

6G无线接入网通算智融合 关键技术与标准化思考



Reflections on Key Technologies and Standardization of Communication, Computing, and Intelligence Integration in 6G Radio Access Networks

解宇瑄/Xie Yuxuan, 李响/Li Xiang, 李婷/Li Ting,
孙奇/Sun Qi

(中国移动通信有限公司研究院, 中国 北京 100053)
(China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202601003

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/34.1228.TN.20260227.1320.002>

网络出版日期: 2026-02-27

收稿日期: 2026-01-06

摘要: 针对6G RAN网通算智融合的需求与挑战, 提出了由基础设施层、网络功能层与编排服务层三层组成的网通算智融合架构体系。该体系突破了以单一连接为核心的传统范式: 在基础设施层, 实现异构智算硬件资源的统一管理与边缘基站算力的强实时高效能调度; 在网络功能层, 支持原生多维数据精细管控与高效传输、AI计算及AI模型全生命周期管理等核心功能; 在编排服务层, 构建面向差异化业务的网通算智联合编排与服务开放机制, 从而实现网通算智多维资源的高效协同与多元服务的定制化保障。在此基础上, 进一步探讨了6G无线网通算智融合的核心使能技术和标准化路径, 旨在通过重构RAN的基础能力与服务形态, 为实现6G泛在智联的愿景提供坚实的技术支撑与系统基座。

关键词: 6G; 无线接入网; 网通算智融合; 标准化

Abstract: To address the requirements and challenges of the convergence in 6G radio access network (RAN), a three-layer integrated architecture consisting of an infrastructure layer, a network function layer, and an orchestration and service layer is proposed. This architecture moves beyond the traditional connectivity-centric model. At the infrastructure layer, it enables unified management of heterogeneous intelligent computing hardware and real-time, high-efficiency scheduling of computing resources at edge base stations. The network function layer natively supports fine-grained multi-dimensional data management and efficient transmission, AI computation, and full lifecycle management of AI models. At the orchestration and service layer, it establishes a joint orchestration and service exposure mechanism tailored to diverse service requirements. In this way, the architecture achieves efficient coordination of multi-dimensional resources and customized provisioning of differentiated services. Key enabling technologies and potential standardization pathways for communication-computing-intelligence convergence in 6G are further explored. By reshaping the foundational capabilities and service paradigms of the RAN, solid technical support and a systematic foundation are provided for realizing the vision of ubiquitous intelligent connectivity in 6G.

Keywords: 6G; RAN; communication-computing-intelligence convergence; standardization

引用格式: 解宇瑄, 李响, 李婷, 等. 6G无线接入网通算智融合关键技术与标准化思考 [J]. 中兴通讯技术, 2026, 32(1): 3-12. DOI: 10.12142/ZTETJ.202601003

Citation: Xie Y X, Li X, Li T, et al. Reflections on key technologies and standardization of communication, computing, and intelligence integration in 6G radio access networks [J]. ZTE technology journal, 2026, 32(1): 3-12. DOI: 10.12142/ZTETJ.202601003

以生成式人工智能 (AI) 为代表的新一代人工智能技术正加速推动人类社会迈向通用智能时代, 并逐步成为影响社会发展形态的新型基础设施。这一演进趋势对信息基础设施提出更高要求, 亟需构建具备泛在、融合与智能特性的新型网络, 促使通信、计算与智能的深度融合成为6G网络发展的核心方向之一。国际电信联盟 (ITU) 已明确将AI与通信融合列为6G的关键应用场景, 这不仅标志着移动通信网络技术范式的重大转型, 也将推动其服务形态从传统的

“连接管道”向“一体化智能服务”体系实现根本性跃迁^[1]。

在6G无线接入网 (RAN) 中, 网通算智的深度融合呈现双向赋能的内在逻辑, 形成两条并行交织的发展主线。一是AI赋能网络, 即利用AI技术应对网络运行、运维与优化的复杂挑战, 实现网络的提质、增效与降本。该方向主要由网络应用需求驱动, 聚焦于网络内生数据的深度治理及面向网络场景的专用模型构建。二是网络赋能AI, 即通过网络能力的增强, 为上层AI业务应用提供超越传统连接的深度支

持，进而开拓新型服务模式与价值空间。该方向主要由AI应用场景驱动，重点解决AI模型、数据与计算任务在网络中的高效流动与协同处理问题^[2-3]。

为实现AI与RAN之间的双向赋能，6G RAN需开展系统性架构重构。当前6G RAN面临若干关键设计挑战：首先，分布于基站与终端侧的无线算力是实现“连接+计算”深度融合的物质基础，然而其存在硬件异构性强、资源分布广泛、负载动态波动性强等特征，如何实现统一纳管、资源池化和高效调度成为首要难题。其次，现行RAN以连接功能为核心，对数据、AI模型及计算资源等要素缺乏原生设计，亟需探索将多维AI要素内嵌于网络功能体系的方法，以提升端到端性能与资源利用效率。再次，传统RAN功能固定、能力开放有限，为构建真正的“智能服务平台”，须支持跨域资源、功能与服务的一体化编排，实现边缘AI能力的可度量、可调用与可开放，以培育可持续的智能服务生态。

在标准化方面，第3代合作伙伴计划（3GPP）R18/R19阶段已在5G-Advanced框架下围绕AI空口增强开展探索，为6G更深入的融合积累了技术基础。随着3GPP R20标准研究的启动，6G RAN已进入实质性的需求定义与框架设计阶段。作为核心议题，通算智融合正推动包括用例定义、内生

智能架构、数据与模型管理等方向的共识凝聚。本文首先提出6G无线通算智融合的系统框架，继而阐述其关键技术路径，结合标准化进展提出演进建议，最后展望发展前景。

1 6G无线接入网络通算智融合系统框架

为同时满足上述双向赋能需求并有效应对多维挑战，6G RAN需遵循“内生智能化、平台化、服务化”的设计理念，构建通算数智深度融合的系统框架。本文提出的框架如图1所示，该架构采用分层架构，由基础设施层、网络功能层与编排服务层3部分构成。

基础设施层对通算数智多维资源实现统一纳管与强实时调度，为上层提供稳定、可扩展的虚拟化资源底座。网络功能层基于基础设施层的支撑能力，在传统无线连接功能的基础上，引入数据治理、AI/机器学习（ML）模型生命周期管理、算力调度以及通算数智融合控制等新功能，实现从外挂智能向内生智能的演进。编排服务层以业务意图为导向，对跨域资源、网络功能及AI服务进行全局智能编排，实现从资源、功能到服务的端到端自动化封装与按需交付。三层之间灵活协同，共同构建资源易扩展、功能原生支持AI处理、能力可编排且可对外开放的边缘通算数智综合能力平台^[4]。各层核心构成与功能分述如下：

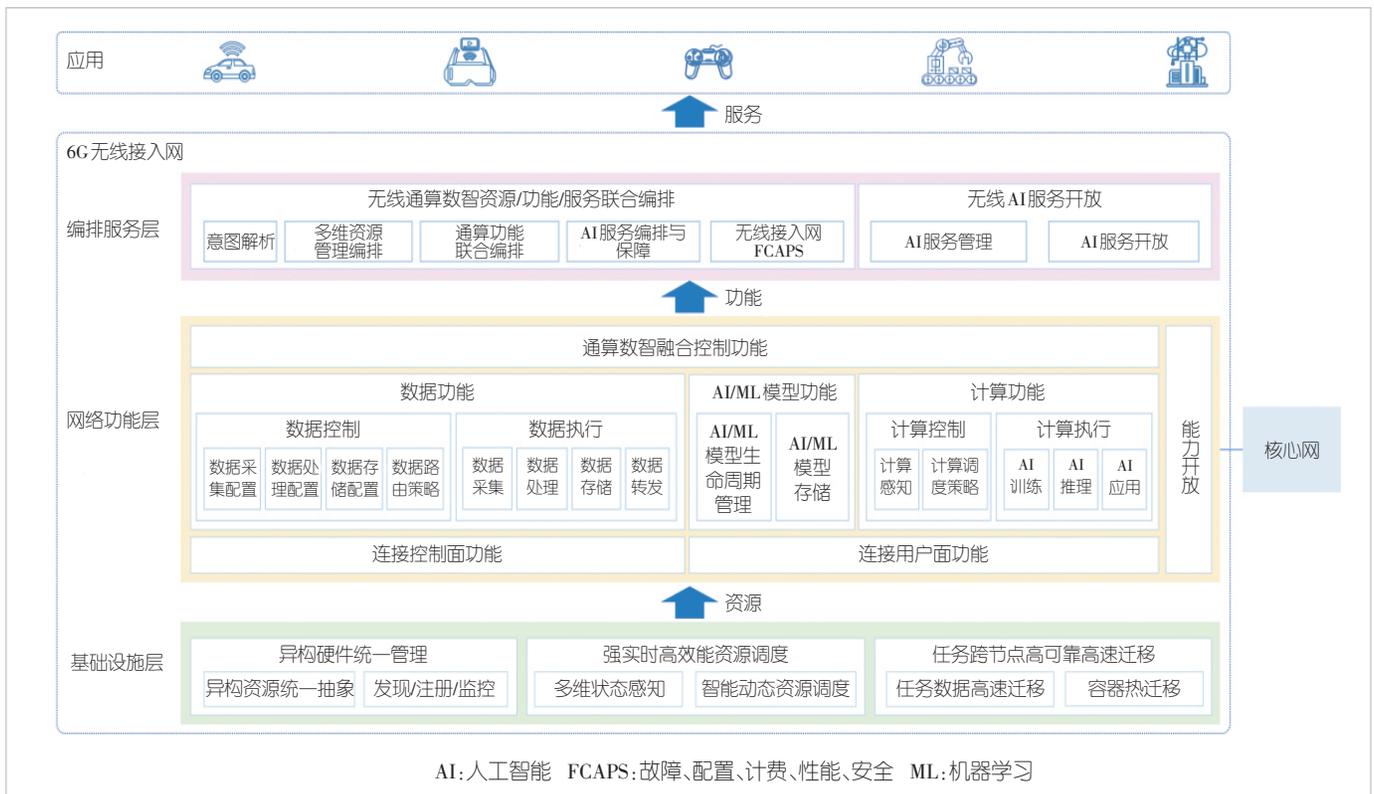


图1 6G无线接入网络通算智融合系统框架

1) 基础设施层

基础设施层由通过无线接入网互联的终端、基站、边缘云及数据中心等节点组成,提供包括连接、计算、数据及AI模型在内的多维虚拟化资源^[5]。

该层的管理功能涵盖异构硬件统一管理、强实时高效能调度以及任务跨节点高可靠高速迁移等核心模块,旨在为上层网络功能提供稳定、动态可调度的基础算力支撑。

(1) 异构硬件统一管理功能:将不同架构的计算资源抽象并整合为统一可调度的资源模型,实现跨异构环境资源的一体化供给与高效利用。

(2) 强实时高效能调度功能:持续采集并更新各类资源的实时负载、性能指标及拓扑状态,依据AI任务在时延、吞吐量等方面的服务质量需求,开展智能化动态资源分配与调度优化,确保任务执行过程中的服务保障。

(3) 任务跨节点高可靠高速迁移功能:在算力节点发生故障或性能受限时,借助远程直接内存访问(RDMA)、容器热迁移等技术实现AI计算任务的无缝迁移与接续,保障任务处理的可靠性及业务连续性。

2) 网络功能层

网络功能层在传统无线接入网连接处理能力的基础上,系统拓展了面向AI全要素的处理能力,引入数据、AI/ML模型与计算等智能化功能模块,实现从连接管道向智能服务平台的演进。具体功能构成如下:

(1) 连接功能:在传统无线连接能力基础上,为高效支撑海量AI数据的空口传输(如训练数据、AI/ML模型梯度及参数等),连接功能拓展了AI数据承载能力,使无线接入网能够自主、动态地建立面向AI数据流的专用无线承载,突破传统控制面与用户面在传输AI数据时的效率与性能约束^[6-7],显著提升AI数据在空口的传输效率。其中,控制面功能负责AI数据专用承载的全生命周期管理,包括承载的建立、维护与释放;用户面功能则负责对此类承载上的AI数据进行空口传输与协议处理。

(2) 数据功能:数据功能涵盖数据控制与数据执行两个层面。数据控制功能负责数据采集、处理、存储及路由策略制定等环节的全生命周期管理,可根据AI算法需求自主规划采集节点、数据对象与上报方式,实现任务驱动的定向数据采集,并依据数据处理所在节点制定数据路由策略,提升采集与传输效率。数据执行功能则具备采集、处理、转发与存储的执行能力。其中,数据采集是指按照预设规划从基站、终端等节点获取所需数据;数据处理包括对原始数据进行清洗、增强、格式转换及加密等操作,供AI/ML模型调用;数据转发依据路由策略对数据进行定制化分流,实现高

效灵活的数据流转;数据存储采用集中与分布式相结合的方式,依据数据生命周期制定存储策略,在保障效率的同时降低存储成本。

(3) 模型功能:负责AI/ML模型的全生命周期管理,涵盖模型训练、推理、测试验证、部署及运行监控等环节,实现对模型资源的系统性管控与实时监测^[8]。考虑到AI/ML模型具有数据驱动与概率性行为特征,其在复杂动态无线环境下的表现更难预测,为满足6G网络对性能与可靠性的极致要求,模型功能可持续跟踪推理精度、时延、置信度等核心性能指标,保障模型在动态环境下的稳定运行与持续优化。

(4) 计算功能:实现计算控制、计算执行与计算结果反馈的闭环管理。计算控制负责生成AI任务的算力分配、任务部署与调度、任务挂起与释放等指令,并交由基础设施层执行;计算执行主要指模型训练及推理计算过程;计算结果反馈是指在计算完成后,将最终结果或中间状态数据返回至需求端,形成完整的业务闭环。

(5) 通算数智融合控制功能:负责在无线接入网内执行细粒度、动态化的资源协同决策,是面向终端业务的近实时控制核心。基于对终端连接状态、实时计算负载、业务性能指标及上下文环境的综合分析,生成面向连接、数据、AI/ML模型与计算资源的联合优化策略,通过控制信令驱动各功能执行,实现网络性能、业务体验动态优化。

(6) 能力开放功能:负责对连接、数据、AI/ML模型和计算等功能提供的多维资源信息进行统一封装,并通过标准化接口向核心网及上层应用开放,使能第三方业务对无线网络智能能力的按需调用,构建开放、协同的智能服务生态。

3) 编排服务层

编排服务层包含无线通算数智资源/功能/服务联合编排与无线AI服务开放两大功能。其中,联合编排功能基于下层上报的资源状态与网络功能信息,开展跨域分析与全局优化,动态生成涵盖连接、数据、AI/ML模型及计算的一体化部署与优化方案。无线AI服务开放功能则对网络内生智能能力进行服务化封装,通过标准化开放接口向各类垂直应用提供可定制、可保障的边缘AI服务,为智能化创新构筑关键网络基石。

2 6G无线通算智融合核心使能技术及标准化演进

基于上一章提出的6G无线接入网通算智融合分层系统框架,本章将系统阐述支撑该框架的关键使能技术,并结合标准化发展路径提出演进思考。整体内容将围绕网络功能逻辑架构、基础设施层、网络功能层、编排服务层4个维度展开。

2.1 网络功能架构及标准化思考

IMT-2030 (6G) 推进组与3GPP等国际标准组织已系统性地开展了人工智能在无线接入网中的应用场景研究与用例设计。在AI赋能的具体实现形态上,物理层与高层呈现出显著差异。其中,基于AI的空口物理层接入技术需具备毫秒级甚至传输时间间隔(TTI)级别的实时推理能力,这要求在基站内部集成AI算力以满足其极低的时延约束。高层应用场景,如移动性优化与智能网络切片等,则依赖于基于策略模型的AI推理,要求实现小于10 ms的近实时性能,并需依托跨站点数据和部署于基站近端的算力资源,以保障AI/ML模型的强泛化能力与近实时计算效率。传统5G网络的智能能力通常以外挂式、补丁化后置添加的方式引入,难以满足物理层等场景对实时处理的苛刻要求。此外,由于通信与智能在控制层面相互分离,系统难以实现二者的高效协同,已成为网络智能化潜能释放的核心瓶颈。为同时满足上述需求,6G通算智融合的无线接入网在架构设计层面存在集中+分布式与全分布式两种潜在逻辑架构^[9],如图2所示。

1) 集中+分布式架构

在集中+分布式架构中,网络功能依据其时延敏感性、数据及算力需求进行逻辑分层。物理层等高实时性要求在基站本地引入数据、AI/ML模型和计算能力;而高层功能具有近实时性及跨节点数据与模型处理需求,其数据、AI/ML模型和计算能力可集中聚合为区域级的数据池、模型库与算力池。该架构通过资源集中化实现池化增益与模型泛

化能力的提升,有助于突破基站单点智能的局限性。

集中+分布式架构在无线接入网中引入了新的AI功能实体。为实现新功能实体与基站间的互联互通与高效协同,需在标准化层面明确该实体的功能定义,并规范其与基站之间的交互机制。首先,需定义区域集中的AI功能实体,明确其在数据、AI/ML模型、计算及融合控制等方面的核心功能特性。进而,设计AI功能实体与基站间的交互接口(如图2(a)中控制接口和数据接口)、协同流程及通信协议,以支撑跨基站的数据采集、AI/ML模型分发与计算任务调度等关键操作。此外,为向核心网及第三方应用开放无线接入网的AI能力,可基于3GPP已定义的通用应用程序编程接口(API)框架(CAPIF)^[10]设计相应的能力开放接口(如图2(a)中Nx接口)与服务流程,从而在促进网络智能开放化的同时,有效控制系统复杂度与标准化开销。

2) 全分布式架构

在全分布式架构中,各基站均本地引入完整的通信、数据、模型与计算功能。该架构通过功能全下沉实现数据处理的高度本地化与极低时延,尤其适用于需毫秒级实时响应的站内AI推理场景。同时,为避免形成资源孤岛,基站间需设计新的接口(如图2(b)中多维资源交互接口)及交互流程,实现通算数智资源在基站间的按需流转。然而,全分布式架构在支持跨基站任务协同(如跨站数据采集、依赖集中式算力的模型训练与联合推理等)时,面临传输与算力开销的双重挑战。一方面,为实现协同,基站之间需频繁交互

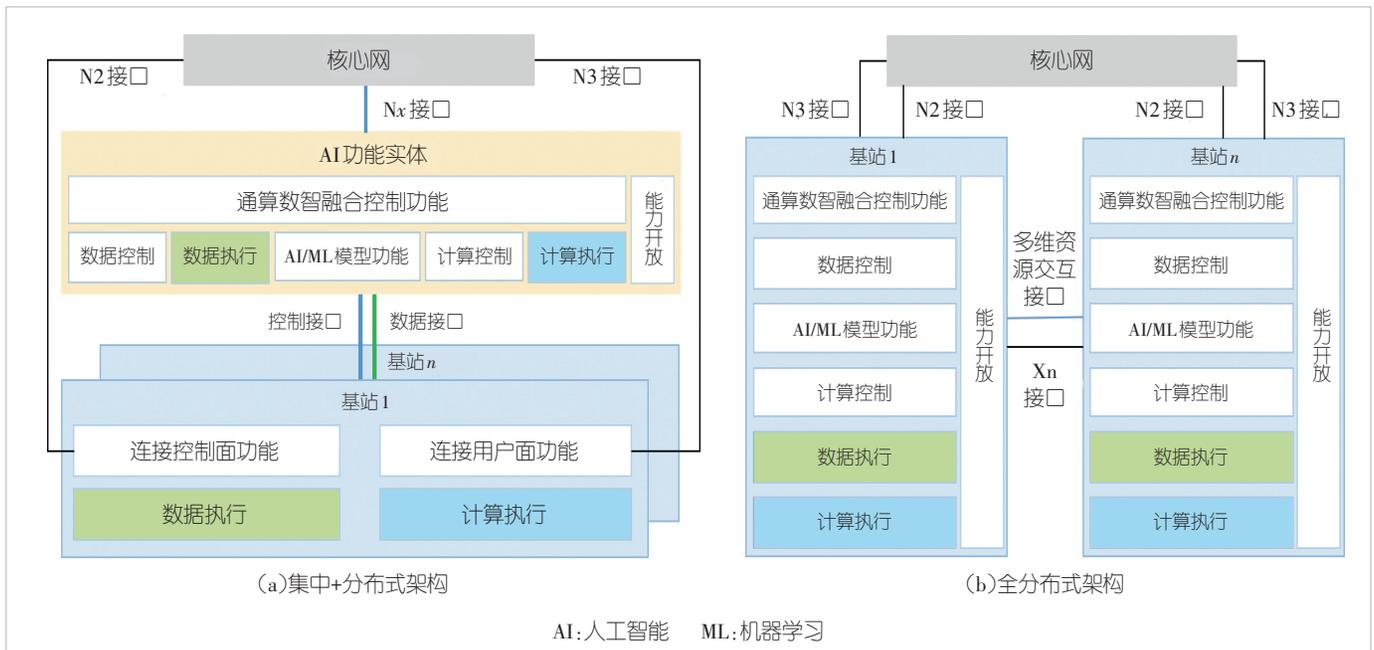


图2 6G通算智融合的无线接入网逻辑架构

信令与数据，导致站间传输负荷显著增加；另一方面，各基站均需配置足够的本地算力以应对峰值需求，易造成算力资源利用不均衡甚至闲置。

在标准化层面，需增强现有基站的功能定义，使其支持内生AI处理能力；同时，应对现有Xn接口进行功能扩展，或定义新型基站间接口，以实现AI多维要素的高效交互。

2.2 基础设施层关键技术及标准化思考

无线接入网向6G支撑“泛在AI”的通算智融合系统演进，基础设施层不仅需处理传统通信业务，更需高效支撑内生AI应用^[11]。现有5G基础设施主要面向网络功能虚拟化(NFV)，难以满足多样化AI工作负载对异构算力、极致性能与高可靠性的严苛需求。为此，本文提出面向6G无线接入网AI内生的基础设施关键技术，如图3所示。

异构硬件统一管理功能需要对图形处理器(GPU)、张量处理器(TPU)、现场可编程门阵列(FPGA)、数据处理单元(DPU)等不同架构的计算、网络与加速资源进行统一建模与抽象。例如，通过GPU多实例技术实现跨物理节点的异构算力资源池化与高效共享，并借助统一的异构资源注册、发现与监控机制，为6G泛在AI提供稳定、高性能、可

动态调度的异构算力资源池。

强实时高效能调度功能首先基于扩展的伯克利包过滤器(eBPF)的非侵入、可动态加载特性，为基础设施及6G网络功能/应用提供细粒度、实时性的多维状态感知能力，涵盖硬件资源(如资源拓扑、CPU调度延迟、GPU利用率)、协议栈处理效率(如分组数据汇聚协议吞吐量、无线链路控制协议重传)及网络质量(如网络拓扑、GTP-U隧道丢包)等。在此基础上，通过智能动态资源调度构建融合算力类型、内存带宽、节点间网络状态、GPU多实例情况以及AI任务在时延、吞吐、可靠性等方面服务等级协议(SLA)需求的调度模型，设计动态资源分配与任务调度算法，在确保AI工作负载服务质量的同时，提升基础设施的资源利用效率。

高可靠跨节点迁移功能通过内存读写结合DPU+RDMA高速互联技术，为AI任务提供跨节点的低时延、高吞吐数据迁移，并设计业务“零感知”中断的任务容器迁移机制，有效应对节点故障或性能瓶颈，确保关键AI推理链路的业务连续性，从而大幅增强6G云化网络的弹性与可靠性。

在标准化层面，一方面，需增强面向GPU、DPU等异构

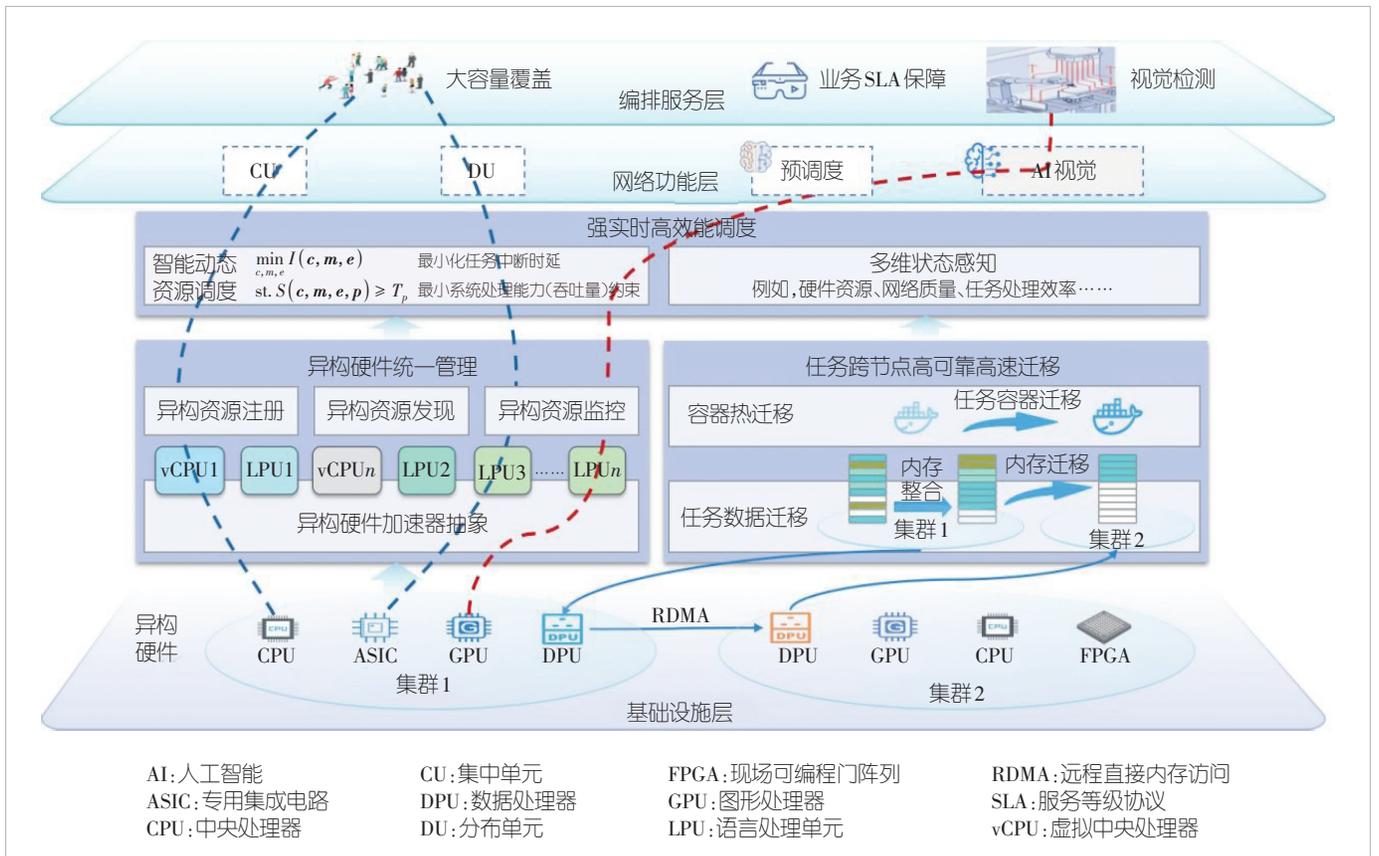


图3 基础设施层关键技术

硬件的池化与统一管理能力，其核心挑战在于加速器抽象层（AAL）的标准化。当前，由于加速器与硬件性能强绑定，不同厂商在架构、产品规格及接口参数等方面差异显著，且需针对协议栈进行定制开发，导致方案封闭、生态薄弱，标准进展缓慢。未来随着加速器技术发展及其通用性的提升，AAL的潜在价值有望得以释放。另一方面，需规范面向AI工作负载的性能与高可靠性保障策略。为此，标准需进一步细化基础设施层的功能设计、资源上报模型及北向服务化接口，以支撑对泛在AI应用从部署、动态调度到可靠性保障的全生命周期智能化管理，最终实现性能确定性与资源高效利用的平衡。

2.3 网络功能层关键技术及标准化思考

网络功能层是6G无线接入网实现通算智深度融合的执行载体。为构建智慧内生、高效协同的系统架构，需突破传统单一通信功能的局限，围绕数据、模型、算力、连接、控制与开放六大维度，构建全要素融合的技术体系。

2.3.1 低开销数据采集与高效传输

无线空口AI依赖海量、高频且细粒度的实时数据。当前RAN协议设计主要面向通信连接，对AI数据采集的支持尚显不足。传统基于操作、管理与维护（OAM）的周期性采集机制存在分钟级时延瓶颈；控制面受限于载荷大小，难以承载海量训练数据；而用户面数据需经核心网用户面功能（UPF）迂回，不仅导致数据传输时延增加与隐私泄露风险，且易挤占宝贵的空口连接资源。为此，需引入面向AI的原生数据流转机制，包括专用AI数据会话与支持动态筛选的任务驱动型定制化采集，以解决上述数据采集在实时性、灵活性与资源效率方面的不足，构建适应6G智能需求的轻量化、高价值数据供给体系。为进一步提升AI模型训练与优化的数据全面性，还需构建跨域协同的采集能力，形成内外协同的数据生态：

1) 专用AI数据会话与承载：定义一种由RAN自主管理的逻辑通道（如图4所示），专门用于传输AI训练数据、模型文件及性能反馈。与传统数据流不同，该承载支持在RAN内部终结，无须绕

行核心网，从而实现数据的本地闭环与低时延流转。此外，需在基站间接口（如Xn）建立数据隧道，以支撑跨节点的模型训练与分发。

2) 任务驱动的定制化采集：针对AI推理对实时性（< 10 ms）与细粒度的需求，构建“采集过滤器”机制（如图5所示）。基站可下发包含数学逻辑及多维状态（如电量阈值、业务类型）的采集策略，终端据此仅上报满足特定AI任务需求的高价值数据，实现从“盲目全量采集”向“按需精准供给”的转变，从而大幅降低无效数据带来的空口开销。

3) 跨域数据采集：为支撑更全面的AI模型训练与推理，需打通RAN内部与外部数据源，支持从OAM、核心网及相邻RAN节点等多域采集数据。通过统一的采集接口与策略协同，实现跨域数据的融合与价值提取，为全域智能化提供数据基础。

在标准化层面，需定义AI数据会话的生命周期管理流程，规范数据采集任务描述语法及过滤器逻辑，并在空口（Uu）及站间接口（Xn）引入面向AI数据流的流控与传输优化协议，确保数据采集机制在多样场景下的可靠性、效率与可操作性。

2.3.2 高可靠AI/ML模型管理

AI模型在无线网络中的应用并非一次性部署，而是一个持续演进的动态过程。为应对无线信道的时变性与非平稳性，需构建标准化的模型全生命周期管理机制，如图6所示，确保模型在“训练-推理-验证-更新”闭环中的鲁棒性与可靠性。

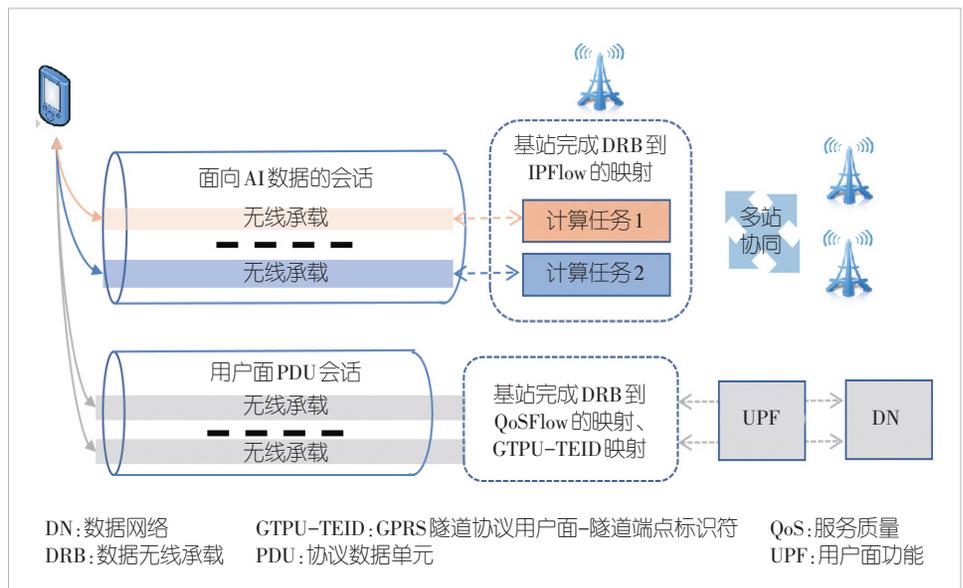


图4 AI数据会话机制

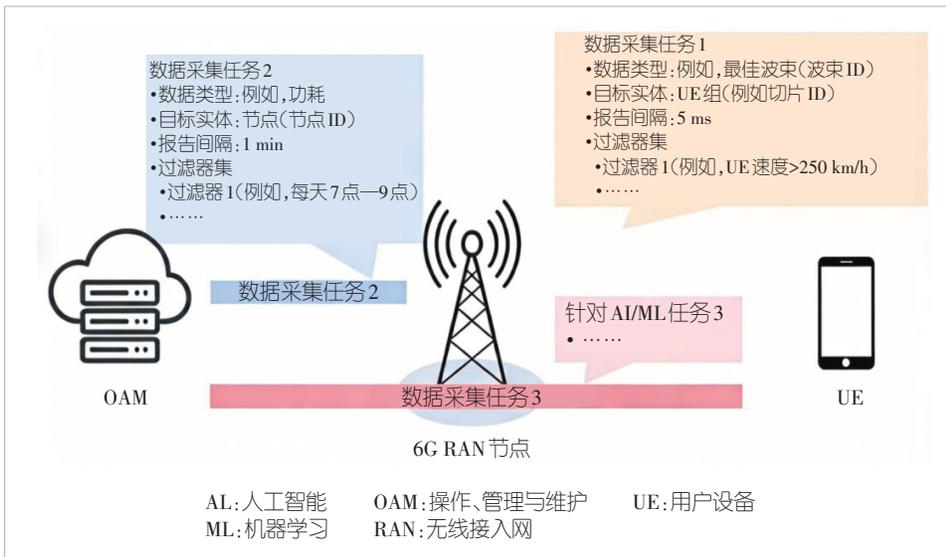


图5 任务驱动的定制化数据采集

1) 三维性能监控体系：突破单一精度监控，构建涵盖AI模型性能（如准确率、置信度）、网络关键绩效指标（KPI，如吞吐量、时延）及资源利用率（如推理能耗、内存占用）的三维指标体系，以精准评估AI引入的效能比。

2) 模型持续运行与演进：建立性能触发的闭环管理机制；

制。当监测到模型性能劣化时，自动触发数据重采集、重训练与版本更新。同时，支持模型上下文在用户移动过程中的跨站同步，确保推理服务的连续性。

3) 数字孪生预验证与新技术支持：利用RAN数字孪生环境^[12]，在模型部署前进行鲁棒性测试与效果预演。此外，架构应具备扩展性，以支持联邦学习（FL）的分布式协作训练及大模型的轻量化适配，利用其强大的泛化能力应对复杂信道环境。

在标准化层面，需定义统一的模型元数据规范与版本溯源机制；

规范三维性能监控指标的上报接口（如Uu、Xn及网管接口）；制定跨网元（UE-RAN-OAM）的模型生命周期管理信令流程（如模型切换、回退至非AI基线）。

2.3.3 AI业务连接保障

随着新型AI服务的普及，网络需保障模型梯度、token

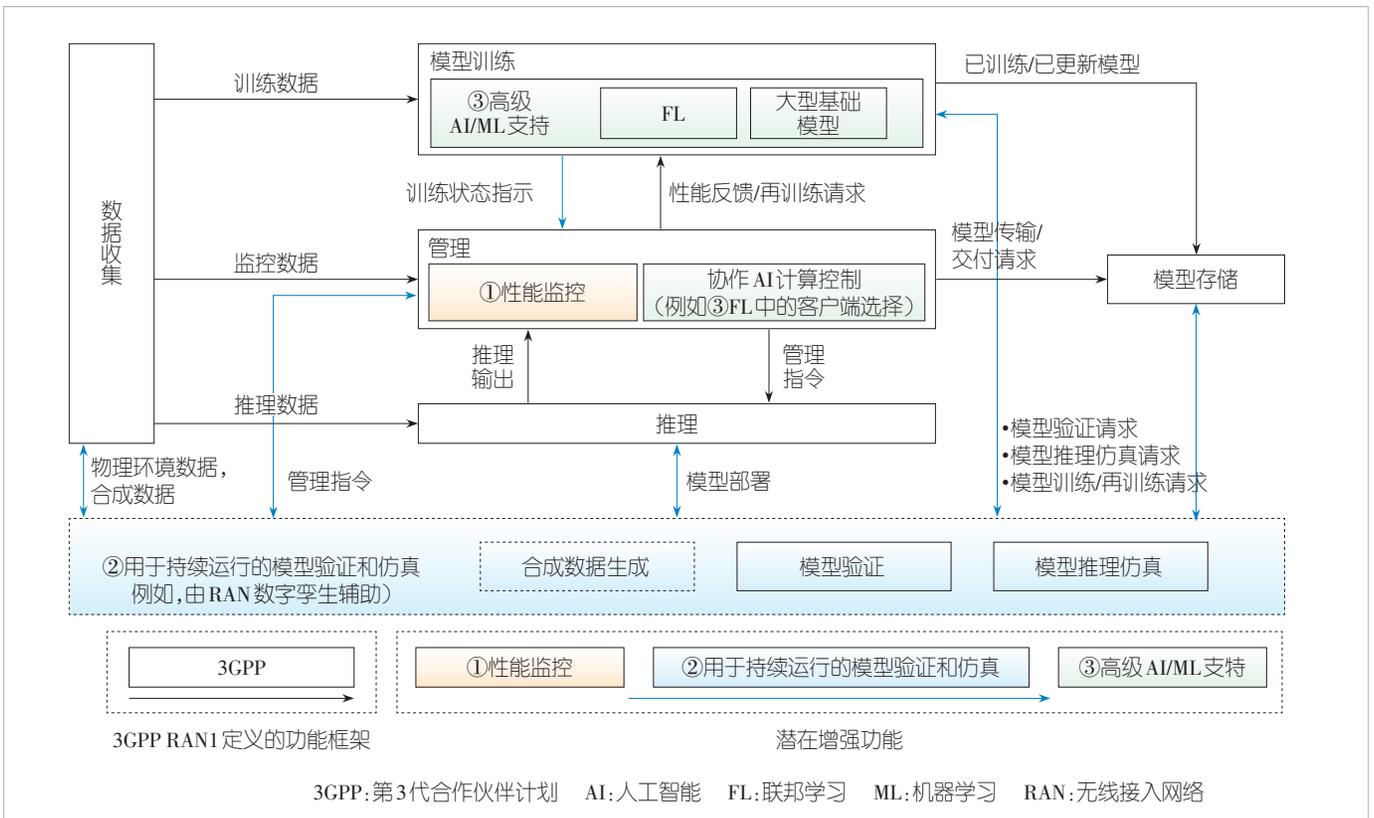


图6 AI/ML模型全生命周期管理机制

序列、多模态输入及控制指令等复杂数据流的可靠传输。这类业务呈现出上行突发密集、横向协同流量增多等新型特征，传统基于5G QoS标识符（5QI）的承载级QoS机制难以满足其差异化需求。因此，6G RAN需演进为AI业务实时感知、动态可调的连接保障体系，在识别AI业务基础上实现资源精细调度与通算协同优化，从而为多样化AI负载提供可靠、自适应的传输服务。

1) 面向AI业务的QoS增强机制：在传统吞吐量、时延、丢包率等KPI基础上，引入面向AI业务流的特征识别机制，支持对模型更新、交互token、感知数据等多类AI数据流进行差异化处理。通过实时感知业务需求与网络状态，动态映射并调整QoS策略，实现对重要数据（如梯度更新）的优先调度与资源预留。

2) 面向AI新型流量的空口传输保障：针对上行密集型（如个人助手）、横向流（如多智能体协同）等AI典型流量模式，设计低时延、高可靠的传输机制。通过模型分片传输、token级混合重传（HARQ）及选择性业务抢占等技术，在空口及协议栈层面实现确定性时延保障，确保关键AI指令与反馈的实时可达。

3) 面向AI业务体验的通算一体优化：基于实时信道状态与业务负载，动态分配上行带宽、计算节点与模型执行点，实现跨通信与计算域的全局优化，在满足AI业务时延与精度要求的同时提升系统能效与谱效。

在标准化层面，需定义AI业务类型的特征标签体系、业务特征到QoS参数的动态映射机制、支持AI业务流的低时延传输协议栈配置，以及面向通算协同的物理层与资源调度接口，为AI服务提供无缝、可靠、差异化的连接能力。

2.3.4 内生智能计算

内生智能计算通过使无线接入网内生具备AI任务的本地执行能力，实现计算任务的灵活部署与全生命周期管理。该模式采用集中式调度与分布式算力执行相结合的方式，并依托增强的空口信令实现实时端网协同。相较于传统依赖云端处理的方式，内生模式具备低时延、高实时性与资源利用高效的优点，能够充分挖掘并协同调度RAN侧的闲置算力，实现通信与计算资源的深度融合。然而，该模式也面临标准化接口缺失、资源调度复杂以及安全可靠保障等方面的挑战。

在标准化层面，需推动定义AI任务描述、计算卸载信令及算力状态交互协议，明确RAN侧集中控制与分布式执行的接口流程，并基于3GPP CAPIF等框架设计算力开放接口，以支持网络智能能力的开放与协同发展。

2.3.5 通算数智融合控制

该技术是打破资源孤岛、实现全局最优的“大脑”，通过实时感知连接状态、异构算力分布与AI任务需求，对通信、计算、数据与智能资源进行一体化协同调度与动态优化。该技术能够将端到端时延、推理精度等复杂业务体验需求转化为跨域资源调配策略，并借助强化学习等方法在多目标、多约束环境下实现动态决策，从而为扩展现实（XR）、自动驾驶、协作AI等业务提供确定性体验保障。在实际应用中，它体现出连接与计算资源的灵活替换能力，例如当无线传输受限时，可通过增强计算资源补偿时延；在推理精度不足时，可协同调优模型与数据质量以提升结果准确性。同时，该控制机制也支持分布式协作推理的优化，根据实时网络条件动态决策模型切分点与算力分配。

在标准化层面，需建立通算资源的统一信息模型，定义协同控制架构与接口，并实现从业务意图到资源策略的自动映射与翻译，从而系统性支撑6G时代融合业务的可靠、高效与智能化运营。

2.3.6 能力开放

为充分释放6G无线接入网作为边缘通算智融合平台的核心潜能，需将网络功能层所提供的连接、数据、模型与计算等内生能力进行统一抽象与封装，通过标准化、可编程的接口机制，实现网络能力的灵活开放。

1) 多维能力开放：多维能力开放涵盖对内协同与对外开放两个维度。对内协同旨在实现跨域、跨网元的资源联动与策略协同。例如，无线接入网可向核心网开放其实时无线状态、边缘算力资源及模型能力等信息，以支撑端到端网络切片、算力调度等全局优化任务；对外开放则指无线接入网面向互联网业务提供商（OTT）应用开放其内部网络指标（如链路质量）与感知数据，以优化业务体验（如动态调整视频压缩率），并可开放异构计算资源支持边缘AI应用的就近部署。

2) 统一开放架构：基于3GPP CAPIF构建无线AI能力开放平台，支持间接模式（经核心网网络开放功能开放，适用于广域通用服务）与直接模式（无线接入网直接向本地应用开放，适用于低时延场景）。无线接入网侧作为API提供者与发布者，实现服务的注册、发现、鉴权与计费，构建开放的边缘智能生态。

在标准化层面，需制定无线AI功能开放API框架标准，定义各类原子化服务（如数据服务、推理服务）的接口规范与数据模型，并建立完善的API安全认证与隐私保护机制，确保能力开放过程中的数据主权与网络安全。

2.4 管理编排层关键技术及标准化思考

当前5G网络管理与编排体系主要聚焦于通信切片及网络功能虚拟化(NFV)的生命周期管理,尚未实现对异构计算资源与通信资源的统一编排与联合优化。这一局限性导致其难以支撑泛在AI任务的端到端部署与性能保障,同时缺乏对网络融合服务能力的对外开放接口,从而制约了网络整体服务能力的释放。为此,如图7所示,编排服务层亟需引入面向无线网络中的通信、计算、数据及智能资源/功能的联合编排技术,以突破上述瓶颈。

其中,无线通算数智资源/功能/服务的联合编排功能旨在提供全局、跨域的智能编排能力。具体而言,意图解析功能首先将业务需求进行转化,并对通信、计算、数据及智能要素进行统一建模。基于基础设施层与网络功能层提供的多维状态感知数据(如算力负载、无线链路质量、AI任务进度等),联合编排功能通过灵活调度网络功能(如接入网网管、云平台管理、数据/模型管理等),实现对通信、计算、数据及AI模型等多维资源的协同编排,进而支撑面向AI服务的编排与性能保障。典型应用场景包括:针对大容量跨站场景配置共享算力池与通信资源预留(如候选基站迁移策略);为基站SLA保障业务识别功能提供算力配置(如40+

vCPU);为AI视觉检测服务提供通算一体化保障能力(如业务流量与AI检测精度需求等)。通过实现网络资源与智能任务的最优匹配,该机制可在复杂场景下为多样化融合业务提供确定性的服务质量保障。

无线能力开放功能则对网络内部的多维服务能力——包括连接、计算、数据及AI等——进行模块化封装,形成可被统一发现、订阅与调用的标准化服务,并确保其安全性,从而推动网络从封闭的传输管道向开放的能力平台演进。

在标准化层面,需重点增强以下3个方面:一是对多样化业务进行通信、计算与智能的统一建模,将AI业务的端到端SLA要求(如时延、精度、可靠性)转化为对底层多维资源的联合约束;二是标准化跨层智能编排流程与接口,增强基础设施层、网络功能层与编排服务层之间的交互流程,以实现多维资源的高效编排与优化;三是标准化统一的“无线AI服务开放API框架”,提供灵活的服务发现机制及标准化数据模型,从而提升网络资源利用效率,拓展无线网络超越传统连接范畴的多维服务能力。

3 结束语

尽管6G无线接入网通算智融合的技术蓝图与系统框架

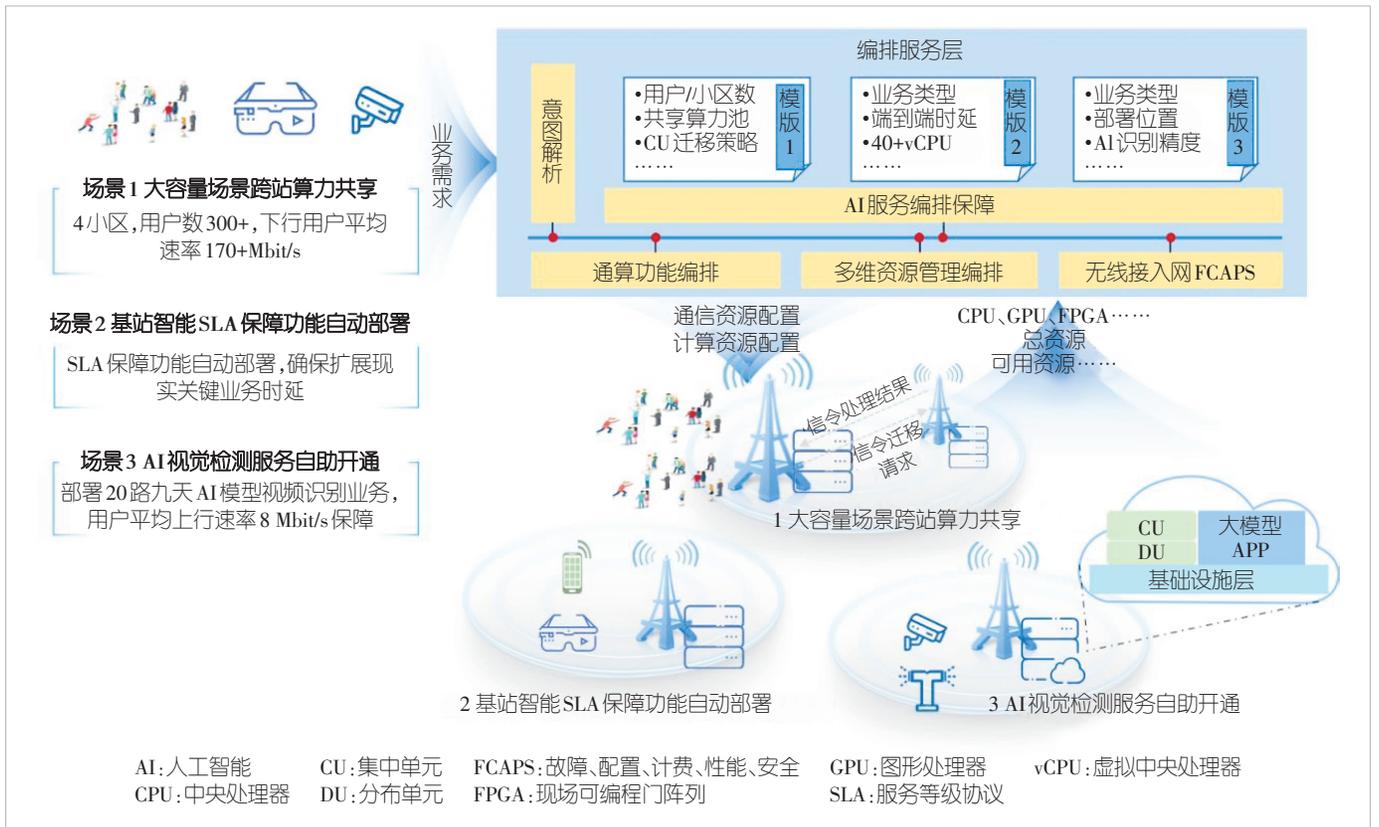


图7 管理编排层关键技术

已逐步清晰，但其从理论探索走向规模化商用仍面临一系列深层挑战。未来研究不仅需持续攻关关键技术，更需在标准制定、生态构建与商业模式创新等方面取得突破。

1) 网络AI协同优化与效率平衡的挑战：当前AI模型研究多聚焦于提升网络的频谱效率、能量效率等性能指标，尚未充分考虑模型自身的质量（如泛化能力、推理实时性）与效率（如计算复杂度、资源开销）。模型在实际组网环境中的性能表现仍有待系统验证，这在一定程度上制约了其规模化商用进程。如何在能力提升、质量保障与效率优化之间实现均衡，是亟待解决的关键技术问题。此外，网络与终端之间的协同优化也展现出新的可能性。例如，通过智能计算卸载机制，可根据终端能力、网络负载与业务需求，动态分配AI任务至终端、边缘或云端，实现模型分割、协同推理与资源高效利用。这种跨层协同不仅可缓解网络侧算力压力，还可借助终端感知数据提升模型实时性与个性化服务水平，为6G通算智融合开辟更灵活的部署路径与服务模式。

2) 系统复杂性与可信安全的挑战：AI的深度引入使网络演进为高度复杂的自适应系统，对其决策的可解释性与行为的确定性提出了更高要求。与此同时，开放的数据与服务接口也引入了新的隐私泄露与安全攻击风险。构建“可信赖的智能网络”亟需设计全新的内生安全框架与全生命周期保障机制。

3) 标准化与产业协同的挑战：通算智融合涉及跨层、跨域的功能重构，标准制定的复杂度空前提升。当前，如何在3GPP、ITU、O-RAN等国际标准组织之间形成高效协同，并明确核心功能的标准化边界与演进路线图，是加速产业成熟的关键所在。

4) 商业闭环与生态构建的挑战：由“网络使能AI”催生的新型商业模式，其价值链条、计费机制与生态合作模式尚需市场验证。当前面临的核心问题在于如何孵化杀手级应用，并实现从技术能力到商业价值的完整闭环。为此，建议运营商、设备商与AI应用开发者面向典型场景开展联合试点，共同探索并验证可持续、多方共赢的商业模式。

参考文献

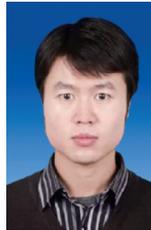
[1] Letaief K B, Shi Y M, Lu J M, et al. Edge artificial intelligence for 6G: vision, enabling technologies, and applications [J]. IEEE journal on selected areas in communications, 2022, 40(1): 5-36. DOI: 10.1109/JSAC.2021.3126076
 [2] Li N, Sun Q, Li X, et al. Towards the deep convergence of communication and computing in RAN: Scenarios, architecture, key technologies, challenges and future trends [J]. China communications, 2023, 20(3): 218-235. DOI: 10.23919/JCC.2023.03.016
 [3] Huang Y H, Li N, Sun Q, et al. Communication and computing

integrated RAN: a new paradigm shift for mobile network [J]. IEEE network, 2024, 38(2): 97-112. DOI: 10.1109/mnet.2024.3355401
 [4] Li N, Wang Y, Sun Q, et al. Rethinking RAN architecture for deep fusion of AI and communication in 6G [J]. IEEE wireless communications, 2025, 32(3): 164-174. DOI: 10.1109/MWC.009.2400168
 [5] CCSA TC5WG6 无线算力网络场景、需求和关键技术研究 [S]. 2024
 [6] 3GPP TS38.323 NR; Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification (R19) [S]. 2024
 [7] 3GPP TR22.876 Study on AI/ML model transfer phase2 (R19) [S]. 2023
 [8] 3GPP TR38.843 Study on artificial intelligence (AI)/machine learning (ML) for NR air interface (R18) [S]. 2023
 [9] IMT-2030(6G)推进组. 6G无线系统架构和功能研究 [R]. 2024
 [10] 3GPP TS 23.222 Common API framework for 3GPP northbound APIs [S]. 2025
 [11] Kundu L, Lin X Q, Gadiyar R, et al. AI-RAN: transforming RAN with AI-driven computing infrastructure [PP/OL]. arXiv[2026-01-05]. <https://arxiv.org/abs/2501.09007>
 [12] Huang Y H, Xie Y X, Chen Z Q, et al. AI empowered modeling, closed-loop optimization, and field trials of RAN digital twin [J]. IEEE network, 2026, 40(1): 154-164. DOI: 10.1109/mnet.2025.3565716

作者简介



解宇瑄，中国移动研究院无线与终端技术研究所研究员；主要研究方向为无线通算智融合网络关键技术和协议设计。



李响，中国移动研究院无线与终端技术研究所研究员，高级工程师；主要研究方向为无线通算智融合网络架构、关键技术和协议设计。



李婷，中国移动研究院无线与终端技术研究所研究员；主要研究方向为无线接入网基础设施、通算智融合的管理与编排相关技术。



孙奇，中国移动研究院无线与终端技术研究所主任研究员，正高级工程师；主要研究方向为5G/6G无线接入网智能化、云化等关键技术。