

无线云网络智能化 研究与展望

Research and Prospect of Intelligent Wireless Cloud Network

刘 珊,黄 蓉,吴 越,刘欢欢(中国联通研究院,北京 100048)

Liu Shan,Huang Rong,Wu Yue,Liu Huanhuan(China Unicom Research Institute,Beijing 100048,China)

摘 要:

随着 5G 赋能垂直行业进程加快,多样化、差异化的业务及行业场景对网络性能及部署带来了更高的要求,包括灵活性、定制性、快速更新迭代等,无线网络云化以及智能化成为产业关注和探索的方向。介绍了无线网络云化以及智能化的背景、网络架构,分析了标准、产业现状及其带来的问题挑战,总结了适用的场景。同时,面向网络负载均衡,搭建试验环境进行了智能化辅助网络切换的验证。最后,面向下一代 6G 移动网络,探讨了无线云网络逐渐迈向边缘智能算网的发展方向。

关键词:

5G;无线网络;云;智能;6G

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2023.05.007

文章编号:1007-3043(2023)05-0039-06

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

With the accelerated process of 5G empowering vertical industries, diversified and differentiated services and industry scenarios have brought higher requirements for network performance and deployment, including flexibility, customization, rapid update and iteration, etc. Wireless network cloudification and intellectualization have become the focus and exploration direction of the industry. It introduces the background and network architecture of wireless network cloudification and intellectualization, analyzes the standards, industry status, problems and challenges, and summarizes the applicable scenarios. At the same time, for network load balancing, a test environment is built to verify the intelligent auxiliary network handover. Finally, facing the next-generation 6G mobile network, the development direction of wireless cloud network gradually moving towards edge intelligent computing network is discussed.

Keywords:

5G;Wireless network;Cloud;Intelligence;6G

引用格式:刘珊,黄蓉,吴越,等. 无线云网络智能化研究与展望[J]. 邮电设计技术,2023(5):39-44.

1 概述

5G 网络的蓬勃发展为千行百业带来了发展契机,而行业用户的多样化需求远远高于个人。无线接入网作为移动网络中最重要的一环,其技术能力及发展趋势一直受到业界的关注,传统的无线网络设备形态及建网方式并不满足垂直行业对网络灵活、开放、智能、可定制的需求。同时,伴随着 IT 技术与 CT 技术的

融合深入,云化概念逐渐从核心网下沉到无线网,为无线网的演进提供了新思路。

基于通用硬件设备,搭载云平台,结合虚拟化和业务资源编排等技术,将无线侧网络功能以虚机、容器等软件形式部署,构成了云化无线网的基本形态。无线网云化可以带来更多的灵活性、开放性,便于运营商网络功能升级与设备软硬件解耦,能够满足垂直行业对网络的要求。此外,基于云平台,无线侧网络功能可结合下沉的核心网 UPF 网元、MEC 等功能共同部署,提升业务体验,保障业务数据在行业内部的安

收稿日期:2023-03-30

全性。目前全球范围内已有多个国家开始实践无线云网络的部署,一些云服务厂商(如亚马逊、微软)也开始积极布局运营商网络市场。

无线网络云化灵活、开放的特点在面向行业业务部署时具有一定的优势,但行业业务对网络能力要求更为严苛,要实现对差异化业务体验的保障,智能化在其中可以发挥更大的作用。利用AI/ML算法及推理模型,挖掘和感知无线侧业务、网络、用户的数据和特征,实现网络功能的配置优化和无线资源的调度优化,从而更好地提升业务的性能,为实际网络部署及承载业务带来全面的保障。

智能化并非5G网络设计之初就有的功能,无线云网络也是最新的探索方向,无线网络智能化与云化融合,势必会对现有的无线网络架构以及未来发展带来一定程度的影响,需要产业界对其进行深入的研究及实践。同时随着AI等智能化技术以及移动网络的不断演进,在下一代移动网络中智能化也将在更多的方向发挥更多的作用,笔者在后续章节将给出相关的思考。

2 无线云网络智能化

2.1 架构描述

随着云化概念在无线侧的深入,基于通用硬件、云平台的无线接入功能逐渐在产业界被探索实现,同时也促进智能化与无线云网络结合的发展,不仅为多样化的行业业务提供灵活的无线接入,还可以利用AI/ML算法保障业务性能。无线云网络智能控制架构如图1所示,其中智能控制平台可分为2级,靠近基站(CU+DU)功能的为近实时智能控制平台,可通过开放的E2接口与基站实现连接建立及数据交互,靠近网管(SMO)功能侧的为非实时智能控制平台,通过开放的A1接口与近实时处理平台对接,非实时智能处理平台也可作为无线云网络的SMO(服务管理与编排)内部功能。实时控制平台与非实时智能控制平台的主要差别是控制回路的时间粒度,近实时控制回路时延为10 ms~1 s,非实时控制平台则大于1 s。智能控制平台作为无线云网络上层功能平台,可管控多个无线CU/DU,实现较大范围的网络保障。

基站侧对数据的处理具有较强的实时性,因此近实时智能控制平台是该架构的关键。该平台可利用E2接口收集细粒度的网络及业务数据实现对无线侧功能、资源的控制和优化,从而达到业务体验及网络

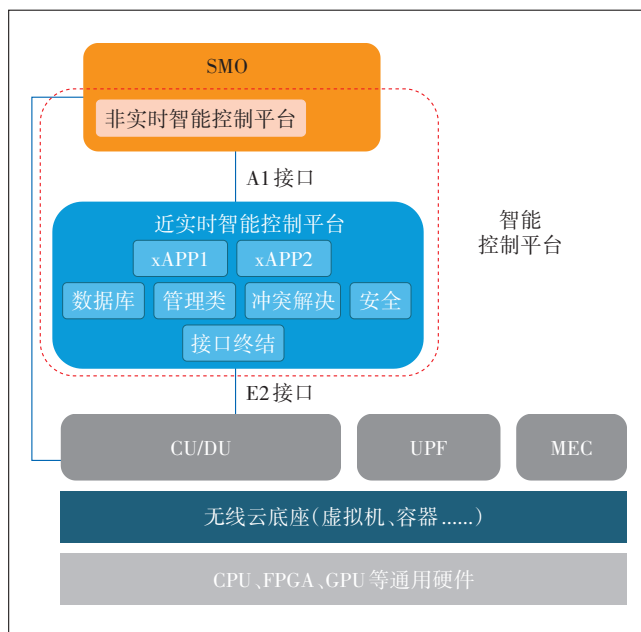


图1 基于无线云网络的智能化架构

系统性能的提升。平台功能主要包括数据库、基础消息结构、订阅、安全、管理等平台类功能以及xAPP,其中数据库可存储与基站、小区、承载、业务流以及用户等相关的信息;基础消息结构在平台内部各模块间提供低延迟的消息传递服务;订阅管理负责xAPP与基站节点之间的服务订阅;安全功能是防止恶意xAPP滥用无线网络信息或控制RAN侧功能;管理服务则是负责xAPP的生命周期管理以及近实时平台的FCAPS管理;接口终结负责两者开放接口相关处理。xAPP则是面向不同业务而设计的应用,可部署多个,比如QoS优化类xAPP,负载均衡类xAPP等,并通过特定的开放API与平台功能交互数据。

非实时智能控制平台可以直接访问SMO的功能,其本身也包含平台功能和应用功能。平台类功能主要跟A1接口相关,包括A1接口终结、A1策略功能、A1机器学习功能等。应用功能类似于非实时智能控制平台中的xAPP,可以为智能化RAN优化和运营提供附加服务,比如执行数据分析,AI/ML模型训练和推理,通过SMO与基站侧连接的O1接口推荐配置管理操作等。此外,非实时智能控制平台还有其他外部接口,包括AI/机器学习接口,富集信息接口,用于转发外部服务器训练好的ML模型和元数据给该平台以及给该平台转发所需的外部富集信息、数据等。

目前基于无线云网络智能化平台已在ORAN标准组织中完成了大部分的标准化工作,包括架构、平台

组件功能、开放的E2接口、A1规范等,同时也发布了开源的代码版本。但就产业而言,智能控制平台的发展处于初期阶段,大多数厂家在基于场景进行摸索、合作和Demo测试。海内外多家企业也有相关产品的研发,大多集中在近实时控制平台及面向差异化场景的xAPP。运营商对智能控制平台应用表现出较高的关注度,但存在聚焦场景的差异,某些关注网络配置优化、干扰协调等场景,还有些关注QoS优化场景,主要通过不同的xAPP及AI的算法、模型实现。

尽管产业界对智能控制平台关注度较高,但目前仍存在问题和挑战。首先在实际部署层面,目前5G网络设备已经完成了大范围的部署,实现基于上述架构的智能化需要对基站能力进行升级,同时对接智能控制平台,对于存量网络有一定的难度,更适用于行业或全新部署的场景。智能平台需要与基站交互用户及网络信息,同时下发相关策略,尽管已经针对包括E2、A1等接口进行了相对完善的定义和标准化,但是平台与基站往来自不同的厂家,目前的开发阶段仍存在功能取舍及实现偏差,不同厂家对接仍需要大量工作。其次是在技术层面,智能控制平台主要通过无线侧功能进行特定的配置及资源的优化来实现目标,而传统基站也有自身的无线资源管理功能的协同,部署智能管控平台后,两者在资源优化及配置上可能存在冲突,因此需要智能管控平台能够处理冲突,完成对特定场景的资源管理及性能优化。其次则是差异化的xAPP在统一的智能控制平台上部署,也需要一定的标准化。

2.2 应用场景

2.2.1 业务QoS优化类

该类场景面向5G中高性能需求的ToC/ToB类业务,希望通过智能控制平台,优化保障用户体验,如游戏、VR等对带宽、时延要求高的业务。尽管传统的无线系统中可通过QoS或网络切片区分不同的业务类型及优先级,但是半静态的技术框架无法满足多样化的服务需求,尤其是无线侧传输能力还存在较大的波动性,对于一些突发业务,更是难以保障。基于智能控制平台,结合AI/ML算法,可以实现流量识别、业务性能预测,并执行灵活的网络功能配置、资源配置的决策,改善用户体验。

面向该场景的大致工作流程如下:网管(SMO)通过自身收集网络级测量数据,还可以借助特定的接口从应用服务器中获得业务数据,在专用AI服务器或

SMO内部的非实时智能平台离线训练特定的AI/ML模型,包括业务流识别、预测类、策略配置等类型,并把相关的模型及策略结果发送到近实时智能控制平台,且后续可通过两者之间的开放接口进行更新。在满足设定的触发条件或事件时,近实时智能控制平台上xAPP启动,基于上层下发的模型及策略,结合基站功能上报的实时业务信息,识别出需要特定保障的VR、云游戏类业务,或某些突发类比如现场火灾视频的传输业务。根据目前的网络状态数据预测当前网络配置组合或QoS是否能满足业务体验,若不能,则进行调整策略的下发,包括改变业务的QoS,或者优先调度该业务,分配专有的PRB资源来保证业务的性能。此外,在该业务运行过程中,基站上报该业务的相关数据及测量结果,做到对业务需求的动态监控,网络状态数据及业务实时数据还可以通过近实时智能平台发送给上层近实时控制平台,进行AI/ML模型的再训练以及更新。

通过上述一系列流程,可以改善业务在无线侧性能的不确定性,提高无线侧资源的效率。此外,非实时智能控制平台主要用于AI/ML模型的离线训练,而模型推理则是实时智能控制器执行,体现了2级平台不同的定位。但目前的产品及初步的试验验证,更多仅仅基于近实时智能控制平台,AI/ML模型的训练通过特定的服务器完成后引入到特定的xAPP中,也可以完成对业务的实时优化。

2.2.2 网络优化类

该类场景面向运营商在实际商业网络部署遇到的问题,5G商用后,业务多样化、功能需求的差异化使得网络部署变得复杂,多频段、灵活帧结构、Massive MIMO、网络切片等新增技术特性加大了网络配置的复杂性,同时高速移动性、多级干扰、负载不均等问题加大了网络管理难度。智能化平台在其中也可以起到优化作用,通过最优化网络的配置,辅助提升网络容量。

负载均衡是保证网络系统性能的关键,但在实际网络中,由于现有切换标准以及RRM功能的局限性,往往会出现某一小区用户及流量多、而周围小区较少的情况。调整小区负载均衡的关键在于控制终端的小区重选以及切换,当前的蜂窝网络无线资源管理以小区为中心,重点放在以小区为中心的平均性能,很难通过无线资源管理优化多个终端目标。

利用SMO收集的区域内的网络测量数据,结合网

络拓扑,非实时智能控制平台可训练负载均衡相关的AI/ML模型,并将模型结果及策略部署到近实时的智能化平台。实时智能化平台中负载均衡类应用,通过基站上报的各小区的实时网络状态信息以及UE数据,从而判断各小区负载情况。在检测到设定好的触发条件或者事件后,由近实时智能控制平台的应用判断需要重选的UE以及控制切换的导向,进而达到网络的负载均衡,实现更好的系统性能及用户性能。

此外,对于5G Massive MIMO天馈调优、波束跟踪、帧结构等相关配置以及实际部署时干扰检测及优化等场景,智能化平台都可以针对网络的部署拓扑及小区业务,结合网管数据及AI模型及算法,为管控的小区进行不同层面的配置及协调,达到网络性能优化的目的。

3 基于智能化架构的场景验证

基于前文描述的无线云网络的智能化架构,本文搭建试验环境并挑选应用场景进行了验证。此次验

证的目的是通过智能控制平台优化终端的切换路径,平衡不同小区下的容量,达到系统的负载均衡。

构建试验环境的设备包括基站、部署近实时控制平台和负载均衡应用xAPP的服务器,还包括配合演示的核心网、终端等。此次验证仅包含架构中的近实时智能控制平台,人工智能的相关算法在负载均衡应用xAPP中实现。该xAPP采用机器学习和人工智能的方法,将网络的管理问题建模为一个组合图优化问题,使用底层图来学习图神经网络的权重,优化用户和小区之间的关联。如图2所示,在图神经网络(GNN)图中,UE和小区抽象为GNN的节点,UE和小区之间以及小区和小区之间的关系抽象为GNN的边,小区之间的关系可以理解为小区间是否有邻区关系。所有这些关系都可以从基站侧通过E2接口上报给近实时控制平台的消息中获得。xAPP先收集大量网络数据,对GNN网络模型进行训练,将训练好的模型用于实时数据的推理。

在该验证方案中,首先通过实验室组网,构建了3

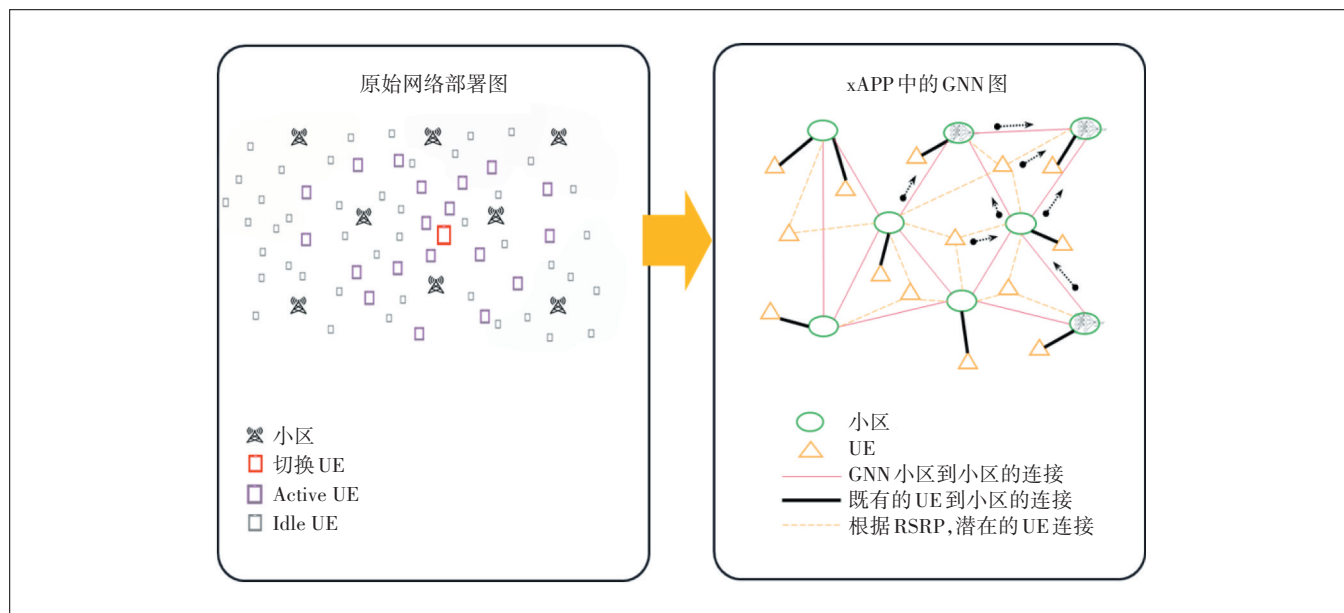


图2 xAPP中的网络部署模型

个5G小区,每个小区直径约为25 m。系统中还部署15个固定UE和1个移动的UE,如图3所示。其中小区A、C的用户数较少,同时小区B的用户数远大于其他2个小区,且负荷接近满载(95%以上)。UE移动路线固定为E→F→H→G。

在没有智能开放平台时,当移动终端从F点向H点移动时,由于F至H路径更偏向于小区B,移动终端

会基于传统的切换策略,测量各个邻区的RSRP,此时小区B的RSRP要优于小区C,满足A3事件,会触发移动终端从小区A向小区B的切换。

而在开启智能控制平台时,xAPP会通过该平台的E2接口向基站订阅终端的测量信息,终端在执行了测量后,将测量报告发给基站,基站在收到的同时将其转发给平台及xAPP。xAPP通过推理判断切换策略,

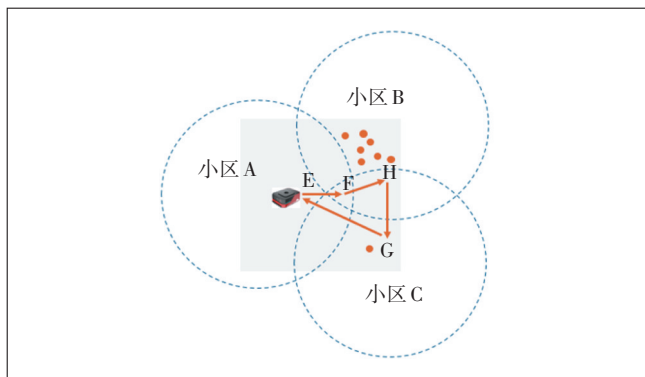


图3 实验室网络组网

并转发给基站执行。此外,基站需要启动定时器,如果平台无法及时判决则执行传统的切换策略。根据理论分析,同样在H点,尽管小区B相比小区C更具有切换条件,但小区B已接近满载,智能控制平台中xAPP会考虑小区B不能满足终端的业务需求,从而向基站下发命令,让移动终端从小区A向小区C切换。

在执行多次移动终端的固定路径移动测试后,结果表明基于传统的无线通信方案,20次切换中移动终端全部切换到小区B,而在基于智能化架构的方案中,20次切换全部到小区C,达到了智能控制平台和xAPP的预期效果。

此外,本次验证还模拟了现网网络部署情况,设置直径为200 m的小区7个,终端140个,终端均匀分布在小区内。同时模拟终端在不同的方向移动时,对比传统切换策略以及智能化切换策略下,整个网络的吞吐量及小区边缘的覆盖情况。结果表明,智能化切换策略相比传统切换策略,网络吞吐量有接近6%的增益,负载均衡方面有20%的增益。以上充分说明,利用智能化平台可以辅助无线网络进行优化。

4 面向6G网络的演进

5G阶段,无线侧云化和智能化作为全新探索方向被提出,产业层面进行了初步的研究及应用场景的考虑,且进行了简单实践。未来随着业务的不断演进,对网络能力要求更高,同时网络的部署也趋向复杂化,无线网络云化、智能化将持续发展,为6G网络的架构及关键技术能力提供思路。

面向6G,在网络架构层面,云化、服务化的理念将进一步从核心网延伸到无线侧。无线侧用户面功能和控制面功能将以服务化模块的形式存在,可以按需生成,同时以服务化接口的形式进行调用,实现差异

化、灵活的无线接入能力。在面向行业业务时,服务化模块的无线侧功能可以与局域分流功能、边缘应用共同部署于边缘云平台,进行统一的管理。一个边缘云节点可承担接入、用户面转发以及边缘计算的功能,在6G终端间通信成为典型场景构成子网时,还将负责集中控制,同时边缘云与核心云形成协作,构成多级云架构,如图4所示。不同的边缘云节点将相互连接,形成边缘网络,边缘的基础资源可形成资源池,在网络连接的基础上,不同节点间的资源可以实现互访,也就是算力资源也根据需求进行灵活分配,为网络和业务提供实时、动态的算力支撑,形成边缘算力网络,实现“算力流动”。

基于未来边缘网络的发展形态,智能化也将在其中发挥更多的作用。现有关于5G无线网络智能化的架构研究及实践,且属于外挂式智能,部署层面存在局限性,且面向的场景有限。随着AI技术及移动网络的发展,智能化在下一代网络将以原生的形式存在,设计之初就将AI纳入统一的架构,提供完整的AI环境和AI服务。面向6G的智能化有如下几个特点。

a) 分布式智能。在6G网络中,算力、AI算法、数据及模型的训练将分布在终端、接入侧、核心网侧,完成不同的场景需求,实现业务智能、网元智能和网络智能。以边缘网络为例,业务智能包括利用业务及网络数据训练模型,实现差异化业务流的识别,业务QoS的保障;网元功能智能体现在无线侧网元功能结合AI算法,实现更优的多天线配置,移动性优化以及干扰协调等功能;网络智能体现在网络利用AI实现自优化、自运维,还包括对边缘云资源池算力资源实现感知及智能分配。实现分布式智能的典型技术即联邦学习,属于分布式机器学习框架,能够有效帮助多方在满足用户隐私保护、数据安全和政府法规的要求下,进行数据使用和机器学习建模,解决数据不出本地的机器学习问题。在边缘算网的架构下,联邦学习可在终端、各个节点进行独立的学习,同时在某一中心AI服务器执行联邦学习的协调。

b) 跨域跨层的协同。在边缘网络中,AI能够赋能业务、网元及网络的智能,需要进行多维数据的处理以及多样化算法的执行,通过业务层数据、终端数据以及网络数据的协同,进行模型训练及共享,赋能端到端的网络及业务优化。

c) AI能力开放。原生AI作为未来6G网络“原生”的能力,网络的AI算力、算法、数据可灵活开放给

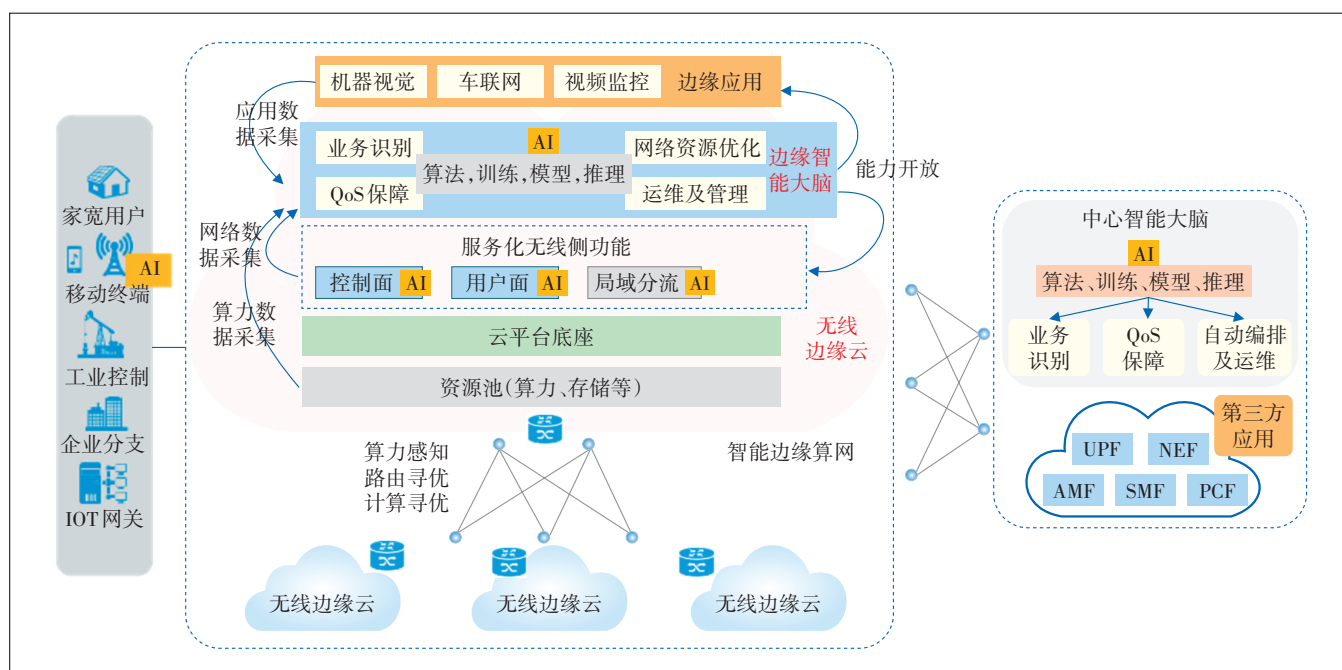


图4 面向6G的边缘智能算网

网络自用的AI场景,也可以开放给第三方 toB/toC 服务,实现泛在智能化。

5 总结

ICDT融合是网络发展不可阻挡的趋势,而云化、智能化是其最重要的特点。在5G时代,通过初步的研究及探索,产业界已经认识到其带来的灵活性优势。同时,无线侧作为移动网络中技术复杂度高、性能较重要的部分,云化及智能化也有较长的路要走。利用5G已成型的体系架构以及部署条件,持续开展云化、智能化的试验与应用,同时面向下一代移动网络体系的演进,进行关于边缘网络的架构及功能研究,是持续推进边缘侧云化以及智能化不断成熟的可行路径。随着AI、云化技术本身的不断发展以及产业界的共同努力,在下一代移动通信网络中,无线侧云化及智能化定会不断赋能全新网络及全新应用,为业务、网络的能力提升注入新动能。

参考文献:

- [1] O-RAN Alliance. O-RAN-WG1-O-RAN Architecture description - v01.00.00 [EB/OL]. [2022-12-25]. <https://www.doc88.com/p-37116944018902.html>.
- [2] O-RAN Alliance. O-RAN-WG3-RICARCH Near-real-time RAN intelligent controller[Z]. 2021.
- [3] 李男,张凯,孙奇,等. 无线云网络进展和演进思考[J]. 通信世界,

2021(22):34-37.

- [4] 李娜,陈卓,刘亮,等. 关于无线网络智能化的思考[J]. 移动通信, 2017,41(4):29-33,38.
- [5] 孟繁丽,薛伟,汪况伦,等. 5G无线网络智能化规划体系及实现[J]. 移动通信,2019,43(6):52-59.
- [6] IMT-2030(6G)推进组. 6G网络架构愿景与关键技术展望白皮书[R/OL]. [2022-12-25]. https://www.xdyanbao.com/doc/nt0cvkjhrs?bd_vid=8371001929119863367.
- [7] 程强,刘姿杉. 电信网络智能化发展现状与未来展望[J]. 信息通信技术与政策,2020(9):16-22.
- [8] 刘光毅,邓娟,郑青碧,等. 6G智慧内生:技术挑战、架构和关键特征[J]. 移动通信,2021,45(4):68-78.
- [9] 李琴,李唯源,孙晓文,等. 6G网络智能内生的思考[J]. 电信科学,2021,37(9):20-29.
- [10] 喻鹏,丰雷,李文璟,等. 面向B5G/6G边缘网络的智能管控架构[J]. 移动通信,2020,44(6):90-95.
- [11] 刘光毅,邓娟,李娜,等. 内生智能和端到端服务化的6G无线网络架构设计[J]. 无线电通信技术,2022,48(4):559-573.
- [12] 方敏,段向阳,胡留军. 6G技术挑战、创新与展望[J]. 中兴通讯技术,2020,26(3):61-70.

作者简介:

刘珊,毕业于北京交通大学,硕士,主要从事5G移动通信系统及网络架构研究工作;黄蓉,毕业于北京邮电大学,高级工程师,博士,主要从事无线移动通信相关技术研究及标准化工作;吴越,移动网络资深架构师,主要从事移动通信相关技术研究及标准化工作;刘欢欢,毕业于中国传媒大学,主要从事未来6G网络相关技术研究工作。