



国际信息工程先进技术译丛

WILEY

移动无线信道 (原书第2版)

Mobile Radio Channels (Second Edition)

(挪) Matthias Pätzold 编著
王秋爽 吴明慧 王玲芳 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际信息工程先进技术译丛

移动无线信道

(原书第2版)

(挪) Matthias Pätzold 编著
王秋爽 吴明慧 王玲芳 等译

机械工业出版社

本书介绍移动衰减信道建模、分析和仿真的基础知识。全书共 10 章，主要内容分三部分：一是随机的和确定性的正弦曲线求和过程处理；二是基于随机几何的信道模型的推导和分析，以及针对单输入单输出（SISO）和多输入多输出（MIMO）系统的许多类型可选频率和非可选频率移动无线信道的高精度信道仿真器的开发；三是将所开发信道模型的统计性质拟合到真实世界信道的统计性质上。

本书特别适合移动无线工程师、电信工程师和在快速增长的无线和移动通信市场中为工业界或研究所工作的物理学家。本书也适合专业兴趣为处理移动无线信道问题主题的专家和专注于移动无线通信的硕士研究生。

Copyright © 2012 John Wiley & Sons, Ltd.

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled 〈Mobile Radio Channels (Second Edition)〉, ISBN: 978-0-470-51747-5, by Matthias Pätzold, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体字版由机械工业出版社出版，未经出版者书面允许，本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。版权所有，翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记图字：01-2013-2089 号。

图书在版编目（CIP）数据

移动无线信道：原书第 2 版/（挪）裴措特编著；王秋爽等译．—北京：机械工业出版社，2014.4

（国际信息工程先进技术译丛）

书名原文：Mobile Radio Channels

ISBN 978-7-111-46047-3

I. ①移… II. ①裴…②王… III. ①移动通信－无线电信道

IV. ①TN929.5②TP84

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 040386 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：张俊红 责任编辑：阎洪庆

版式设计：赵颖喆 责任校对：刘志文

封面设计：马精明 责任印制：乔 宇

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2014 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·33 印张·730 千字

0 001—2 500 册

标准书号：ISBN 978-7-111-46047-3

定价：138.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010)68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010)88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

译者序

当您徜徉在大城市的大街小巷，当您在祖国的名山大川饱览风景，当您在农村的广大地区体验生活，当您躺在家里的温馨沙发上，您手边都会有一部移动手机，这已经成了如今人们不可缺少的物件，方便了别人，也方便了自己。此时远方的亲人、朋友，如果想将激动的事件与您分享，他或她会拨通您的手机，或发条短信给您。您是否知道，您和他们之间的桥梁是什么？有人说是通信，有人会更准确地说，是移动通信。但您是否知道，您的手机要靠什么与通信系统联系。这就是本书的讨论主题——移动无线信道。

本书介绍移动衰落信道建模、分析和仿真的基础知识。主要内容有三部分：一是随机的和确定性的正弦曲线求和过程处理；二是基于随机几何的信道模型的推导和分析，以及针对单输入单输出（SISO）和多输入多输出（MIMO）系统的许多类型选择频率和非选择频率移动无线信道的高精度信道仿真器的开发；三是将所开发信道模型的统计性质拟合到真实世界信道的统计性质上。

第1章以移动无线系统演进综述开篇，接着是移动无线信道的基础知识，以本书的结构描述结尾；第2章回顾了随机变量、统计过程和系统论的基础；第3章介绍瑞利过程和莱斯（Rice）过程作为特征化频率非选择移动无线信道的参考模型；第4章介绍正弦曲线求和过程和复数值正弦曲线求和过程；第5章处理正弦曲线求和过程的参数化；第6章关注于频率非选择信道模型的开发；第7章专门讨论频率可选择信道模型的建模、分析和仿真；第8章将焦点放在MIMO信道的建模、分析和仿真上面；第9章处理高速信道仿真器的推导、分析和实现；第10章介绍移动无线信道建模中三个精选话题。

本书由王秋爽负责第1~5章的翻译工作，吴明慧负责第6~10章的翻译工作，最后由王玲芳负责统稿和审校及总附录翻译整理等工作。本书在翻译过程中，吴秋义、李冬梅、潘东升、吴璟、王弟英、李虹、游庆珍、李传经、吴昊、李睿、王领弟、王建平、王灵芹、张永、李志刚、左会高、申永林、潘贤才、刘敏、李钰琳、王青玫、李倩、陈军、许侠林、王改玲、张增军、李岩等同志参加了部分的翻译工作，在此表示感谢。同时感谢机械工业出版社，感谢出版社的编辑和相关同志。另外，感谢无线通信领域的先驱者、实践者和研究人员。

不过，需要指出的是，本书的内容仅代表作者个人的观点和见解，并不代表译者及其所在单位的观点。另外，由于翻译时间比较仓促，疏漏错误之处在所难免，敬请读者原谅和指正。

译者

2014年夏于北京

原 书 序

借助您手头的这本书，您、读者和我就有了共同点。我们都有对移动无线信道的相同兴趣。在 1992 年秋天，这个领域首先吸引了我的关注，当时我从工业界转到学术界，目的是寻找我生命中的挑战，并追求一种科学生涯。从那时起，我将自己看作移动无线信道方面的一名学生，就是为移动无线信道的建模、分析和仿真而生的。本书第 1 版是我在德国 Hamburg-Harburg (TUHH) 科技大学教学和研究活动的结果，目前第 2 版完全是在挪威 Agder 大学工作的成果。

为了将我的感情与读者分享，我的目标是写出这样一本内容全面的书，以基础知识开始，逐渐转到高级的研究话题。这使当前版本符合了初学者和专家等的口味。本书特别适合移动无线工程师、电信工程师和在快速增长的无线和移动通信市场中为工业界或研究所工作的物理学家。除此之外，本书也适合专业兴趣为处理移动无线信道问题主题的专家。最后，但丝毫不差的是，本书也针对专注于移动无线通信的硕士生。

学习本书，要求有统计学和系统理论的基本知识。一般而言，硕士生在这些领域都有足够的背景知识。为了简化管理，与本书目标相关的所有基础数学工具都在开始部分做了扼要描述。由此基础知识，在本书中做出的几乎所有论断都是详细推导的，以便达到数学方面的高度清晰和明晰。多亏了充分的引导和帮助，这确保感兴趣的读者以合理的付出来验证结果。对于会中断本书可读性的较长推导，放到了附录。对以数值仿真确认理论结果做了重点强调。为了形象地说明理论和试验结果，包括了大量图示。这些图的许多解释和含义丰富了读者对本书内容的理解。一般来说避免使用缩略语，以我的经验来说，这极大地有利于可读性。另外，提供了大量参考文献，这使读者可找到更多有关移动无线信道建模的几乎无穷尽的专题来源。巨量精选的 MATLAB 程序集（用于仿真和分析移动无线信道）可从网站 www.wiley.com/go/paetzold 免费下载。它们为仿真信道模型提供了有价值的支持，并为应用本书中描述的强大分析工具给出了实践指南。

我的目标是向读者介绍移动衰减信道建模、分析和仿真的基础知识。本书的主要焦点之一是随机的和确定性的正弦曲线求和过程处理。它们建立了高效信道仿真器开发的基础。对于具有给定相关性质的正弦曲线求和过程的设计而言，几乎给出并分析了目前为止在本领域内已知的所有方法，并对它们的性能进行了评估。焦点也放在基于随机几何学的信道模型的推导和分析，以及针对单输入单输出（SISO）和多输入多输出（MIMO）系统的许多类型可选频率和非可选频率移动无线信道的高精度信道仿真器的开发上。在本书中讲解的另一个重要话题是将所开发信道模型的统计性质拟合到真实世界信道的统计性质上。

第1章以移动无线系统演进综述开篇,接着是移动无线信道的基础知识,以本书的结构描述结尾。

第2章回顾了随机变量、统计过程和系统论的基础。本章介绍了许多重要的定义、术语和公式,这些常会在本书中使用。

第3章以前一章介绍的术语为基础,介绍瑞利过程和莱斯过程作为特征频率不可选择移动无线信道的参考模型。

第4章介绍正弦曲线的求和过程,由此可得到具有低实现复杂度的高性能信道仿真器。本章的另一重要组成部分处理由复数值正弦曲线求和(cisoids)组成的过程。cisoids过程支持将一个简单的物理模型解释为一个平面波模型。这使这种过程对于真实世界传播条件下移动无线信道模型的开发而言非常具有吸引力,在这种条件下非各向同性的散射是常见现象。

第5章处理正弦曲线求和过程的参数化。提供了对于计算正弦曲线求和过程的模型参数当前已知的最重要过程的深入全面描述和分析。估计了每种参数计算方法的性能,重点突出了各方法的优势和劣势。本章也为平面模型的参数化提供了求解方法。

第6章关注于频率不可选择信道模型的开发。介绍了各种复杂的组合随机过程,它们支持对频率不可选择移动无线信道的建模。所给信道模型的用途得以展示,方法是将其统计性质拟合到测量得到的数据。本章最后部分深入研究非稳态地面移动卫星信道的建模。

第7章专门讨论频率可选择信道模型的建模、分析和仿真。本章的核心专注于线性时变随机系统的Bello理论。对所谓的广义静态不相关散射(WSSUS)模型给予了特别关注。另外一大部分是处理宽带信道的仿真。另外,针对给定功率延迟剖面的建模介绍了各种方法。本章的最后部分给出了被测宽带移动无线信道建模和仿真的一种通用方法。

第8章将焦点放在MIMO信道的建模、分析和仿真上面。由特定几何散射模型开始,在各向同性和非各向同性散射的假定下,给出随机参考MIMO模型推导的一种通用技术。所建议的过程为高级移动通信系统的设计人员提供了一种重要的框架,他们可在真实传播状况下,验证利用MIMO技术的新传输概念。

第9章处理高速信道仿真器的推导、分析和实现。本章说明如何仅使用加法器、存储单元和简单的地址产生器就能够开发仿真模型。为高速信道仿真器的设计所提出的技术,也适合于前面各章给出的所有类型信道模型。

第10章以移动无线信道建模中三个精选话题结束本书。第一个话题讨论设计多个不相关瑞利衰减信道的问题,第二个话题专注于阴影衰落的建模,第三个话题详细讨论跳频移动无线信道模型的开发。

在本书撰写过程中,我高兴地与许多博士生就各种主题一起研究,这些主题以一种方式或另一种方式影响了本书的内容。我特别感谢B. O. Hogstad博士、C. A. Gutierrez博士、B. Talha博士、G. Rafiq博士和Y. Ma女士。我将永不会忘记我们一起在科学道路上探索的伟大和有成果的时刻。我也要感谢John Wiley & Sons的主编Mark Hammond以及

我的项目编辑 Sarah Tilley 和 Susan Barclay, 感谢他们的一贯支持、极大的耐心, 感谢他们给予我所有的自由, 这是以当前形式出版本书所必不可少的。最后, 我特别感谢我的妻子 Katharina。如果没有她不断的鼓励和专业化的协助, 本书实际上是不可能完成的。当然, 所有的错误都完全是我个人的。

Matthias Pätzold
Grimstad

目 录

译者序

原书序

第 1 章 引言	1
1.1 移动无线系统的演进	1
1.2 移动无线信道的基础知识	7
1.3 本书的结构	11
第 2 章 随机变量、随机过程和确定性信号	14
2.1 随机变量	14
2.1.1 概率论的基本定义	14
2.1.2 重要的概率密度函数	19
2.1.3 随机变量的函数	29
2.2 随机过程	31
2.2.1 稳态过程	33
2.2.2 遍历过程	35
2.2.3 水平通过率和衰落的平均时长	35
2.2.4 具有随机输入的线性系统	37
2.3 确定性信号	39
2.3.1 确定性连续时间信号	39
2.3.2 确定性离散时间信号	41
2.4 扩展阅读	43
附录 2. A 对莱斯水平通过率一般公式的推导	43
第 3 章 瑞利信道和莱斯信道	45
3.1 多径信道的系统理论描述	46
3.2 瑞利信道和莱斯信道的形式化描述	50
3.3 瑞利信道和莱斯信道的基本性质	50
3.3.1 复数包络的自相关函数和谱	50
3.3.2 包络的自相关函数和谱	54
3.3.3 平方包络的自相关函数和谱	55

3.4 瑞利信道和莱斯信道的统计性质	57
3.4.1 包络和相位的概率密度函数	57
3.4.2 平方包络的概率密度函数	58
3.4.3 水平通过率和衰落的平均时长	60
3.4.4 瑞利信道衰落时间间隔的统计特征	64
3.5 扩展阅读	69
附录 3.A Jakes 功率谱密度和对应的自相关函数的推导	70
附录 3.B 包络的自相关函数的推导	72
附录 3.C 各向同性散射条件下包络的自协方差谱的推导	74
附录 3.D 基本高斯随机过程具有不同谱形状的莱斯过程的水平通过率的推导	75
 第4章 正弦曲线求和信道模型导论	 78
4.1 确定性信道建模的原理	79
4.2 确定性正弦曲线求和过程的基本性质	84
4.3 确定性正弦曲线求和过程的统计性质	89
4.3.1 包络和相位的概率密度函数	90
4.3.2 水平通过率和衰落的平均时长	96
4.3.3 在低信号水平处衰落时间间隔的统计性质	101
4.3.4 正弦曲线求和过程的稳态性和遍历性	103
4.4 正弦曲线求和过程的类型	104
4.5 复数正弦曲线求和信道模型的基本知识	107
4.5.1 随机复数正弦曲线求和过程的基本性质	108
4.5.2 包络和相位的概率密度函数	110
4.6 性能评估的准则	115
4.7 扩展阅读	115
附录 4.A 复数确定性高斯过程的平方包络自相关函数的推导	116
附录 4.B 确定性莱斯过程的水平通过率和衰落的平均时长准确解的推导	117
 第5章 正弦曲线求和信道模型的参数确定	 126
5.1 计算多普勒频率和增益的方法	127
5.1.1 等距离方法	127
5.1.2 均方误差方法	133
5.1.3 等面积方法	137
5.1.4 蒙特卡洛方法	145
5.1.5 Jakes 方法	153
5.1.6 L_p 范数方法	163
5.1.7 准确的多普勒频散方法	174
5.1.8 准确的多普勒频散的随机化方法	179
5.1.9 具有分集的准确多普勒频散方法	180

5.2 计算相位的方法	185
5.3 确定性瑞利过程的衰落间隔	186
5.4 Cissoids 求和信道模型的参数确定	193
5.4.1 问题描述	193
5.4.2 准确多普勒频散的扩展方法	194
5.4.3 L_p 范数方法 (LPNM)	194
5.4.4 广义等面积方法	196
5.4.5 性能分析	198
5.5 结束语和扩展阅读	204
附录 5. A 使用蒙特卡洛方法的模型相对误差的分析	207
附录 5. B 使用 MEDS- SP 的样本均值自相关函数收敛性的证明	208
附录 5. C SOC 过程不相关同相分量和正交分量条件的证明	208
第 6 章 频率非选择信道模型	210
6.1 类型 I 扩展 Suzuki 过程	211
6.1.1 短时衰落的建模和分析	211
6.1.2 长时衰落的建模和分析	221
6.1.3 类型 I 的随机扩展 Suzuki 过程	223
6.1.4 类型 I 的确定性扩展 Suzuki 过程	228
6.1.5 应用和仿真结果	231
6.2 类型 II 扩展 Suzuki 过程	234
6.2.1 短时衰落的建模和分析	234
6.2.2 类型 II 的随机扩展 Suzuki 过程	243
6.2.3 类型 II 的确定性扩展 Suzuki 过程	246
6.2.4 应用和仿真结果	250
6.3 广义莱斯过程	253
6.3.1 随机广义莱斯过程	254
6.3.2 确定性广义莱斯过程	257
6.3.3 应用和仿真结果	260
6.4 修正的 Loo 模型	262
6.4.1 随机修正的 Loo 模型	262
6.4.2 确定性修正的 Loo 模型	271
6.4.3 应用和仿真结果	277
6.5 非静态地面移动卫星信道的建模	279
6.5.1 Lutz 的两状态信道模型	279
6.5.2 M 状态信道模型	281
6.5.3 非稳态真实世界 LMS 信道的建模	282
第 7 章 频率选择信道模型	292
7.1 Parsons 和 Bajwa 的椭圆模型	293

7.2 频率选择信道的系统理论描述	294
7.3 频率选择随机信道模型	298
7.3.1 相关函数	298
7.3.2 Bello 的 WSSUS 模型	299
7.3.3 COST 207 信道模型	305
7.3.4 HIPERLAN/2 信道模型	310
7.4 频率选择正弦曲线求和信道模型	311
7.4.1 正弦曲线求和不相关散射 (SOSUS) 模型的系统函数	311
7.4.2 SOSUS 模型的相关函数和功率谱密度	316
7.4.3 SOSUS 模型的延迟功率谱密度、多普勒功率谱密度和特征量	319
7.4.4 SOSUS 模型的模型参数确定	323
7.4.5 COST 207 信道模型的仿真模型	327
7.5 给定功率延迟剖面建模方法	329
7.5.1 问题描述	330
7.5.2 离散传播延迟和路径增益的计算方法	331
7.5.3 参数计算方法的比较	342
7.5.4 被测功率延迟剖面的各种应用	344
7.6 被测宽带移动无线信道的完美建模和仿真	345
7.6.1 Cisoids 求和不相关散射模型	346
7.6.2 完美信道建模原理	351
7.6.3 应用到一个被测宽带室内信道	353
7.7 扩展阅读	355
附录 7.A $\mathcal{L}$ 路径 COST 207 信道模型的规范	357
附录 7.B $\mathcal{L}$ 路径 HIPERLAN/2 信道模型的规范	361
第8章 MIMO 信道模型	364
8.1 确定性信道建模的一般原理	365
8.2 单环 MIMO 信道模型	367
8.2.1 几何学单环散射模型	368
8.2.2 单环 MIMO 信道模型的参考模型	369
8.2.3 单环 MIMO 信道模型的仿真模型	374
8.2.4 参数计算方法	377
8.2.5 性能评估	378
8.2.6 仿真结果	380
8.3 双环 MIMO 信道模型	382
8.3.1 几何学双环散射模型	383
8.3.2 双环 MIMO 信道模型的参考模型	384
8.3.3 双环 MIMO 信道模型的仿真模型	388
8.3.4 各向同性和非各向同性的散射场景	391
8.3.5 参数计算方法	393

8.4 椭圆 MIMO 信道模型	398
8.4.1 几何学椭圆散射模型	399
8.4.2 椭圆 MIMO 信道模型的参考模型	400
8.4.3 椭圆 MIMO 信道模型的仿真模型	403
8.4.4 模型扩展	406
8.5 扩展阅读	408
附录 8.A 遍历性的证明	411
第 9 章 高速信道仿真器	413
9.1 离散时间确定性过程	413
9.2 离散时间确定性过程的实现	416
9.2.1 查找表系统	416
9.2.2 矩阵系统	418
9.2.3 移位寄存器系统	419
9.3 离散时间确定性过程的性质	420
9.3.1 离散时间确定性过程的基本性质	420
9.3.2 离散时间确定性过程的统计性质	427
9.4 实现复杂度和仿真速度	435
9.5 正弦曲线求和方法与滤波器方法的比较	437
9.6 扩展阅读	439
第 10 章 移动无线信道建模中的精选专题	440
10.1 多个不相关瑞利衰落波形的设计	440
10.1.1 问题描述	441
10.1.2 准确多普勒频散的一般方法 (GMEDS _q)	443
10.1.3 有关的参数计算方法	448
10.1.4 有限仿真时间对交叉相关性性质的影响	449
10.1.5 扩展阅读	451
10.2 阴影衰落的空间信道模型	452
10.2.1 阴影衰落的参考模型	452
10.2.2 阴影衰落的仿真模型	454
10.2.3 阴影衰落的相关性模型	457
10.2.4 扩展阅读	463
10.3 跳频移动无线信道	465
10.3.1 跳频信道的参考模型	466
10.3.2 跳频信道的仿真模型	467
10.3.3 性能分析	469
10.3.4 仿真结果	473
10.3.5 扩展阅读	473

附录 10. A	对数正态过程的空间自相关函数的推导	473
附录 10. B	空间对数正态过程水平通过率的推导	474
附录 10. C	正弦曲线求和阴影遮挡仿真器水平通过率的推导	475
附录 10. D	将等面积方法应用到 Gudmundson 相关性模型	476
附录 10. E	跳频信道时间-频率交叉相关性函数的推导	477
附录 10. F	跳频信道仿真器的参数化处理	478
参考文献		480
总附录		496
总附录 A	本书符号释义表	496
总附录 B	中英文缩略语对照表	512

第 1 章 引 言

1.1 移动无线系统的演进

几十年以来，移动通信部门一直是电信方面最快速增长的市场部门。目前，我们仍然处在移动通信全球增长趋势的早期阶段，在未来数年间将极可能继续这种增长趋势。在尝试确定这种发展的各项缘由过程中，人们需要准备识别确定大范围的因素。我们已经看到电信服务的国际自由化趋势、主要世界市场的开放和管制规定撤销、在约 1GHz 及以上频率范围的扩展、改进的调制和编码技术与半导体技术方面令人印象深刻的进步（例如，通过使用基于 FPGA^①技术、CMOS^②技术和 GaAs^③技术的 VLSI^④电路），以及，最后但毫不逊色的是，一个极端复杂环境中电磁波传播特征的海量知识无疑对世界范围电信部门的显著成功是有贡献的。移动通信成功故事的开端可回溯到 50 年以上——半个世纪的时间段，跨越了四代移动通信系统。

第一代（1G）移动通信系统是在 20 世纪 80 年代引入的。它们完全基于模拟传输技术。1G 移动通信系统的目标是在移动无线信道上提供话音业务。采用的技术基于模拟频率调制（FM）和频分多址（FDMA）方案。1G 系统是严格受限于它们的用户容量和它们的可访问能力的。另外，它们遇到固有的频谱低效使用问题。

在欧洲、美国和日本形成了各种 1G 蜂窝移动无线标准。在欧洲，第一个 1G 标准是北欧移动电话（NMT）标准，是由瑞典、挪威、丹麦、芬兰和冰岛联合开发的。第一批完全可运营的 NMT 系统于 1981 年在瑞典和挪威出现，1982 年在丹麦和芬兰出现，1986 年在冰岛出现。最初这个系统运行在 450MHz 频带（NMT-450），后来从 1986 年开始，也运行在 900MHz 频带（NMT-900）。在德国，第一个蜂窝移动无线系统被称为随机 A-Net，在 1958 年和 1977 年间处于运营状态。A-Net 基于人工交换技术，所以要求人类接线员连接呼叫。直接拨号首次在 B-Net 成为可能，该网从 1972 年直到 1994 年处于运营状态。非常快速地就达到了 27000 用户的容量限制。为了连通一名用户，呼叫方不得不（必须）知道被叫方的位置，因为手机要求服务它的基站的本地区号（local area code）知识。切换是不可能的，但在同样实现了 B-Net 标准的相邻国家之间（奥地利、荷兰和卢森堡）可进行漫游呼叫。在 1994 年 12 月 31 日 B-Net 退役了。移动用户的自动定位和切换到下一个蜂窝，通过采用技术上卓越的蜂窝 C-Net 首次成为可能，该网是

① FPGA：现场可编程门阵列。

② CMOS：互补金属氧化物半导体。

③ GaAs：砷化镓。

④ VLSI：超大规模集成（电路）。

在1985年5月1日正式投入运营的。它运行在450MHz频带，具有德国范围的可接入能力。在20世纪90年代早期，C-Net业务达到约800000的峰值用户数。在2000年12月31日在德国大部分地区关掉了C-Net。在欧洲开发的其他重要的1G模拟系统包括完全访问通信系统（TACS）（大部分在英国和爱尔兰使用）以及在法国使用的NMT-F和RadioCom 2000，在意大利运营的无线电话移动（RTM）系统（工作在450MHz频带）。在美国，于1983年官方引入了由贝尔实验室开发的先进移动电话系统（Advanced Mobile Phone System, AMPS）标准。AMPS运行在800MHz频带。在日本，第一项商用1G业务是1979年由日本电话电报（Nippon Telephone and Telegraph, NTT）公共事业公司（Public Corporation）（NTTPC）提供的。

如今，1G模拟移动系统不再使用。许多国家已经将频率资源重新分配给了其他移动系统标准。就有效的协调和互操作心态/漫游不是一个问题或至多是一个非常复杂的过程这个意义而言，1G时代的移动市场是碎片化的（fragmented）。在欧洲特别地被看作一个巨大问题。因此，对下一代移动的要求之一是针对移动业务使用共同的标准和产生单一市场。对新标准的另一项主要要求是改进的频率资源利用率。通过选择数字技术作为下一代标准的基础，这项要求后来得到了满足。

第二代（2G）移动通信系统是在20世纪90年代初开发的。这些系统不同于前一代系统之处在于，它们使用数字传输技术而不是模拟技术。2G移动通信系统的主要目标是方便泛欧（pan-European）的漫游、改进传输质量并在移动无线信道之上提供话音业务和数据业务。新系统使用数字调制技术，并以低的成本向消费者提供较高的话音质量和改善的频率效率。

全球移动通信系统（GSM^①）标准通常被看作全球最完美的2G标准。1982年，欧洲邮政电信管理会议（CEPT）成立了一个工作组，称作移动通信专项组，被授权为未来泛欧蜂窝无线系统制定标准。后来在1989年，GSM由欧洲电信标准协会（European Telecommunications Standards Institute, ETSI）接手，并在1990年完成GSM标准定稿。GSM使用时分复用（TDMA）和FDMA技术的混合方法。它支持话音呼叫和数据业务（可能的数据速率为2.4kbit/s、4.8kbit/s和9.6kbit/s）以及短消息业务（SMS）的传输^[1]。在德国，基于GSM标准的所谓D-Net（D网），在1992年投入运营。它运行在900MHz频带，并提供欧洲范围的全用户覆盖。另外，E-Net（E网）（数字蜂窝系统，DCS-1800）运行在1800MHz频带，自1994年开始与D-Net并行运行。这两个GSM网络主要在其相应频率范围有所差异。在英国，DCS 1800被称作个人通信网络（PCN）。在美国和加拿大，GSM运行在850MHz和1900MHz频带。最初的欧洲GSM标准已经同时成为全球移动通信标准，到2009（2005）年底已由222（210）个国家采用。在2009年，所有网络运营商运行全球1050个GSM网络，拥有超过38亿的GSM用户。这意味着约55%的全球人口使用GSM业务。

① 以前缩略语GSM代表“Groupe Spécial Mobile”（移动通信专项组）。随着最初的泛欧GSM标准逐渐全球化，缩略语GSM的含义就变为其当前含义。

除了 GSM 标准外,无绳电话的一项新标准,称作数字欧洲无绳电话 (DECT) 标准,也由 ETSI 引入。DECT 标准使用户以较大步幅 (较高速) 移动,在约 300m 的最大范围内使用无绳电话。其他重要的 2G 标准包括临时标准 (Interim Standard) 95 (IS-95)、IS-54、IS-136 以及个人数字蜂窝 (PDC) 标准。IS-95 的品牌是 cdmaOne,这是由 Qualcomm 开发的第一个数字蜂窝标准。IS-95 系统是基于码分多址 (CDMA) 技术的。它们被广泛用于美洲,特别是美国和加拿大,及亚洲的一些地方。IS-54 和 IS-136 也被称作数字先进移动电话业务 (D-AMPS),这是 1G 模拟蜂窝电话标准 AMPS 的数字版。D-AMPS 使用数字 TDMA 技术,并运行在 800MHz 和 1900MHz 频带。D-AMPS 曾经被广泛用于美国和加拿大,但如今被认为到了暮年,且已存在的网络多数为 GSM 或 cdma2000 网络所替代。PDC 标准在 1991 年 4 月由日本确定成形,并于 1993 年 3 月由 NTT DoCoMo 发起运行。PDC 系统是基于 TDMA 的,并单独地在日本使用。虽然 2G 移动通信系统仍然被广泛用于世界各地的许多地方,但其基础技术已经为较新的技术所替代,如 2.5G、2.75G、3G 和 4G。

第三代 (3G) 移动通信系统是在 2000 年早期开发的。3G 移动系统的主要目标是得到一个完全集成的数字移动陆地 (卫星) 通信网络,该网络可在世界任何地方任何时间提供无缝全球漫游的语音、数据和多媒体业务 (移动因特网)。3G 系统的关键因素包括通过集成卫星和陆地系统的世界范围使用、全球覆盖以及高频谱效率。3G 系统提供广泛的电信业务 (语音、数据、多媒体、因特网),且它们能够运行在所有无线环境下 (蜂窝、卫星、无绳和 LAN^①)。另外,它们支持报文交换和电路交换的数据传输。取决于环境,3G 无线系统提供各种数据速率,范围包括卫星用户的 9.6kbit/s、车辆用户 (高移动性) 的 144kbit/s 和步行用户的 384kbit/s (受限的移动性),直到用于静止室内办公环境中用户的 2.048Mbit/s 最高数据率。第一个商用 3G 系统由日本的 NTT DoCoMo 于 2001 年 10 月首次运行。其技术基于宽带 CDMA (WCDMA)。

在欧洲,3G 移动通信系统通常被称作通用移动通信系统 (UMTS)。采用 UMTS,人们的目的是将 2G 系统提供的各种业务集成到一个统一的系统之中。可从任何位置 (汽车、火车、飞机等) 在任何时间呼叫一名个体用户,他能够通过一个统一的终端使用移动因特网业务。除了这些之外,UMTS 也提供以前 2G 移动电话用户不能使用的各种应用业务,如移动 TV、视频点播、视频会议、远程医疗和基于位置的业务。

最初的意图是,对于 3G 系统仅有一种共同的全球标准。这将首次以单一手机支持世界范围的漫游。但不幸的是,明显地由于技术原因和政治原因,ITU^②并不处于强制单一通用全球范围标准的位置。相反,一个全球协调合作的标准集合满足由 ITU 确定的规格,这些标准在称作国际移动通信 2000 (IMT-2000^③) 的名称之下得以制定。IMT-2000 运行在 1885 ~ 2025MHz 和 2110 ~ 2200MHz 频带,这是 1992 年 3 月由世界无线电管理大会 (World Administration Radio Conference, WARC) 指派给 3G 系统用于世界范围

① LAN: 局域网。

② ITU 是信息和通信技术问题的主要联合国机构。

③ IMT-2000 以前称作未来公众陆地移动通信系统 (FPLMTS)。

使用的。从1999年10月25日到11月5日在赫尔辛基举办第18次ITU任务组8/1会议上,通过了IMT-2000的五个陆地和卫星无线电接口标准组成的集合。IMT-2000标准族包括如下五个陆地无线电接口标准(见图1.1)。

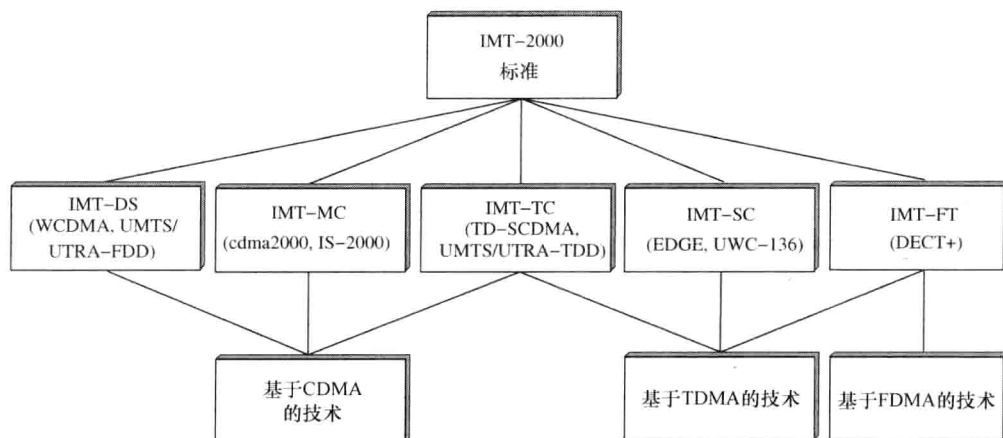


图 1.1 IMT-2000 的陆地无线电接口标准族

1) IMT-DS: 这个无线电接口标准基于直接序列 CDMA (DS-CDMA) 技术。频分复用 (FDD) 模式用于对称应用, 这些应用在上行链路和下行链路要求相同的无线电资源。IMT-DS 也称作宽带 CDMA (WCDMA)、WCDMA-FDD 和 UMTS/UTRA[⊙]-FDD。这个标准适用于公众宏蜂窝和微蜂窝环境中的应用。IMT-DS 得到 GSM 网络运营商和厂商以及日本无线工业及商贸联合会 (Japan's Association of Radio Industries and Businesses, ARIB) 的支持。

2) IMT-MC: 这个陆地无线电接口标准落在多载波 CDMA (MC-CDMA) 分类之下, 该分类主要基于 FDD 框架。IMT-MC 也称作 cdma2000 或 IS-2000。cdma2000 标准是 cdmaOne 的一个演化版本, 后者得到美国蜂窝网络运营商和厂商的支持。

3) IMT-TC: 这个标准基于 TDMA 和 WCDMA 技术的一个组合体。IMT-TC 也被称作 UMTS/UTRA-TDD、TD-CDMA 和 TD-SCDMA。UMTS/UTRA-TDD 是基于 TDMA 的 GSM 标准的一个演化版本。TD-SCDMA 是由中国提出的。IMT-TC 标准针对有高数据速率的对称和非对称应用做了优化。其目标是在公众微蜂窝和微微蜂窝 (picocell) 环境提供 3G 服务。

4) IMT-SC: 这个标准落在 TDMA 单载波分类之下。IMT-SC 也被称作 EDGE (增强型数据速率 GSM 演进, Enhanced Data Rates for GSM Evolution) 和 UWC-136 (通用无线通信 136)。IMT-SC 是 GSM 和 TDMA-136 的一个演化版本, 它是通过在 GSM 和 TDMA-136 增强版基础上得到的。许多 EDGE 物理层参数与 GSM 的那些参数是一样的, 包括 GSM 的 TDMA 帧结构和载波间隙。开发 EDGE 是为了使运营商能够提供多媒体和

⊙ UTRA: UMTS 陆地无线电接入。