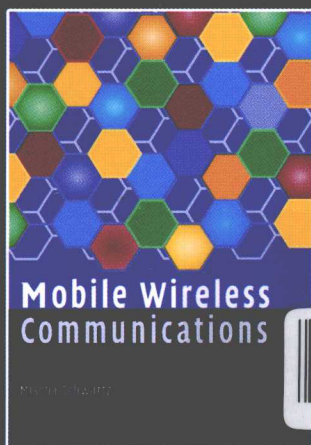


国外电子与通信教材系列

CAMBRIDGE

移动通信

Mobile Wireless Communications



[美] Mischa Schwartz 著

许希斌 李云洲 译

姚彦 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

移动通信

Mobile Wireless Communications

[美] Mischa Schwartz 著

许希斌 李云洲 译

姚彦 审校



NLIC2970873346

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

这是一本全面介绍移动通信基础知识及新技术发展状况的教材。第1章为介绍性内容,讲述移动通信的历史及后续各章的描述。其后的内容可分为两大部分,第1部分包括第2章到第8章。第2章讲述在无线介质中遇到的传播现象;第3章介绍蜂窝的概念;第4章到第7章讨论功率控制、调制、编码及接入技术;第8章对第二代系统——GSM, IS-95, IS-136 及 D-AMPS 进行了详细的讨论。第2部分包括第9章到第12章。第9章探讨了无线系统的性能分析;第10章对第三代系统——W-CDMA, CDMA2000 及 GPRS 进行了深入的描述;第11章讨论了在蜂窝系统中提出和使用的接入和调度技术。本书最后讨论了无线局域网(WLAN)和个域网(PAN)。

本书适合作为大学本科高年级或研究生一年级无线通信的入门课程,也可作为工程师、计算机专家及其他技术人员的参考资料。

Mobile Wireless Communications (978-1107412712) by Misha Schwartz first published by Cambridge University Press 2005.

All rights reserved.

This simplified Chinese edition for the People's Republic of China is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© Cambridge University Press & Publishing House of Electronics Industry 2013.

This book is in copyright. No reproduction of any part may take place without the written permission of Cambridge University Press and Publishing House of Electronics Industry.

This edition is authorized for sale in China Mainland.

此版本经授权仅限在中国大陆销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2005-2686

图书在版编目(CIP)数据

移动通信/(美)施瓦茨(Schwartz, M.)著;许希斌,李云洲译. —北京:电子工业出版社,2013.3

书名原文:Mobile Wireless Communications

国外电子与通信教材系列

ISBN 978-7-121-19535-8

I. ①移… II. ①施… ②许… ③李… III. ①移动通信-通信技术-高等学校-教材 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第020154号

策划编辑:马 岚

责任编辑:马 岚

文字编辑:陈 磊

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

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

开 本:787×1092 1/16 印张:21.5 字数:550千字

印 次:2013年3月第1次印刷

定 价:49.00元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

目 录

第1章 介绍与综述	1
1.1 历史回顾	1
1.2 本书概述	5
第2章 无线介质中传播现象的特性	11
2.1 自由空间传播情况	11
2.2 无线情况	12
2.3 随机信道特性	22
2.4 终端移动和衰落速率	25
2.5 多径和频率选择性衰落	27
2.6 改善衰落的技术	32
习题	40
第3章 小区基本概念和信道分配	43
3.1 信道再用和小区导论	43
3.2 信干比计算, 一维情况	44
3.3 二维小区簇和信干比	45
3.4 流量控制: 厄兰性能和小区尺寸	49
3.5 信号的概率计算	51
习题	53
第4章 动态信道分配和功率控制	55
4.1 动态信道分配	55
4.2 功率控制	64
习题	72
第5章 调制技术	74
5.1 数字调制技术介绍	75
5.2 信号成形	77
5.3 蜂窝无线系统中的调制	81
5.4 正交频分复用	89
习题	93
第6章 多址接入技术: FDMA, TDMA, CDMA 系统容量比较	95
6.1 时分多址接入技术	96
6.2 码分多址接入技术	98
6.3 CDMA 容量: 单小区情况	101

6.4	误比特率的考虑	102
6.5	CDMA 容量计算:CDMA 与 TDMA 相比	104
	习题	110
第7章	检错纠错编码	112
7.1	检错与纠错的分组码	112
7.2	卷积编码	124
7.3	Turbo 码	132
	习题	136
第8章	第二代数字无线系统帧	138
8.1	GSM	139
8.2	IS-136 或 D-AMPS	144
8.3	IS-95	150
8.4	移动管理:切换、定位和寻呼过程	162
8.5	语音信号处理和编码	169
	习题	176
第9章	性能分析:准入控制和切换	178
9.1	关于性能概念的概述	179
9.2	一维小区	189
9.3	二维小区	199
	习题	209
第10章	2.5G/3G 无线移动系统:分组数据交换	212
10.1	简介	212
10.2	3G CDMA 蜂窝标准	214
10.3	2.5/3G TDMA:GPRS 和 EDGE	230
	习题	245
第11章	蜂窝系统接入和调度技术	248
11.1	时隙 Aloha 接入	249
11.2	综合接入:语音和数据	255
11.3	基于分组的蜂窝系统的调度	263
	习题	269
第12章	无线局域网和个域网	272
12.1	IEEE 802.11 WLAN	272
12.2	无线个域网:蓝牙/IEEE 802.15.1	286
	习题	295
	参考文献	297
	索引	305

第1章 介绍与综述

本书对数字移动无线网络提供了教学性的介绍。这个领域太广泛，并且变化太快，以至于没有哪本书能够包括其所有的方面。然而，本书应该可以为感兴趣的读者提供一个牢固的基础，使之能依此探究本书未包括的内容或对已有的内容进行更详细的讨论。本书附录中的参考文献将提供很多信息，读者应当在需要的时候参考它们。有一家期刊涉及了很多本书所参考的最新工作，这将为读者提供最新的研究结果或最新发展的教学性综述。

注意第1行使用的词汇“数字”。在下面的历史回顾部分，我们将看到最早的无线网络使用的是模拟通信。稍后，本书将对这种模拟网络中的一个——现在仍在使用的 AMPS 进行简要的描述。但是，本书的重点是现代数字无线网络。在世界范围内，现在运营着两种类型的数字无线网络。一种是蜂窝网络类，主要承载语音呼叫，但随着手机或其他基于蜂窝的移动终端对相应业务越来越支持，这类网络也越来越多地承载数据和多媒体业务。虽然不同的蜂窝系统是不能互相比较的，但这些数字无线网络现在无处不在，在世界范围内都能够支持手机用户。第2种类型的数字无线网络是局域网络或个域网络类。本书的大部分内容将关注第1种类型，即无线蜂窝网络，但读者将明显看到本书的很多内容对两种网络都同样适用。另外，第12章对局域网和个域网提供了一个全面的介绍，在局域网类型中集中介绍了使用得越来越广泛的 Wi-Fi 网络，而在个域网中将用蓝牙作为例子。

考虑在后续章节中将要详细描述蜂窝网络。在这些网络中，用户的手机连接到所谓的基站，每个基站覆盖一个地理小区。基站按顺序连接到有线电话网，从而在原则上允许用户的呼叫传送到世界上任何需要的地方。第1个研发的蜂窝网络是模拟的，从下面的历史回顾部分，我们可以看到它们正被现在世界上最通用的数字蜂窝网络所替代。然而，模拟网络仍然在使用，它们在数字蜂窝无法连接时作为备份。在北美，大量竞争而又互不兼容的数字蜂窝网络可能在一定地理范围或区域内造成某个连接不能进行，这时就会出现上述情况。模拟网络常称为第一代蜂窝网络，现在使用的数字网络称为第二代网络。正如上文所说，虽然后面的章节将会使用一些对所有蜂窝网络（包括局域网和个域网）也适用的材料，但本书的重点是数字蜂窝网络。世界上主要有3种运营的第二代网络：GSM，D-AMPS 或 IS-136，IS-95，这将在第6章和第8章中对其进行详细的描述。

近年来，为了从第二代网络向所谓的第三代网络升级，我们已经做了很多工作。第三代网络使用分组交换模式，而第二代网络使用与数字有线电话网相同的电路交换技术。第10章将详细介绍第三代网络，并将详细介绍电路交换和分组交换的区别。

1.1 历史回顾

在对移动无线网络进行详细研究之前，先对本领域的发展历程做一简要介绍。下文的材

料将重点介绍贝尔实验室的工作,包括在美国的发展。更多的详细内容参见 Frenkiel (2002)^①和 O'Neill(1985)^②的第 14 章。这部分的结尾将简要地讨论欧洲从 1981 年起在无线移动通信方面的活动。详细内容请参见 Paetsch(1993)^③。

船与岸之间的通信属于移动电话技术的最早应用之一,实验性的业务开展于 1919 年美国波士顿和巴尔蒂摩之间的沿岸蒸汽船。采用 4.2 MHz 和 8.7 MHz 幅度调制的商用业务开展于 1929 年,这与幅度调制的电台广播获得大众关注大概发生在同一时期。注意到这些频率相应的波长大概是 70 m 和 35 m,因此轮船成为装载这些波长天线的合适的交通工具。同样,轮船也适合于所需无线设备的大小和重量,并能提供需要的功率。警察通信也大约在同时开展起来。1928 年,底特律警察局引进了一种使用小而结实的无线电台的地面移动通信系统。到 1934 年止,美国 194 个市政系统和 58 个警察系统的 5000 辆警车都装备并使用了移动通信。这些早期的移动通信系统使用的频段是 35 MHz。然而人们很快发现,由于有害的传播效应和大的噪声,使得城市中车辆间的通信常常不能满足要求。城市环境的传播效应是一个未知量,贝尔实验室以及其他地方开始了对它的研究。传播测试最初在 1926 年对 40 MHz 频段开展。到 1932 年,对多个不同频段、多种传输路径和距离的测试都开展起来,并考虑了诸如信号反射、折射、衍射等人们注意到的现象所造成的影响(现在各种研究人员仍然在对不同传播环境中,包括室内和室外的不同频段信号进行测试。第 2 章将介绍传播效应和用来表示这些效应的模型)。1935 年,在波士顿对 35 MHz 和 150 MHz 进行了更多的传播测试。这次对多径效应进行了特别的关注。这些测试同时表明使用调频(而不是先前的调幅技术)能使可靠的传输成为可能。这些各种各样的测试以及在以后年代进行的其他测试,都表明传播效应能够以最简单的形式得到理解,即看成是 3 个因素的组合:一个是形式为 $1/d^n$ 的、与距离成逆向相关的平均接收功率变量,其中 n 是一个比通常自由空间因子 2 要大的整数;一个是平均功率的长期统计变量,现在称为阴影或对数正态衰落;一个是短期的、变化迅速而与车辆移动有关的衰落效应。第 2 章将对这 3 种传播效应进行详细的讨论和建模。

第二次世界大战的爆发中断了无线移动系统的商业活动,然而这些活动在战后得到了快速的发展,特别是在高频段。这些高频段的运营使得更多的用户通道成为可能。1946 年,美国联邦通信委员会(FCC)对圣路易斯的第 1 个商用陆地移动电话系统提供了运营许可证。到当年年底,全美有 25 个城市有该系统的运营。这个基本的系统使用 150 MHz 频段的调频传输,信道载频间隔为 120 kHz。到 20 世纪 50 年代,信道载频间隔减少到 60 kHz,但是由于接收机不能充分地区分相邻的信道,相邻的城市只能交替地使用间隔 120 kHz 的信道。系统之间必须间隔 50 mile(1 mile = 1.6093 km)以上。为了提供与移动用户间的无线连接,人们建造了能覆盖 20 mile 到 30 mile 的高塔。这个系统能提供 40 个信道或并发呼叫。FCC 将这些无线信道均匀划分给本地电话公司(Telcos)和新建立的称为“无线公共业务商”(RCC)移动载频。这些早期的移动系统都是手动操作,通过接线员进行连接呼叫。它们提供半双工的传输,即连接的任何时候都只能有一个方向的通信:双方在连接的空中或无线部分使用同一个

① Frenkiel, R. 2002. "A brief history of mobile communications," *IEEE Vehicular Technology Society News*, May, 4-7.

② O'Neill, E. F. 1985. *A History of Engineering and Science in the Bell System: Transmission Technology (1925-1975)*, ed. E. F. O'Neill, AT&T Bell Laboratories.

③ Paetsch, M. 1993. *Mobile Communications in the US and Europe: Regulation, Technology, and Markets*, Boston, MA, Artech House.

频率信道,未发声的一方必须通过一个“按键说话”的过程获得信道使用。由于有40个可以使用的信道,根据通话的长度不同,该系统在给定的区域内可以容纳800到1000个顾客(显然,当用户通话长度增加时,平均可容纳的客户数必然减少。这个问题将在本书的后续内容中讨论“阻塞率”这个概念时定量进行研究)。当系统变得越来越流行,想获得一个移动电话将经过一个很长的等待名单。这些系统因而变得有点“精英化”,它为那些特别需要成为用户的人们建立了优先权,例如医生。

20世纪60年代新的半导体器件的发明,以及由此引起的系统成本和移动电话功率要求的降低,再加上在移动电话中使用更复杂电路的可能,使得一种非常先进的移动电话业务——IMTS得到了发展,IMTS即所谓的足够逻辑化的“先进移动电话业务”。贝尔实验室从1962年到1964年对这种新的业务进行了开发,并于1965年在宾西法尼亚州的哈瑞斯堡进行了外场测试。这种业务采用间隔30 kHz、截短的调频信道,包含自动拨号,采用全双工模式(即两个方向同时发送),交谈双方都有自己的信道频率。移动电话能够自动搜索空闲的信道,即当前并没有分配给用户的信道。然而,这个新系统在给定区域内仍然只能容纳800到1000个用户,长达25 000个的等待用户名单是非常普遍的。另外,这个业务有限地使用频谱造成了用户常常收到“系统繁忙”的信号,即在分到信道时被阻塞,于是,上文所说的“阻塞率”非常高。

早在1947年,为了缓解当时移动系统容量上的不足,贝尔实验室的工程师们提出了两种解决方案:一种方案是将移动系统转移到更高的频带,提供更多的系统带宽,从而得到更多可用的用户信道;另一种方案是采用地理蜂窝结构。蜂窝系统的概念非常简单,然而其影响是深远的。在蜂窝系统中,一个给定的区域被分成称为小区的邻接地理区域,而信道的频率集合在小区之间被划分。由于信道在足够远的小区之间复用,从而被分配了同样频率的小区间的干扰是可管理的(将在第3章定量研究这些概念)。例如,在第3章所研究的一种方案中,每个小区将被分配总信道数目的 $1/7$ 。表面上看来好像走到了错误的方向——减少每个小区的信道数目似乎会减少可容纳的并发用户的数目,然而如果每个小区覆盖的面积足够小,特别是在城市地区,则频率能在足够短的距离内复用,这样便能补偿每个小区信道数的减少。但是,我们将在后续章节中考虑一个由此带来的问题:当用户从一个小区漫游到另一个小区时,他们正在进行的通话将要在每个小区分配不同的频率信道。这个信道重新分配的过程称为“切换/handoff”(另一个等价的术语是“切换/handover”,它在欧洲较为流行)。对于通话中的用户来说,这个过程必须看起来是无缝的。这样的信道重新分配也要与同一个小区内那些企图获得信道的新呼叫竞争,因而可能会造成正在通话中的用户通话的中断,除非有特别的手段避免或者降低这种情况的几率。本书将在第9章定量讨论切换中断概率并提出了几种保持通话的方式,还比较了它与新呼叫呼损率之间的权衡折中。

让我们回到简短的历史回顾中来。1949年,贝尔实验室向FCC请求允许将移动电话的频带移到470~890 MHz,以获得更多的信道,进而得到更大的移动容量。然而在当时,这个频带是为电视准备的,因此请求被拒绝了。1958年,贝尔实验室请求把764~840 MHz的频段作为移动通信用,但FCC仍然拒绝施行。在此之前,移动系统中引入蜂窝概念已经在贝尔实验室展开了全面的讨论。到1968年止,FCC决定将840 MHz附近的频谱分配给移动电话业务,并为此开启了现代著名的“查询通知和规则制定提出通知”18262号提要。贝尔实验室在1971年做出了回应,提出了一个“大容量移动电话系统”的方案,该方案包含了蜂窝技术的引入(这个方案后来发展成为AMPS高级移动电话业务,即前文所提到的第一代模拟蜂窝

系统),于是在对贝尔实验室提出的这种更高频段的移动业务感到恐慌的不同党派之间展开了10年的冲突。例如,广播公司希望保留此频率分配给广播业务;通信制造商为新系统的前景和可能伴随的竞争而恐慌;无线公共业务商们觉得被贝尔实验室占据了绝对优势;舰队的操作人员希望这些频谱能被他们私人的移动通信使用。直到1981年这些问题才得到解决,FCC最终同意从800~900 MHz的频段分配出50 MHz给移动通信话务使用(实际上最初只分配了40 MHz,其余的10 MHz是在几年后分配的)。这些频率的一半将分配给本地电话公司,另一半分配给无线公共业务商。同时,到当时为止,广泛使用的固态器件、微处理器以及电子电话交换系统,使得车辆定位和小区切换能够在相对小的小区范围内实行。

在这个“小冲突和政治活动”(O'Neill, 1985)的时间里,贝尔实验室关于城市传播效应和城市环境中基于蜂窝的移动系统的工作仍在进行。1978年,在芝加哥对研究所得的AMPS系统开始了技术测试,并在1981年FCC裁决支持系统的发展后,于1983年在同一个城市进行了AMPS的第1次商业铺设(但应该注意,1984年AT&T与其脱离了关系。根据美国司法部和涉及此案的联邦地方法院以及AT&T同意的最终裁决修改案,贝尔系统的移动运营被转移到了RBOC,即当时建立的7个地方性贝尔运营公司)。

如上所述,AMPS系统通常称为第一代蜂窝移动系统,并仍在使用,以作为蜂窝系统的备份。它现在包含两个25 MHz宽度的频带:上行链路或者反向信道(从移动单元到基站)为824~849 MHz,下行链路或者前向信道(从基站到移动单元)为869~894 MHz。如前所述,系统使用模拟调频传输,为每一个方向上的每个信道(即用户连接)分配30 kHz。每个信道最大的频偏是12 kHz。这种通信系统在传输的每个方向上将全部25 MHz带宽划分成30 kHz的信道,称为频分复用系统(FDMA)。频分复用系统以及时分复用(TDMA)和码分复用(CDMA)将在第6章详细讨论,这意味着每个方向上有832个30 kHz的频率信道。根据前文所提到的FCC的裁决,在美国最初铺设的AMPS系统,一半的信道分配给RBOC,即地区性贝尔运营公司,另一半分配给RCC无线公共业务商。同样,如前所述,每个给定的小区分配1/7的信道。例如,考虑一个10 mile半径的小区系统,覆盖大约300 mile²的面积(最初,在芝加哥的实验小区半径为8 mile)。25个邻接的小区将覆盖7500 mile²。而考虑一个作为比较的覆盖相同面积的非蜂窝式的系统,半径大概是50 mile。稍微想想就能明白,在这个例子里小区的引入增大了25/7或3.6倍的系统容量,即可能并发的用户连接或呼叫的数量。使用更小的小区将使系统容量变得更大。

尽管在1983年基于小区的AMPS系统使得移动容量的增加成为可能,但从1985年起,美国的主要城市(比如纽约和洛杉矶)开始面临容量问题。蜂窝电信工业协会开始评价各种替代方案,从1985年到1988年一直都在研究这个问题,最后决定转到数字时分复用系统(TDMA)。如同AMPS一样,这种系统同样在800~900 MHz范围内使用30 kHz的信道,这样是为了向后兼容。然而,每个信道能同时被3个用户使用,从而相应地增大系统容量到以前的3倍(TDMA在第6章讨论)。这种系统的标准得到了发展,并制定了标号为IS-54的标准系统。后来,对标准进行了修改,系统被更名为IS-136,它常被称为D-AMPS,即数字AMPS。这组成了下文将要讨论的3种第二代蜂窝系统之一。第二代数字系统在1991年末开始在美国主要城市运营。对IS-135的详细讨论将在第6章和第8章进行。

1986年,圣地亚哥一个一直在开发码分多址CDMA移动系统的通信公司QUALCOMM得到了很多像NYNEX和太平洋贝尔这样的地区性贝尔运营公司的支持,以试验它们的系统。

这些系统根据 FCC 的规定, 必须与 AMPS 和 D-AMPS 一样覆盖相同的 800 ~ 900 MHz 的频率范围。这种标号为 IS-95 的 CDMA 系统, 从 1993 年开始在美国和其他国家商业化。这种系统是本书将要讨论的第 2 种第二代系统。它在 2 GHz 的 PCS 频段同样被采用(我们将不讨论 2 GHz 频段, 为了集中关注于 800 ~ 900 MHz 的频段)。在 IS-95 中, 分配给移动业务的 25 MHz 带宽被划分成 1.25 MHz 宽度的 CDMA 信道。码分多址将在第 6 章进行详细讨论, 并在第 10 章与第三代蜂窝系统联系起来。第 6 章和第 8 章将详细介绍 IS-95 CDMA 系统。

到 20 世纪 90 年代中后期为止, 在美国有两个互相竞争并且互不兼容的第二代数字无线系统。如果将后来采用的 2 GHz PCS 频段包括进来, 当移动用户在离家很远并且移动载频覆盖很差的地区漫游时, 则保持连接将有很多潜在的困难。双模手机可以缓解这个问题: 它们能够在某一区域发生通信困难时退回到模拟的 AMPS 系统。这种情况最初在欧洲更糟糕。最早的移动蜂窝系统于 1981 年和 1982 年早期被斯堪的纳维亚半岛国家引入。西班牙、奥地利、英国、荷兰、德国、意大利和法国在 1982 年到 1985 年也有了自己的系统。这些系统是模拟的, 但问题是有 8 个这样不相同且不兼容的系统, 这意味着通常通信只能限制在一个国家内。这个问题当然很早就被认识到了。1981 年, 法国和德国开始了一个发展第二代数字系统的研究。1982 年欧洲邮政电信管理会 (CEPT) 的电信委员会建立了一个移动通信特别研究小组 (GSM), 在 900 MHz 频段开发全欧洲范围的第二代数字蜂窝系统的标准。到 1986 年决定使用 TDMA 技术。到 1987 年, 欧洲经济共同体采用了最初提出的建议和频率分配, 从移动台到基站的上行链路覆盖了 890 ~ 915 MHz 的 25 MHz 频段, 而从基站到移动台的下行链路覆盖了 935 ~ 960 MHz 的频段。到 1990 年, 所形成的称为 GSM (移动通信全球系统或移动通信 GSM 系统) 系统的第 1 阶段标准确定了。另外, 同年应英国的请求, 将 GSM 适配到 1.8 GHz 频段 (DCS1800) 的工作开始了。一年后, DCS1800 的标准确定。在 1991 年之前, 第 1 个 GSM 系统开始运行, 并在 1992 年开始商业运营。GSM 自此开始在整个欧洲配置, 允许国家之间的平稳漫游。为北美频段设计的 GSM 版本也投入了使用。当然, 这把美国的不兼容问题弄得更复杂, 使得 800 ~ 900 MHz 频段出现了 3 个不同的第二代系统, 并在 2 GHz PCS 频段也有了系统。最初采用 IS-136 的加拿大, 也引入了 IS-95 和 GSM。

日本的发展过程和美国相似。当时日本的国有电信公司 NTT 早在 1979 年就引入了模拟蜂窝系统。该系统在 800 MHz 频段的两个 25 MHz 频带内支撑了 600 个 25 kHz 调频双工信道。日本在 1993 年引入太平洋数字蜂窝 (PDC) 系统, 其系统特性近似于 D-AMPS。它与第 1 个模拟系统一样覆盖相同的频段, 也在 1.5 GHz 有 1 个 PCS 版本。IS-95 系统也被引入日本, 改名为 CDMAOne。

到 2003 年 5 月, GSM 成为世界上使用最广泛的第二代系统, 大约有 8.64 亿用户, 为世界上 72% 的数字移动电话用户 (GSM 世界) 提供服务。在这些用户中, 欧洲有 4 亿, 亚太地区有 3.34 亿, 非洲和阿拉伯世界各有 2800 万, 北美和俄罗斯各有 2200 万。IS-95 CDMA 在世界上排第 2, 有 1.57 亿用户使用这种系统。D-AMPS 拥有 1.11 亿用户, 日本的 PDC 有 6200 万用户。

1.2 本书概述

结束简短的历史回顾后, 我们将为各章节做一个概述。如上所述, 无线介质或者说用来实现通信的空间传播条件在无线移动系统的运营和性能中扮演了极其重要的角色。许多年

来,从乡村到城郊,从城市的室外到不同的室内,对在这些不同环境中的传播条件进行了大量的研究,并且这些研究现在仍在进行。这些研究导致了各种模拟不同环境的模型的出现,它们可以在系统设计、实现、仿真和分析中使用。第2章将介绍其中最简单的模型。然而,这些讨论应当有助于理解更加复杂的模型,也应有助于理解关于传播效应方面的最新文献。应尤其关注在给定基站发送信号功率的情况下,统计变化的移动接收机接收信号功率的模型。这个模型以乘积形式综合了3个因素,这些因素概括了无线电波在空气介质中传播时经受的最重要的效应。这3个因素在前面都曾简短地提到。模型中第1项包括了随与发射机距离变化而变化的平均信号功率。与自由空间传播功率的平方成反比不同,发送信号在一个典型的传播环境里与距离的更高次方成反比。这是由于从基站到移动台沿信号传播路径遇到阻碍物而产生的效应,包括反射、衍射以及散射,从而造成了接收机处有多个信号到达。第2章展示的一个例子在后面的章节中也会用到,其中功率随距离的4次方成反比,这是由于从基站而来的直射信号和地面反射的信号叠加形成的效应。

第2章讨论的模型的第2项包括了信号功率在其均值基础上大尺度的变化,有时超过均值,有时落在均值以下。这种效应覆盖了很多波长,并且被发现能够使用对数正态分布对其很好地建模,通常称为阴影或对数正态衰落。这个模型的第3项被设计用来描述小尺度衰落的效果,即当信号的功率随着移动接收机进行波长量级的移动时统计变化。这种衰落是由于发射信号的多径散射造成的,称为瑞利/莱斯衰落,因而接下来的部分讨论信道的特征化。同样,我们将在第2章讨论衰落速度和它与移动速度的联系,以及衰落对携带信息的信号的影响,包括频率选择性衰落条件。这个条件在延时扩展,即不同多径信号的差分延迟超过一个数据符号的持续时间时产生。它会导致信号畸变,特别是信号间的干扰。第2章的结束部分将讨论3种减轻多径衰落效应的方法:为克服符号间干扰的均衡技术、分集过程,以及在CDMA系统中有效地用来改进性能的RAKE接收机技术。

第3章集中关注蜂窝概念以及通过信道重用产生的系统容量的改善。它将信号与干扰之间的比率SIR作为性能参数引入,这在无线系统中通常用来衡量干扰发射机对期望信号的接收所产生的干扰。例如,在蜂窝系统中,如何选择可接受的信干比阈值将决定重用距离,即用同频的小区应当相距多远。当这一章讨论二维系统时,我们将关注六边形的蜂窝结构。六边形通常用来代表蜂窝系统中的小区,因为它们能镶嵌满整个空间,并能近似于使用全向天线时得到的等功率圆。当小区再用距离确定时,对于一个给定的系统,立刻就能得到每个小区的信道数目。通过这个计算,使用阻塞率表示的系统性能就能得到。这个计算决定于每个小区的用户数,以及他们产生呼叫的统计特性。给定一个需要的阻塞率,就能很快得到每个小区允许的用户数,或者需要的小区大小。为了完成这些计算,引入电话系统中关于阻塞率的统计形式——厄兰分布(对厄兰分布的实际推导将留到对性能问题深入分析的第9章)。第3章这个关于性能的介绍性讨论使用了信干比的概念,关注平均信号功率,并忽略了衰落的影响。因此,当这一章结束时,将简要引入概率信号的计算,以确定接收信号的功率超过某个阈值的概率。这些计算将包括第2章描述的阴影衰落模型。

第4章将讨论改进系统性能的其他方法,包括为减小呼损率的动态信道分配策略(DCA)和减少干扰的功率控制。在蜂窝系统中,广泛应用了功率控制来保证维持合适的信干比。从后面的第6章、第8章和第10章对CDMA系统的讨论中看到,功率控制对于其合适的性能是至关重要的。在描述DCA时,我们将集中讨论一个特定的算法,它能够很好地进行近似分

析,却又具有很多 DCA 策略的特性,因此能很好地展示 DCA 是如何改善蜂窝系统的性能的。事实上,我们将把其在简单系统中的使用与在第3章对蜂窝信道分配的讨论中暗含的假设,即固定信道分配进行比较。对功率控制的讨论,集中在两种简单的迭代算法,并展示算法的选择是如何戏剧性地影响收敛速度的。然后,将说明这些算法是如何被一种统一的形式写出来的,并与 CDMA 系统中所使用的简单单比特控制算法进行比较。

第5章将继续讨论在数字无线移动系统中遇到的基本系统概念,集中讨论这些系统使用的调制技术。本章将从最简单形式的数字调制的简介开始,即相移键控(PSK)、频移键控(FSK),以及幅移键控或者通断键控传输(ASK 或 OOK)。从这些简单的数字调制技术延伸到正交幅度调制(QAM)技术,我们将第三代蜂窝系统中使用的 QPSK 和 8-PSK 作为特例,同样也将简要介绍数字通信中的波形成形。这些材料对于在数字通信系统方面有些背景的人来说都应该很熟悉。对这些技术进一步的扩展,比如无线系统中使用的数字调制技术 DPSK 和 GMSK 就变得很容易描述了。这一章的末尾将介绍正交频分复用(OFDM),包括使用快速傅里叶变换技术来实现。OFDM 技术也在高速无线局域网中得到了应用,这在第12章中有所描述。

第6章将描述数字无线系统中两种主要的多址技术——时分复用(TDMA)和码分复用(CDMA)。TDMA 系统包括重复的时隙帧结构,每个用户在一帧中分配一个或多个时隙。这与现代(有线)数字电话网中所使用的同种技术很相似。GSM 和 D-AMPS(IS-136)蜂窝系统都是 TDMA 系统的范例。以第二代的 IS-95 系统、第三代的 cdma2000 和 WCDMA 系统为范例的 CDMA 系统,使用伪随机码的传输来保证用户的接入。所有系统也都使用了 FDMA 接入,对分配的频段采用指定的频率分配并进一步划分给 TDMA 传输的时隙或在 CDMA 传输中承载多个码。首先对 TDMA 进行介绍性讨论,然后介绍基本的 CDMA(将在第8章和第10章进一步讨论 CDMA),接着对 CDMA 提供的潜在系统容量进行简单的计算。这些计算依赖于比特差错率的计算。对不太熟悉通信理论的读者,总结了从噪声中对二进制信号进行检测所得到的经典结论,以及衰落对信号可检测性的影响。此外,我们也简单地描述了第2章中讨论的分集技术对差错率的改善。

在这一章的结尾,采用简单的分析模型对 CDMA 的容量进行了计算,使我们能够将 TDMA 和 CDMA 系统的容量性能做出比较。必须强调的是,所得的这些容量结果是假设在蜂窝系统的理想模型下得到的,在实际环境中可能大为不同。然而,在这一章和接下来的其他章节中所使用的系统模型,确实能使我们在铺设无线系统时关注最重要的参数和设计的选择。

为了使读者了解数字无线系统的运行和性能,第7章提供了必要的背景介绍材料。这一章很大一部分涉及到了在通信系统和理论的介绍性课程中经常研究的材料。已经掌握了编码理论知识的读者因而可以将这一章的讨论作为复习,并关注这些编码技术在第10章所讨论的第三代蜂窝系统中的应用。首先,讨论分组码的纠错和检错,特别关注在无线系统中常用的所谓循环码。接下来是卷积码的讨论,重点在维特比算法和使用卷积编码可能带来的性能改善。第7章的结尾将简单讨论第三代 CDMA 蜂窝系统采用的 Turbo 编码。

第8章以本书描述的特定数字无线系统的详细讨论开始。本章重点是前面已经多次提到的3种第二代蜂窝系统:GSM, D-AMPS 或 IS-136, IS-95。对其中每一种系统,描述移动台和基站之间通过空中接口传输的双向的各种控制信号,这些控制信号用来进行移动台注册和建立呼叫。承载着所需信息的控制信号和业务信号,从为每个类别定义的“信道”中发出。控制信号包括:同步信号、寻呼信号和接入信号。其中,寻呼信号要求某个移动台对进来的呼叫

进行应答,而移动台使用接入信号来请求获取信息传输业务的信道,基站也使用接入信号对此请求进行应答。

对基于 TDMA 的 GSM 和 IS-136 系统,所定义的各种不同信道与在每帧时隙内指定的比特序列相对应。对于每一个系统,不仅会介绍其重复帧结构,也会描述一帧中每个时隙内的比特分配。同时,我们也将介绍不同控制信道传输的各种消息,重点关注建立呼叫的过程。对基于 CDMA 的 IS-95,这些不同的信道与特定的码对应。首先,提供系统业务信道部分的框图描述,从而展开对 IS-95 的讨论。业务信道用于传输实际呼叫信息。然后,转到系统的控制信道,这些信道被移动台用来从基站获取必需的时序信息,从而回答呼叫和请求接入系统。如前所述,对各种基于码的信道及其系统子结构框图的讨论,将进一步深化从第 6 章开始的关于 CDMA 系统的讨论,这样便能通过学习 IS-95 系统来熟悉 CDMA 的概念。同样,如前所述,这些关于 CDMA 的基本内容将在第 10 章讨论第三代系统时得到进一步加强。在讨论完 IS-95 的各种信道框图之后,与如何在 TDMA 中建立呼叫的讨论一样,将展示移动台如何利用各种信道获取必需的相位和时序信息,来向基站注册并建立一个呼叫。不同信道上传播的各种消息的格式也将得到描述。

迄今为止,对第 8 章材料的讨论集中在通过移动台和基站之间的空中或无线接口传播的信号。前述章节的很多材料都着重于无线系统的射频部分,然而这些系统中用户的移动性导致必须在无线系统通常所连接的有线网络上传输信令。在前面提到当移动台跨越小区边界时必须控制所发生的切换,这已经暗示了上述的可能。移动管理在无线蜂窝系统的运行中扮演着重要的角色,不仅包括切换的正确控制,也包含着移动台漫游时的定位,以及定位后对特定小区内的移动台进行正确的寻呼。移动管理的这 3 个方面,需要通过有线网络以及移动台与基站之间的空中接口进行信令传输,这些将在第 8 章中进行详细的讨论。首先讨论的是小区间切换和系统间切换的切换控制,然后转到对位置管理和寻呼的描述,最后通过简单的考虑表明最后两个功能的实现需要在性能上做必要的折中。

第二代蜂窝系统主要用于传输语音电话,尽管数据传输的应用也日渐增多。于是为了在恶劣传输环境中有效且高效地传输话音信号,在第 8 章的结束部分我们将详细讨论所需语音信号的处理。注意,与有线电话传输相比,无线话音信号传输的速率要低得多,这就需要在发射之前先对信号进行大幅度的压缩,然后再编码。所有的第二代系统都采用了各种版本的称为线性预测编码的语音压缩技术。我们将在这一章中简要地描述这种技术,然后继续讨论分别被 GSM, IS-136 和 IS-95 系统采纳的该技术的变化版本。

第 9 章将对前面章节提出的性能问题进行详细的讨论,其背景将是定量描述无线网络中的准入和切换控制,以及在二者之间进行裁决所带来的折中问题。首先从优先原则开始,初步讨论蜂窝中的信道保持时间,并对呼叫持续时间和小区中移动台驻留时间通过一个简单的概率模型来说明,对从宏蜂窝到微蜂窝的各种蜂窝尺寸也都给出了例子。一个小区的平均切换业务量将与采用了流连续性这一参数的新业务的到达联系起来。然后,再基于泊松统计假设和指数概率分布得到新呼叫阻塞率和切换终端率的方程。在分析中顺便导出了前几章提出的厄兰分布。这些基于流连续性参数的分析不涉及特定的小区模型几何形状。接着,使用各种用户端移动性模型对一维和二维蜂窝几何结构的系统性能进行了详细的讨论。我们将给出如何得到重要的统计分布,比如新呼叫和切换呼叫的小区驻留时间分布,以及由此得到的信

道持续时间分布。我们将得到的结果与指数分布进行比较,同样,对文献中提出的一些准入/切换控制策略也进行了比较。

第10章回到特定蜂窝系统的讨论,重点在第三代(3G)无线通信系统。这些系统被设计用于处理更高比特率的分组交换数据和电路交换语音,同时提供在两种信号业务之间、在不同信号传输速率之间灵活切换的能力。这一章的讨论将主要集中在分组数据的传输。在这些系统中,服务质量或 QoS 的概念在用户性能目标的建立中扮演了关键的角色,并且每个被讨论的系统的特定 QoS 性能目标都被一一提及。这一章描述了3种3G系统:宽带 CDMA 或称为 WCDMA(UMTS/IMT 200 标准);CDMA 系统中基于 IS-95 并向后兼容的 cdma2000 家族;GSM 系统的增强版本,它设计用于分组传输的 GPRS。首先对 CDMA 中用到的一些技术进行描述和比较,并由此展开对两种第三代 CDMA 标准的讨论。这些技术被用来实现高得多的比特率,而如此高的比特率是因特网型多媒体分组数据所必需的。然后,我们将介绍如何在各个标准中使用这些技术来获得所需要的更高的比特率。讨论这些标准运作的细节,描述为传输分组交换数据业务而定义的各种逻辑信道,以及用于保证恰当性能的各种信令和控制信道。这些讨论将与前面第8章中为第二代系统定义的各种控制和业务信道的讨论类似。在 WCDMA 的情况下,还将描述为该系统定义的各种基于 QoS 的业务类型。对 cdma2000 家族的讨论,我们将包括对经过特别设计用于高速率分组数据的 1xEV-DV 标准的简短描述。

在第10章中,对第三代系统讨论的末尾介绍了 GSM 的增强版本,它能够提供更分组交换的能力。为此定义和开发了两套基本标准。一个是前面提到的 GPRS(通用分组交换无线系统),另一个是 EDGE。GPRS 由两部分组成,一个核心网部分和一个空中接口标准。EDGE 设计用于为空中接口提供高得多的比特率。这些基于 TDMA 的 3G 系统也通常称为 2.5G 系统,因为它们是被设计用来尽可能简单和快速地为 GSM 提供分组交换能力的。GPRS 的核心网部分采用了分层结构,这种结构在较高的层中融入了基于因特网的 TCP/IP 协议。为了尽可能地使这本书自成体系,在对 GPRS 分层结构进行讨论之前将对分层结构的概念进行简短的介绍,并使用因特网结构作为特定的例子,还介绍了 GPRS 中的服务质量(QoS)分类。GPRS 空中接口的讨论包括对各种逻辑信道的描述,这些信道通过空中接口传递业务信号和必需的控制信号。它还简单地描述了4种编码方案,这些方案用于在无线传输中提供不同数量的编码保护,以对抗反常的传输条件。接下来讨论的是由于引入 EDGE 而导致的比特速率容量的增强,这包括从文献中得到的仿真结果,显示出与 GSM 相比 EDGE 所产生的吞吐量的改善。

第10章所讨论和描述的 QoS 性能目标的获得,需要对分组传输进行恰当的控制。首先对用户接入系统的过程进行控制,一旦接入获准,对分组传输进行适当的调度。第11章重点关注为基于分组的蜂窝系统提出或采用的接入和调度技术。本章首先描述和确定了通常采用的时隙 Aloha 接入策略的性能。虽然这里的重点在于分组接入控制,但值得注意的是 Aloha 策略在第8章所讨论的电路交换的第二代系统中也很常用。第11章提供的分析包含前面第9章引入的泊松统计模型。本章也描述了接入过程中的衰落效应,它导致了著名的捕获效应。在对时隙 Aloha 接入过程讨论之后,介绍了改进的接入过程,其中一些为 3G 系统所采用。然后本章的讨论转到多址接入控制,它是对各自拥有不同业务特性和不同 QoS 需求的多种业务类型的接入控制。一个主要的例子是对单独的数据包和话音呼叫的联合接入控制,这需要在整个完整的呼叫时间内接入传输设备。文献中提出的所有多址接入控制技术均基于基

本的时隙 Aloha 技术。在文献中首次提出并在本章中得到描述的策略,是设计用于处理语音和数据的 PRMA。后来提出了许多 PRMA 的改进版本,比如 PRMA ++,本章讨论了其中一些接入方案。PRMA 和相关的接入策略都是用于基于 TDMA 的系统的。从前述的第 10 章的概要可以明显看出,蜂窝系统的重点看起来正在向基于 CDMA 的系统转移,因此,在多址接入控制的讨论的最后,我们将介绍特别针对 CDMA 系统而提出的接入策略,其中大多数都来自基本的 PRMA 方案,并在被改进后用于 CDMA 环境。

第 11 章的末尾详细讨论了无线系统中上行(从每个移动台到相应小区的基站)和下行(从基站到恰当的移动终端)的分组数据流的调度过程。调度的目的是两个层面的:在传播条件允许时向用户提供 QoS 性能保证;保证系统资源,主要是链接带宽或容量的完全利用。为传输多个流而进行分组调度的概念在有线分组网络中已经得到长期的研究和实践。在基于分组的无线系统中采用的或提出的一些调度算法,实际上是最初研究的那些用于有线网络的算法的变化版本。本章大量描述并比较了这些算法,而且引用了文献中出现的性能仿真结果。

本书的最后一章(第 12 章)将详细讨论承载高比特率数据业务的无线局域网(WLAN)和以蓝牙标准为范例的无线个域网(WPAN)。无线局域网提供了大约 100 m 的覆盖范围。个域网用于距离最多 10 m 的不同设备间的无线通信。本章对 WLAN 的讨论将关注 IEEE 802.11 标准,重点在高度成功和广泛使用的 802.11b,通常称为 Wi-Fi。802.11b 标准设计运作的标称数据为 11 Mbps。允许数据传输率高达 54 Mbps 的更高比特率的 WLAN 标准,802.11g 和 802.11a 也将被讨论。这些更高比特率的 WLAN 标准使用了第 5 章描述过的 OFDM 技术。蓝牙标准也被 IEEE 采用成为 IEEE 802.15.1 WPAN 标准,设计运作于 1 Mbps 的速率。两个标准用的都是 2.4 GHz 免许可证的无线通信频段。

第 12 章的第 1 部分讨论 IEEE 802.11 无线局域网标准。它首先简要介绍有线局域网通用的接入技术——以太网,然后对 802.11 所采用的策略——载波侦听多址接入/冲突避免(或称 CSMA/CA)进行了详细的描述。冲突避免机制是必要的,因为接入同一个无线信道的多个用户会产生冲突。以太网和 802.11 的接入策略都是操作在基于分组分层架构的介质接入子层(MAC)的,这种架构就是第 10 章介绍的架构。实际数据传输发生在这种架构的物理层,关于 802.11b, 802.11g 和 802.11a 的物理层规范描述,被安排在介绍 MAC 层接入控制的段落之后。其中 802.11g 和 802.11a 两个标准是基于 OFDM 技术的。在给出 802.11 标准的描述之后,我们将继续给出该标准的数据吞吐量性能分析,并用一些例子来阐明这些讨论。

第 12 章的第 2 部分和结论部分详细地描述了蓝牙和 IEEE 802.15.1 无线个域网标准。该标准规定蓝牙器件在 10 m 的覆盖范围内将通过自组织方式形成“微微网”^①,一个微微网包括一个主控台和最多 7 个从控台,每个从控台与主控台通信,并在主控台的控制下运行,因此在这个系统中没有竞争。这一节的讨论包括微微网的建立方法,用于建立微微网的控制分组的描述,以及在微微网建立之后进行通信的各种数据业务分组的格式。本节还包括关于蓝牙性能的讨论,这些讨论建立在文献中对蓝牙性能的仿真研究基础之上。很多仿真结果包括了阴影衰落和莱斯类型的快衰落的影响。第 2 章进行过关于各种类型的衰落的讨论。在数据分组传输的微微网中,主控台的调度对蓝牙的性能起到了决定性作用,因此,文献中出现的多种调度技术之间的比较也在本节一并给出。

^① 也称为“皮网”——编者注。

第2章 无线介质中传播现象的特性

前一章简要介绍了本书中将要讨论的各章内容,可以看到无线传播环境在无线移动通信系统中起着重要的作用,它决定了系统的性能,决定了系统是否适合进行实时语音信息传输,或者适合数据传输,或者其他类型的通信。所以,在介绍无线通信其他方面之前,有必要对无线介质某些方面的影响详细地讲解一下。在第1章中,可以看到无线通信或无线线路一般都被描述为无线系统中移动用户终端和它所通信的基站之间的通信链路,而基站则连接着可传输信号的有线网络。现代的通信系统一般在区域上被分为很多小区,每个小区设有一个基站。在以后的章节中我们将会详细讲述小区和蜂窝结构(例外的是第12章主要讨论小型无线网络,基本不涉及基站和蜂窝的概念)。本章主要讨论一个小区内信号在基站和移动终端之间进行传输时的传播环境。

无线链路由收发双用信道组成:前向通路即下行,是从基站到移动终端;反向通路即上行,是从移动终端到基站。由于电磁波在传播过程中经常会遇到障碍发生反射、衍射、散射等,这使得不管是上行链路还是下行链路,其信号传播环境都很难刻画出来,这样得到的接收信号往往变化得很随机。当终端移动时,信道环境也发生了变化,使得信号电平随机波动,这种现象就是信号衰落。衰落速率与移动终端对基站的相对移动速度相关,也与所传输信号的频率相关。在用不同的传播模型来近似模拟不同的物理环境方面,前人已经做了很多工作。这些模型可以用来决定在一个给定区域内,使用多少基站,怎么安排基站位置,才能使移动用户得到最好的服务,已经有基于这些模型的软件可以完成这样的任务。另外,它们也可用于对已搭建的无线系统的性能进行评估。

在本书中,为了便于大家对移动通信的过程有一个基本的认识和理解,我们主要介绍最简单的模型。本章的第1节将主要回顾自由空间的信号传播,接下来讲述的是本书中使用的传播模型,在无线通信中它有3个一般特征:平均功率方差是 $1/(\text{距离})^n$,其中 $n > 2$,而 $n = 2$ 为自由空间的情况;平均功率的长期变化或衰落,称为阴影或对数正态衰落;短期多径衰落导致瑞利/莱斯衰落,其功率变化发生在一个波长范围内。瑞利衰落的引入可以是多径无线介质或常说的信道被表示成为一个有线性冲激响应的模型。然后,讨论衰落速率及其与移动终端速度的关系,还有衰落对承载信息的传输信号的影响。接下来,特别讨论了频率选择性衰落的情况,以及与之相关的接收信号的时间色散和时延扩展。对于数字信号,频率选择性衰落将会导致符号间的干扰。在这节的结尾,大致总结了一些减轻信号衰落的方法,包括信道均衡、分集接收以及瑞克时间分集机制。

2.1 自由空间传播情况

众所周知,射线光束可以在一个远场区域有天线的接收系统中用来发现信号的功率变化。特别地,对于一个各向同性的天线,发射功率为 P_T ,那么在距离为 d m的地方,接收到的功率谱密度为 $P_T/4\pi d^2$ W/m²。当接收端的有效接收面积为 A_R 时,接收功率 P_R 可以表示为

$$P_R = \frac{P_T}{4\pi d^2} A_R \eta_R \quad (2.1)$$

其中 $\eta_R < 1$, 是有效作用系数。图 2.1(a) 就描述了这种情况。

运用各向同性发射器, 大多数的天线都有发射增益, 这可看做是各向同性情况的聚焦效应或聚焦增益。如果一个发射天线的增益 $G_T > 1$, 那么接收面积为 A_R 的接收功率为

$$P_R = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} A_R \eta_R \quad (2.2)$$

发射增益 G_T 与发射天线的有效发射面积 A_T 成正比(发射电磁波束所成的立体角与天线有效面积成反比)。当天线的大小以发射或接收电磁波的波长计量时, 其大小决定了天线的聚焦性能, 天线越大, 即波长数越多, 发射的波束越密集, 能量越集中。发射增益与面积之间的关系为

$G_T = 4\pi\eta_T A_T / \lambda^2$, 其中 $\eta_T < 1$ 是发射天线效率因子。有效接收面积 A_R 与接收增益也有类似的关系, 如果式(2.2)中 A_R 由表达式 $G_R = 4\pi\eta_R A_R / \lambda^2$ 重写, 那么可得到自由空间接收功率的表达式

$$P_R = P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2.3)$$

例如, 这一等式常用于卫星通信中确定所需功率。图 2.1(b) 描绘了定向通信的情况。

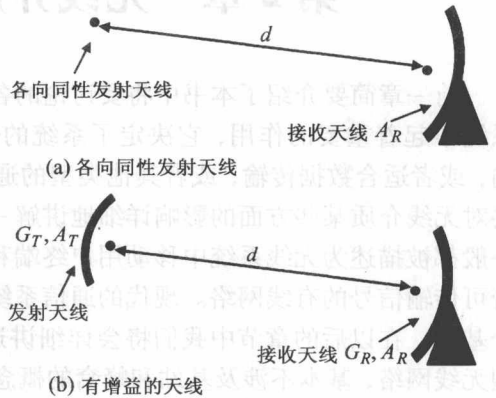


图 2.1 自由空间通信

2.2 无线情况

现在讨论无线情况下的电磁波传播, 为简单起见, 主要讨论下行链路即从基站到移动终端的情况, 上行链路即从移动终端到基站的情况与之类似。前面已经提过, 在一个给定小区内, 在基站发射信号到达假定的无线移动终端之前, 经常会遇到多种障碍物, 比如树木、建筑物、车辆等。发射的电磁场遇到这些各样的障碍物后发生反射、衍射或散射, 使得接收机接收到的信号为各种干扰信号的叠加。接收机所得到的电磁场是由空间受到混合干扰的各路电磁波组成的, 于是, 从接收端看传输信道, 可以看成是一个传输能量空间变化的模式。当接收端移动时, 它所接收到的信号也会变化。当它从相对高功率(优良接收)的区域移动到低功率(劣质接收)的区域时, 就发生了衰落。举一个极端一点的例子, 假设一个移动接收机被一个人带着或者是被车载着, 正在市内一个拥挤的环境中转弯, 这时接收天线收到的电磁波将会有剧烈的变化, 接收机正处理的信号特性也会有明显的改变。

移动无线接收机通过这种“严酷”的传播环境时所产生的影响将会相当大地改变自由空间的功率变化等式, 有如下一些具体影响:

1. 在距离超过很多个波长的情况下, 测得的远场平均功率随着距离的增加而减小, 其减少的速率大于 d^2 , 举一个一般的例子, 远场平均功率以 $1/d^4$ 的速率减小。
2. 在相对远的距离同样超过很多个波长的情况下, 测得的实际接收功率在平均功率左