



国外名校最新教材精选

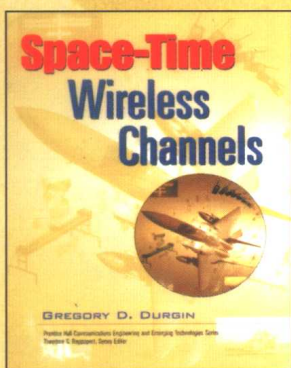


空-时无线信道

Space-Time Wireless Channels

GREGORY D. DURGIN

[美] 格雷戈里·D·德金 著
朱世华 任品毅 王磊 杜清河 译



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



 国外名校最新教材精选

Space-Time Wireless Channels

空-时无线信道

〔美〕 格雷戈里·D·德金 著

Gregory D. Durgin

朱世华 任品毅 王磊 杜清河 译



西安交通大学出版社

Xi'an Jiaotong University Press

内容简介

本书从信道衰落的物理本质入手,给出了无线移动信道完整的数学模型,简明、清晰地阐述了由时间、频率和空间变化所引起的三种不同的衰落,深入刻画和揭示了 MIMO 信道模型的实质,纠正了一些目前较普遍存在的错误和误解。本书提供了大量的图表,为随时间、频率和空间而随机衰落的无线信道提供了简单、内在的概念和解释。在每章末尾,本书还配有难度适中、指导性较强的习题,使之更适合学生使用。

本书既可作为无线电通信等相关专业研究生或本科高年级学生的教材,也可供无线电工程师以及从事光学、雷达、声学 and 图像等研究领域的科研人员参考。

Authorized translation from the English language edition, entitled *Space-Time Wireless Channels*, 1st Edition, ISBN: 0-13-065647-X by GREGORY D. DURGIN, published by Pearson Education, Inc. publishing as Prentice Hall PTR, Copyright © 2003, Pearson Education Asia Ltd.

All right reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education Inc.

Simplified Chinese edition published by Pearson Education Asia Limited and Xi'an Jiaotong University Press Copyright © 2004

This Edition is authorized for sale and distribution in the People's Republic of China exclusively (except Taiwan, Hong Kong SAR and Macao SAR).

本书封面贴有 Pearson Education 出版集团激光防伪标笺,无标笺者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

空-时无线信道/(美)德金(Durgin, G. D.)著;朱世华等译. —西安:西安交通大学出版社, 2004. 8
书名原文: Space-Time Wireless Channels
ISBN 7-5605-1885-0

I. 空... II. ①德... ②朱... III. 无线电信道—高等学校—教材 IV. TP84

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 080434 号

陕西省版权局著作权合同登记号: 25-2003-089 号

书 名: 空-时无线信道

著 者: [美]格雷戈里·D·德金

译 者: 朱世华 任品毅 王磊 杜清河

出版发行: 西安交通大学出版社

地 址: 西安市兴庆南路 25 号(邮编: 710049)

电 话: (029)82668357 82667874 (发行部)

(029)82668315 82669096 (总编办)

电子邮件: xjtupress @ 163.com

印 刷: 西安东江印务有限公司

字 数: 383 千字

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 16.25

印 次: 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 1~5 000 册

书 号: ISBN7-5605-1885-0/TN·78

定 价: 29.00 元

版权所有 侵权必究

译者序

通信的目的是信息传输,而任何信息传输都离不开各种媒质组成的信道,通信的最大障碍就在于信道对信息传输所带来的各种不利因素。因此,在通信系统的设计中,对信道的深入研究和掌握具有特殊的意义。

毫无疑义,目前最为复杂的通信系统当首推无线移动通信系统。它的复杂性主要来源于无线移动通信信道的复杂性,以及我们对信道了解的肤浅。而无线移动信道的复杂性则来自于它的开放传输,它使得多径信号通过不同的幅度、角度和延时到达接收机,使接收信号电平具有很强的不确定性。另一方面,开放传输造成的同频相互干扰使得无线频谱很难重用,使得不可再生的频谱资源在移动通信用户规模不断膨胀的今天变得极其紧张。在此情况下,利用多天线实现空分传输,已成为继频分、时分传输手段之后,增加信道容量的最后手段。

20年前的无线通信系统都是所谓的单天线系统,亦即本书中所描述的 SISO(single input, single output——单输入单输出)系统。即使考虑在接收端采用多天线分集接收,也只属于 SIMO(single input, multiple output——单输入多输出)系统。因此直至 20 世纪 90 年代,人们对无线信道的研究都集中于点对点的单链路传输特性的研究,具体地讲,就是对单链路衰落特性的研究。进入 90 年代后,几位著名的科学家如 G. J. Foschini 和 A. J. Vertib 等预言并随后研究证明了多天线传输系统在频谱效率和系统容量方面所带来的巨大增益。这就是当前无线移动通信中倍受关注的 MIMO(multiple input, multiple output——多输入多输出)传输技术。

有关 MIMO 的研究目前主要在信道模型、空时编码、多用户检测、系统容量等方面展开。或许是由于惯性思维,人们在研究 MIMO 信道模型时,更多地只是延续了 SISO 信道的研究思路。事实上,MIMO 信道并不是若干 SISO 信道的简单组合。由于在多数情况下各链路的传播环境存在着相似性,各 SISO 信道之间不可避免地存在相关性,于是使整个 MIMO 信道变得十分复杂。可以说,目前有关 MIMO 的研究正在快速发展中,已出现了大量的新概念和重要成果,对之适时归纳和总结十分重要。因此本书的问世对本领域的研究者和工程师就显得尤为宝贵了。

本书从信道衰落的物理本质——电波的传播特性入手,给出了无线移动通信信道完整的数学模型,简明、清晰地阐述了由时间、频率和空间变化所引

起的三种不同的衰落,深入刻画和揭示了 MIMO 信道模型的实质,纠正了一些目前较普遍存在的错误和误解,给人以耳目一新的感觉。同时全书又抛开了所有空-时无线信号处理算法中最深奥的数学运算,更多地运用了简单的类比方法,同时提供了大量的图表,为随时间、频率和空间而随机衰落的无线信道提供了简单、内在的概念和解释。

本书是以无线电工程师为对象撰写的,要求读者具有随机过程、电磁学和通信理论的基本知识。正如本书作者在序言中所述,本书内容的表述符合教学法,同时在每章末都配有难度适中、指导性较强的习题,因此可用作研究生或高年级本科生的课程教材。此外,本书的概念、原理和方法还适用于光学、雷达、声学 and 图像等研究领域,因此对于其他工程师、物理学家或应用数学家也都是有用的。

本书第 1,2 章由朱世华翻译,第 3 至 6 章以及附录 A,B,D 由任品毅翻译,第 7,8 章由杜清河翻译,第 9,10 章以及附录 C 由王磊翻译。

由于本书内容的新颖性和译者不可避免存在的主观片面性,书中不妥和错误之处在所难免,殷切地希望广大读者及同行专家批评指正。

译 者

2004 年 2 月 9 日于西安交通大学

著者序

让我以下面的话开始：没有我的朋友 David A. de Wolf, Gary S. Brown 和 Theodore S. Rappaport 的帮助和支持，这本书将绝不会产生。De Wolf 教授除了是将我引入学术研究的人之外，还在我的工作中证明了许多数学内容，是我在弗吉尼亚理工学院期间的一个主要的合作伙伴。Brown 教授教会了我大多数我现在掌握的电磁学知识，我从他的精心准备的课堂上借用了许多有关粗糙表面散射和解析传播学分析的符号。Rappaport 教授——我的主要的研究生导师——通过鼓励本书的工作和在弗吉尼亚理工学院移动和便携无线电研究组提供给我一个一流的研究生经历，已成为我的一个真正的朋友。

回溯到 1998 年，我听完了——一个前辈的无线电活动家、一个非常有成就和受尊敬的工程学教授所作的讲座。该讲座包括了许多无线信道测量的内容。在讲座进行到约一半时，一个深入的学术讨论（即争论）在这位教授和听众中他的同事们之间展开了。一场无休止的交战证实了测量中观测到的衰落的本性。作为一个低年级的研究生，我只是在教室后面快速地记下了笔记。我观察到，这次争论——它被留下未获解决——不是一个理解问题，而是一个语义问题。参与争论的研究者们试图用已不再适用的传统去描述一个空-时无线信道。

这些研究者们——窄带模拟通信的专家——在拼命地、徒劳无功地试图描述那些使用天线阵列的移动宽带数字无线电所经历的无线信道。我得到的印象是，信道模型领域需要重新研究，以包括所有这些新的、无线通信中的复杂的空时概念。在讲座结束时，我写下了这样的比拟：“频率对应延迟，就如同时间对应多普勒，空间对应波数”。我带着一个庞大的博士论文题目离开了那次讲座。

我开始撰写我的论文，把它当作空-时信道模型的一本教科书，但并不真正相信有一天它会实际变成其他研究生的一门好课程。当然，这在当时有点太过于野心勃勃。但在答辩后，我拥有的足够的内容使我有理由继续我的研究生工作，使之成为一本书。我到升日岛旅居了一年，完成了现在这本《空-时无线信道》。

这本书的目的和我的博士论文的工作一样：为懂得随时间、频率和空间而随机衰落的无线信道提供简单、内在的概念。我希望它成为连我自己也

能读的一本书,这意味着要加入大量的图片,略去不必要的数学,和插入其他有助于理解的工具。在这一过程中,我发现只要已知其它领域(通信、随机过程理论和电磁学)中的几个基本原理,空-时无线信道并不是那样难理解的。

我的希望是《空-时无线信道》这本书对新的无线电工程师和老资格的无线研究者都能提供许多帮助。本书重点讲解无线电信道模型的最基本原理,它不提供空-时无线电的所有信号处理算法的最深奥的运算,因为那样一种讨论将导致术语的倍增,而不是真正弄懂。本书含有丰富的原创性资料 and 对于老问题的新看法。善于推理的研究者将注意到,它包括了许多信道模型和特性方面的新概念,还将注意到作者有意地删去了另外一些内容。我已经避免了将撰写此书变成一个“剪切-粘贴”工作,这在今天是那样经常地用来构成工程教科书。

由于它含有习题集且内容表述符合教学法,本书可用于研究生、甚至本科生的工程课程。本书还打算被用作研究生和工业工程师的研究手册或自学教程。本书是以无线电工程师为对象撰写的。许多同事指出,空-时信道建模理论适用于光学、雷达、声学 and 图像——仅列出几个研究领域——中的问题。我相信本书对于其他工程师、物理学家或应用数学家都是有用的,尽管我需要事先致歉,因为所有的参考文献都是关于无线电设备的。

结合不同的领域去综合成一个理论基础,会产生各种各样的符号间的矛盾。事实上,试图与现存的多种研究文献惯例相一致已证明是撰写《空-时无线信道》中最困难的部分。尽管没有发现理想的符号,本书采取了与传统惯例冲突尽可能小的方法来命名分析中遇到的变量和函数。

(为了说明表示符号的困难,考虑惯例用 R 描述随机过程的自相关函数。这一符号与信号包络的惯例相冲突,所以本书改用 C 表示自相关函数。但为了描述包络的概率密度函数(PDF),我们需要 R 的小写值作为 PDF 的下标。然而 r 是广泛用于描述极坐标系统中的位置的,所以我们借助于希腊字母 ρ 作为 PDF 的下标。但这一改变与用 ρ 表示一个随机过程的自相关的标准做法相矛盾,该变量在本书中变为 e 。没有这些当心,将出现看起来荒唐的函数如 $R_R(\Delta r)$ 。我不需要从 ϕ 开始再举一个例子。)

本书中含有的许多原创性研究都是由弗吉尼亚理工学院电子与计算机工程系的 Bradley 基金、ITT 国防与电子部和 MPRG 工业机构项目资助的。本书稿的完成是由日本科学促进会(JSPS)以长期访问研究者资助的形式赞助的。对于接待我的日本教授 Norihiko Morinaga 博士和 Seiichi Sampei 博士,以及大阪大学森永实验室中我的伟大的朋友们,我无法给予足够的谢意。

大阪大学森永研究室の皆さん、どうも有り難うございます。
素晴らしい一年でした。

我的长时间的朋友和办公室同事 Neal Patwari 和 Hao Xu,以及我的朋友 David Wenzel 和 Jiun Siew 校阅了我的部分手稿,我真正欠了他们的债。我还感谢 MPRG 的许多同事,为他们在本书的撰写过程中,以鼓励、提供服务和反馈意见的方式所给予的帮助,他们是: Jason Aron, Chris Anderson, Keith Blankenship, Rich Ertl, Ran Gozali, Ben Henty, Kevin 和 Donna Krizmar, Vikas Kukshya, Bror Peterson, Bruce Puckett, Cindy Reifsnider, Hilda Reynolds, Aurelia Scharnhorst 和 Christopher Steger。此外还要感谢 ITT 国防与电子部的 James Isaacs 博士和 Etenna 公司的 David Auckland 博士。

目 录

译者序

著者序

第1章 引言

1.1 传播的回顾与展望	(1)
1.1.1 早年的无线电	(1)
1.1.2 蜂窝的出现	(3)
1.1.3 信道建模的起源	(4)
1.1.4 瑞利保守模型	(5)
1.1.5 多变量信道	(6)
1.2 空间的情况	(7)
1.2.1 无线信道的复杂性	(7)
1.2.2 通信信道要素	(8)
1.2.3 浪费的空间	(9)
1.3 无线通信的趋势	(10)
1.3.1 日益提高的数据速率	(10)
1.3.2 无线电装置无处不在	(11)
1.3.3 智能天线	(11)
1.3.4 更快、更小、更廉价的硬件	(11)
1.3.5 频率拥挤	(11)
1.3.6 多输入多输出系统	(12)
1.4 关于本书	(12)
1.4.1 基础学科	(12)
1.4.2 本书内容	(13)
1.4.3 本书的特点	(13)

第2章 信号传输

2.1 基带表达式	(14)
2.1.1 信号频谱	(14)
2.1.2 信号调制	(15)
2.1.3 反调制	(16)

2.1.4	基带信道	(18)
2.1.5	时不变与时变信道	(19)
2.1.6	检测术语	(20)
2.2	信道相干性	(20)
2.2.1	相干性与选择性	(21)
2.2.2	时间相干	(21)
2.2.3	频率相干	(22)
2.2.4	空间相干	(22)
2.3	使用完整的基带信道	(24)
2.3.1	谱域表示	(24)
2.3.2	一般的数字传输	(25)
2.3.3	时不变信道传输	(26)
2.3.4	移动接收机传输	(27)
2.4	本章小结	(27)
	习题	(27)

第3章 随机衰落信道

3.1	信道的相关性	(30)
3.1.1	相关的含义	(30)
3.1.2	自相关的关系	(32)
3.1.3	自协方差	(32)
3.1.4	自相关系数	(32)
3.2	功率谱密度	(33)
3.2.1	频谱的相关性	(33)
3.2.2	维纳-辛钦定理	(34)
3.2.3	三维空间的统计量	(34)
3.2.4	单一自变量的功率谱密度函数的小结	(35)
3.3	联合统计量	(36)
3.3.1	联合自相关函数与频谱	(36)
3.3.2	时-频变换映射	(37)
3.3.3	空-频变换映射	(39)
3.3.4	完备的变换映射	(39)
3.4	功率谱密度函数的带宽	(41)
3.4.1	均方根时延扩展	(41)
3.4.2	均方根多普勒扩展	(42)
3.4.3	均方根波数扩展	(43)
3.4.4	信道对偶性原理	(43)
3.4.5	速率方差的定义	(44)
3.4.6	频谱扩展基本原理	(46)

3.5 本章小结.....	(46)
习题	(47)

第4章 小尺度衰落的物理本质

4.1 平面波的表示.....	(50)
4.1.1 电磁场和接收信号.....	(50)
4.1.2 麦克斯韦基.....	(52)
4.1.3 均匀平面波.....	(53)
4.1.4 非均匀平面波.....	(53)
4.1.5 均匀对非均匀平面波.....	(54)
4.2 开阔地区.....	(57)
4.2.1 开阔地区的定义.....	(57)
4.2.2 散射体邻区.....	(58)
4.2.3 宽带平面波.....	(59)
4.2.4 带宽-距离阈值	(60)
4.3 波的多径成分的分类.....	(62)
4.3.1 仿射波成分.....	(62)
4.3.2 非仿射波成分.....	(62)
4.3.3 漫射波成分.....	(63)
4.3.4 简约波组合.....	(63)
4.4 开阔地区随机信道模型.....	(64)
4.4.1 随机模型.....	(64)
4.4.2 随机相位.....	(64)
4.4.3 其它随机的量.....	(65)
4.4.4 随机相位模型.....	(65)
4.4.5 傅里叶变换.....	(66)
4.4.6 自相关函数.....	(67)
4.4.7 非均匀散射.....	(68)
4.4.8 SLAC 模型的功率谱密度函数	(68)
4.5 本章小结.....	(69)
习题	(71)

第5章 信道的一阶统计量

5.1 接收功率的均值.....	(75)
5.1.1 接收功率的平均.....	(75)
5.1.2 平稳性.....	(76)
5.1.3 U-SLAC 模型接收功率的均值	(77)
5.1.4 频率和空间的平均.....	(78)
5.1.5 各态历经性.....	(78)

5.2 包络的概率密度函数.....	(80)
5.2.1 概念.....	(80)
5.2.2 特征函数.....	(80)
5.2.3 仿射特征函数.....	(81)
5.2.4 漫射非仿射特征函数.....	(81)
5.2.5 I-SLAC 概率密度函数发生器	(82)
5.3 概率密度函数的闭式解.....	(82)
5.3.1 单波模型的概率密度函数.....	(82)
5.3.2 双波模型的概率密度函数.....	(84)
5.3.3 三波模型的概率密度函数.....	(84)
5.3.4 瑞利概率密度函数.....	(86)
5.3.5 莱斯概率密度函数.....	(88)
5.4 具有漫射功率的双波模型概率密度函数.....	(90)
5.4.1 近似表示.....	(90)
5.4.2 图解的分析.....	(92)
5.4.3 瑞利和莱斯近似.....	(97)
5.4.4 TWDP 概率密度函数的应用	(98)
5.4.5 关于 TWDP 衰落的结束语	(98)
5.5 本章小结.....	(99)
习题	(99)
5.A 包络的特征函数	(102)

第6章 角度谱

6.1 矢量和标量空间	(103)
6.1.1 位置矢量的标量化	(103)
6.1.2 波矢量的标量化	(104)
6.2 角度谱的概念	(105)
6.2.1 角度谱的定义	(106)
6.2.2 角度至波数的映射	(107)
6.2.3 水平传播	(107)
6.2.4 角度谱概念的总结	(109)
6.3 多径形状因子	(111)
6.3.1 形状因子的定义	(111)
6.3.2 波数扩展的基本关系	(112)
6.3.3 与全方向的传播相比较	(112)
6.4 说明性的例子	(113)
6.4.1 双波信道模型	(115)
6.4.2 扇区信道模型	(116)
6.4.3 两扇区信道模型	(117)

6.4.4 莱斯信道模型	(118)
6.5 本章小结	(119)
习题	(120)

第7章 二阶信道统计量

7.1 电平通过率相关问题	(124)
7.1.1 电平通过率	(124)
7.1.2 平均衰落持续时间	(126)
7.1.3 频率电平通过率	(126)
7.1.4 空间电平通过率	(127)
7.2 包络自协方差系数	(127)
7.2.1 时间自协方差系数	(127)
7.2.2 频率自协方差系数	(128)
7.2.3 空间自协方差系数	(129)
7.2.4 联合自协方差系数	(130)
7.2.5 二阶统计量小结	(130)
7.3 经典空域信道模型	(131)
7.3.1 经典模型	(131)
7.3.2 信道模型的解	(131)
7.3.3 补充说明	(133)
7.4 宽带信道的性质	(134)
7.4.1 离散宽带信道	(134)
7.4.2 时变宽带信号	(135)
7.4.3 离散化传输	(136)
7.4.4 关于时域信道的注解	(137)
7.4.5 时变信道中的莱斯分布	(138)
7.5 本章小结	(138)
习题	(139)
7.A 近似空间自协方差	(142)
7.B 经典包络自协方差系数	(143)
7.C 莱斯均值近似	(144)

第8章 分集

8.1 分集概念	(145)
8.1.1 分集的任务	(145)
8.1.2 天线分集	(146)
8.1.3 时间分集	(147)
8.1.4 分集失效	(147)
8.2 合并技术	(148)

8.2.1	增益合并	(148)
8.2.2	增益合并输出的信号包络	(150)
8.2.3	开关式合并	(151)
8.2.4	二支路示例	(151)
8.3	误码率和容量	(153)
8.3.1	非衰落信道的误码率	(153)
8.3.2	衰落信道中的误码率	(154)
8.3.3	衰落信道的信道容量	(155)
8.3.4	经验误码率和容量	(155)
8.3.5	多支路情况的分集增益	(155)
8.3.6	关于分集中支路相关的说明	(156)
8.3.7	分集中不等支路功率的说明	(158)
8.4	本章小结	(161)
	习题.....	(162)

第9章 MIMO 信道

9.1	传统的多天线系统	(165)
9.1.1	单输入单输出(SISO)	(165)
9.1.2	单输入多输出(SIMO)	(166)
9.1.3	多输入单输出(MISO)	(167)
9.1.4	多输入多输出(MIMO)	(168)
9.2	多径环境中的信道分解	(168)
9.2.1	MIMO 信道矩阵	(169)
9.2.2	MIMO 信号的处理	(170)
9.2.3	信道分解	(172)
9.2.4	标准的容量表达式	(173)
9.2.5	具有容量损失的 MIMO 信道	(175)
9.3	实际的 MIMO 信号传输	(178)
9.3.1	实际的信号提取	(178)
9.3.2	传输技术	(179)
9.3.3	干扰的消除	(180)
9.3.4	分层接收技术	(182)
9.4	空时分组编码	(182)
9.4.1	MISO 的回顾	(182)
9.4.2	空时分组码	(184)
9.4.3	其它的编码	(185)
9.5	本章小结	(186)
	习题.....	(187)

第 10 章 多径环境中的阵列设计

- 10.1 空间解相关准则 (190)
 - 10.1.1 共极天线振子与不共极天线振子 (190)
 - 10.1.2 近似自协方差 (191)
 - 10.1.3 相关性的禁区 (192)
 - 10.1.4 耦合考虑 (193)
 - 10.1.5 随机方位角 (194)
- 10.2 两个空间变量的建模 (195)
 - 10.2.1 对于 MIMO 信道的 SLAC 建模方法 (195)
 - 10.2.2 两个空间信道相关性 (195)
 - 10.2.3 示例模型 (197)
- 10.3 示例系统 (197)
 - 10.3.1 问题的描述 (197)
 - 10.3.2 到达角模型 (197)
 - 10.3.3 基站的设计 (199)
 - 10.3.4 用户终端的设计 (200)
- 10.4 端对端空一时测量 (200)
 - 10.4.1 端对端信道 (200)
 - 10.4.2 端对端测量方法的描述 (200)
 - 10.4.3 时延扩展结果 (203)
 - 10.4.4 角度扩展结果 (204)
 - 10.4.5 联合角度一时延统计量 (205)
- 10.5 本章小结 (206)
- 习题 (206)
- 10.A 测量参数的描述 (209)

附录 A 特殊函数

- A.1 奇异函数 (211)
- A.2 sinc 函数 (213)
- A.3 伽马函数 (213)
- A.4 贝塞尔函数 (214)
- A.5 完全椭圆积分函数 (217)
- A.6 Q 函数 (219)

附录 B 傅里叶分析

- B.1 基本傅里叶变换定义 (221)
- B.2 时间-多普勒变换 (225)
- B.3 频域-时延变换 (226)
- B.4 空间-波数变换 (227)

B.5 三角关系	(227)
----------------	-------

附录 C 随机过程理论

C.1 定义	(229)
C.1.1 随机变量	(229)
C.1.2 随机过程	(230)
C.2 概率密度函数	(231)
C.2.1 定义	(231)
C.2.2 联合分布	(232)
C.2.3 统计量的计算	(233)
C.3 随机变量的函数	(234)
C.3.1 有反函数的函数	(234)
C.3.2 多根函数	(235)

附录 D 术语表

D.1 数学符号和习惯	(237)
D.2 缩略语表	(238)

参考文献	(240)
------------	-------

第1章

引言

在自然界中,很少有比功率受限、空间变化、时间变化、频率变化的无线信道更难以运用的了。然而,对于一个能够克服这些限制并将数据传过这样恶劣环境的工程师,回报也是巨大的。整个 20 世纪 90 年代个人通信业务的全球爆发性发展,是对征服无线信道后所产生的商机的一个验证。然而,随着需要越来越多带宽的新的无线系统的出现,征服无线信道的任务变得日益困难。这一任务要求彻底了解无线信道建模的背景。

此外,了解无线信道和对其建模提供了对物理科学中一些其它问题的良好的透视。本书给出了描述困扰空-时无线信道的随机衰落的基本原理。尽管大多数例子和讨论是围绕商业无线电应用展开的,但这些理论也可能应用于涉及动态波传播的任何领域的广泛的问题。

本章综述了无线通信领域中的信道建模历史,以及激励人们研究完整的空-时无线信道的需求。本章包括

- 1.1 节:无线信道建模的历史过程。
- 1.2 节:空间信道接口的重要性。
- 1.3 节:受无线电影响的信道建模的趋势。
- 1.4 节:本书内容的总结。

的确,无线通信的现状已到达了这样一个时期:懂得空-时信道不是奢余,而是绝对的必要。

1.1 传播的回顾与展望

为了懂得无线信道建模的重要性,首先了解一些无线通信发展的历史和背景是有益的。本节将说明,《空-时无线信道》中给出的材料是如何融入无线技术发展的历史过程的。

1.1.1 早年的无线电

世界上第一个数字无线电系统实际上是世界上的第一个无线电系统。G·马可尼(Guglielmo Marconi)在 1897 年第一次无线传输中用莫尔斯码(文字的一种数字表示)从船上与岸边通信。他通过在穿越大西洋的船只上安装无线电系统,很快将他的技术商业化了。这些马可尼无线电系统被首先用于给附近的其他船只或岸边的站传送灾难信号,它甚至安装到了著名的豪华邮轮泰坦尼克号上。

这第一个无线电系统使用了一个放电间隙发射器,一个在所有频率、所用方向喷射电磁波的发光放电插头。放电间隙发射器能通过适当连接来发送简单的莫尔斯码频率。但对该系统真正的挑战是如何接收这些无线电信号。为此,马可尼用了一个**粘结器**——一个仅能检测强无线电波是否存在的装置。这种检测方式——再加上当时只存在机械开关式信号放大器这一事实——意味着马可尼的无线电只能数字传输。

注:什么是粘结器?

粘结器是一个在底部放有蓬松金属填充物的玻璃管,如图 1.1 所示。两根连接导线置于管子相反的两端,使得一个外部设备能测量通过管子的电流的总阻抗。通常,由于金属小碎块间蓬松、犬牙交错的尖点接触,蓬松填充物的电阻是大的。如果一个强电磁波(即从近处的一个无线电发射机)传过这些填充物,使它们**粘结**,总电阻下降,从而使电波被检测到。要重复检测,粘结器必须被机械地摇动,返回到它们非粘结时的填充状态。

马可尼无线电的传输距离和数据速率严重受限于收发信号所需的功率。然而,1906 年 Lee de Forest 发明的第一个真空管改变了无线电通信——以及每一项其它的电子技术。该真空管能放大模拟信号,所以无线电通信被从它的低速率、开关键控中解放出来。它现在能通过幅度调制(AM)传送高保真的模拟信号,如话音和音乐。商用无线电台在 20 世纪 20 年代流行于全世界,如图 1.2 中的时间线所示。

无线电的第二个伟大的里程碑是在 1933 年当 E. H. Armstrong 发明了频率调制(FM)时到来的。FM 无线电是第一个意在克服含噪、恶劣无线信道的信号处理的例子。在该例中,FM 的非线性调制方案能够将可用的带宽转换为信号的保真度。这样一来,工程师们就能够

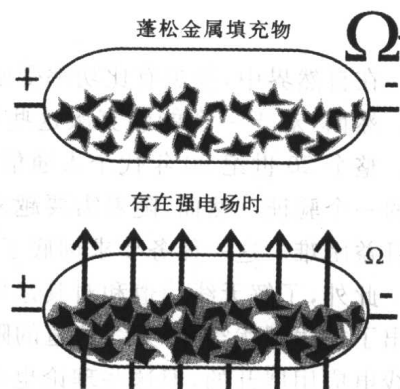


图 1.1 在有强电场的情况下,金属填充物粘结,而它们的总电阻下降

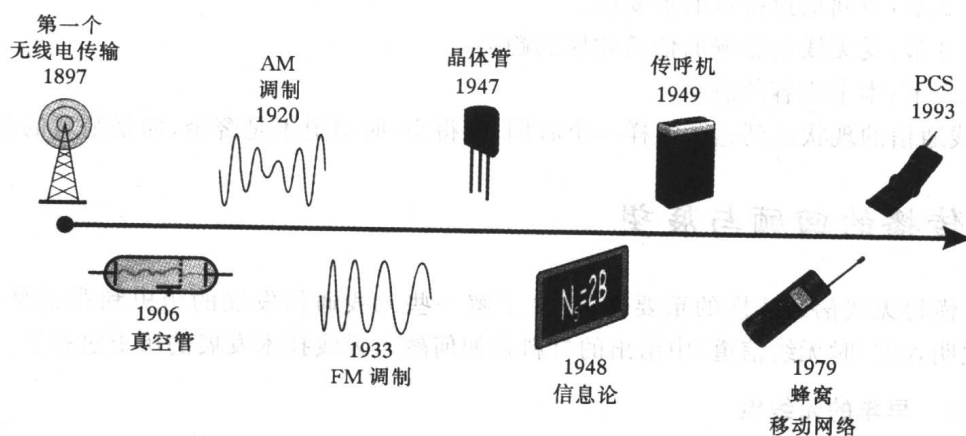


图 1.2 无线电通信中的一些重要里程碑

使用除传输功率以外的其他资源来设计无线电链路了。许多其它的无线电装置随之产生(电视,军用无线电,雷达,等等),但也许最重要、最理想的里程碑出现于 1949 年 Claude E. Shannon 发表著名的“通信的数学理论”[Sha48]时。在这篇通信链路设计革命化的文章中,概括了