

精品课程教材



4G

# 4G移动 通信技术

4G YIDONG TONGXIN JISHU

主编 黄华兴



华南理工大学出版社  
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

精品课程教材

# 4G移动 通信技术

主 编 黄华兴

副主编 王亮

参 编 黄卓瑜 吴泽萍 毛炳妹



华南理工大学出版社  
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

4G 移动通信技术 / 黄华兴主编. — 广州: 华南理工大学出版社, 2019. 3  
ISBN 978 - 7 - 5623 - 5909 - 8

I. ①4… II. ①黄… III. ①第四代移动通信系统-高等职业教育-教材  
IV. ①TN929.537

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 025104 号

## 4G 移动通信技术

黄华兴 主编

---

出版人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼 邮编: 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: [scutc13@scut.edu.cn](mailto:scutc13@scut.edu.cn)

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

责任编辑: 黄冰莹

印刷者: 虎彩印艺股份有限公司

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 14 字数: 304 千

版次: 2019 年 3 月第 1 版 2019 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 46.00 元

---

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

## 前 言

随着移动通信技术的快速发展，互联网用户激增，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，将极大地提高数据通信的速率和容量，为用户提供更佳的移动数据体验。伴随通信行业的迅猛发展，急需引入大量专业基础扎实、动手能力强的专业人才。

我们在校本教材的基础上，根据职业教育的特点和目标，结合中职通信技术专业的岗位需求，以培养学生职业能力为主要目的，编写了这本《4G 移动通信技术》教材。

全书共分 5 个项目，包含 16 个学习任务，以具体的工作任务为载体，项目之间相对独立，多项任务层层分解，采用由浅入深、依次递进的结构形式，结合 LTE 基站系统真实的商用设备展开叙述。项目内容的编排和组织是以企业需求、学生的认识规律为依据进行确定的，先由认识移动通信技术开始，再到硬件设备、数据配置，再运用理论解决问题，贯穿设备的安装施工、数据配置、维护优化等过程，打破了传统的学科教材编写思路。每个任务都包含理论知识、实践知识，做到“理论够用，突出实践能力”。

全书内容为：项目一 LTE 的认识与发展，主要包括 LTE 的概况、标准化演进、下一代移动通信 5G 介绍；项目二 eNodeB 安装与硬件维护，主要包括 eBBU、eRRU 安装与硬件维护，基站设备检查与验收；项目三 LTE 网络天馈系统的安装与维护，主要包括 LTE 网络天馈系统的介绍、安装与维护；项目四 TD-LTE 网络规划与数据配置，主要包括物理配置、传输网络配置、无线参数配置、业务验证及故障排除；项目五 FDD-LTE 原理分析与数据配置，主要包括 LTE 关键技术和 FDD-LTE 综合配置。

本书由广州市信息工程职业学校的黄华兴担任主编，王亮担任副主编，对本书编写思路与大纲进行总体策划；项目一由吴泽萍编写；项目二和项

目四由黄华兴编写；项目三由黄卓瑜编写；项目五由王亮和中兴通讯企业讲师毛炳妹编写；全书由黄华兴统稿。本书在编写和统稿过程中，得到了中兴通讯教育合作中心、中通服建设有限公司无线一体化项目组蔡茂珊工程师和黎迪鸿工程师的大力支持。另外，编者还参考了大量的资料，因篇幅有限，不能一一列举，谨在此一并对资料作者表示衷心感谢！

由于编者水平有限，加上时间仓促，书中错误和不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者  
2019年3月

# 目 录

项目一 LTE 的认识与发展	1
学习任务 1 认识 LTE	2
学习任务 2 LTE 标准化演进	9
学习任务 3 认识下一代移动通信 5G	14
项目二 eNodeB 安装与硬件维护	22
学习任务 1 eBBU 安装与硬件维护	23
学习任务 2 eRRU 安装与硬件维护	38
学习任务 3 LTE 基站设备检查与验收	60
项目三 LTE 网络天馈系统安装与维护	68
学习任务 1 LTE 网络天馈系统	68
学习任务 2 LTE 天馈系统的安装	80
学习任务 3 LTE 网络天馈系统的维护	96
项目四 TD-LTE 网络规划与数据配置	100
学习任务 1 eNodeB 物理配置	101
学习任务 2 eNodeB 传输网络配置	119
学习任务 3 eNodeB 无线参数配置	136
学习任务 4 业务验证	158
学习任务 5 eNodeB 故障处理	177
项目五 FDD-LTE 原理分析与数据配置	182
学习任务 1 认识 LTE 关键技术	183
学习任务 2 FDD-LTE 综合配置	203
参考文献	216

# 项目一 LTE 的认识与发展

## 【项目场景】

开学了，开始了4G移动通信技术的学习，学生对LTE（Long Term Evolution，长期演进）的发展有比较大的兴趣，通过查阅大量的学习资料，对LTE的发展有了一定的认识。

## 【项目安排】

任务名称	学习任务1 认识LTE	建议课时	6
教学方法	讲解、讨论、自主探索	教学地点	实训室
任务内容	1. 认识LTE 2. LTE设计目标与业务能力 3. TD-LTE和FDD-LTE比较		
任务名称	学习任务2 LTE标准化演进	建议课时	4
教学方法	讲解、讨论、自主探索	教学地点	实训室
任务内容	1. 认识LTE R8版本 2. 认识LTE R9版本 3. 认识LTE R10版本 4. 认识LTE R11版本 5. 认识LTE R12版本		
任务名称	学习任务3 认识下一代移动通信5G	建议课时	6
教学方法	讲解、讨论、自主探索	教学地点	实训室
任务内容	1. 认识5G 2. 5G标准化工作 3. 5G架构部署 4. 认识5G关键技术		

# 学习任务 1 认识 LTE

## 【学习目标】

1. 能清楚描述 LTE 的概念
2. 能叙述移动通信技术演进过程
3. 能区分 TD-LTE 和 FDD-LTE 的异同
4. 阅读能力、表达能力以及职业素养有一定的提高

## 【知识准备】

### 一、认识 LTE

移动通信从 2G、3G 到 4G 的发展过程，是从低速语音到调速多媒体业务发展的过程。GSM 网络是最早出现的数字移动通信技术，它基于 FDD 和 TDMA 技术来实现，由于 TDMA 的局限性，GSM 网络发展受到容量和服务质量方面的严峻挑战，从业务支持种类来看，虽然采用 GPRS/EDGE 引入了数据业务，但由于采用的是 GSM 原有的空中接口，其带宽受到限制，无法满足数据业务多样性和实时性的需求。在技术标准发展方面，针对 GPRS 提出了 EDGE 以及 EDGE+ 的演进方向，但是 CDMA 接入方式的 3G 标准的出现使得 EDGE 淡出人们的视线。

CDMA 采用码分复用方式，虽然 2G 时代的 CDMA 标准成熟较晚，但是它具有抗干扰能力强、频谱效率高等技术优势，所以 3G 标准中的 WCDMA、TD-SCDMA 和 CDMA2000 都普遍采用了 CDMA 技术。

演进到 3G 网络时，GSM 系统可以采用 WCDMA 或者 TD-SCDMA 的路线，而 CDMA 则使用 CDMA2000 的途径。WCDMA 和 TD-SCDMA 早期标准为 R99，后来在 R4 版本中引入 IMS，R5 版本中引入 HSDPA，R6 版本中引入 HSUPA，R7 版本中引入 HSPA+，R8 版本则面向 LTE。

LTE 是由 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project, 第三代移动通信合作伙伴项目) 组织制定的 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System, 通用移动通信系统) 技术标准的长期演进，于 2008 年 12 月发布第一个版本 (Release 8)。为满足调整数据业务的需求，LTE 系统采用了 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 正交频分复用) 和 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output, 多人多出) 等关键技术，在网络架构和多址接入方面较 3G 网络有了革命性的变化，因此被业界通俗地称为 4G。

移动通信技术发展和演进过程如图 1-1 所示。

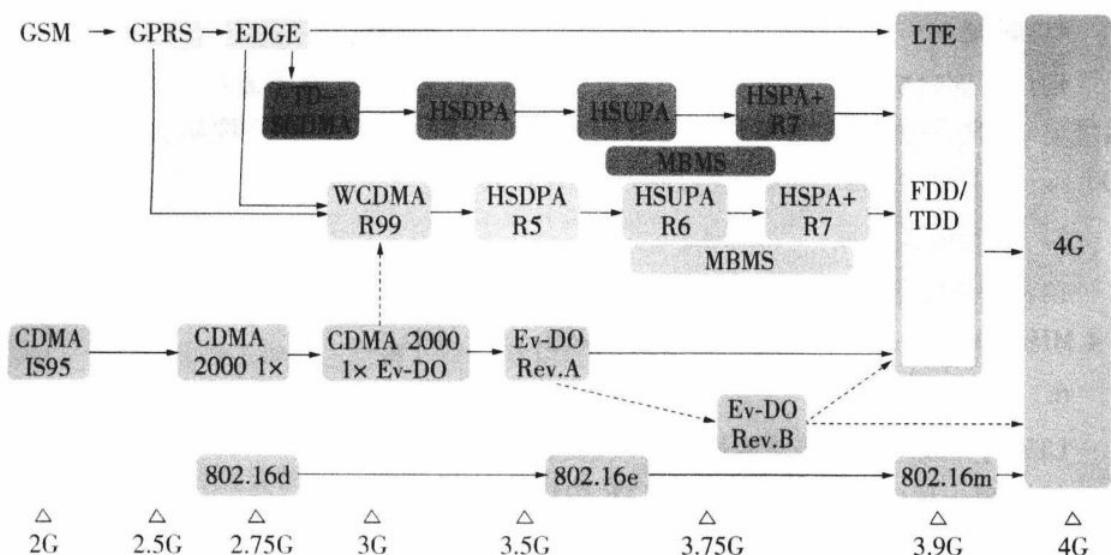


图 1-1 移动通信技术发展和演进过程图

## 二、LTE 设计目标与业务能力

LTE 系统的设计目标是以 OFDM 和 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 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 20 MHz 带宽内的上/下行数据峰值速率分别为 50 Mbit/s 和 100 Mbit/s, 对应峰值频谱效率分别为 2.5 bit/s/Hz 和 5 bit/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/下行平均峰值频谱效率分别大于 0.66 ~ 1.0 bit/s/Hz/cell 和大于 1.6 ~ 2.1 bit/s/Hz/cell, 小区边缘上/下行峰值频谱效率大于 0.02 ~ 0.03 bit/s/Hz/user 和大于 0.04 ~ 0.06 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 350 km/h 的情况下支持通信, 或根据使用的频段在更高带 (如 500 km/h) 时仍能支持通信。0 ~ 15 km/h 为最优性能, 15 ~ 120 km/h 为较高性能, 120 ~ 350 km/h 支持实时业务。

#### 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 系统要求用户平面内部单向传输时延（UE-eNodeB）小于 5 ms。控制面时延要求为 100 ms；从睡眠状态到激活状态迁移时间小于 50 ms。

#### 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。LTE 的信道带宽可以为 1.4 MHz、3 MHz、5 MHz、10 MHz、15 MHz、20 MHz。

#### 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) 具有自配置、自维护、自优化功能等操作和维护功能。
- (5) 支持简易部署和配置，例如家庭基站（Home NodeB，HNB）

### 三、TD-LTE 和 FDD-LTE 比较

根据双工方式的不同，LTE 系统定义了频分双工（FDD）和时分双工（TDD）两种双工方式。

FDD 是指在对称的频率信道上接收和发送数据，通过保护频段分离发送和接收信道的方式。像双车道运行，在上传与下载可同时进行，如图 1-2 所示。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。

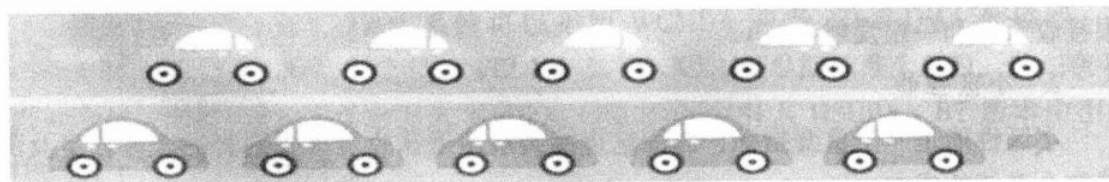


图 1-2 FDD-LTE 双工方式

TDD 是指通过时间分离发送和接收信道，发送和接收使用同一载波频率的不同时隙的方式，时间资源在两个方向上进行分配，因此基站和移动台必须协同一致工作。像单车道汽车运行，通过“信号灯”控制通道为上传或下载，如图 1-3 所示。

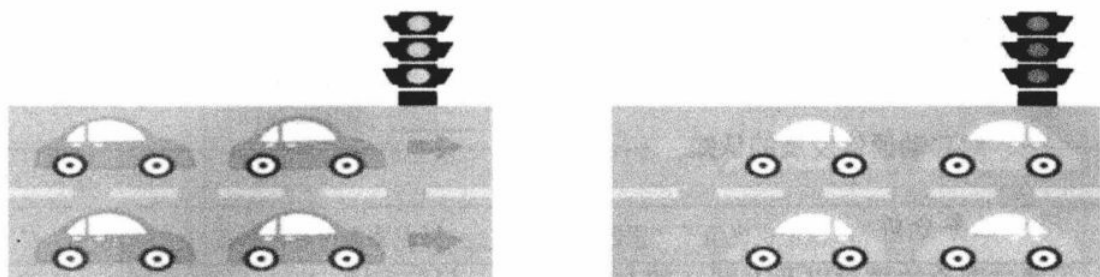


图 1-3 TD-LTE 双工方式

TDD 方式与 FDD 方式相比有一些独特的技术特点：

- (1) 能够灵活配置频率，使用 FDD 系统不易使用的零散频段；
- (2) 可以通过调整上下行时隙转换点，提高下行时隙比例，能够很好地支持非对称业务；
- (3) 具有上下行信道一致性，基站的接收和发送可以共用部分射频单元，降低了设备成本；
- (4) 接收上下行数据时，不需要收发隔离器，只需要一个开关即可，降低了设备的复杂度；
- (5) 具有上下行信道互惠性，能够更好地采用传输预处理技术，如预 RAKE 技术、联合传输 (JT) 技术、智能天线技术等，能有效地降低移动终端处理的复杂性。

TDD 双工方式相较于 FDD，也存在明显的不足：

- (1) 由于 TDD 方式的时间资源分别给了上行和下行，因此 TDD 方式的发射时间大约只有 FDD 的一半，如果 TDD 要发送与 FDD 同样多的数据，就要增大 TDD 的发送功率；
- (2) TDD 系统上行受限，因此 TDD 基站的覆盖范围明显小于 FDD 基站；
- (3) TDD 系统收发信道同频，无法进行干扰隔离，系统内和系统间存在干扰；
- (4) 为了避免与其他无线系统之间的干扰，TDD 需要预留较大的保护带，这影响了整体频谱利用效率；
- (5) TDD 对高速运动物体的支持性不够。

TD-LTE 与 FDD-LTE 整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，TD-LTE/FDD-LTE 已实现了标准、产品、产业、网络的全方位整合。

## 【任务实施】

## 一、对移动通信发展的认知

## 1. 任务分析

通过理论的学习以及上网（如 <http://www.c114.net/>、<http://www.cww.net.cn/>等）查阅资料，了解移动通信的发展过程及演进。

## 2. 任务训练

移动通信技术通常以代来划分，其中 1G 指 20 世纪 80 年代的模拟移动无线电系统，2G 是指首批数字通信系统，3G 指首批处理宽带数据的移动系统，4G 或 LTE 为移动宽带系统提供更好的支持，5G 将进一步提升移动互联网用户体验，并重点解决机器无线通信的物联网需求。

根据查阅的资料，完成速率、多址方式、双工方式等的比较，并写一份关于移动通信技术各代特点、关键技术等的报告。

## 3. 任务记录

## (1) 移动通信技术发展各阶段对比。

通信标准	2G		3G			4G	
蜂窝制式							
下行速率							
上行速率							
多址方式							
双工方式							
载频带宽							
速率							

(2) LTE 是\_\_\_\_\_的缩写，中文名称为\_\_\_\_\_。

## (3) LTE 的设计目标和业务能力。

峰值速率	上行峰值速率: _____ 下行峰值速率: _____
小区性能	
移动性	在终端移动速度达到_____的情况下仍支持通信
时延	用户面时延_____ 控制面时延_____
带宽配置	带宽为_____

## 4. 任务评价

评价项目	评价内容	分值	得分
实训态度	1. 积极参加技能实训操作	10	
	2. 按照安全操作流程进行操作	10	
	3. 遵守纪律	10	
实训过程	1. 能清楚描述 LTE 的概念	10	
	2. 能叙述移动通信技术演进过程	10	
	3. 能区分 TD-LTE 和 FDD-LTE 的异同	10	
实训报告	报告分析、实训记录	40	
合计		100	

## 5. 思考练习

(1) 关于 LTE 需求, 下列说法中正确的是 ( )。

- A. 下行峰值数据速率为 100 Mbit/s (20 MHz, 2 天线接收)
- B. 用户面时延为 5 ms
- C. 不支持离散的频谱分配
- D. 不支持不同大小的频段分配

(2) LTE 支持灵活的系统带宽配置, ( ) 带宽是 LTE 协议不支持的。

- A. 5 M
- B. 10 M
- C. 20 M
- D. 40 M

(3) LTE 为了解决深度覆盖的问题, 以下 ( ) 措施是不可取的。

- A. 增加 LTE 系统带宽
- B. 降低 LTE 工作频点, 采用低频段组网
- C. 采用分层组网
- D. 采用家庭基站等新型设备

(4) 以下说法正确的有 ( )。

A. LTE 支持多种时隙配置, 但目前只能采用 2:2 和 3:1

B. LTE 适合高速数据业务, 不能支持 VOIP 业务

C. LTE 在 2.6 GHz 的路损与在 TD-SCDMA 2 GHz 的路损相比要低, 因此 LTE 更适合高频段组网

D. TD-LTE 和 TD-SCDMA 共存不一定是共站址

## 学习任务 2 LTE 标准化演进

### 【学习目标】

1. 能叙述 LTE 标准的演进过程
2. 能区分各个版本的不同
3. 阅读能力、表达能力以及职业素养有一定的提高

### 【知识准备】

TD-LTE 是 TDD 版本的技术, FDD-LTE 是 FDD 版本的技术。TDD 和 FDD 的差异就是, TDD 是采用不对称频率进行双工的, 而 FDD 是采用对称频率来进行双工的。TD-LTE 是 TD-SCDMA 的后续演进技术, 是一种专门为移动高速宽带应用而设计的无线通信标准, 沿用了 TD-SCDMA 的帧结构。

TD-SCDMA 向 LTE 的演进路线为: 首先是在 TD-SCDMA 的基础上采用单载波的 HSDPA 技术, 速率达到 2.8 Mbps, 而后采用多载波的 HSDPA, 速率达到了 7.2 Mbps; 接着到 HSPA+ 阶段, 速率超过 10 Mbps, 并继续逐步提高它的上行接入能力, 最后从 HSPA+ 演进到 TD-LTE。TD-LTE 的技术优势体现在速率、时延和频谱利用率等多个领域, 使运营商能够在有限的频谱带宽资源上具备更强大的业务提供能力。另外, 在 TD-LTE 的标准化过程中, 还要考虑和 TD-SCDMA 的共存性要求。

### 一、认识 LTE R8 版本

3GPP 于 2008 年 12 月发布第一版 (Release 8, 简称 R8), R8 版本为 LTE 标准的基础版本。目前, R8 版本已非常稳定。R8 版本重点针对 LTE/SAE 网络的系统架构, 无线传输关键技术、接口协议与功能、基本消息流程、系统安全等方面均进行了细致的研究和标准化。

在无线接入网方面, 将系统的峰值数据提高至下行 100 Mbps、上行 50 Mbps; 核心网方面引入了纯分组域核心网系统架构, 并支持多种非 3GPP 接入网技术接入统一的核心网。

从 2004 年年底 LTE 概念的提出, 到 2008 年年底 R8 版本的发布, LTE 的商用标准文本制定及发布整整经历了 4 年时间, 对于 TDD 方式而言, 在 R8 版本中, 明确采用 Type 2 类型作为唯一的 TDD 物理层帧结构, 并且规定了相关的具体参数, 即 TDD-LTE 方案, 这为今后其后续技术的发展打下了坚实的基础。

## 二、认识 LTE R9 版本

2010 年 3 月第二版 (Release 9, 简称 R9) LTE 标准发布, R9 版本为 LTE 的增强版本。R9 版本与 R8 版本相比, 针对 SAE 紧急呼叫、增强型 MBMS (E-MBMS)、基于控制面的定位业务及 LTE 与 WiMAX 系统间的单射频切换优化等课题进行了标准化。

另外, R9 版本还开展一些新课题的研究与标准化工作, 包括公共告警系统、业务管理与迁移、个性回铃 CRS、多 PDN 接入及 IP 流的移动性、Home (e) NodeB 安全性及 LTE 技术的进一步演进与增强等。

## 三、认识 LTE R10 版本

2008 年 3 月, 在 LTE 标准化接近完成之时, 一个在 LTE 基础上继续演进的项目——先进的 LTE (LTE-Advanced) 项目在 3GPP 拉开了序幕。LTE-A 是在 LTE R8/R9 版本的基础上进一步演进和增强的标准, 它的一个主要目标是满足 ITU-R 关于 IMT-A (4G) 标准的需求。

LTE 相对于 3G 技术, 名为“演进”, 实为“革命”, 但是 LTE-Advanced 显然不会成为一次的“革命”, 而是在 LTE 基础上演进。LTE-Advanced 系统应自然地支持原 LTE 的全部功能, 并支持与 LTE 的前后向兼容性, 在 LTE R8 的终端可以介入未来的 LTE-Advanced 系统, LTE-Advanced 系统也可以接入 LTE R8 系统。

LTE R10 (Release 10, 简称 R10) 属于 LTE-Advanced 标准, 于 2011 年 3 月冻结。在 LTE 基础上, LTE-Advanced 的技术发展更多地集中在 RRM 技术和网络层的优化方面, 主要使用了如下一些新技术:

①载波聚合: 其核心思想是把连续频谱或若干离散频谱划分为多个成员载波 (Component Carrier, CC), 允许终端在多个子频带上同时进行数据收发。通过载波聚合, LTE-A 系统可以支持最大 100 MHz 带宽, 系统/终端最大峰值可达 1 Gbps 以上。

②增强上下行 MIMO: LTE R8/R9 下行支持最多 4 数据流的单用户 MIMO, 上行只支持多用户 MIMO。LTE-Advanced 为提高吞吐量和峰值速率, 在下行支持最高 8 数据流单用户 MIMO, 上行支持最高 4 数据流单用户 MIMO。

③中继 (Relay) 技术: 基站不直接将信号发送至 UE, 而是先发给一个中继站 (Relay Station, RS), 然后再由 RS 将信号转发给 UE。无线中继技术很好地解决了传统直放站的干扰问题, 不但可以为蜂窝网络带来容量提升、覆盖扩展等性能增强, 更可以提供灵活、快速的部署, 弥补回传链路缺失的问题。

④协作多点传输技术 (Coordinative Multiple Point, CoMP): LTE-A 中为了实现干扰规避和干扰利用的一项重要技术。此技术包括两类: 小区间干扰协调技术, 也称为干扰避免; 协作式 MIMO 技术, 也称为干扰利用。两种方式通过不同的技术降低小区间干扰, 提高小区边缘用户的服务质量和系统的吞吐量。

⑤针对室内和热点场景进行优化：未来移动网络中除了传统的宏蜂窝、微蜂窝，还有微微蜂窝以及家庭基站，这些新节点的引入使网络拓扑结构更加复杂，形成了多种类型节点共同竞争相同无线资源的全新干扰环境。LTE-A 的重点工作之一应该放在对室内场景进行优化方面。

#### 四、认识 LTE R11 版本

LTE R11 (Release 11, 简称 R11) 增强型 LTE-A, 标准工作于 2012 年 9 月冻结。相比 R10 版本, R11 版本新增如下内容:

**增强型载波聚合:** 多时间提前量 (TAS) 用于上行链路载波聚合、非连续的带内载波聚合、为支持 TDD-LTE 载波聚合, 物理层的变化。

**协作多点传输 (CoMP):** 是指地理位置上分离的多个传输点, 协同参与一个终端的数据 (PDSCH) 传输或者联合接收一个终端发送的数据 (PUSCH)。

**ePDCCH:** 为了提升控制信道容量, LTE R11 引入了 ePDCCH。ePDCCH 使用 PDSCH 资源传送控制信息, 而不像 R8 的 PDCCH, 只能使用子帧的控制区。

**基于网络的定位:** 这是一种上行定位技术, 其原理是基于 eNB 测量的参考信号的时间差来实现。

**最小化路测 (MDT):** 路测费用是昂贵的, 为了减少对路测的依赖, R11 推出了新的解决方案, 它独立于 SON, 基本上依赖于 UE 提供的信息。

**机对机通信的 Ran 过载控制:** 当过多设备接入网络时, 网络可以禁止一些设备向网络发送连接请求。

**智能手机电池节能技术:** UE 可以通知网络是否需要进入省电模式或普通模式, 根据 UE 的请求, 网络可以修改 DRX 参数。

#### 五、认识 LTE R12 版本

LTE R12 (Release 12, 简称 R12) 为更强的增强型 LTE-A, 标准工作于 2014 年 6 月冻结。相比 R11 版本, R12 版本新增了如下内容:

**增强型 small cell:** 主要内容包括密集区域部署 small cell、宏小区和 small cell 之间的载波聚合等。

**增强型载波聚合:** R12 允许 TDD 和 FDD 之间载波聚合, 还允许 3 载波聚合。

**机器对机器通信 (MTC):** 机器对机器通信爆发性增长, 会引起网络信令、容量不足的问题, 为了应付这种情况, 新的 UE category 被定义, 作为对 MTC 的进一步优化。

**WiFi 和 LTE 融合:** LTE 和 WiFi 之间融合, 运营商可以更好地管理 WiFi。在 LTE R12 中, 提出了 LTE 和 WiFi 之间的流量转移和网络选择机制。

**LTE 未授权频谱 (LTE-U):** 丰富的未授权频谱资源, 可以增加运营商网络容量和