



IMT-2030 (6G)推进组
IMT-2030 (6G)Promotion Group

6G网络架构愿景与关键技术展望 白皮书

目 录

前言 /4

一、6G 网络架构愿景 /5

二、驱动力 /6

- (一) 场景驱动 /6
- (二) DOICT 融合的技术驱动 /6
- (三) IP 新技术驱动 /7

三、6G 总体网络架构展望 /9

- (一) 网络架构需求 /9
- (二) 6G 网络总体架构展望 /9

四、6G 网络潜在技术和关键能力 /11

- (一) 潜在架构类技术 /11
 - (1) 分布式网络技术：集散共存、分布自治 /11
 - (2) 空天地一体化：泛在连接、多网融合 /12
 - (3) 网络智慧内生：AI 构建网络、网络赋能 AI /13
 - (4) 安全内生：预测危险、抵御攻击 /15
 - (5) 数字孪生网络技术：虚实结合、闭环控制 /16
 - (6) 算力网络技术：网络无所不达、算力无处不在 /18
- (二) 潜在能力类技术 /20
 - (7) 可编程网络技术：按需定制、敏捷灵活 /20
 - (8) 通信和信息感知融合网络：多维感知，赋能通信 /21
 - (9) 确定性网络技术：确定传输、极致性能 /22
 - (10) 可信数据服务：可信框架、智能增值 /24
 - (11) 沉浸多感网络：多维通信、身临其境 /25
 - (12) 语义通信：语义驱动、万物智联 /26

五、总结及展望 /28

缩略语简表 /29

主要贡献单位 /30



前 言

全球业界已开启了下一代移动通信技术（6G）的研究探索。移动通信网络是一个复杂的系统，而网络架构就是这个复杂系统的基座，决定整个系统的效率和能力。本白皮书重点关注端到端的总体网络结构及组织，包括接入网及核心网。其中，核心网是系统中的核心枢纽和中控大脑，肩负着移动通信网络中承上启下、融汇贯通的作用，承载着应用业务发展和繁荣的重任。遍布各地的接入网将所有的单体用户接入到通信网络中，再由核心网进行统一和集中的认证、管控与调度，并控制与用户访问网络的互联和信息的传递，实现数据的连接和业务的访问。

新场景和新技术的出现，赋予了网络架构传统连接之外的计算、感知、智能、安全等多维能力的内在需求，使得未来网络架构的设计任重而道远。基于此，本白皮书承接 IMT-2030 推进组的《6G 总体愿景与潜在关键技术》白皮书，并从愿景和驱动力出发，对未来 6G 的网络架构及其关键技术进行了展望。

一、6G 网络架构愿景

6G 网络将成为智慧内生、泛在连接、多维融合的基座，是未来经济和社会发展的基础。5G 在全球范围的逐渐普及和规模部署，实现了公众用户通信能力和服务质量的跨越式提升，有力促进了垂直行业的数字化转型。与此同时，空天通信、人工智能、数字孪生、区块链等技术正飞速发展，与网络的结合日趋紧密，正推动人类从信息时代走向智能时代，从平面时代走向立体时代。

作为使能“万物智联，数字孪生”6G 总体愿景的基础支撑，6G 网络架构应遵循兼容和创新并举的设计理念，具备**智慧内生、安全内生、多域融合、算网一体**等四大特征。

智慧内生：6G 网络内嵌 AI 能力，实现架构级智慧内生。对内能够利用智能来优化网络性能，增强用户体验，自动化网络运营，即 AI 构建网络；对外能够抽取和封装网络智能，为各行各业用户提供网络和 AI 结合的通信和计算服务，即网络赋能 AI。通过内嵌 AI 能力，实现 DOICT 融合的智能感知、智能连接、智能发现、智能服务、智能管理和智能编排，奠定万物智联的基础。

安全内生：6G 网络内嵌安全能力，实现架构级安全内生。通过 6G 网络内置基础安全能力，提供采集、管控、隔离等能力。基于分布式技术，实现去中心化的安全可信机制，构筑安全可信的 6G 网络，满足不同业务场景的差异化安全需求，提高通信系统的安全自治能力，建设可度量、可演进的安全内生防护体系。

多域融合：空天地等多种接入域，移动网、家庭网、体域网多种网络域深度融合，实现泛在连接下的连续通信。高 / 中 / 低轨卫星网络、空基平台网络与地面网络深度融合，实现人联与物联、无线与有线、广域和近域、空天和地面等的智能全连接，采用空天地一体化协议体系，实现不同地域、不同

用途、不同行业网络的跨界融合，构筑泛在连接的网络基座，为用户提供全时全域无缝覆盖的高可靠通信服务。移动网、家庭网、体域网等多种网络域共同形成完整的 6G 网络，多个网络域之间打破原有的固定边界，形成连接与融合，通过多网络域下的终端识别、服务连续性保障、终端信息共享、端到端服务质量保障等，为用户提供无感知的网络接入、数据传输及切换体验。

算网一体：网络和计算深度融合，实现云、边、网、算的高效协同。网络和计算相互感知，相互协同，实现实时准确的算力发现、灵活动态的计算和连接服务的调度，提供无处不在的计算和服务，实现算力资源的合理分配和用户无感知，赋能一致化用户体验，提高网络资源、计算资源利用效率。

二、驱动力

6G 网络架构设计，既需要考虑 6G 的新业务、新需求和设计原则的根本性转变，又需要考虑与现有网络的兼容性，以及业务的继承性。因此，本节结合业务驱动、DOICT 融合技术驱动、IP 组网技术驱动等因素，详细阐述 6G 网络架构演进的驱动力如下：

(一) 场景驱动

业务的发展与社会的发展息息相关。6G 时代沉浸式云 XR、全息通信、感官互联、智能交互、通信感知、智慧内生、数字孪生、全域覆盖等新业务新需求不断涌现。本节梳理并归类了《6G 总体愿景与潜在关键技术》中的主要业务场景，并提炼出业务的三大共同特征，以阐述对 6G 网络架构以及关键技术的影响：

1. 沉浸化。云化 XR 技术中的内容上云、渲染上云、空间计算上云等将显著降低 XR 终端设备的计算负荷和能耗，随着终端能力变得更轻便、更沉浸、更智能，XR 技术将进入全面沉浸化时代。同时随着无线网络能力、高分辨率渲染及终端显示设备的不断发展，未来的全息信息传递将通过自然逼真的视觉还原，实现人、物及其周边环境的三维动态交互，极大满足人类对于人与人、人与物、人与环境之间的沟通需求。云化 XR 与全息的全面结合，将广泛应用于文化娱乐、医疗健康、教育、社会生产等众多领域，使人们不受时间、空间的限制，打通虚拟场景与真实场景的界限，实现沉浸化的业务体验。上述业务需要在相对确定的网络环境下，并通过对 AI 资源的调度，满足超低时延与超高带宽及智能化的需求，为用户带来极致体验。

2. 智能化。情感交互和脑机交互（脑机接口）

等全新研究方向已取得突破性进展并得以应用，覆盖各行各业的各种传感器的大量应用，加速了通信感知的融合，使得 6G 网络将支持目标的检测、定位、识别、成像等感知功能。此外越来越多的个人和家用设备、无人驾驶车辆、智能机器人等都将成为新型智能终端。情感思维的互通和互动中，智能体产生主动 / 被动的智慧交互行为，大量传感器的存在以及其所探测的信息，6G 网络的自学习、自运行、自维护，以及大量智能终端的广泛使用，都需要大量的数据完成自练习、自学习，上述业务要求 6G 网络支持对超大数据量的智能处理。此外，智能驾驶等业务还对时延有严格的要求。

3. 全域化。当前的通信以地面为主，但是地面环境复杂，比如高山、海洋、甚至偏远无人区等，这些区域的建网成本高昂，运营商难以承受。从抗灾救援、科学考察、远洋货轮的宽带接入等角度出发，以及随着无人机、飞机等空中设备的增多，人们对通信的全域化诉求越来越强烈，6G 时代这一通信愿景需要得到网络的充分支持。因此除了地面网络，还需要高轨卫星网络、中低轨卫星网络、高空平台、无人机等在内的空天网络的相互融合，构建起全球广域覆盖的空天地一体化三维立体网络，为用户提供无盲区的宽带移动通信服务，这对 6G 网络架构的设计提出了新的挑战。

(二) DOICT 融合的技术驱动

数据技术 DT、运营技术 OT、信息技术 IT 和通信技术 CT（DOICT）的全融合将共同驱动网络变革和能力升级，助力全社会全领域的数字化智能化发展。作为 CT 技术的重要呈现，移动网络已经充分引入了 IT 技术，将 NFV、容器、SDN、基于 API 的

能力开放等技术在系统中获得充分应用。面向未来将有更多的来自生产运营的需求，并通过 OT 技术（Operational Technology）为移动网络带来新的基因。OT 与 CT 的融合将成为移动网络发展的一个重要方向，通过增强网络能力实现高可靠、高可用、确定性和实时性，并成为工业数字化转型的重要推动力。此外，DT 技术也将为网络演进注入新的活力，数字经济的发展基础是海量连接、数据采集以及建模和分析。移动网络与大数据、AI、区块链等技术结合，基于丰富的算法和业务特征构建数据模型，可以实现更加精准可信的数据服务，进一步推动网络演进。

1. AI 技术。随着新技术的不断突破与发展，新的应用场景将不断涌现，会对网络架构的支持能力和演进能力提出现实而严苛的需求，例如在网络规模、网络种类上同时向高度定制化（复杂化）和高度简化两个极限方向发展。应用于未来网络中的智能技术必须具备自身演化能力和较高等度的自我优化能力。未来 6G 网络要做到智慧内生，就不应只局限在利用 AI 解决网络自身的问题，而是对于行业数字化等第三方 AI 应用也能够提供更好的架构支持。因此，在未来架构中，需要定义架构级的内生 AI，实现网络自治、自演进、自优化，提供智能基础能力并原生支撑各种类型的 AI 应用。实现从云 AI 向网络 AI 的转变。

2. 安全技术。传统移动通信网络缺乏安全内生的设计，隐私泄露、中间人攻击、分布式拒绝服务攻击等顽固安全问题难以根治；同时网络安全与信息系统和业务应用各成体系，安全投入成本高；6G 时代面临量子计算机攻击威胁，传统基于计算复杂度的密码学安全，存在极大隐患。另外，AI、区块链等新技术广泛应用本身也是双刃剑，使用这些新技术来使能 6G 网络的一些新特性，但也可能会给网络带来更多的安全隐患。可以预见，6G 面临的安全攻击也会更加的多样性和智能化。因此，对于 6G 网络安全需要考虑如何在架构和标准维度形成共识，定义架构级的内生可信安全机制。

3. 区块链技术。区块链是多方协作维护的分布式共享数据库，具有公开透明、全程留痕、历史可溯、集体维护、智能执行等特点，可有效建立多方协作，促进资源高效配置，可支撑数字资产的高效流通及解决数字安全问题。区块链的本质是信任机制的革命，解决多方间的去中心化信任问题。借助区块链的不同技术特点，结合网络架构及关键技术的设计需求，为数据安全可信、资源共享、隐私保护、网络架构去中心化等功能实现提供技术使能。

4. 数字孪生技术。数字孪生综合运用感知、计算、建模、仿真、通信等技术，实现虚实映射与交互，正成为构建新一代数字基础设施的使能技术和中坚力量。6G 时代，数字孪生技术将广泛地运用于智能制造、智慧城市、人体活动管理和科学研究等领域，使得整个社会走向虚拟与现实结合的“数字孪生”世界。同时，面对持续增加的业务种类、规模和复杂性，6G 网络本身也需利用数字孪生技术寻求超越物理网络的解决方案。数字孪生不是一个单项技术，它是一系列数字技术的集成融合和创新应用。面向构建“数字孪生”世界的目标，数字孪生技术未来将进一步与 DT、OT、IT、和 CT 技术深度集成和融合，并促进相关领域发展。

（三）IP 新技术驱动

作为组网和协议基础的 IP 技术将进一步演进。更多样化的接入场景，超越“尽力而为”的质量保障机制使得 IP 组网技术成为 6G 重要的技术驱动力之一。

1. 灵活化组网。6G 网络将是多网互联、多场景并存的网络，工业网络、卫星网络的发展给目前蜂窝网的基础互联互通能力带来了新挑战。在产业互联网中，万物互联、海量 IoT 设备接入、工业 IT 和 OT 网络融合，需求各异、能力各异，需要灵活适配不同的组网需求。作为未来通信重要的基础设施，卫星互联网将为全球提供低成本互联服务，但

是在卫星互联网中，卫星节点有高度的动态性，现有的组网技术难以应对，需要定制新的路由转发体系。因此，未来网络需要通过“场景可定制”的互联互通技术，实现灵活、可定制信息互通。

2. 确定性组网。工业控制网络的场景中，端到端时延要求的典型值约在 1 毫秒到 10 毫秒。传统移动网络包含端到端（终端、无线接入、核心网、传输网）各域，传统的组网方法无法脱离三个网络域。但在极致网络性能要求的前提下，未来网络需要在支持 BE（Best Effort）流量转发的同时，能够提供 Critical（严苛）数据流的端到端的有界时延，以及极致的低丢包率，同时需要探索脱离现有端到端业务域拉通的新型组网方式，这对现有网络的转发和组网提出了挑战。

3. 网络编程。为了提供更好的用户体验和更高的资源利用率，大型 IT 公司积极在数据中心网络中实践网络可编程技术，例如 P4 等，在转发设备上，根据业务需求，灵活加载不同的转发逻辑。6G 网络架构中，也可以考虑探索 SRv6 等三层的网络可编程机制，来支持灵活的流量调优和业务编排，同时减少网络协议的数量，简化网络。

4. 网络编排。面对未来网络多样化的组网方案，传统移动网络管理编排方式多依靠人工与自动化相结合，在网络部署的灵活性及有效性方面大打折扣，同时业务的时效性也对组网的时间周期提出了巨大的挑战。网络运维管理亟需整合多方资源，端到端拉通以实现管理系统的更新换代。

三、6G 总体网络架构展望

(一) 网络架构需求

6G 网络架构设计时，**需要考虑两个坚持及四个转变：**

坚持网络兼容性原则。6G 网络架构需要具备强后向兼容能力，既要支持与 5G、传统网络的互联互通，实现网络、用户层面的无障碍交互；又要支持由 5G 网络平滑发展演进为 6G 网络，实现全类型业务连续性。6G 网络架构需要具备前向兼容能力，具备良好的可扩展性和自生长、自演进、自优化能力，支持基于最小服务单元进行在线、动态升级。

坚持智简设计原则。面对未来超大规模的网络接入和动态变化的网络需求，6G 网络的复杂度将以指数级别增长。“6G 网络架构设计时，需要尽量的降低网络的复杂度”。可以考虑通过同态化的设计，端到端采用统一的设计思想，采用统一的接口基础协议，多种接入方式采用统一的接入控制管理技术，基础网络架构以极少类型的网元实现完整的功能等。通过智简设计，使得 6G 网络通信所需的协议数量和信令交互大幅减少，从而降低网络的复杂度，同时使其具备韧性、安全性和可靠性的特点。

为全面满足 6G 的新业务新场景，通过对 6G 网络架构的创新设计，力求实现如下四个转变：

1. 从集中化向分布化转变。通过去中心化的信任架构，以及控制的分布化和层次化，实现以用户为中心的控制和管理；架构设计支持具有隐私保护、可靠性、高吞吐量特性的区块链。满足用户丰富多彩的个性化需求。适应数据的分布式特性及算力的分布式部署。

2. 从重型增量式设计向智简一体化设计转变。通过智简的接入网架构设计、智能化的端到端内生感知 - 计算 - 控制一体化机制、核心网络功能同态

化以及接口协议的智简统一设计，实现智简一体化的网络架构，内生智能的至强功能，从而降低网络复杂度，达到轻量化网络架构的目标。

3. 从外挂式设计向内生设计的转变。被动的、补丁式的、增量式的功能增强难以满足 6G 支持面向全社会、全行业、全生态的各种业务需求，反而导致网络规模和功能越来越复杂。通过设计算力、数据与网络深度融合的智慧内生和安全内生机制，打造多维立体全场景深度智慧接入与多网共生融合体系，实现 6G 网络内生设计，打造 6G 内生网络。

4. 从地面接入向空天地海泛在接入的转变。6G 网络架构需要支持天基、空基、地基多种接入方式，固定、移动、卫星多种连接类型，个人、家庭、行业多种服务类型，并实现网络侧的多接入、多连接、多服务融合。固定、移动、卫星多种连接类型，个人、家庭、行业多种服务类型，并实现网络侧的多接入、多连接、多服务融合。

(二) 6G 网络总体架构展望

6G 网络将实现包括陆海空天在内的全球无缝覆盖。社会管理、经济生产、人类生活将愈发依赖高效可靠运行的网络。在 6G 时代，甚至一个用户可能就是一个生态场景，需要从网络架构层面提供用户为中心的业务体验，让用户参与定义网络业务和定制化网络运营的机制，满足用户丰富多彩的个性化需求。通过网络架构的创新设计，解决现有网络存在的架构问题，同时满足 6G 网络业务定制化需求。

网络架构的组织方面，采用集中和分布协同的去中心化的分级网络。随着用户数量、网络设备数量、协议数量、接口数量以及网络设备之间的互连 / 交互数量快速增长，以及网络功能的快速增多，

集中控制的设计使得网络正变得越来越复杂。此外，庞大而集中的网络实体存在单点故障和拒绝服务攻击等风险。因此，可以考虑将 6G 网络通过集中和分布协同、分布式自治的方式进行组织，一方面将更多的网络功能扩展到网络边缘，另一方面将面向全局的核心功能集中，通过云网融合、分布式协同，支持更加复杂的业务。具有分布式、定制化特点的 6G 网络架构不仅可以抵御 DDoS 攻击和降低单点故障的风险，也可以为每一个用户提供定制化的策略。去中心化的用户和数据管理方式，也让终端用户获得了个人数字资产的所有权和控制权，提供 DaaS 数据服务，结合智慧内生的网络 AI，提供 AlaaS 智能服务。

网络元素方面，分布式的边缘网络由同构的微云单元根据场景按需扩展而成。6G 网络架构通过同态化的设计，让基础网络架构可以用极少类型的网元实现完整的功能，通信所需的协议数量和信令交互大幅减少，降低网络的复杂度，同时具备韧性、安全性和可靠性的特点。分布式的同构微云单元可以根据不同应用场景进行扩展，完成不同业务场景下的域内自治，形成网中网，满足空天地一体化的泛在接入需求及不同垂直行业的接入需求。

网络的治理机制方面，采用智能自治的分布式管理机制和数字孪生技术，实现 6G 网络的自组织、自演进。自组织包含自我管理、自保护、自适应和自愈。网络通过自我管理属性动态地进行资源管理，并利用自保护属性维持网络的稳态，基于服务要求自适应网络的状态变化，通过自愈属性使得遭遇恶意攻击的网络快速复原。自演进是指 6G 网络通过软件定义智能、编排与管理智能（例如认知网络、服务架构、全自动生命周期管理、信息物理系统与数字孪生网络），实现智能无线电、智能覆盖与智能演进的网络架构，确保服务、编排、管理、拓扑、部署、覆盖、空口、天线等连接要素的灵活性和软件可编程。通过意图驱动网络，基于意图表达/收集，转译验证，智能编排实施和网络感知分析，通过基于 AI 的数据驱动决策实现闭环控制，最终达到跨服

务、域和生命周期的闭环自我设计实施和优化演进，实现智能自治网络。

接口协议体系方面，采用智简统一的协议，实现网络服务即插即用。6G 网络作为社会基础设施需要支撑纷繁多样的服务需求，支撑的业务或者服务内容不仅千差万别并且服务质量要求越来越高，6G 网络需要有智简统一的协议体系，以降低支撑各类业务时的逻辑约束，新的网络功能和服务可以通过即插即用的方式引入。

考虑网络的兼容性和持续演进，端到端网络服务化，功能按需编排，实现高效网络服务。根据业务与应用层提供的用户需求，网络功能层按需地进行部署、参数的配置，同时按需调度与预留资源，由此在业务与应用层实现服务化构建。利用区块链等新技术，实现云、网、边之间资源的按需分配和灵活调度，从而在资源层实现服务化构建。基于微服务理念对无线协议功能进行重构，构建功能更细粒度的控制面与用户面网络功能资源池。该网络功能资源池中的每一个网络功能都可以独立迭代演进、弹性扩展，网络功能之间也可以根据用户需求按需组合，为用户提供定制化网络服务。此外，基于容器等云原生技术，实现网络架构的自我演进、业务的快速弹性部署，在网络功能层实现服务化构建。

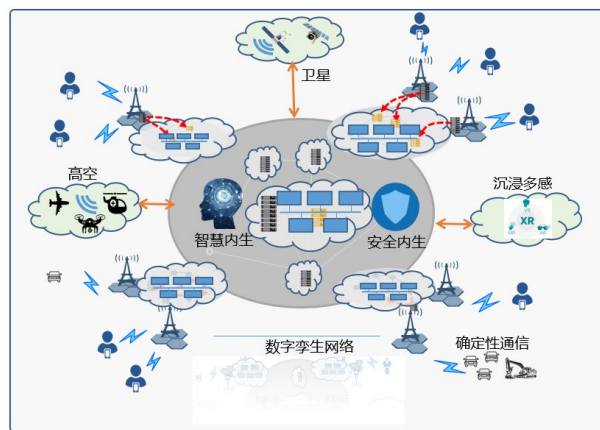


图 1 分布式自治的 6G 网络架构愿景

四、 6G 网络潜在技术和关键能力

(一) 潜在架构类技术

(1) 分布式网络技术：集散共存、分布自治

为了满足多样化场景的业务要求，6G 网络需要实现空、天、地、海立体覆盖以及多种异构网络的融合共存。同时，DOICT 融合发展的技术，驱动通信网络持续走向开放，既能实现网络集中控制，又能灵活实现转发设备就近接入以及本地分流。随着分布式边缘计算以及智能终端设备大量部署，计算和存储等资源下沉至边缘节点，需要分布式与集中式协作的云边融合网络来支持。因此，未来 6G 网络架构将会是集中控制式移动通信网络与开放式互联网相互融合的、集散共存的新型网络架构。

分布式网络技术在一定程度上突破了中心化的限制，驱动了互联网业务的飞速发展。包括在网络成员之间共享、复制和同步数据库的分布式账本技术（DLT），实现分布式数据存储的去中心化点对点传输的星际文件系统（IPFS），实现网络功能的分布式，快速查找及访问等的分布式哈希表（DHT），以及组合多种分布式技术的区块链等技术。其中，区块链技术凭借其多元融合架构赋予的去中心化、去信任化、不可篡改等技术特性，为解决传统中心化服务架构中的信任问题和安全问题提供了一种在不完全可信网络中进行信息与价值传递交换的可信机制。因此，在网间协作、网络安全等方面引入区块链技术思维，可以增强网络扩展能力、网间协作能力、安全和隐私保护能力。此外，区块链技术还能够提供高性能且稳定可靠的数据存证服务，保证数据的安全可信和透明可追溯。

借鉴这些分布式网络技术的思想，融合应用于未来 6G 网络架构的设计，将能够为构建网络分布式的自治，去中心化的信任锚点，实现分布式的认证、鉴权、访问控制，以及为用户签约数据的自主

可控，符合数据保护等法规提供技术支撑，降低单点失效和 DDoS 攻击的风险。在 6G 分布式网络中，大量多元化的节点（如宏基站、小基站、终端等）高度自治，且具有差异化的通信特征、缓存能力、计算能力以及负载状况等，从而需要协同不同的节点，实现分布式网络资源互补和按需组网。但是，由于分布式网络资源可能属于不同的企业、运营商、个人或第三方等，需要建立去中心化网络安全可信协作机制。因此，基于区块链技术和思想，实现资源安全可信共享、数据安全流通及隐私保护，成为未来 6G 网络提供信任服务的新方向。

通过 DHT 结合 DLT 的方式来实现用户为中心的网络架构，如图 2 所示，满足用户定制化的网络功能，细粒度的个性化服务，并提供去中心化的 TaaS（Trust as a Service）服务。用户的签约数据等由 DHT 实现链下存储，避免区块链膨胀等问题，并结合需授权的区块链保护用户的隐私，实现区块链与无线通信的深度融合，打破“人-机-物-网”之间的信任壁垒，提升无线网络的效率与安全性。

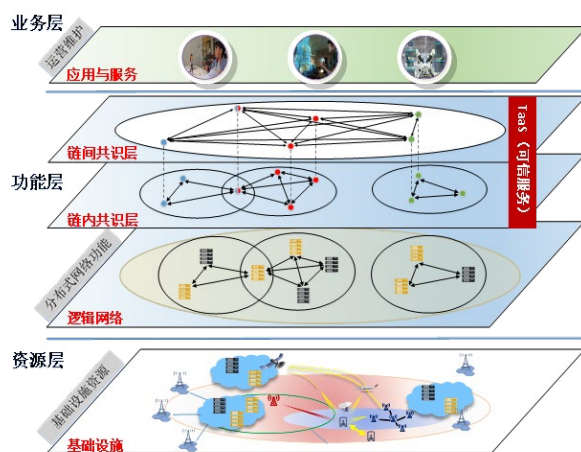


图 2 分布式网络技术

因此，未来 6G 网络中需要利用分布式人工智能、区块链、SDN、NFV 等技术建立可按需调整、可弹性伸缩、安全可信、具有自组织、自演进能力的分布式网络，实现多接入网络、海量终端、多样化业务与多模式资源的协同，提升网络的可靠性和安全性等性能。并使得 6G 网络与数字孪生和联邦学习等前沿技术的融合更加稳定可靠，支撑实现 6G 网络的智慧内生和安全内生。

(2) 空天地一体化组网：泛在连接、多网融合

在 6G 时代，天基（高轨 / 中轨 / 低轨卫星）、空基（临空 / 高空 / 低空飞行器）等网络将与地基（蜂窝 / WiFi / 有线）网络深度融合，组成一张空天地一体化网络，不仅能够实现人口常驻区域的常态化覆盖，而且能够实现偏远地区、海上、空中和海外的广域立体覆盖，满足地表及立体空间的全域、全天候的泛在覆盖需求，实现用户随时随地按需接入。此外，天基、空基和地基接入，在不同环境和业务场景下各具优势，空天地一体化融合网络可以综合利用固网资源与卫星资源，并发挥其优势来扩展移动网络的覆盖范围，同时通过天基、空基和地基多接入的融合，提供更快的速率、更好的服务质量 (QoS) 和更高的可靠性，为用户提供极致、可靠、连续的通信服务。

空天地一体化的 6G 网络将实现人联与物联、无线与有线、广域和近域、空天和地面等的智能全

连接，为用户提供泛在通信服务，不仅可以在全球实现宽带和物联网通信，还可以将增强定位导航、实时地球观测等新能力集成到 6G 系统中。未来，用户无论是步行、乘车、乘机，甚至当部分通信基础设施因灾害而受损后，都可以通过同一部终端接入 6G 网络，并获得连续的高质量的服务体验。

空天地一体化网络不是卫星、飞行器与地面网络的简单互联，而是在系统层面实现地面与非地面网络的全面一体化，在体制、协议、网络、业务、终端等方面实现深度融合。目前业界针对空天地一体化网络的研究及标准化已经展开，例如，ITU-R 开展了 NGAT_SAT 立项，提出了将卫星系统整合到下一代移动通信系统中；ITU-T 开展了固定、移动、卫星融合标准研究，提出了核心网上星架构、多接入融合网络技术以及业务连续性技术；3GPP 开展了 NTN 和 SAT_ARCH 的标准化工作，致力于将 5G 网络与卫星结合，提出了透明弯管和再生两类网络融合架构。产业界和学术界积极推进空天地一体化网络的技术需求、网络架构以及关键使能技术研究和验证。当前，空天地一体化网络的研究还处于起步阶段，通过开展一体化网络体系架构、组网协议、路由交换、网络管理的天地融合设计与研究，实现空天地一体化网络的分阶段、有序推进和部署。具体而言，空天地一体化网络的研究需要在以下方面重点展开：

1. 灵活高效的一体化网络架构。当前网络架构

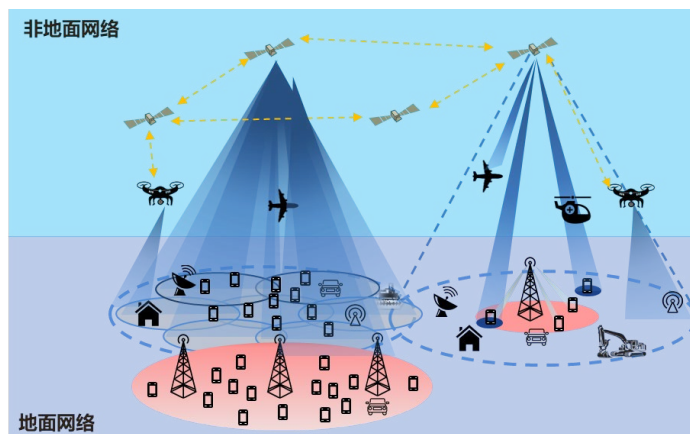


图3 空天地一体化网络体系结构

在广域分布、通信能力受限和拓扑高动态变化网络环境下，面临着组网复杂、传输延迟大、灵活性差、部署成本高等问题。首先，网络连接受到天基、空基网络拓扑动态变化的影响，需要根据网络环境和用户需求进行灵活有效的架构设计，可考虑引入服务化的设计理念。其次，网络功能需要柔性、灵活、分布式地部署在不同地理位置的多个节点，从而实现空天地网络的高效协同。最后，需要考虑多种地面网络和非地面网络在系统架构、技术体制、接口协议层面的融合和简化，解决系统复杂度问题。

2. 移动性 / 会话管理与动态路由技术。移动性管理和会话管理是空天地一体化网络为用户提供连续通信服务的基础。一体化移动性管理需要考虑空天网络拓扑动态变化、传输时延大，星地、星间、空基链路鲁棒性差等问题，融合多领域的移动性技术，增强通信服务的连续性。例如，基于星历信息的星地链路切换技术、基于用户终端 GNSS 定位的切换技术、基于双连接的软切换技术等方案，都是减小切换时延、降低切换频次、提高切换成功率的有效手段，有助于增强业务连续性。一体化会话管理需要考虑天基 / 空基 / 地基异构融合网络的高效协同，实现对一体化异构融合网络资源的高效利用。同时，大规模动态路由技术以及高效网络资源管理策略，能够构建空天地一体化网络的智能连接基座，有助于带宽、时延等用户服务质量的提升。

3. 质量可预测的服务保障。基于低轨卫星、空

基平台等非地面网络的接入服务能够有效提升网络覆盖和容量，但其本身面临着链路时延抖动大、用户和馈电链路切换频繁、星间 / 星地网络拓扑动态变化等一系列不利于服务质量保障的因素。因此，在实际应用中，面向空天地一体化网络的服务质量保障，实现确定性服务质量保障存在很大难度，可行的是通过引入时延探测、时延预测、资源调度等技术方案，以及星历、GNSS 定位等辅助手段，实现带宽、时延等质量可预测的服务保障，为用户提供可预期的可靠通信服务。

(3) 网络智慧内生：AI 构建网络、网络赋能 AI

6G 网络需要满足未来 2B/2C 等智慧内生的基本诉求，相比于之前的网络架构设计存在几个方面的范式转变：

– 从云化到分布式网络智能的转变。由于网络中数据和算力的分布特性，要求 6G 构建开放融合的新型网络架构，实现从传统的 Cloud AI 向 Network AI 转变。

– 对上行传输性能加强关注的转变。和之前网络以下行传输为核心不同，智能服务将带来基站与用户之间更为频繁数据传输，需要重点考虑上行通信的场景需求以更有效支撑分布式机器学习运用。

– 数据处理从核心到边缘的转变。未来数据本地化的隐私要求，极致时延性能，以及低碳节能等

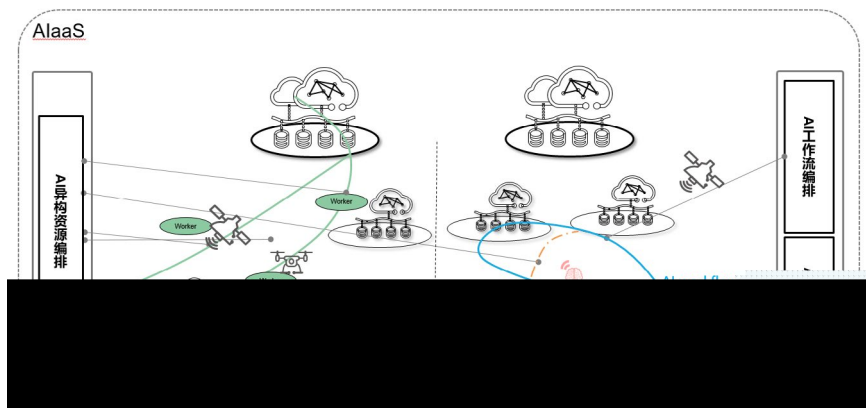


图 4 Network AI 架构级原生 AI，赋能 AlaaS 业务

要求，要将计算带到数据，支持数据在哪里，数据处理就在哪里。

为了应对这些转变，新的网络架构以及相应的协议亟待提出，需要设计一套完整的连接 + 计算 + 智能的融合方案，实现网络的智慧内生，而不仅仅是增强管道连接的性能。新的网络架构对内能够利用智能来优化网络性能，增强用户体验，自动化网络运营，即 AI4Net，实现智能连接和智能管理；同时对外能够为各行业用户提供实时 AI 服务、实时计算类新业务，即 Net4AI。相比于基于云的优势，集成连接和行业的 Cloud AI，在数据隐私、极致性能和海量数据传输导致的高能耗等方面都能提供更优的解决方案。这需要思考和重塑端管云模型，使得 6G 成为一个无处不在、分布式、智慧内生的创新网络，不再是一个纯“管道”，这可能是 6G 的真正机遇。

要支持智慧内生的网络，移动基础设施要从单纯的连接服务发展为连接服务 + 计算服务的异构资源设施，包括网络、算力、存储等。在这样的基础设施上，构建较完善的 AlaaS 平台来提供训练和推理服务，形成完整的 Network AI 架构。主要包括 3 个基本的能力，分别为 AI 异构资源编排，AI 工作流编排和 AI 数据服务。资源编排为 AI 任务提供基站、终端等 worker 节点支撑，提供包括计算、传输带宽、存储等各类资源；AI 工作流编排对网络 AI 任务进

行控制调度，串联起各个节点完成训练和推理过程；中间的数据流则由数据服务来管控。由这 3 项基本能力构建起的网络 AI 架构可以高效的为 AI4Net 和 Net4AI 执行训练和推理任务，例如智能运维下进行基站和终端异常数据的收集并训练模型，实现异常的自动检测推理任务，有效进行规避。

要实现上述目标，Network AI 应原生提供如下关键特性：

1. Network AI 的管理和编排

AI 的管理和编排主要涉及平台能力的构建，AI 工作流的运营、管理和实施部署能力。需要发展相应的工具，针对跨域跨设备等情况来对 Network AI 工作流进行统一的管理编排，相关接口也需要标准化。

Network AI 涉及的资源是分布式、混合多类型的，这和 Cloud AI 的资源分布以及类型是完全不同的，需要在网络架构上新增对大规模分布式异构资源进行智能调度的能力。要依据智慧内生网络的特点，设计新的 AI 框架和分布式学习算法，考虑模型的计算依赖和迁移，AI 各层数据传输要适配网络各节点的传输能力等，通过分层分布式的调度，适应复杂环境，满足复合目标和可扩展性，真正体现 6G 网络的 AI 原生性。

管理编排机制在实际应用中可以分为集中式和分布式。分布式可以做去中心化的全分布式，也可

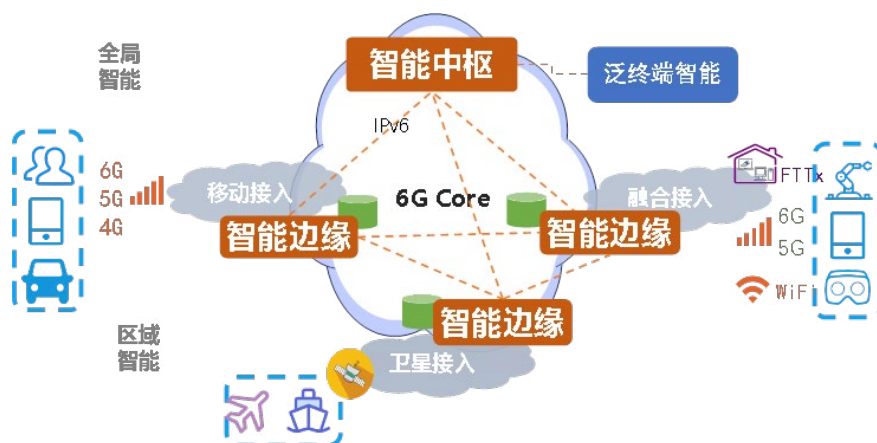


图 5 Network AI 的网络功能架构示例

以进行分层管控。

2. Network AI 网络功能架构

Network AI 的网络功能架构是分层融合的，如下图所示，包含全局智能层和区域智能层：

1) 全局智能层，即内生智能超脑，为集中的智能控制中心，具有智能中枢功能，完成全局统筹的中枢控制与智能调度。全局智能层与灵活快速的智能边缘协同组成分布式、层次化控制体系，智能协同分布式网络功能和泛终端智能功能，实现端到端的内生智能控制。

2) 区域智能层，是部署在各种分布式网络或者泛终端智能边缘的智能功能，与智能中枢协同构成网络的内生 AI 体系。区域智能层通过分布式的 AI 算法，比如联邦学习算法，与智能中枢共同完成网络的内生智能功能，为海量边缘设备提供快速按需的智能服务。此外，在智能中枢的大尺度控制下，在特定场景下，智能边缘之间可交互实现分布式的智能协同。

3. DOICT 融合的基础设施

在 6G 时代，信息、通信和数据技术将全面深度融合，支持全场景接入，实现海量终端和连接的智能管控，支持根据应用需求和网络状态进行连接的智能调度。同时还需要大量的计算资源进行实时训练和高效推理。这将导致移动通信网络在提供通信相关的控制面和用户面基础上，要考虑增加独立计算面的架构，同时对数据采集和处理有高性能要求。

另外，6G 网络 AI 提供的是一个低碳节能的开放生态，并将持续推动周边产业的发展。包括芯片制造、人工智能、网络终端设备等，如纳米光子芯片等更小且算力更强的芯片；为了满足更快更准确的智能分析业务需求，需要人工智能产业提供训练模型更加优化的机器学习算法，提供可以广泛应用的联邦学习、多智能体学习等分布式学习算法；为了实现云-边-端的新型网络智能架构，需要网络和终端设备产业提供新型的网络设备和接口，以满足网络中各层智能的数据生成和交换。

(4) 安全内生：预测危险、抵御攻击

随着 6G 网络与 AI 的深度融合，通过对网络数据、业务数据、用户数据、网络攻击行为和安全威胁情报等多维数据进行学习，助力网络安全智能化，提高通信安全自主自治能力，降低网络安全运营成本，建设可度量、可演进的安全内生防护体系。

随着 6G 网络进一步朝着资源边缘化和网络分布式演进，计算和智能下沉带来的数据隐私和通信安全成为新的安全问题。区块链特有的哈希链式基本架构及其关键技术为 6G 安全可信管理、构建信任联盟提供了新的技术支撑。将区块链与身份认证结合，可实现身份自主管控、不可篡改、有限匿名等，解决 6G 多方信任管理、跨域信任传递、海量用户管理等难题。隐私计算作为信息安全的核心技术之一，可以为 6G 网络提供一个时间上持续、场景上普适、隐私信息模态上通用的体系化隐私解决方案，实现对隐私信息的全生命周期保护。

针对 6G 网络多域异构互联、空天地一体化接入、海量设备及用户随遇接入、用户身份多元、跨域交叉认证与可信访问等特点和应用需求，通过轻量级接入认证技术，在保证安全性的基础上，简化认证流程、压缩安全协议，实现跨域的身份可信和统一管理。

随着 6G 网络与行业应用的深度融合，轻量级、高效处理、按需编排等复杂的安全能力将是 6G 网络安全的基本要求，软件定义安全提供的可编程、编排管理能力将为 6G 网络提供弹性的安全防护能力，快速适应和满足 6G 网络的弹性安全需求。

基于上述分析，6G 网络安全内生应具备以下特征：一是主动免疫，基于可信任技术，为网络基础设施、软件等提供主动防御功能；二是弹性自治，根据用户和行业应用的安全需求，实现安全能力的动态编排和弹性部署，提升网络韧性；三是虚拟共生，利用数字孪生技术实现物理网络与虚拟孪生网络安全的统一；四是安全泛在，通过端、边、网、云的智能协同，准确感知整个网络的安全态势，敏捷处置安全风险。

1. 主动免疫。信任是实现 6G 网络安全的基础，与传统的信任体系相比，6G 网络中的信任机制在多个方面得到了增强。在接入认证方面，除了传统的接入认证机制外，6G 网络还需要面向空天地一体化网络的轻量级接入认证技术，实现异构网络随时随地无缝接入。在密码学方面，量子密钥、无线物理层密钥等增强的密码技术，为 6G 网络安全提供了更强大的安全保证。区块链技术具有较强的防篡改能力和恢复能力，能够帮助 6G 网络构建安全可信的通信环境。此外，通过可信计算技术可以实现网元的可信启动、可信度量和远程可信管理，使得网络中的硬件、软件功能运行持续符合预期，为网络基础设施提供主动免疫能力。

2. 弹性自治。6G 网络将是泛在化和云化的网络，传统的安全边界被完全打破，安全资源和安全环境面临异构化和多样化的挑战，因此 6G 安全应具备内生弹性可伸缩框架。基础设施应具备安全服务灵活拆分与组合的能力，通过软件定义安全、虚拟化等技术，构建按需取用、灵活高效的安全能力资源池，实现安全能力的按需定制、动态部署和弹性伸缩，适应云化网络的安全需求。

3. 虚拟共生。6G 网络将打通物理世界和虚拟世界，形成物理网络与虚拟网络相结合的数字孪生网络。数字孪生网络中的物理实体与虚拟孪生体能够通过实时交互映射，实现安全能力的共生和进化，

进而实现物理网络与虚拟孪生网络安全的统一，提升数字孪生网络整体安全水平。此外，数字孪生技术能够帮助物理网络实现低成本试错和智能化决策，可将其应用于安全演练、安全运维等场景，赋能 6G 网络安全领域，以内生的方式提升 6G 网络安全。

4. 安全泛在。智慧内生的 6G 网络中，机器学习和大数据分析技术在安全方面将得到广泛和深度的应用。在 AI 技术的赋能下，6G 网络能够建立端、边、网、云智能主体间的泛在交互和协同机制，准确感知网络安全态势并预测潜在风险，进而通过智能共识决策机制完成自主优化演进，实现主动纵深安全防御和安全风险自动处置。

(5) 数字孪生网络技术：虚实结合、闭环控制

数字孪生是物理实体在数字世界的实时镜像，具备虚实融合与实时交互、迭代运行与优化，以及全要素、全流程、全业务数据驱动等特点，目前已在智能制造、智慧城市、复杂系统运维等领域得到成功运用。6G 时代，伴随着人工智能、大数据、云计算等技术的不断发展以及信息和感官的泛在化，数字孪生技术也将更广泛地运用于人体健康、家居生活和科学研究等领域，使得整个社会走向虚拟与现实结合的“数字孪生”世界。

数字孪生技术在改变我们的生产系统的同时，

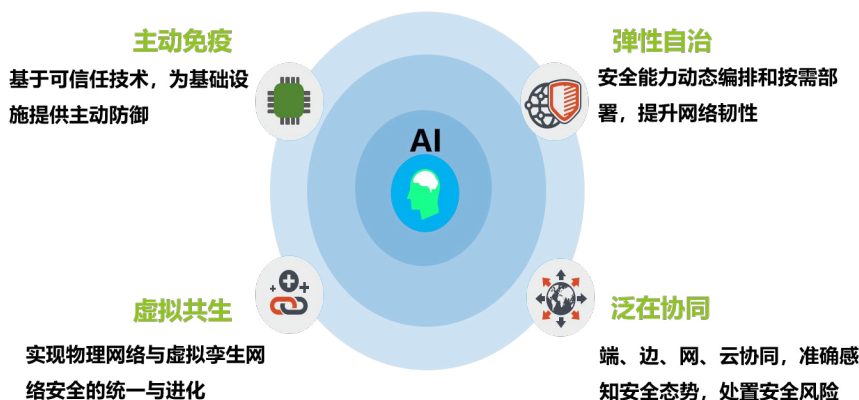


图 6 6G 网络安全内生特征

也使得网络本身的数字化成为可能。传统的网络优化和创新往往需要在真实的网络上直接尝试，耗时长、服务影响大。网络新技术研发经历仿真验证实验室验证和试点验证等多个阶段，研发周期长，并且难以遍历商用网络中潜在的组网和应用情况。基于数字孪生的理念，网络将进一步向着更全面的可视、更精细的仿真和预测、更智能的控制等方向发展。数字孪生网络（DTN, Digital Twin Network）是一个具有物理网络实体及虚拟孪生体，且二者可进行实时交互映射的网络系统。在此系统中，各种网络管理和应用可利用数字孪生技术构建的网络虚拟孪生体，基于数据和模型对物理网络进行高效的分析、诊断、仿真和控制。同时，数字孪生网络服务作为一种新的网络服务为业界提供端到端或部分网络功能的孪生服务，使能移动网络创新加速，以降低电信行业研发成本和缩短研发周期。

数字孪生网络平台通过物理网络和数字网络实时交互数据，相互影响，可以帮助实现更加安全、智能、高效、可视化的智慧 6G 网络。构建一个网络孪生体需要四个关键要素：数据、模型、映射和交互。基于四要素构建的网络孪生体可帮助物理网络实现低成本试错、智能化决策和高效率创新。将数字孪生网络作为 6G 网络的关键使能技术和平台，可助力 6G 网络达成柔性网络和智慧内生等目标。数字孪生网络可以设计为如下图所示的三层架构。

第一层为物理网络层。6G 物理实体网络中的各种网元通过简洁开放的南向接口同网络孪生体按需交互端到端的网络状态和网络控制信息。

第二层为孪生网络层。孪生网络层在网络管控平面上构建物理网络的虚拟镜像，是数字孪生网络系统的核心，包含数据共享仓库、服务映射模型和数字孪生体管理三个关键子系统。

1. 数据共享仓库：通过南向接口采集并存储各种网络实体的历史数据及实时运行数据，形成数字孪生网络的单一事实源；并向服务映射模型子系统提供完备的数据以及高效的接口和服务。

2. 服务映射模型：基于数据的基础模型和功能模型通过实例或者实例的组合向上层网络应用提供服务，最大化数字孪生服务的敏捷性和可编程性。作为数字孪生网络的能力源，数据模型的种类越丰富，数字孪生网络所能提供给网络应用的能力就越强大。

3. 网络孪生体管理：完成数字孪生网络的管理功能，全生命周期的记录，可视化呈现和管控网络孪生体的各种元素，包括拓扑管理、模型管理和安全管理。

第三层为网络应用层。利用数字孪生网络，常规的网络运维和优化、网络智能化应用、意图驱动的网络智能自治、以及面向未来的网络新技术创新和依托于极致网络性能的新业务创新等均可通过北

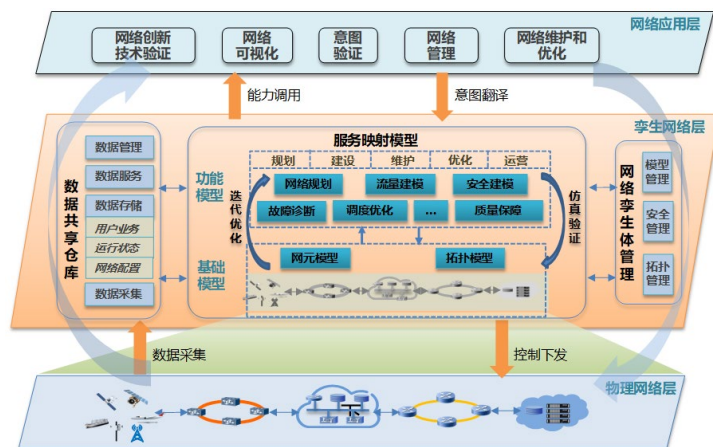


图 7 数字孪生网络架构

向接口向网络孪生体输入需求，并通过网络孪生体的模型化实例在孪生层进行业务的部署，充分验证后，孪生层通过南向接口将控制更新下发至物理实体网络。

数字孪生网络可作为实现 6G 网络数据感知、智能控制、安全内生，以及全生命周期自治的重要基础。目前业界数字孪生网络相关的研究刚刚起步，面向未来 6G 网络构建数字孪生网络，产业界和学术界需要进一步探讨数字孪生网络的场景和需求，明确数字孪生网络的定义和统一架构；同时，在数据采集、数据存储、数据建模、接口标准化以及支撑大规模网络下兼容性、可靠性和安全性等关键方向上深入研究，逐步推进数字孪生网络技术的成熟和应用。

(6) 算力网络技术：网络无所不达、算力无处不在

在 6G 时代，网络不再是单纯的通信网络，而是集通信、计算、存储为一体的信息系统。对内实现计算内生，对外提供计算服务，重塑通信网络格局。为了满足未来网络新型业务以及计算轻量化、动态化的需求，网络和计算的融合已经成为新的发展趋势。

在网络和计算深度融合发展的大趋势下，网络演进的核心需求需要网络和计算相互感知，高度协同，算力网络（CFN: Computing Force

Network）将实现泛在计算互联，实现云、网、边高效协同，提高网络资源、计算资源利用效率，进而实现：

– **实时准确的算力发现：**基于网络层实时感知网络状态和算力位置，无论是传统的集中式云算力还是在网络中分布的其他算力，算力网络可以结合实时信息，实现快速的算力发现和路由；

– **服务灵活动态调度：**网络基于用户的 SLA 需求，综合考虑实时的网络资源状况和计算资源状况，通过网络灵活动态调度，快速将业务流量匹配至最优节点，让网络支持提供动态的服务来保证业务的用户体验。

– **用户体验一致性：**由于算力网络可以感知无处不在的计算和服务，用户无需关心网络中的计算资源的位置和部署状态。网络和计算协同调度保证用户获得一致体验。

6G 时代，将会实现网络资源和计算资源的全面融合，满足 6G 分布式区域自治的架构，最终实现计算能力通过网络内生，网络提供泛在协同的连接与计算服务。

为了兼顾网络架构的延续性，并引入泛在计算和服务感知、互联和协同调度等新能力，算力网络应具备算力服务功能，算力路由功能，算网编排管理功能，需要结合算网资源，即网络中计算处理能力与网络转发能力的实际情况和应用效能，实现各类计算、存储资源的高质量传递和流动，如图所示：

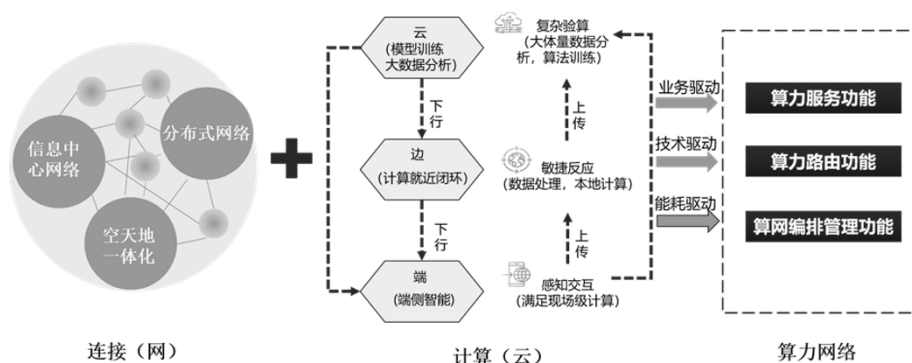


图 8 算力网络功能需求架构图

算力服务功能：承载泛在计算的各类服务及应用，以及与之相关的算力交易功能。可以将用户包括算力请求在内的 SLA 请求参数传递给网络控制节点和算网编排管理节点，并且逐步根据算力服务的共性特征，形成 API 封装的平台级能力。

算网编排管理功能：完成算力运营及算力服务编排，完成对算力资源和网络资源的管理，包括对算力资源的感知、度量和 OAM 管理等；实现对终端用户的算网运营，以及对网络资源的管理功能。同时，也将通过合理的算网联合编排服务，降低计算网络联动的总体能耗，实现绿色低碳的算网最优组合。

算力路由功能：主要通过网络控制平面实现算力信息资源在网络中的关联、分发、寻址、调配、优化等功能。网络控制可以基于抽象后的算网资源发现，综合考虑网络状况和计算资源状况，将业务灵活按需调度到不同的计算资源节点中，以便实现算力路由功能。

此外，算网资源是指算力网络中的统一基础设施，包含网络资源即接入网、城域网和骨干网，及为网络中的各个角落提供无处不在的网络连接；各类异构算力资源，狭义上包括 CPU、GPU、NPU 等以计算能力为主的处理器，广义上也可以包括具备存储能力的各类独立存储或分布式存储，以及通过操作系统逻辑化的各种具备数据处理能力的设备。从设备层面来看，算力资源不仅包含服务器、存储等常用的数据中心计算设备，还包括汽车、手持终端、无人机等可以提供算力的端侧设备。

算力网络关键技术包括如下内容：

算力度量与建模：算力度量与建模是提供算力服务的关键基础技术。未来，算力网络中的算力提供方不再是专有的某个数据中心或计算集群，而是云边端这种泛在化的算力。泛在算力通过网络连接在一起，实现算力的高效共享。如何准确感知这些异构的泛在芯片的算力大小、不同芯片所适合的业务类型以及在网络中的位置，并且有效纳管、监督，是算力度量与建模研究的重点内容。

基于算力资源感知的算力路由：在算力网络中，将算力资源进行度量和建模后，通过编码的方式加载到网络控制层报文中进行信息共享。网络控制层基于共享的算力资源信息进行网络决策，引导业务路由到不同的算力资源池，或者通过不同算力资源池之间的协作进行业务处理，从而实现网络对算力资源的感知，以此为依据指导全网路由。

在网计算：依托于可编程网络技术的落地部署，在网计算（In-Network Computing, INC）可通过在网络中部署算力对报文进行处理。在网计算可通过开放的可编程的异构内生资源实现网内内生算力的共享，在不改变业务原有运行模式的前提下，对数据进行就近加速处理，尽可能实现应用的无缝迁移，降低应用的响应时延，简化应用的部署流程。

(二) 潜在能力类技术

(7) 可编程网络技术：按需定制、敏捷灵活

随着通信网络支持的行业场景越来越多样化，网络架构和功能也变得越来越复杂，带来网络演进和定制的复杂化。为了使网络适应未来多变的需求，在 6G 网络中应通过引入端到端可编程网络技术，让网络更加智能和灵活，并且从网络架构本身进行根本性的改进，设计更加高适应性和灵活弹性的网络。

在 5G 阶段已经开始进行了一些网络可编程的探索和改进。5G 核心网中引入 SBA 服务化架构，从根本上改变了传统的 P2P 点到点架构通信方式。5G 核心网采用了控制面与用户面解耦（C/U 分离）的架构。其中控制面基于云原生的软件设计，使得 5G 核心网的控制面网络功能可以快速构建、发布及部署，结合云计算实现网络功能与底层硬件及操作系统解耦。用户面则重点关注如何利用各种新兴的转发技术满足 5G 网络的低时延和高带宽需求。

如图 9 所示，面向 6G 网络，可编程技术从控制面可编程向用户面可编程演进。服务化控制面的网络功能支持容器化、云原生的方式部署，采用网络控制器，将 Runtime 配置下发到用户面。在将控制面各个网络功能以 SBA 架构灵活解耦提供的基础

上，通过协议无关的用户面编程语言，网络运营者还可以进一步灵活定义用户面的分组处理逻辑。通过对用户面诸多网络功能的灵活定义和在各个可编程网元上的优化编排，可以实现用户面功能的服务化部署。控制面可编程和用户面各网元的端到端可编程共同构成了面向 6G 的深度可编程网络架构。可编程网络能够以前所未有的敏捷性和灵活性为消费者提供创新的通信服务；而且能够支持业务的更快速部署，例如：提供基于云原生设计的网络切片业务。可编程网络的重要使能因素包括基于服务化的体系结构（SBA）、云原生实现的网络虚拟化和微服务架构、持续集成 / 持续交付（CI/CD）方法以及面向网络应用的定制可编程用户面芯片和硬件平台。

在未来的 6G 时代，考虑到业务需求动态变化以及网络灵活扩展的需求，6G 网络更需要具备统一架构下按需部署网络功能或服务的能力，以及动态编排和按需资源调度的能力。在未来通信网络引入可编程思想，对传统网络架构进行改进，通过承载与控制分离以及网络功能软件化，将网络设备控制平面从嵌入式节点独立出来到软件平台，由软件驱动的中央控制节点自动对网络架构进行控制。此外，在 5G 网络架构 C/U 分离的基础上，6G 的用户面功能也将采用新型可编程技术实现。如目前在数据中

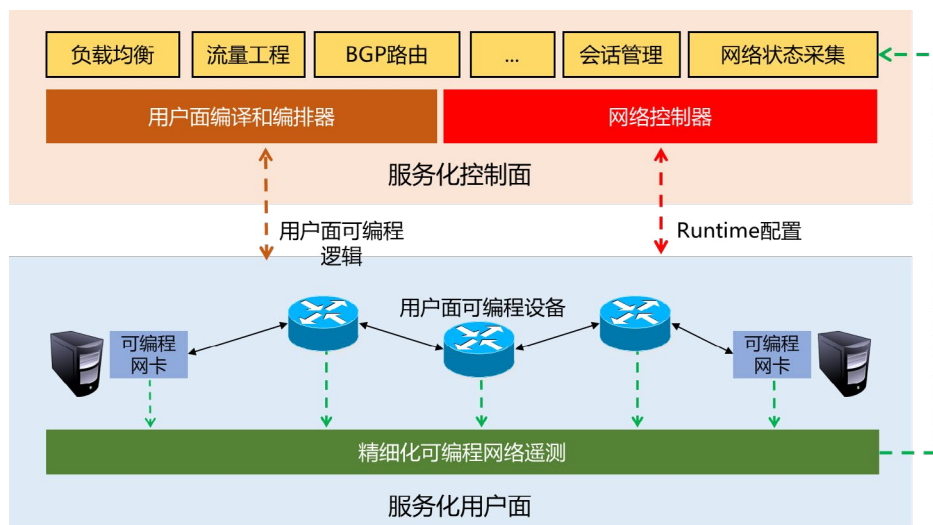


图 9 可编程网络技术

心网络中开始大规模采用的智能网卡卸载技术、可编程交换芯片技术和 DPU 技术等将逐步从 IT 领域渗透到 CT 领域，促进 6G 用户面在满足高带宽、低时延转发的基础上，进一步支持与控制面中央控制节点联动的在网动态用户面编程和升级。6G 网络中的网元将支持控制面和数据面的可编程能力，从而可以构建灵活的可编程网络，实现全网的智能动态调优。通过提升 6G 网络的软件化程度和可编程能力，可以实现网络的灵活可控制、融合可演进、以及弹性可定制的特性，从而在更短的时间内实现网络功能的开发和部署，为未来 6G 网络的演进提供更大的发展空间。

可编程网络对运营商的影响包括创造所需的效率和灵活性，根据客户 / 合作伙伴的需要实时扩展容量和能力；提高 ICT 价值链和新兴平台经济的相关性；开发新的商业模式，扩展现有业务并寻求新的商业机会。

基于可编程网络技术可以提供更广泛的服务和更好的网络性能，使得网络可以更好地满足消费者的期望。智慧城市和智能工厂等新兴领域将受益于更丰富的通信服务，应对不同物联网设备的需求。可编程网络可以提供更多的服务定制和更快的响应速度。使用可编程技术，6G 网络可以从多个方面进行优化：

- 优化网络服务的定义，减少冗余设计，统一网络服务能力；
- 分析不同的部署场景或用例，通过可编程接口实现网络能力的灵活定制化；
- 将人工智能引入网络服务设计和部署实施中，以更快速获取网络能力升级；
- 在协议栈功能设计方面，可以考虑差异化的协议功能设计，优化协议功能分布和接口设计，结合 AI 技术进一步增强协议功能。

(8) 通信和信息感知融合网络：多维感知，赋能通信

6G 网络融合数字世界和物理世界，通信技术需要进一步发展到支撑感知万物的需求，从而实现万物智联。通信和信息感知融合网络具备在尽可能不影响通信功能的前提下，使用通信技术本身的可用以感知探测的能力，实现对目标、环境或者内容的智能自适应的感知，助力网络通信性能的提升或赋予通信系统新的能力。因此，通信和信息感知融合使得通信网络不仅是提供信息传输和交互的载体，更让通信网络本身成为一种能够产出有价值信息的庞大资源。通信网络的信息感知也是多维多粒度的：

- **环境和目标感知。**新的频段和大规模天线的进一步演进为无线通信感知深度融合提供了可

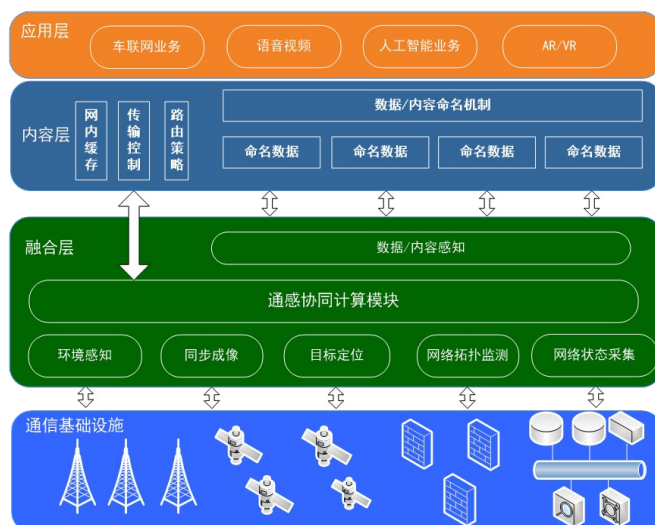


图 10 通信和信息感知融合网络

能，利用无线通信信号接收和处理反射实现完成物理环境的探测、目标定位和跟踪、移动同步成像、测距制图以及光谱分析等。网络架构需要增强以适配多基站协同感知以及感知能力开放。

- **业务数据和内容感知。**网络数据和内容的感知关键在于对数据和内容的识别、评估和筛选，可利用基于数据和内容命名，将内容与位置解耦的信息中心网络技术在网络层上实现对业务数据和内容的识别。网络架构需要增强以支持采用新编码方式的业务和内容的感知以及 QoS 控制。

- **网络状态感知。**网络状态感知包括网络设备的运行状态、网络连接的拓扑变化、用户行为和分布状态等信息的获取，是实现自治网络和自愈网络的基础。网络架构需要增强以满足网络状态的智能化感知、预测以及网络自治。

图 10 展示了一种通信和多维信息感知融合的网络系统结构。

- **应用层。**所有通信应用业务，语音视频、物联网业务及虚拟现实非共享类业务。

- **内容层。**基于信息中心网络技术，解耦信息与位置关系，对内容 / 信息进行命名，制定以内容 / 信息命名方案（例如层次化可汇聚命名方案）的路由算法，并且内容 / 信息可以缓存在网络中的任何位置，满足网络对相同内容 / 信息请求的快速响应，提高网络利用率和数据的可用性。信息中心网络的这种以信息为中心的通信模式为网络感知应用数据和内容提供了一种“原生”支持。

- **融合层。**融合层是通信和信息感知一体化网络系统的核心层。包含 2 个主要功能：

- **多维信息感知。**利用射频感知、蜂窝网作为传感器等无线通信技术资源感知获取物理环境、目标定位跟踪识别、同步成像的信息数据；利用网络状态感知引擎获取网络设备的运行状态、网络连接的拓扑等网络状态信息；利用数据和内容感知引擎感知获取目标业务数据和内容信息。支持多维信息能力开放。

- **通感协同计算。**通感协同计算可以基于人

工智能技术，对网络中信息进行不同维度和粒度的计算和决策，以支持多维信息感知。比如，通感协同计算根据当前无线信号频谱特征决定感知精度、分辨率和误差，利用人工智能算法实现多个基站之间协同计算满足精度要求的定位、成像等功能；从多个采集网络状态，利用人工智能算法对网络状态进行故障分析和预测；可以结合联邦学习等人工智能技术从网络中多个数据源获取网络目标数据并进行计算，提取满足对应业务需求的价值信息等。

(9) 确定性网络技术：确定传输、极致性能

据 2021 年世界互联网发展趋势显示，全世界有超过 18.3 亿个网站；目前全球总人口数量达到 78 亿，互联网用户数量达到 48 亿，渗透率 59%，其中，移动端用户数量达到 51 亿，活跃社交媒体用户数量达到 37.8 亿，移动端社交媒体用户数量达到 38 亿。激增的数据业务造成网络出现了大量的拥塞崩溃、数据分组延迟、远程传输抖动等。但如 AR/VR、远程控制、智慧医疗、车联网、无人驾驶等应用对时延、抖动和可靠性有着极高的要求，比如端到端时延从微秒到毫秒级、时延抖动为微秒级、可靠性达 99.999% 以上。由此可见，仅提供“尽力而为”服务能力的传统网络，无法满足工业互联网、能源物联网、车联网等垂直行业对网络性能的需求。因此，面对“准时、准确”数据传输服务质量的需求，迫切需要建立一种能够提供差异化、多维度、确定性服务的网络。

6G 时代，希望在网络设计之初考虑异构接入、固移融合、协同管理，并吸取现有固网的二层、三层确定性传输协议，实现部署融合、协议支持、协同调度，从而获得端到端跨层、跨域的确定性数据传输。6G 时代将基于数据驱动实现真正的全场景万物互联，数字世界与物理世界的深度融合会加速多样化商业模式的爆发式增长。确定性网络技术可以广泛的运用到诸多垂直行业应用中，满足多种场景下对确定性服务质量的需求，为智能泛在、空地一体化、全息通信等 6G 业务的实现提供技术

保障。

确定性网络是相对于传统以太网在传输时存在通信时间不确定而诞生的，是指在一个网络域内为承载的业务提供确定性的服务质量保证，是端到端的概念，涉及终端、基站、承载网、核心网以及应用等全流程。确定性网络，需具备“差异化+确定性”的服务能力，以满足不同行业应用对网络能力的差异化要求。网络中的确定性与非确定性数据可以共存，基于应用的需求进行计算，以资源预留的方式来保证确定性，并通过保护机制减少故障率、提高可用性。确定性网络的主要特征包括广域高精度时钟同步，端到端确定性时延、零拥塞丢包，超高可靠的数据包交付、资源弹性共享以及与“尽力而为”的网络共存等。

如图所示，确定性网络架构分为三层，由上至下依次为确定性服务管理、确定性网络调度与控制、服务性能度量与保障。

顶层主要针对不同行业业务的通信特征和要求进行输入和建模，通过生命周期管理将相关确定性服务下发到各网络域并进行统一的管理。此外，还可以通过实时仿真和预测功能降低准入控制的成本和延迟。

第二层为确定性网络的调度和控制中心。在这一层中，一方面要接收上层的需求信息，进行具体

的资源池调度分配，另一方面要针对下层各域的网络情况进行多维度的服务 KPI 检测以及性能的统筹优化。

底层是服务性能保障与度量。接入网、核心网、传输网通过实时测量、智能感知各个基站、终端的资源池使用情况，联同上层的跨域协同调度，共同保障确定性服务，提升端到端的确定性达成能力。

确定性网络的关键技术主要包括：

1. 资源分配机制。沿着确定性数据流经过的路径，利用算力网络智能感知资源使用情况，逐跳分配缓存、带宽、空口等资源，从而消除因资源竞争导致的抖动与丢包。

2. 服务保护机制。研究数据包编码用于解决随机介质错误造成的丢包，设计数据链路冗余机制防止设备故障丢包等。

3. 多维度 QoS 度量体系。增加 QoS 定义的维度，包括吞吐量、时延、抖动、丢包率、乱序上限等，研究多维度 QoS 的评测方法，建立度量体系。

4. 多目标路由计算。显式路由使确定性数据流避免遭受因路由或桥接协议的收敛而造成的临时中断。以多维度 QoS 为目标，研究多目标路由选路算法。

5. 广域高精度时间同步。研究增强同步补偿技术，解决同步误差累计的问题，研究广域范围的高

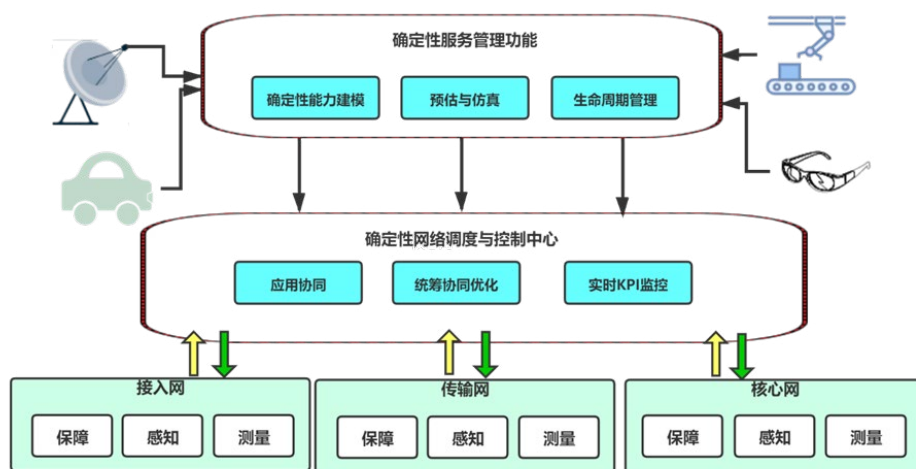


图 11 确定性网络架构

精度同步技术。

6. 多网络跨域融合。端到端跨越空口、核心网、传输网、边缘云、数据中心等多网络时，研究跨域融合的控制方法和确定性达成技术。

(10) 可信数据服务：可信框架、智能增值

数据的价值“金矿”已被市场广泛认知和期待，未来 6G 的生态系统本身将会产生、处理、消费海量的数据，从运营到管理，从网络到用户，从环境感知到终端等，并可能处理第三方的行业数据，这些数据将使能更加完善的智能服务，为运营商增值，但同时给高效地组织和管理数据带来了新的挑战。同时，随着 ICT 的广泛及深度应用，数据安全和隐私泄露事故的不断披露，人们越来越意识到隐私和数据所有权的重要性。各主要国家和组织也纷纷出台相关法律法规来规范数据的使用，明确用户对个人数据的控制权，数据主体应能够自主决定是否将个人数据变现、共享或提供给 AI 模型进行训练。

现有网络作为数据传输的“管道”，通过单点技术实现数据处理、服务及安全隐私保护，而在 6G 时代，将需要引入独立的数据面，构建架构级的统一可信的数据服务框架，在满足数据法规的监管要求的同时，提供可信的数据服务，为运营商提高运营效率，并智能增值。

6G 网络数据服务框架需要适配终端的多样性，

支持异构多源的数据接入，收集、处理及存储巨量数据。数据的高价值备受企业期望，通过人工智能等手段创新性地挖掘数据之间的关联，从多样化和内在关联的数据中发现新机会、创造新的价值，将数据转化为知识以实现基于认知的智能，使能应用的智能化及多样性，以满足整个网络中数据采集 - 机器学习 - 智能服务 - 应用赋能的全网全域网络智能需求。

可信的数据服务框架如上图所示，融合已有的数据服务单点技术，基于去中心化的可信机制，以及数据和知识双驱动的智能分析，从系统架构层面实现数据服务和可信服务。6G 网络的数据源自移动通信网络、车联网或物联网等基础网络，获取数据并处理后，对数据进行分类存储。通过隐私保护处理及授权后，可由机器学习结合知识图谱等 AI 工具实现数据知识化，使能多样化的应用，提供 DaaS (Data as a Service) 服务。区别于传统移动网络中集中式的认证授权和粗粒度的访问控制方法，6G 网络数据服务框架依据数据天然具有的分布式特点，以及与之适配的分布式部署的算力和智能，通过数据和应用程序的解耦，基于区块链以及分布式存储等去中心化的技术构建可信数据服务，实现对任何数据的访问进行认证授权，并在链上保存相关操作记录，提供 TaaS 服务。而在数据涉及用户隐私时，可以支持将数据的控制权交给数据所有者，

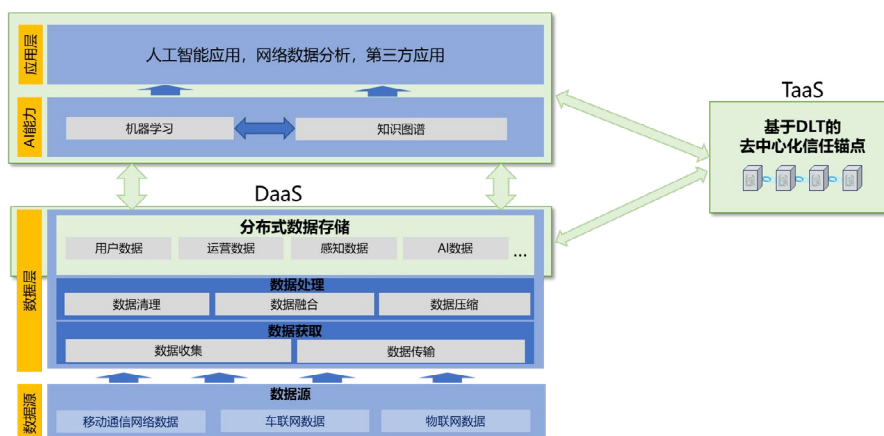


图 12 可信数据服务框架

通过可信的架构来保障所有者免受数据泄露威胁，并且可以撤销第三方的访问权限，实现数据控制从第三方向自主控制的转变。

通过从单点技术向归一化系统架构的转变，集中式信任向去中心化信任的转变，数据驱动向数据和知识双驱动的转变，借助多层级的数据去隐私和安全保护技术，6G 网络数据服务框架将提供数据主体对数据的自主控制权、安全可信的数据访问控制机制，满足监管、审计和溯源要求，并消除单点信任及单点失效的风险，提供可信的智能数据服务。

(11) 沉浸多感网络：多维通信、身临其境

沉浸多感网络技术可实现沉浸式云 XR、全息通信、感官互联、智慧交互等业务应用的实时控制。沉浸多感网络逻辑架构如下图所示，根据应用层需求，感知层完成视觉、听觉、触觉等多维度媒体信息的感知和编解码，网络层由分布式业务控制引擎完成媒体智能分发处理、多并发流协同、QoS 智能感知和调度、沉浸多感网络路由等功能。

为满足沉浸多感典型场景需求，6G 网络需要支持新型媒体编解码、媒体智能分发处理、多并发流协同控制、QoS 智能感知和调度、沉浸多感网络路由等潜在技术。

全息和触觉媒体是新型媒体的两种主要形式。全息媒体流通常以点云的数据格式进行编码和传输，当前主要有 V-PCC 和 G-PCC 两种编码标准。V-PCC 用于稠密点云，例如强调纹理和细节的全息数字人体；而 G-PCC 用于稀疏点云，例如在较大空间的全息现场演出。在触觉编码方面，现有研究认为触觉数据由动觉和触觉信息两种子模态组成。动觉模态数据目前有两种压缩方法：一种是基于韦伯定律的动觉模态数据压缩，另一种是韦伯定律数据压缩与稳定性保证机制的结合。触觉模态数据目前也有两种压缩方法：一种是基于波形的触觉信号表示和压缩，另一种是基于参数表示和分类的特征提取。

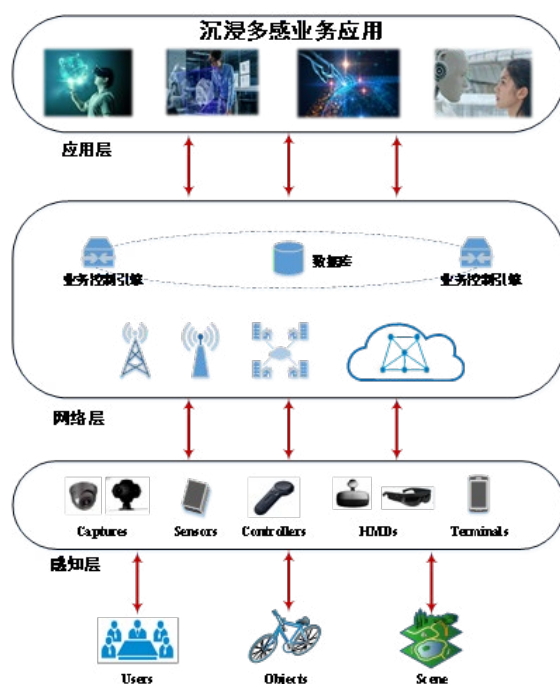


图 13 沉浸多感网络逻辑架构示意图

媒体智能分发处理根据媒体流的编码、压缩、渲染等算力需求，结合云、网、端等多种算力资源的状态和能力，将海量多媒体数据智能分发到合适的算力节点进行处理。例如，将涉及大量计算的渲染放在计算能力强大的云中心进行处理，将媒体流的编解码分发到网络边缘的多个算力节点共同处理完成。此外，媒体智能分发处理技术能根据用户对象类型、属性和业务需要选择合适的媒体服务器。

多并发流协同控制技术根据具体场景和业务逻辑，协同控制沉浸多感媒体并发数据流的建立、交互、同步和整合。沉浸多感媒体数据需要上千个并发数据流进行传递，例如全息数据及其格式清单、全息数据传输优先级、音频流、视频流、文本数据、触觉反馈数据、触觉控制数据等。

QoS 智能感知和调度不仅可以及时感知并实时上报 QoS 参数和业务状态，根据策略对 QoS 进行控制，还可以智能预测未来一段时间的 QoS 参数变化，及时对 QoS 策略做出优化调整。

沉浸多感网络路由主要有全分布模式和集中 +

分布的混合模式。全分布模式无需配置中央服务器，通信节点根据保存的路由数据直接建立业务连接。在混合模式中，接入服务器接收发起方业务请求，执行相应的业务逻辑后，通过查询统一数据库获取接收方所在的接入服务器地址，完成业务路由。混合模式由统一数据库存储路由数据，可靠性更高，更适合应用于沉浸多感网络。

(12) 语义通信：语义驱动、万物智联

6G 网络将为用户提供沉浸式、个性化和全场景的服务，最终实现服务随心所想、网络随需而变、资源随愿共享的目标。随着脑机交互、类脑计算、语义感知与识别、通信感知一体化和智慧内生等新兴技术和架构的出现和发展，6G 网络将具备语义感知、识别、分析、理解和推理能力，从而实现网络架构从数据驱动向语义驱动的范式转变。

6G 网络将实现多模态语义感知及通信的深度融合，充分利用不同用户、设备、背景、场景和环境等条件下的共性语义信息和普适性知识域，自动对传输信息中所包含的语义和知识进行感知、识别、提取、推理和迁移，从根本上解决基于传统数据驱动通信协议中存在的跨系统、跨协议、跨网络、跨人一机交互与通信不兼容和难互通等问题，大幅度提高通信效率、减少语义传输和理解时延、降低语义失

真度并显著提高用户体验质量 QoE，并对包括人机共生网络、触觉互联网、情感识别与计算网络等新兴应用提供有力支撑。

作为一种全新通信范式，语义通信技术有望将通信网络从传统的基于数据协议和格式的单一固化通信架构中解放出来，通过采用更具有普适性的信息含义，即语义，作为衡量信息通信性能的主要指标，打通机—机智联、人—机智联与人—人智联模式之间的“壁垒”，实现真正的万物无缝智联。具体地，由于语义通信主要依赖于建立在海量人类用户和机器之间都具备普适性和可理解性的语义知识库，因此，有望打破目前机—机智联中信息模式不一致导致的不兼容性问题，为建立能够满足不同类型设备之间互通互联的统一通信协议架构奠定基础。其次，由于语义通信以人类的普适性知识和语义体系作为基础，因此，可从根本上保证人—机智联与人—人智联交互及通信时的用户服务体验，并进一步减少语义和物理信号之间的转换次数，从而降低可能产生的语义失真。

近年来，语义通信网络在知识共享和语义理解方面的独特优势逐渐得到学术界的认可，并在包括触觉互联网、全息通信、XR 和人机共生网络（如无人驾驶和有人驾驶车辆共存的交通网络、远程医疗、网络虚假和恶意信息识别系统等）在内的诸多场景

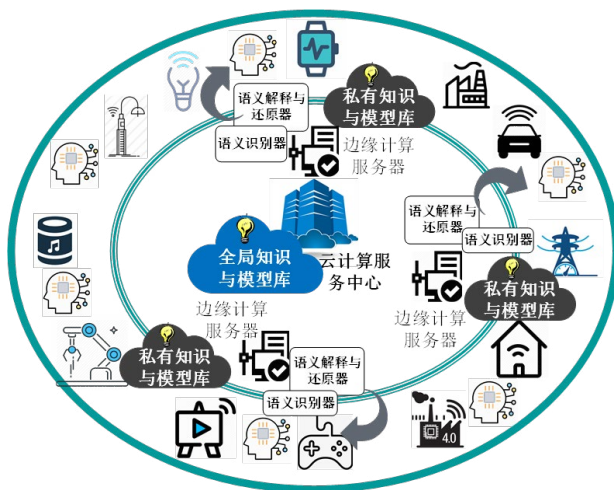


图 14 面向万物智联的语义通信网络架构示意图

下得到应用。

面向 6G 语义通信网络语义通信的关键技术主要包括：

1. 跨域感知与识别：语义可能受不同主客观环境因素影响，如用户情绪、性格、与其他通信用户之间社交关系等信息均可能对语义产生影响。因此，需要通过综合分析和融合不同方面、种类和形态的感知数据，如综合分析通信参与用户之间的社交网络信息、视觉图像信息、性格数据等多模态信息数据，提取可能对语义产生影响的多方位因素综合分析，将有望提升语义通信的识别效率和精度。

2. 普适性语义表征：语义通信网络需要解决的首要问题是知识和语义表征问题。语义通信网络的知识表征应当具备几个基本要求：

- 易于搜索，易于实现计算操作；
- 易于添加、删除、更新知识实体和实体间的各种关系；
- 节省存储空间。

3. 语义通信网络模型与知识共享：语义通信既需要全局知识与模型库包含普适性的知识实体（如常识性的单词和事实）与不同实体之间的关系，也需要包含私有和个性化信息的私有知识库。

此外，**语义通信网络技术还将赋能 6G 网络的诸多关键能力与服务，推动网络架构的下列转变：**

1. 语义感知与通信融合：6G 网络将能够根据所传输信息的语义信息对信号的采样、传输、解释和还原过程进行优化，从而以能够最大化用户体验质量 QoE 的形式实现语义信息的发送和还原。例如，在无人驾驶环境下，不同车辆之间自动感知驾驶员和乘客的意图，并通过互通语义提高驾驶决策的安全性和可靠性；或在远程医疗诊断中通过感知医生和患者的背景、意图、情绪和场景等，识别出双方都能够理解普适性的语义信息，并自适应的以文本、图像、全息立体投影甚至是触觉和味觉等方式帮助医生和患者之间的理解和交互。

2. 语义计算和通信融合：由于识别和处理语义信息所耗费的计算和存储资源远超出单个智能终端

所具备的能力，因此，语义通信网络应当充分利用外部的计算和存储资源，并在海量用户之间实现多种资源的融合与共享。语义通信网络将充分利用算力网络、内生网络智能和安全与可信技术的最新成果，实现复杂语义和场景的快速、高效和安全处理。

3. 基于语义的安全内生和隐私保护技术：由于语义通信网络无需传输和通信完整的数据信息，而仅传输根据传输内容中的语义信息所提取和压缩后的信息，因此可显著提高网络通信的安全性。此外，通过识别和跟踪用户通信内容中的语义变化，还可有效发现和识别恶意用户对所传输数据和内容的篡改。

五、总结及展望

目前，面向 6G 的移动通信系统架构和关键技术还处于探索阶段，一些技术发展方向正逐渐形成共识，分布式、天地一体化、智慧内生、安全内生等潜在架构类技术及网络可编程、数据服务等关键能力类技术，将有机融合，共同实现 6G 网络整体架构。

预计未来几年，随着 6G 网络架构和关键技术研究的深入，如下四方面值得重点关注：

1. 网络技术的创新将在 6G 网络中发挥更重要的作用，网络架构的创新将是 6G 的核心创新之一。

通信产业经历了数十年的高速发展，空口传输性能逐渐逼近香农定理的极限，新型网络技术特别是网络架构的创新，有望显著提升网络能力，为用户提供更加极致的业务体验。

2. DOICT 技术跨界融合，共同驱动 6G 网络架构的演进。

来自生产运营的 OT 需求是 6G 的新元素，协同数据技术 DT、运营技术 OT、信息技术 IT 和通信技术 CT，将共同驱动网络变革和能力升级，助力全社会全领域的数字化智能化发展。

3. IP 组网技术与移动网络的结合将成为 6G 网络发展新突破的契机。

IP 技术具有基础性，且依靠自底向上的创新机制，所以创新难度大、周期长，但是 IP 网络领域近几年创新活跃，和移动网络的融合创新，有望促进 6G 网络跨越式的发展。

4. 网络架构方案需逐步收敛，最终形成全球统一的 6G 网络架构标准。

6G 网络架构技术布局已开始，一些技术发展的方向逐渐形成共识，需要通过多种潜在技术与网络架构的有机融合，与开源互动发展，加速方案收敛，为全球标准统一打好基础。

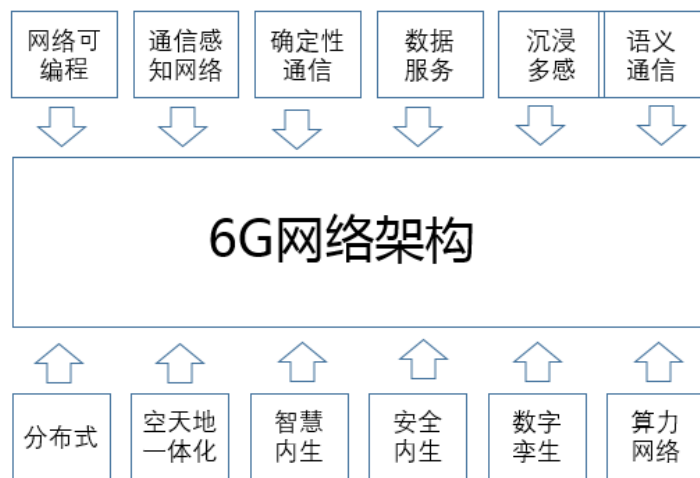


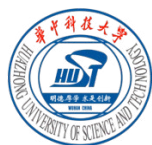
图 15 各项技术融合共同实现 6G 架构演进

缩略语简表

英文缩写	英文全称	中文解释
AI	Artificial Intelligence	人工智能
API	Application Programming Interface	应用程序接口
AR	Augmented Reality	增强现实
CFN	Computing Force Network	算力网络
DHT	Distributed Hash Table	分布式账本技术
DLT	Distributed ledger Technology	分布式账本技术
DOICT	The Convergence of DT, OT, IT, and CT	数字、运营、信息、通信技术融合
DPU	Data Processing Unit	数据处理芯片
DTN	Digital Twin Network	数字孪生网络
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球导航卫星系统
G-PCC	Geometry Based Point Cloud Compression	基于图像的点云压缩技术
GPU	graphics processing unit	图像处理芯片
IoT	Internet of Things	物联网
MR	Mixed Reality	混合现实
QoE	Quality of Experience	体验质量
QoS	Quality of Service	服务质量
SBA	Service Based Architecture	服务化架构
SLA	Service Level Agreement	服务级别协议
VR	Virtual Reality	虚拟现实
V-PCC	Video Codec Based Point Cloud Compression	基于视频编解码的点云压缩技术
XR	Extended Reality	扩展现实



主要贡献单位





微信公众号

联系方式

邮箱: imt2030@caict.ac.cn

COPYRIGHT©2021 IMT-2030(6G)PROMOTION GROUP.

ALL RIGHTS RESERVED.