



专题：6G

6G 网络智能内生的思考

李琴, 李唯源, 孙晓文, 胡玉双, 孙滔
(中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)

摘要: 面向 6G 时代, 网络将迎来新的应用场景和新的性能需求, 多样化的应用和通信场景、超异构的网络连接以及极致性能的服务需求, 都对移动通信网络提出了更高的要求。在总结阐述 5G 和 5G-Advanced 网络智能化的基础上, 面向 6G 网络给出了 6G 网络智能内生的定义, 提出了 6G 网络智能内生架构的四大特征, 并分析了 6G 网络智能内生的潜在关键技术, 最后结合两个应用场景进一步探讨了智能内生架构理念。

关键词: 6G; 智能内生; 分布式智能; 智算网融合

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021219

Thinking of native artificial intelligence in 6G networks

LI Qin, LI Weiyuan, SUN Xiaowen, HU Yushuang, SUN Tao
China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China

Abstract: Facing the 6G era, the network will usher in new application scenarios and new performance requirements. Diversified application and communication scenarios, extremely heterogeneous communication networks, and extreme performance service requirements will all put forward higher requirements for mobile communication networks. On the basis of summarizing network intelligence in 5G and 5G-Advanced networks, the definition of intelligent-endogenesis in 6G networks and four major characteristics of 6G network architecture for intelligent-endogenesis were proposed, and the potential key technologies of intelligent-endogenesis in 6G network was analyzed, and finally combined with two application scenarios to further explore the concept of network architecture for intelligent-endogenesis.

Key words: 6G, intelligent-endogenesis, distributed intelligence, intelligent computing network convergence

1 引言

面向 6G 时代, 网络将迎来新的应用场景和新的性能需求, 6G 时代将构建空天地一体化的网络

通信系统, 实现面向全覆盖、全场景的泛在网络。多样化的应用和通信场景、超异构的网络连接以及极致性能的服务需求, 都对移动通信网络提出了更高的要求。同时随着人工智能 (artificial

收稿日期: 2021-08-10; 修回日期: 2021-09-10

基金项目: 国家重点研发计划项目 (No. 2020YFB1806800)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No.2020YFB1806800)

intelligence, AI) 技术的快速发展, 人们也期待 6G 网络比前几代网络在运作和服务上都具有更高的智能性。目前, 6G 在人工智能、空天地一体化等方面已经初步形成共识, 智能内生已经成为 6G 的重要特征之一。

当前很多 AI/ML (machine learning, 机器学习) 方法已经被应用到网络研究中, 但大多数只是利用机器学习算法解决特定的网络问题。然而, 智能内生网络应该并不是简单地将 AI 方法应用到具体问题上, 而是设计和构建适合于网络系统的 AI 系统, 以及该系统相应的网络架构和运行环境。

2 5G&5G-Advanced 网络智能化概述

2.1 标准组织进展

(1) 3GPP

当前移动通信国际标准化组织 3GPP 在其网络架构组 SA2 的标准化研究中, 引入网络数据分析功能 (network data analysis function, NWDAF), 定义了以 NWDAF 为核心的 5GC 智能架构。Release 15、Release16 完成了网络智能技术规范, 定义了 NWDAF 作为网络数据分析功能从 5G 核心网网元、应用功能 (application function, AF) 及网管采集数据, 并基于数据进行智能化分析 (如网络的性能分析、终端的移动性分析、终端的通信模式分析、终端的行为异常检测、业务体验预测等), 然后向其他网络功能 (network function, NF) 提供数据分析结果信息。Release 17 对网络智能技术规范进行了增强, 增加了可选功能实体, 包括数据采集协调功能 (data collection coordination function, DCCF)、数据存储功能 (analytics data repository function, ADRF)、消息框架适配功能 (messaging framework adaptor function, MFAF), 扩展了分布式 NWDAF 框架。如图 1 所示, 任一 NF 可以订阅或请求网络分析功能, 如果该分析功能还没被收集到, 则 DCCF 向 NWDAF 请求分析功能, 然后再向 NF 提供。如果该分析功能已经

被收集到了, 则 DCCF 可以直接向 NF 提供分析功能。

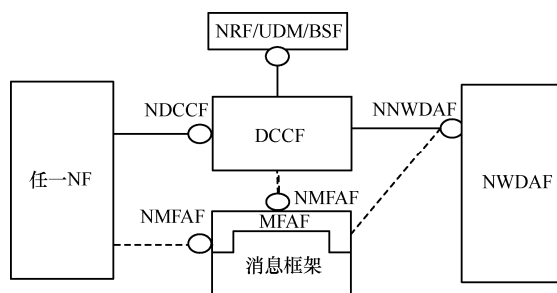


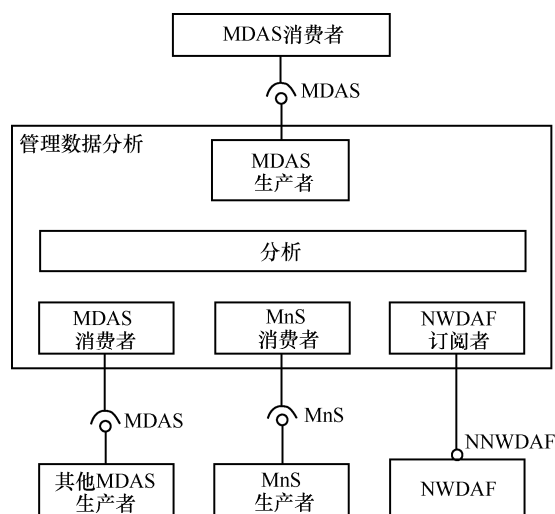
图 1 使用数据收集协调功能的网络数据分析功能架构^[1]

3GPP SA5 OAM (Operation Administration and Maintenance) 组当前已在 Release 17 完成管理数据分析的研究报告, 启动标准制定工作。MDA (Management Data Analytics) 可以处理和分析与网络和服务事件以及状态相关的原始数据 (如性能测量、QoE 报告、警报、配置数据、网络分析数据和服务体验) 并提供分析报告和网络操作建议。其可以与人工智能和机器学习技术相结合, 为网络服务管理和编排带来了智能和自动化。

MDA 可以帮助执行准备、调试、运行以及终止阶段的管理任务, MDAS 管理数据分析的功能架构如图 2 所示。例如, MDA 可以通过准备服务目录、评估新服务的网络需求和执行可行性检查来支持服务供应。在操作阶段, MDA 可以识别影响网络和服务性能的问题, 并提前发现可能导致潜在故障和/或性能下降的潜在问题。MDA 还可以帮助预测网络和服务需求, 以实现及时的资源供应和部署, 从而加快网络和服务部署的上市时间。

(2) ITU

ITU-T 的第 13 研究组 (Study Group13, SG13) 主要研究未来网络、云计算和可信网络架构。该研究组于 2017 年 11 月成立了未来网络机器学习 (Machine Learning for Future Network, ML5G) 焦点组, 主要研究未来网络的机器学习技术, 当前已输出了统一的逻辑架构。该架构与 3GPP SA2 定

图2 管理数据分析的功能架构^[2]

义的 NWDAF 的数据收集、分析、反馈模型类似。2020 年 12 月，SG13 成立了网络自治焦点组，主要研究未来自治网络的相关技术规范，包括对未来网络演进的探索、实时响应实验，对未来网络环境的动态适应等相关技术和用例。

另外，中国移动在 SG13 主导成立了包括《面向 IMT-2020 及未来网络的机器学习数据处理框架标准》《面向 IMT-2020 和未来网络的机器学习用例》《AI 集成跨域网络架构》以及《基于 AI 辅助分析的网络切片管理编排》等在内的智能化项目。该系列标准的制定，对 6G 智能内生网络的研究也起到了指导作用。

(3) ETSI

2017 年，欧洲电信标准化协会（ETSI）成立了业界首个网络智能化标准组——体验网络智能（Experiential Networked Intelligence, ENI），致力于研究基于数据驱动决策和闭环控制的人工智能网络体系架构，辅助实现智能化网络运维。经过 4 年的工作，ENI 陆续发布了用例、需求、术语、架构、智能分级、分级评估方法、基于意图感知的网络自治、数据处理机制等多个系列规范和报告。

2018 年，ETSI 成立零接触网络和服务管理工作组（Zero touch network and Service Manage-

ment, ZSM），其目标是实现对端到端网络及服务的自动化管理，包括自动执行交付、部署、配置、维护和优化流程。目前该小组输出 ZSM 的应用案例、需求、端到端切片技术和闭环控制实现等。

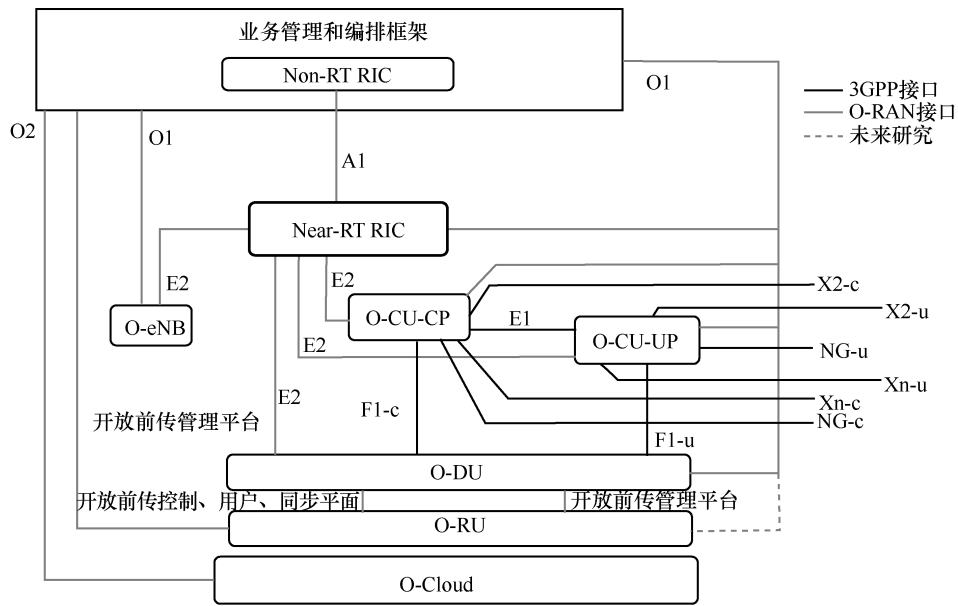
(4) O-RAN

O-RAN 联盟于 2018 年 6 月份成立，提出了“开放”和“智能”两大核心愿景。其目标是通过引入数据分析、机器学习等新技术，以支持更加灵活的组网和更丰富的业务，实现开放智能无线网络。O-RAN 架构在无线网 CU（centralized unit）/DU（distributed unit）架构和功能虚拟化的基础上，引入了 RAN 智能控制器（RAN intelligent controller, RIC）功能实体，O-RAN 的逻辑架构如图 3 所示^[3]。RIC 的核心是利用使能基于意图/策略的闭环智能管控，并利用大数据分析及人工智能技术针对无线网络环境感知、预测并对无线资源的分配进行决策。根据处理时延的不同，将 RIC 划分为非实时无线智能控制器（non-real time RAN intelligence controller, Non-RT RIC）和近实时无线智能控制器（near-real time RAN intelligence controller, Near-RT RIC）。O-RAN 联盟中工作组 2 和组 3 分别针对非实时智能控制器和近实时智能控制器功能、接口标准及软件框架展开研究。

2.2 5G&5G-Advanced 网络智能化定义和总体架构

基于国内外标准及产业研究现状，本文总结了在 5G&5G-Advanced 网络下网络智能化的定义。网络智能化是以 AI 为使能技术，助力网络实现智能连接、智能管理和智能服务。其中，智能连接是指通过在网元及网络功能中引入智能，实现网络连接的性能最优和效益最优；智能管理是通过在网络的运维运营域引入智能，实现网络资源、业务、体验管理的运维效率和用户体验最优；智能服务是通过在网络的对外服务中引入智能，实现对行业用户和个人用户服务的升级。

基于以上定义，提出了面向 5G&5G-Advanced

图3 O-RAN 逻辑架构^[3]

的网络智能化总体架构，如图4所示。该架构面向网络接入、传送、承载、核心四大技术领域，以智能化平台为支撑，通过网络自身智能、运营运维智能、对外服务智能实现智能连接、智能管理和智能服务。

(1) 智能化平台，包含了支撑AI应用的四大核心要素，包括数据平台、训练平台、推理平台、AI模型市场。数据平台作为数据采集、处理和存储平台，从网元、网络、网管采集数据后，进行数据的清洗、关联、标注、脱敏等数据预处理，

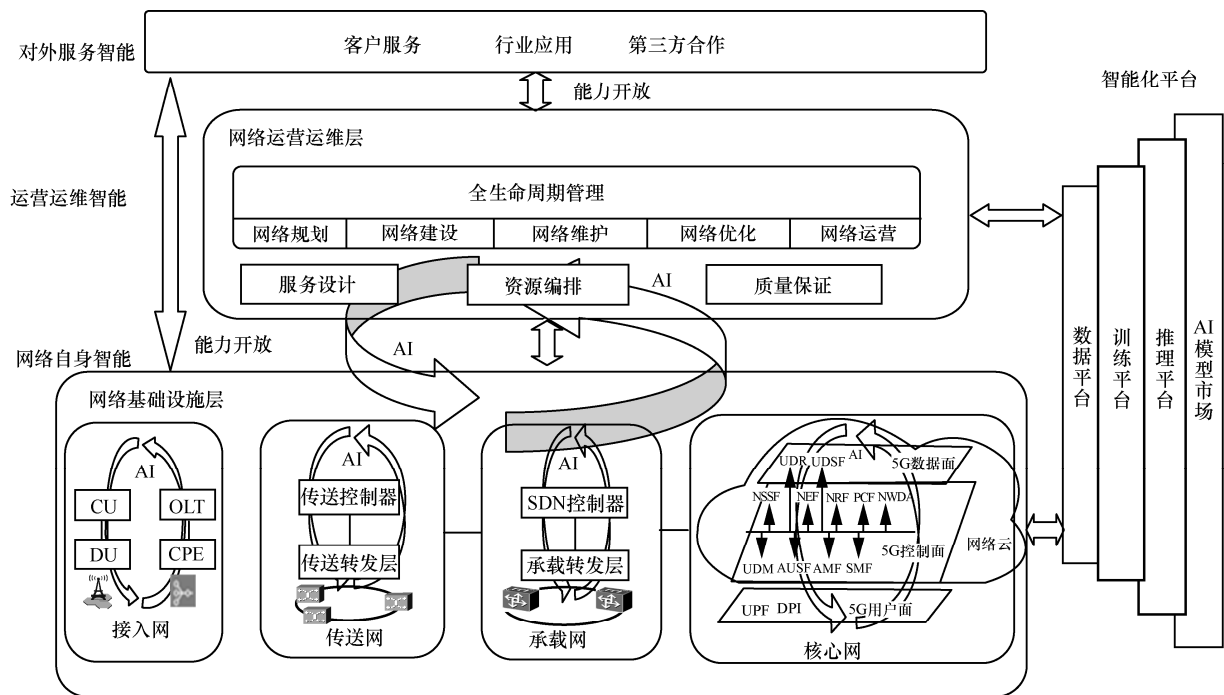


图4 5G&5G-Advanced 网络智能化总体架构



然后将数据存储,并基于安全策略进行开放和共享。训练平台提供 AI 模型训练功能,推理平台提供推理功能。AI 模型市场为已训练模型提供存储和调用功能。

(2) 网络自身智能,是在以控制和转发为核心的网络连接功能中引入 AI 技术,实现网络转发性能和控制策略的最优,实现网络成本和业务体验的最佳匹配。网络自身智能的典型应用场景包括基于预测的移动性管理、动态路径优化、QoS 保障和优化等。

(3) 运营运维智能,通过在网络运维运营层面引入 AI 技术,提升网络规划、建设、维护、优化、运营的网络全生命周期的自动化和智能化的水平。网络运维智能的典型应用场景包括智能站址及工参规划、告警压缩、故障的根因定位、智能节能等。

(4) 对外服务智能,是指通过网络智能化能力的开放,为个人和第三方应用提供智能化服务能力,赋能垂直行业应用。对外服务智能的典型应用场景包括对车网协同、业务质量预测等。

此外,网络自身智能中的各技术域如接入网、传送网等,通过感知、分析、决策控制、执行,实现本域的闭环自治,同时网络自身智能与运营运维智能之间相互协同,实现更高层级的闭环自治。

3 6G 网络智能内生的定义和架构特征

3.1 6G 智能内生的定义

芬兰奥卢 (Oulu) 大学 6G 旗舰研究计划 (6G Flagship Research Program) 2019 年 9 月在 6G 全球峰会发布了首个 6G 白皮书^[4],此后许多顶尖公司、研究机构、产业平台都发布了各自的 6G 网络愿景^[5-11],6G 在人工智能、空天地一体化等方面已经初步形成共识,智能内生已经成为 6G 的重要特征之一。

6G 智能内生的内涵和定义作为研究热点正

在持续讨论中,本文在综合目前国内外研究现状基础上,尝试给出 6G 智能内生的定义。6G 智能内生是指 6G 网络通过原生支持 AI,将 AI 能力作为网络的基本服务,实现 AI 即服务 (AIaaS),使网络能够自学习、自演进,并赋能行业 AI,构筑全行业的泛在智能生态系统。

智能内生从字面意思来看可以分成“智能”和“内生”两个部分。首先,“智能”表示以 AI/ML 作为核心技术,用于网络自身的感知、分析、最优决策,AI 技术因其具有强大的学习、分析和决策能力,以及分布式的网络 AI 能力,与终端 AI、云 AI 相互协作,实现全行业的智能泛在,体现无处不在的 AI 理念。其次,“内生”意味着“与生俱来”,即在开始设计 6G 网络时就要支持 AI 应用在网络中的无缝运行,这些 AI 应用包括网络自身的 AI 应用以及行业 AI 应用。

3.2 6G 网络智能内生架构的特征

本文基于对智能内生的定义和分析,提出了 6G 网络智能内生架构应具备的 4 个特征。

(1) 分布式智能

未来 20 年,智能应用将逐渐成为主流,人工智能将在各个行业广泛部署,同时,移动设备将呈指数级增长,导致计算资源由云端向边缘端转移^[10],分布式的计算资源使得基于中心云的集中 AI 平台向协作式、分布式的 AI 平台转变。这种分布式 AI 平台,可使每个参与协作的智能节点或设备之间传递的只是参数或运行结果,而不是全量原始数据。同时,分布式 AI 平台可以支撑模型在边缘设备之间的交换和协同,以及跨网络之间的联合推理^[8]。分布式 AI 突破了集中式智能的运行瓶颈,同时避免了数据传输的浪费和低效,解决了数据的隐私保护问题,可极大促进 AI 应用在全社会的普及。因此,大规模的分布式训练、群智式的推理协同,以及对数据的隐私保护促使 6G 网络需要对 AI 平台的原生支持和分布式部署,实现在任何位置都能运行 AI,助力构建新的全行业

智能通信生态系统。

分布式智能的第二层含义是,6G 赋能 AI, AI 同时也在推动 6G 的技术革新。6G 不仅包含 5G 涉及的人类社会、信息空间、物理世界(人、机、物)这 3 个核心元素,还包含本文定义的第二层元素——灵(Genie)。Genie 存在于虚拟世界体系,不需要人工参与即可实现通信和决策制定。Genie 基于实时采集的大量数据和高效机器学习技术,完成用户意图的获取以及决策的制定。Genie 存在于人-机-物全方位融合的基础之上,可以覆盖任意物理空间的实体,包含可作为通信与计算节点的物理实体^[12]。文献[12]中的“灵”就是 6G 网络中分布式智能的体现,作为 6G 网络的第 4 个核心元素助力 6G 网络,通过无处不在的智能,实现空天地一体化、异构大连接场景下,对虚实世界的实时环境感知和预测、意图的分析和决策以及网络的自我修复和优化,使 6G 网络成为一个真正有智慧的灵动网络。

(2) 智算网融合的智能编排和调度

构筑全行业智能通信生态系统,需要 6G 网络通过分布式智能平台以软件形式提供智能服务,通过提供支撑智能应用运行的基础硬件计算资源来提供算力服务,通过提供网络连接资源来提供连接服务,实现智能、算力、连接的融合。智、算、网的融合极大增加了融合服务管理和调度的复杂性,需要综合服务的发现、流程的编排、资源的调度、性能的测量实现最优的调度和编排。文献[13]提出了一个网络 AI 服务解析和编排的解决方案,它将 AI 服务映射为一个包含多个 AI 模型和多个数据处理模块的逻辑 AI 工作流,通过逻辑编排和封装对外体现完整的 AI 训练、推理服务。6G 智能内生架构中需设计智算网融合的智能编排和调度功能,并对融合服务的服务保障等级协议(service level agreement, SLA)进行保障。例如,综合智能、算力、连接情况,通过事先预测和规划、实时检测、分析诊断和动态

控制调整实现编排和调度的最优,提升网络综合服务能力。

(3) 数据和知识双驱动

近年来,基于数据驱动的 AI/ML 技术正蓬勃发展,特别是以深度学习为代表 AI 技术掀起了第 3 次人工智能高潮,在图像识别、语音识别、自然语言场景取得了很好的效果。通信网络中有大量数据的优势,同时存在许多无法建模和无法精确求解的感知、预测、优化等场景,而数据驱动的 AI/ML 技术^[14]其核心优势之一在于它善于从大量数据中深入挖掘数据的本质特征,无须建立固定的规则。因此,将 AI/ML 应用到 6G 网络中,可以实现精确的感知以及效益和性能的优化。大量且动态的数据不仅可以支撑 AI/ML 模型的训练,同时还可以支持网络镜像模型的构建实现模型的验证和试错,提升了 AI 应用的可靠性。

但是数据驱动的 AI 技术还存在不足,反观 AI 技术的发展历程,第一代知识驱动的 AI,利用知识构造 AI;第二代数据驱动的 AI,利用数据、算法与算力 3 个要素构造 AI。由于第一、二代 AI 只是从一个侧面模拟人类的智能行为,因此存在各自的局限性。为了建立一个全面反映人类智能的 AI,需要建立鲁棒与可解释的 AI 理论与方法,发展安全、可信、可靠与可扩展的 AI 技术,即第三代 AI。其发展的思路是,把第一代的知识驱动和第二代的数据驱动结合起来,通过同时利用知识、数据、算法和算力 4 个要素,构造更强大的 AI^[15]。

因此在 6G 网络智能内生架构的设计中要充分考虑 AI 技术的发展,数据和知识双驱动将是 6G 网络智能的重要特征。

(4) 自适应架构

6G 面向空天地一体下的多类型终端,需支持包括云 XR、全息通信、感官互联、智慧交互、通信感知等不同类型且复杂的业务场景。多样化的目标、多变的服务场景和个性化的用户需求,要



求 6G 网络具有显著的可塑性^[9]。网络可通过支持对不同业务需求识别和预测,自动编排和部署各域网络功能,生成满足业务需求的端到端服务流^[7],并支持动态扩缩容以满足网络超大带宽、超低时延等不同目标,实现网络规模的自适应。

传统的通信系统是面向连接的,最典型的服务可以在两个特定的终端之间建立连接,他们的服务需求是事先确定并且不会变化的。但是,6G 网络除了提供传统的固定连接服务之外,还应该提供基于 AI 的动态服务,例如通过为汽车提供 QoS 预测服务来支撑完全的自动驾驶^[13]。这种新型服务可能涉及多终端或设备之间的连接,服务需具备自适应性,能够动态地调度和编排多维资源以适应需求的变化。因此,具备自适应性是 6G 智能内生架构的重要特征。

4 6G 网络智能内生的潜在关键技术

4.1 分布式联合学习

深度学习在图像识别、自然语言处理等领域中的优异表现,推动了人工智能的发展,增大数据集以及增大模型参数量在提高准确率的同时,也导致了计算量和训练时间的提高。因此,为了加速模型训练,业界提出了分布式学习。当前的研究热点联邦学习、群体学习作为分布式的机器学习,使用移动端的分散数据进行本地训练,仍能达到高质量的训练效果,并保护了数据隐私、减少了数据传输成本,如图 5 所示。图 5(a)展示了联邦学习架构,在联邦学习中,节点使用本地数据集进行模型训练,然后发送更新的参数到服务器,服务器再将聚合后的参数更新返回给各节点^[16]。图 5(b)展示了群体学习架构,它基于区块链智能合约动态地加入新节点,新节点在进行本地模型训练后,通过 swarm 网络交换模型参数^[17]。

空天地海一体的 6G 网络,人、机、物存在其中,将产生大量且多样的数据,这些数据分布在不同的网络、系统、网元上,如果将这些数据集

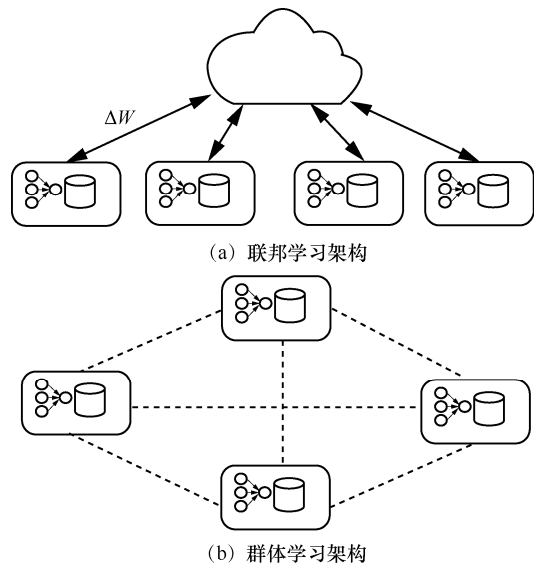


图 5 分布式的机器学习

中起来训练,那么将会产生高昂的传输成本并带来安全隐患,因此,分布式联合学习将是实现 6G 网络多用户智能分布协作的关键技术。在 6G 时代,如何设计分布式学习架构、优化参数通信方式,将成为影响 6G 网络 AI 应用产出效率的重要因素。

4.2 数字孪生

数字孪生技术可以利用物理实体模型参数、传感数据、运行历史数据等在虚拟空间中完整映射出一个与物理实体一致的孪生体,并在孪生体中精准呈现反映物理实体的全生命周期。随着数字孪生技术的成熟,数字孪生网络(DTN)的概念^[18]被提出。DTN 通过数字孪生技术,可生成 6G 网络的数字孪生网络实体,构建 6G 网络智能内生的数据底座,同时物理网络实体可以和数字孪生网络实体实时交互映射,实现多种网络管理和应用的实时闭环控制,降低网络风险和运营成本。

针对智能内生网络,网络决策无处不在且策略复杂多样,这些策略将分布在网络的不同运维管理域和网络功能中,针对业务运行状态的策略修改将“牵一发而动全身”。利用数字孪生技术,网络运维及业务运行的不同策略可以在与物理网络相同的孪生环境中进行初步验证和协同,确保

得到最优策略。与此同时,DTN可基于实时的输入数据对网络配置等参数进行动态调整,提高网络的稳定性和可靠性。

4.3 AutoML

深度学习具有强大的学习能力,但学习过程需要大量的人工参与,AutoML(自动机器学习)作为深度学习领域目前最具潜力的方向之一,可以自动化地学习到合适的参数和配置,提供一站式的数据处理、模型训练和服务部署而无须人工干预。尽管AutoML仍面临很多挑战,例如计算量需求非常大,但它通过迭代自学习的方式,使得机器能够自己控制自己,这种自我调整的能力为智能内生的6G网络自学习、自演进提供了有力的技术支撑。一方面,面对6G网络不同的应用场景,AutoML可以使能算法和网络结构的自动化适配,如图6所示,通过自动化特征工程、自动化建模、自动化调参等机器学习的各个环节,快速响应不同的场景需求;另一方面,AutoML通过基于数据的模型结构搜索^[19-20],能够自动地寻找最佳神经网络结构,让网络自己去学习和训练规则,使得网络的自演进成为可能。

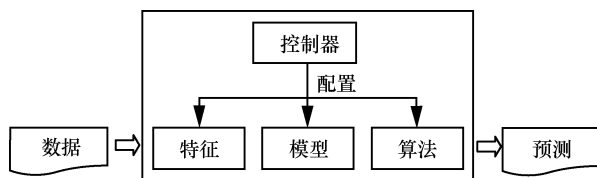


图6 AutoML框架示意图^[21]

4.4 强化学习

强化学习(reinforcement learning)如图7所示,通过“交互-试错”机制,与环境不断交互进而学习到有效的策略,很大程度上反映了人脑做出决定的反馈系统运行机理,这也是通往真正AI的重要道路^[14]。6G网络是大规模的复杂系统,应用场景复杂多样,智能内生的6G网络需具备对环境的全面感知能力,从而实现对全维资源的联合优化和利用^[22],因此,强化学习算法更加适

合动态性强的6G网络。强化学习通过智能体与环境的交互过程,能够感知到频谱、能量、缓存、计算等资源,促进通信与计算、存储更深地融合,并在选择行为策略时,充分考虑到环境模型的不确定性和目标的长远性^[14],确保服务、编排、管理对高动态环境的适应性,提升6G网络的自治能力。

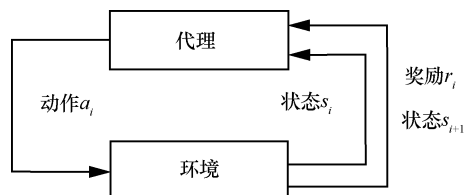


图7 强化学习^[14]

4.5 知识图谱

尽管数据驱动的人工智能飞速发展,知识驱动的人工智能凭借其坚实的认知心理学基础,在学术界仍具有较高的研究价值,其中,2012年谷歌提出的知识图谱^[23],作为一种将复杂知识进行表示的方法,在技术领域的热度正在逐年上升。如图8所示,知识图谱的构建,包括信息抽取、知识融合、知识加工3个过程^[24]。通过信息抽取,可以从一些公开的半结构化、非结构化的数据中提取出实体、属性以及实体间的相互关系;通过知识融合,可以对新知识进行整合,以消除矛盾和歧义;通过知识加工,可以对已有的知识库进行知识推理,进一步挖掘隐含的知识,并对经过融合的新知识进行质量评估,将合格的部分加入知识库中,以确保知识库的质量。

当6G来临后,“人-机-物”的连接将向智慧延伸,实现“人-自然-智慧”的互动和连接,即“人-机-物-灵”融合^[12],知识图谱能够将6G网络中海量的数据、复杂的连接进行有效的加工、处理、整合,并聚集为知识,形成简单、清晰的“实体-关系-实体”的三元组,实现知识的快速响应和推理,使6G网络的知识互联成为了可能。



5 6G 网络智能内生应用场景分析

(1) 工厂多智能体的群智协同

需求描述：在工业互联网场景下，工厂智能体遍布工厂的各个环节，智能体应支持自主感知、自主分析、自主决策、自主控制的自动化闭环。由于智能体本身在计算和存储资源方面有限，需要借助外部的资源进行 AI 训练和推理。同时由于单个智能体的数据和场景有限，AI 应用的效果不仅依赖于适当的算法，更依赖于大型训练数据集。由于现场数据本身是分散的，仅仅依靠本地的数据量通常不足以训练出可靠且能力强的模型^[17]，因此在分布式环境下需要多智能体的数据共同训练模型。此外，在面对需要多智能体综合决策的复杂场景时，需要多智能体进行协同推理和决策。

解决方案：网络在边缘层部署分布式人工智能节点，在联合训练、推理场景下，多个单智能体向网络申请边缘 AI 服务，网络根据终端的性能、位置等需求，综合网络的智能、算力、连接资源进行智能编排和调度，然后向多个智能体提供边缘 AI 服务。这些 AI 服务的内容可以包括联合训练时的模型参数、梯度等数据传递和整合、推理模型和参数的分割、推理数据的整合和传递以及流程的协调等。最终实现工厂多智能体的分布式联合训练和群智协同。

(2) 动态自适应的网络切片 SLA 保障

需求描述：6G 网络将实现虚拟世界和物理世界的融合、全息通信、情景化和个性化通信服务、空天地海集成异构的网络接入^[25]，业务的多样化、用户需求在时间和空间上的动态变化以及极致的体验需求，需要 6G 网络具备灵活性和动态适应性。

解决方案：5G 引入了网络切片这一技术，一个网络切片是一个逻辑上独立的端到端网络，它根据 SLA 为特定的服务类型量身定制。灵活定制且支持动态适应的网络切片是以上需求的可行解决方案。在基于智能内生的网络切片架构中，网

络切片具备精确的感知能力，基于大量数据和知识底座，通过分布式智能对网络、用户、环境等多维信息进行表征、构建和学习。网络切片在感知和预测用户需求及其变化的基础上，进行动态的资源分配、动态流量调度、动态扩/缩容，实现网随业动的切片网络动态适应能力。

6 结束语

6G 网络将致力于打造一个空天地海全覆盖、人机物全连接的通信世界，但网络的复杂性、连接设备的数量也将剧增，对网络的性能优化和管理优化等带来了新的挑战。人工智能将在应对这些挑战中发挥重要作用。为了更好地在网络中引入人工智能，需要从 5G 的外挂方式演进到 6G 的内生方式。本文在阐述 5G 网络和 5G-Advanced 的智能化发展和架构定义的基础上，提出了 6G 网络智能内生的定义和特征，即分布式智能、智算网融合的智能编排和调度分析、数据和知识双驱动和自适应架构，分析了 6G 网络智能内生的潜在关键技术，最后，结合工厂多智能体群智协同、动态自适应的网络切片 SLA 保障的应用案例进一步探讨了智能内生架构的实现理念。

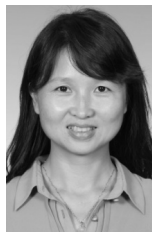
6G 研究刚刚起步，有许多研究课题需要进一步探索。本文希望通过对 6G 网络智能内生的思考，为业界同仁在未来 6G 网络的发展研究中提供一些启示。6G 网络智能内生的理念需要在架构、技术、生态系统等方面进一步研究和推进，从而实现真正的 6G 智能内生愿景。

参考文献：

- [1] 3GPP. Architecture enhancements for 5G System (5GS) to support network data analytics services: TS23.288 [S]. 2021
- [2] 3GPP. Study on enhancement of management data analytics (MDA): TR28.809-040[S]. 2020.
- [3] O-RAN. O-RAN minimum viable plan and acceleration towards commercialization (white paper)[R]. 2021
- [4] AAZHANG B, AHOKANGAS P, ALVES H, et al. Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence

- (white paper)[EB]. 2019.
- [5] 6GANA. Network AI white paper[R]. 2021.
- [6] 6G Flagship, Finnish 6G flagship white papers [R]. 2021.
- [7] IMT-2030(6G)推进组. 6G 总体愿景与潜在关键技术[R]. 2021. IMT-2030(6G) Promotion Gtoup. Overall 6G vision and potential key technologies[R]. 2021.
- [8] SHYY D, WATSON C, WOODS K. TW: 6G and artificial intelligence & machine learning [R]. 2021.
- [9] YOU X H, WANG C X, HUANG J, et al. Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts[J]. Science China Information Sciences, 2021, 64(1): 110301.
- [10] TOMKOS I, KLONIDIS D, PIKASIS E, et al. Toward the 6G network era: opportunities and challenges[J]. IT Professional, 2020, 22(1): 34-38.
- [11] 中国移动通信有限公司研究院. 2030+网络架构展望[R]. 2021. China Mobile Research Institute. 2030+ network architecture outlook[R]. 2021.
- [12] 张平, 牛凯, 田辉, 等. 6G 移动通信技术展望[J]. 通信学报, 2019, 40(1): 141-148. ZHANG P, NIU K, TIAN H, et al. Technology prospect of 6G mobile communications[J]. Journal on Communications, 2019, 40(1): 141-148.
- [13] WU J J, LI R P, AN X L, et al. Toward native artificial intelligence in 6G networks: system design, architectures, and paradigms[EB]. 2021.
- [14] WANG T Y, WANG S W, ZHOU Z H. Machine learning for 5G and beyond: from model-based to data-driven mobile wireless networks[J]. China Communications, 2019, 16(1): 165-175.
- [15] 张钹, 朱军, 苏航. 迈向第三代人工智能[J]. 中国科学: 信息科学, 2020, 50(9): 1281-1302. ZHANG B, ZHU J, SU H. Toward the third generation of artificial intelligence[J]. Scientia Sinica (Informationis), 2020, 50(9): 1281-1302.
- [16] MCMAHAN H B, MOORE E, RAMAGE D, et al. Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data[J]. 2016: arXiv: 1602.05629[cs.LG].
- [17] WARNAT-HERRESTHAL S, SCHULTZE H, SHASTRY K L, et al. Swarm Learning for decentralized and confidential clinical machine learning[J]. Nature, 2021, 594(7862): 265-270.
- [18] 孙滔, 周铨, 段晓东, 等. 数字孪生网络(DTN): 概念、架构及关键技术[J]. 自动化学报, 2021, 47(3): 569-582. SUN T, ZHOU C, DUAN X D, et al. Digital twin network (DTN): concepts, architecture, and key technologies[J]. Acta Automatica Sinica, 2021, 47(3): 569-582.
- [19] ZOPH B, LE Q V. Neural architecture search with reinforcement learning[J]. arXiv: 1611.01578, 2016.
- [20] HE X, ZHAO K Y, CHU X W. AutoML: a survey of the state-of-the-art[J]. Knowledge-Based Systems, 2021(212): 106622.
- [21] YAO Q M, WANG M S, HUGO J E, et al. Taking human out of learning applications: a survey on automated machine learning[EB]. 2018.
- [22] 张彤, 任奕璟, 闫实, 等. 人工智能驱动的 6G 网络: 智慧内生[J]. 电信科学, 2020, 36(9): 14-22. ZHANG T, REN Y J, YAN S, et al. Artificial intelligence driven 6G networks: endogenous intelligence[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(9): 14-22.
- [23] AMIT S. Introducing the knowledge graph: things, not strings. Google Blog[R]. 2012.
- [24] AIDAN H, EVA B, MICHAEL C, et al. Knowledge Graphs[J]. arXiv:2003.02320, 2021.
- [25] DANG S P, AMIN O, SHIHADA B, et al. What should 6G Be? [J]. Nature Electronics, 2020, 3(1): 20-29.

[作者简介]



李琴 (1977-), 女, 中国移动通信有限公司研究院研究员, 主要研究方向为网络智能化。



李唯源 (1988-), 女, 博士, 中国移动通信有限公司研究院研究员, 主要研究方向为网络智能化。



孙晓文 (1989-), 女, 中国移动通信有限公司研究院研究员, 主要研究方向为 5G 网络切片、网络自动化管理、数字孪生技术等。

胡玉双 (1993-), 女, 中国移动通信有限公司研究院研究员, 主要研究方向为 5G 网络切片、6G 架构、空天地一体化等。

孙滔 (1981-), 男, 中国移动通信有限公司研究院主任研究员、网络创新实验室技术经理, 主要研究方向为移动网新架构、网络智能化。