

6G网络架构和关键技术展望



Prospect of 6G Network Architecture and Key Technologies

王友祥/WANG Youxiang, 唐雄燕/TANG Xiongyan

(中国联合网络通信有限公司研究院, 中国 北京 100048)
(China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202305005

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20231016.1556.018.html>

网络出版日期: 2023-10-17

收稿日期: 2023-08-12

摘要: 在6G网络技术的发展进程中,网络架构至关重要,它是移动通信网络的基础和核心中枢,决定了整个系统的效率和能力。分析了全球6G发展现状和5G-A网络架构演进,提出了面向“新网络、新服务、新生态”的6G网络架构设计,并介绍了6G网络发展的潜在关键技术,包括空地海一体、通感算一体、数字孪生、智能内生等。

关键词: 6G; 网络架构; 系统设计

Abstract: In the development process of 6G network technology, network architecture is very important, which is the foundation and core center of mobile communication network, and determines the efficiency and capability of the whole system. The global 6G development status and the evolution of 5G-A network architecture are analyzed, and the 6G network architecture design for "new network, new service, and new ecology" is proposed. Finally the potential key technologies of 6G network development are introduced, including air-space-ground integrated network, integrated sensing, communication and computation, digital twins and intelligent endogeneity.

Keywords: 6G; network architecture; system design

引用格式: 王友祥, 唐雄燕. 6G网络架构和关键技术展望 [J]. 中兴通讯技术, 2023, 29(5): 21-27. DOI: 10.12142/ZTETJ.202305005

Citation: WANG Y X, TANG X Y. Prospect of 6G network architecture and key technologies [J]. ZTE technology journal, 2023, 29(5): 21-27. DOI: 10.12142/ZTETJ.202305005

5G规模商用提升了用户通信能力和服务质量,同时也促进了网络流量的快速增长。根据爱立信最新发表的移动报告^[1], 2022年第2季度至2023年第2季度,移动网络数据流量增长了33%,达到每月134 EB。报告显示,在智能手机使用量、移动宽带以及行业数字化的持续增长的共同作用下,过去两年移动网络流量几乎翻了一番,预计到2028年将增加到329 EB。移动通信通常10年一个代际更替,因此学术界和工业界开始探索下一代移动通信系统(6G)。人工智能(AI)、卫星互联网、云原生、算力网络^[2]等新技术的出现,以及网络低碳绿色化的发展要求,驱使通信网络朝着更强能力、更高能效的方向发展,以更好地满足不断产生的各类业务的服务要求。

目前各国正在加紧6G预研。从2020年到2022年,欧美日韩等国家和地区纷纷成了6G研发行业联盟,包括美国NextG联盟、欧盟6G-IA等^[3]。2022年2月,NextG联盟发布《6G路线图》,确立了6G远景目标、技术方向和发展路线。

欧盟2021年启动Hexa-X 6G研究项目,聚焦6G的应用场景与关键技术;2023年1月启动第2阶段研究项目Hexa-X-II,聚焦6G的系统化和预标准化研究工作。日韩也专门设立研究基金,推动6G核心技术研究。中国在2019年由工业和信息化部牵头成立了中国IMT-2030(6G)推进组,聚焦中国6G关键技术研究,陆续发布了《6G典型场景和关键能力白皮书》《6G总体愿景与潜在关键技术白皮书》《6G前沿关键技术研究报告》《6G网络架构愿景与关键技术展望白皮书》《6G无线网络架构和功能技术研究报告》等近20份相关技术白皮书。2022年国务院出台《“十四五”数字经济发展规划》,提出前瞻布局6G网络技术储备,加大6G技术研发支持力度,积极参与推动6G国际标准化工作。

2023年6月,国际电信联盟(ITU)完成了《IMT(International Mobile Telecommunication)面向2030及未来发展的框架和总体目标建议书》。未来6G将包含沉浸式通信、超大规模连接、极高可靠低时延、通信与智能融合、感知与通信融合、泛在连接六大典型应用场景。通过与其他技术的结合,如先进计算, AI、大数据、区块链等,6G将实现网络

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFB2902103)

性能和服务能力跃升,全面引领经济社会数字化智能化绿色化转型^[4]。该建议书明确了6G的15个能力指标,包括9个6G增强能力和6个6G的新能力。与5G相比,IMT-2030能力指标分为两类,即针对IMT-2020增强的功能和支持IMT-2030扩展使用场景的新功能。每种功能在不同的使用场景中可能具有不同的相关性和适用性。其中,针对IMT-2020增强的功能包括:峰值速率、用户体验速率、频谱效率、区域流量密度、连接数密度、移动性、时延、可靠性、安全隐私韧性性能,支持IMT-2030扩展使用场景的新功能包括:覆盖、感知相关指标、AI相关指标、可持续性性能指标、互操作、定位。

基于全新的能力体系,6G将摆脱以往通信网络“纯连接”的特性,打造“联接+计算+智能”的通信新范式,成为连接真实物理世界与虚拟数字世界的纽带,实现人机物智能互联、协同共生,以及实体经济和数字经济的全面融合,推动社会普惠智能、绿色健康可持续发展,满足经济社会高质量发展需求。

1 5G网络架构和演进

相比于4G,5G采用了全新的网络架构,核心网引入了服务化(SBA)设计,无线接入网采用集中单元(CU)和分布单元(DU)分离的两层架构设计。5G核心网采用虚拟化方式实现。控制面与用户面完全分离,用户面可以基于业务需求灵活部署,控制面采用SBA架构,功能以服务方式定义,相对独立,采用轻量高效的服务调用接口(即服务间通信接口),以应用程序编程接口(API)方式对外呈现。为了满足业务多样化的需求,5G定义了多接入/移动边缘计算(MEC)技术,使得用户可以就近访问业务;定义了网络切片技术,可以使用一套物理网络服务于多个不同的应用场景。5G新空口(NR)以分组数据汇聚协(PDCP)/无线链路控制(RLC)层为界,将基站分为CU和DU两个功能实体。其中,CU承担无线资源控制(RRC)/PDCP层功能,DU承担RLC/媒体接入控制(MAC)/物理层(PHY)功能,分离架构为运营商提供了多种部署形态选择。

5G-Advanced是基于5G的演进和增强,具体包括:(1)切片能力增强,可基于统一的网络基础资源及设施,隔离出多个虚拟的端到端网络,并保证各虚拟网络的业务隔离性;(2)网络数据分析功能(NWDAF)增强,聚焦于面向商用部署的分布式智能架构、新型分析机制和应用案例的研究,并拓展与周边系统之间的智能协同;(3)天地融合网络架构增强,包括覆盖增强、移动性增强、10 GHz以上甚小口径卫星终端站(VSAT)宽带数据业务等;(4)面向垂直行业

的5G局域网(LAN)、非公共网络(NPN)、确定性网络、高精度定位等能力增强;(5)引入了下一代实时通信(NG-RTC)能力,对IP多媒体系统(IMS)网络架构及功能进行增强,以满足实时通信新业务特性要求;(6)在无线侧重点是对无线空口的承载能力和智能化的增强,包括Sidelink增强、广播多播增强、针对扩展现实(XR)的增强、非地面网络(NTN)增强、5G RedCap、上行链路增强等^[5-6]。

5G-Advanced是从5G演进到6G的关键阶段,具有“承上启下”的作用。6G网络架构设计要充分吸收5G及5G-Advanced网络的实践经验,继承5G及5G-Advanced成熟技术和理念,在最大化吸收网络演进新技术能力、适配新业务需求的同时,兼顾节能增效、降低成本,并保持与现有网络的兼容、继承和协同。

2 6G网络架构设计

网络架构是移动通信网络的基础和核心中枢,决定了整个系统的效率和能力。未来,6G网络一方面将向边缘网络空间和空天地海不断延伸,满足对天基、空基、地基等多种接入方式,固定、移动、卫星等多种连接类型的接入需求,实现空、天、地、海一体化无缝覆盖,向全域万物智联的方向迈进;另一方面将实现网络能力拓展,即从单一的通信连接能力,拓展到通信、感知、计算、数据、智能、安全等多维的能力。

2.1 架构设计理念

2021年,中国联通发布CUBE-Net 3.0网络创新体系^[7],提出了构建面向数字经济新需求、增强网络内生能力、实现“联接+计算+智能”融合服务的新一代数字信息基础设施。这是一个全新的网络架构设计理念。基于此理念以及未来6G时代的需求和愿景,6G网络架构设计有以下三大理念^[8]:

1) 面向“超越连接”的设计

网络提供的服务将从单一的连接服务,扩展到智能、感知、数据、计算、安全新服务。相关设计理念体现在以下方面:

内生:现有网络架构,以大带宽、低时延的连接功能为主,其他功能的引入和实现主要通过外挂式的方式完成,无法满足6G多样的业务需求和动态复杂环境需求。因此,6G网络架构需要注入多种功能内生和融合基因,从网络功能、接口、协议栈等方面端到端地支持智能、算力、安全等内生能力。

协同:现有面向连接的网络架构,提供了基于会话的管控和连接服务质量(QoS)保障机制。当6G网络需要超越连

接提供各类新业务时，需要提供超越会话的协同机制，在网络架构层面引入新的管控量纲，基于任务协同新业务所需要的连接、数据、计算等多个维度资源，以此实现新业务的管控和QoS保障。

分布：6G多样化新业务所需的连接、计算、数据等能力来源于不同区域、不同资源池、不同组织，6G网络需要调度和联接上述多种不同的网络能力，提供用户就近、随用户移动的、分布式的网络服务，满足用户对6G融合业务的诉求。

2) 面向“多元用户”的设计

网络从为终端用户提供服务转变为向行业用户、OTT (Over The Top) 应用、子网络等泛在用户提供综合服务。相关设计理念体现在以下方面：

多元：随着新业务的引入6G网络的服务对象将得以扩充，用户不仅是传统使用连接服务的终端用户，还包含使用网络计算服务、数据服务、感知服务等新业务的多元用户。

弹性：6G移动网络为了向多元用户提供差异化的网络服务及就近随行的网络能力，需要提供弹性的网络功能架构、简捷的用户网络提供方式，降低网络部署运维成本。

定制：6G网络丰富了网络服务的内涵，可以为多元用户提供不同的服务类型与QoS保障，需要允许用户高效灵活地定制专属网络，提供差异化的用户网络服务，满足不同个性化的网络需求。

3) 面向“平台即服务”的设计

网络从提供单边的连接管道服务变成面向多元用户提供多边服务的使能平台。相关设计理念体现在以下方面：

开放：网络的参与者（终端用户、行业用户和合作伙伴等）基于统一的服务使能平台开放自身支持的能力/服务，同时，可根据领域知识将不同的原子能力组合/抽象成新的API，并开放给用户，以降低网络定制成本，赋能多样化生态。

可编程：基于多样化业务，对控制面功能、用户面功能、计算功能、数据功能等功能进行灵活编排，实现网络能力、部署方式、执行路径等可编程，满足差异化的业务QoS需求。

多边：多元用户既可以是网络功能/服务的消费者，也可以是功能/服务的生产者。用户与网络建立灵活友好的交互方式，实现用户与用户、用户与网络之间的多边能力资源的协同。

2.2 网络架构设计

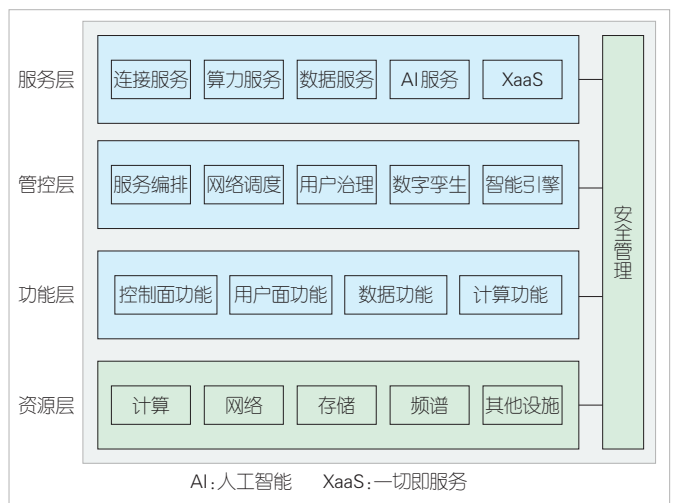
基于前述的架构设计理念，我们提出了面向“新网络、

新服务、新生态”的层次化的数智服务使能平台架构。如图1所示，该架构上下共分为4层，自下而上分别为资源层、功能层、管控层和服务层^[8]。核心功能如下：

1) 资源层：为6G网络功能部署、运行和服务提供支撑，主要包括计算、存储、网络和频谱等各种基础设施，是整个网络运行的基础。资源层物理设施实体分布在空天地海、云边端、广域局域等场景空间中，除了运营商自建设备外，还包括友商共建共享资源，或者产业上下游合作伙伴/多元用户等不同组织归属的资源，为6G网络的泛在接入、普惠开放能力提供保障。

2) 功能层：是6G网络的执行层，对下，根据需求对资源层物理设施进行多维资源的互联、组织、协同、调度构建具备不同网络能力的业务逻辑；对上，为管控层提供数据、计算和决策执行能力支撑。按照业务类型，功能层分为控制面功能、用户面功能、数据功能和计算功能，根据管控层的智能决策拉通物理资源，为网络和服务层提供接入控制、连接传输、数据采存、算力纳管互联和计算执行等业务服务能力支持。

3) 管控层：是6G网络的大脑，接受服务层的请求，在对服务请求进行多维度智能分析的基础上，为服务和应用作出智能决策，指导功能层操作执行，为多元用户提供开放、灵活、多边的网络服务能力，包含服务编排、网络调度、用户治理、数字孪生、智能引擎等。服务编排可将服务层的需求快速解析为单项服务能力和服务质量要求；网络调度快速按需创建网络功能，创建网络路由等，动态调整网络各节点的算力、带宽、存储等资源，对网络进行弹性伸缩处理等；用户治理用于多元用户注册、生命周期管理、能力资源管理协同度量等；数字孪生为现实网络提供虚拟的孪生映射，为



▲图1 6G网络系统架构图

网络提供分析、仿真、诊断、预测、优化等仿真模拟和可视化支持；智能引擎为服务编排、网络调度、用户治理等功能提供意图分析、运行数据分析、运营数据分析等智能分析能力，与数字孪生联合模拟仿真，促进网络的自智等级提升。

4) 服务层：对下层的网络功能进行提取、封装和组合，为内部业务或第三方应用按需提供服务。服务层可开放运营商网络的连接服务、算力服务、数据服务、AI服务、定制化服务等能力，为多样化业务场景下的多元用户，带来更加深入的算网业融合能力和更好的业务体验^[9]。

6G系统架构中的功能层包含4个基本功能面，分别为控制面功能、用户面功能、数据功能和计算功能。这些功能面分别负责网络控制、路由转发、数据管理等网络功能，以及数据、智能等内生功能。功能层作为6G网络架构中的执行层，包含的4个功能面既是功能层内提供控制、用户、数据和计算4类业务逻辑的功能集合，也是6G网络对外提供接入、连接、数据、计算4类端到端服务能力的体现。

- 控制面功能：支持空天地海泛在接入控制能力，以及对这些异构接入间的融合调度协同能力；在传统连接服务的基础上，进一步提供计算、数据、感知等服务的一体控制与移动性管理；支持柔性编排、按需下沉，实现分层分布式部署。此外，控制面功能可以为用户提供更灵活的网络协同能力。

- 用户面功能：支持功能集模块化和可编程，增加业务感知、内生算力、智能分析、确定性转发、安全管理等功能；通过灵活的协议栈编排配置，实现通感算智数安等多维业务的高性能分级数据转发和处理；支持跨域协同，与承载网对接，保障确定性的端到端QoS；通过扩展用户面协议栈或调用AI能力，使用户面功能感知业务信息，实现智能业务感知与差异化QoS保障；支持泛在互联，为新业务提供多维度新业务数据的转发与传输，连通周边的新业务网络功能。

- 数据功能：具备数据采集能力、数据处理能力、数据存储能力和数据协同能力的6G数据功能将面向多元的功能或业务实体，在保障数据隐私、安全及可靠性的同时，实现对数据的精细化采集、高效传输、分布式协同和弹性存储，统管数据的全生命周期，从而提升海量网络数据（如内部数据、网络数据、感知数据和计算数据等）的流动效率，保障用户服务质量性，增加数据服务的安全性。

- 计算功能：6G网络功能将向对外提供算力服务的新形态网络功能方向发展，结合人工智能技术实现6G网络智能内生。通过计算与通信网络的深度融合，对外提供计算服务。6G网络计算功能包含计算控制、计算执行、计算互联

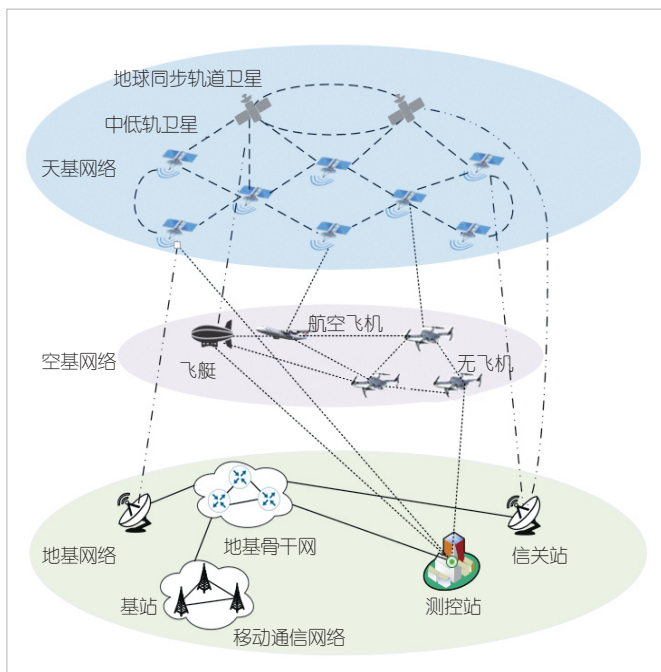
等功能，以满足未来多种应用场景的算力服务需求。同时，为了更好地实现网络的智能化与可编程化，使网络可以适应不同应用场景，计算能力服务化以及计算功能的泛在化部署是6G网络所必需的网络能力。

此外该架构还包含一个贯穿各层的、内生安全管理功能。安全是发展的基础，6G网络的安全设计也是6G网络架构的重要组成部分。在本架构中，安全管理将贯穿于资源层、功能层、管控层、服务层的全层次体系，自底向上、端到端构建内生安全能力，为6G网络提供全生命周期的安全防护保障。

3 6G网络关键技术

3.1 空天地一体化网络技术

“全球覆盖、随遇接入、按需服务、安全可信”的空天地一体化网络是未来6G重要的演进方向，其愿景是：构建以地基网络为基础、天基网络（含通导遥卫星）和空基网络为补充和延伸的立体网络结构，形成跨地域、空域、海域的天地一体融合通信网络，满足广域智慧连接和全球泛在无缝接入需求，实现统一高效的资源调度与网络管控，进而为广域立体空间范围内的应用提供全球时空连续通信、高可靠安全通信、区域大容量通信、高机动全程信息传输等能力。这对提高应急水平、维护国家安全、保障国计民生、促进经济发展具有重大意义^[10-11]。面向6G的空天地一体网络架构如图2所示。



▲图2 6G空天地一体网络架构示意图

面向6G的空天地一体网络是天基多层次子网和地面蜂窝多层次子网等多个异构网络,在体制、协议、网络、业务、终端等方面的深度融合,需聚焦解决融合网络多层立体、动态时变等关键问题,构建空天地一体网络控制能力,实现网络架构、空口传输、频率管理、星地组网等关键技术突破及分阶段部署。6G空天地一体网络主要包括:

统一网络架构:通过地面网络和非地面网络在系统架构、技术体制、接口协议等层面进行多域多维度柔性融合,实现空天地网络的高效协同,提升端到端管理效率。

统一空口协议:形成卫星与地面蜂窝通信的统一空口协议,支持多种业务传输。

频率协调管理:通过卫星与地面频谱协调管理技术,解决星地网络同频或邻频部署时网络共存、网络协同等方面的问题,提高频谱利用率。

星地融合组网:通过空天地一体网络新型组网技术研究,解决业务连续性和一致性、移动性管理、QoS保障等关键问题,提升空天地业务服务能力。

3.2 分布式网络技术

ITU定义的6G六大场景包括沉浸式通信、超大规模连接、极高可靠低时延、人工智能与通信融合、感知与通信融合和泛在连接。这意味着未来网络承载的用户和业务种类、协议数量、网络功能以及各功能间的连接数量等都将成倍增长。如果仍沿用目前集中式的架构设计,网络将变得越来越复杂。因此,为追求更极致的网络性能、更好的业务体验,分布式网络将成为6G网络架构演进的重要趋势之一,能够根据未来多样化的业务和需求,为用户提供不同位置按需部署、灵活组织编排、弹性可扩展的分布式网络部署服务能力和跨网互通协同能力^[2]。6G分布式网络涉及以下关键技术:

广泛分布的多样接入模式融合:6G网络由大量用户网络(子网)构成,不同子网的用户可能在不同位置并以各种不同的方式接入到6G网络。因此,分布式网络具有融合多样化的接入模式能力,能够协调用户多接入路径,向用户提供更加可靠、高效的连接通道。

连接功能的按需分布式部署:由于不同用户对连接能力的差异化要求,分布式网络需要在相对广域的范围灵活动态部署控制面和用户面,为用户提供最优的连接能力。

计算功能的分布式多方协同:6G网络将形成超级的网络计算服务,计算功能逐步下沉至网络边缘为用户所用已成为普遍的趋势,实现对分布式计算(包括算力、算法和数据等)、分布式网络和分布式业务的统一高效一体化编排与动态调度,满足定制化的网络需求,提供面向用户及业务的内

生计算能力。

数据功能的按需编排:数据作为未来网络的关键要素之一,将呈现显著的分布式特征,这表现在数据源、数据消费者、数据处理节点方面。6G网络需要提供具备处理分布式数据能力的**数据服务框架,支持对数据功能的按需编排,高效应对复杂的数据应用模式,满足不同用户的数据处理需求。

基于共识机制的去中心化信任:6G分布式网络将构建一种去中心化的信任架构,保障多方信任快速准确地建立,为构建和维护稳定、公平的6G开放合作的商业生态提供有力的安全支撑。

因此,未来网络的场景需要兼顾覆盖和容量,将形成一种全新的分布式网络部署形态,其研究核心是:如何设计场景定制化的柔性至简子网方案,各分布式子网间如何实现互联互通和业务连续性保障,用户如何快速便捷获取和定制子网服务、以及跨运营商的共享和协同。业界需要从组网模式、网络联邦管理技术、网络开放接口和跨运营商网络接口等多方面进行增强研究。

3.3 内生AI技术

AI是6G的核心技术之一,AI与移动通信网络的深入融合一方面推动6G网络向智能化方向演进,提升运营商的生产和运营效率;另一方面支撑6G网络以AI即服务(AIaaS)的形式提供能力,将网络中的AI能力作为服务开放给各类行业和普通消费者,满足其对AI的功能、性能、隐私和个性化的需求。在面向6G的智能化演进过程中,网络将通过增强分布式AI框架、以任务为中心的AI能力,以及意图网络等,实现网络内生的智能能力,提供更灵活、高效、泛在的6G智能化解决方案。

分布式AI:基于NWDAF的5G智能化解决方案仍属于集中化、外挂式方案,在数据处理时延、数据传输消耗方面存在进一步提升和优化的空间。面向6G时代大规模、高性能、低时延的AI业务需求,AI能力的下沉成为网络演进的必然趋势。因此,6G网络应支持分布式AI能力部署,通过算力、模型等智能要素的下沉,实现数据的就近采集和就近处理,提升实时智能服务能力;同时,通过算法、模型、数据的分布式实现,进一步结合联邦学习、多任务并行及协同处理等能力,完成模型协同训练、数据协同处理等复杂AI任务的分解、处理和聚合,解决集中式AI所存在的成本、能耗、效率等方面的不足,实现网络智能化资源高效利用。

任务为中心的AI:传统通信系统以通信连接为中心进行设计,主要目的是为数据传输提供连接并保证业务体验。

而AI类的处理过程则更加复杂，整体过程除了连接以外，还涉及计算、数据、算法等智能要素。为使6G网络具备内生智能能力，6G网络需引入新的资源维度并设计相应的管控机制。此外，为了AI业务，网络架构的设计思路应需要从以连接为中心转变为以任务为中心。其中，任务是指网络智能能力所涉及的多节点场景下连接、计算、数据和算法资源的协同和调配，以共同完成某个特定的目标，如AI推理、AI训练、计算等任务类型。

在以任务为中心的思路下，6G网络通过对智能管控框架的设计和编排，实现智能要素协同、多层次多节点协同，以任务的粒度完成智能业务处理，并进行任务级的QoS保障，实现6G普惠及内生智能需求。

3.4 通感算一体技术

利用软硬件资源的协同与共享，通信、感知和计算融合一体可以实现多维感知、协作通信、智能计算功能的深度融合和互惠增强，从而实现对物理世界的观测和采样，打开物理世界与数字世界融合的通道，提供定位、测距、测速、成像、检测、识别等多元化能力，极大满足超高分辨率和精度的应用需求。

未来6G系统的感知和计算功能，不仅可以提供对外的业务服务，同时也可以服务于6G网络本身。感知、计算（包含AI）和通信三者之间可以相互辅助、功能增强。6G系统通过感知服务对物理世界进行采样，构建数字世界，并通过通信服务为物理世界提供连接，再通过计算服务对通信和感知的过程及数据进行处理。如果以数据为中心，那么感知就是数据采集，通信则是数据传输，计算是数据处理。因此，除了信息传递者之外，6G还将扮演信息生产者和信息加工者的角色。

通感算一体化网络架构是集通信、感知、计算和应用为一体的系统架构。无线架构设计中，无线空口波形设计是一体化技术的核心之一，其目标是基于同一套射频收发设备和相同频谱，同时实现无线电通信和雷达感知的功能。这主要包括三大技术路线：基于通信波形的一体化波形、基于感知波形的一体化波形以及基于全新的通感融合的一体化波形。此外，从组网方面考虑，针对不同业务需求可以采用多频段协同感知，实现覆盖能力、感知精度的提升；通过组网多节点间协同感知，解决单个节点感知的覆盖能力和精度的局限问题，提升感知性能；通过多模式感知方式的协同，构建全方位的感知全域框架，实现对周边环境的精细精确感知^[13]。

通感算一体化架构需要根据业务考虑网络资源和算力资源的分配。管控层根据服务层的业务需求和指标映射，进行

业务编排，按需分配资源，形成网络配置要求，实现网络灵活互联和功能交互协作。基于网络功能层的逻辑分工，形成跨层的通感算融合设计和统一编排管理，并结合算力、网络等资源的实时状态合理分配计算任务，形成数据处理一体化、资源分配一体化和服务实现一体化的互惠共生架构^[14-15]。

3.5 数字孪生技术

数字孪生的概念随着数字化的演进被提出，是数字化的高阶形态和必经之路。数字孪生通过数字模型和实时数据构建现实实体的虚拟镜像，可以对物理世界的物理对象、过程或系统进行仿真和预测。数字孪生将物理世界和数字世界相结合，实现对物理世界全生命周期的虚拟验证、决策支持和优化控制。

随着移动通信技术的发展，6G网络作为下一代移动通信标准，将为人们带来更快速、更可靠、就近随行的极致体验。然而，6G网络的实现面临一系列挑战，如多元用户的泛在接入、深度协同、智能内生等需求促使网络规模进一步提高，融合接入、传输、计算、数据等服务能力的大规模网络的复杂性是一个关键问题。为了应对这些挑战并推动网络的进一步发展，引入数字孪生技术是一种有效解决方案。

6G网络通过数据采集、数据建模、仿真推演、智能决策、智能管控等关键控制环节构建6G数字孪生网络，赋能网络自智发展。数据采集是构建数字孪生的基础，孪生网络需要具备全景多维度数据采集能力，实现对物理世界网络的实时数据（状态）和非实时数据（状态）的感知；模型是构建数字孪生的核心，基于感知的网络数据，将网络从物理实体向虚拟空间映射，构建与物理实体一致的孪生数字网络；数字孪生通过轻量化的、灵活的、能真实刻画网元/网络运行的模型，再结合实时的真实网络数据，通过动态配置的规则组合成具体的仿真流程，实现快速仿真推演网络未来的变化，以达到评估和预测等目的；智能决策利用AI和知识图谱等技术对仿真流程和孪生网络模型进行分析，判断和识别出问题的类型及所在位置，并构建价值函数实现方案寻优和决策推荐，同时通过分析实时的网络数据和状态信息，并结合知识图谱识别出潜在的问题，预测网络的未来发展趋势；最后，基于决策算法对方案进行评估、优化和推荐。智能管控对智能决策形成的方案进行调度执行，通过指令通道完成解决方案的自动下发执行，实现网络参数自动配置，支持业务自动开通、自动故障识别和恢复、自动服务等级协议（SLA）保障等自智网络业务。智能管控技术结合智能决策技术，通过指令通道对物理网络进行实时或非实时的管理控

制, 实现以虚控实。在将孪生决策层的指令下发到真实物理网络后, 物理网络通过数据反馈给孪生网络进行策略效果评估, 并再次触发决策分析优化, 实现虚实闭环, 最终实现高阶自智网络。

4 结束语

网络架构是6G能否显著提升网络能力、赋能社会发展的核心。6G在传统连接能力基础上衍生的感知、智能、计算、安全等多维能力, 对网络架构提出了颠覆传统架构的创新需求。目前, 空天地海一体、通感算一体、数字孪生、智能内生等关键技术方向已逐渐形成共识, 但是如何将这些潜在技术有机融合形成6G网络的总体架构设计还在探索阶段。这需要产业界携手共同努力, 形成技术共识, 促成网络架构达成统一, 为6G发展奠定基础。

参考文献

- [1] 爱立信. 爱立信移动市场报告 [R]. 2023
- [2] 张宏科, 权伟, 刘康. 算力网络研究与探索 [J]. 中兴通讯技术, 2023, 29(1): 1-5. DOI: 10.12142/ZTETJ.202301001
- [3] 王亦菲, 闻立群, 李明豫. 全球6G产业及政策进展研究 [J]. 信息通信技术与政策, 2022, 48(9): 71-75
- [4] ITU. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond [EB/OL]. (2023-06-28)[2023-09-15] <https://www.itu.int/md/R19-SG05-C-0131>
- [5] 秦鹏太, 李爱华, 姜怡, 等. 5G-Advanced核心网技术综述 [J]. 移动通信, 2022, 46(1): 58-66
- [6] 夏旭, 齐文, 王恒, 等. 5G-Advanced网络及服务演进需求探讨 [J]. 移动通信, 2022, 46(1): 15-19
- [7] 中国联通. 中国联通CUBE-Net3.0网络创新体系白皮书 [R]. 2021

- [8] 中国联通. 6G中国联通6G网络体系架构白皮书 [R]. 2023
- [9] 唐雄燕, 张帅, 曹畅. 夯实云网融合, 迈向算网一体 [J]. 中兴通讯技术, 2021, 27(3): 42-46. DOI: 10.12142/ZTETJ.202103009
- [10] IMT-2030(6G 推进组). 6G网络架构愿景与关键技术展望白皮书 [R]. 2022
- [11] IMT-2030(6G 推进组). 6G总体愿景与潜在关键技术白皮书 [R]. 2021
- [12] IMT-2030(6G 推进组). 6G分布式网络技术的应用场景及需求研究报告 [R]. 2022
- [13] IMT-2030(6G 推进组). 通信感知一体化技术研究报告 [R]. 2022
- [14] 中国联通. 中国联通算力网络架构与技术体系白皮书 [R]. 2020
- [15] 中国联通. 中国联通6G通感算一体化系统架构与关键技术白皮书 [R]. 2023

作者简介



王友祥, 中国联通研究院高级工程师; 主要从事移动通信网络架构和关键技术研究 and 部署应用等工作。



唐雄燕, 中国联通研究院副院长、首席科学家, “新世纪百千万人才工程”国家级人选, 北京邮电大学兼职教授、博士生导师, 工业和信息化部通信科技委委员兼传送与接入专家咨询组副组长, 北京通信学会副理事长, 中国通信学会理事兼信息通信网络技术委员会副主任, 中国光学工程学会常务理事兼光通信与信息网络专家委员会主任, 国际开放网络基金会 ONF 董事; 拥有 20 余年电信新技术新业务研发与技术管理经验, 主要专业领域为宽带通信、光纤传输、互联网/物联网、SDN/NFV 与新一代网络等。