



中国移动  
China Mobile

研究院  
CMRI

# 6G 服务化 RAN 白皮书

## (2022)



中国移动通信有限公司研究院



## 前 言

5G 开启了万物互联的新时代，支持丰富的移动互联网业务和物联网业务。为了满足多样化业务快速上线需求，5G 核心网革命性地将服务化架构作为网络基础架构，并在控制面与用户面分离基础上进行了深入优化。5G 核心网控制面基于模块化拆解为不同的网络功能，解耦的网络功能可独立扩容、独立演进、按需部署，每个网络功能具有多个网络功能服务，实现核心网功能的按需定制，灵活支持不同的业务场景和需求。

目前，服务化架构的研究主要聚焦在核心网控制面。服务化 RAN 的研究目前尚处于初期阶段。长期以来，基站一直以集成单体的方式进行开发，以保证“最后一公里”的极致性能。多出于性能担忧，学术界和产业界对服务化 RAN 持保守态度。但我们认为，性能担忧不应该成为我们探索服务化 RAN 路上的绊脚石。一方面，当前 3GPP/ITU 定义的性能指标都是针对空口的，但在某些场景下空口高可靠、低时延等指标并不是最重要的，端到端性能指标才是我们更需要关心的；另一方面，系统性能指标之间存在“博弈”关系，虽然目前看来服务化 RAN 可能会降低某些性能，但其性能损失可以通过提升系统稳定性、可用性等能力来补偿，正如误块率和速率之间存在的折中关系一样；此外，云原生技术、芯片能力的进一步发展也将缩小这些性能损失。

面对未来不确定的新业务和新场景需求[1]，我们更应该着眼于提升网络的全场景适应能力。在网络功能层面，按需灵活组合必要网络功能，提供定制化网络服务能力；在基础设施及资源层面，按需调配合适网络资源（包括计算、存储、频谱、功率、部署位置等各类资源），最大限度提升网络效率；在应用与服务层面，一方面要精确感知业务需求，另一方面要实现网络功能与网络资源的多维度智能编排与管理，以全面适配各类场景。

我们认为，基于云原生技术的端到端服务化架构是打造网络全场景适应能力的必要技术手段。为了最大限度提升网络的适应能力，服务化 RAN 的研究是未来网络架构设计的重中之重[2-3]。

本白皮书从服务化 RAN 的驱动力出发，提出服务化 RAN 设计原则、总体构想、关键技术、发展挑战，并给出可能的服务化 RAN 应用场景以及标准化推动初步构想。旨在抛砖引玉，希望和业界伙伴携手推进服务化 RAN 的研究。

# 目录

一、	Cloud RAN 引领产业发展，为服务化 RAN 铺平道路	1
二、	服务化 RAN 愿景	4
2.1	服务化 RAN 设计原则	4
2.2	服务化 RAN 总体构想	5
2.2.1	第一层次：控制面接口服务化，实现跨域功能直接互访	5
2.2.2	第二层次：RAN 控制面服务化，助力端到端流程再优化	6
2.2.3	第三层次：RAN 用户面服务化，打造极致跨层传输体验	7
2.2.4	第四层次：RAN 服务化再升级，深度融合 DOICT 新元素	8
2.2.5	第五层次：激发 UE 服务化能力，实现端网服务能力共享	9
三、	服务化 RAN 关键技术	9
3.1	基础设施层关键技术	10
3.1.1	云原生	10
3.1.2	虚拟化	12
3.1.3	异构计算	13
3.2	网络功能层关键技术	14
3.2.1	服务定义	14
3.2.2	服务化接口	15

3.2.3 数据处理顺序	15
3.2.4 包格式定义	16
3.2.5 数据包安全	16
3.2.6 数据采集机制	17
3.3 编排管理层关键技术	17
3.3.1 业务编排	18
3.3.2 服务控制	18
四、 服务化 RAN 发展挑战	18
五、 服务化 RAN 应用场景	21
5.1 面向垂直行业，提供按需精简的服务能力	21
5.2 面向个人用户，提供用户特定的服务能力	22
六、 服务化 RAN 标准推动的初步构想	22
七、 发展展望	24
参考文献	25

## 一、 Cloud RAN 引领产业发展，为服务化 RAN 铺平道路

为了满足 5G 多样化业务对网络的敏捷性、灵活性和可扩展性的要求，网络向虚拟化、云化转型已是必然趋势，Cloud RAN 也得到了全球运营商的广泛青睐。

Cloud RAN 有助于运营商构建低成本、高资源利用率、绿色、全自动化无线网络，其包括两大核心特征，为成功部署 Cloud RAN 奠定基础：

■ **通用硬件平台（包括加速器）：**传统专用硬件基站能力受限于硬件。

如果想要提升基站信号处理能力，通常需要增加基带处理板。额外增加的硬件板块不仅会增加设备成本，还会增加网络能耗。即便基站业务负载很小，功耗依然存在。因为根据 5G 基站功耗测试结果显示，5G 基站基带处理单元（Building Base band Unit, BBU）方面功耗受业务负载影响不大，但与所插板件有直接关系。不同于传统专用硬件基站，Cloud RAN 使用通用计算平台（Commercial-off-the-shelf, COTS）搭载 RAN 功能软件，由此实现硬件资源池化共享以及软件功能的按需灵活部署，预期可以降低 40% 设备成本、30% 运营成本[4]，典型场景下预计可节省整站功耗 5% 左右。

■ **云原生技术：**为了满足用户的业务需求，设备商需要对基站设备软件版本不断升级。现阶段版本升级不仅操作繁琐、耗时长、易出错，还容易造成业务多次中断。Cloud RAN 使用 Kubernetes 等云原生技术并应用 DevOps 原则，将 RAN 功能重构为服务，通过容器技术部署在裸机服务器上，由此提升整网的版本升级速度、业务快速上线能力。设备厂商正在积极推进 Cloud RAN 产品研发，与专用硬件的性能差

异正在逐渐缩小。早在 2016 年，诺基亚就已经在韩国商用了全球首个 Cloud RAN 系统，该系统于 2019 年年中开始大规模商用部署，其第二代具有虚拟化集中单元和虚拟化分布式单元的 Cloud RAN 系统正在试验中，将于 2022 年开始进行商业部署。近日，爱立信也宣布已扩展其 Cloud RAN 产品组合，并借助英特尔至强处理器等技术提升 Cloud RAN 性能，以满足 5G 及以后的高性能需求。同期，三星实现了基带单元全虚拟化，部署了业界首个完全虚拟化的端到端商用 5G RAN，证明了虚拟化 RAN 解决方案具有处理海量数据流量的能力，可达到传统专用硬件产品同等的性能。

运营商正在积极开展 BBU 集中化 RAN 大规模部署，Cloud RAN 已是大势所趋。据 IDC 统计，到 2021 年底，将有 80% 企业加速上云节奏。国内三大运营商也提出将“云网融合”作为未来网络建设的主要目标之一。中国移动正大力推进网络云化部署，预期在 2025 年实现核心网 100% 云化。截至 2021 年 7 月，中国移动已开通 5G 基站超过 50 万个，2021 年 5G 网络累积 BBU 集中化部署比例将超过 70%、2022 年超过 75%。BBU 集中化将有助于运营商降低能耗，有利于协作化、虚拟化、云化的部署实施。近日，AT&T 与爱立信也签署了一项为期 5 年的协议，旨在加速其 5G 集中式 RAN 网络部署，为向 Cloud RAN 演进铺平道路。

6G 无线网络将不止于 Cloud RAN，更在于服务化 RAN。Cloud RAN 为未来无线网络搭建了一个灵活、可扩展的平台，但其服务能力依然较为有限：从功能角度，目前 BBU 开发的最小粒度为集中单元（Centralized Unit, CU）或分布单元（Distributed Unit, DU），颗粒度较大，依然不能满足



特定新功能快速上线、灵活部署的需求；从接口角度，基站内部、基站之间、基站与核心网之间依然使用点对点专用接口互连，每当基站或相关核心网网络功能发生改变时，都需要在相关接口上进行调整，标准化工作量大、运维管理复杂度高。

为了敏捷响应未来更加多样化的业务功能需求、服务质量（Quality of Service, QoS）需求、管理策略需求、部署需求、开放需求，使网络具备更强的前向兼容性，下一代无线接入网需要从服务能力角度着手发力，将无线网络重构为功能更细粒度的服务化 RAN，更好地发挥 Cloud RAN 的平台优势。

- 通过 RAN 功能服务的重新定义，将更快实现基站功能版本的升级，及时满足业务功能需求；
- 通过 RAN 服务、核心网（Core Network, CN）服务间的服务化接口定义，将为端到端网络流程带来新的交互方式，同时降低跨域新功能引入对已有服务的影响；
- 通过 RAN 服务与第三方服务之间的服务化接口定义，将实现更及时、更多维的无线网络能力开放；
- 通过云原生基础设施平台，将实现硬件资源池化共享，降低网络建设成本与整网功耗，敏捷响应业务部署需求。
- 通过 RAN 服务与 CN 服务一体化编排管理，降低全网运维管理复杂度，提升网络对新业务的适应能力。

## 二、 服务化 RAN 愿景

### 2.1 服务化 RAN 设计原则

在通过微服务方式重构下一代无线网络架构之前，有必要先确定服务化 RAN 设计的基本原则，以避免服务划分不合理导致的“分布式单体”棘手问题。服务化 RAN 设计原则主要包括如下五个方面：

**1. RAN 所提供的服务需要针对外界需求来定义。**网络是用来处理业务需求的，因此定义服务化 RAN 设计的第一步就是将外界需求提炼为关键请求。对于接入网，需求可以来自核心网网络功能，也可以来自接入网节点，还可以来自第三方应用或者用户设备（User Equipment, UE）。

**2. RAN 服务的定义需要满足“松耦合”和“高内聚”特点[5-6]。**Robert Martin 有一个对单一职责原则的论述：“把因相同原因而变化的东西聚合到一起，而把因不同原因而变化的东西分离开来。”也就是说，改变一个服务应该只有一个理由，服务所承载的每一个职责都是对它进行修改的潜在原因。微服务应该设计得尽可能小、内聚、仅仅含有单一职责，这会缩小服务的大小并提升它的稳定性。但是“小”并不是微服务的最主要目标。

“松耦合”是微服务架构最核心的特性。一个微服务就是一个独立实体，可以独立进行修改，并且某一个服务的部署不应该引起该服务消费方的变动。对于一个服务，需要考虑什么应该暴露、什么应该隐藏。如果暴露的过多，那么消费方会与该服务内部实现产生耦合，这会使服务和消费方之间产生额外的协调工作，从而降低服务的自治性。

**3. RAN 服务要尽量保持自身数据的独立。**保证数据的私有属性是实现松耦合的前提之一。如果服务之间需要维护数据同步，那么服务提供方的修改将很大程度上影响服务消费方。

**4. 服务化 RAN 的目标是定义 RAN 服务及服务之间的访问关系。**目前，即便是在微服务已经非常成熟的信息技术（Information Technology, IT）领域，也尚无可以辅助完成服务拆分或服务定义的具体算法。基于前期研究，我们认为服务化 RAN 架构的设计可以考虑通过如下三个步骤来实现：一是将外界需求提炼为各种关键请求，即系统操作（5GC 中有两种系统操作模式：request-response 和 subscribe-notify）；二是确定分解 RAN 服务；三是将系统操作合适地分配给分解出来的 RAN 服务。因此，RAN 服务以及每个 RAN 服务 API 的定义是服务化 RAN 的核心。

**5. 控制面功能与用户面功能深度解耦，**以满足用户面轻量化、低成本和灵活的部署需求。

## 2.2 服务化 RAN 总体构想

综合考虑产业成熟度、技术成熟度等多个方面，服务化 RAN 的发展可能会包括以下五个层次，不同层次可能单独出现、也可能同时出现。

### 2.2.1 第一层次：控制面接口服务化，实现跨域功能直接互访

在传统通信模型中，基站与核心网网络功能之间使用预先建立的点对点信令接口相互通信。每当新功能引入时，都需要对现有的网络功能进行增强，并且需要在新功能和与之通信的现有网络功能之间定义新的点对点接口。

随着 5G 核心网服务化架构的扩展与演进，服务化架构将不仅限于核心网内部，而是向核心网与 gNB CU-CP 之间的 N2 接口扩展。在这一阶段，gNB CU-CP 整体将作为一个 RAN 服务，与 CN 网络功能服务（Network Function Service，NFS）进行交互。

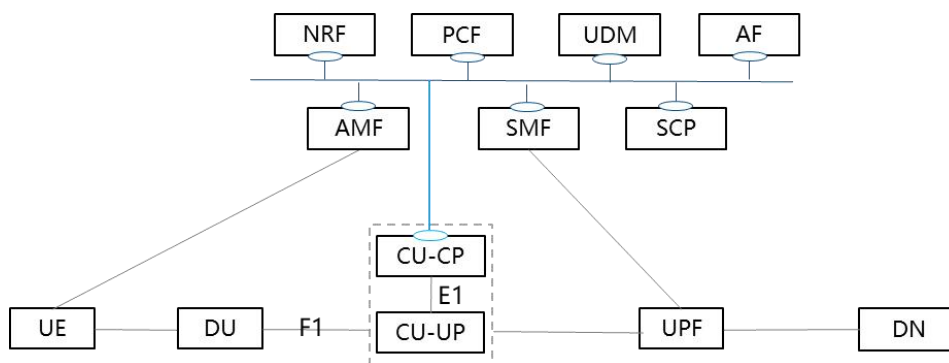


图 1：第一层次：控制面接口服务化

### 2.2.2 第二层次：RAN 控制面服务化，助力端到端流程再优化

在这一阶段，RAN 的控制面功能将被重构为多个 RAN 控制面服务（Control Plane Service, CPS），CPS 大致可以包括如下几种类型：无线承载管理服务（Radio Bearer management Service, RBS）、连接与移动性管理服务（Connection Mobility management Service, CMS）、本地定位服务（Local Location Service, LLS）、多播广播服务（Multicast Broadcast Service, MBS）、数据采集服务（Data Collection Service, DCS）、信令传输服务（Signaling Transmission Service, STS）、接入网开放服务（RAN Exposure Service, RES）。

RAN 控制面服务化方案可以带来至少如下两方面的技术优势。一是，RAN 服务可以与 CN 服务直接互访，减少网络中不必要的连接与移动性管理功能（Access and Mobility Management Function, AMF）转发。二是，

RAN 控制面服务化后，RAN 的控制面服务与其他服务（包括核心网服务、其他 RAN 控制面服务）之间的交互可从串行交互转为多方并行交互，由此可优化控制面流程。

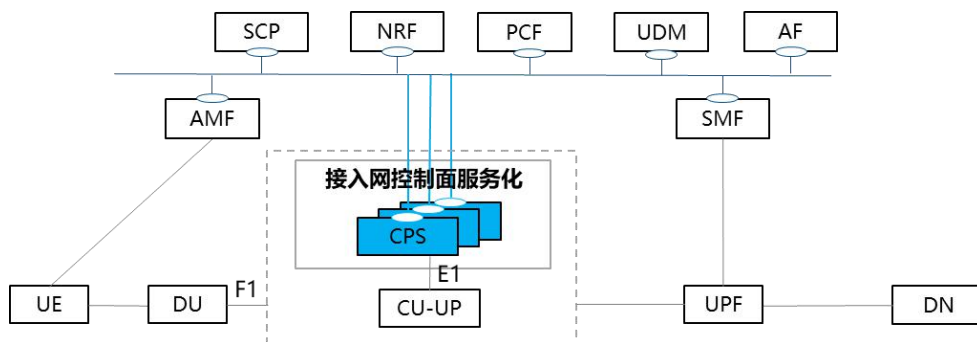


图 2: 第二层次：RAN 控制面服务化

### 2.2.3 第三层次：RAN 用户面服务化，打造极致跨层传输体验

传统移动通信协议均是遵从开放式系统互联通信参考模型（Open System Interconnection Reference Model, OSI）分层协议设计理念的。每个分层都接收由它下一层提供的特定服务，并且负责为自己的上一层提供特定的服务。上下层之间进行交互时遵循“接口”约定，同一层之间进行交互时遵循“协议”约定。这种分层设计理念存在的问题是，协议及服务模型固定，无法实现灵活的跨层信令交互、跨层功能组合。因此，我们希望借助微服务手段，将 RAN 的用户面功能重构为多个 RAN 用户面服务（User Plane Service, UPS），并在需要时按需灵活组合，以更好满足多种业务需求。本质上，用户面服务化旨在突破传统分层协议设计理念，使功能与功能之间的调用关系不再受限于上下层协议关系，功能模块之间可以灵活调用。

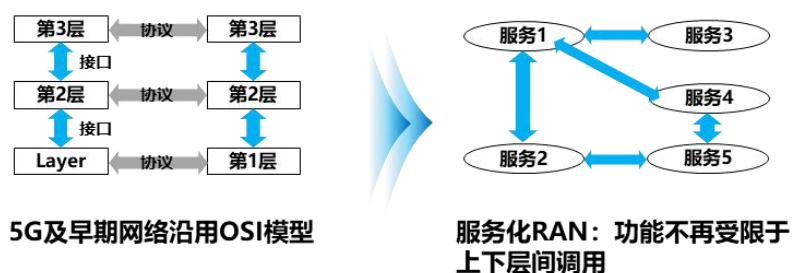


图 3：服务化 RAN 用户面协议模型

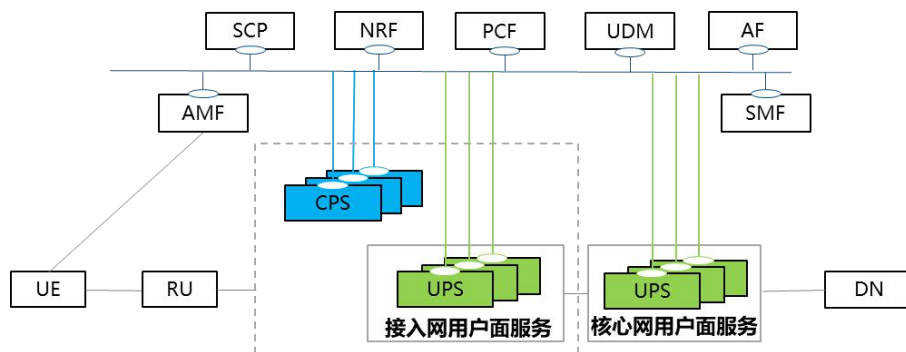


图 4：第三层次：RAN 用户面服务化

#### 2.2.4 第四层次：RAN 服务化再升级，深度融合 DOICT 新元素

随着数据技术、运营技术、信息技术和通信技术（Data, Operation, Information and Communication Technologies, DOICT）的深度融合发展，内生智慧、内生安全、感知通信一体化、计算通信一体化、计算存储一体化已成为未来网络发展趋势，相应的网络服务能力也需要被引入到网络中。如网络内生的 AI 服务可能包括 AI 任务流拆分服务、策略生成服务、数据处理服务等。

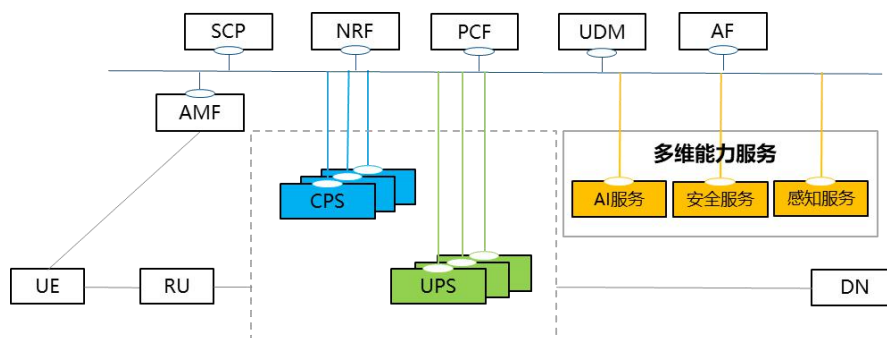


图 5: 第四层次：RAN 服务化再升级

### 2.2.5 第五层次：激发 UE 服务化能力，实现端网服务能力共享

随着云手机市场的再次兴起, UE 也可以具备服务能力, 向运营商网络、第三方应用、其他 UE 等提供算力、测量、UE 信息等 UE 服务(UE Service, UES)。UE 服务将与网络服务融为一体, 通过服务化接口互访, 实现更灵活、直接的信息交互。

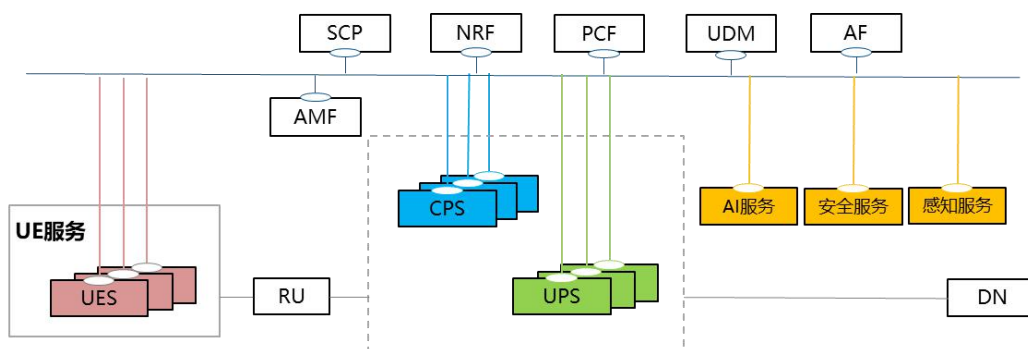


图 6: 第五层次：终端服务化

## 三、服务化 RAN 关键技术

服务化 RAN 关键技术涵盖基础设施层、网络功能层、编排管理层三个层面。



图 7：服务化 RAN 技术能力图谱

### 3.1 基础设施层关键技术

#### 3.1.1 云原生

云原生是一系列技术、设计模式和管理方法的思想集合，包括 DevOps、持续交付、微服务、敏捷基础设施、康威定律，以及公司组织架构的重组。Gartner 在对 2022 年的技术趋势预测报告中提到，“到 2025 年，将有 95% 的数字化项目采用云原生基础设施，而在 2021 年这个比例只有不到 40%” [7]。在电信运营商网络中，基于云原生技术的核心网网元和边缘计算节点已经得到广泛应用，在无线接入网领域，基于云原生技术的基站单元也开始试点并小范围商用。

云原生的代表技术包括容器、微服务、服务网格、不可变基础设施和声明式应用程序接口（Application Programming Interface, API）等[8]。

##### 1. 容器技术

容器技术是基于操作系统的虚拟化技术，让不同应用可以运行在独立



沙箱环境中避免相互影响。Docker 容器引擎则大大降低了容器技术的复杂性，Docker 镜像解耦了应用与运行环境，使应用可以在不同计算环境间一致可靠地运行，加速了容器技术普及。容器技术如今已经发展出全容器、边缘容器、无服务器（Serverless）容器、裸金属容器等多种形态。

## 2. 微服务

微服务通过服务化架构把不同生命周期的模块分离出来，分别进行业务迭代，从而加快整体的进度和稳定性。微服务以容器部署，每个微服务可以部署不同数量的实例，实现单独扩缩容，单独升级，使得整体部署更经济并提升了迭代效率。服务化架构以面向接口编程，服务内部的功能高度内聚，通过公共功能模块提取增加软件的复用程度。

## 3. 服务网格

服务网格（Service Mesh）实现业务面和控制面的分离，将服务代理、发现和治理等控制从业务中分离到专用 Mesh 基础架构层，并实现对业务透明。分离后业务进程中只保留轻量级的服务代理（Sidecar），服务代理负责与 Mesh 控制面通讯。实施 Mesh 化架构后，大量分布式架构模式（熔断、限流、降级、重试、反压、隔仓）都由服务网格控制面完成，统一的控制面也能保障实现更好的安全性。

## 4. Serverless

Serverless 是一种架构理念，其核心思想是将提供服务资源的基础设施抽象成各种服务，以 API 接口的方式供给用户按需调用，真正做到按需伸缩、按使用收费。这种架构体系结构消除了对传统的海量持续在线服务器组件的需求，降低了开发和运维的复杂性，降低运营成本并缩短了业

务系统的交付周期，让用户能够专注在价值密度更高的业务逻辑的开发上。

## 5. 电信领域的云原生

在标准方面，ETSI NFV ISG 在 2019 年 10 月发布了面向云原生容器和平台即服务（Platform as a Service, PaaS）的增强网络功能虚拟化（Network Functions Virtualization, NFV）架构研究报告，之后制定了容器层北向接口及管理网络编排（Management and Network Orchestration, MANO）管理容器的系列技术规范，并计划后续开展容器集群管理技术规范（IFA036）、容器网络研究报告（IFA038）和容器安全规范（SEC023）等标准研究或制定工作，并进一步扩展现有的 NFV MANO 接口功能支持容器化 VNF 的生命周期管理和编排。在开源领域，CNCF 成立了电信用户组（Telecom User Group, TUG）将电信行业需求导入上游开源项目设计，已经完成《Cloud Native Thinking for Telecommunications》白皮书。Linux 基金会成立了 CNTT 工作组研究云原生/容器技术在电信行业的应用方案，主要基于开源 Kubernetes 定义云原生网络的基础设施架构，分析和电信业务需求的差距以及提供相应基础设施的参考实现和测试验证框架[9]。

### 3.1.2 虚拟化

虚拟化是将物理资源在逻辑上再分配的技术，将“大块的资源”逻辑分割成“具有独立功能的小块资源”，既能实现资源的最大化利用，又能实现在共享资源基础上的用户隔离。虚拟化技术是云计算的基石，在云上无处不在。

在计算机领域，虚拟化的层次包括：

- 基于硬件抽象层面的虚拟化：提供硬件抽象层，包括处理器、内存、I/O 设备、中断等硬件资源的抽象；
- 基于操作系统层面的虚拟化：提供多个相互隔离的用户态实例，即容器，容器拥有独立的文件系统、网络、系统设置和库函数等；
- 基于编程语言的虚拟化，如 JVM（Java Virtual Machine，Java 虚拟机），是进程级虚拟化

从虚拟平台角度虚拟化可以划分为以下类别：

- 完全软件虚拟化：不需要修改客户机操作系统，所有的操作都由软件模拟，但性能消耗高，为 50%~90%。
- 类虚拟化：客户机操作系统通过修改内核和驱动程序，调用由 Hypervisor 提供的 Hypercall，性能消耗为 10%~50%。
- 完全硬件虚拟化：硬件支持虚拟化，性能消耗只有 0.1%~1.5%。

除此之外虚拟化技术还包括中央处理器（Central Processing Unit, CPU）虚拟化、内存虚拟化、I/O 设备虚拟化、存储虚拟化、网络虚拟化、容器虚拟化、网络功能虚拟化，也包括 5G 的网络切片等。

### 3.1.3 异构计算

异构计算是将 CPU、协处理器、片上系统（System on Chip, SoC）、图形处理器（Graphics Processing Unit, GPU）、专用集成电路（Application Specific Integrated Circuits, ASIC）、现场可编程门阵列（Field Programmable Gate Array, FPGA）等各种使用不同类型指令集、不同体

系架构的计算单元组成一个混合的计算系统。异构计算以“CPU+”的形式出现，具有较好的可行性及通用性，并能大幅提升系统性能和功耗效率。

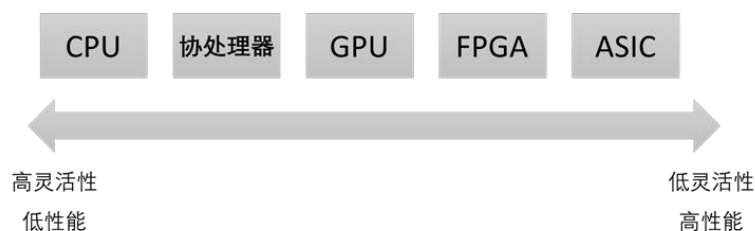


图 8：不同异构硬件的特点

业务异构加速需要基于加速平台的软硬件整体解决方案，以得到更强的性能并覆盖更多场景，包括基于 GPU、FPGA 即服务（FPGA as a Service, FaaS）及领域专用架构（Domain Specific Architecture, DSA）/ASIC 的加速方案。如 NVIDIA 的 GPU 加速主要通过 CUDA 的编程开发框架实现，FaaS 依赖于 FPGA 提供的硬件可编程性，需要用户或第三方开发者针对特定应用场景完成加速硬件和软件镜像的开发；DSA 面向特定应用场景的加速，在 ASIC 的基础上提供了更多的灵活性，效率高于 GPU 和 FPGA[10]。

## 3.2 网络功能层关键技术

### 3.2.1 服务定义

在 RAN 控制面“拆分”的过程中，一方面要考虑无线资源管理（Radio Resource Management, RRM）模块固有的关联关系，另一方面要考虑微服务的“高内聚”“松耦合”等拆分要求。服务是针对外界需求定义的。对于接入网服务，需求可以来自核心网控制功能，也可以来自对等接入网

其他节点，还可以来自用户终端。在控制面，接入网与核心网的接口只有 NGAP（Next Generation Application Protocol），即基站与 AMF 之间的接口，基站与其他核心网网络功能之间的交互均需要通过这一接口。因此，我们可以从 NGAP 接口协议框架入手，探索无线接入网面向核心网需求的接入网业务能力。类似地，可以从 XN 接口协议框架入手探索面向接入网自身的业务能力。进一步地，还可以基于无线资源控制协议框架探索面向用户终端的其他接入网服务能力。

### 3.2.2 服务化接口

功能方面，需要根据服务的定义和拆分结果进行服务化接口

（Service-based Interface, SBI）的功能定义。SBI 的设计既需要满足各种微服务之间的功能交互需求，同时又需要统一的接口设计。

性能方面，目前的 SBI 基于传输控制协议（Transmission Control Protocol，TCP），对于用户面开销会比较大，所以目前用户面接口仍然沿用用户数据报协议（User Datagram Protocol, UDP）、GTP 用户面（User plane part of General Packet Radio Service Tunnelling Protocol, GTP-U）的结构。未来不仅需要考虑控制面的服务化接口设计，也需要进行用户面的服务化接口设计。希望能够探索一种开销较小、实时性能较好的、同时满足控制面和用户面需求的服务化接口。

### 3.2.3 数据处理顺序

针对某一业务数据进行处理之前，首先需要明确与本次数据处理相关的用户面服务或服务实例组合、以及数据处理的顺序。数据处理顺序的确

定有两种可能实现方式。第一种方式是服务使用者动态选择服务提供者的实例，这种方式与现有 5G 机制一致；第二种方式是由特定服务确定与本次数据处理相关的服务实例组合及关联关系，并将该关系指示给相关的服务实例，以便于这些服务实例进行后续数据处理。

#### 3.2.4 包格式定义

不同于传统分层协议模型中固定格式的数据包头，服务化之后的数据包头也将是按需组合生成的。数据包头所包含的内容与数据处理链路上的服务相关，还可能与业务需求、测量结果等相关。一种可能的实现方式是，将数据包头分为多个部分，某一部分与特定的服务/服务实例关联，只有该服务/服务实例可以对该部分数据包头进行修改。

#### 3.2.5 数据包安全

传统分层协议架构中，某一层的包头和功能只有该层可见。无协议层之后，数据包的包头信息所有“网络功能”都可见。但是这将导致数据安全问题。一方面，非法“网络功能”可能会获取数据信息，导致信息泄露；另一方面，合法“网络功能”可能会非法使用数据信息，如分析用户隐私。因此，需要对数据访问进行控制，仅允许授权“网络功能”读/写相关包和/或包头信息。为了保证服务间数据交互的安全性，可能需引入一个安全控制功能，该控制功能负责为其他网络功能下发数据处理与访问相关密钥，以便于其他网络功能可以对数据进行相应修改、或读取相关数据信息。

### 3.2.6 数据采集机制

传统网络中，采集的数据需要被上报到应用服务器或集中网络功能做相应的分析处理，这一过程不仅增加了数据的获取时延，还带来大量信令传输开销。可观察性是微服务设计的一项基本原则，每个服务化的网络服务将原生支持数据采集机制，灵活适配丰富多样的数据分析框架。因此，在服务化网络中，数据采集与分析模式将发生根本转变，其将会动态灵活地发生在端到端服务化网络的任何位置。

## 3.3 编排管理层关键技术

随着服务化 RAN 和服务化 CN 研究的进一步推进，未来 6G 系统将是一个端到端全服务化的网络。在端到端全服务化网络中，编排与管理是保证用户的多样化业务体验至关重要的一环。高效的编排管理可以将服务有机地整合在一起，在保证用户性能需求的同时，确保各类网络资源（包括无线资源、计算资源、存储资源、部署空间资源等）使用效率最大化。

在编排管理领域，开放网络自动化平台（Open Network Automation Platform, ONAP）已经成为网络自动化、闭环、协同器等领域的一个准事实标准。可以此为基准，进一步推进面向 6G 服务化网络的编排管理框架及相关技术。

可以预期，未来 6G 网络仍然会在较大地理范围内跨域、跨供应商大规模部署。为了实现可扩展性，分层分域编排管理将是一种可行方式。“子域”可以按照技术领域来划分，如 RAN、承载网、CN；也可以按照部署领域来划分，如边缘数据中心域、核心数据中心域等。在分层分域编排管

理框架中，业务编排器以及服务控制器将是两个最基础的组件。

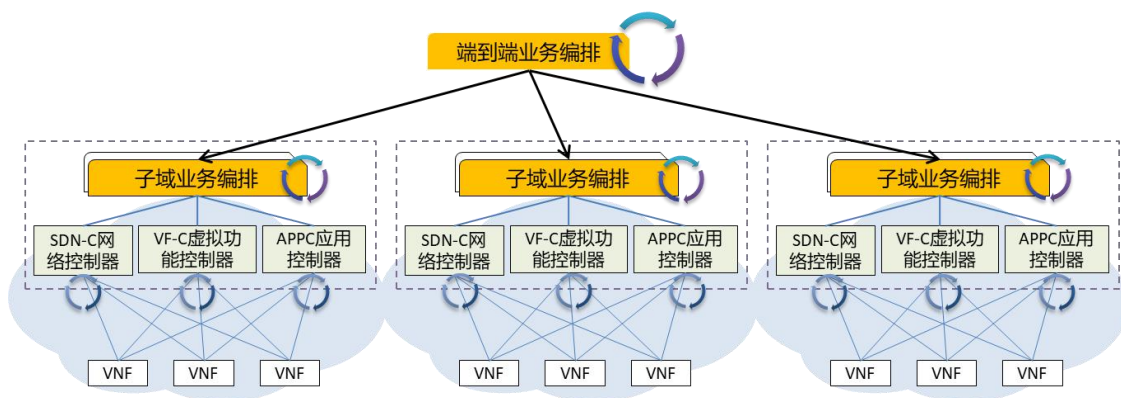


图 9：分层分域编排管理框架

### 3.3.1 业务编排

业务编排器（Service Orchestrator，SO）负责业务级别的编排，以实现业务实例化、业务变更、全局优化部署等的闭环自动化。端到端 SO 进行端到端整体服务编排，南向与各域 SO 衔接，北向与运维支撑系统/业务支撑系统衔接。

### 3.3.2 服务控制

服务控制器负责控制资源的闭环自动化，包括本地资源的分配、回收、调整、扩缩容等。不同领域的控制器可分别负责域内的闭环自动化。控制器可以包括应用控制器、网络控制器、虚拟功能控制器、基础设施控制器等。

## 四、 服务化 RAN 发展挑战

在推进服务化 RAN 的过程中，一方面要考虑传统 RAN 固有的局限性，



一方面要解决基础设施层、网络功能层、管理编排层等多维技术引入导致的新问题，因此面临的挑战巨大。

#### 4.1 服务定义

目前业界尚无统一可行的实现服务拆分的具体算法。如果对接入网服务拆分不合理，很可能会构建出一个分布式单体应用：一个包含了一大堆互相之间紧耦合的服务，却又必须部署在一起的分布式系统。这将会把单体架构和微服务架构两者的弊端集于一身。

基站作为一个开发了数十年的“单体架构”应用，服务拆分变得更为复杂。仅从 RRM 模块之间的关联关系就可以看出。RRM 模块之间呈现紧耦合关系，不合理的功能拆分很可能导致形成分布式单体。

#### 4.2 网络性能

电信级设备要求具备 7×24 小时不间断运行的能力，这是专用设备的优势所在，而现阶段，通用设备尚无法达到这一可用性级别。此外，通用设备与专用设备仍存在性能差异：通用设备具备较强的扩展性，能够完成更多任务，但代价是算力不集中、性能下降；专用设备因为只针对某个功能进行设计，因此性能较之更高。

#### 4.3 测试运维

不同 RAN 服务可能由不同厂家来实现。由于各厂家的技术方案各不相同，对接口相关规范的理解也可能存在差异，所需互操作测试的工作量是非常巨大的。同时，可能很难分清安装和维护时的责任划分，影响故障恢复时间。需要维护的设备数量增加，导致网络管理的复杂度和成本增加。

#### 4.4 网络能效

服务化 RAN 的实现将基于通用服务器。这类硬件服务器使用通用芯片，成本低，灵活性高。但通用芯片的缺点是对流量的处理效率低，功耗高。据业界研究，如果采用通用芯片来实现 5G 基站功能，其需要的芯片数量是专用芯片的 18 倍，功耗约是专用芯片的 30 倍。以此类比，服务化 RAN 带来的功耗问题也需要仔细考虑。

#### 4.5 异构硬件

相比计算中心，无线接入网是设备更复杂，要求更严苛的异构计算环境。对无线接入网实现服务化改造，表面看是软件的变革，但其实严重依赖底层异构硬件平台方案的支持。这涉及硬件资源的抽象、虚拟化、管理编排、以及快速的迭代。但从软件行业和硬件行业各自发展上看，软硬件的距离越来越大，软件迭代速度越来越快，软件对硬件的性能、灵活性、功耗、成本都提出了苛刻的要求，而硬件的规模越来越大，开发周期越来越长。并且半导体工艺日益趋于物理极限，一次性工程费用指数级上升，针对各种苛刻需求，研发风险也越来越高。由于不同异构硬件的定位不同，虚拟化的能力差异非常大。即使是同一类的异构硬件，不同厂商的产品虚拟化程度也参差不齐。虽然业界已经出现通用的硬件加速管理编排框架，但距商用仍有距离。另外，异构计算方案通常涉及众多硬件厂商，云厂家和网元厂家，各种技术挑战不是任何一家公司能够完全解决的，需要不同领域供应商的紧密配合。

#### 4.6 网络安全

5G 定义了很多用于用户面数据处理的接口交互参数。但即便参数已标

准化，也很少在异厂商设备之间使用，主要原因有两点：一方面，这些参数主要用于特定算法，通用价值较低；另一方面，数据的可信度难以保证。数据的准确度、可信度直接影响网络或设备的性能，因此，保证数据安全、尤其是异厂商 RAN 服务之间交互数据的安全性尤为重要。此外，网络能力开放引发的网络攻击风险、云和虚拟化带来的安全风险、以及开源代码漏洞易被黑客利用等风险也需要同步考虑[11]。

#### 4.7 初期成本

服务化 RAN 短期成本优势不显著。参与基站研发的厂商包含软件、硬件、射频拉远单元提供商以及系统集成商，考虑到研发链上各厂商的利益，在形成规模效应前成本优势还不明显。但可以预期，一旦进入规模应用，其成本优势应该是显著的。

#### 4.8 标准化方式

现阶段，一个版本从方案研究、标准化到测试部署，可能需要两年时间，版本迭代周期很长。此外，新版本需要后向兼容旧版本，导致新技术或新功能的引入变得非常复杂。现有标准化组织架构和工作方式不能满足服务化 RAN 快速开发部署需求，因此需要标准化组织做相应调整。

## 五、 服务化 RAN 应用场景

### 5.1 面向垂直行业，提供按需精简的服务能力

传统基站功能全面，支持 5G 与 4G 互操作、支持多种频段、支持全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System, GNSS）定位、支持 IP 多媒体子系统（IP Multimedia Subsystem, IMS）语音等。这种不断做

加法的方式，使得基站在无所不能的同时，其功能设计愈发复杂、牵一发而动全身。面向行业应用场景，更需要的是轻量化、低成本、灵活部署的基站，以适应不同行业的定制化需求。

通过服务化 RAN，垂直行业客户可以自己选择、或者基于运营商策略将必要服务放置到处于不同地理位置的、不同类型的云平台上，例如，面向超低时延超高可靠业务的 RAN 服务可能会部署在边缘云平台以降低接入时延，面向大带宽业务的 RAN 服务可能会部署在汇聚云平台以降低部署成本。此外，垂直行业客户还可以考虑将 RAN 服务与 CN 服务同平台共部署，以提供更极致的服务体验。

## 5.2 面向个人用户，提供用户特定的服务能力

传统网络基于业务 QoS 需求为用户提供服务。针对同一业务，网络会为不同用户下发几乎相同的配置。随着未来业务需求的更加多样化发展，即便针对同一业务，不同用户的服务需求也可能是不一样的。服务化 RAN 使得极致的差异化服务能力提供成为可能。服务化 RAN 可以基于用户需求，在合适的云平台位置为 UE 生成定制化的网络功能服务实例，如 AI 模型训练相关的服务实例，来帮助 UE 及时完成计算量大的任务。

## 六、 服务化 RAN 标准推动的初步构想

在过去的十年里，5G 核心网经历了从软件定义网络到网络功能虚拟化，再到云原生的网络演进。网络技术的演进和开源社区的繁荣给网络产业带来了前所未有的变化，正是这些技术的尝试、社区的创新，使得新技术能最快被网络产业应用。这种成功的历史经验值得我们继续延续与回味。

传统 3GPP 标准化和产业化以版本（Release）为粒度推进，每一个 Release 的标准化周期大概 15/18 个月，包含多个特征（Feature），因此标准化周期较长，相应地，厂商开发周期以及运营商部署周期也会较长。不同于传统 CT 领域开发部署方式，IT 领域的服务开发通常以 Feature 为粒度独立进行，并采用“开源”合作开发模式，因此单个服务的开发部署周期较短，有些甚至两周便可实现。面向服务化 RAN，我们认为其标准化及产业化模式也可以基于此来探索，例如采用“标准化+开源”协同推进的方式。在服务化 RAN 研究初期，可以仅针对基本服务和接口进行标准化和开发部署，后续可以 Feature 为粒度，针对每一“开源”服务进行必要的标准化设计，多个 Feature 可以并行开发，由此提升标准化及产业化整体进程。

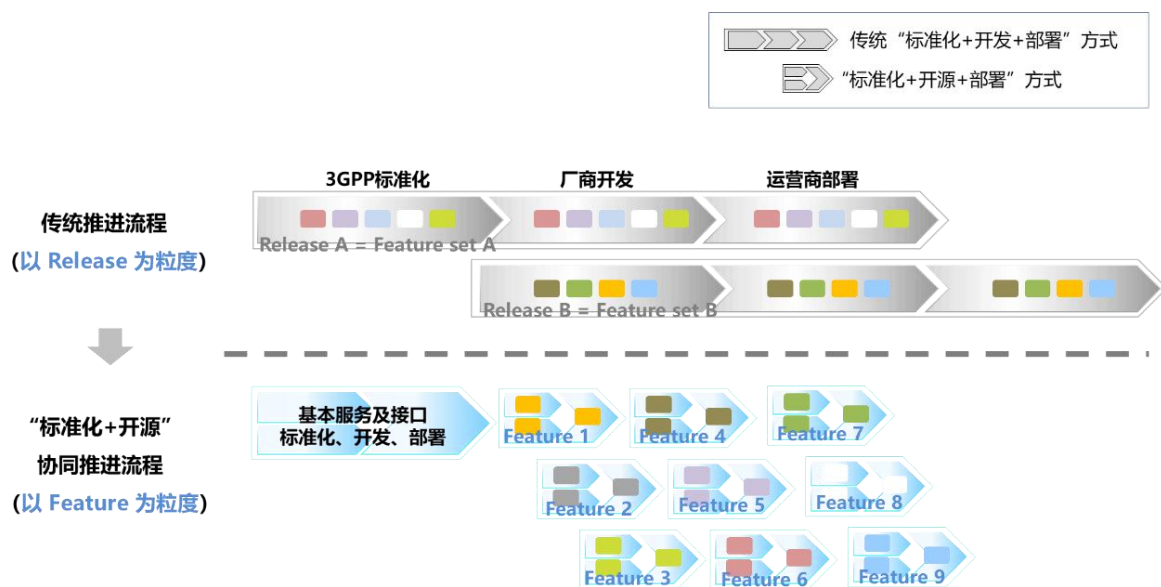


图 10：服务化 RAN 标准推动的初步构想

## 七、 发展展望

随着 ICT 技术融合的快速发展，接入网走向云化、服务化已然成为趋势。移动通信无线网络“白盒硬件+开源软件”的“开放模式”也被全球运营商和产业界所关注，成为不可忽视的方向。目前，大型移动通信基础设施制造商在“集成模式”方面积累了很强的优势，但在“开放模式”方面积累尚浅。未来这两种产业模式可能会长期共存。面对未来不稳定、不确定的全球产业形势，我们希望和产业合作伙伴齐心协力，积极探索服务化 RAN 这一方向，推动产业成熟，合力开创整个移动通信行业的繁荣。

## 参考文献

- [1] 中国移动, 2030+愿景与需求 (第二版), 2020.
- [2] 中国移动, 2030+网络架构展望, 2020.
- [3] 中国移动, 2030+技术趋势, 2020.
- [4] Rakuten Mobile, Inc. Rakuten Mobile Plans to Acquire Innoeye to Support Rakuten Communications Platform Launch [E]. [http://global.rakuten.com/corp/news/press/2020/0513\\_02.html](http://global.rakuten.com/corp/news/press/2020/0513_02.html). 2020.
- [5] C.Richardson. Microservices pattern[M]. Beijing: China Machine Press, 2020.
- [6] S.Newman. Building Microservices[M]. Beijing: Post&Telecom Press, 2021.
- [7] Gartner. Top Strategic Technology Trends for 2022[E]. <https://www.gartner.com/en/information-technology/insights/top-technology-trends>. 2021.
- [8] CNCF. Cloud Native Computing Foundation (CNCf) Cloud native definition[E]. <https://www.cncf.io/about/who-we-are/>. 2021.
- [9] 中国移动, 中国电信, 中国联通等. 2020 电信行业云原生白皮书, 2020.
- [10] 黄朝波. 软硬件融合: 超大规模云计算架构创新之路[M]. 北京: 电子工业出版社, 2021.
- [11] Ericsson. Security considerations of Open RAN[E]. <https://www.ericsson.com/en/security/security-considerations-of-open-ran>



---

数字孪生 智慧泛在