



信息通信领域产学研合作特色期刊  
第三届国家期刊奖百种重点期刊 | 中国科技核心期刊

ISSN 1009-6868  
CN 34-1228/TN  
CODEN ZTJHAY

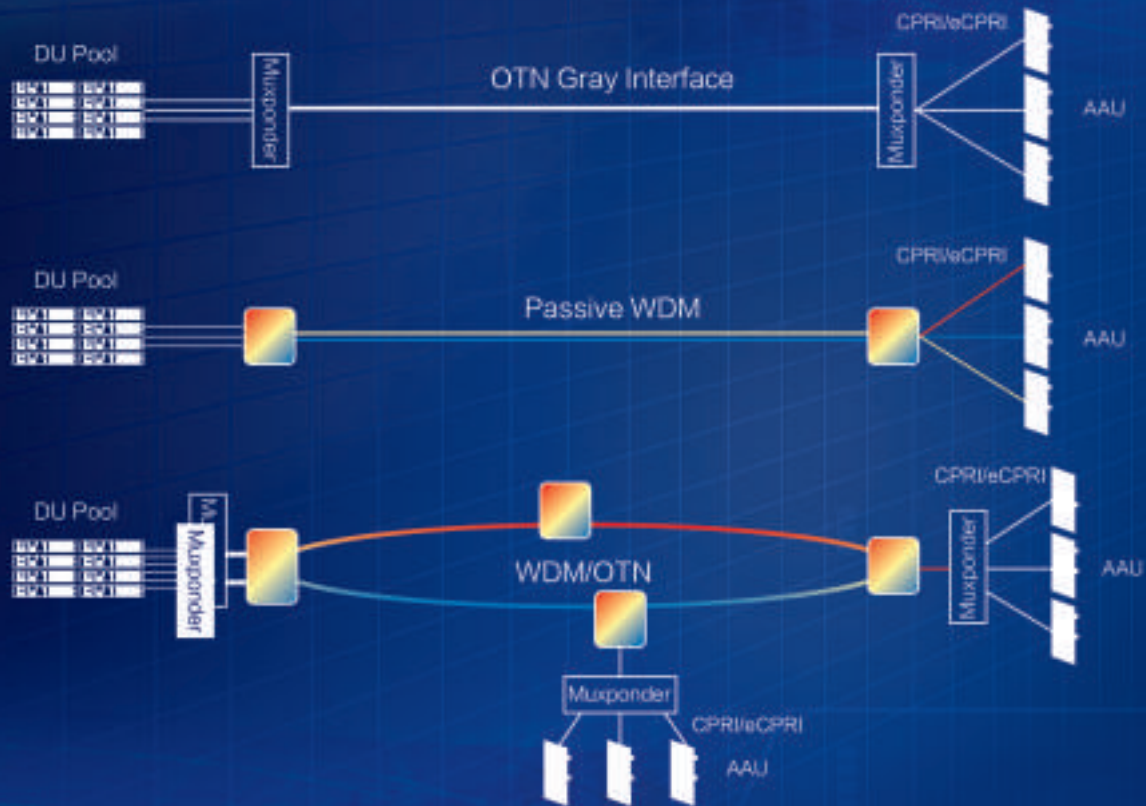
# 中兴通讯技术

## ZTE TECHNOLOGY JOURNAL

tech.zte.com.cn

2018年2月 • 第1期

### 专题：5G 承载网技术和优化组网



# 《中兴通讯技术》第7届编辑委员会委员名单

**顾问** 侯为贵（中兴通讯股份有限公司创始人） | 钟义信（北京邮电大学教授） | 陈锡生（南京邮电大学教授）

**主任** 陆建华（中国科学院院士,清华大学教授）

**副主任** 赵先明（中兴通讯股份有限公司总裁） | 糜正琨（南京邮电大学教授）

**副主任** 马建国（广东工业大学教授） | 陈前斌（重庆邮电大学副校长）

## 编委（按姓名拼音排序）

- |                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| <b>曹淑敏</b> 北京航空航天大学党委书记     | <b>唐雄燕</b> 中国联通网络技术研究院首席专家           |
| <b>陈建平</b> 上海交通大学教授         | <b>童晓渝</b> 中电科软件信息服务有限公司副总经理         |
| <b>陈杰</b> 中兴通讯股份有限公司高级副总裁   | <b>王京</b> 清华大学教授                     |
| <b>陈前斌</b> 重庆邮电大学副校长        | <b>王文东</b> 北京邮电大学教授                  |
| <b>葛建华</b> 西安电子科技大学教授       | <b>王喜瑜</b> 中兴通讯股份有限公司副总裁             |
| <b>管海兵</b> 上海交通大学教授         | <b>王翔</b> 中兴通讯股份有限公司副总裁              |
| <b>洪波</b> 中兴发展股份有限公司总裁      | <b>卫国</b> 中国科学技术大学教授                 |
| <b>洪伟</b> 东南大学教授            | <b>吴春明</b> 浙江大学教授                    |
| <b>纪越峰</b> 北京邮电大学教授         | <b>邬贺铨</b> 中国工程院院士                   |
| <b>蒋林涛</b> 中国信息通信研究院科技委主任   | <b>徐安士</b> 北京大学教授                    |
| <b>李尔平</b> 浙江大学教授           | <b>续合元</b> 中国信息通信研究院副总工              |
| <b>李红滨</b> 北京大学教授           | <b>徐慧俊</b> 中兴通讯股份有限公司执行副总裁           |
| <b>李建东</b> 西安电子科技大学副校长      | <b>薛一波</b> 清华大学教授                    |
| <b>李军</b> 清华大学教授            | <b>杨义先</b> 北京邮电大学教授                  |
| <b>李乐民</b> 中国工程院院士,电子科技大学教授 | <b>杨震</b> 南京邮电大学校长                   |
| <b>李融林</b> 华南理工大学教授         | <b>尤肖虎</b> 东南大学教授                    |
| <b>李少谦</b> 电子科技大学教授         | <b>张宏科</b> 北京交通大学教授                  |
| <b>李星</b> 清华大学教授            | <b>张平</b> 北京邮电大学教授                   |
| <b>刘建伟</b> 北京航空航天大学教授       | <b>张云勇</b> 中国联通研究院院长                 |
| <b>陆建华</b> 中国科学院院士,清华大学教授   | <b>赵慧玲</b> 中国通信标准化协会网络与业务能力技术工作委员会主席 |
| <b>马建国</b> 广东工业大学教授         | <b>赵先明</b> 中兴通讯股份有限公司总裁              |
| <b>孟洛明</b> 北京邮电大学教授         | <b>郑纬民</b> 清华大学教授                    |
| <b>糜正琨</b> 南京邮电大学教授         | <b>钟章队</b> 北京交通大学教授                  |
| <b>庞胜清</b> 中兴通讯股份有限公司执行副总裁  | <b>周亮</b> 南京邮电大学教授                   |
| <b>孙知信</b> 南京邮电大学教授         | <b>朱近康</b> 中国科学技术大学教授                |
| <b>谈振辉</b> 北京交通大学教授         |                                      |



信息通信领域产学研合作特色期刊  
第三届国家期刊奖百种重点期刊  
中国科技核心期刊  
工信部优秀科技期刊  
中国五大文献数据库收录期刊  
ISSN 1009-6868  
CN 34-1228/TN  
1995年创刊

### 办刊宗旨

以人为本,荟萃通信技术领域精英  
迎接挑战,把握世界通信技术动态  
立即行动,求解通信发展疑难课题  
励精图治,促进民族信息产业崛起

# Contents 目次

中兴通讯技术 总第138期 第24卷 第1期 2018年2月

## 卷首特稿

02 5G商用,蓄势待发.....徐慧俊

## 专题:5G 承载网技术和优化组网

- 06 5G无线网络架构对传输网的影响.....许森,高程,卞宏梁  
13 5G移动业务OTN承载解决方案.....孙志勇  
17 面向5G的承载网需求及关键技术.....师严,王光全,王海军  
21 面向5G的MEC系统关键技术.....宋晓诗,闫岩,王梦源  
26 网络切片:构建可定制化的5G网络.....任驰,马瑞涛  
31 基于增强学习的5G网络切片资源动态优化方案.....任语铮,谢人超,黄韬  
37 移动边缘计算的移动性管理研究.....王秋宁,谢人超,黄韬  
42 5G承载网技术和优化组网.....张宝亚

## 专家论坛

- 49 5G承载的挑战与技术方案探讨.....李俊杰,唐建军  
53 面向5G的传送网新架构及关键技术.....李晗

## 企业视界

- 58 面向5G承载的网络切片架构与关键技术.....王强,陈捷,廖国庆  
62 5G传送标准进展.....张源斌,杨剑,占治国,周严伟

期刊基本参数:CN 34-1228/TN\*1995\*b\*16\*64\*zh\*P\*¥ 20.00\*15000\*13\*2018-02

# Contents 目次

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL Vol. 24 No. 1 Feb. 2018

## Guest Paper

02 Commercial 5G, Ready to Take Off ..... XU Huijun

## Special Topic: Technologies and Optimal Networking of 5G Bearing Network

06 Impact of 5G Wireless Network Architecture on Transport Network .....  
..... XU Sen, GAO Cheng, BIAN Hongliang

13 OTN Bearing Solution for 5G Mobile Service ..... SUN Zhiyong

17 Requirements and Technologies of 5G Transmission Bearing Network .....  
..... SHI Yan, WANG Guangquan, WANG Haijun

21 Key Technologies of 5G Oriented Mobile Edge Computing System .....  
..... SONG Xiaoshi, YAN Yan, WANG Mengyuan

26 Network Slicing: Building Customizable 5G Network ..... REN Chi, MA Ruitao

31 Dynamic Resources Optimization for 5G Network Slicing Based on Enhanced Learning .....  
..... REN Yuzheng, XIE Renchao, HUANG Tao

37 Mobility Management of Mobile Edge Computing .....  
..... WANG Qiuning, XIE Renchao, HUANG Tao

42 Technologies and Optimal Networking of 5G Bearing Network ..... ZHANG Baoya

## Expert Forum

49 Challenge and Technical Scheme of 5G Bearing Network ..... LI Junjie, TANG Jianjun

53 The New Architecture and Key Technologies for 5G Transport Network ..... LI Han

## Enterprise View

58 Architecture and Key Technologies of 5G Transport Network Slicing .....  
..... WANG Qiang, CHEN Jie, LIAO Guoqing

62 Standardization Progress of 5G Transport .....  
..... ZHANG Yuanbin, YANG Jian, ZHAN Zhiguo, ZHOU Yanwei

## 敬告读者

本刊享有所发表文章的版权,包括英文版、电子版、网络版和优先数字出版版权,所支付的稿酬已经包含上述各版本的费用。

未经本刊许可,不得以任何形式全文转载本刊内容;如部分引用本刊内容,须注明该内容出自本刊。

## 2018年第1—6期专题

### 1 5G 承载网技术和优化组网

张云勇 中国联通研究院院长  
徐雷 中国联通研究院高级工程师

### 2 大数据智能化无线网络技术

陈前斌 重庆邮电大学副校长

### 3 毫米波与太赫兹通信技术

洪伟 东南大学教授  
王海明 东南大学教授

### 4 5G 回传网络光电子器件技术

孙笑晨 中兴光电子技术有限公司技术总监  
徐勇积 中兴光电子技术有限公司总经理

### 5 可再生能源供电的无线通信

牛志升 清华大学教授

### 6 区块链技术及其物联网应用

刘建伟 北京航空航天大学教授

# 专题名称:5G 承载网技术和优化组网

## 策划人简介



张云勇

全国政协委员、国务院特殊津贴专家、教授级高工、百千万人才工程国家级人选,现为中国联通研究院院长、党委副书记,北京邮电大学、北京理工大学兼职教授,“863”、国家重大专项和国家奖励办核心专家,国资委教授级高工评审委员会专家,大数据流通与交易国家工程实验室专家委员会专家,中国电子学会会士,通信学会会士,优秀科技工作者,青年俱乐部网络通信委员会副主任,通信学会学术委员会会员,工信部SDN产业联盟副理事长,信息通信大数据联盟副理事长;被授予“国家有突出贡献中青年专家”称号,获工信部ITU优秀文稿奖2次、优秀个人奖2次,获国际奖励1项,省部级奖励15项;主持、发布国际上第1个ITU云计算框架、SDN标准,报批发布国家、行业规范9项;发表论文70余篇,出版中文论著19部、英文论著1部,授权专利54项、软件著作权37项,被国际组织采纳文稿300余篇。



徐雷

中国联通研究院云计算研究中心主任、高级工程师,北京邮电大学企业导师,信息通信技术编委会副主任;在CCSA、SDN/NFV产业联盟牵头多项标准制定;获行业奖项5次,联通科技进步奖5次;参与编写中文论著3部、英文论著1部,发表论文20余篇,授权专利5项、软件著作权9项,被国际组织采纳文稿50余篇。

## 内容导读

近年来,随着移动通信技术的发展,针对移动通信的需求也日益增加,业务的差异化带来了各种完全不同的需求。5G技术提出至今,一直是业界最热门的话题之一。目前,中国各大运营商都在加速5G商用步伐,预计2020年进行正式商用。国际电信联盟(ITU)定义的5G的3类典型应用场景包括:增强型移动宽带(eMBB)、大规模机器类通信(mMTC)、超可靠低时延通信(uRLLC),其中eMBB的特点是大带宽、面向移动通信场景;mMTC的特点是链接大、流量小,主要面向物联网应用;uRLLC的特点是超低时延、高可靠性,主要面向工业自动化等实时性控制类应用。5G网络对带宽、时延、时间同步等多方面功能和指标的更高诉求,都给承载网络带来了巨大的挑战。因此,业界对5G承载网技术和组网方式的关注度相当高。承载能否满足网络要求,将直接影响到5G商用进程。

承载网络技术发展是5G能否成功的关键因素之一,网络架构在5G时代的主要变化包括:核心网全面云化、集中式演变为分散式、引入SDN实现控制层面和转发层面的解耦,这使得网络更开放,从而灵活支撑上层业务和应用。通过布局软件定义网络(SDN)、网络功能虚拟化(NFV)以及云计算技术进行网络重构,是5G承载网的重中之重。网络切片技术可以满足多样化的网络应用场景需求,在5G发展中扮演着重要的角色,成为5G创新技术的讨论热点之一。SDN/NFV技术,将物理基础设施资源虚拟化为多个相互独立的逻辑专有网络,每个网络切片服务于某一具体的业务场景,以满足不同业务场景对带宽、时延、服务质量等差异化要求,从而满足各种垂直行业多样化需求,以增强网络弹性和自适应性。移动边缘计算(MEC)也是5G一个非常重要的关键技术,可以把业务和存储包括计算的能力,都推送到用户,更靠近基站,即下沉到网络的边缘。MEC技术可以让5G的应用服务和内容部署更加灵活,可以提供更低成本和更低时延的5G新业务。另外,5G时代网络数据流量爆炸式增长,网络的“覆盖”和“容量”成为需要重点考虑的问题,5G超密集组网是解决未来5G网络数据流量1000倍以及用户体验速率10~100倍提升的有效解决方案。

本期专题围绕5G承载网技术和优化组网的最新进展、发展趋势、关键技术、实现手段等多个维度开展专题讨论。来自高校、运营商以及设备厂商等5G承载网技术研究优势单位的专家学者通过他们独到的视角对5G承载网技术进行了深入分析和探讨。感谢各位作者对本期专题的支持与贡献!

张云勇 徐雷

2018年1月10日

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2018.01.001

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20180116.0835.002.html>

**[摘要]** 分析了2017年5G标准进展、各国5G频谱规划以及主流运营商的5G商用时间表等,认为5G产业链正在加速成熟,5G商用越来越近。5G相关的关键技术已经得到充分验证,如:大规模多输入多输出(Massive MIMO)在Pre5G中商用,基于网络功能虚拟化(NFV)架构的云化网络方案在4G网络中商用,5G承载的软件定义网络(SDN)架构、灵活以太网(FlexE)/灵活光传送网(FlexO)等趋于成熟,5G端到端(E2E)网络切片、自动化运维、人工智能(AI)等关键技术也将助力5G网络运营。分析了中国在5G产业进程中发挥的作用,并展望了5G未来的发展进程。

**[关键词]** 5G; SDN/NFV; 网络切片; 自动化运维; AI

**[Abstract]** The standardization progress, wireless spectrum planning and the updated timetable for 5G of some advanced countries are analyzed in this paper. The commercial 5G is regarded much closer to the market with an accelerating industrial chain. The 5G technologies have been fully verified in many fields, such as massive multiple input multiple output (Massive MIMO) application in Pre5G, network function virtualization (NFV)-based cloudification deployment in 4G network, software defined networking (SDN) architecture for 5G bearing, flexible Ethernet (FlexE)/flexible optical transport network (FlexO) application and 5G smart operation aided by end-to-end (E2E) network slicing, automatic operation and maintenance (O&M), and artificial intelligence (AI). The important role of China is also analyzed in the progress of 5G industry development, and finally the commercial 5G timetable is proposed with an aspiring expectation.

**[Key words]** 5G; SDN/NFV; network slicing; automatic O&M; AI

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 01-0002-04



**徐慧俊**, 1998年毕业于清华大学电子工程专业,获得工学硕士学位,同年加入中兴通讯股份有限公司。自2016年4月起担任中兴通讯执行副总裁、首席技术官(CTO),是公司系统产品负责人;2004—2016年3月任中兴通讯高级副总裁,先后负责本部事业部、工程服务经营部、无线产品经营部工作;1998—2003年,历任中兴通讯北京研究所系统工程师、项目经理、副所长、所长。在有线、无线及工程服务等领域有超过19年的管理经验。

收稿日期: 2017-12-20  
网络出版日期: 2018-01-16

# 5G 商用, 蓄势待发

## Commercial 5G, Ready to Take Off

徐慧俊/XU Huijun

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)  
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

“4G 改变生活, 5G 改变社会。”5G 不仅仅是带宽的提升, 而且是一次颠覆性升级, 是人与人通信向万物互联的转变, 是整个社会数字化转型的基石。移动超高清视频、增强现实(AR)/虚拟现实(VR)等大视频应用推动网络带宽需求大幅提升; 工业自动化、无人驾驶、网联无人机、远程医疗、智能交通、智能电网等行业应用逐步兴起, 也对网络提出了超高可靠性、超低时延、海量连接等特殊场景需求。5G 将开启万物互联、无限遐想的新时代, 整个社会对5G时代充满期待。

### 1 5G 产业环境趋于成熟

#### 1.1 5G 标准化进程不断加速

自4G产业走向成熟时起, 国际

标准组织和主流运营商逐渐将产业发展重心聚焦到5G的标准制定上, 第3代合作伙伴计划(3GPP)、国际电信联盟(ITU)、下一代移动通信网络联盟(NGMN)等标准组织分别在2015年先后启动了5G相关的标准制定工作<sup>[1-3]</sup>。2017年12月21日, 3GPP的5G新空口(NR)首发版本——R15非独立组网(NSA)核心标准正式冻结。这是5G标准的重要里程碑, 标志着不久的将来将进入5G网络建设的规模验证和预商用阶段。

5G标准比前面的1G、2G、3G、4G标准都更为统一。业界吸取了移动通信技术发展的经验教训, 合力推动形成统一的5G标准, 避免了各种利益集团之间的纷争。这是5G标准能够不断提速的重要原因, 也使得未来5G在基站、终端、芯片等各方面都能

够更为统一,5G产业链将更加容易成熟。

### 1.2 各国政府陆续出台5G频谱规划

各国政府均将5G网络建设提升到信息化产业的战略高度,从全球5G试验进度来看,美国、韩国、日本、中国将成为首批部署5G网络的国家,欧洲紧随其后。中东地区部分国家也有快速部署5G网络的需求,如阿联酋将在2020年举办世博会,卡塔尔将在2022年举办世界杯,这些都将是刺激5G网络部署需求。非洲大多数国家4G普及率仍较低,5G部署计划将相对滞后。

以中、美、日、韩、欧为代表的多个国家和地区分别发布了3.5 GHz、4.9 GHz附近的中频段以及26 GHz、28 GHz附近的高频段的5G频谱规划,抢占5G发展先机。中国在2017年11月确定将3.3~3.6 GHz和4.8~5 GHz中频段作为5G频段。

3.5 GHz已经成为大多数运营商首选的5G建网频段,未来可以应用于全球网络漫游的5G频段。5G网络建设需要同时兼顾覆盖和容量,3.5 GHz频段借助大规模多输入多输出(Massive MIMO)等天线技术,覆盖范围可以媲美1 800 MHz,运营商可以复用现有站点来建设5G网络。高频段具有大量连续频段,频谱资源丰富,但网络覆盖存在挑战。

### 1.3 主流国家和运营商纷纷明确5G商用时间表

5G已经成为全球运营商发展的焦点,全球51家运营商积极开展5G技术验证和部署试验,以中、日、韩为主的亚太地区最多,共有22家,欧洲16家,北美7家。其中有23家运营商已经发布5G网络商用时间表,亚太10家,欧洲5家,北美4家。从发布时间表来看,美国、韩国将率先推出5G商用服务。

• 中国三大运营商2017年分别在北京、上海等10多个城市启动5G

试验。中国移动2017年6月提出服务化架构(SBA)正式纳入3GPP 5G核心网统一架构,2017年底制定切片分组网(SPN)企业标准,并与中兴通讯等厂家完成SPN第1阶段测试。中国电信2017年8月发布《中国电信5G创新示范网白皮书》。中国联通于2017年6月完成首个5G在3.5 GHz和1.8 GHz的双频试验,并联合中兴通讯在深圳开通5G NR外场测试。中国三大运营商的5G试验网已经全面启动,2018年将启动面向商用的大规模组网试验,2019年进入预商用阶段,2020年进入规模商用阶段。

• 美国规划到2020年为1亿家庭提供无线宽带服务,两大运营商在2016年初就启动了在高频段面向固定场景的5G测试工作。2017年,AT&T在印第安纳波利斯的部分地区推出5G演进网络;Verizon向亚特兰大、达拉斯等11座城市的特定用户提供高速5G网络。两个运营商均计划在2018年面向全美推出固定5G通信服务。

• 韩国成立“5G Forum”,推动5G移动通信进展,计划2020年推出全面的5G商用服务。SKT在2017年6月成功展示3.5 GHz频段的5G通信,在2017年底进行规模预商用5G网络部署,计划在2018年冬奥会期间开启5G试验网商用服务。

• 日本计划在2020年东京奥运会前商用5G移动通信服务。Softbank在2016年9月宣布启动5G项目,并于2017年6月与中兴通讯开展了基于4.5 GHz的5G外场试验,且成为全球首家将Massive MIMO技术正式投入商用的运营商。

• 德国发布了5G国家战略,借助于5G建设,拉动电网、智慧城市等数字基础设施建设。DT在2015年2月成立了5G创新实验室,2017年在柏林成功部署了基于最新3GPP标准的5G NR网络连接,并计划在2018年试运行5G网络,为广泛商用部署做准备。

从目前开展5G测试的情况来看,各国运营商对5G应用场景的关注点存在明显差别。中、日、韩运营商重点关注增强型移动宽带(eMBB)场景,欧洲运营商关注5G在垂直行业的应用,美国运营商更关注固定无线接入场景应用。

综合5G标准进展、各国5G频谱规划、主流运营商公布的5G商用时间表来看,2017年在5G标准、频谱规划、5G关键技术验证等方面均取得了突破性进展,整个5G产业链正加速成熟,2018—2019年将成为5G预商用阶段和小规模商用阶段,2020年将逐步进入5G规模商用阶段。5G正向我们走来。

## 2 5G关键技术已经开展广泛的实践和验证

5G网络建设理念已经从传统“业务适配网络”向“网络适配业务”转变。5G网络需要构建为面向eMBB、超可靠低时延通信(uRLLC)、大规模机器类通信(mMTC)等典型场景服务的综合性网络。除了通过天线阵列化、组网密集化、非正交等无线关键技术进一步提升无线网络带宽能力外,还需要覆盖到核心网、前传/回传网络、运维系统等,包括网络云化(软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV))、端到端(E2E)网络切片、运维自动化等方面的关键技术,以便灵活适应更多垂直行业应用场景的差异化需求和商业模式。

### 2.1 无线网络向天线阵列化、非正交、组网密集化发展

无线频谱资源始终是有限的、稀缺的,提升频谱效率始终是一代代移动网络升级中的关键。多天线空分技术是唯一可成倍提升频谱效率的技术,Massive MIMO作为最重要的空分技术,支持更为精准的波束控制和更高的并发流数,已经成为5G最核心的关键技术。Massive MIMO技术已经被提前应用来解决4G网络容量

问题。在全球很多市场,频谱资源非常有限,而流量增速很快,产生了4G网络与流量需求之间的矛盾,将Massive MIMO技术应用到4G网络,小区吞吐量提升了4~6倍,成功解决了市场的痛点问题。中兴通讯创新地提出Pre5G,将Massive MIMO技术提前应用于4G网络,获得全球移动通信系统协会(GSMA)颁发的“突破性创新奖”和“CTO选择奖”两项殊荣,并成功将其推向商用。Pre5G Massive MIMO的成功商用,大幅度加速了5G Massive MIMO的商用进程。

非正交技术是5G很有前途的一个技术方向。从1G到4G均基于正交通信技术,具有简单高效的特点,然而对于超大数量连接、小带宽需求,正交技术带来较大的开销,且不能有效应对远近效应。5G提出非正交通信技术,可以针对远近效应进行优化,部分非正交技术可以实现完全的免调度,例如:中兴提出的多用户共享接入(MUSA)技术,可大幅度提升小数据包的性能和效率,并使连接数量提升6倍以上。

超密集组网(UDN)可以进一步提升5G网络单位面积的网络容量和用户体验速率,但UDN提升容量的同时,也面临着同频干扰、移动性管理、多层网络协同等技术问题。国际移动通信(IMT)-2020专门成立了UDN工作组,针对UDN可能面临的问题提出了一系列解决方案,包括干扰管理、小区虚拟化等方案。干扰管理通过网络侧多天线技术形成的空域自由度,从频域、时域、码域、功率域和空域等角度进行干扰规避;通过终端侧干扰对齐技术,利用干扰信道信息设计编码和译码矩阵,把多个干扰信号抑制到较低的干扰空间。小区虚拟化以用户为中心,将多个实体小区虚拟为一个逻辑小区,通过传输节点间协作,为用户提供一致、连续的服务,并通过控制层与数据层分离,避免了用户频繁切换,降低小区内控制信道干扰,改善了移动性和用

户体验。

## 2.2 网络功能云化

为了适应业务的灵活快速发展,云化部署和分层解耦已经成为5G网络建设的基本需求。中国移动牵头的SBA架构已经成为3GPP的5G核心网统一架构。遵循互联网软件架构发展历程和NFV架构,电信网络功能从软硬件解耦、云化部署/多层解耦,进一步向云原生架构发展。5G核心网和5G集中单元(CU)将遵循NFV技术架构,采用云原生技术构建,并基于虚拟化/容器化的基础设施灵活部署。

NFV技术架构已经在4G网络的虚拟演进分组核心网(vEPC)、虚拟IP多媒体子系统(vIMS)等建设中得到了规模商用验证。中国移动、中国电信、VDF、AT&T等主流运营商均已经在云化基础设施、核心网虚拟化、三层解耦等方面进行了充分的验证,积累了丰富的经验。中兴通讯已经为VEON提供了架构领先、面向5G演进的SDN/NFV云化网络解决方案,可实现端到端网络切片和软硬件解耦,2G/3G/4G同时接入,总体拥有成本(TCO)降低达30.4%。

## 2.3 承载网络弹性化

5G建设,承载先行,5G承载网的技术和标准变得越来越重要。面对5G无线接入网络(RAN)侧灵活切片、核心网云化等架构转变,承载网可以采用分组传送网(PTN)、无线接入网IP化(IPRAN)、光传送网(OTN)、波分复用点对点无源光网络(WDM-PON)、微波等灵活构建前传、中传和回传网络,并引入SDN架构、灵活以太网(FlexE)、灵活光传送网(FlexO)、分段路由(SR)、超高精度时间同步等关键技术,来构建统一弹性承载网络,满足5G网络超大带宽、超低时延、灵活连接等关键需求。例如:FlexE技术实现媒体接入控制(MAC)层与物理(PHY)层解耦,可以

通过多个物理链路捆绑来扩展网络容量,满足5G的大带宽和灵活组网需求;中兴FlexE Tunnel技术进一步将FlexE从接口级技术扩展到网络级技术,更好地满足5G网络前传/中传/回传的虚拟切片和低时延传送需求。

在5G外场测试和组网验证中,5G承载技术已得到充分的试验和验证。2017年底中国移动发布了5G承载SPN企业标准,并完成了SPN第1阶段验证工作。2017年世界移动大会(上海)期间,中兴通讯进行了FlexE Tunnel现场测试,支持端到端连通性检测、时延测量等操作管理维护(OAM)功能,故障倒换时间小于1ms,单节点转发时延最低小于0.5us。

## 2.4 E2E网络切片化

5G E2E网络切片化是5G网络支撑行业数字化转型的关键。相对传统无线网络主要面向公众用户提供接入服务,5G网络需要面对接入速率、连接数量、传输时延等业务服务等级(SLA)指标迥异的不同垂直行业场景的差异化需求,不同商业模式在统一的5G网络架构下共存。5G网络建设需要贯穿5G RAN、核心网和承载网络,构建E2E切片网络,面向行业客户提供快速定制交付、自动化闭环保障、安全隔离的虚拟专网。

基于CU/分布单元(DU)分离的无线接入网、云化的核心网、弹性的承载网的分布式部署、网络可编程的能力,可以面向eMBB、uRLLC、mMTC等SLA迥异的行业应用场景,快速定制具备独立关键业绩指标(KPI)、安全隔离的E2E 5G网络切片,交付给各个垂直行业数字化转型所需的虚拟专网。3G/4G网络实现从语音经营向流量经营转变,在5G时代,网络切片将成为电信运营商面向垂直行业可运营的产品,使5G网络能更灵活地支撑各个垂直行业的数字化转型。

## 2.5 AI赋能5G网络

5G时代依靠人工进行参数配置



和通过专家经验形成策略的方式越来越难以满足业务的动态变化要求,在5G网络中引入智能引擎,通过人工智能(AI)技术提升网络智能化水平,实现智能的策略生成和参数自动配置已经成为趋势。

AI赋能5G网络的典型场景有基于AI的5G波束赋形/移动负荷均衡、承载网流量预测和路径优化、虚拟化资源的智能动态分配、智能运维等。例如:基于AI的5G移动负载均衡(MLB)是利用射频指纹库,通过机器学习(ML)/深度学习(DL)算法对负荷提前预测,精选切换用户和目标小区,使得负荷快速降低并达到均衡状态,平均用户吞吐量提升10%以上。

AI技术的引入,将大幅提升5G网络的智能化水平,有效降低运维人力需求,提升5G系统的整体性能和综合效率。

## 2.6 运维自动化

5G网络中,连接类型的泛化、业务的多样性使得网络向着更加复杂多样的异构化方向发展,网络的参数配置越来越多,各类网络策略也愈加复杂,运维自动化已经成为5G网络建设和运营的关键。以编排为核心,借鉴DevOps理念提升电信网络运营效率,以控制、编排、管理、策略、分析(COMPA)为关键技术要素,构建自动化闭环运维系统;并实现E2E切片的快速定制开通、自动化闭环保障等全生命周期管理,通过能力开放向行业客户提供E2E网络切片的自服务、自运营门户。结合大数据/AI技术,将进一步增强运维系统的自动化能力,包括故障自愈、网络自优化、智能策略生成、网络规划预测等能力。

2017年底,开放网络自动化平台(ONAP)开源社区发布了针对云化网络建设的自动化运维第1个开源版本——Amsterdam。欧洲电信标准化协会(ETSI)专门设立了零接触网络和服务管理行业规范组(ZSM ISG),致力于面向5G网络与服务,实现灵

活、高效地管理、服务、运营自动化系统的标准化工作,实现5G网络全生命周期的所有操作流程和任务(包括交付、部署、配置、保障、优化)的自动执行,包括E2E网络切片的管理和运营。中兴通讯在2017年底协助中国移动在广州部署OSS4.0系统,实现vEPC、家宽业务、窄带物联网(NB-IoT)等多场景网络下的统一自动化闭环运维管理。

## 3 中国正在领跑全球5G发展

中国在全球标准制定中经历了“2G跟随,3G突破,4G同步,到5G引领”的过程,在5G标准制定中充分彰显了中国元素。3GPP定义5G物理层的工作组中,华人专家占到60%,其中服务于中国通信企业的达到70%;中国通信企业贡献到3GPP关于5G的提案,占全部提案的40%。如中兴通讯在3GPP针对5G的标准提案有3500多篇,承担了3个核心规范编辑人的角色,同时也参与了ITU、电气与电子工程师协会(IEEE)、IMT 2020、NGMN、ETSI等40多个主流标准组织、联盟和行业论坛。

中国在5G产业成熟方面功不可没。截至2017年底,中国已经完成5G技术试验的两阶段测试,并全面启动第3阶段测试,验证5G关键技术,推进商用前的互联互通工作。中国已经建成全球最大的5G外场试验环境,在北京怀柔外场完成30个站址规划,可满足多厂家的外场组网性能测试需求;2018年将进一步扩大5G外场测试规模。

中国将成为5G率先规模商用的国家之一,快速发展的垂直行业数字化转型和巨大的用户规模都将推动中国5G产业快速健康地发展。中国三大运营商和设备商已在5G产业合作和垂直行业场景验证方面开展了很多工作。中兴通讯已开展了与多个垂直行业标杆企业的深入合作,在VR/AR、车联网、工业无线、远程控

制、智能电网、远程医疗六大领域的云VR直播、无人驾驶、工业机器人、远程挖掘机、无人机电网巡检、远程手术等典型场景,不断探索未来5G的创新应用,优化5G基础网络产品。

## 4 未来5G发展展望

2017年,在整个5G产业的共同努力下,5G标准、关键技术、产业环境都取得了突破性的进展,预计2018年将进入规模的外场测试和预商用阶段。但运营商面临着营收增长的压力,在垂直行业应用未出现明显增长的情况下,运营商对5G投资将相对谨慎。这也将导致5G的建设周期拉长,未来5G发展将经历3个阶段。

●2018—2019年,5G外场测试和预商用阶段:标准和技术将进一步完善,大规模外场测试持续进行,早期的5G小规模商用将在中、美、日、韩、欧等国家和地区不断涌现。同时,Massive MIMO等5G相关的核心技术应用到4G网络中,Pre5G将成为现阶段移动网络建设的主旋律。

●2020—2021年,5G规模商用初期阶段:这个阶段5G网络建设的主要目标是分流4G网络的压力,进一步提升无线网络带宽,eMBB是核心场景。中国将率先大规模部署5G网络,成为全球最大的5G市场。

●2022年以后,5G商用持续深入和拓展:这个阶段的主旋律是通信业与垂直行业的跨界融合。5G作为未来数字经济时代的关键使能技术和基础设施,uRLLC和mMTC场景将快速发展,支撑垂直行业的数字化转型,如智慧城市、环境检测、工业自动化、无人驾驶、智能机器人等,新的场景应用将层出不穷。

5G商用,蓄势待发!

### 参考文献

- [1] ITU-R. IMT愿景:5G架构和总体目标. ITU-R M.2083[S]. ITU, 2015
- [2] Study on Architecture for Next Generation System: TR23.799[S]. 3GPP, 2016
- [3] NGMN 5G White Paper V1.0[R]. Frankfurt: NGMN Alliance, 2015

# 5G无线网络架构对传输网的影响

## Impact of 5G Wireless Network Architecture on Transport Network

许森/XU Sen  
高程/GAO Cheng  
卞宏梁/BIAN Hongliang

(中国电信股份有限公司北京研究院,  
北京 102209)  
(China Telecom Beijing Research Institute,  
Beijing 102209, China)

5G无线网络的设计目标是多种不同类型的业务提供满意的服务。这些典型业务通常分为三大类:增强型移动宽带(eMBB)业务、面向垂直行业的大规模机器类通信(mMTC)业务、超可靠低时延(uRLLC)<sup>[1]</sup>业务。不同的业务对于移动网络空口能力、架构等存在一定的差异,这些差异主要体现在时延、空口传输以及回传能力等方面:

(1)移动宽带业务。主要包括大带宽和低时延类业务,如交互式视频或者增强/虚拟现实(AR/VR)类业务,相对于3G/4G时代的典型业务而言,其对于用户体验带宽、时延等都有明显的差异。

(2)大规模机器通信连接业务。该类型业务是5G新拓展的场景,重点解决传统移动通信无法很好地支持物联网及垂直行业应用的问题。这类业务具有小数据包、低功耗、海量连接等特点。这类终端分布范围广、数量众多,不仅要求网络具备超千亿连接的支持能力,满足 $10^5/\text{km}^2$ 连接数密度指标要求,而且还要保证

收稿日期:2017-12-15  
网络出版日期:2018-01-06

中图分类号:TN929.5 文献标志码:A 文章编号:1009-6868(2018)01-0006-07

**摘要:** 为了满足3种5G典型业务的覆盖和容量的需求,5G网络中引入了非独立和独立部署4G和5G组网架构以及集中单元(CU)/分布单元(DU)分离的设备形态。新的无线网络架构对于未来传输网的部署也提出了新的挑战。基于当前5G网络架构的标准进展,从无线网络的角度分析了5G网络架构对传输网的影响和需求。

**关键词:** 5G网络;非独立组网;CU/DU分离;传输网络

**Abstract:** To satisfy the coverage and capacity for 5G typical traffic, the non-standalone and standalone deployment for 4G and 5G and a new base station type with centralized unit (CU) /distributed unit (DU) splitting have been introduced in future 5G network. The new wireless network architecture brings challenges to the transport network deployment. Based on the standardization progress of 5G network architecture, the impact and requirement of 5G wireless network architecture on transport network are analyzed from the perspective of wireless network.

**Keywords:** 5G network; non-standalone deployment; CU/DU splitting; transport network

终端的超低功耗和超低成本。因此5G网络中支持如此巨大的数目需要设计合理的网络结构,以降低网络部署成本。

(3)低时延高可靠需求。当前一些新兴业务对于时延和可靠性都提出严苛的要求。这类业务最低要求支持小于1ms的空口时延以及在某些场景里达到较高的传输可靠性。传统的蜂窝网络设计无法满足为这些特殊场景通信的可靠性需求,因此为了满足此类业务的需求,蜂窝网和传输网的可靠性和实时性都面临着极大的挑战

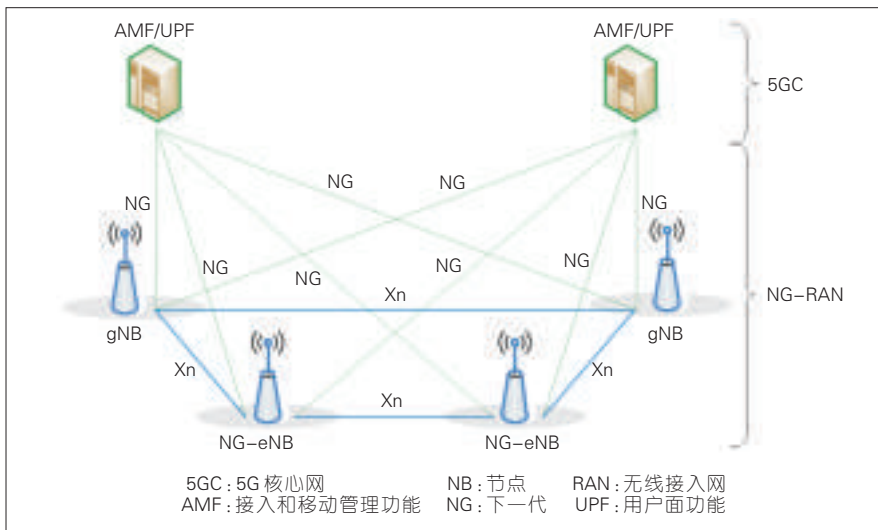
基于上述需求,第3代合作伙伴项目(3GPP)从2017年3月后正式展开了针对5G空口技术以及网络架构的标准化工作,如图1所示。当前5G下一代无线接入网(NG-RAN)中无线网络包括基于长期演进(LTE)

空口的以及基于5G新空口的两种类型的基站<sup>[2]</sup>。

两种类型基站在覆盖、容量、时延、新业务支持等方面都存在较大的差异。

(1)连接到5G核心网的下一代演进型节点(NG-eNB):该类型基站是在现有的4G网络上进行升级以支持5G的相关特性,因此通常可以认为NG-eNB网络支持多数的业务的连续覆盖。由于该类型基站的物理结构(如天线、帧结构等)仍然采用4G空口,因此其无法支持超低时延、超高速率的业务,无法满足5G定义的全部关键绩效指标(KPI)指标的要求。这种类型的基站对于前传和回传网络的需求基本可以认为与当前的4G无线网络相同。

(2)基于5G新空口的下一代节点(gNB):理论上可以满足5G定义的



▲ 图1 NG-RAN无线网络架构

所有关键绩效指标(KPI)需求及支持所有5G典型业务,相比于NG-eNB, gNB可以支持更高的空口速率,因此这种类型的基站对于前传和回传的带宽和时延都提出了更高的要求。

因此针对3GPP新业务的需求以及现网实际情况,运营商在未来的5G部署时需要充分考虑两网的能力特点来选择业务的支撑方案。

在标准中gNB的形态包括了类似于4G eNB的一体化基站以及集中单元(CU)/分布单元(DU)分离两种基站类型。图2给出了5G网络中不同类型的无线网元之间的架构和相关接口。在实际网络部署中, NR-

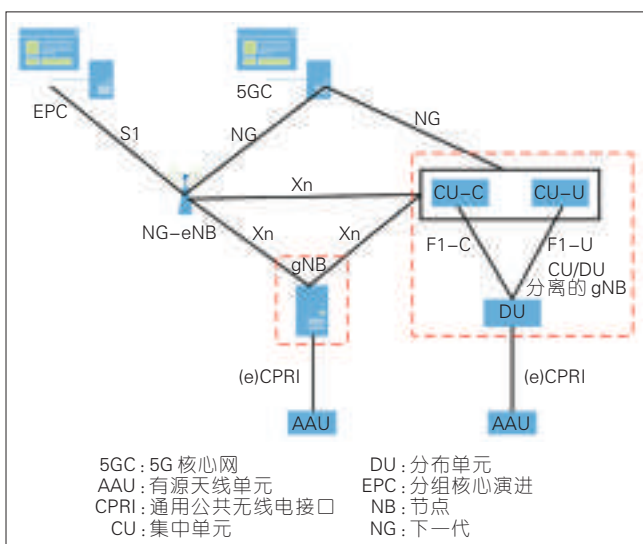
gNB及CU/DU不同部署位置对于传输网络都提出了不同的需求。

## 1 SA/NSA标准进展

针对4G和5G网络之间的协作关系,3GPP在SI阶段定义了独立部署(SA)和非独立部署(NSA)等不同类型的架构,主要包括Option 2、Option 3/3a/3x、Option 4/4a、Option 5、Option 7/7a/7x。其中NSA架构主要以3GPP Rel-12/13标准中双链接方案为参考进行设计。

### 1.1 Option 2(NR SA)

该方案在标准中是一种新空口



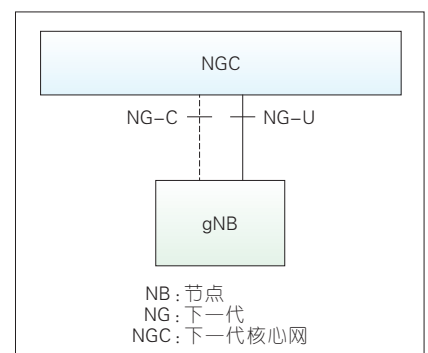
◀ 图2  
5G网络中不同类型的无线网元之间的架构和相关接口

(NR)独立组网的方案,其架构的特点为:(1)5G NR gNB连接到5G的核心网;(2)NR基站连接到5G核心网。在与现有的4G网络混合部署时,Option 1(Legacy LTE)+Option 2形成了两张独立的网络,为了保持业务连续性现网LTE和分组核心网(EPC)需要升级去支持跨核心网的移动性。该方案计划于2018年6月完成标准冻结工作。Option 2架构如图3所示。

### 1.2 Option 3/3a/3x

本架构在标准上是非独立组网方案之一,也被称为EN-DC方案,其特点是:(1)LTE基站作为控制面的锚点接入到EPC网络中, NR不需要支持S1-C接口和协议;(2)对于Option 3, NR作为LTE的一个“新载波”类型接入;(3)3a/3x方案NR需要支持S1接口。该方案已经在2017年11月美国召开的会议中完成标准的冻结。Option 3/3a/3x架构如图4所示。

该方案中存在3个子方案:在Option 3中,用户面承载锚点位于LTE侧,采用类似于双链接3C方案,该方案通常也被称为主小区组(MCG)分离承载,其中该承载的分组数据汇聚协议(PDCP)采用NR PDCP协议以保证在承载转换过程中终端侧无需进行PDCP版本的变化;在Option 3a中,用户面承载通过gNB进行发送,采用类似于双链接1A方案,该方案也被称为辅小区组(SCG)承载;对于Option 3x的方案,用户面承



▲ 图3 Option 2架构

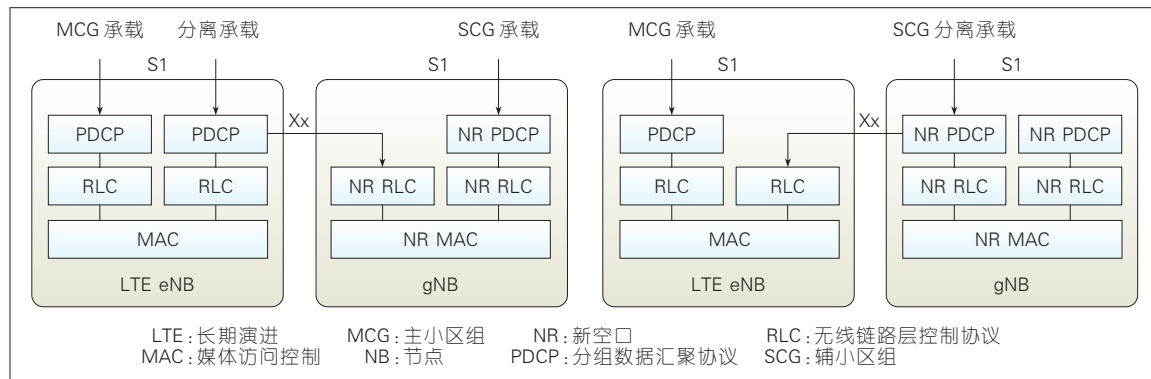


图4 Option 3/3a/3x架构

载的锚点位于gNB,该方案也被称之为SCG分离承载。其在Rel-15中引入的原因主要有两个:(1)减少NR和LTE之间的Xn接口的前转流量(基站间传输带宽需要满足LTE的峰值流量需求,而MCG分离承载中基站间传输带宽需要支持5G的峰值需求);(2)考虑到5G高频段(如毫米波)上信号存在不稳定的现象,在NR传输中一旦出现中断,可以利用LTE的覆盖的连续性和稳定性保证用户速率的快速恢复。

### 1.3 Option 7/7a/7x

Option 7/7a/7x方案与Option 3/3a/3x类似,都是一种非独立组网的方案,都采用LTE作为锚点进行控制面和用户面传输。在标准中被称为NG EN-DC方案,计划在2018年6月与Option 2一起完成标准的冻结工作。与Option 3系列的主要差异在于LTE需要连接到5G核心网,且LTE需要升级支持NG-eNB,包括协议栈上需要支持新的服务质量(QoS)协议层服务发现应用规范(SDAP)、支持NR的PDCP协议、NG/Xn协议等。

### 1.4 Option 5

本架构为NG-eNB独立连接到5G的核心网,本架构可以认为是Option 7的一个子状态,无论是网络还是终端若要支持Option 7系列必须要支持Option 5。具体的架构特点为:(1)NG-eNB基站连接到无线接入(NR)核心网,5G终端通过NG-eNB

连接到5G核心网;(2)NG-eNB同时连接到4G的EPC,传统4G终端通过NG-eNB连接到4G核心网;Option 5需要升级现网LTE以支持其连接到5G核心网,基站协议栈改动相对Option 2较多。

### 1.5 Option 4/4a

该架构的特点是NR gNB作为锚点接入到5G核心网中,如图5所示。LTE作为NR gNB的一个特殊的载波类型接入,其中对于4a方案LTE需要支持NG-U接口。Option 4/4a采用了NR作为锚点,因此通常应用在NR已经连续覆盖的场景中。在当前的3GPP Rel-15的标准研究过程中,Option 4/4a被列为较低的优先级。

## 2 CU/DU分离的标准进展

### 2.1 分离的需求

对于5G gNB,当前标准中支持CU/DU合设和分离的两种部署方案。在合设方案中,一个基站实体上实现的全部的协议栈功能。这个架构可以适用于密集城区和室内热点场景。对于CU/DU分离架构,5G协

议栈中的上层功能位于CU中,而底层协议栈位于DU中。引入CU/DU分离的动机,在3GPP的标准研究过程中主要有如下几个方面<sup>[3]</sup>:

(1)硬件实现灵活,可实现节省成本;

(2)CU和DU分离的架构下可以实现性能和负荷管理的协调、实时性能优化,并易于实现SDN/NFV功能;

(3)功能分割可配置能够满足不同应用场景的需求,如传输时延的多变性。

在实际部署中采用合适或者分离部署,主要取决于网络部署场景、业务类型以及传输网性能等因素。

此外5G网络高速、低时延的特点也对传输网提出了挑战:

(1)前传接口带宽需求。考虑到毫米波将支持1 GHz系统带宽以及256通道天线。根据现有射频拉远单元(BBU)/远端射频模块(RRU)的功能划分,前传接口带宽要求随着载频频带带宽以及天线通道数量成线性增长的关系。即便在考虑使用64通道、20 MHz带宽,仍需要近64 Gbit/s的前传接口带宽。

(2)传输时延。考虑到当前LTE

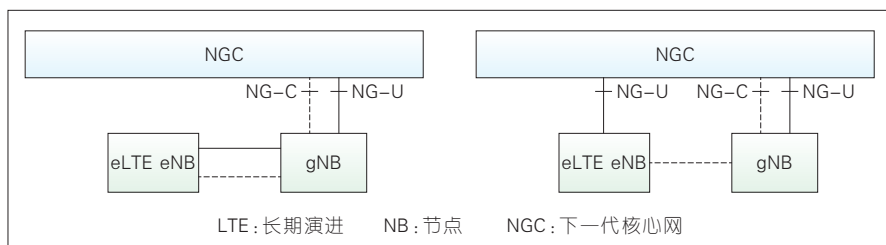
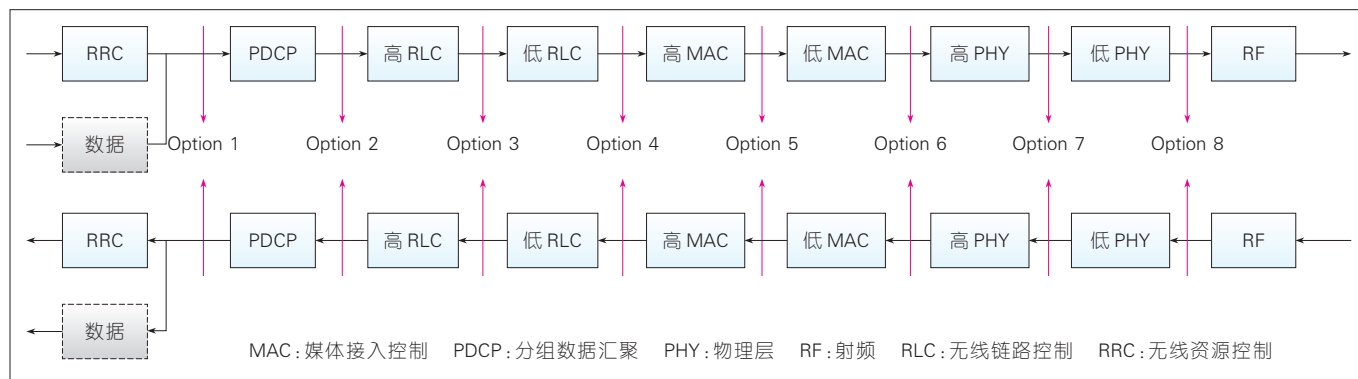


图5 Option 4/4a架构



▲图6 8种CU/DU划分方案

协议要求用户 UE 侧与系统侧的混合自动重传请求(HARQ)交互时间是固定的,若将 CU/DU 功能划分点仍放在 HARQ 过程中,对 CU 芯片处理时延和传输设备时延的挑战依然很大;若 CU/DU 功能切分点放置于 HARQ 以外,对 CU 芯片处理时延和传输设备时延的要求有所放宽,但会有过多功能前置于远端位置,将会影响多载波的协作化性能。

在 CU 和 DU 之间新定义了一个 F1 的新接口,用于传输控制面配置信息、用户信令以及用户面数据等信息。在 CU 内部控制面和用户面在部署时也可以分离,以满足不同类型业务对于时延和集中管理的差异。标准中定义 CU 控制面(CU-CP)和 CU 用户面(CU-UP)之间的接口为 E1。一个逻辑 DU 可以支撑多个物理小区,但是逻辑上只能属于一个 CU,为了可扩展性考虑能分别为 CU-CP 和 CU-UP 提供多个传输点。在 5G 的 SI 阶段,针对 CU/DU 划分共有 8 种大的划分方案。其中 Option 1—4 被定义为高层划分方案,而 Option 5—8 被定义为底层的划分方案。这 8 种划分方案从实现的角度来看都是可行的,但是为了减少后续开发的复杂度,无法同时支持上述 8 种方案,如图 6 所示。因此在 Rel-15 WI 开始时确定了 Option 2-1 作为高层划分方案的标准化对象;而对于底层切分方案,考虑到各个厂家在物理层实现上差异较大较为难以标准化,因此在 2017 年

11 月完成底层切换方案的研究中确定不会标准化任何一种划分方案,由厂家在部署中实现决定。

## 2.2 高层划分方案(Option 2-1)

在 Option 2-1 中,CU 完成无线资源控制(RRC)、PDCP 层的功能和小区调度,在 DU 中完成无线链路层控制协议(RLC)、多媒体接入控制(MAC)、物理层(PHY)的功能和单小区调度。在标准讨论过程中,高层划分方案采用 Option 2-1 还是 Option 3-1 是存在争议的。其中 Option 3-1 是基于自动重传请求(ARQ)进行的划分,其特点为:低 RLC 包含分段和拼接功能,位于 DU;高 RLC 包含 ARQ 以及重排序功能,位于 CU。其中 Option 2-1 的优势在于:

- PDCP-RLC 划分方案可以复用 3GPP Rel-12 标准化方案中已有的 LTE 双连接架构和接口;

- LTE-NR 紧互操作的对齐以及功能划分至少在用户面上对 4G 向 5G 的迁移有利;

- 与 Option 3-1 相比(ARQ 在 CU 侧),Option 2-1 没有 RLC PDU 重传的时延。如图 7 所示,CU/DU 之间传输时延较大时,Option 2-1 可以有效提升用户吞吐量。

认为 Option 3 更优的观点如下:

- 在非理想传输条件下,由于 ARQ 和重排序在 CU 侧,Option 3-1 具有更好的传输可靠性;

- ARQ 在 CU 侧可以提供集中化

以及池化增益;

- 传输网络的错误可以通过 CU 端到端的 ARQ 机制进行修复,这种机制可以给重要数据以及控制面信令提供保护;

- 由于没有 RLC 状态信息,因此没有 UE 上下文,没有 RLC 功能的 DU 可以处理更多连接态的 UE;

- 由于没有 ARQ 协议,DU 可以减少运算和缓冲的需求。

最终 3GPP 选择了标准化相对简单且性能更佳的 Option 2-1 方案作为高层划分的最终方案。

## 2.3 底层划分方案

底层划分方案主要集中在 Option 7,即物理层的划分方案。标准讨论初期根据实现方式的不同,又划分出 3 个子方案,如图 8 所示。其中允许对上下行分别使用不同的 Option(如 Option 7-1 用于上行,Option 7-2 可用于下行)。CU 和 DU 间的传输带宽可以使用一定的压缩技术进行减少。在 2017 年 11 月的美国会议中根据 RAN1 的相关结论,标准中认为所有的划分方案仅仅是一个参考方案,主要考虑到标准和实现上顺序可能无法按照图中所示进行设计,并且不同类型的业务如 mMTC 等其物理层处理功能和过程与 eMBB 可能会存在差异。

相对于其他划分方案,物理层划分方案的技术优势包括:

- 此 Option 能够使得 NR 以及演

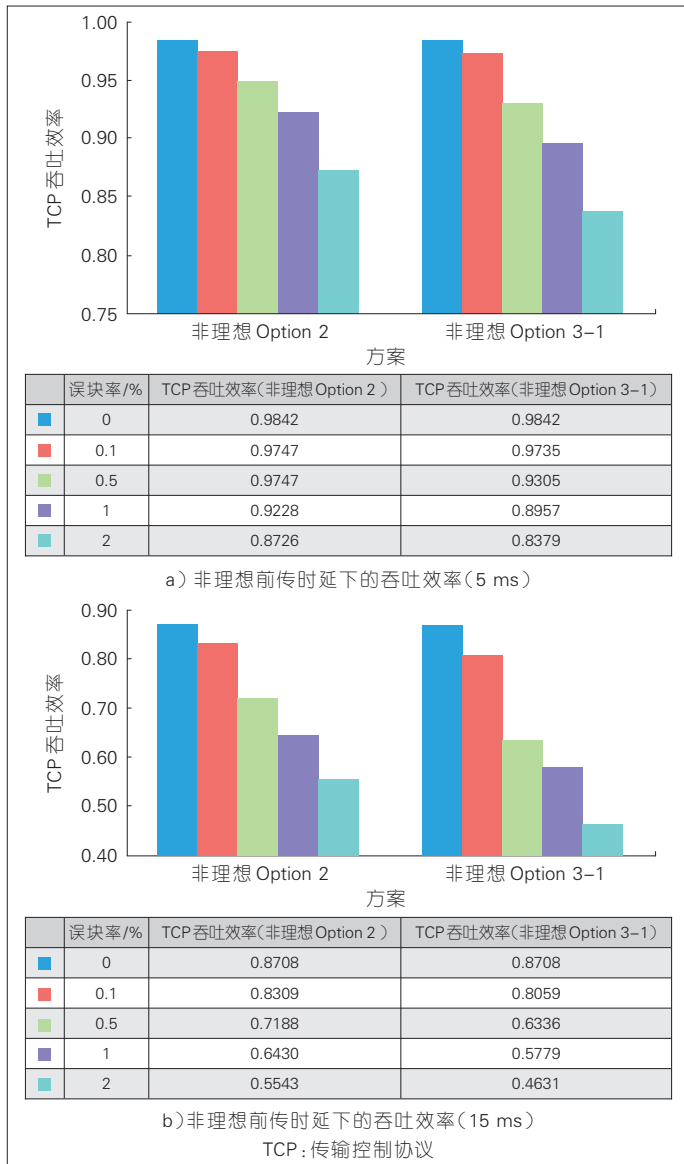


图7 Option 2与Option 3在非理想前传时延下(5 ms和15 ms)的吞吐效率

进的UMTS陆面无线接入(E-UTRA)集中化的传输点获得流量聚合。此外,此Option也能够便于管理NR与E-UTRA之间的流量负载;

- CU侧可使用集中调度,如多点协作(CoMP);

- CU侧可使用联合处理。

同时该方案在实现和部署上也存在着一定的挑战,如需要CU侧PHY层和DU侧PHY层子帧级别时间交互,对传输网络时延也有着较高的要求。

### 3 对传输网的影响分析

#### 3.1 SA/NSA架构对于Xn和NG接口带宽的影响

##### (1) Option 3/3a/3x

Option 3/3a是激进运营商急于部署5G业务时的过渡场景(如DoCoMo、AT&T等),其架构本质上仍然是一个4G+增强网络,需要LTE硬件改造或升级EPC实现特殊的会话管理功能,和其他场景不兼容。当采用Option 3时,由于LTE侧需要聚合LTE和NR的空口速率,因此S1的带宽需要大幅度提升,并且LTE和NR之间若不采用合适部署方案,则基站接口之间的带宽也需要大幅度提升,在LTE中X2接口通常用于传输X2信令以及切换时数据前传,一般规划带

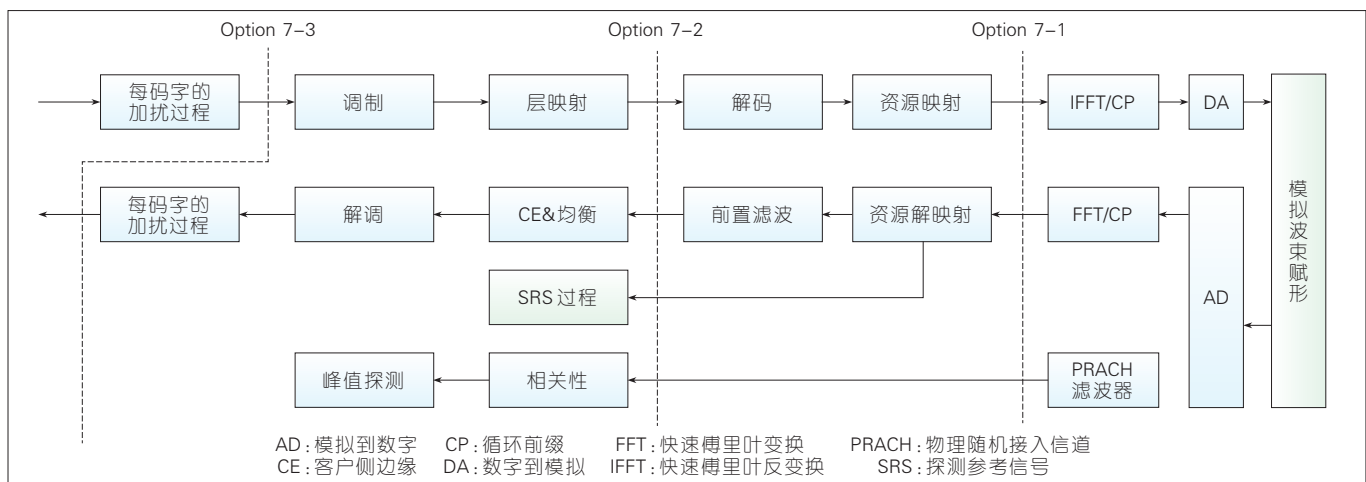


图8 Option 7的不同划分子方案

宽为S1接口的5%~10%，因此一般也就是几兆比特每秒到十几兆比特每秒的量级。若支持Option 3则需要提升吉比特每秒的量级，因此该方案多数运营商缺乏足够兴趣。而3a/3x方案无需改变现有S1接口的传输带宽，其中考虑到3x方案可以支持更好和更稳定的用户体验，受到一些运营商和芯片商的支持，相对于现有X2带宽需要升级基站间接口的带宽至百兆比特每秒量级。

#### (2) Option 4/4a 和 Option 7/7a/7x

Option 7/7a 利用LTE作为基础覆盖，当前计划支持的运营商也较多；Option 4/4a 利用5G作为锚点，通常应用在5G部署中后期，对于5G连续覆盖有一定要求，支持的运营商相对7/7a较少。其中对于Option 4和7/7x而言有如下优缺点。

- 优点：用户面汇聚效果好，针对5G高频“闪断”情况可以保持承载的连续发送；

- 缺点：Option 7用户面锚定点在LTE，LTE的PDCP需要支持NR的大容量汇聚，提供大容量的buffer，从而要升级LTE硬件设备；Option 7需要增加NG、Xn的传输容量；不利于异厂家组网。

其中，对于Option 4a和7a而言有如下优缺点。

- 优点：LTE硬件改造需求相对较小，利于异厂家组网；

- 缺点：LTE和NR之间用户面切换的中断时延较大。

其中Option 7/7a/7x对于传输带宽的需求与Option 3/3a/3x类似。

#### (3) Option 2 和 Option 5

Option 2支持5G全业务，5G网络演进的最终形态，在部署上有着如下结论：

- 非移动类超低时延和高容量业务可以考虑通过纯5G网络支持；为了改善部分低时延类业务的体验，可以下沉部分核心网功能，减少基站与核心网之间的传输时延；

- 5G成规模连续覆盖时，可以考

虑采用纯5G网络支持；

- 相比于4G网络，NG接口传输带宽需要提升至吉比特每秒量级以满足5G高速空口的需求。

Option 5本身是Option 7/7a/7x的一个特例，从需求角度有如下结论：

- 纯NG-eNB网络难以支持5G全业务，特别是低时延类业务。为了改善部分低时延类业务的体验，可以下沉部分核心网功能，减少基站与核心网之间的传输时延。

- 基站到核心网（4G和5G核心网）之间的总传输带宽（S1+NG接口）与改造前相同。

### 3.2 CU/DU划分对于前传和中传带宽的需求

我们把高层划分中F1接口所需要的传输网称之为中传，把DU到有源天线系统(AAU)之间的接口所需的传输网称之为前传。

对于高层划分方案（Option 2-1），其适用部署场景包括综合业务接入区、室分系统等。综合业务接入区场景下的下一代前传接口应用是指以综合业务接入区为单位，对区内的分布式基站，利用接入区内原有的光缆网连接，选择合适的传输技术如波分复用(WDM)/光传送网(OTN)/下一代无源光网络(NG-PON)/分组传送网(PTN)，连接CU和DU，实现BBU的集中部署，原有光缆网承载中传接口数据；在室分系统部署中，可以考虑利用楼内预先部署的丰富网线资源承载下一代前传接口数据，实现CU与DU间的通信。对于中传的带宽和时延需要满足如下条件：

(1) 传输带宽。对于5G情况，以6 GHz以下频带、100 MHz带宽为例，假设在基站128天线配置下，上下行端口数为8，上行满负载时最高调制阶数为64 QAM，下行满负载时最高调制阶数为256 QAM，最大用户数为1 000，上下行峰值速率为3 Gbit/s和4 Gbit/s。下行接口信息带宽跟预选UE/Bearer的数量相关。根据前面假

设每载波1 000个UE，假定10%的UE被预选，每UE一个无限承载，每个UE包含20 B信息。这样所需的带宽为 $1\ 000 \times 10\% \times 20\ B \times 8 = 16\ 000\ \text{bit/ms}$ ，即16 Mbit/s。上行接口信息带宽与需要上报信息的用户数量和上报的内容相关。前面假设每载波1 000个UE，假定10%的UE有信息上报，每个UE上报的信息为30 Bytes。这样以来所需的带宽为 $1\ 000 \times 10\% \times 30\ B \times 8 = 24\ 000\ \text{bit/ms}$ ，即24 Mbit/s。因此，在基于调度的L2划分方案下，每载波下行和上行总带宽分别为：下行4 016 Mbit/s，上行3 024 Mbit/s。

(2) 传输时延。由于将HARQ部分处理放到DU侧，本方案中的前传接口传输将不受LTE最大混合自动重传请求(HARQ)响应时间4 ms的时序限制。基于当前LTE业务端到端的时延要求，对F1接口的时延按照当前S1接口的传输时延要求即可。经初步仿真和评估，在只考虑CS/CB协作增益的情况下，F1接口最大单向端到端时延要求为1.5~10 ms。如果未来业务对端到端时延的要求变化，则此时延要求需要从新评估。

对于前传接口的需求，本节以Option 7-2为例，从以下两个维度进行分析：

(1) 传输带宽。考虑到5G场景时，以6 GHz以下频带100 MHz带宽、0.2 msTTI为例，假设在基站128天线配置下，上行端口数为32，下行为8。上行数据带宽都将增至4G的20倍，下行为20倍。下行控制信道按端口数4，上行按数据信道端口数进行带宽需求计算。而根据MAC层信息相关假设，该方案所需的带宽为：下行9.2 Gbit/s，上行60.4 Gbit/s。

(2) 传输时延。基于4G场景，该划分方案在物理层进行划分，受LTE最大单向时延4 ms（HARQ周期4 TTI）的时序限制，假设空口时延需要1 ms，其余部分将需要在剩下的3 ms完成。这其中主要包含DU的处理时延、CU上的处理时延（物理层和上层

处理)和CU-DU之间的传输时延。因此刨除了两端处理时延后,前传接口传输最大单向端到端时延需要控制在250 us以内。由于5G将比4G有着更严格的端到端时延要求,比如在0.2 msTTI假设下,整个HARQ响应时间估计在600 us左右,留给数据传输的时间将进一步减小,因此对传输网络时延和抖动的要求会更高。

#### 4 结束语

5G无线网络为了满足不同业务以及运营商的部署需求,引入了NSA和SA两种4G和5G网络部署方案,以及CU/DU分离的基站架构。本文介绍了当前5G无线网络的标准进展,并结合现有架构分析了5G无线网络架构部署方案,特别针对传输网的需求进行了分析。分析结果表明:5G无线网络对于传输网的带宽和时延都提出了严苛的要求,后续在部署过程中需要根据业务需求和网络发展需要合理规划传输网络以保证5G

用户的体验。

#### 参考文献

- [1] Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies: 3GPP TR 38.913 V14.0.0[S]. 2016
- [2] NR; NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2 (Release 15): 3GPP TS 38.300, V1.0.1 [S]
- [3] Study on New Radio Access Technology: Radio Access Architecture and Interfaces: 3GPP TR 38.801 V14.0.0[S]. 2017
- [4] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network(E-UTRAN); Overall Description: 3GPP TS 36.300 V14.2.0[S]. 2017
- [5] IAESI, Thales, Fairspectrum, VTT, Option 2 Split with Performant and Reliable CU-DU Connection: R3-170973[S]. USA: 3GPP TSG-RAN WG3 Meeting#95bis, 2017
- [6] CATT. Further Clarification of CU-DU Split Option 3-1: R3-170381[S]. Greece : 3GPP TSG RAN WG3 Meeting, 2017
- [7] Nokia. Conclusion on Higher Layer Split Option: R3-170419[S]. Greece: 3GPP TSG-RAN WG3 Meeting #95, 2017
- [8] ZTE. Clarification on CU-DU Split Options: R3-162852[S]. USA: GPP TSG RAN WG3 Meeting#94, 2016
- [9] Ericsson. Network Deployments Based on Option 2: R3-170683[S]. Greece: 3GPP TSG-RAN WG3 Meeting #95, 2017
- [10] Ericsson. Performance Evaluation of Option 3: R3-170685[S]. Greece: 3GPP TSG-RAN WG3 Meeting #95, 2017

[11] X2 Interface User Plane Protocol:3GPP TS 36.425 V12.1.0 [S]. 2015

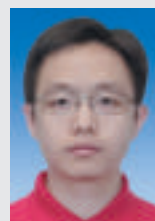
#### 作者简介



许森, 中国电信股份有限公司北京研究院网络技术与规划部技术总监、高级工程师; 主要研究方向为3GPP标准化、5G新技术研究和测试; 已发表论文10余篇。



高程, 中国电信股份有限公司北京研究院工程师; 主要研究方向为3GPP标准化、5G新技术研究和测试等。



卞宏梁, 中国电信股份有限公司北京研究院工程师; 主要研究方向为频率标准化、5G新技术研究和测试等。



# 5G 移动业务 OTN 承载解决方案

## OTN Bearing Solution for 5G Mobile Service

孙志勇/SUN Zhiyong

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)  
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 01-0013-004

**摘要:** 针对 5G 移动业务, 光传送网 (OTN) 可以实现承载移动前传、中传和回传业务。认为作为基础的承载技术, OTN 可以提供大带宽、低时延、灵活分片、高可靠性、开放协同的能力, 适合在 5G 时代新网络架构下的前传和回传组网, 并能同时支撑运营商固网等其他业务的发展, 满足未来网络持续演进的需求。

**关键词:** 5G; OTN; 前传; 中传; 回传

**Abstract:** For 5G mobile services, the fronthaul, midhaul and backhaul services can be achieved by optical transport network (OTN). As the foundation of the bearing technology, OTN can provide large bandwidth, low latency, flexible fragment, high reliability, and open collaboration capabilities, and is suitable for the fronthaul and backhaul networking in 5G era. OTN can also support the development of other services, such as fixed network, so as to meet the needs of the continuous evolution of future networks.

**Keywords:** 5G; OTN; fronthaul; midhaul; backhaul

### 1 5G 对承载网带来的挑战

5G 移动新业务对承载网带来了新的要求和挑战<sup>[1-2]</sup>:

- 增强型移动宽带 (eMBB) 高带宽业务, 对承载网提出了 10 倍以上的带宽需求;
- 超可靠低时延通信 (uRLLC) 业务要求承载网络支持极低的时延和极高的可靠性;
- 5G 承载网络需要支持高精度的时钟和时间同步;
- eMBB、uRLLC 和大规模机器类通信 (mMTC) 等不同的业务对带宽、时延、服务质量等不同的要求, 并要求分配不同的网络资源, 这就要求承载网提供网络切片能力。

5G 网络架构相对于 3G、4G 发生了如下变化, 具体如图 1 所示:

- 5G 核心网云化和虚拟化部署。5G 核心网引入了网络功能虚拟化 (NFV) 和软件定义网络 (SDN), 不再沿袭传统的“烟囱”架构; 而是采用统一的物理基础设施, 在云数据中心间实现池化、虚拟化、容器化的资源共享。5G 核心网将实现管理控制层和业务层进行了分离。

- 5G 基站密度大幅度增加。为降低网络综合建设成本, 无线接入网更多地采用集中式无线接入网络 (C-RAN) 架构, 更便于实现灵活的无线资源管理。

5G 网络架构的这些变化给承载网带来了影响: 核心网业务锚点下移, 回传网更加扁平化; C-RAN 架构带来更多的前传网络, 前传网要满足低成本、灵活组网的需求; 光纤进一步下移, 需要部署更多的承载节点<sup>[3]</sup>。

### 2 C-RAN 下的 5G 移动前传网技术方案

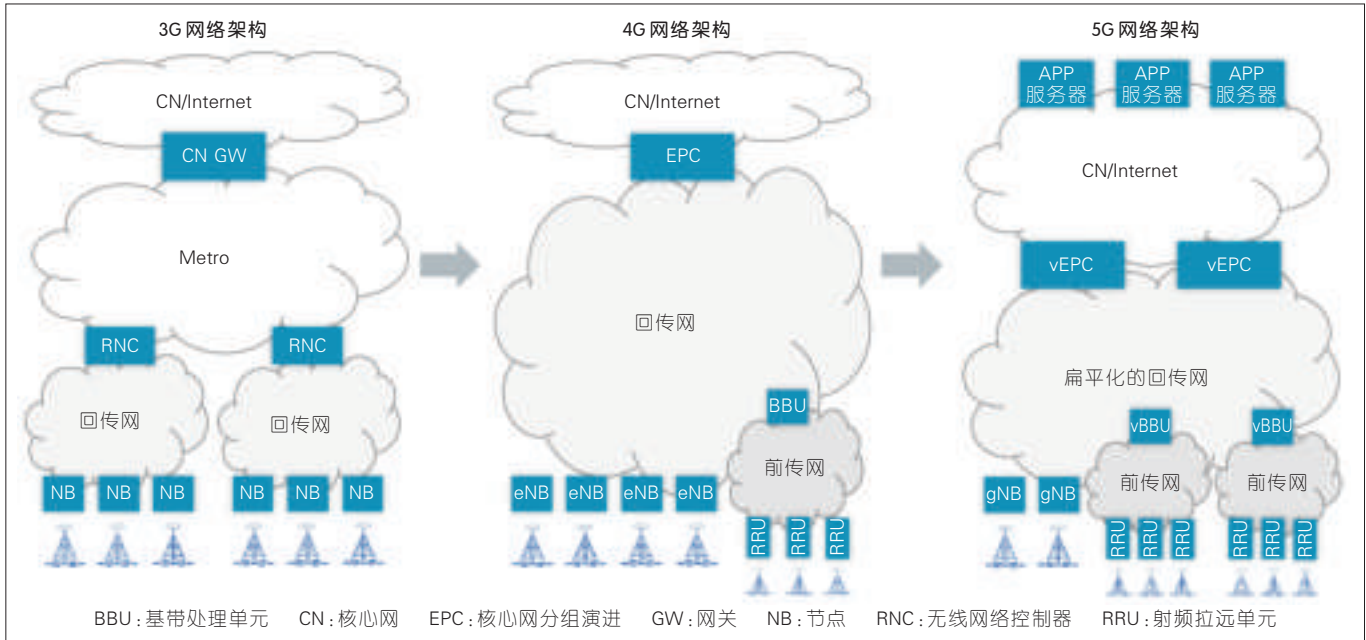
5G 承载网通常分为前传、中传和回传 3 部分。其中 C-RAN 架构下 4G 前传网有常见如下 3 种传输技术选择 (如图 2 所示):

- (1) 裸光纤直驱。该方式在基带处理单元 (BBU) 和射频拉远单元 (RRU) 间无需传输设备, 时延最低,

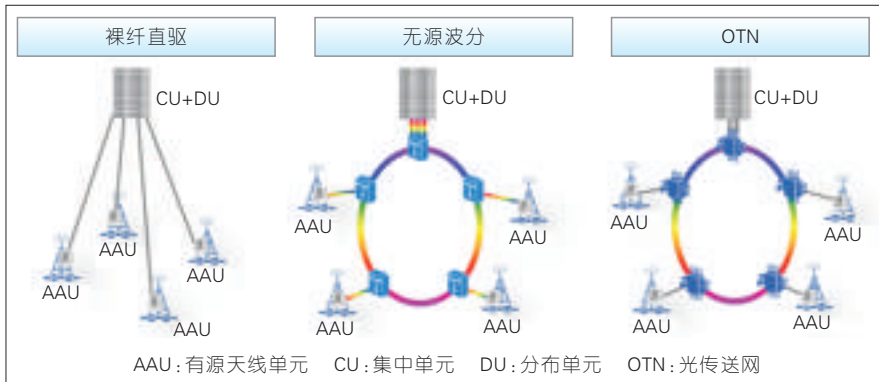
部署最简单; 但耗费光纤资源。

(2) 无源波分复用 (WDM)。该方式采用无源合分波器将多路波长复用到一根 (或一对) 光纤传输, 可节省光纤资源, 光器件引入的时延很小, 无源设备不需加电, 维护比较简单, 综合成本较低; 但 RRU 和 BBU 需要采用彩光接口, 增加无线设备的成本, 并且要求无线设备支持彩光功能, 无线设备管理复杂化, 增加成本。业务无保护, 可靠性差。

(3) 光传送网 (OTN) 承载。该方式采用 OTN 设备实现多个站点多路前传信号的复用和透明传输, 可大幅度节省光纤资源, 支持光层和电层的性能和故障检测等管理维护 (OAM) 功能, 并能提供业务保护, 保障业务的高可靠。OTN 采用 L0/L1 的传输, 具有大带宽、低时延的特性, 可实现低延时传输。该方案减少了无线设备部署的复杂度, 支持从非 C-RAN



▲ 图 1 5G 网络架构变化对承载网络的影响



▲ 图 2 C-RAN 架构下 4G 前传网技术选择

架构向 C-RAN 架构迁移时,不需要替换无线设备的光接口。缺点是设备成本相对较高,需开发低成本方案。

5G 的无线接入网(RAN)功能将被重新划分,原来的 BBU 和 RRU 被重构为集中单元(CU)、分布单元(DU)、RRU/有源天线单元(AAU)3 个功能实体。根据 CU、DU、RRU/AAU 的放置位置不同,可以有不同的中传组网模式:

- DU 和 RRU/AAU 同站部署,它们之间通常以裸纤直连为主。

- 如 DU 按一定规模集中部署,DU 和 RRU/AAU 之间对应前传,由于 DU 实时性处理对时延的要求,前传

距离应小于 10 km。这种情况下,可以采用裸纤直连,也可以采用 WDM/OTN 节省光纤,提供保护。

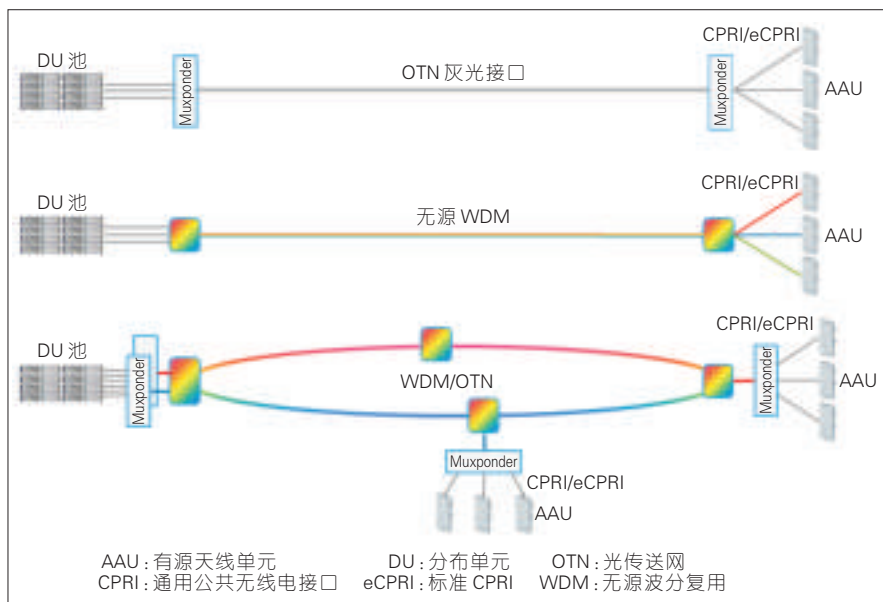
- OTN 承载 5G 前传。OTN 的 Muxponder 将多个 RRU/AAU 的 10 G 或 25 G 的通用公共无线电接口(CPRI)或标准 CPRI (eCPRI)信号复用到 100 G/200 G 高速信号后传送到 DU,满足了大带宽的传输需求。按照光纤路由可灵活组建点到点、链型、环形网络(如图 3 所示),在点到点组网的情况下还可采用单纤双向技术进一步减少光纤使用。DU 集中池化节省无线设备投资,同时提供最佳的协同增益。前传采用 OTN 设备成本还比较

高,目前在进行成本优化。

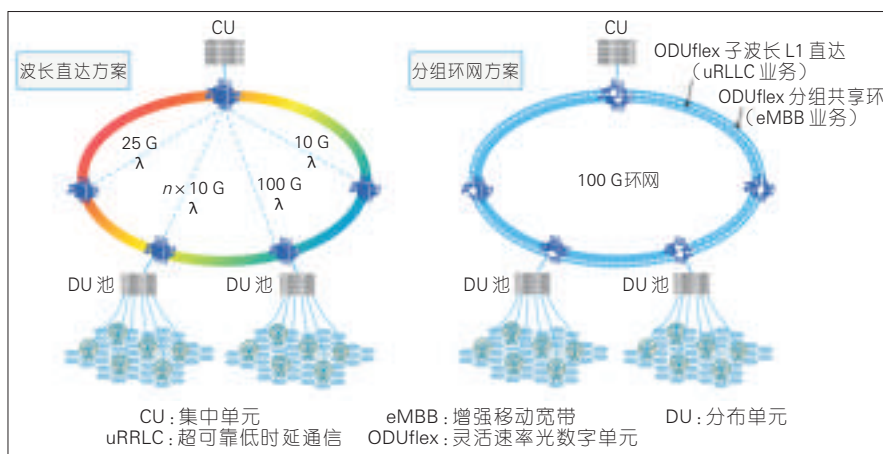
### 3 5G 移动中传 WDM/OTN 承载方案

CU 和 DU 之间中传一般以环网为主。如图 4 所示,5G 移动中传业务承载,可采用 WDM/OTN 技术实现波长在光层穿通中间站点一跳直达,满足大带宽低时延要求,可配置光通道保护满足高可靠业务要求。由于不同传输站点的 DU 容量可能不同,各传输站点的波长可配置不同的速率,以满足不同的 DU 容量需求,并且各接入站点可单独扩容和升级,不影响其他站点。如果 OTN 集成分组增强功能(E-OTN),在 CU 站点可实现业务汇聚和灵活转发,在 DU 站点可对多个 DU 的业务进行汇聚收敛。

采用相同的 E-OTN 设备,也可以提供 100 G 环网方案。DU 数量较少业务量小的多个站点可以用灵活速率光数字单元(ODUflex)子波长相连组成一个分组环,多站点业务统计复用,提高带宽利用率;业务量较大的站点(DU 池),可以 ODUflex 子波长在中间站点交叉连接穿通直达 CU 站点。或者不同类型的业务采用不同的 ODUflex 分片传送,如 eMBB 业务采



▲图3 5G前传OTN承载方案



▲图4 移动中传E-OTN承载

用分组环网逐点转发，uRLLC业务采用L1穿通直达，减少延时。ODUflex的带宽以1.25 G为颗粒灵活可调，100 G的环网总带宽可以在多个站点多个逻辑环网间灵活分配。

#### 4 固移融合统一回传和OTN承载方案

在移动网络向5G演进的同时，CO重构也在进行中。未来城域网的流量将会是以边缘数字中心(DC)到网络提供点到点(PoP)间的南北向流量，以及边缘DC间和PoP点之间的东西向流量为主。如图5所示，5G阶

段的回传网也将会是固移业务统一承载的数据中心互连网络。各级DC通过OTN光传送网高速互联，光网络构建带宽资源池，根据DC间流量进行带宽按需配置和合理调整。

如图6所示，5G回传网可以基于分组增强OTN(E-OTN)来实现。OTN集成分组功能，既可以在L2和L3实现业务的汇聚和灵活转发，又可以在L0和L1实现大容量低时延的业务传送。OTN节点之间可以根据业务需求配置IP/多协议标签交换传送应用(MPLS-TP)光通路数据单元(ODUk)通道，实现一跳直达从而保

证5G业务的低时延和大带宽。

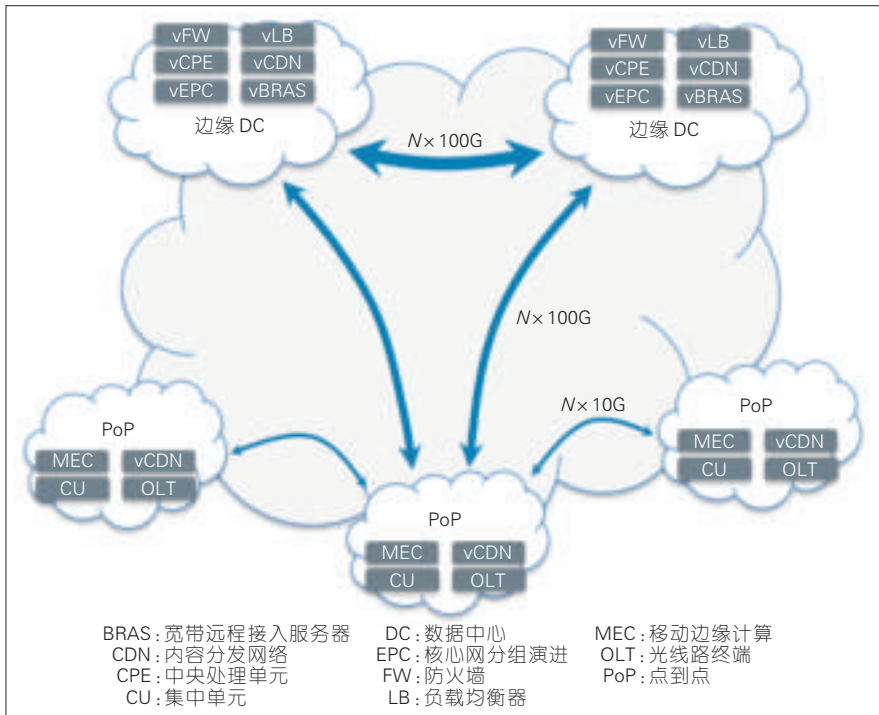
回传网拓扑复杂，OTN节点设备采用光交叉和电交叉的光电混合调度是满足高速传送、灵活调度、多样性组网的最好方式。大颗粒业务在光层调度，中小颗粒业务在电层梳理调度，光电配合整体功耗也是最低的。网络可分层次建设，汇聚层以环网为主，线路侧单波速率100 G或超100 G，采用4维mini可重构光分插复用器(ROADM)和10 T级别的电交叉。核心层以无线网格网络(Mesh)网为主，线路侧单波速率超100 G，采用9~20维ROADM和大容量电交叉。基于智能控制平面实现端到端业务部署、资源动态计算和调整、备用路径自动计算等。

#### 5 5G承载中OTN关键技术

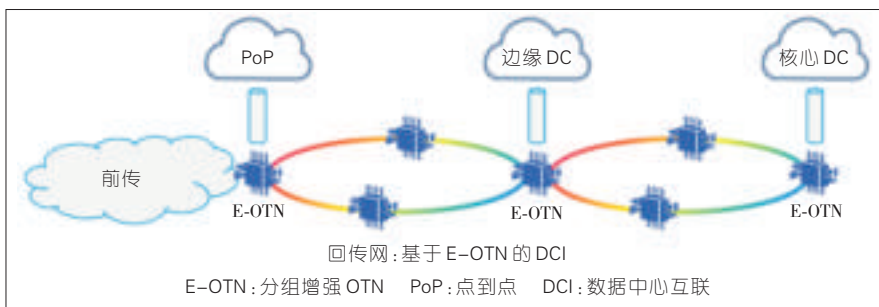
(1) 高速率低成本传送技术。5G带来海量的带宽增长，高速率、低成本、低功耗的业务传送成为关键。100 G和超100 G速率信号的中长距离传输主要采用相干技术；而采用离散多载波(DMT)、4级脉冲幅度调制(PAM4)等调制技术的线路光接口，是实现低成本、低功耗、高速传输的新选择<sup>[4]</sup>。

(2) 大容量光电混合调度。5G业务有在城域网内网络拓扑复杂，采用具有光电混合调度能力的OTN设备组网是较理想的方式。ROADM光交叉技术与OTN电交叉技术配合，可以实现更大的交叉容量和更灵活的调度能力，同时降低系统的成本和功耗，减少占地面积。在城域核心、汇聚层面引入光电混合交叉，实现电层业务汇聚和光层业务调度；网络进行MESH改造，实现多路径通达，一方面减少设备处理时延，另一方面减少网络层次、实现网络的扁平化，降低业务转发时延，提升网络安全性。

(3) 分组与光传送的融合。OTN设备支持ODUk/Packet/VC4统一交换，多业务统一传送，避免了目前传输网络技术体系多、设备种类庞杂、



▲ 图 5 5G 阶段的回传网



▲ 图 6 5G 回传网 E-OTN 组网方案

网络建设运维成本高等缺点,既有小颗粒业务处理的灵活性,又有海量的传送容量,提供刚柔并济的传送管道。其对 IP 层业务的感知,使光网络能够经济高效地传送 IP 业务,满足运营商发展 5G 业务的需要,同时也支撑如宽带等业务综合承载。中兴通讯 E-OTN 设备采用统一的硬件平台,分组带宽(P)与 OTN(O)带宽可任意比例配置,无缝接合,统一管控。

(4) 低时延传送和转发。5G 前传和中传网络对时延要求非常苛刻,中兴通讯在 OTN 设备通过减少缓存时间、自动调整缓存深度、内部若干处理步骤串行转并行、提升内部处理

时钟频率等多种技术和措施,可以将设备引入的时延降到 us 量级,更好地支撑业务的发展。

(5) 面向前传的轻量级 OTN 标准。针对 5G 前传,业内也在研究新的轻量级的 OTN 标准,以降低设备成本,进一步降低时延,实现带宽灵活配置。例如:对 OTN 帧结构进行优化,线路侧接口采用  $n \times 25\text{G}$ ,可以引入低成本的光器件;改变检错和纠错的机制,缩短缓存时间降低时延;前传组网通常比较简单,可以简化 OTN 开销减少设备处理;在业务映射和时隙结构方面考虑兼容 3G/4G 前传的 CPRI、兼容 5G 的 eCPRI 和下一代前

传网络接口(NGFI),以及 small cell 的回传等<sup>[5]</sup>。

(6) 高精度时间同步。为满足 5G 高精度时间同步要求,中兴通讯 OTN 设备基于 1588(V2.1)方案,采用相位检测技术和零延迟锁相环(PLL)技术,在频率同步优化基础上进行相位同步,确保相邻站点间同步误差低于 1 个时钟周期。同时通过复帧定位触发、高速接口底层触发等多种方式提升时间戳精度。针对时间源选择、时间同步融合算法进行优化。采用单纤双向消除时延不对称性。综合运用这些技术,时间同步精度大幅提升。

## 6 结束语

5G 给用户带来更多样的服务、更好的业务体验。5G 网络以承载网为依托,并对承载网提出了更高的要求。OTN 作为基础的承载技术,提供大带宽、低时延、灵活分片、高可靠性、开放协同的能力,适合在 5G 时代新网络架构下的前传和回传组网,并能支撑运营商固网等其他业务的发展,满足未来网络持续演进的需求。

### 参考文献

- [1] 曾智,王泰立. OTN 在 5G 承载中的应用和关键技术探讨[J]. 中兴通讯技术(简讯), 2017,(6): 29-33
- [2] IMT-2020(5G)推进组. 5G 概念白皮书[R], 2015
- [3] IMT-2020(5G)推进组. 5G 网络架构设计白皮书[R], 2016
- [4] IMT-2020(5G)推进组. 5G 无线技术架构白皮书[R], 2015
- [5] 中兴通讯. 面向 5G 的 OTN 承载解决方案技术白皮书[R], 2017

### 作者简介



孙志勇,中兴通讯股份有限公司有线规划部产品规划经理;主要研究领域为 WDM/OTN,长期从事光传输相关的技术研究和产品开发设计;曾参加多个产品的研发,相关产品获得省、市科技进步奖。

# 面向 5G 的承载网需求及关键技术

## Requirements and Technologies of 5G Transmission Bearing Network

师严/SHI Yan

王光全/WANG Guangquan

王海军/WANG Haijun

(中国联通网络技术研究院, 北京 100048)  
(China Unicom Network Technology  
Research Institute, Beijing 100048, China)

**相**对于 4G 网络, 5G 将采用更宽的无线频谱, 并通过大规模多进多出 (MIMO)、高阶正交振幅调制 (QAM) 等技术提升空口带宽, 峰值带宽和用户体验带宽提升数十倍, 对承载网提出更大带宽需求; 远程医疗、自动驾驶等业务对承载网带来了超低时延 (1 ms) 和高可靠性的要求; 5G 网络的广域覆盖、高密度、大容量等的海量需求对承载网提出了低成本、低功耗及易维护的要求; 5G 网络的灵活智能和高效开放、网络功能虚拟化 (NFV) 技术的广泛应用, 推动承载网络采用软件定义网络 (SDN) 技术, 高效、敏捷、开放性地满足差异化的业务需求。同时, 5G 无线核心网架构的变化也促进承载传送网络架构和功能进行变革<sup>[1]</sup>。

国际电信联盟无线电通信局 (ITU-R) 确定未来的 5G 具有以下三大主要的应用场景 (如图 1 所示): 增强型移动宽带 (eMMB)、大规模机器类通信 (mMTC)、超可靠低时延通信 (uRLLC), 这 3 类业务场景各具不同特点。

收稿日期: 2017-12-12  
网络出版日期: 2018-01-06

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 01-0017-004

**摘要:** 认为 5G 传输承载网是支撑 5G 业务的基础。针对新的业务需求, 提出了低成本城域波分、高精度同步、低时延传送技术、FlexE 切片技术以及软件定义网络 (SDN) 控制等新技术, 以应对 5G 对传输承载网的传输能力、设备性能, 以及智能管控的挑战, 从而满足移动互联网、物联网等多种应用场景的需求。

**关键词:** 传输网; 5G 网络; 同步; SDN; 网络切片

**Abstract:** 5G transmission bearing network is the base of 5G services. According to the new service demands, several key technologies are proposed in this paper, such as metro wavelength division multiplexing (WDM) with lost cost, high-definition synchronization, transport technology with low latency, network slicing with Flex-E and soft-defined network (SDN) technology. With these technologies, the challenges of 5G in transport ability, equipment performance and intelligent control can be well addressed, and the variable scenarios of mobile internet and Internet of things (IoT) can be realized.

**Keywords:** transmission network; 5G network; synchronization; SDN; network slicing

• eMMB 主要应对 4 K/8 K 超高清视频、虚拟现实 (VR)/增强现实 (AR) 等大流量应用。eMMB 是 5G 在 4G 移动宽带场景下的增强。目前的 4G 主流带宽为 20 MHz, 单基站的峰值吞

吐量目前为 240 Mbit/s, 而 5G 网络单基站的吞吐量是 4G 的 20 多倍, 空口带宽达到 100 ~ 200 MHz 甚至更高, 单用户的接入带宽可与现在的固网宽带接入相比。

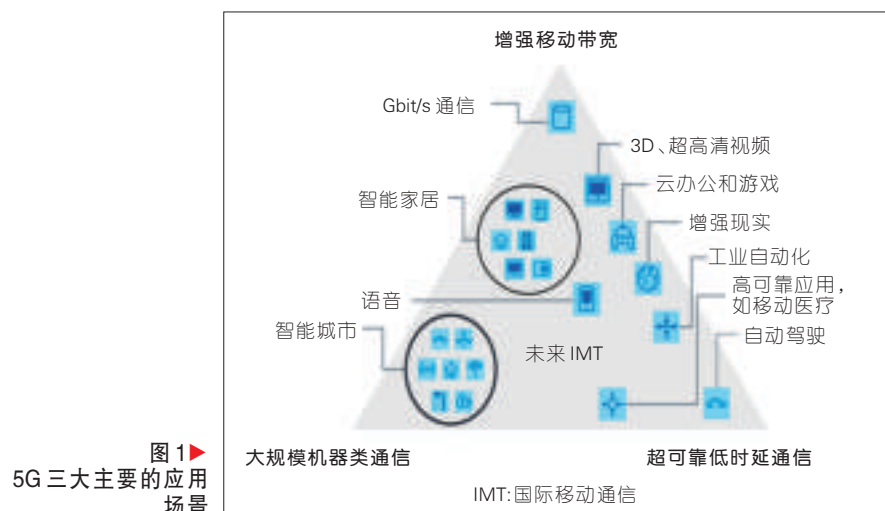


图 1 5G 三大主要的应用场景

• mMTC 主要应对以传感和数据采集为目标的应用场景,如物联网等。mMTC 具有小数据包、低功耗、海量连接等特点。这类终端分布范围广、数量众多,要求网络具备海量连接的支持能力。mMTC 可以促进物联网的提质增速,人类与机器、机器与机器间的交流将能够更加智能和快捷。

• uRLLC 主要应对车联网、工业控制等垂直行业的特殊应用需求。为了应对无人驾驶、智能工厂等低时延应用,uRLLC 要求 5G 时延必须低于 1 ms。这类应用需要网络对巨大的数据拥有超高速、低时延等的处理能力。

## 1 面向 5G 的承载网需求和挑战

对于承载网而言,5G 的需求和挑战主要来自于网络带宽、网络时延、资源动态分配,以及差异化承载等几个方面<sup>[1]</sup>。

网络带宽是 5G 网络的关键性指标之一。在 3.5 G 频段,按照带宽为 100 MHz 计算,单站峰值带宽将达到 5 Gbit/s,单站均值带宽也将能够达到 3 Gbit/s。5G 高频基站带宽为 20 Gbit/s,回传带宽主要与空口频率宽度和天线有关,高频点可用频率带宽会更宽,因此回传带宽需求会更大。

网络时延同样是 5G 网络的关键性指标之一。不同场景下对时延的要求不同,这也会导致对承载网架构的影响。eMBB 的低时延场景包括 AR/VR、高速列车、飞行器、任意 50 M 等,要求端到端(E2E)的时延不超过 10 ms;大规模物联网(IoT)的低时延场景包括可穿戴设备、视频监控等,要求 E2E 时延最小为 10 ms;Critical IoT 的超低时延场景包括触摸互联网、车联网/遥控驾驶、工业机器人等,要求 E2E 时延不超过 1 ms。

从 5G 业务颗粒和业务性能来看,eMBB 超大宽带、uRLLC 超低时延、mMTC 对时延不敏感的万物互联

等,对资源的利用和需求不同,存在动态的弹性需求。5G 网络灵活性具体体现在以下 4 个方面:

(1) 支撑全网资源灵活调度,满足潮汐效应等导致的流量波动;

(2) 支持流量的灵活路径调整,网络负载动态均衡;

(3) 网络开放、可编程,支撑新增业务快速部署;

(4) 组播能力,灾难/自动驾驶等场景下,信息快速推送。

5G 业务在关键绩效指标(KPI)差异化的需求明显,对网络的安全性也提出了更高的要求,如果像 4G 一样统一承载,仅仅依靠服务质量(QoS)很难满足 5G 三大场景应用需求,因此业界提出以网络切片来应对差异化承载。网络切片的目的在于通过切片实现差异化的服务,保证每种业务都能根据其业务特点得到最佳承载要求,同时切片有助于设备和存储资源的安全管理。承载网络需要思考前传/中传/回传网络如何满足 5G 不同场景下的差异化需求,以及考虑面向网络切片的承载网方案。

## 2 面向 5G 的承载传送网关键技术

5G 基站高密度、大容量、灵活部署的特点,以及到目前为止还有很大不确定性的网络部署架构,要求承载网应具备灵活、高效、低成本、智能的品质。在研究面向 5G 承载的技术方案时,主要考虑以下原则:

(1) 架构清晰,通过架构优化降低网络建设成本,提高网络灵活适应业务发展和 5G 网络部署不确定性;

(2) 网络稳定,适当集约,推动以综合业务接入点为目标的集中式无线接入网(C-RAN)部署,快速满足基站接入的需要;

(3) 网络智能,能够快速进行业务的优化调整,满足大量业务发展、调整;快速响应业务路由变化和调度;具备全网智能编排调度的能力;

(4) 低成本接入,研究和采用低

成本末端接入和边缘汇聚技术,降低接入段成本。采用合理的网络收敛机制,充分利用承载带宽;

(5) 综合接入承载,不但能够满足 5G 业务承载需要,还能够满足专线等业务承载的需要。

### 2.1 G.metro 低成本城域接入技术

由于 G.metro 系统支持室内和室外全场景复杂环境接入应用,可调光模块需要满足不同的工作环境要求(商业级、扩展级和工业级),尤其是用于室外环境。实现波长可调,自身没有很大技术挑战,目前已在 10 G/40 G/100 G 中广泛应用,难点和挑战在于如何实现低成本,满足城域接入层海量且成本敏感的应用场景。降低成本的主要途径有简化现有可调激光器结构及功能,设计新结构,引入新材料,并引入全新的共享波长锁定机制等<sup>[4]</sup>。

5G 前传增强通用公共无线电接口(eCPRI)功能划分及带宽预估如图 2 所示,业内倾向于采用 I<sub>b</sub> 和 I<sub>c</sub> 切分,对于 100 MHz 频谱、64T64R、16 流的应用,eCPRI 接口需要支持 25 G 速率。移动前传应用工作距离较短(拉远光纤传输距离小于 20 km,绝大部分小于 10 km),基于低成本光器件和数字信号处理(DSP)算法的非相干技术成为主要选择。对于 25G 速率,可以通过不归零码(NRZ)、脉幅调制(PAM4)或光双二进制调制格式(OQB)/电双二进制调制格式(EDB)等调制方式实现。25 G 光模块主要在数据中心的短距应用和 100 G BASE LR4/ER4 应用,工作于单模光纤的单通道长距离 25 G 和密集型光波复用(DWDM) 25 G 光模块并不成熟,相关标准化工作尚未完成。25 G 电芯片和光芯片在逐步成熟中,部分厂家已发布 25 G DWDM 光模块,波长可调 25 G 光模块也即将发布<sup>[5]</sup>。

### 2.2 低时延全光组网技术

超低时延是 5G 业务相对 4G 非常

|              | 切片 D              |                 | 切片 I <sub>0</sub> |                 | 切片 I <sub>0</sub> |                 | 切片 E              |
|--------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
|              | 用户数据/<br>(Gbit/s) | 控制/<br>(Gbit/s) | 用户数据/<br>(Gbit/s) | 控制/<br>(Gbit/s) | 用户数据/<br>(Gbit/s) | 控制/<br>(Gbit/s) | 用户数据/<br>(Gbit/s) |
| eREC→<br>eRE | 3<br>(预估)         | <<1             | <4                | <10             | ~20               | <10             | 236               |
|              |                   |                 | 切片 I <sub>u</sub> |                 |                   |                 |                   |
| eREC→<br>eRE | 1.5<br>(预估)       | <<1             | ~20               | <10             |                   |                 | 236               |

eRE: eCPRI 无线设备      eREC: eCPRI 无线设备控制

▲图2 eCPRI 功能划分及带宽预估

重要的一个性能提升,对承载网提出苛刻的要求。因此,如何实现全光传送网是 5G 对承载网的一个关键点。

在前传,采用 G.Metro 技术实现全光接入网络,并能够实现固定与移动的统一承载;在中传段,超低时延全光传送网络拓扑示意如图 3 所示。利用 G.Metro 或波分复用(WDM)进行端口汇聚;在核心汇聚层,通过可重构光分插复用器(ROADM)灵活的光层调度,减少电交叉部分的业务调度量,实现光层直达,免去了中间不必要的光-电-光转换,减少端到端的时延,降低整网功耗通过简化光传送网(OTN)映射封装路线,减少映射复用层次等技术,提高 OTN 封装和解封装的效率,从而降低 OTN 设备的单点时延。此外,通过引入 SDN 技术,实现分组与光融合后的统一控制,集中计算多层网络下的最优转发路径,实现对全网光层的有效管理,最大程度

减少传输时延。

### 2.3 高精度同步传送技术

对于 5G 基本业务,第 3 代合作伙伴计划(3GPP)目前已经确定时间精度指标要求为  $\pm 1.5 \mu\text{s}$ ,标准将在 2018 年 6 月正式发布。对于 5G 超短帧等需求,目前 3GPP 尚未确定具体指标,可能在几百纳秒量级的水平。采用以下两种方式:

(1)提升单设备静态误差性能,但基于不带来较大成本提升的原则,将单个 1588v2 的边界时钟(BC)设备静态误差由现有的 20~25 ns 提升至 10~15 ns。

(2)5G 承载网中采用 G.Metro 技术。G.Metro 技术中的头端设备(HEE)及尾端设备(TEE)设备之间仅为一跳,其中经过的设备均为无源设备,不影响时间同步的传递精度。采用 G.Metro 方式的优点为:可以大幅度减少链路经过跳数,提高时间传

递精度;G.Metro 技术本身为单纤双向,可避免因为链路非对称性产生的时间误差,进而可以提高网络时间传递精度。

对于载波聚合、MIMO 等特殊业务,指标要求甚至达到几十纳秒量级,可考虑采用将小型化时间同步节点设备下沉至靠近 5G 基站位置,减少链路所经过节点跳数,提高时间同步精度<sup>[6]</sup>。

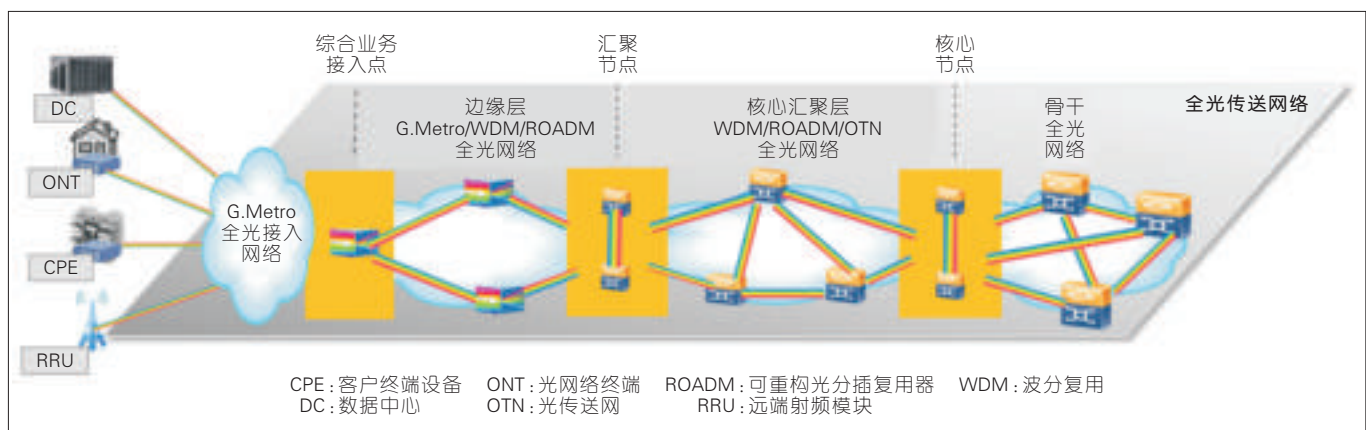
### 2.4 端到端智能管控

面向 5G 的承载网络具有海量连接、大流量、灵活调度等特点,同时在中传段与回传段之间,以及回传段本身均存在 IP+光的异构网络协同需求,因此对于管理和运维均提出了新的挑战。面对这些新的需求,5G 承载网将全面引入 SDN 技术,实现端到端智能管控。

SDN 管控运维系统应同时具备网络规划仿真、网络业务部署和发放、网络监测控制、保障和优化等功能,目标是实现网络连接服务从月到天甚至分钟级的快速开通;实现规划、部署、监测控制、维护和保障的智能化运营,大幅度提升运维效率,极大地降低运营成本(OPEX)。

基于 SDN 的管控系统应具备如下功能:

(1)全局管控,智能调优。智能的路径计算,包括提供低时延路径、链路负载均衡,一方面可以满足用户



▲图3 超低时延全光传送网络拓扑示意图

体验要求,满足不同业务服务等级协议(SLA)需求;另一方面,基于全局算路和调优,可以提升整网的带宽利用效率。

(2)跨网协同,统一管控。基于SDN系统的控制模块可以支持跨域协同,包括跨承载网自治域的协同,以及未来光网络等网络协同,将传统网络中部门之间的人工协作转变为机机交互,提升效率。通过北向开放,SDN系统支持包括专线业务自动发放APP等网络应用,具备网络业务快速发放,带宽快速调整,故障快速恢复等功能。

SDN系统可以针对用户的不同业务,对丢包率、误码率、时延、抖动等KPI指标进行高精度测量,支持快速故障定界和定位,对流量趋势进行精准评估和预测,对不同类型的客户提供差异化的服务和保障。同时,基于丰富的大数据汇总和实时分析对于告警数据、流量数据等进行智能分析,提高网络运维效率,自动提供有效的承载网络优化建议。

### 2.5 FlexE与网络切片

对于网络切片的应用,无论是企业专线、低时延业务SLA保证,还是垂直行业的独立管控,综合承载多业务之间的隔离,本质上都是要求分片网络之间需要做到一定程度的刚性或弹性的隔离。

FlexE在普通以太网基础上定义了基于 $N \times 5G$ 的多种子速率可配置、调整以及Client层的互连互通机制。FlexE定义为以太网L2(媒体接入控

制(MAC)/L1(物理层(PHY))之间的中间层FlexE Shim,是以太网的多速率子接口在多PHY链路上的新技术<sup>[7]</sup>。FlexE应用场景包括:

(1)适配路由器不同业务子接口与通道化灵活以太网,实现路由器端到端直连硬管道,实现5G不同业务和客户的网络要求;

(2)通过可变带宽以太网,路由器子接口与光网络ODUflex管道结合起来,实现IP+光进一步协同;

(3)端口捆绑,如将 $N \times 100$  GE捆绑成的超100 GE大管道接口。

FlexE技术是实现网络切片的主流技术方案之一,基于Flexible Ethernet可以建立端到端FlexE硬管道,提供约束延时/低延时/低抖动、实时业务的IP承载网络。

### 3 结束语

5G时代将开创一个新的产业,从以前的网络为中心变为以业务为中心,从以前的以人为中心变为以人和物为中心。5G网络中,承载网是不可或缺的一部分,同时也面临着超低时延、大带宽、高灵活性、超高精度时间同步等挑战,面对5G不同应用场景,需要引入G.metro低成本城域接入、可调谐激光器、25G光模块、高精度时间同步传送等技术,以低成本建网,充分利用现有网络资源和产业链成熟快速的部署为原则,以满足eMMB、mMTC、uRLLC等应用场景下的多样化的业务需求。

#### 参考文献

[1] IMT 2020 推进组. 5G网络技术架构白皮书

[R]. 2015

- [2] LI H, HAN L Y, DUAN R, et al. Analysis of the Synchronization Requirements of 5G and Corresponding Solutions[J]. IEEE Communication Standards Magazine, 2017, 1(1):52-58
- [3] 中国移动. 迈向5G-C-RAN:需求、架构与挑战[R]. 2016
- [4] ITU-T. Draft New Recommendation ITU-T G. Metro (version 0.10)[R]. 2017
- [5] OTN transport of CPRI Signals: ITU-T G. sup.56[S]. 2015
- [6] Considerations on Sync Requirements and Network Budget for 5G: ITU-T C165[S]. 2017
- [7] Flexible Ethernet Implementation Agreement: OIF-FLEXE-01.1[S]. 2017

### 作者简介



师严,中国联通网络技术研究院高级工程师;研究方向为光传送网技术、SDN智能控制技术等;已发表论文10余篇。



王光全,中国联通网络技术研究院网络技术研究部处长,教授级高级工程师;研究方向为传输网络咨询、规划、设计和应用;负责并主持了30余项国家大中型工程的可行性研究和设计工作,获得省部级以上奖项30余项;发表论文30余篇。



王海军,中国联通网络技术研究院教授级高级工程师;研究方向为传输网络的咨询、规划、设计和应用;先后主持20余个传输大中型工程、新技术应用工程项目的设计和规划编制工作,荣获15项省部级优秀咨询、设计、工程、科技进步奖项。



# 面向 5G 的 MEC 系统关键技术

## Key Technologies of 5G Oriented Mobile Edge Computing System

宋晓诗/SONG Xiaoshi<sup>1</sup>

闫岩/YAN Yan<sup>1</sup>

王梦源/WANG Mengyuan<sup>2</sup>

(1. 东北大学, 辽宁 沈阳 110001;

2. 航天恒星科技有限公司, 北京 100080)

(1. Northeastern University, Shenyang

110001, China;

2. Space Star Technology Co., Ltd., Beijing

100080, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 01-0021-005

**摘要:** 移动边缘计算(MEC)是未来 5G 移动通信系统提升服务应用能力的重要技术手段之一。通过在无线接入网络的边缘节点处部署具备计算、存储和通信能力的服务应用平台, MEC 能够有效处理终端用户的高时效性业务需求, 大幅度缩短端到端时延, 并解决核心网络的数据流量瓶颈等相关问题。

**关键词:** 5G; MEC; 无线缓存; 基于软件定义网络(SDN)的本地分流技术

**Abstract:** Mobile edge computing (MEC) is envisioned as one of the most important techniques for 5G mobile communication systems in the future. By deploying a generic computing platform with computing, storage, and communication capabilities across the wireless edges, MEC can effectively meet the high timeliness service requirements of end users, greatly shorten the end-to-end delay, and solve the related problems of data traffic bottleneck in core network.

**Keywords:** 5G; MEC; wireless content caching; software defined network(SDN)-based traffic offloading

移动边缘计算(MEC)技术的概念最早提出于 2009 年卡内基梅隆大学所研发的 cloudlet 计算平台<sup>[1]</sup>。2014 年, 欧洲电信标准协会(ETSI)正式定义了 MEC 的基本概念并成立了 MEC 规范工作组, 开始启动相关标准化工作<sup>[2]</sup>。2016 年, ETSI 将此概念扩展为多接入边缘计算, 并将移动蜂窝网络中的边缘计算应用推广至其他无线接入网络(如 Wi-Fi)。在 ETSI 的推动下, 包括第 3 代合作伙伴(3GPP)及中国通信标准化协会(CCSA)在内的其他国际及中国标准化组织也相继启动了相关工作。目前, MEC 已经发展演进为 5G 移动通信系统的重要技术之一。

随着 MEC 的不断发展成熟, 全球各大电信运营商及设备商均加快了 MEC 系统的研发和部署进程<sup>[3]</sup>。其中, 在国际上, 沃达丰、AT&T、Verizon 等运营商及诺基亚、高通等设备商已经开始部署商用 MEC 系统和解决方

案, 面向物联网、车联网等行业应用, 提供低时延、高速率、大容量的网络服务; 在中国, 中国移动、中国电信和中国联通等运营商也在积极联合中兴通讯等公司开展 MEC 试验网络的验证测试。

综上所述, 通过在无线网络侧增加具备计算、存储、网络资源管理等功能的边缘节点, MEC 能够将无线网络、数据缓存和云计算技术有机地融合在一起, 并因此可以有效推动 5G 移动通信系统在车联网、物联网、无人机网络和智慧城市等领域的应用和发展。

### 1 MEC 概述

MEC 的基本思想是把云计算平台从移动核心网络内部迁移到移动接入网边缘, 通过部署具备计算、存储、通信等功能的边缘节点, 使传统无线接入网具备业务本地化条件, 进

一步为终端用户提供更高带宽、更低时延的数据服务, 并大幅度减少核心网的网络负荷, 同时降低数据业务对网络回传的带宽要求。

#### 1.1 MEC 的整体架构

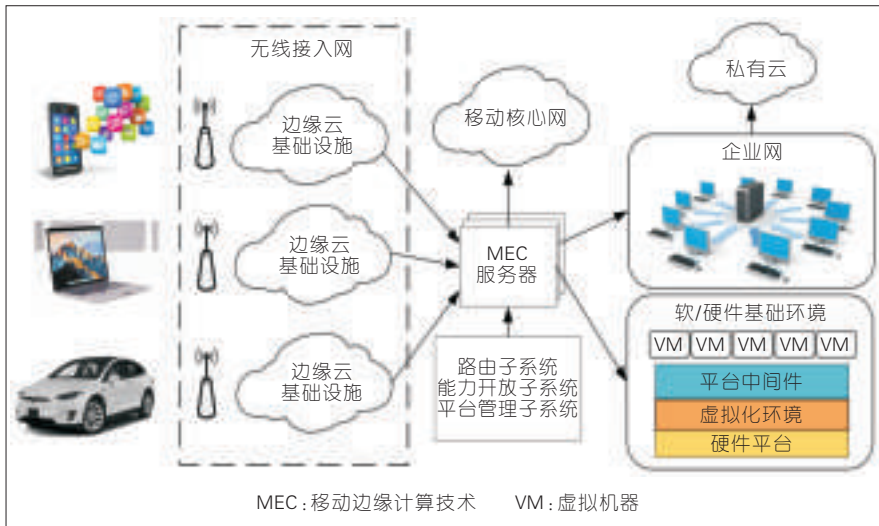
ETSI 在文献[4]中定义的 MEC 系统的整体架构如图 1 所示, 其中 MEC 服务器是整个系统的核心, 覆盖移动终端的 MEC 系统由一个或多个 MEC 服务器组成。通过将 MEC 服务器部署于无线接入网与核心网之间, MEC 系统将能够在无线网络侧(网络的近端)为终端用户提供更高效率、更低时延的计算、存储和通信服务, 并因此能够提升终端用户的服务质量(QoS)体验。

由图 1 可以看出: MEC 服务器包括路由子系统、能力开放子系统、平台管理子系统以及边缘云基础设施等 4 个基本组件。通过上述基本组

收稿日期: 2017-12-10

网络出版日期: 2018-01-10

基金项目: 国家自然科学基金(61701102、61671141); 中央高校基本科研业务费专项资金(N150403001)



▲图1 MEC系统整体架构示意图

件,MEC系统能够与无线接入网、移动核心网、企业网及软/硬件基础环境进行业务融合和动态交互。

### 1.2 MEC的基本功能组件

在MEC服务器所包含的4个基本功能组件中,路由器系统、能力开放子系统和平台管理子系统均部署在MEC服务器内部,而边缘云基础设施则由部署在网络边缘的小型或微型数据中心构成。MEC服务器的4个基本功能组件在MEC系统中的作用与相互关系如图2所示。

#### (1) 路由器系统

路由器系统为MEC系统、无线接入系统和核心网络系统之间提供数据转发的功能。当移送设备请求数据时,若MEC系统存储设备中有目标数据,则通过路由器系统将数据下发给用户;若MEC系统中没有目标数据,则通过路由器系统将用户的请求数据包经移动核心网发送至第三方服务器或云数据中心。此外,路由器系统还可以在MEC服务器之间发送数据以支持设备的移动性。典型的路由转发案例如图3所示。

#### (2) 能力开放子系统

能力开放子系统的主要功能是通过向路由器系统提供网络及用户的实时动态信息,以及向平台管理子

系统上报能力开放注册信息以及能力调用统计信息,实现路由转发策略的制定和业务数据的管控。同时,能力开放子系统可以通过分析用户的业务数据实现网络业务处理、网络资源分配、监测终端能力等特定功能的部署。

#### (3) 平台管理子系统

平台管理子系统的主要作用是对移动网络数据平面进行控制,对来自能力开放子系统的能力调用请求进行管控,对边缘云内的IT基础设施进行虚拟化资源管理,以及对相关计费信息进行统计上报。

#### (4) 边缘云基础设施

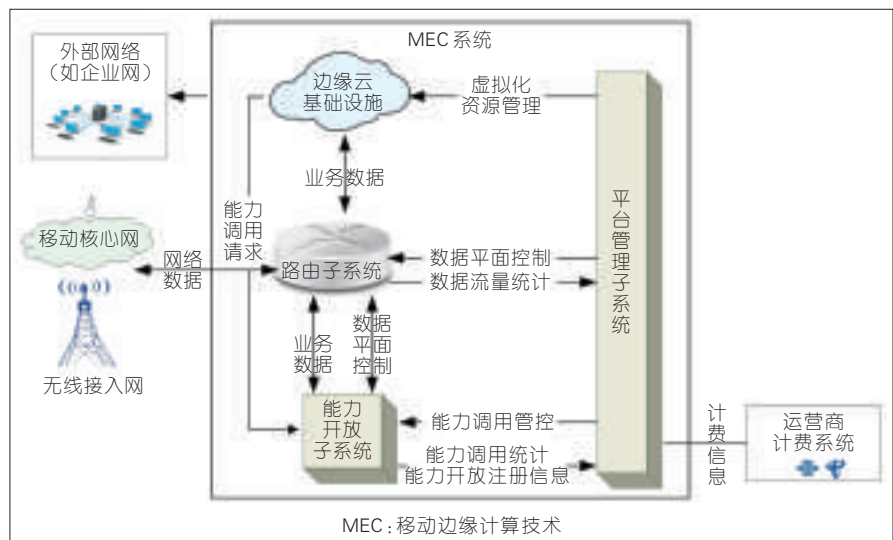
边缘云基础设施的主要作用是通过为终端用户提供由小型化硬件平台构建的计算、存储及网络通信等资源的物理资源池,实现MEC系统的本地化数据业务处理,提升网络的QoS体验。

## 2 MEC系统的关键技术

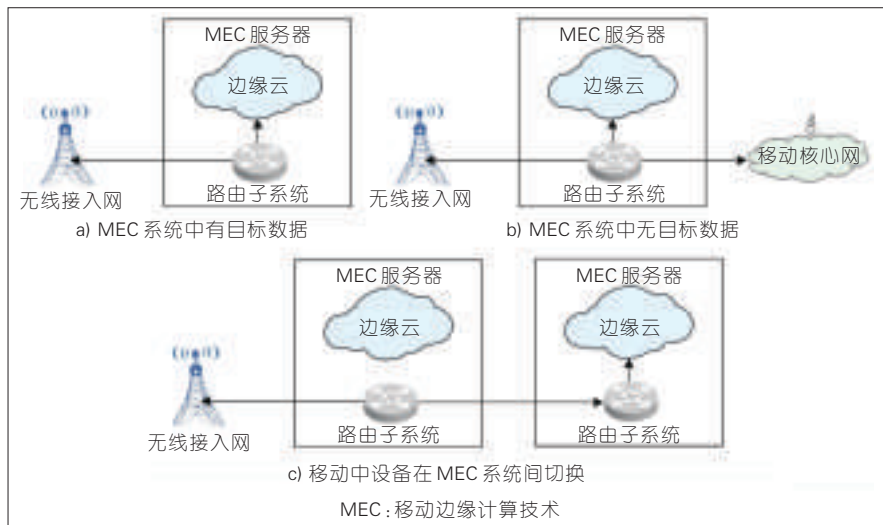
MEC系统的关键技术主要包括计算卸载技术、无线数据缓存技术和基于软件定义网络(SDN)的本地分流技术等。上述关键技术是MEC系统实现计算处理实时化、数据处理本地化以及信息交互高效化的前提和基础。

### 2.1 计算卸载技术

计算卸载技术<sup>[9]</sup>是MEC系统实现终端业务实时化处理的重要手段。计算卸载是指将部分计算功能由移动设备迁移到MEC服务器执行,其主要过程包括卸载决策、卸载执行、结果回传等3部分。其中,卸载决策是指某项计算任务应该如何进行高效卸载,是计算卸载的理论基础;卸载执行是如何将计算能力在MEC服务器和终端进行划分,是计算卸载的核心;结果回传是将计算任务处理结果下发给终端用户,是计算卸载最终



▲图2 MEC系统功能结构示意图



▲ 图3 路由子系统转发数据案例

实现并完成的关键。利用计算卸载技术,通过将业务计算及时卸载到移动边缘计算服务器进行计算处理,能够有效扩展移动设备的即时计算能力,降低计算延迟,并提高移动终端的电池寿命。因此,高效的计算卸载策略在边缘计算技术中扮演着不可缺少的角色。

计算卸载的基本设计原理为:当终端发起计算卸载请求时,终端上的资源监测器检测 MEC 系统的资源信息,整理出可用的 MEC 服务器网络的资源情况(包括服务器运算能力、负载情况、通信花销等);根据上述接收到的服务器网络信息,终端内部的计算卸载决策引擎决定哪些任务为本地执行,哪些为边缘计算节点执行;最后,根据计算卸载决策引擎的决策指示,分割模块将任务分割成可以在不同设备独立执行的子任务。其中,本地执行部分由终端在本地进行,边缘计算节点执行部分经转化后卸载到 MEC 服务器进行运算处理。

计算卸载根据业务计算强度可划分为二元卸载和部分卸载<sup>[6]</sup>。其中,二元卸载主要针对高密度且小规模的计算任务。通过二元卸载,终端的计算任务被整体迁移到 MEC 服务器进行计算处理。部分卸载主要针对大规模的计算任务。通过部分卸

载,终端的计算任务由分割模块分为多个子任务,分别卸载到多个 MEC 服务器执行计算。最简单的部分卸载任务模型是数据分区模型<sup>[7]</sup>。在数据分区模型中,终端用户的计算任务可以被划分成多个相互独立的子任务,并根据计算卸载决策指示在移动设备及一个或多个 MEC 服务器中并行执行。需要指出的是:在部分卸载过程中,不同子任务之间可能存在一定的依赖关系,例如:子任务 A 的输出为子任务 B 的执行前提。因此,被划分后的多个子任务存在无法同时执行的情况。针对上述问题,可将任务的执行过程划分为  $n$  个时隙<sup>[8]</sup>,根据子任务之间的依赖关系,将能够并

行执行的子任务在同一时隙卸载到多个 MEC 服务器进行并行运算,而将不能并行执行的子任务按照其优先级顺序分配至不同时隙依次执行。

通过上述讨论可以看出:计算卸载技术的应用,能够有效地降低计算任务的时延,扩展移动设备的计算能力,并减少移动设备的能量消耗,延长移动设备电池的寿命。因此,探寻高效的计算卸载策略是 MEC 系统等相关研究的重点。在已有的工作中,文献[9]提出了用李雅谱诺夫函数解决此类最优性问题。文献[10]提出将寻找最优 MEC 系统的问题看成解决多臂赌博机问题,其中采用了上置信算法和  $\epsilon$ -greedy 算法解决寻找最优卸载策略。

## 2.2 无线数据缓存技术

无线数据缓存技术<sup>[11]</sup>是实现 MEC 数据业务本地化的主要途径。无线数据缓存技术的基本原理是将相关热点数据提前缓存在 MEC 服务器的边缘存储节点上,使得终端用户在单跳距离范围内即可以获得所需要的数据。MEC 系统的无线数据缓存示意如图 4 所示。

内容缓存策略和内容传输策略是无线数据缓存技术需要解决的两个重要问题。其中,内容缓存策略是指网络边缘节点对于热点数据的选取和缓存机制,内容传输策略是指网



▲ 图4 基于微小基站的 MEC 无线数据缓存模型

络边缘节点将其缓存的热点数据分发给申请用户的传输机制。两个问题相互影响,相互耦合。在已有的相关研究中,文献[12-13]对微小基站端的内容缓存策略和内容传输策略进行了研究,并指出无线数据缓存技术能够有效减少海量数据在核心网内的冗余重复传输,降低传输时延。需要指出的是:虽然微小基站端的无线数据缓存技术能够将网络的业务负载从核心网内卸载至网络的边缘节点处,并以此减轻承载网的链路阻塞;但在内容传输阶段,数据业务的发送仍然需要大量占用接入网的基带资源和射频资源,无线网络的整体性能因此无法获得进一步突破。

为了解决上述问题,文献[14-15]考虑了位于用户终端处的无线数据缓存技术,以解决微小基站端无线数据缓存技术的技术瓶颈,并通过探索设备到设备(D2D)通信机制下的内容缓存策略和内容传输策略,实现基站端基带资源与射频资源的释放,进一步提升移动通信网络的传输性能。其中,文献[14]研究了基于速率门限的D2D内容传输策略,通过选取具有高传输速率的D2D数据链路进行数据传输,最大化D2D网络的数据承载概率,并在该策略下对最优内容缓存策略进行了求解。文献[15]考虑了基于载波侦听接入机制的D2D内容传输策略,通过为可能冲突的终端用户设定随机退避时间,减少D2D传输链路间的相互干扰,并在此基础上对最优的内容缓存策略进行了求解。

### 2.3 基于SDN的本地分流技术

基于SDN的本地分流技术是MEC系统实现网络信息交互高效化的有效措施<sup>[16]</sup>。基于SDN的本地分流技术的核心思想为:首先,SDN控制器从本地或者从策略服务器获取预先设置的分流策略;其次,SDN控制器根据数据流描述信息和分流策略,生成分流规则流表;最后,分流网关根据分流规则流表将相应的数据

流进行最终分流。相比于传统的本地分流技术,基于SDN的本地分流技术能够根据终端用户的实际需求和MEC系统的资源部署情况有效实现数据业务的本地化处理,缩短网络对终端用户的响应时间,保证终端用户数据业务需求的连续性,并大幅度降低核心网的数据流量压力,提升终端用户的服务体验。

基于SDN的本地分流技术的优势之一是能够快速适应由终端用户的移动性引起的网络拓扑的变化,有效保证终端用户的业务连续性。具体来说:在MEC系统中,当终端用户的位置发生变化时,基于SDN的本地分流技术能够根据感知到的网络接入点的改变重新生成路由转发策略,并将其以流表的形式下发至交换机。由于基于流表的转发机制实时性强且配置灵活,基于SDN的本地分流技术能够有效处理由终端用户位置变化引起的网络接入点的切换,从而保障终端用户的服务体验。

综上所述:在MEC的场景下,MEC服务器通过感知计算、缓存和网络的实时状况,利用SDN实现了网络资源的有效分配,以及数据业务的高效调度与分发。因此,基于SDN的本地分流技术是MEC业务本地化未来发展的重要趋势。

## 3 MEC系统面临的挑战

MEC通过在无线接入网内提供云化的计算、存储、通信服务能力,实现了近距离、超低时延、高带宽以及实时访问无线网络信息的服务环境,并实现了网络从接入管道向信息化服务使能平台的跨越,是5G的关键技术之一。目前,移动边缘计算仍面临着如下研究挑战:

(1)安全性挑战。MEC的分布式架构增加了攻击向量的维度,移动边缘计算客户端越智能,越容易受到恶意软件感染和安全漏洞攻击。

(2)公平性挑战。MEC系统资源共享的公平性是影响用户服务质量

和网络整体性能的关键因素之一。如何在网络中存在大量MEC边缘计算节点和终端用户接入节点的情况下,实现基于公平性的资源优化管理和网络负载均衡,是目前相关领域的研究重点。

(3)互操作性挑战。MEC设备之间的互操作性是MEC系统大规模商用的关键。不同设备商之间需要通过制定相关的标准规范和通用的协作协议,实现异构MEC设备和系统之间的互操作。

(4)移动性管理挑战。在大连接、高速率、低时延的MEC典型应用场景中,如何有效保证终端用户的业务连续性和无缝切换是MEC系统需要解决的重要问题。

## 4 结束语

MEC作为5G的关键技术之一,通过将具有计算、存储、通信能力的业务平台下沉到网络边缘,为终端用户提供更近距离、更低延时、更高带宽的泛在数据业务服务。结合现有的相关研究,我们对MEC的体系架构、关键技术,以及重要应用进行了详细阐述,并同时MEC所面临的研究挑战进行了归纳和总结。可以预见:移动边缘计算必将成为5G乃至未来移动通信系统不可或缺的重要组成部分。

### 参考文献

- [1] SATYANARAYANAN M, BAHL P, CACERES R, et al. The Case for VM-Based Cloudlets in Mobile Computing [J]. IEEE Pervasive Computing, 2009, 8(4):14-23. DOI: 10.1109/MPRV.2009.82
- [2] PATEL M, NAUGHTON B, CHAN C, et al. Mobile-Edge Computing Introductory Technical White Paper[R]. White Paper, Mobile-edge Computing (MEC) Industry Initiative, 2014
- [3] HU YC, PATEL M, SABELLA D, et al. Mobile Edge Computing-A Key Technology Towards 5G[R]. ETSI White Paper, 2015
- [4] SATHYA A. Mobile Edge Computing: A Gateway to 5G Era[R]. Huawei Technologies White Paper, 2016
- [5] LIU J, MAO Y, ZHANG J, et al. Delay-Optimal Computation Task Scheduling for Mobile-Edge Computing Systems[C]//IEEE

- International Symposium on Information Theory. IEEE, 2016:1451–1455. DOI: 10.1109/ISIT.2016.7541539
- [6] YU Y. Mobile Edge Computing Towards 5G: Vision, Recent Progress, and Open Challenges[J]. China Communications, 2016, 13(S2):89–99. DOI: 10.1109/CC.2016.7833463
- [7] MAO Y, YOU C, ZHANG J, et al. A Survey on Mobile Edge Computing: The Communication Perspective [J]. IEEE Communications Surveys&Tutorials, 2017,13(4):2322–2358. DOI: 10.1109/COMST.2017.2745201
- [8] TEREFE M B, LEE H, HEO N, et al. Energy-Efficient Multisite Offloading Policy Using Markov Decision Process for Mobile Cloud Computing[J]. Pervasive & Mobile Computing, 2016, 27(C):75–89. DOI: 10.1016/j.pmcj.2015.10.008
- [9] LIU J, MAO Y, ZHANG J, et al. Delay-Optimal Computation Task Scheduling for Mobile-Edge Computing Systems[C]//IEEE International Symposium on Information Theory. USA:IEEE, 2016:1451–1455. DOI: 10.1109/ISIT.2016.7541539
- [10] SUN Y, ZHOU S, XU J. EMM: Energy-Aware Mobility Management for Mobile Edge Computing in Ultra Dense Networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2017, 35(11): 2637 – 2646. DOI: 10.1109/JSAC.2017.2760160
- [11] WANG X, CHEN M, TALEB T, et al. Cache in the Air: Exploiting Content Caching and Delivery Techniques for 5G Systems[J]. Communications Magazine IEEE, 2014, 52(2):131–139. DOI: 10.1109/MCOM.2014.6736753
- [12] LI J, CHEN Y, LIN Z, et al. Distributed Caching for Data Dissemination in the Downlink of Heterogeneous Networks[J]. IEEE Transactions on Communications, 2015, 63(10):3553–3568. DOI: 10.1109/TCOMM.2015.2455500
- [13] BHARATH B N, NAGANANDA K G, POOR H V. A Learning-Based Approach to Caching in Heterogeneous Small Cell Networks[J]. IEEE Transactions on Communications, 2015, 64(4):1674–1686. DOI: 10.1109/TCOMM.2016.2536728
- [14] CHEN B, YANG C, XIONG Z. Optimal Caching and Scheduling for Cache-enabled D2D Communications[J]. IEEE Communications Letters, 2017, 21(5):1155–1158. DOI: 10.1109/LCOMM.2017.2652440
- [15] SONG X, GENG Y, MENG X, et al. Cache-Enabled Device to Device Networks with Contention-Based Multimedia Delivery[J]. IEEE Access, 2017, 5(99):3228–3239. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2664807
- [16] HUO R, YU F R, HUANG T, et al. Software Defined Networking, Caching, and Computing for Green Wireless Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2016, 54(11):185–193. DOI: 10.1109/MCOM.2016.1600485CM

## 作者简介



宋晓诗, 东北大学计算机科学与工程学院讲师, 主要研究方向为 5G 移动通信网络。



闫岩, 东北大学在读硕士生, 主要研究方向为 5G 移动通信与移动边缘计算。



王梦源, 航天恒星科技有限公司(503所)高级工程师; 主要研究方向为卫星通信、天地一体化网络。

# 网络切片:构建可定制化的5G网络

## Network Slicing: Building Customizable 5G Network

任驰/REN Chi  
马瑞涛/MA Ruitao

(中国联通网络技术研究院,北京 100048)  
(China Unicom Network Technology  
Research Institute, Beijing 100048, China)

移动通信技术已经成为了当今社会数字化发展的强力催化剂。放眼未来,移动通信将进一步发展并触及各种垂直行业,如自动驾驶、制造业、后勤产业、能源行业,并在当前已有涉及但还未完全挖掘出移动业务潜力的金融业、健康护理等行业深入发挥作用。移动网络潜力的进一步挖掘就取决于这些商业模式提出的多样化的,甚至是互相冲突的需求,比如:运营商中的一个客户需要高可靠性的业务,而另一个客户可能需要超高带宽的通信业务。

但业务需求的多样性同样为运营商带来了巨大的挑战,如果运营商遵循传统网络的建设思路,仅通过一张网络来满足这些彼此之间差异巨大的业务需求,对于运营商来说将是一笔成本巨大但是同时效率低下的投资。

从功能的角度来看,最符合逻辑并且最有效率的做法应该是:在一个通用的物理平台之上构建多个专用的、虚拟化的、互相隔离的逻辑网络,来满足不同客户对网络能力的不同要求,而这正是网络切片技术的最典型的应用实例。

收稿日期:2017-12-13  
网络出版日期:2018-01-06

中图分类号:TN929.5 文献标志码:A 文章编号:1009-6868(2018)01-0026-005

**摘要:** 通过对网络切片的逻辑组网、定制流程、生命周期管理等方面的介绍,提出了网络切片技术中目前尚未解决的一些问题,为未来的网络切片演进提供了参考。认为在未来的移动网络中,切片可定制化将是最重要的需求之一。通过在通用的物理平台上生成功能、性能不同,并且彼此隔离的多张逻辑专网,配合对第三方的网络能力开放,将使得运营商更有效率地运营网络,更加深入地挖掘自身网络的赢利点。

**关键词:** 5G;网络切片;定制化;垂直行业;网络功能虚拟化(NFV)

**Abstract:** The logical networking, customization procedure and life-cycle management of network slicing are introduced in this paper. Some problems that have not been solved in the network slicing technology are put forward, which provide references for the evolution of the future network slicing. It is believed that in future mobile networks, the customization of slicing will be one of the most important requirements. By generating the different functions and isolated multi logical private networks on the general physical platform, and opening the network capabilities functions to the third party, the operators can operate the network more efficiently and dig deeper into the profit points of their own network.

**Keywords:** 5G; network slicing; customization; vertical industry; network function virtualization (NFV)

由此,通过基于5G服务化架构的网络切片技术,运营商将能够最大程度地提升网络对外部环境、客户需求、业务场景的适应性,提升网络资源使用效率,最优化运营商的网络建设投资,构建智慧的、可定制化的5G网络。

### 1 行业趋势及挑战

5G网络将会逐步引发新兴行业前所未有的大规模发展。5G业务种类相比传统3G/4G网络将出现爆发式的增长,例如:增强/虚拟现实(AR/VR)、高清移动视频、数字医疗、车联网、智能家居、工业控制和环境监测等。这些业务同时也会促进5G网络的迅速发展,来自数百种垂直行业的数百亿设备将在这一过程中连接到

移动网络,从而真正实现“万物互联”的愿景<sup>[1]</sup>。

5G业务对网络的要求也是多样化的,例如:智慧家居、智能电网、智能农业和智能秒表需要支撑额外大量的连接并且频繁传输小的数据包,智能车辆和工业控制要求毫秒级的延迟和接近100%的可靠性,AR/VR、高清视频等业务要求更大的移动带宽。上述这些要求表明:5G网络需要更加灵活、可定制化,以支撑不同环境下的大量连接。同时,运营商将逐步从管道服务转向垂直行业,这也将同时带来更多的挑战。

(1)服务多样化。在5G时代,预知的服务分为3个典型的情形:增强型移动带宽(eMBB)、超可靠低延迟通信(uRLLC)和大连接物联网

(mIoT)。eMBB 专注于高传输速率的服务,例如:高清视频、VR、AR;uRLLC 专注于延迟敏感的服务,如无人驾驶、远程手术。mIoT 专注于对连接密度有高要求的服务,典型的例子有智慧城市和智慧农业。每种服务要求完全不同的网络服务,这导致它们的要求完全不同,有时甚至是互相冲突的。

(2)快速部署。部署传统的无线网络是一个很长的过程,一个简单的服务更新周期可能会以月甚至年为单位。在业务发展日新月异的今天,这样的长周期更新将很难满足快速定制服务和垂直行业缩短上市时间的需求。

(3)网络隔离。与传统的电信业务不同,垂直行业倾向于定制专业网络功能(如专用路由、移动支持、定制流程处理和网络内处理等)。为在不损失运行效率的情况下处理上述多样化需求,运营商应使用有安全隔离保障的网络资源。

(4)能力开放。针对多样化的移动业务,需要第三方充分参与网络切片的生命周期管理,包括切片的设计、上线和运行管理,因此需要允许第三方应用通过可信而灵活的应用程序编程接口(API)对网络切片的某些方面进行运营商监管下的控制管理,以便提供针对第三方业务定制化的服务。

(5)自动化控制。灵活性和可扩展性是5G网络的重要特点,网络发展的趋势是不依靠人工管理,而是用全自动网络管理技术,例如:自我诊断、自我治愈和自动安装/即插即用,这也是获得动态业务控制的基础。随着自动网络管理技术的发展,管理应更具敏捷性和自适应性,以满足复杂商业生态下的业务需求。

如上所述,5G业务灵活性和多样性所带来的挑战是真实存在且不可忽视的,为了在克服这些挑战的同时满足业务需求,网络切片技术应运而生。通过网络切片,运营商只需要结

合垂直行业业务的具体需求,通过统一的虚拟化管理平台快速、动态地管理网络切片的具体配置,就可以在保证垂直行业业务竞争力的同时,从网络设计、部署、测试和运行这样的复杂考虑中解脱出来<sup>[2-3]</sup>。

## 2 网络切片的概念

网络切片是5G网络最重要的技术之一,第3代合作伙伴计划(3GPP)、下一代移动网络(NGMN)、全球移动通信系统联盟(GSMA)等不同标准组织均对网络切片展开了深入的研究并取得了一定的成果。

总体来说,网络切片是一系列技术的集合,这些技术能够产生特殊的、专有的逻辑网络作为服务以支撑网络切片差异化并满足垂直行业的多样化需求。通过对功能、隔离机制和网络运行和维护服务进行灵活的定制设计,网络切片能够基于相同的基础设施提供逻辑专有网络。网络切片实例(NSI)是实现网络切片概念的核心,它是一个端到端的逻辑网络,包含了一系列的网络功能、资源和连接关系。一个NSI通常会横跨多个技术领域,包括终端、接入网、传输网、核心网以及管理垂直行业第三方应用的数据中心<sup>[4]</sup>。

在一个公共陆地移动网络(PLMN)内,一个NSI由一个单切片选择辅助信息(S-NSSAI)唯一标识,一个S-NSSAI由切片/业务类型和切片区分标识两部分组成,其中切片类型表示在特性和业务方面期望的网络切片行为,切片区分标识用于在多个切片/业务类型相同的多个网络切片当中补充网络切片区分信息。现

阶段,在3GPP标准中定义了3种标准化切片/业务类型取值,具体如表1所示。

在网络切片的设计中,并不需要每一个切片都包含所有的网络功能,针对特定业务或垂直行业的网络切片只需要定制化地包含业务所必需的网络功能,而应尽量避免包含任何对业务来说非必要的网络功能,以最大程度地满足垂直行业业务的相关需求。

## 3 定制化网络切片

### 3.1 逻辑组网

5G移动网络可以根据不同业务的需求,提供通用或专有网络服务,形成不同的网络切片。在5G网络中,网元概念将被弱化,取而代之的是虚拟机中运行的各种网络功能(NF),这些网络功能是从原有网元功能中剥离出来并进行优化、增强后,通过网络功能虚拟化(NFV)技术实现。在通用的物理基础设施之上,不同的网络切片基于软件定义网络(SDN)/NFV技术,并根据业务和场景的需求上线不同的功能模块并部署在不同位置,在逻辑上生成彼此隔离的多张专网。以3GPP中标准的切片/业务类型定义的三大场景为例进行说明。

(1)mIoT场景将使终端连接到网络的连接数量急剧增长。与庞大的连接数量相比,物联网的终端所传输的数据非常有限,并且物联网终端的通信行为往往有着特定的规律,同时物联网终端经常被固定在某个地点,不具备移动性。因此,大连接物联网

▼表1 3GPP定义的标准化切片/业务类型取值

| 切片/业务类型 | SST 取值 | 特性   |
|---------|--------|--|
| eMBB    | 1      | 切片适用于处理5G增强型移动宽带,不限于一般消费空间移动宽带应用,包括高质量视频流、快速大文件传输等 |
| uRLLC   | 2      | 支持用于包括工业自动化(远程)控制系统在内的高可靠低时延通信                     |
| mIoT    | 3      | 支持大量和高密度的物联网设备                                     |

eMBB:增强型移动宽带 mIoT:大连接物联网 SST:切片/业务类型 uRLLC:超可靠低时延通信

场景下的网络切片不一定具有用户面连接,其控制面的部署位置也可以相对较高。

(2)uRLLC主要应用领域之一是车联网,它需要终端在快速移动的情况下,仍具有带宽和时延保障,并具有可靠的传输能力,因此低时延、高可靠场景下的网络切片控制面和用户面应分开部署,控制面部署位置不宜过高,用户面部署位置则必须很低,尽量靠近终端侧,尽量减少终端访问服务器的时延。

在网络切片的部署中,可通过多级数据中心的云化形成用户层、控制层、能力开放层等几个主要层次。用户层专注于用户数据包的传送;控制层实现无线接入网(RAN)侧控制功能的云化集中,用户数据和策略信息的集中存放以及不同的控制功能模块的实现;能力开放层则提供对于第三方的信息开放并提供API接口供第三方进行合法的网络能力调用以及网络功能的实现。详细的逻辑组网如图1所示<sup>[5]</sup>。

### 3.2 切片按需定制

网络切片能够通过第三方按需定制是未来5G网络能力开放的重要组成部分。结合SDN/NFV技术,用户可以在运营商提供好的基础切片蓝图(模板)上进行需求匹配、部件选择、拓扑管理、转发流图定制等步骤,按需实例化切片相关的描述文件,并通过管理编排系统和运营支撑系统对切片进行上线操作。

网络切片按需定制的流程如图2所示。

网络切片按需定制的各步骤说明如下:

(1)基础切片蓝图。网络切片的设计复杂,需要的相关实例化文件很多,因此需要定义好各种网络切片基础模板,帮助定制者基于该模板进行相关修改,切片基础模板主要按三大场景分为eMBB、uRLLC、mIoT3种,用户根据需要进行选择。

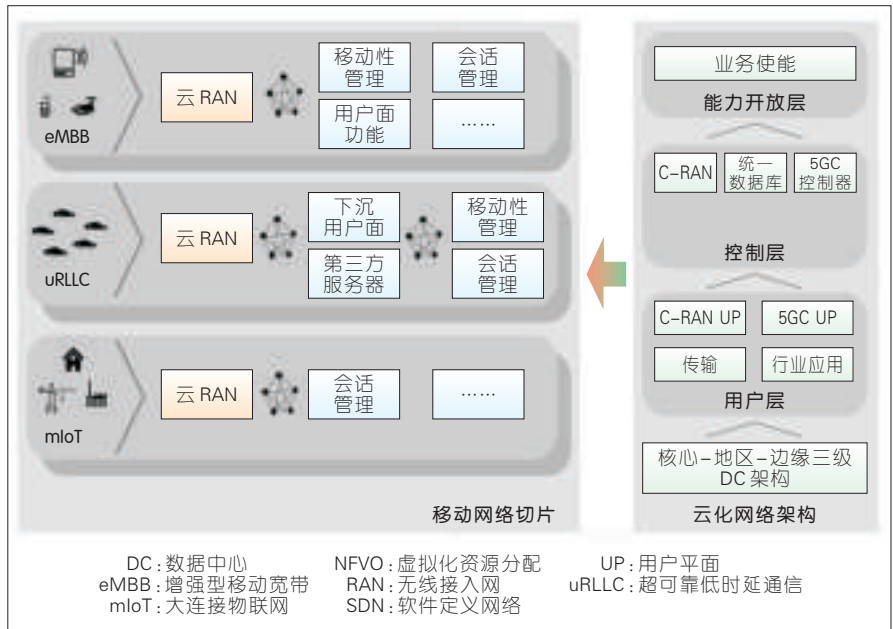
(2)需求匹配。主要目的在于将业务需求转化成网络能力需求,选择网络需要承载的用户数、带宽、高可靠性等,将这些需求映射到具体需要的网络资源上。

(3)部件选择。该步骤需要用户对具体需要的部件进行选择或更改。未来的5G网络中,原本的移动性实体(MME)管理、服务网关(SGW)、共用数据网网关(PGW)等按固定拓扑、固定接口连接的网元功能将被IT化的服务化架构的网络功能代替,形成可按需调用网络功能和

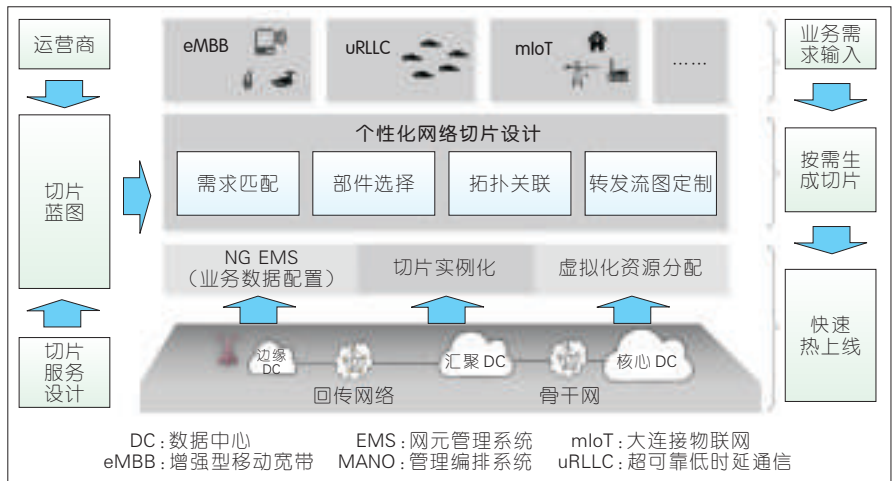
网络服务的新型网络架构,从而能够给予用户最大限度的自由定制的可能性<sup>[6]</sup>。

(4)拓扑关联。选择好的各功能模块需要进行拓扑关联,确定相关的连接关系。由于未来5G网络将是基于业务化的架构模式,所有的模块之间均可通过轻量级协议(如HTTP、JSON或RESTful等)进行连接,模块之间的功能可以互相调用,形成弹性化的网络能力。

(5)转发流图定制。该步骤中确定网络切片中控制层、用户层、能力



▲图1 网络切片逻辑组网



▲图2 网络切片按需定制流程



开放层、第三方业务服务器等各模块之间的消息交互模式,按需实现灵活的轻量级切片能力。

网络切片的按需定制能力克服了冰冷的NFV、SDN等纯技术概念,通过软件交互界面的方式,给予客户更直接、更简便的按需定制方法,呈现出一种全新的业务形式。

### 3.3 生命周期管理

网络切片具备逻辑隔离和独立的生命周期管理,提供开放的接口给运营方,以便切片运营方按照自己的特殊要求开发自己特定的运维功能。网络切片需要支持模块化设计,并支持各自独立按需、敏捷高效的部署和弹性伸缩,其生命周期包含设计、购买、上线、运营、下线等5个阶段。网络切片的生命周期具体如图3所示。

其中,切片的应用重点集中在上线阶段和运营阶段两个主要阶段。

切片上线的过程实际上是切片模板的实例化过程,切片所包含的功能可以部署在特定的物理资源上,也可以部署在虚拟化的逻辑资源上。如果切片功能部署在虚拟化的逻辑资源上,则切片管理器通过与MANO

之间的接口,完成切片功能对应的软件包的下发,切片功能实例化过程中所需要的资源模板的下发以及切片功能相关的基础配置的下发,然后触发MANO进行切片网络的实例化。MANO进行切片实例化过程中,切片服务器通过和MANO之间的接口,查看切片实例化的进展。MANO完成切片的实例化后,如果仍有部分切片功能需要进行特定的配置,则切片管理器通过与实例化完成之后的切片之间的接口完成这些特定的配置。最后切片服务器通过和切片之间的接口触发切片的连通性测试,确认切片的可用性。

在运营阶段中,切片运营方可在切片上完成自己制定的切片运营策略、切片用户发放、切片的维护、切片的监测控制等工作,这些均通过切片管理器与切片之间的接口完成。网络侧也可提供开放的运维接口给运营方,以便切片运营方进行二次开发,按照自己的特殊要求开发自己特定的运维功能。如切片运营方因为某些原因不再运营切片,则可进行切片的下线。在切片运维过程中,可根据需要对切片的进行动态修改,切片的动态修改包括:切片的动态伸缩,

如切片内局部拥塞需要进行局部扩容;在原切片的基础上进行子功能的动态增加或者删除(如原切片无安全功能,因业务发展的需要正在运行的切片中增加安全功能);切片功能的版本升级等。

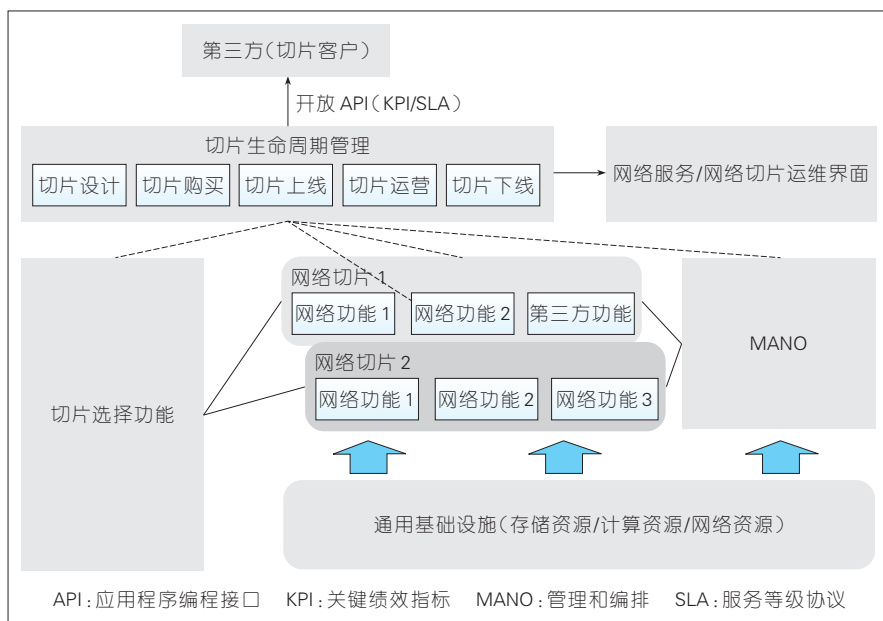
## 4 网络切片技术的思考

网络切片技术在带来可定制化网络,满足万千行业需求的同时,对网络运营商和设备制造商来说,也带来了一些亟待明确和解决的问题:

- 垂直行业需求对接。目前垂直行业和通信产业彼此之间还存在一定程度的隔阂,垂直行业对通信产业能够提供的服务和资源并不明确,在一定程度上造成需求和实现方案之间难以对接的情况。因此,在未来,相关技术的研究、讨论、标准化等一系列工作中,通信产业应积极同典型垂直行业进行接触,以打通通信产业能力和垂直行业需求之间的对接通道。

- SDN/NFV设备统一的管理编排。在未来SDN/NFV技术的应用中,随着各个层面和功能部件的进一步解耦,如何实现对网络中不同层面、不同厂家的网络功能进行统一管理、编排和控制还需要在后续的研究和试验中进行验证。同时,不仅限于核心网部分,以及接入网、传输网部分,同样应支持基于SDN/NFV的系统架构,以支持端到端的网络切片管理,如何推动整个产业的虚拟化改造进程也是需要考虑的一个问题。

- 统一架构开放API。对第三方业务提供商来说,如果针对每个运营商的切片应用都要开发一套专用的适配架构,将使得网络切片的商业吸引力大大下降。因此在网络切片的能力开放方面,如果要达到第三方自主进行切片配置及管理的效果,则必须构建标准化统一架构的开放API接口,使第三方业务提供商可以通过同一套标准化的接口架构同所有合作伙伴对接。目前,诸如3GPP SA6



▲图3 网络切片生命周期管理

等标准化工作组已经在进行相关的研究,并取得了一定的成果。

## 5 结束语

SDN/NFV 技术使得未来的移动网络架构更加灵活、弹性化,同时也使得网络切片技术成为可能。随着网络技术的不断发展,以及网络业务的不断创新,在未来的移动网络中,可定制化将是最重要的需求之一。通过在通用的物理平台上生成功能、性能不同,并且彼此隔离的多张逻辑专网,配合对第三方的网络能力开放,将使得运营商更有效率地运营网络,并能够更加深入地挖掘自身网络的赢利点。同时,第三方公司将通过灵活的网络切片运营使用户获得更

快、更好、更安全的业务体验,最终实现双赢。

### 参考文献

- [1] Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers – Network Operation; Stage 1: 3GPP TS 22.864[S/OL]. (2017-9-30)[2017-12-13]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs>
- [2] Study on Architecture for Next Generation System:3GPP TR 23.799[S/OL].(2016-12-16)[2017-12-13].<ftp://ftp.3gpp.org/Specs>
- [3] System Architecture for the 5G System: 3GPP TS 23.501[S].(2017-9-28)[2017-12-13]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs>
- [4] Service Capability Exposure Functionality over Nt Reference Point:3GPP TS 29.154[S]. (2016-04-26)[2017-12-13].<ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>
- [5] General Packet Radio Service(GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network(E-UTRAN)Access:3GPP TS 23.401[S].(2017-09-18)[2017-12-13]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>

- [6] Study on Dedicated Core Network Enhancements:3GPP TR 23.711[S].(2016-09-26)[2017-12-13]. <ftp://ftp.3gpp.org/>

### 作者简介



任驰,中国联通网络技术研究院工程师;主要从事移动核心网技术、5G核心网架构等研究工作。



马瑞涛,中国联通网络技术研究院高级工程师;主要从事移动核心网技术、5G核心网架构技术及网络演进规划等研究工作。

# 基于增强学习的5G网络切片资源动态优化方案

## Dynamic Resources Optimization for 5G Network Slicing Based on Reinforcement Learning

任语铮/REN Yuzheng  
谢人超/XIE Renchao  
黄韬/HUANG Tao

(北京邮电大学, 北京 100876)  
(Beijing University of Posts and  
Telecommunications, Beijing 100876, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 01-0031-006

**摘要:** 提出了一种基于增强学习的网络切片资源动态优化方案。使用该方案动态调整网络切片资源时,通过考虑未来网络切片中的业务流量变化情况,对业务流量进行预测,从而推断出未来网络资源的划分情况;再通过增强学习算法,使得未来时刻的网络资源划分状态对当前划分策略做出影响,从而得到当前的最佳策略。基于该算法,可以保证在资源分配过程中对网络需求变化做出快速响应,并通过仿真进行了验证。

**关键词:** 5G; 网络切片; 增强学习; 动态优化

**Abstract:** In this paper, a dynamic optimization algorithm based on reinforcement learning for network slicing division is proposed. Network resources can be dynamically allocated in the following ways: the traffic flow can be predicted by considering the changes of flow, then the division of future network resources can be deduced; based on reinforcement learning algorithm, the current partition strategy will be affected by the state of network resource partitioning in the future, and the best division strategy can be got. Based on this algorithm, the change of network requirements can be rapidly responded in the process of resource allocation, and verified by simulation.

**Key words:** 5G; network slicing; reinforcement learning; dynamic optimization

### 1 5G网络架构与网络切片的概念

为了能为各业务提供独立的网络服务而又不铺设专用网络,5G网络引入了网络切片技术<sup>[1-2]</sup>,即使用软件网络定义(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)技术,将物理基础设施资源虚拟化为多个相互独立的平行的网络切片,每个网络切片服务于某一具体的业务场景,以满足不同业务场景对带宽、时延、服务质量等差异化要求,从而满足各种垂直行业多样化需求,以增强网络弹性和自适应性。网络切片技术提升了网络资源利用率,节省了运营商的花费。

下一代移动通信网(NGMN)5G白皮书中的网络切片如图1<sup>[3]</sup>所示。目前NGMN对不同的应用场景进行了划分,并为每个应用场景设计了相应的网络切片,总共定义了8个系列,覆盖了现今业务的大部分场景<sup>[3]</sup>。

然而网络切片资源的划分并非是一成不变的,而应随各业务流量的

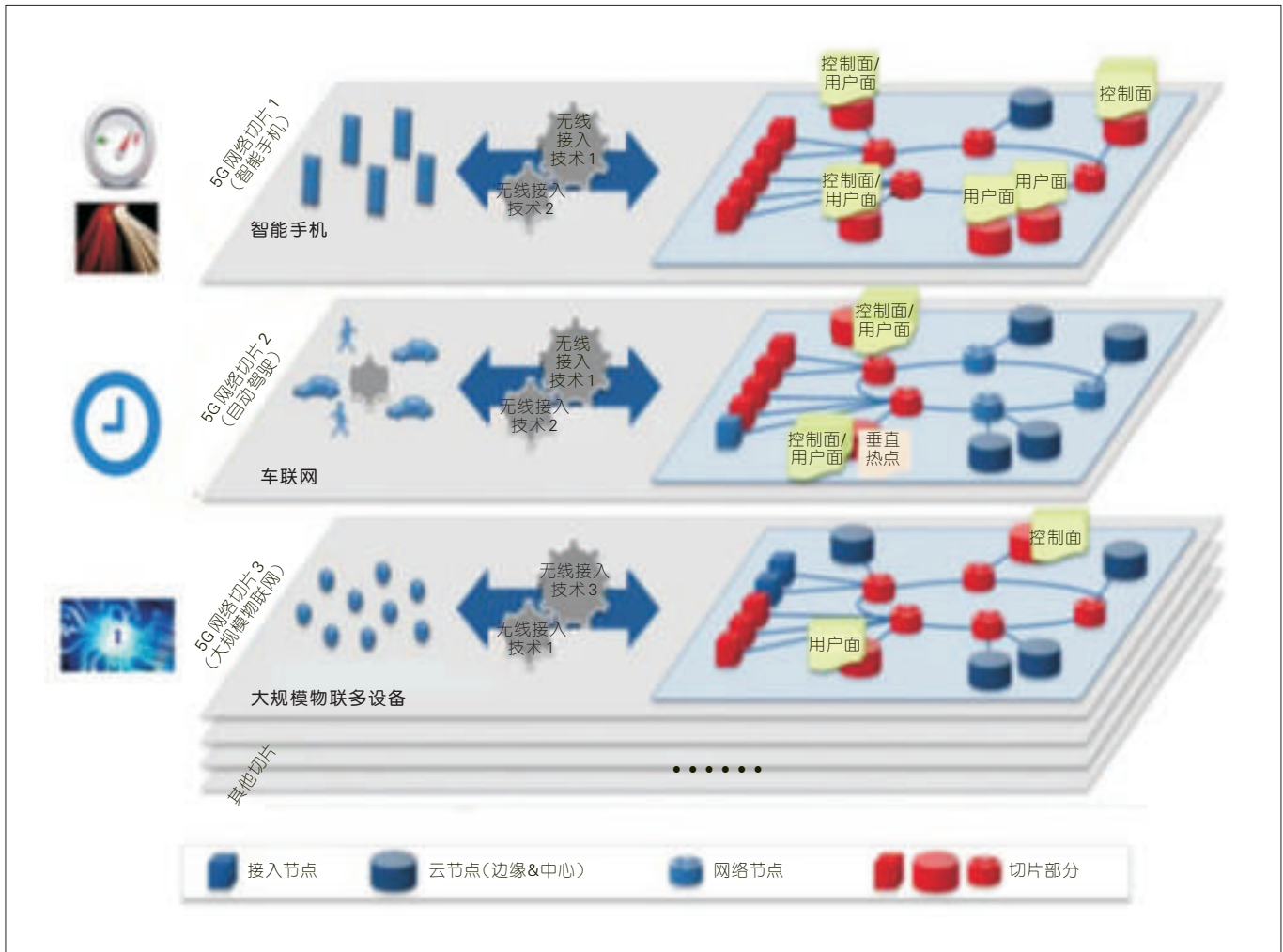
变化进行动态调整。首先,由于部分用户在不断移动,且用户需求往往会随着时间的改变发生改变,所以网络中各业务流量也是动态变化的。此外,第三方服务提供商可能会开发不同的网络业务,形成不同的应用需求,从而要求一个不同的网络切片实例。这都导致了网络切片的划分要随需求的改变发生变动。在基于切片的网络架构中,切片划分的优劣程度直接影响了网络性能,所以如何对切片资源进行动态优化至关重要。

针对网络切片资源的动态优化,有学者提出了一种基于比例公平算法的半静态资源分配方案。该方案

使各网络切片之间能实现更公平地资源分配<sup>[4]</sup>。然而该算法更着眼于公平性而不是性能,所以其资源利用率还有提升空间。还有学者认为可以通过对流量进行统计分析,从而得到全网的流量分布特征,再根据流量分布预先构造好基本切片。之后通过分析实时流量的负载和需求构造切片,并将构造结果通过OpenFlow协议下发到交换节点上<sup>[5]</sup>。

然而,以上的切片划分算法都是依据当前时刻流量进行优化,而未考虑未来网络流量变化的影响。事实上,在动态优化网络切片资源时需要将未来网络流量的情况一并考虑进

收稿日期: 2017-12-12  
网络出版日期: 2018-01-19



▲图1 网络切片逻辑架构

来,因为如果在决策时考虑了未来网络的流量变化,则相当于在切片划分策略中引入了预测功能。使得划分结果可以更快地对未来网络的需求变化作出响应。

为了解决这一问题,我们提出了一种基于增强学习的动态优化网络切片资源方案。

## 2 基于增强学习的网络切片动态优化方案

### 2.1 增强学习

增强学习(RL)是近些年机器学习和智能控制领域的主要方法之一。RL通过使累积效用最大化,从而确定智能体在环境中应该采取的

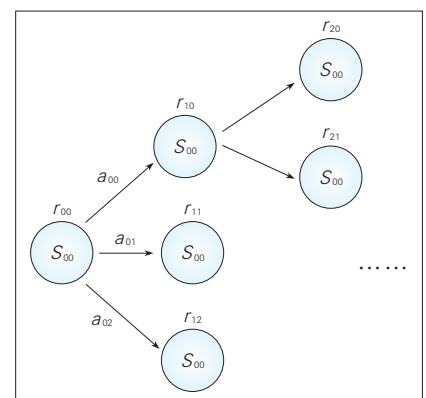
一组行为。RL累积效用的计算方式并不取决于过去的行为,而取决于未来的状态,也就是说未来所处的状态会影响到当前的状态选择。通过增强学习,一个智能体可以知道在某个特定状态下应该采取什么行动。

RL的思想很像马尔可夫过程(MDP)。它定义了四元组 $\{S, A, P_{sa}, R\}$ 。其中, $S$ 是智能体当前所处的状态, $A$ 是智能体采取的行为, $P_{sa}$ 是智能体在状态 $S$ 下做出动作 $A$ 之后转移到其它状态的概率分布, $R$ 是每个状态的效用函数。此外,RL还定义了状态到行为的映射, $\pi:S \rightarrow A$ ,被称为策略。

如图2所示,状态 $S_{00}$ 在动作 $a_{00}$ 下,以一定的转移概率转移到了 $S_{10}$ ,

状态 $S_{00}$ 的效用函数是 $r_{00}$ ,状态 $S_{10}$ 的效用函数是 $r_{10}$ 。

增强学习通过定义和最优化值函数来得到最优策略,最常见的值函数形式如式(1):



▲图2 马尔可夫过程

$$V^\pi(s) = E_\pi \left( \sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t r_t | s_0 = s \right) \quad (1)$$

可以看到:这是对一组效用函数的加权和求期望,其中 $\gamma$ 被称为折合因子,描述了未来效用对当前效用的重要程度。

有了值函数的定义之后,求最优策略就变成了最大化值函数,即:

$$\pi^* = \arg \max_{\pi} V^\pi(s), \forall s \in S \quad (2)$$

我们可以依据以下原则来对已有策略进行改进:若保持策略 $\pi$ 的其他行为不变,仅将状态 $s$ 下的动作 $a$ 改变为 $a'$ ,由此得到了新策略 $\pi'$ 。若值函数 $V' > V$ ,则说明策略 $\pi'$ 好于策略 $\pi$ 。我们可以通过动态规划的算法来得到最优策略 $\pi^*$ 。

## 2.2 基于增强学习的网络切片动态优化方案

### 2.2.1 算法的基本思想

端到端的网络切片主要包括无线接入网(RAN)侧切片、核心网(CN)切片,以及连接两者的传输网络切片。本算法主要针对CN切片。在5G网络中,核心网节点分布式协作,以拥有更优的网络性能。

算法的基本思想是:通过定义链路状态矩阵和节点状态矩阵来描述CN切片的不同划分方式,则切片在不同划分方式间的改变就映射成了一张状态转移图,再通过定义各状态下的效用函数和搜索最大化效用函数的方式,得到下一个最佳转移状态,也就得到了CN切片的最优化划分方式。

### 2.2.2 算法中几个重要定义

(1)定义链路状态和节点状态。首先需要对CN资源进行离散化,即对核心网链路与核心网节点资源划分资源片。在动态优化时,以一个资源片为最小的变动单位。链路和节点在划分切片时的不同划分方式对应着不同的状态向量。

(2)预测未来链路和节点所处的状态。如果动态优化算法具有一定的预测功能,那么CN的划分结果则能更快地对网络需求变化作出响应,所以在决策时需要考虑将来时刻核心网可能处于的划分状态。由此我们还需要进行流量分析,从而预测出未来各时刻CN所处的状态。

(3)链路效用函数、节点效用函数与总效用函数。效用函数描述了关心的若干指标。由于对链路和节点往往关心不同的指标,需要分别定义链路效用函数和节点效用函数。

以链路效用函数为例,假设在一个网络中有 $n$ 类业务,则可以定义某状态下的链路效用函数为:

$$V_l = \sum_{i=0}^n V_{li}, \text{ 其中 } V_{li} \text{ 为该链路的第 } i \text{ 个}$$

网络切片的效用函数。第 $i$ 个网络切片的子效用函数可以按照如下的思路定义:首先,链路的利用率应该为一个合适的值,因为链路利用率过高会带来拥塞、丢包;链路利用率过低会带来资源的浪费,所以在定义效用函数时,可以给定一个参考链路利用率 $\alpha$ ,当链路的实际利用率偏离 $\alpha$ 的程度越小时,该网络切片的子效用函数越高。另外,对某一业务而言,不同切片的重要性可能不同,所以可以定义越重要的切片对应的效用函数越高等。

同理,可以定义节点的效用函数 $V_n$ 。于是,在某时刻 $t$ 下,可以定义总的效用函数 $V_t = V_l + V_n$ ,则 $t_0$ 时刻的最大化目标函数为:

$$V_{\text{总}} = v_0 + \gamma^1 \cdot V_{t_1} + \gamma^2 \cdot V_{t_2} + \dots + \gamma^T \cdot V_{t_T} = \sum_{k=0}^T \gamma^k \cdot V_{t_k} \quad (3)$$

其中, $\gamma$ 为折合因子,描述了未来状态对当前决策的重要程度。

### 2.3 算法的具体步骤

算法包括输入和输出。输入指各链路、节点在一段时间内的历史数据包,数据包信息主要包括:数据的业务类型及其对应的网络切片号、数据包长度、时间戳等。

输出指此时应该对网络链路和网络节点做出怎样的划分。

算法的流程如下:

(1)内容预测。基于过去一段时间内核心网中的数据请求情况,预测未来各离散时刻下每条链路中各类业务包的流量情况。

(2)资源离散化。将各链路和网络节点的资源划分资源片,日后在进行资源配置时都以一个资源片为最小的划分单位。

(3)维护两个状态矩阵,分别描述核心网的链路状态和节点状态。假设网络中共有 $n$ 类切片,给定链路初始状态 $S_l$ 。此时第 $i$ 条链路的资源划分情况为 $l_i = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ ,其中, $a_k$ 是第 $k$ 个网络切片分得的资源片数, $\sum_{i=0}^n a_i$ 为该条链路的资源片总数,则可得整个网络的链路资源划分矩阵 $A_{m \times n}$ ,其中每个行向量描述了各条链路的资源划分情况。定义 $S_l = A_{m \times n}$  ( $m$ 条链路)。

给定节点初始状态 $S_n$ ,此时对第 $j$ 个节点的资源划分情况为 $n_j = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ ,其中 $b_k$ 是第 $k$ 个网络切片分得的资源片数, $\sum_{i=0}^n b_i$ 为该网络节点的资源片总数,则可得整个网络的节点资源划分矩阵 $B_{k \times n}$ ,其中每个行向量描述了各节点的资源划分情况。定义 $S_n = B_{k \times n}$  ( $k$ 个节点)。

(4)定义效用函数。根据关心的指标定义链路效用函数 $V_l$ 和网络节点效用函数 $V_n$ ;从而得到总的效用函数 $V_t = V_l + V_n$ 。假设关心未来 $T$ 个时刻网络状态对当前决策的影响,则需要最大化的目标函数为:

$$V_{\text{总}} = V_0 + \gamma^1 \cdot V_{t_1} + \gamma^2 \cdot V_{t_2} + \dots + \gamma^T \cdot V_{t_T} = \sum_{k=0}^T \gamma^k \cdot V_{t_k} \quad (4)$$

(5)假设需要优化的为 $t_0$ 时刻,此时的链路状态为 $S_l$ 、节点状态为 $S_n$ ,则可求得相应的链路效用函数和节点效用函数。在某一action下,链路状态和节点状态在 $t_1$ 时刻将转

移到其相邻状态  $S'_i$  和  $S'_n$ 。  $S'_i$  和  $S'_n$  均为集合,里面的元素是当前状态的相邻状态。

由于核心网的链路资源往往比节点资源更为丰富,且不同的业务对网络节点的资源需求不同,例如:有的CN切片需要较大的计算资源,有的切片则需要更大的存储资源,所以每次转移到新的一组状态  $S'_i$  和  $S'_n$  之后需要将  $S'_i$  代入  $S'_n$  内进行检验,考查新的链路资源划分是否满足此时的节点划分需求,若满足,则可求得新状态下  $S'_i$  和  $S'_n$  的效用函数,然后继续进行下一次状态转移;若不满足,则将该状态对标记为无效状态,即从状态转移图中将该转移节点删除。链路状态  $S'_i$  回退到状态  $S_i$ ,重新转移到  $S'_i$  集合中的其他状态,再继续进行验证,于是可以得到未来  $T$  个时刻的网络状态,再根据预测的数据包流量情况算出其各自的效用函数,并以一定的折合率影响当前决策,得到了该组策略对应的效应值:

$$V_{\text{总}} = V_{t_0} + \gamma^1 \cdot V_{t_1} + \gamma^2 \cdot V_{t_2} + \dots + \gamma^T \cdot V_{t_T} = \sum_{k=0}^T \gamma^k \cdot V_{t_k} \quad (5)$$

(6) 最大化目标函数  $V_{\text{总}}$ 。使用动态规划算法进行策略改进,从而收敛到最优策略,即可得到当前时刻与未来时刻的链路和节点的资源划分。

### 3 仿真结果分析

我们对比考察了3种算法的性能:方法1是基于比例的网络切片动态优化方案,该方案会依据当前各业务流量按比例划分切片资源;方法2是基于公平的静态网络切片分配方案,该方案将网络资源公平地分配到各切片上,且根据网络流量变化进行调整;方法3是基于增强学习的5G网络切片资源动态优化方案,即文中第3部分所述方案。下面的实验模拟5G核心网,其中的核心网节点假设采用分布式协作。首先保证核心网的网络资源不变,通过提升网络中请求数据量,比较3种算法的资源利

用率;再保证核心网资源和请求数据量不变,通过改变折合因子  $\gamma$  的取值,考察网络资源的利用率。

假设有4个核心网网关节点,每个节点可提供的资源数按照以40为中心的均匀分布生成,CN节点的资源包括计算资源、存储资源等,两个CN节点间的链路以一定的概率  $P$  生成,每条链路的资源数按照以55为中心的均匀分布生成。假设运营商同时构建了2个CN切片,各切片的请求数据包数量在一定的范围内随机生成,例如:当各切片的最大内容请求数为  $N$ ,则每条链路各切片请求数均为  $0 \sim N$  内的随机数,依次可以得到每条链路的数据包请求数,进而可得到通过每个节点的数据包请求数,其值为连接在该节点上的各链路数据量之和的  $1/2$ ,总共可以生成  $T$  组数据,用以模拟未来  $T$  时间内各切片的需求情况。

#### 3.1 网络中数据量的影响

图3、图4描述了5G核心网中,当前时刻各算法的节点平均资源利用率和链路平均资源利用率。节点平均资源利用率依据以下方式得到:首先考察一个CN节点,并根据当前时刻的流量情况算出该节点各切片的节点资源利用率,再根据各切片的资源利用率算出该节点的资源利用率。同理可得到每个CN节点的资源利用率,进而可得到节点的平均资源利用率,以及链路平均资源利用率。图3、图4主要用于考察3种算法对网络资源的利用情况。

图5、图6描述了5G核心网中,未来时刻各算法的节点平均资源利用率和链路平均资源利用率。节点平均资源利用率按照以下方式得到:保持网络划分结果不变,首先考察一个CN节点,根据未来时刻的流量情况算出该节点各切片的资源利用率;再根据各切片的资源利用率算出该节点的平均资源利用率;同理可得到每个CN节点的资源利用率,进而可

得到节点的平均资源利用率,以及链路平均资源利用率。图5、图6主要用于考察各算法的网络划分结果对未来时刻数据流量的匹配程度。

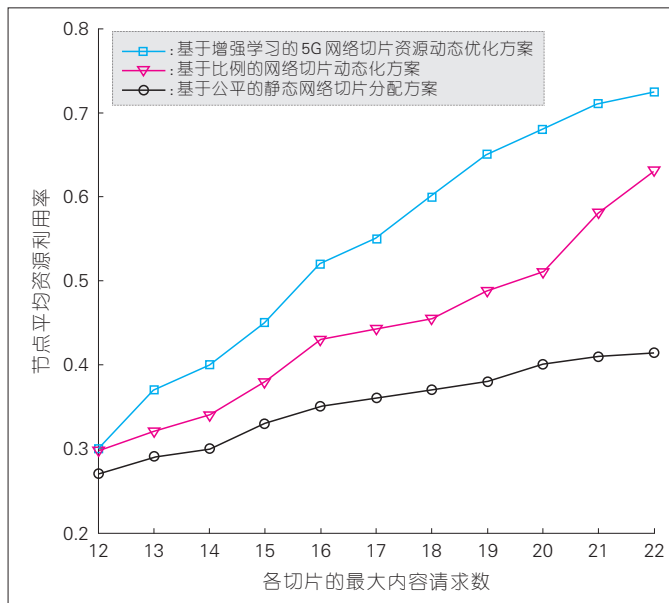
由图3、图4可以看到:当各CN切片的最大内容请求数上升,即核心网中的数据总量上升时,3种算法的资源利用率随之上升,并且两种动态调整算法的资源利用率提升幅度要高于静态划分算法。这主要是因为动态的资源分配结果与网络需求更为匹配,所以让核心网资源被更好地利用。

由图5、图6可以看到:基于增强学习的5G网络切片资源动态优化方案的平均资源利用率最高,基于公平的静态划分算法其次,基于比例的划分算法最后,其中基于比例的网络切片动态优化方案最不稳定。直观地,各CN切片的最大内容请求数增加主要会带来两方面的变化:第一,使得核心网中的数据总量上升,从而资源被更充分的利用;第二,各CN切片流量需求的变动幅度加大。这意味着当网络中流量变动时,基于比例的划分算法需要反复调整网络划分结果,而核心网资源的不断调整会消耗大量时间和资源,所以其资源划分结果对未来网络的需求变化响应较慢,且不具有稳定性。因此当网络划分结果与未来时刻流量不匹配时,会导致资源利用率很低。

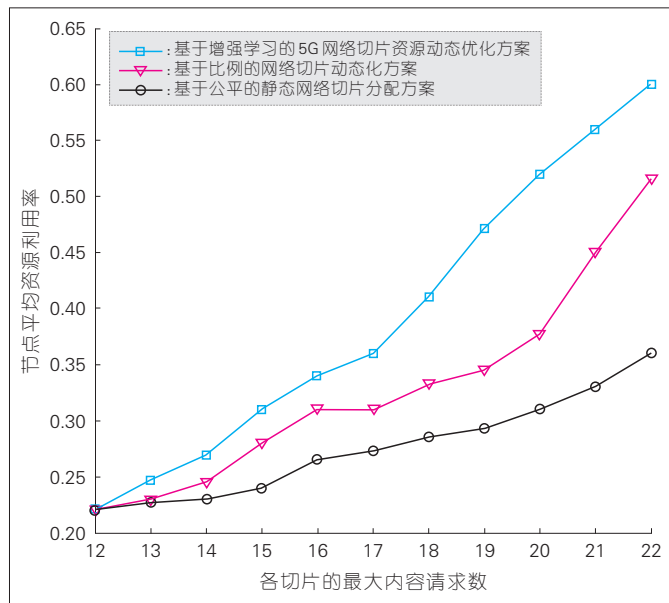
#### 3.2 $\gamma$ 取值的影响

折合因子  $\gamma$  描述了未来效用对当前效用的重要程度。下面我们考察其对基于增强学习的5G网络切片动态优化方案性能的影响。

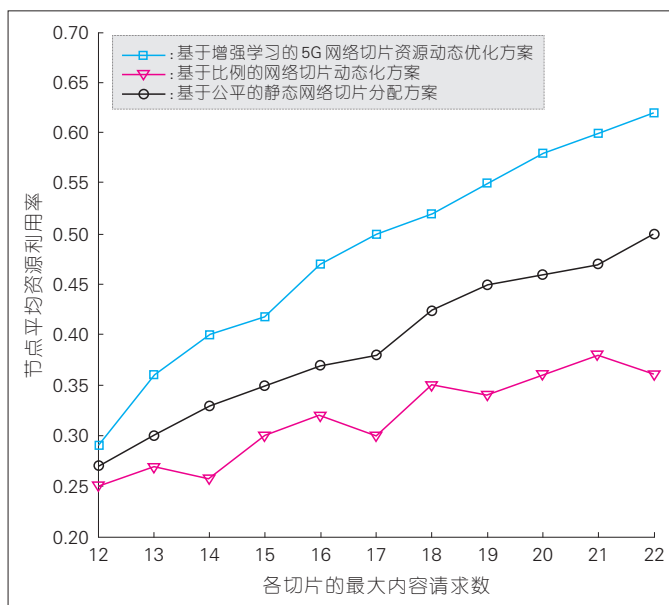
假设运营商同时构建了2个CN切片,拓扑及核心网资源的生成方式与3.1中一致,各切片最大内容请求数为18。共生成  $T$  组数据,用以模拟未来  $T$  时间内各切片的需求情况。固定以上参数不变,通过改变折合因子  $\gamma$  的取值,考察其对资源利用率的影响,结果如图7、图8所示。节点资



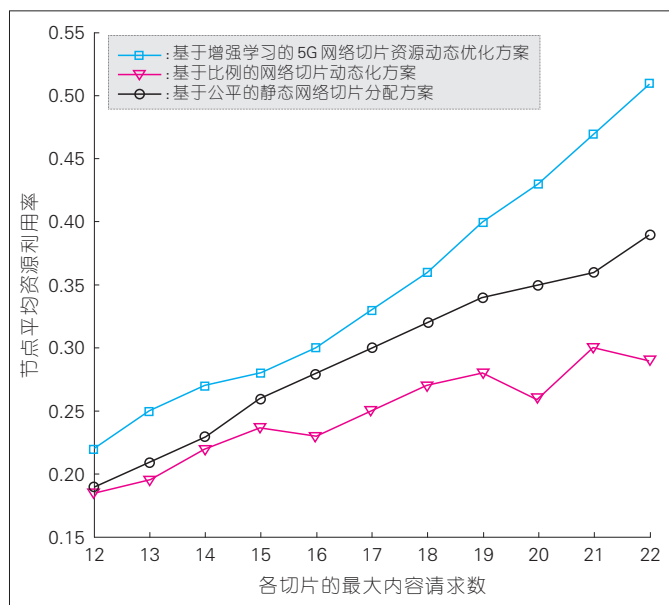
▲ 图3 当前时刻各算法的节点资源利用率



▲ 图4 当前时刻各算法的链路资源利用率



▲ 图5 未来时刻各算法的节点资源利用率



▲ 图6 未来时刻各算法的链路资源利用率

源利用率根据以下方式得到:先考察一个CN节点。分别根据当前时刻、未来时刻的流量情况算出该节点各切片资源利用率;再根据各切片的资源利用率算出该节点的平均资源利用率;同理可得到每个CN节点的资源利用率,进而可得到节点的平均资源利用率,同理可得到链路平均资源利用率。 $t_0$ 为当前时刻的资源利用率, $t_1$ 为未来时刻的资源利用率。

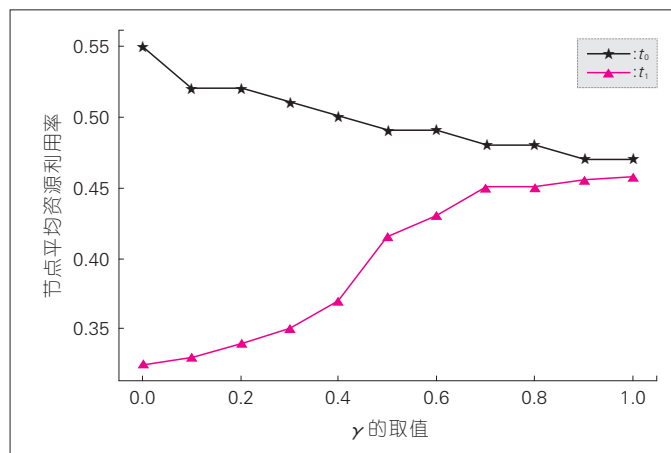
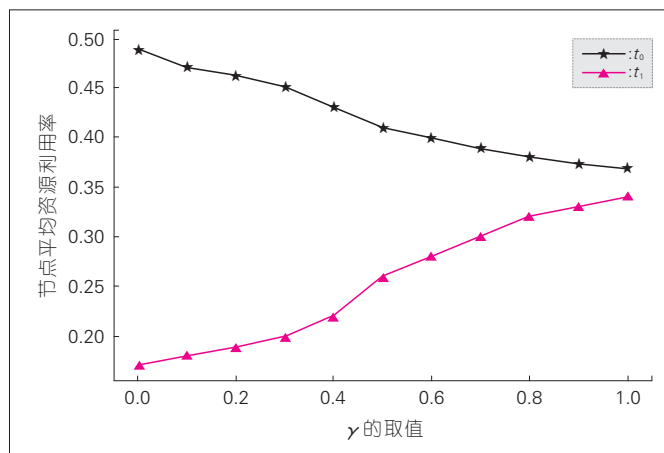
随着折合因子 $\gamma$ 的增加,当前时刻的资源利用率略有下降,未来时刻的资源利用率大幅提升。

#### 4 算法的简化与参数选择

从前文我们可以看到:增强学习得到的是5G核心网在未来一段时间内的一组划分策略。这组策略除了包括当前策略及未来策略,这意味着我们可以通过检测核心网中数据包的

实际情况来简化计算量。如果未来时刻核心网数据包的实际流量情况与预测的结果相差不大,那么只需要在计算好的未来策略的基础上做演近式微调,就可以得到新的策略。基于这种方式,我们可以大大简化该算法的计算量。

另外,我们还可以通过5G核心网中的链路与节点资源的约束来定义无效状态,并以此来简化计算量。

▲图7  $\gamma$  取值对节点资源利用率的影响▲图8  $\gamma$  取值对链路资源利用率的影响

因为实际的5G网络中往往会存在链路和节点资源不匹配的问题,所以链路和网络节点则存在着一系列的约束关系。在划网络资源时,移动运营商往往需要根据网络切片类型和网络负载情况为各个网络切片分配固定的资源以满足其最低要求,这说明有些状态是不能被转移的。所以,我们可以定义无效状态,并且在实际计算的过程中不断标注无效状态,删除不符合资源约束条件的状态组合,不断缩小状态转移图的规模,以此来简化计算量。

我们需要考虑的另一个问题是如何对核心网资源进行离散化。网络资源的离散化粒度决定了计算量的大小,如果离散化粒度过小,则状态矩阵维度太高,计算时间太长;如果离散化粒度过大,虽然可以简化计算,但计算结果却很难逼近最优解。另外,每一条链路和网络节点的离散化粒度可以不同。

此外,我们还需要找到合适的折扣因子 $\gamma$ ,它表明了未来效用对当前效用的影响,并据此来影响当前的决策。 $\gamma$ 的值不可过大或者过小,如果 $\gamma$ 过大,而对数据包的情况预测与事实相差很大,则会导致对将来时刻的效用计算不够准确,进而影响当前策略的选择;如果 $\gamma$ 过小,则将来时刻的状态对此刻选择的策略影响不够,就可能达不到我们的目的,无法更好

地反应各切片对资源的需求变化。

最后我们还需要选择合适的时间窗 $T$ ,它描述了我们需要考虑将来多长时间内的状态与效用函数。可以看到: $T$ 不可以过大,一方面 $T$ 值的选择直接决定了本文算法的计算量大小;另一方面,如果 $T$ 值过大,而对数据包的情况预测与事实相差很大,则会导致对将来时刻的效用计算不够准确,进而影响当前策略的选择。但 $T$ 也不可以过小,如果 $T$ 太小则对未来状态考虑得不够,同样不能更好地实现我们的目的。

## 5 结束语

针对如何动态调整5G核心网网络切片资源,我们提出了一种基于增强学习的5G网络切片资源动态优化方案。该算法首先对未来时刻的核心网状态进行预测,再依据核心网未来时刻所处的状态对当前决策做出影响,以使切片划分结果更快地对网络的需求变化做出响应、改善网络整体性能。

该算法中的一些参数会较大地影响性能,如何对这些参数进行选取在日后还值得更多的研究。

### 参考文献

- [1] ITRI. Updates to Solution 6.1.3: Introducing Network Instance ID: S2-162666[R/OL]. (2016-08-30)[2016-08-30].http://

www.3gpp.org/ftp/tsg\_sa/wg2\_arch/tsgs2\_115\_Nanjing\_China/Docs/

- [2] IMT-2020 (5G)推进组.5G网络架构设计白皮书[R/OL].(2016-08-30)[2016-08-30].http://www.catr.cn/kxyj/qwfb/bps/201606/t2016024\_2173031.html

[3] NGMN Alliance. 5G White Paper[R]. 2015

- [4] 栗欣,龚基金,曾捷.面向5G网络切片无线资源分配[J].电子产品世界,2017,24(04):30-32+40

- [5] 周恒,畅志贤,杨武军,郭娟.一种5G网络切片的编排算法[J].电信科学,2017,33(08):130-137

## 作者简介



任语铮,北京邮电大学在读硕士研究生;主要研究方向为基于人工智能的未来网络体系架构,现从事基于人工智能的视频缓存与调度算法研究。



谢人超,北京邮电大学副教授、硕士生导师;主要研究方向为未来网络体系架构、信息中心网络与边缘计算等;主持国家与省部级项目4项;已发表论文40余篇,申请授权专利10余项。



黄韬,北京邮电大学教授、博士生导师;主要研究方向为未来网络体系架构、软件定义网络、信息中心网络等;主持国家与省部级项目10余项;已发表论文100余篇,申请授权专利40余项。



# 移动边缘计算的移动性管理研究

## Mobility Management of Mobile Edge Computing

王秋宁/WANG Qiuning  
谢人超/XIE Renchao  
黄韬/HUANG Tao

(北京邮电大学, 北京 100876)  
(Beijing University of Posts and  
Telecommunications, Beijing 100876, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 01-0037-005

**摘要:** 提出了移动边缘计算(MEC)中基于马尔可夫决策过程(MDP)的虚拟机迁移策略。该策略可以在保证用户体验的前提下,能使得系统成本达到最优。每次用户进入新的 MEC 区域后,都通过该策略决定是否进行迁移。通过与常规迁移策略对比,仿真结果表明本策略总能达到最优情况,有效地降低了系统成本。

**关键词:** MEC; MDP; 移动性管理; 成本最优

**Abstract:** In this paper, a virtual machine migration strategy based on Markov decision process (MDP) in mobile edge computing (MEC) is proposed, which can minimize the system cost while ensuring the user experience. After entering a new MEC area, the users can be determined whether or not to migrate by this policy. Compared with the conventional migration strategy, the simulation results show that this strategy can always achieve the optimal situation and effectively reduce the system cost.

**Keywords:** MEC; MDP; mobility management; cost optimization

**据** Cisco 最新发布的预测报告: 全球移动数据流量在 2016—2021 年间将增长 7 倍, 移动数据流量将在 2016—2021 年保持 47% 的年增长率, 到 2021 年达到每月 49.0 EB<sup>[1]</sup>。除了爆炸性的流量增长, 虚拟现实所需的接近实时响应时间和物联网所需的海量数目连接等要求也都超出了现有网络的承受能力。为了应对上述挑战, 业界在 5G 移动网络中采用了移动边缘计算(MEC)技术。MEC 的核心思想是将计算能力从移动网络的数据中心转移到无线接入网边缘, 向移动边缘应用程序提供 IT 服务环境和计算功能, 从而可以将业务本地化, 在接入网处理用户请求。这减少了用户等待时间, 确保了高效的网络运行和服务交付, 也缓解了网络流量的回传需求, 降低了网络运营成本。

尽管 MEC 给 5G 带来巨大的潜在收益, 但将 MEC 应用于实践仍面临许多挑战, 移动性管理正是关键瓶颈之一。移动性管理的功能是跟踪移动用户设备(UE)并将其与适当的基站(BS)相关联, 使得移动系统能够

交付数据和服务。这一技术已经广泛应用于传统的异构蜂窝网络<sup>[2]</sup>, 能够实现动态移动性管理并保证高数据速率和低误码率。但是现有的移动性管理技术并不能直接应用到 5G 网络中, 因为它忽略了 MEC 服务器上的计算资源对切换策略的影响。当 UE 在 MEC 处进行卸载计算时, 确保服务的连续性是非常重要的, 比如车联网中, 车辆需要实时地上传位置信息, 并且 MEC 需对周围的车辆信息进行汇总计算并给出指导或警告。当一个移动用户从一个区域移动到另一个区域时, 既可以继续在前一个区域的 MEC 上运行服务, 并通过回程网络将数据传输给用户, 也可以将承载应用程序的虚拟机或数据迁移到新区域中的 MEC。这两种情况都会有成本: 第 1 种情况是数据传输成本, 第 2 种情况是迁移成本, 并

且两种情况中用户获得服务的延迟也不相同。因此, 虚拟机迁移决策既要考虑到系统的成本, 也要保证服务质量。我们分析蜂窝网络中用户移动规律并归纳了马尔可夫链, 在此基础上加入成本回报函数, 将成本最优化问题等效为马尔可夫决策过程, 并通过仿真证明本策略能达到节约成本、能量高效的目的。

### 1 移动边缘计算

根据欧洲电信标准化协会(ETSI)的定义, MEC 通过在无线接入网部署通用服务器, 为无线接入网提供 IT 和云计算能力<sup>[3]</sup>。MEC 系统允许移动设备将计算任务卸载到网络边缘节点, 如基站和无线接入点等, 既缓解了云服务器远离用户带来的高延迟问题, 又增强了移动设备处理数据的能力。因而 MEC 迅速成为

收稿日期: 2017-12-13  
网络出版日期: 2018-01-11

5G 的一项关键技术,使得接入网具有了高带宽和低延迟地处理信息,感知网络上下文信息和向第三方边缘应用开放等能力,有助于 5G 网络达到低时延、高能效、大容量和高可靠等技术指标。

MEC 的系统架构如图 1 所示,关键部件包括移动设备、演进型节点(eNB)、汇聚节点和 MEC 服务器。MEC 服务器是小型数据中心,由运营商部署在靠近最终用户的位置,并且可以和基站共同放置,但通常都是通过汇聚节点控制几台基站。通过网关,服务器通过 Internet 连接到数据中心。移动设备和基站之间通过空中接口通信,使用先进的无线通信技术建立无线链路。

MEC 平台可分为 3 层:最底层为基础设施层,通过网络功能虚拟化的方式为上层提供计算、存储和转发等物理资源;第 2 层为应用平台层,它是移动边缘应用程序所需的基本功能集合,能提供移动边缘服务的环境,它具有服务注册、流量管理和数据分析等功能;最顶层为移动边缘应用程序,它在 MEC 平台上的虚拟机(VM)运行,并且可以通过应用程序编程接口(API)与移动边缘平台进行交互以调用 MEC 的功能。

在 MEC 中,需要考虑的关键问题

之一是如何保证用户在移动过程中获得服务的连续性。当 UE 正在使用 MEC 虚拟机的边缘移动应用程序功能时,如果 UE 的地理位置从原来的 MEC 区域移动到新的 MEC 区域,为了保证 MEC 服务的可持续性,有 3 种选择:第 1 种选择是增加基站的传输功率从而保证了用户的服务质量,这种方法适用于用户移动速度慢且移动距离较近的情况;第 2 种选择是原 MEC 通过回程链路与 UE 进行通信,这适用于用户和原 MEC 的距离不太远的情况,以免用户获得服务的延迟过高;第 3 种选择是进行虚拟机迁移。原 MEC 将用户正在使用的虚拟机数据发送到新的 MEC,并关闭虚拟机,新的 MEC 开启虚拟机接收数据,继续向用户提供计算服务。相比于第 2 种选择,传输虚拟机数据的成本较高,但却降低了用户获得服务的延迟。当然对于 UE 来说,不是所有的计算任务都需要卸载到 MEC,并且也不是所有的移动边缘应用都会受到 UE 移动性的影响,比如对 UE 上传到云端数据进行简单处理并上传的应用程序,或者能够在 UE 切换 MEC 之后快速重建相关状态的应用程序。考虑到文中的研究情景,接下来提到的移动边缘应用程序都是指 UE 需要全部卸载到 MEC 进行计算的,并且

会受到 UE 移动性影响的应用程序。

## 2 移动性管理的相关工作

文献[4]将蜂窝网络中的用户移动描述为马尔可夫链模型,分析了各状态之间的转化关系,并在此基础上计算了虚拟机迁移到最佳 MEC 之后用户和最佳 MEC 的平均距离、用户获得服务的平均时延、进行虚拟机迁移的平均成本和虚拟机迁移的平均时延等数据。仿真结果表明:与虚拟机 50% 和 10% 的部分迁移相比,虚拟机全体迁移需要成本最高,但用户服务延迟最低。

文献[5]将蜂窝网络简化为一维移动模型,进一步将 VM 迁移策略制定为连续时间马尔可夫决策过程(CTMDP),并尝试在启动 VM 迁移时找到最佳阈值策略。该策略允许在用户体验质量和服务迁移产生的成本之间取得良好平衡。仿真结果表明:与其他两个基本策略相比,所提出的服务迁移决策机制总是达到最大的期望收益。

文献[6]通过研究设备移动性的模式来解决辅助移动性的机会计算卸载问题。首先利用定义为接触时间和接触率的移动性的统计特性制定最优的机会卸载模型,然后利用凸优化的方法确定要卸载到其他设备的计算量。人机交互下的仿真证明了此方案的效率在各种设置下比基准情况下能获得更高的计算成功率。

文献[7]通过预测用户的移动进一步优化了虚拟机迁移策略,提出了基于移动性的服务迁移预测方案(MSMP),在成本和服务质量之间采取了折中。该方案有 3 部分:(1)提前估计用户在整个网络漫游时可以从各个 MEC 服务器接收到的吞吐量;(2)估计用户执行切换时的时间窗;(3)执行 VM 的迁移,根据吞吐量选择最优的 MEC 服务器。仿真结果表明:该方案相对于文献[5]提出的方案能够将延迟降低 35%;但是迁移成本更高并且会需要采集信息,并预估

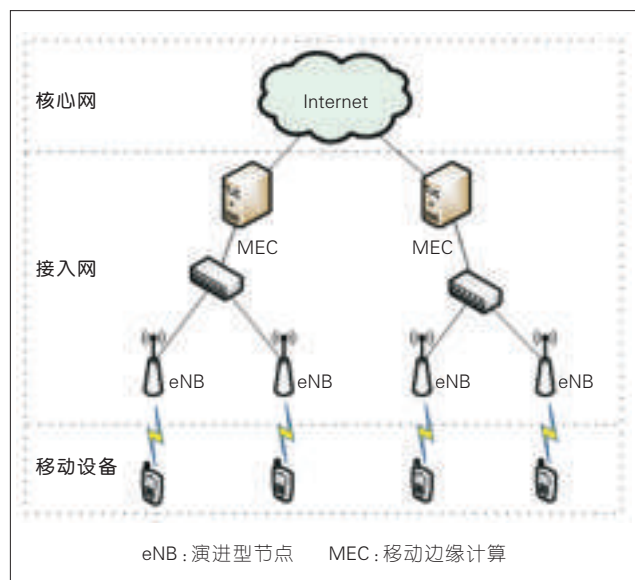


图 1 MEC 系统架构

吞吐量。

现有的方案多是建立在用户移动的一维模型,或者是通过距离因素简化后的模型,并未考虑用户在蜂窝网络中移动的实际情况。借助于文献[4]提出的蜂窝网络模型,文章中我们将研究用户的平面移动时的成本最优策略,同时保证用户体验。相比于上述文献所述方案,文中我们的研究贡献主要有以下几点:

(1)对蜂窝网络中的用户移动规律进行研究,发现按照用户和MEC的距离对蜂窝小区进行分类不够准确,我们对每层蜂窝网络进行了更细化的分类并给出了状态转移概率。

(2)在此二维模型基础上,从成本考虑将虚拟机迁移建模成了马尔可夫决策过程,同时为了保证用户服务的质量,加入了MEC与UE依靠回程链路的最远传输距离这一新的约束条件。

(3)给出了策略迭代算法以求得最优解,并对文中的马尔可夫决策过程进行仿真,结果显示相比于常规策略,本策略能够取得最优成本。

### 3 移动边缘计算的模型构建

本节主要在蜂窝网络的用户移动情况基础上,确定马尔可夫决策过程的决策时刻、行动集、系统状态集、状态转移概率和回报函数,进而确定优化目标函数和解决方法。

第3代合作伙伴(3GPP)网络采用正六边形小区形式覆盖所有区域,每个基站的覆盖范围被近似视为一个正六边形,如图2所示。实际中MEC通常会控制几个基站的区域,我们为了突出研究模型,简化为每个MEC控制一个基站,也即每个正六边形区域各自属于一个MEC节点。为了简化叙述,称用户进行边缘应用程序计算所在的MEC为通信MEC。我们研究的前提约束条件是保证对用户的服务质量,也即将用户与通信MEC的延迟控制在一定范围内。这可以通过限定用户和通信MEC的最

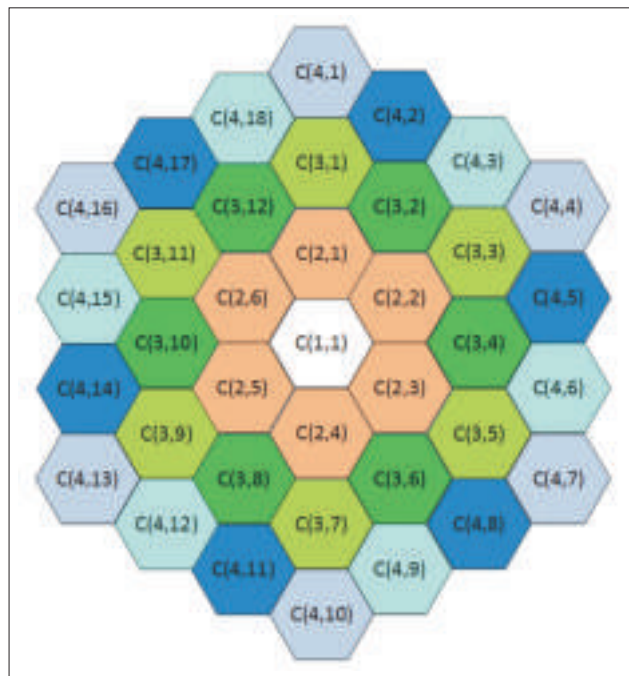


图2  
3GPP蜂窝网络

大距离来保证,我们限定用户和通信MEC的最大距离为 $k$ 个小区。比如 $k=3$ 时,在图2中,如果此时通信MEC在小区 $C(1,1)$ ,那么用户与其通信的最远位置为小区 $C(4,1-18)$ ;如果用户进入更远的小区,就会跳过策略判断,直接将虚拟机迁移至用户所在小区的MEC,以保证服务质量。

#### 3.1 决策时刻集和行动集

决策时刻集 $T=\{0,1,2,\dots\}$ ,每当用户进入到新的小区后,开始进行判决策略决定是否需要进行虚拟机迁移。用户在小区的停留时间服从参数为 $\lambda$ 的指数分布,也即决策时刻的差服从指数分布。

系统的行动集 $A=\{a_1,a_2\}$ , $a_1$ 表示进行虚拟机迁移, $a_2$ 表示UE仍和原MEC进行通信,采用的行动 $a \in A$ 。行动集 $A$ 取决于系统状态,但不受决策时刻的影响,也不受历史状态影响。

#### 3.2 系统状态和转移概率

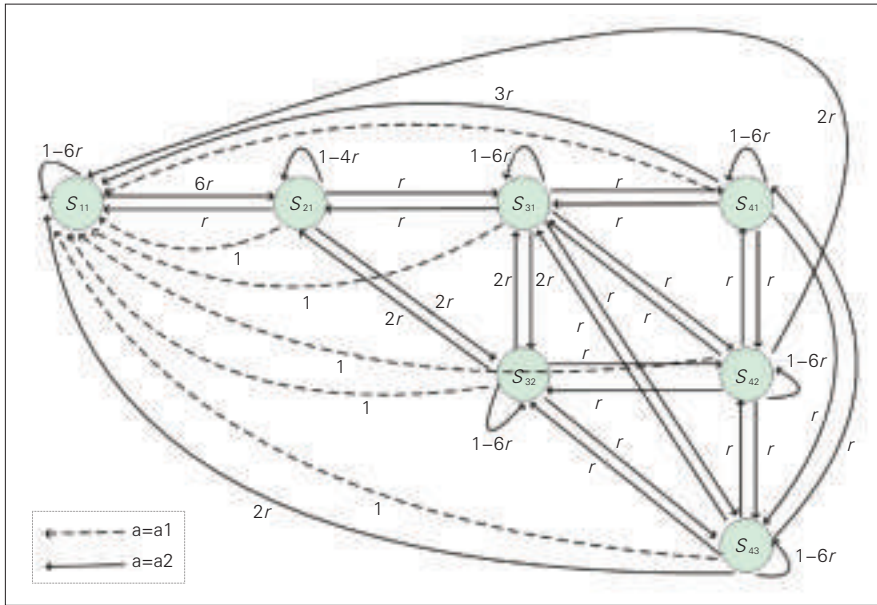
在图2中,固定通信MEC的位置为 $C(1,1)$ ,如果执行策略后将虚拟机迁移到新的小区,就把新的MEC编

号为 $C(1,1)$ ,其余小区编号做出相应改变。同时默认用户的初始位置为 $C(1,1)$ ,即恰好进行完一次虚拟机迁移。处于蜂窝网络中的UE,周围有6个小区。假设UE移动到任意一个邻居小区的概率均是 $r$ ,则UE在小区不移动的概率是 $(1-6r)$ 。

按照小区由内而外的顺序分为 $(k+1)$ 层,第 $n$ 层( $n>1$ )共有 $6(n-1)$ 个小区。将第 $n$ 层的小区分为 $(n-1)$ 类: $S_{nm}=\{C(n,m+i(n-1))|i=0,1,2,3,4,1 \leq m \leq (n-1), m \in N\}$ ,设 $S_{11}=\{C(1,1)\}$ 。所有类的集合即为系统状态 $S$ : $S=S_{11} \cup \{S_{nm}|2 \leq n \leq (k+1), 1 \leq m \leq (n-1), n \in N, m \in N\}$ 。

之所以要把第 $n$ 层划分为 $(n-1)$ 类是因为同层不同的类节点之间的状态转移概率是不同。 $k=3$ 时的状态转移如图3所示,易知这是一个马尔可夫链。

结合图3和蜂窝网络结构,可知系统转移概率是一个和状态 $S$ 及行动集 $A$ 有关的函数。设当前状态为 $s=s_{nm}$ ,下一状态为 $s'$ 。这里 $4 \leq n \leq (k+1)$ , $n$ 更小的情况可以在图3中直接读出。我们可以推出转移概



▲图3 4层蜂窝网络的状态转移示意图

率为:

$$P(s'|s_{nm}, a) = \begin{cases} 1 & s' = s_{11}, a = a_1 \\ r s' = s_{n(m \pm 1)}, s' = s_{(n \pm 1)m}, s' = s_{(n+1)(m+1)}, a = a_2 \\ r s' = s_{(n+1)m}, m = 1, a = a_2 \\ r s' = s_{(n-1)(m-1)}, m \neq 1, a = a_2 \\ 3rs' = s_{11}, m = 1, a = a_2 \\ 2rs' = s_{11}, m \neq 1, a = a_2 \\ 1-6rs' = s_{11}, n = k+1, a = a_2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

### 3.3 回报函数

本策略的主要目标是能量高效,因此回报函数设定为传输耗能。传输耗能有两类:第1类为虚拟机迁移耗能  $C_m$ ,主要是将虚拟机数据传输到新的 MEC 区域的耗能,关闭和开启虚拟机服务的耗能,前者与数据量大小和传输距离有关,后者是一个常量,综合后将  $C_m$  当作常量;第2类为 UE 和通信 MEC 的数据传输耗能  $C_i$ ,是一个和传输距离有关的变量,因此表示为  $C_i = c(n-1)$ ,  $n$  表示用户所在小区的层数,  $c$  表示单位距离的传输耗能。当虚拟机迁移完成后,由于用户和通信 MEC 的距离很近,所以这时的传输耗能近似为 0。由于每次决定虚拟机迁移都是在用户刚进入新小区时,在虚拟机迁移过程中用户和通信 MEC 的传输耗能可以忽略不计,所以迁移耗能和传输耗能不会同

时存在。当虚拟机迁移完成后,由于用户和通信 MEC 的距离很近,所以这时的传输耗能近似为 0。综合两类情况可知回报函数是一个和系统状态及行动集有关的函数,当系统状态  $s = s_{nm}$ , 推得回报函数为:

$$R(s_{nm}, a) = \begin{cases} C_m & a = a_1 \\ c(n-1) & a = a_2 \end{cases} \quad (2)$$

### 3.4 目标函数

结合前 3 节的推导,基于行动集、状态集、转移概率和汇报函数,定义目标函数  $V(s, a)$  为系统在状态  $s$  和策略  $a$  时的期望回报:

$$V(s, a) = E \left[ \sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t R(s_t, a) \right] \quad (3)$$

目标函数表示的是系统的总成本,其中  $\gamma$  是折扣因子,表示对未来回报的重视程度;  $s_t$  表示  $t$  时刻的系统状态,以递归形式表示为:

$$V(s, a) = R(s, a) + \sum_{s' \in S} \gamma s' s, a V(s') \quad (4)$$

目标函数由当前回报和一定比重的未来回报组合而成。假设策略集合为  $\pi$ ,那么由上述分析可知  $A = \pi(S)$ 。此模型下,行动集和系统状态都是有限的,而时间长度是无限

的,所以采用马尔可夫决策的无限阶段折扣模型。最优的目标函数为:

$$V^*(s) = \min_{\pi} V(s, \pi(s)) \quad (5)$$

最优策略为:

$$\pi^*(s) = \arg \min(V(s)) \quad (6)$$

### 3.5 策略迭代法

本模型中,虽然时间集  $T$  是无限的,但是系统的状态集  $S$  是有限的。可以使用策略迭代法,在有限的时间内求得最优策略。具体方法如下:

步骤 1: 确定一个决策策略  $f$ ,  $f \in \pi$ ;

步骤 2: 对于所有的  $s \in S$ , 求解下面  $|S|$  个方程

$$V(s) = R(s, f(s)) + \sum_{s' \in S} \gamma s' s, f(s) V(s') \quad (7)$$

步骤 3: 将上一步求得的  $V(s)$  带入式 (8), 求得对于所有  $s \in S$ , 满足式子条件的新决策策略  $f'$  (若有多个满足条件的则任取一组):

$$\min_{a \in A} \left\{ R(s, a) + \sum_{s' \in S} \gamma (s' s, a) V(s') \right\} = R(s, f'(s)) + \sum_{s' \in S} \gamma (s' s, f'(s)) V(s') \geq R(s, f(s)) + \sum_{s' \in S} \gamma s' s, f(s) V(s') \quad (8)$$

步骤 4: 如果对于所有的  $s \in S$ , 式 (8) 的等号都成立, 则返回最优策略  $f'$ ; 否则令  $f = f'$  并返回步骤 2。

## 4 仿真结果

与文中我们提出的马尔可夫决策策略进行对比的是频繁迁移策略和不迁移策略。频繁迁移策略是当用户进入新的小区后就进行虚拟机迁移;不迁移策略是指除非用户距通信 MEC 为  $k$ , 否则不进行虚拟机迁移。假设仿真中用到的数值如下: 用户和通信 MEC 的最大距离  $k=9$ , 蜂窝网络层数  $n$  的最大值为 10, 折扣因子  $\gamma=0.5$ , 虚拟机迁移的耗能  $C_m=100$ , 用户和通信 MEC 的单位距离耗能  $c=30$ , 用户向其他小区移动概率  $r=0.1$ 。初始状态用户位于通

信 MEC 所在小区。

如图 4 所示,横坐标是用户和通信 MEC 的距离,即不同小区之间的距离;纵坐标是系统耗能。图中共有 3 条曲线,分别代表总是进行虚拟机迁移策略、不进行虚拟机迁移策略和文中所提策略。对比之后可以看出:总是迁移策略的每次耗能是固定的,即为虚拟机迁移的耗能;不迁移策略中用户需要和原 MEC 进行通信,耗能随距离增加;文中所提策略可在两种策略中取得最优情况,即最小耗能。

图 5 中,横坐标用户移动次数,用户每移动一次都会进行一次小区选择。纵坐标是累计的系统总耗能,分别展示了 3 种策略的耗能情况。对比这 3 种情况,可以看出虽然前期不迁移策略耗能和本文策略相同,但随着用户的移动距离逐渐变远,文中策略的节能效果就体现了出来。

须考虑的问题,我们从能量高效的角  
度给出了一种虚拟机迁移策略。

为了使模型更加贴近实际,我们首先对蜂窝网络中的用户移动规律进行研究,发现仅按照用户和 MEC 的距离对蜂窝小区进行分类是可以改善的,并对每层蜂窝网络进行了更细化的分类并给出了状态转移概率;之后分析以能量高效为前提的马尔可夫决策模型,主要是通过对 MEC 移动管理中的耗能进行分析量化,反映到回报函数中,进而能通过解决马尔可夫决策模型达到能量高效的目的。通过仿真实验证明:本策略相比于常规策略能够有效地节约能量。接下来我们的研究方向可以考虑结合用户移动性调整模型,或是设计 MEC 移动性管理系统模块。

#### 参考文献

- [1] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021 White Paper[R/OL].(2017–03–28)[2017–12–13].<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>

- [2] DAMNANOVIC A. A Survey on 3GPP Heterogeneous Networks[J].IEEE Wireless Communications,2011,18(3):10–21. DOI: 10.1109/MWC.2011.5876496
- [3] Mobile Edge Computing—A key technology towards 5G[EB/OL].(2017–09–03)[2017–12–13].[http://10.3.200.202/cache/9/03/www.etsi.org/96365783d6e7ab98a99488bf5507dfbe/etsi\\_wp11\\_mec\\_a\\_key\\_technology\\_towards\\_5g.pdf](http://10.3.200.202/cache/9/03/www.etsi.org/96365783d6e7ab98a99488bf5507dfbe/etsi_wp11_mec_a_key_technology_towards_5g.pdf)
- [4] TALEB T, KSENTINI A. An Analytical Model for Follow Me Cloud[C]//Proceeding of IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM). USA: IEEE, 2013:1291–1296
- [5] KSENTINI A, TALEB T, CHEN M. A Markov Decision Process–Based Service Migration Procedure for Follow Me Cloud[C]//2014 IEEE International Conference on Communications (ICC). USA:IEEE, 2014: 1350–1354. DOI: 10.1109/ICC.2014.6883509
- [6] WANG C, LI Y, JIN D. Mobility–Assisted Opportunistic Computation Offloading [J]. IEEE Communications Letter, 2014, 18(10): 1779–1782. DOI: 10.1109/LCOMM.2014.2347272
- [7] NADEMBEGA A, HAFID A S, BRISEBOIS R. Mobility Prediction Model–Based Service Migration Procedure for Follow Me Cloud to Support QoS and QoE [C]// 2016 IEEE International Conference on Communications (ICC). USA:IEEE, 2016:1–6. DOI: 10.1109/ICC.2016.7511148

## 5 结束语

MEC 中的用户移动性管理是必

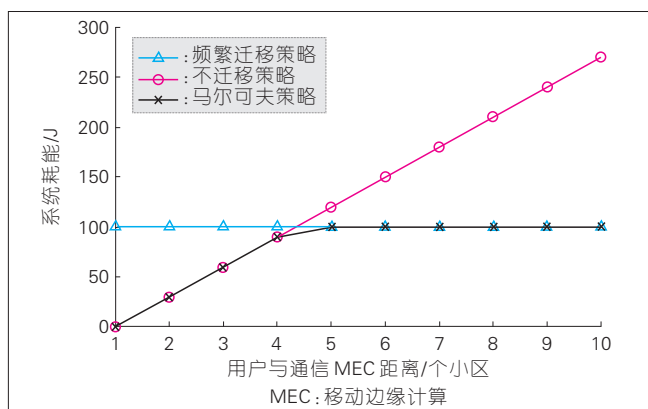


图 4  
用户与通信 MEC 不同  
距离的系统耗能

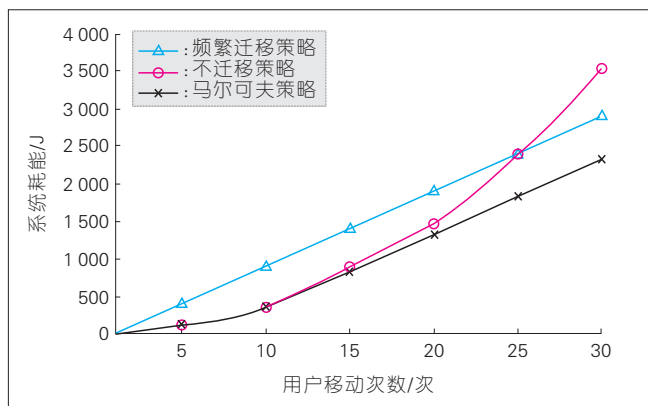


图 5  
系统总耗能

### 作者简介



王秋宁,北京邮电大学在读硕士研究生;主要研究方向为移动边缘计算和内容分发。



谢人超,北京邮电大学副教授、硕士生导师;主要研究方向为未来网络体系架构、信息中心网络与边缘计算等;主持国家与省部级项目 4 项;已发表论文 40 余篇,申请授权专利 10 余项。



黄韬,北京邮电大学教授、博士生导师;主要研究方向为未来网络体系架构、软件定义网络、信息中心网络等;主持国家与省部级项目 10 余项;已发表论文 100 余篇,申请授权专利 40 余项。

# 5G 承载网技术和优化组网

## Technologies and Optimal Networking of 5G Bearing Network

张宝亚/ZHANG Baoya

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)  
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

### 1 5G 无线网络的特点

5G 移动网提供增强型移动宽带 (eMBB)、超可靠低时延通信 (uRLLC)、大规模机器类通信 (mMTC) 三大类业务, 不同业务性能差异较大: eMBB 业务面向传统移动通信, 带宽大; uRLLC 业务面向工业自动化等实时性控制类应用, 时延低、可靠性高; mMTC 面向物联网应用, 连接多、流量小。

5G 无线接入网 (RAN) 重新划分为有源天线单元 (AAU)、分布单元 (DU)、集中单元 (CU) 部分, 核心网由 3G/4G 时代集中部署逐步向云化、分布式部署转变, 不同业务核心网下沉到不同位置, 满足业务低时延的要求, 提升用户体验。

#### 1.1 大带宽

基站带宽取决于无线频谱带宽、频谱效率、天线数等参数配置, 64 TR 100 M 带宽的基站, 峰值带宽可以达到 6 Gbit/s, 均值带宽 3 Gbit/s, 按照国际电信联盟 (ITU) 定义: 5G 基站最大峰值带宽可达 20 Gbit/s。实际情况下, 基站速率难以达到最大峰值速

收稿日期: 2017-12-15  
网络出版日期: 2018-01-17

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 01-0042-007

**摘要:** 大带宽、强路由、高可靠、L3 到边缘、25 GE/50 GE/100 GE 低成本光模块是 5G 承载网的基础要求。灵活以太网 (FlexE)、分段路由 (SR)、以太网虚拟专用网络 (EVPN)、IPv6、设备虚拟化、高精度时钟是 5G 承载设备应具备的关键技术。认为承载网存在 4 个方面演进趋势: 网络扁平化; 管理、控制、转发隔离; 传统网管向管控融合的 SDN 架构演进; 4G/5G 统一承载。

**关键词:** SR; Flex-E; 网络切片; EVPN; 光模块

**Abstract:** Large bandwidth, strong routing, high reliability, L3 to edge, 25 GE/50 GE/100 GE low cost optical modules are the basic requirements of 5G bearing network. Flex Ethernet (FlexE), segment routing (SR), Ethernet virtual private network (EVPN), IPv6, virtualization of devices and high precision clock are the key technologies for 5G bearing equipments. Four evolution trends are proposed in this paper: flat network; isolation between management plane, control plane and forwarding plane; evolution of soft-defined network (SDN) architecture from traditional network to the management and control integrated network; 4G/5G unified bearing.

**Keywords:** SR; FlexE; network slicing; EVPN; SDN; optical module

率。另外, 考虑成本、功率等因素, 5G 基站类型会多种共存, 基站带宽从 1~20 Gbit/s 均会存在。

5G 基站分为高频基站和低频基站: 5G 低频基站用于广覆盖, 在初期, 5G 低频基站和 4G 基站会同址部署, 在成熟期, 5G 低频基站密度与 4G 基站相当; 5G 高频基站主要用于补热, 初期规模不大, 但是有一些需要 25 GE 接口接入。

#### 1.2 低时延

5G 不同业务的时延差异化较大, 第 3 代合作伙伴计划 (3GPP) TR 38.913 定义 eMBB 端到端 (E2E) 时延是 10 ms, uRLLC 是 1 ms, 其中 eMBB 的空口时延 4 ms, uRLLC 的空口时延 0.5 ms; 但是, 对于不同的 uRLLC 业务, 3GPP TS 22.261 V16.0.0 给出不同

的时延定义, 具体见表 1<sup>[1]</sup>。

#### 1.3 流量 Mesh 化

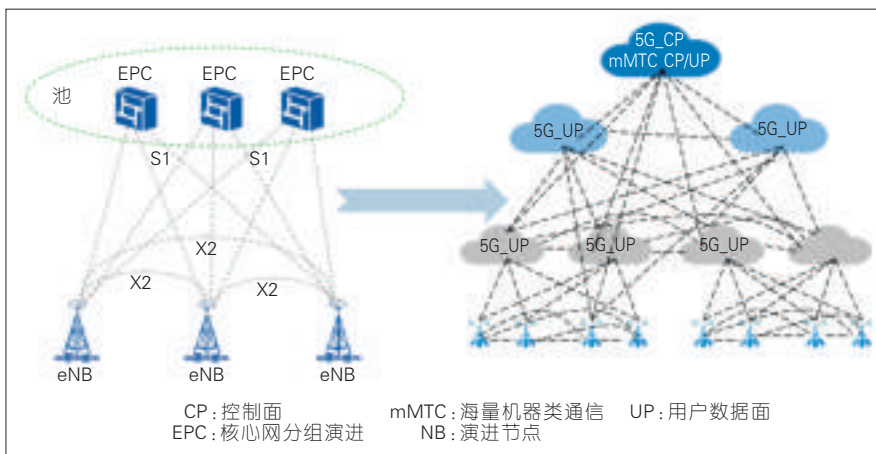
5G CU 与 DU 部署灵活、可分可合, 分设的 CU 和 DU 之间具有多对一、一对多的特点, 存在双归和冗余要求。根据 eMBB、uRLLC、mMTC 三类业务分步引入, 核心网从集中式部署逐步过渡到分布式部署。CU 和核心网之间存在着多对多的关系, 核心网之间存在流量交互的情况, 5G 时代业务流量 Mesh 化趋势较为明显, 具体如图 1 所示。

#### 1.4 网络切片

下一代移动通信网 (NGMN)、IMT 2020、第 3 代合作伙伴 (3GPP) 均提出了 5G 网络基于软件定义网络 (SDN)/网络功能虚拟化 (NFV) 的网

▼表 1 3GPP TS 22.261 uRLLC 低时延业务类型及指标要求

| 场景         | 端对端时延/ms | 抖动     | 通信服务的可用性/% | 可靠性/%   | 用户体验数据速率/(Mbit/s) |
|------------|----------|--------|------------|---------|-------------------|
| 离散自动化-运动控制 | 1        | 1 μs   | 99.9999    | 99.9999 | 1 ~ 10            |
| 离散自动化      | 10       | 100 μs | 99.99      | 99.99   | 10                |
| 过程自动化-远程控制 | 50       | 20 ms  | 99.9999    | 99.9999 | 1 ~ 100           |
| 过程自动化-监测   | 50       | 20 ms  | 99.9       | 99.9    | 1                 |
| 配电-中压      | 25       | 25 ms  | 99.9       | 99.9    | 10                |
| 配电-高电压     | 5        | 1 ms   | 99.9999    | 99.9999 | 10                |
| 智能交通系统     | 10       | 20 ms  | 99.9999    | 99.9999 | 10                |
| 触觉交互       | 0.5      | 待定     | 99.999     | 99.999  | 低                 |
| 远程控制       | 5        | 待定     | 99.999     | 99.999  | 从低到 10            |



▲图 1 核心网之间/基站与核心网多对多连接

网络切片架构,网络切片可以为未来网络创新、快速部署业务提供基础。同时,网络切片服务可提供管理隔离、资源隔离、计算隔离、转发隔离、控制隔离等特色服务,不同资源的隔离灵活配置,以满足不同类型的业务安全性、可靠性、关键绩效指标(KPI)等方面差异化的要求,保障业务安全和服务质量<sup>[2]</sup>。

### 1.5 NSA 向 SA 逐步演进

5G 建网模式分为独立部署(SA)模式和非独立部署(NSA)模式:SA 模式下,新建无线、核心 5G 网络,4G 网络和 5G 网络两张网独立运行;NSA 是一种逐步演进的网络技术方案,通过 4G 既有的资源,仅在 4G 网络上增强,以局部扩容的方式为 5G 提供服务,并随着 5G 业务的不断成熟逐步

演进到 5G。

## 2 5G 承载网基础要求

### 2.1 大带宽

4G/5G 同址部署,承载设备需要同时满足 4G/5G 基站的能力。5G 基站提供 10 GE/25 GE 接入能力,市区基站需要具备 25 GE 接入能力。5G 承载网带宽的相关分析具体如表 2 所示。

5G 承载网,链式组网可以采用 10 GE 接口;分布式无线接入网(D-RAN)可以采用 25 GE/50 GE 接口;C-RAN 则需要采用 50 GE/100 GE 接口组网。

对于 5G 承载网扁平化的 3 层架构,可以在区县汇聚机房放置多对汇聚设备形成扁平化组网,汇聚层采用

100 GE 上行链路,可满足 5G 流量需求;对于城域则采用双层汇聚的组网方式,汇聚上行链路可采用 100 GE 组网,核心汇聚以上初期可以采用 100 GE 组网,5G 成熟期核心汇聚逐步引入  $N \times 100$  GE/200 GE/400 GE 链路。5G 网络设计的模型,具体如图 2 所示。

5G 采用大容量设备组网,这要求芯片具备更强的处理能力,以及更低的功耗:接入层设备的 320 G、640 G 芯片是主流需求,而核心汇聚层的 200 G、400 G、1 T 的高集成度芯片,则能提供高密度单板。

### 2.2 强路由

5G 承载网需要满足 3G/4G/5G 基站及政企业务承载,路由涉及公网路由和基站私网路由。

根据 3G/4G 时代基站建设,未来 3G/4G/5G 基站数比预计 1:2:4(5G 阶段高低频基站数量比例 1:1,4G、5G 低频基站数量比例 1:1)。一个 3G 基站使用 2 个 IP 地址,一个 4G 基站使用 1 个 IP 地址,考虑到无线组播业务的需求,一个 5G 基站可能会引入 2 个 IP 地址。一个大型本地网 3G 基站以 8 000 计算,则基站业务路由量为  $8\,000 \times 2 + 8\,000 \times 2 + 8\,000 \times 4 \times 2 = 96\,000$  路由,即全网最大需 96 000 基站业务路由地址。

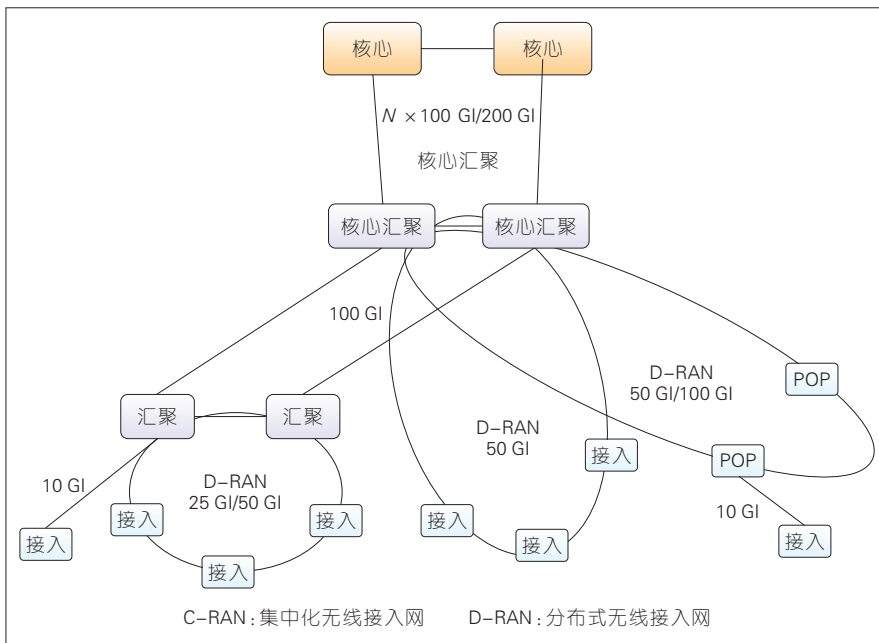
承载网内的路由主要以设备地址、数据通信网络(DCN)地址、互联地址为主,未来引入切片后,网络地址会增加。一个 8 000 台设备大型网络,整网网络地址数量为  $8\,000 \times (1 \text{ 个控制面地址值} + 1 \text{ 个 DCN 地址}) \times 2$  (假设互联地址和设备节点数等同),大约 32 000,考虑网络切片的引入网络地址可能到 64 000 以上。

城域汇聚核心设备路由要求超过 160 000,考虑政企业务的引入,以及外部网络的互联互通,汇聚设备路由容量要求具备  $10^5$  级别的路由。接入设备由于没有全网的路由,因此路由数目相对来说较少,  $10^4$  就已经足

▼表 2 5G 承载网带宽需求分析

| 项目         | 小 D-RAN  | 大 D-RAN  | 小 C-RAN   | 大 C-RAN   |
|------------|--|--|---|---|
| BBU 侧端口    | 4G 基站: GE, 基站带宽 150 Mbit/s<br>5G 低频基站: 10 GE, 均值带宽 2.1 Gbit/s (规划带宽为基站均值带宽的 70%) |  |   |   |
| 整网 5G 基站数  | 6 000  |  |   |   |
| 每站点设备基站数   | 1  | 2~3  | 5   | 6~20  |
| 每接入环上站点设备数 | 8  | 8  | 6   | 4   |
| 收敛比        | 小 D-RAN 不考虑收敛比, 大 D-RAN/C-RAN 收敛比为 1:2<br>汇聚层收敛比为 1:4<br>核心汇聚层收敛比为 1:8           |  |   |   |
| 汇聚对带的基站数   | 100  | 100  | 100~200   | 100~200   |
| 核心汇聚对带的基站数 | 600  |  |   |   |
| 接入环带宽      | $(2.1+0.15) \times 8 = 18 \text{ Gbit/s}$  | $(2.1+0.15) \times 8 \times 3/2 = 27 \text{ Gbit/s}$ | $(2.1+0.15) \times 5 \times 6/2 = 33.75 \text{ Gbit/s}$ | $(2.1+0.15) \times 20 \times 4/2 = 90 \text{ Gbit/s}$ |
| 汇聚上行带宽     | $(2.1+0.15) \times 100 / 4 = 56.25 \text{ Gbit/s}$                               |  | $(2.1+0.15) \times 200 / 4 = 112.5 \text{ Gbit/s}$      |   |
| 核心汇聚上行带宽   | $(2.1+0.15) \times 600 / 8 = 168.5 \text{ Gbit/s}$                               |  |   |   |

BBU: 基带处理单元 C-RAN: 集中化无线接入网 D-RAN: 分布式无线接入网



▲图 2 5G 承载网网络规划

够<sup>[3-4]</sup>。

### 2.3 高可靠性

移动业务丢包敏感,网络故障引起丢包对于用户感知有一定的影响,快速的业务恢复是承载网基本要求。

3GPP TR 38.913 定义的部分 uRLLC 业务,对于网络的可靠性要求由“5个9”指标提升到“6个9”,承载

网络需要提供更高的可靠性。

4G 阶段,传输专线通过移动承载网承载成为业界发展趋势,随着基于同步数字体系(SDH)的多业务传送平台(MSTP)的退网,大量的业务需要迁移到移动承载网上。

任何网络故障下,承载网 ms 级业务快速收敛,是确保移动业务可靠性的基础。利用快速重路由(FRR)

保护技术,结合转发面的故障快速检测技术可以为 ms 级业务恢复提供基础;对于无法形成 FRR 的场景,通过路由快速收敛可以实现 5G 承载网业务的可靠性。对于政企、uRLLC 业务,通过网络切片可以实现隔离的专网服务,不同切片之间完全隔离。

### 2.4 全 L3 组网

由于 5G RAN CU/DU 分离,针对核心网云化,基站之间低时延需求,L3 到边缘 5G 承载网的关键为:

- 5G 网络 CU/DU 分离。随着移动边缘计算(MEC)的引入、CU 云化部署、DU 与 CU 之间业务 L3 转发,均提供了灵活性。

- 5G C-RAN 组网成为普遍需求。5G 阶段载波聚合(CA)/协同多点传输(CoMP)等基站协同部署显著,协同 X2 流量就近转发满足时延需求,如果绕行汇聚增加了转发跳数和传输光纤距离,时延变大,则难以达到协同增益。接入层采用 L3 层技术,基站之间就近 1 跳转发是协同类业务部署的必然要求。

- 5G 基站东西向流量大,绕行浪费汇聚层的网络带宽。

- NSA 组网。5G 基站附着在 4G 基站,4G 基站和 5G 基站间存在流量需求,L3 到边缘组网,流量可以就近转发,避免流量回绕。

### 2.5 低成本光模块

5G 承载网在用户网络侧接口(UNI),采用 10 GE、25 GE 接口接入基站,网络侧会引入 25 GE、50 GE、100 GE 互联技术,城域未来则可能会向 200 GE、400 GE 链路演进。

5G 承载网要求光模块具备:集成化、小型化、高速率、长距离、低成本、低功耗。

## 3 5G 承载网关键技术

### 3.1 FlexE

FlexE 可实现  $n \times 5G$  通道化带宽,



不同子通道有独立的媒体接入控制 (MAC), 同一个端口上不同子通道物理隔离。通过 FlexE 技术可提供灵活的以太接口带宽, 能够解决传统以太网端口仅有 FE、GE、10 GE、40 GE、100 GE、200 GE、400 GE 的颗粒弊端, 增强以太网的组网能力, 满足网络切片物理隔离要求, 在一条链路上实现多个物理专网。

FlexE 也可以实现多个 100 GE 端口捆绑提供超 100 GE 的接口带宽, 改变了传统以太网拓展链路带宽依靠 Smartgroup, 流量分担不均匀的问题, 多端口捆绑也可以基于多个时隙实现捆绑。

FlexE 通道化结合设备虚拟化可以实现承载网转发物理隔离、控制隔离、管理隔离的逻辑网络, 在一张物理网络上实现多个物理隔离的逻辑网络, 如图 3 所示。

### 3.2 分段路由

分段路由 (SR) 技术是一种源路由技术, 通过内部网关协议 (IGP) 扩展收集路径信息, 头节点根据收集的信息组成一个显式/非显式的路径, 路径的建立不依赖中间节点, 从而使得路径在头节点即创建即生效, 避免了网络中间节点路径计算。

引入 SDN 控制器以后, 可以通过控制器掌握的全局信息计算出一条 E2E 的路径, 而不依赖跨域路由的通告, 这样可以弥补传统路径创建能力不足, 增强组网能力。

SR 技术具有标签分发协议 (LDP) 的灵活性, 同时解决了基于流

量工程扩展的资源预留协议 (RSVP-TE) 路径扩展性和协议复杂性问题, 可以应用于跨域路径的建立。在可靠性方面, SR 避免了原有 IGP 算法的限制, 在承载网以环网为主要的接入形态下, 可以通过拓扑独立无环替换 FRR (TI-LFA) 保护, 100% 形成节点和链路的 FRR 保护。SR 相对其他路径协议具有很多优点, 具体见表 3。

### 3.3 MPLS EVPN

传统多协议标签交换 (MPLS) 二层虚拟专用网 (L2VPN) 分为虚拟标签专线服务 (VPWS) 和虚拟专用局域网业务 (VPLS) 类型业务, VPWS 引入目标 LDP 会话, VPLS 除了部署目标 LDP 外, 还需要学习本地用户 MAC 和远端 PE 发过来的用户的 MAC 地址, 设备上如果没有学习到目的 MAC 地址, 则需要广播处理, 这样存在广播

环路风险, 对网络规划要求较高。另外, L2VPN 在解决跨域互通场景方面比较复杂, 通常 Option A/Option B 多链路对接组网, 跨域保护不好解决, 需要借助于 Option C 才能实现简化跨域组网。

MPLS 三层虚拟专用网 (L3VPN) 采用的是路由转发方式, 路由通过 BGP 在不同 PE 之间进行路由传播。传统 MPLS VPN 部署方式下, 网络中部署多种协议。

MPLS 以太网虚拟专用网络 (EVPN) 通过 BGP 扩展避免了目标 LDP 建立, 减少了控制面协议部署。在 MAC 学习方面, 除了本地 MAC 学习以外, 远端的地址不需要依赖业务流进行学习, 而是通过边界网关协议 (BGP) 学习远端的地址, 像学习 VPN 路由转发表 (VRF) 路由一样学习远端 PE 上的用户地址, 降低了转发面

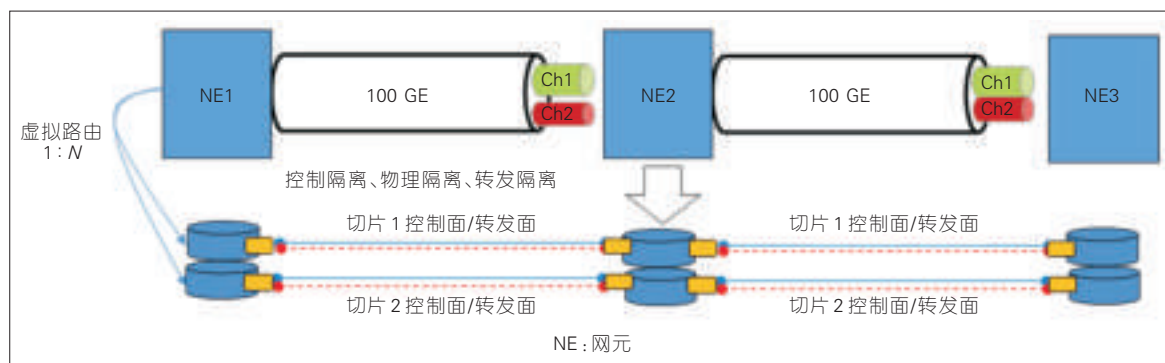
▼表 3 各种 LSP 路径协议的对比

|        | LDP                            | RSVP-TE  | SR   |
|--------|--------------------------------|--|--|
| 协议配合   | IGP + LDP                      | IGP + RSVP-TE  | IGP 扩展, 较为简单   |
| 标签分配方式 | 本地分配 (在每个节点为每个路由分配)            | 本地分配 (在每个节点为每个隧道 LSP 分配)                                       | 全局分配 (只在源头为路由分配一次, 其他节点只是发布) + 本地分配 (与路由和 LSP 无关, 仅代表某节点的某个出向连接)   |
| 可扩展性   | 对 LSP 不需要保活, CPU 等资源占用低, 可扩展性好 | 每个 LSP 维护状态信息, 定时保活; CPU 等资源占用高, 可扩展性差; Mesh 网络路径 N 平方问题对设备压力大 | <ul style="list-style-type: none"> <li>原有 IGP 保活, SR 没有额外的保活, CPU 等资源占用低, 可扩展性好</li> <li>控制器集中算路, 网络节点压力小</li> </ul> |
| 流量工程   | 不支持                            | 支持   | 支持   |
| FRR    | 可靠性中等                          | 可靠性高   | 可靠性高   |
| 跨域 LSP | 不支持                            | 可支持, 需要松散  | 支持   |
| IPv6   | 需要扩展                           | 需要扩展   | 支持   |

CPU: 中央处理器  
FRR: 快速重路由  
IGP: 内部网关协议

LDP: 标签分发协议  
LSP: 分层服务提供商  
RSVP-TE: 基于流量工程扩展的资源预留协议

SR: 分段路由



◀图 3 FlexE 结合设备虚拟化实现物理隔离的网络

的要求。同时,对于没有学习到的目的地址流,支持地址解析协议(ARP)代理功能,可以禁止流量广播,避免网络环路风险。

由于借助了BGP方式,跨域组网可借助BGP互通,组网更加灵活,同时可增强L2VPN组网能力。L2VPN和L3VPN通过一套BGP协议实现协议的统一,简化了控制面和转发面。

### 3.4 IPv6

3G/4G阶段,无线一般采用IPv4私有地址,承载网内部也是使用IPv4私有地址作为控制面互联地址,访问Internet时,需要进行网络地址转换(NAT)的转换。5G阶段RAN和核心网会向IPv4/IPv6双栈演进,IPv6已经成为国家战略。

5G承载网引入IPv6可以是逐步演进的方式,基站采用V4/V6双栈,网络地址可以继续采用V4,以6vPE方式承接业务;未来可以在网络内部引入V6地址。

### 3.5 高精度时钟

5G阶段,C-RAN成为主流,随着市区微站、室分站的部署,基站全部通过全球定位系统(GPS)同步,投资大,施工困难。C-RAN组网下CoMP/CA等基站协同组网,5G阶段可能大规模引入。4G与5G时代对于时钟同步要求不同,具体如图4所示。

在5G时代,时钟同步存在差异化的需求,高频站通过传统方式基本可以满足同步精度,但是需要减少转发跳数,基站协同需要在站点进行时间的统一分发,以便能够实现超高速

间同步。

在4G时代,时间源同步精度在150 ns左右,单节点同步精度在30跳1 200 ns,每跳同步精度在40 ns左右,基站同步精度要求150 ns。5G时代,时间源同步精度需要进一步提升到30 ns,单跳时延要满足10 ns,基站精度需要提升到20 ns。对于基站协同类,时间源的同步精度为10 ns,前传网同步精度在100 ns,承载的时延要求控制在5 ns以下,时延源需要下沉在C-RAN中的站点设备上或小汇聚设备上,以减少承载跳数,提升同步精度。

### 3.6 设备虚拟化

设备虚拟化是实现承载网网络切片的基础。设备虚拟化需要做到资源的灵活分配,每个虚拟设备有自己独立的资源。切片拥有独立的控制面、转发面、管理面,切片之间互不影响,切片可独立升级,而不影响其他非相关切片的业务,从而保障业务可靠性。

设备虚拟化对于网元可以进行CPU、内存、转发资源、管理资源的灵活调配,不同切片的资源不一样,满足灵活、动态创建切片的能力。

## 4 承载网演进

### 4.1 网络扁平化

5G以提升用户体验为中心,影响用户体验的包含时延、抖动、带宽。业务转发经过的网络节点越多则业务质量的影响越大,带宽瞬间拥塞的可能性越大,链路带宽压力越大。

环网需要汇聚多个物理区域的业务,环上的带宽要求大,网络故障影响区域大,并且环上流量存在回绕风险,易造成瞬时拥塞;而扁平化的组网通过增加光路,将不同区域的业务分开承载,降低了上行链路带宽需求,降低了转发跳数。环形组网和扁平化组网技术对比,如表4所示。

通过部署光纤或者波分将分组跳数减少,能够满足扁平化组网需求,提升网络质量。

### 4.2 网络切片

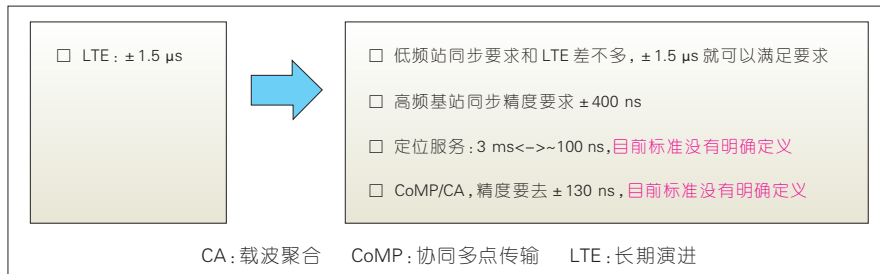
对于承载而言,根据无线业务及综合承载业务的需求,可以划分为两类切片:

(1)管/控/转隔离切片。在承载网内实现物理隔离的切片,以实现管理、控制、转发隔离,甚至CPU、内存等物理资源也可以实现隔离。这种方式可以应用于安全性、隔离性要求高的业务,可提供类似物理专网的服务,例如:为政企业务划分一个切片,也可为用户分一个切片;对于5G业务可以为工业控制类等安全性、可靠性要求高的uRLLC类业务分一个切片,为其eMBB、mMTC类业务分一个切片,也可为第三方网络租用划分一个切片。

(2)管/转隔离切片。承载网提供相应的VPN切片服务,这种切片的特点是对于时延、物理隔离要求不高,例如:同样是eMBB业务,但可对不同用户提供不同的服务。VPN切

▼表4 环型组网和扁平化组网对比

| 项目                       | 环型组网 | 扁平化组网 |
|--------------------------|------|-------|
| 光路要求                     | 少    | 多     |
| 业务转发跳数                   | 多    | 少     |
| 时延/抖动                    | 大    | 大     |
| N*100 GE、200 GE/400 GE需求 | 高    | 低     |
| 流量回绕                     | 存在   | 不存在   |
| 链路拥塞风险                   | 高    | 低     |
| 可靠性                      | 低    | 高     |
| 组网成本                     | 高    | 低     |



▲图4 5G与4G对于时钟同步的要求比较

片可提供告警、性能、配置、登录安全方面的隔离。

每个切片网络有独立的管理资源,从而使得不同切片的告警、统计、网络等信息实现管理隔离。5G 网络物理切片的架构模型如图 5 所示。

### 4.3 管+控融合的 SDN 架构

传统移动承载网是基于网管架构,通过厂家网络管理系统(NMS)/网元管理系统(EMS)提供统一北向

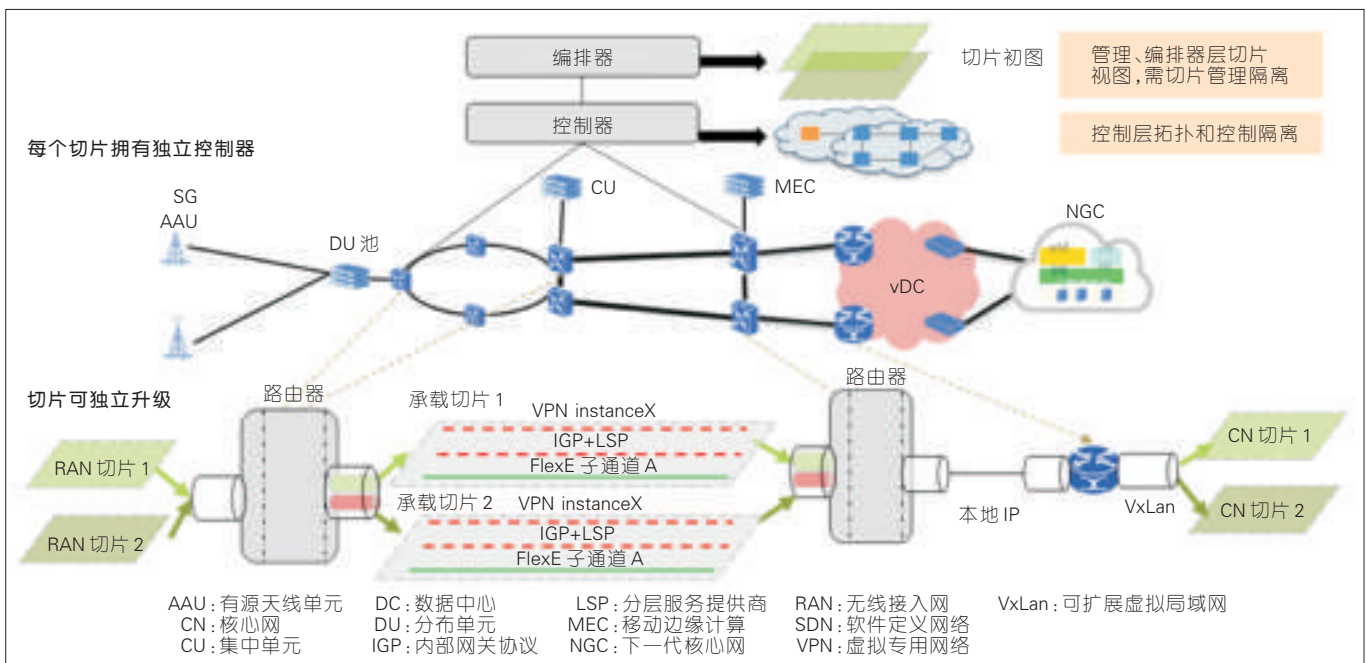
接口,屏蔽不同厂家接口差异。

由于网络切片及 SR 的引入,上层管理平台需要具备智能算路的功能,即具备路径计算单元(PCE)的能力,而传统的网管网依然存在需求,提供控制器+EMS 融合的产品平台,既能满足传统网络运维的要求,又能满足未来 SDN 场景下 SR、网络切片、网络虚拟化演进要求。融合平台通过 SDN 架构的 restconf 接口提供统一开放的北向接口,南向则通过厂家融

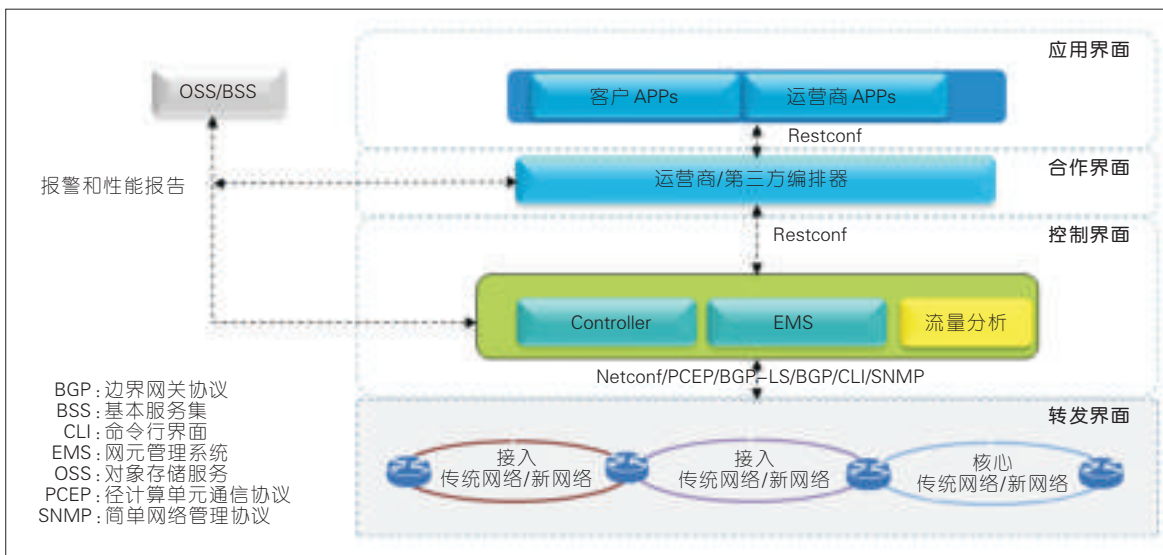
合传统设备命令行界面(CLI)/QX/简单网络管理协议(SNMP),以及 SDN 架构下 Netconf/路径计算单元通信协议(PCEP)/ BGP 链路状态(BGP-LS),实现标准以及厂家私有扩容的 YANG 模型,屏蔽厂家南向接口差异,快速过渡到 SDN 架构。管控融合 SDN 架构,具体如图 6 所示。

### 4.4 基于演进的 4G/5G 统一承载网络

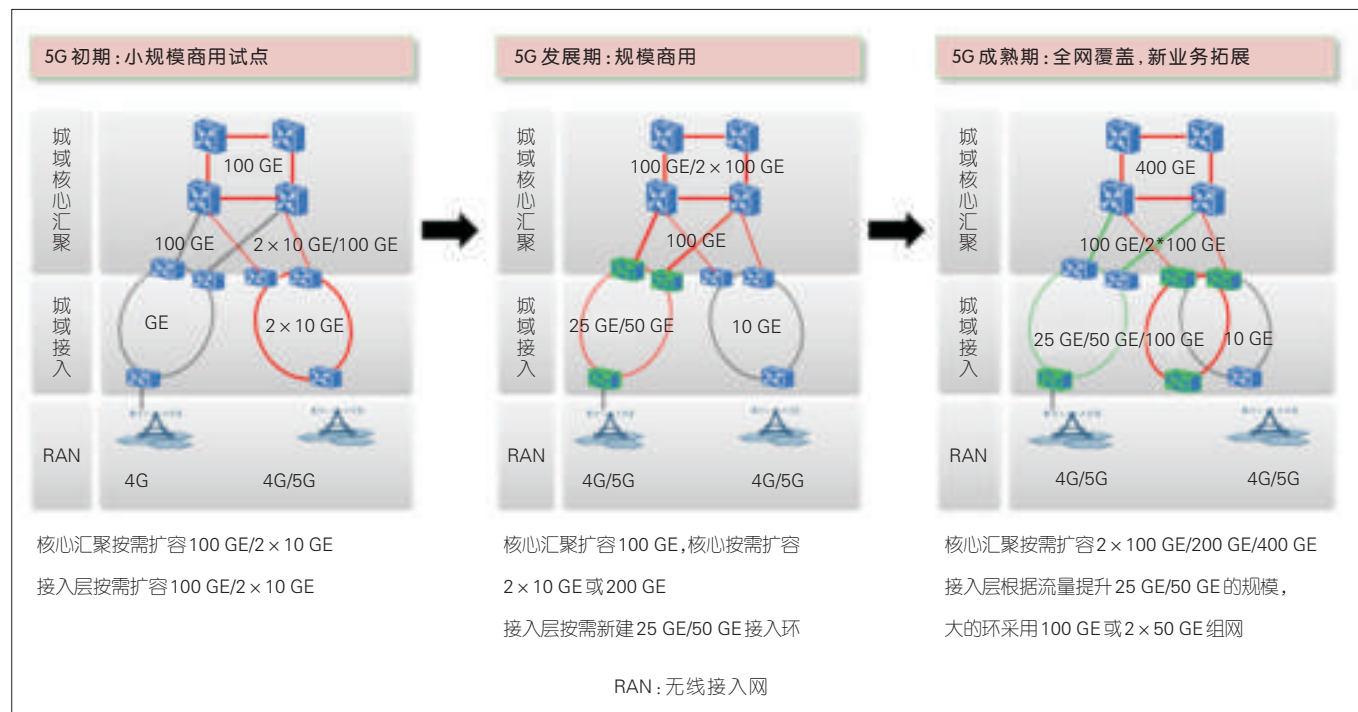
5G 移动网的建设,是循序渐进的



▲图 5 网络切片模型



◀图 6 管+控的融合运维架构



▲ 图7 5G 承载网逐步演进技术路线

过程。重新建设一张新的网络投资大,当前,运营商普遍采用了NSA的组网模式,4G基站和5G业务统一承载是业界的主流选择。

5G基站的模式存在多种:有数百兆带宽的微基站、室分站,也有带宽1~3G的低频基站、高频基站。无线基站的带宽受制于空口技术、频谱资源、天线成本、功耗,90%以上的5G基站中单站带宽达不到10GE以上的目标带宽,只有在未来的5G成熟期,可能会局部引入10GE以上的高频基站。

5G业务是逐步引入的,2019年随着3GPP R16标准的推出,一些业务形态才能逐步清晰,基于承载网自身的演进需求的SR、FlexE、MPLS EVPN、设备虚拟化技术在5G初期阶段不会全网引入,因为当前的技术能够满足5G业务承载需求。基于现网的逐步演进技术路线具体如图7。

5G初期,网络建设基于4G承载网扩容以提升网络带宽,快速满足

5G试点、小规模商用需求;5G发展期,扩容接入节点和城域节点、新的硬件满足5G演进关键技术要求,可以局部引入新技术;5G的成熟期,随着新的单板和网元节点能力增强,具备全网引入新技术能力。

## 5 结束语

5G时代,承载网需要基于现有网络不断演进,逐步引入新技术以满足5G承载要求:FlexE、SR为下一代芯片提供有竞争力解决方案;设备虚拟化结合FlexE、SDN的网络切片是实现物理隔离、管理隔离、控制隔离、转发隔离,满足不同业务差异化要求,支撑“6个9”的高可靠性网络的关键;EVPN组网能力强、组网安全性高等均是未来政企业务主流承载技术;25GE、50GE、100GE光模块广泛引入,低成本的光模块是5G承载网规模建设的保证;4G承载网向5G逐步演进满足4G/5G统一承载,是降低运营商网络投资,满足无线NSA组网的

主流选择。

## 参考文献

- [1] 3GPP. Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies: 3GPP TR 38.913[S].2017
- [2] IMT 2020. 5G网络技术架构白皮书[R].2016
- [3] Study on Management and Orchestration of Network Slicing for Next Generation Network: 3GPP TR 28.801[S].2017
- [4] Study on New Radio Access Technology&Interface:3GPP. TR 38-801[S]. 2016

## 作者简介



张宝亚,中兴通讯股份有限公司IP RAN承载方案与产品规划总工;主要从事IP/MPLS移动承载网络方案的制定及产品规划,先后参与Ezchip、Xelerated、BCM等厂家多款商用网络处理器软件研发工作,2010年开始从事分组产品方案与产品规划工作,自

2012年开始参与中国电信IP RAN、中国联通UTN以及国际IP RAN解决方案与产品的规划工作,2015年开始参与中兴通讯5G解决方案规划与产品的规划。

## 专家论坛 策划人简介



赵慧玲

工信部通信科技委专职常委、信息通信网络专家组组长, 中国通信学会常务理事、信息通信网络技术专业委员会主任委员、北京通信学会副理事长, 中国通信标准协会网络与业务能力技术工作委员会主席, 中国电信科技委常委兼核心网组负责人, 国际标准组织 MEF 顾问董事, SDN/NFV 产业联盟技术委员会副主任; 长期从事电信网络领域技术和标准工作; 曾获多个国家及省部级科技进步奖项; 已发表论文 100 余篇, 技术专著 12 部。

# 5G 承载的挑战与技术方案探讨

## Challenge and Technical Scheme of 5G Bearing Network

李俊杰/LI Junjie

唐建军/TANG Jianjun

(中国电信股份有限公司北京研究院, 北京 102209)

(China Telecom Beijing Research Institute, Beijing 102209, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 01-0049-004

**摘要:** 5G 的网络架构和业务特征相对于 3G/4G 时代出现了较大变化, 对 5G 承载网提出了挑战性的需求。针对大带宽、超低时延、高可靠、高精度同步、灵活性、网络切片、智能协同等七大特征, 探讨了 5G 承载技术方案, 涵盖前传、中传和回传承载方案, 并分别对应有源天线单元(AAU)和分布单元(DU)之间, DU 和集中单元(CU)之间, 以及 CU 和核心网之间的通信承载。

**关键词:** 5G; 承载; 前传; 中传; 回传

**Abstract:** Comparing with 3G/4G, 5G network architecture and service characteristics have changed greatly, which brings challenging requirements for 5G bearing network. In this paper, seven features of 5G are proposed, such as wide bandwidth, ultra low latency, high reliability, high-precision synchronization, flexibility, network section, and intelligent cooperation. And 5G bearing technical proposals are also discussed, including fronthaul, middlehaul and backhaul which correspond to the bearing network between active antenna unit (AAU) and distributed unit (DU), the bearing network between DU and centralized unit (CU), and the bearing network between CU and core network.

**Key words:** 5G; bearing network; fronthaul; middlehaul; backhaul

### 1 5G 发展概况

5G 致力于构建信息与通信技术的生态系统, 是未来无线产业发展的创新前沿, 也是目前产业界最热的课题之一。5G 的愿景是为了应对未来爆炸性的移动数据流量增长、海量

的设备连接、不断涌现的各类新业务和应用场景, 同时与行业深度融合, 满足垂直行业终端互联的多样化需求, 实现真正的“万物互联”, 构建社会经济数字化转型的基石。

国际电信联盟 (ITU) 为 5G 定义了增强型移动宽带 (eMBB)、大规模机器类通信 (mMTC)、超可靠低时延通信 (uRLLC) 三大业务场景<sup>[1]</sup>, 如图 1 所示。实际上, 不同行业往往在多个

收稿日期: 2017-12-10  
网络出版日期: 2018-01-12

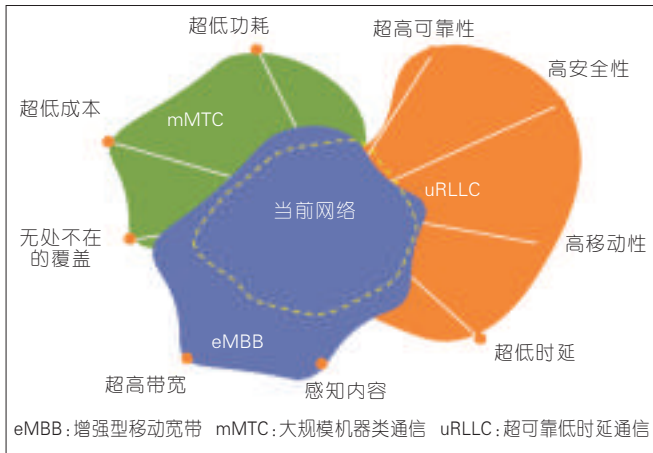


图1 5G典型业务场景性能需求

关键指标上存在着差异化的要求,因而5G系统还需支持可靠性、时延、吞吐量、定位、计费、安全、可用性的优化组合;万物互联也带来了更高的安全风险,5G能够为多样化的业务场景提供差异化的安全服务,保护用户隐私,同时还能支持提供开放的安全能力。

在政府、运营商和设备商的大力推动下,中国5G的发展步入快车道。2017年11月30日,中国国家发展改革委在“2018年新一代信息基础设施建设工程”<sup>[2]</sup>中明确要求运营商启动“5G规模组网建设及应用示范工程”。2017年12月1日结束的3GPP

美国里诺会议上,3GPP R15 NSA核心标准部分已经冻结。中国的三大运营商均已启动5G无线外场测试、5G承载技术研究等工作<sup>[3]</sup>。

## 2 5G 承载的需求与挑战

“5G建设,承载先行”,承载网络对5G发展的重要性不言而喻。由于5G网络架构和业务特征相对于3G/4G有了较大变化,因此对5G承载网提出了挑战性的需求,可以归纳为七大特征,如图2所示。

5G网络由于引入了大带宽和低时延的应用,因此需要对传统的无线接入网(RAN)体系架构进行改进。

5G的RAN网络将从4G/LTE网络的基带处理模块(BBU)、射频拉远单元(RRU)两级结构演进到集中单元(CU)、分布单元(DU)和有源天线单元(AAU)的3级结构,如图3所示。因此,5G承载网络也将会从4G时代的前传和回传两部分演变成5G时代的前传(Fronthaul)、中传(Middlehaul)和回传(Backhaul)这3部分,它们分别对应了AAU和DU之间,DU和CU之间,以及CU和核心网之间的通信承载。

4G时代就逐渐凸显的单个基站带宽大幅增加,基站部署密度加大所引起的基站选址困难、机房成本高、基站资源利用率低、维护工作量大等问题在5G时代将愈演愈烈。因此,作者认为5G RAN网络势必延续4G BBU集中策略,将DU集中作为一种主流的组网架构。

5G核心网必须满足5G低时延业务处理的时效性需求,核心网下移成为一种趋势,特别是针对uRLLC等时延敏感型业务。3GPP已经将核心网下移纳入讨论范围,并推动移动边缘计算(MEC)的标准化。

核心网下移并云化后,MEC将分担核心网流量、运算压力,其数量会

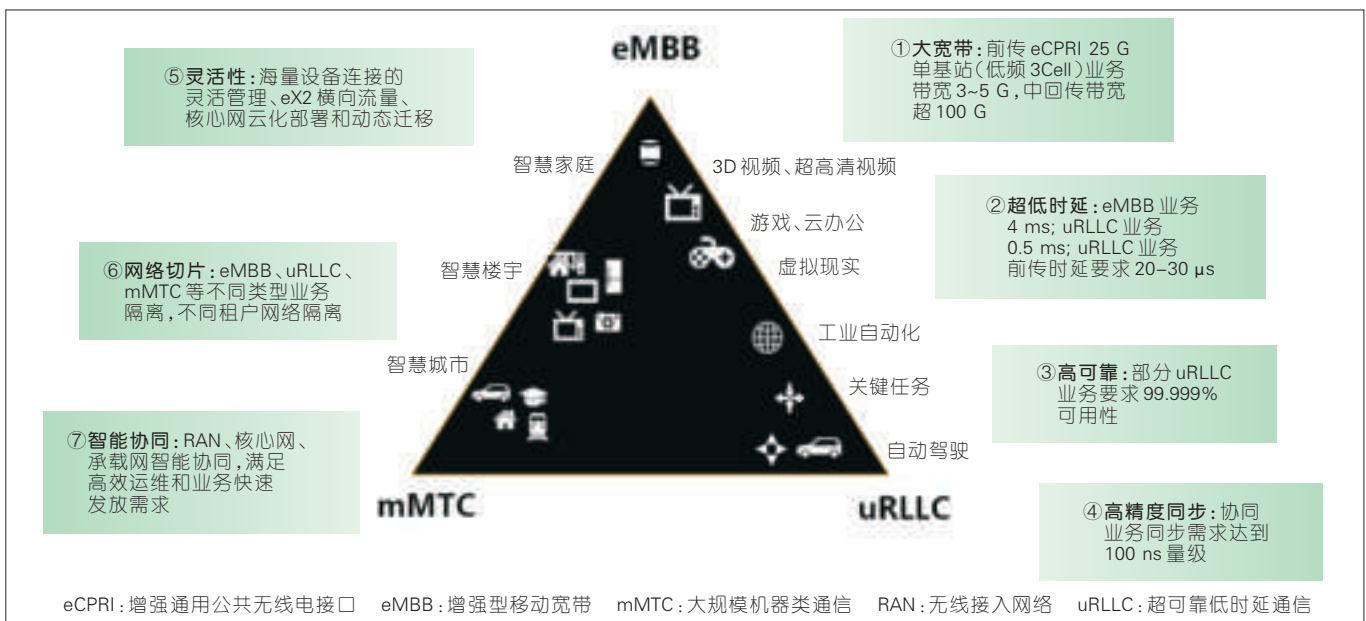


图2 5G承载网的挑战性需求

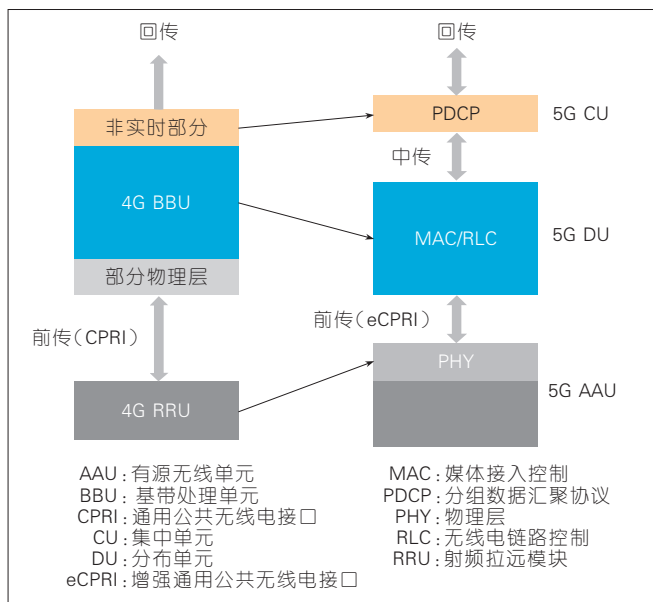


图3  
5G RAN功能模块的重构

不断增加。而不同的业务回传可能归属到不同的云上,因此需要承载网具备将不同业务通过CU归属到不同MEC的L3路由转发能力。而原来基站与每个演进的分组网(EPC)建立的连接也演进为CU到云(MEC)以及云到云(MEC到5G核心网(NGC))的连接关系。

综上所述,5G承载网在带宽容量、时延和组网灵活性等方面提出了新的需求。如何利用一张统一的承载网来满足5G不同业务的承载需求是承载网所面临的巨大挑战,具体包括:

(1) 5G网络带宽相对4G预计将有数十倍增长,导致承载网带宽急剧增加,25 G高速率将部署到网络边缘,低成本的25 G/50 G光模块和波分复用(WDM)传输是承载网的第1个挑战;

(2) uRLLC业务提出的1 ms超低时延要求不仅需要站点合理布局,微秒量级超低时延性能是承载设备的第2个挑战;

(3) 5G核心网云化、网络切片等需求导致5G回传网络对连接灵活性的要求更高,如何优化路由转发和控制技术,例如:引入分段路由(SR)、以太网虚拟专用网(EVPN)等新技

术,满足5G承载设备的成本限制和运维便利性需求,是承载网的第3个挑战。

### 3 5G 承载技术方案探索

首先,需要明确的是5G承载网不会是独立的存在,面向固移融合的发展趋势,5G承载网、光纤固定宽带网络、政企专线网络等势必统筹考虑,特别是在光纤光缆、机房等基础设施和传输承载设备方面,都需要考虑资源共享,降低成本。基础设施和基础网络共享是5G承载必须考虑的前提条件。

其次,虽然5G承载网逻辑上分成前传、中传和回传3部分,但是在实际网络部署中存在不同单元共机房部署甚至设备融合的场景,例如CU/DU合设、AAU/DU合设、AAU/DU/CU合设等。而且为了保证网络质量,不同业务的CU可能会部署在网络的不同位置。此外,5G承载网还需要考虑对4G甚至3G业务的后向兼容能力。

综上所述,5G承载技术方案必须考虑固移融合综合承载,满足3G/4G后向兼容,支持5G网络多样化部署等需求,而综合承载正是光传送网络的优势,因此大带宽光传送网络将在

5G承载中扮演重要角色。

#### 3.1 5G 前传承载方案探讨

5G前传对应DU和AAU之间的接口,在4G及以前通常采用通用公共无线电接口(CPRI),但是进入5G以后,若继续采用CPRI接口,带宽将达到300 Gbit/s以上,即使通过压缩,带宽也在100 Gbit/s左右,给前传带来的巨大的带宽和成本压力。为了解决此问题,业界定义了新的增强通用公共无线电接口(eCPRI),将带宽控制到了25 Gbit/s以内。eCPRI接口标准已于2017年8月底发布,目前中国市场主流无线设备厂商均计划采用25 G eCPRI接口。

5G前传对应DU集中部署,AAU拉远(C-RAN)和AAU和DU共址部署(D-RAN)两种场景。D-RAN场景相对简单,AAU和DU之间一般部署在塔上塔下,通常采用光纤连接,传输距离一般在100 m以内,少量场景在100~200 m之间,此时可以选用eCPRI接口,少量厂商为了保持CPRI接口的性能优势,也在努力开发低成本的100 Gb/s光模块,计划在D-RAN使用。

C-RAN场景对应的拉远距离通常在10 km以内,业界普遍认为将采用25 Gbit/s eCPRI接口。考虑成本和维护便利性等因素,5G前传将以光纤直连为主,局部光纤资源不去的地区,可通过设备承载方案作为补充。

对于5G光纤直驱方案,笔者强烈推荐采用25 G单纤双向(BiDi)光模块方案。该方案不仅可以节约50%的光纤资源,还可以是保证往返路由长度和时延的一致性,从而提高同步传输精度。5G前传光模块需求数量巨大,呼吁业界高度重视,尽快形成一致方案并推动标准化,加速相关器件产业链的成熟。

5G前传设备承载方案的思路是采用WDM技术节约光纤资源,包括粗波分复用(CWDM)和密集波分复用(DWDM)两种,设备形态包括无源

WDM、有源 WDM、波分复用无源光网络(WDM-PON)等。

不同的设备类型和 WDM 技术方案存在不同的特点和适用范围,后续将根据技术和设备发展情况进一步研究其应用场景。未来运营商实际部署可能存在较大的差异化。

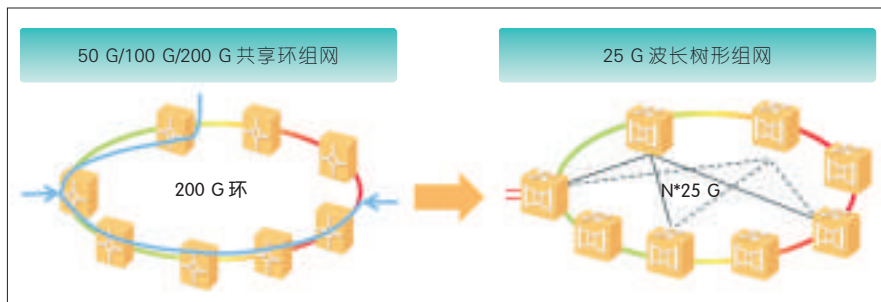
总之,5G 前传的设备承载方案的主要诉求是低成本和可维护性,业界还在寻找具有最高性价比优势的方案。

### 3.2 5G 中传/回传承载方案探讨

5G 不同业务的需求差异较大,例如:mMTC 物联网业务需要处理大连接需求,业务带宽和性能高要求较低,倾向于在核心网集中处理;而 uRLLC 业务由于时延等性能要求,核心网位置需要下移。因此 5G 核心网络的局部下移和云化将成为发展趋势,中/回传承载网络的结构存在多样性。

与前传一样,5G 中/回传首先需要解决的也是带宽问题,根据模型计算,工作在 3.5 GHz 频率和 100 MHz 带宽的 3 载扇单基站的中回传带宽需求将达到 3~5 Gbit/s。在 DU/AAU 合设或者 DU 小集中场景,DU 节点上行带宽将接近甚至超过 10 Gbit/s;而在 DU 大集中场景,DU 集中节点上行带宽可能接近 100 Gbit/s。这样的带宽需求已经接近甚至超过了光纤到户(FTH)宽带网络光线路终端(OLT)上联带宽需求,因此 5G 中/回传需要引入 WDM/光传送网(OTN)承载技术,采用 WDM 方式满足带宽和传输距离需求,并实现光层保护等质量保障措施。在业务层面尽量采用光层波长直达(即物理上采用环形组网,逻辑上是树形组网),有利于降低成本和功耗,同时波长直达方案减少了处理时延,优异的时延性能也满足了 5G 业务的低时延需求,如图 4 所示。

灵活性是 5G 中/回传网络的另一个重要需求。灵活性需求主要源于 3 个方面:(1)5G 网络的 eX2 等横向流



▲图 4 承载网从环形向树形组网演进示意

量相对于 4G 网络预计有明显增加。(2)DU 上联 CU、CU 回传的双上联、动态迁移等安全性需求。(3)核心网云化部署以后带来 CU 与 MEC、NGC 之间动态连接和动态迁移等需求。

5G 中/回传网络的路由转发功能实现有两种方式:(1)继续采用现有的基于 IP 的无线接入网(IPRAN)技术,此时为了满足 5G 对大容量的需求,IPRAN 需考虑引入 25 GE、50 GE 甚至 100 GE 等高速接口,在市县、县乡、城域核心层等区域还需要 WDM/OTN 网络为 IPRAN 提供大量波长连接。(2)OTN/WDM 方案在已经具备光通路数据单元(ODUk)硬管道、以太网/多协议标签交换传送应用(MPLS-TP)分组业务处理能力的基础上,进一步增强路由转发功能,以更加紧凑的设备形态和组网方案满足 5G 承载的灵活组网需求。

目前通信设备 L1/L2/L3 的交换功能都可以通过统一信元交换技术加以实现,因此在 OTN/WDM 设备上增强路由转发功能只需要配置相应的线卡即可,具有较强的技术可行性和成本优势。基于 OTN/WDM 方案的硬管道能力,业界正在研究通过简化和低成本的路由转发技术,在满足 5G 承载灵活性需求的同时,满足 5G 大规模部署对低成本的要求,例如:SR、EVPN 等新型路由和转发技术得到了较多的关注。

网络切片是 5G 的新需求,本质上网络切片就是对网络资源的划分和隔离。具体承载网对 5G 切片的支持,可以提供 L1 硬切片和 L2/L3 软切

片两个层次的网络切片承载方案。

## 4 结束语

5G 不仅仅是移动通信技术的升级换代,更是未来数字世界的驱动平台和物联网发展的基础设施,将真正创建一个全联接的新世界。对于运营商而言,5G 只是一种重要业务,承载网络必须考虑所有业务,包括 5G、固定宽带、云和政企专线等业务,提供统一的综合承载。

### 参考文献

- [1] ITU-R. IMT 愿景:5G 架构和总体目标:ITU-R M.2083[S]. Geneva: ITU, 2015:9
- [2] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 国家发展改革委办公厅关于组织实施 2018 年新一代信息基础设施建设工程的通知[R/OL]. (2017-11-27) [2017-12-05]. [http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201711/t20171127\\_867953.html](http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201711/t20171127_867953.html)
- [3] C114. 5G 时代即将到来 三大运营商是如何布局的[R/OL]. (2017-07-23) [2017-12-05]. <http://www.c114.com.cn/news/41/a1017303.html>

### 作者简介



李俊杰, 中国电信股份有限公司北京研究院网络研发与运营支持部副主任、教授级高工, 曾任中国通信学会青年工作委员会委员、国际标准组织 OIF 董事等职; 主要研究方向为光通信和光网络技术; 曾多次获得国家级和省部级科学技术奖励。



唐建军, 中国电信股份有限公司北京研究院光通信中心高级工程师; 主要研究方向为 5G 承载、量子通信、ROADM 等。



# 面向 5G 的传送网新架构及关键技术

## The New Architecture and Key Technologies for 5G Transport Network

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 01-0053-005

**摘要:** 面向 5G 的传送网面临大带宽、低时延、网络分片、灵活连接、高精度时间同步、组网架构变化等多方面的技术挑战。指出了分组传送网 (PTN)、基于 IP 的无线接入网 (IPRAN)、光传送网 (OTN) 等现有技术难以完全满足 5G 的长远需求, 灵活以太网 (FlexE)、灵活光传送网 (FlexO)、分段路由 (SR)、软件定义网络 (SDN) 等新技术为 5G 承载提供了新的选择, 基于 25 G 的光管芯也逐渐成为了高速光通信的基础。认为 5G 为新的传送网技术的引入提供了重要驱动和时间窗口, 并首次提出了将切片分组网 (SPN) 体系架构用作 5G 前传、中传和回传的统一承载, 同时还对其关键技术做了介绍。

**关键词:** 5G; 传送网; SPN

**Abstract:** The 5G oriented transport network faces many technical challenges, such as large bandwidth, low latency, network fragmentation, flexible connection, high precision time synchronization, and network architecture change. Current transport technologies, including packet transport network (PTN), IP radio access network (IPRAN), and optical transport network (OTN), are difficult to fully meet the long-term needs of 5G. New technologies including flexible Ethernet (FlexE), flexible OTN (FlexO), segment routing (SR), and software defined networking (SDN) have provided new choices for 5G transport. The 25 G-based optical chip has gradually become the basis for high-speed optical communications. 5G will provide an important driving force and time window for new transport technologies. The 5G transport network is divided into three scenarios, including fronthaul, mid-haul and backhaul, which unified by slicing packet network (SPN) architecture. In addition, the key technologies of SPN are introduced.

**Keywords:** 5G; transport network; SPN

李晗 / LI Han

(中国移动通信研究院, 北京 100053)  
(The Research Institution of China Mobile,  
Beijing 100053, China)

外, 随着移动边缘计算 (MEC) 的引入, 网络切片和核心网中将部署网络功能虚拟化 (NFV)。这种新模式将使传输网络成为云和数据中心之间的网状网, 而不再只是提供传输服务。因此需要新的传输技术和网络架构来适应 5G 时代的架构转型。

### 1.2 5G 移动传送网的超大带宽增长

一方面, 随着 4K 高清、增强现实 (AR)、虚拟现实 (VR)、物联网等业务快速增长, 流量急剧增长, 传送网络需要更大的带宽; 另一方面, 5G 基站的峰值带宽将增长 10 倍以上, 接口速率较 4G 将增长 10~100 倍。这些需求驱动移动传输网络引入新的比特率系统。在接入层, 比特率将从 100 M 提至 1 GE, 再到 50 GE/100 GE; 在汇聚层, 将从 10 GE 增长到 100 GE/400 GE, 在密集地区, 汇聚层峰值甚至可达到太比特量级。提高物理端口速率是选择之一, 更高效率的链路聚合也是很必要的补充技术。

### 1.3 5G 移动传送网中的严格低时延要求

第 3 代合作伙伴计划 (3GPP) 在超可靠低时延通信 (uRLLC) 场景中定义了多种服务, 主要特点是低误码

## 1 现有传送网技术无法完全满足 5G 传送网需求

面向 5G 承载的传送网面临多方面挑战, 如: 无线接入网络 (RAN) 架构变化、更高的带宽需求、更低的时延、网络分片、更高的时间同步等。现有技术包括: 分组传送网 (PTN)、基于 IP 的无线接入网 (IPRAN)、光传

送网 (OTN) 等都无法完全满足 5G 的需求, 需要新的技术体制<sup>[1-3]</sup>。

### 1.1 5G RAN 架构变化

在 3GPP 的 5G 标准中, 5G RAN 从功能角度划分为了集中单元 (CU) 和分布单元 (DU) 两级架构, 传送网也相应分为前传、中传、回传, 并且所需传送功能及业务需求各不相同<sup>[4]</sup>。同时由于 CU 与 DU 是逻辑网元, 可分开或一体化部署, 所以中传、回传并没有严格的物理界限, 需统一承载。此

收稿日期: 2017-12-10  
网络出版日期: 2018-01-12

率、低延迟和确定性延迟。这些时间敏感业务可能需在移动传送网中保持亚毫秒级时延。因此,5G传送网时延要求越来越苛刻,较4G需降低10~100倍。尽管可挖掘出现有设备/芯片的所有潜力,但现有传输技术的上限还无法满足这类业务的需求。

#### 1.4 网络灵活性需求

5G核心网网关(GW)下沉、MEC下沉、物联网GW下沉;另外,5G转变为以云为中心进行网络构架,网络流量流向转为多点到多点。因此要求5G传送网能够提供灵活连接。

#### 1.5 5G移动传送网网络切片需求

5G传送网需要支持无线、集客、家庭宽带上联等业务,同时需支持增强型移动宽带(eMBB),大规模机器类通信(mMTC)和uRLLC多种业务类型,这些业务具有不同特性,如:时延、带宽、连接数量、可靠性等。网络应根据不同服务的特点提供隔离、功能剪裁及网络资源分片,且每个网络切片可拥有独立的网络资源和管控能力,现有技术无法实现这些功能。

#### 1.6 5G传送网超高精度时间同步需求

4G基站间时间同步精度要求是 $\pm 1.5 \mu\text{s}$ ,5G如果考虑基本空口需求,超短帧情况下,时间同步精度需求预计在 $\pm 390 \text{ ns}$ ;考虑基站间协作化等增强属性不在全网要求,预计在 $\pm 130 \text{ ns}$ 左右;考虑局部5G支持的新业务(如基站定位),预计在 $\pm 10 \text{ ns}$ 左右。相比3G/4G,时间同步精度需求提高10倍以上,现有同步技术无法满足。

## 2 SPN技术架构更适合5G传送网应用

### 2.1 5G传输网端到端架构

5G标准提出了CU和DU的分离,使得传送网络分为3部分:前传网络(Fronthaul,即远端射频单元(RRU))

到DU之间的网络)、中传网络(Mid-haul,即DU到CU之间的网络)、回传网络(Backhaul,即CU到核心网之间的网络),如图1所示。这3部分可以根据业务需求动态地定位到网络中,而每个部分对时延、带宽等都有不同的要求。CU和DU的两级架构,从应用场景以及部署场景来看,前传、中传、回传网络在地理位置上是相互重叠的,光纤和机房资源是共享的,且面向分组的网络是首选,这3个部分网络的实现可采用统一的具有分片功能的传输技术来实现,以满足其对带宽、时延以及业务模型等方面的需求。针对前传、中传以及回传网络,采用相同的传输技术,有助于灵活地进行端到端业务的统一控制、管理与维护。

在5G部署初期基站为低频段组网, CU和DU采用合设的方式, RRU采用分离方式;在热点区域部署高频站进行覆盖, CU与DU会采用分离的方式以实现统一锚点。在5G部署后期时,会采用高频站组网,传统DU与RRU之间增强通用公共无线电接口(eCPRI)不能满足流量需求,因此DU与RRU采用合设的方式, CU可采用小集中或大集中的方式。

#### (1)前传网络

前传网络是RRU和DU之间的网络,是5G移动传输网络的一部分。前传网络符合低延迟要求,且支持eCPRI。由于每个RRU只属于一个DU,因此采用点对点的业务模型。

由于DU距离RRU较近,主要采用光纤直驱的方式,少量采用有源设备的方式。RRU和DU之间的距离在2~5 km之间。

#### (2)中传网络

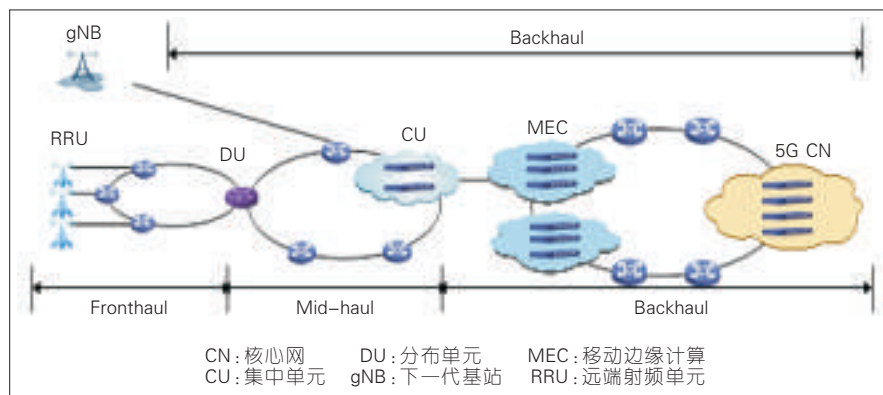
中传网络是指DU与CU之间的网络,也是5G移动传输网络的一部分。中传网络为非实时业务提供合理的低时延,并且支持统计复用。在CU集中部署时,需要考虑负载分担以及容灾需求,因此DU与CU之间需要支持多点到多点业务模型。设备调制之后对中传网络会有统计复用需求,与回传网络的需求类似。DU和CU之间的距离大约是在10~40 km之间。

#### (3)回传网络

回传网络是指CU与核心网之间的网络,是5G移动传送网络的一部分。密集波分复用(DWDM)技术是满足日益增长的带宽需求的可行性技术。在5G时代,MEC需要部署到CU这一侧,因此要求回传网络能够提供灵活的网络连接,并支持统计复用,其采用的是点对多点的业务模型。CU与核心网之间的距离可能大于80 km。

### 2.2 5G传输网优选SPN技术架构

目前,业界主要有3种面向5G承载的技术方案,分别为:L3 OTN/升级PTN/IPRAN over OTN、切片分组网(SPN)。L3 OTN方案通过改造OTN支持灵活光传送网(FlexO)功能,实



▲图1 5G传送网架构

现灵活带宽能力,并新增 L3 功能,包括统计复用、横向转发、虚拟专用网(VPN)等,满足 5G 对高效和灵活连接的需求,新的 OTN 方案需要新芯片满足低时延和高精度时间同步需求。升级 PTN/IPRAN over OTN 方案是通过两套设备来满足新的需求,同时为满足大容量、低时延、高精度时间同步,PTN、IPRAN 和 OTN 都要求新平台,新设备,并通过硬件升级支持灵活以太网(FlexE)、分段路由(SR)、软件定义网络(SDN)。SPN 融合以太网和时分复用(TDM)技术优势,既保证高效承载,又保证安全性和业务质量,支持切片能力;同时引入面向传送的分段路由技术(SR-TP)和 SDN 实现新型动态路由能力;并在新的光层技术实现中长距离的成本优化。3 种方案都需要芯片,设备方面的革新,并非简单升级就能支持。通过分析,方案的 SPN 是基于通用的以太网网络进行 TDM 切片创新,通过支持面向传送的以太网分片技术(SE-TP)实现连接,交换和监测等方面高效传输,并新增 SR-TP 支持灵活连接和 SDN 统一管控,能满足端到端 5G 传输要求。SPN 基于高性价比的以太网产业创新构建,通过一套设备实现传输,满足多样传输需求,更易于管控运维,同时兼容已有的 PTN 传输网络,是满足 5G 传输的优选方案。

### 3 SPN 融合多项创新技术 形成新一代传送网体制

针对上述 5G 传输网络面临的挑战,SPN 系统在带宽、时延、灵活连接、分片、时间同步和统一管控上采用了多项创新关键技术,能够满足 5G 业务要求。

#### 3.1 切片分组网架构

SPN 采用创新的以太网分片技术(SE)和 SR-TP 技术,并融合光层 DWDM 技术的层网络技术体制。SPN 总体结构见图 2,层次包括:

切片分组层(SPL):实现分组数据的路由处理。

切片通道层(SCL):实现切片以太网通道的组网处理。

切片传送层(STL):实现切片的物理层编、解码,以及 DWDM 光传送处理。

#### 3.2 切片分组网关键技术

##### 3.2.1 大带宽技术

根据 5G 频谱(100 M, 64T/64R)对基站带宽需求测算,接入环带宽达到 25 G 以上,汇聚环接近 80 GE,核心环带宽超过 110 G,对新型以太网端口的需求越来越高。对于 5G 传输网,大部分接入环带宽需升级到 50 GE,少部分甚至需要提升到 100 GE,汇聚环会出现超 100 GE 的需求,核心环需要  $N \times 100$  GE 或者  $N \times 200$  GE,甚至  $N \times 400$  GE 等更大的带宽。因此,核心和汇聚层需引入彩光方案,接入层考虑采用高速的灰光接口技术。

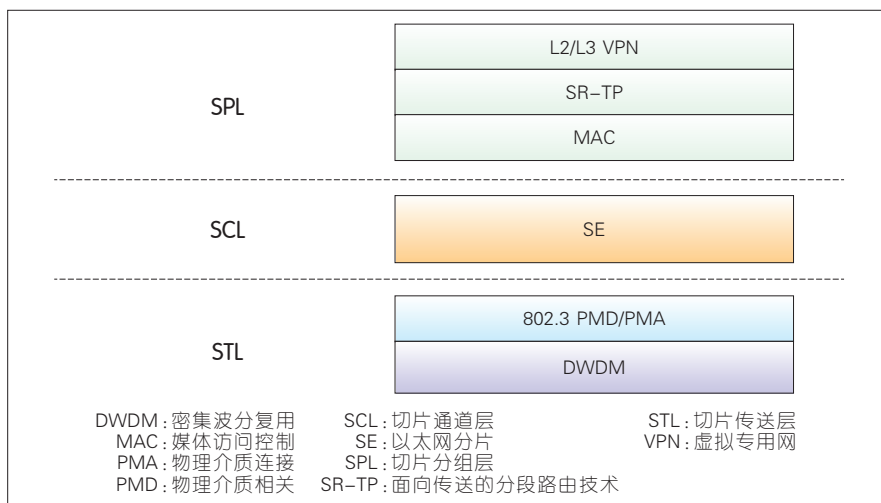
对汇聚核心层的传输通路,考虑使用彩光方案,基于 25 G/50 G 非相干 DWDM 和 100 G/200 G 相干 DWDM 的技术,可根据性价比选择。接入层考虑灰光方案,使用 50 GE 的 4 级脉冲幅度调制(PAM4)或者 100 GE 的 PAM4 满足带宽需求。对于前传,在光纤受限时,可考虑简化的基于波分

复用(WDM)的 SPN 设备,实现多业务、多接口的汇聚,实现前传、中传和回传的统一承载。

目前高速以太网端口基本光管芯分为单波 10 G 非归零码(NRZ)和 25 G NRZ 两种。基于 10 G 光电器件平台,主要有 10 GE 和 40 GE 两种以太网接口。下一代的 ETH 端口将基于 25 G 光电器件平台,实现 25 GE 端口,并通过 PAM4 电调制和前向纠错(FEC)实现 50 G/Lane 的数据端口,由于 PAM4 与 FEC 技术均使用电层技术实现,50 GE 接口单吉比特性价比优于 25 GE 接口。同样在 50 GE 的基础之上,使用  $2\lambda$ 、 $4\lambda$  模式,实现 100 GE、200 GE 接口光模块,其中 200 GE 的成本构成与 100 GE 的相当,单吉比特性价比则优于 100 GE。而对于 400 GE,总共使用  $8\lambda$ ,实现 400 GE 光模块。

##### 3.2.2 低时延技术

5G 的 uRLLC 业务和 CU/DU 的部署都对时延提出了新的挑战。传输网络的时延,主要由两部分组成:设备时延和设备间的光纤传输时延。设备时延是指设备转发数据时产生的时延,光纤传输时延是与传输距离相关。设备转发时延通过使用新的 SPN 实现,在物理层上基于时隙进行转发处理,能大幅降低设备处理时



▲ 图 2 SPN 分层架构

延,并且通过使用大速率接口组网,从现在的 GE/10 GE 到 50 GE/100 GE/400 GE,增加了设备的转发速率,降低了时延。光纤传输时延的降低主要通过降低光纤链路的长度来实现,包括了 MEC 或者 GW 部署位置下沉使得业务端到端的距离减少,并且在转发调度层面通过 SDN 的全局智能管控,实现最短路径的查找,使光纤传输距离降低。

### 3.2.3 灵活连接技术

对于 5G 业务来说,流量流向更趋多样化,不仅有传统的南北向流量,东西向流量也会更加的普遍和重要,因此需要灵活连接技术来满足。SR 是一种隧道技术,SR-TP 引入了面向连接的隧道技术,提升了 SR 通道的管控能力,实现电信级的操作维护管理(OAM)和保护。SR 隧道通过首节点的标签栈来控制网络中的传输路径,基于 SDN 控制器算路,各转发设备通过内部网关协议(IGP)收集域的 SR 信息,再结合 IGP 拓扑信息,通过边界网关协议-域内链路状态(BGP-LS)发给 SDN 控制器,计算出到达各转发设备的 SR 转发表项并下

发至转发设备,通过配置隧道策略,将流量封装入 SR 隧道转发。

### 3.2.4 网络分片技术

5G 的 3 种典型业务以及专线、家宽等多样性的业务要求其提供不同类型的管道,通过硬管道分片和软管道分片的结合,可以更好地满足业务要求。

传输网络需要支持硬隔离和软隔离,基于 SPN 的 SE 技术,在转发层面提供了一条基于时分链路的硬隔离管道,加上传统的 VPN 与服务质量(QoS)结合实现的软隔离管道,实现不同纬度的网络转发分片支持。网络分片要求网络实现业务端到端的隔离,从管理面、控制面到转发面实现隔离,并利用协同器 O 将无线、核心网及传输联动起来。

### 3.2.5 超高精度时间同步技术

5G 无线空口对于时间同步提出更高要求,对于传输网提出了±200 ns 的时间同步要求,因此这要求时间服务器和终端时延精度达到±50 ns,设备时延精度达到±5 ns。

高精度时间同步主要包括超高

精度时钟源和超高精度的时间传送技术。

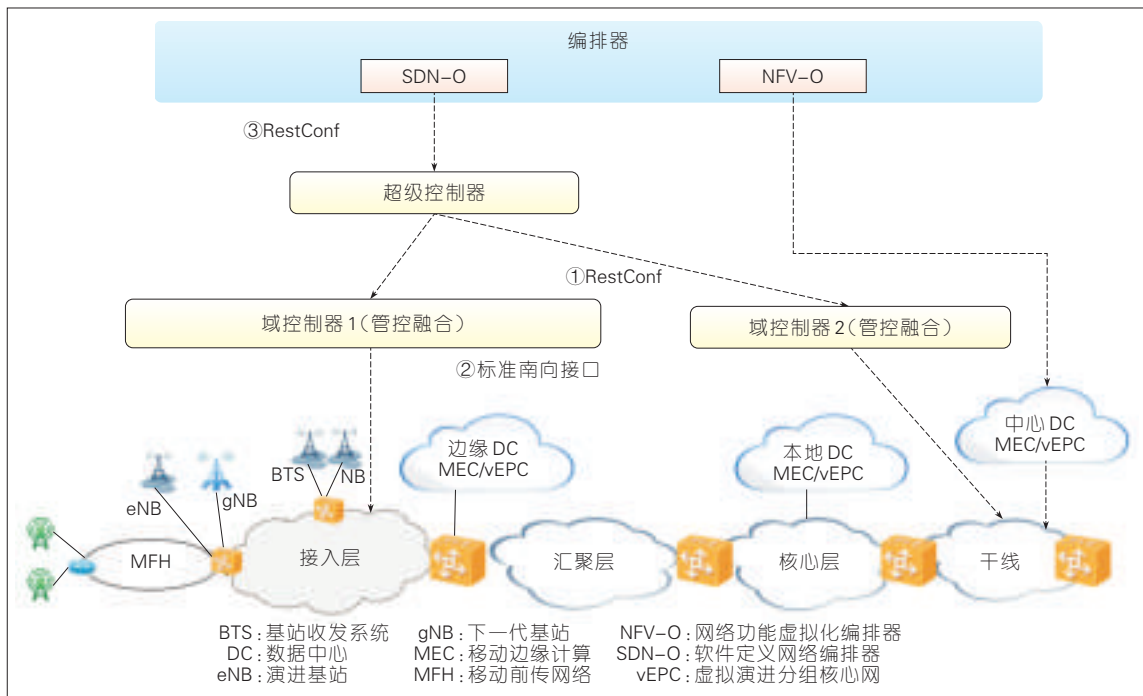
超高精度时钟源包括:(1)卫星接收技术。通过共模共视或者双频段接收等降低卫星接收噪声,拟在近期进行测试验证,需要升级卫星接收模块。(2)高稳定频率源技术。单一时钟过渡到时钟组,提高丢失卫星的时间保持精度,目前正在研究开发铷钟组方案。

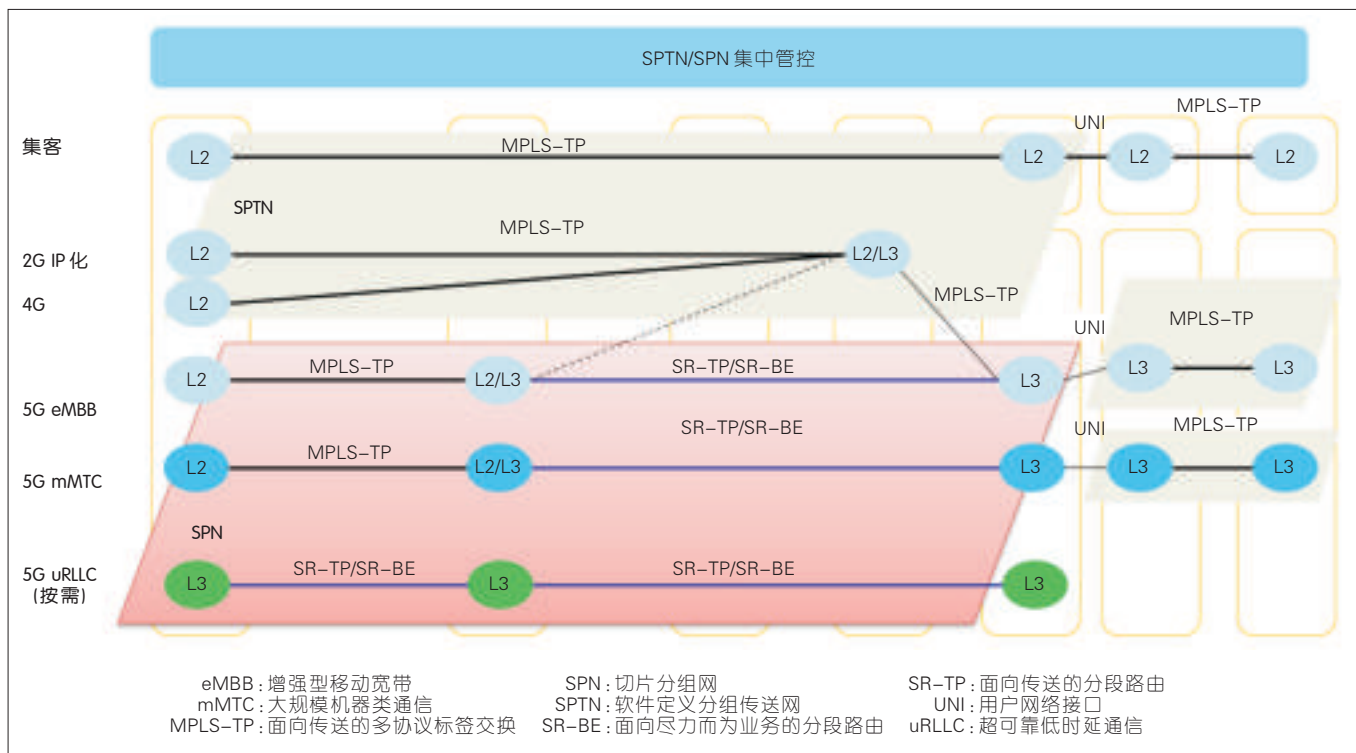
时间服务器跟踪卫星,性能可从 100 ns 提升到 30 ns。超高精度的时间传送技术通过优化接口时间戳处理,1588 时间同步协议演进和单纤双向改进链路对称性来改进设备的传输时间同步精度。

### 3.2.6 SDN 统一管控技术

SDN 统一管控是 5G 传输的必选项,并将纳入到整个编排管理中,实现南向、北向接口开放。

SDN 可以概括为网络集中控制、设备转发/控制分离和网络开放可编程。如图 3 所示,SDN 定义了业务协同层、网络控制层和设备转发层的 3 层架构,提升网络可编程能力,标准的南向和北向接口实现全网资源高





▲ 图 4 5G 传送网技术部署

效调度,提供网络创新平台,增强网络智能。

域控制器分别管控一个域内的设备和连接,域之间通过超级控制器来管理调度,再通过协同器实现不同领域的业务编排以及业务端到端的管控。

#### 4 SPN 可与 PTN 构建互联互通网络实现 4G/5G 融合组网

SPN 和 PTN 都是基于以太网数据包传输的网络架构,SPN 基于以太网技术进行增强和完善,主要包括:以太网层引入切片以太网技术 SE-TP,转发层采用灵活的分段路由技术 SR-TP,控制层采用 SDN,同时引入大带宽的以太网接口,进行更高精度的时间同步。

如图 4 所示,面对 5G 需求,需要

新建 SPN 平面来为 5G 的所有功能提供承载服务,同时为支持 4G/5G 业务协同,SPN 需要能和 PTN 进行融合组网。在转发层面,SPN 和 PTN 通过 L3 层 VPN 互通,实现业务层面的互联互通。在控制面升级支持 SPN 与软件定义分组传送网(SPTN)的控制器,以实现跨 PTN 与 SPN 的资源调度及协同。

#### 5 结束语

下一代网络的发展对于传输网络提出了新的需求和挑战,需要新的传输体制。SPN 是面向 5G 的新传输网技术体制,其转发面基于 SR-TP over SE over DWDM,控制面采用 SDN,分别在物理层、链路层和转发控制层采用创新技术,同时在光层采用低成本高速模块,能够满足 5G 及未来传输网络需要,是更适合的 5G

传送网技术。

#### 参考文献

- [1] 李正茂. 通信 4.0[M]. 北京: 中信出版社, 2016
- [2] 5G 网络架构白皮书[R]. 北京: IMT2020 推进组, 2016
- [3] NGMN 5G White Paper V1.0[R]. Frankfurt: NGMN Alliance, 2015
- [4] 3GPP Release 14. Study on New Radio Access Technology: Radio Access Architecture and Interfaces: TR 38.801[S]. 3GPP, 2017

#### 作者简介



李晗,中国移动通信研究院教授级高工,国家中青年科技创新领军人才;从事光通信领域策略、标准和技术研发工作,研究方向包括 PTN、OTN、PON 和时间同步等;曾获得国家科学技术进步奖二等奖 2 次,中国专利优秀奖 2 次,省部级科学技术一等奖 2 次、二等奖 1 次;已发表论文 50 余篇,授权专利 34 项,提交国际文稿 100 余篇。

# 面向5G承载的网络切片架构与关键技术

## Architecture and Key Technologies of 5G Transport Network Slicing

王强 / WANG Qiang<sup>1,2</sup>

陈捷 / CHEN Jie<sup>1,2</sup>

廖国庆 / LIAO Guoqing<sup>1,2</sup>

(1. 中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057;

2. 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室, 广东 深圳 518057)

(1. ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China;

2. State Key Laboratory of Mobile Network and Mobile Multimedia Technology, Shenzhen 518057, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 01-0058-004

**摘要:** 5G承载网作为基础网络,面临着大带宽、低延时、灵活连接、高精度时间同步和网络切片五大挑战。提出了面向5G承载的网络切片分层架构,并对涉及的软件定义网络(SDN)控制面切片、基于灵活以太网(FlexE)的转发面硬切片、承载设备切片与虚拟化技术、5G业务的端到端切片编排等关键技术进行了研究。

**关键词:** 5G承载网;网络切片;硬切片;软切片;FlexE

**Abstract:** As the basic network, 5G transport network is considered to face five major challenges, such as wide bandwidth, low delay, high-precision synchronization, flexible connection, and network slicing. In this paper, a layer network slicing architecture for 5G transport network is proposed, and some key technologies including soft-defined network (SDN) control plane slicing, flexible Ethernet (FlexE) - based data plane hard slicing, transport device slicing and virtualization, and E2E slicing orchestration for 5G services are studied.

**Key words:** 5G transport network; network slicing; hard slicing; soft slicing; FlexE

### 1 5G承载网络切片需求

5G业务呈现出多场景、差异化的特点,如:移动上网业务聚焦带宽,自动驾驶业务需要低延时和抖动保障,工业控制对可靠性要求苛刻,物联网业务要支持巨大的连接数量<sup>[1]</sup>。对此,5G的无线接入网和核心网都进行了功能重构,根据业务类型改变设备处理单元的物理部署位置,并通过切片在同一物理网络对不同业务构建独立的端到端逻辑网络<sup>[2]</sup>。

5G承载网是5G端到端业务路径的一部分,必须满足多场景下不同业务需求,同时5G是一个开放网络,可以提供面向垂直行业和租赁业务的应用需求,在此场景下要求承载网络支持5G分片网络的业务隔离和独立运维需求,为不同类型的业务分配不同类型的承载网分片,每个承载网分片象一个独立的物理网络一样。

如果我们为每种业务服务建立一个专用网络,成本是无法想象的。网络切片技术可以让运营商在一个

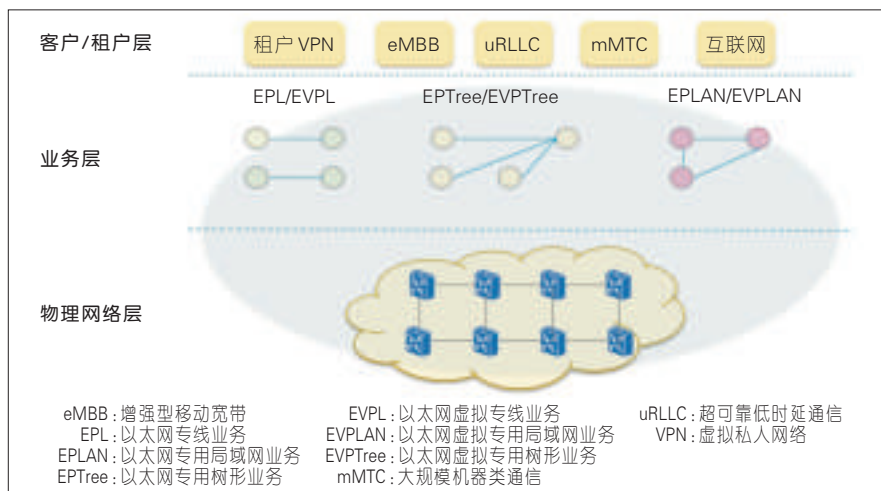
硬件基础设施中切分出多个虚拟的端到端网络,每个网络切片在转发面、控制面、管理面上实现逻辑隔离,适配各种类型服务并满足用户的不同需求。对每一个网络切片而言,网络带宽、服务质量、安全性等专属资源都可以得到充分保证。由于切片之间相互隔离,一个切片的错误或故障不会影响到其他切片的通信。每个切片内的资源可以由租户自行管理。

### 2 承载网络切片分层架构

传统的承载网网络可分为客户/租户层、业务层、物理网络层,如图1所示。即在物理网络上直接部署业务,如各种以太网专线业务(EPL)/以太网虚拟专线业务(EVPL)、以太网专用局域网业务(EPLAN)/以太网虚拟专用局域网业务(EVPLAN)、以太网专用树形业务(EPTree)/以太网虚

拟专用树形业务(EVPTree)等,形成业务层,从而满足上层的客户租户业务(例如5G业务)的传送需求。在这种架构下,业务层的各种业务共享物理网络的资源,没有隔离机制,存在资源竞争的问题,并且在管理和控制上也难以实现按照不同业务场景(如5G各种业务)、不同客户/租户等情况下的按需隔离。不能满足未来5G业务承载的精细化管理、控制。因此,5G承载网引入了网络切片技术。

承载网网络切片是通过对网络的拓扑资源(如链路、节点、端口及网元内部资源)进行虚拟化,按需组织形成多个虚拟网络(vNet),即切片网络。在物理网络层之上构建虚拟网络层,从而形成客户/租户层、业务层、虚拟网络层、物理网络层的分层架构,如图2所示。vNet具有类似物理网络的特征,包括独立的管理面、



▲ 图1 传统承载网网络架构

控制面和转发面,各vNet之上可独立支持各种业务。切片后,承载于虚拟网络上的业务看到的就是虚拟网络,对实际物理网络不感知,实现了业务与物理网络资源的解耦。

进一步,通过虚拟网络的递归切片可以支持虚拟运营商、子运营商的运营,以及网络二级租赁等业务。

承载网络切片具有以下特性。

- 按需网络重构:通过虚拟化形成的vNet切片网络在网络拓扑、节点能力方面可以根据业务需求进行重构。每个切片网络具有各自特定的带宽、时延等指标,及生命周期。不同切片网络彼此隔离,拥有各自独立

的拓扑结构、网络资源,从而满足不同的5G业务承载需求。

- 切片网络和物理网络具有相似性:类似于物理网络,切片网络同样向上层业务提供网络资源,屏蔽了切片与物理网络的差异。EPL/EVPL, EPLAN/EVPLAN等业务可直接部署在切片网络之上,就如同部署在物理网络之上一样。

- 业务层与物理网络解耦:业务是建立在vNet切片网络之上,从而业务层与物理网络层解耦,简化了业务的部署,有利于网络的管理和运维。

- 切片网络的转发面隔离:不同切片网络的转发面彼此隔离,而隔离

性取决于采用不同的转发面切片技术。例如:基于Layer 1交换的灵活以太网(FlexE)通道的切片就具有刚性隔离性,称为硬切片;而基于分组交换的传送特性的多协议标签交换(MPLS-TP)通道或分段路由(SR)通道的切片则具有统计复用特性,非刚性隔离,称为软切片。

- 切片网络的控制&管理面隔离:不同切片网络的控制&管理面彼此隔离。

- 切片网络的业务隔离:不同切片之上的业务彼此隔离。

可见,切片网络vNet具有类似物理网络的特征,具有独立的管理面、控制面和转发面,不用业务应用可部署在不同的虚拟网络上,从而满足未来5G差异化的业务特性以及子运营商等的业务租赁的需求。

各网络切片能加载不同的应用协议,支持独立部署和升级。通过切片生命周期的管理,可实现业务的快速部署开通,资源的共享和灵活调度。由于网络切片简化了网络规模和拓扑,也使运维管理更便捷、高效。

### 3 承载网络切片关键技术

#### 3.1 基于SDN的控制面切片

SDN实现了控制面和转发面的

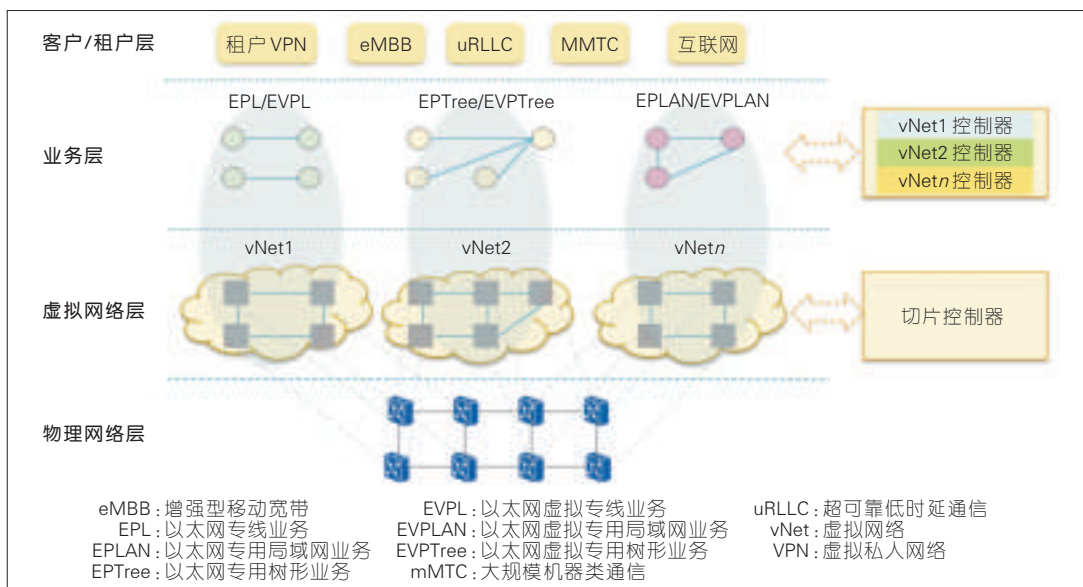


图2 承载网络切片分层架构

解耦,使得物理网络具有了开放、可编程特征,支持未来各种新型网络体系结构和新型业务的创新<sup>[3]</sup>。控制平面完成网络拓扑和资源统一管理、网络抽象、路径计算、策略管理等功能,借助SDN控制面可将物理转发资源抽象成虚拟的设备节点、虚拟的网络连接,并根据策略将这些虚拟资源进行分组管理,形成独立的逻辑切片<sup>[4]</sup>。

我们提出实现网络切片/虚拟化的一种特殊软件定义网络(SDN)控制器,即切片控制器,如图2所示。切片控制器负责完成物理网络的虚拟化,按需形成逻辑独立的虚拟网络,即切片网络vNet,并负责vNet虚拟资源到物理网络资源的映射,并将vNet资源信息暴露给vNet控制器。

基于切片的业务与物理网络完全解耦,切片控制器可便捷完成vNet对应的物理资源的迁移、调整或扩容,而vNet上的业务对物理网络不感知,业务不受影响(或短暂影响)。

业务层的vNet控制器是vNet资源的使用者,只能看到分配给自己的vNet资源,支持图形方式呈现虚拟网络资源和拓扑,可以在自己的vNet上创建各种业务(如:L2VPN、L3VPN),并负责业务生命周期控制,与基于物理网络的业务控制类似。每个vNet对应一个独立的vNet控制器,支持vNet间控制面和管理面的隔离。

### 3.2 基于FlexE的转发面切片技术

承载网转发面的切片技术可分为软切片技术和硬切片技术。软切片是在二层(Layer 2)或以上,基于统计复用的切片技术,如:基于多协议标记交换协议(IP/MPLS)的隧道/伪线技术,基于虚拟专网(VPN)、虚拟局域网(VLAN)等的虚拟化技术。硬切片是在一层(Layer 1)或光层,基于物理刚性管道的切片技术,如:FlexE技术<sup>[5]</sup>,光传送网(OTN)技术,波分复用(WDM)技术等;在实际应用中,也可以采用混合硬切片、软切片的方案,硬切片方式保证业务的隔离安

全、低时延等需求,软切片方式支持业务的带宽复用。

FlexE可以实现基于物理层的切片转发,提供刚性管道隔离,实现带宽灵活分配。中兴通讯创新性地引入了FlexE Switch,操作管理维护(OAM)和保护这3个关键技术,成功的把FlexE扩展成了一个网络级的技术,即FlexE通道技术。基于FlexE Switch创建的FlexE通道可形成切片网络内部虚拟网元(vNE)之间全新的虚链路(vLink),从而实现切片网络拓扑重构,如图3所示。

FlexE通道将业务隔离从端口级扩展到网络级,可对不同业务实现端到端子信道隔离,为5G承载网络切片提供最佳转发面支撑。基于FlexE通道技术的保护倒换能做到1ms以内,把电信级保护提升到了工业控制级。针对超可靠低时延通信(uRLLC)业务,采用FlexE通道技术,解决了波长穿通方案业务颗粒度过大、承载效率偏低,以及软切片技术时延偏大、无法物理隔离的问题。

对于不同业务的差异化需求,综合考虑成本、安全、运营管理等因素,可以灵活选择网络、设备或者转发面切片。基于SDN控制面,可依据端口、VPN、VLAN、FlexE通道等不同资源进行切片,以满足5G不同业务场景在时延、带宽等方面的业务需求。

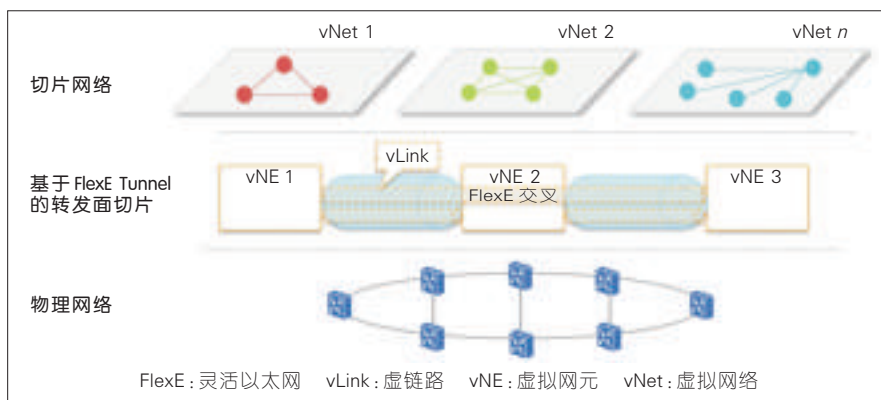
### 3.3 承载设备切片与虚拟化技术

转发面的切片包括端口、服务质

量(QoS)资源、转发面表项等的隔离,而端口隔离包括物理端口或FlexE子端口隔离,QoS隔离包括带宽、队列和Buffer等的隔离,转发面表项隔离包括媒体接入控制(MAC)表、路由表、标签表、下一跳表、流分类表等的隔离。在转发面切片的基础上,同时对网元内部的计算、存储等资源进行切片/虚拟化,就形成了虚拟网元(vNE),称为设备切片。如图4所示,切片网元之间,在支持软件资源的隔离基础上,支持管理控制通道和配置的隔离,支持切片部署和升级的独立性。因而切片网元具有物理网元的类似特征,包括了各自独立的转发面、控制面、管理面,在设备切片的基础上可以支撑更高层的网络切片。

## 4 5G业务的端到端切片编排

对于5G业务端到端的网络切片,需要无线网络、核心网和承载网共同配合完成,如图5所示。可根据无线业务的带宽、时延等属性对承载网的切片进行定义;并根据实际情况,灵活选择无线业务的VLAN、可扩展虚拟局域网(VxLAN)的虚拟网络标识(VNI)、业务IP的DSCP等进行无线接入网(RAN)的业务和承载网的切片之间的映射。RAN、核心网、承载网三者之间的协同通过基于SDN/网络功能虚拟化(NFV)架构的切片编排器完成,层次化的SDN控制器和vNet控制器,负责承载网的切片



▲图3 FlexE通道技术方案



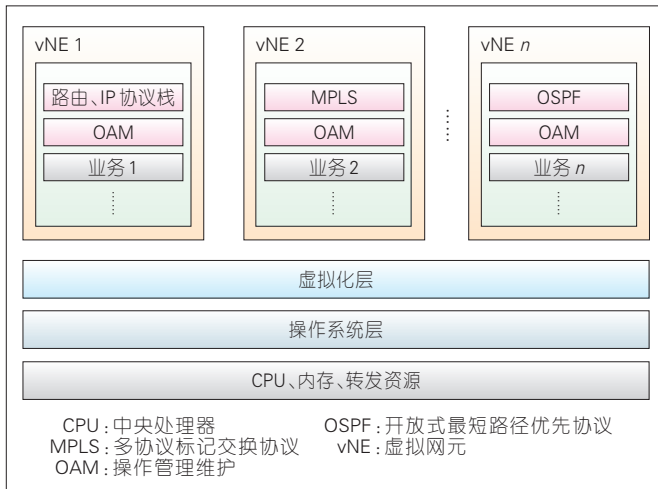


图4 设备切片基本架构

和业务控制，软件定义网络编排器（SDNO）完成跨域的承载业务编排；网络功能虚拟化编排器（NFVO）和虚拟化网络功能管理（VNFM）完成无线及核心网的资源编排和业务编排。而全局编排器完成无线和承载之间跨域的业务协调和编排，从而实现5G业务的端到端切片，并通过各切片的不同功能属性满足5G业务的差异化需求。

### 5 结束语

通过承载网络的切片，可以基于统一的物理网络设施提供多个逻辑网络服务，以满足不同行业客户或者特定场景的差异化需求，实现资源共

享、业务快速上线。在保证业务性能及安全隔离的前提下，可以实现承载网络资源共享和灵活调度，以及独立的子网管理，并减少运营商承载网络建设的投入。

相比4G、5G的重点是服务于行业应用，从而帮助运营商开拓行业市场、扩展收入渠道。未来的5G网络将会实现灵活的云化业务部署，定制化的安全、路由、计费策略，并且可以很快捷地为垂直行业用户提供从无线、承载到核心网端到端的网络切片，方便行业用户直接管理和运维虚拟网络。垂直行业用户具备较强的排他性，未来的行业市场争夺会变得非常激烈，运营商的网络应提早做好

准备。

#### 参考文献

- [1] 5G White Paper V1.0[R]. Germany: NGMN, 2015
- [2] Study on Architecture for Next Generation System: TR23.799[S]. France: 3GPP, 2016:12
- [3] SDN Architecture: TR-521[S]. USA: ONF, 2016:2
- [4] Applying SDN Architecture to 5G Slicing: TR-526[S]. USA: ONF, 2016:4
- [5] Flex Ethernet Implementation Agreement: OIF-FLEXE-01.0[S]. USA: OIF, 2016:5

#### 作者简介



王强，中兴通讯股份有限公司承载网产品线规划总工；中兴通讯PTN项目主要负责人之一，曾先后担任SDH/MSTP、PTN、5G承载项目总监，规划部部长等职务。



陈捷，中兴通讯股份有限公司承载网标准总工；曾先后从事研发、项目管理、产品规划工作。



廖国庆，中兴通讯股份有限公司承载网产品线规划经理。

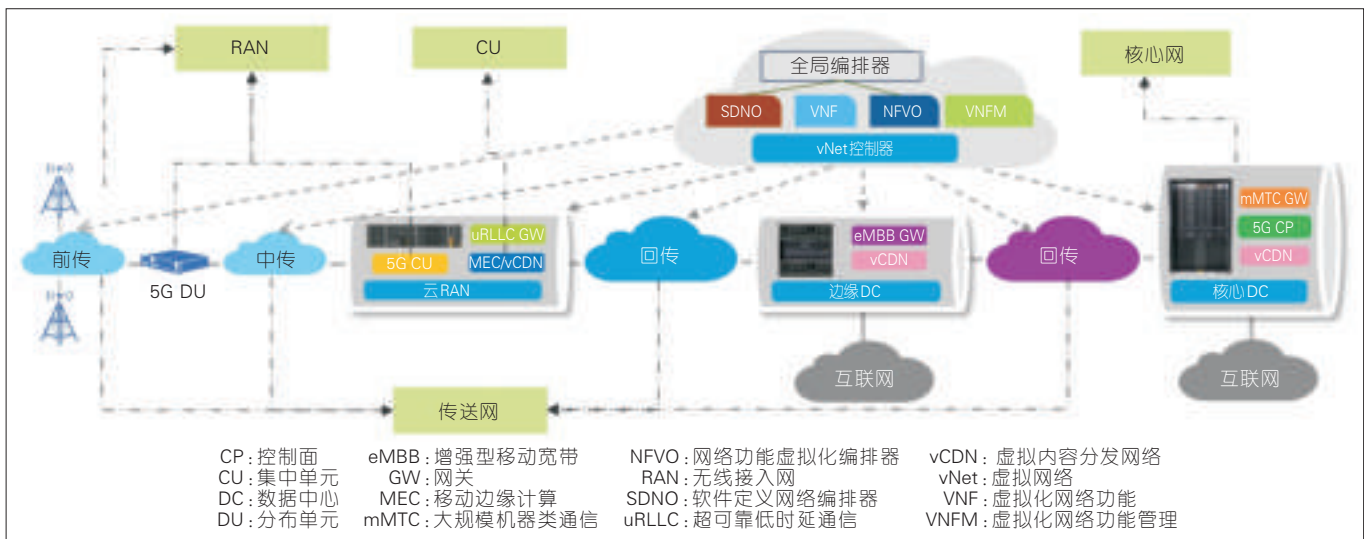


图5 承载网与无线、核心网切片的协同

# 5G 传送标准进展

## Standardization Progress of 5G Transport

张源斌/ZHANG Yuanbin  
杨剑/YANG Jian  
占治国/ZHAN Zhiguo  
周严伟/ZHOU Yanwei

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳  
518057)  
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

### 1 5G 传送标准化需求研究进展

5G 时代,无线接入网(RAN)功能新的划分,以及低时延、大带宽、高可靠性、灵活管控、泛在连接、支持网络切片等需求对传送网提出了新的挑战。随着 5G 无线标准研究的深入,5G 传送的标准研究工作也迫在眉睫。5G 传送相关的技术和标准涉及多个标准组织,包括:国际电信联盟电信标准化部(ITU-T)、电气与电子工程师协会(IEEE)、光互联论坛(OIF)等。

ITU-T SG15 研究 5G 传送的需求和解决方案,是 5G 承载标准研究的主战场。2017 年 6 月,在瑞士日内瓦召开的 ITU-T SG15 全会上,正式通过了《支持 IMT-2020/5G 的传送网(Transport network support of IMT-2020/5G)》(GSTR-TN5G)技术报告的立项及 5G 传送标准的研究计划。这标志着 ITU-T 在 5G 传送标准研究上迈出了关键一步,也是中国企业对于推动 5G 传送标准研究所做的重大贡献。

收稿日期:2017-12-10  
网络出版日期:2018-01-10

中图分类号:TN929.5 文献标志码:A 文章编号:1009-6868(2018)01-0062-005

**摘要:** 5G 传送是支撑未来 5G 应用的关键技术之一,已成为近期技术研究和标准化领域的热点。介绍了 5G 传送相关的主要标准组织的进展及分析,包括:国际电信联盟电信标准化部(ITU-T)SG15、电气与电子工程师协会(IEEE)802.1、光互联论坛(OIF)等,涉及了 5G 传送需求,以及切片分组网(SPN)/灵活以太网(FlexE)、移动优化的光传送网(M-OTN)/灵活光传送网(FlexO)、时间敏感网络(TSN)、超高精度时间同步等的相关技术方案。同时,还指出 2018 年将成为 5G 传送标准化工作的关键窗口期。

**关键词:** SPN; M-OTN; TSN; FlexE; 超高精度时间同步

**Abstract:** 5G transmission is one of the key technologies supporting 5G applications in the future, and it has become a hot spot in the field of technical research and standardization. In this paper, the progress of the main standard organizations related to 5G transmission are introduced, including international telecommunication union standardization sector (ITU-T), institute of electrical and electronics engineers (IEEE), optical internetworking forum (OIF) and so on. 5G transport requirements, as well as transport solutions of slice packet network (SPN) /flexible Ethernet (FlexE), mobile OTN (M-OTN) / flexible OTN (FlexO), time sensitive network (TSN), and ultra-high precision time synchronization are involved. It is pointed out that 2018 will be the key window period for the standardization of 5G transport.

**Keywords:** SPN; M-OTN; TSN; FlexE; ultra-high precision time synchronization

2017 年 10 月,ITU-T SG15 Q11&Q12 联合会议上,对于 5G 需求内容进行了广泛和深入的讨论,并形成了技术报告(TR)文稿的整体框架,目标是在 2018 年 2 月 ITU-T SG15 全会表决通过,并根据此需求文档驱动针对 5G 承载解决方案的立项。中兴通讯针对 5G TR 文稿提出多篇提案,积极参与到 5G 承载的标准化工作中,提出的 5G 承载网络拓扑、网络切片,RAN 各实体接口以及它们之间的关系被采纳为 TR 文稿的素材。在这次会议上,也有一些厂商提出了 5G 承载的解决方案,开始为 2018 年 5G 承载方案的立项做铺垫。值得一提的

是:此次会议为了获取更多来自运营商的需求,举行了一个研讨会,来自 AT&T、中国移动、中国电信、BT、KDDI、KPN 6 个不同的运营商代表发表了对于 5G 的看法以及关于解决方案的考虑。AT&T 认为无源光网络(PON)优化后可以很好地满足 5G 传送的需求,中国移动提出了切片分组网(SPN)的解决方案,中国电信针对移动场景优化的光传送网(OTN)方案提出了移动优化的光传送网(M-OTN)的概念以及需要满足的需求。

### 2 SPN/FlexE 进展

2015 年 1 月的 OIF 会议上,OIF 正

式启动了灵活以太多 (FlexE) 的工程,其主要目的是扩展标准以太网接口的功能,针对的主要场景是数据中心互连,其通用结构如图 1 所示<sup>[1]</sup>。

通过在传送 IEEE 802.3 的协议栈媒体接入控制 (MAC) 层和物理编码子层 (PCS) 之间增加一个灵活以太网 (FlexE) shim 层, FlexE 提供了 3 种通用能力:

- 绑定。通过绑定多个标准以太网接口来支持更大速率业务的传送,主要解决现有以太网中链路聚合 (LAG) 协议低效率的问题。

- 通道化。将多个任意比特速率的以太网数据流复用在一起,通过标准的以太网接口进行传送。

- 子速率。提供一种简单的方法用标准的以太网接口承载灵活速率的以太网数据流。

通道化强调 FlexE Group 的总带宽可以按需分成多个通道,每个通道分配一个客户,各个通道之间互不影响;子速率则强调可以传送低于以太网物理层速率的业务。经过 1 年多的研究讨论, FlexE IA1.0 在 2016 年 3 月正式发布。

2016 年 11 月,在 OIF Q4 会议上,正式启动了 FlexE IA2.0 技术研究的项目,主要研究内容包括:支持绑定 200 GE 以及 400 GE 以太网 PHY 的技术、FlexE 的时间同步技术等。中兴通讯积极参与了 FlexE IA2.0 的讨论,在 OIF 会议上提交了多篇提案,涉及 200 GE/400 GE FlexE 方案、精确时间同步协议 (PTP) over FlexE 等主要研究点,促进了 FlexE IA2.0 标准的发展。经过 3 次会议的讨论,针对 FlexE IA2.0 关键技术已达成一致意见,并形成了 FlexE IA2.0 草案,针对 200 GE/400 GE FlexE 技术采用基于 100 G FlexE 交织的方案,针对 PTP over FlexE 采用利用 FlexE 复帧边界打时戳,在 FlexE 段管理通道开销 (SMC) 中携带 PTP 报文的方案, FlexE IA2.0 已经进入到投票阶段,预计在 2018 年第 2 季度正式发布<sup>[2]</sup>。

针对 5G 应用场景,中兴通讯在 OIF 提出了多篇扩展 FlexE 功能的提案,会议讨论认为这些需求可能需要启动新的项目来研究和规范,这为在 OIF 中开展 5G 传送研究打下了基础。

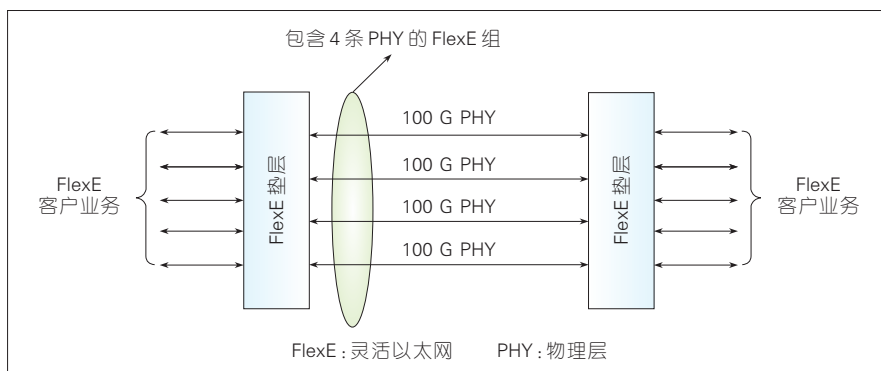
在 ITU-T 组织中,2017 年 6 月召开的 ITU-T SG15 全会上,中兴通讯的提案《FlexE 层网络模型 (FlexE layer network model)》在业界首次提出基于 FlexE 的层网络模型架构,创新性地当前仅限于链路的 FlexE 技术扩展为网络技术,定义了 FlexE 通道层和 FlexE 段层,以及相应的交叉连接、保护和操作管理维护 (OAM),为基于 FlexE 技术的 5G 承载标准研究奠定了基础。FlexE 层的网络模型如图 2 所示<sup>[3]</sup>。

FlexE 层网络模型的提出,将 FlexE 链路技术扩展为网络层技术,从而满足端到端承载需求,包括:

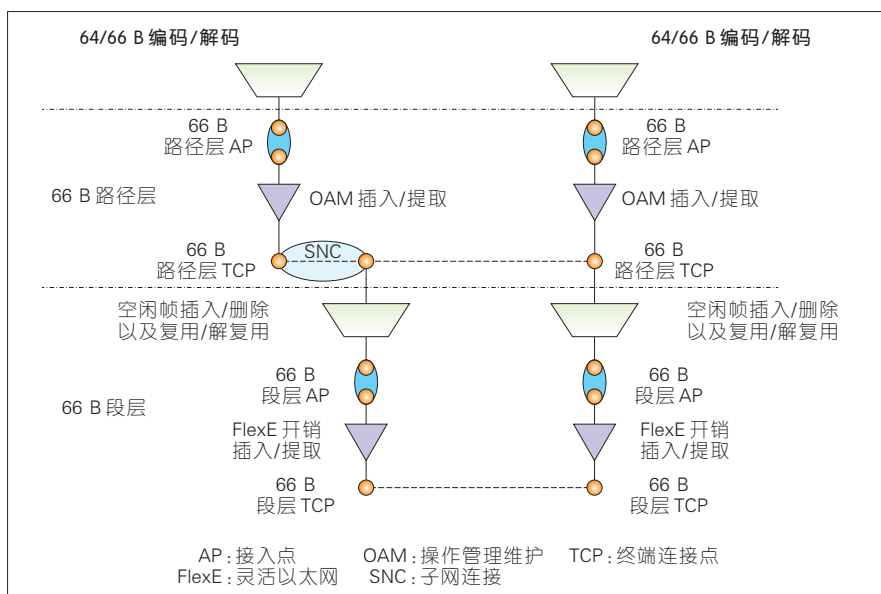
- 66 B path 层。完成 66B 的交叉连接,客户业务的 OAM 插入/提取,保护等。

- 66 B section 层。与 OIF 定义的 FlexE 1.0 完全相同,完成速率适配,以及段层的 OAM 插入/提取、复用/解复用等。

2017 年 10 月份的 ITU-T SG15 Q11/Q12 联合会议,中国移动联合中兴通讯等单位首次提出了基于 FlexE 层网络扩展技术的 SPN 概念。SPN 网络既可用于新的 5G RAN 业务承载,同时也兼顾现有的 2G、3G、4G 业务,可涵盖前传、中传、回传等范围。



▲ 图 1 FlexE 通用结构示意图



▲ 图 2 FlexE 层网络模型

SPN 的网络分层架构如图 3 所示<sup>[4]</sup>。

分片传送层(STL):基于 IEEE 定义的以太网 802.3 PHY, 扩展覆盖至 10~40 km 甚至 80/120 km 的距离, 灰光或彩光, 非相干或相干接口。通过 FlexE 组的绑定机制, 可以支持基于多个以太网物理层/波分复用(WDM)波长, 从而满足面向 5G 传输网络要求的 10~100 倍的带宽增长。

分片通道层(SCL):提供端到端的以太网子网连接、OAM, 和保护。低时延分组数据流或基于 64/66 B 的编码流, 通过以太网的交叉连接, 可有效疏导业务而不必触及每个分组的标签/地址, 无需分组缓冲队列, 无需转发表查询。此种以太网交叉连接也支持嵌套网络切片服务。天然支持 TDM 业务, 如呈现为 64 / 66 B 编码流的公共无线电接口(CPRI)业务。

分片分组层(SPL):提供数据包的转发和路由, 基于 IP 多协议标记转换(MPLS)/多协议标记转换传送子集(MPLS-TP)/802.1Q MAC 等技术。此外, IETF 正在开发的分段路由(SR)技术也可能成为 SPL 的应用技术之一。SPL 能够天然地支持分组业务, 因此使得 SPN 成为了一个分组友好的体系结构, 共享 IP / 以太网生态

系统, 并且友好地支持任何主流分组业务。

SPN 这种分层架构, 能够很好满足 5G 承载的各种需求: 对分组业务的天然支持, 具有以太网的经济性, 能够提供大带宽, 能够提供确定性的低时延, 能够提供灵活的管理和控制, 支持多种业务接入, 支持多高精度同步等。因此, SPN 技术在未来有着良好的应用和市场前景。

### 3 M-OTN/FlexO 进展

OTN 技术结合了光域传输和电域处理的优势, 不仅可以提供端到端的刚性透明管道连接和强大的组网能力, 而且可以提供长距离、大容量传输的能力, 完善的 OAM 机制保证了业务传送质量并使网络便于维护管理。面对 5G 提出的大带宽、低时延、海量连接等需求, OTN 技术需要进行优化来更好地满足 5G 时代的新需求。

在 2016 年 9 月的 ITU-T SG15 全会上, 就有厂商提出在 Q11 小组内启动使用 OTN 承载无线信号的研究, 号召大家提出提案讨论这个话题。在随后的 Q11 中间会议, 中兴通讯等多家厂商提出了关于 OTN 承载 5G 信号

的需求以及考虑, 为了深入探讨这些需求以及解决方案, Q11 启动了为期两个月的通信活动来号召各厂商参与讨论, 期间中兴通讯输出 1 篇提案, 从应用场景、参考模型、业务类型、性能需求等方面描述了 OTN 承载 5G 所需要解决的问题。

2017 年 6 月 ITU-T SG15 全会上, 越来越多的厂商参与到 5G 传送的研究中, 在 OTN 方向上, 多个成员提出了组织 1 个关于 OTN 承载 5G 信号的项目。针对越来越多关于承载 5G 信号的提案, 由于这些提案涉及 Q11、Q12、Q13 等多个研究小组, 会上决定在 WP3 内协调这些工作, 由 Q11 与 Q12 牵头, 收集 5G 承载的需求, 同时正式通过了《支持 IMT-2020/5G 的传送网(Transport network support of IMT-2020/5G)》(GSTR-TN5G)技术报告的立项及 5G 传送标准的研究计划, 将主要工作集中在 TR 报告的完善和表决。TR 报告表决后, 会驱动针对解决方案的立项, 因此此次会议上关于解决方案的立项提议并未得到通过。尽管此次会议大部分提案是关于需求的, 也有厂商提出了基于 OTN 的 5G 前传解决方案, 在现有的灵活光传送网(FlexO)基础上进行优化, 在 FlexO 中增加时隙, 减少映射复用层次, 优化 OTN 的 OAM 功能, 进一步满足 5G 前传苛刻的需求。

2017 年 10 月的 ITU-T SG15 Q11&Q12 联合会议上, 中国电信等成员提出了 M-OTN 的概念, 以及基于 FlexO 技术的解决方案。针对前传场景所提出的 M-OTN 网络参考模型如图 4 所示<sup>[5]</sup>。

在 5G 前传场景下, 为了降低时延, 只需要 1 层的复用结构。业务信号首先映射进路径中, 路径可以是灵活 ODU、FlexO 时隙等, 然后所有的 Path 信号复用到通道中, 通道可以是 OTU、FlexO 等。

M-OTN 在未来会进一步扩展, 不仅要满足前传低时延需求, 也会考虑如何满足中传以及回传灵活组网的

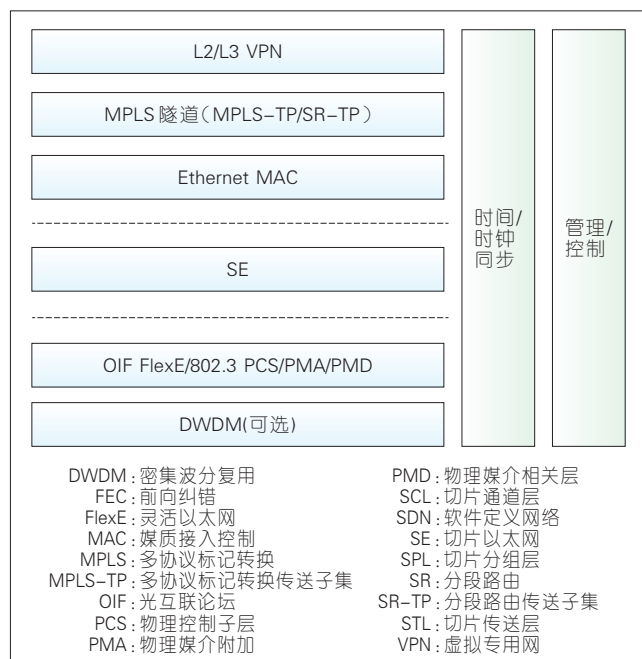
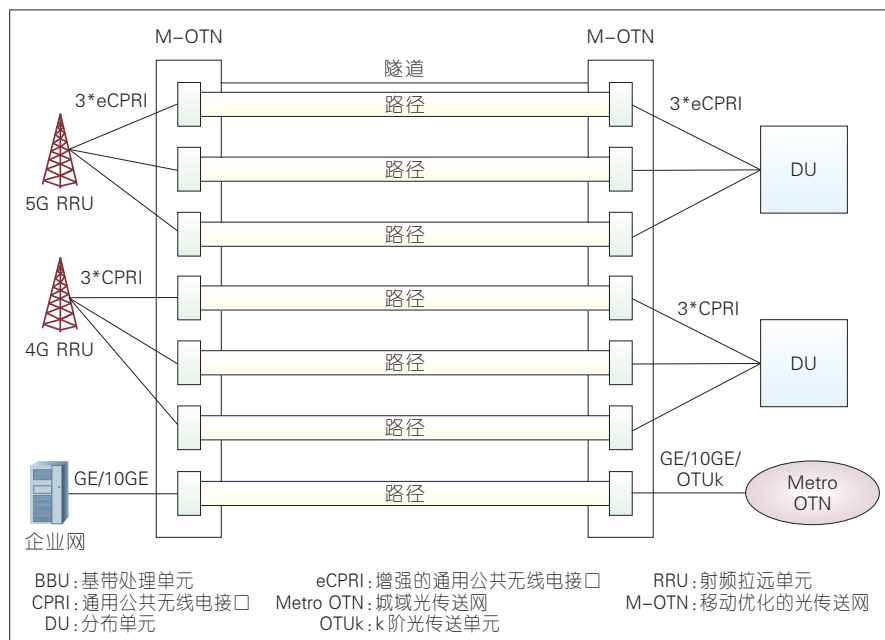


图 3 SPN 的网络分层架构图



▲图4 5G前传:M-OTN网络参考模型

需求,需要考虑在增强OTN分组处理能力的基础上,增强路由转发功能。

## 4 TSN 进展

IEEE 802.1 时间敏感网络(TSN)研究时延敏感网络的需求和解决方案。TSN起源于音频视频桥(AVB)项目,后续逐渐增加在工业和汽车行业的用例,在2012年改名成为TSN,并且在2015年Interworking任务组和TSN任务组进行了合并。TSN任务的目标是通过以太网提供确定性的业务,例如:确保业务传输是有边界的低时延、低抖动、极少的丢包。TSN要解决的问题有:

- 全网同步困难,精度不高;
- 特定业务的时延无法确定范围,时延抖动太大;
- 链路可靠性不高,无法保证高可靠性;
- 无法全网端到端的管理资源情况。

TSN的关键技术有:

- 帧抢占。

采用802.3br和802.1Qbu,将低优先级可以被抢占的数据分成较小的“区段”,让传输中的高优先级的数据

拥有比低优先级的数据更优先处理的顺序。这意味着高优先级的数据不必等待所有的低优先级的数据完成传送后才开始,从而确保更快速的传输路径。

- 帧复制和消除。

采用802.1CB,用来保证丢帧率,确保关键流量的复本在网络中能以不相交的路径进行传送,对到达的两份数据进行合并和删除,从而实现无缝冗余。

- 流预留协议增强和性能改善。

采用802.1Qcc,用于配置TSN的流量等级,比原有流预留协议(SRP)提供了更多的增强功能。配置的方式有完全分布式,完全集中式,网络集中式/用户分布式。

- 时间片调度。

采用802.1Qbv,通过增加开关门的机制来增强传统的调度方法,在原有系统调度基础上增加了基于时隙的调度,确保时延敏感队列有确定的调度时间,使时延敏感业务得到有保障的带宽。

TSN的大部分标准制定接近尾声,与5G传送相关的是IEEE 802.1CM标准<sup>[7]</sup>,TSN也与CPRI组织保持着紧

密的合作关系。

为了建立可以传输对于时间敏感的前传数据流的网络,802.1CM定义了子集(挑选了一系列特性,选项,配置,协议和桥接过程),终端站和局域网。标准采用profile A严格优先级和profile B帧抢占两种机制来满足需求,需要注意的是帧抢占会随着端口速率的增加而降低效果。2017年8月,在CPRI组织发布增强的通用公共无线电接口(eCPRI)标准之后,IEEE 802.1CM也增加了eCPRI的需求和解决方案。IEEE 802.1CM在2017年11月通过了工作组投票<sup>[7]</sup>,后续要进行赞助者投票,预计2018年上半年标准就要发布。

采用TSN的优点是以太网产业链成熟,部署简单,成本也相对低;但是TSN是一个基于2层的局域网技术,适合于工业控制网络这样的局域网业务,对于解决广域网上端到端确定性服务的需求还需要进一步改进和增强。随着TSN标准的逐步完善和发布,后续将聚焦在工业自动化、车联网、自动驾驶、远程医疗等各个行业的应用,这些新兴行业也将依托TSN完成深度的垂直整合。

## 5 超高精度时间同步进展

在ITU-T SG15 Q13,超高精度时间同步方面的工作主要是对增强型参考时间时钟(增强型主参考时间时钟(ePRTC),G.8272.1)、增强型参考时钟(增强型同步以太网设备时钟(eEEC),G.811.1)、增强型同步以太设备从时钟(eEEC,G.8262.1)等的定时性能进行研究,包括频率精度、噪声产生、噪声容限(漂移和抖动容限)、噪声传递、瞬态响应和保持性能、接口要求等。

随着先进长期演进技术(LTE-A)、基站协同多点传输(COMP)协作化、基站精细定位业务以及未来5G发展,对同步精度指标有了更高的要求,端到端指标提升为百纳秒级;对主参考时间时钟(PRTC)锁定模式下

的时间误差和漂移要求更严苛, ePRTC 在锁定模式下的时间误差应在 30 ns (即 max|TEI|) 内或更好; 主参考时钟 (PRC) 频率精度 (长于一周) 从之前的  $10^{-11}$  到现在提高到  $10^{-13}$ 。对于 PRC 和 PRTC, 为了适应更高精度的需求, ITU-T SG15 Q13 在此基础上进一步细化为不同的类型, 例如 A 类主参考时间时钟 (PRTC-A) 和 B 类主参考时间时钟 (PRTC-B), A 类增强型主参考时钟 (ePRC-A) 和 B 类增强型主参考时钟 (ePRC-B), A 类增强型主参考时间时钟 (ePRTC-A) 和 B 类增强型主参考时间时钟 (ePRTC-B), 并且通过不同的时钟组合来定义更高精度的时钟。

对于增强型仿真模型, Q13 也一直在进行仿真讨论, 包括 a 类增强型假设参考模型 (eHRMa)、b 类增强型假设参考模型 (eHRMb)、c 类增强型假设参考模型 (eHRMc)、d 类增强型假设参考模型 (eHRMd) 这 4 种同步模型, 4 种同步模型主要针对不同数量的同步以太网设备时钟 (EEC)、eEEC、电信级边界时钟 (T-BC) 的组合模型, 并且主要考虑的是 SyncE 和 PTP 同路径的场景。在最近的会议中, 有参会者提出: 从现网应用来看, 认为还需要考虑 SyncE 和 PTP 不同路径的增强型模型场景, 会上同意对 SyncE 和 PTP 不同路径的场景进行仿真研究。

在 2017 年 10 月的 ITU-T SG15 Q13 中间会议中, 德电 (DT) 等公司提出新型、精度要求更高的 cnPRTC (命名待定)<sup>[8]</sup>。提出的 cnPRTC 是 ePRTC-B (即 ePRC-B 和 PRTC-B 组合)、eEEC 和 T-BC-C 结合的新型时钟, 也是一种新的增强型时钟, 跟

ePRTC-B 的区别是在于增加了 eEEC 和 C 类电信级边界时钟 (T-BC-C), 提出 cnPRTC 网络应尽量独立于全球导航卫星系统 (GNSS), 相关的网络 (即骨干网和核心网) 应该达到  $\text{max|TEI|} < 30 \text{ ns}$  的网络同步性能。

后续高精度时钟同步方面会继续对增强型时钟的性能和实现方法继续讨论和定义, 包括: ePRTC、ePRC 等的实现方法。此外还会根据 3GPP 对于 5G 的需求, 对更高性能的时钟进行定义。

## 6 结束语

5G 传送的标准化工作已经在各个标准组织中全面展开。随着 5G 需求越来越明确, 5G 传送解决方案的标准化工作也会启动。2018 年将会是 5G 传送标准化关键的一年。中兴通讯也将在 5G 传送标准化工作中发挥积极、重要的作用。

## 致谢

本文撰写得古渊博士的帮助, 古渊博士对全文架构内容方面提出了合理性建议, 谨致谢意!

## 参考文献

- [1] OIF. Flex Ethernet Implementation Agreement 01.0[S]. Fremont: OIF, 2016
- [2] TROWBRIDGE S J, STAUFFER D R. Flex Ethernet 2.0 Implementation Agreement[C]// Q317 Technical and MA&E Committees Meeting, Canada: OIF, 2017:9-49
- [3] YANG J, BETTS M, GU Y. FlexE layer network model[C]// ITU-T SG15 plenary meeting, Switzerland: ITU-T, 2017:1-5
- [4] LI H, WANG L, CHENG W Q, et al. Architecture of Slicing Packet Network (SPN) for 5G mobile transport[C]// ITU-T SG15 Q11/Q12 interim meeting, Switzerland: ITU-T, 2017:1-9
- [5] JING R Q, TANG R, GORSHE S, et al. Requirements of M-OTN for 5G fronthaul application[C]// ITU-T SG15 Q11/Q12 interim

- meeting, Switzerland: ITU-T, 2017:11-14
- [6] FARKAS J. Draft Standard for Local and metropolitan area networks—Time-Sensitive Networking for Fronthaul[C]// Proceedings of 2017 IEEE802 plenary meeting. USA: IEEE, 2017:1-53
- [7] FARKAS J. DISPOSITION OF FIRST WORKING GROUP BALLOT COMMENTS ON IEEE Draft P802.1CM/D1.0[C]// Proceedings of 2017 IEEE802 plenary meeting. USA: IEEE, 2017:1-4
- [8] IMLAU H, ARAI K, LI H, et al. Primary Reference Clock at ITU-T: Further Development towards cnPRTC[C]// ITU-T SG15 Q13 interim meeting, New Zealand: ITU-T, 2017:6-7

## 作者简介



张源斌, 中兴通讯股份有限公司预研标准部标准预研工程师; 主要研究领域为 5G 承载技术、OTN, 以及 FlexE 相关标准预研; 已向 ITU-T 以及 OIF 提交提案 10 余篇。



杨剑, 中兴通讯股份有限公司预研标准部标准预研工程师; 主要研究领域为 PTN、5G 承载相关标准预研; 已向 ITU-T 提交 5G 承载技术提案 10 余篇。



占治国, 中兴通讯股份有限公司预研标准部高级架构师; 主要研究方向是 5G 承载技术; 曾负责过国家重大专项课题项目和发改委技改项目; 已发表论文 10 余篇, 获得 10 余项专利授权。



周严伟, 中兴通讯股份有限公司软件算法工程师; 主要研究领域为时钟时间算法和相关标准预研; 已向 ITU-T 提交超高精度时间同步提案 10 余篇。

# 《中兴通讯技术》杂志(双月刊)投稿须知

## 一、杂志定位

《中兴通讯技术》杂志为通信技术类学术期刊。通过介绍、探讨通信热点技术,以展现通信技术最新发展动态,并促进产学研合作,发掘和培养优秀人才,为振兴民族通信产业做贡献。

## 二、稿件基本要求

### 1. 投稿约定

- (1)作者需登录《中兴通讯技术》投稿平台:tech.zte.com.cn/submission,并上传稿件。第一次投稿需完成新用户注册。
- (2)编辑部将按照审稿流程聘请专家审稿,并根据审稿意见,公平、公正地录用稿件。审稿过程需要1个月左右。

### 2. 内容和格式要求

- (1)稿件须具有创新性、学术性、规范性和可读性。
- (2)稿件需采用WORD文档格式。
- (3)稿件篇幅一般不超过6000字(包括文、图),内容包括:中、英文题名,作者姓名及汉语拼音,作者中、英文单位,中文摘要、关键词(3~8个),英文摘要、关键词,正文,参考文献,作者简介。
- (4)中文题名一般不超过20个汉字,中、英文题名含义应一致。
- (5)摘要尽量写成报道性摘要,包括研究的目的、方法、结果/结论,以150~200字为宜。摘要应具有独立性和自明性。中英文摘要应一致。
- (6)文稿中的量和单位应符合国家标准。外文字母的正斜体、大小写等须写清楚,上下角的字母、数据和符号的位置皆应明显区别。
- (7)图、表力求少而精(以8幅为上限),应随文出现,切忌与文字重复。图、表应保持自明性,图中缩略词和英文均要在图中加中文解释。表应采用三线表,表中缩略词和英文均要在表内加中文解释。
- (8)参考文献以20条左右为宜,不允许公开发表的资料不应列入。所有文献必须在正文中引用,文献序号按其在文中出现的先后次序编排。常用参考文献的书写格式为:
  - 期刊[序号]作者.题名[J].刊名,出版年,卷号(期号):引文页码.数字对象唯一标识符
  - 书籍[序号]作者.书名[M].出版地:出版者,出版年:引文页码.数字对象唯一标识符
  - 论文集析出文献[序号]作者.题名[C]//论文集编者.论文集名(会议名).出版地:出版者,出版年(开会年):引文页码.数字对象唯一标识符
  - 学位论文[序号]作者.题名[D].学位授予单位所在城市名:学位授予单位,授予年份.数字对象唯一标识符
  - 专利[序号]专利所有者.专利题名:专利号[P].出版日期.数字对象唯一标识符
  - 国际、国家标准[序号]标准名称:标准编号[S].出版地:出版者,出版年.数字对象唯一标识符
- (9)作者超过3人时,可以感谢形式在文中提及。作者简介包括:姓名、工作单位、职务或职称、学历、毕业于何校、现从事的工作、专业特长、科研成果、已发表的论文数量等。
- (10)提供正面、免冠、彩色标准照片一张,最好采用JPG格式(文件大小超过100kB)。
- (11)应标注出研究课题的资助基金或资助项目名称及编号。
- (12)提供联系方式,如:通信地址、电话(含手机)、Email等。

### 3. 其他事项

- (1)请勿一稿两投。凡在2个月(自来稿之日算起)以内未接到录用通知者,可致电编辑部询问。
- (2)为了促进信息传播,加强学术交流,在论文发表后,本刊享有文章的转摘权(包括英文版、电子版、网络版)。作者获得的稿费包括转摘酬金。如作者不同意转摘,请在投稿时说明。

编辑部地址:安徽省合肥市金寨路329号国轩凯旋大厦1201室,邮政编码:230061

联系电话:0551-65533356,联系邮箱:magazine@zte.com.cn

本刊只接受在线投稿,欢迎访问本刊投稿平台:tech.zte.com.cn/submission

办刊宗旨

以人为本,荟萃通信技术领域精英  
迎接挑战,把握世界通信技术动态  
立即行动,求解通信发展疑难课题  
励精图治,促进民族信息产业崛起

---

双月刊 1995年创刊 总第138期  
2018年2月 第24卷1期

主管:安徽省科学技术厅  
主办:安徽省科学技术情报研究所  
中兴通讯股份有限公司  
编辑:《中兴通讯技术》编辑部

总编:陈杰  
常务副总编:黄新明  
责任编辑:徐烨  
编辑:卢丹,朱莉,赵陆  
排版制作:余刚  
发行:王萍萍  
编务:王坤

---

《中兴通讯技术》编辑部  
地址:合肥市金寨路329号凯旋大厦12楼  
邮编:230061  
网址:tech.zte.com.cn  
投稿平台:tech.zte.com.cn/submission  
电子信箱:magazine@zte.com.cn  
电话:(0551)65533356  
传真:(0551)65850139

出版、发行:中兴通讯技术杂志社  
发行范围:全球发行  
印刷:合肥添彩包装有限公司  
出版日期:2018年2月10日  
中国标准连续出版物号:  $\frac{\text{ISSN } 1009-6868}{\text{CN } 34-1228/\text{TN}}$   
定价:每册20.00元,全年120.00元