



“十三五”科学技术专著丛书

5G关键技术 及网络部署

杨燕玲 李华 编著

Key Technologies and Network Deployments for 5G



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



“十三五”科学技术专著丛书

5G 关键技术及网络部署

杨燕玲 李 华 编著



北京邮电大学出版社
www. buptpress. com

内 容 简 介

本书全面系统地介绍 5G 关键技术,从 5G 的需求和驱动力的角度介绍了 5G 的标准化进程,阐述了 5G 的空口关键技术和网络架构,并结合实际网络建设提出 5G 频谱策略、网络演进策略以及典型的部署场景和部署方案,且综合考虑了在与异系统网络的协作与融合情况下 5G 技术应用的方案。希望通过本书的论述,可以使读者更好地理解 5G 关键技术在实际网络的应用,适应未来 5G 网络建设,实现 4G 到 5G 的平滑升级。本书立足于通信从业人员,适合通信设备制造商、手机制造商、网络运营商、科研人员、高校教师、本科生和研究生等参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

5G 关键技术及网络部署 / 杨燕玲, 李华编著. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2019.8 (2020.7 重印)

ISBN 978-7-5635-5852-0

I. ①5… II. ①杨… ②李… 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 (2019) 第 177936 号

书 名: 5G 关键技术及网络部署

作 者: 杨燕玲 李 华

责任编辑: 廖 娟

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: 720 mm×1 000 mm 1/16

印 张: 9.75

字 数: 190 千字

版 次: 2019 年 8 月第 1 版 2020 年 7 月第 2 次印刷

ISBN 978-7-5635-5852-0

定 价: 36.00 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

“宽带中国”战略的提出,移动互联网井喷,物联网和云计算的兴起、成熟与运用——我国的信息产业在过去几年中发生了翻天覆地的变化。在国家战略“互联网+”的需求中明确指出:未来电信基础设施和信息服务业要在国民经济中下沉,满足农业、医疗、金融、交通、流通、制造、教育、生活服务、公共服务、教育和能源等垂直行业的信息化需求,改变传统行业,催生跨界创新。在未来的发展中,移动通信将不仅满足人们日常通信的需求,而且将更多地为国民经济发展服务。5G 作为移动通信网络的升级换代,由于其多样化的业务承载能力,以及将网络与业务深度融合,按需提供服务的新理念能为信息产业的各个环节带来全新的发展机遇。因此,5G 已经成为通信行业的核心热点,通信行业正在积极推进 5G 技术向着商业化方向发展,投资 5G 技术的运营商数量也大幅增长。各大通信运营商都已经宣布参与 5G 技术示范、实验室测试和外场试验,宣布了推出 5G 服务的正式计划。如何在 4G 网络的基础上进一步完善,如何实现部署频谱效率提升 5~15 倍,能效和成本效率提升百倍以上的 5G 网络是我们关心的核心问题。

随着移动通信技术的更新换代,从第一、二代移动通信技术的技术跟随,到第三代移动通信技术的奋起直追,再到第四代移动通信技术阶段,我国不仅建设了全世界最大规模的移动通信网络,完成了全国范围的覆盖,而且完善了专利申请、标准制定以及通信设备生产的全产业化流程。在 5G 标准化和产业化进程中,中国信息化产业已经逐步走在了世界前列,赶上了全球通信技术发展的步伐。面对 5G 新的发展机遇,

我国政府积极组织国内各方力量,开展国际合作,共同推动 5G 国际标准发展。

目前,5G 正处于标准化和商业化进程的关键阶段,在场景和需求基本明确的基础上,关键技术和网络架构正在逐步完善。本书在全面系统地介绍 5G 关键技术的基础上,重点对 5G 网络的部署方案进行了研究,特别针对中国这一具有全世界最大移动蜂窝网络系统的市场,考虑其 5G 网络部署方案,研究其 5G 网络的前向兼容和协作融合。

全书共分为 5 章,对 5G 的关键技术、组网与规划设计进行了全面系统的阐述。第 1 章从 5G 的需求和驱动力入手,介绍了 5G 的标准化进程和目前的商业化进程;第 2 章阐述了 5G 的空口关键技术,侧重于 5G 无线技术和网络技术的创新方向;第 3 章根据 3GPP 协议,介绍了 5G 系统架构、物理层、功能体系和协议栈设计等理论基础;第 4 章结合实际网络建设,提出 5G 超密集组网、网络切片以及目前主流的网络架构;第 5 章主要介绍了 5G 的频谱策略、应用场景和部署方案、网络演进策略、网络规划和建设,并综合考虑在与异系统网络协作与融合的情况下 5G 技术应用的方案。希望通过本书的论述,使读者更好地理解 5G 关键技术在实际网络中的应用,适应未来 5G 网络建设,实现 4G 到 5G 的平滑升级。

由于在本书编写过程中,5G 的关键技术和商业化进程正在进行中,书中内容难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

作者

2019 年 7 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 移动通信的演进	1
1.2 5G 驱动力和市场趋势	5
1.3 5G 的需求和应用	14
1.4 5G 技术场景	19
1.5 5G 面临的挑战	21
1.6 5G 标准化组织	24
1.7 5G 商业化进程	28
第 2 章 5G 关键技术	32
2.1 大规模天线阵列	32
2.2 高效空口多址接入技术	38
2.3 新型信道编码	44
2.4 同频同时全双工	49
2.5 终端间直通传输	52
2.6 移动边缘计算	54
2.7 人工智能技术	58
2.8 网络功能虚拟化	59
2.9 软件定义网络	64
第 3 章 5G 网络架构	70
3.1 5G 功能特征	70
3.2 5G 网络架构设计思路	72
3.3 5G 网络系统架构	77
3.4 5G 物理层	87

3.5	5G 功能体系	93
3.6	5G 协议栈	99
第 4 章	5G 组网技术及方案	104
4.1	5G 超密集组网	104
4.2	5G 网络切片技术	111
4.3	5G C-RAN 架构	115
4.4	“三朵云”网络架构	121
第 5 章	5G 网络部署和演进	125
5.1	5G 频谱策略	125
5.2	5G 应用场景和部署	128
5.3	5G 网络演进策略	136
5.4	5G 无线网络规划	138
5.5	5G 网络建设阶段	141
5.6	5G 网络与异系统	144
参考文献	147

第 1 章 概 述

1.1 移动通信的演进

1897 年,意大利电气工程师伽利尔摩·马可尼(Guglielmo Marchese Marconi, 1874—1937)在陆地和一只拖船之间用无线电进行了消息传输,移动通信由此走上历史的舞台。20 世纪 70 年代末以来,移动通信经历了第一代模拟蜂窝网电话系统和第二代数字蜂窝网电话系统的繁荣与衰退,以及第三代移动通信系统对于数据业务需求的推动。目前,第四代移动通信系统已成为广泛应用的主要技术,第五代移动通信系统的研究和推进工作正在不断加速进行。

1. 第一代移动通信系统

20 世纪 70 年代末,美国 AT&T 公司通过使用电话技术和蜂窝无线电技术研制了第一套蜂窝移动电话系统,取名为“先进的移动电话系统”,即 AMPS(Advanced Mobile Phone Service)系统。第一代移动通信系统的一大成就在于去除了电话机与网络之间的用户线,用户第一次能够在移动的状态下拨打电话。这一代主要有三种窄带模拟系统标准,即北美蜂窝系统 AMPS,北欧移动电话系统 NMT 和全接入通信系统 TACS。我国主要采用的是 TACS 制式,即频段为 890~915 MHz/935~960 MHz。第一代移动通信的各种蜂窝网系统只能提供基本的语音业务,不能提供非语音业务,并且保密性差,容易并机盗打,各系统之间还互不兼容,移动用户无法在各种系统之间实现漫游。

2. 第二代移动通信系统

为解决不同模拟蜂窝系统之间互不兼容的问题,1982 年,北欧四国向欧洲邮电行政大会(Conference Europe of Post and Telecommunications, CEPT)提交了一份建议书,要求制定 900 MHz 频段的欧洲公共电信业务规范,建立全欧统一的蜂窝网移动通信系统。同年,欧洲“移动通信特别小组”(Group Special Mobile, GSM)成立,后来 GSM 的含义演变为“全球移动通信系统”(Global System for

Mobile Communications)。第二代移动通信数字无线标准主要有 GSM、D-AMPS、PDC 和基于 CDMA 技术的 IS-95 等。我国第二代移动通信系统以 GSM 和 IS-95 为主。为了适应数据业务的发展需要,在第二代技术中还诞生了 2.5G 和 2.75G,也就是 GSM 系统的 GPRS、EDGE 和 IS-95 的演进 IS-95B 等技术,提高了数据传送能力。第二代移动通信系统在引入数字无线电技术以后,不但改善了语音通话质量,提高了保密性,防止了并机盗打,而且为移动用户提供了无缝的国际漫游。

3. 第三代移动通信系统

第三代移动通信系统就是 IMT-2000,也称为 3G(3rd Generation)。相比第二代移动通信系统,它能提供更高的速率、更好的移动性和更丰富的多媒体综合业务。最具代表性的技术标准有美国提出的 CDMA 2000、欧洲提出的 WCDMA 和中国提出的 TD-SCDMA。

(1) CDMA 2000

CDMA 2000 由美国牵头的 3GPP2(3rd Generation Partnership Project 2)提出,是由 IS-95 系统演进而来,并向下兼容 IS-95 系统。IS-95 系统是世界上最早的 CDMA 移动系统,CDMA 2000 系统继承了 IS-95 系统在组网、系统优化方面的经验,并进一步对业务速率进行了扩展,同时通过引入一些先进的无线技术,进一步提升系统容量。在核心网络方面,CDMA 2000 继续使用 IS-95 系统的核心网作为其电路域来处理电路型业务,如语音业务和电路型数据业务,同时在系统中增加分组设备(PDSN 和 PCF)来处理分组数据业务。因此,在建设 CDMA 2000 系统时,原有的 IS-95 的网络设备可以继续使用,只要新增加分组设备即可。在基站方面,由于 IS-95 与 1x 的兼容性,运营商只要通过信道板和软件更新即可将 IS-95 基站升级为 CDMA 2000 1x 基站。在我国,中国联通在其最初的 CDMA 2000 网络建设中就采用了这种升级方案,而后在 2008 年电信行业重组时,由中国电信收购了中国联通的整个 CDMA 2000 网络。

(2) WCDMA

欧洲电信标准委员会(ETSI)在 GSM(全球移动通信系统)标准之后就研究其 3G 标准,其中有几种备选方案是基于直接序列扩频码分多址技术的,而日本的第三代研究也是使用宽带码分多址技术。其后,基于宽带码分多址技术的几种 3G 方案以欧洲和日本为主导进行融合,在 3GPP(3rd Generation Partnership Project)组织中发展成了第三代移动通信系统——通用移动通信系统(Universal Mobile Telecommunications System, UMTS),并提交给国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU),ITU 最终接受 WCDMA 作为 IMT-2000 标准的一部分。3G 时代,WCDMA 是世界范围内商用最多、技术发展最成熟的 3G 制式。在我国,中国联通在 2008 年电信行业重组之后开始建设 WCDMA 网络。

(3) TD-SCDMA

TD-SCDMA 是我国提出的第三代移动通信标准,也是 ITU 批准的三个 3G 标准之一,是以我国知识产权为主的、在国际上被广泛接受和认可的无线通信国际标准。TD-SCDMA 技术标准的提出是我国电信史上重要的里程碑。相对于另外两个 3G 标准(即 CDMA 2000 和 WCDMA),TD-SCDMA 起步较晚。

该标准的原标准研究方为西门子。为了独立于 WCDMA 标准,西门子将其核心专利出售给大唐电信。1998 年 6 月 29 日,原中国邮电部电信科学技术研究院(现大唐电信科技产业集团)向 ITU 提出了该标准。该标准将智能天线、同步 CDMA 和软件无线电 SDR(Software Defined Radio)等技术融于其中。

TD-SCDMA 的发展过程始于 1998 年初,在当时的邮电部科技司的直接领导下,由原电信科学技术研究院组织队伍在 SCDMA 技术的基础上,研究和起草符合 IMT-2000 要求的我国主导的 TD-SCDMA 建议草案。该标准草案以智能天线、同步码分多址、接力切换和时分双工为主要特点,于 ITU 征集 IMT-2000 第三代移动通信无线传输技术候选方案的截止日——1998 年 6 月 30 日提交至 ITU,从而成为 IMT-2000 的 15 个候选方案之一。ITU 综合了各评估组的评估结果,在 1999 年 11 月赫尔辛基 ITU-RTG8/1 第 18 次会议上和 2000 年 5 月伊斯坦布尔 ITU-R 全会上,正式接纳 TD-SCDMA 作为 CDMA TDD 制式的方案之一。

经过一年多的时间、几十次的工作组会议和几百篇的文稿讨论后,2001 年 3 月,在美国棕榈泉召开的 RAN 全会上正式发布了包含 TD-SCDMA 标准在内的 3GPP R4 版本规范,TD-SCDMA 在 3GPP 中的融合工作中达到了第一个目标。

至此,TD-SCDMA 不论在形式上还是在实质上,都已在国际上被广大运营商、设备制造商所认可和接受,成为真正的国际标准。

但是由于 TD-SCDMA 起步比较晚,技术发展成熟度不及其他两大标准,同时由于市场前景不明朗导致相关产业链发展滞后,最终全球只有中国移动一家运营商部署了商用 TD-SCDMA 网络。

4. 第四代移动通信系统

从核心技术来看,通常所称的 3G 技术主要采用 CDMA(Code Division Multiple Access,码分多址)多址技术,而业界对新一代移动通信核心技术的界定则主要是指采用 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing,即正交频分复用)调制技术的 OFDMA 多址技术,可见 3G 和 4G 最大的区别在于采用的核心技术已经完全不同。从核心技术的角度来看,LTE、WiMAX(802.16e)及其后续演进技术 LTE-Advanced 和 802.16m 等技术均可以视为 4G。但从标准的角度来看,ITU 对 IMT-2000(3G)系列标准和 IMT-Advanced(4G)系列标准的区分并不是以采用何种核心技术为准,而是以能否满足一定的参数要求来区分。ITU 在 IMT-2000 标

准中要求,3G 必须满足传输速率在移动状态 144 Kbit/s、步行状态 384 Kbit/s、室内 2 Mbit/s,而 ITU 的 IMT-Advanced 标准中则要求 4G 在使用 100 M 信道带宽时,频谱利用率达到 10 bit/(s·Hz),理论传输速率达到 1 000 Mbit/s。

LTE 分为 TDD(时分双工)和 FDD(频分双工)两种双工方式,其中 TDD 双工方式更适用于非对称频谱。

在 2010 年 10 月召开的 ITU-R WP5D 会议上,LTE-Advanced 技术和 802.16m 技术被确定为最终的 IMT-Advanced 阶段国际无线通信标准。我国主导发展的 TD-LTE-Advanced 技术通过了所有国际评估组织的评估,被确定为 IMT-Advanced 国际无线通信标准之一。截至 2018 年 5 月,全球 58 个国家和地区建立了 111 个 LTE-TDD(TD-LTE) networks,中国标准 TD-LTE 已经成为名副其实的国际标准。

5. 第五代移动通信系统

随着无线通信技术的高速发展,用户无线应用越来越丰富,带动了无线数据业务迅速增长。据预测,未来 10 年间,数据业务以每年 1.6~2 倍速率增长,这给无线接入网络带来了巨大的挑战。为了适应业务增长的需要,移动通信技术也加速了升级换代,5G 技术的研究步伐越来越快。

2013 年 5 月,韩国三星电子公布成功研发第五代移动通信技术(5th Generation, 5G)环境下的数据收发核心技术,这在全球范围内尚属首例,率先开创了 5G 技术研究的新局面。手机在利用该技术后无线下载速度可以达到 3.6 Gbit/s。这一新的通信技术名为 Nomadic Local Area Wireless Access,简称 NoLA。三星电子计划以 2020 年实现该技术的商用化为目标,全面研发 5G 移动通信核心技术。

我国的移动通信发展在经历了 2G 追赶、3G 突破之后,在 4G 技术发展过程中逐步赶上了全球通信技术发展的步伐。面对 5G 新的发展机遇,我国政府积极组织国内各方力量,开展国际合作,共同推动 5G 国际标准发展。2013 年,工信部、科技部、发改委联合成立了 IMT-2020(5G)推进组,该推进组依托原 IMT-Advanced 推进组的架构,设立了秘书处和各工作小组。

2016 年 1 月,工业和信息化部正式启动 5G 技术研发试验,标志着我国 5G 发展进入技术研发及标准研制的关键阶段。5G 技术研发试验计划于 2016—2018 年进行,分为 5G 关键技术试验、5G 技术方案验证和 5G 系统验证三个阶段实施,最终于 2018 年完成 5G 系统的组网技术性能测试和 5G 典型业务演示。根据总体规划,我国 5G 试验将分两步走:第一步,2015—2018 年进行技术研发试验,由中国信息通信研究院牵头组织,运营企业、设备企业及科研机构共同参与;第二步,2018—2020 年,由国内运营商牵头组织,设备企业及科研机构共同参与。

进入 2017 年,5G 的研究和推进进程明显加快。

2017 年 11 月 15 日,工业和信息化部发布《关于第五代移动通信系统使用 3 300~3 600 MHz 和 4 800~5 000 MHz 频段相关事宜的通知》,确定 5G 中频频谱,能够兼顾系统覆盖和大容量的基本需求。

2017年11月下旬,工业和信息化部发布通知,正式启动5G技术研发试验第三阶段工作,并力争于2018年年底实现第三阶段试验基本目标。

2017年12月21日,在国际电信标准组织3GPP RAN第78次全体会议上,5G新空口(New Radio, NR)首发版本正式冻结并发布。

2017年12月,国家发展和改革委员会发布《关于组织实施2018年新一代信息基础设施建设工程的通知》,要求2018年将在不少于5个城市开展5G规模组网试点,每个城市5G基站数量不少50个、全网5G终端不少于500个。

2018年2月23日,沃达丰和华为宣布,两公司在西班牙合作采用非独立的3GPP 5G新无线标准和Sub6 GHz频段完成了全球首个5G通话测试。

中国电信、中国移动和中国联通三家运营商积极参与和推进5G试验网的建设工作,并从中积累了5G网络的建设和运营经验。

2019年6月6日,工业和信息化部正式向中国电信、中国移动、中国联通和中国广电发放5G商用牌照,批准四家企业经营“第五代数字蜂窝移动通信业务”。中国5G正式商用。

目前,全世界正在以积极的态度迎接5G时代的到来。

1.2 5G驱动力和市场趋势

随着我国在互联网技术、产业、应用以及跨界融合等方面的进展,互联网目前正在逐步从消费互联网向产业互联网转变。为了进一步加强互联网与传统产业的融合,国务院总理李克强在第十二届全国人民代表大会第三次会议上所作的政府工作报告首次提出,要“制定‘互联网+’行动计划,推动移动互联网、云计算、大数据、物联网等与现代制造业结合,促进电子商务、工业互联网和互联网金融健康发展。”自此,“互联网+”上升为国家战略,被纳入顶层设计。同时,“互联网+”需求中明确指出:未来电信基础设施和信息服务要在国民经济中下沉,满足农业、医疗、金融、交通、流通、制造、教育、生活服务、公共服务、教育和能源等垂直行业的信息需求,改变传统行业,催生跨界创新。

在未来发展中,移动通信将不仅满足人们日常通信的需求,而且将更多地为国民经济发展服务。移动互联网和物联网将是未来移动通信发展的两大主要驱动力,将为5G提供广阔的前景。

1. 移动互联网

随着宽带无线接入技术和移动终端技术的飞速发展,人们迫切希望能够随时随地甚至在移动过程中都能方便地从互联网获取信息和服务,移动互联网应运而

生并迅猛发展。移动互联网,是移动通信和互联网二者的结合,是指移动通信技术与互联网的技术、平台、商业模式和应用结合并实践的活动的总称。移动互联网利用一定的技术将移动设备与互联网进行接通,通过无线连接获取需要的信息技术,移动互联网技术的发展可以通过移动终端将互联网全面地为人们所使用。如利用移动互联网技术将互联网与手机终端进行连接,可以让使用手机终端的用户及时通过移动网络获取大量的信息。同时,移动互联网技术不仅可以将互联网与手机连接,还可以将移动通信与互联网的资源紧密地结合在一起。

移动互联网颠覆了传统移动通信业务模式,为用户提供前所未有的使用体验,深刻影响着人们工作生活的方方面面。互联网用户可以不受空间和时间的限制,将互联网与移动终端相接,使操作更加便捷。特别是在 4G 时代开启和智能终端的井喷式增长,为移动互联网的发展注入巨大的能量。

2018 年,思科公司的视觉网络索引(Visual Networking Index,VNI)对 2017—2022 年的全球移动数据流量增长趋势进行了预测,如表 1.2.1 所示。根据预测,到 2022 年,全球的 IP 业务将达到每年 4.8 ZB(每月 396 EB,EB 是计算机存储单位,全称 Exabyte,中文名叫艾字节,64 位计算机系统可用最大的虚拟内存空间为 1 EB,1E=10¹⁸)。

表 1.2.1 全球移动数据流量增长预测(2017—2022 年)

单位:EB per Month

地区 \ 年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	复合年均增长率
亚太地区	5.88	10.35	15.91	22.81	31.81	43.17	49%
中东和非洲地区	1.22	2.05	3.25	5.01	7.56	11.17	56%
中欧和东欧地区	1.38	2.15	3.12	4.32	5.83	7.75	41%
北美	1.26	1.80	2.5	3.41	4.48	5.85	36%
西欧	1.02	1.47	2.06	2.81	3.80	5.12	38%
拉丁美洲	0.75	1.18	1.72	2.42	3.31	4.44	43%
全球总计							
移动互联网	11.51	19.01	28.56	40.77	56.80	77.49	46%

注:VNI 中预测的移动数据业务包括智能终端的所有数据业务,如文字信息,多媒体信息等,移动互联网业务包括笔记本式计算机和智能终端使用的互联网业务。

从全球范围来看,2017—2022 年间移动数据流量将增长 6.7 倍,复合年均增长率(Compound Annual Growth Rate,CAGR)达到 46%,移动数据流量将达到互联网 IP 业务总流量的 71%以上。其中,中东地区和非洲地区的数据业务将飞速增长,其复合年均增长率高达 56%,但是鉴于亚太地区 45 亿人口的庞大人口基数,预

测至2022年,其移动数据业务将达到每月43.17 EB。

当前,移动互联网涉及的种类很多,且种类的增长速度较快,这些种类主要有在线音乐、在线视频、在线游戏、移动新闻、二维码和移动支付等,展现出多元化的格局,特别是和云计算结合成为移动互联网发展的新趋势。云计算本身就是基于网络资源的收集和互享,用户通过网络获得更多的网络服务。移动互联网为了满足客户更多的需求,为用户提供更多的服务,将网络资源整合在一起,促进了云计算的发展。移动互联网与云计算的结合使得用户能够突破时间和空间的限制,随时随地使用云计算服务,用户将自己的数据上传至网上进行储存和共享,满足自己浏览网页和观看视频的需求,同时也促进了资源的整合和共享。

随着移动互联网的发展,其应用领域逐渐增多,这些领域主要表现为在线游戏、移动社交、在线视频、移动阅读、移动定位和移动支付等方面。

①在线游戏。在线游戏更新速度快、地域限制小、可玩程度高,已经成为移动互联网的热点业务。研究认为,在线游戏不仅限于游戏本身,而且可以通过游戏平台营造出的虚拟情境向玩家提供人际互动功能与团队的认同感。特别是以大学生群体为主的年轻群体正处于自我概念发展的阶段,他们通过在线游戏完成与外界的互动,获得参照比较的机会,并且建构虚拟的世界。

②移动社交。移动社交是以移动终端设备为载体,通过移动社交程序实现社交媒体功能的应用技术。随着移动互联网、智能终端以及移动应用技术的日益发展,移动社交媒体用户数量越来越多。移动社交逐渐成为消费者数字化生存的重要媒介。在虚拟的网络世界,移动社交为人们提供交流平台,人们可以跨地域、跨种族交流。

③在线视频。在线视频和在线游戏一样,只要有移动网络便可观看最新的视频。视频平台目前的主要受众具有年龄结构年轻态、知识体系处于发展期的明显特点。加之年轻网民的虚拟社交参与欲望强烈,微视频平台的信息传播呈现出十分活跃的传播状态。

④移动阅读。移动阅读主要指通过智能手机、电子阅读器和平板电脑等电子化移动终端获取信息、阅读作品的全新形式。移动阅读因为具有携带的便捷性、阅读内容的海量性和多样性,以及交互分享的及时性等特征,深刻地影响了社会大众的阅读习惯和阅读行为。随着互联网信息技术的不断发展和移动终端技术及设备的普及,移动阅读因其内容选择的多样性、获取内容的便捷性和互动分享的实时性等特点,很好地满足了当今快节奏生活的人们碎片化阅读的需求,从而逐渐成为大众获取信息和日常阅读的主要途径,成为阅读的发展趋势。2018年4月18日,中国新闻出版研究院发布了第十五次全国国民阅读调查报告,调查结果显示,移动阅读率的上升对整体国民综合阅读率有重要的拉升作用。

⑤移动定位。在人类活动中,地理信息一直发挥着重要作用,大多数生产、生活信息都与其包含的地理位置有关。基于位置的服务是移动互联网的基础应用之一,通过采集手机用户的行动轨迹数据并对其进行分析,可以进一步掌握用户的行为特征,并针对这些行为特征开发实用的应用,这样就可以针对性地为手机用户提供个性化、智能化的基于位置的服务,同时为各种群体性服务和社会管理提供了基础信息。除了个体服务应用之外,利用手机用户的个体行为时空数据还可以快速方便地获取大批量城市居民的实时移动性数据,为及时掌握居民行为时空模式和实时变化的城市空间结构提供有效的数据,能更好地理解居民行为决策与城市空间结构之间的互动机制,如城市的区域规划、旅游地区的管理规划和城市交通的规划服务等。

⑥移动支付。随着科技的发展,人们对便捷生活的要求也越来越高——不满足于带着大把钞票进行交易的形式,更倾向于简单、快捷的移动支付。移动支付的出现,使得金钱交易的形式不再单一化,使得人们的生活更加方便。移动支付已延伸至公共服务领域的方方面面。移动支付已由早期打车、外卖、购物等生活类缴费逐步扩展到共享单车(汽)车、网络直播、旅行和互联网理财等领域。除了网络游戏、网络视频、网络购物等较为常规的互联网行为,网络音乐、网络文学等新事物在移动支付方面表现抢眼。

面向 2020 年及未来,移动互联网将推动人类社会信息交互方式的进一步升级,为用户提供增强现实、虚拟现实、超高清(3D)视频、移动云等更加身临其境的极致业务体验。移动互联网的进一步发展将带来未来移动流量超千倍增长,推动移动通信技术和产业的新一轮变革。

2. 物联网

物联网(Internet of things, IoT)是新一代信息技术的重要组成部分,也是“信息化”时代的重要发展阶段。物联网就是物物相连的互联网,它扩展了移动通信的服务范围,从人与人通信延伸到物与物、人与物智能互联,使移动通信技术渗透至更加广阔的行业和领域。

自 1999 年提出物联网概念以来,物联网的定义已经从早期简单地依托射频识别实现物品信息互联扩展到了通信网和互联网的拓展应用和网络延伸。物联网利用感知技术与智能装置对物理世界进行感知识别,通过网络传输互联,进行计算、处理和知识挖掘,实现人与物、物与物信息交互和无缝链接,达到对物理世界实时控制、精确管理和科学决策的目的。物联网通过随时随地的信息采集,感知物理世界,实现全面的信息交互,为了支持物联网的“泛在”特性,移动通信网络必须能够支持大容量、高带宽和多业务,能够完成全面覆盖以支持随时随地的连接。

根据物联网的内涵,物联网应该具备三个特征:一是全面感知,即利用 RFID、

传感器、二维码等获取物体的信息；二是可靠传递，通过各种电信网络与互联网的融合，将物体的信息实时准确地传递出去；三是智能处理，利用云计算、模糊识别等智能计算技术，对海量数据和信息进行分析和处理，对物体实施智能化的控制。

移动物联网的提出旨在采用蜂窝无线接入系统提供物联网的功能，并且支持覆盖增强，支持大量低速终端的接入，满足低时延、低成本和低功耗等功能需求。目前，移动物联网以窄带物联网(Narrow Band Internet of Things, NB-IoT)和增强型机器通信(enhanced Machine Type Communications, eMTC)技术为主流技术，其中 NB-IoT 为窄带物联网，eMTC 为宽带物联网。NB-IoT 以其低成本、电信级、高可靠性、高安全性为主要特点；eMTC 以其电信级、高速率、安全可靠为主要特点。

根据 Juniper Research 预测，到 2021 年，物联网设备、传感器和执行器的数量将超过 460 亿。对比 2016 年的数值，增长了 200%。

在物联网环境下，大量设备对网络上传、下载和时延的要求存在区别，网络必须有一定的智能性(如表 1.2.2 所示)。尤其在个别应用场景下，对网络的时延有极高要求，如车联网场景下，为了保证自动驾驶的安全性，车与车之间、车与云端之间的时延在 5 毫秒以内，误报率在 99.999% 以下，而且在车辆发生拥塞或大量节点共享有限频谱资源时，仍能够保证传输的可靠性；而 VR 头载设备必须要保证绝对低时延，延迟不超过 20 毫秒，才能有效减缓眩晕体验，使用户的体验场景更为真实。

表 1.2.2 物联网不同应用对下载、上传、时延的要求

物联网	下载速率	上传速率	延迟要求
基本视频和音乐流	高	低	中
文本通信	低	低	中
VoIP	低	低	中
网页浏览	低	低	中
远程会议	中	中	中
远程教育	中	中	中
ERP/CRM	中	低	低
HD 视频流	高	低	低
AR 应用	高	中	低
网络电子病历	中	高	低
VoLTE	低	低	低
个人内容柜	高	高	低

续表

物联网	下载速率	上传速率	延迟要求
远程医疗	高	中	低
高清视频会议	高	高	低
超高清视频流	高	高	低
VR	高	高	低
高频股票交易	低	低	低
车联网	低	低	低

未来物联网的重点应用需求领域主要包括智能制造(工业 4.0)、智能交通(包括车联网)、智能家居、智慧医疗和智慧城市等方面。

①智能制造。目前,工业机器人已被广泛应用于装备制造、新材料、生物医药和智慧新能源等高新产业。机器人与人工智能技术、先进制造技术和移动互联网技术地融合发展推动了人类社会生活方式的变革。现在所使用的工业机器人是集机械、电子、控制、传感和人工智能等多学科先进技术于一体的自动化装备。其中,驱动系统包括动力装置和传动机构,用以使执行机构产生相应的动作;控制系统按照输入的程序对驱动系统和执行机构发出指令信号,对其进行控制。工业 4.0 智能制造带来了大量的机器人的应用需求,同时机器与机器之间、机器与人之间交互的上升给行业信息化应用带来市场机遇——企业的劳动生产率、产品合格率有较大提高,用工人数、生产成本均有明显下降。下一代智能机器人的精细作业能力将被进一步提升,对外界的适应感知能力将不断增强,使其能够完成精细化的工作内容,如组装微小的零部件等,且预先设定程序的机器人不再需要专家的监控。同时,市场对机器人灵活性、对机器人与人协作能力的要求也在不断提高。未来,新一代智能机器人能够靠近工人执行任务,通过物联网技术的控制将采用声呐、摄像头或其他技术感知工作环境是否有人,如有碰撞的可能,它们则会减慢速度或者停止运作。

目前,已有部分企业通过智能制造(工业 4.0)对传统产业进行了升级改造,机器与机器、机器与人之间交互的上升给行业信息化应用带来市场机遇,企业的劳动生产率、产品合格率有较大提高,用工人数、生产成本均有明显下降。

②智能交通。以车联网技术为代表的智能交通是未来物联网发展的重要应用。车联网 V2X,即 Vehicle to X,其中 X 代表路边基础设施(Infrastructure)、车辆(Vehicle)、人(Pedestrian)和路(Road)等。V2X 概念的表述是物联网应用的实现和对 D2D(Device to Device)技术的深入研究。车联网是能够实现智能化交通管理、智能动态信息服务和车辆智能化控制的一体化网络,是物联网技术在交通系统