



国际信息工程先进技术译丛



WILEY
www.wiley.com

第三代移动网络中的多播 通信：服务、机制、性能

**Multicast in Third-Generation Mobile
Networks: Services, Mechanisms and
Performance**

(瑞士) Robert Rümmler
(爱尔兰) Alexander Gluhak 编著
(英国) A. Hamid Aghvami
张鸿涛 王晓湘 等译

 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



国际信息工程先进技术译丛

第三代移动网络中的多播通信：服务、机制、性能

(瑞士) Robert Rümmler

(爱尔兰) Alexander Gluhak 编著

(英国) A. Hamid Aghvami

张鸿涛 王晓湘 等译

机械工业出版社

本书系统地介绍了多播在 3G 移动网络中的发展及部署情况。本书的重点在于主流 3G 网络标准中的多播, 如 UMTS 和 CDMA2000 网络。主要内容包括: 蜂窝移动通信系统概述、IP 网络中多播的基本原理、3G 网络中利用多播技术可实现的新业务、3G 网络的多播容量、UMTS 和 CDMA2000 的多播标准、3G 网络中多播技术的性能以及在 3G 移动网络和数字广播网络组成的异构环境中开展多播业务的机制等。

本书是一部紧跟通信技术前沿研究的专业性著作, 主要适于移动通信领域的研究人员和工程技术人员阅读, 也可以作为通信工程及相关专业的高年级本科生、研究生和教师的专业性新技术参考书。

Multicast in Third-Generation Mobile Networks: Services, Mechanisms and Performance/by Robert Rümmler, Alexander Gluhak, A. Hamid Aghvami.

ISBN: 978-0-470-72326-5

This edition first published 2009 © 2009 John Wiley & Sons Ltd.

All Rights Reserved. This translation published under license.

本书原版由 Wiley 公司出版, 并经授权翻译出版, 版权所有, 侵权必究。

本书中文简体翻译出版授权机械工业出版社独家出版, 并限定在中国大陆地区销售, 未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

本书封面贴有 Wiley 公司的防伪标签, 无标签者不得销售。

本书版权登记号: 图字 01-2011-0651

图书在版编目 (CIP) 数据

第三代移动网络中的多播通信: 服务、机制、性能/ (瑞士) 罗伯特 (Rümmler, R.) 等编著; 张鸿涛等译. —北京: 机械工业出版社, 2011. 8
(国际信息工程先进技术译丛)

ISBN 978-7-111-35083-5

I. ①第… II. ①罗…②张… III. ①移动通信—通信网—研究
IV. ①TN929. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 115755 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: 朱 林 责任编辑: 朱 林

版式设计: 霍永明 责任校对: 薛 娜

封面设计: 马精明 责任印制: 杨 曦

北京双青印刷厂印刷

2011 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm • 15.25 印张 • 305 千字

0 001 — 3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-35083-5

定价: 68.00 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

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010)68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010)88379649

读者购书热线: (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

译者序

3G 相对于 2G 的突出特点体现在带宽和速度上,业务向多媒体化、多元化、个性化发展,数据业务的层出不穷是其重要特点。尽管 3G 网络能给我们带来更宽的带宽和更快的数据传输速率,然而其为每一个用户分配一个独立信道进行数据传输的本质却没有改变,移动运营商不得不为基站覆盖中的每一个用户分配一个动态的、信息互不干涉的信道来进行传输。当通信载波扇区内的用户数量不断增长的时候,有限的带宽终将用尽,不仅使用类似手机电视这样的大容量数据传输无法实现,就连普通的语音通话也将受到严重的影响。而多播技术则可以解决这个问题。UMTS 和 CDMA 网络为支持多播业务提出 MBMS 和 BCMCS 多播技术标准。该技术在所有基站覆盖扇区中预留相同的数据传输时隙,然后在预留的时隙内向该地区的所有用户传输相同的数据包,从而提高传输性能,实现在同样的信道内让所有的用户能够接收到同样的内容。这样一来,大容量、高清晰的多媒体内容可以通过有限的资源向理论上无限多的用户进行广播传输,用户数量的增加不会造成传输速率和质量下降、连接不稳定等问题,有广阔的应用前景。

本书是专门介绍多播在 3G 移动网络中的发展和部署情况的著作。书中介绍了 3G 网络中可通过多播实现的业务,描述了支持这些业务所需要的机制并评估其性能,重点研究了主流 3G 网络标准中的多播,3G 网络中利用多播技术可实现的新业务、3G 网络的多播容量等。书中展示了许多有说服力的研究成果,并对多播技术提出了不少有价值的思考。

本书首先概述了蜂窝移动通信系统、IP 网络中多播的基本原理,并简要地介绍了 3G 移动网络的相关知识。然后讨论了一些在 3G 网络中利用多播技术可实现的新业务,以及 3G 网络的多播容量,并详细描述了 UMTS 的多播标准 MBMS 和 CDMA2000 网络中的多播标准 BCMCS。接下来从链路容量、多播路由成本、可靠多播技术的效率等角度考察了 3G 网络中多播技术的性能。最后提出了在 3G 移动网络和数字广播网络组成的异构环境中开展多播业务的机制。本书内容丰富、结构清晰,适用于第三代移动通信系统网络优化和规划的研发人员、系统设计师和设备设计工程师、运营商的系统维护工程师阅读,也可作为高等院校通信专业师生的参考书。本书也适合于对运营商及电信业务策略进行研究的人员,对其他想了解 3G 技术的人员也具有指导意义。

IV 第三代移动网络中的多播通信：服务、机制、性能

本书译者长期从事移动通信网络和无线多播技术研究工作，具有丰富的理论基础和实践经验。本书主要由北京邮电大学信息与通信工程学院张鸿涛翻译，王晓湘、张一文、乐利峰、胡亚辉、宋振峰等参与了部分章节的翻译。全书由张鸿涛统稿和审校。最后，还要感谢机械工业出版社的大力支持和高效工作，使本书能尽早与读者见面。

由于移动通信技术日新月异，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

于北京邮电大学

原 书 前 言

本书研究了多播在 3G 移动网络中的发展和部署情况。多播以最有效的方式将数据同时发送到一组接收端。本书概述了 3G 网络中可通过多播实现的业务，描述了支持这些业务所需要的机制并评估了这些机制的性能。本书重点在于主流 3G 网络标准中的多播，如 UMTS（Universal Mobile Telecommunication System，通用移动通信系统）和 CDMA2000 网络。作者不仅描述了 3G 网络中实现多播的相关技术和机制，也展示了许多有说服力的研究成果，并对多播技术提出了不少有价值的思考。

本书结构安排如下。第 1~3 章概述了蜂窝移动通信系统以及 IP 网络中多播的基本原理，并简要地介绍了 3G 移动网络的相关知识。第 4 章讨论了一些在 3G 网络中利用多播技术可实现的新业务。第 5~7 章讨论了 3G 网络的多播容量。详细描述了 UMTS 的多播标准 MBMS（Multimedia Broadcast/Multicast Service，多媒体广播/多播业务）和 CDMA2000 网络中的多播标准 BCMCS（Broadcast/Multicast Service，广播/多播业务）。第 8~10 章从链路容量，多播路由成本、可靠多播技术的效率等角度考察了 3G 网络中多播技术的性能，其中，主要考察系统吞吐量和时延等参数。最后，第 11 章提出了在 3G 移动网络和数字广播网络组成的异构环境中开展多播业务的机制。

第 1 章介绍了蜂窝移动通信系统的基本概念和数字网络的基本原理，并简要描述了在数字网络和蜂窝移动网络如何实现多播业务。

第 2 章介绍了 IP 多播的基本原理。首先概述了 IP 多播业务模型和多播寻址技术，然后描述了多播地址分配和会话声明的机制；接下来详细描述了 IP 多播的组管理和路由技术。另外，本章还详细描述了为实现可靠多播所必需的协议和机制。最后，本章简单涉及了 IP 多播的拥塞控制和流管理机制，并简要介绍了在移动环境中开展多播业务的解决方案。

第 3 章介绍了 UMTS 和 CDMA2000 这两种主流 3G 网络的基础知识包括空中接口、无线接入网和核心网以及移动性和会话管理等相关流程。

第 4 章概述了 3G 网络中可通过多播实现的移动业务。本章以应用实例的形式描述了一些可由多播提供的业务，通过这些应用实例，我们可以总结系统为充分支持这些业务所必须做出的改进。另外，本章还讨论了影响多播业务能否被用户接受以及在市场上取得成功的因素。

第 5 章讨论了 3G 网络的多播容量。本章介绍了 UMTS 和 CDMA2000 网络为支

VI 第三代移动网络中的多播通信：服务、机制、性能

持多播业务 MBMS 和 BCMCS 的有效开展而做的网络扩展。概述了 MBMS 和 BCMCS 中对无线接入和核心网架构所做的修改。本章还概述了 UMTS 和 CDMA2000 网络中多播业务传送的不同阶段。

第 6 章详细介绍了 MBMS 标准。本章说明了有关 MBMS 承载服务管理的不同流程，并讨论了在承载路径上对多播分组进行路由的实际问题。另外，本章还描述了 MBMS 业务层及其机制。

第 7 章重点介绍了 BCMCS 标准。本章包含 BCMCS 网络层、承载服务架构及其管理机制。另外，本章描述了 BCMCS 服务层。

第 8 章分析了 CDMA 空中接口上的多播容量。在 CDMA 中，数据传输到组可以由多个点到点信道分别传输至每个多播用户，也可以由单个点到多点信道广播到整个小区。并深入研究了在 CDMA 空中接口上使用点到点和点到多点信道传输多播业务时的利弊。

第 9 章介绍了 UMTS 网络中几种不同的多播机制，并研究了它们各自的分组发送成本和位置更新成本。首先，介绍了一种在 UMTS 网络中建立多播路由的技术。然后，针对几种不同的多播机制，如 MBMS，推导了它们的分组发送成本和位置更新成本的表达式。最后，研究了所提出的多播路由机制的性能，计算得到了数值结果，并与 MBMS 和其他多播技术的性能进行了比较。

第 10 章研究了不同的多播可靠机制的性能。这些可靠机制将基于分组的 FEC 技术和 ARQ 技术结合了起来。针对无线链路控制层和应用层，推导了这些机制在信道效率、差错漏检率和时延方面的性能。

第 11 章介绍了几种适合移动多播业务的无线通信技术，如 DVB-H、MediaFlo、ISDB-T 和 T-DMB，分析了这些技术应用于移动多播业务中的动机与优势。另外，讨论了在由不同无线技术构成的异构网络环境中提供多播业务的挑战，并提出了一种在这种异构环境中实现协作多播业务传输的方法。最后对本书的主体部分进行总结。

第 11 章后面是两个附录。附录 A 推导了在 CDMA 空中接口上使用 PTP 或 PTM 信道时多播容量的闭式表达式。第 8 章分析了这些表达式的数值意义。附录 B 推导了 UMTS 中不同多播机制的数据发送和位置更新成本的表达式。第 6 章展示了这些成本表达式的数值意义。

在每章的开始都对本章的主题有一个简短的描述，并以总结或若干中间结论做结尾。本书的最后给出书中使用的缩略语和数学符号清单。至于首字母缩略语，当它们第一次在每章出现时会有详细解释。

作者简介

Robert Rümmler

Robert Rümmler 在 2000 年和 2005 年分别获得了伦敦大学国王学院电子工程专业的学士及博士学位。2001 ~ 2005 年，他在伦敦大学国王学院电信研究中心做助理研究员，并参与了欧洲关于可重构性领域的一些研究项目。目前他在埃森哲咨询公司（苏黎世，瑞士）担任顾问。他的研究兴趣在于 3G 网络下的多播、软件无线电和端到端的可重构性。Robert Rümmler 已经在国际学术会议和学术期刊上发表过多篇论文。此外，他还是 IEEE 会员。

Alexander Gluhak

Alexander Gluhak 目前是爱立信爱尔兰研究中心的研究员。他于 2002 年在德国奥芬堡应用技术大学获通信工程专业学士学位，并在 2006 年获得英国萨里大学的移动网络和信息系统博士学位。他的研究兴趣在于移动多播传送、异构网络架构和下一代网络的可扩展的上下文信息机制。他的研究成果已获得诸多奖项，如 2002 年获得德国电信奖（Deutsche Telekom Award），2005 年获得 JSPS 研究员奖及 2006 年获得 MobileVCE 科研奖。

A. Hamid Aghvami

A. Hamid Aghvami 在 1978 年和 1981 年分别获得伦敦大学国王学院的硕士和博士学位。1984 年他成为伦敦大学国王学院的教学人员。1989 年和 1993 年他分别被提升为电信工程系的高级讲师和教授。目前他任国王学院电信研究中心主任。A. Hamid Aghvami 教授为英国和国外企业的数字无线通信系统提供咨询。他已经发表了超过 480 篇学术论文，并在世界各地进行有关个人和移动无线通信方面的主题报告。1990 年他担任无线通信系统 NTT 实验室的客座教授，1998 ~ 1999 年担任 BT 实验室高级研究员。1996 ~ 2002 年担任美国无线设备有限公司执行顾问。此外，他还是无线多媒体通信公司的执行董事，这是他自己的咨询公司。

A. Hamid Aghvami 领导着一个活跃的研究团队，致力于许多未来系统的移动和个人通信项目，这些项目多由政府和企业支持。2001 ~ 2003 年他担任 IEEE 通信社区理事会成员。他是 IEEE 通信社区的杰出讲演者，历任许多国际会议组织的技术方案和组委会的成员、主席、副主席等。他还是个人室内和移动无线通信（PIM-RC）国际会议的创始人。他是英国皇家工程院、IET 以及 IEEE 的会员。

致 谢

在此感谢支持或为本书做出直接贡献的人们。特别对 Yun Won Chung 和 Imran Ashraf 做出的研究贡献深表感谢。

Robert Rümmler 要为他父母提供的全部支持表示感谢。言语无法表达足够的谢意。也要感谢他的兄弟 Richard 和叔叔 Wolfgang。Paul Pangalos 对于本书的写作有很大帮助，他建议 Alexander Gluhak 作为共同执笔者。Ben Allen 和 Maciej Nawrocki 在本书创作早期解答了很多的问题。感谢 Katharina、Uwe、Kieran 和 Thorsten 提供的鼓励和精神上的支持。

Alexander Gluhak 要感谢他的家人坚持不断的支持。他要感谢妻子 Monica，特别是她对于他花费在写作本书上的无数个周末的理解和诸多牺牲。特别要感谢 Paul Pangalos，他建立了与本书其他作者的联系，还要感谢 JP，在无趣和阴雨绵绵的周末，他的陪伴带来了令人耳目一新的变化。

在出版本书时，John Wiley & Sons 团队提供了优秀的支持。在此感谢 Sarah Hinton 在出版本书过程中做出的实际工作，感谢 Anna Smart 的封面设计，特别是文字编辑，感谢他为纠错做出的贡献，他的工作提升了本书的整体质量。

目 录

译者序

原书前言

作者简介

致谢

第1章 绪论	1
1.1 蜂窝移动通信系统	1
1.1.1 蜂窝概念	1
1.1.2 蜂窝系统中的传播问题	2
1.1.3 多址方案	3
1.1.4 1G 和 2G 系统	4
1.1.5 3G 系统	5
1.1.6 4G 系统	6
1.2 网络 and 协议	7
1.2.1 电路交换和分组交换网络	8
1.2.2 Internet 协议集	9
1.2.3 互联网络中的路由	10
1.3 多点通信	10
1.3.1 单播	11
1.3.2 广播	11
1.3.3 多播	11
1.4 IP 多播	12
1.4.1 多播组	12
1.4.2 多播路由	13
1.5 蜂窝移动网络多播	14
1.5.1 小区广播服务	14
1.5.2 IP 多播	15
1.5.3 UMTS 中的 MBMS	15
1.5.4 CDMA2000 中的 BCMCS	15
1.6 小结	16
第2章 IP 多播基础	17
2.1 简介	17
2.2 IP 多播服务模型	18
2.3 多播寻址和地址管理	19
2.3.1 IPv4 多播寻址	19

X 第三代移动网络中的多播通信：服务、机制、性能

2.3.2 IPv6 多播寻址	20
2.3.3 IP 多播地址和 MAC 地址之间的映射	20
2.3.4 多播地址的分配	21
2.4 多播会话声明	22
2.5 组管理	22
2.5.1 互联网组管理协议	23
2.5.2 多播收听发现	25
2.6 IP 多播路由选择	25
2.6.1 多播分发树	26
2.6.2 域内路由选择协议	26
2.6.3 域间路由协议	29
2.7 多播业务的可靠传输	30
2.7.1 可靠多播的早期策略	30
2.7.2 可靠多播的近期发展	31
2.7.3 异步分层编码协议	32
2.7.4 FLUTE 协议	34
2.8 多播流量和拥塞控制	35
2.9 移动和无线网络中的多播	36
2.9.1 双向隧道	37
2.9.2 远程订制	37
2.9.3 移动多播的扩展	38
2.9.4 基于代理的多播	38
2.10 小结	39
第3章 第三代移动网络概况	41
3.1 简介	41
3.2 UMTS 中的无线接入和网络操作	41
3.2.1 空中接口	41
3.2.2 无线接入网	44
3.2.3 核心网	51
3.3 CDMA2000 的无线接入和网络操作	54
3.3.1 空中接口	55
3.3.2 无线接入网	55
3.3.3 核心网	59
3.4 小结	60
第4章 第三代移动网络中的多播服务	61
4.1 简介	61
4.2 多播技术的推动力	62
4.2.1 收入增长	62
4.2.2 差异化	63
4.2.3 服务的传输成本	64
4.3 多播服务	64

4.3.1 移动电视	64
4.3.2 多媒体内容传输	66
4.3.3 普通内容传输	67
4.3.4 增强型传输服务	68
4.3.5 对等通信	69
4.3.6 设备对设备的通信	70
4.4 用户需求与技术接受	71
4.4.1 需求分析	71
4.4.2 技术采纳周期	73
4.4.3 移动服务的用户认可度	74
4.5 小结	76
第5章 第三代移动网络中的多播扩展	78
5.1 简介	78
5.2 UMTS 中的 MBMS	78
5.2.1 MBMS 结构概况	79
5.2.2 核心网扩展	79
5.2.3 无线接入网络扩展	81
5.2.4 多播服务的提供阶段	84
5.2.5 广播服务的提供阶段	86
5.3 CDMA2000 中的 BCMCS	89
5.3.1 BCMCS 结构概况	89
5.3.2 核心网的扩展	90
5.3.3 无线接入网络的扩展	91
5.3.4 服务提供阶段	93
5.4 小结	96
第6章 MBMS 的协议和机制	97
6.1 简介	97
6.2 MBMS 承载服务基本原理	98
6.2.1 MBMS 承载服务架构	98
6.2.2 MBMS 承载上下文	101
6.2.3 MBMS UE 上下文	102
6.3 MBMS 承载服务管理	103
6.3.1 MBMS 激活与去激活	103
6.3.2 MBMS 注册和注销	107
6.3.3 MBMS 会话控制	110
6.3.4 MBMS 服务请求	113
6.4 MBMS 承载路径上的路由选择	114
6.5 MBMS 用户服务	116
6.5.1 MBMS 数据流传输方式	118
6.5.2 MBMS 下载传输方式	119
6.5.3 MBMS 用户服务声明和发现	120

XII 第三代移动网络中的多播通信：服务、机制、性能

6.5.4 文件修复流程	120
6.5.5 接收报告流程	121
6.5.6 MBMS 安全性	121
6.6 小结	123
第7章 BCMCS 的协议和机制	125
7.1 简介	125
7.2 BCMCS 承载路径结构	126
7.3 BCMCS 承载服务管理	127
7.3.1 BCMCS 注册和 RAN 会话发现	127
7.3.2 BCMCS 会话信息更新	129
7.3.3 BCMCS 承载建立	130
7.3.4 BCMCS 承载释放	131
7.4 BCMCS 服务层	133
7.4.1 BCMCS 信息采集	134
7.4.2 BCMCS 数据流管理	135
7.4.3 BCMCS 安全性	137
7.5 小结	138
第8章 CDMA 空中接口的多播容量	139
8.1 简介	139
8.2 多播中的 PTP 和 PTM 信道	139
8.2.1 功率控制	140
8.2.2 软切换与硬切换	140
8.3 系统模型	141
8.3.1 传播模型	141
8.3.2 干扰模型	142
8.4 多播容量分析	143
8.4.1 PTP 信道的多播容量	144
8.4.2 PTM 信道的多播容量	145
8.5 数值结果	146
8.5.1 比较分析	147
8.5.2 敏感性分析	149
8.6 小结	152
第9章 多播路由成本分析	154
9.1 简介	154
9.2 UMTS 中的动态多播	154
9.2.1 多播表	156
9.2.2 组管理	158
9.2.3 多播移动性管理	159
9.2.4 多播分组转发	160
9.3 成本分析	161

9.3.1 成本分析参数	161
9.3.2 多播用户分布模型	163
9.3.3 用户移动性模型	163
9.3.4 分组业务模型	164
9.4 数值结果	165
9.4.1 数据分组传输成本	166
9.4.2 位置更新成本	169
9.5 小结	170
第 10 章 基于校验的可靠多播	171
10.1 简介	171
10.2 可靠多播的丢失恢复	171
10.2.1 基于校验的丢分组恢复机制	172
10.2.2 MBMS 的可靠多播	174
10.3 性能评估方法	174
10.3.1 性能指标	175
10.3.2 仿真方法	176
10.3.3 数据分组误差建模	177
10.4 空中接口上的可靠多播	178
10.4.1 PTP 信道的多播	178
10.4.2 PTM 信道的多播	180
10.5 端到端可靠多播	185
10.6 小结	187
第 11 章 异构网络中的移动多播	188
11.1 简介	188
11.2 移动多播的可选技术	188
11.2.1 DVB-H	188
11.2.2 MediaFLO	191
11.2.3 其他标准	192
11.3 网络的互通和融合	193
11.4 异构网络中多播传输的挑战	195
11.5 异构网络中的多播传输协作	196
11.5.1 资源管理	196
11.5.2 组管理支持	197
11.5.3 服务实例	199
11.6 小结	201
附录	202
附录 A 下行链路容量推导	202
A.1 小区间干扰与接收功率的比率	202
A.2 平均下行链路功率因子的推导	204
A.3 PTP 信道方案的多播容量	205

XIV 第三代移动网络中的多播通信：服务、机制、性能

A. 4	PTM 信道方案的多播容量	206
附录 B	多播路由成本推导	207
B. 1	状态概率	207
B. 2	成本变量	208
B. 3	包发送成本	208
B. 4	位置更新成本	210
缩略语		213
参考文献		223

第 1 章 绪 论

本书重点介绍多播在 3G（Third-Generation，指第三代移动通信系统）网络中的应用。多播是将数据同时传送到目标终端组的有效手段。在多播中，信息在网络中的每个链路上只传输一次，仅在链路产生分支即达到不同目的终端时创建信息的副本。

本章我们首先简要介绍蜂窝移动通信系统，特别是关于不同代移动通信系统的区别，即从 1G（First-Generation，第一代）模拟系统到目前正在发展中的 4G（Forth-Generation，第四代）系统。然后，我们介绍了数据网络中关于多播的几个基本问题，并对如何在数据网络中实现多播进行了讲述。最后，介绍了 IP（Internet Protocol，互联网协议）多播的基本知识，IP 多播是互联网中多播业务的标准。第 2 章给出了 IP 多播的详细介绍。最后，我们介绍了 3G 网络中开展多播业务的一些现有机制，在后面的章节中会详细描述这些多播机制。

1.1 蜂窝移动通信系统

相对来说，移动通信行业是一个比较年轻的行业。这个行业的基本技术在于使用无线电波来传输数据和连接用户。无线电通信通过对频率低于可见光的电磁波进行调制来传输信号。电磁辐射以电磁场振荡的方式穿过空气或真空空间。信息的承载是通过系统改变或调制辐射波的一些特性实现的，如振幅、频率或相位。当无线电波通过电导体时，电磁场在导体内引发交变电流，该交变电流可以被检测并转变成声音或携带信息的其他信号。

利用无线电波进行通信的概念可以追溯到 19 世纪后半叶，德国科学家赫兹在 1888 年通过实验第一次证实电磁波能在空气中传播并具有与光类似的特性。在他之前，英国的麦克斯韦早在 1864 年就预言了这一点。麦克斯韦的电磁场理论指出电磁波是存在的，并提出了关于电磁的 4 个基本数学公式，即麦克斯韦公式。

尼古拉·泰斯拉在 1893 年首先证明了无线通信的可行性，并且他在美国获得了无线电的发明专利。马可尼在船上装备救生无线通信设备，并于 1907 年建立了美国第一个商用无线电通信服务。现在，很多领域使用无线电，其中包括所有类型的无线和移动通信，以及无线广播。

1.1.1 蜂窝概念

早期移动通信系统的设计目标是通过使用一个大功率的发射机和安装在高塔上

的天线，来实现大范围覆盖并在单一频段传输。虽然这种方法取得了非常好的覆盖效果，但也意味着这个系统中不可能重复使用相同的频率，因为任何实现频率复用的尝试都将导致干扰。

蜂窝概念在解决频谱拥塞和用户容量问题方面是一个重大突破。它可以在有限频谱下提供很大的容量，并且不需要任何重大的技术变革。蜂窝概念是一个系统级的想法，它要求用许多小功率发射机代替单一的大功率发射机，每一个发射机仅提供服务区域的小范围覆盖，称为一个小区。分配整个系统可用信道总数的一部分给每个基站，且对相邻基站分配不同信道组，因此所有可用信道被分配给少量的相邻基站。

移动收发设备（也称为移动电话、移动台、移动终端、手机或设备）可以与任意数量的基站交换无线信号。移动电话不依附于一个特定基站，可以利用相应网络运营商提供的任何一个基站。用户可以在全体基站的覆盖范围内任意漫游，并进行不间断的电话呼叫。在小区边界更换基站的流程称为切换。

从 MS（Mobile Station，移动台）到 BS（Base Station，基站）的通信发生在上行信道（或称反向链路），而从 BS 到 MS 则在下行信道（或称前向链路）。为了在移动终端和基站之间维持一个双向链路，在上行和下行两个方向都必须分配相应的传输资源。这可以通过 FDD（Frequency Division Duplex，频分双工，上行和下行信道占用不同频率）或 TDD（Time Division Duplex，时分双工，上行和下行传输发生在相同频率，不同时刻）实现。

FDD 在对称业务情况时是有效的。并且，FDD 更容易进行无线规划且更高效，因为基站在不同子频带发送和接收，彼此不会干扰。TDD 在不对称的上行和下行数据传输速率可变时具有很大的优势。随着上行数据量的增加或减少进行带宽动态分配。TDD 的另一个优势是上行和下行无线链路的特性在低速系统中很可能非常相似。

1.1.2 蜂窝系统中的传播问题

蜂窝系统的设计由于无线信道的不利传播条件而特别具有挑战性。3 个主要传播问题为路径损耗、慢衰落（或称阴影衰落）以及快衰落（或称多径衰落）。

路径损耗是指由于发送端和接收端之间的距离导致的平均信号衰落，包括自由空间衰落以及蜂窝通信中的其他因素导致的与环境相关的路径损耗现象。阴影或慢衰落描述了慢信号波动，通常由高大建筑阻碍传播路径导致。快衰落或多径衰落由于信号在发送端和接收端之间经过多径传播引发，在接收端由于信号相位的原因，叠加的结果或者使有效信号增强，或者使有效信号减弱。不同路径传播的信号，如果其叠加结果使有效接收信号电平接近于零，这种情况就叫深度衰落。深度衰落大约在每个半波长距离上发生一次（Steele and Hanzo, 1999）。在波长小于 30cm 的