

IT先锋系列丛书

移动通信工程 理论和应用 (第二版)

William C.Y. Lee 著

宋维模 姜焕成 等译
李明 郑岩
郑祖辉 审

**Mc
Graw
Hill** Education

人民邮电出版社
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

IT先锋系列丛书

移动通信工程

理论和应用

(第二版)

McGraw-Hill
全球智慧中文化
<http://www.mheducation.com>

ISBN 7-115-09734-8



9 787115 097347 >

Mc
Graw
Hill

ISBN7-115-09734-8/TN·1787

定价:55.00 元

人民邮电出版社
<http://www.ptpress.com.cn>

IT 先锋系列丛书

移动通信工程理论和应用

(第二版)

[美] William C. Y. Lee 著

宋维模 姜焕成 李明 郑岩 等译

郑祖辉 审

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

移动通信工程理论和应用:第2版/(美)李(Lee, W. C. Y.)著;宋维模等译.

—北京:人民邮电出版社,2002.8

(IT 先锋系列丛书)

ISBN 7-115-09734-8

I. 移... II. ①李...②宋... III. 移动通信-通信系统 IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 016124 号

IT 先锋系列丛书

移动通信工程理论和应用 (第二版)

- ◆ 著 William C. Y. Lee
译 宋维模 姜焕成 李 明 郑 岩 等
审 郑祖辉
责任编辑 杨 凌
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线 010-67180876
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京顺义振华印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 33.25
字数: 717 千字 2002 年 8 月第 1 版
印数: 1-4 500 册 2002 年 8 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记 图字: 01 - 2001 - 3978 号

ISBN 7-115-09734-8/TN · 1787

定价: 55.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

内 容 提 要

本书是享有盛誉的移动通信专家 William C. Y. Lee(李建业)在他 1982 年出版的《移动通信工程》一书基础上作了大量修改和补充编写成的,是一部很有影响的移动通信新著。

全书分 3 个部分,共 18 章。第 1、2 章讲述移动通信信号环境和统计通信理论;第 3、4 章描述在不同地形条件下的路径损耗;第 5 章介绍了系统 RF 设计对传播的影响;第 6、7 章讲述接收信号的包络和相位特性;第 8 章至第 12 章分别介绍调制、分集、合并、信号处理和干扰等技术;第 13、14 章分别讲述信号差错和话音性能的分析与系统性能;第 15 章介绍多址方案;第 16 章阐明了几个敏感课题概念;第 17 章提出了几个新概念;第 18 章介绍了军事移动通信。

本书对从事移动通信的领导、管理人员、技术人员和大专院校师生都有相当高的参考价值,也可作为教科书和教学辅导书。

版 权 声 明

William C. Y. Lee

Mobile Communications Engineering: Theory and Applications (Second Edition)

ISBN: 0-07-037103-2

Copyright © 1998 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Posts and Telecommunications Press.

本书中文简体字翻译版由人民邮电出版社和美国麦格劳—希尔教育(亚洲)出版公司合作出版。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。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2001-3978 号

感 谢

本书第一版于 1982 年出版。直到 15 年后,我才意识到有必要对原书做一个修订。修改过程非常像改做衣服。裁剪和修补一件旧衣服的工作很费时。因本书第一版的内容和结构良好,我只删去一些过时的资料且增加了大量的新资料。幸而,我有一名杰出的助手协助我修改。我衷心向 Carla Scherbert 夫人、Atyeh Sohrabzadeh 女士、Walter Strohmayer 先生和 Maribeth Eisenmann 女士致谢。此外,对全力支持我的同事、学生、读者和我的家庭,表示最深切的感激。我对这个修订版感到满意,认为它将比一本全新的书籍为读者服务得更好。

第一版的感谢

作者非常感激给这本书的编写提供过帮助的每个人。

在编写本书期间,经常受到贝尔实验室的 F.H. Blecher 博士和 C.C. Culter 博士的鼓励和支持。特别要感谢 Blecher 博士,他建议我在讲稿基础上编写本书。

感谢 ITT 国防通信公司的 G.E. Huffman 先生、M.R. Sambur 博士和 P. Torrione 先生对这本书(计划)的全力支持。感谢 R.A. Coleman 先生认真细致的编辑以及 M. Erdos 夫人和 L. Rykowski 小姐在准备原稿过程中所提供的帮助。

还必须把荣誉给予我以前在贝尔实验室的同事和我现在在 ITT 公司的同事。他们中的许多人都鼓励和支持我写这本书。

最后,感谢我的夫人 Margaret 的坚定不渝的理解和支持,我的孩子 Betty 和 Lily 对放弃我们家庭中那么多的周末和晚会时间的体谅,以及我的父母和我的姻亲为出版这本书多年来的教育和指导,借此向他们表示特别的致意。

译校者的话

本书的作者 William C. Y. Lee(李建业)是一位国际著名的从事移动通信工作的专家,他的多本移动通信著作都被读者交口称誉。本书出版的目的、作用和读者对象将在作者的序言中有所说明,这里不再赘述。这本著作对我国从事移动通信的领导、技术和管理人员会有很大的帮助,因此具有很高的参考价值。

本书的序言、感谢、引言、第1章由宋维模译;第2、3章由罗强一译;第4章至第7章由李明译;第8章至第12章由姜焕成译;第13、14章由郑岩译;第15章至第18章由宋维模译。全书译稿由郑祖辉进行校对和总审定稿。在完成本书译文的录入中,詹巍做了大量的工作。但由于译校者的水平以及时间关系,译本中难免会有错误,敬请读者批评指正。

译校者

作者简介

William C.Y.Lee (李建业)是在 Walnut Creek 和 California 的 Airtouch 通信公司从事应用研究的副总裁和首席科学家。李建业博士是移动通信领域中最著名的教育家之一,也是由 McGraw-Hill 出版发行的最畅销的 *Mobile Cellular Telecommunications* (《移动蜂窝通信》)一书的作者。

序 言

通信工程专业的学生通过本书可得到本专业的有关资料和分析结果,从而帮助他们提高理论知识水平,并了解移动无线电通信设计领域。本书介绍的理论支持工作在甚高频(VHF)和特高频(UHF)范围内,并组成在商业和军事环境中使用的大容量移动通信的移动无线电发射机、接收机和天线装置的设计和研制。本书对移动无线电电话网络的监视、控制和交换部件也作了简要的介绍,以使读者了解标准电信网络的操作限制对移动无线电设计的影响。

本书的部分资料是从已发表的著作和为支持内部继续教育计划(INCEP)所拟定的讲义草稿中摘录来的,INCEP是1978年贝尔电话实验室为工程技术人员首次提出的。

ITT国防通信公司实施的补充研究项目,进一步通过许多资料提出了战术军事应用移动无线电设计的要求。本书的前言将弥补学生不熟悉移动无线电通信的缺陷,并将引导工程技术人员进入先进的无线电通信领域。书中提出的设计公式和有关的设计理论,对移动无线电系统设计人员有很好的参考作用。

引言的第1部分按年代记载了移动无线电通信从1880年德国物理学家H. R. 赫兹(Heinrich Rudolph Hertz)的第一次试验到今天移动无线电设计进展的历程。引言的第2部分综述了高级移动电话业务(AMPS)的服务、传输标准(准则)和交换计划,以及蜂窝网络设计的先进思路。蜂窝系统通过重复使用指配的频道增加了在现分配的无线电频谱范围中的业务量。按照一个特殊分布矩阵的规律而对带宽的任意使用和为增加规定地区(小区)的作用距离而对分集技术的最佳运用,决定了信道频率的分配方案。引言的第3部分概括了军用移动无线电系统和商用移动无线电系统之间的基本不同点。

第1章讨论移动到固定无线电通信媒介的一般特性及其对移动无线电性能的影响,包括传播损耗、多径衰落和时延扩散。

第2章介绍包含统计通信理论的一般原理的辅导资料。这些基本原理将在其他章节得到引用,并将使读者尽量减少对其他原始参考资料的依赖。

第3、4和5章从长时限信号效应的观点论述移动无线电传播的新概念。长时限信号效应是由诸如天线高度、地形、地面质地和丘陵地区路径损耗的斜率等因素引起的。

第6、7章分别叙述接收信号的包络和相位的特性。这些特性被定义为短时限信号效应。第6、7章提出了移动无线电系统功能设计必须预先掌握的分析资料,并让读者对第8章至第14章所包含资料的阅读有一个准备。

第8章至第11章讨论移动无线电通信系统的功能设计参数;第8章描述包括扩展频谱系统的各种调制;第9章分析不同类型的分集方案的效果;第10章研讨不同类型的合并技术;第11章讨论有关信号和话音的压扩技术。

第12章研讨同信道和邻信道干扰的影响,这在某种程度上确定了频率复用和邻道分配的

参数。本章还描述其他类型的干扰,例如近端远端比以及互调干扰和符号间干扰。

第13、14章阐述按不同系统规定的标准来分析信号差错和话音质量的方法。

第18章概括性地介绍了军事移动通信在干扰环境中需要运用的策略,分析了扩展频谱、编码及分集方案和自适应天线调零技术。

第二版

本书可作为高年级工程专业学生和研究生院一年级工程专业学生的教科书。读者在每章末将看到一组练习题。这些练习题可用来检验学生是否掌握了那章所包括的内容。

本书写于1982年,那是我第一次出版图书。从那时起,我编写和修订了两本其他的教科书。由于无线通信领域的快速发展,我已修改了其他两本书。McGraw-Hill出版社的Steve Chapman先生和在乔治·华盛顿大学从事继续教育计划的我的学生们都请求我修订这本书。研究生院用这本书作为教科书。

在此以后,由于技术的发展需要增加大量的资料。我用更长的时间来修订这本书,目前已增写了第15章至第17章。这3章的大部分资料取自我自己的研究成果。

第15章论述了多址方案,并比较了用于无线通信的各种多址方案。在这一章中,还介绍了虚拟信道的多址方案。因为移动卫星系统使用不同的多址方案,所以本章包括新近发展的低地球轨道(LEO)卫星系统。

第16章阐明多个敏感问题,使读者能由此进行不同的思考。

第17章介绍了新概念的课题。这些课题对更新我们的知识是重要的。

为了更新内容,每章都另增加了资料。

本书是对我的关于无线通信方面的其他两本书的补充。这两本书是《移动蜂窝通信:模拟和数字系统》(McGraw-Hill出版社,1995年第二版)和《移动通信设计基础》(Wiley & Sons出版社,1993年第二版)。在这3本书中,本书含有更多的理论和数学的推导,并提供了实用的工具。因此,本书已改名为《移动通信工程理论和应用(第二版)》,以与内容更吻合。我希望本书能引发产生一些新的思想和概念,并成为提供解决更多即将面临的问题的工具。

李建业(William C. Y. Lee)

目 录

引言	1
第 1 章 移动无线电信号环境	15
1.1 移动无线电通信媒介	15
1.2 传播路径损耗	19
1.3 由于散射因素引起的多径衰落	23
1.4 热噪声和人为噪声特性	29
1.4.1 热噪声特性	29
1.4.2 人为噪声特性	31
1.5 时延扩散	34
1.6 相干带宽	38
1.7 在 800 ~ 900MHz 范围内的多径衰落现象	39
练习题	40
参考文献	42
第 2 章 统计通信理论	44
2.1 统计方法	44
2.2 平均值	45
2.3 遍历过程	46
2.4 累计概率分布(CPD)	47
2.5 概率密度函数(PDF)	47
2.5.1 单个变量的 PDF	47
2.5.2 两个变量的联合 PDF	48
2.5.3 边缘 PDF	49
2.5.4 联合特征函数	50
2.5.5 条件 PDF	50
2.6 有效概率密度函数	52
2.6.1 均匀分布	52
2.6.2 高斯分布	53
2.6.3 瑞利分布	53
2.6.4 对数分布	55

2.6.5 二项式分布	56
2.6.6 泊松分布	57
2.7 电平交叉率(LCR)	57
2.8 衰落持续期	60
2.9 相关函数	61
2.9.1 自相关	62
2.9.2 互相关	62
2.10 功率谱密度和连续谱密度	63
2.11 采样分布	64
2.12 置信区间	67
2.13 差错概率	68
2.14 脉冲响应测量	69
2.15 均衡器	70
2.15.1 使峰值失真最小(迫零均衡器)	71
2.15.2 使均方误差最小(MSE 算法)	72
2.15.3 构成一个自动均衡器	72
2.15.4 均衡器的讨论	72
练习题	73
参考文献	74
第3章 在平坦地面上的路径损耗	76
3.1 用模型分析法预测路径损耗	76
3.1.1 无线电水平线	76
3.1.2 空中反射	77
3.1.3 信号平均	77
3.1.4 终端在移动	77
3.1.5 移动台天线高度	77
3.1.6 地面波的影响	78
3.2 传播损耗——在光滑地面上	78
3.3 传播损耗——在粗糙地面上	81
3.3.1 正态分布的表面特性	83
3.3.2 表面粗糙度是距离的函数	84
3.3.3 地形数据的分辨间隔	85
3.3.4 有效散射地区的分析	85
3.4 双波模型——解释移动无线电路径的损耗和天线高度的作用	87
3.5 计算平均信号强度(本地均值)的规则	90

3.5.1 中值法	90
3.5.2 均值法	90
3.5.3 确定 L 值	91
3.6 预测传播路径损耗的模型	92
3.6.1 用于 UHF 的预测模型	92
3.6.2 Okumura 等人的模型	94
3.6.3 经过不同环境的路径损耗的通用公式	96
练习题	97
参考文献	98
 第 4 章 在丘陵地形中的路径损耗和常用的预测方法	100
4.1 基于模型分析的路径损耗预测	100
4.1.1 二次反射波存在	101
4.1.2 二次反射波不存在	103
4.1.3 一次反射波不存在	104
4.2 绕射损耗	105
4.3 圆拱形小山的绕射损耗	110
4.4 路径间隙标准	112
4.5 Lee 的宏小区模型	112
4.5.1 人为影响——用不同的方法解释路径损耗	113
4.5.2 地形的影响	114
4.5.3 Lee 的宏小区预测模型	115
4.6 Lee 的微小区模型	116
4.7 建筑物内的预测模型	119
4.7.1 路径损耗斜率	119
4.7.2 总的接收功率	120
4.8 场强预测的效果	121
4.8.1 街道定向的影响	121
4.8.2 植被的影响	121
4.8.3 隧道内衰减的影响	123
4.8.4 大楼和建筑物的影响	123
4.8.5 路径损耗和局部均值之间的关系	123
4.9 信号门限的预测	124
4.10 信号覆盖地域的预测	124
4.10.1 方法 A	124
4.10.2 方法 B	127

4.10.3 两种方法的比较	127
4.11 宽带信号传播	128
4.11.1 宽带信号的路径损耗	128
4.11.2 宽带的多径损耗特性	129
练习题	131
参考文献	132
第5章 系统 RF 设计对传播的影响	135
5.1 天线设计的影响	135
5.2 天线方向性的影响	138
5.3 天线方向图波动影响	140
5.4 高增益天线的影响	144
5.5 移动无线电环境中的电场和磁场的独立性	145
5.6 无线电波极化的影响	148
练习题	152
参考文献	152
第6章 接收信号的包络特性	154
6.1 短时限与长时限衰落的比较	154
6.2 短时限衰落的模型分析	156
6.3 累积概率分布(CPD)	157
6.3.1 来自 E 场信号 $r_0(t)$ 的 CPD	157
6.3.2 H 场分量信号的 CPD	160
6.3.3 来自定向天线 $r_d(t)$ 的 CPD	161
6.3.4 求角电波到达的 PDF	161
6.4 电平交叉率(LCR)	162
6.4.1 来自 E 场信号的 $r_e(t)$ 的 LCR	163
6.4.2 磁场分量的 r_{h_x}, r_{h_y} 的 LCR	165
6.4.3 定向天线的 $r_d(t)$ 的 LCR	166
6.5 计算衰落平均持续时间	169
6.6 基于时间分隔的移动接收信号的包络相关性	172
6.7 基于时间和空间分隔的移动接收信号的包络相关性	174
6.8 基于频率和时间分隔的移动接收信号的包络相关性	176
6.9 基于频率分隔的基站接收信号的包络相关性	178
6.10 功率谱分析	180
练习题	181

参考文献	181
第 7 章 接收信号相位特性	183
7.1 与移动无线电信号有关的随机变量	183
7.1.1 求随机变量的协方差	183
7.1.2 信号 $s(t)$ 的功率谱	184
7.1.3 协方差矩阵	188
7.2 相位相关特性	189
7.2.1 $\psi(t)$ 的相位相关特性	189
7.2.2 在频率和时间间隔中的相位相关性	191
7.3 随机 FM 的特性	192
7.3.1 随机 FM 的概率分布	192
7.3.2 随机 FM 的功率谱	193
7.3.3 随机 FM 的电平交叉率(LCR)	195
7.4 喀咧噪声的特性	197
7.4.1 喀咧噪声	197
7.4.2 求 $p(n, \dot{n}, \psi_n, \dot{\psi}_n)$ 的过程	198
7.4.3 平均喀咧声速率	199
7.5 模拟模型	200
7.5.1 瑞利多径衰落模拟器	200
7.5.2 多径衰落和选择性衰落模拟器	203
练习题	204
参考文献	204
第 8 章 调制技术	207
8.1 系统的应用	207
8.2 调频移动无线电	207
8.2.1 无衰落情况	208
8.2.2 瑞利衰落情况	213
8.3 数字调制	218
8.3.1 无衰落情况	218
8.3.2 衰落情况(移动无线电环境)	222
8.4 恒定包络调制	224
8.4.1 四相移键控(QPSK)	224
8.4.2 交错四相相移键控(OQPSK)	225
8.4.3 $\pi/4$ -四相差分相移键控($\pi/4$ -DQPSK)	227

8.4.4 副载波 QPSK	228
8.4.5 高斯滤波最小频移键控(GMSK)	228
8.5 非恒定包络调制	232
8.6 OFDM 调制解调器	234
8.7 扩频系统	236
8.8 跳频差分相移键控(FH-DPSK)系统	237
8.9 FH-DPSK 系统的差错率和系统效率	240
8.9.1 单有源基站小区内部的干扰	240
8.9.2 多基站小区间干扰	241
8.9.3 多径衰落环境	243
8.10 频谱效率和每个小区的信道数	243
8.11 扩频调制——直接序列(DS)	245
8.11.1 用 DS 信号降低干扰	246
8.11.2 相关器和瑞克接收机	247
8.12 改进的单边带(SSB)系统	247
练习题	248
参考文献	249
第 9 章 分集方案	251
9.1 移动无线电系统的功能设计——分集方案	251
9.2 宏观分集方案——在不同站址上天线的应用	251
9.3 微观分集方案——应用在同址天线上	252
9.4 空间分集	252
9.4.1 在移动台	253
9.4.2 在基站	253
9.5 场分量分集	256
9.6 极化分集	257
9.7 角分集	257
9.7.1 在基站	257
9.7.2 在移动台	258
9.8 频率分集	260
9.8.1 与频率统计相关	260
9.8.2 相关性与频率的关系	261
9.8.3 相干带宽	262
9.8.4 具有两个不相干带宽的两个频率	262
9.8.5 具有相干带宽的两个频率	262