

6G 无线智能架构设计浅析

Analysis of 6G Wireless Intelligent Architecture Design

索士强,黄远芳,罗张宇,白晨,孙万飞(中信科移动通信技术有限公司,北京 100191)

Suo Shiqiang, Huang Yuanfang, Luo Zhangyu, Bai Chen, Sun Wanfei (CITC Mobile Communication Technology Co., Ltd., Beijing 100191, China)

摘要:

在关于6G的研究工作中,无线智能架构这一主题获得了广泛的关注和讨论,但其设计细节尚待进一步探讨。基于6G智能设计的需求,探讨了6G智能无线接入网架构的设计思路,提出了潜在的6G无线智能架构的逻辑功能和接口框图。进一步讨论了逻辑的功能和接口与物理架构之间的映射关系,并对接口间的交互进行了描述,以期提供一个潜在的6G无线智能架构设计的综合视图。

关键词:

6G;人工智能;无线接入网架构

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.07.001

文章编号:1007-3043(2024)07-0001-08

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:

In the research work for 6G, the topic of wireless intelligent architecture has received extensive attention and discussion, but its design details need to be further explored. Based on the requirements of 6G intelligent design, it discusses the design idea of 6G intelligent wireless access network architecture, proposes a framework of the logical function and interface of potential 6G intelligent wireless architecture, discusses the mapping relationship between the logical function and interface and physical architecture, and describes the interface interaction, expecting to provide a comprehensive view of a potential 6G wireless intelligent architecture design.

Keywords:

6G; Artificial intelligence; Radio access network architecture

引用格式:索士强,黄远芳,罗张宇,等. 6G无线智能架构设计浅析[J]. 邮电设计技术, 2024(7): 1-8.

0 引言

随着面向2030年未来移动通信技术目标框架建议书在国际电信联盟获得通过,已持续几年的6G相关研究在一定程度上达成了共识。国际电信联盟定义了IMT-2030(6G)使用的六大场景。除了对IMT-2020(5G)的“三角能力”进行增强以外,IMT-2030(6G)还拓展了3个新的场景:通感融合、智能与通信融合以及泛在连接。针对所有场景,IMT-2030(6G)给出了6G的四大设计原则:可持续性、泛在智能、安全/隐私/弹

性、连接尚未连接的用户。在对6G能力的定义中,智能相关的能力涵盖了分布式的数据处理、分布式的学习、智能计算、智能模型执行以及智能模型推理等^[1-2]。

为了满足6G的愿景需求,无线接入网的架构需要深耕重构以支持6G能力,从而高效地支撑6G的场景需求。其中,智能相关的能力是6G无线接入网架构设计的核心要素之一,有关6G智能无线接入网架构的研究一直在持续进行。

1 6G无线智能架构研究现状

国际电信联盟发布的《Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and be-

收稿日期:2024-05-10

yond》报告指出^[2],使能自动化和智能化网络服务的智能内生的无线网络是面向6G的技术趋势之一。目前,国内外的政府机构、标准组织、运营商以及设备商都积极开展无线智能网络架构的研究。

2022年,我国6G IMT-2030(6G)推进组发布的《6G无线网络架构和功能技术研究报告》,提出了智能化是6G网络有别于5G网络的显著特征^[3],6G网络架构应具备智慧内生、多域融合、柔性至简、安全内生四大特性^[3]。同年发布的《面向6G网络的智能内生体系架构研究》,基于6G网络智能内生的内涵、特征定义和设计原则,提出了6G智能内生网络体系框架^[4]。

3GPP自发布R15以来,一直致力于开发网络数据分析功能(NWDAF)^[6]。3GPP RAN3于R17阶段启动了面向5G新无线(New RadioNR)和LTE-NR双连接(E-UTRA-NR Dual Connectivity, EN-DC)的数据收集增强研究项目(FS_NR_ENDC_data_collect: Study on enhancement for data collection for NR and ENDC/R17),其研究成果形成了技术报告3GPP TR 37.817: Study on enhancement^[5]。该研究主要基于当前下一代无线接入网(Next Generation RAN, NG-RAN)的架构和接口,提供了AI使能的RAN智能基本原则、功能架构以及用例和解决方案等。O-RAN下一代研究组(Open RAN next Generation Research Group, O-RAN nGRG)的技术报告提供了跨域人工智能的定义及其对网络的潜在影响^[7]。跨领域人工智能指的是跨不同领域的人工智能功能的协作和集成,域可以映射到网络域(如无线接入网、核心网、传输网、网络应用和网络数字孪生等)或其他域。

中国移动在《中国移动,6G无线内生AI架构与技术白皮书》^[9]中提出,内生AI将AI三要素(数据、算法和算力)与网络连接一样下沉为网络内部的基本资源,使网络通过多维资源的协同,直接、便捷地为用户提供高质量的AI服务。其中的关键技术包括AI服务质量(QoAIS)、AI计算与通信深度融合。2023年,中国电信和中兴通讯联合发布《6G网络架构展望白皮书》,该白皮书提出了“三层四面”的分层架构的6G网络总体框架^[10]。

中信科移动在2022年发布的《6G网络体系架构白皮书》中,本着智简、可编程、内生、分布式、服务化和数字孪生的设计理念,提出“三层五面”的6G智简赋能网络体系架构^[12]。2023年,华为、中国移动和鹏城实验室共同发布的《6G网络内生智能架构及关键技术

白皮书——以数据为中心&ICDT深度融合的网络架构》^[13],提出了6G内生智能网络架构,并指出在架构层面原生支持连接、计算、数据和算法(四要素)的深度融合,即面向任务的四要素深度融合,并以任务为单位进行实时管控以及QoS保障。爱立信在其白皮书中定义了智能内生任务要实现的目标^[14],指出一个人工智能原生架构需要包括智能无处不在、分布式数据基础设施、零触摸和AIaaS。诺基亚在2024年发布的白皮书《AI opportunities in 6G Layer 2》中提出,低层无线协议,尤其是媒体接入控制(Media Access Control, MAC),在物理层操作和Layer 2控制面都起着极其重要的作用。因此,基于机器学习的MAC在未来将需要使用更小的独立模型,这些模型专注于MAC的任务^[15]。

2 6G无线智能架构设计需考虑的因素

面对未来业务和技术演进的需求,AI使能的6G接入网架构设计尚面临如下挑战。

a) 由于AI、数据及算力功能与无线接入系统之间没有深度融合,无法充分平衡彼此之间的制约关系与赋能空间,从而抑制网络执行效率并且无法灵活便捷地提供智能服务。

b) 6G海量的感知数据对传输和存储的开销巨大,难以满足数据的传输和存储需求。

c) 相对于传统的通信功能,AI应用对算力的巨大需求和无线接入网络算力不足、不均的现实之间的矛盾。

d) 6G无线接入网低时延需求和AI模型训练巨大的资源消耗之间的冲突。

e) 分布式智能、数据、计算带来的多智能节点间协作的需求。

为解决这些问题,从架构设计的角度需要考虑以下诸多方面的因素。

2.1 内生AI的无线架构

内生AI指AI服务或应用是在一个融合了模型、数据、计算三要素的系统中进行设计、构建和运行的。它可以充分利用系统平台的资源、高效灵活地提供无处不在的AI能力,同时,它也是系统设计的基本要素,在系统设计之初就应加以考虑,确保系统天生具备AI能力,而不是在后期通过改造才能提供。内生AI无线架构的逻辑示意如图1所示,其中的功能,不管是通信功能、计算功能或数据功能,也不管这些功能物理上

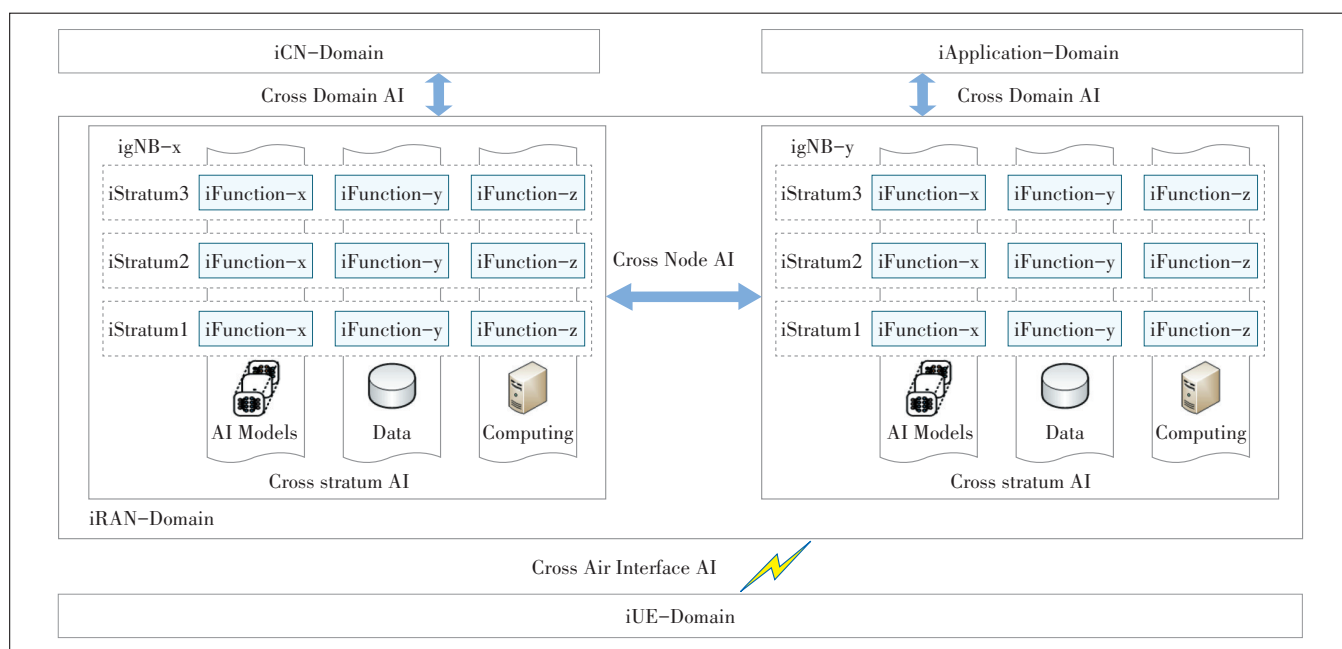


图1 内生AI无线架构的整体框架

位于哪个层级、节点和域,都可以利用融合了AI三要素的内生AI的环境来支持AI应用的实现。

2.2 多层次智能

无线接入网内部不同的时间尺度需求以及异构设备的需求,导致在设备的选择、虚拟化和云化的程度、智能化水平方面均有不同的要求,因此未来无线接入网需要支持多层次的智能化架构,包括中心层(可类比5G CU层级)、中间层(可类比5G DU层级)、底层(可类比5G RU层级)。终端作为一个相对独立的智能化层级,被定义为便携层级。在各个层级中,建议采纳统一的AI框架(包含AI/ML相关的功能和接口),以支持AI workflow,以利于层级间(纵向)以及网元间(横向)的交互与协作,便于功能和接口的更新和扩展,提高部署的灵活性。

2.3 增强的控制面和新增的数据面

AI技术的引入预计在6G时代会带来空口设计上的变化。这些变化包括:

a) 由于AI技术在无线接入网的应用(如AI使能的终端定位预测、信道状态预测、网络流量估计等),可望优化MIMO、调制和编码、信令协议等空口技术,从而带来空口设计的重构。

b) 在普适智能和内生智能的需求推动下,6G的终端也可以是一个智能体,因此6G空口可能涵盖智能模型、数据甚至算力的感知、调度以及传输,这将带来无线作用面(如控制面)以及相应协议的重构。

无线控制面除了负责无线资源控制之外,至少还应包括AI控制、计算控制以及数据控制等功能,其中,AI控制包括AI模型资源管理、AI模型训练监控、AI模型推理监控等,数据控制涵盖对数据采集、数据处理、数据转发以及数据存储等的控制,而计算控制负责计算资源的感知和调度。

对涉及数据和计算操作的功能,如数据存储、处理、转发等,需要考虑是将它们放置到用户面,还是放置到新设计的数据面上。无线用户面主要进行端到端用户数据的处理(加密、分段、重传、QoS管理等)和传输,这些功能与大数据相关的数据存储、数据转发、数据路由、计算执行等功能并不相同。如现有的无线用户面并不支持数据的存储功能,并且大数据并非局限于端到端的数据,而是具有多源异构、截止点多样化的特性。因此,如果将大数据处理的功能叠加到无线用户面,将会导致用户面重构,但内部功能却是松耦合的问题。更合适的方法是将这些功能集中放置到无线数据面。无线数据面负责AI模型、大数据的存储转发以及大数据处理,如数据预处理(如数据清洗、格式转换等)、AI训练或推理等。

2.4 网络接口

控制面的增强以及数据面和计算面的引入,会驱动无线接入网内部接口的更新,同时,多智能节点间的协作也依赖于新的或者增强的网络接口。如图2所示,RAN和CN之间需要增强的N2接口,RAN和可信

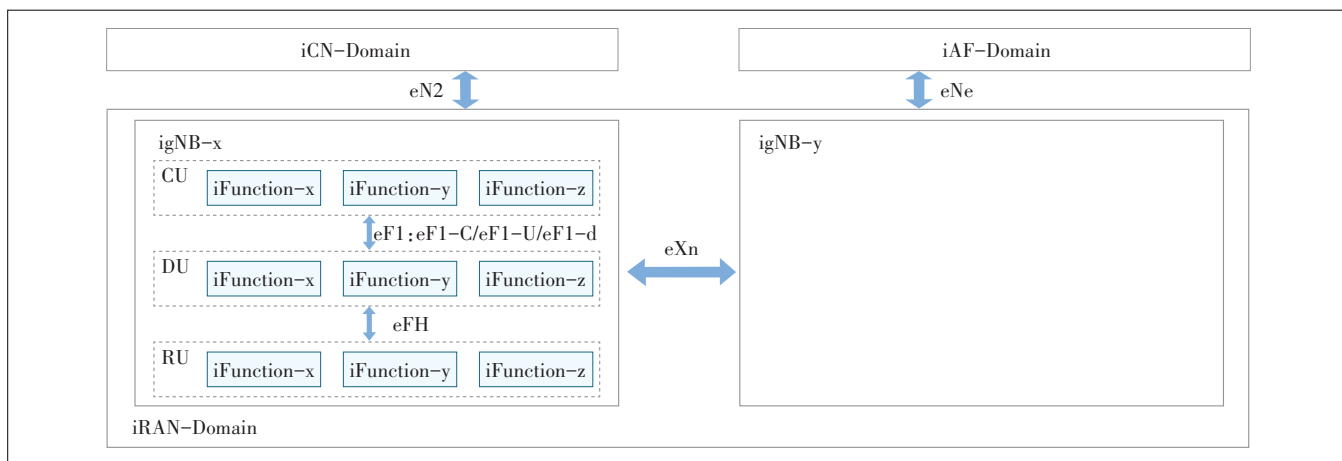


图2 网络接口

应用之间分析数据的开放需要引入新接口 eNe, RAN 之间增强的 Xn 接口是必要的, 同时还需要 CU 和 DU 之间增强的 F1 接口以及 DU 和 RU 之前增强的前传接口。CU 和 DU 之间增强的 F1 接口包括 3 部分: F1 控制面接口、F1 用户面接口以及 F1 数据面接口。

模型、数据、算力信息的传递均可通过上述增强的接口进行, RAN 可通过 eNe 接口将 RAN 侧增值的分析数据开放给可信应用, 如图 2 中的智能应用域 (intelligent Application Function Domain, iAF-Domain)。

多目标之间、无线接入网内部之间甚至无线接入网与核心网之间的协同优化, 导致模型及其数据和算力可能需要跨越多个层、多个节点甚至多个域。模型生命周期管理机制启用具有协同智能的架构, 不断完善模型并使之随着数据变化而演进, 从而实现系统范围内的端到端增益。在这个过程中, 采用统一描述或模板来支持多点、多层以及跨域协作的智能服务, 可以减少协作成本, 提高协作效率。

2.5 逻辑功能的服务化

为适应 6G 更为广泛和多样化的应用场景, 无线接入网架构需要具备弹性、灵活和可扩展的特点, 以支持即时的、按需的部署。同时, 人工智能技术及其应用有其独立的发展线路, 客观上需要无线接入网架构中的智能功能可以独立演进、迭代部署、即插即用。而且, 云架构已经成为未来网络的基础, 无线接入网络在向虚拟化和云化的方向发展, 这为其引入服务化的逻辑功能提供了基础技术支撑。因此, 在下一代 RAN 架构采用服务化的智能相关功能, 符合 6G 移动通信技术和智能技术共同演进的需求。

另外, 服务化的智能功能可以借鉴基于云计算技

术的软件交付模式 SaaS, 提供 AIaaS, 使得 AI 应用的部署、运行和扩展更加高效和灵活。

3 6G 无线智能架构设计方案

3.1 架构的参考设计

基于上文的分析, 提出一种面向场景的、多层次 6G 无线智能的一种架构, 如图 3 所示。

该架构中心层的 AI Service Sub-system Function (AI3S)、Data Sub-system Function (DSS)、Computing Sub-system Function (CSS) 负责 AI 模型、AI Instance、数据以及计算资源的管理, 其中 AI3S 负责 AI 模型/AI Instance 的管理, 是 AI 模型/AI Instance 生命周期管理的驱动者; DSS 包含数据的收集、存储、转发等功能, 是离线训练数据源; CSS 负责 AI 模型/AI Instance 的训练和推理。而其他层级部署的是智能代理功能、数据代理功能和计算代理功能, 分别执行 AI 模型/AI Instance 的本地部署和监控、数据采集、本地数据收集以及 AI 模型/AI Instance 的本地训练或推理, 为本地功能提供智能、数据和计算服务。

上述智能、数据以及计算功能也可以灵活组合, 从而提供更多的架构选项, 以满足不同的业务、场景需求。如 AI3S 和 CSS 合二为一、DSS 作为独立功能; 或者 AI3S、DSS 以及 CSS 三者组合成一个功能。

图 3 中, CN-GW 连接了中心层与核心网, 负责两者之间的智能、数据、计算、通信等方面的交互; RN-GW 连接了中心层与另一个 RAN 中心层, 负责两者之间的智能、数据、计算、通信等方面的交互; RAN Exposure Function 形成统一的对外服务接口, 可以将 RAN 智能、数据、计算等能力开放给可信的第三方 iAF (in-

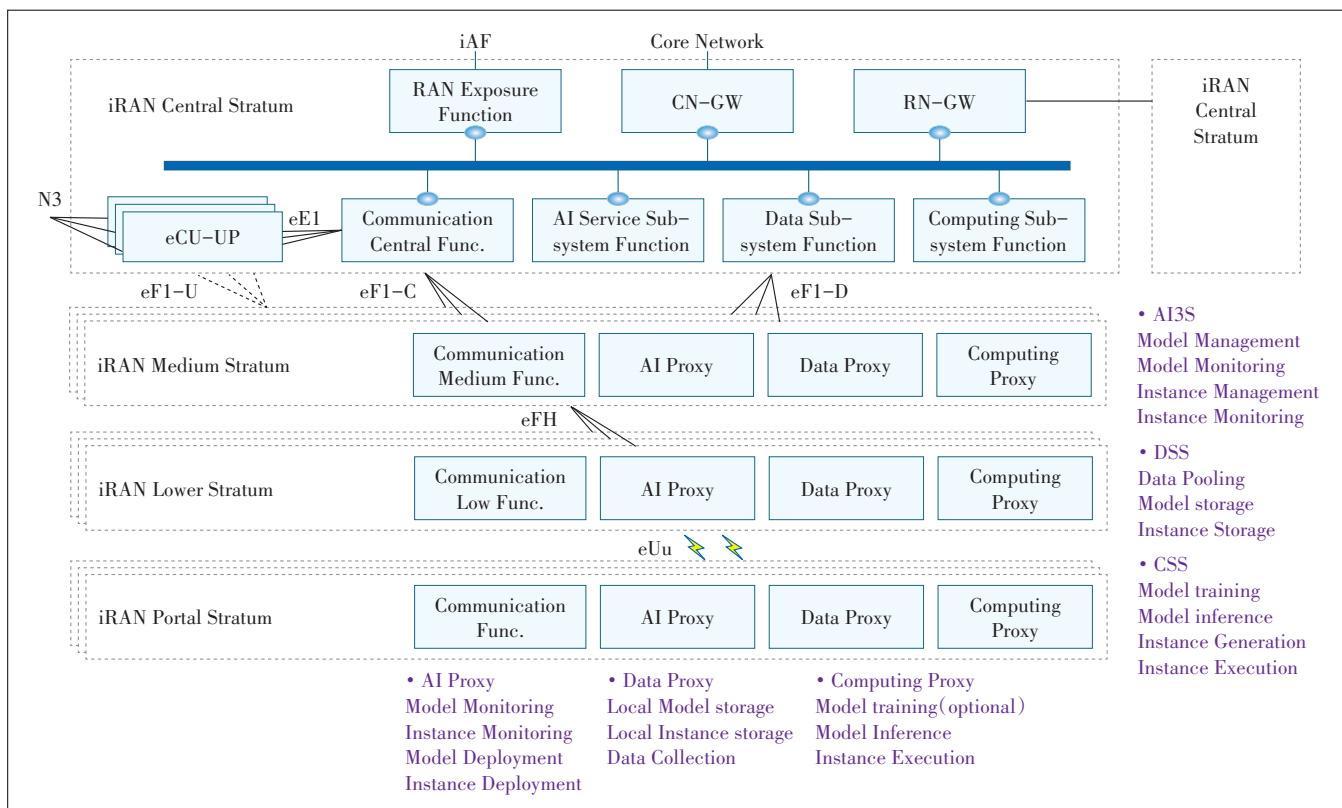


图3 面向场景的多层级的6G无线智能架构

telligent Application Function)。

上述架构中,各层之间智能相关的交互通过 AI Instance 实现,一个功能或用例面对不同场景,可以配置不同的 AI Instance。这些 AI Instance 存储于中心层、中间层、便携层中,以备场景识别之后调用,从而满足场景自适应的需求,如图4所示。

AI Instance 使用智能服务的统一描述 AI Instance Profile,来支撑场景自适应以及智能协同。AI Instance Profile 包含其适用的功能或用例信息、场景信息、一个或多个 AI 模型信息(包括输入输出地址)、非 AI 的模块信息以及其他资源信息等,如表1所示。通过 AI Instance 的配置和运行,可完成无线接入网络特定功能或服务,如信号解调、流量管理、节能或移动性相关功能等。考虑非 AI 的模块的原因在于 AI Instance 所表达的功能或用例中可能包含了非 AI 模块。需要明确的是, AI Instance 亦可以只由一个 AI 模型组成。

AI Instance 不仅仅是 AI 模型。一方面是由于一个功能或用例可由多个模型来构成,另一方面是在考察性能指标时,通常不会单独考虑单个模型或模块,而是考察功能、用例或系统的性能,还有一个特别重要的方面,即跨层级、跨节点、跨域的智能用例,需要来

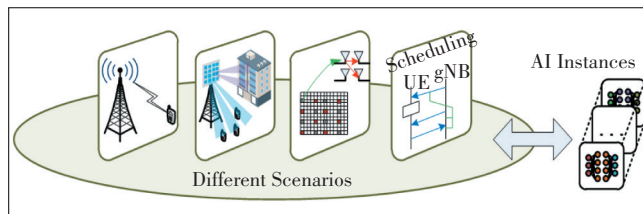


图4 AI Instance 使能的场景自适应

自不同层级、节点或域的模型的协作。AI Instance 提供了统一的智能服务描述模板,可以有效满足节点内、跨节点、跨域等情形下的智能服务需求。

3.2 6G无线智能架构的层间交互

中心层和中间层交互如图5所示。

a) 模型管理服务。

(a) 模型/AI Instance 的能力上报与请求。中间层 AI 模块的模型支持能力上报给中心层,请求中心层 AI 管理模块提供相应的模型,并由 AI 管理模块提供后续模型的管理、监督和更新。

(b) 模型/AI Instance Image 部署。中心层为目标中间层 AI 模块部署 AI 模型(AI Instance),以进行 AI 训练以及推理执行。

(c) 模型/AI Instance 推理结果配置。中心层根据

表 1 AI Instance Profile Information

参数名称	参数含义
AI Instance Id	AI Instance 标识信息,用于终端和网络唯一识别一个 AI Instance
AI Instance Stage	AI Instance 阶段:训练或推理
List of Use Case/Feature	Use Case/Feature 由一个或多个 Sub use case/feature 组成,如 load balance, energy saving, mobility 等。该参数包含了 Use Case 或 Feature 的标识、所用到的 AI model 及其信息
AI Instance File Address	含有 AI Instance 的文件地址、AI Instance 输入输出地址
AI Instance Effective Time	执行的有效时间,比如该 AI Instance 适宜运行的时间范围
AI Instance Effective Space	执行的有效空间,比如地理信息, location information, 小区信息等
AI Instance Assurance Metrics	可以是:①AI Instance 的准确度(Accuracy):比如 AI Instance 的输出与期望值的偏差;②AI Instance 的性能指标需求:不同 use case 对应不同指标,如能效、数据率、负载、时延、抖动、资源利用率、覆盖、谱效、连接密度、容量、UE 最大移动速率等;③QoS/QoE 目标
AI Instance generation duration	生成时长
AI Instance execution duration	执行时长

部署 AI 模型(AI Instance)的推理结果对中间层进行相关配置。

(d) 模型/AI Instance 反馈。在模型/AI Instance 部署一段时间之后,中间层提供执行结果的反馈以帮助 AI 管理模块进行模型的持续改进,如可以根据数据的

分布,环境的变化以及收集的错误信息进行模型的更新。

b) 数据管理服务。

(a) 模型/AI Instance 存储。中间层存储中心层下发的 AI 模型(AI Instance)。

(b) 数据池化(Data Pooling)。中心层收集模型训练或者模型推导所需要的数据,用于后续的数据处理、存储以及训练。

c) 算力管理服务。负责算力调度,中心层调度中间层算力资源,做分布式计算等。

d) 透传服务。中心层提供便携层与核心网之间的模型管理、数据管理、算力管理相关信息的透传服务。

中间层和低层交互如图 6 所示。

a) 模型管理服务。

(a) 模型/AI Instance 的能力上报与请求:低层 AI 模块的模型支持能力上报给中间层,请求中间层 AI 管理模块提供相应的模型,并由 AI 管理模块提供后续模型的管理、监督和更新。

(b) 模型/AI Instance Image 部署:中间层为目标低层 AI 模块部署 AI 模型(AI Instance),以进行 AI 推理执行(低层无训练能力)。

(c) 模型/AI Instance 推理结果配置:中间层根据部署 AI 模型(AI Instance)的推理结果对低层进行相关配置。

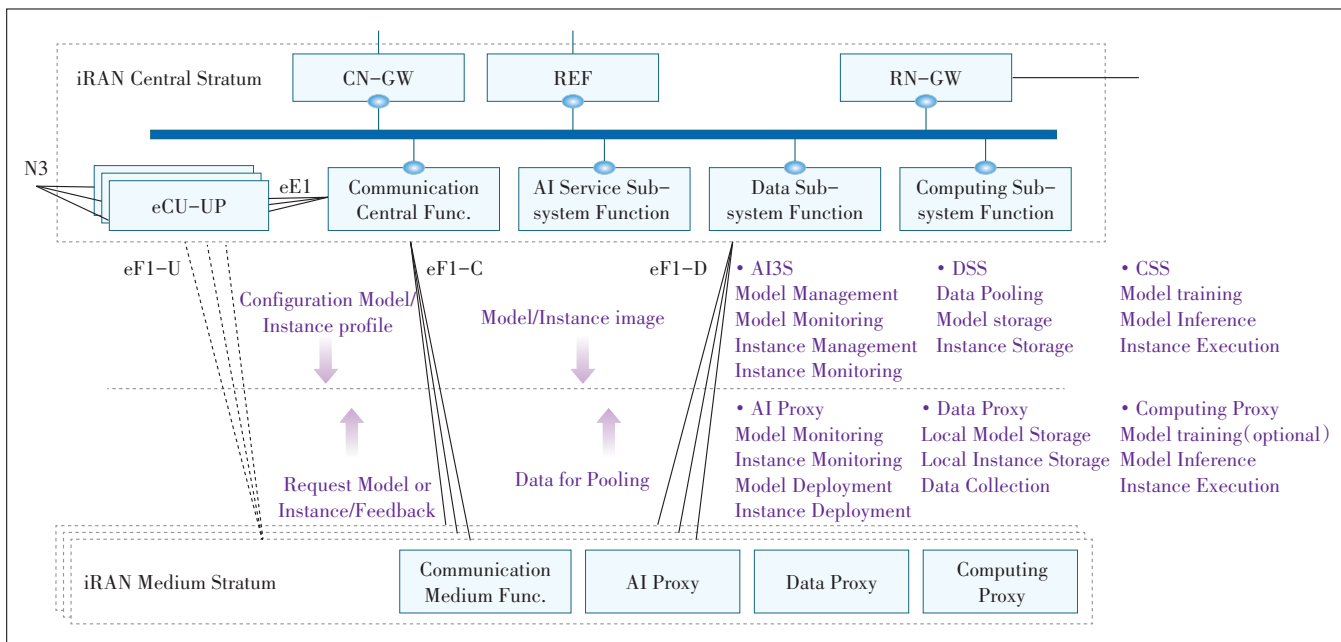


图 5 中心层和中间层交互

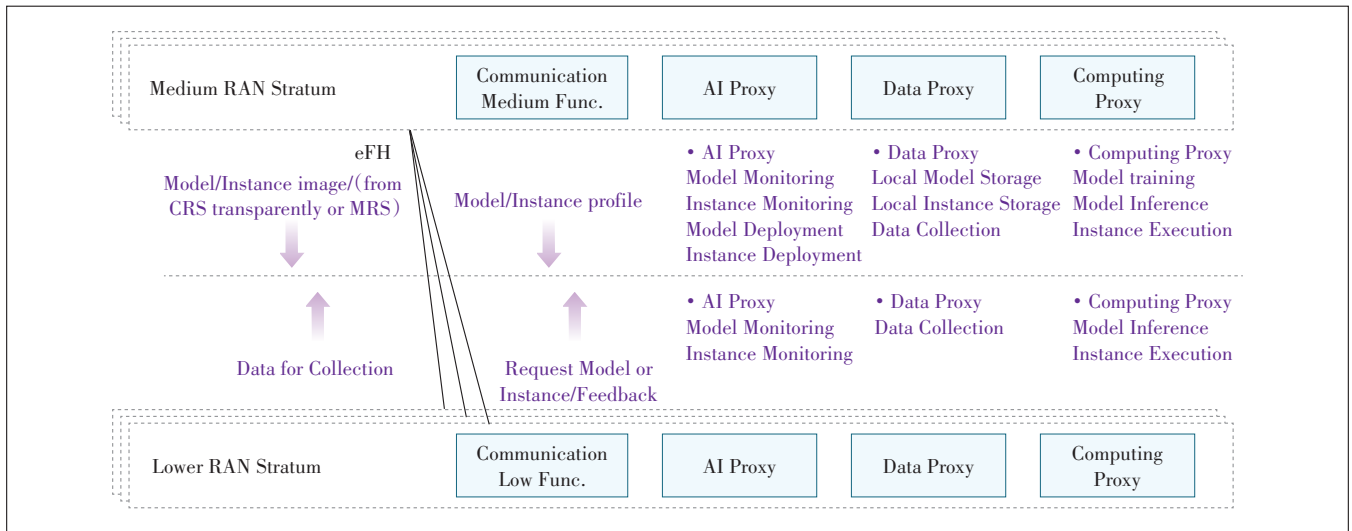


图6 中间层和低层交互

(d) 模型/AI Instance 反馈: 在模型/AI Instance 部署一段时间之后, 低层提供执行结果的反馈以帮助 AI 管理模块进行模型的持续改进, 并可以根据数据的分布、环境的变化以及收集的错误信息进行模型的更新。

b) 数据管理服务。

(a) 模型/AI Instance 存储: 低层存储中间层下发的 AI 模型 (AI Instance)。

(b) 数据采集 (Data Collection): 低层采集中心层和中间层模型训练或者模型推导所需要的数据。

c) 算力管理服务。负责算力调度, 中间层调度低层算力资源, 做分布式计算等。

d) 传输服务。中间层提供便携层与中心层之间的模型管理、数据管理、算力管理相关信息的透传服务。

低层和便携层交互如图 7 所示。

a) 模型管理服务。

(a) 模型/AI Instance 的能力上报与请求: 便携层 AI 模块的模型支持能力上报给中心层、中间层, 请求中心层、中间层 AI 管理模块提供相应的模型, 并由中心层、中间层 AI 管理模块提供后续模型的管理、监督和更新。

(b) 模型/AI Instance Image 部署: 中心层、中间层为目标便携层 AI 模块部署 AI 模型 (AI Instance), 以进行 AI 训练以及推理执行。

(c) 模型/AI Instance 推理结果配置: 中心层、中间层根据部署 AI 模型 (AI Instance) 的推理结果对便携层

进行相关配置。

(d) 模型/AI Instance 反馈: 在模型/AI Instance 部署一段时间之后, 便携层提供执行结果的反馈以帮助 AI 管理模块进行模型的持续改进, 并可以根据数据的分布、环境的变化以及收集的错误信息进行模型的更新。

b) 数据管理服务。

(a) 模型/AI Instance 存储: 低层存储中心层、中间层下发的 AI 模型 (AI Instance)。

(b) 数据采集 (Data Collection): 便携层采集中心层和中间层模型训练或者模型推导所需要的数据。

c) 算力管理服务。中心层、中间层调度便携层算力资源, 做分布式计算等。

d) 传输服务。低层提供便携层与中心层、中间层之间的模型管理、数据管理、算力管理相关信息的透传服务。

4 结论

为实现 6G 无线系统的 AI 相关能力, 一方面, 需要从 AI 算法层面以及移动通信系统层面考虑 AI 使能可以带来的无线通信系统性能的提升, 另一方面, 需要 6G 无线网络演进至 AI 内生的架构, 以提供可以高效支撑 AI 与通信融合的系统框架。本文回顾了 6G 无线智能架构研究的现状, 基于 6G 无线智能架构的设计考量, 提供了潜在的 6G 无线智能架构的逻辑功能和接口的综合视图, 探讨了逻辑的功能和接口与物理架构之间的映射关系, 并对接口交互进行了描述。然而, 面

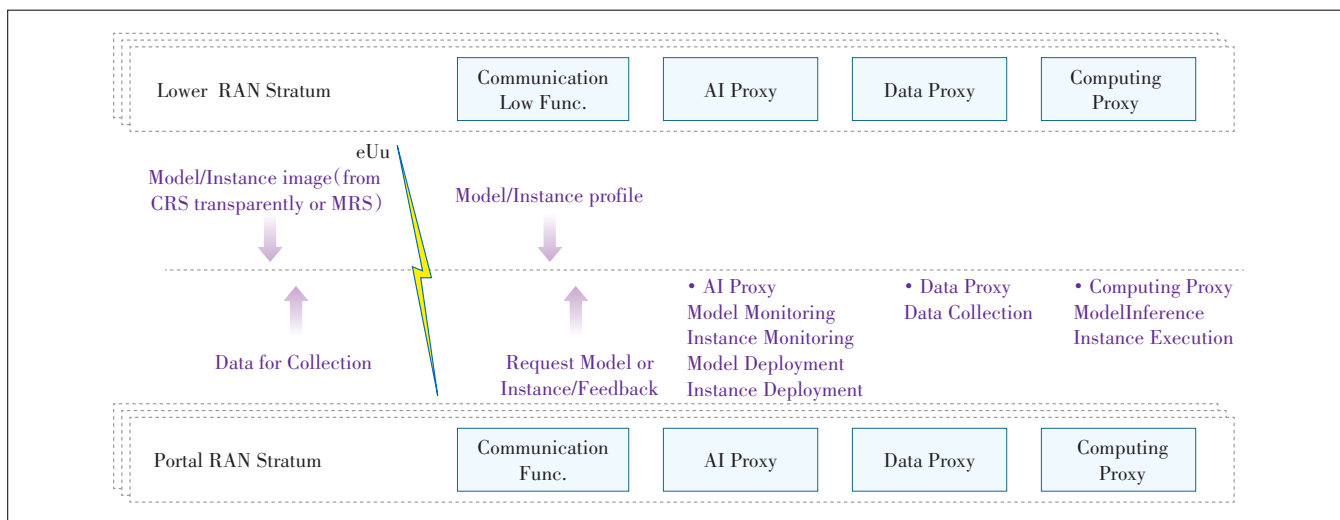


图7 低层和便携层交互

对AI技术发展日新月异的特点、6G无线通信系统全覆盖移动宽带和智能跨领域的场景,6G无线智能架构的设计尚需做进一步的研究,以期在未来几年逐步收敛。

参考文献:

[1] ITU-R WP. Global 6G Vision[R/OL]. [2024-01-26]. <https://www.itu.int/net4/itu-t/search/#?ex=false&q=6G%20VISION&fl=0&target=All>.

[2] ITU. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond[EB/OL]. [2024-01-26]. <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2160/en>.

[3] IMT-2030(6G)推进组. 6G无线网络架构和功能技术研究报告[R/OL]. [2024-01-26]. https://www.imt2030.org.cn/mcms/search.do?index=2&channel1508726873924423681&channel&categoryIds=1508726873924423681,1509803304884420610,1513332740850286593, &tmpl=publication-search-item-list.htm&style=default&content_title=6G%E6%97%A0%E7%BA%BF%E7%BD%91%E7%BB%9C%E6%9E%B6%E6%9E%84%E5%92%8C%E5%8A%9F%E8%83%BD%E6%8A%80%E6%9C%AF%E7%A0%94%E7%A9%B6%E6%8A%A5%E5%91%8A.

[4] IMT-2030(6G)推进组. 面向6G网络的智能内生体系架构研究[R/OL]. [2024-01-26]. <https://www.scbgao.com/doc/132601/>.

[5] 3GPP. Study on enhancement for data collection for NR and EN-DC: 3GPP TR 37. 817[S/OL]. [2024-01-26]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

[6] 3GPP. Architecture enhancements for 5G System (5GS) to support network data analytics services: 3GPP TS 23.288[S/OL]. [2024-01-26]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

[7] China Telecom, AsiaInfo, Dell, et al. Research report on cross-domain AI: RR-2024-02[R/OL]. [2024-01-26]. <https://mediastorage.o-ran.org/ngrg-rr/nGRG-RR-2024-02-O-RAN%20Cross-domain%20AI%20v1.6.pdf>.

[8] 6GANA. 面向任务的智慧内生RAN架构白皮书[R/OL]. [2024-01-26]. <https://www.6g-ana.com/upload/file/20231114/6383555649556040889430241.pdf>.

[9] 中国移动通信有限公司研究院. 6G无线内生AI架构与技术白皮书[R/OL]. [2024-01-26]. <http://221.179.172.81/images/20220225/5041645758917351.pdf>.

[10] 中国电信研究院, 中兴通讯. 6G网络架构展望白皮书[R/OL]. [2024-01-26]. <http://m.networktelecom.cn/e/action/ShowInfo.php?classid=1&id=38970>.

[11] 中国联合网络通信有限公司研究院. 中国联通6G白皮书(V1.0)[R/OL]. [2024-01-26]. http://doc.cserver.com.cn/doc_2a1f3ff9-5f69-4953-a267-3245cef7b69a.html.

[12] 中国信科, 中信科移动. 6G网络体系架构白皮书[R/OL]. [2024-01-26]. https://keylab.catt.cict.com/u/cms/cict_keylab/catt/202306/15142116as9q.pdf.

[13] 华为技术有限公司, 中国移动通信有限公司, 鹏城实验室. 6G网络内生智能架构及关键技术白皮书--以数据为中心&ICDT深度融合的网络架构[R/OL]. [2024-01-26]. <https://www.doc88.com/p-98439443773309.html>.

[14] Ericsson. Defining AI native: a key enabler for advanced intelligent telecom networks[R/OL]. [2024-01-26]. <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/ai-native>.

[15] KELA P, MANDELLI S, VALCARCE A, et al. AI opportunities in 6G Layer 2[R/OL]. [2024-01-26]. <https://www.bell-labs.com/institute/white-papers/ai-opportunities-in-6g-layer-two/>.

作者简介:

索士强, 教授级高级工程师, 主要研究方向为6G及未来新技术, 超大规模天线, 人工智能, 通信与感知融合, 星地融合等; 黄远芳, 工程师, 硕士, 主要研究方向为无线网络人工智能, 无线接入网架构等; 罗张宇, 高级工程师, 硕士, 主要从事智能化RAN架构, 协议等相关研究工作; 白晨, 工程师, 硕士, 主要研究方向为无线网络人工智能, 无线接入网架构等; 孙万飞, 工程师, 硕士, 主要研究方向为6G网络架构, 网络人工智能等。