

蜂窝异构网络 基础理论及其关键技术

Fundamental Theories and Key Technologies of
Cellular Heterogeneous Networks

滕颖蕾 宋 梅 刘梦婷 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

蜂窝异构网络 基础理论及其关键技术

滕颖蕾 宋 梅 刘梦婷 著



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 简 介

本书系统全面地介绍了蜂窝异构网络的基础理论及其关键技术。本书首先介绍了目前流行的网络分析方法——随机几何理论，及其在蜂窝异构网络性能分析方面的常用方法。其次，阐述频谱效率和能量效率的折中分析、小区范围扩张、无线资源分配、用户关联以及流量卸载、D2D 通信等蜂窝异构网络的关键技术。最后，讨论了未来网络密集化发展的趋势及超密集网络。

本书对蜂窝网络发展及蜂窝异构网络关键技术进行了有价值的研究，可供从事下一代无线通信系统研究的专业技术人员、管理人员，特别是从事蜂窝异构网络研究工作的研究者作为专业书籍使用；亦可作为研究生阶段蜂窝异构网络相关课程的教材或参考书使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

蜂窝异构网络基础理论及其关键技术 / 滕颖蕾, 宋梅, 刘梦婷著. --北京: 北京邮电大学出版社, 2016. 11

ISBN 978-7-5635-4958-0

I. ①蜂… II. ①滕…②宋…③刘… III. ①异构网络—研究 IV. ①TP393.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 264326 号

书 名: 蜂窝异构网络基础理论及其关键技术

著作责任者: 滕颖蕾 宋 梅 刘梦婷 著

责任编辑: 刘 颖

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号 (邮编: 100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京九州迅驰传媒文化有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 14.75

字 数: 328 千字

版 次: 2016 年 11 月第 1 版 2016 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-4958-0

定 价: 35.00 元

• 如有印装质量问题, 请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

近年来,随着无线通信技术和互联网技术的蓬勃发展,智能手机、平板电脑和各类终端设备的普及给用户提供了各式各样的应用和服务,同时,人们对于通过无线通信随时随地获取数据和多媒体服务的需求不断增加。在无线通信领域演进的过程中,为了提高无线数据传输速率,研究者们曾尝试各种方法来提高系统频谱效率,包括 MIMO、OFDM、多基站协作,以及目前比较热门的大规模天线等,但是面对 5G 提出的 1 000 倍速率提高的目标,单单这些方法不足以满足需要。一些学者专家提出通过增加网络节点密度的方法进一步提高上下行速率,因此密集网络的概念成为热点。未来通信网络发展的一个趋势就是异构化、密集化。目前,蜂窝异构网络(HetNet, Heterogeneous Network)通过传统蜂窝网络中宏基站的单层覆盖的基础上,针对“热点”和“盲点”等特定性区域进行加强覆盖,形成多层覆盖的网络结构,能够同时实现高数据流量增长并降低网络能耗。目前,这种新型网络结构已经得到业界许多组织和机构的认可并被广泛地投入民用和商用,毋庸置疑,未来网络会向异构化的方向发展,网络拓扑也将从单层向多层演进。

需要注意的是,本书中的“蜂窝异构网络”不同于早些年计算机领域提出的“异构网络”。异构网络是将相互重叠的不同类型网络融合起来,以满足未来终端业务多样性的需求,其概念与“同构网络”相对应。而在蜂窝异构网络是通过在传统宏基站的单层覆盖上实现有针对性的加强覆盖,其主要有两类方式:一种是通过引入与传统蜂窝通信制式相同的小型站点,如微微蜂窝基站、家庭基站、中继站点和射频拉远模块等;另一种是基于其他制式的通信方式,如 Wi-Fi、Ad hoc 网络、D2D/M2M(Device to Device, Machine to Machine)等。与传统蜂窝网络相比,蜂窝异构网络具有维护成本低、站点部署灵活、针对性覆盖加强等优势。然而,在蜂窝异构网络中,由于引入了不同类型的站点,网络结构从单层向多层演进,整个网络拓扑呈现随机化、不规则化的特点,传统的针对确定性拓扑结构的性能分析方法已经不再适用,寻求新的性能分析方法成为该研究领域关注的热点。同时,在这种新型异构结构中,多种接入方式并存、覆盖区域重叠,用户接入的选择、不同类型站点之间的干扰、无线资源分配、负载均衡等问题都将变得更加棘手。

本书编者根据多年来在蜂窝异构网络的研究及项目经历,结合无线通信领域的最新研究动态,全面而系统地介绍了蜂窝异构网络的基础理论及其关键技术。本书在编写时

尝试用一种由浅入深的方式进行论述,以随机几何理论为数学依托,从介绍相关的数学基础开始,进而讲述蜂窝异构网络模型的建立,逐渐深入到针对拓扑随机性常用的性能分析方法,进一步,针对蜂窝异构网络中常见的问题,介绍相关问题的分析方法和算法设计,旨在将蜂窝异构网络的重点和难点一一分解和细化。

本书一共包括 11 章。第 1 章概括性地介绍了蜂窝网络以及蜂窝异构网络的发展过程,并指出了未来网络的演进方向。第 2 章和第 3 章阐述的是蜂窝异构网络的性能分析方法,为后续章节的研究和分析提供理论指导。这两章从随机几何理论的基础开始讲起,从网络模型的建立到常见网络性能参数的分析都给予了详细的介绍,并附有相关模型的仿真方法和理论推导过程,帮助读者进行理论理解和仿真实践,并且能够做到举一反三。本书的第 4~第 9 章重点阐述和研究蜂窝异构网络的几个关键技术:频谱效率和能量效率的折中分析、小区范围扩张、无线资源分配问题、用户关联以及流量卸载、D2D 及其他几种关键技术。每一种关键技术都沿着概念、研究现状、难点分析、现有解决方法的思路一步步展开。第 10 章讲述了在标准化进程中有关蜂窝异构网络的内容。第 11 章针对当前无线网络的密集化部署趋势,简述了超密集网络的相关概念。值得注意的是,第 11 章中的超密集网络偏向于密集异构网络,即在异构网络中各类站点的密度实现指数级的增长,本质上也可归为异构网络。

本书对蜂窝异构网络的发展及其关键技术进行了有价值的研究,可供从事下一代无线通信系统研究的专业技术人员、管理人员,特别是从事蜂窝异构网络研究工作的研究者作为专业书籍使用;亦可作为研究生阶段蜂窝异构网络相关课程的教材或参考书使用。但是,由于编者的研究水平有限,并且通信技术的发展日新月异,所以书中难免存在遗漏和错误,诚挚地欢迎读者提出批评和建议,督促我们继续深化研究,同时促进通信相关领域的发展和进步。

本书的顺利出版需要感谢北京邮电大学 ICN&CAD 中心的若干老师和研究生,尤其是袁得崙博士和王雅莉博士对第 6 章及第 9 章节的贡献。倪先森、吴军甫、李瑞卿、冯琬蓉、王影、卢国锋、汤文杰、郝丹妮、谷群等参与了本书中重要部分的编写工作,欧阳卫平、赵万欣、张琪、孙玮琦等参与了本书的整理工作,在这里特别表示感谢。此外,张勇、王莉、魏翼飞、满毅、刘洋等对本书的若干内容也提出了很好的建议,在此向他们表示衷心的感谢。最后,还要感谢国家自然科学基金项目对于相关研究的资助。

作 者

目 录

第 1 章 蜂窝异构网络概述	1
1.1 蜂窝网络的概述	1
1.1.1 蜂窝网络的提出	1
1.1.2 蜂窝网络的特点	3
1.1.3 蜂窝网络的演进过程	4
1.2 蜂窝异构网络概述	8
1.2.1 蜂窝异构网络的产生与意义	8
1.2.2 蜂窝异构网络概念	9
1.2.3 蜂窝异构网络的特点	10
1.2.4 蜂窝异构网络的关键技术	11
1.2.5 蜂窝异构网络的发展方向	12
1.3 本书的组织结构	13
第 2 章 蜂窝异构网络模型	16
2.1 确定性模型	16
2.1.1 怀特模型	16
2.1.2 网格模型	17
2.2 随机模型	18
2.2.1 齐次泊松点过程	18
2.2.2 泊松核过程	21
2.2.3 二项泊松过程	23
2.2.4 泊松聚过程	25
2.2.5 液体模型	26
2.3 各种模型之间的比较	27
2.4 小结	29

第3章 随机网络分析基础	31
3.1 定义	31
3.2 重要性质和定理	32
3.3 点过程运算	33
3.3.1 稀释	33
3.3.2 叠加	35
3.3.3 聚类	37
3.3.4 随机位移	38
3.4 常用结论	39
3.4.1 与第 n 近邻点的距离分布函数	39
3.4.2 接触距离分布和弦长	42
3.4.3 面积分布	44
3.5 HPPP 模型下的性能分析	45
3.5.1 以用户为中心的模式	46
3.5.2 基于小区概念的模式	51
3.6 相关内容	56
3.6.1 仿真方法	56
3.6.2 HPPP 与指数分布、gamma 分布之间的联系与区别	58
第4章 蜂窝异构网络 SE 与 EE 的折中优化	61
4.1 频谱效率	61
4.1.1 频谱效率的定义	62
4.1.2 常用系统的频谱效率	64
4.2 能量效率	65
4.2.1 能量效率与绿色通信	65
4.2.2 能量效率的定义	68
4.2.3 高能效通信关键技术	71
4.3 SE 和 EE 折中关系分析	76
4.3.1 SE 与 EE 之间的关系	76
4.3.2 SE 与 EE 折中分析方法	80
第5章 小区范围扩张	86
5.1 CRE 概述	86
5.1.1 CRE 的提出背景	86

5.1.2	CRE 的分类	87
5.1.3	不同 CRE 技术的比较	89
5.1.4	CRE 的研究现状	91
5.2	偏置值的设计方法	92
5.2.1	静态法	92
5.2.2	动态法	94
5.2.3	静态法和动态法的比较	100
5.3	CRE 对网络性能的影响	100
5.3.1	平均每小区的负载	101
5.3.2	容量	102
5.3.3	频谱效率	103
5.3.4	能量效率	103
5.3.5	偏置值对网络性能参数的影响	104
5.4	CRE 的相关技术	106
5.4.1	时域干扰协调技术	106
5.4.2	CoMP	107
5.5	小结	108
第 6 章	蜂窝异构网络的无线资源分配	111
6.1	蜂窝异构网络资源分配的概述	111
6.1.1	无线资源分配概述	111
6.1.2	蜂窝异构网络无线资源分配研究现状	112
6.2	蜂窝异构网络资源分配的常用优化目标	113
6.2.1	最大化系统吞吐量模型	113
6.2.2	最小化系统功率消耗模型	114
6.3	蜂窝异构网络的无线资源分配方法	115
6.3.1	基于凸优化理论的蜂窝异构网络无线资源分配	115
6.3.2	基于李雅普诺夫稳定性的蜂窝异构网络无线资源分配	118
6.3.3	基于博弈理论的蜂窝异构网络中无线资源分配	120
6.3.4	其他资源分配方法	122
第 7 章	蜂窝异构网络中的用户关联与流量卸载	124
7.1	蜂窝异构网络中的用户关联	124
7.1.1	用户关联概述	124
7.1.2	蜂窝异构网络中的常用用户关联策略	126

7.2 蜂窝异构网络中的流量卸载	129
7.2.1 蜂窝异构网络的业务需求	129
7.2.2 基于 Femto 技术的流量卸载	130
7.2.3 基于电信级 Wi-Fi 技术的流量卸载	131
7.2.4 基于 D2D 的流量卸载	132
7.2.5 基于现有网络技术的流量卸载	133
7.3 小结	135
第 8 章 D2D	137
8.1 概述	137
8.1.1 D2D 的概念	137
8.1.2 D2D 的场景	138
8.1.3 D2D 的业务应用	141
8.2 D2D 传输过程	142
8.2.1 D2D 的工作频率选择	142
8.2.2 邻居发现	145
8.2.3 链路建立	148
8.2.4 代理服务	149
8.3 D2D 的资源分配技术	149
8.3.1 基于凸优化的资源分配	150
8.3.2 基于图论的资源分配	151
8.3.3 多跳 D2D 的资源分配	152
8.3.4 基于博弈论的资源分配	153
8.4 D2D 安全问题	154
第 9 章 蜂窝异构网络的其他关键技术	158
9.1 干扰对齐技术	158
9.1.1 干扰对齐技术产生的背景	158
9.1.2 干扰对齐技术的原理	159
9.1.3 干扰对齐技术的分类	160
9.2 双连接技术	166
9.2.1 双连接技术概述	166
9.2.2 双连接场景分析与设计方案与技术实现	166
9.3 蜂窝异构网络的物理层安全技术	168
9.4 蜂窝异构网络的节能技术	171

9.4.1	基于多小区协作的基站休眠节能技术	171
9.4.2	基于能效优先的 Relay 节点部署节能技术	174
9.4.3	基于绿色能源采集的基站节能技术	177
第 10 章	蜂窝异构网络的标准化	182
10.1	异构网络部署	182
10.1.1	多小区 ID 部署	182
10.1.2	共享小区 ID 部署	183
10.2	异构网络干扰协调	186
10.2.1	时域干扰协调	186
10.2.2	频域干扰协调	187
10.2.3	功率控制	188
10.3	移动性管理	189
10.3.1	切换管理	190
10.3.2	移动性位置管理	192
10.4	小蜂窝技术	192
10.4.1	小蜂窝网络架构	193
10.4.2	回传拓扑结构	195
10.4.3	小基站回传需求	196
10.4.4	小基站回传解决方案	199
10.4.5	小蜂窝基站部署	202
第 11 章	超密集网络	205
11.1	UDN 的背景及实现	205
11.2	UDN 的网络架构	208
11.3	UDN 的关键技术	211
11.3.1	多点协作传输技术	212
11.3.2	小区间干扰协调技术	212
11.3.3	虚拟小区	213
11.3.4	自组织网络	214
11.3.5	无线回传技术	215
11.3.6	移动性管理技术	216
缩略语		219

第 1 章 蜂窝异构网络概述

追溯通信系统的发展,自 20 世纪 70 年代至今,通信系统产业经历了多场技术变革,从最初的第一代模拟蜂窝通信(1G)到以全球移动通信系统(GSM, Global System for Mobile Communications)和 IS-95 为代表的第二代移动通信系统,随后又到时分同步的码分多址技术(TD-SCDMA, Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access)、宽带码分多址(WCDMA, Wideband Code Division Multiple Access)和码分多址(cdma2000, Code Division Multiple Access 2000)三足鼎立的第三代移动通信系统(3G)。然而,多媒体业务的发展以及数据通信需求并没有满足于 3G 带来的信息冲击,适应移动数据、移动计算及移动多媒体运作需要的第四代移动通信(4G, The Fourth Generation)的兴起,2013 年 4G 牌照的下发和各大运营商对 4G 业务的逐渐推进,标志着一个更快的 4G 时代已经逐渐渗透进我们的生活。全球 4G 的建设部署方兴未艾,5G 新型技术和网络架构研究开发的大幕已经在全球开启^[1]。

而说起移动通信,蜂窝移动通信可谓是当今通信领域发展最为迅速的技术。蜂窝网络通信作为移动通信技术的最基本架构,对通信技术以及人类生产生活乃至社会的发展都产生了重大的影响。本书重点讲述蜂窝网络当前演进过程的新形态——蜂窝异构网络及其关键技术。

1.1 蜂窝网络的概述

1.1.1 蜂窝网络的提出

众所周知,我们所使用的所有无线通信技术都要占用一定的频谱资源,与汽车行驶需要道路一样,但具有商用价值的无线频谱资源十分稀缺而且具有排他性^[2]。按照国际惯例,各国各地区的无线频谱都由诸如无线电管理委员会等组织管理,是政府管控的战略资源。在国外,通用做法是将无线频谱资源进行拍卖,电信运营商花重金购买其使用权,然后再利用得到的有限频谱资源在一定地理范围内运营移动通信网络,即我们所谓的授权频谱蜂窝网络。随着社会的不断进步和发展,公众移动通信系统的容量越来越大,但是频谱资源匮乏,频谱的分配不足成为限制通信发展的首要原因之一,通信领域技

术研究人员一直在探索,如何才能解决公用移动通信系统不断增长的容量需求与频率资源有限的矛盾。频率复用是解决该矛盾的有效技术手段,蜂窝网络的概念(如图 1-1 所示)也因此被提出。

在蜂窝网络出现以前,网络都是采用大区制:在一个服务区内(如一个城市)只有一个或几个基站,并由其负责移动通信的联络和控制,通常为了扩大服务区域的范围,基站天线架设得都很高,发射机输出功率较大。以语音通话为例,假设每个基站有 n 个频道,为了避免用户之间的干扰,需要给每个用户分配一个频道,那么该基站在某一时刻允许 n 个用户同时进行通信,但是用户的数量越来越多,就需要越来越多的频道,但是频谱资源这么稀缺,根本不够用,怎么办? 一些人就想到了把基站的覆盖范围减小,同时增加基站的个数,这样频谱段没有增加但是却可以容纳更多的用户^[4]。蜂窝组网的基本思想正是基于此:使用许多小功率的发射机(小覆盖区)来代替大功率的发射机(大覆盖区)。为了更方便地进行研究,我们假定整个服务小区的地形完全相同,基站采用全向的天线,覆盖区域大体可以看作一个圆,如果不留空隙地覆盖整个地区的话,圆形的小区之间就会有大量的交叠,实际有效的覆盖区应该是圆的内接正多边形区域,在单个小区半径相同,发射概率、天线增益等相同的情况下,正六边形的单位小区面积最大,覆盖同样面积的服务区所需小区的数量最小,基站最少,最为经济。实际上,由于地域地形的不同,电磁波在空中的传播是十分复杂并且不规则的,但是为了简化基站的覆盖模型,我们往往用六边形来代替基站的覆盖范围,这样看起来就像一个个蜂窝排列在一起(如图 1-1 所示),蜂窝网络便因此而得名。

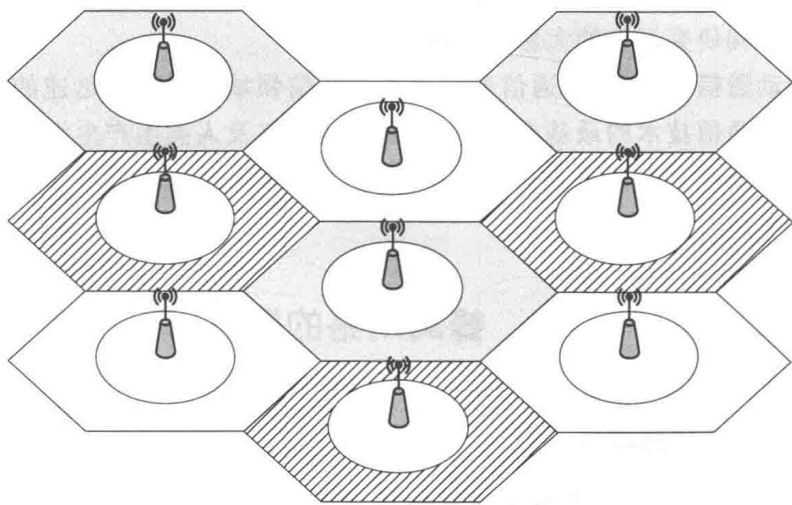


图 1-1 蜂窝网络的结构示意图

蜂窝移动通信的概念是美国著名的贝尔实验室在 1947 年提出的,1978 年世界上第一个蜂窝移动通信系统在芝加哥试验成功,并于 1983 年正式投入商用。20 世纪 80 年代以来,微电子技术、微机技术、数字集成技术、网络技术等基本技术日益成熟,使得实现蜂窝移动通信的技术不断提高和创新,尤其是在移动终端设备方面,逐渐实现了小型化,低功耗和高可靠性。蜂窝网络的成本不断降低,性能方面也不断完善,使得蜂窝移动通信

走入了越来越多的国家。^[6]

从1G到现在的4G都可以算是蜂窝式移动通信网络。然而在实际的网络中,由于受到地形的限制以及用户量分布不均、建网/建站的规划、现实站址的选择和各代技术的更新等诸多原因,现在的2G、3G、4G网络已经不能算是严格意义上的“蜂窝式”网络了。基于习惯,“蜂窝网络”这一名称一直被沿用下来。

1.1.2 蜂窝网络的特点

一般来说,蜂窝网络中每个小区的半径为2~20km,每个小区内各设一个小功率基站,基站可以位于小区中心(中心激励方式)或六边形顶点中的三个上(顶点激励方式),通常中心激励方式采用全向天线,顶点激励方式采用扇形天线,发射功率一般为5~20W。随着服务需求的增加,基站的数目就会不断增加,基站数目增加必然会对相邻的小区带来干扰,为了避免增加干扰,基站的发射功率要相应地减少,从整体上来看,系统的容量有所增加,但未增加额外功率。蜂窝系统采用小区制系统,引入冷热频率复用的概念,提高了频率利用率,扩大了用户容量,相同的信道组可以覆盖不同的小区,只要小区间距离足够远就不会引起干扰。

蜂窝组网思想的要点如下^[8]:

(1)蜂窝小区覆盖和小功率发射。将一个移动通信服务区划分成许多以正六边形为基本几何图形的蜂窝小区,采用较低功率的发射机覆盖小区并根据不同制式系统和不同用户密度挑选不同类型小区。

(2)频率复用。蜂窝系统的小区工作频率由于传播损耗提供足够的隔离度,在相隔一定距离的另一个小区可以复用使用同一组工作频率(频率复用)而不产生干扰。它能够从有限的原始频率分配中产生几乎无限的可用频率,实现无限系统扩容(如图1-2所示)。

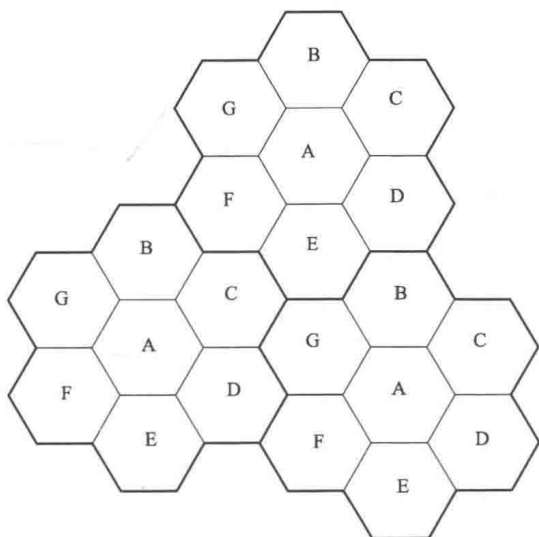


图 1-2 蜂窝网络的频率复用

(3)多波道共用和越区切换。多波道共用技术利用波道占用的间断性,可以被更多

的用户共同使用而仍能满足服务质量,使用户能够任意地合理地选择波道从而提高波道利用率。越区切换的功能为用户提供了跨小区业务的服务功能,即当移动用户处于通话状态,如果用户从一个小区移动到另一个小区,为保持业务的连续性,将处于正在通话的移动台转移到新的业务。

1.1.3 蜂窝网络的演进过程

20 世纪 70 年代中后期,美国贝尔实验室提出了在通信发展史上具有里程碑意义的小区制和蜂窝组网的理论,才有效地解决了移动通信系统中由于用户数量的激增带来的大量问题,开启了蜂窝通信发展的新时代,从此,移动通信系统在全世界开始得到了广泛的应用。中国于 1987 年引进蜂窝移动通信技术。经过不断的发展,中国的蜂窝移动通信网成为世界上最大的移动通信网。中国的蜂窝移动通信技术也经历了从第一代模拟通信技术到第三代数字通信系统的发展,至今,第四代移动通信技术开始进入商用,通信技术的发展历程如图 1-3 所示。

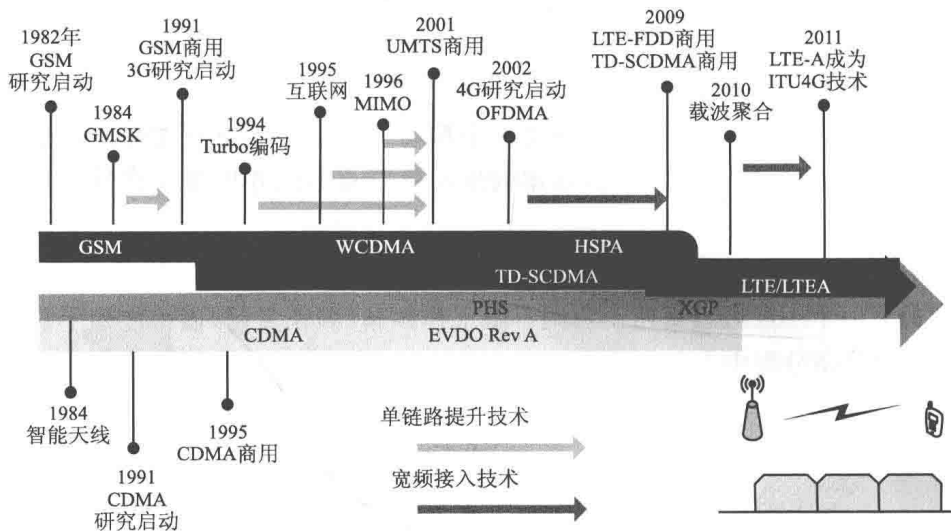


图 1-3 移动通信网络的发展历程

1. 第一代蜂窝移动通信系统(模拟移动通信系统)^[11]

第一代蜂窝移动通信系统(1G),是指最初的以语音通话为主的蜂窝电话标准。第一代移动通信系统主要采用频分多址技术(FDMA, Frequency Division Multiple Access),语音信号采用模拟调制与半双工模式。其典型代表是美国 AMPS 系统、英国的 ETACS 系统、北欧的 NMT-450 系统、日本的 NTT/JTACS/NTACS 系统等。此时通信行业初期的系统采用的是大功率发射基站,建立一个高塔,覆盖地区一般为 50km。第一代蜂窝网络技术为整个蜂窝移动通信的快速发展奠定了基础,但是随着科技的发展,其弊端也显现出来,主要有频谱利用率低,业务种类有限,保密性差,设备成本高,体积大重量大等缺点。

2. 第二代蜂窝移动通信系统(数字移动通信系统)^[12]

第二代移动通信系统(2G)以传输话音和低速数据业务为主要目的,采用了时分多址

(TDMA, Time Division Multiple Access)和码分多址(CDMA, Code Division Multiple Access)、语音编码、自适应均衡、数字调制、信道编码、交织、分集接收、功率控制等先进技术,频谱利用率高,可承载数字语音与传输等多种业务,保密性好,集成度高,又称为窄带数字通信系统。第二代基站主要是 GSM 与 CDMA 两大阵营,典型代表是美国的 DAMPS 系统,IS-95 和欧洲的 GSM 系统。

GSM 采用 FDD 双工方式和 TDMA 多址方式,每载频支持 8 个信道,信号带宽 200kHz。GSM 的标准体制较为完善,技术相对成熟,不足之处是相对于模拟系统容量增加不多,仅仅为模拟系统的两倍以上,无法和模拟系统兼容。

GSM 技术采用了高效调制器、信道编码、交织、均衡和语音编码技术,使系统具有高频谱效率。由于每个信道传输带宽增加,同频复用信噪比降低,GSM 系统的同频复用模式可以缩小到 4/12 或 3/9 甚至更小(模拟系统为 7/21);半速率语音编码的引入和自动话务分配减少越区切换的次数,使 GSM 系统的容量效率比 TACS 系统高 3~5 倍。GSM 标准提供开放性接口,并且不限于空中接口,可以利用现有的接口与其他网络互连。GSM 系统可以提供全球漫游。

DAMPS (先进的数字移动电话系统)也称 IS-54(北美数字蜂窝),使用 800MHz 频带,是两种北美数字蜂窝标准中推出较早的一种,指定使用 TDMA 多址方式。IS-95 是北美的另一种数字蜂窝标准,基于 CDMA 多址方式,每个载频含有 64 个信道,可工作在 800MHz 或 1 900MHz 频带。IS-95 系统采用了扩频、RAKE 接收技术以及功率控制等技术,具有良好的抗干扰特性,极大地提高了系统容量。

为了解决第二代移动通信技术中数据传输的问题,在 2000 年,人们在 GSM 中引入了通用分组无线服务(GPRS, General Packet Radio Service)技术,实现分组数据在蜂窝移动网络中的传输。GPRS 在移动用户与数据网络之间提供了一种连接,为用户提供高速无线接入服务,作为 GSM 与第三代移动通信技术的过渡,GPRS 又可称为 2.5G。

3. 第三代移动通信系统

第三代移动通信系统(3G)是由国际电信联盟(ITU, International Telecommunications Union)在 1985 年提出的。3G 技术是将无线通信与国际互联网多媒体通信结合的新一代移动通信系统,能够处理图像、音乐、视频等形式,提供网页浏览、电话会议、电子商务等信息服务,并能够支持不同的数据传输速度。3G 主流的三大标准为欧洲与日本的 WCDMA 技术、北美提出的 cdma2000 以及我国自主知识产权的 TD-SCDMA 技术。

3G 技术采用了更高的频带和更先进的无线(空中接口)接入技术,其通信质量较 2G、2.5G 网络有了很大的提高,更重要的是在传输声音和速度上的提升,并且 3G 能够在全球范围内实现无线漫游,并处理图像、音乐、视频流等多种媒体形式,包括网页浏览、电子商务和多种信息服务等,几乎所有互联网平台上可以实现的业务都可以在 3G 网络上运行。3G 网络具有良好的后向兼容性,实现了从 2G 网络到 3G 网络的平滑演进。同时,第三代移动通信系统使无线接口能够满足以下严苛的要求:快速移动环境中最高速率可达 144kbit/s,由此软切换技术使得旅途中高速运动的移动用户在驶出一个无线小区并进入另一个无线小区时不再出现掉话现象。而更高的频带范围和用户分级规则使得

单位区域内的网络容量大大提高,通话允许量大大增加。

值得一提的是,长期演进项目(LTE,Long Term Evolution)是 3G 的演进,起源于同意 3GPP 的多伦多会议,LTE 技术并不是 4G,严格上属于 3.9G,是 3G 与 4G 技术之间的过渡,主要采用了 OFDM 和 MIMO 技术。

4. 第四代移动通信系统(4G)

随着智能终端的大量使用和互联网的快速发展,信息量呈爆炸式的增长,用户对随时随地了解新闻、资讯、视频、游戏等信息的需求也越来越大。移动互联网用户的快速增长使得我们要想实现移动的、快速的、高效的网络必须要构建一个超大容量的网络来支撑。2008 年 3 月,在国际电信联盟-无线电通信部门(ITU-R,ITU-Radio communication sector)指定一组用于 4G 标准的要求,命名为 IMT-Advanced 规范,设定 4G 服务的峰值速度要求在 100 Mbit/s,高速移动的通信(如在火车和汽车上使用)和 1 Gbit/s 的固定或低速移动的通信(如行人和定点上网的用户,4G 包括两种制式:TDD-LTE 以及 FDD-LTE,采用基于全 IP 的分组交换网络)。

2013 年 12 月 4 日,工业和信息化部向中国移动、中国电信和中国联通公司颁发“LTE/第四代数字蜂窝移动通信业务(TD-LTE)”经营许可。2015 年 2 月 27 日,工信部向中国电信、中国联通颁发了第二张 4G 业务牌照,即 FDD-LTE 牌照。至此,我国全面进入 4G 规模商用时代。

4G 系统体现了移动与无线接入网和 IP 网络不断融合的发展趋势,在不相容的固定和无线平台以及跨越不容频带的网络运行中提供无线服务。实现全球范围内多个移动网络和无线网络间的无缝漫游,包括终端无缝以及内容无缝。4G 系统是多功能集成的宽带移动通信系统,不仅是联系人与人,更将联系人与机器、环境,人们将能够随时随地接入需要的多媒体信息,并可以远端控制其他设备。与现有的通信系统相比,4G 具有更高的数据速率和传输质量,更好的业务质量(QoS),更高的频谱利用率,更高的安全性、智能性和灵活性;可以容纳更多的用户,支撑包含非对称业务在内的多种业务。

5. 下一代移动通信技术的发展趋势

如今移动互联网正处于蓬勃发展的时期,这推动了下一代移动通信技术的发展,随着越来越多的业务不断通过无线网络提供给用户,云计算以及后台服务的广泛应用对下一代移动通信系统提出了更高的传输质量与系统容量要求。下一代移动通信系统的主要发展目标是与其他无线移动通信技术密切衔接,为移动互联网的快速发展提供无所不在的基础性业务能力。根据中国 IMT-2020 5G 推进组提出的 5G 概念白皮书,未来的 5G 需要为用户提供光纤般的接入速率,零时延的使用体验,千亿设备的连接能力,超高流量密度,超高连接数密度和超高移动性等多场景的一致服务,业务以及用户感知的智能优化,同时为网络带来超百倍的能效提升和超百倍的比特成本降低,最终实现“信息随心至,万物触手及”的总体愿景^[14]。

与 4G 相比,5G 技术则要满足以下要求:支持 0.1~1Gbit/s 的用户体验速率,每平方公里一百万的连接数密度,毫秒级的端到端时延,每平方公里数十 Tbit/s 的流量密度,每小时 500km 以上的移动性和数十 Gbit/s 的峰值速率^[14]。

中国移动提出的 5G 关键指标(如图 1-4 所示),包括性能指标和效率指标。性能需求体现了 5G 满足未来多样化业务与场景需求的能力,图 1-4 中的花瓣分别代表了 5G 的六大性能,其中用户体验速率、连接数密度和时延是三个关键的性能指标;效率需求则是实现 5G 可持续发展的基本保障,犹如植物的绿叶一般,其中三个关键的效率指标为频谱利用率、能耗和成本。相比 4G,频谱效率应提升 5~15 倍,能效和成本效率提升百倍以上^[16]。

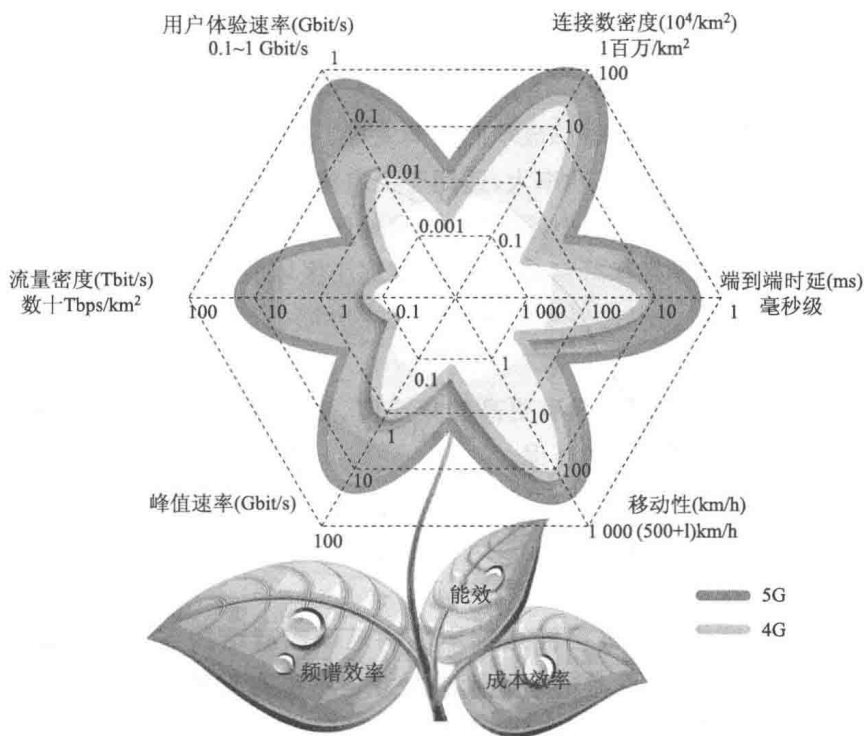


图 1-4 5G 的关键能力指标

综上所述,5G 技术的发展呈现出新的特点,具体如下^[18]:

- (1)5G 研究在推进技术变革的同时将更加注重用户体验,网络平均吞吐速率、传输时延以及对虚拟现实、3D、交互式游戏等新兴移动业务的支撑能力等将成为衡量 5G 系统性能的关键指标。
- (2)与传统的移动通信系统理念不同,5G 系统研究将不仅仅把点到点的物理层传输与信道编译码等经典技术作为核心目标,而是从更为广泛的多点、多用户、多天线、多小区协作组网作为突破的重点,力求在体系构架上寻求系统性能的大幅度提高。
- (3)室内移动通信业务已占据应用的主导地位,5G 室内无线覆盖性能及业务支撑能力将作为系统优先设计目标,从而改变传统移动通信系统“以大范围覆盖为主,兼顾室内”的设计理念。
- (4)高频段频谱资源将更多地应用于 5G 移动通信系统中,但由于受到高频段无线电波穿透能力的限制,无线与有线的融合、光载无线组网等技术将被更为普遍地应用。
- (5)可“软”配置的 5G 无线网络将成为未来的重要研究方向,运营商可根据业务流量