

面向 云网融合服务的 6G网络技术

WHITE PAPER V7.0 J
2020.11

面向云网融合服务的 6G 网络技术白皮书

摘要

在 5G 网络设计中,已经体现了功能模块化、接口软件化、网络可编程等云计算的特点。5G 云网融合关键技术特征包括基于 NFV 的云化平台设计、面向云服务的网络功能定义以及基于切片的 5G 差异化服务等。在云网融合发展的大趋势下,通信行业、云计算行业中各个领军企业对云网融合的重视程度不断增强,纷纷立足自身优势领域,开展产品研发和应用探索。对于通信企业,AT&T 在 5G 时代开启了与云服务厂商的边缘计算合作。对于云计算企业,AWS 作为全球云计算的领军企业,开展 5G 产品和应用广泛布局。阿里云也为 5G 应用提供云底座能力,基于云原生架构,提供丰富的云服务产品赋能 5G 网络发展。

但 5G 仍处于云网融合的初级阶段,5G 网元功能和云计算平台在设计架构和技术形态上是彼此独立的。因此,涉及到云网融合的问题包括:一是在开发模式上,电信网元自身的软件架构变革程度不高,未能充分发挥云计算弹性计算和敏捷运营的优势。二是在能力演进上,云原生技术发展中对 5G 通信网络的特色特征的考虑不够深入、全面。三是在网络能力开放上,5G To B 类应用还在初步探索中,因此基于 5G 平台生长出的 PaaS 能力,尚未完全服务各行各业数字化转型升级。

因此,面向 6G 的全新网络,需开展云网融合顶层框架设计,从构建云网统一基础资源架构和逻辑功能组件的思路出发,以提供云网服务一体化为设计目标,对云网融合技术路线开展深入的研究探索,真正发挥云网融合带来的技术优势、产业优势和应用优势。

在演进路径方面,云网融合将会经历三个阶段。一是云网部署融合阶段,5G 阶段已初步实现,实现云网统一交付。二是架构融合阶段,5G 中后期将会逐步实现,网络功能将充分采用云的微服务框架和中间件,实现加载及运行。三是服务融合阶段,最终的目标是要实现云网服务一体,这也是更多垂直行业数字化转型的需求趋势,真正做到全面深度融合。

在应用场景方面,一是 6G 空天地一体化场景将促进云计算向 Mesh 云演进。相比较与 5G 时代的地面边缘计算平台部署,天地一体化的场景下,综合业务时延、成本、覆盖范围等因素的考虑,云计算资源可部署和引入在卫星云、机载云、卫星网络地面蜂窝云等多样化的计算处理节点。二是 6G 数字孪生场景将促进云计算向确定性云升级。确定性性能的互联,AI 加持的计算闭环流程,才能确保虚拟网络的物理网络全面融合的数字孪生。

在关键技术方面,需要在多个维度开展研究。一是面向云网一体的架构设计,将会应用多种云原生的设计思想,在 6G 网元功能定义、基础框架、交互协议、调度机制等方面。二是面向云网一体的互通协议,从协议层面实现一体化设计,从而为打通两者网络提供基础。三是面向云网一体的算力调度,设计最优的算力调度机制,为应用调度最高效的算力节点。四是面向云网一体的运营运维,参考云原生的系统设计中自动化运维思想,通过强大集中化软件系统的能力进行全方位的管控、变更、调整。

Abstract

In the 5G network design, the features of cloud computing such as functional modularity, interface softwareization, and programmable network have been embodied. The key technical features of 5G cloud network integration include NFV-based cloud platform design, cloud service-oriented network function definition, and slice-based 5G differentiated services. Because of the advantages brought by cloud-network integration, leading companies in the communications industry and cloud computing industry are paying more and more attention to cloud-network integration, and have started product development and application exploration based on their own advantages. For communications companies, AT&T has started edge computing cooperation with cloud computing vendors in the 5G era. For cloud computing companies, AWS as a global cloud computing leader, has carried out a wide range of products and applications during the 5G development stage. Alibaba Cloud also provides cloud base capabilities for 5G applications. Based on a cloud-native architecture, Alibaba Cloud provide a wealth of cloud service products to empower 5G network development.

However, 5G is still in the initial stage of cloud-network integration. 5G network element functions and cloud computing platforms are independent of each other in terms of design architecture and technical form. Therefore, the problems related to cloud-network integration still remains. First, in terms of the development model, the software architecture of the telecom network element itself hasn't reached to a high degree, and the advantages of cloud computing elastic computing and agile operation have not been fully utilized. Second, in terms of capability evolution, the consideration of the characteristics of 5G communication networks in the development of cloud native technology is not thorough and comprehensive. Third, in terms of network capability opening, 5G To B applications are still under preliminary exploration. Therefore, the PaaS capabilities developed on the 5G platform have not yet fully served the digital transformation of various industries.

Therefore, for the new 6G network, it is necessary to carry out the design of the cloud-network integration top-level framework, starting from the idea of building a unified cloud-network basic resource architecture and logical functional components. With the provision of cloud-network service integration as the design goal, the technical roadmap of cloud-network integration needs in-depth research to truly take advantage of the technological, industrial and application advantages brought by cloud-network integration.

In terms of evolution roadmap, cloud-network integration will go through three stages. The first phase is the integration phase of cloud and network deployment. The 5G phase has been initially realized, achieving unified delivery of cloud and network. The second phase is the architecture integration stage. The latter stage of 5G will be gradually realized, and the network function will fully adopt the cloud microservice framework and middleware to realize loading and operation. The third phase is the service integration stage. The ultimate goal is to achieve integration of cloud and network services. This is also the demand trend for digital transformation of more vertical industries and truly achieve comprehensive and in-depth integration.

In terms of application scenarios, first, the 6G air-space-ground integration scenario will promote the evolution of cloud computing to Mesh cloud. Compared with the deployment

of the ground edge computing platform in the 5G era, considering factors such as integrated service delay, cost, and coverage, cloud computing resources, 6G air-space-ground integration network will be deployed and introduced in satellite clouds, airborne clouds, and ground cellular cloud. Second, the 6G digital twin scenario will promote the upgrade of cloud computing to deterministic cloud. The interconnection of deterministic performance and the closed-loop calculation process supported by AI can ensure the digital twin of the virtual network and the physical network.

In terms of key technologies, research needs to be carried out in multiple dimensions. The first is the architecture design oriented to the integration of cloud and network, which will apply a variety of cloud-native design ideas in terms of 6G network element function definition, basic framework, interaction protocol, scheduling mechanism, etc. The second is an intercommunication agreement oriented to the integration of cloud and network, which realizes an integrated design from the protocol level, thereby providing a foundation for opening up the two networks. The third is to design the optimal computing capability scheduling mechanism for the integration of cloud and network computing power to schedule the most efficient computing capability nodes for applications. The fourth is the integrated operation and maintenance of cloud and network, referring to the idea of automatic operation and maintenance in cloud native system design, and carrying out control, change, and adjustment through the powerful centralized software system.

1 引言

随着 5G 商用序幕的拉开，高校、研究机构、产业及应用各方开始将注意力转向了新一代移动通信系统的研究，6G 成为行业关注的新焦点。国内外领先的通信企业，如华为、中国移动、三星、NTT DoCoMo、LG、中兴等公司纷纷开始 6G 研究和探索，云计算及互联网公司，如阿里、腾讯、google 以及微软等也为云网融合大趋势下的 6G 关键技术积极布局。2019 年 3 月，美国 FCC 为 6G 研究开放太赫兹频谱。同月，第一届 6G 无线峰会在芬兰召开，并发布了 6G 关键驱动力和挑战白皮书。6 月，诺基亚、爱立信和韩国 SKT 正式合作进行 6G 研究。10 月，索尼、NTT DoCoMo 和英特尔宣布计划合作开发 6G 技术，预计将于 2030 年左右投入使用。11 月，中国移动发布 6G 愿景与需求报告。

我国政府积极鼓励并统筹 6G 的技术研发，科技部联合工信部等政府部门成立 6G 技术研发推进工作组和总体专家组，负责 6G 技术研发工作实施。总体专家组由来自高校、科研院所和运营商、设备商等专家组成，云计算及互联网公司也积极承担相关课题研究。6G 推进组的成立标志着我国 6G 技术研发工作正式启动。

文献[1-4]对 6G 应用场景、关键候选技术以及网络架构进行了研究和介绍，对 6G 初期研究具有借鉴意义。在应用场景方面，研究主要聚焦于天地一体化网络、无线触觉网络、数字孪生等。在网络架构方面，提出了包括 AI 内生的泛在连接架构、全覆盖场景的新型网络架构以及面向“人-机-物-灵”的“通信、计算、控制、意识”泛在网络架构，云网融合的算力网络架构也是业界关注重点。在关键技术方面，一方面空口技术需要继续产生突破性进展，无论从频谱效率，还是开拓更多频率资源，6G 都希望能够通过理论突破实现更高性能、更广泛场景、更低成本的连接能力；另一方面，端到端整体网络和应用的结合更紧密，包括 SRv6、APN6 等技术都成为热点，需要通过引入云原生的能力去适应和探索更多未知应用。因此，从应用场景、网络架构、关键技术等多个方面出发，6G 将和云计算逐渐走向全面融合，更需要理论和设计方面的全方位革新。云网融合应成为 5G 向 6G 演进的关键发展理念，成为推动 6G 网络可持续发展的思路、方向和着力点。

本白皮书回顾了 5G 云网融合发展现状，梳理了全球产业界在 5G 云网融合方面的关键实践，分析和总结了 5G 云网融合技术和产业面临的问题和挑战。面向未来 6G 云网融合潜在的应用场景以及网络自身发展的需求，本报告提出了 6G 时代云网服务融合的发展目标（cloud & network serviced convergence）。在本报告的最后，本报告展望了云网服务融合的 6G 关键技术的若干方向，希望引起学术界和产业界对 6G 云网融合方向研究的持续关注和思考，真正能够做到 ODICT 多方产业的融合创新和技术攻关，促进 6G 的繁荣发展，探索拓展形成交叉融合创新的全新领域和商业世界。

2 5G 云网融合发展现状

2.1 5G 云网融合关键技术特征

5G 诞生于 IT 技术和互联网高度发展的时代，NFV 和云计算技术的引入，为 5G 网络在功

能架构和部署方面增加了极大的灵活性，满足未来多样化业务场景的需求。5G 网络设计中已经体现了功能模块化、接口软件化、网络可编程等云计算的特点。同时，5G 作为拥有大宽带、低延时和海量数据处理等基础通信技术，也使得对通信能力十分依赖的云计算本身得到了更加多云化的发展空间。

2.1.1 基于 NFV 的云化平台设计

电信级设备的高可靠、高性能要求，使得其设备形态传统上较为封闭，不同厂商的设备平台种类繁多，软件与硬件紧绑定，不支持跨网元、跨厂商的硬件共享。随着通信网络改造需求的增大以及业务创新迭代速度的加快，电信运营商所面临的成本压力越来越大，业务创新需求也越来越多。当需要部署新的业务功能时，由于通信设备的软件和硬件是紧密绑定的，导致需要新的网络设备替换旧设备，这一方面带来了较高的成本投入，另一方面导致运营商对新业务的响应迟缓。

云计算技术的成功引起了 CT 产业的重视。云计算、虚拟化技术所提供的低成本、高灵活性的 IT 基础设施，是解决其上述传统网络痛点的重要手段。NFV 的思路是硬件平台采用通用服务器，其上运行虚拟化软件并生成虚拟机，网元以软件的形式运行在虚拟机中。采用这种架构，网络建设者只需维护一个统一的虚拟化平台，新增网元或者网元升级体现为新虚拟机的导入和虚拟机中软件版本的变更。由于虚拟化技术屏蔽了底层物理平台的差异性，跨网元、跨厂商的硬件资源共享问题迎刃而解。同时，得益于虚拟机的动态迁移、动态生成等特性，结合对虚拟化平台的智能管理，可以根据业务量的变化实现对网元的动态扩容、缩容，从而实现对硬件资源更高效的利用。

正是看到了 NFV 所带来的优势，5G 在定义之初，通信运营商和通信设备商就达成了一种共识，5G 必须是基于 NFV 构建的。基于 NFV 构建的 5G 网络，不需要涉及通信硬件的升级替换，有利于实现敏捷化的网络部署。此外，基于 NFV 构建的 5G 软件化网络，使得通信业务的创新和上线时间大大加快，由传统的硬件开发集成变成软件开发，开发人员的门槛大大降低，开发集成和部署的速度明显加快，显著提高了创新能力。

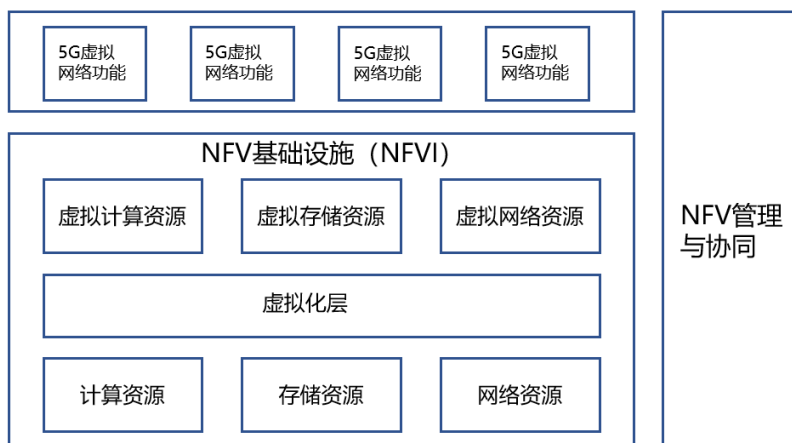


图 1 基于 NFV 的 5G 虚拟化平台架构图

2.1.2 面向云服务的网络功能定义

云计算经过多年发展，开始从应用外部环境的云化，转向关注应用内部架构的云化，5G 系统类似于其它 IT 应用系统，可以作为运行在云平台上的一类关键应用，从而可以加速 5G 系统对个人用户和垂直行业客户新需求的响应。3GPP 基于上述优势，在 5G 标准制定时引入

了面向云服务的概念，制定了 SBA (service-based Architecture) 服务化架构标准，结合电信网络的现状、特点和发展趋势，对 5G 网元进行了大量的优化设计。5G 网络功能被抽象，形成的高内聚、低耦合、可独立管理的原子化功能服务单元。由于服务内部功能小且明确、对外接口固定且协议一致，因此对特定服务的升级不会影响到其它服务，因此形成了 5G 服务快速部署和弹性扩缩容能力。

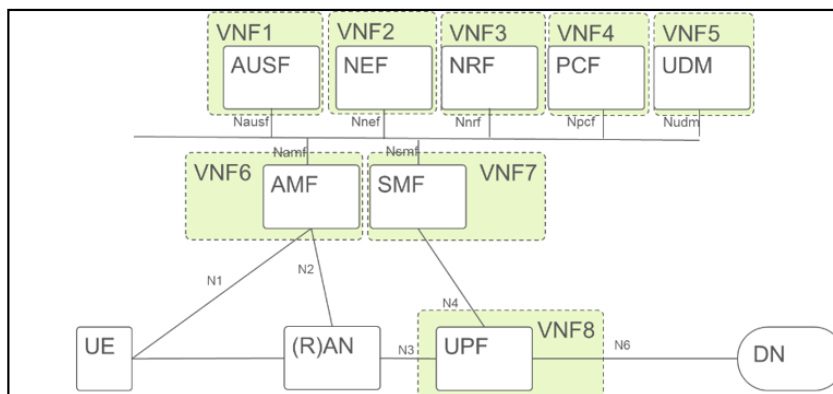


图 2 5G SBA 网络架构

2.1.3 基于切片的 5G 差异化服务

当不同企业或者不同业务应用上云之后，存在根据 SLA、可靠性、安全等差异化业务属性的数据隔离需求。云计算本身可以提供按租户进行物理或者逻辑隔离的能力，但是在通往云的管道上也需要解决隔离问题。通常情况下可以采用 SD-WAN 或者专线的方式实现部分场景的隔离，但对于用户不在确定位置访问云的情况，5G 给出了 5G LAN 的方案，即通过 5G 核心网用户签约与云租户进行映射，让用户不论在哪里访问都进入确定的 SDWAN 或专线隧道，从而基于业务的需求，访问确定的云租户（专有云）。

另外，5G 还具备网络切片的特性，即可以让运营商在一个硬件基础设施切分出多个虚拟的端到端网络（逻辑隔离），并通过 MANO (Management & Orchestration) 编排能力，进一步按照业务需求（如高带宽、超高实时性等）、服务提供商、用户等维度对业务进行精细化区分和资源配置，从而在网络管道中实现对各种不同类型垂直行业的差异化服务。

5G 系统通过 5G LAN 及切片等新功能，实现了隔离化的高 QoS 智能管道服务。智能管道上的隔离连接技术和云计算应用平台隔离技术的协作，为垂直行业用户和个人用户提供了崭新的云网融合服务。

2.2 全球 5G 云网融合实践及探索

正是看到云网融合带来的优势，通信行业、云计算行业中各个领军企业对云网融合的重视程度不断增强，纷纷立足自身优势领域，开展产品研发和应用探索。

对于通信企业，AT&T 在 5G 时代开启了与云服务厂商的边缘计算合作。例如，AT&T 与微软 Azure 在 5G 边缘侧的合作，产生了有益于双方的两种服务模式：一是通过在将 Azure 云服务部署在 AT&T 5G 网络边缘侧，解决 Azure 云服务的时延和性能限制问题。二是共同开发新的边缘服务，并促进在 AT&T 边缘侧部署、托管更多增值服务。

对于云计算企业，AWS 作为全球云计算的领军企业，在 5G 发展阶段开展产品和应用广泛布局。文献[7]中针对 5G 各类网元以及可能提供的企业应用，介绍了 AWS 定制化的各类云

网融合产品和解决方案。阿里云也为 5G 应用提供云底座能力，所有产品均基于云原生架构，可在阿里云（ECS），边缘计算（ENS）等多种形态的云服务产品上交付和运维。此外，阿里云还提供 5G 虚拟专网安全方案，并与运营商的能力开放平台打通，提供对企业客户进行无感知的二次鉴权和认证服务，实现企业用户在专网和公网的移动场景下的数据互通。同时，基于阿里云多年积累的行业落地经验，可融合丰富实用的行业服务引擎，为各行各业数字化转型提供全面服务。

3 6G 云网融合发展驱动力

3.1 5G 云网融合存在的问题

5G 通过 NFV 及云化的基础平台设计，云原生的网络能力定义和云专线服务，在云网融合方面已取得卓有成效的进展。但 5G 仍处于云网融合的初级阶段，5G 网元功能和云计算平台在设计架构和技术形态上是彼此独立的，具体问题包括：

一是在开发模式上，通过 NFV 专用虚拟化技术实现底层资源的抽象，5G 网络功能通过虚拟机/容器承载在云上运行，但其电信网元自身的软件架构变革程度不高，未能充分利用云计算消息队列、数据库、负载均衡、编排自动化等中间件能力，因此未能充分发挥云计算弹性计算和敏捷运营的优势。

二是在能力演进上，云计算以低成本、高效率服务各类 IT 应用为目标，不断向云原生方向发展，发展过程中也在不断沉淀各类 IT 应用的需求。5G 作为一类特殊的 IT 应用，具有强大连接能力、控制面/用户面网元功能、分布式计算架构等方面的特殊性，云原生技术发展中对这些特征的考虑不够深入、全面。

三是在网络能力开放上，5G 应用，尤其是 5G To B 类应用还在初步探索中，因此基于 5G 平台生长出的 PaaS 能力，尚未完全服务各行各业数字化转型升级。

因此，面向 6G 的全新网络，需开展云网融合顶层框架设计，从构建云网统一基础资源架构和逻辑功能组件的思路出发，以提供云网服务一体化为设计目标，对云网融合技术路线开展深入的研究探索，真正发挥云网融合带来的技术优势、产业优势和应用优势。

3.2 6G 云网融合潜在场景

3.2.1 6G 空天地一体化场景将促进云计算向 Mesh 云演进

5G 触发了物联网泛在连接，6G 将进一步构建跨地域、跨空域、跨海域的空天地一体化网络，实现真正意义上的全球无缝覆盖。未来的空天地一体化网络由三部分组成：由各种轨道卫星构成的天基网络，由飞行器构成的空基网络，以及传统的地基网络，其中地基网络又包括蜂窝无线网络、卫星地面站以及地面的数据与处理中心等。其中，非地面网络引入了高时延特性，为保证各类场景应用体验的一致性，有必要将云计算资源部署在靠近用户的位置，实现业务的本地分流与处理，从而规避非地面网络引入的高时延等问题。

相比较与 5G 时代的地面边缘计算平台部署，天地一体化的场景下，综合业务时延、成本、覆盖范围等因素的考虑，云计算资源可部署在星座、机载、船载、信关站等靠近数据及

应用处理的位置，面向 6G 的空天地网络将引入卫星云、机载云、卫星网络地面蜂窝云等多样化的计算处理节点，形成全球无缝覆盖的立体 Mesh 云互联。这种新型云网融合架构，将会带来以下优势：一是降低了业务传输时延，二是有效缓解业务数据对空天地一体网络带宽的需求，三是缓解了卫星载荷受限、星地链路切换频繁等问题。

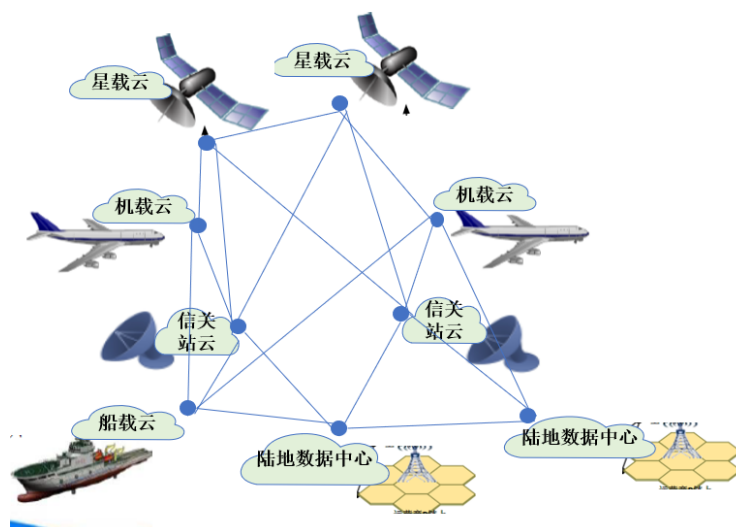


图 3 面向空天地一体化的 Mesh 云

3.2.2 6G 数字孪生场景将促进云计算向确定性云升级

服务行业数字化的同时需要在数字世界完全同步建立模型，从而能够准确、智能化的为数字化服务提供 IT 支撑。网络数字孪生的思路是为物理网络创建一个数字孪生体虚拟网络，通过建立拟真的数字化模型，结合 AI 数据分析及训练模型，可以在虚拟网络中主动预测分析物理网络管理状态及服务质量状态，提前识别故障进行预警，并基于网络升级意图主动优化闭环。由于虚拟网络能够带来显而易见的网络运维管理的效率提升，并且可以模拟各类新型应用，降低了试验和试错的代价。因此，网络数字孪生技术成为业界关注的热点，并被认为是 6G 主要应用场景之一。

在网络数字孪生场景下，物理网络与虚拟网络将分别基于云计算平台构建，形成孪生的互连云。首先，无论是孪生网络数据的收集，还是孪生网络模型的构建或应用，都需要在物理网络和虚拟网络之间建立确定性数据信息传输通道，使得虚拟网络能实时获取物理网络的模型参数，实现智能决策，并且把决策结果实时反馈给物理网络。其次，针对物理网络的管理参数和服务质量参数，在虚拟网络中进行训练和决策，需要应用 AI 技术，主动预测分析网络状态，提前识别故障进行预警，并主动优化网络，在验证的情况下全面应用于物理网络。因此，确定性性能的互联，AI 加持的计算闭环流程，将打造一个“确定性性能+AI 内生”互连云，从而确保实现数字孪生成为 6G 应用的重要场景。

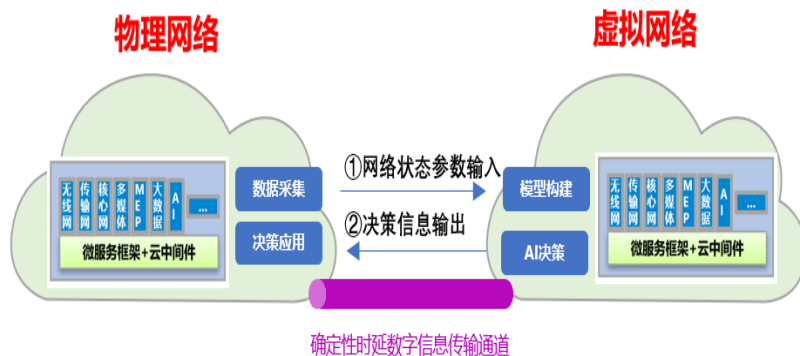


图 4 6G 系统构建确定性云

4 基于云网服务融合的 6G 架构

4.1. 6G 云网融合演进路径

基于上文分析的 5G 云网融合存在的问题，以及 6G 应用场景需求，对 5G 向 6G 演进过程中云网融合架构的发展趋势路径思考如下所示。

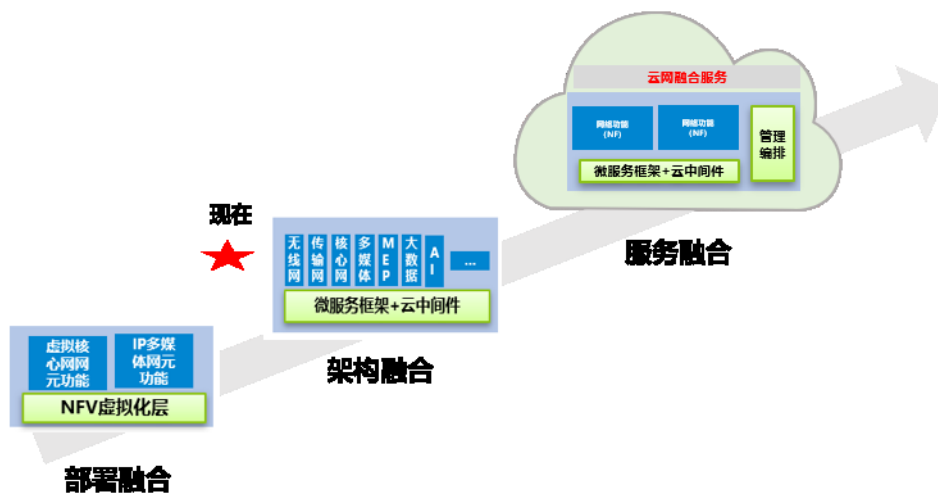


图 5 云网融合演进路径

从技术和产业的演进路径来看，云网融合将会经历三个阶段：

1. 云网部署融合阶段：这一阶段的云和网在技术形态上是彼此物理独立的，需要 NFV 虚拟化等技术手段，让两者彼此连接起来，实现统一交付的效果。
2. 架构融合阶段：这个阶段最主要的特点就是云和网在技术架构上会逐步趋向一致，5G 网络功能将充分采用云的微服务框架和中间件，实现加载及运行。
3. 服务融合阶段：最终的目标是要实现云网服务一体，这也是更多垂直行业数字化转型的需求趋势，不区分网还是云，能够统一提供定制化、灵活性、智能化的服务。这将需要网络功能的高度抽象化，并充分发挥云计算中的架构、中间件以及管理编排的强大能力，真正做到全面深度融合。

4.2 基于云网服务融合的 6G 网络架构

如上所述，云网融合的最终目标是为各类创新应用提供统一的、融合的、便捷的、高效的云网融合服务。以此为目标，需要从 6G 网络架构上进行系统性的设计和思考。本报告提出了一种基于云网服务融合的 6G 网络架构 (cloud & network serviced convergence based 6G network architect):

首先，在基础资源层需要基于云原生的思想进行设计，并且能够满足 6G 各类扩展场景的需求。面对空天地一体化场景新型业务场景，传统陆地网络向空天延伸的同时，将进一步引入卫星云、机载云、卫星网络地面蜂窝云等多样化的计算处理节点，形成全球无缝覆盖的立体 Mesh 云互联。面向数字孪生应用，需要改变传统网络运营运维模式，通过将物理网络映射到数字世界，通过叠加 AI 技术，最终实现网络从规划、设计、部署到运维的全生命周期的数字化的管理。数字孪生网络将形成互联的确定性云，通过互联云之间的确定性时延的数据传输通道，实现物理网络和虚拟网络的信息状态同步及 AI 预测决策结果反馈。

其次，基于“微服务架构+云中间件”将组成原生云组件层，一方面汇聚和吸收面向其它 IT 应用中云服务积累和沉淀的各类云组件，例如消息队列、数据库服务、异构计算管理等，另一方面将和 6G 网络关键技术共同成长探索，形成更多适用于与 6G 网络功能的云组件。

最后，面向各类创新应用，以能力开放、业务协同编排为核心抓手，形成统一的云网融合服务能力，真正实现云网融合发展的最终目标。

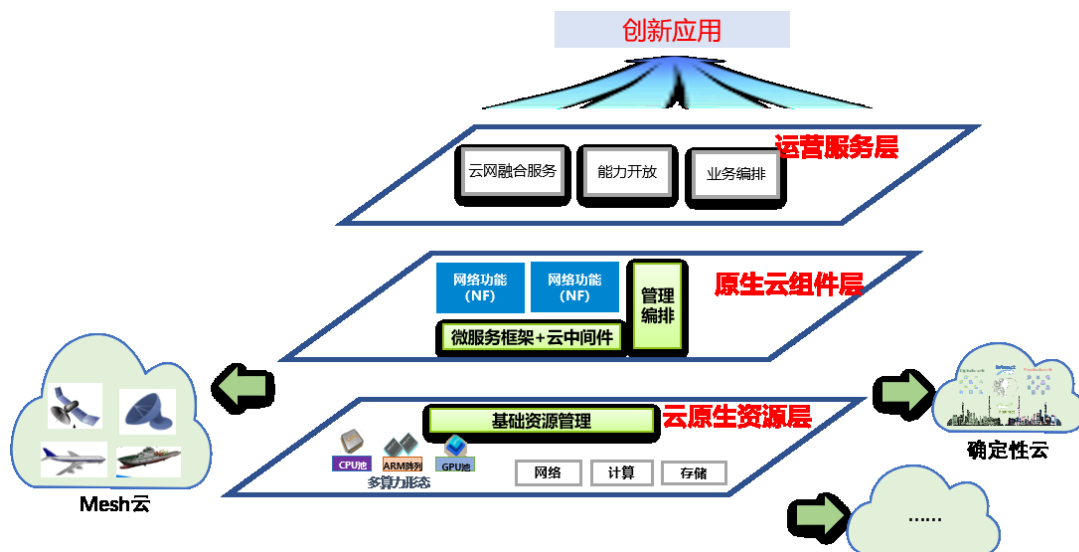


图 6 6G 云网融合服务愿景架构

4.3 云网服务融合的关键技术展望

4.3.1 面向云网一体的架构设计

基于上述云网融合服务目标的 6G 网络架构设计，将会应用多种云原生的设计思想，将会涉及 6G 网元功能定义、基础框架、交互协议、调度机制等多个方面。其中，一方面目前云原生已经呈现出的很多特点，包括微服务、容器、DevOps、持续交付等将会首先在 6G 网络架构设计中全面应用，另一方面，云原生自身也将不断发展，将会结合上层各类应用以及

云计算技术发展不断演进、升级，产生很多未知的特性和组件引入到 6G 网络架构设计中。

以微服务框架为例，将在 6G 的架构设计中有较多的结合点，国内外学术界已经开展了相关研究[10]。微服务是一种用于构建应用的架构方案。微服务架构有别于传统的单体式方案，可将应用拆分成多个核心功能。每个功能都被称为一项服务，可以单独构建和部署，这意味着各项服务在工作 and 出现故障时不会相互影响。微服务包括服务发现、服务授权、服务管理等多个环节，并且其中涉及了互联网接口、消息化交互方式、自定义功能网元等多种云化技术元素，具备松耦合、去状态的微服务、轻量化、高效率的服务调用接口以及自动化、智能化的服务管理框架等特点和优势。

5G 网络在控制面已经引入了微服务架构，6G 网络融入微服务的架构将更彻底。首先，支撑 6G 网络各类基础设施将全面云化，6G 承载在云原生底座上，因此应用基于云原生的各类工具具备先天条件。其次，6G 性能需要在端到端打通的基础上进一步提升，网络能力通过更多创新手段服务上层应用，因此需要微服务以更细粒度、更大力度渗透到 6G 网络设计中。因此，微服务在 6G 网络架构设计中可能应用的方向包括：

1. 微服务应用从仅核心网向无线网扩展：无线网的全面云化在 6G 设计中也是重要趋势之一，从而使得打造包括核心网到无线网的端到端通信网络云底座成为可能。此外，6G 的很多新性能，例如确定性指标等，无法通过单一的网元或者目前相对简单的协同机制保证，需要将其打通，联动，并且灵活的、智能的自适应进行调整，轻量化、高效率的微服务架构是首选方案。
2. 微服务应用从控制面向用户面扩展：5GC 在控制面上已经用到了微服务架构，逐渐体现出了在网络服务、组织方面的优势。如果对该架构进行进一步扩展，对用户面也做到微服务调度，用户面和控制面各类功能能够做到更灵活便捷的能力调用，为 6G 各项新型能力开放创造更大可能性和空间。此外，微服务还具备使用新型互联网接口、高效访问云原生组件等方面的特点和优势，例如网络加速、网络转发等用户面所需的云原生组件，将会使得整个网络运营更便捷、效率更高。

在实现上述端到端、更全面的微服务化设计贯通后，还会带来更多的一些综合性优势，需要我们研究和探索。例如，Core 和 RAN 的用户面数据打通、并且微服务化后，整体通信链路的质量可以实时、准确的作为一种能力开放给各类应用。此外，RAN 中原来采用的分层处理机制（PHY、MAC、RLC、PDCP、SDAP 等），也可以考虑通过微服务的架构解耦，并作为一个个功能模块和能力平台开放出来，供内部网元以及外部应用调用，还有很多创新空间可以进一步拓展和挖掘。

4.3.2 面向云网一体的互通协议

由于有了 OSI 七层模型的分层机制，上层的应用和底层的传输都在各自的层面独立演进。一方面伴随着移动网络技术的推进和大规模部署，底层的传输技术从传统的有线固定连接走向了 4G、5G 和 6G，最上层的应用从传统的电子邮件走向了更为丰富的互联网应用；另一方面随着云计算技术的普及，应用的云上部署方式成为业务最为主流的部署方式。在云网融合的发展过程中，用于移动通信系统的协议栈和用于云计算的传输协议，将打破目前不断封装、解封装的这种形式，走向全面融合。

举例来说，明确分别适用于移动通信和云计算/互联网的协议封装、解封装形式已经出现了一些效率的问题。对于 5G 网络协议堆栈，可以看到业务流量在 RAN 和 UPF 之间的 N3 接口是以 GTP 协议进行封装和解封装的，在 Uu 口又会被拆成 PDCP 报文，整体在移动网络内是专有协议模式进行处理，到了 UPF 的 N6 接口以后去掉所有的封装进入互联网。

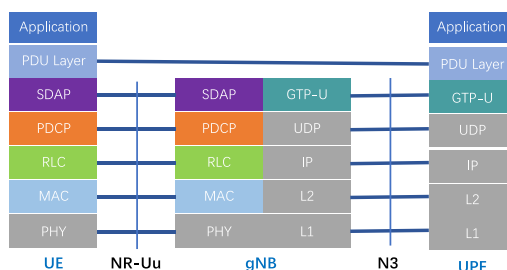


图 7 5G 系统协议栈

从上面的举例示范可以看到由于云计算网络和移动通信整体架构和协议栈的不同，本质上业务流量会在不同的网络被不断的封装，解封装，在极大消耗中间设备性能的同时也抹杀了各自网络的特征，不能形成一体化的质量和调度。但如果在 6G 时代，传统的 IP 那么就没有办法做到云网一体化，还会是两个割裂独立演进的网络，满足网络需求驳杂或者更多确定性网络需求的业务要求更是不可能，因此云网一体首先要做的就是从协议层面实现一体化设计，从而为打通两者网络提供基础。

从具体关键技术方向选择上，一方面我们要面对存量巨大的 IP 协议存量市场，因此不太可能抛弃 IP 另起炉灶，另一方面随着 IPv6 的普及，IPv6 相比传统 IPv4 协议有更好的扩展性，因此需要考虑基于 IPv6 的各种扩展协议在用户面流量上的协议设计。一是 Segment Routing IPv6 可能会是备选的方案。不过需要指明的是这里的 Segment Routing IPv6 需要考虑的是云网两者综合的特征，不能仅仅从各自网络域出发。二是还要对控制面协议也进行进一步的思考，业界讨论的 The locator identifier separation protocol (LISP) 等协议已经考虑到了移动网所特有的位置，移动性等特征，后续可以进一步和 5G/6G 场景做进一步的融合设计。

4.3.3 面向云网一体的算力调度

在云计算、边缘计算的发展大趋势下，未来信息世界将遍布许多不同规模的算力基础设施，通过全球网络为用户提供多种类型的个性化计算服务。并且，6G 网络与 5G 网络相比，拓展了更多的新型应用，各类新型应用对算力基础设施的计算、存储等能力提出了更高性能和更加多样性的需求。如何设计最优的算力调度机制，为应用调度最高效的算力节点，是 6G 设计中面临的重要问题。

5G 通过边缘计算特性，将算力资源部署在靠近用户的位置，通过位置最近的调度原则，达到降低时延和减少骨干传输网带宽的目的。但由于单个站点的算力资源（如存储和计算资源）和算力类型（如 X86/ARM 等异构类型处理器）受限，无法在任何场景下，保障应用的计算效率最优化。此外，当前互联网的假设是静态的 Server 加上移动的 Client，传统基于 DNS 解析的 IP 寻址，无法精准、实时掌握网络传输性能，也不能保证为应用服务的 Server 节点的计算性能，寻址结果的综合性能可能不是最优，甚至比较差，导致业务体验差。

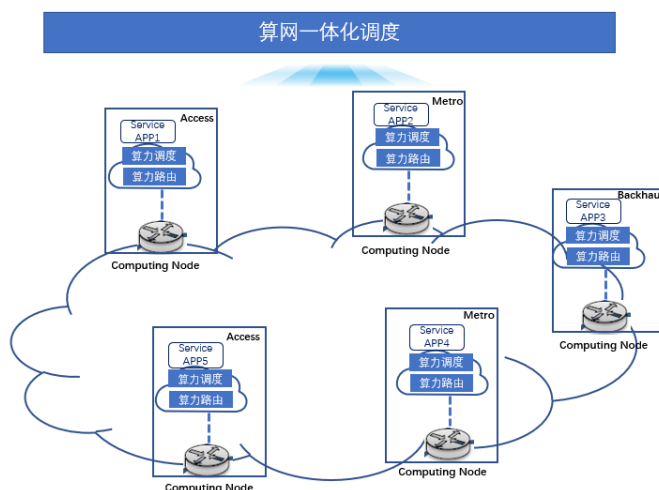


图 8 面向 6G 的算网一体调度

为解决上述挑战，业界提出算力网络的概念【11】【12】，核心思想是基于当前网络可用的算力节点资源，结合网络实时状况，通过算力调度机制实现灵活匹配、动态调度的算力节点分配，从而将应用对计算的需求卸载到性能最优，效率最高的算力节点，保证业务的用户体验。面向6G的算网一体调度关键技术研究方向包括：

(1) 算网一体化编排系统：面向网络实时连接状态及算力资源分布状态，提供精准匹配应用计算需求和数据传输需求的算网一体化服务能力。通过网络、存储、算力等多维度资源的统一协同调度，使海量的应用能够按需、实时调用不同地方的计算资源网络传输资源，实现算力的全局优化。

(2) 算力路由优化：面向算网融合的未来网络，需要引入面向算力状态的路由机制，在路由生成时综合考虑网络和算力资源，生成最优路由。此外，还需要考虑结合算力信息等的路由规划算法。

4.3.4 面向云网一体的运营运维

在 5G 网络中，由于无线网参数的灵活性和复杂性以及核心网能力开放的多样性，对网络日常指标监控、维护、修复以及优化等带来了很大挑战。如何进行自动化智能网络运维和管理是解决此类挑战的重要手段，业界也提出了自动驾驶网络等重要研究方向【13】。自动化网络运维的核心思想就是通过在网络运维管理引入训练、学习以及自动化等方法，替代原来由专业工程师开展的网络运维管理各项工作，从而实现各项管理运维中涉及到的感知、分析、决策和执行等环节全面自动化。这种方式即能保证面向 5G 复杂系统在各种场景下网络管理运维结果的最优化，又降低了对运维专业工程师的要求，也减少了复杂环境中人为因素造成的影响。

6G 网络相比 5G 网络，拓展了更多的新型应用，网络的参数复杂性将进一步提升，对网络质量以及交付给客户的服务等级 SLA 会更加严格而复杂，从而对于自动化运维提出更加全面、水平更高的需求。云原生的系统设计中，自动化运维也是一种天然的需求，如何对各类 IT 基础设施进行管控，并通过强大集中化软件系统的能力进行全方位的管控、变更、调整。因此，面向 6G 时代，云网一体运维有天然的结合，将会成为发展趋势。云网一体运维涉及关键技术方向包括：

(1) 架构和工具：传统移动通信网络运维虽然也采用了分级运维的架构方式，但是由于组织架构管理、设备厂商技术依赖等方面的综合因素，本地运维系统还是比较复杂和沉重，并且对专家本地支撑的依赖度较高。云服务中运维采

用了本地轻量、云端复杂计算分析处理的架构形式,有可能成为 6G 时代一种主流的云网一体运维架构。此外,云服务运维中也引入了很多先进的云原生工具和云中间件,例如采用了先进的 K8S 架构,其中使用到的各项监控、进程守护工具就比较完备,并且能够依托云服务上承载的各类应用持续更新优化,也将是 6G 云网一体化运维中可以借鉴的重要工具。

- (2) 方法和思路:云服务运维中引入了一些不同于传统移动通信网络的自动化、智能化的思路和方法,都可以在 6G 云网一体化运维中重点借鉴。例如云服务运维中,为了规避人工运维误差对网络运维的影响,引入了基于意图网络的网络运维,并降低复杂运维对维护人员的高专业性要求。基于意图的自动化运维首先可以通过设计语言或者系统保证运维人员的意图能够精确表达并为系统机器理解,并且通过算法能够对理解后的意图进行操作,之后根据意图自动生成变更方案。同时,能够通过形式化验证对各类变更方案进行充分准确论证,保证在任何情况下都是运维变更方案都准确反映意图、实施效果最佳。再例如,在云服务的运维机制中,针对出现的各类故障,一方面通过形成问题案例专家库快速定位问题,并不断迭代优化,另一方面设计了先止血(即先快速恢复网络),再定位问题并更新案例库的机制,也是 6G 网络运维中可以重点参考的方法。

5 结束语

6G 技术的研究正全面展开,而云网融合最为 6G 演进过程中的重要研究方向,无疑对 6G 研究具有基础性的意义。起源于互联网中的云计算技术,将再一次会给移动通信网发展深度赋能。本文对 5G 网络云网融合的现状进行了总结,并对 6G 云网融合设计中关键问题进行了分析和思考,希望引起业界对该方向研究的持续关注和探讨。事实上,目前 6G 网络架构的研究尚处于初期阶段,在 6G 网络架构的设计中,将必然存在其他问题也对云网融合的设计产生重要影响,随着讨论的不断持续和深入,未来网络架构将逐渐清晰地呈现在人们面前。

参考文献:

1. Zhao Y J, Yu G H, Xu H Q. 6G mobile communication networks: vision, challenges, and key technologies. *Sci Sin Inform*, 2019, 49: 963 - 987 [赵亚军, 郁光辉, 徐汉青. 6G 移动通信网络: 愿景、挑战与关键技术. *中国科学: 信息科学*, 2019, 49: 963 - 987]
2. China Mobile Research Institute. 2030 + Vision and Demand Report. [中国移动研究院. 2030+ 愿景与需求报告] 2019. <http://www.cww.net.cn/article?id=461114>
3. Chen L, Yu S H. Preliminary study on the key technologies of 6G mobile communication. *Stud Opt Commun*, 2019, 45: 1 - 8 [陈亮, 余少华. 6G 移动通信关键技术趋势初探 (特邀). *光通信研究*, 2019, 45: 1 - 8]
4. Zhang P, Zhang J H, Qi Q, et al. Ubiquitous-X: Constructing the Future 6G Networks (in Chinese). *Sci Sin Inform*, 2020, 50: 913 - 930 [张平, 张建华, 戚琦, 等. Ubiquitous-X: 构建未来 6G 网络. *中国科学: 信息科学*, 2020, 50: 913 - 930]

- 5 5G Network Evolution with AWS: Design scalable, secure, reliable, and cost-efficient cloud-native core and edge network on AWS, July 2020
- 6 <https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/low-latency-edge-computing/>
- 7 <https://www.metaswitch.com/blog/azure-for-operators-is-your-path-to-the-hybrid-cloud>
- 8 <https://www.affirmednetworks.com/announcing-azure-for-operators/>
- 9 The Cloud-native Architecture White Paper, Alibaba Cloud, 2020 [云原生架构白皮书, 阿里云, 2020]
- 10 WHITE PAPER ON 6G NETWORKING, 6G Research Visions, No. 6, June 2020. University of oulu
- 11 《算力感知网络技术白皮书》, 中国移动, 2019 年 10 月
- 12 《中国联通算力网络白皮书》, 中国联通, 2019 年 11 月
- 13 Autonomous Networks: Empowering digital transformation for smart societies and industries, release 2, TMF forum, October 2020

致谢:

感谢如下单位和专家的支持

编辑单位:

阿里达摩院 杨光 蔡慧 石磊

贡献单位:

阿里达摩院: 杨光 蔡慧 石磊

中国移动: 潘成康

西电: 赵力强 梁凯

中兴: 段向阳 朱清华

清华: 赵明 田志刚

诺基亚贝尔: 胡旻



未来移动通信论坛
FUTURE MOBILE COMMUNICATION FORUM