

# 5G 网络架构与无线网虚拟化研究

## Research on 5G Network Architecture and RAN Virtualization

王学灵(上海邮电设计咨询研究院有限公司,上海 200092)

Wang Xueling(Shanghai Posts & Telecommunications Designing Consulting Institute Co.,Ltd.,Shanghai 200092,China)

### 摘要:

5G引入虚拟化技术实现无线网灵活可控、开放可定制的目标,也契合运营商网络转型方向。通过分析5G无线网架构,研究虚拟化技术在无线网中的应用,并介绍了运营商典型的无线网虚拟化方案,为组建面向业务、高度智能的5G网络提供借鉴。

### 关键词:

网络虚拟化;网络架构;5G无线网;集中单元;分布单元

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2019.07.008

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

文章编号:1007-3043(2019)07-0033-05

### Abstract:

5G introduces the virtualization technology to implement the flexible and customizable target of RAN, and also fits the direction of the operator's network reformation. By analyzing the architecture of 5G RAN, the application of virtualization technology in RAN is studied, and the typical RAN virtualization solution of operators is introduced, which provides a reference for deploying service-oriented and highly intelligent 5G network.

### Keywords:

Network virtualization; Network architecture; 5G RAN; CU; DU

引用格式:王学灵. 5G网络架构与无线网虚拟化研究[J]. 邮电设计技术,2019(7):33-37.

## 1 概述

未来5G网络因为频段和业务的需求,将呈现出密集、复杂的网络结构,基站数量和部署密度将远超现有4G网络。随着软件定义网络/网络功能虚拟化(SDN/NFV)技术的不断发展,移动网络核心侧设备的虚拟化技术已经逐渐成熟。软硬件技术和能力不断增强,各大厂商和运营商也开始研究无线侧虚拟化。为了提供一个能够面向应用、开放灵活、低成本和易维护的网络,无线接入侧网络虚拟化研究成为业界研究的热点。

## 2 未来无线网络架构

### 2.1 5G无线网架构

3GPP的5G新无线接入技术(NR)架构如图1所示<sup>[1]</sup>(核心网架构和网元详见文献[3]),gNB基站为终端提供NG的用户面(UP)和控制面(CP),eLTE eNB(升级后的LTE基站)为终端提供E-UTRA的用户面和控制面,在标准规范里会同时提供NR和E-UTRA的

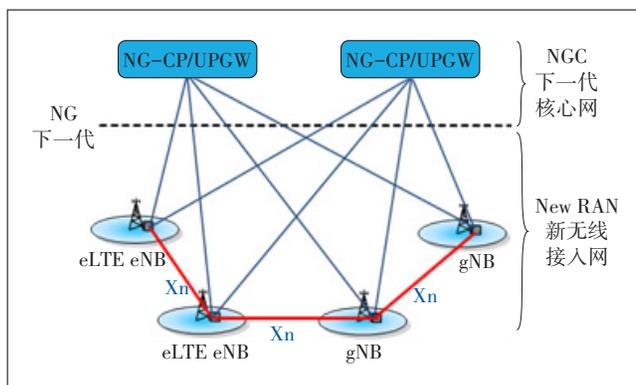


图1 5G NR架构

收稿日期:2019-05-16

用户面和控制面。gNB之间、eLTE eNB之间、NR与eLTE eNB之间通过Xn接口互连。基站与核心侧网关(NG-CP/UPGW)通过NG接口实现多对多连接。

5G建网初期,为了节省投资和快速组网,采用3GPP的option3/3A的可能性会较大,通过eLTE eNB接入LTE核心网EPC,实现5G高速率业务,之后随着网络演进,逐步过渡到option7/7A和option5架构(纯5G架构)。

## 2.2 CU和DU切分

5G将无线基站切分(split)成2个逻辑功能实体:集中单元(CU)与分布单元(DU),架构如图2所示<sup>[2]</sup>。gNB由1个gNB-CU和1个或者多个gNB-DU组成,gNB-DU根据分离功能的设置,实现gNB的功能,其功能实现由gNB-CU进行控制。gNB-CU与gNB-DU之间通过F1接口连接。CU侧重于无线网功能中非实时性的部分(主要是无线高层协议,并承接部分核心侧的功能),便于实现云化和虚拟化;DU负责除CU功能之外的所有无线侧功能,侧重于物理层功能和实时性需求,目前尚不适用于功能的虚拟化,可采用专用硬件实现。3GPP TR定义了8种<sup>[1]</sup>CU和DU切分方案,option1~option8,逻辑位置分别在RRC、PDCP、RLC、MAC、PHY之后,其中option2为高层切分方案,是标准化重点,DU的部分物理层的功能可以上移至RRU完成。CU可与移动边缘计算(MEC)共同部署于相应的DC机房,实现业务快速创新和快速上线,也节省了DU至RRU的传输资源。

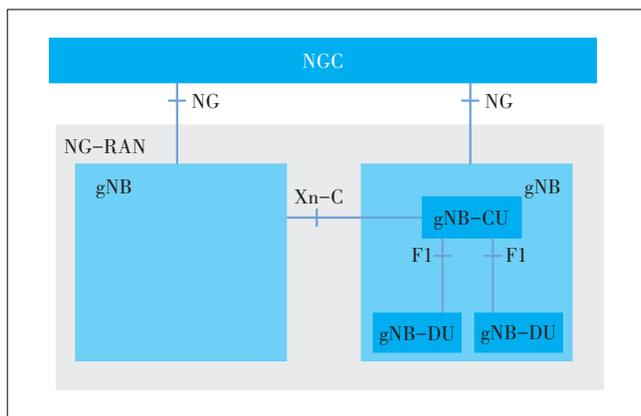


图2 NG-RAN架构图

CU和DU分离的好处是:有效降低前传带宽需求,卸载/分流DC本地流量;提升协作能力,优化网络性能;硬件部署灵活,成本降低;支持端到端的网络切片(slice);部分核心侧功能下移,降低了系统时延。

## 2.3 UP和CP分离

5G对时延的要求非常高,需要将相关的网元下沉(对应于运营商网络重构中的边缘DC),网元数量剧增,势必会造成网络的复杂度(由类似“树”型结构变成MESH结构)升高,导致运营商投入巨大,信令的迂回也是很大问题。因此,5G网络将控制面与用户面分离以适应SDN架构的需求,支持网络可编程、可定制,将控制逻辑集中到控制面,降低分散式部署带来的成本,解决信令迂回和接口压力问题;提升网络架构的灵活性,支撑网络切片;便于控制与转发分离(LTE实现控制与转发分离,但不是完全的UP和CP分离<sup>[14]</sup>),方便网络演进和升级;支持多厂商设备的互操作<sup>[1]</sup>。结合了UP和CP分离、CU和DU分离的5G RAN网络架构如图3所示,CU和DU切分采用option2方案。

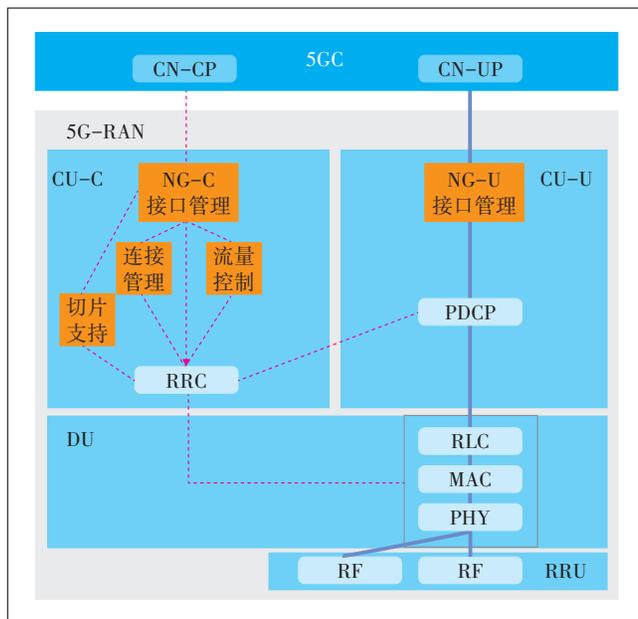


图3 5G RAN逻辑功能

从以上分析可以看出,5G无线网架构为运营商未来网络重构做好了准备,CU和DU分离、UP和CP分离,可以为无线网络虚拟化及MEC提供较为完善的网络结构。

## 3 无线网虚拟化技术

无线网的虚拟化从2个方面分析,即网络资源虚拟化和网络功能虚拟化。网络资源虚拟化是对移动网无线侧的频谱资源、功率资源、空口资源进行虚拟化,网络资源虚拟化的结果作为网络功能虚拟化的基础;网络功能虚拟化是对无线接入网的数据单元和控

制单元以及部分核心侧的功能虚拟化。通过这2个方面的虚拟化,实现对无线网资源的有效调度和利用,从而提升资源使用效率并很好地支撑5G网络切片。无线网络虚拟化与承载/核心网络虚拟化相比,结构和特性更加复杂,不仅要考虑无线环境的不确定性、系统内外的干扰、信令调度开销以及高速移动性等问题,还要考虑前传、中传和回传网络的容量和时延限制问题。

### 3.1 无线资源虚拟化

无线资源包括频域资源、时域资源、空域资源、功率资源以及传输带宽等资源。无线资源的虚拟化是通过SDN/NFV技术,将这些资源池化,通过映射等手段,使无线网资源的调度和配置与具体的网络资源无关,即调度和配置时对无线网络资源进行屏蔽,从而达到对无线网资源的最大化利用<sup>[4]</sup>。

如图4所示,虚拟网络控制器负责网络虚拟化,根据业务需求自动生成网络拓扑,并向虚拟资源控制器申请网络资源。节点链路控制器是根据网络可分配资源和不同业务申请所需资源的情况,进行底层网络资源与网络需求的合理分配<sup>[9]</sup>。

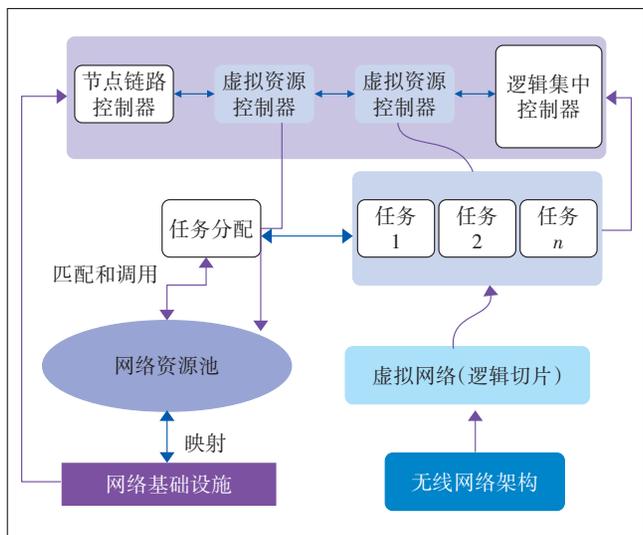


图4 网络资源虚拟化

### 3.2 网络功能虚拟化

网络功能的虚拟化是通过NFV/SDN<sup>[7]</sup>技术来实现。NFV技术(上层业务云化,底层硬件标准化)将网络功能转移到边缘云中的虚拟机(VMs)中,采用成熟商用的服务器(COTS),这些VMs通过SDN技术实现与核心云VMs的互联互通。虚拟机可以较为容易地实现资源的分配与隔离,即软件功能与硬件能力的解

耦,从而支撑5G网络的切片。为了满足不同业务对时延等的不同需求,可以选择将网络功能设置在边缘VMs还是核心VMs。

NFV分层视图如图5所示,管理和编排(MANO——Management and Orchestration)包括3个层次。

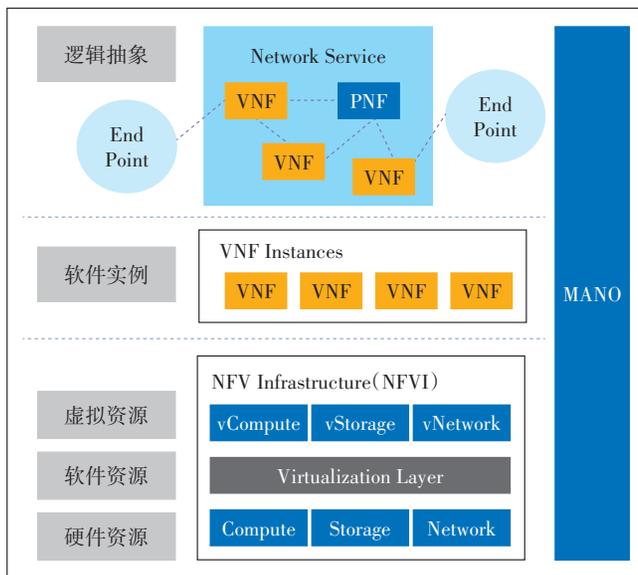


图5 NFV分层视图

a) 网络服务(NF)的管理和编排,包括面向业务场景的网络服务与编排、网络服务的生命周期管理。

b) 虚拟网元(VNF)的管理与编排,包括虚拟网元的生命周期管理、虚拟网元相关的虚拟资源管理、虚拟网元的配置管理。

c) 虚拟资源的管理和编排,包括NFV基础设施虚拟资源管理(计算能力、存储容量、网络功能)。

无线侧网络功能虚拟化,实现网络承载能力与覆盖需求的分离,使得网络节点能力的配置不受物理位置的限制,从而更好地为5G切片服务。

### 3.3 无线网虚拟化面临的挑战

无线网虚拟化技术作为未来无线网络演进的方向,在为实现网络端到端虚拟化带来种种好处的同时,还因为目前的软硬件技术限制存在如下挑战。

a) 通用硬件能力不足,对无线信号处理达不到专用设备的水平。无线网的发展需要密集型计算,通用硬件在功耗和处理能力上远不如专用设备,同时,5G时代的超低时延要求也是通用设备难以满足的。

b) 无线网虚拟化比核心网更复杂。无线基站是分散部署的,集中化管理面临挑战,虚拟化设备的部署也是分散的,需要在成千上万个基站及汇聚点通过

支持虚拟化技术的通用设备,安装并实时运行靠近用户侧的软件。而核心侧的虚拟化虽然较为昂贵,但是因为集中度较高,实现难度相对较低。

c) 无线网虚拟化软件产品和虚拟化标准化也是需要注意的问题。现网以及可预见的5G网络,都将是多厂家设备共存的网络,开放和标准化程度直接影响最终的部署。

## 4 无线网虚拟化进展

### 4.1 行业组织的RAN变革思路

TIP (Telecom Infra Project) 是由 Facebook 主导于 2016 年 2 月成立的一个开放组织,旨在加速全球电信行业变革步伐,推动软件开源与硬件通用化。其 OpenRAN 工作组的主要目标是开发基于通用处理平台(GPPP——General Purpose Processing Platform)和分解软件的完全可编程 RAN 解决方案,侧重于将 vRAN 解决方案分解为不同的组件,并确保每个组件都能有效地部署在通用处理平台上,以便从软件驱动开发的灵活性和更快的创新速度中受益<sup>[15]</sup>。

开放无线接入网(O-RAN)联盟,由中国移动于 2018 年 2 月世界 GTI 峰会上倡导成立的,该联盟将 C-RAN 联盟和 xRAN 论坛的成果相结合,旨在引导产业演进方向,推动新一代无线接入网络的开放水平。该联盟将积极推进 RIC (Radio Intelligent Controller)、CU、DU 及 RU 间等重要接口重新定义。通过软件开源、接口标准化、硬件白盒化和网络智能化等设计,实现最大化复用共享,从而提高无线网络对多样化业务的支撑能力,降低设备成本和运营成本。2018 年 6 月上海移动大会(MWCS)期间,中国电信加入 O-RAN 联盟。O-RAN 联盟已有阶段性标准面世,自 2018 年 4 月发布 1.0 版前规范后,2018 年 7 月份又发布了 2.0 版本,在 1.0 版本的开放 RRU 与 BBU 接口的基础上,完成了管理面(M-plane)的标准化。

### 4.2 中国移动 C-RAN 架构

C-RAN 概念是中国移动在 2009 年提出的,并根据网络发展和演进逐步完善。C-RAN 是集中处理、协作、云化和绿色的无线接入网,可以降低基础设施投入,提高网络资源的使用效率,实现资源共享,并有效解决高能耗问题。C-RAN 是相对于传统的分散式 RAN (D-RAN) 来说的,也可称之为软件定义 RAN (SD-RAN)<sup>[12]</sup>或者 vRAN (虚拟 RAN)<sup>[5]</sup>,通过 BBU 的集中化处理实现无线网的虚拟化。中国移动基于 CU 和

DU 切分的 C-RAN 架构<sup>[6]</sup>如图 6 所示。在物理部署上,根据基站前传条件,分为 DU 集中堆叠和 DU 分布部分 2 种方式<sup>[6]</sup>,DU 放置位置的高低,将决定其提供服务的范围,位置越高可以实现更多资源的统一调度,对 DU 的能力要求也相应更高。目前作为 C-RAN 的初级阶段,BBU 主要为集中堆叠方式,预计 5G 初期 DU 也以集中堆叠方式为主。

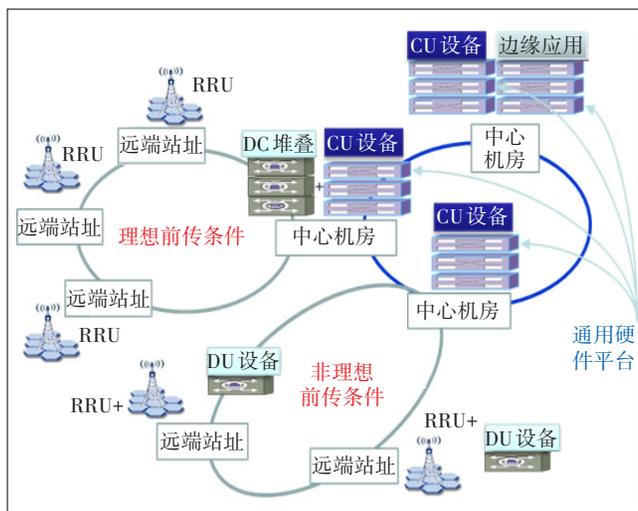


图6 中国移动提出的CU和DU切分的C-RAN架构

RAN 的网络功能虚拟化主要是指 CU 的虚拟化, CU 可以采用通用化的设备来实现支持无线网的功能以及部分下沉的核心网功能,并可以结合 MEC 实现边缘应用能力<sup>[10]</sup>。DU 可以采用专用设备或通用设备实现,引入 NFV 框架之后,通过网络的统一编排和管理,在 SDN 架构下实现对 CU 和 DU 的资源虚拟化管理。C-RAN 技术不仅仅是针对 5G 网络的,还可以针对现有制式基站进行虚拟化<sup>[8]</sup>。

### 4.3 中国电信网络目标架构

中国电信技术创新中心提出的 5G 无线网解决方案智能无线接入网(S-RAN——Smart RAN),无线网虚拟技术是 S-RAN 的关键技术<sup>[13]</sup>。中国电信 CT-Net2025 目标网络架构特征是简洁、敏捷、开放、集约,为用户提供网络可视、资源随选、用户自服务的网络能力<sup>[11]</sup>(见图 7)。目标网络分为 3 层,即基础设施层、网络功能层和协同编排层,无线网功能分为功能抽象层和专用设施 2 个部分,配合 CTNet2015 目标架构的 DC 化改造方案,将移动网络描述成“三朵云”(“控制云”“转发云”“接入云”),“接入云”将无线网分成 2 部分: vBBU (Cloud-RAN-CU) 和专用硬件 DU/RRU 2 部分。另外,移动边缘内容与计算(MECC——Mobile

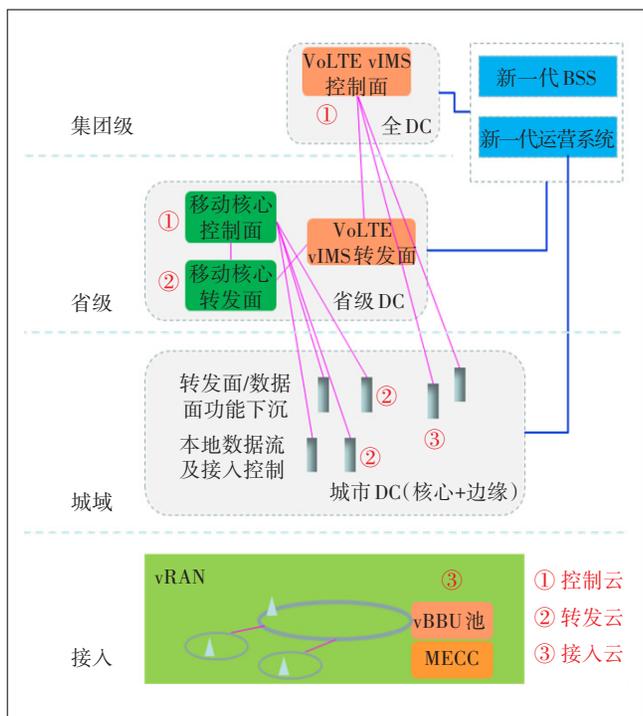


图7 中国电信CTNet2025移动网目标架构

Edge Computing and Content)也与“接入云”融合,以满足超低时延业务、大容量业务的本地缓存需求。

无线网虚拟化技术的研究比承载网滞后,因此中国电信对无线网虚拟化的考虑尚无明确的计划表。根据2018年6月发布的《中国电信5G技术白皮书》要求,5G初期优先采用CU和DU合设部署,以较低的复杂度实现快速、低成本网络部署,但需要进行模块化设计,易于分解,方便未来实现CU和DU分离架构。

#### 4.4 运营商vRAN后续推进建议

国内运营商从4G时代开始,积极推动无线网虚拟化技术演进,从之前的C-RAN、ONAP到现在的O-RAN,多年的研究和推动也形成了一些无线网虚拟化的积极的思路和解决方案,并进行了部署试验。但无线网虚拟化还需要考虑很多问题,因为全网存在百万级的基站,每个站点虚拟化的推出与其他任何新技术的大规模推广类似,是一个循序渐进的过程。5G即将商用部署,vRAN的实现深度有待期盼。同时在时机成熟时(如产业链的成熟),在有效保护现网设备投资的前提下,考虑对现有4G网络的无线网进行虚拟化改造。最终推进全网的虚拟化,实现真正的Open RAN。

## 5 结论与展望

无线网虚拟化牵涉到百万级的基站,是个漫长的

过程。另外,无线网虚拟化如何与MEC融合、如何支撑5G网络切片等问题,也需要不断推进和融合。无线网演进的终极目标是TIP、O-RAN等组织提出的Open RAN 软件开源、接口开放、硬件通用,而vRAN只是实现这个目标的前提条件之一。5G将是无线网虚拟化的一个契机,还需业界共同努力。

#### 参考文献:

- [1] Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces :3GPP TR 38.801[S/OL]. [2019-03-22]. [ftp://3gpp.org](http://3gpp.org).
- [2] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network, NG-RAN; Architecture description:3GPP TR 38.401[S/OL]. [2019-03-22]. [ftp://3gpp.org](http://3gpp.org).
- [3] 3GPP Technical Specification Group Services and System Aspects, System Architecture for the 5G System:3GPP TR 23.501[S/OL]. [2019-03-22]. [ftp://3gpp.org](http://3gpp.org).
- [4] 孙茜,田霖,周一青,等.基于NFV与SDN的未来接入网虚拟化关键技术[J].信息通信技术,2016(1):57-62.
- [5] 马颖.VRAN技术在5G网络的实现[J].移动通信,2017,41(20):69-73.
- [6] 迈向5G C-RAN:需求、架构与挑战白皮书[EB/OL]. [2019-03-22]. <https://download.csdn.net/download/benxays/11069447>.
- [7] 杨懋,杨旭,李勇,等.基于虚拟化的软件定义无线接入网结构[J].清华大学学报:自然科学版,2014,54(4),443-448.
- [8] 王友祥,李轶群,张澜,等.基站虚拟化技术研究[J].邮电设计技术,2016(11):47-50.
- [9] 冯志勇,冯泽冰,张奇勋.无线网络虚拟化架构与关键技术[J].中兴通讯技术,2014,20(3):16-21.
- [10] 吴根生,王学灵,邢志宇.MEC技术与移动网络重构浅析[J].移动通信,2018,42(1):15-20.
- [11] CTNet-2025网络架构白皮书[EB/OL]. [2019-03-22]. <https://wenku.baidu.com/view/d11934c6453610661fd9f421.html>
- [12] 徐川,马宏宝,赵国锋,等.软件定义无线网络研究进展[J].重庆邮电大学学报:自然科学版,2015(4),453-459.
- [13] S-RAN关键技术:5G无线网络虚拟化[EB/OL]. [2019-03-22]. <http://www.c114.com.cn/topic/4738/a918134.html>.
- [14] 王伟明.转发与控制分离技术及应用[M].杭州:浙江大学出版社,2010.
- [15] 齐旭.ETSI举行零接触网络和服务管理行业规范组(ZSM ISG)首次会议[EB/OL]. [2019-03-22]. <http://www.ccsa.org.cn>.

#### 作者简介:

王学灵,高级工程师,硕士,主要从事无线网络规划、咨询与设计工作。

