

柔性智简深度边缘节点



Flexible Intelligent Network with Deep Edge Node

王晴天/WANG Qingtian, 王栋/WANG Dong,
李泽旭/LI Zexu
(中国电信研究院, 中国 北京 102209)
(China Telecom Research Institute, Beijing 102209, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202404003
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20240719.1809.006.html>
网络出版日期: 2024-07-22
收稿日期: 2024-06-12

摘要: 人工智能与通信的融合驱动 6G 网络智能化, 而边缘侧作为网络最先接入业务的部分, 需要为新型业务提供低时延智能化服务。提出了一种深度边缘节点架构, 该架构在网络边缘侧能够实现通信、算力、智能和数据的融合。剖析了支撑深度边缘节点的柔性智简和智能可编程技术, 认为网络的柔性和智简可编程技术将是未来网络逐步实现按需定制和自优化的关键技术。

关键词: 深度边缘; 智简网络; 6G

Abstract: The integration of artificial intelligence and communication drives the intelligence of 6G networks, and the edge, as the close part of the network to access services, needs to provide low-latency intelligent services. A deep edge node architecture that realizes the integration of communication, computing, intelligence and data at the edge of the network. The flexible, intelligent and programmable technologies that support deep edge nodes are analyzed. It is considered that the flexibility and intelligent programming technology of networks will play a key role in gradually achieving on-demand customization and self-optimization in the future.

Keywords: deep edge node; intelligent network; 6G

引用格式: 王晴天, 王栋, 李泽旭. 柔性智简深度边缘节点[J]. 中兴通讯技术, 2024, 30(4): 10–13. DOI: 10.12142/ZTETJ.202404003

Citation: WANG Q T, WANG D, LI Z X. Flexible intelligent network with deep edge node [J]. ZTE technology journal, 2024, 30(4): 10–13. DOI: 10.12142/ZTETJ.202404003

2022年国际电信联盟 (ITU) 第41次会议发布了《未来技术趋势研究报告》^[1], 其中人工智能 (AI) 与通信的融合属于第六代移动通信技术 (6G) 的重点技术方向。AI 在 6G 通信中的应用将推动网络从被动响应向主动智能转变, 使网络能够更高效地满足多样化的应用需求, 提供更优质的服务。随着技术的不断进步, AI 将在 6G 网络中发挥越来越重要的作用, 成为未来通信技术发展的核心驱动力。国际上如第3代合作伙伴计划 (3GPP) ^[2] 已经开展针对智能化场景的研究, 内容涵盖无线接入网和核心网。开放无线网络 (O-RAN) ^[3] 联盟提出无线接入网智能控制器 (RIC) 以及对应的接口 E2、A1 等。中国如 IMT-2030 (6G) ^[4] 推进组等也积极开展内生智能相关研究, 涵盖了需求场景、网络架构和关键技术。

6G 智简网络^[5-7]的提出是对未来网络趋势的预测和技术演进路线的探索, 是 AI 与通信融合技术的重要实现。在智能化方面, 6G 智简网络将广泛应用 AI 和机器学习 (ML) 技术, 以实现网络的自适应、自优化和自愈能力。AI 和 ML 可以帮助网络实时分析海量数据, 预测用户行为和网络状态, 从而动态调整资源分配, 优化流量管理, 提高网络的整体性

能。例如, 通过 AI 驱动的网络编排管理和网络可编程, 6G 智简网络可以自动识别并修复故障, 减少人为干预, 提高网络可靠性; 在简化方面, 6G 智简网络将进一步推进网络云化和虚拟化技术的应用, 并将网络功能从硬件中解耦出来, 以软件形式运行在通用硬件平台上, 从而大幅度简化网络架构和运维流程。云化技术和软件定义的方式使网络控制平面与数据平面分离, 提供集中管理的灵活性, 同时通过虚拟化网络功能, 减少了对专用硬件的依赖, 降低了成本, 并提升了部署效率, 便于网络升级和维护。

6G 新场景和新业务的提出, 对网络提出了按需定制和快速响应的要求, 同时 AI 与通信的融合亦需要在接收业务最近的无线接入网侧具备对应的算力、智能和数据处理的能力。因此, 6G 网络边缘侧需要一种新的架构来支撑网络自优化和提供第三方业务需求的能力。本文提出一种柔性智简深度边缘架构, 来解决 6G 网络在边缘侧的新型需求。

1 深度边缘节点

深度边缘节点 (DEN) 是边缘计算在 6G 的延伸, 也是

解决垂直行业需求边缘侧的载体，旨在通过将计算和数据处理能力部署在靠近数据源的位置，以满足现代应用对低延迟、高带宽和实时处理的需求。随着工业物联网（IIoT）和AI技术的迅速发展，数据生成的速度和规模呈指数级增长，传统的云计算模式依然存在着带宽负荷重和延迟问题。因此，深度边缘节点成为6G解决这些问题的关键。

深度边缘节点的主要特点是其高计算能力和智能化处理能力。与传统的边缘节点不同，深度边缘节点不仅具备基本的数据收集和初步处理能力，还能够执行复杂的计算任务，如实时数据分析、机器学习模型的推理和训练等。这使得深度边缘节点能够在6G网络边缘完成大量的数据处理工作，以及网络自优化和对业务场景计算、智能、网络连接和数据需求的提供。

深度边缘节点的“深度”包含了两方面的含义：第一，“深度”代表节点物理上的临近性，节点的部署位置更加趋近用户和场景，在贴近用户的6G网络边缘实现业务的快速实时响应、处理；第二，“深度”蕴含了能力的更加丰富，深度边缘节点中涵盖了部分核心网下沉的网元或者轻量级核心网、云化接入能力、以异构资源池形态存在的算力底座，以及内生智能生成的网络大脑^[8-9]。

如图1所示，深度边缘节点主要包括基础设施层、可编

程资源池、智能控制功能和服务提供功能，以及针对数据采集和对网络内外提供数据服务的数据平面、提供智能服务的智能平面^[10]。

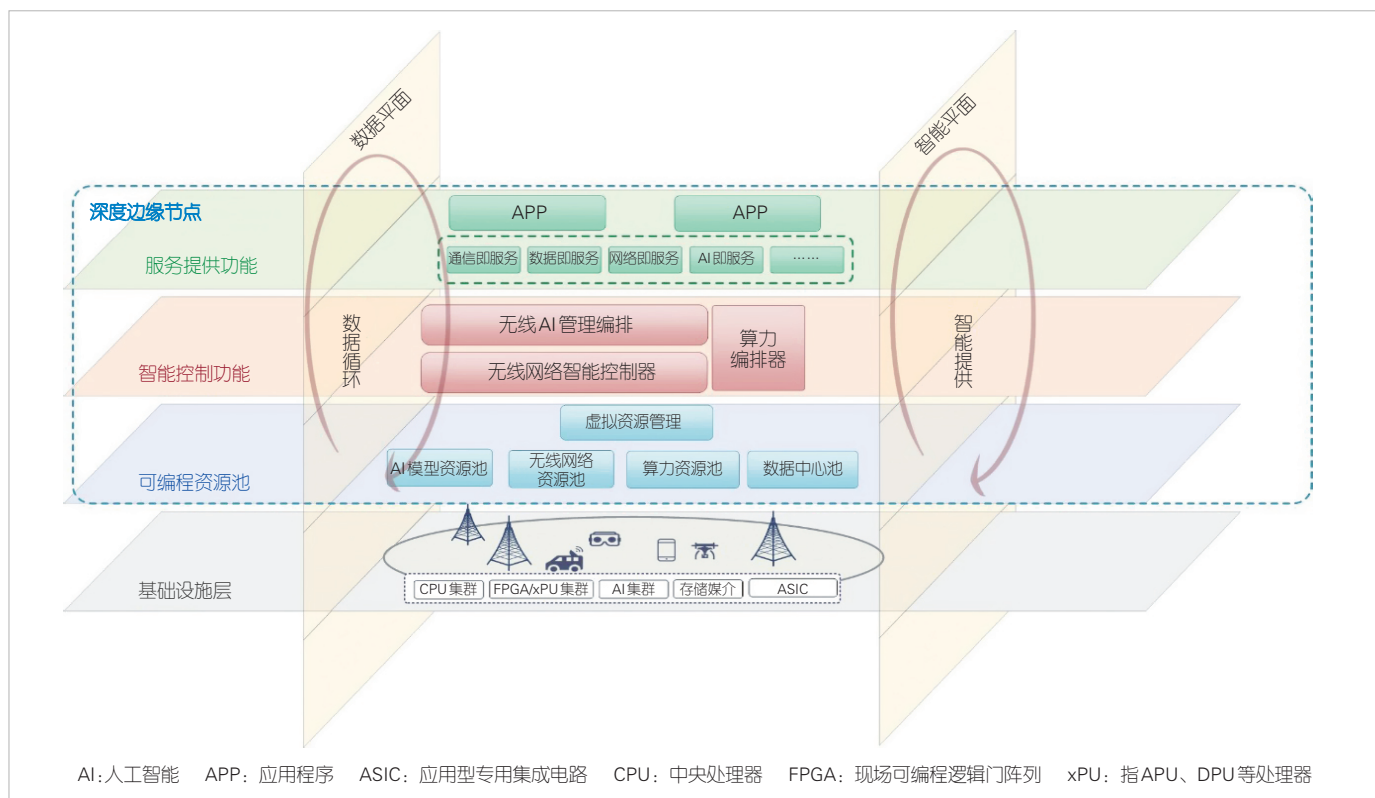
1.1 边缘融合

深度边缘节点的构建，可以将通信、计算、智能等资源构建成服务推向更贴近用户的边缘，通过深度边缘节点和网络的自适应协作，在边缘融合网络中推动无线通信和计算资源的深度融合。深度边缘节点亦将实现高度分布式人工智能的愿景，将6G网络智能化从核心节点转移到边缘融合网络中，从而减少时延、成本，降低安全风险，进而提高相关业务的效率。

在AI与通信融合的场景下，深度边缘节点是在边缘侧实现AI和通信融合的锚点，无线接入网（RAN）侧全云化/部分云化、智能可编程和服务化等技术均是支持AI与通信融合，以及内生AI落地的使能技术。

1.2 柔性智简

“柔性”指的是6G网络体系能够灵活适应和快速响应新场景的需求及技术的更迭。这种灵活性体现在多个方面，包括初始网络架构的设计、网络中异构资源的动态分配和服务的灵活提供。柔性网络可以根据差异化应用场景和多变用户



▲图1 深度边缘节点

需求进行快速调整，确保网络提供高效和可靠的服务。柔性在深度边缘节点中主要体现为：

1) 架构的可扩展性

柔性边缘网络能够根据业务需求的变化和网络当前承载业务的类别进行资源的扩展或缩减。例如，随着 AI 业务数量的增加，网络能够动态扩展带宽和承载数据传输，增加计算资源，支持多样化 AI 模型的引入。

2) 资源的动态调度编排

柔性网络除能够实时响应运营侧业务需求配置外，亦可根据实时需求动态分配网络中算力、带宽空口等网络资源，以及 AI 对应的数据和模型。利用当前云化、虚拟化等技术，并在相关网络优化 AI 模型的支持下，柔性网络能够灵活调整网络资源配置，优化网络性能。

3) 网络服务的快速部署

柔性网络支持快速部署和新服务调整。如有新的服务需求，网络可以实现服务的快速上线、迁移、更新和删除等操作。

4) 网络自愈能力

柔性网络具备强大的自愈能力，可以利用知识图谱等技术手段快速定位、修复故障，保证网络鲁棒性。

5) 网络参数自优化

6G 新业务场景的加入，如数字孪生、工业互联网等，对网络的计算、存储和带宽等资源都提出新的需求，不同场景也涉及网络资源的分配问题。网络可以根据差异性业务场景的需求，动态、细颗粒度地调整参数和配置，保证多业务场景同时合理运行。

2 智能可编程

2.1 智能可编程概念

可编程的概念最初在固网中提出并得到一定推广。固网可编程的理念是实现数据包的灵活处理，突出与协议的无关性，通过 P4 语言灵活设计数据包处理的流水线，高效完成数据包转发。无线网络协议的复杂性以及信令对时间要求的及时性，导致网络很难实现对无线数据包的灵活处理，因此无线网络中可编程的概念与固网有一定的差异。在针对业务场景的可定制化和面向企业（ToB）等垂直领域时，智能可编程主要突出网络设计的灵活性。智能主要体现在：通过可编程接口能够实时获取数据，利用可编程框架能够实现 AI 模型的灵活嵌入和修改。

可编程概念与可编排有一定的区分度，主要差异有两点：

1) 作用对象不同：可编程网络指的是通过编程接口或某种编程语言来实现网络设备和网络功能的灵活配置、控制

和数据提取的能力；可编排网络强调的是在网络中实现灵活的服务编排和自动化，它涉及将网络功能以及服务按照特定的策略或逻辑组合、配置和管理，以满足特定的业务需求。

2) 作用范围不同：可编程关注于对网络数据平面进行编程，实现诸如媒体接入控制层（MAC）层调度、负载均衡等功能的灵活配置和定制化；可编排网络的关注点在于使用编排技术和工具，如自动化编排系统等，根据网络运营商或应用需求自动化地部署、配置和管理网络服务。

智能可编程可应用在 AI 与通信场景中，智能内生的实现需要设计对应的接口为 AI 算法提供实时的数据完成推理，然后将推理后的结果转换成网络配置参数，实时完成网络配置，即参数可编程。接着，AI 的训练依赖强大的数据支撑，需要定时提取相关数据，构建特征数据集，供 AI 模型的前期训练使用，也可以通过一定处理方式后将数据开放给第三方，即数据可编程。构建特征数据集的接口因为对实时性要求并不苛刻，因此当前从网管侧提取数据的模式可沿用。AI 算法在网络中的增、删、改也需要一套完整的框架和流程实现，在现阶段可以在满足安全性的情况下，在网络边缘侧和网管侧存储常用的 AI 模型，借助类似镜像仓库的方式实现 AI 算法的嵌入、删减和更新，即行为可编程，通过修改 AI 算法实现网络参数配置的更改，完成期望的网络行为。

因此，智能可编程技术是一种潜在的能实现 6G 网络中 AI 与通信融合的技术，能有效支撑 6G 无线系统按需适配、智慧内生和联合优化。

2.2 智能可编程功能

智能可编程技术是助力 6G 智能内生发展的一种潜在技术，通过相关接口能够灵活地实现 RAN 侧数据功能的获取和交互；针对收集到的数据进行处理和挖掘，找寻客观规律，有助于网络行为能力的提升；使能有关框架，导入和更新智能化模型，满足差异化场景的需求。

智能可编程通过相关接口能够灵活地实现无线网络侧数据的获取和存储；针对收集到的数据利用智能化方法进行处理和挖掘，找寻网络客观规律，有助于网络行为能力的提升；亦可借助有关实现手段，导入和更新智能化模型，满足差异化场景的需求。

智能可编程有如下优点：

1) 灵活性和可定制性：可根据特定的需求和场景，完成网络灵活配置和定制；

2) 动态适应性：通过可编程技术网络能够更好地适应环境和需求的变化，通过实时采集到的数据，检测网络的环境，利用智能化模型，动态调整参数和分配资源，以适应网

络、用户以及场景等的变化。

3) 快速部署和升级: 可编程技术能够借助特定的接口和框架, 实现网络的快速部署和升级, 缩短部署时间, 并能够快速部署新功能和他务。

4) 开放和创新: 智能可编程技术鼓励接口和协议的开放, 以促进创新和生态系统的发展。开放的编程接口和协议能够鼓励异厂商设备和应用的集成和互操作, 助力新技术的落地和创新的出现。

智能可编程当前在无线网络中还处于发展阶段, 诸如性能等还有待进一步验证。智能可编程的引入会带来额外的网络开销。同时, 智能可编程涉及异厂商的设备和组件, 不同设备和平台的兼容性可能会带来集成和管理方面的挑战。为了实现智能可编程, 无线网络侧需要逐步打开封闭的协议栈, 达到协议栈功能化、接口标准化和通用化的目标。同时, 无线网络侧也需要在硬件层面上支持相关的功能和接口, 实现编程工具和控制单元的交互。在智慧内生理念不断演进的背景下, 智能可编程将会助力无线网络朝着更加开放、更加智能的路线加速前进。

2.3 智能可编程作用域

智能网络可编程的主要目标为: 通过一种通用的框架和接口把内生智能需要的已经训练通过的AI模型, 灵活嵌入到RAN中的某一层实现对应的功能。例如, 当在MAC层中有调度需求时, 在现有MAC层调度策略输入和输出参数确定的情况下, 训练AI模型, 然后在MAC层中实现AI模型的推理功能, 即可在改变RAN架构的最低限度下实现内生智能的嵌入、升级、增加和删除等操作。同时, 针对如RAN切片和能耗优化等场景, 可以参考O-RAN中近实时RIC架构, 通过E2接口采集RAN中数据, 用于数据收集和AI模型训练, 并可通过E2接口实现AI模型推理后参数在RAN中的配置。近实时RIC利用xAPP的模式嵌入AI模型, 并设计有完整的AI调度流程, 可以高效实现多场景AI模型的灵活嵌入, 构建柔性可编程网络。因此, 智简可编程设计时并非需要改变当前的网络架构, 只需要开放部分网络数据和功能, 利用统一的平台实现数据的实时灵活抓取, 即可实现网络配置的及时下发, 以及AI模型的按需设计和部署。

3 结束语

当前6G无线网络的研究还处于关键技术筛选阶段, 面对新业务的需求以及网络形态的演进, 边缘侧的演进是6G网络的重要组成。深度边缘节点的提出, 满足了AI与通信的融合需求, 同时低时延智能服务的提供为6G新业务的支

撑提供了基础。在网络迈向云化和智能化的方向中, 网络的柔性和智简可编程技术将会是后续网络逐步实现按需定制和自优化的关键技术。因此, 尽早开展相关技术的研究和储备是推动6G领先的关键。

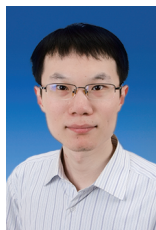
参考文献

- [1] ITU. Framework and overall objectives of the future development of imt for 2030 and beyond [EB/OL]. [2024-06-15]. https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/oth/07/31/D07310000090015PDFE.pdf
- [2] 3GPP. Homepage [EB/OL]. [2024-06-15]. <https://www.3gpp.org>
- [3] O-RAN. Homepage [EB/OL]. [2024-06-15]. <https://www.o-ran.org>
- [4] IMT-2030(6G). Homepage [EB/OL]. [2024-06-15]. <https://www.imt2030.org.cn>
- [5] 张平, 许长桥, 李康睿, 等. 面向全息通信的6G智简网络架构 [J]. 无线电通信技术, 2024, 50(3): 407-412
- [6] 杨峰义, 刘洋, 王晴天, 等. 6G智简可编程网络 [J]. 信息通信技术, 2022, 16(3): 19-24
- [7] 彭木根, 孙耀华, 王文博. 智简6G无线接入网: 架构、技术和展望 [J]. 北京邮电大学学报, 2020, 43(3): 1-10. DOI: 10.13190/j.jbupt.2020-079
- [8] 刘洋, 李泽旭, 刘海涛. 6G边缘云网融合关键技术研究 [J]. 信息通信技术 & 政策, 2022(9): 60-63. DOI: 10.12267/j. issn. 2096-5931.2022.09.007
- [9] 中国电信, 紫金山实验室. 基于云网融合的6G关键技术白皮书 [R]. <https://test.gfnds.com/uploads/20220823/f52bfef2ff3f8739d79a9c876f18e924.pdf>
- [10] WANG Q T, LIU Y, WANG Y C, et al. Deep Edge Node enables AI native toward 6G [C]//Proceedings of IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB). IEEE, 2023: 1-6. DOI: 10.1109/BMSB58369.2023.10211613

作者简介



王晴天, 中国电信研究院高级工程师、O-RAN联盟nGRG联席主席; 主要研究领域为6G智简可编程网络; 已发表论文10余篇。



王栋, 中国电信研究院6G研究中心网络架构与业务团队总监, 高级工程师, LFN ONAP TSC副主席; 研究方向包括6G网络架构、网络智能化关键技术; 已发表论文10余篇。



李泽旭, 中国电信研究院工程师, O-RAN联盟nGRG研究02组联席领导人; 主要研究领域为6G智能协同技术; 已发表论文10余篇。