



中国联通

6G 通感智算一体化

无线网络白皮书

中国联通研究院

2023 年 6 月



版权声明

本报告版权属于中国联合网络通信有限公司研究院，并受法律保护。转载、摘编或利用其他方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国联通研究院”。违反上述声明者，本院将追究其相关法律责任。



目录

一、无线网络演进的新需求与新挑战..... 3

 （一）业务发展趋势..... 3

 （二）技术发展趋势..... 3

 （三）主要演进挑战..... 5

二、通感智算一体化无线网络架构及关键技术..... 6

 （一）通感智算一体化的网络架构..... 6

 （二）通感智算一体化的内在关系..... 8

 （三）通感智算一体化的关键技术..... 9

 1. 算力技术..... 9

 2. 智能化技术..... 14

 3. 通感融合技术..... 17

 4. 关键技术部署方案及建议..... 19

三、通感智算一体化无线网络应用案例..... 20

 （一）智能节能..... 20

 （二）智能编排..... 23

 （三）物理层智能..... 24

 （四）通感融合..... 26

 （五）智能超表面..... 27

四、未来推进计划..... 30

五、总结与展望..... 31

前 言

5G 使能的个人、行业和家庭应用正呈现爆发性增长。5G-A 将深化千行百业数智化转型，进一步提升网络能力、实现工业生产效率提升和高品质智慧服务；6G 将构建万物智联、数字孪生的全新世界，实现真实物理世界与虚拟数字世界的深度融合。当前数字化转型已逐步深入到生活的方方面面，产业数字化推动生产方式向更高质量、更加智能方向转变，数字技术支撑高精度、高可靠、准实时的信息传输以及与人工智能、大数据、云计算等新技术的融合应用，通信行业亟需打造新型数字信息基础设施，以适配业务发展需求。

中国联通全面承接新时代赋予的新使命，将“十四五”公司发展的定位明确为“数字信息基础设施运营服务国家队、网络强国数字中国智慧社会建设主力军、数字技术融合创新排头兵”。为全面建设广度、厚度、深度行业一流的智能化综合性数字信息基础设施，落实网络强国战略，满足业务应用“智慧化、沉浸化、全域化”的发展趋势，未来网络发展需将网络世界、数字世界与物理世界无缝融合，中国联通将把握数字化、网络化、智能化方向，构建“通感智算一体化”网络架构体系，实现“万物智联”。

中国联通于 2019 年首次提出了“弹性空口”无线技术综合演进方案，以提供差异化、面向应用、快速部署的整合能力为目标，推动 5G 无线技术演进和网络建设。2021 年中国联通在“弹性空口”基础上提出了 5G-A 无线技术演进方案“弹性空口 3.0”，提出将面向

2C 的尽力而为的无线网络打造成面向千行百业的确定性、定制化和智能化的无线网络。同年中国联通发布了“中国联通 6G 白皮书”，向业界阐述了中国联通在 6G 研究起步阶段，对下一代通信网络愿景、网络特征、网络需求和关键使能技术的初步观点，提出了联通的 6G 初步愿景：“智能、绿色、融合、弹性”。

本白皮书是对前期弹性空口方案和 6G 研究在通感、智能、算力方面的进一步深化，提出了更具体的无线网络演进方向和技术，即“6G 通感智算一体化无线网络”演进架构及技术方案，总结了中国联通面向 5G-A 及 6G 在智能节能、智能编排、RIS、通感等方面的多项技术试验及应用成果，在通信网络的各层面引入了感知、智能、算力能力，以实现“智能、融合、绿色、可信”的 6G 愿景，构建助力千行百业的数字化转型、智能化升级、融合化创新的新一代无线网络。

编写组成员（排名不分先后）：

李福昌、李露、马艳君、杨艳、刘秋妍、张涛、魏进武、李红五。

一、无线网络演进的新需求与新挑战

（一）业务发展趋势

人工智能、大数据等 IT 技术的发展催生行业领域丰富的新场景、新用例，感知“S”、计算“C”、智能“I”将是 5G-A 甚至 6G 新系统的重要技术组成，实现 ODICT 融合。IMT2020 已经明确 5G-A 六大应用场景：沉浸实时、智能上行、工业互联、通感一体、千亿物联、天地一体；ITU 在 IMT-2020 三大场景（Embb Urllc Mmtc）基础上深化，构建了扩展应用并赋予新能力的演进型场景，将增强型移动宽带扩展为沉浸式通信，同时拓展了泛在连接沉、智能融合和通信感知融合三大新型场景，最终形成 6G 六大应用场景，即沉浸式通信、极可靠和低延迟通信、大规模通信、泛在连接、通信智能融合、通信感知融合六大 6G 场景。

新型 6G 场景下的众多业务应用具有密集型计算、极致性能的特征，当前网络无法在高效地保障用户体验的情况下为网络自身和终端按需提供计算服务，此外算力能力将成为 6G 内生智能、感知等计算型服务的基础平台能力。因此网络架构向“通感智算一体化”方向演进是面向 6G 发展的必然趋势。

（二）技术发展趋势

当前 5G 网络不断向超上行、低时延、融合感知的方向持续演进，以满足实现大上行、低时延高可靠和高精度定位等面向行业的需求。

但 5G 网络架构、功能和参数复杂，面临高能耗、高成本、运维难的挑战；此外，随着 XR、V2X、工业互联网等新兴业务的兴起，对网络智能化、部署灵活性也提出更高要求，而传统无线网设备功能固化，无法满足多种业务形态下的差异化部署需求、无法满足能力开放需求。随着计算、大数据、AI 等技术的发展，6G 网络将向弹性、敏捷、定制化等多维能力融合网络演进。

基于未来业务发展趋势，6G 网络将实现全域融合和极致连接，为用户提供随愿按需定制的弹性开放服务，同时向智能原生、数字孪生、绿色共享、算网一体、安全可信等方向进行能力演进，以实现“智能、融合、绿色、可信”的 6G 愿景，通感智算一体化架构将是实现 6G 网络能力的基础：

- 通感：将物理世界感知加入通信网络是未来 6G 网络发展的趋势，6G 通感融合中需要打通感知和通信的关键指标、判别标准及关键技术，并以人工智能技术与感知高效重组和结合，提升智慧交通、智慧城市、智慧工厂等各项应用的能力。
- 智能：6G 智能化将从 AI 助力网络发展向网络为各项应用提供智能化服务方向演进，并且 6G 智能化具备智能内生和分布式智能化特点，移动通信网络不仅是传输管道，更要将智能服务所需的多维资源进行深度融合。

- 算力：算力与无线网深度融合是解决无线网络智能化需求、多维接入资源管理需求、网络敏捷和灵活性需求的基础，在向 6G 演进过程中，信息基础设施将从通信网络设备向算网一体设备转变，从而降低基础设施迭代更新成本、提高网络和硬件资源效能。

（三）主要演进挑战

传统无线网络专注于连接和管理，6G 通感智算一体化无线网络需要增加感知、智能、算力、数据处理、增强的安全等能力，这些能力如何与现有网络结合是极具挑战性的问题。同时，6G 通感智算一体化无线网络也要适应未来业务场景的多样化、DOICT 技术的融合、商业的极致性能、持续发展的社会责任等需求，复杂程度进一步增加。

现有 5G 网络不能满足通感智算一体化的高速、低延迟、高可靠性、多域数据融合等需求。现有 5G 网络通信协议的数据传输路径需要经过 CPU 和系统内存的多次拷贝，导致数据交换开销和延迟增加。现有 5G 的网络架构和拓扑结构不能适应网络感知、智能应用、算力调度的动态性、灵活性和自适应性。因此，6G 通感智算一体化网络的演进面临巨大挑战。

实现 6G 通感智算一体化网络在通感方面需要融合通信和感知两种典型功能，因此需要充分考虑核心网、空口等网元或者资源在感知和通信资源的业务化均衡。在空口方面比较典型的是如何采用合

适的波形、帧结构或者 MIMO 技术实现感知功能，尤其是在感知精度要求较高的情况下，存在感知精度提升的挑战。在网元和架构设置方面，需要综合考虑通信和感知需要的时延、业务处理能力等进行架构的合理化设置。

实现 6G 通感智算一体化网络在智能化方面面临数据采集、处理、存储的挑战，数据使用安全方面的挑战，模型训练算力资源不足的挑战，模型使用泛化性、稳定性的挑战等。另外，不同行业和场景中的智能服务对网络的需求千差万别，模型评估及智能化服务质量指标尚无成熟的量化评估方式，如何评估智能化服务质量也是一个重要挑战。

实现 6G 通感智算一体化网络在算力方面存在算力部署、感知、调度、编排、安全等问题，未来 6G 网络对算力需求巨大，多维算力资源广泛分布大量的异构网元节点中，在各个网元节点可能都有算力部署，因此如何高效利用算力资源以及分布式算力协同将是未来需要解决的问题。

二、通感智算一体化无线网络架构及关键技术

（一）通感智算一体化的网络架构

6G 网络将实现全域融合和极致连接，通感智算一体化架构将是

实现 6G 网络能力的基础。6G 通感智算一体化无线网络可划分为应用域、控制域、资源域、终端域四个层面，通过在各层面引入感知、智能、算力能力，构建面向通感智算一体化无线网络的全域智能架构。应用域主要指 OSS 网管侧的网络智能化应用，典型应用包括网络智能节能、智能定位、智能根因分析等。控制域主要从智能化网络资源管理的出发，包括通感融合的控制层面、意图解析等方面的技术及方案。资源域包括网络感知、基站算力及边缘云等，可实现高层 AI（通感融合、智能编排）、物理层 AI（编译码、信道估计、智能波束管理）、智能材料（智能超表面）等。终端域主要从无线网络和终端协同的角度出发，支持终端智能化、通感融合的实现，典型应用包括端网协同、环境感知、智能适配等。

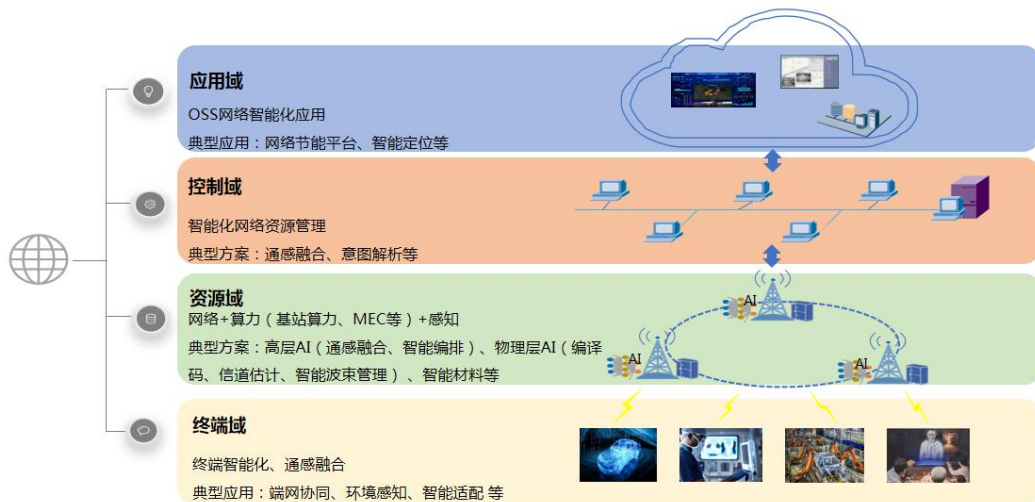


图 3-1 通感智算一体化无线网络架构图

（二）通感智算一体化的内在关系

6G 通感智算融合，即通过智能化技术，基于网络算力基础，利用移动通信设施感知未来物理世界，实现通信网络与感知网络协同，从而为用户提供更好、更智能的服务。在通感智算一体化网络中，算力将成为核心基础设施，为智能化、通感提供计算平台。AI 为无线网络的运行提供了许多潜在的功能增强，是无线网络发展的加速器。通感融合具备将通信、感知、算力等因素基因化再进行智能基因重组，实现智能化、融合化、低碳化、高效能化的全新无线架构，因此通信和感知一体化无线网络是未来网络发展的必要目标。

6G 通感智算一体化网络支持物理世界、算力和网络相互感知相互融合，对网络自身而言 2N（To Network）具备网络智能自治能力，下沉的算力资源可为 2B（To Businesses）用户提供更低时延、更高可靠的本地化服务，并能灵活地对 2C（To Customers）用户提供算力及智能化服务，实现算力资源、连接资源的合理分配。



图 3-2 通感智算一体化无线网络关系图

（三）通感智算一体化的关键技术

1. 算力技术

算力一般定义为设备通过处理数据，实现特定结果输出的计算能力，常用 FLOPS（Floating-point Operations Per Second）作为度量单位。数字经济时代，算力是多技术融合、多领域协同的重要载体，作为生产力支撑数字经济发展的坚实基础。算力发展历经三个阶段，早期单点式计算通过使用一台大型机或一台 PC 独立完成全部的计算任务使用；随着计算需求的增加，单点式计算逐渐呈现算力不足的趋势，出现了如网格计算等的分布式计算架构，分布式计算可将巨大的计算任务分解为很多的小型计算任务并交给不同的计算机完成；随着信息化和数字化的不断深入，引发了各行各业对算力的强烈需求，云计算技术应运而生。云计算技术可以看作分布式计算的新范式，其本质是将大量的零散算力资源进行打包、汇聚，实现更高可靠性、更高性能、更低成本的算力。

面向智算一体化的无线网络架构演进，算力基础设施将与基站基础设施深度融合，形成算力资源池，满足感知和智能化带来的大量计算需求。无线网络通过在算力上搭载智能化应用，实现对网络资源和性能的优化；算力编排中心通过对网络状态、能力、需求，以及算力分布的感知，实现算力资源的高效利用。

(1) 算力资源类型

算力通常分为两大类，即通用算力和专用算力。通用式计算类型多样，如 CPU；专用指计算类型单一，如 FPGA 或 ASIC。

CPU 中央处理器作为计算机系统的运算和控制核心，是信息处理、程序运行的最终执行单元，CPU 是对计算机的所有硬件资源（如存储器、输入输出单元）进行控制调配、执行通用运算的核心硬件单元。CPU 有大量的缓存和复杂的逻辑控制单元，其优点是非常擅长逻辑控制、串行的运算，缺点是不擅长复杂算法运算和处理并行重复的操作且功耗高。

GPU 图形处理器，又称显示核心、视觉处理器、显示芯片，是一种专门在个人电脑、工作站、游戏机和一些移动设备（如平板电脑、智能手机等）上做图像和图形相关运算工作的微处理器。其作为新型智能化算力，优点是提供了多核并行计算的基础结构，且核心数非常多，可以支撑大量数据的并行计算，拥有更高的浮点运算能力；缺点是管理控制能力弱，功耗高。

FPGA 是作为专用集成电路（ASIC）领域中的一种半定制电路而出现的，既解决了定制电路的不足，又克服了原有可编程器件门电路数有限的缺点。其优点是可以无限次编程，延时性比较低，同时拥有流水线并行和数据并行（GPU 只有数据并行）、实时性最强、

灵活性最高；缺点是开发难度大、只适合定点运算、价格比较昂贵。

ASIC，即专用集成电路，指应特定用户要求和特定电子系统的需要而设计、制造的集成电路。它作为集成电路技术与特定用户的整机或系统技术紧密结合的产物，与通用集成电路相比具有体积更小、重量更轻、功耗更低、可靠性提高、性能提高、保密性增强、成本降低等优点。缺点是灵活性不够，成本比 FPGA 贵。

在 6G 通感智算一体化网络中，不同的计算功能对算力的需求也不一样，例如物理层计算实时性要求高，采用 CPU 串行计算的方式就无法满足实时性需求；网络级智能化在网管层进行训练、推理，对算力要求高、对实时性要求低，采用 ASIC 进行计算灵活性差、算力受限且成本较高。因此在向通感智算一体化演进中，需要部署 CPU、GPU、ASIC 和 FPGA 等多维异构算力资源，实现算力和网络功能协同。

(2) 算力资源部署

无线网络算力呈现分布式部署趋势，基站、网管、MEC、核心网、数据中心等节点都可以部署算力，实现云边端多层次、立体泛在的分布式算力体系，满足中心级、边缘级和现场级的算力需求。当前在上述网元节点上已具备一些算力能力，随着通感智算一体化网络的不断演进和对算力需求的不断增高，各网元节点的算力将进

一步扩展。算力一般以计算的实时性需求为原则进行部署。根据实时性需求，分为非实时、近实时和实时，一般来说算力离基站越近，数据处理的实时性越好，可根据应用、业务和算法对时延的需求选择合适位置的算力节点。

非实时和近实时计算一般具有数据来源广泛、数据量庞大、计算量大，但网络参数调整间隔较大的特点，因此通常根据应用类型选择在网管、MEC、核心网或数据中心等较高节点按需部署通用算力，满足计算需求。例如网络级节能需要采集的数据包括一个区域内所有基站的 MR 数据、工参数据，更包括天气数据、环境数据等，作为模型训练的输入，因此一般部署在网管侧。

实时计算一般具有数据来源相对单一、数据量较小、计算量较小，但网络参数需要快速调整、计算时间速度快的特点，例如物理层 AI 应用，算力主要部署在基站。基站算力根据基站架构分两种情况采用不同算力类型部署，专用硬件架构基站，一般采用 CPU 叠加 GPU、ASIC、FPGA 等专用芯片进行部署；通用硬件架构基站在应对实时性要求高的计算时可采用 CPU 叠加 GPU、ASIC、FPGA 等专用芯片加速，实时性要求低的计算可通过叠加服务器的方式进行部署。

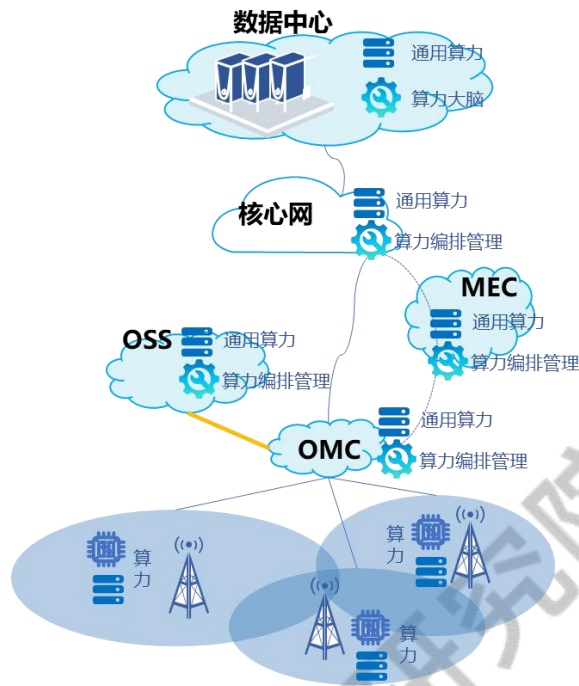


图 3-3 分布式算力部署示意图

(3) 算力资源感知

受限于网络架构、无线网设备体积、重量、成本等因素，在实际使用算力过程中可能会出现单点算力不足、其余节点算力冗余的情况。为突破单点算力瓶颈，提高算力资源利用率，可通过对算力资源进行智能感知，构建分布式算力资源池。算力感知使网络可以获得算力资源和算力服务的部署位置、实时状态、负载信息、业务需求等要素，通过对算力的量化度量和标识，使网络获取目标算力服务、算力需求等信息，从而通过算力编排管理实现泛在算力共享和算力资源统一编排的目的。

(4) 算力资源管理

为高效地整合网络内外的各类算力资源，实现算力资源的统一管理、按需分配，一般通过算力注册、算力编排和算力维护几方面进行管理。

算力注册是对算力节点的注册、更新和注销，通过对包含算力的网络节点的进行注册，算力管理中心将获知算力节点设备类型、芯片类型、存储资源等信息，同时定期更新算力资源信息，并对不继续共享算力进行注销。

算力编排是根据业务节点、业务请求、业务时延需求等因素，综合考虑冗余算力节点区域、算力资源类型、算力能力等，进行灵活调度，从而输出最优算力资源服务策略和最优算力服务质量。

算力维护类似于网管，专门对算力资源进行维护和运营，主要包括计算性能监控、算力资源故障监测两个方面。性能监控方面，主要评估算力节点状态或性能是否满足当前业务需要，保障最优算力服务质量；故障监测方面，评估算力节点状态，若发现节点故障则迅速切换到新的算力节点，保证用户体验。

2. 智能化技术

人工智能为 5G 和 6G 无线网络的运行提供了许多潜在的功能增强，是无线网络发展的加速器。基于图 3-1 应用域、控制域、资源

域及终端域的架构来看，目前，无线网络智能化主要在网管侧应用域实现，如智能节能、故障根因分析等。控制域的意图解析等还在探索阶段。资源域的高层 AI，如智能编排等已进行部分商用部署；物理层 AI、智能材料 RIS 等受算力及效果的限制，还处于研究探索阶段。下面将从技术演进及模型分级部署两方面介绍网络智能化演进情况。

➤ 网络智能化技术演进特征

随着无线网络的演进，智能化的发展将从 AI for NET 到 NET for AI 的阶段转变，要求移动通信网络不仅是传输管道，更要将智能服务所需的多维资源与网络功能、协议和流程进行深度融合设计。

到 6G 阶段无线网络将向智能内生方向演进，在网络架构内部提供数据采集、数据预处理、模型训练、模型推理等 AI 工作流全生命周期的运行和管理，将 AI 服务所需的算力、数据、算法、连接与网络功能、协议和流程进行深度融合设计，支持将 AI 能力按需编排，为高水平网络自治和多样化业务需求提供智能化所需的基础能力。

6G 无线网络将向云化与分布式的发展方向，需要考虑分布式网元节点间多维异构资源的协调以及智能服务对性能的差异化需求。6G 网络中智能服务的质量，需要综合考虑智能服务对通信、计算、数据和存储资源的不同需求。

➤ 网络智能化模型分级部署

从网络智能化实现及部署的角度来看，现阶段可将 AI 简单分为模型训练和模型推理功能，根据 AI 所处位置不同，以及所拥有的算力能力不同，适用于不同的应用案例和场景。

目前 5G 基站侧只支持小模型的推理，随着基站算力的增强、基站云化技术的应用，到 6G 阶段，基站将支持智能内生，可进行小规模 AI 训练和 AI 推理能力，其他大中型模型根据场景需求可分别部署在 MEC 或 OSS。

在网管应用域网管设备已为通用服务器，可扩展性强，数据采集>15min 时延，支持非实时智能化预测分析，具备大模型训练能力。在边缘云资源域层面 MEC 为通用服务器，部署位置更靠近基站，支持近实时（>1s）智能化预测分析，具备中模型训练能力，支持大中模型推理。

在基站设备层面，如站点机房级可支持部署云化或中心 BBU，为通用服务器或定制化 AI 加速芯片的异构资源，支持实时智能化预测分析。但基站算力资源有限，只具备小模型训练及小、中模型推理能力。

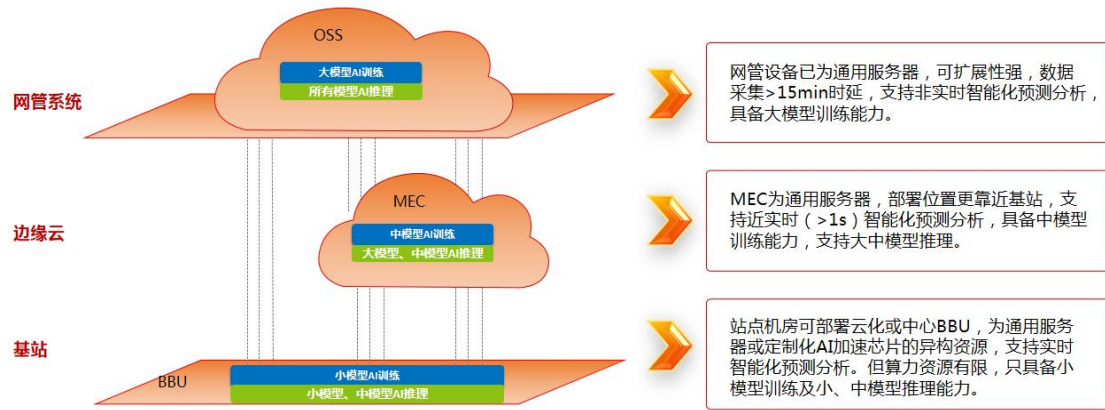


图 3-4 分级智能化部署示意图

3. 通感融合技术

基于感知与通信具备相类似的网络架构和频段，通感融合具备将通信、感知、算力等因素基因化再进行智能基因重组，实现智能化、融合化、低碳化、高效能化的全新无线架构。因此通信和感知一体化无线网络是未来网络发展的必要目标。通感融合不能仅考虑通信的指标，还需要考虑感知的指标。因此在6G通感融合中，需要打造通感融合的基因工程，通过打通感知、通信的关键指标、判别标准和关键技术，并以AI/ML等智能化技术进行多维基因片段的高效重组和结合，实现最佳最平衡的通感融合系统。通信和感知一体化是一个循序渐进的过程，内部需要研究的内容很丰富，但是可以有效地提升通信的质量，也可以实现无接触感知，是未来一个比较有潜力的发展场景，需从架构、关键技术和评价指标等进行全方面研究，通感融合将面临来自场景需求、政策和技术等多个方面的影响，但是其对资源的深度集成化，极大地节省了部署成本，因此未

来的通感一体技术构建一个开放的、互助的良性发展的全行业生态圈。

从通信与感知融合的阶段来看，可以分为 2 个阶段：5G-A 阶段和 6G 阶段，两个阶段将对通感智算一体化架构都有较大的差异性。5G-A 阶段主要考虑与现在 5G 网络的协调性，需要考虑网络架构的向下兼容性。6G 阶段更多的是考虑新技术、新业务的融入，进行新架构的开发或者原有架构的深度调整。下面对面向通感发展的业务和功能进行详细的介绍：

5G-A 阶段，主要考虑的是使用 5G 服务感知的阶段，也就是“5G for 感知”。在这个阶段主要实现使用复用 5G 架构和低粒度的修订网元实现感知的功能，而并不会过度要求实现感知对通信的优化。这个阶段，通信、感知、算力、智能化的关系可以归纳如下：通信辅助感知，实现一机多用；算力作为感知处理的基础，高效协同感知处理资源；智能化作为融合的初步引擎，实现高精度感知。

6G 阶段：这个阶段又称为“感知 for 通信”。考虑进行高精度感知的情况下，同时考虑使用感知进行通信性能的提升，在这个阶段通感、智能和算力将是一种强力融合的阶段，业务的耦合化和技术的深度内生加持将成为通信感知融合的特色。通信、感知、算力、智能化的关系可以归纳如下：实现一机多用，精细化的感知辅助高效能的通信，实现无线资源的合理调度；算力作为通信和感知协

同的底座，实现分布式、高效化、低时延的通感融合网络；智能化作为内生网络的大脑，实现高质量通信与感知。

在技术上，5G-A 和 6G 也有较大的差异。在 5G 阶段，在架构上复用 5G-A 架构，信号上则尽量使用现有的型号，原则上不再进行新波形的引入。在 6G 阶段，由于通感作为 6G 典型特征，在架构设计之初就会从波形设计（基于 OFDM, LFM 和 OTFS 的波形等）、AI 内生、空间 MIMO 等多个方面开展研究和部署。展开来说，6G 可以分为如下几个关键研究方向：1）感知信号发送：兼顾感知性能和通信资源开销，需要从时、频、空等多域联合设计感知波形。2）感知信号检测：感知回波信号 RVA 谱检测与估计，目标检测和识别等。3）感知数据处理：需要利用 AI 技术融合多传感器数据融，实现机动车、非机动车、行人的精准分类，轨迹跟踪等。4）组网干扰协同：多站联合以实现目标连续感知，达成相比单站更优的感知性能，同时考虑站间收发信号干扰，需要从时、频、空、功四域联合协同。

4. 关键技术部署方案及建议

通感智算一体化网络可根据算力及实时性需求分级部署应用，物理层应用的 AI 推理主要部署在基站，网络级节能、根因分析等网络运维相关应用主要部署在网管，其他应用根据实际需求部署智能训练和推理模块。

基站侧算力为固定功能预留算力保证基站性能，并可通过私有

协议支持多小区算力协同，通过优化设计可支持专用芯片、通用芯片的扩展，基站算力将向云化方向发展，未来基站侧的算力也将更灵活。基站侧支持实时智能化应用的部署，具备小模型、中模型的推理能力。边缘云算力已云化，部署位置靠近基站，可实现近实时的应用，具备中模型的智能模型训练能力和大模型的推理能力。网管侧和核心网也是云化算力，具备大型智能模型训练能力，需支持异厂家算力协同，但实时性上受限，只支持非实时的智能化应用部署。

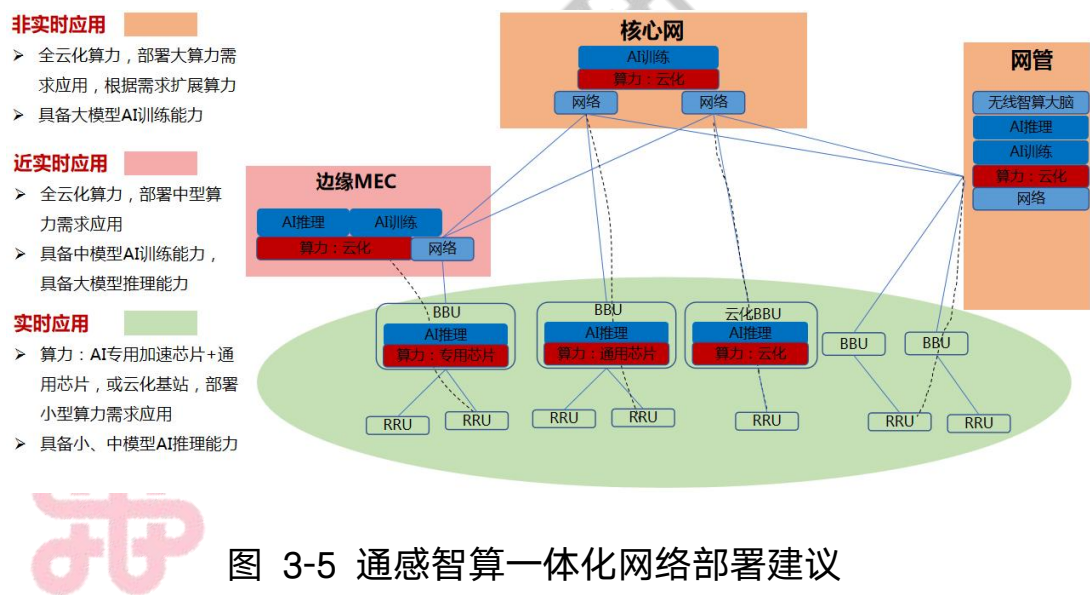


图 3-5 通感智算一体化网络部署建议

三、通感智算一体化无线网络应用案例

（一）智能节能

随着移动通信网络建设规模逐年增加，通信设备对能源的需求

与日俱增。5G 单站功耗是 4G 单站功耗的 3.5~4.5 倍，运营商面临基站设备能耗大幅增加 OPEX 费用的运营压力。未来的 6G 系统将极大增强与扩展移动通信系统的应用，对传输速率、广域覆盖、连接密度的要求迅猛增长，6G 系统将采用更高的频谱、更复杂的系统及技术，通信设备对能源的需求俱增。因此，无线网络的智能节能对降低 5G 网络运营成本，以及未来 6G 网络的节能设计具有重要意义。运营商需持续深入研究智能节能技术，并快速应用推广，不断降低基站能耗水平和网络运营成本。

未来 6G 智能节能方案需在通感智算一体化的架构下实现，结合人工智能、大数据等技术，实时感知用户的情况及业务的需求，利用网络算力资源，训练智能节能模型，推导出精准匹配每个小区的节能策略，突破传统节能方案中管理难度高、节能效果欠佳的瓶颈，从器件级、设备级、网络级等层面实现不同的技术方案，在保障用户业务体验的同时，可以采用器件/模块关断、业务调度、网间协作等方案来降低基站设备能耗。

网络智能节能方案将打破基础设施数字化孤岛，实现网络能耗数据实时、高精度采集能力，支持灵活的电源、备电等机房基础资源智能化管控。同时，节能方案包括网络级节能策略、站点级节能策略、设备级节能策略，可实现多制式网络智能协同、“一站一策”差异化节能调度，达到“用户无感知、网络高能效、运维低成本”

的目标。

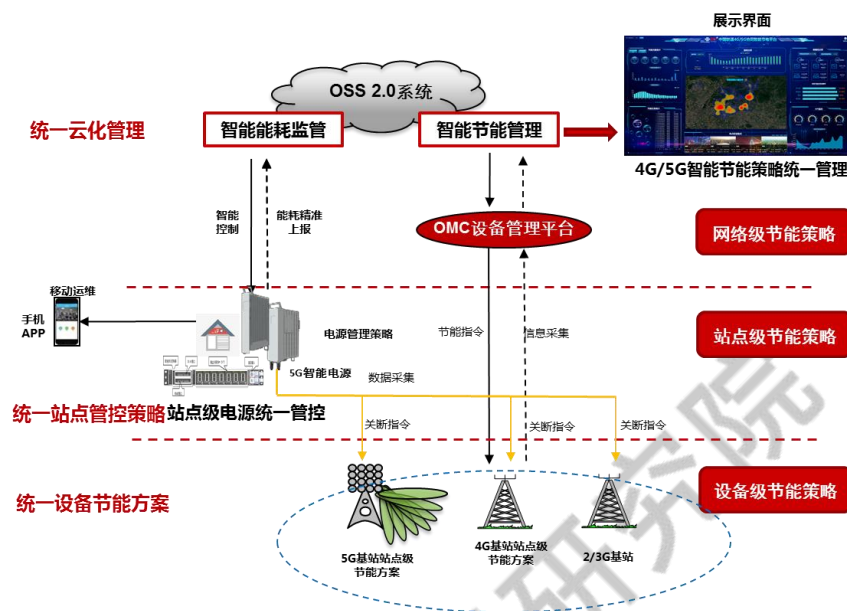


图 4-1 智能节能整体方案

➤ 网络级节能策略

通过构建统一云化管理平台，实现网络资源集中化、智能化管理，达到无线网络基站设备智能化、精细化、规模化节能管理目标。

➤ 站点级节能策略

构建统一站点资源管理平台，实现站点资源可视化、远程智能管理，实现对网络基础设施，如电源、备电等系统按照多种系统制式的智能化管控，支持功耗数据精确采集上报、支持电源按系统制式和设备类型的分路智能供电等功能。

➤ 设备级节能策略

构建统一设备节能策略，实现大规模站点能耗的智能管理。支持对基站 AAU/RRU 等设备节能控制功能，支持符号关断、载波关断等节能特性。

（二）智能编排

6G 将是一个多元化的网络，网络层面，组网更多、频段更复杂，且可能需要与 5G/4G 多个频段密切协同；业务层面，应用场景更多且需求差异巨大，对网络提出更多的特性需求和挑战；终端层面，5G 终端已需要支持 7 模，6G 时代终端更复杂，且行业应用催生出众多定制化终端。因此 6G 网络将更加复杂，繁杂且多样化的终端和业务，组合出的目标体验和传统的网络资源分配模式之间存在巨大的“剪刀差”。传统以“网络为中心”的策略是基于小区参数的基线，以满足统计意义上的小区级 KPI 为目标；承载在相同承载中的不同数据业务没有被区别对待，无法精准匹配用户业务体验的真实需求。网络能力从“尽力而为”向“确定性”转变。

无线网智能编排应用以用户感知为驱动力，依托面向 6G 的内生智能，通过智能化的手段，实现灵活的网络资源配置编排管理策略，来为不同业务提供确定性的精准服务，从而保障差异化的用户体验。

在该应用案例中，一方面通过在给定网络服务能力下求取用户体验最优解实现用户编排；另一方面通过在话务的特定时空分布下求取网络服务能力最优解实现网络编排。

部署的算力类型可以包括三部分。一是基带板卡上原生算力，一般是 CPU 通用算力；二是根据在基站上部署增强算力，即在基站上通过增加额外算力提供更高计算能力，可以是专用算力板卡，例如 CPU+GPU、ASIC 等，也可以是通用算力，如增加 x86 或 ARM 架构服务器；三是泛在算力，这里专指基站以外的算力，可以是通用算力或专用算力板卡，可通过统一算力管理调度进行使用。

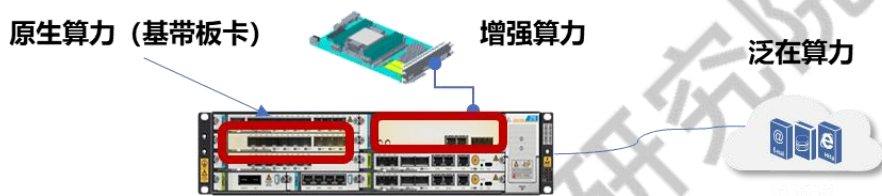


图 4-2 智能编排应用案例算力分布图

（三）物理层智能

物理层智能化应用是 6G 内生智能的主要研究方向，基于物理信道相关的信息对于物理层功能（如信道编码调制、波形、多址、多天线 MIMO、接收机算法等）进行增强。由于当前通信网络应用范围广、场景丰富、业务种类繁多，再加之信道的快速变化以及小区内和小区间干扰的存在，使用传统方案实现稳定精确的信道估计很困难，因此在传统物理层技术的基础上引入智能化，可以更全面的把握无线信道的特征和变化趋势，从而提升物理层性能。

物理层 AI 由于其实时性要求高，因此作为内生智能应用被看作是面向 6G 演进的重要方向，业界目前还属于研究阶段。对于物理层

AI 的技术方案，一般属于各设备厂商实现范畴，目前有两种实现潜在方案。一是使用智能化技术对某一个或几个物理层功能进行替代，例如 CSI 反馈、信道估计模块分别用 AI 算法实现；二是物理层功能全部用 AI 实现，不再区分具体功能，在这种情况下，从基站接收到解码的中间过程全部通过 AI 实现，AI 模块相当于一个黑盒，只有输入和输出。

物理层功能对实时性要求高，首选专用硬件实现，也可采用 CPU+GPU 结合的方式。其中专用硬件方面，FPGA、ASIC 或 ASIC+GPU 等专用硬件，在未来几年随着制程进一步微缩至 2nm，以及小芯片堆叠（chiplet）技术的发展，仍然是高性能算力的代表；此外，GPU 有成为潜在主流 AI 算力的趋势，但目前在 GPU 上实现物理层功能设计较复杂。

在算力部署方面，目前有两种潜在部署方式。一是基站侧部署，即算力全部部署在基站内，在基站完成数据采集、训练、推理等全部功能；二是基站和云端分布式部署，即算力分别在基站和云端（网管、边缘、核心网、数据中心）部署，基站内实现数据采集、推理功能，云端实现训练功能。

未来，在引入物理层 AI 后，还需要评估“投入产出比”，即采用物理层 AI 后所消耗的硬件资源、算力成本是否带来较高的性能收益，我们预期，在物理层 AI 激活场景下，网络性能相比未激活时应

有较大幅度提升才可建议应用。

（四）通感融合

在通感融合/一体化无线网络架构设计中，需要按照不同的部署阶段开展通感无线架构和面向应用场景的介绍。下面从不同阶段的部署用例、架构需求、战略情况等对应用场景进行了介绍。

5G-A 阶段是通过现有的通信设施或者网络进行感知，在这种场景可以认为是使用或者让渡出通信的资源进行感知服务，是一种通信网络的感知业务保障场景，如下图所示。

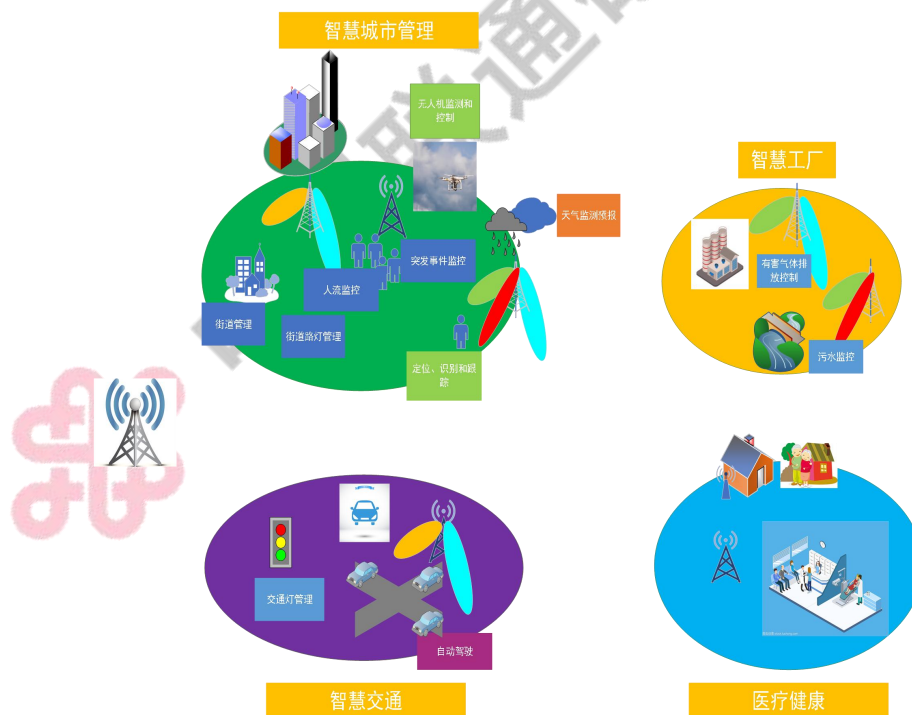


图 4-3 5G-A 通感融合典型的场景

在 6G 阶段在感知精度提升的基础上，开展感知辅助通信业务，

这是将感知获得的信息进行处理后，进一步优化基站性能，可以认为是基于感知的无线网络智能化调整。目前主要的应用场景有波束管理、功率控制、资源智能化协调和网络优化等方法，下图给出了一些应用的示意图。

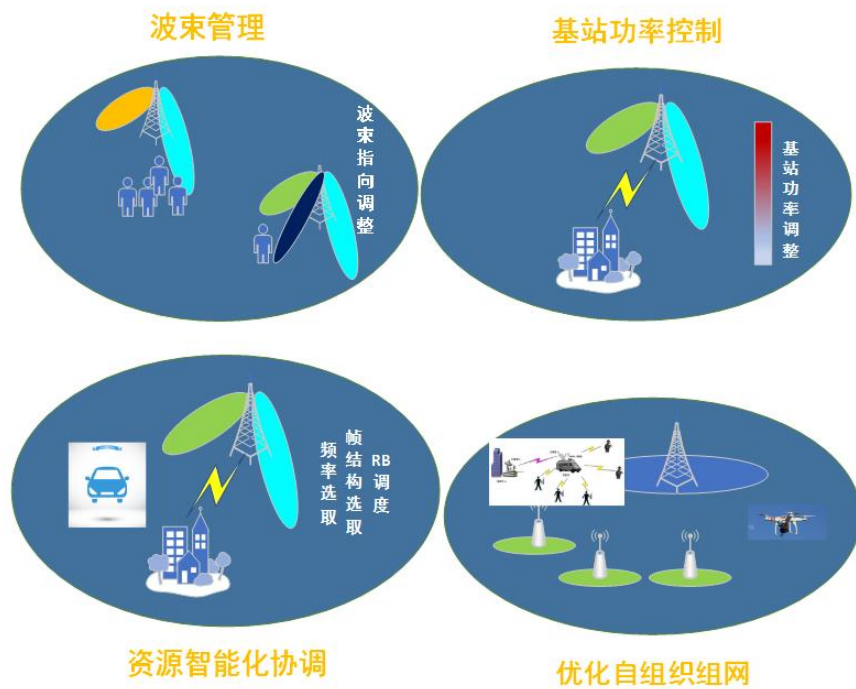


图 4-4 6G 通感融合典型的场景

（五）智能超表面

智能超表面（Reconfigurable Intelligent Surface, RIS）由大量精心设计的电磁单元排列组成，通过给电磁单元上的可调元件施加控制信号，可以动态地控制这些电磁单元的电磁性质，进而实现以可编程的方式对空间电磁波进行主动的智能调控，形成幅度、相位、极化和频率可控制的电磁场。RIS 的引入，使得无线传播环境

从被动适应变为主动可控，进而实现无线环境的智能构建。另外，由于 RIS 采用少量有源器件甚至全无源器件的设计理念，无论是成本还是功耗都较全栈基站低一个数量级，并且通过采用超材料及可拼接部署方式，智能超表面设备在低成本、低功耗、低复杂度和易部署方面具有一定优势，有机会解决未来移动通信网络发展面临的需求与挑战。

在辅助移动通信网络组网方面，智能超表面既可以部署在收发端侧也可以部署在信道侧。在收发端侧，基于智能超表面架构简化收发信机设计，通过结合时空编码技术，智能超表面集能量辐射和信息调制功能于一体，动态调控电波传播方向和谐波能量分布，将信息调制到不同的频率、相位、幅度、空间资源，实现低成本和低复杂度的空分或频分等复用机制，如图所示。在基于智能超表面架构简化收发信机设计中，智能超表面是收发信机的核心功能单元之一，因此，调控智能超表面所需的信道估计、波束赋形等核心算法及其所需的算力资源可与收发设备共同。



图 4-5 基于 RIS 架构的收发信机设计

在信道侧，智能超表面作为一种低成本低功耗的信道环境调控

节点，可针对移动网络覆盖补盲、多流增速等深度覆盖需求，部署在基站与覆盖盲区之间，通过智能超表面按需构造非视距反射路径或改变电磁波透射特性，可有效解决由于障碍物遮挡产生的室内/外盲区问题，提升室外宏站穿透玻璃覆盖室内的网络质量，改善小区边缘用户富散射环境，提高小区边缘用户传输性能，以低成本低功耗方式实现深度覆盖和提速扩容。在信道侧部署智能超表面的应用场景中，依据智能超表面类型和标准化程度不同可以分为有源 RIS、5G 阶段非标无源 RIS 和未来 6G 阶段标准化无源 RIS 等几种情况，如有源 RIS 自身具备信道估计能力，可采取将信道估计和波束赋形所需的算力资源与有源 RIS 一体化部署的方案；针对无源 RIS，在 5G 阶段，需要通过非标辅助装置实现信道估计和波束赋形算法并集成所需的算力资源，该辅助装置既可以部署在基站侧也可以与 RIS 采用一体化集成部署，在未来 6G 阶段，可以考虑通过标准化方式，为智能超表面配置标准化 UE 能力接收基站控制消息，以实现 RIS 动态按需的波束调控能力，为了进一步降低 RIS 成本，建议优先考虑在基站侧实现信道估计和波束赋形算法并集成部署所需的算力资源，RIS 侧可以采用轻量化方式实现信道估计和波束赋形算法并部署所需的部分算力资源。

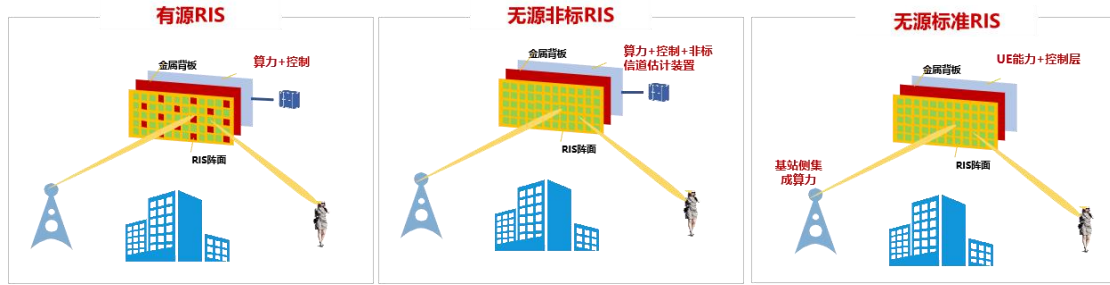


图 4-6 基于 RIS 的信道侧部署架构

四、未来推进计划

未来无线网络将向通感智算一体化的方向发展，基站侧的算力将从堆叠芯片式算向异构融合算力，再到云化算力的方向的发展，对外提供灵活的算力服务；基站智能将从支持智能推理向支持小规模智能训练方向演进，最后实现智能内生；通感方面将从 5G-A 向 6G 演进，推动相关标准化及试商用。针对通感智算一体化无线网络的研究，中国联通制定了 2023~2030 三阶段推进计划。

➤ 2023~2025 年

- ✓ 堆叠式算力：RAN 通过采用 ASIC 定制智能芯片叠加方式增加算力。
- ✓ 智能推理：RAN 部署低算力智能推理模型。
- ✓ 5G-A 通感算架构研究：开展 5G-A 通感算融合的无线空口架构研究，开发通感样机并进行试验验证。

➤ 2025～2027 年

- ✓ 融合算力：采用通用 CPU、GPU 等芯片，实现部分云化。
- ✓ 智能推理+小模型训练：RAN 具备中等算力，实现大部分网络自治智能应用。
- ✓ 6G 通感智算架构研究及试验：开展 6G 通感智算融合的无线空口架构研究，形成样机的指导建议，进行 1—2 个典型场景试验验证。

➤ 2027～2030 年

- ✓ 云化算力：RAN 实现全云化基站，异厂家算力资源灵活调度编排。
- ✓ 算力开放：基站对外开放部分算力能力。
- ✓ 智能内生：RAN 实现智能内生，对外提供通感智算一体化服务。
- ✓ 关键技术标准化：推进 6G 通感智算关键技术研究，推进标准化和试商用。

五、总结与展望

随着数字化进程加速，一场以新基建为核心的数字化转型正在影响整个社会，大数据、云计算和人工智能等新一代数字技术的发

展正在为各个实体经济、传统产业提供支持，推进社会向全方位的产业数字化转型。新的产业、新的服务模式，包括沉浸式 XR、全息远程呈现、交互型 3D 虚拟数字人、协作机器人、无人驾驶、多感官互联及元宇宙在内的未来新业务，对通信、感知、计算和智能都提出了高要求。

面对新机遇，中国联通将基于通感智算一体化无线网络理念及架构，研究通感、智、算各层面的关键技术，开展相关技术方案的试验验证，牵引产业链发展，加强生态合作，打造面向 5G-A/6G 的下一代无线网络，满足千行百业对网络的差异化体验需求。



六、参考文献

- [1] 中国信息通信研究院, 中国算力白皮书, 2022.7.
- [2] IMT-2030 (6G) 推进组, 无线 AI 技术研究报告, 2021.9.
- [3] IMT-2030 (6G) 推进组, 无线 AI 技术研究报告 (第二版), 2022.11.
- [4] 詹勇, 顾军, 唐雪. 面向 5G 的智能网络编排方案, 信息技术, 2021.
- [5] H. Viswanathan and P. E. Mogensen "Communications in the 6G era" IEEE Access vol. 8 pp. 57063-57074 2020.
- [6] B. Aazhang P. Ahokangas and L. Lovén Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous intelligence Oulu Finland Sep. 2019.
- [7] K. B. Letaief W. Chen Y. Shi J. Zhang and Y.-J.-A. Zhang "The roadmap to 6G: AI empowered wireless networks" IEEE Commun. Mag. vol. 57 no. 8 pp. 84-90 Aug. 2019.
- [8] J. A. Zhang et al., "Enabling Joint Communication and Radar Sensing in Mobile Networks -A Survey," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, doi: 10.1109/COMST.2021.3122519.
- [9] M. L. Rahman J. A. Zhang X. Huang Y. J. Guo and R. W.

Heath "Framework for a perceptive mobile network using joint communication and radar sensing" IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. vol. 56 no. 3 pp. 1926-1941 Jun. 2020.

[10] 智能超表面技术联盟（RISTA），智能超表面技术白皮书，2023.2.

[11] L. Zhang, M. Z. Chen, W. Tang, J. Y. Dai, L. Miao, X. Y. Zhou, S. Jin, Q. Cheng, T. J. Cui, A wireless communication scheme based on space- and frequency-division multiplexing using digital metasurfaces. Nature Electronics, 2021, 4 (3), 218-227.

[12] 程强，崔铁军.电磁超材料，东南大学出版社，2022，南京。



中国联通研究院是根植于联通集团（中国联通直属二级机构），服务于国家战略、行业发展、企业生产的战略决策参谋者、技术发展引领者、产业发展的助推者，是原创技术策源地主力军和数字技术融合创新排头兵。联通研究院以做深大联接、做强大计算、做活大数据、做优大应用、做精大安全为己任，按照 4+1+X 研发布局，开展面向 CUBE-Net 3.0 新一代网络、大数据赋能运营、端网边业协同创新、网络与信息安全等方向的前沿技术研发，承担高质量决策报告研究和专精特新核心技术攻关，致力于成为服务国家发展的高端智库、代表行业产业的发言人、助推数字化转型的参谋部，多方位参与网络强国、数字中国、智慧社会建设。联通研究院现有员工近 700 人，平均年龄 36 岁，85% 以上为硕士、博士研究生，以“三度三有”企业文化为根基，发展成为一支高素质、高活力、专业化、具有行业影响力的人才队

战略决策的参谋者 技术发展的引领者 产业发展的助推者

态度、速度、气度

有情怀、有格局、有担当

中国联合网络通信有限公司研究院

地址：北京市亦庄经济技术开发区北环东路 1 号

电话：010-87926100

邮编：100176



中国联通研究院



中国联通泛终端技术

中国联合网络通信有限公司研究院

地址：北京市亦庄经济技术开发区北环东路 1 号

电话：010-87926100