



LTE

无线网络覆盖优化与 增强实践指南

李军 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



LTE 无线网络覆盖优化 与增强实践指南

李 军 编著



机械工业出版社

覆盖是移动通信业务开展的基础,不断增强覆盖是网络建设的生命工程。本书系统全面地介绍了 LTE 无线网络覆盖基础、多天线、规划优化、深度覆盖、广度覆盖、重叠覆盖、VoLTE 高清语音覆盖、质量评估和覆盖增强新技术演进等经验和成果,力求通过具体的方案指导 LTE 网络覆盖规划和优化工作。本书内容紧扣实际,深入浅出,适合从事无线网络规划优化工作的工程师、通信及电子工程专业的大学生及有关工程技术人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

LTE 无线网络覆盖优化与增强实践指南/李军编著. —北京:机械工业出版社, 2017.9

ISBN 978-7-111-57817-8

I. ①L… II. ①李… III. ①无线电通信—移动网—指南
IV. ①TN929.5—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 206622 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:朱 林

责任校对:杜雨霏 封面设计:路恩中

责任印制:孙 炜

北京中兴印刷有限公司印刷

2017 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.5 印张·4 插页·328 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-57817-8

定价:49.90 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

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前言

移动通信是信息通信领域发展最快的分支之一，已经完全渗透到人们生产生活的方方面面。移动通信技术从诞生到现在，共历经四代发展。每代移动通信系统的出现和发展均由用户业务需求驱动，而且与技术上的突破密切相关。从大区制发展到蜂窝小区制，从模拟到数字，从 FDMA、TDMA 到 CDMA、OFDMA 方式，从多级分层网络到全 IP 扁平化结构，从提供语音、短信到提供移动超宽带、高清音频视频业务。通过技术的不断演进和创新，提升覆盖和容量支撑能力，实现多业务、多技术深度融合，满足未来信息社会不断发展的需求。

覆盖是移动网络业务开展的基础。由于 LTE 采用革命性的关键技术——OFDM 和 MIMO，覆盖和容量空前提升，为用户提供了前所未有的业务感知和体验，促进了信息通信产业的迅猛发展。网络覆盖增强是 LTE 网络建设面临的主要挑战之一。开展广度覆盖是开展普遍服务的前提，深度覆盖的优劣则直接影响良好用户感知，厚度覆盖是网络业务支撑能力的重要体现。在网络建设过程中，如何围绕“广、深、厚”覆盖短板与痛点，对症下药，探索针对性的优化解决方案，则是运营企业自始至终坚持的生命工程。

全书共分 10 章，从整体上系统介绍 LTE 覆盖质量提升技术方案，涵盖 LTE 覆盖基础，多天线、覆盖规划、传统室分覆盖、新型室内覆盖、广覆盖增强、重叠覆盖改善、覆盖质量评估、VoLTE 高清语音覆盖规划和未来 4G+/5G 网络覆盖新技术演进等内容。另外，为了便于读者加深理解，书中专门用彩色插页的形式，提供了图 5-8、图 5-13、图 6-3、图 7-15、图 7-18、图 9-9、图 9-10、图 9-15、图 9-25、图 9-33、图 9-37、图 9-38、图 9-39、图 9-40 和图 10-7 的彩色效果。

书中的内容和素材除了引用的参考文献外，还紧密结合当前 LTE 网络覆盖建设面临的挑战和主流创新解决方案，根据作者和项目团队多年来从事移动通信网络规划、优化和新技术研究成果积累而成。感谢河南移动公司网优中心的专家们对本书的编著给予了大力的支持，另外作者还特别感谢北京邮电大学的李颀博士、郭达博士和东方通信公司技术专家张磊、诺基亚西门子通信公司技术专家邢孟辉对本书内容提出了许多富有建设性的意见。

本书立足于实用性的原则，兼顾理论技术研究，融入作者多年来从事移动通信网络规划优化工作的理解和体会，对一线工作的规划优化工程师将有所裨益。受限于时间和水平，书中难免存在错误和瑕疵，希望读者不吝批评指正。

李 军
于河南郑州

目 录

前 言

第 1 章 LTE 覆盖基础	1
★ 1.1 移动通信系统的发展	1
★ 1.2 LTE 网络技术	2
1.2.1 LTE 概述	2
1.2.2 需求设计	2
1.2.3 系统架构	3
1.2.4 LTE 关键技术	4
★ 1.3 LTE 无线电波传播	7
1.3.1 LTE 无线覆盖特征	7
1.3.2 影响 LTE 覆盖的主要因素	11
1.3.3 LTE 无线频率划分	11
★ 1.4 LTE 覆盖面临的技术挑战	12
★ 1.5 本章小结	13
参考文献	13

第 2 章 LTE 多天线覆盖技术

★ 2.1 MIMO 技术原理与传输模式	14
2.1.1 MIMO 技术原理	14
2.1.2 MIMO 极限容量	15
2.1.3 传输模式	16
★ 2.2 波束赋形	17
2.2.1 技术原理	17
2.2.2 单流波束赋形	18
2.2.3 双流波束赋形	18
★ 2.3 2/8 天线对比	20
2.3.1 2/8 天线技术支持能力对比	20
2.3.2 2/8 天线性能分析	20
2.3.3 组网方式	22
2.3.4 多天线应用场景	22
★ 2.4 扇区软劈裂技术	22
2.4.1 技术原理	22

2.4.2 技术优势	23
2.4.3 应用案例	24
★ 2.5 智能天线权值最优化	26
2.5.1 传统智能天线权值优化方法	27
2.5.2 智能天线广播信道波束赋形权值 自动优化方法	28
★ 2.6 上行多用户 MIMO 技术	32
2.6.1 原理概述	32
2.6.2 技术优势	33
2.6.3 外场测试分析	34
★ 2.7 本章小结	35
参考文献	35

第 3 章 LTE 无线网络覆盖规划

★ 3.1 覆盖规划流程	36
3.1.1 规划目标	36
3.1.2 规划原则	36
3.1.3 规划流程	37
3.1.4 规划标准	38
3.1.5 规划指标	38
★ 3.2 覆盖建设方案	39
3.2.1 站址规划	39
3.2.2 室内深度覆盖方案	39
★ 3.3 LTE 覆盖估算	40
3.3.1 LTE 无线网络覆盖规划特点	40
3.3.2 覆盖规划影响因素	41
3.3.3 覆盖估算	41
★ 3.4 异频段覆盖组网	43
3.4.1 F/D 组网频段对比	43
3.4.2 F/D 组网分析	44
3.4.3 F/D 双层网演进策略	45
★ 3.5 LTE 无线网络覆盖规划仿真	46
3.5.1 现有仿真方案	46



3.5.2 半动态仿真方法	47
3.5.3 LTE 覆盖预测	49
★ 3.6 LTE 基站站址智能规划	51
3.6.1 背景	51
3.6.2 现有基站站址的规划方法	51
3.6.3 智能规划基站站址的方法	51
3.6.4 技术优势	54
★ 3.7 本章小结	54
参考文献	54

第 4 章 LTE 传统室分系统覆盖

方案	55
★ 4.1 传统室分系统架构	55
★ 4.2 LTE 室分系统覆盖设计	59
4.2.1 室内分布系统覆盖方式	59
4.2.2 覆盖方案设计	60
4.2.3 典型设计方案	62
★ 4.3 室分系统建设方案	65
4.3.1 LTE 室分系统建设问题与难点	65
4.3.2 LTE 室内覆盖建设解决方案	66
4.3.3 LTE 室分双通道不平衡问题的 解决方案	66
4.3.4 室分系统中天线的选择方案	68
4.3.5 LTE 室分系统的改造与优化	69
★ 4.4 LTE 宏微室分系统协同覆盖	72
4.4.1 多网协同, 合理选择规划方案	72
4.4.2 宏微结合, 优选室外辐射室内 建设方式	72
4.4.3 合理规划室内信源和分布系统	73
4.4.4 典型案例	73
★ 4.5 本章小结	76
参考文献	76

第 5 章 LTE 新型室内覆盖增强

技术	77
★ 5.1 背景	77
★ 5.2 新型小基站分类	77
★ 5.3 新型室分覆盖技术	78
5.3.1 满格宝	78
5.3.2 一体化皮基站	80
5.3.3 微基站或一体化微 RRU	81
5.3.4 飞基站	82
★ 5.4 分场景使用建议	83
5.4.1 宾馆酒店	83

5.4.2 商场超市	85
5.4.3 大型场馆	87
5.4.4 高档写字楼和办公楼	90
5.4.5 交通枢纽	92
5.4.6 居民住宅	94
5.4.7 热点区域底商	95
★ 5.5 本章小结	96
参考文献	97

第 6 章 LTE 广覆盖增强技术

★ 6.1 背景	98
★ 6.2 LTE 广覆盖能力分析	98
★ 6.3 LTE 广覆盖增强技术手段	99
6.3.1 增强基站发射功率	99
6.3.2 16T16R 解决方案	102
6.3.3 高增益天线	105
6.3.4 高增益 CPE	108
★ 6.4 本章小结	110
参考文献	111

第 7 章 LTE 重叠覆盖优化

★ 7.1 背景	112
★ 7.2 重叠覆盖对 LTE 网络性能的影响	112
★ 7.3 定位重叠覆盖的方法	113
7.3.1 传统定位 LTE 重叠覆盖 区域的方法	113
7.3.2 重叠覆盖定位新方法	114
★ 7.4 重叠覆盖解决方法	119
7.4.1 网络结构优化	119
7.4.2 异频点插花	120
7.4.3 小区间干扰协调方法	121
7.4.4 小区合并的重叠覆盖解决方法	125
★ 7.5 本章小结	130
参考文献	130

第 8 章 VoLTE 高清语音深度

覆盖规划	131
★ 8.1 LTE 语音解决方案	131
★ 8.2 VoLTE 系统架构	132
8.2.1 VoLTE 语音业务特征	133
8.2.2 VoLTE 语音业务类型	133
8.2.3 VoLTE 语音业务承载与 QoS 管理	134
★ 8.3 VoLTE 无线关键技术	134

8.3.1	半静态调度	134
8.3.2	头压缩	135
8.3.3	TTI Bundling	136
8.3.4	RLC 分片	136
8.3.5	HARQ 重传	136
★ 8.4	VoLTE 语音业务质量评估	137
8.4.1	MOS 值的评估方法	137
8.4.2	MOS 值的影响因素	138
8.4.3	MOS 值的评估标准	138
★ 8.5	VoLTE 覆盖规划理论分析	139
8.5.1	覆盖影响因素	139
8.5.2	覆盖规划指标分析	139
8.5.3	理论计算	140
★ 8.6	VoLTE 覆盖规划测试验证	140
8.6.1	测试要求	140
8.6.2	场景要求	140
8.6.3	参数要求	141
8.6.4	测试点选择	141
8.6.5	测试分析	142
★ 8.7	VoLTE 覆盖规划指导原则	155
★ 8.8	本章小结	156
	参考文献	156

第 9 章 LTE 覆盖评估手段和方法 ... 157

★ 9.1	基于 MR 的深度覆盖评估	157
9.1.1	深度覆盖评估新模式探索	157
9.1.2	深度覆盖评估总体思路	157
9.1.3	基于 MR 深度覆盖评估的 关键算法	159
9.1.4	系统验证	161
★ 9.2	LTE 室内立体深度覆盖评估	163
9.2.1	背景	163
9.2.2	平台架构	163
9.2.3	核心算法	164
9.2.4	应用案例	165
★ 9.3	基于 MR 的多运营商覆盖评估	169
9.3.1	背景	169
9.3.2	技术原理	169
9.3.3	试点效果验证	170
★ 9.4	VoLTE 语音质量在线实时评估	172
9.4.1	背景	172
9.4.2	现有 VoLTE 语音质量评估 方案	172

9.4.3	基于 VQI 的 VoLTE 语音质量 评估方案	173
9.4.4	VoLTE 语音质量在线评估 系统开发与验证	175
9.4.5	系统功能	176
9.4.6	系统功能验证	178
9.4.7	应用案例	178
★ 9.5	本章小结	180
	参考文献	180

第 10 章 LTE 覆盖新技术演进 ... 181

★ 10.1	载波聚合	181
10.1.1	原理介绍	181
10.1.2	技术优势	182
10.1.3	载波聚合技术演进	183
10.1.4	载波聚合技术挑战	183
10.1.5	测试分析	184
★ 10.2	LTE - Hi 室内热点组网技术	186
10.2.1	背景	186
10.2.2	关键技术	186
10.2.3	应用前景	189
★ 10.3	3D MIMO 技术	189
10.3.1	原理介绍	190
10.3.2	技术优势	191
10.3.3	外场测试分析	192
10.3.4	小结	196
★ 10.4	GSM Refarming 宽带化演进	196
10.4.1	背景	196
10.4.2	GSM1800 Refarming 关键技术 ...	197
10.4.3	组网改造方案	198
10.4.4	外场技术试验	199
10.4.5	小结	201
★ 10.5	5G 网络演进	201
10.5.1	5G 愿景	201
10.5.2	5G 发展的驱动力	202
10.5.3	5G 关键能力	204
10.5.4	技术场景	206
10.5.5	网络演进方向	207
10.5.6	技术创新	207
10.5.7	5G 标准化里程	209
10.5.8	小结	210
★ 10.6	本章小结	210
	参考文献	210

第1章

LTE覆盖基础

1.1 移动通信系统的发展

移动通信是 20 世纪末促进人类社会飞速发展的最重要的技术，它给人们的生活方式、工作方式带来巨大的影响。由于技术变革和人们对移动通信业务需求的共同驱动，到目前为止，移动通信经历了四代发展历程，每一代的发展都伴随着技术的突破和设计理念的创新。移动通信的发展趋势如图 1-1 所示，在短短几十年内，移动通信从最初的模拟技术，发展到第二数字技术、第三代多媒体系统和第四代全 IP 宽带系统，目前正在朝着“万物互联”的第五代移动通信系统演进。

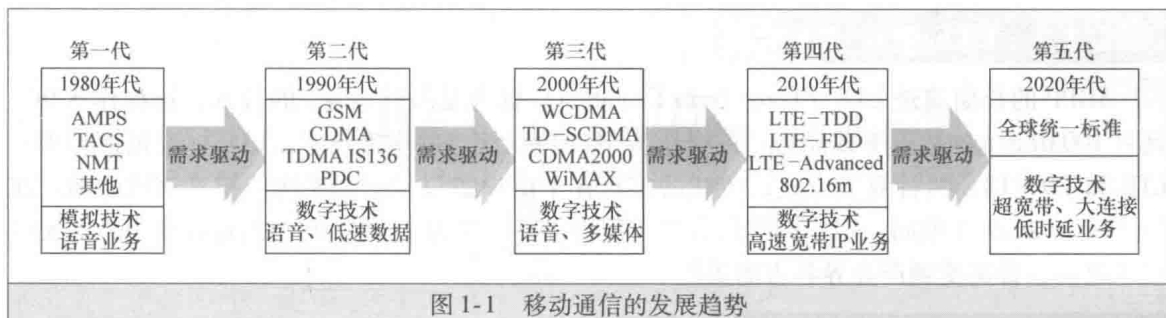
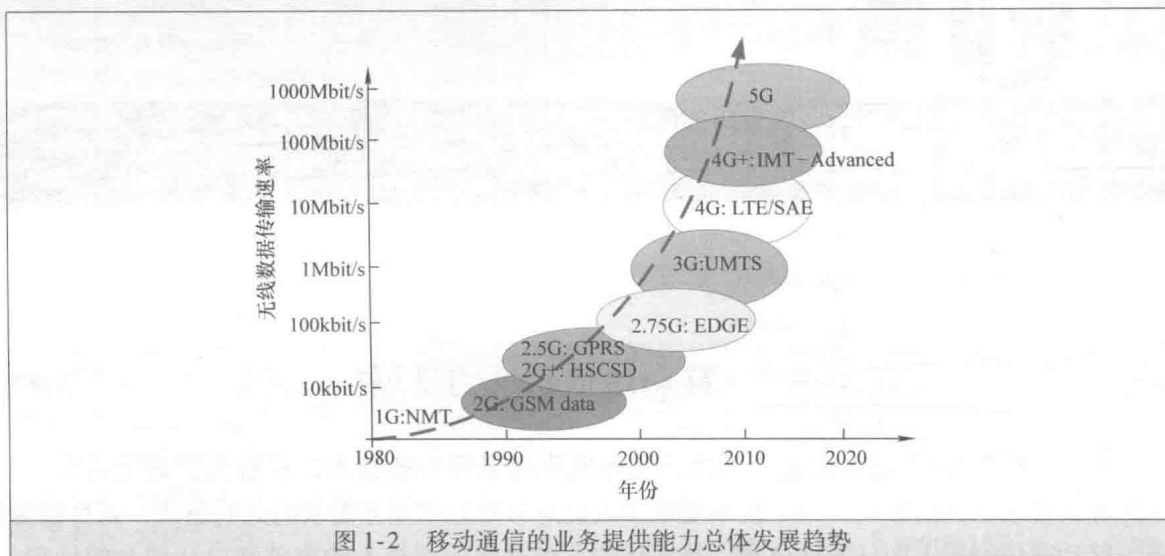


图 1-1 移动通信的发展趋势

移动通信宽带化满足了人们不断提高的通信业务需求。为了提高移动通信系统的数据传输速率，国际标准化组织 3GPP、3GPP2 和 IEEE 从未停止对新一代移动通信系统演进的研究。第四代移动通信系统（4G）以 LTE、LTE - Advanced 和 IEEE802.16m 为主流技术标准，采用全 IP 扁平化网络架构，遴选采用 OFDM、MIMO、64QAM 等先进物理层技术，大幅度提高空口带宽和频谱效率，为用户提供精彩纷呈的宽带流媒体业务。目前，移动通信正朝着更高带宽、更强连接、更高性能方向发展。

移动通信系统的业务提供能力的总体发展趋势如图 1-2 所示。可以看出，在移动通信发展的不同阶段，具备不同的网络能力，支撑不同的业务种类。随着人们对通信业务需求与日俱增，目前移动通信系统提供的传统服务和容量已经不能满足未来用户对业务多样化的需求。同时，伴随着无线移动通信系统带宽和能力的逐步提升，以及面向个人和行业的移动互联网和移动物联网应用的快速发展，共同驱动着信息通信生态系统发生重要的变化。无线移动通信技术与计算机及信息技术会更加紧密和更深层次地交叉融合，集成电路、器件工

艺、软件技术等也将持续快速发展,支撑未来移动宽带产业发展。移动通信系统宽带化以及向下一代移动通信系统增强演进成为必然的发展方向,演进方式和关键技术的选择成为业界普遍关注和研究的焦点。



1.2 LTE 网络技术

1.2.1 LTE 概述 ★★★

3GPP 的长期演进 LTE (Long Term Evolution) 标准是最接近 4G 的技术,被称作 3.9G,具有 100Mbit/s 的数据下载能力,被视作从 3G 向 4G 演进的主流技术。LTE 标准包括 FDD-LTE 和 TD-LTE 两种双工方式,关注的焦点在于空中接口和组网架构的技术演进问题。在 2008 年到 2009 年期间,LTE 标准化取得了重要进展,成为了未来 10 年内富有竞争力的无线技术之一,普遍受到产业界各方的关注。

1.2.2 需求设计 ★★★

LTE 系统设计定位于面向分组网络的高数据传输速率、低延迟的无线接入技术。总体设计目标包括更低的每比特成本,更强的业务提供能力、灵活的频谱规划方案、扁平化网络架构和开放规范化接口。具体设计需求目标包括:

- 1) 峰值速率:在 20MHz 系统带宽内提供下行 100Mbit/s、上行 50Mbit/s 的峰值速率。
- 2) 频谱效率:下行频谱效率达到 HSDPA 的 3~4 倍,上行频谱效率达到 HSUPA 的 2~3 倍。
- 3) 移动性:在低速移动场景下实现网络性能优化,在中高速移动场景下保持较高的系统性能,在超高速移动场景下能保持终端与蜂窝网络的连接。
- 4) 覆盖范围:在覆盖半径小于 5km 的场景下保持优良的网络性能,在覆盖半径小于 30km 的场景下部分网络性能指标可有所下降,系统最大支持 100km 的覆盖半径。
- 5) 频谱:支持成对或非成对频谱,并可灵活配置 1.4~20MHz 多种带宽。



6) 系统延迟: 降低系统延迟, 用户平面内部单向传输时延低于 5ms, 控制平面从睡眠状态到激活状态迁移时间低于 50ms, 从驻留状态到激活状态的迁移时间小于 100ms。

7) 互操作: 支持与其他 3GPP 和非 3GPP 系统的互操作。

8) 成本控制: 尽可能降低系统复杂度和建设运营成本。

9) 小区边缘: 改善小区边缘用户的性能, 提高小区容量。

1.2.3 系统架构 ★★★

LTE 网络结构如图 1-3 所示, LTE 采用扁平化网络结构, 主要为了减少网络处理节点从而减少相关处理时延。LTE 网络架构由 eNB、移动性管理实体 (Mobility Management Entity, MME) 和用户平面实体 (User Plane Entity, UPE) 组成。UPE 由服务网关/分组数据网关 (SGW/PGW) 组成。原来无线网络控制器 (Radio Network Controller, RNC) 的功能被分散到相应的实体网元中, 大部分连接管理和资源管理等功能被 eNB 所承担。原来 2G/3G 核心网 GGSN 和 SGSN 的功能则由 MME 和 SGW/PGW 完成。LTE 网络架构中各网元的主要功能如表 1-1 所示。

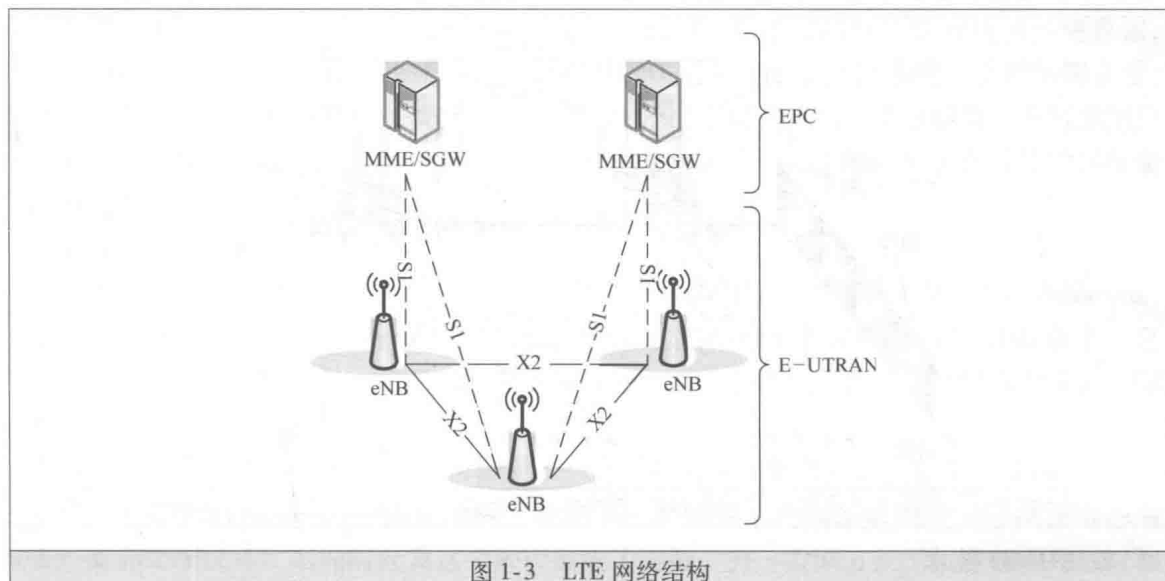


图 1-3 LTE 网络结构

表 1-1 网元功能描述

序号	网元	主要功能
1	eNB	作为接入网中的核心网元, 实现功能包括无线资源管理, 用户数据 IP 包头压缩和加密; 选择 MMW, 采用 S1 - MME 接口和 MME 通信来实现移动性管理、寻呼用户、传递非接入层 (Non - Access Stratum, NAS) 信令和选择 SGW/PGW 等; 用 S1 - UPE 接口和 SGW 通信来传递用户数据
2	MME	接入子层 (AS) 安全控制, NAS 信令和其安全; 对空闲模式终端的寻呼; 选择 SGW/PGW, 跨 MME 切换时选择目标 MME; 和 3GPP 网络互通和切换时实现核心网网元间信令和 3GPP 网络侧 SGSN 的选择
3	SGW	分组路由和前转。用户面交换以支持终端的移动性; eNB 间切换时充当本地移动性锚点; 与 3GPP 网络互通时充当移动性锚点; 上下行分组计费。PGW 的主要功能包括分配 IP 地址、基于用户的分组过滤和合法监听等

1.2.4 LTE 关键技术 ★★★

为了满足 LTE 系统的设计需求, LTE 系统采用 OFDM 和 MIMO 等多种关键技术。从 3GPP LTE 的标准化进程来看, 初衷为 3G 移动通信系统的演进, 由于与其他技术的竞争、业务需求和运营商的压力, 标准化的进程实质演变为一场技术革命。

1. OFDM 技术

OFDM 是一种基于正交多载波的频分复用技术。OFDM 技术原理如图 1-4 所示, 基本概念是将高速串行数据流经过串/并变换后, 分割成若干低速并行数据流, 每路并行数据流采用独立载波调制并叠加发送。与传统 FDMA 方式相比, OFDMA 各子载波间通过正交复用方式避免干扰, 有效减少了载波间保护间隔, 提高了频谱效率。LTE 下行采用 OFDM、上行采用单载波-频分多址 (SC-FDMA), 同一小区中用户信号之间保持正交性。上行 SC-FDMA 可以看成是对用户信号的频域分量进行正交频分多址, 相比于普通的 OFDMA, 优势在于峰均值较低, 可以简化终端上的功放资源。在任一时刻, 同一用户所占子载波在上行永远是连续的, 以简化终端设计实现; 而在下行则可以交错, 以增加频域分集增益。

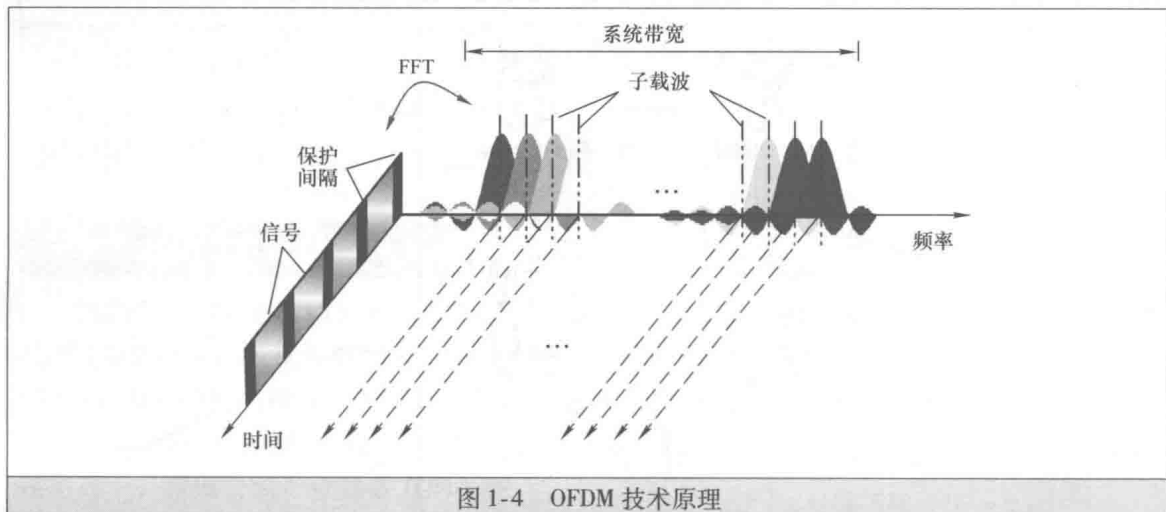


图 1-4 OFDM 技术原理

2. MIMO 技术

MIMO 技术最早是由马克尼在 1908 年提出的, 利用多天线来抑制信道衰落的技术。LTE 系统是迄今为止最全面地采用了 MIMO 技术的无线通信系统。MIMO 技术原理如图 1-5 所示, LTE 系统采用的 MIMO 技术包括空分复用、发送分集和多用户 MIMO。不同的 MIMO 技术适用于不同的应用场景, 系统依据容量最大化原则实现多种 MIMO 技术和模式之间的切换。

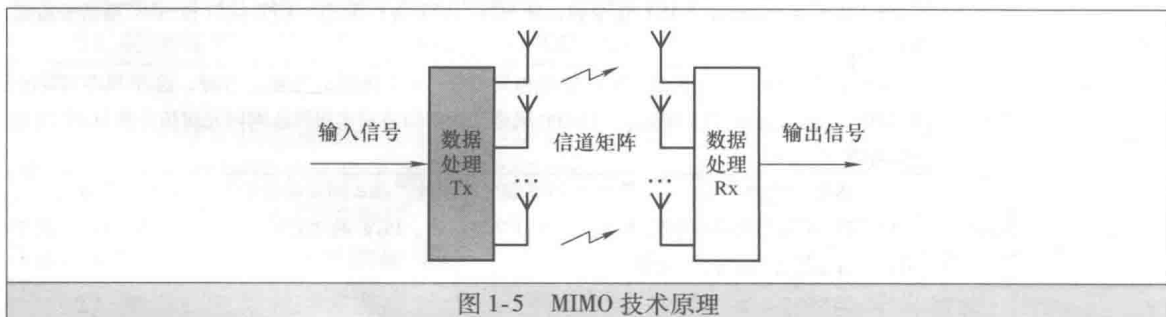


图 1-5 MIMO 技术原理



(1) 空分复用技术

空分复用是利用空间信道的弱相关性,在相同的时频资源上传输多个独立数据流,进而提高数据传输速率和系统吞吐量。在LTE系统中,空分复用包括闭环空分复用和开环空分复用。闭环空分复用采用基于码本的预编码技术,主要应用于低速移动场景;开环空分复用采用循环延迟分集和基于码本的预编码相结合的技术,可以有效弥补高速移动场景下信道估计不准确带来的系统性能下降,主要应用于中高速移动场景。

(2) 发送分集

通过在多根天线上重复发送一个数据流的不同版本,获得分集增益,用来改善小区覆盖,适用于间距较大、关联性较弱的天线阵。

(3) 波束赋形

通过在多个天线阵元的波干涉,在指定的方向能量集中,获得赋形增益,用来改善小区覆盖,适用于小间距的天线阵。波束赋形主要针对TDD-LTE系统,是3G智能天线技术的扩展。

(4) 多用户MIMO

多用户MIMO是将两个用户或者多个用户进行配对,在相同的时频资源块里传输数据,进而提高系统吞吐量。在LTE系统中,多用户MIMO主要应用于上行系统。从网络侧来看,不同用户发送的多个数据流可以被看作来自统一用户的不同天线的多个数据流。上行多用户MIMO可以作为在终端不作改动的情况下获得多用户分集增益、提高LTE上行系统的吞吐量和峰值速率的有效手段之一。

3. TDD和FDD技术融合

在3GPP LTE技术标准中存在两个分支:频分双工(Frequency Division Duplexing, FDD)和时分双工(Time Division Duplexing, TDD)。TD-LTE技术即技术的TDD版本,是指TD-SCDMA的长期演进,既充分体现了我国自主知识产权,又兼顾了与国际主流的LTE FDD的协同发展。

TD-LTE与LTE-FDD的融合均衡发展一直是业内关注的热点。LTE TDD/FDD在底层协议中90%的内容保持一致,实现了物理层向上的最大融合和技术共用。一方面使得网络设备厂家和终端设备厂家同时开发这两种产品成为可能,另一方面方便了运营商使用成对和非配对频率资源部署运营双模网络。目前,各厂商均称支持两者共平台产品设计,在软件版本实现基本同步,降低研发成本,有利于产业链健康发展。

LTE TDD/FDD技术对比如表1-2所示,LTE-FDD和LTE-TDD之间的差异被最小化,主要体现在双工方式和部分子帧设计上。LTE-FDD和LTE-TDD的帧结构相同,一个无线帧(10ms)由10个子帧(1ms)组成,当使用相同长度的循环前缀(CP)时,每个子帧中的OFDM符号数也相同。LTE-FDD上下行采用相同的帧结构,占用频率不同。LTE-TDD上下行在同一频率上,但占用不同的子帧。此外,两者都采用OFDM和MIMO等先进的无线通信技术,相互之间的融合将带来更为广阔的发展空间。

表1-2 LTE TDD/FDD技术对比

比较项目		TDD	FDD
频谱	频谱对称	不需要对称频谱,提高频谱利用效率	需要成对频谱
	频率资源	全球频率分布较少	全球FDD频谱丰富

(续)

比较项目		TDD	FDD
性能	频谱效率	平均频谱效率 TDD 与 FDD 相当	
	峰值速率	TDD 使用部分时隙资源分别作上下行传输，峰值速率约为 FDD 的 50%	FDD 使用全部时隙资源分别做上下行传输，峰值速率为 TDD 两倍
组网	上下行配比	可灵活配置上下行的时隙比例，适应不同上下行业务比例，并灵活支持多播组播类业务	上下行也可支持不等带宽
	时域保护间隔	在上下行时隙之间需要保护时间间隔，且随覆盖半径的不同而不同	上下行之间不需要保护时隙，覆盖半径灵活
	频率保护间隔	无要求	上下行之间需要保护带
	多运营商部署	多运营商部署需要协同，邻频部署需要上下行时隙切换点对齐	多运营商的部署不需要协同，无需时隙对齐
	网络同步	要求全网同步	全网可同步或非同步
设备实现	双工器	不需要笨重的双工器，减少设备复杂度	需要 FDD 双工器，较单工方式成本提升
	时延	上下行不连续发送，系统时延较 FDD 高	上下行可以连续发送，系统提供的业务时延较 TDD 低
关键技术	多天线技术	可以利用上下行信道的对称性，采用先进的无线技术如智能天线、更精确的预编码方案等，提高系统覆盖质量，提升整体吞吐量	上下行使用不同的频率，很难利用信道的对称性

4. 高阶调制

在 LTE 中，上下行均可以自适应采用 QPSK、16QAM、64QAM 和 256QAM 等多种调制技术，其中 256QAM 可以支持更高的峰值速率。当空口环境中信道条件足够好、功率资源足够时，采用高阶调制提升空口吞吐量，可以更有效地利用系统资源。

5. LTE – Advanced 的关键技术

为了满足 LTE – Advanced 的需求指标，3GPP 提出了载波聚合、协同多点和接力传输等若干项资源管理和网络层面的关键技术，同时对 LTE 物理层技术进行改进和增强。LTE – Advanced 系统采用的关键技术主要包括：

(1) 增强的物理层技术

LTE – Advanced 系统在热点地区可以考虑采用 OFDMA 作为上行多址技术，进而提高上行频谱效率。在多天线技术方面，采用下行多用户 MIMO、上行多天线发射分集，波束赋形增强技术等进一步提高频谱效率。

(2) 载波聚合

为了在 LTE – Advanced 商用初期能有效利用大带宽载波，即保证 LTE 终端能够接入 LTE – Advanced 系统。LTE – Advanced 支持连续载波聚合以及频带内和频带间的非连续载波聚合，最大能聚合带宽可达 100MHz，如图 1-6 所示。

目前 3GPP 根据运营商的需求识别出了 12 种载波聚合的应用场景，其中 4 种作为近期重点分别涉及 FDD 和 TDD 的连续和非连续载波聚合场景。在 LTE – Advanced 系统中，载波聚合的相关研究重点包括连续载波聚合的频谱利用率提升，上下行非对称的载波聚合场景的控制信道的设计等。

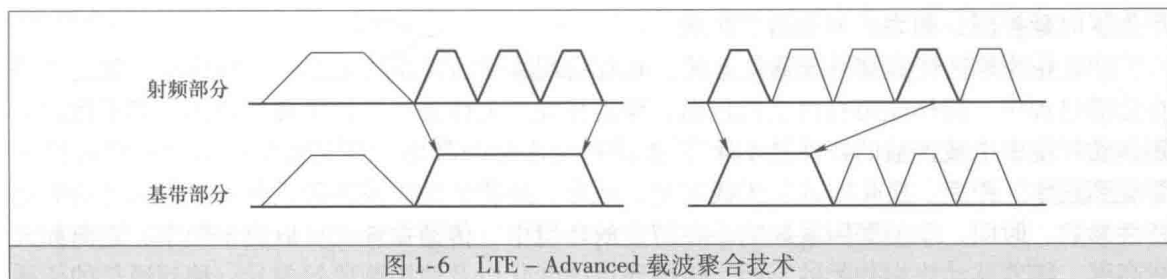


图 1-6 LTE-Advanced 载波聚合技术

(3) 多点协作

为了解决 LTE 小区间同频干扰的难题, LTE-Advanced 引入多点协作技术, 目的是降低小区间干扰, 提升边缘用户服务质量, 提升用户满意度。所谓多点协作传输 (Coordinated Multiple Points Transmission/Reception, CoMP) 是指地理位置上分离的多个传输点, 协同为一个 UE 传输数据或者联合接收一个 UE 发送的数据。参与协作的多个传输点通常指多个小区, 这些小区可以来自同一个基站, 也可以是不同基站下的小区。多点协作技术分为下行 CoMP 和上行 CoMP, 主要为了改进上下行系统的性能。

(4) 多天线增强

鉴于稀缺的频率资源, 多天线技术通过扩展空间的传输维度而成倍地提高信道容量而被多种标准广泛采纳。受限于发射天线高度对信道的影响, LTE-Advanced 系统上行和下行多天线增强的重点有所区别。在 LTE 系统的多种下行多天线模式基础上, LTE-Advanced 要求支持的下行最高多天线配置规格为 8×8 , 同时多用户空分复用的增强被认为是标准化研究的重点。LTE-Advanced 相对于 LTE 系统的上行增强主要集中在如何利用终端的多个功率放大器, 利用上行发射分集来增强覆盖, 用上行空间复用来提高上行峰值速率等。

LTE-Advanced 将在下行引入 8×8 甚至更高阶的 MIMO, 在上行引入 4×4 MIMO, 并可能通过改进单用户 MIMO 和多用户 MIMO 算法, 实现更高的峰值速率。

(5) 异构网络

LTE-Advanced 将通过综合使用宏蜂窝、微蜂窝、微微蜂窝、家庭基站、中继等网络资源, 提供泛在服务, 节省网络部署及运营成本。异构网络间的协调、移动性管理和干扰控制将是研究的热点。

总之, LTE-Advanced 系统通过引入上述增强技术, 一方面显著提高了无线通信系统的峰值数据速率、峰值频谱效率、小区平均频谱效率以及小区边界用户性能, 另一方面有效改善了小区边缘覆盖以及平衡下行和上行业务性能, 提供更大的带宽和容量, 最终使得 LTE-Advanced 成为 4G 移动通信的主流标准之一。

1.3 LTE 无线电波传播

1.3.1 LTE 无线覆盖特征★★★

1. 无线信道传播特性

移动通信环境下的电波传播具有自由空间传播损耗、阴影衰落以及多径衰落等特点, 其中多径衰落对无线信道上传输的信号有很严重的影响, 电波的反射、散射和衍射使接收信号

产生了时延扩展、频率扩展和角度扩展。

LTE 作为第四代蜂窝移动通信系统，具有通用移动通信系统无线的传播特性，移动信号在传播过程中，同样经历自由空间传播、穿透损耗、人体衰耗，快慢衰落和内外部干扰。了解移动环境中电波传播的特性是 LTE 覆盖规划与优化的基础。移动通信中电波传播特性主要受到频率、距离、极化方式、天线高度、地形、地物、地面及各种散射与反射物体的导电特性参数、时间、季节等因素影响。在特定的环境中，传播损耗主要取决于频率、距离和天线高度。随着移动终端种类的不同、传播环境的变化以及使用频段的差异，移动通信的传播方式各不相同，其传播特性也自然不一样。

2. 自由空间传播

无线电波在自由空间的传播是电波传播研究中最基本、最简单的一种。自由空间被认为是满足下述条件的一种理想空间：

- 1) 均匀无损耗的无限大空间。
- 2) 各向同性。
- 3) 电导率为零。

应用电磁场理论可以推出，在自由空间传播条件下，传输损耗 L_s 的表达式：

$$L_s = 32.45 + 20\lg f + 20\lg d$$

式中， f 是工作频率 (MHz)； d 是移动台到基站的距离 (km)。

自由空间基本传输损耗 L_s 仅与频率 f 和距离 d 有关。当 f 和 d 扩大 1 倍时， L_s 则增加 6dB。

3. 传播模型计算

陆地移动信道的主要特征是多径传播。实际多径传播环境是十分复杂的，在研究传播问题时往往从最简单的情况入手将其简化，仅考虑从基站至移动台的直射波和地面反射波两条路径最简单的传播模型。如图 1-7 所示，应用电磁场理论可以推出两径模型的传输损耗 L_p 表达式：

$$L_p = 20\lg(d^2/(h_1 \cdot h_2))$$

式中， d 为基站和移动台水平距离 (km)； h_1 是基站天线高度 (m)； h_2 是移动台天线高度 (m)。

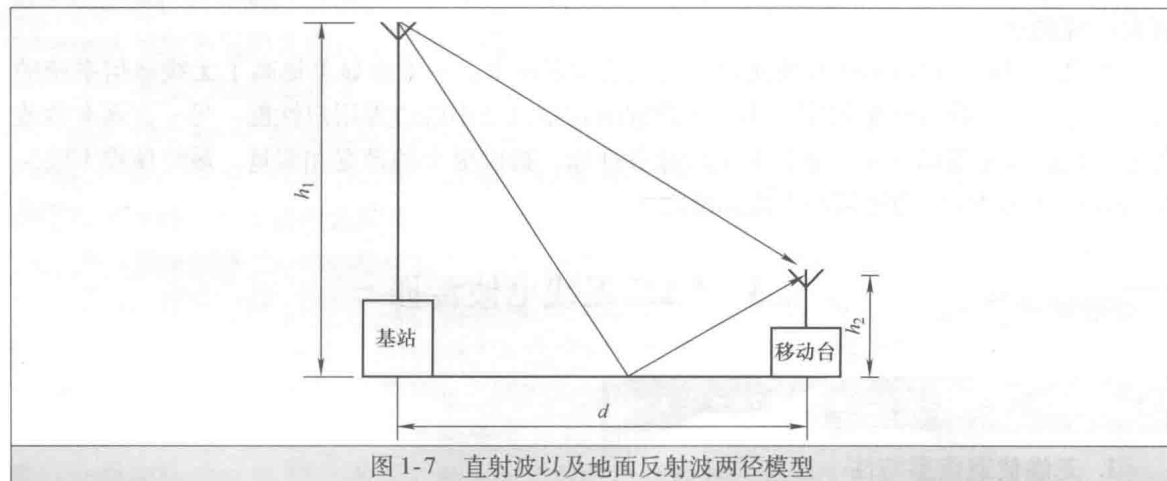


图 1-7 直射波以及地面反射波两径模型

由于移动环境的复杂性和多变性，要对接收信号中值进行准确计算是相当困难的。无线通信工程上通用的做法是在大量场强测试的基础上，经过对数据分析与统计处理，找出各种



地形地物下的传播损耗（或接收信号的场强）与距离、频率以及天线高度的关系，给出传播特性的各种图表和计算公式，建立传播预测模型，从而能用较简单的方法预测接收信号的中值。

传播模型描述了路径损耗与距离的定量关系。在移动通信领域，已经建立了许多场强预测模型，它们是根据在各种地形地物环境中实测数据总结而来，各有特点。在移动通信中常见的有两种：Okumura - Hata 模型和 COST - 231 - Walfish - Ikegami 模型。

(1) Okumura - Hata 模型

适用条件：

- 频率：150 ~ 1500MHz；
- 基站天线有效高度：30 ~ 200m；
- 移动台天线高度：1 ~ 10m；
- 通信距离：1 ~ 5km；

在市区、郊区、乡村公路、开阔区和林区等准平坦地形上，电波传播的基本传输损耗按下列公式分别预测。

$$L(\text{市区}) = 69.55 + 26.16 \lg f - 13.82 \lg h_1 + (44.9 - 6.55 \lg h_1) \lg d - a(h_2) - s(a)$$

$$L(\text{郊区}) = 64.15 + 26.16 \lg f - 2[\lg(f/28)]^2 - 13.82 \lg h_1 + (44.9 - 6.55 \lg h_1) \lg d - a(h_2)$$

$$L(\text{乡村公路}) = 46.38 + 35.33 \lg f - [\lg(f/28)] - 2.39(\lg f)^2 - 13.82 \lg h_1 + (44.9 - 6.55 \lg h_1) \lg d - a(h_2)$$

$$L(\text{开阔区}) = 28.61 + 44.49 \lg f - 4.87(\lg f)^2 - 13.82 \lg h_1 + (44.9 - 6.55 \lg h_1) \lg d - a(h_2)$$

$$L(\text{林区}) = 69.55 + 26.16 \lg f - 13.82 \lg h_1 + (44.9 - 6.55 \lg h_1) \lg d - a(h_2)$$

式中， f 为工作频率（MHz）； h_1 为基站天线高度（m）； h_2 为移动台天线高度（m）； d 为移动台到基站的距离（km）； $a(h_2)$ 为移动台天线高度增益因子（dB），

$$a(h_2) = (1.1 \lg f - 0.7) h_2 - 1.56 \lg f + 0.8 \quad (\text{中, 小城市})$$

$$= 3.2[\lg(11.75 h_2)]^2 - 4.97 \quad (\text{大城市})$$

$s(a)$ 为市区建筑物密度修正因子（dB）；

$$s(a) = 30 - 25 \lg a \quad (5\% < a \leq 50\%)$$

$$= 20 + 0.19 \lg a - 15.6(\lg a)^2 \quad (1\% < a \leq 5\%)$$

$$= 20 \quad (a \leq 1\%)$$

a 为建筑物密度。

(2) COST - 231 - Walfish - Ikegami 模型

COST - 231 - Walfish - Ikegami 模型满足 20m ~ 5km 范围内无线信号传播路径损耗预测要求，既适用于宏蜂窝模型，也适用于微蜂窝模型。在进行微蜂窝覆盖预测时，必须获取详细街道及建筑物的数据，不能采用统计近似值。

适用条件：

- 频率：1500 ~ 2000MHz；
- 基站天线有效高度 h_b ：3 ~ 200m；
- 移动台天线高度 h_m ：1 ~ 10m；
- 通信距离：20m ~ 5km。

如图 1-8 所示，COST - 231 - Walfish - Ikegami 传播模型可分视距（LOS）和非视距（NLOS）两种情况：

1) 视距情况。

基本传输损耗： $L = 42.6 + 26\lg d + 20\lg f$ 。

2) 非视距情况。

基本传输损耗： $L = L_o + L_{msd} + L_{rts}$

① L_o 代表自由空间损耗， $L_o = 32.45 + 20\lg d + 20\lg f$ 。

② L_{msd} 代表多重屏蔽的绕射损耗。

③ L_{rts} 代表屋顶至街道的绕射及散射损耗。

$$L_{rts} = \begin{cases} -16.9 - 10\lg \omega + 10\lg f + 20\lg \Delta h_{Mobile} + L_{ori} & h_{roof} > h_{Mobile} \\ 0 & \text{if } (L_{rts} < 0) \end{cases}$$

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\varphi & 0 \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi - 35^\circ) & 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\varphi - 55^\circ) & 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases}$$

$$L_{msd} = \begin{cases} L_{bsh} + K_a + K_d \lg d + K_f \lg f - 9\lg b \\ 0 \end{cases} \quad \text{if } (L_{msd} < 0)$$

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18\lg(1 + \Delta h_{Base}) & h_{Base} > h_{roof} \\ 0 & h_{Base} \leq h_{roof} \end{cases}$$

公式说明：

$$\Delta h_{Mobile} = h_{roof} - h_{Mobile} \quad \Delta h_{Base} = h_{Base} - h_{roof}$$

式中， ω 是街道宽度 (m)； f 是计算频率 (MHz)； Δh_{Mobile} 单位为 m； φ 的单位为 $^\circ$ 。

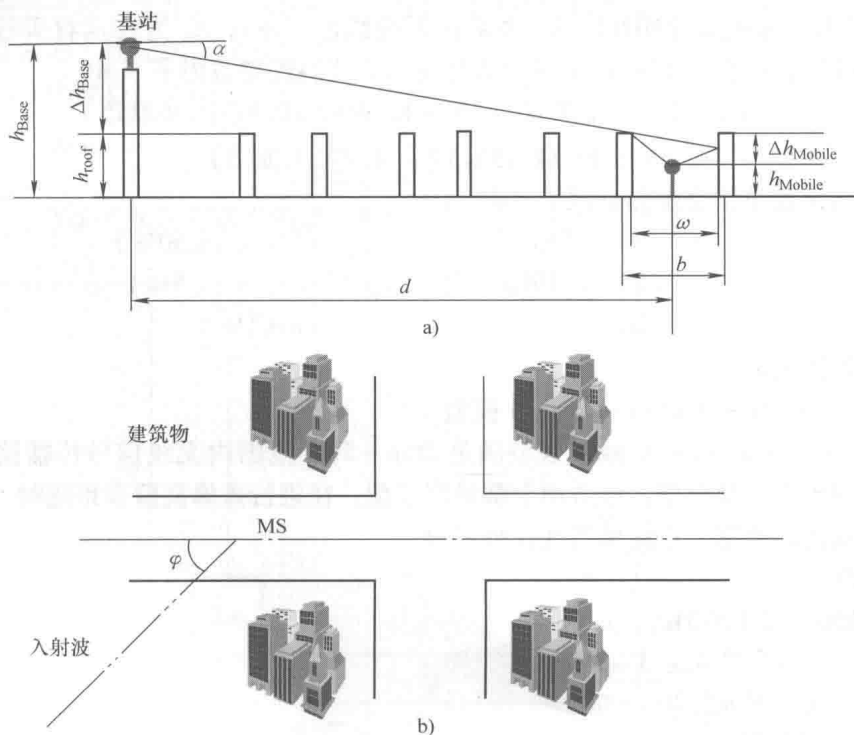


图 1-8 COST-231-Walfish-Ikegami 模型

a) 环境参数 b) 街道参数