

面向6G典型场景的无线系统研究



6G Wireless System Research Towards Typical Scenarios

王志勤/WANG Zhiqin, 杜滢/DU Ying, 沈霞/SHEN Xia,
焦慧颖/JIAO Huiying

(中国信息通信研究院, 中国北京 100083)
(China Academy of Information and Communication Technology, Beijing
100083, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202404010

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20240724.1128.010.html>

网络出版日期: 2024-07-24

收稿日期: 2024-06-12

摘要: 6G无线系统作为6G系统的重要组成部分,其设计和关键技术的选择将直接影响通信、智能、感知、计算等多个维度的性能。预计6G系统设计将以沉浸宽带通信为基础,支持人工智能和通信融合、通信和通感一体化、泛在连接场景,并可与5G配合,全面支持物联网应用。针对这些典型场景,分析6G无线系统需要重点研究的技术要素。

关键词: 6G; 智能; 感知; 通信

Abstract: As the important part of 6G networks, 6G radio access network design and key technologies selection will directly affect performance of multiple dimensions such as communication, intelligence, sensing, and computing. It is expected that the 6G system will be designed based on immersive communication, supporting artificial intelligence and communication, integrated sensing and communication, and ubiquitous connectivity, and furthermore can combine with 5G to fully support IoT applications. The design roadmap and key technical elements are analyzed that need to be studied for the wireless system to support 6G typical scenarios.

Keywords: 6G; intelligence; sensing; communication

引用格式: 王志勤, 杜滢, 沈霞, 等. 面向6G典型场景的无线系统研究 [J]. 中兴通讯技术, 2024, 30(4): 65-68. DOI: 10.12142/ZTETJ.202404010

Citation: WANG Z Q, DU Y, SHEN X, et al. 6G Wireless system research towards typical scenarios [J]. ZTE technology journal, 2024, 30(4): 65-68. DOI: 10.12142/ZTETJ.202404010

6G作为新一代智能化综合性数字信息基础设施,具备泛在互联、普惠智能、多维感知、全域覆盖、绿色低碳、安全可靠等典型特征,可实现普惠智能、通信感知一体化、空天地立体覆盖的能力拓展^[1]。

1 6G整体发展

2023年6月,国际电信联盟(ITU)发布《IMT面向2030及未来发展的框架和总体目标建议书》,指出:6G将在5G三大场景基础上增强和扩展,包含沉浸式通信、超大规模连接、极高可靠低时延、人工智能(AI)与通信、感知与通信一体化、泛在连接六大场景。负责6G标准的国际标准组织第3代合作伙伴计划(3GPP)已确定6G标准化的主要时间点:将于2024年底启动6G业务场景研究,于2025年启动6G技术预研,以研究形成6G系统总体框架,并在2027年启动6G标准制订。

6G系统将成为提供新通信、计算、智能、感知、数据

等能力的服务平台,提供连接和超越连接的服务。其中,6G无线系统需要提供超越通信边界的性能、智能多样灵活的无线功能,并支撑新的应用生态和发展需求,其设计至关重要^[2]。

业界广泛认为,6G将使用低中高的频谱资源,以实现全方位的6G业务体验。3GPP正在开展新频段的传播特征研究(如6~24 GHz),为6G技术研究和未来网络部署提供更多可能的候选频谱。6G无线系统将以沉浸通信场景为基础,有望率先支持人工智能与通信、通信和通感一体化、泛在连接场景,并可与5G配合,全面支持物联网应用。

2 人工智能和通信融合

面向6G,人工智能技术可以与系统的方方面面进行深度融合并发挥重要影响。面向无线系统侧,主要包含两个方面:AI4Net和Net4AI。其中,AI4Net利用AI优化无线接入网(RAN)的性能和效率;Net4AI是指RAN为AI应用和智

能体提供高效服务，如连接服务质量（QoS）保障、数据安全隐私保护机制等，并最终实现利用RAN内的连接、计算、数据和算法等资源对内对外提供AI即服务（AIaaS）能力。

人工智能和通信融合将影响6G无线系统设计的多个方面。首先，6G支持原生智能，人工智能/机器学习的数据采集、模型训练、模型分发等功能将被纳入6G无线系统内部。RAN架构需要考虑在线学习、联邦学习、迁移学习等分布式人工智能部署需求，最终形成人工智能功能模块定义、RAN新架构和协议栈设计。其次，人工智能的引入将提升多个用例下系统/模块性能、降低空口开销等，但同时也会带来模型、数据等开销。系统设计时需平衡两者性能。最后，人工智能在可解释性、泛化能力等方面仍存在问题，需要设计AI性能监测机制，而6G仍需支持非智能化的通信模式，这需要在系统总体设计中兼顾。

在无线系统设计方面，需要重点考虑以下几个要素：

2.1 支持分布式和集中式AI的融合架构

6G系统需基于不同的AI业务需求，通过控制信令的方式，实时地协同多节点和四要素资源（算力、算法、数据、模型），进而保障AI业务的QoS需求。RAN域内多节点/网元之间支持联邦学习、拆分学习、迁移学习、联合推理等分布式AI框架。灵活的节点/网元调度算法以及高效的空口传输机制，在提升频谱资源利用效率的同时，保证AI服务的质量，并进一步保护数据隐私和安全。例如，相对于5G以系统为中心的AI架构，6G“端网协同”更能够充分利用端侧的算力、数据等优势，支持端侧个性化模型以及网络和终端联合的AI任务，从而提升整网的AI性能。

2.2 融合的生命周期管理机制

针对AI4NET和NET4AI，虽然不同AI用例的执行过程各不相同，但其生命周期过程是类似的，都包括数据收集、模型训练、模型传递、模型注册、模型配置/激活/去激活、模型推理、模型监控、模型调整等逻辑功能。因此需要研究设计融合的生命周期管理机制，以降低系统复杂度。

2.3 通智算协同

在架构层面需原生支持网内分布式计算资源之间的发现、感知和控制，实现分布式计算资源功能的共享协同，来支持复杂计算任务的执行，并应对移动性带来的计算任务动态迁移等挑战。是否需要在RAN侧为终端提供动态的计算服务，以及从功能、接口协议等角度如何提供该类计算服务，都需要进一步研究。此外，考虑到RAN是否能处理应用数据，可采用边缘计算单元的架构来实现无线系统的计算

能力。

2.4 数据收集和数据服务等原生数据能力

原生数据能力既要保障数据的安全和隐私，也要提升数据收集、传输和存储等的效率，提升数据共享复用度。这里的数据包括通信连接服务运营过程中终端、无线接入网、核心网和网络管理功能等产生的数据（面向传统通信业务类型），也包括感知和AI等新业务服务运营过程中产生的新类型数据，以及移动系统从第三方获取的可共享数据。终端/接入网/核心网定义数据收集功能，支持所需数据到源数据的映射，并按需生成和收集数据。经过数据压缩、数据存储、数据传输、数据处理后，为网元提供数据服务。

3 通信感知一体化

通感一体化关键技术研究涉及无线空口、系统架构、硬件架构等方面，相关设计与感知模式和感知服务相关。在感知模式方面，预计6G从第一版本开始将支持多种模式的灵活选择，如基站（BS）自发自收、BS发BS收、BS发终端（UE）收、UE自发自收、多基站协同感知等；支持多种模式下的感知数据测量和处理，并提供业务连续性和一致性保障机制。在感知服务方面，支持感知导航、模式识别、成像、重构类、多模感知数据利用和管理、AI和感知融合，以及感知辅助通信等服务。

3.1 通感一体化无线空口技术

无线空口技术包括了通感一体化波形设计、感知频段设计、感知模式帧结构设计、感知信号设计、资源分配和无线感知流程设计等。例如：在波形方面，研究正交频分复用（OFDM）为主、结合雷达波形的融合波形方案，以满足更远距离感知需求；在感知频段方面，探索低频、高频以及太赫兹不同频段的能力特性，通过多频段通感一体化融合，满足不同业务的感知精度和分辨率需求；在感知模式方面，针对场景和感知设备部署方式，确定支持的基站感知和终端感知模式，作为空口协议设计参考。

空口通感一体化帧结构设计、感知信号设计、资源分配和无线感知流程的研究，与通感一体化波形设计、感知频段和感知模式密切相关。帧结构设计重点考虑物理帧中感知占用的时间资源，并且结合组网中感知与通信、感知与感知之间干扰，设计相应的保护间隔。感知信号设计研究复用通信参考信号，或使用独立的感知信号（涉及感知信号的序列和信号生成方式）。资源分配则在通信资源和感知资源通过时分、频分、空分或者码分复用基础上，合理调度通感资源满

足通信和感知性能需求。无线感知流程则包含感知能力上报、通感资源配置、感知测量及结果上报基本流程。

3.2 通感一体化架构设计

在5G-A通感融合架构设计时,考虑在5G核心网中引入感知网元,设计与5G核心网非独立和独立的两种感知架构,以满足不同场景的网元灵活部署需求。其中,感知网元将作为支持感知业务鉴权/授权、移动性管理、会话管理、能力开放和计费等功能的核心管理网元。

随着网络大数据算力能力提升,6G通感智算一体化架构的设计成为重要技术发展趋势,通过业务感知、智能、算力的编排,更好地满足通感融合应用需求。通感智算融合编排管理作为网络控制中心,通过收集各感知功能和计算控制功能上报的节点状态信息,借助AI算法模型库对网络拓扑进行动态预测,并向感知/计算控制功能下发资源部署和业务编排策略,例如感知、计算节点的选择,以及各节点通信、感知、计算资源的分配。

4 6G通信连接

6G将支持沉浸通信场景,提供更高速度、低时延、多元的宽带服务,支持超大连接通信和超可靠低时延通信场景,支持更多类型终端和更广泛的物联。在技术方面,超大规模天线、智能超表面等代表性技术将支撑6G实现超高体验的通信连接。

4.1 超大规模天线

超大规模多输入多输出(MIMO)技术是大规模MIMO技术的进一步演进升级,通过部署超大规模的天线阵列、应用新材料、引入新工具,可以获得更高的频谱效率和能量效率、更广更灵活的网络覆盖,更高的定位精度^[3]。面向6G,主要研究如下技术方向:

1) 近场特征和空间非平稳特性:超大规模MIMO随天线数的增加表现出近场特征和空间非平稳特性,而5G及其之前的通信系统主要考虑远场通信,因而在信道建模基础研究中,需要研究新的信道建模表征方法,准确表征信道,支撑技术方案评估和筛选。

2) 功耗:随着天线规模的扩大,天线的功耗也将变得不可忽视,需要研究具有低功耗、高能效的新型天线架构。

3) CSI反馈:在码本等CSI反馈设计中,需要充分考虑超大规模信道的近场特性、空间非平稳特性,以及新型天线架构对码本设计的影响、联合远场通信的码本联合设计等。同时在预编码处理方面,也需要充分考虑超大规模MIMO的

信道特点、大带宽特性,以及新型天线架构等要素。

4) 接收机算法:随着天线数的增加,接收机算法的复杂度变得很高,需要设计针对超大规模信道特点的低复杂度的接收机算法。

5) 波束管理:要考虑超大规模MIMO的高空间分辨率特性,以及新型天线架构的引入对波束管理的影响。

6) 分布式超大规模天线:研究低成本实用化分布式超大规模MIMO部署方案,以及节点间信息交互和时频同步等难题。

4.2 智能超表面

智能超表面(RIS)技术采用可编程新型亚波长二维超材料,通过数字编码对电磁波进行主动智能调控,形成幅度、相位、极化和频率可控制的电磁场。RIS具有低成本、低功耗、易部署等特点,将使智能无线环境,构建出可编程无线环境的全新范式^[4]。面向6G,主要研究如下技术方向:

1) 近场和远场信道测量与建模:构建不同情况下RIS辅助无线通信的自由空间路径损耗和小尺度衰落模型,并通过实验测量初步验证。

2) 低复杂度的RIS信道估计与反馈:利用基站和RIS位置固定的特点以及RIS单元阵列特性,如RIS级联信道的结构化稀疏特征和RIS信道矩阵低秩特性,设计低复杂度、低开销的信道估计方法。

3) 硬件受限下的RIS波束赋形:设计离散相位、波束宽度、反射角度等硬件约束下的波束赋形,以解决理想硬件状态下由波束赋形算法导致的严重扭曲训练导频和期望接收信号偏差问题。

4) RIS部署优化设计:通过RIS部署位置、密度、RIS形态、调控/协作关系等参数实现复杂度、成本及性能的平衡。

5) RIS硬件架构与调控算法:基于可调元件的超表面阵面和基于编程元件的控制电路结合的RIS硬件架构设计。

6) RIS新器件:RIS从单一反射式形式,发展出透射式、透射-反射一体式等新形式,将其对电磁场与波的调控能力扩展到了全空间范围。

7) RIS新应用:基于RIS实现成本较低和架构简化的大规模天线阵列发射机,可以进一步扩展阵列规模与性能,无须使用传统相移器和考虑多个小功放之间的差异性。

但目前RIS技术在硬件架构设计及调控算法、空口传输技术、成本、更多价值场景等方面仍面临多重挑战。

4.3 物联网

回顾5G，5G第一个版本重点支持增强移动宽带，第二个版本重点提升低时延高可靠容量和性能，第三个版本重点支持中高速物联网。结合5G支持三大连接场景的设计经验，6G有能力在第一版本就支持扩展的三大连接场景，以避免后续因对协议和功能的裁剪而导致的高复杂度和过度设计等问题。

6G需结合5G行业应用情况，甄选亟需支持的物联网应用。在2024年4月3GPP举办的6G业务用例研讨会上，来自全球的多家公司和组织表示，面向工业应用，需要进一步提升端到端性能、稳定性和确定性，并期待结合6G新特征，如AI和感知，为工业互联网等物联网应用提供新的应用模式，推动工业化和数字化转型，提升生产效率。

工业互联网等物联网具有明显的多元性能特征。在5G URLLC设计的基础上，6G具备HURLLC能力，并支持类似于5G轻量化（RedCap）的物联网业务，提升有广泛应用市场和发展潜力的边缘计算的效率。

4.4 泛在连接

6G将成为地面网络和多种类型非地面网络深度融合的全新移动信息网络，实现全球无缝泛在连接。非地面网络既可以扩展常态化的地面网络部署，实现空天地全域覆盖，也可以分流地面网络的负载，实现网络资源按需分配的目标。天地一体化设计涉及多样的节点能力、小区类型和属性、终端类型及服务要求等，需要体系化研究系统性能需求、关键技术和功能架构特征等。

6G有望在第一版本就支持地面网络和非地面网络的融合技术，并逐步优化增强。5G-A NTN标准能力可以作为6G非地面网络的技术起点。6G在接入过程、链路性能、波束管理、移动性管理、频谱管理、协议栈适配等方面会有更多设计空间，以支持更多部署场景和业务用例。

5 结束语

当前全球6G发展正处于关键技术突破和总体方案设计的重要阶段。ITU已经明确了6G的典型场景，并正在研究技术性能指标。3GPP也将于2024年底启动6G业务需求和典型用例研究工作。研究无线系统总体设计，满足ITU所确定的场景和关键能力已成为6G工作重点。本文分享了面向六大典型场景的6G无线系统技术研究，后续将进一步结合关键问题进行深入研究，以支撑6G无线系统设计。

参考文献

- [1] 王志勤, 杜滢, 魏克军, 等. 6G移动通信愿景、应用场景和关键技术趋势展望 [J]. 中国科学-信息科学(英文版), 2022, 65(5): 151301. DOI: 10.1007/s11432-021-3351-5
- [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. 2023集中式超大规模MIMO关键技术 [R]. 2023
- [4] IMT-2030(6G)推进组. 2023智能超表面典型应用、挑战与关键技术 [R]. 2023

作者简介



王志勤，中国信息通信研究院副院长，中国通信标准化协会副理事长、无线通信技术委员会主席，中国通信学会无线移动委员会主任委员，并担任中国IMT-2020（5G）推进组组长、IMT-2030（6G）推进组组长；在信息通信技术标准、信息化、产业与政策等方面有深入研究，推动中国3G、4G及5G创新；荣获全国三八红旗手、全国创新争先奖、全国五一劳动奖章等国家级荣誉称号，入选国家百千万人才工程，荣获国家科学技术进步奖特等奖，并多次获得国家科学技术进步奖一等奖、二等奖。



杜滢，中国信息通信研究院移动通信创新中心副主任，现任IMT-2030（6G）推进组标准和国际合作组副组长；长期从事移动通信领域无线新技术研究和国际标准化工作。



沈霞，中国信息通信研究院移动通信创新中心高级工程师；主要从事5G、5G-A车联网、天地融合、通感融合的国际标准化，以及6G通感一体化技术研究和测试验证工作。



焦慧颖，中国信息通信研究院移动通信创新中心主任工程师；主要从事移动通信无线新技术研究和5G/6G国际标准化工作。