

· 5G移动通信关键技术研究丛书 ·

湖北省学术著作出版专项资金资助项目

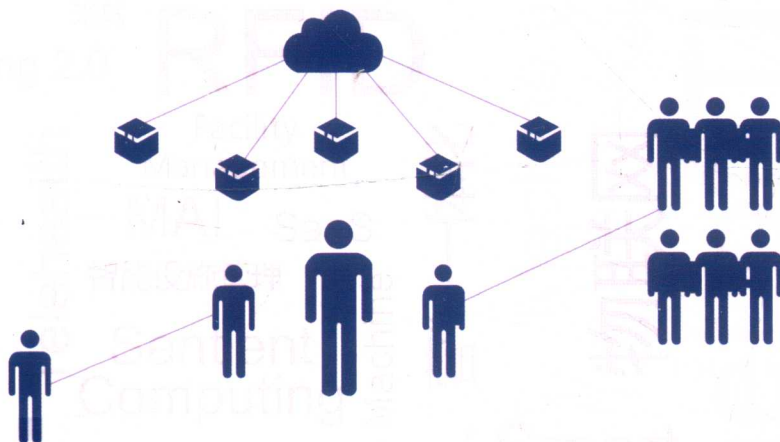


软件定义

5G网络

—— 面向智能服务5G移动网络
关键技术探索

陈 敏 李 勇 / 编著



华中科技大学出版社

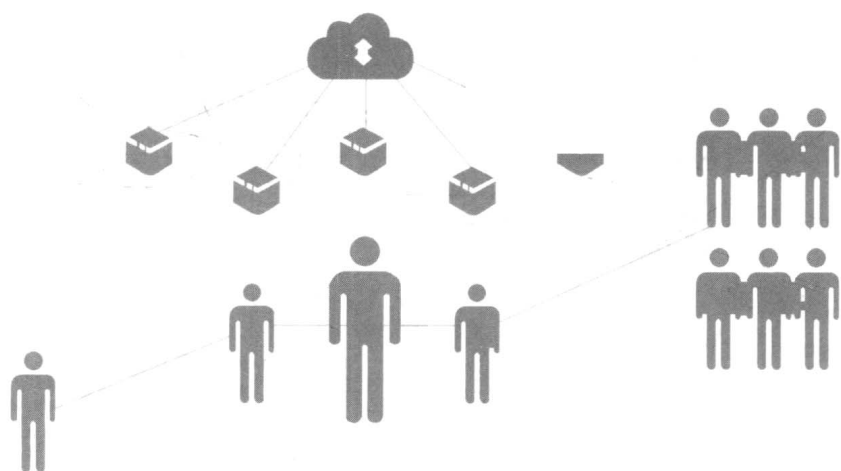
<http://www.hustp.com>



软件定义 5G网络

——面向智能服务5G移动网络
关键技术探索

陈 敏 李 勇 / 编著



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书是软件定义 5G 网络的一本学习参考书。全书共分为 15 章,简要介绍了 5G 网络的演进、软件定义网络(SDN)、网络功能虚拟化(NFV)等关键技术,提出了软件定义 5G 网络架构及其关键技术,介绍了软件定义 5G 网络在车联网、智慧城市和智慧医疗中的应用。本书不仅介绍了软件定义 5G 网络架构如何解决传统网络问题,还对各架构的原型系统的部署进行了描述,并且对各种关键技术和应用场景进行了详细的分析和阐述。对于 5G 智能服务的相关研究领域和未来方向,为读者提供了参考。

本书可作为计算机网络和通信专业高年级本科生和研究生的教材或参考书,也可供相关专业工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

软件定义 5G 网络:面向智能服务 5G 移动网络关键技术探索/陈敏,李勇编著. —武汉:华中科技大学出版社,2016.12

(5G 移动通信关键技术研究丛书)

ISBN 978-7-5680-0601-9

I. ①软… II. ①陈… ②李… III. ①移动网-研究 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 317810 号

软件定义 5G 网络——面向智能服务 5G 移动网络关键技术探索

Ruanjian Dingyi 5G Wangluo——Mianxiang Zhineng Fuwu

5G Yidong Wangluo Guanjian Jishu Tansuo

陈 敏
李 勇 编著

策划编辑:王红梅

责任编辑:余 涛

封面设计:原色设计

责任校对:何 欢

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:湖北新华印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:15 插页:2

字 数:380 千字

版 次:2016 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:58.00 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换

全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务

版权所有 侵权必究

前言

自从 20 世纪 60 年代 ARPANET 诞生以来,互联网经历了数十年的高速发展;至今,互联网已经成为人类社会在教育、经济、军事、科技、政治等各个方面的基础设施。移动通信网络更是以惊人的速度发展着,自 20 世纪 80 年代以来,我们先后经历了四代移动通信技术,第五代移动通信 5G 也即将到来。

5G 已经成为国内外移动通信领域的研究热点,由于频谱资源稀缺以及频谱效率提升空间受限于香农极限,业界逐渐认识到,5G 的实现,除了需要空中接口技术的突破以外,网络架构的创新也是 5G 的关键推动力之一。为了满足 5G 网络速度更快、时延更低、连接更多、效率更高的愿景,有必要对现有的网络架构、网元功能形态等进行全新的设计。

此外,5G 对移动互联网和物联网的功能和业务需求提出了许多新的挑战。在此背景下,软件定义网络 SDN 基于控制和转发相分离的思路,实现了网络和业务的可编程,给网络带来了极大的灵活性,使资源利用率低、网络传输转发性能受限、传统网络结构封闭僵化等问题得以有效地解决。因此将 SDN 引入 5G 网络构架成为研究热点,本书对软件定义 5G 网络的相关研究做了细致的介绍和探索。

本书是一本全面系统论述软件定义 5G 网络关键技术及其应用的专著。在当前软件定义 5G 网络逐步走向成熟的时期,期望本书的出版能对国内外软件定义 5G 网络的研究、开发、应用和相关人才培养起到推动作用。

全书共分为 15 章,第 1 章是软件定义 5G 网络概述,介绍了 5G 网络的演进、关键技术及挑战等,引入软件定义 5G 网络的架构。第 2 章和第 3 章分别介绍其中的两个关键技术,即软件定义网络(SDN)和网络功能虚拟化(NFV),详细介绍了 SDN 的发展、体系结构以及 SDN 的应用研究,并提出软件定义 NFV 架构,给出 NFV 的全面概述,介绍 NFV 和 SDN 的关系,还展示了软件定义 NFV 的挑战和可能的解决方案,说明了有前景的研究领域和提出了未来方向。第 4 章提出了软件定义物联网架构,通过软件定义网络的概念,将物联网的硬件和软件分离出来,同时提出基于此构架下的无线多跳路由,以及 SDN-SPAN 算法的设计与仿真实现。第 5 章介绍软件定义无线蜂窝网,提出了在频谱资源和能耗的双重约束下,如何利用软件定义的概念设计超蜂窝网络的体系架构,并由此提高网络容量。

第 6 章和第 7 章主要介绍软件定义的 5G 核心网,其中第 6 章主要提出一种基于 SDN/NFV 的移动核心网架构,实现了按需的网络功能部署;第 7 章实现并部署了第 6

章提出的架构的原型系统,重点是提出了适配于系统的联动架构并对其中的关键技术和应用场景进行详细的分析和阐述。第 8 章、第 9 章和第 10 章详细介绍了软件定义 5G 网络即服务,其中第 8 章说明网络即服务的原理和技术,提出了一种开放式的高性能网络设备的解决方案;第 9 章提出网络即服务自动化系统,实现网络服务的抽象化以及网络服务的自动化运维部署;第 10 章为网络即服务的系统与部署,SDN 提供底层的网络控制方案,NaaS 自动化系统提供网络服务能力的应用层抽象,两种技术相辅相成,提供了一种新型的网络服务提供平台。

第 11 章、第 12 章和第 13 章分别介绍了软件定义 5G 网络在车联网、智慧城市和智慧医疗中的应用。第 14 章介绍软件定义网络的仿真,结合测试平台和软件仿真,提出了一种新的半实物仿真软件定义网络的方法(SDN-CPS)。第 15 章介绍 5G 主动缓存的相关研究。

本书在编写过程中广泛参考了许多专家、学者的文章著作以及相关技术文献,作者在此表示衷心感谢。软件定义 5G 网络是一门正在发展的新技术,有些内容、学术观点尚不成熟或无定论,同时由于作者水平有限,虽然尽了最大努力,疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2016 年 11 月



1 软件定义 5G 网络概述	(1)
1.1 5G 的演进	(1)
1.1.1 移动通信的发展	(1)
1.1.2 国内外 5G 研究进展	(1)
1.1.3 5G 关键能力指标	(3)
1.1.4 现有移动网络结构的挑战	(3)
1.2 5G 关键技术	(4)
1.2.1 5G 无线关键技术	(4)
1.2.2 5G 网络关键技术	(5)
1.2.3 SDN 和 NFV	(5)
1.3 软件定义 5G 网络的架构	(7)
1.4 小结	(8)
2 软件定义网络	(9)
2.1 SDN 概述	(9)
2.1.1 SDN 发展历史	(9)
2.1.2 SDN 标准化组织	(10)
2.1.3 SDN 体系结构	(11)
2.1.4 SDN 协议	(12)
2.2 数据层	(13)
2.2.1 交换机	(13)
2.2.2 转发规则	(13)
2.3 控制层	(14)
2.3.1 控制器设计问题	(14)
2.3.2 接口语言	(14)
2.4 SDN 应用研究	(15)
2.4.1 企业网与校园网	(15)
2.4.2 数据中心与云	(15)
2.4.3 广域网	(16)
2.4.4 无线网络	(17)
2.5 小结	(17)
3 软件定义 NFV 架构	(18)
3.1 技术背景	(18)
3.2 软件定义网络功能虚拟化	(19)
3.2.1 网络功能虚拟化	(19)

3.2.2	NFV 框架	(20)
3.2.3	NFV 和 SDN	(21)
3.2.4	软件定义 NFV 架构	(21)
3.3	从中间设备到 NFV	(22)
3.3.1	中间设备概述	(22)
3.3.2	软件定义中间设备	(22)
3.4	服务链	(23)
3.4.1	基于 SDN 和中间设备的服务链	(23)
3.4.2	软件定义 NFV 架构中的服务链	(24)
3.5	网络功能虚拟化的挑战和难题	(25)
3.5.1	功能虚拟化	(26)
3.5.2	可移植性	(26)
3.5.3	标准接口	(27)
3.5.4	功能部署	(27)
3.5.5	流量导向	(27)
3.6	应用和未来方向	(27)
3.6.1	云计算	(28)
3.6.2	移动网络	(28)
3.6.3	企业网络	(29)
3.7	小结	(29)
4	软件定义物联网架构及路由	(30)
4.1	研究背景	(30)
4.2	软件定义物联网架构设计	(31)
4.2.1	软件定义物联网架构	(31)
4.2.2	物联网控制流与数据流	(32)
4.3	基于 SDN 的无线多跳网路由协议	(33)
4.3.1	面临挑战	(33)
4.3.2	设计思路	(34)
4.3.3	详细设计	(34)
4.4	SDN-SPAN 算法	(43)
4.4.1	拓扑控制	(43)
4.4.2	SPAN 算法	(43)
4.4.3	基于 SDN 的 SPAN 算法改进(Cross-over-net 算法)	(44)
4.4.4	Cross-over-net 算法描述	(47)
4.4.5	仿真	(47)
4.5	小结	(50)
5	软件定义无线蜂窝网络	(51)
5.1	技术背景	(51)
5.1.1	目前挑战	(51)
5.1.2	研究现状	(52)
5.2	软件定义 5G 网络架构设计	(53)

5.2.1	基于 C-RAN 的 5G 无线接入网架构	(53)
5.2.2	上行和下行分离,动态调整	(54)
5.3	能量和频谱优化的基站合作	(54)
5.4	多种无线接入技术的融入	(55)
6	软件定义的 5G 核心网架构与设计	(56)
6.1	研究背景	(56)
6.2	SDN 与 NFV 概述	(57)
6.2.1	SDN 概述	(57)
6.2.2	NFV 概述	(58)
6.3	相关研究现状	(59)
6.4	设计目标	(60)
6.5	系统架构设计	(61)
6.5.1	系统整体架构	(61)
6.5.2	控制平面结构	(62)
6.5.3	数据平面结构	(64)
6.6	系统实现	(64)
6.7	业务链概述	(65)
6.8	基于 SDN/NFV 的业务链设计与实现	(66)
6.8.1	已有实现方案	(66)
6.8.2	整体方案	(69)
6.8.3	优势分析	(70)
6.9	NF 实例选取	(71)
6.10	小结	(72)
7	软件定义的 5G 核心网联动机制与系统	(73)
7.1	本章引言	(73)
7.2	问题描述	(74)
7.3	联动模块设计及其关键技术	(75)
7.3.1	联动模块架构	(75)
7.3.2	联动事件通用接口设计	(75)
7.3.3	联动策略与分发流程机制	(77)
7.4	联动场景时序设计	(78)
7.4.1	动态切换业务链	(78)
7.4.2	动态增加网元	(79)
7.4.3	动态业务部署	(79)
7.5	SDN/NFV 移动核心网原型系统部署	(80)
7.5.1	整体架构与物理网络搭建	(81)
7.5.2	网络控制系统:SDN 部署与业务链实现	(82)
7.5.3	计算控制系统:OpenStack 与 OpenDaylight 互联	(84)
7.5.4	其他介绍:NF 系统与 Coordinator 的部署	(85)
7.6	原型系统工作流程介绍	(85)
7.7	原型系统测试	(86)

7.7.1 业务链测试	(86)
7.7.2 联动场景测试	(88)
7.8 小结	(94)
8 软件定义的 5G 网络即服务原理与技术	(95)
8.1 研究背景	(95)
8.2 软件定义网络(SDN)概述	(97)
8.3 SDN 相关研究与存在问题	(98)
8.4 网络即服务(Network as a Service, NaaS)技术概述	(99)
8.5 设备设计目标	(100)
8.6 开放式高性能网络设备解决方案	(100)
8.7 网络设备的设计与实现	(102)
8.8 设备性能评估与测试	(103)
8.9 SDN 交换机设计	(105)
8.9.1 交换机功能分析	(105)
8.9.2 交换机设计方案	(106)
8.9.3 软件层面设计	(106)
8.9.4 硬件层面设计	(107)
8.10 SDN 网络部署与测试	(108)
8.10.1 SDN 网络部署	(108)
8.10.2 性能测试	(108)
9 网络即服务自动化系统	(110)
9.1 本章引言	(110)
9.2 问题的提出	(111)
9.3 系统设计目标	(112)
9.4 系统设计	(113)
9.4.1 面向应用的网络服务抽象模型基本服务类型	(114)
9.4.2 网络服务接口设计	(115)
9.4.3 南向兼容性设计	(116)
9.4.4 自动化编译子系统设计	(117)
9.5 系统测试与验证	(121)
9.5.1 运行环境部署与系统启动	(121)
9.5.2 基本服务请求测试	(122)
9.6 小结	(124)
10 软件定义的 5G 网络即服务系统与部署	(125)
10.1 本章引言	(125)
10.2 网络即服务平台设计与部署	(126)
10.2.1 物理网络层与网络管控层:SDN 网络组网与配置	(126)
10.2.2 网络设备抽象层:OpenStack 部署及 Neutron 与 ODL 互联	(128)
10.2.3 网络服务抽象层:NaaS 自动化系统的部署与接口适配	(128)
10.3 平台工作流程介绍	(129)
10.3.1 网络初始化配置	(129)

10.3.2	提交服务请求	(129)
10.3.3	网络服务的部署	(129)
10.4	平台功能与性能评测	(131)
10.4.1	服务抽象	(132)
10.4.2	网络配置	(132)
10.4.3	服务提交与编译	(132)
10.4.4	自动部署结果	(134)
10.4.5	主机连通性测试	(134)
10.4.6	正在运行的服务的动态修改	(135)
10.4.7	相关数据分析	(136)
10.5	小结	(137)
11	软件定义 5G 车联网架构及关键技术	(138)
11.1	软件定义 5G 车联网基本架构	(138)
11.1.1	数据层	(138)
11.1.2	控制层	(140)
11.1.3	应用层	(140)
11.2	软件定义 5G 车内网络架构	(141)
11.2.1	数据采集	(142)
11.2.2	网内数据处理	(143)
11.3	软件定义 5G 车内网的跨网通信	(144)
11.3.1	车—云的通信	(144)
11.3.2	云—车的通信	(144)
11.3.3	车—车的通信	(144)
11.4	软件定义 5G 车联网边缘云的动态组网	(145)
11.4.1	评价指标	(145)
11.4.2	优化问题	(146)
11.5	车载云	(147)
11.6	软件定义 5G 车联网开放性问题	(152)
11.7	小结	(155)
12	软件定义网络在智慧城市中的应用	(156)
12.1	引言	(156)
12.2	SDN 和智能城市之间的协同作用	(157)
12.2.1	应用举例	(157)
12.2.2	STLS 场景中的 SDN 角色	(157)
12.3	智慧城市的网络挑战	(158)
12.3.1	无线虚拟化	(159)
12.3.2	高效路由	(159)
12.3.3	分布式与集中式网络控制与管理	(159)
12.3.4	无线监视	(159)
12.3.5	流量管理	(160)
12.4	基于 SDN 的无线网络架构	(160)

12.4.1	将路由器分为多个虚拟路由器	(160)
12.4.2	无线网络的复合路由	(160)
12.4.3	控制层的位置	(162)
12.4.4	使用 Openflow 监视路由器	(162)
12.4.5	支持负载均衡	(163)
12.4.6	评估网络开销	(163)
12.5	小结	(165)
13	软件定义医疗网络	(166)
13.1	技术背景	(166)
13.2	目前遇到的问题	(168)
13.3	SDHN 架构设计	(169)
13.3.1	传感器平台和数据收集服务	(169)
13.3.2	网络和数据传输服务	(171)
13.3.3	云数据中心和数据处理服务	(171)
13.3.4	动作反馈服务	(172)
13.4	开放性问题以及可能的解决方法	(172)
13.4.1	南向接口设计	(172)
13.4.2	冲突解决以及传感器平台的优化	(173)
13.4.3	流量调度支持服务质量	(173)
13.4.4	云数据中心的资源映射	(173)
13.5	测试平台	(174)
13.5.1	如何分配 SD-Robot 的智能	(174)
13.6	小结	(176)
14	软件定义网络物联网的半实物仿真	(177)
14.1	技术背景	(177)
14.1.1	SDN 仿真	(177)
14.1.2	半实物仿真	(179)
14.1.3	软件定义物联网	(181)
14.2	模型设计	(183)
14.2.1	软件定义 WSN	(183)
14.2.2	软件定义云数据中心	(184)
14.3	南向接口设计	(185)
14.3.1	云数据中心的南向接口设计	(185)
14.3.2	WSN 的南向接口设计	(185)
14.3.3	WSN 网关节点上控制程序实现	(186)
14.3.4	WSN 软件定义任务包	(186)
14.3.5	源节点上控制程序	(188)
14.3.6	邻居节点的剩余能量发现	(188)
14.4	北向接口设计	(189)
14.4.1	云数据中心北向接口设计	(189)
14.4.2	传感网的北向接口实现	(190)

14.4.3	传感网网关 WSN 网关节点设计	(190)
14.5	仿真实验	(191)
14.5.1	多应用的多路设计	(192)
14.5.2	应用级数据共享	(193)
14.5.3	传感平台共享	(193)
14.6	小结	(195)
15	5G 主动缓存	(196)
15.1	研究动机	(196)
15.2	存储即服务(CaaS)	(197)
15.2.1	CaaS 概念	(197)
15.2.2	CaaS 应用	(198)
15.2.3	CaaS 挑战	(199)
15.3	无线 D2D 网络中的移动感知缓存	(200)
15.3.1	无线 D2D 网络中的缓存	(200)
15.3.2	无线 D2D 网络中的计算卸载	(203)
15.3.3	缓存和计算的奖励机制	(206)
15.3.4	总结	(207)
15.4	以内容为中心的网络(CCN)	(207)
15.4.1	CCN 简介	(207)
15.4.2	CCN 内容命名	(209)
15.4.3	CCN 基本流程	(209)
15.5	主动缓存替换策略研究	(211)
15.5.1	CCN 仿真设置	(211)
15.5.2	CCN 缓存替换策略	(212)
15.5.3	基于前缀预测的缓存替换策略(PP)	(212)
15.5.4	基于流行度的细粒度缓存替换策略(FGPC)	(213)
15.5.5	CCN 动态缓存调节	(213)
15.6	面向 CCN 的缓存虚拟化	(215)
15.7	CCN 的 OPNET 仿真实现	(216)
15.7.1	CCN 模型设计	(217)
15.7.2	数据结构	(218)
15.7.3	包结构及说明	(219)
15.7.4	PPCC/PP 仿真结果	(220)
15.7.5	FGPC/D-FGPC 仿真结果	(222)
	参考文献	(225)

软件定义 5G 网络概述

随着信息和网络技术的快速发展,移动通信经历了从语音业务到移动宽带业务的飞跃式发展,移动互联网和物联网是未来移动通信发展的两大主要驱动力,无线移动通信网络的数据流量正以每年接近 100% 的速度增长,未来移动医疗、车联网、智能家居、工业控制、环境监测等也将会推动物联网应用呈井喷式的增长,出现海量设备接入移动网络;若加上物联网终端,接入数量将数以千亿,迫切需要更加快速、高效、智能化的新一代无线移动通信技术来支撑,第 5 代移动通信(5G)系统应运而生。

1.1 5G 的演进

1.1.1 移动通信的发展

回顾移动通信的发展历程,每一代移动通信系统都可以通过标志性能力指标和核心关键技术来定义。其中,1G 采用频分多址(FDMA),只能提供模拟语音业务;2G 主要采用时分多址(TDMA),可提供数字语音和低速数据业务;3G 以码分多址(CDMA)为技术特征,用户峰值速率达到 2 Mb/s 至数十 Mb/s,可以支持多媒体数据业务;4G 以正交频分多址(OFDMA)技术为核心,用户峰值速率可达 100 Mb/s~1 Gb/s,能够支持各种移动宽带数据业务。

第五代移动通信技术(5G),是 4G 之后的延伸,5G 标准正在研究中。5G 关键能力比前几代移动通信更加丰富,用户体验速率、连接数密度、端到端时延、峰值速率和移动性支持等都将成为 5G 的关键性能指标。然而,与以往只强调峰值速率的情况不同,业界普遍认为用户体验速率达到的“10 Gb/s”量级是 5G 最重要的性能指标,它真正体现了用户可获得的数据速率超越了此前的标准,也是用户感受最密切的性能指标。与之对应的一组关键技术包括毫米波通信、大规模天线阵列、超密集组网、移动缓存与计算、全频谱接入和新型网络架构。

1.1.2 国内外 5G 研究进展

目前,国际电信联盟已经完成了 5G 愿景研究,2017 年底将启动 5G 技术方案征集,2020 年将完成 5G 标准制定;标准化机构 3GPP 组织也已于 2016 年初启动 5G 标准

研究,2018 年下半年将形成 5G 标准第一个版本。

2012 年,欧盟拨款 5000 万欧元,正式启动 METIS(mobile and wireless communications enablers for the 2020 information society)项目,进行 5G 移动通信网络的研究,计划到 2020 年推出成熟的标准。除了 METIS 之外,欧盟还启动了规模更大的科研项目 5G PPP(5G public-private partnership),旨在加速欧盟 5G 研究和创新,以确立欧盟在 5G 领域的主导地位。

2015 年 3 月 3 日,欧盟数字经济和社会委员古泽·奥廷格正式公布了欧盟的 5G 公私合作愿景,力求确保欧洲在下一代移动技术全球标准中的话语权。奥廷格表示,5G 公私合作愿景不仅涉及光纤、无线甚至卫星通信网络相互整合,还包括软件定义网络(SDN)、网络功能虚拟化(NFV)、移动边缘计算(MEC)和雾计算(fog computing)等技术。在频谱领域,欧盟的 5G 公私合作愿景还将可用频宽划定数百兆赫兹用于提升网络性能,60 GHz 及更高频段也将被纳入考虑,欧盟的 5G 网络将在 2020—2025 年投入运营。

英国政府联合多家企业在萨里大学成立 5G 研发中心,致力于 5G 的研究。2015 年 3 月 1 日,英国《每日邮报》报道,英国已成功研制 5G 网络,并进行 100 m 内的传送数据测试,每秒数据传输量高达 125 GB,是 4G 网络的 6.5 万倍,理论上 1 s 可下载 30 部电影,并称将于 2018 年投入公众测试,2020 年正式投入商用。

2015 年 9 月 7 日,美国移动运营商 Verizon 无线公司宣布,将从 2016 年开始试用 5G 网络,2017 年在美国部分城市全面商用。

在亚洲,韩国于 2013 年开启了“GIGA Korea”5 G 项目,该技术可在 28 GHz 超高频段以 1 Gb/s 以上的速度传送数据,且最长传送距离可达 2 km。相比之下,当前 4G LTE 服务的传输速率仅为 75 Mb/s。此前,这一传输瓶颈被业界普遍认为是一个技术难题,三星电子利用 64 个天线单元的自适应阵列传输技术破解了这一难题。与韩国目前 4G 技术的传送速度相比,5G 技术要快数百倍。利用这一技术,下载一部高画质(HD)电影只需 10 s,这一技术预计将于 2020 年开始推向商业化。

2014 年 5 月 8 日,日本电信运营商 NTT DoCoMo 正式宣布将与 Ericsson、Nokia、Samsung 等六家厂商共同合作,开始测试超越现有 4G 网络 1000 倍网络承载能力的高速 5G 网络,传输速度可望提升至 10 Gb/s。在 2015 年已经成功展开户外测试,并且期望于 2020 年开始运作。

中国 IMT-(international mobile telecommunications)-2020(5G)推进组成立于 2014 年,团结亚洲地区的 5G 研究力量,共同推进 5G 技术标准的发展。可见,5G 已成为国内外移动通信领域的研究热点。华为公司在 2009 年就已经展开了相关技术的早期研究,在之后的几年里向外界展示了 5G 原型机基站。2013 年 11 月 6 日,华为宣布将在 2018 年前投资 6 亿美元对 5G 技术进行研发与创新,并预言在 2020 年用户会享受到 20 Gb/s 的商用 5G 移动网络。IMT-2020(5G)主要目标是代表中国支撑 5G 国际标准研制,促进全球 5G 技术标准形成,推动 5G 研发及产业发展。研发试验将在 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。

5G 技术研发试验启动会于 2016 年 1 月 20 日在京召开,运营、系统、芯片、终端、仪表、互联网企业以及高校等单位 100 余位代表参加了会议。在 5G 即将进入国际标准研究的关键时期,我国启动 5G 研发技术试验,搭建开放的研发试验平台,邀请国内外

企业共同参与,将有力推动全球 5G 统一标准的形成,促进 5G 技术研发与产业发展,为我国 2020 年启动 5G 商用奠定良好基础。

1.1.3 5G 关键能力指标

5G 的应用场景可分为四大类:连续广域覆盖、热点高容量、低时延高可靠和低功耗大连接。

(1) 连续广域覆盖:在保证用户移动性(500 km/h)和业务连续性的前提下,提供 100 Mb/s 的体验速率。

(2) 热点高容量:在局部热点区域满足用户极高的流量密度需求,如 1 Gb/s 用户体验速率、数十 Gb/s 的峰值速率和每平方千米数十 Tb/s 的流量密度。

(3) 低时延高可靠:在车联网、工业控制物联网及认知应用中为用户提供毫秒(ms)级的端到端时延和接近 100% 的可靠性。

(4) 低功耗大连接:面向环境监测、智能农业等应用场景,提供低功耗、海量连接,支持百万平方公里的连接密度。

1.1.4 现有移动网络结构的挑战

现有的 5G 网络发展需要面对网络部署能力、网络运营能力和网络演进三个方面的挑战。具体挑战表述如下。

1. 网络部署能力

(1) 基站之间的交互功能不强,无法通过基站间通信实现高效的无线资源调度、移动性管理和干扰协同处理等。

(2) 核心网网关的部署位置较高,数据转发模式单一,导致业务流量向网络中心汇聚,特别是热点高容量的场景下,容易对移动回传网络造成较大的容量压力。

(3) 单一的网络架构和同化的控制功能不能适应 5G 差异化的物联网终端接入需求。

(4) 现有网络的端到端通信在用户面和通信面经历较长的途径,传输时延难以有效降低。

2. 网络运营能力

(1) 感知和开发能力不足:当前的无线接入网缺乏对用户和业务的感知能力,难以实现精细化管理,核心网的深度包检测技术的数据分析和挖掘能力有限,网络的开放能力有限,缺乏向外开发的接口,第三方不能很好地获取丰富的网络信息。无法实现网络带宽和服务质量等网络资源与第三方业务需求的友好连接。

(2) 网络运营能力亟待提升:运营商需要不断降低网络成本,提高运营水平,向物联网和垂直行情延伸。

3. 网络演进要求

(1) 网络协调能力有限:现有网络是通过核心网实现多接入同一控制,不同接入技术采用不同的移动性管理、QoS 控制和认证过程。多样的移动性管理机制引入了不同的信令流程,导致网络互联架构复杂,终端切换和互操作流程烦琐,网络协同控制能力

有限。

(2) 通信、缓存与计算的融合:5G 网络业务类型复杂多样,5G 网络采用超密蜂窝网结构基站异构,随着 5G 网络对各类业务的流量调度和数据转发高能效性要求越来越高,未来的 5G 网络不仅要支持移动终端在任意时间任意地点的通信接入,同时也要在任意时间任意地点为移动用户提供内容供应与计算支持。

1.2 5G 关键技术

1.2.1 5G 无线关键技术

5G 无线关键技术包括大规模天线技术、密集网络技术、全频谱接入技术、新型多址技术和 D2D 通信等。

(1) 大规模天线技术:在无线传输技术领域,大规模天线技术在现有多天线技术基础上通过增加天线数可支持数十个甚至更高数量的独立空间数据流,从而可大幅提升多用户系统的频谱效率,是提升系统频谱效率的最重要技术手段之一,对满足 5G 系统容量和速率需求将起到重要的支撑作用。超密集组网通过增加基站部署密度,可实现百倍量级的容量提升,是满足 5G 千倍容量增长需求的最主要手段之一。

(2) 密集网络技术:也称超密蜂窝网技术,是提高数据流量的关键技术。首先,在室外宏基站部署大规模天线,以此来获得更高的室外空间;其次,为了满足室内外的数据需求,需要布置更多的密集网络。密集组网下的小区部署更加密集,单个小区的覆盖范围大大缩小。密集网络通信还需要解决小区之间的干扰问题。小区虚拟化是密集网络技术的演进方向。

(3) 全频谱接入技术:全频谱接入涉及 6 GHz 以下低频段和 6 GHz 以上高频段,其中低频段是 5G 的核心频段,用于无缝覆盖;高频段作为辅助频段,用于热点区域的速率提升。全频谱接入采用低频和高频混合组网,充分挖掘低频和高频的优势,共同满足无缝覆盖、高速率、大容量等 5G 需求。全频谱接入重点研究高频段在移动通信中应用的关键技术,目前业界统一的认识是需要更好地研究 6~100 GHz 频段,该频段拥有丰富的空闲频谱资源,可有效满足未来 5G 对更高容量和速率的需求,可支持 10 Gb/s 以上的用户传输速率。

(4) 新型多址技术:通过在空间、时间、频率、码域实现信号的叠加传输来提升系统的接入能力,可有效支撑 5G 网络千亿设备连接需求。目前代表性的新型多址技术有 SCMA、PDMA 和 MUSA。

(5) D2D 通信:因为蜂窝系统存在覆盖、容量和功耗等方面的问题,智能网络终端如手机、平板、可穿戴设备、智能手表、车辆等可支持的无线通信能力越来越强,除了借助蜂窝网络通信之外,还可以借助于 WiFi、蓝牙、LTE-D2D 技术实现终端间的直接通信。D2D 作为 5G 的关键技术之一,对蜂窝系统起到了必不可少的支撑和补充作用。D2D 技术可实现通信终端间的直接通信。当前 D2D 的研究主要集中在发送功率控制和资源分配等方面。

1.2.2 5G 网络关键技术

5G 网络的关键技术有网关控制和转发分离、按需组网、智能缓存技术、新型网络架构技术、密集网络技术和 D2D 通信等。

(1) 网关控制和转发分离: 现有移动核心网网关设备包含路由转发和控制功能(信令处理和业务处理), 控制功能和转发功能之间是紧耦合关系。在 5G 网络中, 基于 SDN 思想, 将移动核心网网关设备的控制功能和转发功能进一步分离, 网络向控制功能集中化和转发功能分布化的趋势演进。控制和转发功能分离后, 转发平面将专注于业务数据的路由转发, 具有简单、稳定和高性能等特性, 以满足未来海量移动流量的转发需求。控制平面采用逻辑集中的方式实现统一的策略控制, 保证灵活的移动流量调度和连接管理。集中部署的控制平面通过移动流控制接口实现对转发平面的可编程控制。控制平面和转发平面的分离, 使网络架构更加扁平化, 网关设备可采用分布式的部署方式, 从而有效地降低业务的传输时延。控制平面功能和转发平面功能能够分别独立演进, 从而提升网络整体系统的灵活性和效率。

(2) 按需组网: 按需组网是 5G 网络中根据具体业务场景提供恰到好处的网络控制功能和性能保证。网络切片是实现按需组网的一种实现方式。网络切片是利用虚拟化技术将 5G 网络物理基础设施资源根据场景需求虚拟化为多个相互独立的、平行的虚拟网络切片。每个网络切片按照业务场景的需要和话务模型进行网络功能的定制剪裁和相应网络资源的编排管理。一个网络切片可以视为一个实例化的 5G 核心网架构。

(3) 智能缓存技术: 在靠近移动用户的位置上提供智能缓存和计算服务, 将内容分发推动到靠近用户的设备中, 更好地支持低时延和高带宽的业务需求。智能缓存还存在一些问题需要解决, 如运营商、设备商、内容提供商的合作和开放, 如何计费等问题。

(4) 新型网络架构技术: 基于 SDN、NFV 和云计算等先进技术可实现以用户为中心的更灵活、智能、高效和开放的 5G 新型网络, 以解决传统蜂窝接入网和核心网的性能局限, 满足用户不断增长的业务需求。

1.2.3 SDN 和 NFV

最近, 为优化资源利用率从而减少支出, 移动网络运营商趋向于设想基于软件云服务器的虚拟移动网络功能。软件定义网络化(SDN)和网络功能虚拟化(NFV)是朝这个方向发展的两项关键技术。

1. SDN

SDN(software defined network)起源于 2006 年斯坦福大学的 Clean Slate 研究课题, 2009 年, Nick McKeown 教授正式提出了 SDN 概念, 即利用分层的思想, 将数据层与控制层相分离。在控制层, 包括具有逻辑中心化和可编程的控制器, 可掌握全局网络信息, 方便运营商和科研人员管理配置网络和部署新协议等。

传统 IT 架构中的网络, 根据业务需求部署上线以后, 如果业务需求发生变动, 重新修改相应网络设备(路由器、交换机、防火墙)上的配置是一件非常烦琐的事情。在互联网/移动互联网瞬息万变的业务环境下, 网络的高稳定与高性能还不足以满足业务需求, 灵活性和敏捷性反而更为关键。SDN 所做的事是将网络设备上的控制权分离出