

6G 智简无线网络

Intelligent and Lean 6G Network



黄宇红/HUANG Yuhong^{1,2}, 王启星/WANG Qixing²,
李娜/LI Na^{1,2}

(1. 中关村泛联移动通信技术创新应用研究院, 中国 北京 100080;
2. 中国移动研究院, 中国 北京 100053)
(1. ZGC Institute of Ubiquitous-X Innovation and Applications, Beijing
100080, China;
2. China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202404002

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20240719.1808.002.html>

网络出版日期: 2024-07-22

收稿日期: 2024-06-17

摘要: 5G的发展激发了更多的业务创新,同时也带来了更多维的业务需求。为了更高效支持不同场景的差异化、碎片化、定制化需求,6G无线网络需结合5G的经验,在服务模式、技术能力、发展范式等方面进行突破创新,通过构建异构硬件云平台底座、通感算智融合内核、按需动态服务编排中枢,提升网络的灵活性、开放性、共享性,实现网络对千行百业的精准赋能。

关键词: 6G; 按需服务; 通感算智融合

Abstract: The development of 5G has sparked more business innovations and brought about more multi-dimensional application needs. To efficiently support differentiated, fragmented, and customized demands in different scenarios, the 6G wireless network needs to make breakthroughs and innovations in service models, technical capabilities, and development paradigms by leveraging the experience of 5G. By building an underlying heterogeneous hardware cloud platform, an integrated kernel of communications, sensing, computing, and intelligence, alongside a hub for on-demand and dynamic service orchestration, the network's flexibility, openness, and sharing capabilities will be enhanced, enabling it to provide precise empowerment to various industries.

Keywords: 6G; on-demand fulfillment; integration of communications, sensing, computing, and intelligence

引用格式: 黄宇红, 王启星, 李娜. 6G智简无线网络 [J]. 中兴通讯技术, 2024, 30(4): 3-9. DOI: 10.12142/ZTETJ.202404002

Citation: HUANG Y H, WANG Q X, LI N. Intelligent and lean 6G network [J]. ZTE technology journal, 2024, 30(4): 3-9. DOI: 10.12142/ZTETJ.202404002

每一代移动通信技术的演进都为移动通信业务的发展提供了新的可能性,而业务需求的增长也推动了通信技术的不断创新和升级。在二者相互促进发展的过程中,移动通信网络也变得愈加复杂,尤其是在5G实现从个人互联网到产业互联网的探索之后。网络不仅要处理人与人的通信,还要处理人与物、物与物的通信,这就需要网络具备更高的智能性和灵活性。网络的规模、节点数量、连接拓扑、服务业务类型都在急剧增长,这对网络的设计、管理和维护提出了更高的要求。为了有效保障6G无线网络的运行效率与质量,面向“智简”进行网络设计尤为关键。

1 复杂网络成因分析

1.1 服务模式: 烟囱式

面对万物互联的发展愿景,5G网络定义了增强移动宽

带(eMBB)、超可靠低时延通信(URLLC)和海量机器类通信(mMTC)三大典型场景。但在实际落地应用时,行业客户对网络能力的要求往往超出了传统通信的范畴。不同行业客户需要不同维度的极致性能和超越通信的能力,包括高精度定位、大数据、计算和人工智能(AI)等,同时还要求灵活定制、敏捷部署、使用简便、成本可控等。

1) 灵活定制: 按需提供包括通信、感知、计算、AI以及安全在内的定制化解决方案,以满足不同行业、不同场景的个性化需求。

2) 敏捷部署: 在提供定制化能力的基础上,还要确保方案部署的敏捷性与高效性,匹配客户生产节奏,实现快速交付,确保时间效益的最大化。

3) 使用简便: 定制服务不仅需要操作简便,还需要拥有完善的服务保障,确保客户体验的无缝衔接。客户在使用过程中无须进行繁琐的操作,能够即时获取所需的能力服务,做到产品互联网化、销售全流程线上化、使用简

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFB2902100)

便化。

4) 成本可控: 由于信息化改造预算有限, 众多企业在考虑基础设施改造时, 均期望获得既经济又高效的能力, 例如在统一的基础设施上同时获得通信、感知、计算、AI 等能力。

为了适应差异化、碎片化、定制化、极致性能等行业应用需求, 5G 网络为不同用户单独打造“优专尊”的网络, 并通过移动边缘计算等技术为网络外挂/叠加计算、数据、安全、AI 等新能力, 但这些服务模式面临成本高、研发周期长、适应性差、效率低、管理复杂等挑战。

1.2 能力引入: 外挂式

AI 技术在 5G 网络中的应用促进了移动通信网络和垂直行业的智能化发展, 但 5G 网络智能化大多使用场景驱动的外挂 AI 模式, 存在效率较低、难以提供近实时高性能 AI 应用和服务的弊端, 无法满足未来网络高水平自治、行业用户智能普惠、用户极致业务体验等对智能的需求。具体来讲, 原因主要在于: 一方面业界尚未对网络 AI 服务质量保障指标和评估准则达成共识, 导致难以对网络服务能力进行科学和公平判断; 另一方面 AI 应用所需的算力、数据、模型和通信连接资源分属不同技术体系, 尚未建立更有效的跨技术域协同机制, 不能实现资源实时、高效协同。

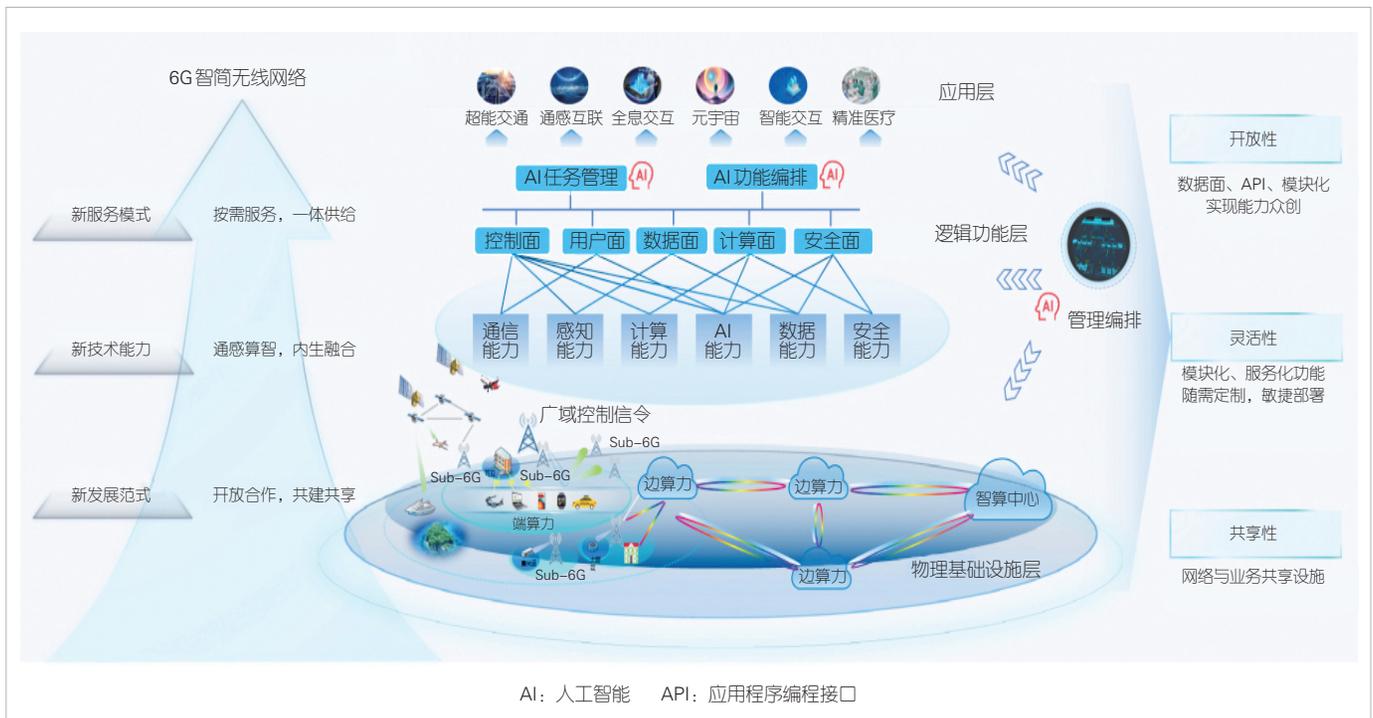
在应用部署方面, 移动通信网络的网络自治场景众多且复杂, 大部分应用需要串接多个生产环节, 而环节间的相关性分析主要依赖运维人员人工完成。当前众多 AI 应用的研发模式依然为成本较高、效率较低的线下模式, 网络自治场景下所需智能的生成、部署、评估和迭代优化等各环节均主要依赖人工完成。对此, 6G 需要在网络架构和关键技术的支持下支持内生的 AI 设计, 以解决外挂叠加式 AI 因网络架构制约难以提供近实时高性能 AI 服务的难题。

1.3 网络设计: 管道式

5G 网络面向 eMBB、URLLC 和 mMTC 三大典型场景设计, 旨在实现从个人互联网到产业互联网的转变。但整体设计思路还是刚性管道式的, 以面向用户 (ToC) 设计的 eMBB 系统架构为基线, 通过引入多参数集、网络切片技术、局部性能优化、功能裁剪等方式适配面向企业 (ToB) 的差异化需求。但这种在固定系统版本上叠加功能以提升性能或裁剪功能以降低功耗的方式限制了技术创新, 无法针对目标垂直领域做彻底优化, 在很多行业应用上并未表现出较大优势, 反而增加了对网络和终端的软硬件能力要求及复杂度^[1]。

2 6G 智简无线网络设计思路

如图 1 所示, 为了更有效支撑差异化、碎片化、定制



▲图1 6G智简无线网络设计思路

化业务应用需求,结合5G发展经验,我们认为6G无线网络需要围绕如何对外提供智简的服务、如何对内设计智简的网络、如何构建智简的生态做出如下变革:

2.1 新服务模式:按需服务,一体供给

服务模式要更灵活,需突破烟囱式专网设计,采用模块化的设计理念,使其能够灵活地部署与定制,以满足大量客户对于差异性服务的需求。通过端到端服务化设计,提供具有管理调度的平台中枢能力,实现服务、功能和资源的按需编排和组合,一体化提供通信、感知、计算、AI等服务。这种灵活性不仅使得平台能够迅速响应市场变化,还确保了用户需求的个性化满足,同时保持了较高的成本性价比。

2.2 新技术能力:通感算智,内生融合

新技术能力引入方式要更内生,便于开放共享。云原生技术、AI、数字孪生等更先进智能的技术,是提升网络运行效率和质量的重要手段,也是实现高效对外赋能的关键。在能力引入时要实现由外挂叠加向内生一体转变,设计内生于网络的通感算智系统,在网络内部支持AI workflow,并实现通信与计算的深度融合。在平台构建时要实现由烟囱式向IT平台式设计的转变,构建异构硬件云平台底座,通过灵活资源编排组合和弹性扩缩容动态对内提供网络通信所需算力,同时对外开放共享,满足多样业务对算力的需求。该基座技术通过统一的硬件架构,实现从网络连接、感知处理到人工智能渲染等多维度业务的支持,从而实现资源的集约共享,不仅可以提高经济性,也可以实现更为显著的节能降耗效果。

2.3 新发展范式:开放合作,共建共享

网络发展需更开放,通过构建共建共创而非传统封闭式平台,加速技术创新与网络演进。开放性包括3个层面:一是开放的基础底座,基于云原生容器技术实现软硬件解耦,通过标准化应用程序编程接口(API)快速部署云化无线应用、云化IT应用、云化AI应用等;二是开放的服务能力,基于服务化架构实现网络自演进,各公司、开发者可贡献网络功能、能力、算法,网络提供不同业务需求的灵活编排组合能力;三是开放的合作范式,在网络运营商、服务提供商与网络设备提供商、开放能力提供商、行业客户等之间建立互联共赢的合作范式。

3 6G智简无线网络关键技术

通感算智等更智能技术的引入是6G无线网络设计的关键^[2-3],按需服务、内生融合、开放共享是智简网络设计的核心思路。为了实现6G智简无线网络总体愿景,我们需要针对如下关键技术方向进行了设计。

3.1 按需服务网络

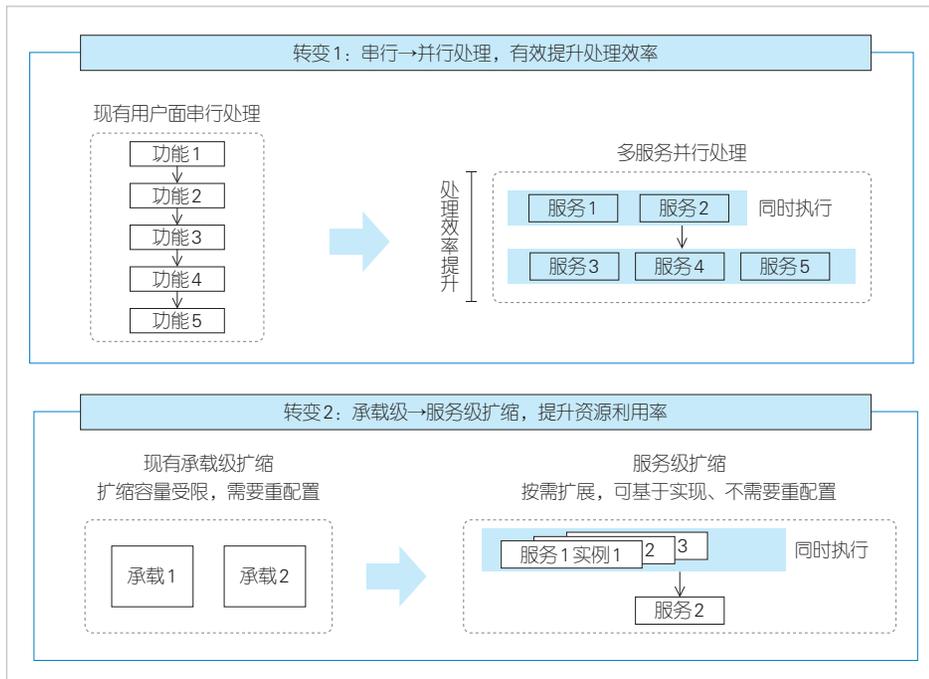
作为6G智简无线网络的中枢,按需服务网络赋能功能柔化,开启网络即服务能力,通过端到端服务化设计为通感算智一体融合的综合能力体系提供服务、功能和资源的按需编排和组合,实现个性化和定制化的按需服务^[4-5],推动从固定供给向灵活供给的业务范式转变。在设计按需服务网络的过程中,如何确定合理的服务粒度以及保障拆分后网络的性能是关键。

3.1.1 服务拆分:按照业务能力分解

5G核心网控制面已实现服务化设计,并对用户面进行了探索。面向无线接入网(RAN),基站作为一个开发了数十年的“单体架构”应用,功能间紧密耦合、上下文相互依赖,不合理的功能拆分很可能导致形成分布式单体。因此,如何在破坏系统完整性的前提下,有效拆分紧耦合功能是RAN服务化需要重点考虑的问题。IT领域常用的两种服务分解模式是按领域驱动设计(DDD)的子域分解和按业务能力分解。这两种模式的整体思路都是:分析应用是做什么的,其每个业务能力都可以被认为是一个服务。RAN的服务定义亦可参照此方法,按照RAN可以对外提供的业务能力进行定义,并考虑“自包含”“可重用”“独立性”3个必要原则。

3.1.2 性能保障:并行化机制

相比于核心网,RAN对性能要求更为严苛。功能的拆分、接口的开放化以及软硬件的解耦,必然会在一定程度上导致传统网络性能的损失,尤其是时延损失。对此,可以引入并行化机制降低对网络性能的影响。在流程上,端到端流程可以被进一步拆解,并支持多个子流程的并行执行。这一方面可以缩短信令流程、避免响应等待导致的端到端时延长问题,另一方面可以缓解服务调用栈太深导致的新功能引入门槛高、调用失败回退流程长等问题。在用户面上,可引入并行化处理,允许多个处理功能并行执行,如图2所示,由此可以有效提升数据的处理效率,结合服务级扩缩容,实现计算资源利用率最优化。



▲图2 多服务并行处理,服务级扩缩容

3.1.3 按需动态编排

整体上服务按需组合包括两种可行的方式：基于模版、动态组合。其中，第一种方式类似网络切片，基于业务需求提前确定模版，当业务数据流到达时调用相应的模版即可；第二种方式适用于新兴业务场景，业务数据流到达时按需选择相应服务。

3.2 通感融合

通信和感知融合是6G移动信息网络的重要技术特征，是实现信息服务全过程的重要环节。感知将成为6G网络中的原生能力，与通信能力互助共生，并为6G开辟新的应用前景，赋能一网多能新业态。

3.2.1 协作通感内生设计

独立感知模式下的通感融和网络存在自干扰，要求感知节点具备全双工能力。为实现通感融合，需要对有源天线单元（AAU）硬件架构进行一系列复杂改动，但这将产生较高的硬件改动成本。此外，受到业界可实现天线收发隔离度的限制，感知覆盖距离受限。如何实现低成本全域覆盖具有极大的挑战。如图3所示，通过协作通感内生设计可实现低成本通感。在该系统中，基站A向环境中发射感知波束，经过感知目标反射后形成回波被其他基站B接收。其中，协作波束管理和协作多源信息融合是协作通感内生设计的两个关键方面。

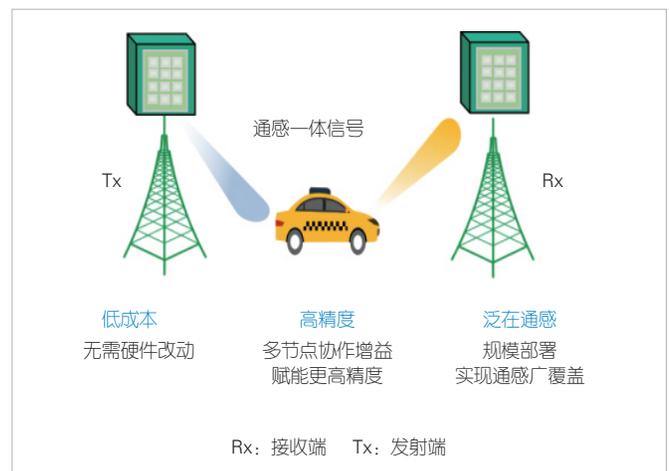
1) 协作波束管理：为实现目标精准估计，需要协作节点间匹配收发波束。波束管理时，需要设计灵活的波束扫描、切换机制，在保证感知性能的同时降低波束开销。考虑不同区域下感知目标的分布存在差异性，可设计非均匀的预编码码本，在通感重点区域与非重点区域配置不同波束扫描粒度。

2) 协作多源信息融合：多节点协作感知可以在不同位置接收回波信号，获得分集增益，实现高精度泛在通感。各接收节点首先对各自接收回波信号进行处理，获得时延、角度、信号强度等中间测量量，而后再将上述测量量及其多维组合发送给服务器进行数据融合，实现对目标位置的估计。随着接收节点数目的增加，感知定位误差逐渐降低并收敛，可用于指导优化协作节点选择方案。

的增加，感知定位误差逐渐降低并收敛，可用于指导优化协作节点选择方案。

3.2.2 交替优化资源分配

通信和感知空口资源共享程度可分成高共享度、合适共享度、低共享度3个等级。在高共享度下，通感信号全域共享，感知精度和覆盖能力不足，网络效率高但网络质量不足；在低共享度下，通感资源完全分立，通信能力、感知能力优异，但网络效率低；在合适共享度下，通感资源通过适当的共用，可使网络效率与质量均达到较高要求。基于上述思想，如何优化通感优先级配置以规避感知与通



▲图3 协作通感系统模型

信资源冲突，如何设计合适共享度的通感空口传输方案与高效的多维资源分配方法，破解效率与能力之间的矛盾，是通感一体化面临的技术挑战。

考虑通信与感知空口资源正交性，首先对通感网络时域、频域、功率资源分配方式进行优化，在满足总功率约束，测速、测距、测角克拉美罗下界（CRLB）约束条件下，建立优化问题，保障感知性能要求，同时实现通信速率最大化。通过不等式转化，将原非凸优化问题转化为半正定规划凸问题，可通过传统凸优化算法实现求解^[6]。

在上述通感资源分配的基础上继续执行感知算法，进一步实现对目标的低复杂度、高精度感知。通过正则多元分解方法（CPD）将速度、距离、角度待估参数进行张量分解，以最小化感知参数估计均方误差为优化目标建立优化问题，通过交替优化实现对目标感知参数的估计。仿真结果表明，所述通感资源分配及感知方案可以获得通信速率与感知性能的最优折中，所述交替优化感知算法相比传统算法可获得更高的感知性能。

3.2.3 多维干扰识别与智控

通感融合网络的干扰类型复杂，除传统通信系统干扰外，还包括上行通信用户与感知接收基站之间的干扰、基站间上下行交叉链路干扰等。特别地，独立感知网络还存在感知基站自干扰。此外，由于感知基站及用户调度，通感融合网络干扰具有时变性。如何识别干扰类型并针对性地有效抑制，如何设计灵活的协作节点的选择及收发调度方案，如何设计全局普适的干扰识别与控制方法，是保证干扰管理效果的重要内容。

考虑点、簇、网多维协同设计，通过感知组网设计及多维干扰智控技术，可实现全局通感资源高效调度及网络质量提升。

1) 感知组网设计：基于现有六边形蜂窝网络架构，设计“环状”感知组网。小区内同站址三扇区的帧结构同时设置为下行/上行，周边6个小区的帧结构设置为与该小区相反。该方案可有效避免邻区基站及同站址邻扇区之间的上下行交叉链路干扰，感知资源开销约占10%。

2) 多维干扰智控技术：通过特征提取及AI智能分析，实现干扰特征提取及干扰源定位。通过以下多维干扰智控技术实现干扰抑制：在时域，可将收发节点成对配置帧结构、优化时隙调度、在保护间隔（GP）中感知；在频域，可为通信与感知划分不同的子带；在空域，可设计波束管理及自适应波束赋形方案，将收发波束精确对准目标，并压缩旁瓣；在码域，可为相邻基站设计正交序列及正交覆

盖码（OCC）；在功率域，可设计自适应发送功率分配及干扰删除方案。

3.3 通算智融合

通过构建通信、计算和智能相融合的6G网络内生能力，支持AI赋能网络和网络使能AI场景，为网络自身和第三方用户提供泛在普惠的智能服务。

3.3.1 AI使能高性能物理层和高层协议栈功能

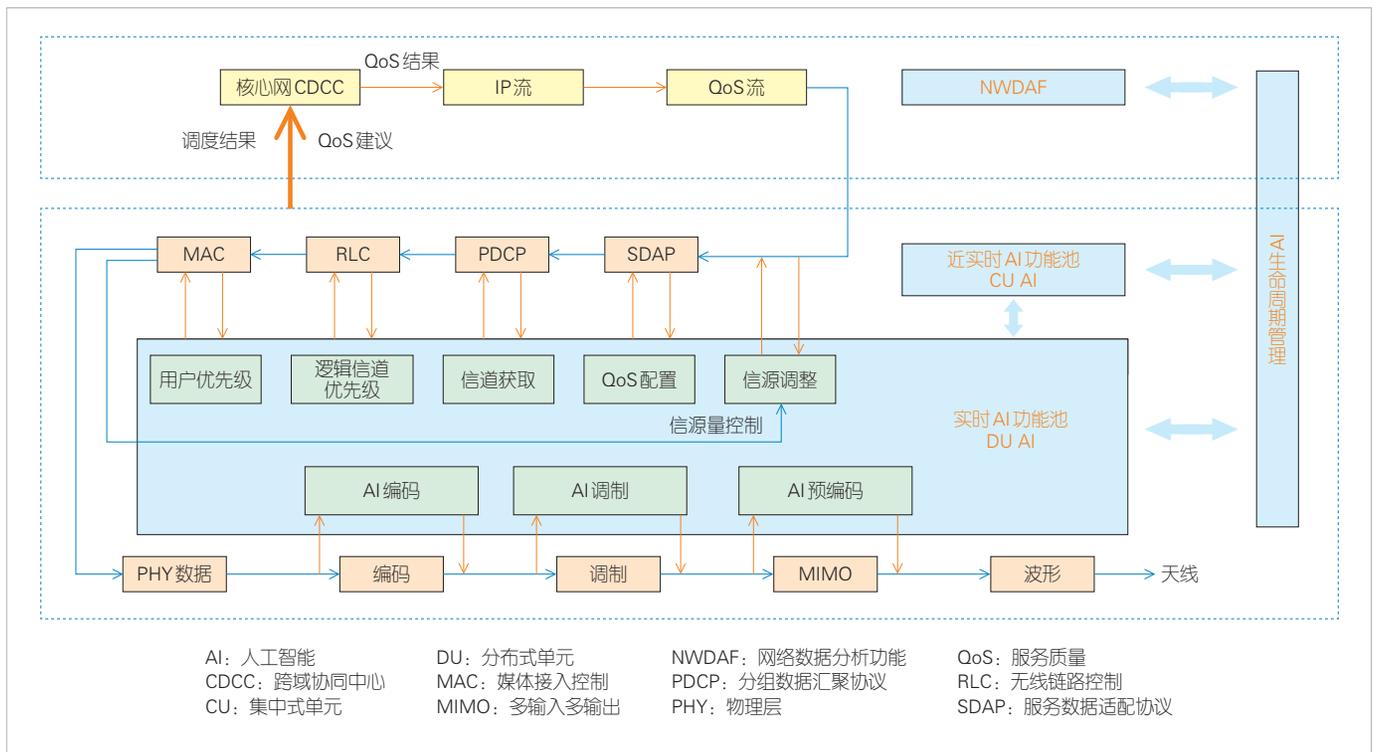
如何突破空口传输多模块和链路级神经网络设计，提升网络性能，降低复杂度，如何在复杂信道环境下保证空口AI和网络AI模型的泛化性、实时性和可靠性，是AI赋能网络需要解决的关键问题。图4是AI使能高性能物理层和高层协议栈功能的示意图，借助AI的手段，以低复杂度设计提升通信系统性能。具体地，通过AI与物理层和高层协议栈的融合设计，在网络内部实现实时AI推理，利用AI在复杂环境下优秀的特征提取和非线性拟合能力，实现通信链路单/多模块功能增强，以及全链路的低复杂度AI。例如，可通过AI使能多输入多输出（MIMO）信道估计、预测、压缩反馈，有效降低导频和反馈开销；基于神经网络实现信道获取、用户调度、MIMO预编码，显著降低算法复杂度。然而，AI赋能网络的设计多为单点、用例驱动式的，尚未形成全局性的优化，泛化性和实时可靠性亦不能得到较好保障，因此需要进一步探索生成式AI、大模型等AI前沿技术，实现AI赋能网络效率的提升。

3.3.2 端边云协作的通算智管控

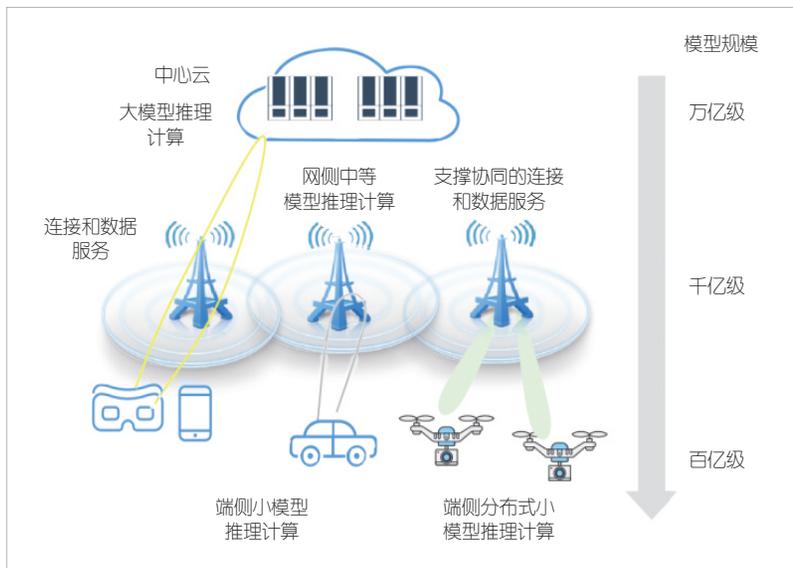
面向6G智能普惠愿景，现有“外挂式”云AI服务供应方案存在效率较低、难以提供近实时高性能AI应用和服务的弊端。考虑端网云差异化通信计算能力和复杂组网拓扑，如何高效利用网络通算数智资源，满足AI服务需求，并降低成本和能耗，是网络使能AI的关键。对此，6G需要根据不同类型终端的硬件条件和服务质量需求，利用网络端边云泛在的通算数智资源提供多种AI服务，例如，在边侧提供千亿级参数的AI模型，在中心云提供万亿级参数的AI模型，如图5所示。为了实现上述目标，网络架构和关键技术需要支持内生的AI设计，并通过端边云协作的AI服务编排调度和实时精准的通算智资源控制，以降低成本和能耗，按需高效提供高质量的AI服务。

3.4 异构硬件云平台

异构硬件云平台由通用计算的中央处理器（CPU）、智



▲图4 AI使能高性能物理层和高层协议栈功能



▲图5 端边云协作的通算智管控

能计算的图形处理器（GPU）以及专用处理芯片构成，通过云化异构硬件实现底层资源的动态共享和弹性扩缩容，满足多样化的计算需求。

3.4.1 超高实时响应

对高带宽低时延的要求使得资源的调度与抢占非常重要，现有的非抢占式调度虽然能够实现毫秒级的任务中断

响应，但已难以满足日益增长的网络需求。相比之下，抢占式调度以其微秒级的任务中断响应能力，可以为超大带宽网络转发提供强有力的支持，成为解决这一挑战的关键所在。通过抢占式调度，可有效平衡实时性、稳定性、吞吐性能，实现最大中断响应时延优化至 10 μs 内，支持 100 Gbit/s 容器网络吞吐。

3.4.2 高性能容器云

随着物联网、云计算等技术的广泛应用，碎片化、多样化的应用场景不断涌现，给基站软件容器化和集中化RAN架构带来了前所未有的挑战。如何实现对传感器、终端、算力卡、服务器等不同对象的云化统一管理，成为当前亟待解决的问题。此外，分布式架构、混合异

构云以及节点数目差异化的部署规模，也进一步加剧了云化异构硬件面临的挑战。针对这一挑战，可通过对传感器、终端、算力卡、服务器等不同对象的云化统一管理，实现多种资源功耗、占用率等信息多维度统一监报告警。

3.4.3 异构资源管理

不同行业用户对于高性能处理资源的需求呈现出显著

的差异性。传统的现场可编程门阵列 (FPGA) 等加速器资源绑定使用方式已难以满足这种多样化的需求。因此, 需要考虑 GPU、数据处理器 (DPU)、FPGA 等异构资源的感知、抽象、统一管理与调度, 以及通感算智多应用的融合协同, 实现资源按需分配。

4 总结

未来更加差异化、碎片化的业务应用需求, 通感算智安深度融合的技术趋势, 以及 5G 商用带给我们的启示, 推动着 6G 无线网络向智简方向发展。本文从智简设计的驱动力出发, 提出了 6G 智简无线网络的设计思路及关键技术方。下一步, 我们将针对 6G 智简网络在硬件云化、能力融合、按需服务等方面存在的问题与挑战进一步深入研究, 希望与业界一起共同推进。

参考文献

- [1] OPPO. 6G: 极简多能, 构建移动的世界 [R]. 2023
- [2] IMT-2030(6G)推进组. 6G 无线系统设计原则和典型特征 [R]. 2023
- [3] IMT-2030(6G)推进组. 6G 网络架构展望 [R]. 2023
- [4] LI N, LIU G Y, ZHANG H M, et al. Micro-service-based radio access network [J]. China communications, 2022, 19(3): 1-15. DOI: 10.23919/JCC.2022.03.001
- [5] LIU G Y, LI N, DENG J, et al. The SOLIDS 6G mobile network architecture: driving forces, features, and functional topology [J]. Engineering, 2022, 8: 42-59. DOI: 10.1016/j.eng.2021.07.013
- [6] ZHONG C, LOU M T, GU C R, et al. Performance optimization and parameters estimation for MIMO-OFDM dual-functional communication-radar systems [J]. Digital communications and networks, 2023. DOI: 10.1016/j.dcan.2023.12.006

作者简介



黄宇红, 中国移动研究院院长、中国通信学会无线移动通信委员会副主任委员, 入选 2017 年国家百千万人才工程, 被授予“有突出贡献中青年专家”荣誉称号, 获得 2010 年全国劳动模范称号, 曾任国际移动通信标准组织 3GPP SA 副主席, 现任国际产业联盟 NGMN 董事成员等; 主导并参与承担了 10 个国家重大专项或重点研发计划项目, 主导中国移动承担的原创技术策源地建设和新一代移动通信国家工程中心建设等任务; 荣获省部级以上奖项 27 项, 参与的“第四代移动通信系统(TD-LTE)关键技术与应用”项目获得国家科学技术进步奖特等奖。



王启星, 中国移动研究院未来研究院副院长; 长期从事 TD-LTE、5G/6G 接入网等领域的技术研究和标准化工作。



李娜, 中国移动研究院高级研究员, 高级工程师; 主要从事 5G/6G 接入网架构与协议的相关设计工作。