线分组数据业务	366
13.4.1	Mobitex.....	367
13.4.2	ARDIS	367
	习题.....	370
第 14 章	无线通信的未来	371
14.1	概论.....	371
14.2	无线本地环路.....	371
14.3	第三代 PCS	374
14.3.1	3G 的要求	374
14.3.2	IMT2000 标准.....	375

14.3.3 宽带 CDMA 系统	376
14.3.4 宽带 TDMA	377
14.4 住宅微波通信系统	378
14.4.1 MMDS	378
14.4.2 LMDS	379
14.5 融合性	380
14.6 多样性	381
14.7 安全和美学上的考虑	382
14.7.1 安全考虑	382
14.7.2 美学考虑	384
14.8 几点大胆的预言	385
习题	387
附录 阻抗匹配	389
奇数序号习题答案	403
词汇表	413

第 1 章 基本概念

本章目标

通过本章的学习，读者应该能够：

- 了解无线通信的性质和重要性
- 简述无线通信的历史
- 解释在无线通信系统中进行调制的必要性
- 介绍发射器、接收器和信道在无线通信系统中的作用
- 说明单工、半双工和全双工通信系统之间的差别
- 说明无线网络的必要性并介绍中继器的用途
- 列出并简要说明几种主要的调制类型
- 给出任何一个通信系统的带宽和信息率的关系
- 在给定温度和带宽的情况下，计算出热噪声功率
- 解释信噪比的概念以及它对于通信系统的重要性
- 说明无线频率的频谱以及进行频率和波长之间的转换

1.1 概 论

本书讲述的是有关无线通信的知识。无线通信通常指利用无线电波进行通信，虽然超声波和红外线也偶尔用于通信。术语“无线”一般指非广播通信，即使用便携式或移动式通信设备的个人之间的通信。当然，这个术语也比较含糊，有些被冠之以“无线”但应用不明确的技术，不在上述定义之列。

无线通信在电子通信这一不断变化的领域中是发展最快的一支。这一部分目前由于人才的短缺，仍有许多工作要做。作者希望此书能够有补于当前的这一状况。

1.2 无线通信简史

本书较多着墨于无线通信的当前发展状况，同时也对将来的发展作了一些探讨。不过，为了理解该技术的当前发展状况，首先简要地回顾一下过去也是有益的。现在的系统是在前人们研究的基础上发展而来的，它们中的部分至今仍然在大量地为我们所用。同样可以预料，将来的系统也将是在现在系统的基础上发展而来的。

1.2.1 发 端

无线通信起步仅比有线通信稍晚一些。紧随莫尔斯 (Morse) 的电报 (1837 年) 和贝尔 (Bell) 的电话 (1876 年) 之后的就是赫兹 (Hertz) 的第一个无线电实验 (1887 年)。赫兹的系统还只是一个实验室里的设备, 而马可尼 (Marconi) 则在 1899 年和 1901 年分别实现了横跨英吉利海峡和大西洋的通信。这些成功使无线电被广泛用于船只和船只之间以及船只和海岸之间利用莫尔斯电码进行的通信。

早期的无线系统使用的是原始但功率很强的间歇放电发射器, 它仅适用于无线电报。德福雷斯特 (Do Forest) 在 1906 年发明了真空三极管, 它允许对连续波信号进行调制, 并可用于语音传输。对于究竟是谁第一个实现了语音传输一直争议不断, 不过看来有可能是 Reginald Fessenden 于 1906 年的晚些时候实现了第一个语音和音乐的公共广播系统。商业化的无线广播于 1920 年在美国和加拿大开始运营。

早期的无线发射器过于笨重, 不便于安装在运输工具上。事实上, 用于警察局的第一个移动无线系统是单工的, 在警车中只有接收器。这种系统的第一次实际安装是在 1928 年的底特律。双工的警用无线电出现于 20 世纪 30 年代中叶, 当时它的设备几乎占满了一整卡车。幅值调制 (AM) 一直使用到 20 世纪 30 年代的晚些时候, 后来取而代之的是频率调制 (FM)。

第二次世界大战大大地刺激了移动式和便携式无线系统的发展, 其中包括被称为 “walkie-talkies” 的可以在战场上携带的双工系统, 可以说是今天的蜂窝电话的远祖。频率调制较之幅值调制的优越性在战争中得到了体现。

1.2.2 战后的快速发展

第二次世界大战结束后不久, 就研制出了两个系统, 预示着现代无线通信时代的来临。美国电报电话公司 (AT&T) 在 1946 年引入了改进的移动电话服务 (IMTS) 系统, 其特征是自动地将移动用户连接到公共电话交换网 (PSTN)。因为它的容量有限, 所以提供的服务比较昂贵, 但这的确是真正意义上的移动电话服务。现在 IMTS 系统仍然应用于一些边远地区, 只要在这些地方的农舍能够接通 PSTN 即可。

第二年, 即 1947 年, 美国政府开通了民用波段 (CB) 无线电台系统。起初该系统使用的是 460MHz 左右的频率, 在这一方面它超前于时代, 因为用于 UHF 频段的设备异常昂贵。随着 1958 年 27MHz 频段的分配, CB 无线电台马上得到广泛使用。该服务使用的是短波波段, 不需要与 PSTN 相连, 并且无法为用户保密, 但是它直到现在都比较便宜, 易于使用。近年来 CB 无线电台的使用已经走下坡路了, 但是它在有些需要短波波段并且又无法连接到世界其他地方的场合中仍然发挥着作用。例如, 它可以很好地用于发布有关高速公路上的交通堵塞信息。

与此同时, 另一种不为人所注意的设备已经发展得无处不在, 那就是无绳电话。