

6G 通感智算一体化无线网络技术研究

李露 李福昌 马艳君 杨艳

(中国联合网络通信有限公司研究院 北京 100048)

摘要: 6G 将实现真实物理世界与虚拟数字世界的深度融合。为满足业务应用“智慧化、沉浸化、全域化”的发展趋势,未来网络发展需将网络世界、数字世界与物理世界无缝融合,构建通感智算一体化网络架构体系。通过研究 6G 通感智算一体化的技术需求、架构及方案等,提出了更具体的通感智算一体化无线网络演进方向和技术,分析了在通感智算一体化无线网络基础上的智能节能、智能编排、物理层智能等应用案例。

关键词: 6G; 通感融合; 智能; 算力

中图分类号: TN929.11

文献标志码: A

引用格式: 李露,李福昌,马艳君,等. 6G 通感智算一体化无线网络技术研究[J]. 信息通信技术与政策, 2023, 49(9): 7-12.

DOI: 10.12267/j.issn.2096-5931.2023.09.002

0 引言

人工智能(Artificial Intelligence, AI)、大数据等信息技术的发展在各行业领域催生出丰富的新场景、新用例,感知、计算、智能将是 5G 增强(5G-Advance, 5G-A)甚至 6G 新系统的重要技术组成,可实现运营、数据、信息和通信技术(Operation, Data, Information and Communication Technology, ODICT)融合。IMT-2020(5G)明确了 5G-A 的六大应用场景,即沉浸实时、智能上行、工业互联网、通感一体、千亿物联、天地一体;国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)在 IMT-2020 三大场景(即增强型移动宽带、超可靠低时延通信、海量物联网通信)基础上进行深化,将增强型移动宽带扩展为沉浸式通信,同时拓展了泛在连接、人工智能与通信融合、感知与通信融合三大新型场景,最终形成 6G 六大应用场景,即沉浸式通信、极高可靠低时延通信、超大规模连接、泛在连接、人工智能与通信融合、感知与通信融合^[1]。

新型 6G 场景下的众多业务应用具有密集型计算、极致性能的特征,当前网络无法在高效保障用户体验的情况下为网络自身和终端按需提供计算服务,此外,算力将成为 6G 内生智能、感知等计算型服务的基础平台能力。因此,网络架构向通感智算一体化方向演进是面向 6G 发展的必然趋势。

1 通感智算一体化网络演进挑战

传统无线网络专注于连接和管理,6G 通感智算一体化无线网络需要增加感知、智能、算力、数据处理、安全增强等能力,如何将这些能力与现有网络结合极具挑战性。同时,6G 通感智算一体化无线网络也要适应未来业务场景的多样化、ODICT 技术的融合、商业的极致性能、持续发展的社会责任等需求。因此,6G 通感智算一体化无线网络的复杂程度进一步增加,其演进也面临巨大挑战。

在通感方面,实现 6G 通感智算一体化无线网络需要融合通信和感知两种典型功能,因此需要充分考虑

核心网、空口等网元或者资源在感知和通信资源的业务化均衡。在空口方面,比较典型的是如何采用合适的波形、帧结构或者多入多出(Multiple-Input Multiple-Output, MIMO)技术实现感知功能,尤其是在感知精度要求较高的情况下,如何提升感知精度;在网元和架构设置方面,需要综合考虑通信和感知需要的时延、业务处理能力等,进行架构的合理化设置。

在智能化方面,实现6G通感智算一体化无线网络面临数据采集、处理、存储的挑战,数据使用安全方面的挑战,模型训练算力资源不足的挑战,以及模型使用泛化性、稳定性的挑战等。此外,不同行业和场景中的智能服务对网络的需求千差万别,模型评估及智能化服务质量指标尚无成熟的量化评估方式,如何评估智能化服务质量也是一个重要挑战。

在算力方面,实现6G通感智算一体化无线网络存在算力部署、感知、调度、编排、安全等问题,未来6G网络对算力需求巨大,多维算力资源广泛分布在大量的异构网元节点中,在各个网元节点可能都有算力部署。因此,如何高效利用算力资源以及分布式算力协同将是未来需要解决的问题。

2 通感智算一体化无线网络架构及关键技术

2.1 通感智算一体化无线网络架构

6G网络将实现全域融合和极致连接,通感智算一体化无线网络架构将是实现6G网络能力的基础。6G通感智算一体化无线网络可划分为应用域、控制域、资源域、终端域四个层面,可通过在各层面引入感知、智能、算力能力,构建面向通感智算一体化无线网络的全域智能架构。如图1所示,应用域主要指操作支撑系统(Operation Support System, OSS)网管侧的网络智能化应用,典型应用包括网络智能节能、智能定位、智能根因分析等;控制域主要从智能化网络资源管理出发,包括通感融合的控制层面、意图解析等方面的技术及方案;资源域包括网络感知、基站算力及边缘云等,可实现高层AI(通感融合、智能编排)、物理层AI(编译码、信道估计、智能波束管理)、智能材料(智能超表面)等;终端域主要从无线网络和终端协同的角度出发,支持终端智能化、通感融合的实现,典型应用包括端网协同、环境感知、智能适配等。

2.2 通感智算一体化的关键技术

2.2.1 通感融合技术

因通信与感知具备类似的网络架构和频段,通感融合能够将通信、感知、算力等因素基因化再进行智能



图1 通感智算一体化无线网络架构图^[2]

基因重组,实现智能化、融合化、低碳化、高效能化的全新无线架构,通感一体化无线网络也是未来网络发展的必要目标。通感融合不仅要考虑通信的指标,还要考虑感知的指标。因此在6G通感融合中,需要打造基因工程,打通通信与感知的关键指标、判别标准和关键技术,并以AI、机器学习等智能化技术进行多维基因片段的高效重组和结合。通感一体化研究是一个循序渐进的过程,需从架构、关键技术和评价指标等方面进行研究,可以有效提升通信质量,也可以实现无接触感知,是未来较有潜力的发展场景。通感融合将面临来自场景需求、政策和技术等多方面影响,但是其对资源的深度集成化,极大地节省了部署成本,为未来的通感融合技术构建了一个开放互助、良性发展的全行业生态圈^[3-7]。

通感融合研究可分为5G-A阶段和6G阶段,这两个阶段的通感智算一体化架构将有较大的差异性。5G-A阶段主要考虑与现有5G网络的协调性,与网络架构的向下兼容性。6G阶段主要考虑新技术、新业务的融入,新架构的开发以及原有架构的深度调整。以下对面向通感发展的业务和功能进行详细介绍。

5G-A阶段主要考虑使用5G服务感知的阶段。该阶段主要使用复用5G架构和低粒度的修订网元实现感知的功能,并不会过度要求感知对通信的优化。在此阶段,通信、感知、算力和智能化的关系可以简单归纳为:通信辅助感知,实现一机多用;算力作为感知处理的基础,高效协同感知处理资源;智能化作为融合的初步引擎,实现高精度感知。

6G阶段在考虑高精度感知的情况下,还需考虑如何使用感知提升通信性能。此阶段将是通信、感知、智能和算力强力融合的阶段,业务的耦合化和技术的深度内生加持将成为通感融合的特色。通信、感知、算力、智能化的关系可以归纳为:精细化感知辅助高效能通信,实现无线资源的合理调度;算力作为通信和感知协同的底座,实现分布式、高效化、低时延的通感融合网络;智能化作为内生网络的大脑,实现高质量通信与感知。

2.2.2 智能化技术

AI为5G和6G无线网络的运行提供了众多潜在功能,是无线网络发展的加速器。基于图1的架构来看,目前,无线网络智能化主要在网管侧应用域实现,

如智能节能、故障根因分析等;控制域的意图解析等还在探索阶段;资源域的高层AI(如智能编排等)已进行部分商用部署;物理层AI、智能超表面等受算力及效果的限制,尚处于探索阶段。下面从技术演进及模型分级部署两方面介绍网络智能化演进情况。

(1) 网络智能化技术演进特征

随着无线网络的演进,智能化的发展将从AI4NET(AI for Network)到NET4AI(Network for AI)的阶段转变,要求移动通信网络不仅是传输管道,更要将智能服务所需的多维资源与网络功能、协议和流程进行深度融合设计。

到6G阶段,无线网络将向智能内生方向演进,在网络架构内部提供数据采集、数据预处理、模型训练、模型推理等AI工作流全生命周期的运行和管理,将AI服务所需的算力、数据、算法、连接与网络功能、协议和流程进行深度融合设计,支持将AI能力按需编排,为高水平网络自治和多样化业务需求提供智能化所需的基础能力^[8]。

6G无线网络将向云化与分布式的方向发展,需要考虑分布式网元节点间多维异构资源的协调性以及智能服务对性能的差异化需求。6G网络中智能服务的质量,需要综合考虑智能服务对通信、计算、数据和存储资源的不同需求^[9]。

(2) 网络智能化模型分级部署

从网络智能化实现及部署的角度来看,现阶段可将AI简单分为模型训练和模型推理功能。根据所处位置和算力能力的不同,AI适用于不同的应用案例和场景。

目前,5G基站侧只支持小模型的推理,随着基站算力的增强、基站云化技术的应用,到6G阶段,基站将支持智能内生,可进行小规模AI训练和AI推理,其它大、中模型根据场景需求可分别部署在移动边缘计算(Mobile Edge Computing, MEC)或OSS中。

如图2所示,在网管应用域,网管设备为通用服务器,可扩展性强,数据采集时延大于15 min,支持非实时智能化预测分析,具备大模型训练能力;在边缘云资源域层面,MEC为通用服务器,部署位置更靠近基站,支持近实时(>1 s)智能化预测分析,具备中模型训练能力,支持大、中模型推理。

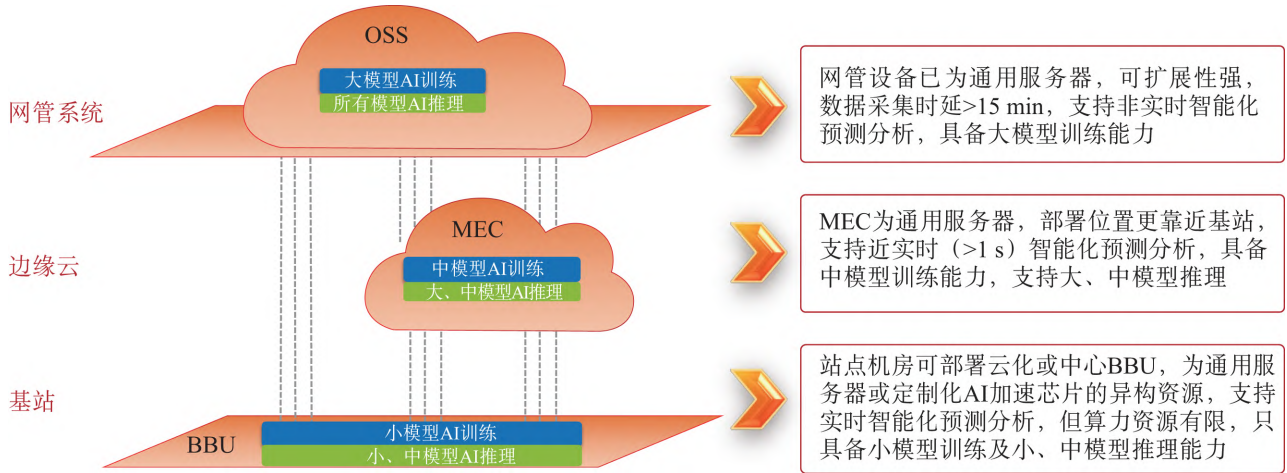


图2 分级智能化部署示意图^[2]

在基站设备层面,如站点机房级,可支持部署云化或中心室内基带处理单元(Building Baseband Unit, BBU),可作为通用服务器或定制化AI加速芯片的异构资源,支持实时智能化预测分析。但基站算力资源有限,只具备小模型训练及小、中模型推理能力。

2.2.3 算力技术

算力一般定义为设备通过处理数据实现特定结果输出的计算能力,常用每秒浮点操作数(Floating-point Operations Per Second, FLOPS)作为度量单位。数字经济时代,算力是多技术融合、多领域协同的重要载体,作为生产力支撑数字经济发展的坚实基础。算力发展历经三个阶段:早期单点式计算通过使用一台大型计算机或一台个人计算机独立完成全部计算任务;随着计算需求的增加,单点式计算逐渐呈现算力不足的趋势,如网格计算等分布式计算架构开始出现,分布式计算可将巨大的计算任务分解为众多小型计算任务并交由不同的计算机完成;随着信息化和数字化的不断深入,各行各业表现出对算力的强烈需求,云计算技术应运而生。云计算技术可看作分布式计算的新范式,其本质是将大量的零散算力资源进行打包、汇聚,实现更高可靠性、更高性能、更低成本的算力^[10]。

面向通感智算一体化无线网络架构演进,算力基础设施将与基站基础设施深度融合,形成算力资源池,满足感知和智能化带来的大量计算需求。无线网络通过在算力上搭载智能化应用,实现对网络资源和性能的优化;算力编排中心通过对网络状态、能力、需求,以及算力分布的感知,实现算力资源的高

效利用。

在6G通感智算一体化无线网络中,不同的计算功能对算力的需求也不同,例如,物理层计算对实时性要求高,采用中央处理器(Central Processing Unit, CPU)串行计算的方式无法满足实时性需求;网络级智能化在网管层进行训练、推理,对算力要求高,对实时性要求低,采用专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)进行计算,不仅灵活性差,算力受限,且成本较高。因此无线网络在向通感智算一体化演进中,需要部署CPU、图形处理器、ASIC和现场可编程门阵列等多维异构算力资源,实现算力和网络功能协同。

3 通感智算一体化无线网络应用案例

3.1 智能节能

随着移动通信网络建设规模逐年增加,通信设备对能源的需求与日俱增。未来6G系统将极大增强与扩展移动通信系统的应用,对传输速率、广域覆盖、连接密度的要求迅猛增长。为满足未来应用的需求,6G系统将采用更高的频谱、更复杂的系统及技术。高频谱和复杂的技术将使6G通信设备对能源的需求俱增。因此,在研究5G无线网络的智能节能的基础上,需考虑未来6G网络的节能方案。运营商需持续深入研究智能节能技术并快速推广应用,不断降低基站能耗和网络运营成本。

未来6G智能节能方案需在通感智算一体化无线网络的架构下实现,结合AI、大数据等技术,实时感知

用户的情况及业务的需求;利用网络算力资源,训练智能节能模型,推导出精准匹配每个小区的节能策略,突破传统节能方案中管理难度高、节能效果欠佳的瓶颈;从器件级、设备级、网络级等层面实现不同的技术方案,在保障用户业务体验的同时,可以采用器件/模块关断、业务调度、网间协作等方案来降低基站设备能耗。

3.2 智能编排

6G将是一个多元化的网络。网络层面,组网更多、频段更复杂,且可能需要与5G/4G多个频段密切协同;业务层面,应用场景更多且需求差异巨大,对网络提出更多的特性需求和挑战;终端层面,5G终端已需要支持七模,6G时代终端更复杂,且行业应用催生出众多定制化终端需求。因此,6G网络将更加复杂,繁杂、多样化的终端和业务组合出的目标体验和传统的网络资源分配模式之间存在巨大的“剪刀差”。以“网络为中心”的传统策略是基于小区参数的基线,以满足统计意义上的小区级关键绩效指标为目标,在相同承载中的不同数据业务没有被区别对待,无法精准匹配用户业务体验的真实需求^[11]。

无线网智能编排应用以用户感知为驱动力,依托面向6G的内生智能,通过智能化手段实现灵活的网络资源配置编排管理策略,来为不同业务提供确定性的精准服务,从而保障差异化的用户体验。在该应用案例中,一方面通过在给定网络服务能力下求取用户体验最优解,实现用户编排;另一方面通过在话务的特定时空分布下求取网络服务能力最优解,实现网络编排。

3.3 物理层AI

物理层AI应用是6G内生智能的主要研究方向,基于物理信道相关信息,对物理层功能(如信道编码调制、波形、多址、多天线MIMO、接收机算法等)进行增强。由于当前通信网络应用范围广、场景丰富、业务种类繁多,加之信道的快速变化以及小区内和小区间干扰的存在,难以使用传统方案实现稳定精确的信道。因此在传统物理层技术的基础上引入智能化,可以更全面地把握无线信道的特征和变化趋势,从而提升物理层性能。

物理层AI由于其对实时性要求高,因此作为内生智能应用被看作是面向6G演进的重要方向,目前业界

在此方面尚处于研究阶段。物理层AI的技术方案一般属于各设备厂商实现的范畴,目前有两种潜在方案:一是使用智能化技术替代某一个或几个物理层功能,例如信道状态信息反馈、信道估计模块分别用AI算法实现;二是物理层功能全部用AI实现,不再区分具体功能,在此情况下,基站从接收到解码的中间过程全部通过AI实现,AI模块类似“黑盒”,只有输入和输出。

未来,在引入物理层AI后,还需要评估“投入产出比”,即采用物理层AI后所消耗的硬件资源、算力成本是否带来了较高的性能收益。在物理层AI激活场景下,网络性能相比未激活时应有较大提升才可应用。

4 结束语

随着数字化进程加速,以新基建为核心的数字化转型正在影响整个社会,大数据、云计算和人工智能等新一代数字技术的发展正在为各实体经济、传统产业提供支持,推进社会向全方位的产业数字化转型。新产业、新服务模式以及包括沉浸式扩展现实、全息远程呈现、交互型3D虚拟数字人、协作机器人、无人驾驶、多感官互联及元宇宙在内的未来新业务,都对通信、感知、计算和智能水平提出了更高要求。

面对6G网络新要求,本文提出了6G通感智算一体化的无线网络演进架构,分析了通感智算一体化技术演进需求、挑战、关键技术及案例。6G通感智算一体化无线网络还需进一步深入研究和评估,并开展相关技术方案的验证试验,满足千行百业对网络的差异化体验需求。

参考文献

- [1] ITU. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond[R], 2023.
- [2] 中国联合网络通信有限公司研究院. 中国联通6G通感智算一体化无线网络白皮书[R], 2023.
- [3] VISWANATHAN H, MOGRNSEN P E. Communications in the 6G era[J]. IEEE Access, 2020(8): 57063-57074.
- [4] University of Oulu. Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence[R], 2019.
- [5] LETAIEF K B, CHEN W, SHI Y, et al. The roadmap to

- 6G: AI empowered wireless networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2019, 57(8): 84-90.
- [6] ZHANG J A, RAHMAN M L, WU K, et al. Enabling joint communication and radar sensing in mobile networks: a survey [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2022, 24(1): 306-345.
- [7] RAHMAN M L, ZHANG J A, HUANG X, et al. Framework for a perceptive mobile network using joint communication and radar sensing [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2020, 56(3): 1926-1941.
- [8] IMT-2030(6G) 推进组. 无线 AI 技术研究报告 [R], 2021.
- [9] IMT-2030(6G) 推进组. 无线 AI 技术研究报告(第二版) [R], 2022.
- [10] 中国信息通信研究院. 中国算力白皮书 [R], 2022.
- [11] 詹勇, 顾军, 唐雪. 面向 5G 的智能网络编排方案 [J].

信息通信技术, 2021, 15(5): 46-51.

作者简介:

- 李露** 中国联合网络通信有限公司研究院工程师, 主要从事 5G/6G 无线通信网络、人工智能等方面的研究工作
- 李福昌** 中国联合网络通信有限公司研究院教授级高级工程师, 主要从事无线通信网络等方面的研究工作
- 马艳君** 中国联合网络通信有限公司研究院工程师, 主要从事 5G/6G 无线通信网络、小基站等方面的研究工作
- 杨艳** 中国联合网络通信有限公司研究院教授级高级工程师, 主要从事无线通信网络通感融合等方面的研究工作

Research on 6G wireless network technology integrating communication, sensing, intelligence and computing

LI Lu, LI Fuchang, MA Yanjun, YANG Yan

(Research Institute of China United Network Communication Co., Ltd., Beijing 100048, China)

Abstract: 6G helps people to realize a deep integration between the real physical world and the virtual digital world. To meet the development trend of intelligent, immersive and global business applications, the future network development needs to seamlessly integrate the network world, the digital world and the physical world. It is necessary to build a network architecture system integrating communication, sensing, intelligence and computing. This paper studies the technical requirements, architectures and schemes of 6G integrated communication, sensing, intelligence and computing, and puts forward the specific evolution direction and technology. Based on the wireless network integrating communication, sensing, intelligence and computing, it analyzes some application cases such as network intelligent energy saving, intelligent orchestration and physical layer intelligence.

Keywords: 6G; integrated sensing and communication; intelligence; computing

(收稿日期: 2023-08-24)