

5G丛书

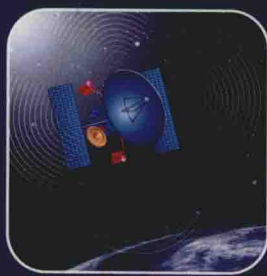
5G

关键技术与系统演进

5G: Key Technologies and System Evolution

主 编 陈 鹏

副主编 刘 洋 赵 嵩 朱剑驰



- ▶ 以深入浅出、易读为准则，全面展示5G概念体系
- ▶ 以无线通信诸要素为维度，系统厘清5G关键技术
- ▶ 以系统设计与标准为目标，清晰呈现5G演进思考



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

5G 丛书

5G：关键技术与系统演进

主编 陈 鹏

副主编 刘 洋 赵 嵩 朱剑驰

参编 余小明 洪 伟 蒋 峥 梁 林 等



机械工业出版社

本书主要内容包括 5G 系统概述、需求、网络架构以及潜在关键技术,编写本书的目的在于为 5G 技术与标准化工作提供尽可能详实的参考资料。本书共 8 章,第 1、2 章分别对 5G 在国际上的研究进展、5G 网络需求和指标进行介绍,第 3~8 章分别从网络架构和接入技术两方面对 5G 潜在关键技术展开具体阐述,其中接入技术包括 5G 的热门研究方向:大规模天线、超密集组网、高频应用、新型物理接入技术等,系统呈现了关于 5G 演进的思考。

本书适合作为从事无线蜂窝通信领域的研发人员、系统设计人员在技术研究开发时的参考资料,同时也可供高等院校通信及相关专业的师生参考阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

5G: 关键技术与系统演进/陈鹏主编. —北京:机械工业出版社, 2015. 10
ISBN 978-7-111-52197-6

(5G 丛书)

I. ①5… II. ①陈… III. ①无线电通信-移动通信-通信技术
IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 271524 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:李馨馨 责任编辑:李馨馨

责任校对:张艳霞 责任印制:乔宇

北京中兴印刷有限公司印刷

2016 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·14.25 印张·351 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-52197-6

定价:49.80 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

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

序

蜂窝通信日益渗透到人们生活、工作、娱乐等方方面面，智能手机的日渐普及伴随着层出不穷的新应用，使得用户对系统容量的需求呈指数式增长。除了支持移动宽带，无线通信未来的应用将扩展到物联网领域，包括智能抄表、工业自动化、车联网、体联网等。5G就是在这样的大环境下应运而生。自2012年欧盟启动METIS研究计划，中国、韩国、日本都相继成立了代表各自国家的5G推进组织。除此之外，一些行业联盟例如NGMN也开始了对5G应用场景需求的讨论。在标准方面，ITU已经正式命名5G为IMT-2020，确定了5G标准制定的时间表，并开始愿景和需求的研究，3GPP也对5G的标准化进程作了初步的规划。一时间全球范围内掀起了5G的研究热潮。

本书的出版恰逢5G从初期的探索性研究转向工程设计的阶段，及时性是该书的一大特点。本书作者在蜂窝通信领域有多年的研究经验，并积极参与中国IMT-2020(5G)推进组的工作。近两年来，本书作者深入研究5G的潜在技术，在超密集组网、高频通信、新型多址、大规模天线、灵活双工等接入技术方向上展现了深厚的研究实力，向IMT-2020(5G)推进组输出了很多高质量的文稿；另外，在网络架构方面也有很多独到想法。本书一方面是对目前5G技术研究的很好的梳理，给读者一个对5G主流技术的全面认识；另一方面相对详细地描述了作者关于5G解决方案和设计上的考虑，对于希望深度了解5G的读者有更大的参考价值。

5G的研究和标准化相对于4G将不会是完全另起炉灶，不具后向兼容性的全新空口当然是5G不可缺少的部分，但是5G本身还带有很多LTE-Advanced演进的成分。本书作者亲临3GPP工作组会议，在多维天线(FD-MIMO)、网络辅助干扰消除(NAICS)和LTE辅助的非授权频谱接入(LAA)等议题上投入较深，输出多篇3GPP标准提案。本书以相当篇幅对这些演进类技术作了描述，不仅提供了更全面的5G图画，而且也可以看成是5G具体技术标准化的前奏。

本书的另一大特点是涵盖全面，除了如书名所体现的5G关键技术，对于场景需求分析、未来5G频谱规划等也作了全面的介绍。场景需求预示了大的技术走向，5G的未来应用具有多样性，远远超出蜂窝网已有的商业模式，这对技术的研究提出了新的要求。频谱规划限制了无线电波的传播特性、器件的可实现性以及不同无线系统之间的干扰共存。从这个角度，需求、频谱和关键技术三个方面相辅相成，共同组成了5G的整体思路。

中国在无线通信标准领域从第一、二代的跟随、第三代的参与、到第四代的开花，经历了一个不断提高的过程。目前，以中国移动、中国电信为代表的电信运营商，以华为、中兴为代表的电信设备商在无线通信标准领域的影响力日益提升，我们在5G时代的目标是引领。本书就如同一幅动人的剪影，为一般读者和专业人士揭开了未来5G技术的面纱。

袁弋非

“千人计划”国家特聘专家

中兴通讯战略规划部标准预研总工程师

2015年7月

前 言

伴随着社会的飞速发展，近几十年来，无线通信系统的演进始终行进在快车道上。以LTE/LTE-Advanced为代表的第四代移动通信系统（4G）的热潮方兴未艾，关于第五代移动通信系统（5G）的研究与标准化工作又已提上日程。本书着眼于5G，试图厘清5G潜在的关键技术，并系统呈现关于5G演进的思想，从而为5G技术与标准化工作提供尽可能详实的参考资料。

回顾历次无线通信系统的演进，目标不同，系统架构与关键技术也均存在差异，然而其研究过程却是有规律可循的。从百花绽放的候选技术，到精炼缜密的系统设计与标准方案，其过程如大浪淘沙，大致可以分为层层递进的三个层面。

一是总体架构层面。主要工作是甄别系统演进的方向，并进行总体设计。形象一点，这部分的工作如在旷野中，将水文、地貌诸条件查勘清楚，并指明勘探的方向与愿景。在这部分工作中，需要对政策空间、产业预期、产业链需求等要素有客观全面的理解。并基于此之上，以产业各环节利益均衡为目标，完成总体架构的设计。

二是技术选择层面。主要工作是将总体方向细化为若干支撑技术的组合，并进行筛选与优化。相比于第一层面，这部分的工作如将矿石进行分拣、处理，去掉无用的部分，并将有用的部分冶化成真金白银。在这部分工作中，需要量化个体技术的复杂度与预期增益，以性能与可实现性的平衡为目标，输出经筛选后的技术或技术组合。

三是系统设计层面。主要工作是对相关的技术进行细化地评估与设计，并最终呈现出可实现的、具有高性价比的系统方案。这部分的工作如将真金白银进行雕琢加工，细化处理，并提供给用户缜密、细致的最终产品。这部分工作的输入包括技术参数的优化、标准化空间、设备实现空间等。预期输出则是具备高性价比与可实现性的系统设计与业界公认的标准。

以上各层面，承上启下，如链条般层层咬合。任何一个层面工作质量的缺失，都将对最终的系统演进方案与标准产生难以估量的影响。

对于5G无线通信系统演进研究而言，需求与愿景部分已基本明确。因此，当前工作的重点是第二与第三层面，即优化、筛选潜在关键技术，并基于业界共识，启动5G国际标准的研究与制定工作。结合业界研究工作的进展，本书将重点呈现以下内容，力图为5G的后续研究与标准化工作提供尽可能详实的参考。

一是5G候选技术与潜在增益分析。当前，5G候选技术纷繁多样。本书将以空域、频域、地理域等无线通信要素为维度，并结合相关维度的扩展，对相关候选技术及其性能进行梳理，从而为读者呈现出条理清晰的5G候选技术脉络。

二是对于5G演进与技术选择的思考。回顾历次无线通信系统演进，最成功的系统与技术的未必是最优的，但却一定是最合理、各环节平衡性兼顾得最好的。古人有“度”的智慧，与这里的“平衡”有着异曲同工之妙。本书编者长期从事无线新技术研究与国际标准化工作，在书中将技术分析 with 平衡性原则相结合，为读者提供5G无线通信系统演进方面的

思考。

此外，本书也会对业界 5G 研究的进展、需求、愿景等进行阐述与总结，以保持全书概念体系的完整性。

本书由陈鹏担任主编，刘洋、朱剑驰、赵嵩担任副主编，参加本书编写的还有余小明、洪伟、蒋峥、梁林、李欣、韩斌、杨姗、王达、杨蓓。各位同事的技术积累、专业精神与无私支持是完成本书的动力所在。

由于编者的知识视野有一定的局限性，书中如有不准确、不完善之处，也敬请广大读者与同行专家批评指正。

编 者
2015 年 7 月

目 录

序	
前言	
第 1 章 5G 概述	1
1.1 移动通信的演进背景	1
1.2 5G 来了	3
第 2 章 5G 需求	6
2.1 5G 驱动力：移动互联网/物联网飞速发展	6
2.1.1 服务更多的用户	6
2.1.2 支持更高的速率	6
2.1.3 支持无限的连接	7
2.1.4 提供个性的体验	8
2.2 运营需求	8
2.2.1 建设 5G “轻形态”网络	8
2.2.2 业务层面需求	10
2.2.3 终端层面需求	10
2.3 5G 系统指标需求	11
2.3.1 ITU-R 指标需求	11
2.3.2 用户体验指标	12
2.3.3 系统性能指标	13
2.4 5G 技术框架展望	14
参考文献	15
第 3 章 整体网络架构	16
3.1 5G 核心网演进方向	16
3.1.1 软件定义网络	16
3.1.2 网络功能虚拟化	17
3.2 5G 无线接入网架构演进方向	19
3.2.1 多网络融合	19
3.2.2 无线 MESH	23
3.2.3 虚拟化	28
3.3 小结	30
参考文献	30
第 4 章 大规模天线技术	32
4.1 大规模天线概述	32
4.2 大规模天线技术基础	33

4.2.1	传统 MIMO 技术	33
4.2.2	大规模天线技术的理论基础	40
4.2.3	大规模天线信道模型	47
4.3	大规模天线的挑战	57
4.3.1	天线的非理想特性	57
4.3.2	信道信息的获取	58
4.3.3	多用户传输的挑战	59
4.3.4	覆盖与部署	60
4.4	大规模天线技术方案前瞻	61
4.4.1	大规模天线的部署场景	61
4.4.2	大规模天线的关键技术研究	65
4.4.3	轻量化大规模天线的技术方案	76
4.5	小结	82
	参考文献	82
第 5 章	异构网络部署	85
5.1	技术基础及标准演进	85
5.1.1	小区间干扰协调	86
5.1.2	协同多点传输 (CoMP)	91
5.1.3	动态小区开关	95
5.1.4	数据信道的增强接收机	99
5.2	超密集组网技术方案前瞻	104
5.2.1	UDN 应用场景	104
5.2.2	UDN 的挑战	106
5.2.3	UDN 的关键技术	107
5.2.4	UDN 移动性管理	119
5.2.5	UDN 性能分析	124
5.3	网络解决方案	129
5.3.1	热点、盲点识别和覆盖	130
5.3.2	物理小区标识管理	134
5.3.3	切换参数优化	135
5.3.4	商业模式	139
	参考文献	143
第 6 章	先进的频谱利用	145
6.1	概述	145
6.2	无线频谱分配现状	145
6.2.1	中低频段分配现状	146
6.2.2	高频段分配现状	147
6.3	增强的中低频谱利用	149
6.3.1	授权辅助接入	149

6.3.2 授权共享接入	158
6.4 高频频谱利用	160
6.4.1 高频信道模型	160
6.4.2 高频器件发展	168
6.4.3 高频组网性能评估	172
6.5 小结	174
参考文献	175
第7章 灵活的物理接入	177
7.1 技术基础	177
7.2 5G 系统物理层的挑战	180
7.3 非正交多址技术	182
7.3.1 非正交多址的系统模型与理论界限	182
7.3.2 非正交多址的方案设计	185
7.3.3 非正交多址的应用场景与系统设计	192
7.4 灵活双工技术	193
7.4.1 技术原理与应用场景	193
7.4.2 频段使用规则	195
7.4.3 共存分析	195
7.5 同时同频全双工技术	198
7.5.1 全双工的技术原理	198
7.5.2 全双工的系统设计和应用场景	199
7.6 新型调制与编码	200
7.6.1 新型调制技术	200
7.6.2 新型编码技术	201
7.6.3 调制编码与软件无线电	203
参考文献	204
第8章 探讨与实践	206
8.1 机器间通信 (M2M/MTC)	206
8.1.1 M2M 市场规模与前景	206
8.1.2 M2M/MTC 技术标准演进	207
8.1.3 M2M 技术的机遇与挑战	210
8.2 设备间直接通信 (D2D)	211
8.2.1 D2D 技术概述	211
8.2.2 D2D 标准进展	212
8.2.3 D2D 终端中继技术探索	213
8.3 小结	217
参考文献	217

第1章 5G 概述

1.1 移动通信的演进背景

从美国贝尔实验室提出蜂窝小区的概念算起，移动通信系统的发展可以划分为几个“时代”。到20世纪80年代，移动通信系统实现了大规模的商用，可以被认为是真正意义上的1G（The first generation，第一代）移动通信系统，1G由多个独立开发的系统组成，典型代表有美国的AMPS（Advanced Mobile Phone System，高级移动电话系统）和后来应用于欧洲部分地区的TACS（Total Access Communications System，全址接入通信系统），以及NMT（Nordic Mobile Telephony，北欧移动电话）等，其共同特征是采用FDMA（Frequency Division Multiple Access，频分多址）技术，以及模拟调制语音信号。第一代系统在商业上取得了巨大的成功，但是模拟信号传输技术的弊端也日渐明显，包括频谱利用率低、业务种类有限、无高速数据业务、保密性差以及设备成本高等。为了解决模拟系统中存在的这些根本性技术缺陷，数字移动通信技术应运而生。

2G（The second generation，第二代）移动通信系统基于TDMA（Time Division Multiple Access，时分多址）技术，以传输语音和低速数据业务为目的，因此又称为窄带数字通信系统，其典型代表是美国的DAMPS（Digital AMPS，数字化高级移动电话系统）、IS-95和欧洲的GSM（Global System for Mobile Communication，全球移动通信）系统。数字移动通信网络相对于模拟移动通信，提高了频谱利用率，支持针对多种业务的服务。80年代中期开始，欧洲首先推出了GSM体系，随后，美国和日本也制订了各自的数字移动通信体制。其中，GSM使得全球范围的漫游首次成为可能，是一个可互操作的标准，从而被广为接受；进一步，由于第二代移动通信以传输语音和低速数据业务为目的，从1996年开始，为了解决中速数据传输问题，又出现了2.5代的移动通信系统，如GPRS（General Packet Radio Service，通用分组无线服务技术）、EDGE（Enhanced Data Rate for GSM Evolution，增强型数据速率GSM演进技术）和IS-95B。这一阶段的移动通信主要提供的服务仍然是针对语音以及低速数据业务，但由于网络的发展，数据和多媒体通信的发展势头很快，所以逐步出现了以移动宽带多媒体通信为目标的第三代移动通信。

在20世纪90年代2G系统蓬勃发展的同时，在世界范围内已经开始了针对3G（The third generation，第三代）移动通信系统的研究热潮。3G最早由ITU（国际电信联盟）于1985年提出，当时称为FPLMTS（Future Public Land Mobile Telecommunication System，未来公众陆地移动通信系统），1996年更名为IMT-2000（International Mobile Telecommunication-2000），意即该系统工作在2000MHz频段，最高业务速率可达2000 kbit/s，预期在2000年左右得到商用。3G的主要通信制式包括欧洲、日本等地区主导的WCDMA（Wideband Code Division Multiple Access，宽带码分多址）、美国的CDMA2000和中国提出的TD-SCDMA，

影响范围最广的当属基于码分多址的宽带 CDMA 思路的 WCDMA。针对 WCDMA 的研究工作最初是在多个国家和地区并行开展的,直到 1998 年底 3GPP (3rd Generation Partnership Project, 第三代合作伙伴计划) 成立, WCDMA 才结束了各个地区标准独自发展的情况。WCDMA 面向后续系统演进出现了 HSDPA (High Speed Downlink Packet Access, 高速下行分组接入) /HSUPA (High Speed Uplink Packet Access, 高速上行分组接入) 系统架构,其峰值速率可以达到下行 14.4 Mbit/s,而后又进一步发展的 HSPA+,可以达到下行 42 Mbit/s/上行 22 Mbit/s 的峰值速率,仍广泛应用于现有移动通信网络中。

目前对移动通信发展最有影响力的组织之一的 3GPP,在进行 WCDMA 系统的演进研究和标准化的同时,随后继续承担了 LTE (Long Term Evaluation) /LTE - Advanced 等系统的标准制定工作,对移动通信标准的发展起到至关重要的作用。3GPP 的成员单位包括 ARIB (Association of Radio Industries and Businesses, 日本无线工业及商贸联合会) (日本)、CCSA (China Communications Standards Association, 中国通信标准化协会) (中国)、ETSI (European Telecommunications Standards Institute, 欧洲电信标准化协会) (欧洲)、ATIS (The Alliance for Telecommunications Industry Solutions, 世界无线通信解决方案联盟) (美国)、TTA (Telecommunications Technology Association, 电信技术协会) (韩国) 和 TTC (Telecommunications Technology Committee, 电信技术委员会) (日本) 等。另外,除了 3GPP, 3GPP2 (3rd Generation Partnership Project 2, 第三代合作伙伴计划 2) 和 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 电气和电子工程师协会) 也是目前国际上重要的标准制定组织。

在移动通信系统的发展过程中,国际电信联盟的 ITU - R (International Telecommunications Union - Radio Communications Sector, 国际电信联盟无线通信委员会) 作为监管机构起到了至关重要的作用,ITU - R WP5D (working party 5D) 定义了国际上包括 3G 和 4G (The fourth Generation, 第四代) 移动通信系统的 IMT (International Mobile Telecommunications) 系统,其中 2010 年 10 月确定的 4G 系统也称为 IMT - Advanced,包括了 LTE - Advanced (3GPP Release10) 以及 IEEE 802.16 m 等。ITU - R WP5D 定义 4G 与定义 3G 的过程相似,首先提出面向 IMT - Advanced 研究的备选技术、市场预期、标准准则、频谱需求和潜在频段,而后基于统一的评估方法,根据需求指标来评估备选技术方案。为满足 ITU 的需求指标,3GPP 提交的 4G 候选技术是 LTE - Advanced (Release 10),而非 LTE (Release 8),所以严格意义上说 LTE 并非 4G。从技术框架来看,LTE - Advanced 是 LTE 的演进系统,一脉相承地基于 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, 正交频分多址) 的多址方式,满足如下技术指标:100 MHz 带宽;峰值速率:下行 1 Gbit/s,上行 500 Mbit/s;峰值频谱效率:下行 30 bit/s/Hz,上行 15 bit/s/Hz。在 LTE 的 OFDM/MIMO (Multiple - Input Multiple - Output, 多入多出技术) 等关键技术基础上,LTE - Advanced 进一步包括频谱聚合、中继、CoMP (Coordinated multiple point, 多点协同传输) 等。

以上各阶段移动通信系统的发展如图 1-1 所示。

从 1G 到 4G 的发展脉络可见,移动通信的每一次更新换代都解决了当时的最主要需求。如今,移动互联网和物联网的蓬勃发展使大家都相信,到 2020 年,需要无线通信系统新的革新来满足业务量提升带来的巨大的数据传输需求,各个国家地区也都在 ITU - R WP5D 工作组提出了 5G (The fifth generation, 第五代) 移动通信系统的构想,在 IMT - Advanced 之后,ITU - R 已经针对名为 IMT - 2020 的 5G 系统开始征集意见并开展相关的

研究工作。

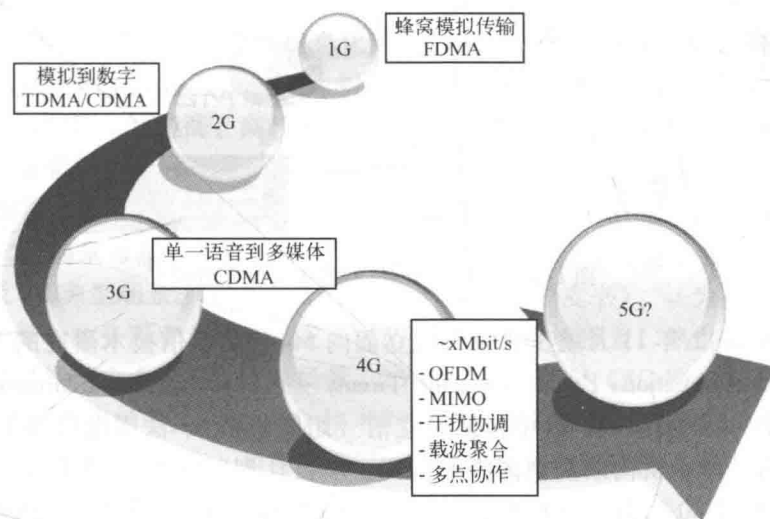


图 1-1 移动通信系统发展

1.2 5G 来了

在过去 20 多年中，移动通信经历了从语音业务到高速宽带数据业务的飞跃式发展。未来，人们对移动网络的新需求将进一步增加：一方面，预计未来 10 年移动网络数据流量将呈爆发式增长，将达到 2010 年的数百倍或更多，尤其是在智能手机成功占领市场之后，越来越多的新服务不断涌现，例如电子银行、网络化学习、电子医疗以及娱乐点播服务等；另一方面，我们在不久的将来会迎来一次规模空前的移动物联网产业浪潮，车联网、智能家居、移动医疗等将会推动移动物联网应用爆发式的增长，数以千亿的设备将接入网络，实现真正的“万物互联”；同时，移动互联网和物联网将相互交叉形成新型“跨界业务”，带来海量的设备连接和多样化的业务和应用，除了以人为中心的通信以外，以机器为中心的通信也将成为未来无线通信的一个重要部分，从而大大改善人们的生活质量、办事效率和安全保障，由于以人为中心的通信与以机器为中心的通信的共存，服务特征多元化也将成为未来无线通信系统的重大挑战之一。

需求的爆炸性增长给未来无线移动通信系统在技术和运营等方面带来巨大挑战，无线通信系统必须满足许多多样化的要求，包括在吞吐量、时延和链路密度方面的要求，以及在成本、复杂度、能量损耗和服务质量等方面的要求。由此，针对 5G 系统的研究应运而生。

近年来，在经历了移动通信系统从 1G 到 4G 的更替之后，移动基站设备和终端计算能力有了极大提升，集成电路技术得到快速发展，通信技术和计算机技术深度融合，各种无线接入技术逐渐成熟并规模应用。可以预见，对于未来的 5G 系统，不能再用某项单一的业务能力或者某个典型技术特征来定义，而应是面向业务应用和用户体验的智能网络，通过技术的演进和创新，满足未来包含广泛数据和连接的各种业务快速发展的需要，提升用户体验。

在世界范围内，已经涌现了多个组织对 5G 开展积极的研究工作，例如欧盟的 METIS、5GPPP、中国的 IMT-2020 (5G) 推进组、韩国的 5G Forum、NGMN、日本的 ARIB AdHoc

以及北美的一些高校等（见图 1-2）。



图 1-2 全球关于 5G 的各主要研究组织

欧盟已早在 2012 年 11 月就正式宣布成立面向 5G 移动通信技术研究的 METIS (Mobile and Wireless Communications Enablers for the Twenty - Twenty (2020) Information Society) 项目。该项目由 29 个成员组成，其中包括爱立信（组织协调）、法国电信等主要设备商和运营商、欧洲众多的学术机构以及德国宝马公司。项目计划时间为 2012 年 11 月 1 日至 2015 年 4 月 30 日，共计 30 个月，目标为在无线网络的需求、特性和指标上达成共识，为建立 5G 系统奠定基础，取得在概念、雏形、关键技术组成上的统一意见。METIS 认为未来的无线通信系统应实现以下技术目标：在总体成本和能耗处在可接受范围的前提下，容量稳定增长，提高效率；能够适应更大范围的需求，包括大业务量大和小业务量；另外，系统应具备多功能性，来支持各种各样的需求（例如可用性、移动性和服务质量）和应用场景。为达到以上目标，5G 系统应较现有网络实现 1000 倍的无线数据流量、10 ~ 100 倍连接终端数、10 ~ 100 倍的终端数据速率、端到端时延降低到现有网络的 1/5 以及实现 10 倍以上的电池寿命。METIS 设想这样一个未来——所有人都可以随时随地获得信息、共享数据、连接到任何物体。这样“信息无界限”的“全联接世界”将会大大推动社会经济的发展 and 增长。METIS 已发布多项研究报告，近期发布的《Final report on architecture》，对 5G 整体框架的设定具有参考意义。

另外，欧盟于 2013 年 12 月底宣布成立 5GPPP (5G Infrastructure Public - Private Partnership)，作为欧盟与未来 5G 技术产业共生体系发展的重点组织，5GPPP 由多家电信业者、系统设备厂商以及相关研究单位共同参与，其中包括爱立信、阿尔卡特朗讯、法国电信、英特尔、诺基亚、意大利电信、华为等。可以认为 5GPPP 是欧盟在 METIS 等项目之后面向 2020 年 5G 技术研究和标准化工作而成立的延续性组织，5GPPP 将借此确保欧盟在未来全球信息产业竞争中的领导者地位。5GPPP 的工作分为三个阶段：包括阶段一（2014 ~ 2015 年）基础研究工作，阶段二（2016 ~ 2017 年）系统优化以及阶段三（2017 ~ 2018 年）大规模测试。在 2014 年初，5GPPP 也已由多家参与者共同提出一份 5G 技术规格发展草案，其中主要定义了未来 5G 技术重点，包括在未来 10 年中，电信与信息通信业者将通过软件可编程的方式往共同的基础架构发展，网络设备资源将转化为具有运算能力的基础建设。与 3G 相比，5G 将会提供更高的传输速度与网络使用效能，并可通过虚拟化和软件定义网络等技术，让运营商得以更快速更灵活地应用网络资源提供服务等。

与此同时，由运营商主导的 NGMN (Next Generation Mobile Networks) 组织也已经开始对 5G 网络开展研究，并发布 5G 白皮书：《Executive Version of the 5G White Paper》。NGMN 由包括中国移动、DoCoMo (都科摩)、沃达丰、Orange、Sprint、KPN 等运营商发起，其发

布的 5G 白皮书从运营商角度对 5G 网络的用户感受、系统性能、设备需求、先进业务及商业模式等进行阐述。

中国在 2013 年 2 月由中国工业和信息化部、国家发展和改革委员会、科学技术部联合推动成立 IMT-2020 (5G) 推进组, 其组织框架基于原中国 IMT-Advanced 推进组, 成员包括中国主要的运营商、制造商、高校和研究机构, 目标是成为聚合中国产学研用力量, 推动中国第五代移动通信技术研究和开展国际交流与合作的主要平台。IMT-2020 (5G) 推进组的组织架构如图 1-3 所示, 定期发布关于 5G 的研究进展报告, 已发布《IMT-2020 (5G) 推进组-5G 愿景与需求白皮书》, 提出“信息随心至, 万物触手及”的 5G 愿景、关键能力指标以及 5G 典型场景。2015 年 2 月发布《5G 概念白皮书》, 认为从移动互联网和物联网主要应用场景、业务需求及挑战出发, 可归纳出连续广域覆盖、热点大容量、低功耗大连接和低时延高可靠四个 5G 主要技术场景。2015 年 5 月发布《5G 网络技术架构白皮书》和《5G 无线技术架构白皮书》, 认为 5G 技术创新主要来源于无线技术和网络技术两方面, 无线技术领域大规模天线阵列、超密集组网、新型多址和全频谱接入等技术已成为业界关注的焦点; 在网络技术领域, 基于软件定义网络 (SDN) 和网络功能虚拟化 (NFV) 的新型网络架构已取得广泛共识。

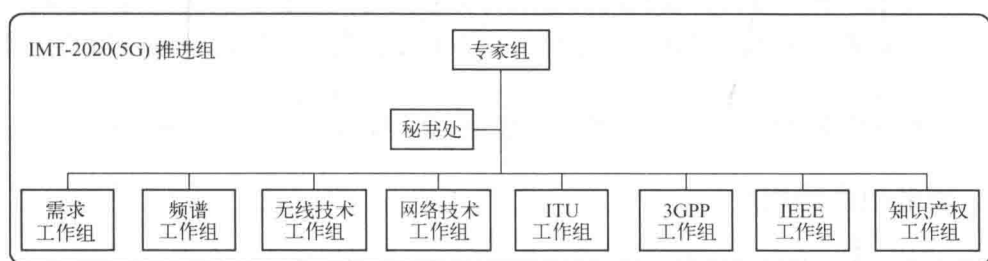


图 1-3 IMT-2020 (5G) 推进组组织架构

另外, 国内的 Future 论坛也在积极开展 5G 系统的相关技术研究, 韩国、日本也已有相应的研究组织开展工作, 纵观目前全球 5G 研究进展可以看出, 全球 5G 组织研究的热点技术趋同。面向无线通信标准化, ITU-R WP5D 已给出了关于 IMT-2020 的研究计划 (见图 1-4), 按此时间点, 全球各研究组织和机构将会提交代表各自观点的技术文稿。另外, 3GPP 也将在 Release 14 开始对 5G 系统的标准化定义工作。

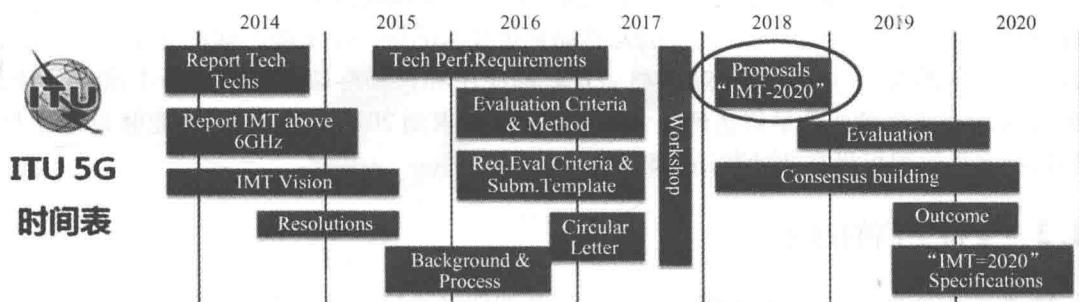


图 1-4 ITU-R WP5D 关于 IMT-2020 的研究计划

第2章 5G需求

2.1 5G驱动力：移动互联网/物联网飞速发展

面对移动互联网和物联网等新型业务发展需求，5G系统需要满足各种业务类型和应用场景。一方面，随着智能终端的迅速普及，移动互联网在过去的几年中在世界范围内发展迅猛，面向2020年及未来，移动互联网将进一步改变人类社会信息的交互方式，为用户提供增强现实、虚拟现实等更加身临其境的新型业务体验，从而带来未来移动数据流量的飞速增长；另一方面，物联网的发展将传统人与人通信扩大到人与物、物与物的广泛互联，届时智能家居、车联网、移动医疗、工业控制等应用的爆炸式增长，将带来海量的设备连接。

在保证设备低成本的前提下，5G网络需要进一步解决以下几个方面的问题。

2.1.1 服务更多的用户

展望未来，在互联网发展中，移动设备的发展将继续占据绝对领先的地位，思科公司估计在产生互联网流量的设备中，到2017年将有近一半是由移动终端设备产生，而这一比例在2012年为26%^[1]。思科进一步预测，由个人计算机产生业务量的年增长率为14%，M2M（Machine to Machine，机器到机器）业务增长量将达79%，而平板电脑和手机将产生104%的增长。在全球范围内，思科预计从2012年到2017年，移动数据业务将以66%的年增长率增长，达到11.2EB/月，这比同期固定业务量增长快了3倍。

据ITU发布的全球信息技术数据显示，全球蜂窝移动签约用户到2013年底已经达到约68亿，其中移动宽带用户经过近年来的快速增长到达20亿左右，渗透率接近30%，约为2011年的2倍，2009年的4~5倍。随着移动宽带技术的进一步发展，移动宽带用户数量和渗透率将继续增加。与此同时，随着移动互联网应用和移动终端种类的不断丰富，预计到2020年人均移动终端的数量将达到3个左右，这就要求到2020年，5G网络能够为超过150亿的移动宽带终端提供高速的移动互联网服务。

2.1.2 支持更高的速率

移动宽带用户在全球范围的快速增长，以及如即时通信、社交网络、文件共享、移动视频、移动云计算等新型业务的不断涌现，带来了移动用户对数据量和数据速率需求的迅猛增长。据ITU发布的数据预测（见图2-1），相比于2020年，2030年全球的移动业务量将飞速增长，达到5000EB/月。

相对应地，未来 5G 网络还应能够为用户提供更快的峰值速率，如果以 10 倍于 4G 蜂窝网络峰值速率计算，5G 网络的峰值速率将达到 10 Gbit/s 量级。

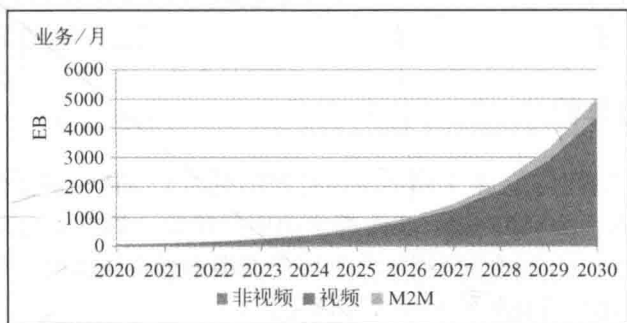


图 2-1 全球不同服务类型的移动业务预测

2.1.3 支持无限连接

随着移动互联网、物联网等技术的进一步发展，未来移动通信网络的对象将呈现泛化的特点，它们在传统人与人之间通信的基础上，增加了人与物（如智能终端、传感器、仪器等）、物与物之间的互通。不仅如此，通信对象还具有泛在的特点，人或者物可以在任何的时间和地点进行通信。因此，未来 5G 移动通信网将变成一个能够让任何人和任何物，在任何时间和地点都可以自由通信的泛在网络，如图 2-2 所示。



图 2-2 未来面向高速与无限连接的 5G 网络

近年来，国内外运营商都已经开始在物联网应用方面开展了新的探索和创新，已出现的物联网解决方案，例如智慧城市、智能交通、智能物流、智能家居，智能农业、智能水利、设备监控、远程抄表等，都致力于改善人们的生产和生活。随着物联网应用的普

以及无线通信技术及标准化进一步的发展，到 2020 年，全球物联网的连接数将达到 1000 亿左右。在这个庞大的网络中，通信对象之间的互联和互通不仅能够产生无限的连接数，还会产生巨大的数据量。预测到 2020 年，物联网数据量将达到传统人与人通信数据量的约 30 倍。

2.1.4 提供个性化的体验

随着商业模式的不断创新，未来移动网络将推出更为个性化、多样化、智能化的业务应用。因此，这就要求未来 5G 网络进一步改善移动用户体验，如汽车自动驾驶应用要求将端到端时延控制在毫秒级、社交网络应用需要为用户提供永远在线体验，以及为高速场景下的移动用户提供全高清/超高清视频实时播放等体验。

因此，面向 2020 年的未来 5G 移动通信系统要求在确保低成本、传输的安全性、可靠性、稳定性的前提下，能够提供更高的数据速率、服务更多的连接数和获得更好的用户体验。

2.2 运营需求

2.2.1 建设 5G “轻形态”网络

移动通信系统 1G 到 4G 的发展是无线接入技术的发展，也是用户体验的发展。每一代的接入技术都有自己鲜明的特点，同时每一代的业务都给予用户更全新的体验。然而，在技术发展的同时，无线网络已经越来越“重”，包括：

- “重”部署：基于广域覆盖、热点增强等传统思路的部署方式对网络层层加码，另外泾渭分明的双工方式，以及特定双工方式与频谱间严格的绑定，加剧了网络之重（频谱难以高效利用、双工方式难以有效融合）。
- “重”投入：无线网络越来越复杂使得网络建设投入加大，从而导致投资回收期长，同时对站址条件的需求也越来越高；另外，很多关键技术的引入对现有标准影响较大、实现复杂，从而使得系统达到目标性能的代价变高。
- “重”维护：多接入方式并存，新型设备形态的引入带来新的挑战，技术复杂使得运维难度加大，维护成本增高；无线网络配置情况愈加复杂，一旦配置则难以改动，难以适应业务、用户需求快速发展变化的需要。

在 5G 阶段，因为需要服务更多用户、支持更多连接、提供更高速率以及多样化用户体验，网络性能等指标需求的爆炸性增长将使网络更加难以承受其“重”。为了应对在 5G 网络部署、维护及投资成本上的巨大挑战，对 5G 网络的研究应总体致力于建设满足部署轻便、投资轻度、维护轻松、体验轻快要求的“轻形态”网络，其应具备以下的特点。

(1) 部署轻便

基站密度的提升使得网络部署难度逐渐加大，轻便的部署要求将对运营商未来网络建设起到重要作用。在 5G 的技术研究中，应考虑尽量降低对部署站址的选取要求，希望以一种灵活的组网形态出现，同时应具备即插即用的组网能力。