

# 5G 网络人工智能化的基本框架和关键技术

## 5G Networks Based on Artificial Intelligence: Basic Framework and Key Techniques

王威丽/WANG Weili  
何小强/HE Xiaoqiang  
唐伦/TANG Lun

(重庆邮电大学移动通信重点实验室,  
重庆 400065)  
(Key Laboratory of Mobile  
Communication, Chongqing University of  
Posts and Telecommunications,  
Chongqing 400065, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 02-0038-005

**摘要:** 认为未来的 5G 蜂窝网络需要满足大量服务和应用的不同需求。随着网络配置复杂性的提高及新型业务的不断涌现, 5G 网络的标准化进程亟需新的技术支持。通过对 5G 网络新特征的分析, 将人工智能与 5G 网络相结合, 设计了一种智能化 5G 网络框架, 该框架由环境舱、智能中心及网络策略 3 部分组成。同时, 归纳了当前人工智能技术在业务预测、网络切片、无线资源分配以及资源共享领域的应用, 并总结了实现智能化 5G 网络的机遇和挑战。

**关键词:** 5G 蜂窝网络; 人工智能; 新特征; 智能化框架

**Abstract:** The future 5G cellular network is required to support a large number of services and applications. With the increasing complexity of network configuration and the continuous emergence of new-type services, the standardization process of 5G networks urgently calls for new technical support. Based on the new features of 5G network, an intelligent 5G framework is designed by combining artificial intelligence with 5G network. This framework is composed of three parts: environment capsule, intelligent center and network strategy. Then, the current applications of artificial intelligence technology in traffic forecasting, network slicing, wireless resource allocation and resource sharing are summarized. Finally, the opportunities and challenges of realizing intelligent 5G networks are summarized.

**Keywords:** 5G cellular networks; artificial intelligence; fresh features; intelligent framework

### 1 智能化 5G 蜂窝网络

第 5 代移动通信 (5G) 网络采用了复杂的无线传输技术和无线网络架构, 5G 将是融合、协同的多制式共存的异构网络。从技术上看, 将存在多层、多无线接入技术的共存, 导致网络结构非常复杂, 各种无线接入技术内部和各种覆盖能力的网络节点之间的关系错综复杂, 网络的部署、管理、维护将成为一个极具挑战性的工作。为了降低网络部署、运营维护复杂度和成本, 提高网络运维质量, 未来 5G 系统还须具备充分的灵活性, 具有网络自感知、自调整等智能化能力, 以应对未来移动信息社会难以预计的快速变化。

#### 1.1 5G 网络新特征

在 2G 时代, 网络中需要配置的参数为 50 个, 到 3G 时代, 数量增加到 100 个, 而 4G 时代需要配置的参数

已经到达 1 500 个。按照这个趋势, 5G 时代需要配置的参数将可能会达到 2 000 个<sup>[1]</sup>。然而, 当前 4G 网络的管理和配置依然采用手动/半自动的方式, 这种方式不仅成本高且效率低下, 给 5G 网络的性能实现带来了巨大的挑战。因此, 为了高效地管理和配置 5G 网络, 自组织性将会成为未来 5G 网络的重要特征。

随着人们对通信网络依赖性的增加, 新的业务类型 (如: 增强移动宽带、高可靠低时延通信、大规模物联网) 不断涌现, 5G 时代将面临不断改变的业务类型模式带来的挑战<sup>[2]</sup>。在

这种情况下, 5G 蜂窝网络需要具备自主识别新业务类型、高效的资源调度机制、按需定制相应网络切片的一些功能。

目前, 为了使 5G 系统更加自动化和智慧化, 国际电信联盟 (ITU) 正式成立了“ITU 面向包括 5G 在内的未来网络的‘机器学习’焦点组, 重点研究机器学习、人工智能在包含 5G 系统的未来网络中的应用<sup>[3]</sup>。此外, 面向将来的 5G 网络与服务, 为了实现灵活、高效、高质量的管理、服务、运营的“自动化”, 欧洲电信标准化协会 (ETSI) 发布了一份名为《自动化下一

代网络中的网络和服务操作的必要性和益处》的白皮书<sup>[4]</sup>,核心的目标是实现5G网络与服务管理、运营的自动化。

## 1.2 人工智能

人工智能的最终目标是建立一个类似于人类思维活动的系统模型。因此,人工智能的实现主要在于构建出来的操作系统能否根据系统的“思维活动”采取理想的行动<sup>[5]</sup>。人工智能领域处理的问题主要包括感知、挖掘、预测以及推理。

- 感知:具有感知能力的智能体对外部环境进行监测;
- 挖掘:对感知到的外部信息进行分类和分析;
- 预测:基于系统经验获得概率模型;
- 推理:具有认知功能的智能体根据外部模型做出推断性结论。

从实践角度来说,设计能够自主思考的系统对5G网络的意义重大,例如:5G网络可以利用感知技术进行网络异常检测以实现网络的自修复,利用挖掘技术对网络业务进行分类分析,利用预测技术预测用户的移动趋势和业务量变化以及利用推理技术配置一系列的参数以更好地适应业务等。人工智能技术不仅具备和环境交互的能力且可以根据不同的环境条件自动执行合理的行动,因此各行各业的人工智能化已经成为社会的必然发展趋势。

## 1.3 5G网络人工智能化的重要意义

(1)5G网络需要通过智能决策,管理种类繁多的资源和动态变化的业务流量。在早期以语音为主的通信网络中,流量模型易于预测,这一时期的流量需求管理也相对较为简单。然而,智能设备的出现使得无线流量模型在维度和粒度上变得更加复杂。为了使网络在面对不同的业务和流量需求时依然能够保证最佳用户体验,策略控制系统需要进行异

常复杂的处理。以网络功能虚拟化为例,必须使其核心决策算法能够自动匹配当前的无线、用户以及流量条件,以实现计算资源的动态分配。而在这方面,人工智能是最佳候选技术,可以为当前的无线系统提供更敏捷和健壮的复杂决策能力。

(2)5G网络需要通过自动化,在提高效率的同时降低成本。如何低成本、高效率地运营日益复杂的网络是当前面临的一项重大挑战。目前2G、3G、4G网络的信息数据基本上是通过路测、用户投诉记录或操作维护中心(OMC)的报告来获取的,这种数据获取方法效率较低,已经不能满足5G网络对于低时延和实时跟踪来提高资源利用率的需求。为了实现5G网络自动化,需要对用户域(包括用户分布、用户需求等)、网络域(网络负载、拥塞状态等)和无线域(频谱利用率、链路质量等)的动态网络状况有全面充分的了解。因此,智能感知技术是实现5G网络自动化的一个重要条件。

(3)5G网络需要根据业务特征按需提供服务。提高网络的资源利用率是满足日益增加的网络业务需求的必要条件。当前的移动网络采用一种网络架构服务所有业务类型的模式。由于网络的单一性,网络中的所有用户只能采用相同的带宽消耗模式,不仅每一类业务类型的特定性能需求无法得到保证,还会大大降低网络资源利用率。5G网络切片的出现使得用户可以根据特定需求定制针对性服务<sup>[6]</sup>,而为了实现网络切片的灵活调用,切片的创建、部署和管理都将离不开智能化技术。

## 2 智能5G网络架构

为了提升当前网络的决策能力,实现网络自动化,并能为特定业务按需建立网络切片,以达到灵活地使用和管理网络的目的,有必要让蜂窝网络具备感知环境的能力,对不确定因素进行学习,设计相应行为,合理地

配置网络。人工智能主要就是解决怎样对变量进行学习,预测未来的状态,通过和环境交互找到潜在解决方案的方法。因此,5G时代的蜂窝网络可以利用人工智能技术和环境进行交互以改变网络的运作模式,实现智能的5G时代。

本文提出的智能5G网络架构主要包括3个部分:环境舱、智能中心和网络策略。智能5G网络架构能够从真实网络环境中读取、观察和分析各类网络信息,同时也能采取相应的行动策略对网络环境加以控制。

### 2.1 环境舱

环境舱是智能5G网络架构中唯一可以和真实网络环境直接交流的部分,它主要执行以下两种任务:

(1)为了维持网络运作秩序,环境舱需要存储从真实环境中观察到的网络状态信息,包括网络拓扑信息、业务请求信息以及资源使用情况等,并负责将这些信息批量传送到智能中心。

(2)为了保证向智能中心传送的网络信息的实时性,环境舱还需要将网络策略采取的行动信息(包括切片配置、用户关联以及资源分配等)传送到真实网络环境中,以便网络环境实时更新状态信息。

### 2.2 智能中心

智能中心是智能5G网络架构的核心部分,智能5G网络框架如图1所示。通过利用人工智能中的感知、挖掘、预测以及推理方法,对从环境舱中获得的信息进行处理,例如:进行拓扑感知、业务预测以及请求分析等。处理的结果最终会发送给网络策略模块,并做出相应的决策。这些结果可能包括业务分析报告(如资源配置建议)、用户控制信息(如用户服务优先级)以及网络配置通知(如需要调整的参数)等。

以网络切片为例,人工智能利用感知模块获取网络拓扑信息,接着利

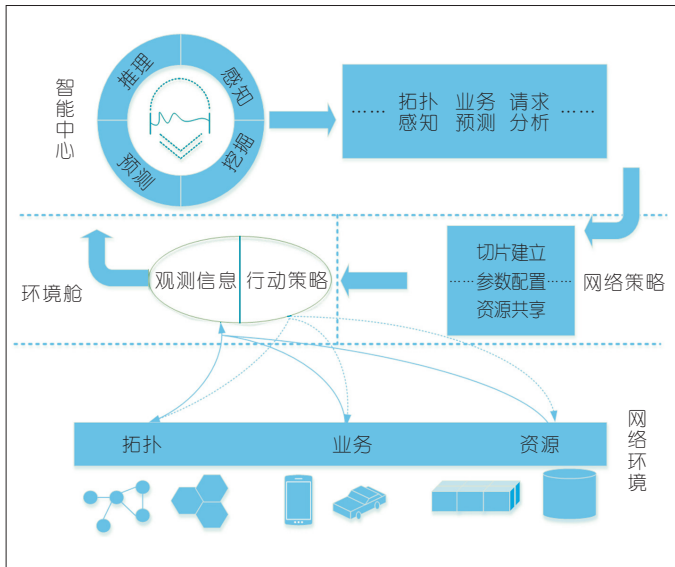


图1 智能5G网络框架

用挖掘模块对搜集的信息进行分析和处理,并基于历史物理网络节点资源的使用情况对节点的资源需求量进行预测,然后利用推理模块获取网络切片的虚拟网络功能可能的部署方案。

### 2.3 网络策略

根据智能中心传递来的各类信息形成最终的网络策略。由网络策略决定最终采取的各类行动,如给某类请求业务建立切片、网络参数的配置和调整以及虚拟网络映射等。最终的决策行动会经环境舱反馈给真实网络环境,网络环境则会根据最新行动更新其状态信息。

以网络切片的建立为例,网络策略会根据由智能中心传来的业务分析报告来决定分配给每个切片的资源类别以及数量,同时,网络策略会将最终的资源分配策略传递给环境舱,而环境舱会反馈到真实网络中以及及时更新网络资源相关的整体使用情况。

## 3 5G网络智能化的关键技术

这一部分将从4个方面来详细分析当前的无线网络智能化方案,主要包括业务预测、网络切片、无线资源

分配以及资源共享。

### 3.1 业务预测

随着用户业务需求量的增加,业务预测已经成为5G网络监督和管理的核心部分。精确的业务预测需要通过追踪数据流的变化来建立实际的网络业务模型。由于网络中诸多非线性因素的影响,5G网络的业务变化将在时域上呈现较大的不规律性,从而使得传统的线性回归技术已经不再适用于预测和分析当前网络的业务变化情况。基于现有的研究,表1总结了几种可用于智能5G网络的业务预测方法<sup>[7]</sup>:实时方法、时序分析法、反向传播<sup>[8]</sup>及支持向量机,并分析了各自的优点和缺点。

### 3.2 网络切片

当前“一体适用”的网络架构会

造成不同类型业务的需求冲突,从而影响用户体验。网络切片技术的出现,使得5G网络可以根据不同业务的特定需求自行租用共享的物理网络基础设施,用以构建多个逻辑独立的网络。网络切片提供了一个网络即服务(NaaS)模型,能够根据动态的业务和应用需求灵活地分配和重新分配网络资源,从而为不同的5G通信场景定制网络切片。为了实现网络切片的灵活调度,文献[9]将人工智能方法运用到5G网络切片中设计了代理商实体,并且通过3个基本模块的联合调用来提高网络资源利用率。智能5G网络切片框架具体如图2所示。

- 预测模块:分析网络切片的业务模式,使用 Holt-Winters 预测方法分析并预测未来的切片业务请求,并将预测信息提供给接入控制模块;

- 接入控制模块:使用接入控制策略来选择下一个时间窗口内可被授权的网络切片请求;

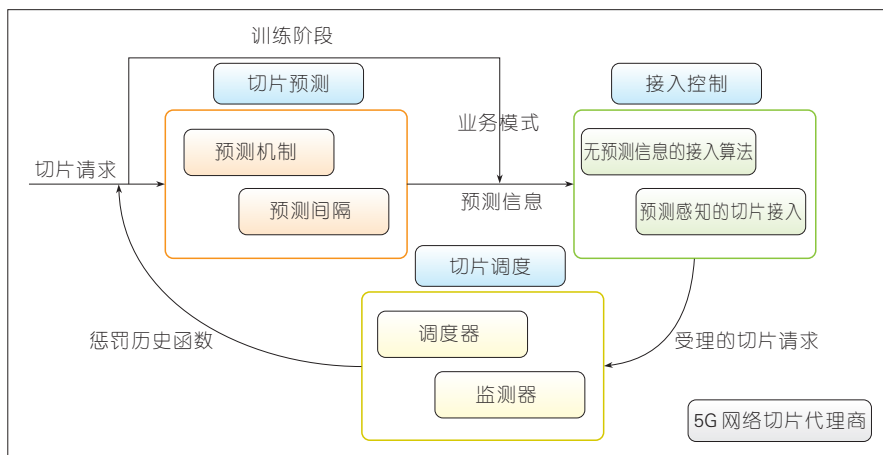
- 切片调度模块:接收来自接入控制模块的受理切片请求列表,并给网络切片分配物理资源;监测(通过使用惩罚历史函数)服务水平协议的违反情况。

### 3.3 无线资源分配

为了使5G网络能够根据不断变化的业务需求为用户进行动态资源分配,多种基于人工智能的算法已经被应用到无线资源管理领域中,表2对几种相关算法进行了总结并分析了其相应的特点,具体包括:遗传算

表1 智能5G网络的业务预测方法

方法	方法描述	优缺点
实时方法	系统将最新观测到的业务情况作为下一周期的业务量	只适用于各周期间业务波动较平稳的情况
时序分析	用数据报告中的相邻值来表征连续的测量结果	模型泛化能力差,不能可靠地预测观察报告之外的系统状态
反向传播	学习采样由输入层提供,经过中间层的神经元传输到输出层,反向传播算法在隐藏的中间层执行	此方法不仅可以识别非线性模式,且预测精确度较高,可以缩短训练过程所需的时间
支持向量机	优化支持向量找出训练数据中的错误,训练数据由3个参数(流速、体积、密度)组成,用这3个参数来刻画业务流	即使当业务状态变化幅度较大时,此方法依然具有很好的性能。此外,此方法还可以解决非线性问题



▲图2 智能5G网络切片框架图

▼表2 无线资源分配方法

方法	方法描述	特点
遗传算法	根据建立的优化目标,全局搜索最优解	能解决非线性优化问题;巨大的全局搜索容量;较强的健壮性
多臂赌博机	通过调整分配给各个竞争者的资源比例,在最大化本身的收益和满足其他设备的收益之间折衷	适用于多个竞争者的自适应决策问题;分布式优化方法
Q学习	通过在特定的状态执行能够使累积收益最大的行动得到最优的资源分配策略	适用于系统模型未知和网络和环境随机变化的情况

法<sup>[10]</sup>、多臂赌博机<sup>[11]</sup>和Q学习算法<sup>[12]</sup>。

### 3.4 资源共享

网络功能虚拟化技术允许底层物理网络经营者向服务提供商租用部分基础设施,服务提供商利用租用的基础设施资源创建自己的虚拟网络以向终端用户提供端到端服务。虚拟网络由一系列的虚拟节点和链路组成,这些虚拟节点和链路由底层物理网络的路径和节点支撑。高效的底层物理资源共享过程主要分为两步:第一步是虚拟网络映射,将虚拟网络节点和链路映射为底层物理节点和路径;第二步是在虚拟网络的生命周期内为虚拟节点和链路动态分配资源。为了实现对虚拟网络的高效管理,文献[13]利用人工神经网络(ANN)技术设计了一种自动化系统为虚拟网络提供自适应的资源分配。将底层物理网络的节点和路径用ANN进行模拟,ANN的输入为网络资源状态,输出为资源共享方案。文献[13]还采用了一种类似于增强学

习的误差函数对ANN的输出结果进行满意度评估,以完成ANN的在线训练过程。

文献[14]提出了一个基于图形神经网络(GNN)来预测虚拟化网络功能(VNFs)对资源的需求,该GNN模型表示由VNF及其连接的相邻VNFs形成的星型拓扑,通过将前馈神经网络(FNN)函数应用于不同的GNN层来计算VNF对资源的需求,从而实现对于NFV中的资源动态感知和管理。

## 4 研究展望

### 4.1 智能化5G网络的机遇

人工智能给5G网络的实现带来了更多的机会。首先,面对超负荷的蜂窝网络数据量,人工智能可以利用这些数据预测可能发生的事件,并在此基础上实现网络资源的动态分配和参数的动态配置;其次,随着网络的异构化,人工智能技术能够分析新兴的业务请求并为其匹配最合适的接入点以满足用户的性能需求;最

后,人工智能技术可以使5G网络对于系统警报响应和安全威胁防护都变得更加敏捷,从而使网络能够更好地应对意料之外的网络状况。

人工智能算法包含领域较广且种类繁多,其中机器学习方法(如Q学习和支持向量机)、深度学习方法(如卷积神经网络和循环神经网络)、神经网络(如反向传播算法、玻尔兹曼机等)、群智能算法(如蚁群算法)以及进化算法(如经验竞争算法)都可以用来改善5G网络性能。

在上述技术中,神经网络和深度学习目前受到了广泛关注。一般来说,神经网络由许多神经元和神经元之间的加权连接组成,其中的神经元可以抽象为变量而加权值可以视为相关参数。神经网络可以利用学习技术实现合理配置以保证相关应用可以根据一组输入值得到理想的输出值,通过学习算法迭代调整当前所有神经元对之间的连接权重值,使神经网络的输出值和输入值达到最佳匹配。当前,神经网络已经在认知无线网络的状态估计和预测方面表现出了良好的性能,而为了让神经网络算法在5G网络中发挥其自适应性及分散控制的优势,此项技术正在被逐渐运用到NFV的虚拟网络映射和资源共享领域,然而当前神经网络技术在5G网络中的应用依然处于初步阶段。

进化算法也将因其复杂度低和收敛性快的优势成为下一代无线网络的重要实现技术,例如:遗传算法就可以通过模仿自然选择过程解决网络优化问题。相比之下,机器学习算法的执行主要包含两个阶段:训练阶段和测试阶段,其中训练阶段的复杂性要比测试阶段高得多,由于当前对5G网络在能效和灵活性方面的严格要求,对于小型的移动终端将只执行其机器学习算法中的测试阶段。

### 4.2 5G网络智能化挑战

将人工智能技术运用到5G网络

中的好处显而易见,但其中仍然存在一些值得思考的问题:首先,在5G时代,网络数据是一把双刃剑,虽然海量的数据给人工智能的训练和使用提供了宝贵的基础,但找到一个简单有效的模型来匹配这些数据却相当困难;其次,为了及时处理蜂窝网络中的数据,需要网络具备巨大的存储和计算资源,且可能会威胁到信息安全;最后,人工智能算法的使用必须以数据的集中处理为前提。所有这些因素均会对网络实体的计算容量和运营成本带来巨大的负担。

## 5 结束语

本文首先介绍了5G网络的新特征以及人工智能的基本概念,在此基础上阐述了将人工智能技术运用到5G网络中的重要理论和实践意义。其次,本文设计了一种智能化5G网络架构,此架构主要由3部分组成:和真实网络环境进行实时交互的环境舱;利用人工智能技术对从环境舱传来的信息进行处理智能中心;根据智能中心的处理结果采取行动的网络策略。这种智能化5G网络架构能够通过和网络环境的交互解决5G网络中的各类决策性问题。进一步,本文对当前人工智能技术在业务预测、网络切片、无线资源分配以及资源共享方面的应用作了简单总结并分析了各种算法的特点和适用场景。最后,本文分析了人工智能技术运用到5G网络中的机会和挑战。虽然5G网络的人工智能化进程依然存在重重阻碍,但我们相信人工智能技

术将会翻开未来移动通信网络的新篇章。

### 参考文献

- [1] IMRAN A, ZOHA A. Challenges in 5G: How to Empower SON with Big Data for Enabling 5G [J]. Network IEEE, 2014, 28(6):27-33. DOI: 10.1109/MNET.2014.6963801
- [2] 任驰,马瑞涛.网络切片:构建可定制化的5G网络[J].中兴通讯技术,2017,24(1):26-30. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2018.01.006
- [3] ITU Focus Group on Machine Learning for Future Networks including 5G [EB/OL]. (2017-11-06)[2018-03-19]. <http://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ml5g/Pages/default.aspx>.
- [4] ETSI Launches Zero Touch Network and Service Management Group [EB/OL]. (2017-12-14)[2018-03-19]. <http://www.etsi.org/news-events/news>
- [5] LI D. Artificial Intelligence in the Rising Wave of Deep Learning: The Historical Path and Future Outlook [Perspectives][J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2018, 35(1):180-177. DOI: 10.1109/MSP.2017.2762725
- [6] 5G Network Architecture: A High Level Perspective [EB/OL]. (2017-07-21)[2018-03-19]. <http://www.huawei.com/minisite/5g/img>
- [7] YAN X B, LU T, LI Y J, et al. Research on Event Prediction in Time-Series Data[C]// International Conference on Machine Learning and Cybernetics. USA:IEEE, 2004, (5):2874-2878. DOI: 10.1109/ICMLC.2004.1378522
- [8] PAN X, LEE B, ZHANG C. A Comparison of Neural Network Backpropagation Algorithms for Electricity Load Forecasting[C]// IEEE International Workshop on Intelligent Energy Systems. USA: IEEE, 2014:22-27. DOI: 10.1109/IWIES.2013.6698556
- [9] DARIO B, M G, ALBERT B. Mobile Traffic Forecasting for Maximizing 5G Network Slicing Resource Utilization [C]// IEEE INFOCOM. USA:IEEE, 2017. DOI: 10.1109/INFOCOM.2017.8057230
- [10] TSENG L Y, CHEN S C. Two-Phase Genetic Local Search Algorithm for the Multimode Resource-Constrained Project Scheduling Problem [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2009, 13(4): 848-857. DOI: 10.1109/TEVC.2008.2011991
- [11] MAGHSUDI S, STAMCZAK S. Channel Selection for Network-Assisted D2D Communication via No-Regret Bandit

Learning With Calibrated Forecasting [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2015, 14(3):1309-1322. DOI: 10.1109/TWC.2014.2365803

- [12] ONIRETI O, ZOHA A, MOYSEN J, et al. A Cell Outage Management Framework for Dense Heterogeneous Networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(4):2097-2113. DOI: 10.1109/TVT.2015.2431371
- [13] MIJUMBI R, GORRICO J L, SERRAT J, et al. Neural Network-Based Autonomous Allocation of Resources in Virtual Networks [C]// European Conference on Networks and Communications. USA: IEEE, 2014:1-6. DOI: 10.1109/EuCNC.2014.6882668
- [14] MIJUMBI R, HASIJA S, DAVY S, et al. Topology-Aware Prediction of Virtual Network Function Resource Requirements [J]. IEEE Transactions on Network and Service Management, 2017, 14(1): 106-120. DOI: 10.1109/TNSM.2017.2666781

### 作者简介



王威丽,重庆邮电大学博士生在读;主要研究方向为5G网络切片、人工智能算法等。



何小强,重庆邮电大学博士生在读;主要研究方向为新一代无线通信网络、人工智能算法研究、网络切片、网络功能虚拟化等。



唐伦,重庆邮电大学教授、博士生导师;主要研究方向为下一代移动通信网络、网络资源分配、网络切片、网络功能虚拟化等;已发表论文100余篇,其中被SCI/EI检索50余篇。