

首本LTE工程类图书，中国
通信建设集团设计院有限公
司精心编制

“十二五”

国家重点图书出版规划项目

LTE Networking and Engineering Practice 4G 丛书

LTE

组网与工程实践

□ 中国通信建设集团设计院有限公司 编著

“十二五”
国家重点图书出版规划项目

LTE Networking and Engineering Practice 4G 丛书

LTE

组网与工程实践

□ 中国通信建设集团设计院有限公司 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

LTE组网与工程实践 / 中国通信建设集团设计院有限公司编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2014. 7

(4G丛书)

ISBN 978-7-115-35225-5

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第102963号

内 容 提 要

本书定位为LTE工程读物,主要关注于LTE组网和工程实践,详细探讨了LTE组网建设中传播模型校正、组网规划、天馈系统建设、室内分布设计、基站勘察设计、基站施工规范及共享站址建设LTE等问题。全书尽量压缩原理部分的详细讲解,力求简明扼要,语言平实明确。

本书的主要读者对象为从事LTE网络规划、勘察设计、工程建设、运营维护领域的工程技术人员;对于从事LTE网络领域学习研究,立志于投身运营商和设计院的高校师生,本书也有参考价值。

◆ 编 著 中国通信建设集团设计院有限公司

责任编辑 李 强

责任印制 杨林杰

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

三河市海波印务有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 15.75

字数: 378千字

印数: 1—3 500册

2014年7月第1版

2014年7月河北第1次印刷



定价: 49.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

编委会

主任：李全法

副主任：梁麦先 李洪波 高峰

委员：高泽华 李盼星 李磊 马哲锐 欧阳红升 阎龙

序

随着移动互联网的快速发展，移动数据业务呈现高速增长的态势，LTE 作为新一代移动通信技术应运而生，将极大地提高数据通信的速率和容量，为用户提供更满意的移动数据体验。

LTE 采用 OFDM 和 MIMO 两大关键性技术，具有频谱效率高、端到端时延低、数据速率高等优势。LTE 技术的应用、推广得到了各电信运营商和设备制造商的高度重视，目前，LTE 技术已经在全球得到了广泛的部署。截至 2014 年 1 月，在全球 97 个国家，已有 263 张 LTE 商用网络，预计至 2014 年年底，全球将有 350 张 LTE 网络正式商用。在我国，三大运营商都在积极部署 LTE 网络，为用户提供更好的业务感知体验。

中国通信建设集团有限公司是中国通信建设领域规模最大、专业最齐全、科技含量最高的具有工程总承包一级资质的大型通信建设综合性企业，致力于咨询设计、施工、监理和网络维护四条业务主线。中国通信建设集团设计院有限公司是中国通信建设集团有限公司的重要专业公司和技术支撑单位。为迎接 LTE 技术的到来，设计公司成立了专门的 LTE 技术跟踪和研发团队进行标准跟踪、技术原理研究、规划设计应用方法研究以及参与试验网建设等。本书的作者均是设计公司多年从事移动通信工程规划设计建设、具有丰富的实践经验并跟踪 LTE 标准化工作多年的工程技术人员，对 LTE 技术原理与工程实践应用有比较深入的理解。

本书首先阐述最基本的 LTE 技术原理，随后详细介绍 LTE 组网方案，包括网络规划、系统干扰分析、天馈系统建设和室内分布的建设等。并将 LTE 系统的设计、施工及监理有机结合在一起，聚焦 LTE 基站的勘察设计、施工规范和工程建设中的相关问题，做出了结合日常工作、贴近工程实际的解读。

注重 LTE 工程实践是本书的一大特色，本书避免过多地讲解晦涩的 LTE 理论知识，而是结合理论知识，把 LTE 在工程实践中的应用呈献给读者，易于从事 LTE 网络规划、勘察设计、工程建设、运营维护领域的工程技术人员掌握，对于从事 LTE 网络领域学习研究，立志于投身 LTE 网络建设的高校学子，本书也有参考价值。

本书将对 LTE 技术的理解以及 LTE 工程实践经验有机结合，以深入浅出的方式呈现给大家，希望有助于工程人员快速理解 LTE 基本原理并对其日常工作有所指导。



前 言

随着“移动通信宽带化，宽带通信移动化”发展趋势的不断增强，传统移动通信与互联网两者结合起来，将用户带入到移动互联网时代。在网络、终端及业务的三重驱动下，移动互联网快速发展，用户数据流量迅猛提升。据估计，在未来5年，全球移动数据业务将增长30倍。承载业务流量激增，对无线通信网络提出了更高要求，LTE也就应运而生。

LTE是移动通信系统由3G向4G演进的主流技术，与以CDMA为核心技术的3G网络相比，存在本质的区别。LTE采用了大量4G关键技术（如OFDM、MIMO），无论接入网方面还是网络架构方面，均带来了革命性的变化。LTE支持可变带宽组网，提供下行100Mbit/s的峰值速率，大幅降低系统时延，采用全IP组网方式，提升小区边缘用户的数据速率。自2009年第一张LTE网络部署以来，LTE网络在全球范围迅速铺开。截止到2013年12月31日，全球已有95个国家和地区的260家运营商推出商用LTE服务。

2013年12月4日工业和信息化部正式向三大电信运营商发放TD-LTE牌照，标志着中国电信产业正式步入4G时代。至此，LTE工作的重心由理论与实验网建设转入到大规模生产网络建设上。由于我国LTE初期部署频段较高，为了保证网络覆盖效果，需要建设大量基站，因此需要非常多的人力投入。目前有相当多的运营商工程建设管理人员和设计院及通信工程建设人员以前没有深入接触过LTE技术，当LTE建设任务来临之际，只是利用原来的工程经验来建设LTE网络。如果从LTE技术原理开始学习，整个过程过于漫长。基于目前工程建设的情况，网络建设人员往往对LTE技术原理不能深入了解，对LTE技术理解深刻的人员又通常不在工程一线，所以急需一本介绍LTE网络工程建设的书籍为日常工作提供支撑。

目前市面上讲解LTE网络原理和规划的书籍较丰富，但是大部分内容都是参照标准，且难度较高，不容易让工程师快速理解掌握。通常，工程师在实际应用时，不需要了解某些烦琐复杂的推导过程，只需要知道该结论如何使用，以及结论适用的场景和限制的条件，本书在组网和工程建设部分就是以此为原则编写的。

本书共10章，第1章为LTE发展概述，介绍LTE发展背景及发展现状。第2章为LTE无线网络基础知识，介绍LTE网络规划、设计与组网中涉及的必要基础知识，为阅读后续章节提供支撑。第3章为无线传播模型，主要包括无线传播理论、常用的大尺度传播模型及LTE传播模型的校正方法及范例。第4章介绍LTE网络规划，主要包括覆盖规划、容量规划、小区参数规划及传输需求规划。第5章介绍LTE网络与异系统共建共享干扰分析，包括LTE干扰隔离分析模型、干扰控制方法、隔离距离要求及计算实例。第6章介绍LTE网络天馈系

统建设,包括天馈基础知识、LTE 多天线技术以及三大运营商 LTE 天馈系统建设策略。第 7 章介绍 LTE 室内分布设计,包括信源选择、覆盖系统规划、建设方案以及单双通道性能对比。第 8 章介绍 LTE 基站勘察设计要点,包括基站勘察设计内容、设计原则、基站具体设计以及通信工程概预算编制方法。第 9 章介绍 LTE 基站施工规范,包括机房工艺要求、设备工艺要求及天馈工艺要求。第 10 章介绍共建共享和利旧基站,包括共享基站机房注意事项、共享基站天馈的原则及利旧小灵通基站升级 LTE。

本书由梁麦先主持编写,李洪波、高峰、高泽华、李盼星、李磊、马哲锐、欧阳红升、阎龙具体负责了各个章节的内容。同时,在本书编写过程中,中国通信建设集团有限公司李书森、张博、连蓉蓉及北京邮电大学孙舒鹏、潘翔、吕贺敏、王静、陈渝协助进行全书资料的收集和整理工作,并完成对全书的文字校对工作,对他们的辛勤劳动表示感谢。同时,本书编写过程中还得到了工业和信息化部电信研究院周峰博士的支持和帮助,周峰博士对本书内容的取舍、主次安排均有指导和帮助,在这里表示衷心的感谢。

本书凝聚了中国通信建设集团设计院有限公司全体同事多年的研究与工程实践成果,并得到了单位同事领导的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,加之技术发展日新月异,书中还有诸多不足之处,敬请读者批评指正。

编著者

2014 年 1 月

目 录

第 1 章 LTE 发展概述	1	第 2 章 LTE 无线网络基础知识	21
1.1 LTE 设计目标与业务能力	1	2.1 LTE 网络架构	21
1.1.1 LTE 系统的设计目标	1	2.1.1 无线接入网 E-UTRAN	23
1.1.2 LTE 与 3G 网络业务支持能力对比	2	2.1.2 演进型分组核心网 (EPC)	24
1.1.3 SON 技术发展情况	3	2.1.3 空中接口协议	25
1.1.4 LTE 混合组网	5	2.1.4 S1 接口协议栈	26
1.2 2G/3G 典型系统向 LTE 技术的演进路线	6	2.1.5 X2 接口协议栈	27
1.2.1 GSM 向 LTE 演进路线	6	2.2 无线帧结构	28
1.2.2 WCDMA 向 LTE 演进路线	8	2.2.1 LTE FDD 帧结构	28
1.2.3 TD-SCDMA 向 LTE 的演进路线	10	2.2.2 TD-LTE 帧结构	29
1.2.4 cdma2000 向 LTE 的演进路线	11	2.3 物理资源单位	31
1.3 LTE 产业链发展	12	2.3.1 物理资源块 RB	31
1.3.1 LTE 网络的全球部署情况	12	2.3.2 REG 与 CCE	32
1.3.2 系统设备发展	14	2.4 下行物理信道与信号	34
1.3.3 终端设备发展	14	2.4.1 下行参考信号	34
1.4 LTE 在中国的发展	15	2.4.2 下行物理信道	39
1.4.1 中国移动 TD-LTE 大规模实验网	15	2.5 上行物理信道与信号	48
1.4.2 中国电信 LTE 实验网	17	2.5.1 上行参考信号	48
1.4.3 中国联通 LTE 实验网	18	2.5.2 上行物理信道	53
1.4.4 政府 TD-LTE 政务专网	19	参考文献	62
参考文献	20	第 3 章 无线传播模型	63
		3.1 无线传播理论	63
		3.1.1 自由空间传播模型	63
		3.1.2 移动环境下的传播特性	65
		3.2 常用大尺度传播模型	67
		3.2.1 Okumura-Hata 模型	67

3.2.2	COST-231 Hata 模型	68	4.10.1	S1 接口带宽计算	119
3.2.3	SPM 模型	69	4.10.2	X2 接口带宽计算	120
3.3	LTE 传播模型的校正	70	4.10.3	LTE 接入网传输带宽需求计算	121
3.3.1	CW 测试	71	4.11	IP 地址及 VLAN 规划	123
3.3.2	测试数据处理	73	4.11.1	eNode B 的 IP 地址及 VLAN 规划方案	123
3.3.3	模型校正	74	4.11.2	UE 的 IP 地址规划方案	124
3.3.4	LTE 传播模型校正实例	77	参考文献		125
	参考文献	82			
第 4 章	LTE 网络规划	84	第 5 章	LTE 网络与异系统共建共享干扰分析	126
4.1	LTE 网络规划流程	84	5.1	LTE 与异系统间干扰的分类	126
4.2	LTE 覆盖规划	85	5.1.1	发射机射频特性	126
4.2.1	LTE 覆盖特性	85	5.1.2	非线性系统	127
4.2.2	LTE 覆盖链路预算	88	5.1.3	干扰分类	127
4.2.3	LTE 覆盖能力	96	5.2	LTE 干扰隔离分析模型	128
4.3	LTE 容量规划	97	5.2.1	杂散干扰隔离分析	128
4.3.1	影响 LTE 容量的因素	97	5.2.2	阻塞干扰隔离分析	131
4.3.2	LTE 理论容量分析	98	5.2.3	互调干扰隔离分析	132
4.4	LTE 频率规划	103	5.2.4	干扰隔离度的确定	133
4.4.1	频率资源分析	103	5.3	LTE 与异系统间干扰控制方法	133
4.4.2	频率规划	105	5.4	LTE 与其他系统隔离距离要求	134
4.5	LTE 邻区规划	108	5.4.1	水平隔离	134
4.6	PCI 规划	109	5.4.2	垂直隔离	135
4.6.1	PCI 规划对网络的影响	109	5.4.3	组合梯形隔离	136
4.6.2	PCI 规划原则	110	5.5	LTE 与异系统间干扰计算实例	137
4.7	子帧配置 (TD-LTE)	112	参考文献		140
4.7.1	上下行子帧配置	112			
4.7.2	特殊子帧配置	112	第 6 章	LTE 网络天馈系统建设	141
4.7.3	子帧配置考虑因素	113	6.1	天馈系统基础知识	141
4.8	TA 区规划	113	6.1.1	天线原理	141
4.8.1	TA 规划对网络的影响	114	6.1.2	天线指标	143
4.8.2	TA 区规划原则	115	6.1.3	天线类型	147
4.9	下行功率规划	116			
4.9.1	下行物理信号功率分配 (CRS、PSS、SSS)	117			
4.9.2	下行物理信道功率分配 (PBCH、PCFICH、PHICH、PDCCH)	117			
4.10	传输需求规划	119			

6.2	LTE 网络多天线技术	150
6.2.1	LTE 多天线传输模式	150
6.2.2	TD-LTE 天线技术选择	150
6.2.3	LTE FDD 天线技术选择	154
6.3	LTE 天馈系统建设策略	156
6.3.1	LTE 天面建设方案	156
6.3.2	中国移动 TD-LTE 天面建设策略	157
6.3.3	中国电信 LTE 天面建设策略	161
6.3.4	中国联通 LTE 天面建设策略	161
	参考文献	162

第 7 章 LTE 室内分布设计

7.1	LTE 室内分布设计概述	164
7.1.1	LTE 室内分布系统原理	164
7.1.2	LTE 室内分布系统信源与分布系统器件	164
7.1.3	覆盖楼宇选择	165
7.2	LTE 室内覆盖信源规划	165
7.2.1	频率配置	165
7.2.2	信源选取	166
7.2.3	信源配置	166
7.3	LTE 室内覆盖系统规划	166
7.3.1	室内传播模型	166
7.3.2	LTE 室内覆盖链路预算	167
7.3.3	LTE 室内分布系统与其他系统的共存	167
7.3.4	LTE 室内分布系统小区规划	170
7.4	室内覆盖建设方案	170
7.4.1	新建分布系统建设方案	170
7.4.2	原有分布系统改造方案	171
7.4.3	单通道室内分布系统的扩容	173
7.5	室内覆盖单通道与双通道对比	175

7.5.1	单通道与双通道性能对比	175
7.5.2	单通道与双通道造价对比	175
7.5.3	双通道两支路功率平衡性研究	176
7.6	有源天线室内分布	176
7.6.1	有源天线室内分布原理	176
7.6.2	与传统分布系统造价及性能对比	177
	参考文献	178

第 8 章 LTE 基站勘察设计

	要点	179
8.1	基站勘察设计内容	179
8.1.1	机房空间勘察	182
8.1.2	基站动力系统勘察	183
8.1.3	天面勘察	184
8.1.4	周围环境勘察	186
8.2	基站设计的原则	186
8.2.1	机房的设计原则	186
8.2.2	基站设备的设计原则	188
8.2.3	天馈的设计原则	189
8.2.4	机房配套的设计原则	189
8.3	基站的设计	194
8.3.1	基站设备的类型	194
8.3.2	基站设备的选型原则	195
8.4	通信工程概预算	196
8.4.1	通信工程概预算编制的基本依据	196
8.4.2	通信工程概预算文件的主要内容	197
8.4.3	通信工程概预算编制的基本过程	198
8.4.4	工程量及其统计原则	199
8.4.5	概预算编制说明文档实例	200
	参考文献	201

第 9 章 LTE 基站施工规范202

9.1 机房工艺要求	202
9.1.1 机房周边环境	202
9.1.2 机房的空間要求	203
9.1.3 机房的承重要求	203
9.1.4 机房装修和机房防盗	204
9.1.5 机房的引电和地网	205
9.2 设备工艺要求	208
9.2.1 宏基站安装规范	208
9.2.2 室外一体化机柜安装 规范	211
9.2.3 BBU 的安装规范	212
9.2.4 RRU 的安装规范	213
9.3 天馈系统工艺要求	215
9.3.1 天线的安装要求	215
9.3.2 馈线的施工要求	217
9.3.3 馈线色环工艺	221
9.3.4 GPS 的安装要求	222
参考文献	222

第 10 章 共建共享和利旧
基站223

10.1 共建共享基站机房	223
10.1.1 共建共享机房的空間	223
10.1.2 共建共享机房的承重	224
10.1.3 共建共享机房的电源	225
10.2 共建共享基站的塔桅	226
10.2.1 风荷载的计算	226
10.2.2 天线塔架的共享	227
10.3 利旧 2G/3G 基站升级 LTE	228
10.3.1 旧址共用基站配套 电源	228
10.3.2 蓄电池	229
10.3.3 塔桅的利旧	229
10.3.4 共享和利旧基站的 施工	231
10.4 利旧小灵通基站升级 LTE	231
10.4.1 小灵通基站的机房和 电源	232
10.4.2 小灵通基站的高度和 改造	232
参考文献	233

缩略语 234

第 1 章

LTE 发展概述

LTE (Long Term Evolution, 长期演进) 是由 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project, 第三代移动通信合作伙伴项目) 组织制订的 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System, 通用移动通信系统) 技术标准的长期演进。2004 年 12 月, 在 3GPP 的多伦多会议上 LTE 正式立项并启动, 并于 2009 年 3 月发布第一个版本 (Release 8)。为满足高速数据业务的需求, LTE 系统采用了 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 正交频分复用) 和 MIMO (Multiple Input Multiple Output, 多入多出) 等关键技术, 在网络架构和多址接入技术方面较 3G 网络有了革命性的变化, 因此被业界通俗地称为 4G。

1.1 LTE 设计目标与业务能力

1.1.1 LTE 系统的设计目标

LTE 系统的设计目标是以 OFDM 和 MIMO 为主要技术基础, 开发出一套满足更低传输时延、提供更高用户传输速率、增加系统容量、增强网络覆盖、减少运营费用、优化网络架构、采用更大载波带宽, 并以优化分组数据域业务传输为目标的新一代移动通信系统, 其关键性能需求有以下几点。

1. 峰值速率和峰值频谱效率

LTE 系统在 20MHz 带宽内的上/下行数据峰值速率分别为 50Mbit/s 和 100Mbit/s, 对应的频谱效率分别为 2.5bit/s/Hz 和 5bit/s/Hz。(这里的基本假设是终端具有两根接收天线和一根发射天线。)

2. 小区性能

小区性能是一个重要指标, 因为它直接关系到运营商所需要部署的小区数量及部署整个系统的成本。

LTE 需求规定的小区上/下行平均频谱效率分别为 $>0.66 \sim 1.0 \text{ bit/s/Hz/cell}$ 和 $>1.6 \sim 2.1 \text{ bit/s/Hz/cell}$, 小区边缘上/下行频谱效率为 $>0.02 \sim 0.03 \text{ bit/s/Hz/user}$ 和 $>0.04 \sim 0.06 \text{ bit/s/Hz/user}$ 。

3. 移动性

从移动性的角度考虑, LTE 系统需要在终端移动速度达到 350km/h 的情况下支持通信, 或根据使用的频段在更高速 (如 500km/h) 时仍能支持通信。

4. 时延

用户平面时延对于实时业务和交互业务来说是一个非常重要的性能指标，LTE 系统要求该时延小于 10ms；控制平面时延由执行不同 LTE 状态过渡所需要的时间来衡量，LTE 系统要求从空闲状态到激活状态的过渡时间小于 100ms。

5. 带宽配置

LTE 系统的上行和下行信道都可适应各种的带宽配置^[1]。LTE 的信道带宽可以为 1.4、3、5、10、15、20MHz。

6. 网络结构需求

LTE 对无线接入网络结构设计的改进包括以下内容。

- ① 单一形式的节点结构，在 LTE 中称为 eNodeB。
- ② 支持分组交换业务的高效协议。
- ③ 开放式接口，支持多厂商设备间的互操作性。
- ④ 操作和维护的有效机制，包括自配置、自维护、自优化功能。
- ⑤ 支持简易部署和配置，例如家庭基站（Home NodeB，HNB）。

1.1.2 LTE 与 3G 网络业务支持能力对比

与 3G 网络相比，LTE 的业务支持能力有了显著的提升。

LTE 与 HSPA R6、HSPA+ R8 的业务能力对比如表 1.1 所示^[2]。

表 1.1 LTE 与 HSPA R6/R8 的业务能力对比

	系 统 性 能	LTE	HSPA R6	HSPA+ R8	注 解
下行	峰值传输速率	>100Mbit/s	14.4Mbit/s	42Mbit/s	LTE: FDD 模式, 20MHz 带宽, 2×2 空分复用
	峰值频谱效率	>5bit/s/Hz	3bit/s/Hz	4.2bit/s/Hz	HSPA R6: FDD 模式, 5MHz 带宽, 单天线传输
	小区平均频谱效率	>1.6~2.1bit/s/Hz/cell	0.53bit/s/Hz/cell		HSPA+R8: 10MHz 带宽, 单天线传输
	小区边缘频谱效率	>0.04~0.06bit/s/Hz/user	0.02bit/s/Hz/user		LTE: 2×2 空分复用, 干扰抑制接收机
	广播频谱效率	>1bit/s/Hz	N/A	N/A	HSPA: Rake 接收机, 2 副接收天线
上行	峰值传输速率	>50Mbit/s	11Mbit/s	11Mbit/s	如上, 假定每小区 10 个用户
	峰值频谱效率	>2.5bit/s/Hz	2bit/s/Hz	2bit/s/Hz	LTE: FDD 模式, 20MHz 带宽, 单天线传输
					HSPA/HSPA+: FDD 模式, 5MHz 带宽, 单天线传输

续表

	系 统 性 能	LTE	HSPA R6	HSPA+ R8	注 解
上 行	小区平均频谱效率	>0.66~1.0bit/s/Hz/cell	0.33bit/s/Hz/cell		LTE: 单天线传输, 干扰抑制接收机 HSPA: Rake 接收机, 2 副接收天线
	小区边缘频谱效率	>0.02~0.03bit/s/Hz/user	0.01bit/s/Hz/user		如上, 假定每小区 10 用户
系 统	用户平面时延 (双向无线时延)	<10ms			
	连接建立时延	<100ms			空闲状态→激活状态
	运行带宽	1.4~20MHz	5MHz	10MHz	LTE: 最初 1.25MHz 也列入需求

1.1.3 SON 技术发展情况

为了降低部署和运营成本, LTE 系统引入了 SON (Self-Organizing Network, 自组织网络) 的概念, 旨在通过无线网络的自配置、自优化和自愈功能来提高网络的自组织能力, 提升操作维护效率, 减少操作维护所需人力, 从而有效降低网络的部署和运营成本, 提高网络的灵活性和可扩展性, 并更好地支持 Femto (家庭基站) /Pico (微微蜂窝) 等新型网络节点与拓扑技术。

SON 的标准化进展历程如下。

1. Release 8

最早的 SON 工作是在 3GPP 中负责网络管理标准的 SA5 (Service and System Aspects 5, 业务与系统方面第 5 组) 工作组启动, 首要工作是明确 SON 的概念和需求。在此基础上, SA5 开展 eNodeB 的自动建立和 SON ANR (Automatic Neighbor Relation, 自动邻区关系) 管理的标准化工作。

2. Release 9

3GPP SA5 在 R9 中继续对 SON 进行研究和标准化, 标准化项目包括 SON 自优化管理和自动无线网络配置数据准备, 研究项目包括对 SON 自愈合研究和家庭基站 SON 相关 OAM (Operation Administration and Maintenance, 运维管理) 接口的研究。

除了 SA5 的相关标准化和研究工作外, RAN2 和 RAN3 工作组也相应启动了 RAN (Radio Access Network, 无线接入网) 侧 R9 SON WI (Work Item, 工作项目)。RAN 侧的 WI 主要针对已经明确的 SON 用例提出无线侧技术方案并标准化, 这些 SON 用例包括覆盖和容量优化、MLB (Mobility Load Balancing, 移动负载平衡) 优化、MRO (Mobility Robustness Optimization, 移动健壮性) 优化和 RACH (Random Access Channel, 随机接入信道) 优化。

3. Release 10

进入 R10 阶段, 在 R9 自愈合研究的基础上, SA5 启动了自愈合管理的标准化工作。自愈合功能包括监测和分析故障管理、告警、通知和自测结果等相关数据, 自动触发或执行必

要的矫正行为。该功能也可以减少人工干预，能够自动进行重新优化和重新配置，甚至软件的重新下载和再次加载。

由于在 R9 阶段 RAN 侧工作负荷过重，SON 在 RAN 侧和 SA5 侧的标准化工作都只完成了属于第一优先级的负载均衡和切换参数优化两部分内容。在 R10 阶段，SA5 的 SON 标准化工作包括两部分，第一部分是继续进行 R9 SON 自优化管理中遗留的干扰控制、容量和覆盖优化及 RACH 优化等工作，第二部分是研究各个 SON 用例之间协调功能工作，包括手动操作和自动操作功能之间的协调、自相关用例和其他 SON 用例之间的协调、不同自相关用例之间的协调和一个自相关用例内不同目标之间的协调。

同时，在 RAN 的工作层面，RAN2、RAN3 和 RAN4 也在 R10 阶段继续完成 R9 遗留的工作。为避免同样问题出现，即由于工作量过大而无法完成全部预定目标，RAN 侧工作组对每一个目标都设置了优先级，以保证高优先级的目标能得到充足时间被优先讨论。

4. Release 11

R11 阶段，SON 的首要工作是完成 R10 中遗留的低优先级工作。为此 RAN 建立了新的 R11 WI：进一步的 SON 增强。其增强的范围主要包括 MRO 增强和不同的 RAT（Radio Access Technology，无线接入技术）场景下乒乓切换，也考虑基于不同 RAT 之间的 QoS（Quality of Service，服务质量）信息交换来选择正确 RAT、扩展各业务控制机制的协调功能等。

3GPP 给出了 SON 的需求和用例，同时，欧洲 FP7-ICT（7th Framework Program Information Communication Technology，欧盟第七研发框架计划信息通信技术领域）中的苏格拉底（Socrates）项目也对自组织网络进行了研究，提出了自组织网络用例，并对各用例的需求和评估标准进行了描述。SON 功能分类总结如表 1.2 所示^[3]。

表 1.2 SON 功能分类

功 能 分 类	自组织网络功能
自配置功能	站点位置智能选择
	插入网元时自动生成系统设定参数
	网络认证
自优化网络	干扰协调
	物理信道的自优化
	随机接入信道优化
	家庭 eNodeB 的自优化
	准入控制参数优化
	拥塞控制参数优化
	分组调度参数优化
	链路层重发方案优化
	覆盖间隙侦测
	切换参数优化
	负载均衡
	降低能耗

续表

功 能 分 类	自组织网络功能
自愈功能	小区停用预测
	小区停用侦测
	小区停用补偿

1.1.4 LTE 混合组网

根据双工方式的不同，LTE 系统分为 FDD（Frequency Division Duplexing，频分双工）和 TDD（Time Division Duplexing，时分双工）两种模式。

FDD 是在分离的两个对称带宽信道上进行接收和发送，用保护频段来分离接收和发送信道，其单方向的资源在时间上是连续的。FDD 在支持对称业务时，能充分利用上下行的频谱，但在支持非对称业务时，频谱利用率将有所降低。

TDD 用时间来分离接收和发送信道，接收和发送使用同一频率载波，其单方向的资源在时间上是不连续的，时间资源在两个方向上进行了分配，基站和终端之间必须协同一致才能顺利工作。

两者相比较，FDD 具有以下优势。

① FDD 的峰值速率高于 TDD。

② 国际上 FDD 工作频段较低，而且 TDD 因为 GP（Guard Period，保护间隔）的存在，覆盖距离受限，因此 TDD 基站的覆盖能力要小于 FDD。

③ FDD 系统收发信道异频，相比于 TDD，系统内和系统间的干扰较低。

④ FDD 的移动性支持能力要强于 TDD 模式。

TDD 具有以下优势。

① 能够灵活配置频率，使用 FDD 不易使用的零散频段。

② 可以通过调整上下行时隙转换点，增加下行时隙比例，能够很好地支持非对称业务。

③ 具有上下行信道一致性，基站的收/发可以共用部分射频单元，降低了设备成本。

④ TDD 模式上下行信道频段一致，信道估计能力强，在功率控制及智能天线技术方面具有明显优势。

TD-LTE 与 LTE FDD 融合发展是全球移动宽带技术发展的统一方向，也是推动国际主流运营商支持 TDD 技术的关键。目前，LTE TDD/FDD 已实现了标准、产品、产业、网络的全方位融合。

1. 标准技术方面

在标准技术方面，LTE TDD/FDD 已高度融合，在同一组织、同一项目、同一流程中进行，形成了同一规范，且标准层面已支持 TD-LTE 与 LTE FDD 间的双向切换，TD-LTE 和 LTE FDD 作为 LTE 的两种制式，两者之间的切换，相当于 LTE 系统内的异频切换，与 GSM 900/1800 间的切换类似。

2. 产品方面

系统设备实现了共平台，华为、中兴、爱立信、NSN、Alcatel-Lucent 等主流厂家都已经发布了 TDD/FDD 共平台商用宏站设备；融合的基带芯片、数据类终端、智能手机目前都已

相继推出。

3. 产业方面

TD-LTE 与 LTE FDD 拥有一样的端到端完备产业链, 系统设备、终端芯片、测试仪表领域的全球知名企业, 均投入了 TDD 与 FDD 的研发。

4. 网络运营方面

TDD/FDD 混合组网已经成为国际运营商 4G 网络重要的解决方案。据 GSA (Global Mobile Suppliers Association, 全球移动设备供应商协会) 统计, 截至 2013 年 12 月, 全球共有 12 张 TDD/FDD 混合组网的 LTE 商用网络 (详细情况可见 1.3.1 节)。

国内运营商也在考虑通过混合组网方式建设 LTE 网络。中国电信集团董事长王晓初于 2013 年 6 月表示, 中国电信将采用 TDD 与 FDD 混合组网, 大范围、广覆盖的 LTE 网络使用 FDD 制式, 而市区内人口稠密地区将使用 TDD 制式吸收多余的话务量; 中国联通董事长常小兵也在 2013 年 8 月表示, 中国联通先期会建设 TD-LTE 网络, 但仍将以 LTE FDD 为主, 与 TD-LTE 进行双模组网。

1.2 2G/3G 典型系统向 LTE 技术的演进路线

2G/3G 系统向 LTE 技术的演进路线如图 1.1 所示。

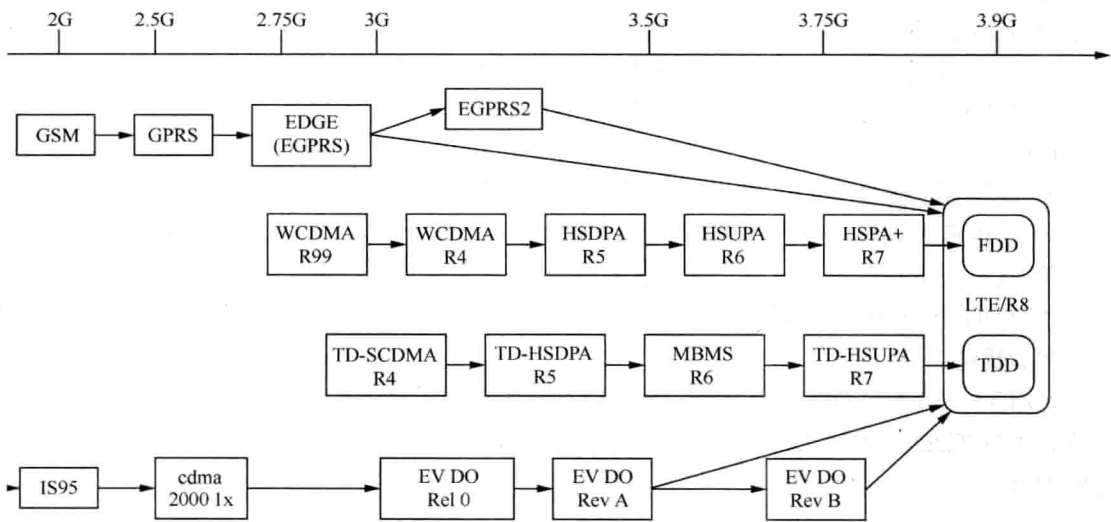


图 1.1 2G/3G 系统向 LTE 演进路线

1.2.1 GSM 向 LTE 演进路线

GSM 向 LTE 的演进路线为 GSM→GPRS→EDGE→EDGE+→LTE。

1. GSM

GSM (Global System for Mobile Communications, 全球移动通信系统) 是 ETSI (European Telecommunications Standards Institute, 欧洲电信标准委员会) 制订的第二代移动通信系统。