

文章编号: 2095-2163(2020)04-0231-06

中图分类号: TN918.1

文献标志码: A

# 基于 SDN 与 NFV 技术的第五代移动通讯方法研究

陈虹旭<sup>1</sup>, 刘清源<sup>1</sup>, 李晓坤<sup>1</sup>, 徐 龙<sup>1</sup>, 董潍赫<sup>2</sup>, 黄逸群<sup>2</sup>

(1 黑龙江恒讯科技有限公司国家博士后科研工作站, 哈尔滨 150090; 2 黑龙江大学, 哈尔滨 150090)

**摘要:** 在 5G 时代, 由于传统的网络传输架构缺乏灵活性, 已无法满足用户的各种需求。为了适应 5G 通讯系统中的不同场景(如 eMBB、URLLC 等), 本文提出了一种基于 NFV 和 SDN 的 5G 业务核心网络管理体系结构, 并基于该结构提出了一种最优工作负载分配算法。该框架结合 SDN、NFV, 可以提供分布式和按需的网络功能部署、网络切片、灵活的网络功能编排和最优的工作负载分配。仿真结果表明, 该框架和算法在降低网络运行成本方面是有效的。

**关键词:** NFV; SDN; 5G; 第五代移动通信

## Research on the fifth generation mobile communication method based on SDN and NFV technology

CHEN Hongxu<sup>1</sup>, LIU Qingyuan<sup>1</sup>, LI Xiaokun<sup>1</sup>, XU Long<sup>1</sup>, DONG Weihe<sup>2</sup>, HUANG Yiqun<sup>2</sup>

(1 Postdoctoral Program of Heilongjiang Hengxun Technology Co., Ltd., Harbin 150090, China;

2 College of International Culture and Education Heilongjiang University, Harbin 150090, China)

**[Abstract]** In 5G era, the traditional network architecture for lack of flexibility can't meet the diverse needs of users, in order to adapt to different scenarios of 5G communication system (such as eMBB, URLLC, etc.), this paper proposes a NFV and SDN based 5G core network management system structure, and puts forward a based on the structure of the optimal workload allocation algorithm. The framework, combined with SDN and NFV, can provide distributed and on-demand network function deployment, network slicing, flexible network function choreography and optimal workload distribution. Simulation results show that the framework and algorithm are effective in reducing the cost of network operation.

**[Key words]** NFV; SDN; 5G; Fifth generation mobile communication

## 0 引言

随着 5G 时代的到来, 通信量的激增和各种需求的不断增加, 给传统的移动网络体系结构带来了诸多挑战<sup>[1]</sup>。为解决“全网资源利用率低”、“网络过于复杂”、“专用通讯硬件过于昂贵”等问题, 使得 5G 移动网络的开发、部署和管理更加灵活高效<sup>[2-4]</sup>, 本文提出了一种新的基于 NFV(网络功能虚拟化)和 SDN(软件定义网络)的 5G 业务核心网络管理架构<sup>[5-7]</sup>。在架构中, 服务管理层负责服务的管理和编制, 基础设施管理层和 SDN 控制器负责网络功能部署、工作负载分配、流量调度等<sup>[8-10]</sup>。并且

基于该架构提出了一种最优工作负载分配算法, 可以提供分布式和按需的网络功能部署、灵活的网络功能编排和最优的工作负载分配。

## 1 系统架构

### 1.1 基本 5G 系统架构

随着 5G 的普及, 移动通信网络的数据流量和移动设备正在经历爆炸式的增长<sup>[11]</sup>。为了适应 5G 通讯系统中的不同场景(如 eMBB、URLLC 等)的要求, 5G 移动网络将成为一个面向服务的网络, 为创建新的服务和新的应用程序提供更大的灵活性<sup>[12-14]</sup>。

然而, 传统的移动核心网是一个集成系统, 它由

**基金项目:** 中小企业创新基金资助(2017FF1GJ023); 专利优势示范企业基金资助(2017YBQCZ029); 国家自然科学基金资助(81273649, 61501132, 61672181); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(3072019CFT0603); 黑龙江省自然科学基金联合引导基金资助(LH2019F049, LH2019A029); 中国博士后科学基金资助(2019M650069); 黑龙江省基础科研科技创新基金资助(KJCX201805); 黑龙江省基础科研青年创新团队基金资助(RCYJTD201805)。

**作者简介:** 陈虹旭(1986-), 男, 硕士, 高级工程师, CCF 会员, 主要研究方向: 虚拟化、云计算、人工智能等; 刘清源(1997-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 区块链、5G、智慧电网等; 李晓坤(1979-), 男, 硕士, 研究员级高级工程师, 教授, CCF 高级会员, 主要研究方向: 虚拟化、人工智能、生物特征识别等; 徐 龙(1997-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 移动通信、信息安全、软件开发等; 董潍赫(1999-), 男, 本科生, 主要研究方向: 无线通信、智慧城市、人工智能等; 黄逸群(1999-), 男, 本科生, 主要研究方向: 机器学习、第五代移动通信、数据开发。

**通讯作者:** 李晓坤 Email: li.xiaokun@163.com

收稿日期: 2020-02-11

互联网元素、不同功能的模块和专用硬件紧密耦合在一起。由于缺乏灵活性、可伸缩性和可部署性,这种体系结构不能满足5G时代用户的各种需求<sup>[15-17]</sup>。

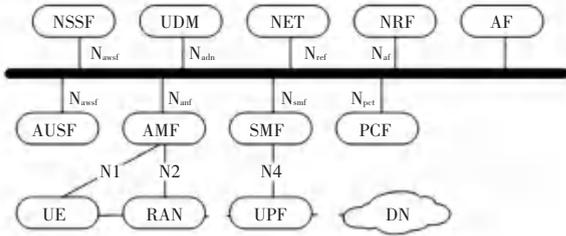


图1 5G核心网络体系结构图

Fig. 1 Diagram of 5G core network architecture

因此,为解决上述问题,人们提出了一种基于服务的5G核心网络体系结构,如图1所示。5G SBA进一步将单片网络元素划分为更小的网络功能单元(NFs)<sup>[18-20]</sup>,每个NF负责一个任务,并可以独立部署。在该架构中,所有移动数据都必须通过核心网才能接入业务层。由于5G网络超大的内容流量,上述方法的速度无法达到预期效果<sup>[21-23]</sup>。另外,5G预计支撑三大类应用场景,即eMBB, URLLC及mMTC,这需要不间断和健壮的数据交换<sup>[24-26]</sup>。例

如,自动驾驶和智能电网控制要求无线时延小于1ms,这在目前的移动网络中是无法保证的<sup>[27-29]</sup>。

1.2 改进的5G系统架构

为了解决上述问题,本文提出了一种基于NFV和SDN的5G核心网络管理和部署体系结构,如图2所示。5G服务门户(5G service portal)为不同的用户提供不同的服务入口。服务管理层(service management layer)负责根据BSS(业务支撑系统)与OSS(运营支撑系统)制定的策略编排和配置NF模块。基础设施管理层(infrastructure management layer)负责管理核心网基础设施。该层中有两种SDN控制器,分别是负责NF管理与协调的核心SDN控制器(Core SDN Controller)和负责回程网络中有效流量调度的流SDN控制器(flow SDN controller)。在SDN控制器的控制下,5G核心用户和一些应用程序可以作为mobile edge core(MEC)部署在边缘服务器上,而控制层数据作为mobile cloud core(MCC)部署在云数据中心。因此,需要快速响应的数据可以在MEC上进行处理,并快速返回,以减少对核心网的占用,消除回程延迟。

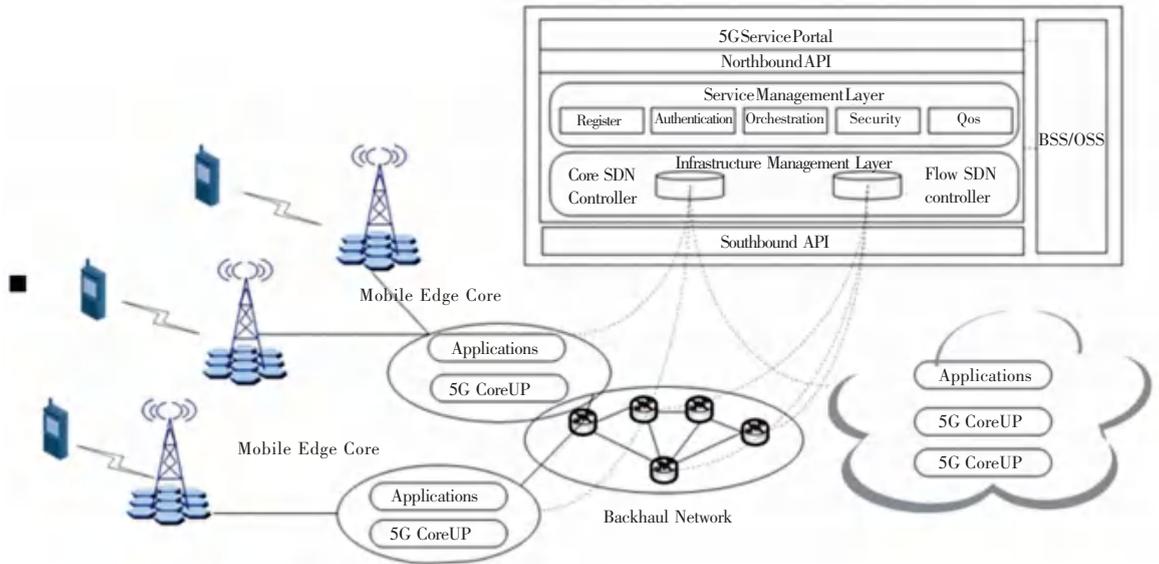


图2 5G核心网络部署体系架构图

Fig. 2 Diagram of 5G core network deployment architecture

基于所提出的框架,本文完成了5G SBA基于服务的“网络切片编制与管理”框架的设计与实现,如图3所示。利用OpenStack实现虚拟平台,通过虚拟基础设施管理器(virtual infrastructure manager, VIM)对NFV的计算、存储进行虚拟化。NFV由OpenStack中的HEAT模块实现,该模块可以对服务进行部署和生命周期管理。使用“Ansible”作为虚

拟网络功能管理模块(virtualized network function management),用于配置、部署和编排高级任务。在IP传输网络资源的管理和调度方面,利用ODL作为SDN控制器。在此基础上,可以进行网络管理并实现构建多个虚拟租户网络(VTN)。

为了实现网络切片管理和编制功能,本文引入了网络操作系统(NOS)概念,如图4所示<sup>[30]</sup>。NOS主要

包括:公共服务模块(common services)、核心业务管理模块(core orchestration and management)、驱动管理模

块(Driver management)、刀片管理模块(slice designer)和特定的“UI”模块。这些组件的功能和实现方法如下:

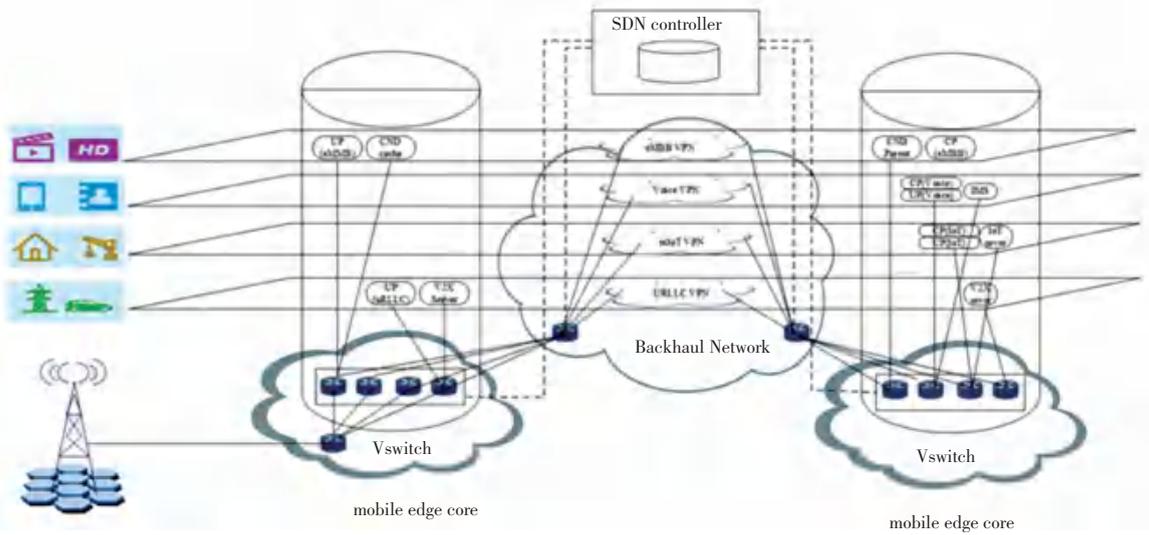


图 3 虚拟平台架构图

Fig. 3 Virtual platform architecture diagram

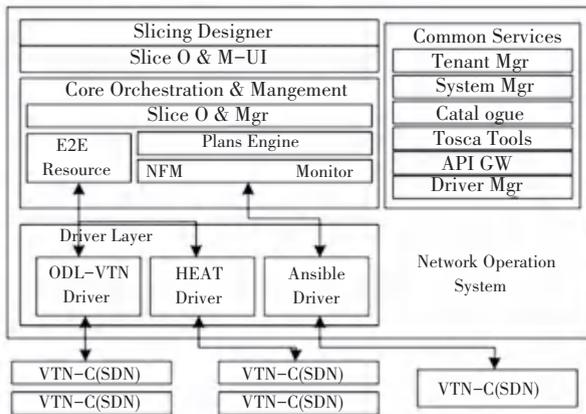


图 4 NOS 模块框架图

Fig. 4 Block diagram of NOS module

1.2.1 公共服务模块

Tenant Manager: 提供管理和授权身份验证控制的租户信息。

(1) System Manager: 提供切片管理与系统组件管理,包括注册、更新和监控。

(2) Catalogue: 对切片编制管理的相关数据进行目录化管理。

(3) TOSCA: 利用 Apache ARIA TOSCA 实现 TOSCA 模型的编制器。

(4) API GW (API Gateway): 该组件支持面向对象服务框架,提供 API 管理、注册、发布和协调网络服务。

(5) Driver Manager: 提供驱动管理。

1.2.2 核心业务管理模块

该模块负责核心业务流的监控、配置和管理。

(6) Slice O&M: 提供端到端的网络切片和配置管理。

(7) Plans Engine: 该模块负责设计网络切片工作流程模型。

(8) E2E Resource O&M: 该模块负责网络切片端到端的基础设施资源管理。

(9) NFM module: 对每个网络功能进行配置、生命周期管理和监控

(10) The Driver layer: 为 SDN/NFV 组件提供多种适配器。

(11) The Slicing Designer: 按需为用户提供定制化网络切片。

在此框架中,所有服务都在 NFV 平台上进行,为 NFs 提供了更加灵活的编排机制,并且在基础设施管理层使用了两个不同的 SDN 控制器,从而实现了按需部署、监控和管理。此外,回程网络延迟问题也得到了解决,一些核心网络功能可以交予 MEC 处理,从而大大的降低了回程延迟。

2 算法

2.1 算法描述

根据上述框架描述,该管理框架通过启动或终止相关的 NFVs,来支持灵活和动态的服务迁移。SDN 控制器将根据当前网络状态在迁移的收益和费用之间进行权衡,迁移决定因素 (MDF) 被定义为服务迁移的相对成本。服务节点 x 的 MDF 是延迟、可用负载、带宽、服务价格、信用函数。如果将 y 定义为之前的服务提供者 (即迁移起点),MDF 可以表示为:

$$\text{MDF}(x) = \sum (C_{\text{lat}}(x), C_{\text{load}}(x), C_{\text{band}}(x, y), C_{\text{cre}}(x), C_{\text{pri}}(x)) \quad (1)$$

其中:  $C_{\text{lat}}(x)$  表示传输延迟,  $C_{\text{load}}(x)$  表示服务器的容量,  $C_{\text{band}}(x, y)$  表示两点间的最大带宽,  $C_{\text{cre}}(x)$  表示两点间的回程延迟,  $C_{\text{pri}}(x)$  为租用服务器的成本。

因此,可以得到一个由所有服务节点的决定因素组成的矩阵。通过设置各参数的权重系数,对矩阵进行归一化,得到各节点迁移的相对代价。然后,选择成本最小的节点作为服务提供者。

## 2.2 具体公式

### 1) MEC 耗能

假设 MEC 耗能与工作量呈线性关系。设  $x_{i,j}$  为应用程序  $j$  对 MEC  $i$  的请求速率(以秒为单位)。因此,可以利用时间  $T$  表示 MEC 的耗能。

$$C^{\text{edge}} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J h_i a_i x_{i,j} T. \quad (2)$$

### 2) MEC 延迟

设  $v_{i,j}$  为 MEC  $i$  对服务  $j$  的相应速率(以秒为单位),则可得到:

$$D_{i,j}^{\text{edge}} = \frac{1}{v_{i,j} - x_{i,j}}. \quad (3)$$

### 3) MCC 耗能

设  $y_{i,j,m}$  为应用  $j$  从 MEC  $i$  到数据中心  $m$  的耗能,  $\mu_{j,m}$  为数据中心对应用的响应速率。另设数据中心的空载功率和峰值功率为  $P_{j,m}^{\text{idle}}$  和  $P_{j,m}^{\text{peak}}$ , 则可得到:

$$C^{\text{icloud}} = \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M f_m [c_{j,m} P_{j,m}^{\text{idle}} + (P_{j,m}^{\text{peak}} - P_{j,m}^{\text{idle}}) \frac{\sum_i y_{i,j,m}}{\mu_{j,m}}] T. \quad (4)$$

### 4) MCC 延迟

设  $D_{j,m}^{\text{cloud}}$  表示应用  $j$  到数据中心  $m$  的延迟,可得到:

$$D_{j,m}^{\text{cloud}} = \frac{1}{C_{j,m} \mu_{j,m} - \sum_i y_{i,j,m}} + \frac{1}{\mu_{j,m}}. \quad (5)$$

### 5) 回程网络带宽成本

回程网络带宽成本可按式(6)计算:

$$C^{\text{bandwidth}} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M y_{i,j,m} s_j P_m. \quad (6)$$

计算结果用美元/Mbps 表示。

### 6) 回程延迟成本

因回程延迟通常会导致收入损失,但这是一种成本,可表示为:

$$C^{\text{delay}} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \varepsilon_j d_{j,m} y_{i,j,m} T. \quad (7)$$

计算结果用美元/ms 表示。

因此,最优工作量分配问题可表示为系统总成本最小化问题,可由式(8)计算得出。

$$\min C^{\text{edge}} + C^{\text{bandwidth}} + C^{\text{delay}} + C^{\text{cloud}}. \quad (8)$$

## 3 仿真实验与结果分析

本文在 Core(TM) i5-4210H CPU 16G RAM 的 PC 机上,采用 MATLAB 进行了仿真。仿真结果表明,本文提出的框架和算法在降低网络运行成本方面是有效的。

图5显示了边缘服务器从10增加到70时,系统总成本能源价格的变化。从中可以看出,当边缘服务器的能源价格较低时,该框架可以降低系统成本;当边缘服务器的能源价格过高时,由于所有的工作负载都将分配给 MCC,所以框架的总成本与基线相同。

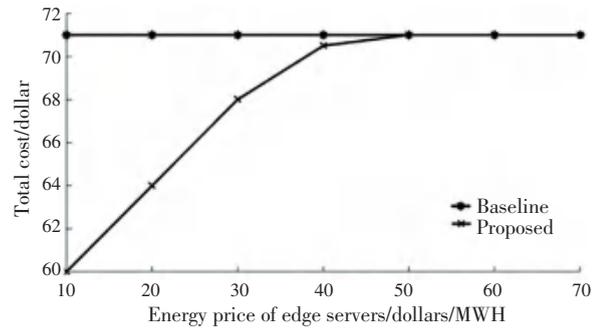


图5 系统总成本

Fig. 5 Total system cost

图6与图7说明随着分配给 MECs 的工作数量  $h_i$  的变化,回程延迟受到的影响。由图6可见,当边缘服务器的成本更低时,更多的工作负载分配给了 MECs。随着边缘服务器成本的增加,MEC 上的工作负载处理减少到零,当网络有较高的延迟时,分配给 MECs 的工作更多,主要原因是 MECs 更接近用户,可以有效的减少延迟。

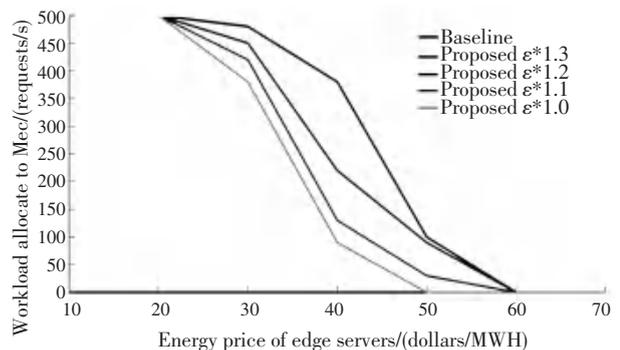


图6  $h_i = 10$  时分配给 MEC 的工作负载

Fig. 6 Workload assigned to MEC when  $h_i = 10$

图7为  $h_i$  从10增加到70时分配给 MCC 的工

作量,以及回程网络带宽成本的影响。从图中可以看出,随着边缘服务器成本的增加,MCC 处理的工作量也随之增加。与  $h_i$  相同,当分配给 MCC 在回程网络的带宽价格比较高时,在 MEC 上处理工作降低了系统成本。

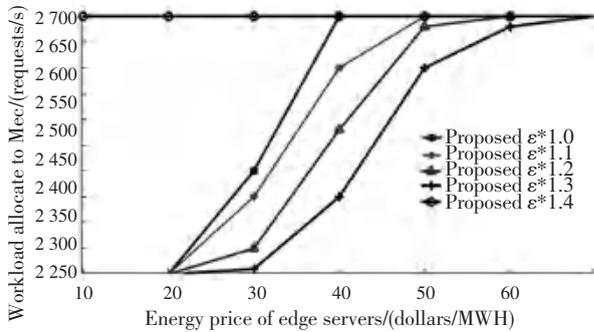


图 7  $h_i=70$  分配给 MCC 的工作负载

Fig. 7 Workload assigned to MEC when  $h_i=70$

图 8 显示了请求大小从 1 Mb 增加到 10 Mb 时的系统开销。由图 8 可见,即使采用比光纤连接更便宜的混合连接,所提出框架的系统成本也低于原成本。另外,随着 request 大小的增加,所提出的方法和原方法之间的性能差距扩大。这是由于更大的 request 带来更多的回程成本,而 MECs 可以降低由于分布式架构的回程成本。

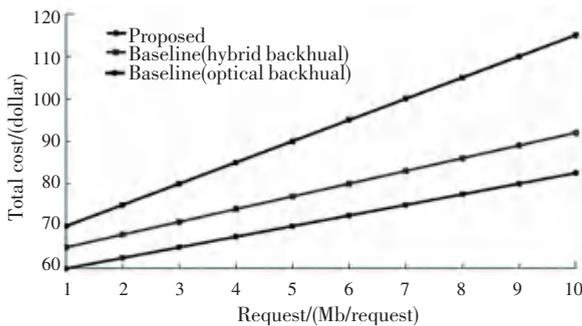


图 8 请求大小的影响

Fig. 8 Impact of request size

#### 4 结束语

本文提出了一种新的 SG 核心网络 SBA 管理体系结构,并基于该结构提出了一种最优工作负载分配算法。该框架结合 SDN、NFV,可以提供分布式的、按需的网络功能部署、服务保证的网络切片、灵活的网络功能编排和最优的工作负载分配。仿真结果表明,该框架和算法在降低网络运行成本方面是有效的。

#### 参考文献

[1] GOFF S A. A Draft Sequence of the Rice Genome (*Oryza sativa* L. ssp. japonica)[J]. Science, 2002, 296(5565):92-100.  
 [2] TSAI M C, MANOR O, WAN Y, et al. Long Noncoding RNA as

Modular Scaffold of Histone Modification Complexes [J]. Science, 2010, 329(5992):689-693.  
 [3] DAVIES D R, PADLAN E A, SEGAL D M. Three-dimensional structure of immunoglobulins. [J]. Progress in Immunology, 1971, 44(1):25-32.  
 [4] THUMMALURU S R, KUMAR R, CHAUDHARY R K. Isolation and frequency reconfigurable compact MIMO antenna for wireless local area network applications[J]. IET Microwaves Antennas & Propagation, 2019, 13(4):519-525.  
 [5] BOCCARDI F, HEATH R W, LOZANO A, et al. Five Disruptive Technology Directions for 5G [J]. IEEE Communications Magazine, 2013, 52(2):74-80.  
 [6] THUMMALURU S R, KUMAR R, CHAUDHARY R K. Isolation and frequency reconfigurable compact MIMO antenna for wireless local area network applications[J]. IET Microwaves Antennas & Propagation, 2019, 13(4):519-525.  
 [7] SHAHZADI R, NIAZ A, ALI M, et al. Three tier fog networks: Enabling IoT/5G for latency sensitive applications [J]. China Communications, 2019, 16(3):1-11.  
 [8] WARD, NEIL M. Provisionally Corrected Surface Wind Data, Worldwide Ocean - Atmosphere Surface Fields, and Sahellian Rainfall Variability[J]. Journal of Climate, 1992, 5(5):454-475.  
 [9] MA H, WANG X, CAI J, et al. N6 - Methyladenosine methyltransferase ZCCHC4 mediates ribosomal RNA methylation [J]. Nature Chemical Biology, 2019, 15(1):88-94.  
 [10] JEFEE-BAHLOUL H, JORANDBY L, ARIAS A J. Topiramate Treatment of Alcohol Use Disorder in Clinical Practice[J]. Journal of Addiction Medicine, 2019, 13(1):23-27.  
 [11] JENSEN C T, BLAIR K J, WAGNER-BARTAK N A, et al. Comparison of Abdominal Computed Tomographic Enhancement and Organ Lesion Depiction Between Weight - Based Scanner Software Contrast Dosing and a Fixed-Dose Protocol in a Tertiary Care Oncologic Center [J]. Journal of Computer Assisted Tomography, 2019, 43(1):155-162.  
 [12] CHENG L, ZHAO H, HUANG H, et al. Quantum dots - reinforced luminescent silkworm silk with superior mechanical properties and highly stable fluorescence[J]. Journal of Materials Science, 2019, 54(13):9945-9957.  
 [13] ZHOU B, LIU A, LAU V. Successive Localization and Beamforming in 5G mmWave MIMO Communication Systems[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2019, 67(6):1620-1635.  
 [14] YANG J, JI X, HUANG K, et al. Unified and fast handover authentication based on link signatures in 5G SDN-based HetNet [J]. IET Communications, 2019, 13(2):144-152.  
 [15] LIU X, LI W, ZHAO Z, et al. Tangential Network Transmission Theory of Reflective Metasurface With Obliquely Incident Plane Waves [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2018, 66(1):64-72  
 [16] CAMPBELL E M, HONGWEI J, ANUPAMA S, et al. Detailed Transmission Network Analysis of a Large Opiate - Driven Outbreak of HIV Infection in the United States[J]. The Journal of Infectious Diseases, 2017, 216(9):1053-1062.  
 [17] LI C, LI J, LI Y, et al. Bayesian Coalition Formation Game for Virtual 5G Core Network Functions[J]. IEEE Access, 2019, PP(99):1-1.